目　录

前　言
主要技术符号说明（地球物理部分）

第一篇　有色金属矿床（田）

第一章　概　论……（3）
　第一节　地质-地球物理-地球化学找矿模型的意义及研究概况……（3）
　第二节　地质-地球物理-地球化学找矿模型的一些基本概念……（4）
　第三节　地质-地球物理-地球化学找矿模型的构成要素……（9）
第二章　铜镍（钴）硫化物型矿床……（12）
　第一节　甘肃金川铜镍矿床……（12）
　第二节　青海德尔尼铜钴矿床……（29）
第三章　斑岩型矿床……（48）
　第一节　黑龙江多宝山铜矿床……（48）
　第二节　江西德兴铜（钼）矿田……（68）
　第三节　西藏玉龙铜（钼）矿床……（86）
第四章　夕卡岩型矿床……（102）
　第一节　湖北铜绿山铜铁金矿田……（102）
　第二节　湖南水口山铅锌矿田……（124）
第五章　海相火山岩型矿床（田）……（143）
　第一节　甘肃白银厂铜多金属矿田……（143）
　第二节　四川拉拉厂铜矿田……（171）
第六章　陆相火山岩型矿床——福建紫金山铜金矿床……（193）
第七章　沉积变质岩型矿床——内蒙古霍各乞铜多金属矿床……（210）
第八章　其他类型矿床——河北蔡家营铅锌银热液矿床……（229）

第二篇　贵金属矿床（田）

第九章　火山-沉积类型矿床——湖北银洞沟海相火山-沉积亚类银（金、铅锌）矿床……（253）
第十章　变质类型矿床（田）——河南围山城（沉积）变质亚类金银矿田……（269）
第十一章　与火山岩有关的矿床——新疆阿希浅成低温热液型金矿床……（291）
第十二章　与基性、超基性岩有关的矿床——新疆哈图构造蚀变岩型金矿床……（309）
后记……（327）
主要参考文献……（329）

第一篇　有色金属矿床(田)

第一章 概 论

第一节 地质-地球物理-地球化学找矿模型的意义及研究概况

一、意义

随着找矿难度增大，人们已致力于寻找隐伏矿和难识别矿；综合物探化探方法已成为现代地质找矿勘查的一种重要手段，而且将发挥愈来愈重要的作用。

矿产勘查是一项探索性很强的实践活动，有着极大的风险性和不确定性，并且需要较长的周期和一个实践、认识、再实践、再认识的反复过程。矿产勘查又是一种经济行为，要求以较少的投入，取得较好的地质效果和较大的经济效益；在社会主义市场经济条件下，其商业性更为突出。当今对矿产勘查方法技术的选择和应用，不仅要求取得地质效果，而且必须经济、合理。矿产勘查又是一门涵盖面很广的综合性应用科学，具有很强的实践性或调查研究性，既要有理论的指导，又需有经验的积累。因此，基于成矿理论指导和找矿实践积累所建立的“矿床模式已被公认是矿产勘查和资源评价的有效工具”[1]。

从应用角度分析，矿床模式可分为成矿模式和找矿模型两类。符合客观实际的矿床模式已经发挥并将越来越发挥更大的作用。提高物探、化探方法在地质找矿勘查中的应用效果和经济效益，地质-地球物理-地球化学找矿模型或综合信息找矿模型的指导是不可忽视的。

国际地学界一致认为“多学科综合是矿产勘查获得成功的途径”。随着找矿难度增大，和现代地质勘查方法技术的发展和拓宽，地球物理、地球化学勘查方法已成为地质找矿勘查的一种重要手段，必将发挥愈来愈重要的作用。提高物探、化探方法在地质找矿勘查中的应用效果和经济效益，找矿模型的指导是不可忽视的。

大型、超大型矿床的发现对国民经济发展有着举足轻重的作用。开展大型、超大型矿床的成矿环境、成矿条件，和矿床地质特征的研究已成为世界各国的重要课题。虽然大型、超大型矿床的分布，具有独特性或“点”型特征，但从已知大型、超大型矿床产出的特殊区域地质背景，区域地球物理、地球化学特征，矿床与周围地质、地球物理、地球化学环境的关系等研究矿床的成矿机制和形成规律；进而建立矿床的地质-地球物理-地球化学找矿模型，或简称综合信息找矿模型，作为预测和勘查大型、超大型矿床的“类比”和“求异”的依据，仍然是一种基本的和有效的方法。

---

[1] 戴自希执笔。我国十种急缺矿产找矿重大突破的可能途径和对策。地质矿产信息研究成果（29），中国地质矿产信息研究院，1994。

几十年来，我国矿产资源勘查已积累了大量地学资料，发现了许多世界上独特的和优势的矿产；区域地球物理、区域地球化学调查覆盖面积位居世界前列；大部分矿区不同程度的完成了多种方法的中—大比例尺的物探、化探工作。面临地球科学研究向系统化、信息化的发展趋势，总结我国近半个世纪的地质找矿成果，建立中国大型、超大型金属矿床的综合信息找矿模型系统，是一项十分有意义的工作。这对我国进一步开展矿产资源潜力调查评价，发现和评价新的矿产勘查基地和重要矿产集中区，预测和寻找隐伏的、难识别的大矿富矿，乃至提供有效、合理的勘查方法技术组合与流程，都会有重要的借鉴或参考作用。

二、国内外研究概况

自 1984 年 1 月国际地科联设立了国际“矿床模式项目”以来，矿床模式已被国内外许多地质学家认为是开展矿产勘查和资源评价的有效工具，符合客观实际的矿床模式已经发挥并将越来越发挥更大的作用。截至二十世纪末，有关“矿床模型”方面的专著和文章已发表不少，其研究内容已由成矿模式延伸为找矿模型的研究，即进一步突出了找矿信息；涉及的学科也从狭义的地质学，扩展到地球物理学、地球化学、遥感地质学等领域，现已成为进行矿产资源预测和评价的基础或依据。

我国是矿床成矿模式研究最早的国家之一，“玢岩铁矿模式”（李文达、陈毓川，1974）的公开发表，是我国“成矿模式”研究跨入世界行列的标志。通过几轮国家科技攻关和（地矿）部重点科研项目的实施，完善了建模方法技术的研究；不少矿床（田）已建立相应的成矿模式，部分典型矿床（矿田）还不同程度的建立了地质-地球物理、地质-地球化学或地质-地球物理-地球化学找矿模型。1993 年出版了《中国矿床成矿模式》（陈毓川、朱裕生等），书中肯定了“应用矿床的成矿系列理论，结合相邻学科——地球物理勘探、地球化学勘探和数学地质方法，建立区域成矿模式，矿床成矿模式和找矿模型是我国对成矿模式研究独创的理论方法和途径。”1996 年献给第三十届国际地质大会的《中国主要类型金矿床找矿模型》（邹光华，欧阳宗圻，李惠等），是第一部对我国主要类型金矿床综合找矿模型的专著。

至今，国内外已提出不少典型矿床（矿田）的成矿模式和找矿模型的范例，但大多缺乏对矿床更深层次的、微弱的、难识别的或直接的、间接的找矿标志或矿化信息较全面的分析，尚少见对重要矿种不同矿床类型进行系统的格式统一的总结；更未见到利用计算机技术构建的“矿床模型（式）库”等。为了更好地利用成矿模式和找矿模型指导矿产资源的勘查与评价，系统地研究和建立我国大型、超大型金属矿床的地质-地球物理-地球化学找矿模型和模型库，是一项有意义的工作，也是一项较大的系统工程。

第二节　地质-地球物理-地球化学找矿模型的一些基本概念

一、地球物理、地球化学勘查

1. 地球物理勘查

地球物理学是用物理学的理论和方法，研究地球的状态、性质、结构、物理现象和物

理过程的一门学科。地球物理勘查是地球物理学的一个分支，简称为物探，是应用物理学的原理、方法和仪器，探寻地下地质结构和矿产资源的一种地质勘查方法技术。其主要优点如下。

——不仅可以了解地表或近地表的地质现象，还可获得深部地质信息。所以，物探所反映的地质现象的深度大，范围宽（从几十公分到几百公里）。

——可以获得多种地学参量和丰富的地学信息。它是深部地质调查的基本方法，也是现代矿产资源勘查不可缺少的手段。近年来，在工程勘察与检测，地下水资源调查与勘测，环境调查与检测，以及某些非地学领域方面的应用已越来越广泛，作用也越来越重要。

——物探的科技含量高，比较容易吸收和引进现代科学技术的最新技术成果，是一种经济而快捷的地质勘查方法技术。

物探方法尚存在以下缺欠。

——物探异常的数学解释及地质解释结果均存在着多解性。

——作为一种固体矿产勘查方法，目前除用磁法找磁铁矿或含磁铁矿物较多的矿体，用放射性测量找铀矿或与铀矿伴生的矿体，以及用电法、重力法寻找相对（埋深）规模较大的块状硫化物矿体外，一般不能以矿体作为直接探测目标。

2. 地球化学勘查

地球化学是研究地球各部分化学元素及其同位素的分布、存在形式、共生组合、集中与分散、迁移与循环等规律的一门学科。地球化学勘查是地球化学的一个分支，“是对自然界各种物质中化学元素及其他地球化学特征的变化规律进行系统的调查研究的全过程。”❶简称为化探。其主要的优点如下。

——可以了解和探测地质体的微观标志，并具有突出的直接性或直观性。

——可用于寻找和发现难识别的（如贵金属、稀散元素、低含量的金属矿等）、隐伏的勘查对象。

——具有快速、轻便及勘查成本较低的特点。

化探作为一种固体矿产勘查方法，尚存在着以下缺欠。

——受分析技术检出限与精确度的局限。

——目前的方法技术，对解决或确定探测对象的空间几何参数的功能较差。

二、物探化探异常

1. 异常的含义

广义而论，地质勘查所指的异常主要有两类，一类是人们直接观察和分析得到的异常地质现象和产物，亦可称为地质异常，如构造的变形、接触热变质带、围岩蚀变、近矿矿物晕等等；另一类是通过仪器观测或分析测试得到的相对正常值的偏差，物探异常与化探异常即属于后一类。

物探、化探异常即地球物理、地球化学异常，是相对地球物理、地球化学正常场或区

---

❶ 地球物理地球化学勘查标准汇编（化探、遥感部分），见：地质矿产勘查标准汇编丛书．地质矿产部地质调查局，1996年8月

域场的偏差。一般而言，矿产的存在往往会产生不同性质、不同规模的物探异常与化探异常，但物探、化探异常并不一定都是矿所引起的。构建地球物理-地球化学找矿模型，必须分析和研究矿及与矿有关的各类异常

2. 物探化探异常分类

（1）按异常性质划分。物探异常：根据异常的物理性质可分为重力异常、磁力异常、电（电磁）异常、放射性异常、地震波组（频率、振幅、相位）异常等。

化探异常：按采样介质可分为岩石异常、土壤异常、水系沉积物异常、水化学异常等；按化学元素又可分为各单元素异常、元素组合异常、元素不同相态的异常等；根据其形成又可分为原生异常（同生异常）、次生异常（后生异常）等。

（2）按引起异常的地质因素划分。矿异常：即与矿有关的异常。按成矿作用的范围，又可分为矿带异常、矿田异常、矿床异常、矿体异常等；根据异常相对矿体的部位，又可分为矿上或前缘异常、近矿异常、矿下或尾部异常、侧向异常等。

构造异常：如断层、褶皱、断裂带、岩体接触带异常等。

岩体异常：即各种岩浆侵入、喷溢形成的岩体所引起的异常。

岩性异常：如某一时代的地层，某种岩相或建造引起的与岩性有关的异常。

深部异常：主要是由地壳深部构造及其岩石结构差异引起的异常。

（3）按异常范围划分。按异常范围的尺度划分异常，如地球化学省、区域物探异常、区域地球化学异常，以及不同级次的局部异常等。

（4）按相对于正常场或区域场偏差值的高低划分。如正异常，负异常；强异常，弱异常、低缓异常等。

（5）按异常的意义划分。异常有意义与无意义是相对的。一方面决定于地质勘查的目标任务；另一方面又往往受人们对异常认识阶段或认识水平的局限。一般可如下分。

有意义异常：除矿致异常外，在进行间接找矿时，某些与控矿因素有关，或与成矿活动有关的某种地质现象引起的异常，亦可作为有意义的异常。

无意义异常：包括某些地形、地貌或表生地质作用引起的假异常；以及某些非地质因素如人文活动、天气变化等造成的干扰异常。此外，某些地质因素引起的干扰异常，如与成矿活动无关的某种岩性异常、构造异常、非金属矿化异常等亦属此类。

三、找矿标志与矿化信息

1. 探测目的物与目标物、直接找矿与间接找矿

原地质矿产部部颁《固体矿产普查物探化探工作要求》（DZ59-88）中有解释如下。

（1）目标物是相对目的物而言。在矿产普查工作中，普查的最终对象是矿体（矿床），目的物就是矿体（矿床）；而目标物则是物探化探方法可以探测的某些地质体（包括矿体）。

（2）以直接探测矿体、矿床、矿田信息为目标的工作称为直接找矿；以探测矿体、矿床、矿田有紧密或直接联系的地质体的信息为目标的工作称为间接找矿。在直接找矿时，目标物即目的物；在间接找矿时，目标物是与目的物有某些联系的地质体。

2. 找矿标志

标志即某种特征。找矿标志即矿化作用所显示或所反映的特殊地质现象，或关于探测

目标物或目的物的地质、地球物理、地球化学的辨识特征。它是找矿的重要线索，也是勘查者研究和探索的重要对象。常用的几种分类列于表 1.2.1。

表 1.2.1 找矿标志分类表

按学科分类	按性质分类	按构成分类	按实用分类
• 地质分类标志	• 确定性标志	• 一次标志	• 直接标志
• 地球物理标志	• 不确定性标志	• 二次标志	• 间接标志
• 地球化学标志	——随机性或统计性标志	• 组合标志	• 预测标志
• 遥感地质标志	——模糊性标志		

与综合信息找矿模型有关的主要标志如下：

（1）地质标志：包括矿体存在的标志，矿化存在的标志，成矿地质条件及成矿地质环境的标志等。

（2）地球物理标志：指实测地球物理场及物性参数、变换后的地球物理场及其他参量在空间的特征分布。目前，地球物理标志一般不能直接作为矿化标志，大多是作为某些地质标志的标志。

（3）地球化学标志：包括成矿元素及其伴生元素，和与成矿有关的地质条件、地质环境的某些指示元素或化合物的空间分布晕。

3. 矿化信息

信息作为一个科学概念，是 1948 年香农首先在通讯领域中提出的。随着近代科学技术的发展，信息概念已广泛渗入并应用于各个领域，其定义有所不一样。

根据矿床地质特点，认为在找矿模型中采用："信息是物质和能量在空间、时间上分布的不均匀程度"的定义较为适宜。矿化信息可理解为：成矿地质作用在空间上（地质成矿背景、成矿环境所形成的或所引起的地质场、地球化学场、地球物理场等）、在时间上（主要地质事件，如成矿期、成矿阶段等）不均匀分布的反映。即矿化信息是反映矿化或与矿化作用有关的地质标志，以及蕴涵于地球物理、地球化学场或物探、化探异常中与矿化作用有关的标志。

四、模式与模型

模型与模式两个词的含义有些接近，因此在使用时常常混乱，有人将它们作为等义词对待，其实两者是有区别的。在英文中也有两个相近的词汇，即"Model"和"Pattern"，它们的解释中有部分是同义的，却又不尽相同。

根据十多种对模型、模式的解释或定义，我们认为《软科学知识辞典》的解释较为适宜。

1. 模型

"是对客观实物及其运动规律的描述、模仿、映象或抽象"。

作为模型，必须满足下列三个条件：

（1）与原形之间具有相似的关系，称之为相似性或类比性；

（2）在具体研究过程中能代表原形，称为代表性；

(3) 对它做形容能得到关于原形的信息，并可依其进行预测，即具有外推性。

模型分类方式很多，图 1.2.1 为全面考虑了模型的内容、形式和作用而归纳的一种分类方式所概括的模型分类。其中概念模型是根据经验、知识和直觉形成的；思维模型不容易交流；描述模型具有高度的概念化。

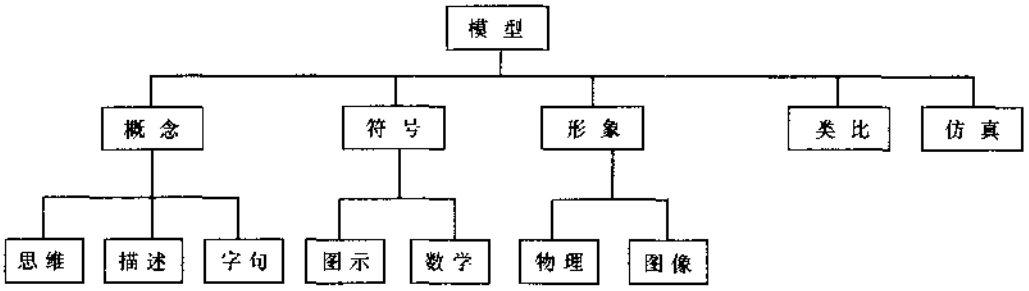


图 1.2.1 模型分类框图

2. 模式

"是对现实事件的内在机制以及事件之间关系的直观和简洁的描述。它是理论的一种简化形式，能够向人们表明事物结构或过程的主要组成部分，以及这些部分之间的相互关系。…"

3. 采用的定义

根据上述对模型与模式的解释或定义，可简括模型主要是对事物形式的简化、抽象；模式主要是对事物内在的简化、抽象。由于对事物形式描述会涉及其某些内在因素，而对事物内在描述时，又往往会采用某种形式表达。所以，模型与模式这两个概念内涵上有区别，而外延有部分重叠，这也是两者容易混同的缘故。

五、成矿模式与找矿模型

1. 成矿模式

目前，成矿模式尚无统一的定义，但矿床地质学家对其内容与含义的解释却是大同小异的。

据《中国矿床成矿模式》(陈毓川、朱裕生等，1993) 的解释："成矿模式是对形成矿床的成矿作用从四维空间进行的高度概括，以不同的形式和深度，不同的内容给予表达，并随矿床学理论研究的发展而逐步深化。"

有色金属勘查系统的专家认为："成矿模式是对一组相似矿床的成矿过程和成矿机制的理解，是控矿因素在各个环节所起作用的高度概括的一种综合表达形式。"❶

由于地质作用的复杂和找矿实践的局限，决定了成矿模式有以下特点：

(1) 是成矿过程、成矿机制、成矿规律的高度概括，即具有概括性；

(2) 仅代表某一特定地质环境，特定地质成矿条件的研究成果，即具有地区的局限；

(3) 受工作程度的制约，并随研究的深入而不断完善，即属阶段性成果，具有一定的

❶ 梅友松，汪东波。铜矿找矿中若干问题的研究，见：中国铜矿找矿新进展。中国有色金属工业总公司地质勘查总局，1993。

不确定性。

2. 找矿模型

找矿模型是在成矿模式基础上，突出了矿化信息，明确了探测的目标及其形成的或引起的各类标志；一个完善的找矿模型还应包括一套相应的勘查方法组合与流程。所以，找矿模型是成矿模式的延伸，找矿实践的升华；它既包含成矿模式的基本内容，又具有较强的实用性。简言之，找矿模型是找矿标志、矿化信息及勘查方法的集成或归纳。

与成矿模式比较，找矿模型具有更强的地区局限性，其应用效果一方面取决于选定的模型要素是否典型，是否具有可类比性；另一方面还取决于所类比地区地质成矿环境与成矿条件的类似程度。

第三节　地质-地球物理-地球化学找矿模型的构成要素

一、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 含义与作用

地质-地球物理-地球化学找矿模型简称为综合信息找矿模型，是勘查目的物或目标物及其周围地质背景或环境的地质、地球物理、地球化学特征或信息的抽象集成或总结归纳，以文字、表格、图形等方式的综合表述。

模型可用于中—大比例尺找矿靶区优选，指导地质找矿勘查选区，合理、有效的勘查方法技术选择，以及物化探资料的分析研究、综合解释等。

2. 分类

(1) 根据模型的抽象、简化程度分类。实际模型或具体模型：是以某个勘查目标（如矿体、矿脉群等）为对象建立的模型，多以矿床为表示单元。

概括模型：是根据类型相同或相近的多个矿床的具体模型，进一步归纳、抽象或概括的模型。

(2) 按模型表达形式分类。文字描述式模型：按模型的构成要素，对矿床的综合特征，分别以言简意赅的文字予以逐项描述；特点是模型的要素较完整，信息容量大，建立方法简便。

表格式模型：将模型的构成要素，以统一的表格形式列出；特点是简单扼要，便于模型间的对比。

图形式模型：将建模对象的主要特征，多以剖面（断面）形式绘制成图；特点是一目了然。由于要求有翔实的基础素材，地球物理部分还须通过计算、模拟及演绎得出量化图形，因此编绘难度较大，一般常以示意图式表达。

(3) 为了使建模矿床，能够提出比较完整的综合信息找矿模型系列，对于一些物化探工作程度较低或未曾开展过物探、化探工作，或者搜集不到资料的矿床，可建立如下模型。

示意模型：即根据矿床的成矿模式或简化地质模型，及其与地质体相应的一般岩矿石物性特征和地球化学参数特征，示意性地建立的简化找矿模型。

概念模型：根据矿床的成矿模式或简化地质模型，借鉴同类矿床的地质-地球物理-地球化学找矿模型建立的推测性的模型。

二、综合信息找矿模型的构成要素

根据大多数矿床的现有资料情况，综合信息找矿模型主要应包含地质、地球物理、地球化学三方面的要素；既要反映一个建模对象——成矿单元（矿田、矿床或矿体）的地质控矿因素、矿化信息的时空变化规律，又要反映相应地质体（建造、岩体、构造单元等）的物理性质和化学元素的空间分布特征，以及不同地质剥蚀面、不同覆盖状况下各种场的演绎和变化。主要构成要素可包含如下内容。

1. 区域背景

包括：区域地质构造部位（构造单元），背景区地球物理场、地球化学场，最好附“区域背景场剖析图”（同范围、同比例尺的地质、地球物理、地球化学并列图）。

2. 成矿环境

包括：地层、构造、岩浆岩、区域地球化学（微量元素的平均含量，区域地球化学异常特征等）、区域地球物理场，附区域场剖析图。

3. 矿床地质特征

包括：矿体组合分布及产状、矿石构造及主要矿物组合、矿化阶段及分带性、蚀变类型及分带、氧化带、主要控矿因素。

4. 矿区地球物理特征

包括：岩矿石物理性质（参数表及分布特征图示）、物性模型（探测目标物与围岩，以及干扰体的物性模型等）、地球物理异常（平面及剖面图）、干扰体或干扰因素及其影响。

为便于矿床间进行岩矿石物性的对比，根据一般常见岩矿石物性变化范围，表 1.3.1 中拟列出几种物性参数的数值分段，权作划分岩矿石物性特征的参考标准。

表 1.3.1 岩、矿石常见物性分级表

密度		磁性			电性			
分级	$\frac{\sigma}{10^3 kg\cdot m^{-3}}$	分级	$\frac{磁化率\ \kappa}{4\pi\times10^{-6}SI}$	$\frac{剩余磁化强度\ M_r}{10^{-3}A\cdot m^{-1}}$	极化率 η/%		电阻率 ρ/（$\Omega\cdot m$）	
					分级		分级	
极高	>3.30	极强	$>10^5$	$>10^4$	极强	≥50	极高	$n\times10^4$
高	2.80～3.30	强	$n\times10^4$	$n\times10^3$	强	30～50	高	$n\times10^3$
中	2.65～2.80	中	$n\times10^3$	$n\times10^2$	中	10～20	中	$n\times10^2$
低	2.31～2.65	弱	$n\times10^2$	$n\times10^1$	弱	4～9	低	$n\times10^1$
甚低	≤2.30	微	$\leq n\times10^1$	$\leq n\times10^0$	微	<4	甚低	$\leq n\times10^0$

5. 矿区地球化学特征

包括：岩矿石地球化学参数（参数特征表）、地球化学异常（平面与剖面图）、元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标、地球化学异常模型图。

6. 地质-地球物理-地球化学找矿模型

——地质-地球物理-地球化学找矿标志集

——地质-地球物理-地球化学找矿模型图

——地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

7. 地质、地球物理、地球化学特征简表

表×.×.A　矿床（田）地质特征简表。

表×.×.B　矿床（田）地球物理特征简表。

表×.×.C　矿床（田）地球化学特征简表。

第二章　铜镍（钴）硫化物型矿床

第一节　甘肃金川铜镍矿床

金川铜镍矿床[1][2]位于甘肃省金昌市，为世界第二大铜镍矿床，可采矿石几乎占超基性岩体的一半，且含有丰富的铂族元素组分。

一、区域背景

金川矿区位于华北地台西北部阿拉善地块西南缘的龙首山隆起，隆起南接北祁连褶皱系的走廊过渡带，北为地块内部区。

区域重力场呈规模较大的北西向梯级带，自南向北场值增高（图 2.1.1）。重力梯级带与龙首山隆起对应（图 2.1.2）。相应磁场较复杂，其总体呈带状沿龙首山隆起分布，横向上正、负磁场相间排列，北部和南部为正磁场或呈相对正磁异常，中部磁场降低。

区域地球化学场显示 Ni、Co 两元素密切相关（因区域岩石样品分析精度低，仅见 Ni、Co、Cu、Au4 种元素的资料），其高背景区与白家咀子超基性岩带基本符合，异常中心部位多与基性—超基性岩体对应；区域中部 Cu 元素含量偏高，南、北两侧含量较低；Au 元素，除矿区附近含量稍高外，其他地区普遍偏低。

二、成矿环境

1. 地层

龙首山隆起出露地层自下而上为：古元古界—太古宇前长城系（龙首山群），中、新元古界长城系、蓟县系、震旦系和寒武系，以及上古生界和中—新生界。其中前长城系龙首山群下部白家咀子组为金川含矿岩体的直接围岩，主要岩性为蛇纹石化大理岩、黑云片麻岩、二云石英片岩和条带状混合岩等。龙首山群上部为塔马子沟组，与白家咀子变质岩系呈不整合或假整合接触。

2. 构造

区域构造以 NW 向、EW 向为主，SN 向、NE 向、NNE 向构造亦有显示，含矿岩体受 EW 向构造与 NW 向构造带复合部位控制。

3. 岩浆岩

白家咀子超基性岩带内大小百余个超基性岩体，均呈岩墙、岩脉、透镜体等单斜产出。金川含矿超铁镁质岩体为该超基性岩带中最大的一个，出露面积 1.34km^2，呈不规则

[1] 汤中立，李文渊。金川铜镍硫化物（含铂）矿床模式及区域成矿预测。甘肃省地质矿产局，金川有色金属公司，1993。

[2] 汤中立等。金川铜-镍矿床地质野外考察指南。国际硫化矿床专题学术讨论会《野外考察指导书》，1991。

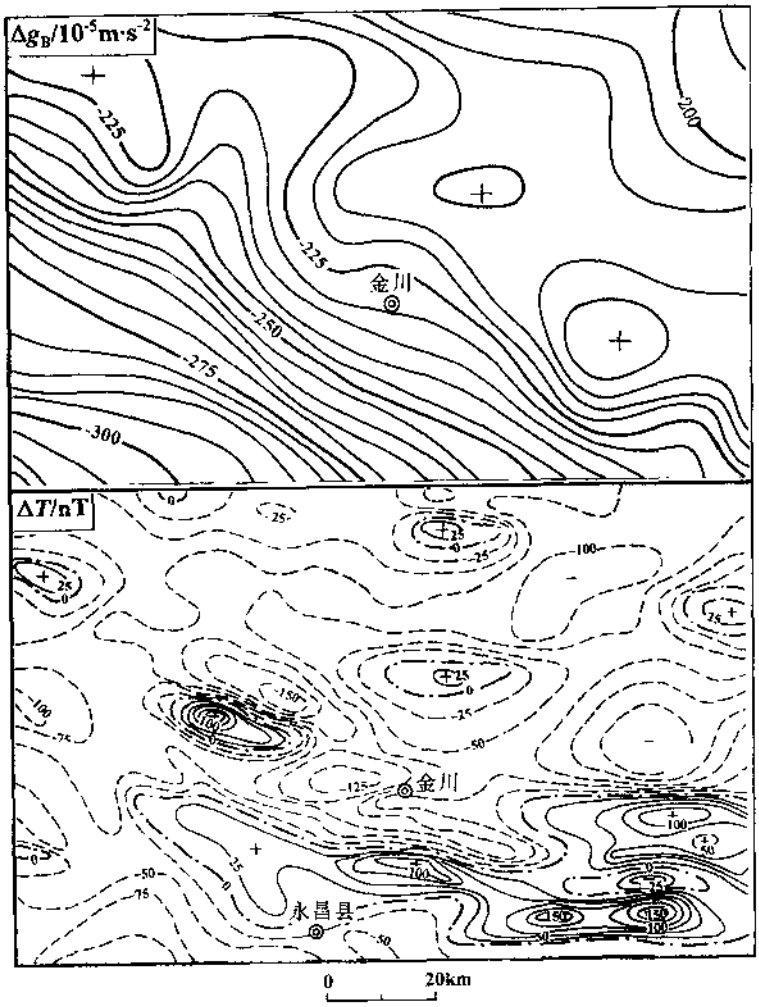


图 2.1.1　龙首山地区区域地球物理场剖析图

（据 1:250 万全国布格重力异常图，1:100 万兰州幅和西宁幅航磁异常图编绘）

陡倾斜岩墙状产出，倾向 SW40°，倾角 50°～80°。由于 NEE 向扭性断裂的影响，岩体被切成四段，分属四个矿区。

金川岩体为硅酸盐岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆沿同一控岩构造分四期上侵、贯入形成的复式岩体，主要岩性为纯橄榄岩、含二辉橄榄岩、二辉橄榄岩、斜长二辉橄榄岩。不同期次岩浆形成的岩相不同：第一期中细粒结构岩相——含二辉橄榄岩，主要分布于Ⅰ、Ⅲ矿区岩体的中上部；第二期中粗粒结构岩相——含二辉橄榄岩，主要分布于Ⅰ、Ⅲ矿区岩体的中下部；第三期中粒结构岩相——纯橄榄岩，发育于Ⅰ、Ⅱ矿区的岩体内。同一粒级岩相，不同岩石类型之间呈渐变过渡关系；不同粒级岩相，不同岩石类型之间呈突变关系，其岩性由中心向外基性程度依次降低。

含矿岩体含斜方辉石，Fe、Mg 含量高，而 Si、Ti、Al、Ca 含量低。

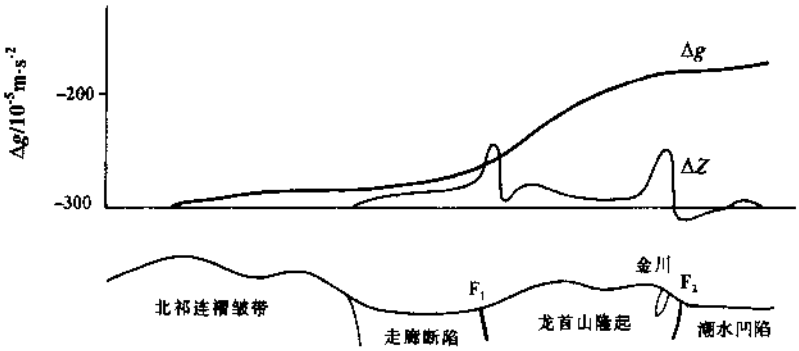


图 2.1.2　龙首山地区区域重、磁场横剖面略图

（引自汤中立等，1993；原资料图上 ΔZ 曲线即无参数坐标）

4. 区域地球化学

1）微量元素的平均含量

金川岩体的直接围岩前长城系变质岩系的微量元素平均含量与区域平均值（表 2.1.1）差异不大，白家咀子超基性岩带中岩体的微量元素平均含量与区域平均值相比，除 As、Pb、W 为贫化元素外，表 2.1.1 中其余元素的富集系数均大于 1，尤其是主要成矿元素 Cu、Ni 及 Co 更为富集（系数大于 4），说明地层与成矿无直接关系，而超基性岩为主要赋矿岩体。

表 2.1.1　龙首山地区与主要地质单元主要微量元素平均含量表

地质单元	Ag	As	Au	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	V	W	Zn	备　注
龙首山区	0.07	8.34	0.67	12.31	17.91	491.74	14.12	18.31	26.81	30.32	32.90	
前长城系（AnCh）	0.07	6.06	0.73	12.25	20.18	311.17	16.44	16.60	32.36	27.04	41.78	n = 200 组 Au 为 189 组
白家咀子超基性岩	0.07	6.96	1.25	77.62	75.16	1064.14	118.58	6.15	85.70	9.35	90.78	n = 34
辉石橄榄岩	0.048	1.0	0.71	103	24	635	1390	19	72	0.27	55	鄢明才等（1997）

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余为 10^{-6}。　　引自汤中立等资料，1993。

2）异常元素组合与分布

①白家咀子超基性岩体 34 件样品 R 型聚类分析，按相关系数 0.33 可将元素分为八类，第一类为 Co、Ni、Mn、Cu、Mo 等五种元素，其他七类均为单一元素，显示与超基性岩有关的成矿作用主要为岩浆熔离作用。

②1∶5 万土壤测量●，沿金川岩体有 Ni 的外带、Co 的中、外带异常，两者形态相似，均呈北西向分布（图 2.1.3）；Cu、Au 异常分布在岩体中心，两者形态极为相似，并具有清晰的浓集中心和浓度分带；Ag、V、La 异常弱，分布零散，主要出现在白家咀子组的混合岩分布地区。

● 范沛文等。甘肃省龙首山红寺湖—红崖山一带 1∶5 万化探普查报告。甘肃省地质矿产局第六地质队，1990。

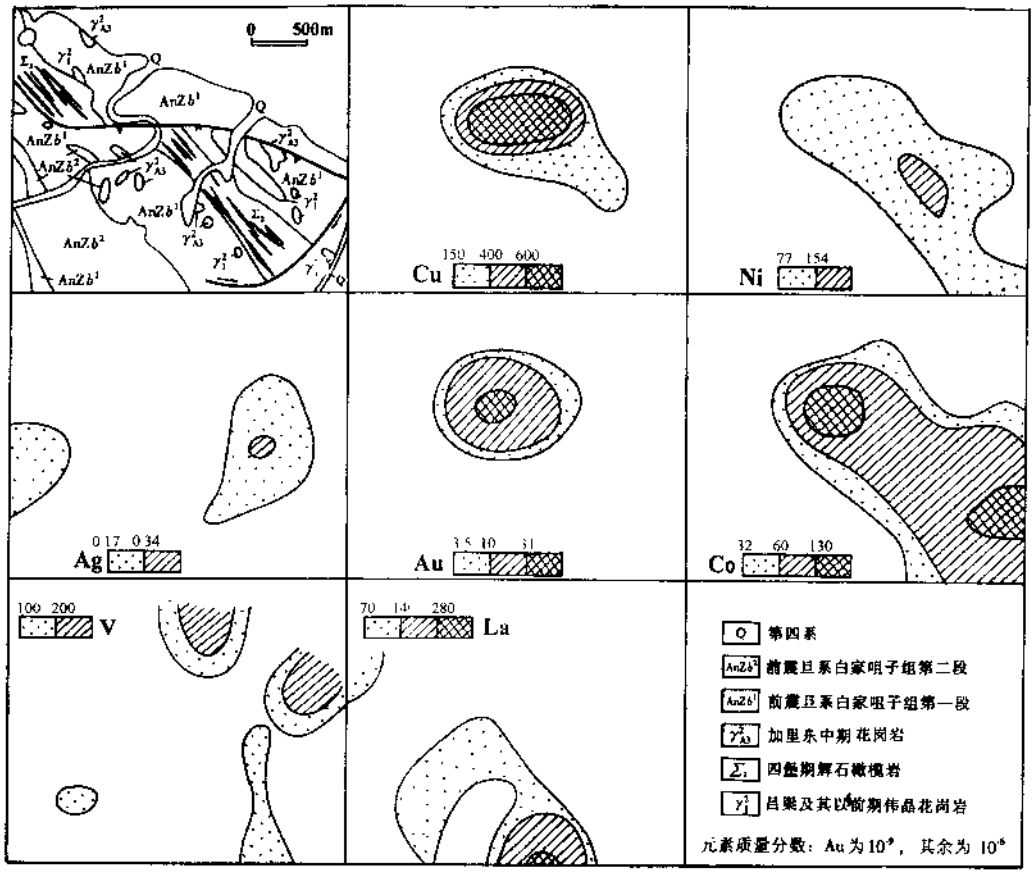


图 2.1.3　金川矿区土壤地球化学异常图

（据范沛文等 1990 资料编）

5. 区域地球物理场

白家咀子超基性岩带位于区域重力梯级带的北缘和北部正磁异常带中（图 2.1.2），该磁异常带的背景磁场约 50nT，其上叠加有多个局部异常，强度一般为 100～250nT。

金川岩体航磁异常强度 400～700nT，北侧伴有明显的负磁异常。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿体赋存在岩体下部，达数百个之多，与岩体产状基本一致。一般呈不规则透镜状，个别呈脉状，沿走向和倾向都有膨缩变化与分支、复合现象。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造有稀疏浸染状、稠密浸染状、块状、海绵状、星点状、角砾状等。主要金属矿物有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿，其次为方黄铜矿、墨铜矿、含镍黄铁矿、铜镍铁矿、含铜镍黄铁矿，其中磁黄铁矿是矿石中最主要的金属硫化物。脉石矿物主要有镁橄榄石、贵橄榄石、古铜辉石、普通辉石等。

矿石中有益伴生组分有 Pt、Pd、Au、Se、Co、Te 等。

3. 矿化阶段及分带性

矿化阶段与岩浆形成期次相同，第一期硅酸盐岩浆控制了少量星点状矿体；二期含矿岩浆形成厚大的似层状、透镜状和星点状矿体；三期富矿岩浆贯入形成海绵状矿体，其铜、镍储量约占全矿 85%；第四期矿浆贯入由块状矿石组成的脉状、扁豆状矿体。

含矿岩体的底部以深熔-贯入型富矿为主，其上为深熔-贯入型贫矿；熔离型星点状贫矿呈扁豆状分布于上两类矿体之上。

4. 蚀变类型及分带

围岩蚀变不发育，仅接触面附近围岩有接触变质及蚀变现象，与岩体有关的有蛇纹石化、菱镁矿化、滑石化、碳酸盐化；大理岩出现橄榄石化、透闪石化、透辉石化等。

5. 氧化带

氧化带中因含有褐铁矿、赤铁矿、孔雀石、蓝铜矿、胆矾、碧矾等次生矿物而呈现黄、红、绿等鲜艳的色彩。

6. 主要控矿因素

槽、台过渡区交接部位的（超壳）深断裂带为控岩构造。

沿深断裂带多次侵入，深部分异的超铁镁质复式岩体（纯橄榄岩、二辉橄榄岩、斜长二辉橄榄岩）为成矿岩体。

位于前长城系龙首山群下部白家咀子组地层分布区。

四、矿区地球物理特征[1]

1. 岩、矿石物性参数

根据矿区岩、矿石磁性和极化率参数统计（表 2.1.2）有结果如下。

（1）矿石、超基性岩、蛇纹石化绿泥石化透闪石化片岩具中磁性，中性侵入岩和部分变质岩具弱—中磁性，其他类岩石则磁性微弱。

（2）原生矿石具强极化，矿石氧化后极化率降低；蛇纹石化绿泥石化透闪石化片岩和超基性岩为中—高极化，其他岩石极化率较弱。

2. 物性模型

根据Ⅱ矿区 22 行钻孔物性断面和表 2.1.2 中矿区岩、矿石物性参数，按统一物性数值分段描绘的金川铜镍矿床物性模型（断面）示于图 2.1.4，相应物性-地质体的物性特征见表 2.1.3。

（1）矿石与容矿岩石（超基性岩）间存在极化率及密度的明显或较明显差异。

（2）超基性岩与围岩间有明显的磁性和极化率差异。

（3）蚀变片岩可能形成激发极化的干扰异常。

3. 地球物理异常

航磁 ΔT 异常：沿矿区北侧大断裂，呈北西西向展布（图 2.1.5），其间 200 ~ 300 nT 等值线形成的封闭与金川岩体对应，且较好地划分了被横向断裂分割的不同埋深的四个岩块异常。地磁 ΔZ 异常与航磁异常相似。

---

[1] 李春贵。甘肃永昌县白家咀子Ⅱ、Ⅲ矿区物（化）探详查报告。甘肃综合地质大队物探队一分队，1964。

表 2.1.2　金川铜镍矿区岩、矿石物性参数统计表

岩、矿石名称	磁性					电性		
	块数	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI		$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}		块数	η/%	
		常见值	变化范围	常见值	变化范围		常见值	变化范围
原生矿石	23	4.67×10^3	$(1.4\sim9.5)\times10^3$	8.17×10^3	$(2.0\sim2.2)\times10^3$	27	32.4	12.6～87.6
氧化矿石						4	7.6	1.6～36.9
超基性岩	428	3.51×10^3	$1.0\times10^2\sim4.67\times10^4$	7.45×10^2	$<10^0\sim1.54\times10^4$	322	19.8	0.7～85.5
(部分)超基性岩						164	8.8(剔除三种 $\eta>10\%$ 岩石)	
中性岩	44	2.8×10^2		1.41×10^2		42	2.28	
角闪岩	25	1.8×10^2		1.76×10^2		26	1.9	0.6～8.2
闪长岩	19	4.1×10^2		0.95×10^2		16	2.9	1.2～11.7
花岗岩	34	$<10^1$		$<10^0$		32	2.0	0.8～3.9
片麻状花岗岩	11	4.3×10^2	$<10^1\sim1.1\times10^3$	1.00×10^2	$<10^0\sim3.0\times10^2$	11	2.9	2.2～4.8
大理岩	63	$<10^1$		$<10^0$		49	1.1	0.4～4.3
混合岩	52	6.0×10^2	$<10^1\sim5.1\times10^3$	2.00×10^2	$<10^0\sim1.4\times10^3$	50	3.4	1.2～5.9
蛇纹石化、绿泥石化等蚀变片岩	5	4.88×10^3		9.50×10^2		5	18.6	1.9～54.6
其他片麻岩、片岩	13	$<10^1$		$<10^0$		10	4.0	1.5～15.6

据李春贵 1964 年资料整理。

表 2.1.3　金川铜镍矿区物性体分类及其物性特征归纳表

编号	物性地质体	密　度	磁　性	极化率	电阻率	备　注
⑦	矿体——铜镍（富）矿	高密度	中磁	强极化	甚低阻	探测目标物Ⅱ
⑧	超基性岩体	中～高密度	中磁	中极化	中阻	探测目标Ⅰ或目标Ⅱ围岩
⑨	变质岩系	低～中密度	微～中磁	微～弱极化	中阻	探测目标Ⅰ之围岩
⑩	片岩	低～中密度	中磁	高极化	中阻	干扰体

(1) 含矿岩体出露地表（Ⅰ、Ⅱ矿区）

磁异常：ΔZ 异常杂乱（图 2.1.7），总体形态和分布与岩体对应很好，岩体上及其南部为正磁异常，$\Delta Z_{max}>3000$ nT；北侧负磁异常明显，以其极小值联线可大体圈定岩体的北界。剖面上，ΔZ 曲线呈锯齿状，异常的形态特征基本反映岩体的产状及磁化方向，并可借以确定岩体的地表边界。

激电异常：呈条带状，南陡北缓，基本沿含矿岩体展布，其间三个局部异常的视极化率极大值（$\eta_{S\,max}$）分别大于 12%～18%（图 2.1.6）。剖面上，异常呈双峰曲线，η_S 异常范围与深部矿体的矿头对应较好（图 2.1.7）；

重力异常：含矿岩体上对应有明显的重力高，Δg_r 幅度约 0.45×10^{-5}m·s^{-2}，较好地反映了岩体的产状（图 2.1.7）

(2) 含矿岩体有一定埋深（Ⅲ、Ⅳ矿区）

ΔZ 异常规则、圆滑，幅度较岩体出露段降低，$\Delta Z_{max}>1100$ nT；激电异常较零乱，

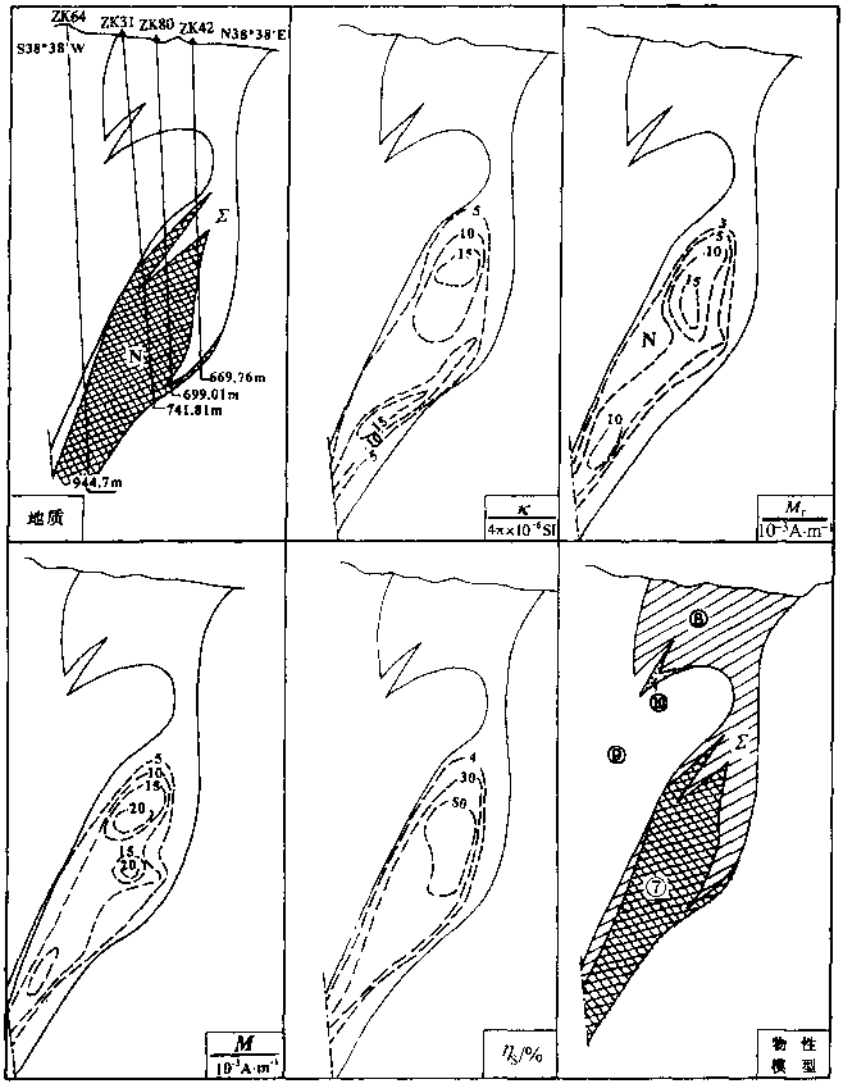


图 2.1.4　金川铜镍矿Ⅱ矿区 22 行钻孔物性断面图

（据汤中立等 1993 年资料重编）

Σ—超基性岩；N—矿体；⑦～⑩物性参数见表 2.1.3

但总体上与含矿岩体分布一致，岩体上 $\eta_{S\,max}>7\%$（注：未收集到图件资料）。

剖面上：ΔZ 曲线南缓北陡，北侧负异常消失，异常较好的反映了岩体位置及其范围（图 2.1.8）❶；η_S 曲线宽缓，与含矿岩体缓倾斜产状相应，峰值为岩体浅部矿化引起；岩体上，有较明显的重力高异常，剩余重力异常 Δg_r 幅度近 $0.35\times10^{-5}\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$，其极大值出现在富矿体上方。

❶ 陆苏民。甘肃某铜镍矿矿区物探工作效果　地质部地球物理探矿研究所编《物探化探研究报导》，1965 年第 1 期。

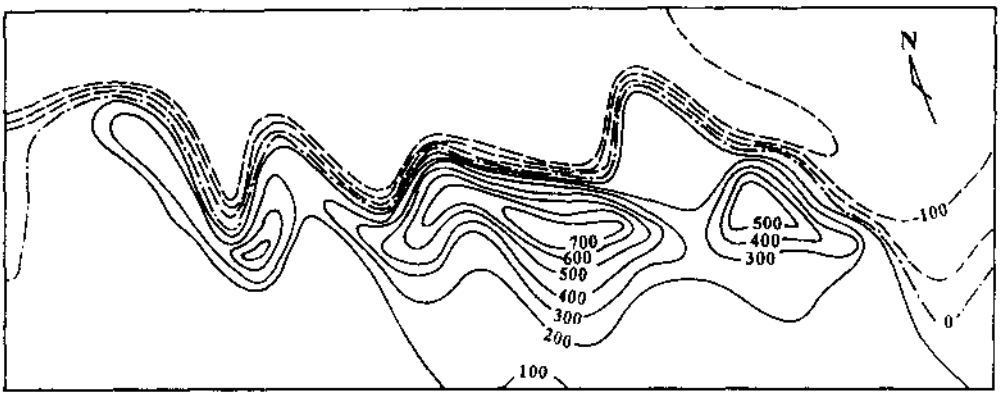


图 2.1.5　金川铜镍矿床航磁 ΔT（nT）平面图

（引自汤中立等 1993 资料）

4. 干扰体或干扰因素及其影响

（1）蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化片岩可能成为应用地磁和激电法圈定超基性岩体的干扰，可根据其异常形态和异常所处地段予以识别，或应用重力测量进行区分。

（2）在岩体中圈定赋矿地段，主要干扰为超基性岩体的岩性不均匀。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

容矿岩石超基性岩具有 Cr、Ni、Co、Cu 极明显的高含量（表 2.1.4），其中 Ni、Cr 含量较区内其他岩石高出几十至几百倍；且 $w(Cr)/w(Co)$、$w(Ni)/w(Co)$和 $w(Ni)/w(Cu)$的比值较区内其他岩石高出很多。超基性岩中 Cr 虽很高，但变化范围不大，即分布较均匀，且与 Ni、Co、Cu 无明显相关关系；而 Ni、Co、Cu 三者之间呈明显正相关，其相关系数分别为：$r_{Cu,Ni}=0.92$，$r_{Cu,Co}=0.71$，$r_{Ni,Co}=0.86$。

表 2.1.4　Ⅱ矿区各类岩石及矿石中主要指示元素的平均值及变化范围

岩石名称 样品件数（n）	Cu	Ni	Co	Cr	元素比值			
	平均值 变化范围（$w_B/10^{-6}$）				$\frac{w(Cr)}{w(Co)}$	$\frac{w(Ni)}{w(Co)}$	$\frac{w(Cu)}{w(Co)}$	$\frac{w(Ni)}{w(Cu)}$
矿石 $n=50$	4687.6 2562～9696	12026.7 3592～31211	356.6 207～622			33.7	13.1	2.6
超基性岩 $n=606\sim637$	83 5～3000	1078 80～7000	50 20～100	2500 1500～5000	50.0	21.6	1.7	13.0
斜长角闪岩 $n=25$	30 5～50	50 12～100	28 7～40	75 10～200	2.7	1.8	1.1	1.7
混合岩 $n=30$	25 5～60	20 5～40	10 5～40	30 5～60	3.0	2.0	2.5	0.8
大理岩 $n=25$	7 5～15	7 5～30	5 5～10	5 5～7	1.0	1.4	1.4	1.0
花岗岩 $n=27$	15 5～50	10 5～50	1 5～20	13 5～40	1.9	1.4	2.1	0.7

岩石引自汤中立等，1993；矿石引自吴承烈等，1996。

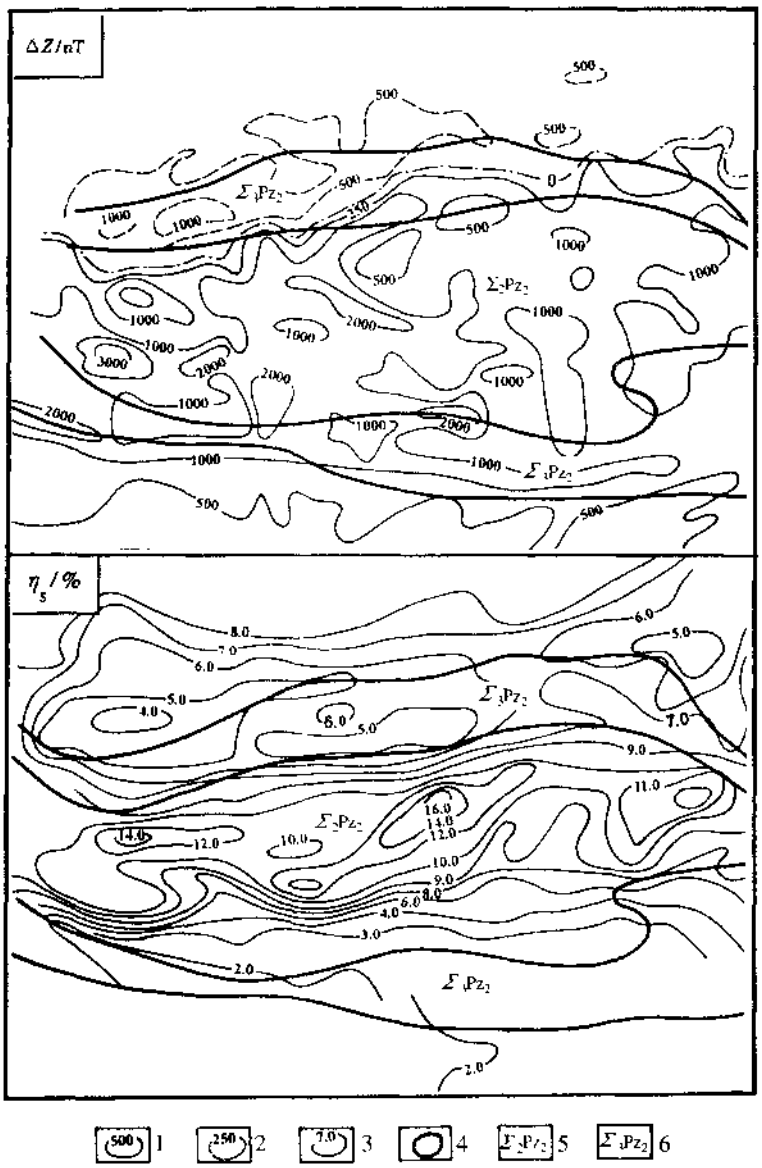


图 2.1.6　金川铜镍矿Ⅱ矿区物探异常平面图

（据汤中立等 1993 编绘）

1—ΔZ 正等值线；2—ΔZ 负等值线；3—η_s 等值线；4—岩体边界线（原资料上、下图岩体边界即不同）；5—含辉石橄榄岩；6—辉橄榄岩

矿石中主要成矿元素 Cu 和 Ni 较容矿岩石分别高出 11.2 和 56.5 倍。Ⅱ矿区 50 余件矿石样的 22 种元素平均含量，及含量变化范围见表 2.1.5。

2. 地球化学异常

在钻孔岩石地球化学异常剖面上，矿体主要成矿元素 Cu、Ni 异常强度大，浓集中心明显，异常形态与岩体分布形态一致，内带异常反映了矿体部位（图 2.1.9）；Co 异常按

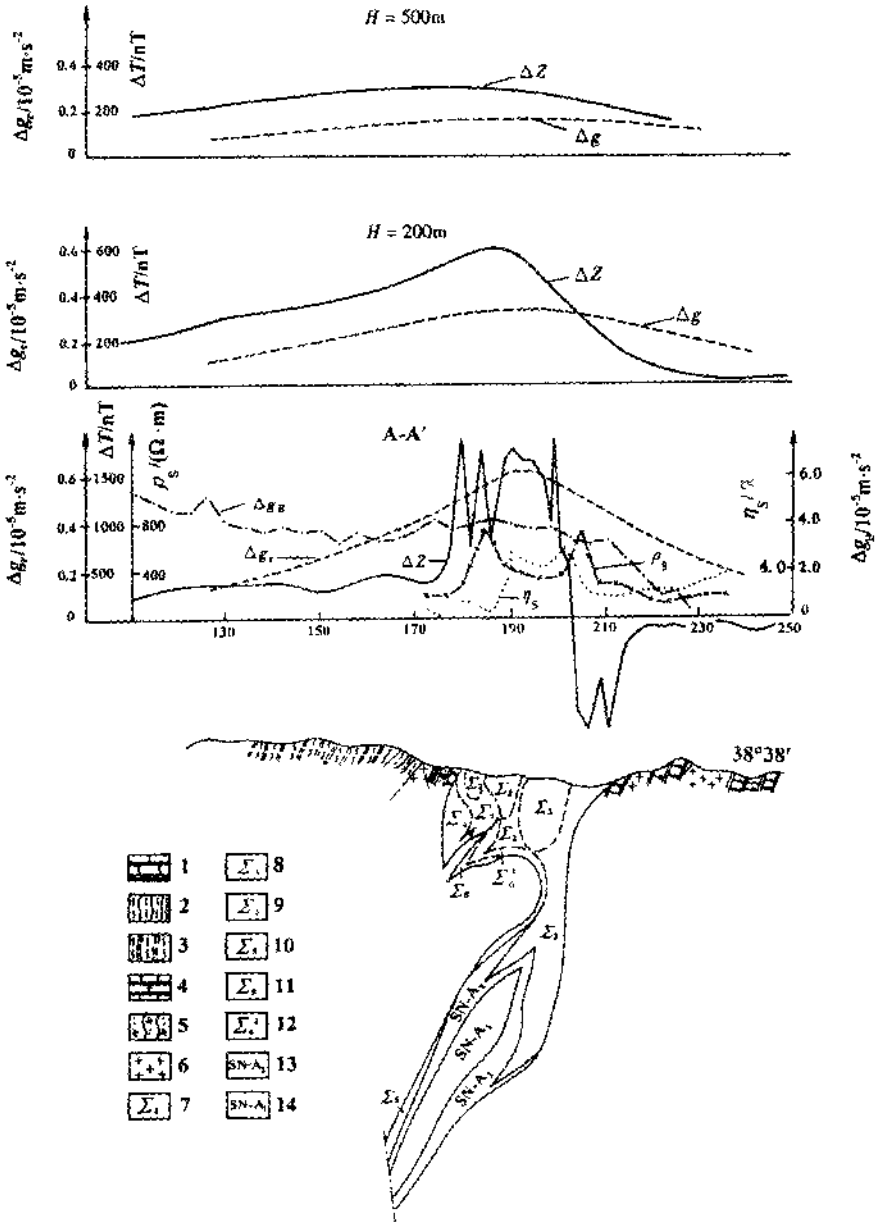


图 2.1.7　金川铜镍矿Ⅱ矿区 22 行物探综合剖面图

（据汤中立等 1993 年资料编）

1—大理岩；2—黑云片麻岩；3—条带状混合岩；4—蛇纹石化大理岩；5—斜长角闪岩；6—花岗岩；7—含辉岩；8—二辉橄榄岩；9—橄榄辉石岩；10—透闪石绿泥石片岩；11—辉石岩；12—斜长橄榄岩；13—表内贫矿；14—表内富矿

（40～60～100）$\times 10^{-6}$的浓度分带，其形态与 Cu、Ni 异常相似，Co 的内带异常对应于矿体部位；Cr 的强异常主要分布在岩体上部，与矿体无明显的对应关系。岩体与围岩接触带处 Cu、Ni、Co、Cr 形成明显的浓度梯度异常；围岩中异常不发育。

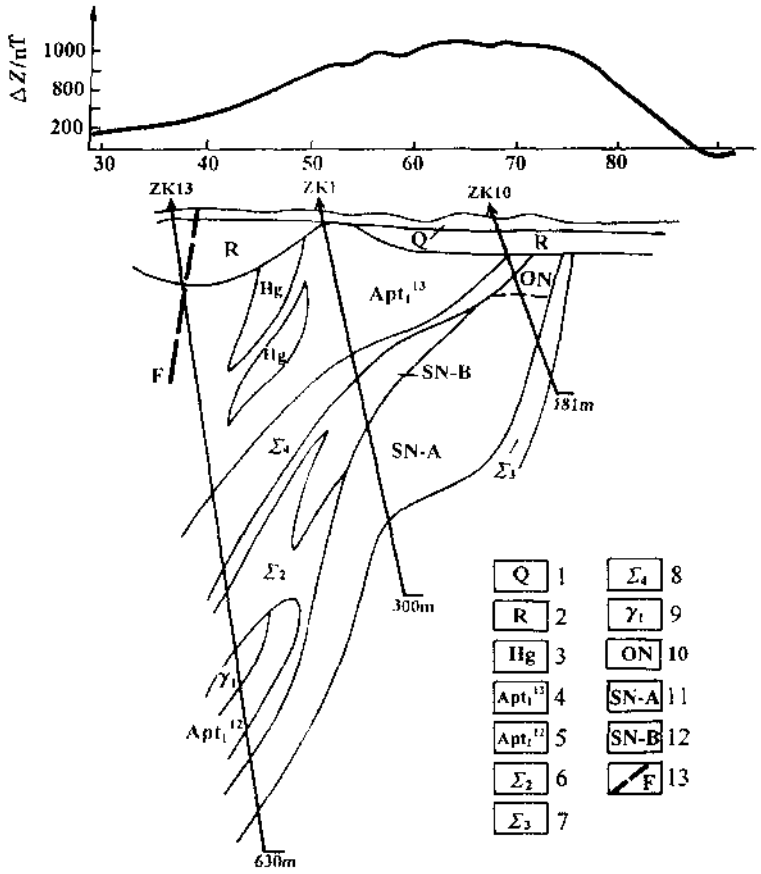


图 2.1.8　金川铜镍矿田矿区磁异常剖面图

（据陆苏民，1965）

1—第四系；2—第三系；3—斜长角闪岩；4—花岗片麻岩；5—片麻岩夹片岩；6—含辉石橄榄岩；7—二辉橄榄岩；8—橄榄二辉岩；9—粗粒白岗岩；10—氧化矿体；11—表内矿体；12—表外矿体；13—平推断层

表 2.1.5　金川铜镍矿区矿石中微量元素的平均值与变化范围

元素符号	Ag	As	Au	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	V	Ba
平均含量	2.2	6.8	51.8	356.6	4687.6	2002.0	12026.7	30.0	143.0	62.8	114.2
变化范围	1.13 ↓ 3.14	2.6 ↓ 17.4	33.4 ↓ 71.5	206.6 ↓ 621.7	2562.4 ↓ 9696.3	1781.1 ↓ 2382.0	3592.4 ↓ 31210.9	22.8 ↓ 47.3	111.0 ↓ 201.4	48.4 ↓ 79.3	67.6 ↓ 155.6
元素符号	Sb	Bi	Mo	Cd	Se	Ti	Ga	Ge	Rb	F	Hg
平均含量	3.0	0.97	0.88	0.62	20.9	4199.6	9.7	0.74	10.1	219.6	6.6
变化范围	0.34 ↓ 9.70	0.45 ↓ 1.90	0.33 ↓ 1.70	0.38 ↓ 1.10	5.31 ↓ 47.30	3536.2 ↓ 4817.1	7.4 ↓ 12.3	0.55 ↓ 0.82	6.6 ↓ 13.8	181.0 ↓ 291.2	5.52 ↓ 9.40

元素质量分数单位：Au、Hg为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　引自吴承烈等，1996。

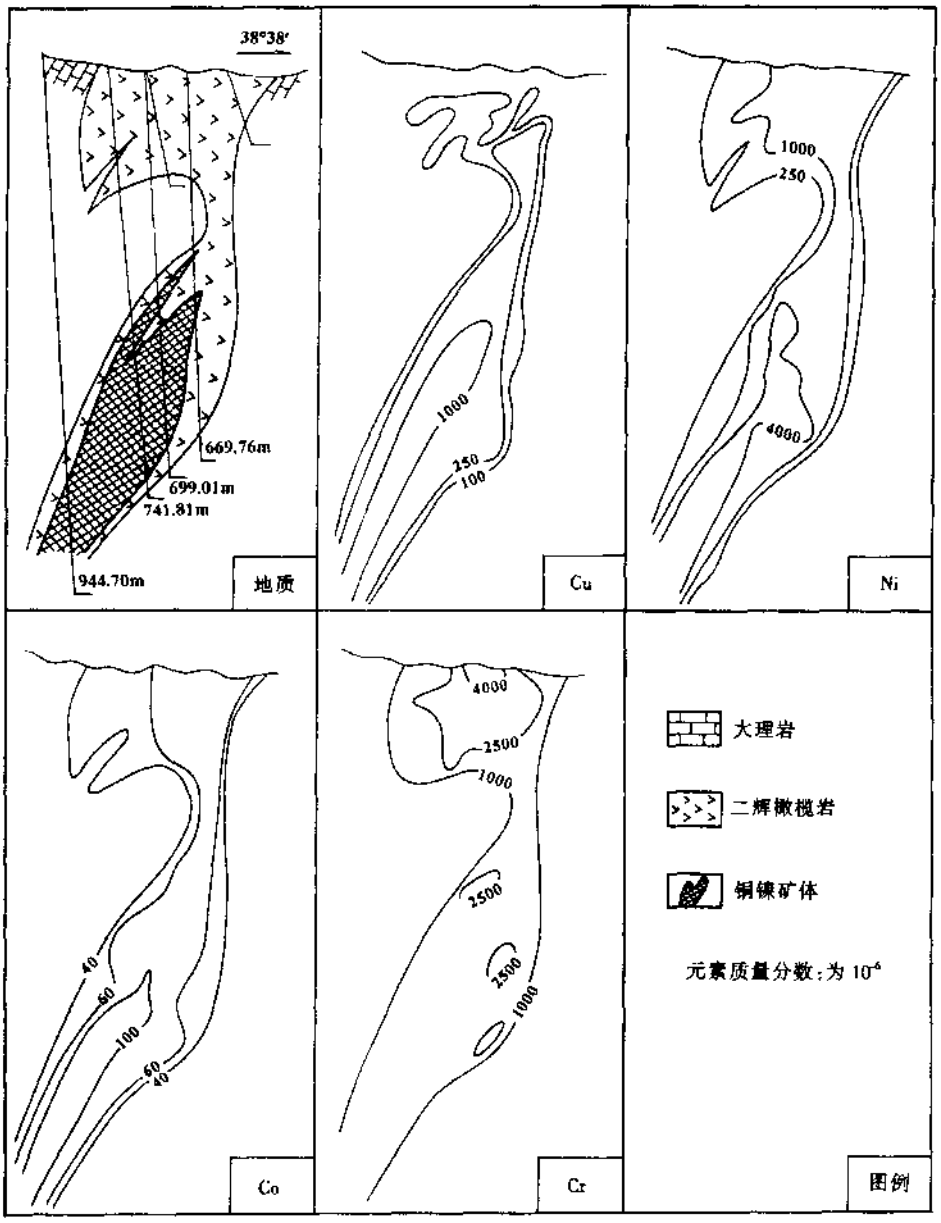


图 2.1.9　金川铜镍矿床Ⅱ矿区 22 行剖面岩石地球化学异常断面图

（据汤中立等 1993 资料改编）

3. 岩体含矿性地球化学标志

含矿超基性岩体的主要地球化学特征是：Ni、Cu、Co 含量高，离散度大，元素间呈明显的正相关；S 平均含量高，且与 Ni 呈显著正相关。

4. 地球化学异常模型

地球化学异常概念模型见图 2.1.10。矿体上方具 Fe_2O_3、MgO、Cu、Ni、Co、Ti、V 强异常，异常范围与含矿岩体对应；Na_2O、K_2O、Rb、F、Ba、Sr异常发育在岩体接触带附

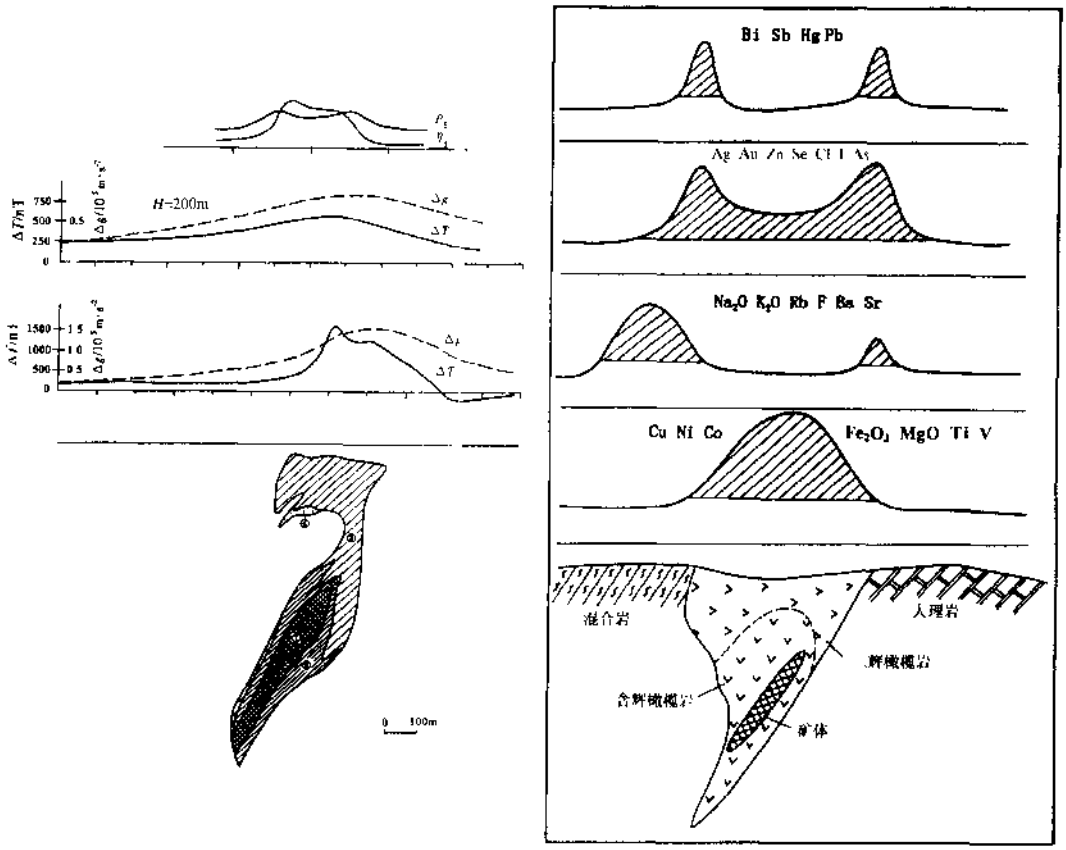


图 2.1.10 金川铜镍矿床地质-地球物理-地球化学模型

左图为地球物理模型（参数见表 2.1.6）；右图为地球化学异常概念模型（据吴承烈等，1996）

表 2.1.6 金川铜镍矿Ⅱ矿区 22 行（测线方位角 38°38′）重、磁异常正演计算参数表

物性体编号	物性地质体	物性体延伸 m	密度差 $10^3 kg \cdot m^{-3}$	磁化强度 $10^{-3} \times A \cdot m^{-1}$	磁倾角	有效磁倾角	磁偏角
①	富矿体	-800～800	0.50	400.0	53°22′	59°49′	-1°46′
②	贫矿体	-1000～1000	0.25	350.0			
③	超基性岩	-1500～1500	0.20	260.5			
④	片岩	-800～800	0.10	200.0			

近，岩体上异常较弱；Ag、Au、Zn、Se、Cl、I、As 在含矿岩体上呈弱异常，接触带处明显增强，且 As 异常向接触带两侧有一定延伸；Bi、Sb、Hg、Pb 仅在接触带处出现异常。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 金川铜镍矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 2.1.7
2. 金川铜镍矿床地质-地球物理-地球化学模型（式）示于图 2.1.10
3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

表 2.1.7　金川铜镍矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	古板块边缘裂谷带，前长城系变质岩分布区，在超壳深断裂带及其附近地区有超基性岩分布	
	地球物理场	北西向重力梯度带上，对应有强度高、梯度大，形态规则，规模适中的条带状航磁异常分布	
	地球化学场	区域上 Cu、Ni、Co、Cr 元素的异常呈带状分布，并有清晰的浓度分带和浓集中心	
地质	地　层	前长城系龙首山群下部白家咀子组，主要岩性为蛇纹石化大理岩、黑云片麻岩、二云石英片岩和条带状混合岩等变质岩	
	构　造	深断裂及其与次级断裂交汇处	
	岩浆岩	深部分异、多次侵入的由超铁镁质岩组成的复式岩体，呈单斜产状；岩石类型为纯橄榄岩—二辉橄榄岩—斜长二辉橄榄岩型	
	围岩蚀变	与岩体有关的接触变质及蚀变现象，如蛇纹石化、菱镁矿化、滑石化、碳酸盐化等	
	主要赋矿部位	深熔-贯入矿体即含岩矿化的纯橄榄岩体、熔离矿体赋存于二辉橄榄岩体的中部或中下部	
	主要矿石矿物	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、含镍黄铁矿、铜镍铁矿等	
	直接找矿标志	褐铁矿、赤铁矿、孔雀石、蓝铜矿、胆矾等次生矿物地表氧化中呈现色彩鲜艳的颜色	
地球物理	探测目标物	含矿岩体	铜镍矿体
	目标物物性特征	较围岩密度高、磁性强； 极化率略高	较容矿岩石密度高； 极化率高、电阻率低
	地表异常特征	地面 ΔZ：中高强度，形态规则或较规则，北侧伴有负异常； 激电异常：η_S 6% ~ 20%； 对应区域重力异常 Δg_B：(0.6 ~ 0.8) × 10^{-5} $m \cdot s^{-2}$	高磁异常地段，对应有较高强度的激电异常；视极化率 $\eta_S \geqslant 10\%$；以及区域重力异常增高段上的剩余局部重力高
	干　扰	蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化片岩可能成为应用地面磁法和激电法圈定超基性岩体的干扰	在岩体中圈定赋矿地段，主要干扰为超基性岩体的岩性不均匀
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cr、Ni、Cu、Co（Au、Ag）等 前缘元素：（内 ~ 外）Ag、Au、Zn、As、Se、Cl—Bi、Sb、Hg、Pb-Ba、F、Sr 近矿元素：Cu、Ni、Co　Ti、V 尾部元素：	
	主要异常元素浓度分带	Cu：(100 ~ 250 ~ 1000) × 10^{-6}　　Co：(40 ~ 60 ~ 100) × 10^{-6} Ni：(250 ~ 1000 ~ 4000) × 10^{-6}　　Cr：(1000 ~ 2500 ~ 4000) × 10^{-6}	
	主要元素异常形态与分布范围	Cr、Ni、Co 等元素组合异常强度高，浓集中心明显，尤其是 Ni 元素异常含量高，且离散系数大。地表异常呈带状与岩体分布形态一致；钻孔岩石地球化学异常剖面上，异常具有清晰的分带，其内带异常反映了矿体部位	
	其他特征	1:5 万土壤地球化学测量，沿金川岩体有 Ni 外带、Co 中、外带异常，呈北西向分布，其形态相似；Cu、Au 异常分布在岩体上，具有清晰的浓度分带和浓集中心；Ag、V、Lu 异常弱，分布零散，出现在白家咀子组混合岩分布区。此外，Ni、Cu、Co 元素呈明显正相关	

（1）圈定超基性岩带：以 1:20 万 ~ 1:10 万区域重力及航空磁测为主。

（2）区分含矿岩体：1:5 万 ~ 1:2.5 万重、磁勘查，及岩石或土壤地球化学测量。

（3）圈定矿体：1:1 万中—高精度重、磁，和以激发极化法为主的综合电法

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 2.1.A　金川铜镍矿床地质特征简表。

表 2.1.B　金川铜镍矿床地球物理特征简表。

表 2.1.C　金川铜镍矿床地球化学特征简表。

表 2.1.A　金川铜镍矿床地质特征简表

地理位置		甘肃省金昌市	1:20 万图幅：G-47-（18）	
矿床类型		铜镍硫化物型（深熔-贯入型）	矿石建造	Cu-Ni（Pt、Pd、Au、Se、Co、Te）
矿床规模、品位		超大型，Cu：0.81%、Ni：1.25%	容矿岩石	超铁镁质为主的超基性岩（等粒结构）
地质成矿环境	构造背景	矿区位于华北地台西南部的阿拉善地块西南缘，龙首山隆起上；该隆起南接祁连褶皱系走廊过渡带，北在地块内部区		
	地　层	出露地层自下而上为：古元古界～太古宇前长城系龙首山群，中、新元古界长城系，蓟县系，震旦系和寒武系，以及上古生界和中—新生界。龙首山群下部白家咀子组为金川含矿岩体直接围岩，主要为蛇纹化石大理岩、黑云片麻岩、二云石英片岩和条带状混合岩等		
	构　造	以 NW 向、EW 向为主，SN 向、NE 向、NNE 向构造亦有显示		
	岩浆岩	含矿岩体规模不大，约 1.34km²，呈不规则陡倾斜岩墙状，全部由超铁镁岩组成的复式岩体。主要岩性为纯橄榄岩、含二辉橄榄岩、二辉橄榄岩、斜长二辉橄榄岩。岩体呈不规则陡倾斜岩墙状，被断裂切成四段分属四个矿区。不同期次岩浆形成的岩相不同，岩性由中心向外基性程度依次降低；同一岩相各岩石类型呈渐变过渡，不同岩相岩石类型呈突变关系。 戈蒂尼指数 $\sigma=6.02$，铁镁比值（m/f）=3.02～5.22		
	控矿因素	超壳深断裂带为控岩构造； 沿深断裂带多次侵入，深部分异的超铁镁质复式岩体为成矿岩体； 前长城系龙首山群下部白家咀子组地层分布区		
矿床特征	成矿岩体	超铁镁质复式岩体，长约 6000m，宽 $n\times10$～300m。平均化学成分相当于二辉橄榄岩，母岩为铁镁质超基性岩		
	控矿构造	与控岩为同一构造，即为槽台过渡区接壤部位的深断裂带		
	矿化阶段	与岩浆形成期次相同，第一期硅酸盐岩浆控制了少量星点状矿体；第二期含矿岩浆形成厚大的似层状和透镜状星点状矿体；第三期富矿岩浆贯入形成海绵状矿体，其铜、镍储量约占全矿 85%左右；第四期矿浆贯入由块状矿石组成的脉状、扁豆状矿体		
	矿化分带	自下而上分布为：深熔-贯入型富矿，深熔-贯入型贫矿和熔离型星点状贫矿		
	蚀　变	近接触面的围岩出现接触变质，大理岩出现橄榄石化、蛇纹石化、透闪石化、透辉石化等		
	矿体特征	金属矿物：主要有磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿，其次为方黄铜矿、墨铜矿、含镍黄铁矿、铜镍铁矿、含铜镍黄铁矿，其中磁黄铁矿是矿石中最主要的金属硫化物		
		矿石特征：矿石构造主要为稀疏浸染状、稠密浸染状、块状、海绵状、星点状、角砾状等；有益伴生组分有 Pt、Pd、Au、Se、Co、Te 等元素		
		矿体形态：与岩体产状基本一致，一般呈不规则透镜状，个别呈脉状，沿走向和倾向都有膨缩变化与分支、复合现象		
	脉石矿物	镁橄榄石、贵橄榄石、古铜辉石、普通辉石		
表生地质		氧化带中见褐铁矿、赤铁矿、孔雀石、蓝铜矿、胆矾、皂矾等次生矿物，而呈现黄、红、绿等色彩鲜艳的颜色		
地貌景观		戈壁荒漠，西南部为中高山区		
备　注		铜、镍储量在各类矿体中所占比例：熔离型：铜矿 94.2%，镍矿 96.1%； 贯入型：铜矿 2.8%，镍矿 2.8%； 接触交代型：铜、镍矿各占 1%～2%		

表 2.1.B　金川铜镍矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	由南向北重力场值增高，形成近 EW 向的重力梯度带，龙首山隆起带与之对应；白家咀子超基性岩带处于重力梯度带上，金川岩体位于隆起带的北部					
	磁　场	区域磁场复杂、总体上呈条带状分布，南、北部为正磁场，中部为负磁场； 条带状磁场与龙首山隆起带对应，南、北正磁场为龙首山群磁性岩层反映，中部负磁场对应微一弱磁性地层					
矿区异常	重力异常						
	磁力异常	ΔT：含矿岩体上异常形态规则，呈 NWW 向展布，北侧伴有负异常，局部异常间的错动，反映岩体的平面分布，以及岩体为横向断裂切割及埋深不同的特点；三个局部异常强度分别为：400、500、700nT ΔZ：因岩体出露或不同埋深，造成异常强度及形态不同、出露岩体上异常值起伏较大，北侧负异常明显，$\Delta Z_{max} > 3000$nT；隐伏岩体上异常圆滑，强度降低，$\Delta Z_{max} > 1100$nT					
	电异常	激电异常：在出露岩体上方呈条带状，南陡北缓，基本沿岩体展布，三个局部异常视极化率极大值 $\eta_{S\,max} > 12\%$；隐伏岩体上异常较零乱，其总体与岩体分布一致，$\eta_{S\,max} > 7\%$					
	干　扰	蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化片岩可能成为地面磁法和激电法圈定超基性岩体的干扰					
矿体异常	重力异常	出露和隐伏岩体上 Δg_z 异常较明显，幅度分别约 0.45×10^{-5}m·s^{-2}和 0.35×10^{-5}m·s^{-2}，其极大值在富矿体的上方　重力异常为岩体与矿体的综合反映，富矿体上异常更为明显					
	磁力异常	ΔZ 剖面异常呈锯齿状，梯度变化大，北侧伴有负异常；为岩体及矿体即含矿岩体的综合反映，北侧负异常为岩体产状及有效磁化方向向北倾斜的综合反映					
	电异常	激电异常	主要由矿体引起，也有岩体异常的叠加，其峰值与浅部贫矿或矿化对应。出露岩体上，异常梯度大、幅值高，联剖呈明显反交点；隐伏岩体上异常变缓，幅值降低				
		电阻率异常	贫矿石、超基性岩和变质岩的电阻率无明显差异，富矿石电阻率低；因而，当富矿体厚大时，在高电阻率背景上出现相对低阻异常				
		电磁异常					
	干　扰	超基性岩体的岩性不均匀					
主要岩、矿物物性	岩、矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	η/%	ρ/Ω·m
	原生矿石			4.67×10^3	8.17×10^2	32.4	
	超基性岩			3.51×10^3	7.45×10^2	8.8	
	中性岩石			2.77×10^2	1.41×10^2	2.3	
	花岗岩			$<10^1$	$<10^0$	2.0	
	片麻状花岗岩			4.27×10^2	1.0×10^2	2.9	
	混合岩			6.0×10^2	2.0×10^2	3.4	
	大理岩			$<10^1$	$<10^0$	1.1	
	蛇纹石化等蚀变片岩			4.88×10^3	9.5×10^2	18.6	
	其他片岩片麻岩			$<10^1$	$<10^0$	4.1	
备　注		若超基性岩中 $\eta > 10\%$ 的三种岩石参与统计，则其 $\eta = 19.8\%$					

表 2.1.C　金川铜镍矿床地球化学特征简表

区域异常	元素组分	Cu、Co、Ni（Mn　Mo）、Au、Ag
	空间分布	1:5 万土壤地球化学测量：Ni、Co 异常形态相似，均沿金川含矿岩体展布；Cu、Au 异常分布于岩体中部，其形态相近并具有清晰的浓集中心和浓度分带，与 Co 的内带异常叠合较好；Ag、V、La 异常较弱，分布零散，主要出现在混合岩分布地段
	元素浓度分带	Cu：150～400～600；　Co：32～60～130；　Ag：0.17～0.34；　La：70～140～280； Ni：77～154；　Au：3.5～10～31；　V：100～200
	元素异常分带	
	其他特征	白家咀子超基性岩带中岩体的 Cu、Co、Ni 区域浓集系数大于 4；Mn、V、Zn 区域浓集系数大于 2；Au、Ag 区域浓集系数大于 1（区域浓集系数 = 岩体微量元素/区域平均值）。 R 型聚类分析：Co、Ni、Mn、Cu、Mo 为同一类，相关系数 $r=0.33$（$n=34$）

矿体异常	位　置	地　表	剖　面
	元素组分	Cu、Ni、Co、Ag、Au、As、Se	Cu、Ni、Co
	空间分布	Cu、Ni、Co、Ag 等仅在含矿岩体上方有异常反映；Mo、Sn、Sb、Hg、Rb 等在岩体接触带和围岩上出现较高含量	Cu、Ni、Co 异常强度大，浓度分带明显，异常形态与含矿岩体一致，其内带异常对应矿体部位；Cr 异常主要分布在岩体上，这四种元素的异常进入围岩后即消失
	元素浓度分带		Cu：100～250～1000；　Co：40～60～100； Ni：250～1000～4000；　Cr：1000～2500～4000
	元素分带序列	水平分带： 从矿体→围岩：Cu、Ni、Co→Ag、Au、As→Bi、Sb、Pb→F、Ba、Sr	
	元素间相关性	Cu、Ni 密切相关，相关系数：$r=0.92$ Co、Ni 相关系数：$r=0.86$；Cu、Co 相关系数：$r=0.71$	
	其他特征		
	矿体剥蚀程度评价指标		

岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Mn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
	铜镍矿石	4688	30	143	51.8	2.20		2002	0.88	12027	357	6.8	3.0	0.97	6.6	50
	前长城系变质岩	20.2	16.6	41.8	0.73	0.07	27.0	311		16.4	12.2	6.1				200
	白家咀子超基性岩	75.2	6.2	90.8	1.25	0.07	9.4	1064		119	77.6	7.0				34
	超基性岩（Ⅱ矿区）	83.0								1078	50.0					606
	中国辉石橄榄岩①	32	8	90	0.81	0.053	0.2	1000	0.21	320	62	1.5	0.11	0.06	6	

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；①据鄢明才等资料，1997

第二节　青海德尔尼铜钴矿床

德尔尼矿床[1][2] 位于青海省果洛藏族自治州玛沁县大武镇西南，是根据群众报矿发现的一处大型矿床。

一、区域地质背景

矿区位于巴颜喀拉褶皱系的阿尼玛卿褶皱带东段，阿尼玛卿山南缘大断裂北侧，NW或NWW向长达300km的阿尼玛卿超基性岩带东段的德尔尼超基性岩体中部。

重力布格异常呈北西向梯级带，场值由南西→北东增高，梯度约 $1\times10^{-5}m\cdot s^{-2}/km$；磁场显示为平静背景中，长轴呈北西向，轴长不等的椭圆状 ΔT 异常相联呈串（图2.2.1）。

地球化学Cu、Co、Ni、Cr、Mn、Zn、Hg等元素组合异常带[3]，呈北西—南东向展布，反映了区域构造方向；德尔尼矿区位于异常带的东南段。

二、成矿地质环境

1. 地层

区内出露地层以上古生界为主，其次为中、新生界。

上石炭统（C_3）呈北西西向条带状分布，北东倾向的单斜层。按岩性分为斜长角闪片岩夹大理岩、大理岩、生物灰岩、结晶灰岩四层，岩性间呈渐变关系。二叠系分布较广，下二叠统分两个岩组：①中部碎屑岩夹火山岩组（P_1b）、分布于矿区中、北部，由千枚板岩、炭质板岩，变砂岩组成，夹火山岩透镜体，为超基性岩体围岩；②上部碎屑岩夹碳酸盐岩组（P_1c）主要分布于矿区以南　上二叠统（P_2）主要由石灰岩和砂岩组成。

中、下侏罗统（J_{1-2}）为一套含煤碎屑岩，属断陷盆地沉积。白垩系（K）出露于区域北部，面积较大，为一套紫红色砾岩、砂砾岩等。第三系（R）沿区域中部断裂带断续分布，为一套红色碎屑岩，固结较差。第四系松散沉积物，沿沟谷零散分布于全区。

2. 构造

区内总体构造线与地层走向一致，断裂带、褶皱轴向及岩体长轴方向大致为300°～330°

（1）褶皱：德尔尼复背斜由下二叠统碎屑岩夹火山岩组构成，轴向NW—SE；沿其轴部发育了一系列NW向纵断裂，侵入体及第三系断陷盆地，构成“断陷-侵入岩带”。白垩纪断陷盆地，沿120°～130°方向展布，长大于30km，宽4～6km，实为一复向斜构造。

（2）断裂：集中发育于德尔尼复背斜一带，可划分为NW向纵断裂带，NNE向横断层和近EW向斜交断层三组。其中NW向断裂密集成带出现，贯穿全区，由一系列倾向NE

---

[1] 李如洲，姜文卿。青海德尔尼铜钴矿床（中国铜矿找矿新进展）青海有色金属地质勘探公司第八地质勘探队，1993

[2] 薛广仁等。青海德尔尼铜钴矿床综合勘查方案研究报告。青海省地球物理勘查队，1992。

[3] 王三卷，滕荣森。同德县幅（I-47-乙）地球化学图说明书（水系沉积物测量，1:50万）。青海省地球化学勘查队，1989。

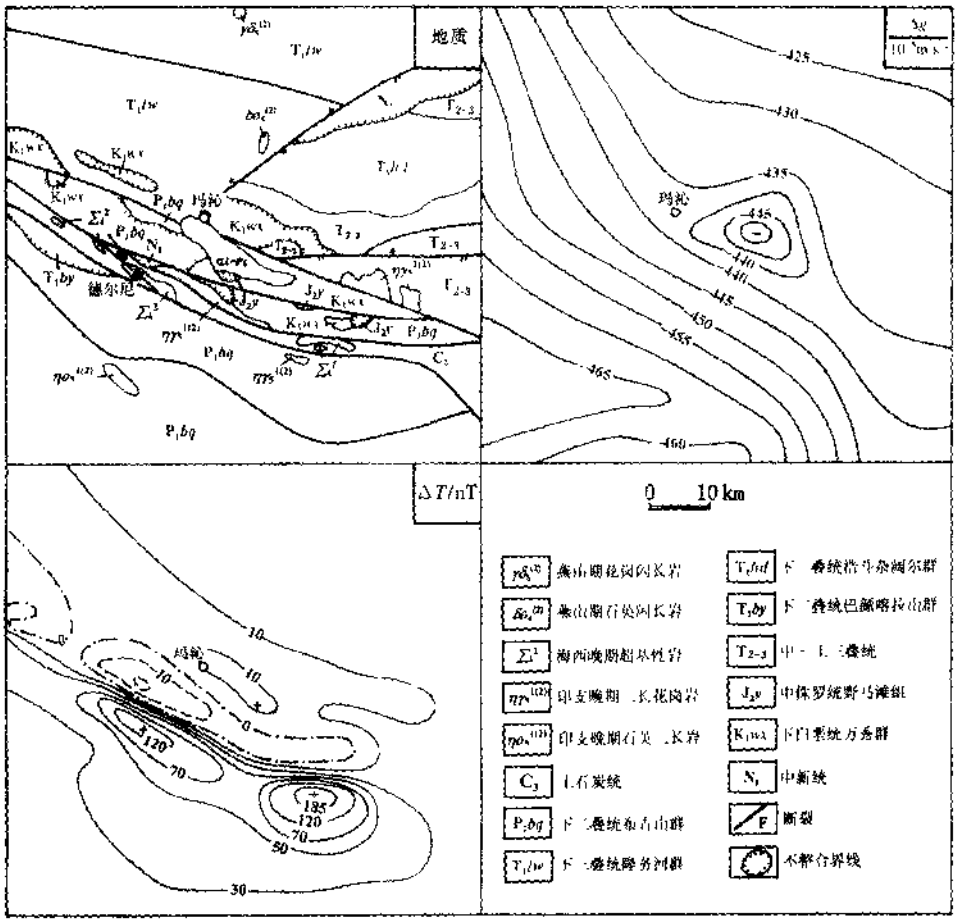


图 2.2.1　青海德尔尼矿床及外围区域地球物理场剖析图

（据薛广仁等，1992 年资料编绘）

的断层组成，具有多期活动特点；NNE 向断裂，规模较小；近 EW 向断裂是一组隐蔽构造，为本区基底构造的反映。

3. 岩浆岩

区内岩浆活动剧烈，岩浆岩发育，分超基性岩和酸性侵入岩两大类，呈北西—南东向带状，主要分布于矿区中部；与纵向断层一起构成宽约 3～5km 的断裂-岩浆岩带。

（1）超基性岩：一系列大小不等的岩体构成超基性岩带。最大的德尔尼超基性岩体，长约 17km，最宽约 1km；可划分为四个小岩带。岩石类型以辉橄岩为主，次为橄榄岩、辉石岩及少量辉长岩；蚀变强烈，以蛇纹石化为主，除辉长岩外，岩石均呈蛇纹岩、碳酸盐化蛇纹岩等。

德尔尼铜钴矿床与超基性岩有成因联系，严格受超基性岩控制，矿体几乎无一例外的产于超基性岩体中；且岩体规模愈大，成矿愈有利。

（2）酸性侵入岩：分布于超基性岩带北侧，大小岩体密集出露，构成了酸性侵入岩带，以花岗岩为主体，其余有花岗闪长岩、角闪花岗岩、花岗正长岩、正长岩等，均呈小

岩体出现，规模小，出露少。

4. 区域地球化学场

（1）部分地层与岩浆岩中微量元素平均含量，由表 2.2.1 和表 2.2.2 可见。

表 2.2.1 部分地层中微量元素的含量

地层代号	主要岩性	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Ga	Ti	Mn	Ba	Sr
T_2a	砂岩夹板岩	17	15	106	60	27	9.6		12		938	374	684
T_1b	砂岩	23	14	102	248	30	10.7	93	15	3302	587	488	245
P_1c	砂岩	14	30	31	35	14	6.3	51	21	2874	391	576	433
	板岩	14	31	54	38	19	7.5	48	17	2062	731	556	431
P_1b	中基性火山熔岩	73	10	121	212	164	67	261	17	6707	979	177	252
	砂岩	15	25	100	63	23	12	88	17		6600	240	120
P_1a—2	板岩	40	14	92	91	31	11	92	17	3245	484	580	140
	砂岩	20	14	48	59	16	10	75	15	2959	328	506	164
P_1a—1	砂岩	21	16	86	176	33	11	78	15	2432	520	278	128
C_3	大理岩	3	2	6	7	4		2		178	210	17	557
	斜长角闪片岩	267	4	129	80	97	44	116	19	3500	1003	212	535

元素质量分数单位 10^{-6}。　　据薛广仁等，1992 资料编。

表 2.2.2 部分岩浆岩中微量元素含量

代号	岩 性	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	V	Ga	Ti	Mn	Ba	Sr
γ_5^1	黑云母花岗岩	22	22	104	32	19	16	89	23	3848	609	883	283
$\gamma\pi_5^1$	似斑状黑云母花岗岩	12	38	100	27	10	10	48	28	2889	375	419	252
δo_5^1	石英闪长岩	81	40	106	12	80	39	140	21	6600	967	1333	780
γo_4^3	斜长花岗岩	10	15	77	16	10	9	52	13	2123	247	877	
Σ_4^3	超基性岩	24		113	1347	1802	79						

元素质量分数单位 10^{-6}。　　引自薛广仁等，1992。

①上石炭统斜长角闪片岩，下二叠统中基性火山熔岩中 Cu、Co、Zn 含量明显高于其它岩石；Pb 以下二叠统的碎屑岩（砂岩、板岩等）的含量最高；上石炭统大理岩中各元素含量为各种岩石中最低。

②Co、Zn、Cr、Ni 在超基性岩中的含量最高，分别为 79×10^{-6}、113×10^{-6}、1347×10^{-6}、1802×10^{-6}；Cu 在石英闪长岩中，Pb 在石英闪长岩和似斑状黑云母花岗岩中最高。

（2）区域地球化学异常

1:20 万水系沉积物测量异常显示（图 2.2.2），Cu 异常浓集中心清晰，与德尔尼矿床明显对应，其主要元素特征参数见表 2.2.3。

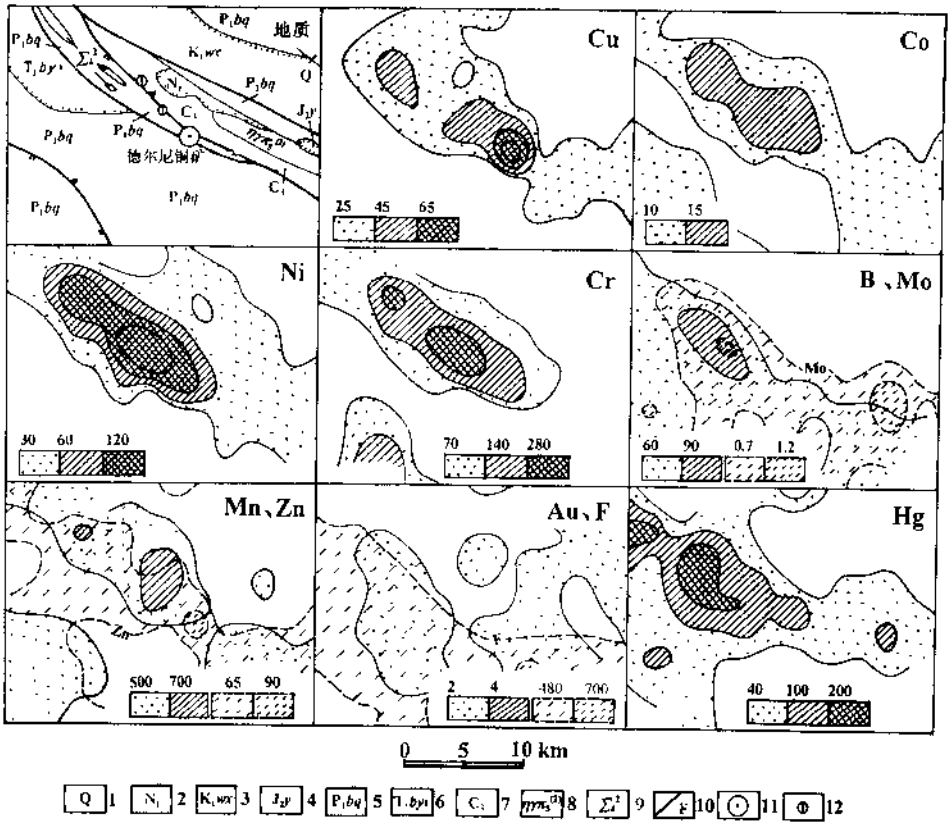


图 2.2.2　青海德尔尼矿床区域地球化学异常剖析图

（据王三卷等资料编绘）

1—第四系；2—第三系中新统；3—下白垩统万秀群；4—中侏罗统野马滩组；5—下二叠统布青山群；6—下二叠统巴颜喀拉山群；7—上石炭统；8—印支晚期二长花岗斑岩；9—海西晚期超基性岩；10—断裂带；11—矿区；12—矿床（点）；元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

表 2.2.3　德尔尼矿床区域地球化学异常特征简表

元素符号	Cu	Co	Ni	Cr	Mn	Hg	B	Mo	Zn	F	Au
背景值	25	10	30	70	500	40	60	0.7	65	480	2.0
异常下限	45	15	60	140	700	100					
变化范围	46.7～240.6	15.0～30.7	62.4～368.5	131.2～435.0	701.9～827.9	102.4～324.5					
异常平均值	96.9	21.7	158.3	239.6	767.3	178.7					

元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据王三卷等资料整理。

5. 区域地球物理场

德尔尼矿床处在 NW—SE 向的重力梯级带上。

与超基性岩体对应的航磁 ΔT 异常：约长 24km，宽 6km；$\Delta T_{max} \approx 120$nT，北东侧伴有 $\Delta T_{min} \approx -20$nT 的负异常。已控制的地磁 ΔZ 异常，自西向东断续长达 50km，异常梯度陡，最宽处不足 3km，最窄处仅 100m；强度 $n \times 100 \sim 7000$nT，北侧有时伴有负异常，南侧磁场较北侧磁场高出约 150nT。

三、矿体地质特征

1. 矿体组合分布及产状

截至 1990 年底，共查明主矿体 5 个（编号：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅶ），附属矿体 29 个，构成 5 个矿体群。矿体呈似层状或透镜状，受后期构造影响，表现出明显的褶皱形态；沿走向方向延伸较稳定，主矿体呈波状起伏，总体有向东侧伏趋势。矿均产于超基性岩体中，且与围岩界限清楚，但顶板除超基性岩外，部分为砂板岩。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造主要为块状、浸染状、条带状，其次有脉状，网脉状、斑状、似斑点状等。

主要金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿，次有黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿等；以及少量铬尖晶石、白铁矿、钴镍黄铁矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石等。氧化矿石中金属矿物有针铁矿、水针铁矿、水赤铁矿等。非金属矿物以方解石、白云石为主，其次有石英、滑石等。

3. 矿化阶段及分带性

德尔尼矿床成因比较复杂，为多期次、多成因、多种成矿作用的复合叠加矿床。其形成经历了五个阶段。

（1）岩浆分异阶段：为德尔尼矿床的主要成矿阶段，通过结晶分异和岩浆熔离形成了超基性岩中铜钴（硫、锌）矿体。

（2）岩体侵位阶段：对初始形成的矿体有一定再改造作用，并生成新的小矿体。

（3）构造改造阶段：仅使矿体的形态、产状发生改变。

（4）热液叠加阶段：使矿体再次被改造，同时生成晚期黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿，多呈细脉状穿插于原矿石。

（5）表生作用阶段：形成铁帽等

矿化分带不明显。矿体中黄铁矿、黄铜矿分布均匀，但闪锌矿多分布在矿体上部，磁黄铁矿分布在矿体边部。

4. 蚀变类型及分布

矿体围岩——超基性岩蚀变发育，以蛇纹岩化和碳酸岩化分布最广，并与矿体有一定空间联系，即具有一定的找矿意义。其次有滑石化、绿泥石化、钠闪石化、硅化、绿帘石化、黑云母化等，其蚀变较弱，分布不广，与矿体关系不密切。

5. 氧化带

表生作用下形成铁帽、褐铁矿化岩石，以及部分第四系残积物被铁质胶结形成的铁质角砾岩呈大面积分布。埋藏较浅的矿体顶端附近，地貌呈塌陷地形特征。

6. 主要控矿因素

超基性岩是控矿的基本因素。原始型早期岩浆矿床的生成与富镁的超基性岩有关；超

基性岩是矿体的成矿母岩，又是矿体的围岩。

含有丰富硫和亲硫元素的原始岩浆，是形成熔离型矿床的主要控矿因素。

断裂构造控制了超基性岩体的分布，因此深大断裂带是矿体生成的极其重要的间接控制因素。

碳酸盐化蚀变与矿体关系密切，对矿体生成有一定的控制作用。

四、矿区地球物理特征[1][2]

1. 岩矿石物理性质

参考资料[1]将区内主要岩矿石物性综合于表 2.2.4。

物性资料综合整理中，将原资料中列出的无磁性标本的磁化率和剩余磁化强度，根据其最小测定数值，分别赋以 κ：$10\times4\pi\times10^{-6}$SI 和 M_r：50×10^{-3}A·m^{-1}作了重新统计。

极化率和电阻率选用原资料中供电时间为 1 min 的标本测定数据，其电阻率测定值较自然状况下的实际值偏高，而极化率可能偏低。

表 2.2.4　德尔尼矿区主要岩矿石物性参数表

岩矿石名称	密度		磁性			电性			
	统计数	$\frac{\sigma}{10^3\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}}$	统计数	$\frac{\kappa}{4\pi\times10^{-6}\text{SI}}$	$\frac{M_r}{10^{-3}\text{A}\cdot\text{m}^{-1}}$	统计数	$\frac{\eta}{\%}$	统计数	$\frac{\rho}{\Omega\cdot\text{m}}$
含铜黄铁矿、黄铁矿等	136	4.64	68	8.86×10^3	1.34×10^3	63	41.4	63	1.30×10^1
褐铁矿石	105	2.79	35	1.36×10^4	1.30×10^3	36	8.1	36	1.46×10^4
超基性岩	1347	2.64	427	4.73×10^3	2.94×10^3	242	4.0	213	1.14×10^4
碳酸盐化超基性岩	231	2.76	86	5.2×10^2	3.9×10^2	53	2.1	39	5.06×10^3
矿化超基性岩	18	2.61	20	8.82×10^3	8.81×10^3	33	13.9	33	9.64×10^3
砂板岩、灰岩	378	2.68	205	$\leqslant0.2\times10^2$	$\leqslant1.0\times10^2$	192	1.5	180	9.88×10^3
安山岩类、凝灰岩类等	101	2.88	101	1.6×10^2	1.2×10^2	93	1.2	93	9.24×10^3
炭质、石墨质板岩、板岩	307	2.71	119	$\leqslant0.2\times10^2$	$\leqslant1.0\times10^2$	58	10.8	58	2.36×10^3

2. 物性模型

据表 2.2.4 归纳的矿区主要地质体物性特征（表 2.2.5）可见，区内岩、矿石物性差异极为明显或较明显；主要地质体的物理属性，可通过参数间的相互弥补，为综合物探方法提供较好的物性前提。

3. 地球物理异常

据主矿体分布区物探综合平面图，及 13、15 勘探线综合剖面图显示的效果分析如下。

[1] 王震韬，蔡秉元，李洪波等。青海省玛沁县德尔尼矿区物化探工作总结报告。青海省地球物理勘查大队，1992。

[2] 高文岗。青海某铜铅矿物探工作找矿实例。青海地质局物探队。

表 2.2.5　德尔尼矿区主要地质体物性特征

地质体（主要岩矿石名称）	$\frac{\sigma}{10^3 kg \cdot m^{-3}}$	磁　性（$\kappa/4\pi \times 10^{-6}SI$；$M_r/A \cdot m^{-1}$）	$\frac{\eta}{\%}$	$\frac{\rho}{\Omega \cdot m}$	备　注
矿体（含铜黄铁矿、黄铁矿、含铜磁铁矿等）	极高 4.64	高 κ：约 10^4；M_r：$>10^0$	极高 41.4	低 1.3×10^1	有利环境下可产生强自然极化
容矿岩体（以碳酸盐化超基性岩为主体）	低～中 2.64～2.76	中～高 κ：$5 \times 10^2 \sim 10^3$； M_r：$(3 \sim 4) \times (10^{-1} \sim 10^0)$	弱 2.1～4.0	极高 $5 \times 10^3 \sim 10^4$	
岩体围岩（P_1 砂板岩等）	中 2.68	微～中	微 1.5	高 约 10^4	
干扰体（炭质板岩）	中 2.71	微	中 10.8	高 约 10^3	自然状况下为低阻、高极化；并可产生强自然极化
其他（火山岩类）	高 2.88	弱～中 κ：10^2；M_r：10^{-1}	微 1.2	高～极高 约 10^4	
氧化矿（褐铁矿等）	中 2.79	高 κ：10^4；M_r：$>10^0$	弱 8.1	高 约 10^4	

（1）重力

矿与围岩之间的大密度差，为重力勘查提供了优异的物性前提。以几条未作地改的重力测线数据编绘的重力平面图（图 2.2.3）显示：埋深小于 50m，产状平缓的Ⅰ号矿体上亦有明显的局部异常；南部较庞大的重力高异常（长 1100m，宽 600m），与其间分布有超基性岩带的下二叠统（P_1）岩层对应。

13 勘探线剖面上，经地改及区域改正的重力异常幅值达 $1.8 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$，且极大值与矿体上凸部位对应（图 2.2.4）；距其 100m 的 15 勘探线重力异常幅值达 $3.2 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$（图 2.2.5）。13 线南段的重力高异常，系密度较大，部分出露的安山岩引起；显示了安山岩可能形成重力的干扰异常。

（2）地面磁测

区内磁异常强度高，变化大，以正异常为主，北、南部 ΔZ 高达 2000～5000nT；其间分布有弱或负磁异常带，ΔZ 局部异常小于 -500nT。正异常的南缘与北带超基性岩体的南界基本对应，中间低弱磁异常带与近矿碳酸盐化蚀变磁性降低有关。南部为条带状负异常，局部强度小于 -2000nT；估计与北带岩体下界北倾和南带岩体延深有限有关。

剖面上，北带岩体异常梯度陡，正、负异常强度分别约 3000nT、-400nT 左右，与岩体边界对应良好；南带岩体反映不明显。

（3）电法

①自电异常：范围大、形态较规则。-80mV　ΔU 等值线闭合呈长约 1.3km、宽约 0.6km 的似椭圆状；与矿带分布一致，闭合圈内包含了 7 个幅值 -160～-320mV，以北西向长条状为主的局部异常，它们均落在已知矿体地表投影范围内，为氧化-还原条件好的

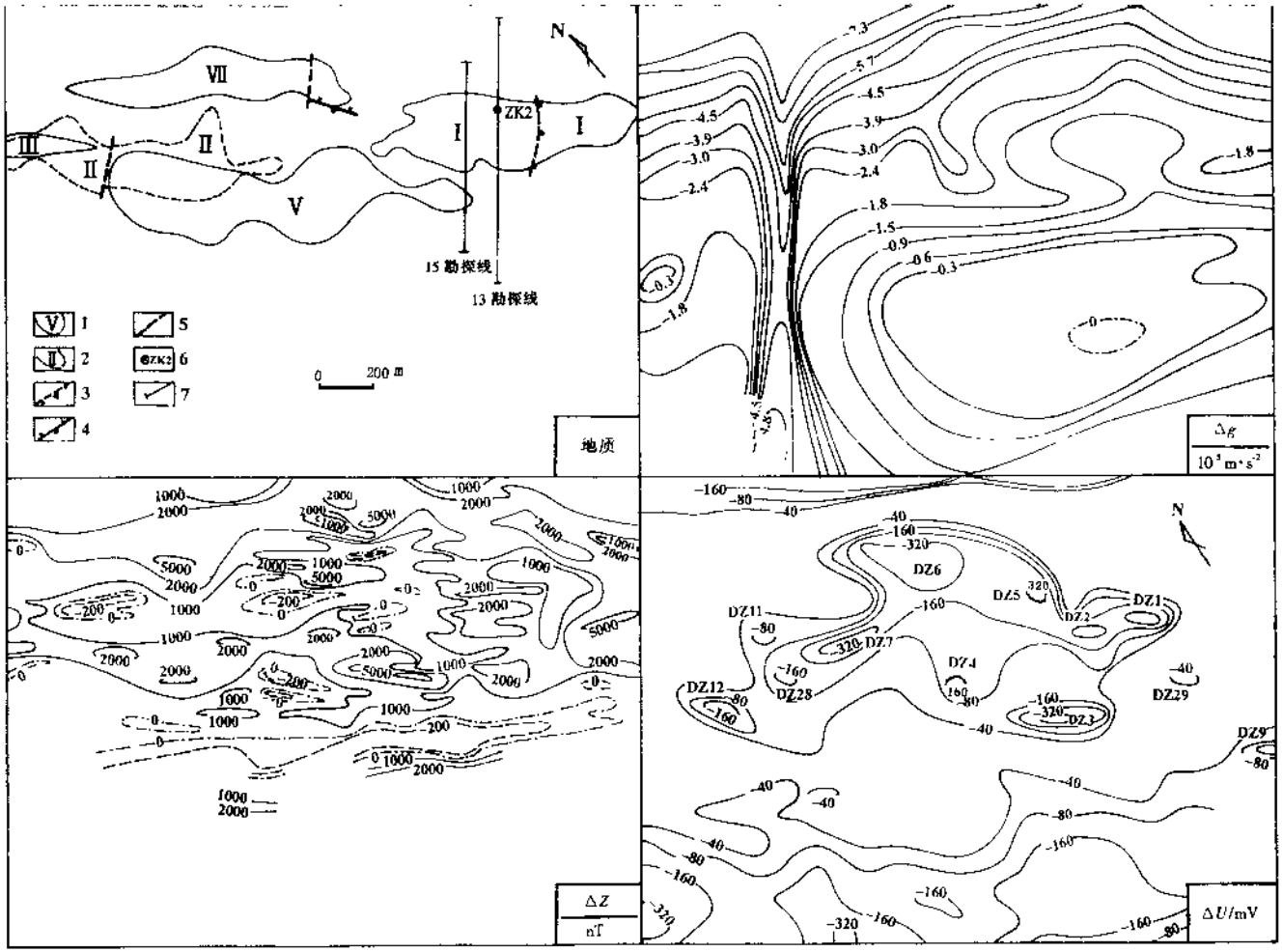


图 2.2.3　德尔尼矿床主矿体分布区物探综合平面图

（据薛广仁等，1992 资料编）

1—矿体水平投影及编号（Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅶ）；2—矿体水平投影及编号（Ⅱ）；3—推测正断层；4—实测逆断层；5—性质不明断层；6—钻孔；7—勘探线

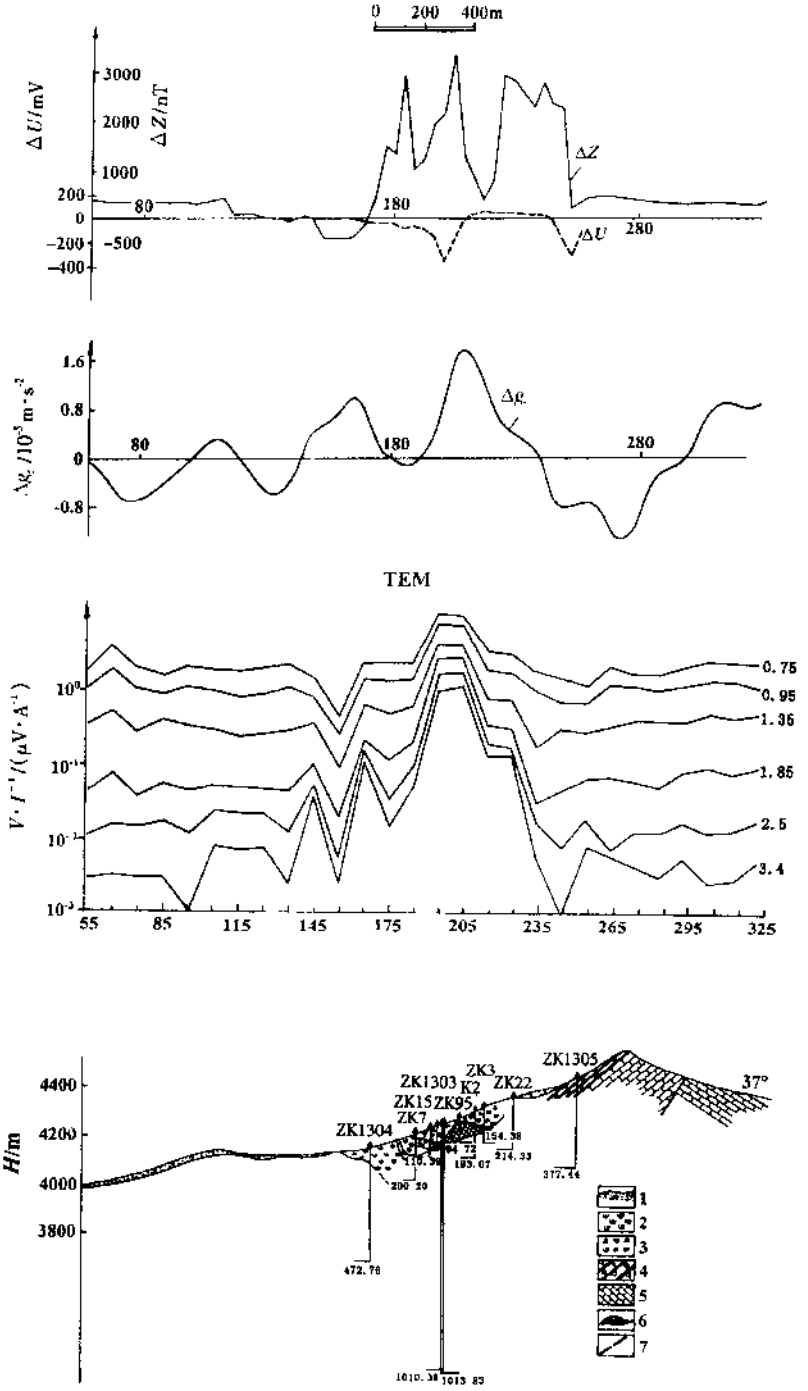


图 2.2.4　德尔尼矿床主矿体分布区 13 勘探线物探综合剖面图

（据薛广仁等 1992 资料编）

1—腐殖土；2—蛇纹岩；3—碳酸盐化角砾状蛇纹岩；4—蚀变安山岩；5—灰岩；6—矿体；7—推测性质不明断层

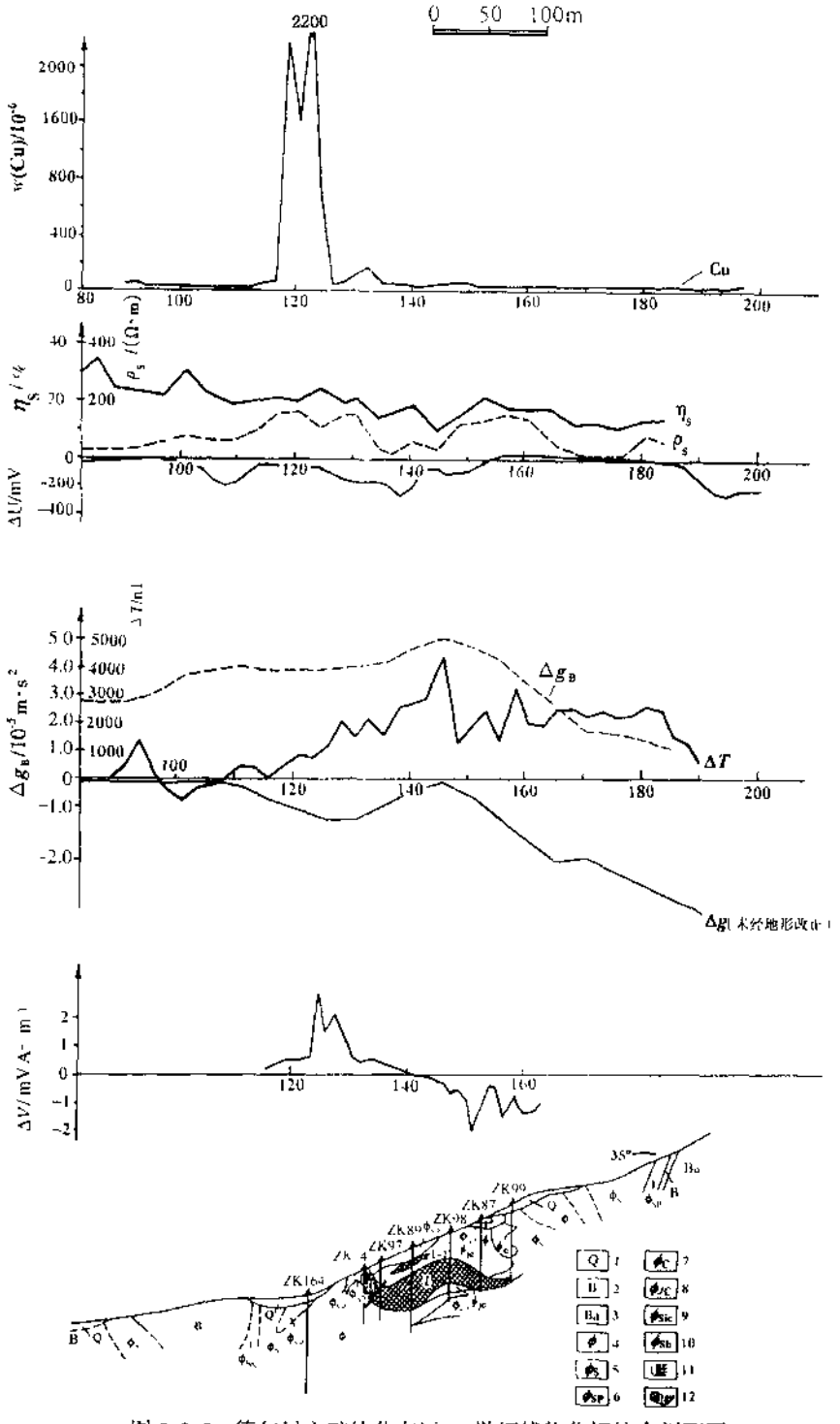


图 2.2.5　德尔尼主矿体分布区 15 勘探线物化探综合剖面图

（据薛广仁等 1992 资料编）

1—亚砂土、砂砾岩；2—板岩；3—凝灰质板岩；4—超基性岩；5—蛇纹岩；6—片状蛇纹岩；7—碳酸盐化蛇纹岩；8—碳酸盐化角砾状蛇纹岩；9—硅化碳酸盐化蛇纹岩；10—矿化蛇纹岩；11—铁帽；12—原生矿及编号

浅部矿体的反映。由于区内潜水面浅，较深矿体的反映不好。矿异常南侧 DZ-3、12 号异常形态虽似矿异常，但因无磁异常显示，且处于炭质板岩分布区，实为非矿-炭质板岩异常

剖面上，180～205 点间，自电异常北陡南缓，强度 -270mV，与近地表的Ⅰ号矿体对应；250 点附近的异常为炭质板岩引起的干扰异常。

②瞬变电磁法（TEM）：13 线试验结果显示，大、浅、富的矿体反映良好，各时间道均有明显异常；但炭质板岩上亦有类似异常。因而，单以 TEM 法难以区分矿与非矿异常。

③激发极化法：效果不佳，全区 $\eta_S > 15\%$ 的高背景范围占 80%，最高异常在南部炭质板岩分布区。因矿体产状平缓、互相重叠，又有炭质板岩干扰，致使矿体上异常不明显（图 2.2.5）。就现有资料，尚难根据激电异常圈定矿体和矿带。

④充电法：图 2.2.6 显示德尔尼矿区充电法发挥了重要作用：(a) 根据梯度曲线内拐点可圈定矿体边界（图 2.2.5）；(b) 可发现相邻盲矿体；(c) 在矿体相互重叠、形态复杂的情况下，可配合探矿工程，确定矿体基本形态及连接关系等。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

高密度安山岩类、凝灰岩类，可能成为矿体重力异常的干扰；含石墨或炭质板岩、片岩是电法和电磁法勘查的主要干扰。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

表 2.2.6 为矿区主要出露的几种岩石中微量元素含量，其中超基性岩 Cu、Zn 平均含量最高，变异系数亦大；Co、Ni、Cr、Au 以超基性岩中含量最高，$w(Ni)/w(Co)$ 比值为 12.97。

表 2.2.6　德尔尼矿床主要围岩地球化学参数

岩石名称	特征参数	Cu	Zn	Pb	Co	Ni	Cr	Au	Hg	S
板　岩	平均含量	32.4	89.9	13.0	15.0	187.9	212.9	1.39	120.9	240.0
	变异系数/%	85.4	35.9	36.6	192.6	299.2	183.8	178.4	30.5	130.3
变安山岩	平均含量	38.1	58.4		35.3	94.4	143.1	0.60	303.4	544.4
	变异系数/%	57.0	74.7		46.7	22.4	25.4	90.0	153.1	108.3
超基性岩	平均含量	110.0	110.9		153.1	1986.3	1099.4	1.67	105.1	255.6
	变异系数/%	320.5	155.1		34.4	40.0	48.8	736.7	54.6	191.1

元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据薛广仁等资料整理。

表 2.2.7 为矿石中成矿元素 Co 及伴生微量元素的平均含量，显示 Co、Au、In、Ni 在下部矿体的含量高于上部矿体；$w(Ni)/w(Co)$ 比值为 0.12～0.45。与（中国）橄榄岩平均化学组成比较，矿石中 Se 高出近 500 倍，Tl、In 高出约 50 倍；Pt、Pd 则偏低；

此外，据其他资料一般超基性岩的 $w(Ni)/w(Co)$ 比值为 10～20，最大为 37.5；矿体顶、底板的超基性岩 $w(Ni)/w(Co)$ 比值明显减小为 3.3～8.0。

表 2.2.7　德尔尼矿床主矿体中伴生组分平均含量

矿体编号	Au	Ag	Sc	Cd	Ga	In	Co	Ni	Tl	Ge	Pt	Pd	$w(Ni)/w(Co)$
I	0.41	6.0	26	16	6.1	1.6	920	400	4.0	0.8	0.002	0.00	0.43
II	0.34	4.7	19	30	4.8	2.8	540	200	3.0		0.000	0.00	0.37
V(下部矿)	0.71	3.7	28	13	5.0	3.3	1110	500	5.0	0.4	0.002	0.00	0.45
VII(I 部矿)	0.26	4.5	26	8	2.5	1.2	820	100	6.0	0.0	0.000	0.00	0.12
中国橄榄岩*	0.57	35.0	0.05	0.05	3.8	0.04	110	1800	0.1	0.8	0.0046	0.0014	16.36

元素质量分数单位：10^{-6}。　　据薛广仁等资料整理；※据郝明才等资料，1997。

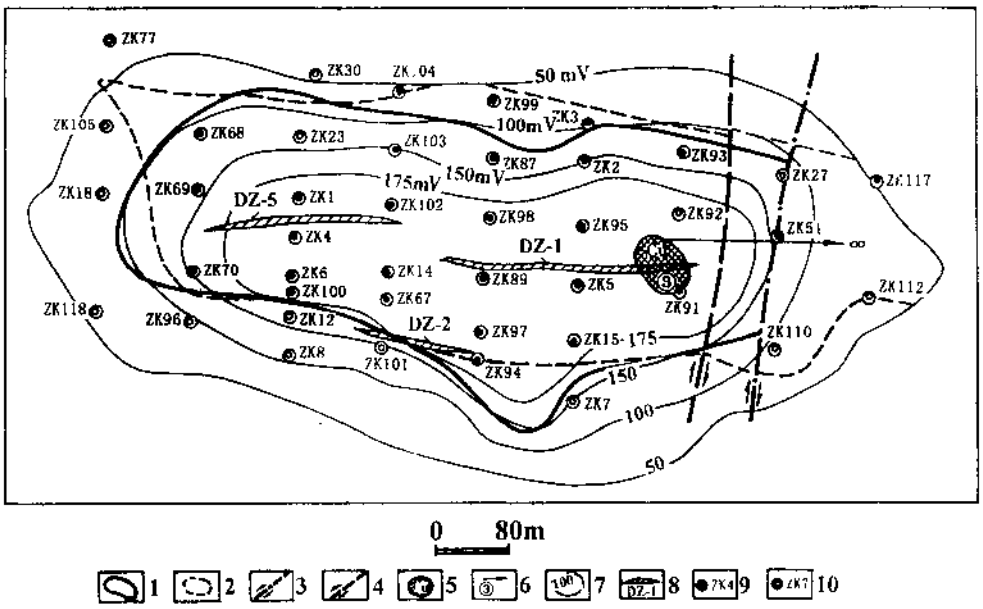


图 2.2.6　I 号矿体充电法推断边界与勘探工程圈定边界对比图

（引自高文岗，1976）

1—物探推断矿体边界；2—勘探工程圈定矿体边界；3—物探推断断层；4—地质推断断层；5—矿体露头；6—充电点及无穷远放线方向；7—充电法等电位线，单位为 mV；8—自电异常轴及异常编号；9—见矿孔及编号；10—未见矿孔及编号

2. 地球化学异常

（1）水系沉积物测量：矿区及外围 1:5 万水系沉积物测量出现由多个浓集中心组成的大片铜异常（图 2.2.7），且浓度分带清晰。以 $w(Cu)=60\times10^{-6}$ 圈闭的异常约 18km^2；$w(Cu)=100\times10^{-6}$ 圈闭异常约 2.5km^2　德尔尼铜矿位于 $w(Cu)=150\times10^{-6}$ 圈闭范围内。

（2）土壤测量（1:1 万）：在矿区圈出 Cu、Zn、Co、Au、Hg 等元素异常，矿体出露处

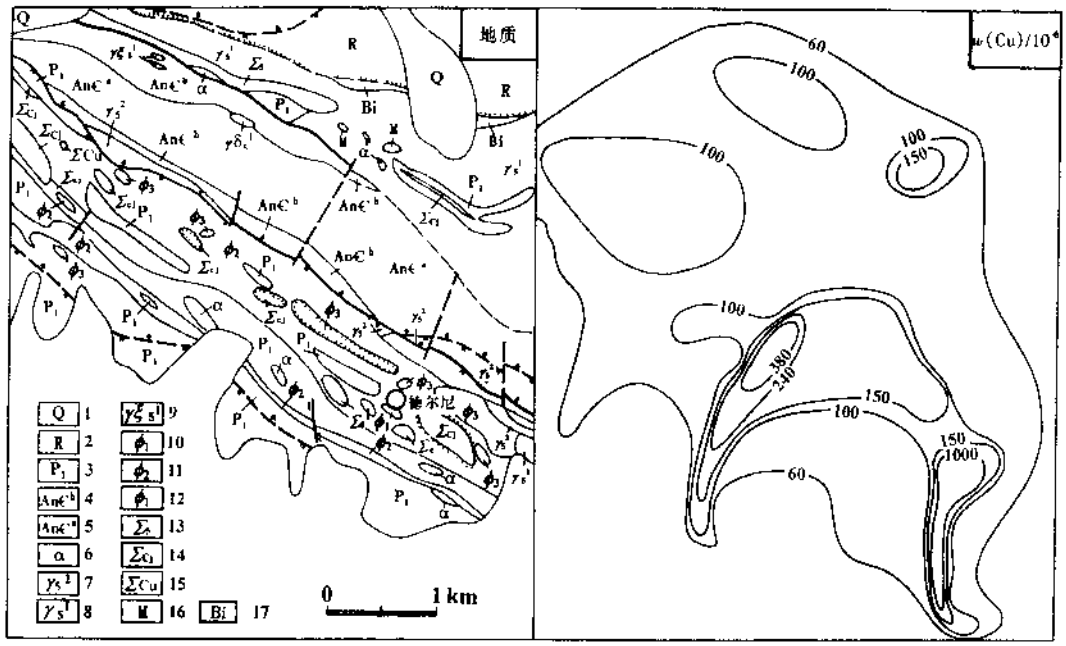


图 2.2.7　德尔尼矿区及外围 1:5 万水系沉积物测量 Cu 异常图

（据薛广仁等资料编绘）

1—第四系；2—第三系红层；3—下二叠统；4—大理岩；5—角闪片岩夹大理岩；6—安山岩；7—燕山期花岗岩；8—印支期花岗岩；9—印支期正长花岗岩；10—纯橄岩；11—辉橄岩；12　橄榄岩；13—蛇纹岩；14—碳酸盐化角砾状超基性岩；15—铜矿化超基性岩；16—大理岩；17—新第三系

附近，形成各自的浓集中心（图 2.2.8）。其中 Cu 异常范围最大，且有清晰的浓度分带，以 $w(Cu)=40/10^{-6}$ 圈定异常面积约 0.03km^2；Zn、Co、Hg 异常范围较小；$w(Au)=1.5\times10^{-9}$ 异常范围与 Cu 相近。

1 号矿体处，Cu 异常出现在矿体露头下方，异常狭窄，峰值陡峭（图 2.2.5），显示了高寒山区以物理风化为主，次生晕扩散距离小或不发育的表生地球化学特征。

（3）岩石测量：仅作了零星的样品采集，发现 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Co、V、Ti 等元素异常仅在矿体部位出现，离开矿体便无异常显示。

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

区内未作元素分带序列研究。可藉 $w(Ni)/w(Co)$ 比值，判别异常与矿及超基性岩体的关联：一般超基性岩体异常，$w(Ni)/w(Co)$ 比值为 10～20；近矿超基性岩体，$w(Ni)/w(Co)$ 比值为 3～8；矿体附近 $w(Ni)/w(Co)<1$。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 德尔尼铜钴矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 2.2.8。

2. 德尔尼铜钴矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型见图 2.2.9。

3. 地质勘查物探化探优选方法组合流程

（1）圈定超基性岩带：以 1:20 万区域重力及航空磁测为主。

（2）区分含矿岩体：1:10 万～1:5 万重、磁勘查，及水系沉积物测量。

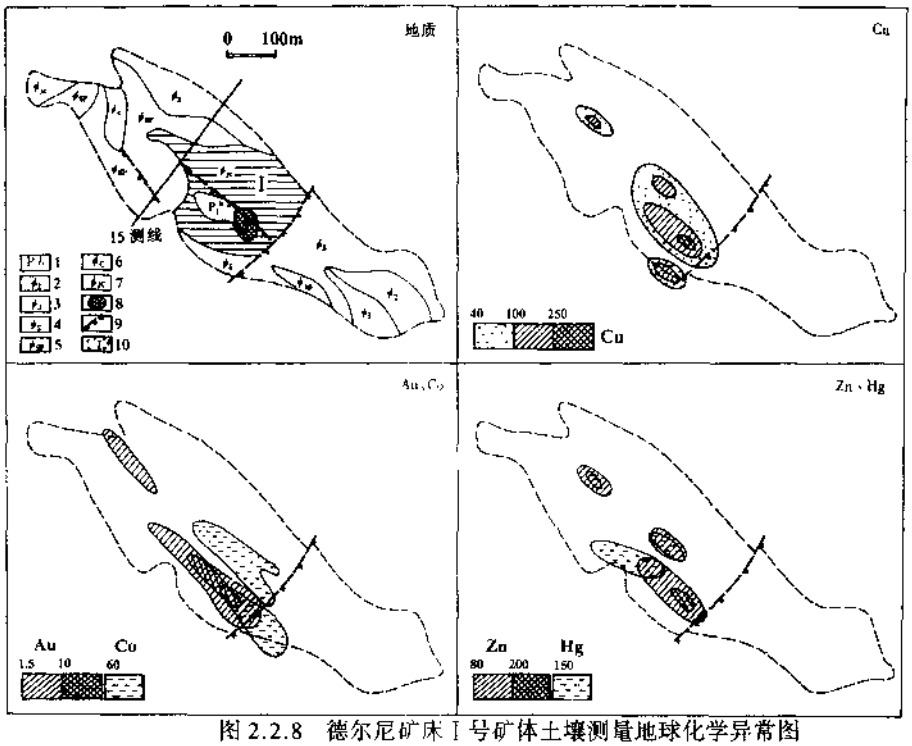


图 2.2.8 德尔尼矿床Ⅰ号矿体土壤测量地球化学异常图

(引自薛广仁等, 1992)

1—含炭质板岩;2—辉橄岩;3—橄榄岩;4—蛇纹岩(即图 2.2.7 Σ_5);5—片状蛇纹岩;6—碳酸盐化蛇纹岩;7—碳酸盐化角砾状蛇纹岩;8—铜矿体;9—推测正断层;10—Ⅰ号矿体地面投影范围;Au、Hg 质量分数的单位为 10^{-9},其余为 10^{-6}

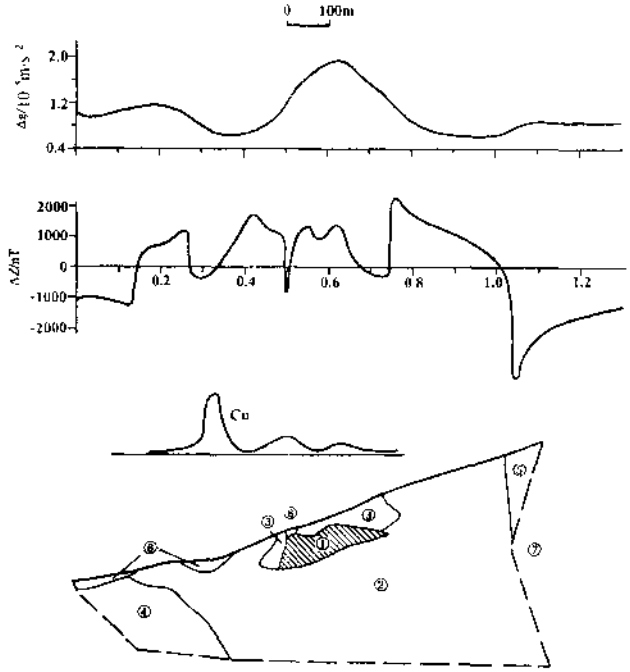


图 2.2.9 德尔尼铜钴矿床地质-地球物理-(地球化学)找矿模型

重力与磁异常计算采用 2.5D 正演计算程序;物性参数见表 2.2.8。计算剖面方位角:39°;地磁倾角 I = 54°08′;地磁偏角 D = -1°21′;地磁强度 $T_0 = 0.5324 A \cdot m^{-1}$;图中①~⑦见表 2.2.9

表 2.2.8　德尔尼矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

	标志分类	标志或信息显示	
区域背景	地质构造	矿区位于巴颜喀拉褶皱系的阿尼玛卿褶皱带东段，阿尼玛卿山南缘大断裂北侧	
	地球物理场	NW向重力梯级带，场值由SW→NE升高，梯度约 $1\times10^{-5}m\cdot s^{-2}/km$； ΔT 平静背景中，NW向长轴不等的椭圆状异常相联呈串	
	地球化学场	Cu、Co、Ni、Cr、Mn、Zn、Hg等元素组合异常带，呈NW—SE向展布，反映了区域构造方向，德尔尼矿区位于异常带的东南段	
地质	地　层	矿与地层无直接关系，下二叠统中部碎屑岩夹火山岩组（P_1b）为含矿超基性岩的围岩	
	构　造	超基性岩严格受深大断裂控制，深大断裂，板块缝合线是找矿的先决条件	
	岩浆岩	矿体严格受超基性岩控制，几乎无一例外的产于超基性岩体中；且岩体规模愈大，成矿愈有利。超基性岩以辉橄岩为主，次为纯橄岩和辉石岩及少量辉长岩；强烈碳酸岩化超基性岩是重要的找矿标志	
	围岩蚀变	蛇纹石化和碳酸岩化分布最广，并与矿体有一定空间联系，具一定找矿意义。滑石化、绿泥石化、钠闪石化、硅化、绿帘石化、黑云母化等蚀变较弱，分布不广，与矿体关系不密切	
	赋矿部位	大部分矿体赋存于超基性岩体中部，部分矿体的直接顶板为 P_1 板岩夹变砂岩	
	主要矿石矿物	黄铁矿、磁黄铁矿、次有黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿、褐铁矿等；及少量铬尖晶石、白铁矿、钴镍黄铁矿、斑铜矿、铜兰、孔雀石、蓝铜矿等	
	直接找矿标志	铁帽、褐铁矿化岩石、及地貌呈塌陷地形的地段	
地球物理	探测目标物	容矿岩体（以碳酸盐化超基性岩为主体）	矿　体
	目标物物性特征	低～中密度（2.64～2.76）$10^3kg\cdot m^{-3}$ 中～高磁 $M:n\times(10^2\sim10^3)A\cdot m^{-1}$ 弱极化（2.1%～4.0%）、极高电阻（$10^3\sim10^4$）$\Omega\cdot m$	极高密度（$3.50\times10^3kg\cdot m^{-3}$） 高磁 $M:>10^3A\cdot m^{-1}$ 极高极化（41.4%）、低电阻（$10^1\Omega\cdot m$）
	地表异常特征	位于重力梯度带上；庞大的重力高异常（长1100m，宽600m），与其间分布有超基性岩带的 P_1 岩层对应。 航磁平稳磁场背景中，岩体显示椭圆状正磁异常，其北侧有的存在伴生负磁异常	高磁异常上有重力高对应； 高极化背景上有低阻异常反映，氧化-还原条件有利，埋藏浅的矿体上有明显自电异常； 允电法可发现相邻盲矿体；矿体重叠、形态复杂情况下，配合探矿工程，可确定矿体基本形态及连接关系等
	干扰异常	高密度安山岩类、凝灰岩类，可能成为重力矿异常的干扰；含石墨或炭质板岩、片岩是电法和电磁法勘查的主要干扰因素	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Co、Zn、Au、Hg 前缘元素： 近矿元素： 尾部元素：	
	元素浓度分带	土壤测量：Cu：$(40\sim100\sim250)\times10^{-6}$　Co：$>60\times10^{-6}$　Zn：$(80\sim200)\times10^{-6}$　Au：$(1.5\sim10.0)\times10^{-9}$　Hg：$>150\times10^{-9}$	
	主要元素异常形态与分布范围	1:1万土壤测量，圈出Cu、Zn、Co、Au、Hg等元素异常；矿体出露处附近，形成各自的浓集中心。Cu异常范围最大，有清晰的浓度分带，以Cu：40×10^{-6}圈定异常面积约 $0.03km^2$；Zn、Co、Hg异常范围较小；Au：1.5×10^{-9}异常范围与Cu相近	
	其他特征	Cu、Co和Au、In、Ni元素在下部矿体中含量比在上部矿体中含量高；Zn与其相反； $w(Ni)/w(Co)$比值可判别异常于矿、超基性岩体的关联；一般超基性岩体 $w(Ni)/w(Co)$比值为10～20；近矿超基性岩 $w(Ni)/w(Co)$比值为3～8；矿体附近 $w(Ni)/w(Co)<1$	
	备　注	与（中国）橄榄岩平均化学组成比较，以超基性岩为容矿岩石的德尔尼矿床矿石中：Se高出近500倍，Tl、In高约50倍；Pt、Pd则偏低	

表 2.2.9　德尔尼矿床物性地质体与重、磁异常正演计算参数表

编号	物性地质体	密度		磁性	
		实测(10^3kg·m^{-3})	计算采用	实测	计算用
①	矿体	极高密度(3.50)[1]	0.82	高磁(κ:$9.22\times10^3\times4\pi\times10^{-6}$SI; M_r:$1.40\times10^3\times10^{-3}$A·m^{-1})	630.90
②	超基性岩(蛇纹石化)	中低密度(2.63)	-0.05	高磁(κ:$4.72\times10^3\times4\pi\times10^{-6}$SI; M_r:$2.94\times10^3\times10^{-3}$A·m^{-1})	545.30
③	碳酸盐化超基性岩	中密度(2.77)	0.09	中磁(κ:$5.43\times10^2\times4\pi\times10^{-6}$SI; M_r:$3.90\times10^2\times10^{-3}$A·m^{-1})	67.91
④	蚀变安山岩	高密度(2.82)[2]	0.24	中磁(κ:$1.55\times10^2\times4\pi\times10^{-6}$SI; M_r:$1.25\times10^2\times10^{-3}$A·m^{-1})	20.75
⑤	炭质板岩	中密度(2.74)	0.06	微磁	背景
⑥	氧化矿	甚低密度(2.40)	-0.28	微磁	
⑦	其他围岩	中密度(2.68)	0.00	微磁	

磁异常正演计算磁化强度：$M/10^{-2}$A·m^{-1}；①按 36% 矿石（$\sigma=4.64\ 10^3$kg·m^{-3}），64% 夹石（$\sigma=2.77\ 10^3$kg·m^{-3}）计算的矿体密度；②安山岩密度不均匀，计算时取密度为 $2.82\ 10^3$kg·m^{-3}。

（3）圈定矿体的大体部位：1:2.5 万～1:1 万中—高精度重、磁，和以电磁测深为主的综合电磁法勘查。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 2.2.A　德尔尼铜钴矿床地质特征简表。

表 2.2.B　德尔尼铜钴矿床地球物理特征简表。

表 2.2.C　德尔尼铜钴矿床地球化学特征简表。

表 2.2.A　德尔尼铜钴矿床地质特征简表

地理位置		青海省玛沁县大武镇西南 20km	1:20 万图幅：I-47-（17）	
矿床类型		熔离贯入-热液型①	矿石建造	Cu-Zn-Co
矿床规模、品位		大型　Cu 为 1.27%（S 为 30.02%、Co 为 0.09%、Zn 为 1.04%）	容矿岩石	以辉橄岩为主，次为纯橄岩、辉石岩组成并已蛇纹石化的超基性岩
地质成矿环境	构造背景	巴颜喀拉褶皱系的阿尼玛卿褶皱带东段，阿尼玛卿山南缘大断裂北侧；NW 或 NWW 向，长达 300 余千米的阿尼玛卿超基性岩带东段的德尔尼超基性岩体中部		
	地　层	C_3 呈 NWW 向条带状、NE 倾向单斜层：斜长角闪片岩夹大理岩、大理岩、生物灰岩、结晶灰岩四层呈渐变关系。P 分布较广，P_1 分两个岩组：P_1b 中部碎屑岩夹火山岩组，分布于矿区中、北部，由千枚板岩、炭质板岩、变砂岩组成，夹火山岩透镜体，为超基性岩体围岩；P_1c 上部碎屑岩夹碳酸盐岩组。P_2 主要由石灰岩和砂岩组成。J_{1-2} 含煤碎屑岩，断陷盆地沉积。K 为砾岩、砂砾岩等，出露面积较大。R 是固结较差的碎屑岩，沿中部断裂带断续分布。Q 是松散沉积物，沿沟谷零散分布		
	构　造	总体构造线与地层走向一致，断裂带、褶皱轴向及岩体长轴大致为 300°～330° 北部为白垩纪断陷盆地；南部德尔尼复背斜由 P_1 岩层构成，沿轴部发育一系列 NW 向纵断裂，侵入体及断陷盆地，构成“断陷-侵入岩带”。 断裂发育于德尔尼复背斜，分为 NW 向纵断裂带，NNE 向横断层和近 EW 向斜交断层一组。其中 NW 向断裂密集成带出现，贯穿全区，具多期活动特点。NNE 向规模较小；近 EW 向为隐蔽构造		
	岩浆岩	分超基性岩、酸性侵入岩两大类。呈 NW—SE 向带状，主要分布于矿区中部，与断层一起构成宽约 3～5km 的断裂-岩浆岩带，超基性岩带中最大的德尔尼超基性岩体，长约 17km，最宽约 1km；分为四个小岩带，以辉橄岩为主，次为橄榄岩、辉石岩及少量辉长岩；蚀变强烈，均成蛇纹岩、碳酸盐化蛇纹岩等　酸性侵入岩分布于超基性岩带北侧，以花岗岩为主，次有花岗闪长岩、角闪花岗岩、花岗正长岩、正长岩等，呈小岩体出现，规模小，出露少		
	主要控矿因素	超基性岩是控矿的基本因素　超基性岩是矿体的成矿母岩，又是矿体的围岩。 含有丰富硫和亲硫元素的原始岩浆，是形成熔离型矿床的主要控矿因素。 断裂构造控制了超基性岩体的分布，因此深大断裂带是矿体生成的极其重要的间接控制因素。 碳酸盐化蚀变与矿体关系密切，对矿体生成有一定的控制作用		
矿体特征	成矿岩体	以辉橄岩为主，次为纯橄岩和辉石岩组成的超基性岩体		
	容矿构造			
	矿化阶段	经历了五个阶段：即岩浆分异阶段（主成矿阶段）形成超基性岩中铜钴（硫、锌）矿体→岩浆侵位阶段生成新的小矿体→构造阶段使矿体的形态、产状发生改变→热液叠加阶段生成晚期黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿呈细脉状穿插原生矿石→表生作用阶段形成铁帽等		
	蚀　变	矿体的围岩蚀变发育，以蛇纹石化和碳酸盐化分布最广，与矿体有一定空间联系；其次有滑石化、绿泥石化、钠闪石化、硅化等，蚀变较弱，分布不广，与矿体关系不密切		
	矿化分带	分带不明显，矿体中黄铁矿、黄铜矿分布均匀，闪锌矿多分布在矿体上部，磁黄铁矿分布在边部		
	矿体特征	金属矿物：主要有黄铁矿　磁黄铁矿、次有黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿等；以及少量铬尖晶石、白铁矿、钴镍黄铁矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石、蓝铜矿等		
		矿石特征：矿石构造主要为块状、浸染状、条带状，次有脉状、网脉状、斑状、似斑点状等		
		矿体形态：呈似层状和透镜状，受后期构造的影响，各主矿体均呈现褶皱形态		
	脉石矿物	以方解石、白云石为主，次有石英、滑石、蛇纹石类等		
表生地质		表生作用下形成铁帽、褐铁矿化岩石，以及部分第四系残积物被铁质胶结形成的铁质角砾岩呈大面积分布。埋藏较浅的矿体顶端附近地貌呈塌陷地形特征		
地貌景观		高寒山区		
备　注		①为多期次、多成因、多种成矿作用复合叠加矿床		

表 2.2.B　德尔尼铜钴矿床地球物理特征简表

区域场	重力场		NW—SE 向重力梯级带，场值由 SW→NE 升高，梯度约 $1\times10^{-5}m\cdot s^{-2}/km$；德尔尼矿区即处于该重力梯级带上
	磁　场		航磁 ΔT 平静背景磁场中，长轴呈 NW 向，轴长不等的椭圆状异常相联呈串。 与超基性岩体对应的 ΔT 异常：约长 24km，宽 6km；极大值 120nT，北东侧伴有 -20nT 负异常。已控制地磁 ΔZ 异常，断续长达 50km，梯度陡，最宽处不足 3km，最窄处仅约 100m；强度 $n\times100\sim7000$nT，北侧有时伴有负异常，南侧磁场较北侧磁场高出约 150nT
矿区(田)异常	重力异常		以几条未作地改的重力测线数据编绘的重力平面图显示：埋深小于 50m，产状平缓的Ⅰ号矿体上仍有明显的局部异常；其南部庞大的重力高异常（长 1100m，宽 600m），与其间分布有超基性岩带的 P_1 岩层对应
	磁力异常		强度高，变化大，以正异常为主，北、南部 ΔZ 高达 2000～5000nT；其间分布有弱或负磁异常带，ΔZ 局部异常小于 -500nT。正异常的南缘与北带超基性岩体的南界基本吻合，中间低弱磁异常带与近矿碳酸盐化蚀变磁性降低有关，矿区南部为条带状负异常，强度小于 -2000nT；与北带岩体下界北倾和南带岩体延深有限有关
	电异常	激电异常	$\eta_S>15\%$的占测区范围 80%，最高异常在南部炭质板岩分布区
		自电异常	范围大、形态较规则，ΔU：-80mV 等值线闭合呈长约 1.3km、宽约 0.6km 的似椭圆状；与矿带分布一致。圈内含 7 个幅值 -160～-320mV，以 NW 向长条状为主的局部异常，均落在已知矿体地表投影范围内，因区内潜水面浅，对较深矿体反映不好
		电磁异常	
矿床异常	重力异常		经地改及区域改正的 13 勘探剖面，重力异常幅值达 $1.8\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$，极大值与矿体上凸部位对应；15 线重力异常幅值达 $3.2\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$
	磁力异常		与超基性岩体对应较好，13 线剖面上，北带岩体异常梯度陡，其正、负异常强度分别约达 3000nT 和 -400nT，与岩体边界对应良好；南带岩体反映不明显
	电异常	自电异常	剖面上与近地表的Ⅰ号矿体对应，异常呈北陡南缓，强度 -270mV
		激电异常	因矿体产状平缓、相互重叠，又有炭质板岩干扰，致使矿体上异常不明显
		电阻率异常	充电法：(a)根据其梯度曲线内拐点可圈定矿体边界；(b)发现相邻盲矿体；(c)在矿体相互重叠、形态复杂的情况下，可配合探矿工程，确定矿体基本形态及其连接关系等
		电磁异常	瞬变电磁法（TEM）试验显示：对大、浅、富的矿体反映良好，各时间道均有明显异常；炭质板岩上，亦有类似异常。因而，单以 TEM 法难予区分矿与非矿异常
	干扰因素		密度较大的安山岩类、凝灰岩类，可能引起非矿重力异常干扰。含石墨或炭质板岩、片岩，为非矿电异常的主要干扰

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁性		电性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	$\eta/\%$	$\rho/\Omega\cdot m$
	原生铜矿石	4.64	4.52～4.86	8.86×10^3	1.34×10^3	41.4	1.30×10^1
	氧化矿石	2.79	2.55～3.05	1.36×10^4	1.30×10^3	8.1	1.46×10^4
	超基性岩	2.64	2.52～2.75	4.73×10^3	2.94×10^3	4.0	1.14×10^4
	碳酸盐化超基性岩	2.76	2.71～2.87	5.2×10^2	3.9×10^2	2.1	5.06×10^3
	矿化超基性岩	2.61		8.82×10^3	8.81×10^3	13.9	9.64×10^3
	砂板岩、辉岩	2.68	2.52～2.76	$\leqslant0.2\times10^2$	$\leqslant1.0\times10^2$	1.5	9.88×10^3
	火山岩	2.88		1.6×10^2	1.2×10^2	1.2	9.24×10^3
	炭质石墨质板岩、片岩	2.71	2.63～2.82	$\leqslant0.2\times10^2$	$\leqslant1.0\times10^2$	10.8	2.36×10^3
备　注							

表 2.2.C　德尔尼铜钴矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Cu、Co、Ni、Cr、Hg、Zn，其次有 Pb、Bi														
	空间分布	1:20 万水系沉积物测量显示：Cu、Co、Ni、Cr、Hg、Mn、Zn 等元素组合异常，呈 NW—SE 向带状分布，与超基性岩带主体构造线方向一致，德尔尼矿区位于异常带的南东端。 1:5 万水系沉积物测量在矿区及外围，出现由多个浓集中心组成的大片 Cu 异常，浓度分带清晰。以 Cu：60×10^{-6}圈闭的异常约 18km²；100×10^{-6}圈闭异常约 2.5km²。矿区位于 Cu：150×10^{-6}圈闭内														
	元素浓度分带	Cu：25～45～65　Co：10～15　Ni：30～60～120　Zn：70～140～280　Zn：65～90　Mn：500～700　B：60～90　F：480～700　Hg：40～100～200　Mo：0.7～1.2　Au：2.0～4.0														
	元素水平分带															
	其他特征															
矿床异常	元素组分	地表：Cu、Co、Zn、Au、Hg　　断面：Cu、Co、Zn、Cr、Ni、V、Ti														
	空间分布	1:1 万土壤测量，圈出 Cu、Zn、Co、Au、Hg 等元素异常；矿体出露处附近，形成各自的浓集中心。Cu 异常范围最大，有清晰的浓度分带，以 Cu：40×10^{-6}圈定异常面积约 0.03km²；Zn、Co、Hg 异常范围较小；Au：1.5×10^{-9}异常范围与 Cu 相近　　零星的岩石原生晕工作发现：Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Co、V、Ti 等元素异常仅在矿体部位出现，离开矿体便无异常显示														
	元素浓度分带	Cu：40～100～250　Zn：80～200　Hg：>150　Au：1.5～10.0　Co：>60														
	元素分带序列	未进行元素分带序列的研究　　据矿石组分分析：Cu、Co 和 Au、In、Ni 元素在下部矿体中含量比在上部矿体中含量高；Zn 则之相反，即在下部矿体中含量比上部矿体中低														
	元素间相关性															
	其他特征	15 勘探线 1 号矿体处，Cu 异常出现在矿体露头的下方，异常狭窄，峰值陡峭，显示了高寒山区以物理风化为主、次生晕扩散距离小或不发育的表生地球化学特征														
矿体剥蚀程度评价指标		可藉 $w(Ni)/w(Co)$ 比值判别矿与超基性岩体异常： 一般超基性岩体 $w(Ni)/w(Co)$ 比值为 10～20；近矿超基性岩 $w(Ni)/w(Co)$ 比值为 3～8；矿体附近 $w(Ni)/w(Co)<1$														
岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Cr	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	Se
	Ⅰ号矿体（下部）	1.48		1.06	710	3.7				500	1110					28
	Ⅱ号矿体（上部）	1.03		2.21	260	4.5				100	820					26
	变安山岩	38		58	0.60				143	94	35					
	板岩	32	13	90	1.39				213	188	15					
	超基性岩	110		111	1.67				1099	1986	153					
	黑云母花岗岩	22	22	104					32	19	16					
	石英闪长岩	81	40	106					12	80	39					
备注		元素质量分数单位：矿体 Cu、Zn 为 10^{-2}；Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。 与（中国）傲榄岩平均化学组成比较，以超基性岩为容矿岩石的德尔尼矿床矿石中 Se 高出近 500 倍，Tl、In 高约 50 倍；Pt、Pd 则偏低														

第三章　斑岩型矿床

第一节　黑龙江多宝山铜矿床

多宝山矿床[1][2][3]位于黑龙江省嫩江县，是多宝山斑岩铜矿田中的主要矿床，其东南角还分布有规模较小的铜山、小多宝山矿床；及报捷、孤山、争光等矿点。

一、区域背景

多宝山矿床是我国北部成矿域古亚洲活动带东段多宝山—阿尔山斑岩成矿带上的重要矿床，位于天山—兴蒙褶皱系大兴安岭优地槽褶皱带北东段，新开岭断裂北西侧，西邻嫩江大断裂（图 3.1.1）。

地球物理背景场表现为：矿区处于大兴安岭—武陵山北东东向重力梯度带的北段东侧，相应区域磁场总体呈北东向展布。

地球化学场呈北东向断续分布的 Cu 高背景（$w(Cu) > 24 \times 10^{-6}$）区（宽河村—多宝山一带），多宝山矿区位于该高背景区的西南端。

二、成矿环境

多宝山矿区的古构造环境：空间上位于大陆边缘区域深断裂的隆起一侧，时间上处在造山期后长期上隆所诱导出的伸展拉张构造环境。

1. 地层

矿田区出露地层主要为奥陶系、志留系岩层，泥盆系、石炭系、二叠系、白垩系及第四系仅局部分布（图 3.1.3）；石炭系以新地层与泥盆系以老地层呈不整合接触。

多宝山矿区出露地层以中奥陶铜山组（O_2t）凝灰质碎屑岩，多宝山组（O_2d）英安质、安山质熔岩及火山角砾岩、凝灰岩为主；局部凹陷处，分布有石炭系—二叠系陆相沉积。

2. 构造

由于经受了多次构造运动，矿区构造极为复杂。多宝山矿床位于 NE 向区域深断裂隆起的一侧，具有多期活动的三矿沟—多宝山—争光 NW 向构造-岩浆岩带的中段。该构造带由小多宝山倒转背斜，多宝山倒转背斜和 NW 向断裂，以及 NE25°～40°，近 SN 向、近

---

[1] 董忠义等。黑龙江省嫩江县多宝山铜矿床及其东南部地区物（化）探普查报告。黑龙江地质第四队二分队，1980。

[2] 姚志强，都起民，卢秉刚。多宝山铜矿床综合找矿模型（会议交流材料）。1992。

[3] 马志红，姚志强等。黑龙江省多宝山铜矿田靶区优选（研究报告）。长春地质学院，黑龙江地矿局第二地质调查所，1995。

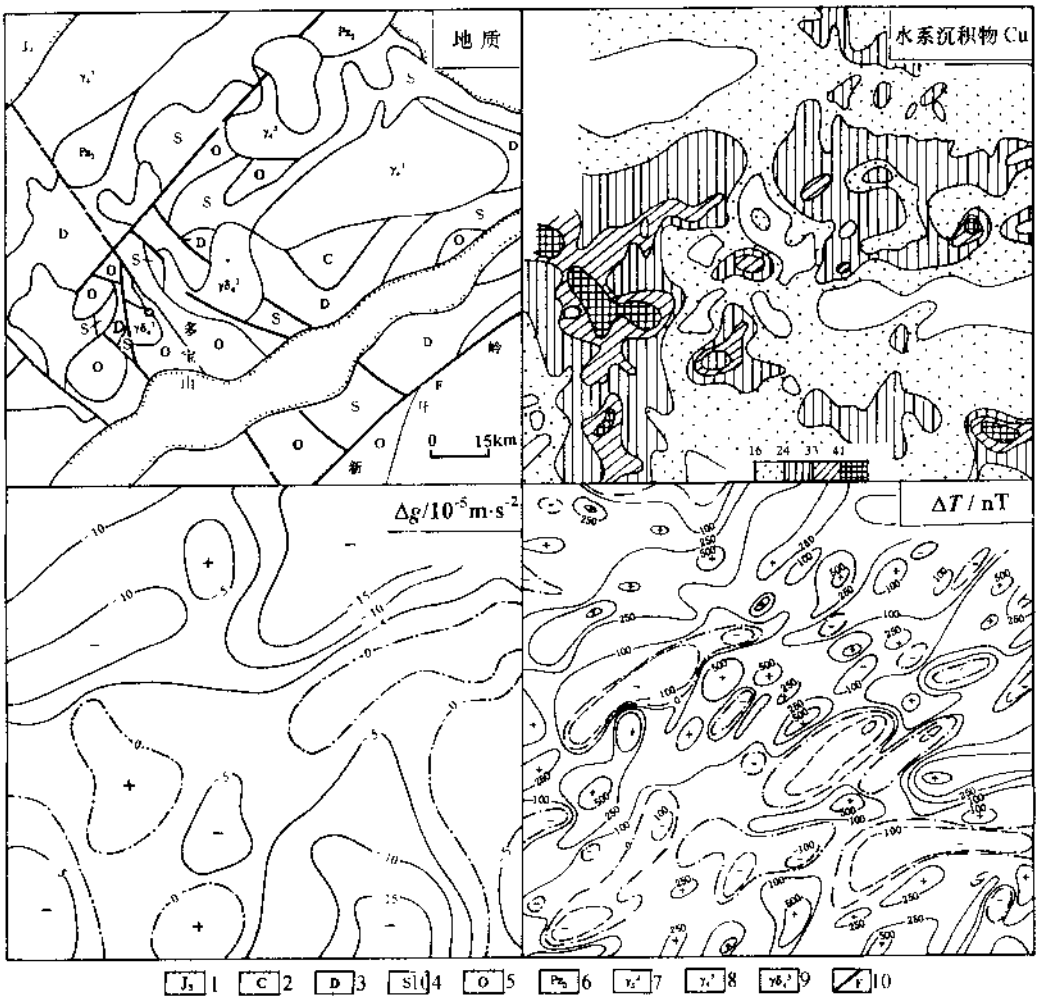


图 3.1.1　多宝山矿田区域地质背景剖析图

（分别引自：杜琦（地质）、姚志强（Cu 异常），1:100 万航磁等）

1—上侏罗统；2—石炭系；3—泥盆系；4—志留系；5—奥陶系；6—上古生界；7—燕山期花岗岩；8—海西晚期花岗岩；9—海西晚期花岗闪长岩；10—断层；铜质量分数以 10^{-6} 为单位

EW 向的断裂组成。多宝山、铜山矿床即位于多宝山倒转背斜近轴部，NW 向与 NE 向断裂的交汇部位。容矿构造为微细裂隙及韧性剪切带的片理。

3. 岩浆岩

自加里东期以来，岩浆活动频繁，不同期形成的各类岩浆岩均有出露。主要分布于矿区的北部和中部。岩性以花岗闪长岩、石英闪长岩和斜长花岗岩为主，其次为更长花岗岩与花岗闪长斑岩。

海西期多宝山花岗闪长岩（$\gamma\delta_4^2$）和花岗闪长斑岩（$\gamma\delta\pi_4^2$）复式岩体与成矿关系密切。花岗闪长岩呈不规则小岩株产出，出露面积约 9km²，侵入于多宝山组地层中，接触带多呈犬牙交错状。出露地表的花岗闪长斑岩，呈两个长轴为 NW 向的透镜状小岩体分布于花

岗闪长岩中，面积分别为 0.08km² 和 0.09km²，接触带附近花岗闪长岩明显破碎，并见变质晕圈。

4. 区域地球化学

（1）微量元素平均含量。多宝山地区中奥陶统地层主要岩石中微量元素含量统计（表 3.1.1）表明：早期安山岩具有较高的 Cu、Zn 含量，为区域成矿奠定了物质基础。

表 3.1.1 多宝山地区中奥陶统地层主要岩石中微量元素含量

地层	岩石名称	样品数	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn
多宝山组	中酸性凝灰熔岩	5	50	18	102	9	13	612
	中酸性凝灰岩	8	137	17	139	21	27	916
	中性凝灰岩	12	142	11	98	16	24	787
	安山岩	22	151	16	145	21	27	825
	凝灰砂岩	8	134	21	124	19	23	713
铜山组	中性凝灰岩	5	98	11	180	14	25	948
	凝灰砂岩	10	95	10	145	12	21	738
	中酸性凝灰熔岩	2	80	10	108	16	19	590
	凝灰砂砾岩	2	47	7	210	12	21	760

元素质量分数单位：10^{-6}。　　引自杜琦等资料，1988。

岩浆岩中微量元素含量统计（表 3.1.2）：花岗闪长斑岩和花岗闪长岩中，Cu、Ag 元素明显富集，与酸性岩平均丰度（鄢明才等 1996）相比，其富集倍数分别达 33～20 和 12～8 倍，以花岗闪长斑岩中含量最高，反映矿床形成与花岗闪长斑岩关系密切。

表 3.1.2 多宝山铜矿区岩浆岩中微量元素含量

岩性	Cu	Ag	Mo	Zn	Pb	Co	Mn	样品数
花岗闪长斑岩	262.0	0.70	4.90	29.0	20.0	4.1	360	13
花岗闪长岩	161.0	0.49	2.45	32.6	8.6	7.1	698	181
安山玢岩	55.6	0.52	0.95	57.0	9.9	8.5	862	45
更长花岗岩	135.0	0.50	13.50	14.0	19.0	6.5	822	13
斜长花岗岩	26.0	<0.5	0.80	43.3	15.5	5.8	351	20
中国酸性岩（鄢明才等，1997）	8.0	0.06	0.7	24	45	4.8	380	

元素质量分数单位：10^{-6}。　　据徐外生等资料，1980

据矿区岩体含矿性评价研究，含矿岩体的地球化学标志：Cu 元素含量大于 100×10^{-6}、变异系数大于 1；岩体中 Cu 元素的分布呈双峰或多峰型。

环绕多宝山矿田向外，Cu 元素依次出现增高场→降低场→正常场（图 3.1.2），显示矿床的 Cu 部分来自围岩。

（2）异常元素组合与分布。异常元素以 Cu、Mo、Ag、Au、Sb、Zn 为主。1:20 万水系

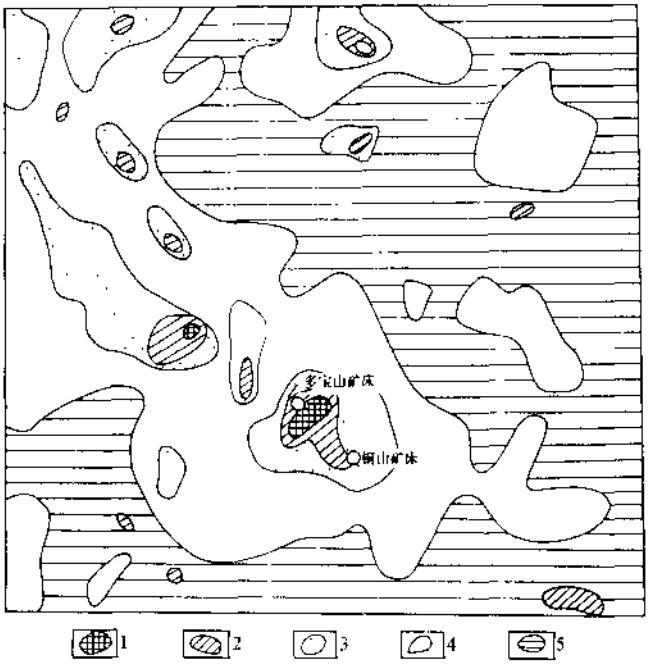


图 3.1.2 矿田铜量（水系沉积物）分布图

（引自姚志强等，1992）

1～3—异常内、中、外带；4—铜量降低场；5—正常场

沉积物测量 Cu 元素异常范围约 19km^2（图 3.1.3）；Cu、Mo、Ag、Au 异常具有清晰的浓度分带，Cu、Mo 衬值、变异系数均较大。主要异常元素特征参数见表 3.1.3。受 NW 和 NE 向两组断裂控制，异常形态显示为不规则状，北东向延伸较长。

表 3.1.3 多宝山地区地球化学异常特征参数表

元素	区域平均值	含量范围	平均值	异常特征参数				
				离差	衬值	变异系数	面积/km^2	浓度分带
Cu	33.26	50～484.8	137.4	109.98	2.75	0.79	19	50～100～200
Mo	1.19	1.5～9.3	3.3	2.10	2.20	0.64	14	1.5～3.0～6.0
Ag	0.08	0.24～0.43	0.32	0.09	1.60	0.29	4	0.15～0.3
Au	1.86	3.0～9.0	4.83	2.05	1.61	0.43	18	3.0～6.0～12.0
Sb	0.43	0.28～1.07	0.25					
Zn	70.13	50.2～204.6	94.32					

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。

5. 区域地球物理场

多宝山矿田位于三矿沟—争光北西向重力梯度带中梯度较大的地段，其北东为海西期斜长花岗岩体形成的区域重力低（图 3.1.3）。

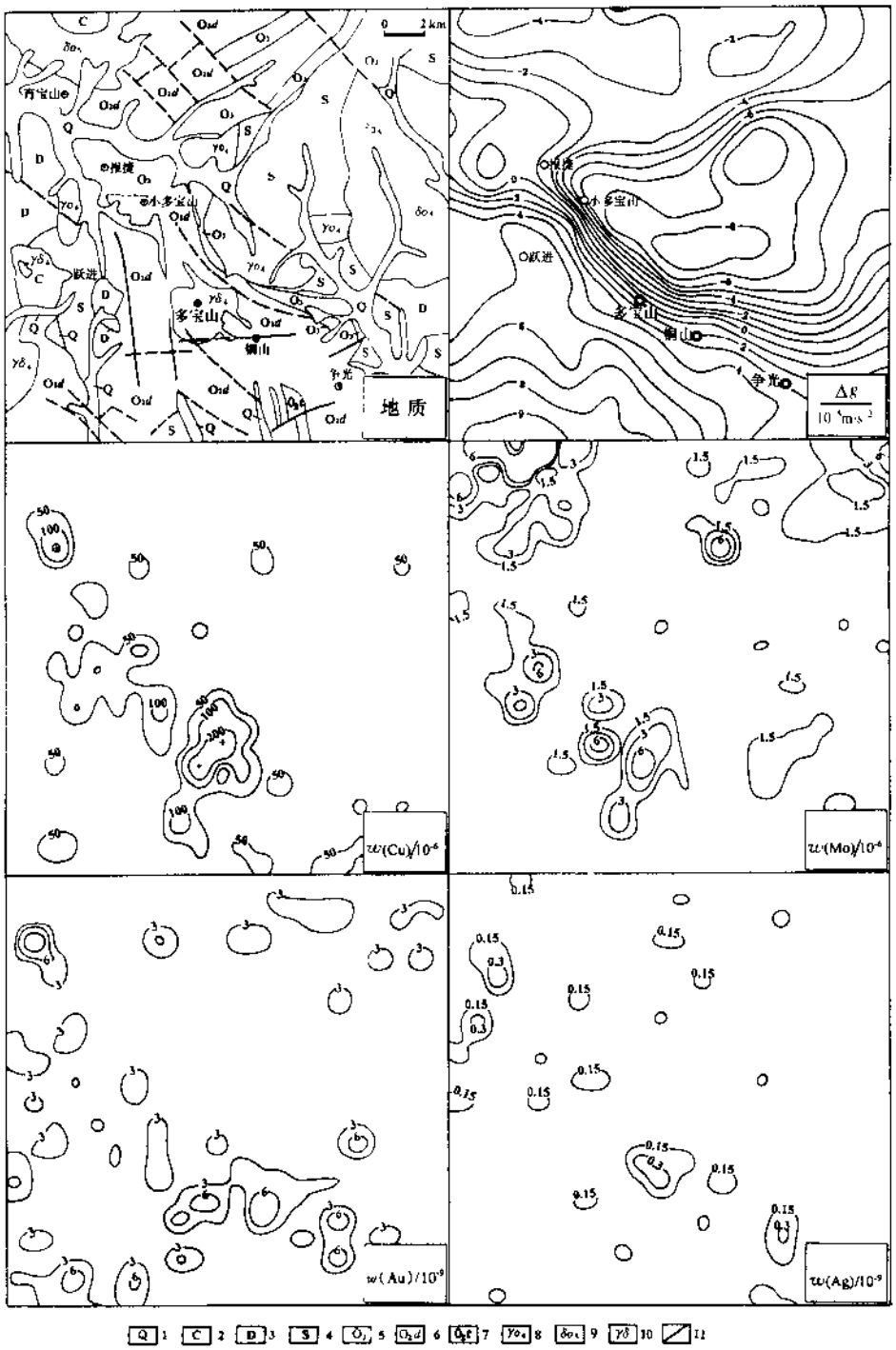


图 3.1.3　多宝山矿田区域场剖析图

1—第四系；2—石炭系；3—泥盆系；4—志留系；5—上奥陶统；6—中奥陶统多宝山组；7—中奥陶统铜山组；8—海西期斜长花岗岩；9—燕山期石英闪长岩；10—海西期花岗闪长岩；11—断层

在 ΔT 区域正磁场中，彼此孤立的近等轴状正磁异常，强度约 300 ~ 500nT 为中酸性岩体反映；大面积平稳的负磁场区与古生界地层分布基本一致；局部地段的跳跃磁场，多为中生界火山岩反映。

区内走向明显的带状重、磁异常较为突出，反映了断裂构造的分布，如桦树排子—卧都河负磁异常带，三矿沟—争光重力梯度带等。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿床由多个矿体（或矿体群）组成。矿体形态复杂，呈雁行排列。根据矿体相对于斑岩体的空间部位，分为四个矿带：即位于斑岩体下盘的花岗闪长岩中的Ⅰ号矿带，和位于斑岩体上盘花岗闪长岩中由北西→南东依次排列的Ⅲ、Ⅱ、Ⅳ号矿带（图 3.1.4）。各矿带一般距斑岩体 0 ~ 500m，以距离 50 ~ 150m 处矿化最好。矿体多呈透镜状和条带状，大多向 SE 倾斜；矿体规模以Ⅲ号主矿带最大，且产状最陡。

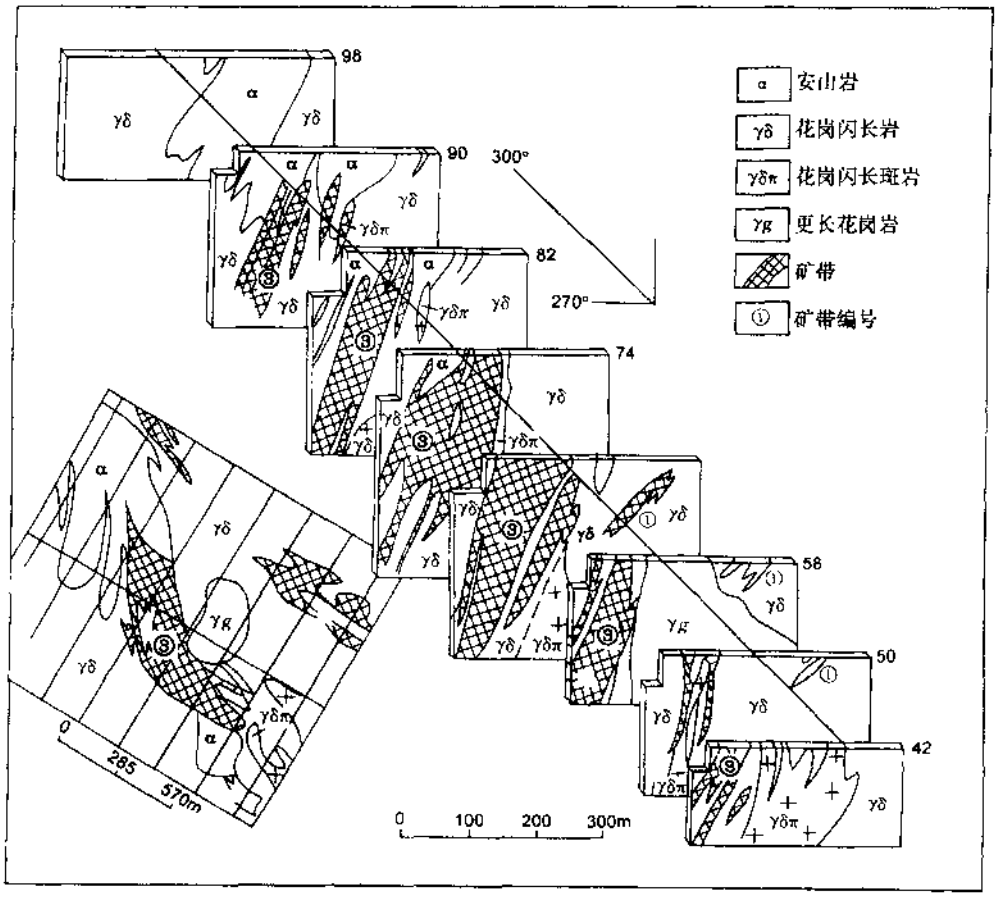


图 3.1.4 多宝山铜矿床矿带分布与地质剖面联系图

（据杜琦、姚志强等资料）

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造主要为细脉浸染状，次为浸染状和脉状，亦有团块状、块状、条带状、杏仁状及土状，但不发育。

原生金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿和辉钼矿；其次有磁铁矿、赤铁矿、方铅矿、闪锌矿及磁黄铁矿等。次生金属矿物主要有孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、褐铁矿、钼钙矿、黄钾铁矾、铜蓝等。

矿石中有益伴生组分有 Au、Ag、Se、Re 和 Pt 族以及 Ga 等元素。

脉石矿物主要有：石英、斜长石、绢云母、叶绿泥石、方解石、钾长石等。

3. 矿化阶段及分带性

多宝山矿床成矿作用可分为三个成矿期，六个成矿阶段：①花岗闪长岩岩浆热液期，黑云母-磁铁矿-硫化物阶段；②花岗闪长斑岩岩浆热液期，包括长石-石英-硫化物阶段、绢云母-石英-硫化物主成矿阶段、绿泥石-黄铁矿阶段、碳酸盐-硫化物阶段；③表生期，氧化阶段。

与矿床热液蚀变分带对应，由内向外可大致分为三个矿化带：①铜钼矿化带：以辉铜矿为主，分布于斑岩体的边部和周围，近石英核部辉钼矿增多；②铜矿化带：其主矿带与绢云母化带相吻合，中部以斑铜矿为主，黄铜矿次之，几乎不见黄铁矿，两侧则反之；③黄铁矿化带：大体环绕铜矿带分布，方铅矿、闪锌矿含量相对增高。

4. 蚀变类型及分带

热液蚀变明显受花岗闪长斑岩体及 NW 向构造控制。以斑岩体及 NW 向构造为中心，向外呈椭圆环带状分布为钾化带→绢云母化带→青磐岩化带，后期又叠加了呈南北向分布的碳酸盐化带。

钾化带从斑岩体中心向外又可分为：①强硅化亚带或石英核，带内有时见条带状辉钼矿体；②钾硅化亚带，带内铜钼矿化较微弱；③钾长石-黑云母化亚带，带内含铜不均匀，有时可形成条带状铜矿体。

绢云母化带可分为三个亚带，并以石英-绢云母化亚带为中心，向两侧依次为：绿泥石-绢云母化亚带；绿帘石-绿泥石-绢云母化亚带。区内铜矿主要分布在石英-绢云母化亚带和绿泥石-绢云母化亚带内。

5. 氧化带

氧化带中可见孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等。

因硅化核抗风化力强，在地貌上常形成山崖；矿带分布地段因裂隙发育，且金属硫化物易风化，在矿体群分布地段则呈负地形。

6. 主要控矿因素

中奥陶世中期喷发沉积的一套以中性岩为主的火山碎屑岩。

NE 向深断裂与 NW 向构造交汇部位，控制区内岩浆岩及矿带分布；矿带内，NW 向次级背斜近轴部或倾伏端，NW 向与 NE（或近 EW）向断裂交叉部位，或 NW 向断裂转折部位控制矿床分布；岩石片理及微细裂隙发育地段为矿体赋存的有利部位。

以花岗闪长岩、花岗闪长斑岩为主的中酸性复式侵入岩体。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

根据矿区岩、矿石物性统计（表3.1.4）分析如下。

表3.1.4 多宝山铜矿区主要岩、矿石物性统计表

岩、矿石名称		块数	密度 σ / $10^3 kg \cdot m^{-3}$	磁性① κ / $(4\pi \times 10^{-6} SI)$ 均值	κ 变化范围	M_r / $(10^{-3} A \cdot m^{-1})$ 均值	M_r 变化范围	电性 ρ / $\Omega \cdot m$	η / %
矿石	铜矿化花岗闪长岩	13	2.74	6.2×10^2	$<10 \sim 9.0 \times 10^3$	1.6×10^1	$<20 \sim 1.0 \times 10^2$	3.60×10^3	7.0
古生界	安山岩	29	2.70	1.2×10^3	$<10 \sim 7.3 \times 10^3$	9.3×10^1	$<20 \sim 3.3 \times 10^3$	3.67×10^3	1.4
古生界	凝灰岩	38	2.71	5.4×10^1	$<10 \sim 1.4 \times 10^3$	2.2×10^1	$<20 \sim 2.7 \times 10^2$	1.48×10^3	1.2
古生界	凝灰熔岩	27	2.71	1.8×10^2	$<10 \sim 1.2 \times 10^3$	6.6×10^1	$<20 \sim 9.3 \times 10^3$	3.90×10^3	1.0
古生界	含炭质泥岩	10	2.70	3.8×10^2	$<10 \sim 1.4 \times 10^3$	1.8×10^1	$<20 \sim 4.1 \times 10^2$	0.90×10^3	24.2
古生界	黄铁矿化安山岩	19	2.72	3.5×10^2	$<10 \sim 5.6 \times 10^3$	6.9×10^1	$<20 \sim 6.6 \times 10^2$	3.50×10^3	8.1
岩体	花岗闪长岩	23	2.68	7.0×10^2	$<10 \sim 1.9 \times 10^4$	7.8×10^1	$<20 \sim 6.9 \times 10^2$	3.78×10^3	1.6

①其均值是将“无磁性”标本的 κ、M_r 数值，分别赋以5、10，重新作了统计；引自姚志强等，1993。表中范围 <10、<20 表示测量值未达测量精度限值。

（1）密度：矿石最高，花岗闪长岩最低，火山碎屑岩居中；花岗闪长岩与火山碎屑岩之间虽仅有 $0.03 \times 10^3 kg \cdot m^{-3}$ 的密度差，但由于岩体一般规模较大，仍可形成较明显的重力低；而当矿体比较集中，且埋深不大时，矿体群上方会出现相对重力高异常。

（2）磁性：岩、矿石磁性均很微弱，安山岩、花岗闪长岩和矿石的磁性略强；凝灰岩最弱。因而，矿带及花岗闪长岩体上有弱磁异常显示，安山岩可形成干扰磁异常。

（3）极化率：宏观上，矿石明显高于围岩（花岗闪长岩与火山岩），黄铁矿化火山岩及含炭质泥岩具同等或更高的极化率，为激电异常的主要干扰地质体。

（4）电阻率：除含炭质泥岩略低外，其他岩、矿石间的电阻率无明显差异。

2. 物性模型

据矿区90线和66线综合归纳，多宝山铜矿物性模型见图3.1.11（a），结合矿区岩、矿石物性参数（表3.1.4），物性综合特征归纳于表3.1.5。

3. 地球物理异常

（1）矿田区激电异常。呈北西转向北西西向弧形分布，西段尚未封闭（图3.1.5）。异常区出露地层为多宝山组火山碎屑岩，其 η_S 背景值约3%。以 η_S 4%等值线圈闭的异常长度大于6.0km、宽约1.6km，包含14个局部异常，极大值 $\eta_{S\,max}$ 一般6%～8%，个别达12%。多宝山矿床位于弧形异常的西部，铜山矿床位于东部。

（2）多宝山矿区物探异常。

①磁异常：Ⅰ、Ⅲ矿带上方有明显的带状弱磁异常，幅值100～200nT，其零值线与矿带范围大体相当（图3.1.6）；Ⅲ矿带西南侧岩体上亦有低缓的正磁异常，且幅值与矿带上异常相当。古生界地层上显示为负磁异常，故地面磁法可用以大致圈定岩体及矿带的分布范围。

表 3.1.5　多宝山铜矿区物性体分类及其物性特征归纳表

物　性　体	密度/10^3kg·m^{-3}	磁　性	激发极化性质	电阻率	备　注
矿体群	中高（2.74）	弱磁	中极化	高阻	探测目标物Ⅱ
花岗闪长岩体	中低（2.68）	弱磁	微极化	高阻	探测目标Ⅰ或目标Ⅱ之围岩
中—中酸性火山碎屑岩	中低（2.71）	微弱磁	微极化	中—高阻	探测目标Ⅰ之围岩
安山岩	中低（2.70）	弱磁	微极化	高阻	磁性干扰体
黄铁矿化岩石（花岗闪长岩、安山岩等）	中低（2.72）	弱磁	中极化	高阻	极化及磁性干扰体
含炭质泥岩	中低（2.70）	微弱磁	中高极化	中阻	电性干扰体

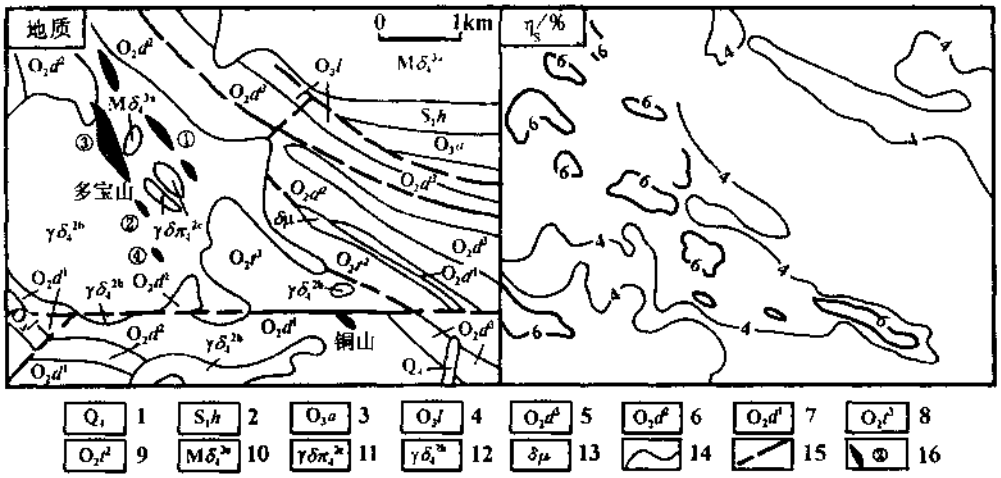


图 3.1.5　多宝山矿田激电异常平面图

（据董忠义等，1980 年；姚志强等，资料编）

1—第四系；2—下志留统黄花沟组；3—上奥陶统爱辉组；4—上奥陶统裸河组；5～7—中奥陶统多宝山组；8～9—中奥陶统铜山组；10—海西晚期英云闪长岩；11—海西中期花岗闪长斑岩；12—海西中期花岗闪长岩；13—闪长玢岩；14—地质界线；15—断层；16—矿体及编号

②激电（中梯）异常：总体呈北西向带状分布（图 3.1.6）。其中Ⅰ矿带异常较规则，西端尚未封闭，长大于 3000m，宽 200～400m，η_S 一般为 6%～10%，$\eta_{S\,max}$ 达 15%；Ⅱ矿带异常较小，约长 450m、宽 300m，西部亦未封闭，η_S 约 8%；Ⅲ矿带异常较平缓，约长 550m、宽 350m，东南端未封闭，$\eta_{S\,max}\approx 7\%$。Ⅰ、Ⅱ矿带异常与矿带符合较好，异常中心与地表出露矿体对应。

Ⅲ矿带虽为矿床的主矿带，但因其位于矿床中部，铜矿化强、黄铁矿化弱，总金属含量仅 2.6%～4.2%；而两侧的黄铁矿化强（北东侧Ⅰ矿带总金属含量达 4.0%～6.5%；南西侧花岗闪长岩中黄铁矿化含量大于 5.0%）。因此，中梯装置激电异常呈中间低，两侧较高的宽缓鞍状（图 3.1.7）。异常鞍部宽度达 800m，与 η_S 异常对应的视电阻率 ρ_S 曲线呈宽度不一的相对低阻，ρ_S 约 1000～2000Ω·m。

在矿化带上，联剖装置激电异常形成一个宽阔的反交点，两侧峰值相距约 1km。

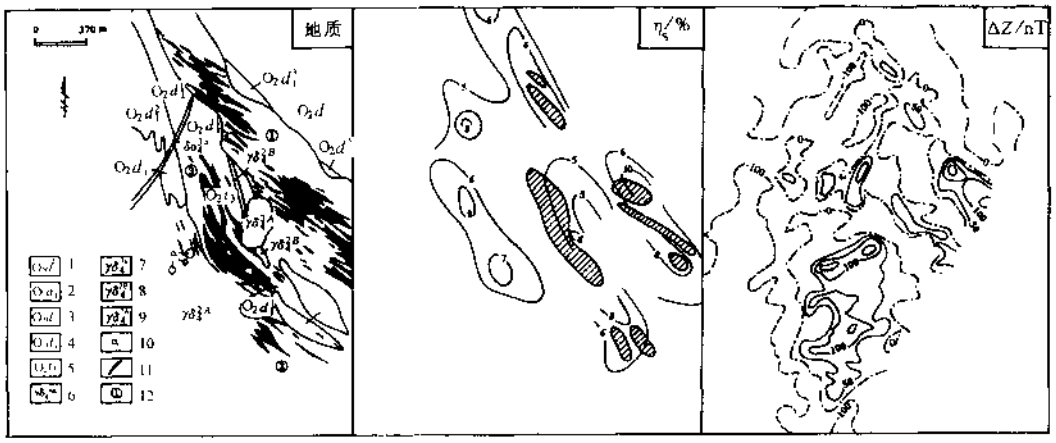


图 3.1.6　多宝山矿区物探异常剖析图

（据姚志强等 1992 年资料编绘）

1—多宝山组二段一亚段；2—多宝山组一段三亚段；3—多宝山组一段二亚段；4—多宝山组一段一亚段；5—铜山组三段；6—海西晚期更长花岗岩；7—海西晚期石英闪长岩；8—海西中期花岗闪长斑岩；9—海西中期花岗闪长岩；10—安山岩；11—铜矿体；12—矿床编号

对应中梯 η_S 异常峰值部位，偶极 η_S 断面等值线呈两个明显的“八”字异常；ρ_S 断面中部低阻主要为Ⅲ矿带浅部第四系覆盖（厚约 65m）的反映。

综上分析，激电法各种装置的异常反映较为一致，即中部宽缓激电异常为Ⅲ矿带的反映，北侧异常峰值对应于Ⅰ矿带；南侧峰值主要反映黄铁矿化火山岩。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

安山岩与花岗闪长岩亦有略强磁性，可构成矿带上磁异常的干扰。

黄铁矿化火山碎屑岩及含炭质泥岩具有与矿石同等或更高的极化率，为激电法的主要干扰。由于含炭质泥岩电阻率低于其它岩、矿石，因此炭质泥岩形成的激电异常对应的电阻率较低。可以用激电异常对应的电阻率异常较低，区分炭质泥岩的干扰。

五、矿床地球化学特征[1][2]

1. 岩矿石地球化学参数特征

主要岩、矿石中微量元素平均含量见表 3.1.6。

2. 地球化学异常

（1）岩石测量。①矿田区：Cu、Mo、Ag 等元素套合异常的最高值部位与多宝山及铜山矿床区对应较好；铜山矿床外围尚有零星分布的弱异常。在矿田区周围，Pb、Zn、Co、Mn、F 等元素形成较分散的零星异常（图 3.1.8）。②矿床区：在矿体上方，Cu、Ag、Mo、F、K_2O、Na_2O、Sr 等形成很好的原生晕异常（图 3.1.9）。Cu、Ag、Mo 元素外带组合异常与矿化带范围对应，其中内带异常能清楚地反映矿体的赋存部位；As、Pb、Zn 异常呈断

[1] 柱林冶金地质研究所化探室铜矿组，多宝山斑岩铜钼矿床的某些地球化学特征及地球化学找矿标志。1978。

[2] 朱炳球等。斑岩铜（钼）矿地球化学特征及异常评价研究，1982。

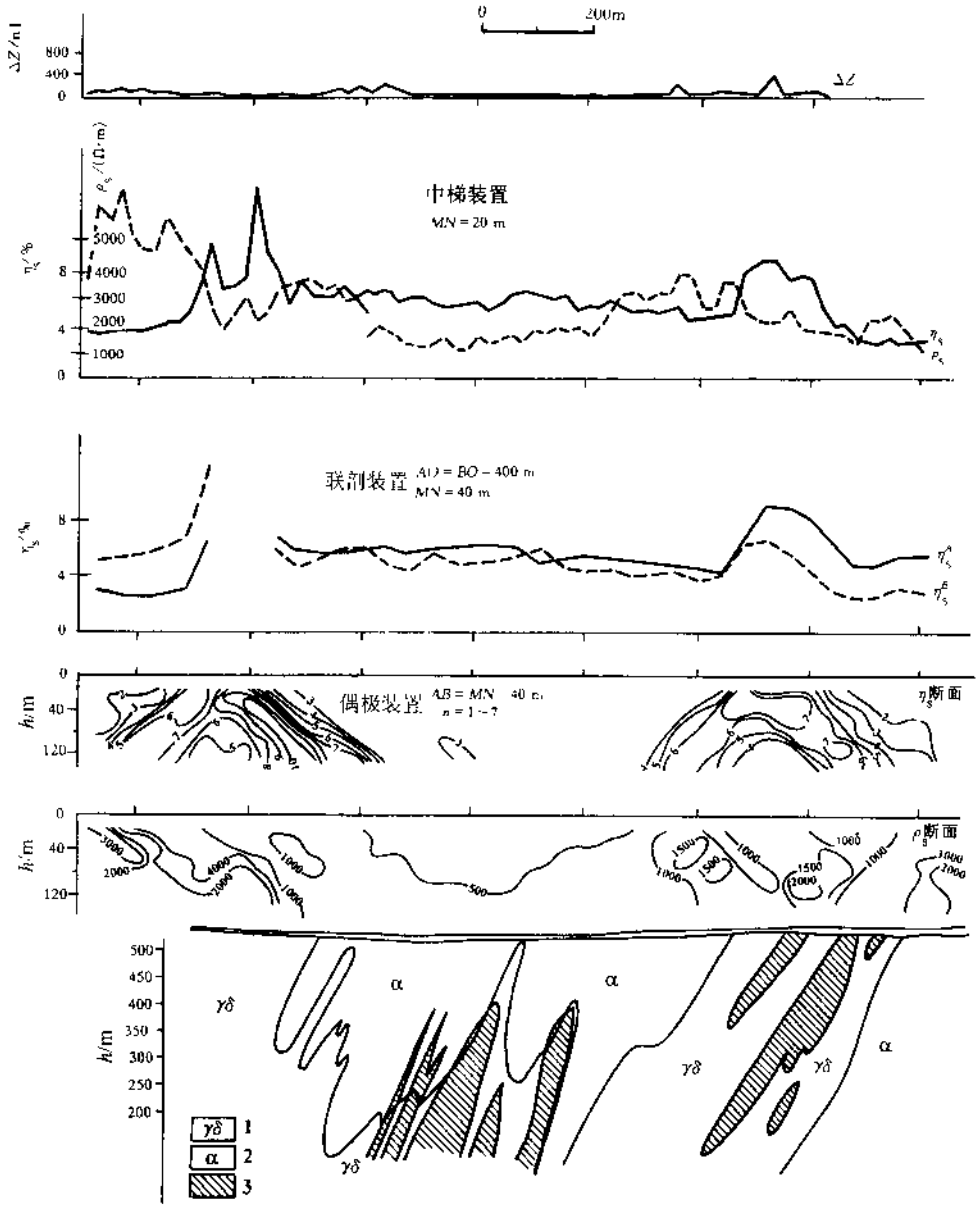


图 3.1.7　多宝山铜矿区 90 勘探线物探综合剖面图

（据董忠义等，1980 年资料编绘）

1—花岗闪长岩；2—安山岩；3—矿体

续环带状分布于 Cu、Ag、Mo 异常的外围，形成明显的地球化学异常分带。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面。Cu、Mo、Ag 元素围绕矿体形成规模很大的异常，在矿体的前缘部位出现分叉，并局限在花岗闪长岩体分布范围内（图 3.1.10）；Co 异常主要分布在矿体上盘，呈条带状；Pb、Zn、Mn 异常位于 Co 异常的上方。自矿体向上盘围岩（花岗闪长岩）呈 Cu、Mo、Ag→Co→Pb、Zn、Mn 元素组合分带。

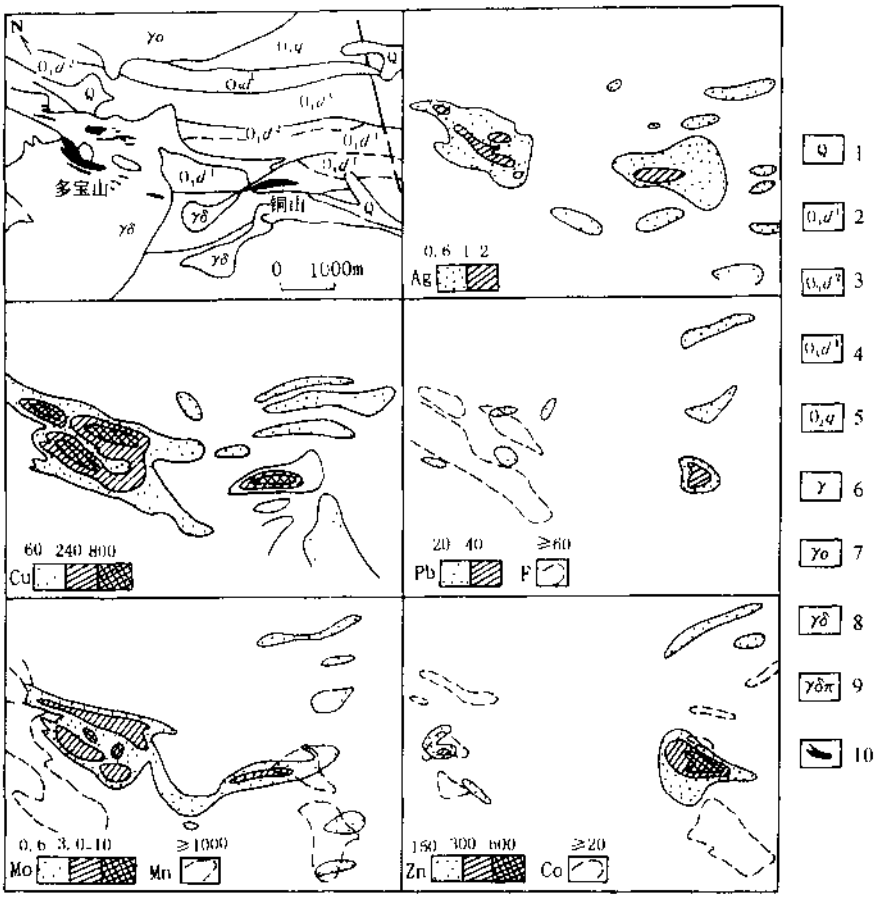


图 3.1.8　多宝山矿田岩石地球化学异常图

（引自吴承烈等，1996）

1—第四系；2—安山玢岩及凝灰岩；3—角砾及中性凝灰岩；4—中酸性凝灰岩；5—粉砂泥质岩及粉砂岩；6—更长花岗岩；7—斜长花岗岩；8—花岗闪长岩；9—花岗闪长斑岩；10—铜矿体

元素质量分数单位：10^{-6}

表 3.1.6　多宝山铜矿区主要岩矿石中微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Mo	Ni	Co	Mn	As	Sb
矿石[1]	>4000	30	100	0.2	2.0	200	40	12		100	84
中性火山碎屑岩（多宝山组）①	148	14	128				19	26	812		
中性火山碎屑岩（铜山组）①	98	11	180				14	25	948		
中酸性火山碎屑岩(多宝山组)①	103	17	125				16	22	799		
中酸性火山碎屑岩（铜山组）①	80	10	108				16	19	590		
花岗闪长岩[2]	75.6	10.6	38.3		0.16	1.1		11.9	1082	2.8	
花岗闪长斑岩[2]	371	7.4	20.5		0.18	4.3		8.7	431	5.1	

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据①杜琦 1988，②李惠等 1987 资料编。

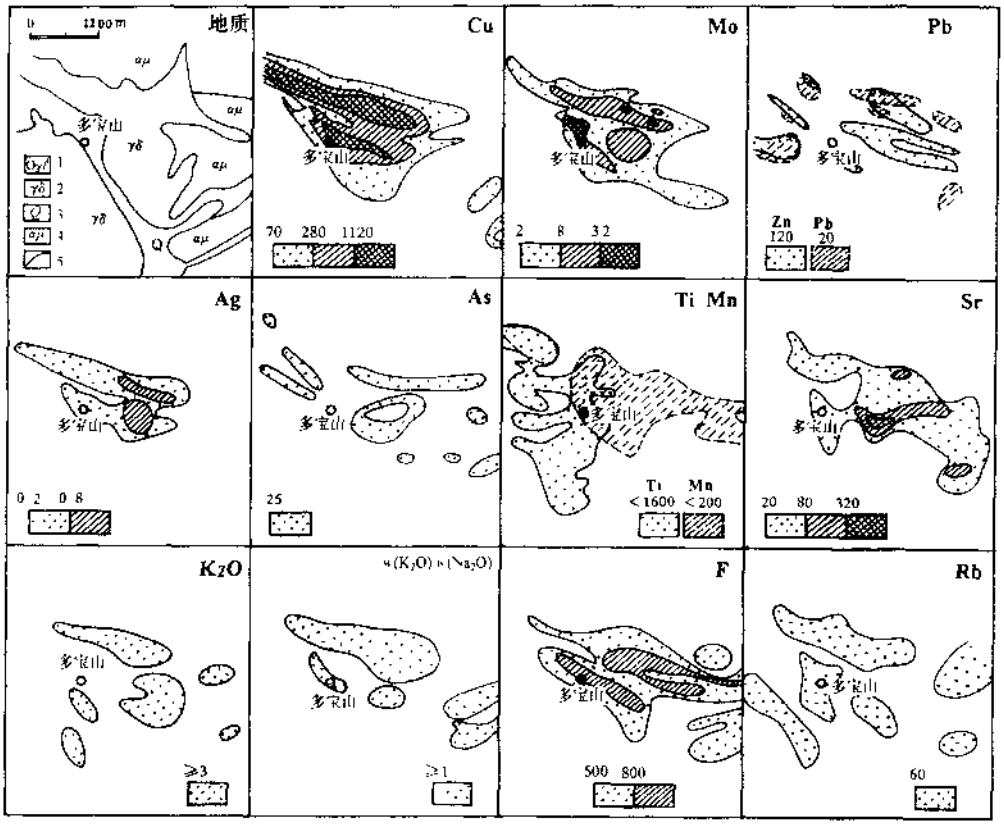


图 3.1.9　多宝山铜矿区岩石地球化学异常平面图

（引自李惠等，1978）

1—片理化凝灰岩、安山玢岩夹凝灰砂砾岩；2—花岗闪长岩；3—第四系；4—安山玢岩；5—地质界线

元素质量分数为 10^{-6}

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

（1）元素分带序列。多宝山矿床元素分带，自 20 世纪 70 年代以来，已有多位学者作过研究，其主要成果分别列于表 3.1.7，并据其综合提出多宝山矿床的元素水平分带与垂自分带序列。

（2）矿化剥蚀程度评价指标。根据矿段 90 线和 1080 线勘探剖面，相对矿体不同部位的主要指示元素的累乘指数具有明显的差异，其计算结果及其确定的矿化剥蚀程度评价指标见表 3.1.8。采用此评价指标，在许多矿区已取得良好的效果。

4. 地球化学异常模型

（1）地球化学异常示意模型。多宝山式［斑岩体以岩枝或岩脉（群）产出］异常模型：平面上，呈拉长的椭圆形或带状分布；剖面上，由矿体向上盘围岩一侧呈偏心的上、下盘（晕不发育）不对称的元素组合分带［图 3.1.11（b）］。中心带为 Cu、Mo、Au、Ag 组合，边缘带为 Pb、Zn、As、Mn、Co 组合；垂向或轴向上，呈上（前缘）富 Cu，下（尾部）富 Mo 的分带。

（2）赋矿地段地球化学标志。Cu、Mo、Ag 中、内带组合；$w(K_2O)>3\%$、$w(K_2O)/$

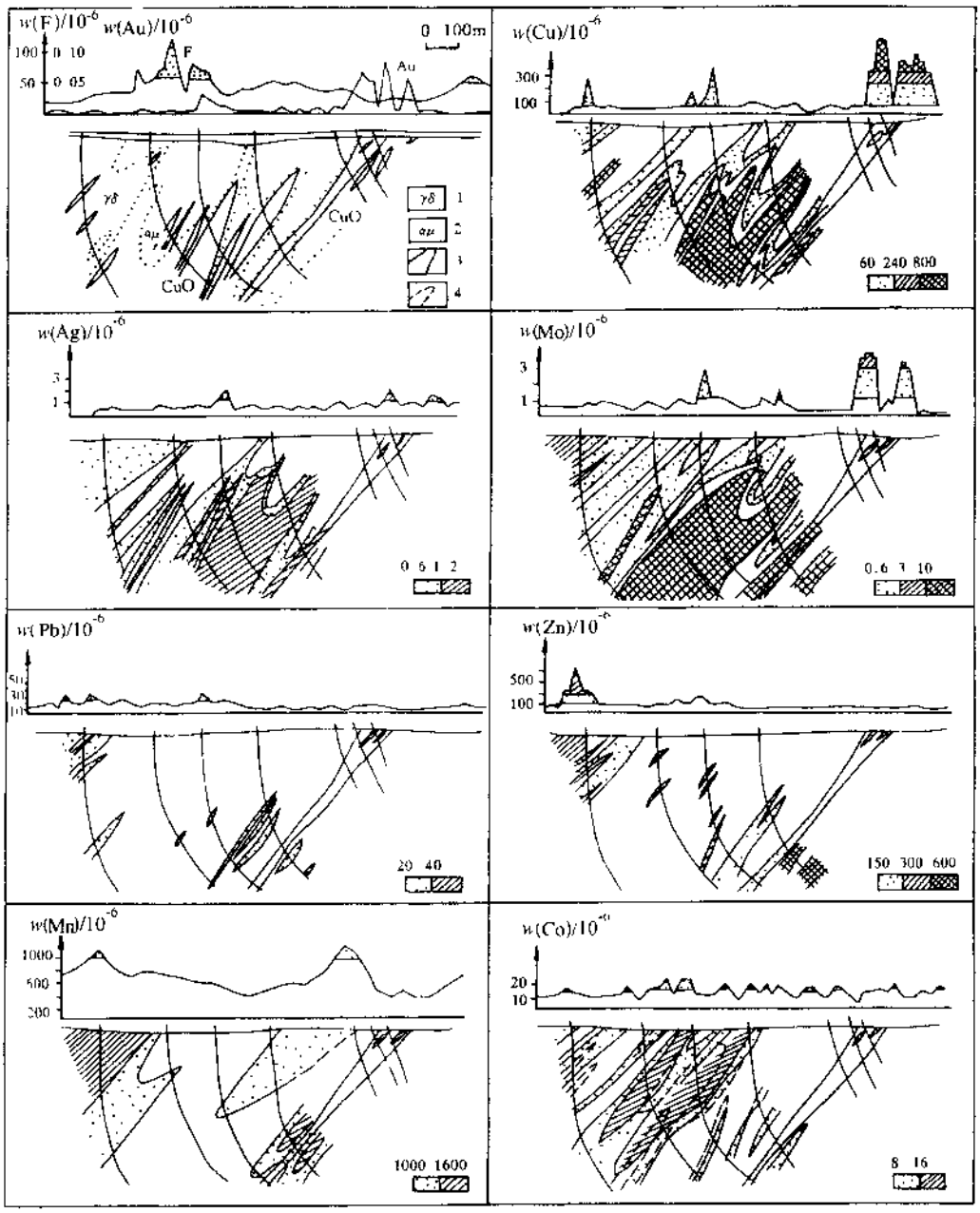


图 3.1.10　多宝山铜矿 90 线钻孔岩石地球化学异常剖面图

（引自徐外生等，1980）

1—花岗闪长岩；2—安山玢岩；3—铜矿体边界；4—含黄铁矿 0.5% ~ 3.0% 范围

$w(Na_2O) > 1$；S、F 中、外带组合；Cu、Mo、Ag 异常外围分布着零星的 Pb、Zn 异常。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 多宝山铜矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 3.1.10。

2. 多宝山铜矿床地质-地球物理-地球化学模型示于图 3.1.11。

表 3.1.7　多宝山铜矿区不同剥蚀程度矿体上方元素组合异常水平分带

	元素组合	资料来源
水平分带	自矿体中心向外：	
	①Cu、Mo、Ag→Pb、Zn、Mn、Co	物探所（1978）
	②Cu、Mo、Au、Ag、Se、Sb、Bi（K_2O、Rb）→Co、As、Mn、Pb、Zn、Hg、F	吴承烈等（1998）
	③Cu、Mo、Au、Ag、Bi、W、Sn、K2O→Pb、Zn、Mn、Na_2O、As、Sb、Sr	姚志强等（1993）
	综合：Cu、Mo、Ag、Au、Bi、Sb、K_2O→Mn、Co、Pb、Zn、As	
垂直分带	自矿体至上盘：	
	①Mo、Cu、Ag→Co、Pb、Zn、Mn矿体下盘异常窄小，无明显分带	徐外生等（1980）
	②Cu、Mo、Au、Ag、Se、Sb、Bi、F→Co、As→Pb、Zn、Cd、Mn 下盘异常窄小，无明显分带	吴承烈等（1998）
	③自上而下：Sb—As—Mn—Zn—Co—Pb—Bi—Ag—Au—Ni—Cu—Mo—W	姚志强等（1993）
	④自上而下：Sb—Ag—As—Cu—Zn—Pb—Au—Mo—Bi—W	李　惠等（1978）
	综合：（自上而下）Sb、As、Mn、Pb、Zn—Au、Ag、Cu、Mo—（Bi）W	

表 3.1.8　相对矿体不同部位元素累乘指数

相对矿体部位	钻孔号	$\frac{w(Pb)\times w(Zn)}{w(Cu)\times w(Ag)}$	样品数	钻孔号	$\frac{w(Pb)\times w(Zn)}{w(Cu)\times w(Ag)}$	样品数	$\frac{w(Pb)\times w(Zn)}{w(Cu)\times w(Ag)}$ 评价指标
矿上围岩	ZK520	116	62	ZK721	244	10	100～250
	ZK521	173	28	ZK728	148	9	
	ZK522	45	20				
	ZK523	131	21				
矿体内	ZK521	1.6	34	ZK701	3.7	6	1～5
	ZK522	4.6	46	ZK721	4.5	9	
	ZK523	2.5	16	ZK730	2.5	7	
矿下围岩	ZK520	16	20	ZK701	50	5	10～70
	ZK523	42	22	ZK728	66	3	

引自徐外生等，1980。

表 3.1.9　多宝山矿床物性模型参数及地球物理异常正演计算方法

物性模型编号	密度 $\Delta\sigma$/（10^3kg·m^{-3}）	极化率 η/%	电阻率 ρ/Ω·m	重力 Δg 异常正演计算方法	激电 η_s 异常正演计算方法
1	0.08	6.5	3600	应用2.5D正演计算程序；计算地面及上延150m重力 Δg 异常	应用浙江大学徐世浙时间域中梯装置2D正演计算程序
2	0.08	10.5	3600		
3	0.02	10.5	3600		
4	0.00	2.0	4000		
5		1.0	150		

表 3.1.10　多宝山铜矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	多宝山矿区位于大山一兴蒙褶皱系大兴安岭优地槽褶皱带北东段，新开岭断裂北西侧，西邻嫩江大断裂	
	地球物理场	矿区处于大兴安岭-武陵山 NEE 向重力梯度带的北段东侧，相应区域磁场总体呈 NE 向展布	
	地球化学场	矿区位于呈 NE 向断续分布的宽河村—多宝山铜高背景[$w(Cu)>24\times10^{-6}$]区的西南端	
地质	地　层	中奥陶统多宝山组一、二段，以英安质、安山质熔岩及火山角砾岩、凝灰岩为主，蚀变、碎裂、片理化发育	
	构　造	NW 向倒转背斜近轴部或倾伏端，NW 向与 NE（或近 EW）向断裂交叉部位，或 NW 向断裂转折部位；容矿构造为微细裂隙及韧性剪切带的片理	
	岩浆岩	海西中期以花岗闪长岩、花岗闪长斑岩为主的复式岩体，呈岩株状产出	
	围岩蚀变	浅剥蚀矿上，有分布较广并以斑岩体及 NW 向构造为中心，向外依次为钾化带→绢云母化带→青磐岩化带的椭圆环带状蚀变带；隐伏矿上方，出现青磐岩化	
	赋矿部位	岩石片理及微细裂隙发育地段为矿体赋存的有利部位；矿带（床）一般距斑岩体 0～500m，以距离 50～150m 处矿化最好	
	主要矿石矿物	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿；磁铁矿、赤铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿；孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、褐铁矿等	
	直接找矿标志	氧化带中可见孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等表生矿物	
	探测目标物	花岗闪长岩复式含矿岩体	矿脉群体、或铜矿化花岗闪长岩
地球物理	目标物物性特征	中低密度（$2.68\times10^{3}kg\cdot m^{-3}$）； 弱磁性（$M\approx n\times10^{-1}A\cdot m^{-1}$）； 微极化（约 1.6%）、高电阻（$4\times10^{3}\Omega\cdot m$）	中高密度（$2.74\times10^{3}kg\cdot m^{-3}$）； 弱磁性（$M\approx n\times10^{-1}A\cdot m^{-1}$）； 中极化（约 7%），高电阻（$4\times10^{3}\Omega\cdot m$）
	地表异常特征	——ΔZ 有 $n\times10\sim n\times100$nT 的弱磁异常； ——激电法有弱异常反映，η_S 一般 2%～4%； ——Δg 可形成相对重力低异常	矿体埋深不大： 有明显的带状 ΔZ 磁异常，约 100～200nT，其零值线与矿带范围大体相当； 激电法各类装置均有明显的异常反映，视极化率 η_S 一般为 6%～10%； Δg 可形成较弱的相对重力高异常
	干扰异常	安山岩上磁异常可成为（含矿）花岗闪长岩体的干扰磁异常 黄铁矿化火山碎屑岩及含炭质泥岩引起的激电异常，为矿异常的主要干扰	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Mo、Ag、Au、Pb、Zn、As、Co、Mn 等 前缘元素：Pb、Zn、Mn、As 近矿元素：Cu、Mo、Ag、Au 尾部元素：w(Bi)	
	元素浓度分带	Cu 70～280～1120　F 500～800　Zn＞120 Mo 2～8～32　Sr 20～80～320　As＞25 Ag 0.2～0.8～3.2　Pb＞20　Mn＜200　（元素质量分数单位：10^{-6}）	
	主要元素异常形态与分布范围	在矿上 Cu、Mo、Ag、F、K_2O、Sr 等有明显的原生异常，Cu、Ag、Mo 外带组合异常反映矿化带范围；中、内带指示矿体赋存部位，As、Sb、Zn 异常断续环绕于矿体外围	
	其他特征	Au、Ag、Mo、W 与 Cu 元素呈显著正相关。	
	备　注		

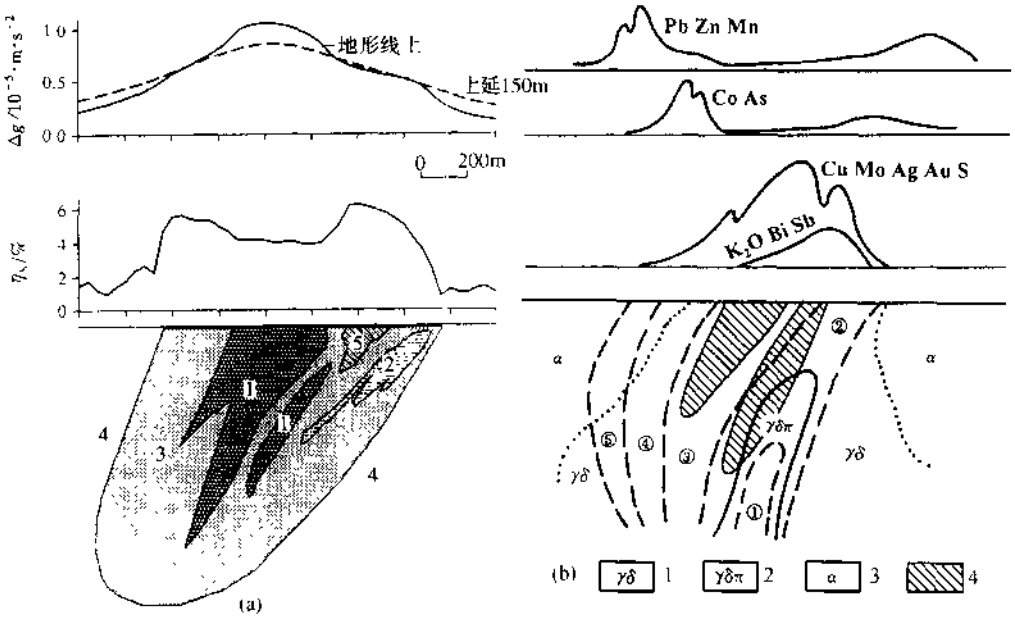


图 3.1.11 多宝山矿床地球物理-地球化学找矿模型图

(a) 地球物理正演计算模型，物性模型及参数见表 3.1.9。(b) 地质-地球化学异常示意模型①强硅化带；②钾硅化带；③石英-绢云母化带；④绿泥石-青磐岩化-绢云母化带；⑤青磐岩化带。1—花岗闪长岩；2—花岗闪长斑岩；3—安山岩（安山粉岩）；4—矿体

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

(1) 圈定矿带：以 1:20 万～1:50 万区域重力、航空磁测圈出与北东向重力梯度带交汇的北西向重力梯度带；在航磁 ΔT 区域正磁场中，显示有强度约 300～500nT 的近等轴状正磁异常。

1:20 万水系沉积物测量：在北东向铜的高背景 [$w(Cu) > 24 \times 10^{-6}$] 区带上，圈出北西向 Cu、Mo、Ag 等元素组合异常。

(2) 圈定含矿（斑）岩体：以 1:2.5 万～1:1 万激发极化法与 1:2.5 万～1:5 万航磁（地磁）及重力测量，圈出具有弱磁和相对重力低的激电异常（η_S 一般 2%～4%）；并对应有 1:5 万水系沉积物测量以 Cu、Mo、Ag、Au、Sb、Zn 为主的元素组合异常。

(3) 寻找和确定矿体赋存部位：1:2.5 万～1:1 万岩石地球化学测量圈定赋矿部位并评价矿化剥蚀程度。

当矿体埋深不大时，1:1 万～1:2.5 万激发极化法及高精度重、磁显示：ΔZ 有明显的带状磁异常，幅值约 100～200nT，其零值线与矿带范围大体相当；激电法各类装置均有明显的异常反映，η_S 一般为 6%～10%；Δg 可形成较弱的相对重力高异常。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 3.1.A 多宝山铜矿床地质特征简表。

表 3.1.B 多宝山铜矿床地球物理特征简表。

表 3.1.C 多宝山铜矿床地球化学特征简表。

表 3.1.A　多宝山铜矿床地质特征简表

地理位置		黑龙江省嫩江县　　1:20 万图幅：M-51-（24）		
矿床类型		斑岩型	矿石建造	Cu-Mo（伴生 Au、Ag 等）
矿床规模、品位		大型，Cu：0.47%，Mo：0.016%	容矿岩石	花岗闪长岩
地质成矿环境	构造背景	古大陆边缘，NE 向深断裂隆起一侧的 NW 向构造；或天山—兴蒙褶皱系大兴安岭优地槽褶皱带北东段，新开岭断裂北西侧，西邻嫩江大断裂		
	地　层	出露地层以奥陶系、志留系为主，泥盆系、石炭系、二叠系、白垩系及第四系局部分布 中奥陶统多宝山组与成矿关系密切，为一套以中性火山碎屑岩为主的火山-沉积建造		
	构　造	褶皱、断裂构造发育，以 NW 向构造为主。多宝山铜矿位于多宝山倒转背斜近轴部或倾伏端；NW 向与 NE 向或 EW 向断裂交汇部位		
	岩浆岩	加里东期以来，岩浆活动频繁，不同期形成的各类岩浆岩均有出露。主要分布于矿区的北部和中部，岩性以花岗闪长岩、石英闪长岩和斜长花岗岩为主，其次为更长花岗岩与花岗闪长斑岩。与成矿关系密切的为海西中期侵入的花岗闪长岩（$\gamma\delta$）、花岗闪长斑岩（$\gamma\delta\pi$）。 里特曼指数：$\sigma=2.36$（$\gamma\delta$）　　戈蒂尼指数 $\tau=39.62$（$\gamma\delta$） $\sigma=1.85$（$\gamma\delta\pi$）　　$\tau=59.69$（$\gamma\delta\pi$）		
	主要控矿因素	中奥陶世中期喷发沉积的一套以中性岩为主的火山碎屑岩为矿源层； NE 向深断裂与 NW 向构造交汇部位控制岩浆岩及矿带分布； 海西中期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩为热源体		
矿床特征	成矿岩体	以花岗闪长岩、花岗闪长斑岩为主的中酸性复式岩体，呈岩株状产出		
	控矿构造	区域矿化带上，北西向次级背斜近轴部或倾伏端，NW 向与 NE（或近 EW）向断裂交叉部位，或 NW 向断裂转折部位控制矿床分布；岩石片理及微细裂隙发育地段为矿体赋存的有利部位		
	矿化阶段	可划分三个成矿期，六个成矿阶段：即花岗闪长岩岩浆热液期，黑云母-磁铁矿-硫化物阶段；花岗闪长斑岩岩浆热液期，含长石-石英-硫化物阶段、绢云母-石英-硫化物主成矿阶段，绿泥石-黄铁矿阶段、碳酸盐-硫化物阶段；表生期，氧化阶段		
	围岩蚀变	以斑岩体及 NW 向构造为中心，向外呈椭圆环带状分布：钾化带→绢云母化带→青磐岩化带；后期又叠加了呈南北向分布的碳酸盐化带。铜矿化多赋存于绢云母化带		
	矿化分带	与蚀变分带对应，由内向外：铜钼矿带以辉铜矿为主，分布于斑岩的边部和周围；铜矿化带中部以斑铜矿为主，几乎不见黄铁矿，两侧则反之；黄铁矿化带方铅矿、闪锌矿相对增高		
	矿体特征	金属矿物：主要有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿；磁铁矿、赤铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿；孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、褐铁矿等		
		矿石特征：矿石构造主要有浸染状、细脉浸染状、土状，主要有益伴生元素：Au、Ag、Se、Re 及 Pt 族元素		
		矿体形态：透镜状、似板状、条带状等		
	脉石矿物	石英、斜长石、绢云母、叶绿泥石、绿帘石、方解石、黑云母、钾长石等		
表生地质		露头中可见孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等。因硅化核抗风化力强，在地貌上常形成山岗；矿带分布地段因裂隙发育，且金属硫化物易风化，在矿体群分布地段则呈负地形		
地貌景观		森林、沼泽		
备　注		矿田地理坐标：E125°37′～126°00′，N50°10′～50°24′		

表 3.1.B　多宝山铜矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	多宝山矿田位于三矿沟—争光 NW 向重力梯度带中梯度较大的地段，其北东为海西期斜长花岗岩体形成的区域重力低
	磁　场	在 ΔT 区域正磁场中，彼此孤立的近等轴状正磁异常，强度约 300～500nT 为中酸性岩体反映；大面积平稳的负磁场区与古生界地层分布基本一致；局部地段的跳跃磁场，多为中生界火山岩反映
		区内走向明显的带状重、磁异常较为突出，反映了断裂构造的分布
矿区（甘一带）异常	重力异常	
	磁力异常	
	电异常	激电异常呈北西转向北西西向弧形分布，西段尚未封闭；视极化率 η_S 4% 等值线圈定范围：长大于 6.0km、宽约 1.6km，含 14 个局部异常，极大值一般 6%～8%，个别达 12%。 多宝山矿床位于弧形 η_S 异常的西部，铜山矿床位于东部
	干　扰	安山岩上磁异常可能成为圈定（含矿）花岗闪长岩体的干扰
矿体异常	重力异常	据地球物理正演计算模型，Ⅰ矿带上重力 Δg 可形成幅值 $>0.5\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$ 的异常
	磁力异常	Ⅰ Ⅲ矿带上有明显的带状磁异常，幅值仅 100～200nT，零值线与矿带范围大体相当； Ⅲ号矿带西南侧岩体上亦有低缓正磁异常，幅值与矿带上异常相当。 古生界地层上呈负磁异常，故地面磁法可用以大致圈定岩体及矿带的分布范围
	电异常　激电异常	异常（中梯装置）总体呈北西向带状分布，Ⅰ、Ⅱ矿带异常与矿带符合较好，其中心与地表出露矿体对应，西端尚未封闭；Ⅲ矿带异常较平缓，东南端未封闭。 剖面上各类装置异常反映较为一致，即中部宽缓激电异常为Ⅲ矿带的反映，北侧异常峰值对应于Ⅰ矿带；南侧峰值主要反映黄铁矿化火山岩，η_S 一般为 6%～10%
	电阻率异常	对应视极化率异常，视电阻率呈相对低阻异常，ρ_S 约 1000～2000Ω·m
	电磁异常	
	干　扰	黄铁矿化火山碎屑岩及含炭质泥岩引起的激电异常，为矿异常的主要干扰

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/（$10^3kg\cdot m^{-3}$）		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	M_r/（$10^{-3}A\cdot m^{-1}$）	η/%	$\rho/\Omega\cdot m$
	矿石（铜矿化花岗闪长岩、安山岩）	2.74		6.2×10^2	1.6×10^1	7.2	3.60×10^3
	P_2 安山岩	2.70		1.2×10^3	9.3×10^1	1.5	3.67×10^3
	P_2 凝灰岩	2.71		5.4×10^1	2.2×10^1	1.2	1.48×10^3
	P_2 凝灰熔岩	2.71		1.8×10^2	6.6×10^1	1.0	3.90×10^3
	P_2 含炭质泥岩	2.70		3.8×10^2	1.8×10^1	24.2	0.90×10^3
	矿化岩石	2.72		3.5×10^2	6.9×10^1	6.9	3.50×10^3
	花岗闪长岩	2.68		7.0×10^2	7.8×10^1	1.6	3.78×10^3
备　注	P_2：古生界						

表 3.1.C　多宝山铜矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、Mn、F	
	空间分布	矿田上，Cu、Mo、Ag 元素在多宝山和铜山矿床上显示出相互套合的面型异常，Pb、Zn、Mn、Co、F 元素环绕矿床形成较分散的零星异常	
	元素浓度分带	Cu 60～240～800　Mo 0.6～3.0～10.0　Ag 0.6～1.2　Pb 20～40　Zn 150～300～600 Mn＞1000　Co＞20　F＞60	
	元素异常分带	自中心向外：Cu、Mo、Ag→Pb、Zn、Mn、F	
	其他特征	含矿岩体特征：Cu 含量分布曲线呈双峰或多峰型，平均含量大于 100，变异系数＞1	
矿床异常	位　置	地　表	剖　面
	元素组分	Cu、Mo、Ag、F、Pb、Zn、As	Cu、Mo、Ag、Pb、Zn
	空间分布	矿床上 Cu、Mo、Ag、F、K_2O、Sr 等有明显的原生晕异常。Cu、Ag、Mo 外带组合异常反映矿化带范围；中、内带指示矿体赋存部位，As、Sb、Zn 异常断续环绕于矿体外围	Cu、Mo、Ag 围绕矿体形成强度很大的异常，并局限于花岗闪长岩内，在矿体前缘分叉；Co 异常呈条带状，分布于矿体上方；Pb、Zn、Mn 异常又在 Co 异常上面，呈狭窄条带状
	元素浓度分带	Cu 70～280～1120　F 500～800　Zn＞120 Mo 2～8～32　Sr 20～80～320　As＞25 Ag 0.2～0.8～3.2　Pb＞20　Mn＜200	Cu 60～240～800　Pb 20～40　Co 8～16 Mo 0.6～3～10　Zn 150～300～600 Ag 0.6～1.2　Mn 1000～1600
	元素分带序列	自矿体向外围：Cu、Mo、Ag、Au、Bi、Sb、K_2O→Pb、Zn、Mn、As、Co 由上到下：Sb、As、Mn、Pb、Zn、→Au、Ag、Cu、Mo→（Bi）W	
	元素间相关性	Cu、Mo、Ag 组合为主要成矿阶段的成矿因子； Au、Ag、Mo、W 与 Cu 元素呈显著正相关	
	其他特征	蚀变过程带入：Cu、Mo、Ag（Au）、Pb、Zn、Co、F、S、SiO_2、K_2O、Rb； 带出：CaO、Na_2O、Sr、Mn、Ti	
矿体剥蚀程度评价指标		浅剥蚀：$w(Pb)\cdot w(Zn)/w(Cu)\cdot w(Ag)$：100～250；　Pb、Zn、Mn 明显增加，Cu、Mo、Ag 有规律下降 中剥蚀：$w(Pb)\cdot w(Zn)/w(Cu)\cdot w(Ag)$：1～5；Cu、Mo、Ag 高含量，Pb、Zn、Mn 降低 深剥蚀：$w(Pb)\cdot w(Zn)/w(Cu)\cdot w(Ag)$：10～70；Cu、Mo、Ag、Pb、Zn 等含量普遍较低	

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	Pt
矿石	＞4000	30	100	200	0.20	303		200	40	12	100	84			27
花岗闪长岩	52	＜10	62		0.16			1.1							
花岗闪长斑岩	80	＜10	50		0.18			4.1							
中国花岗闪长岩①	18.5	18	60	0.7	0.067	0.5	1.4	0.66	19	12	2.0	0.15	0.15	6.2	0.3

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；①鄢明才等资料，1997

第二节　江西德兴铜(钼)矿田

德兴矿田❶❷❸❹❺ 位于江西省德兴县，包括铜厂、富家坞特大型和朱砂红大型铜(钼)矿床，及其周围一些多金属矿床(点)。

一、区域背景

德兴斑岩铜矿田地处环太平洋金属成矿带的外带，扬子准地台内江南台隆东段南缘，受江南台隆与钱塘坳陷之间的赣东北深断裂带控制，矿田分布于断裂带北西侧的北东向多金属成矿带内(图 3.2.1)。

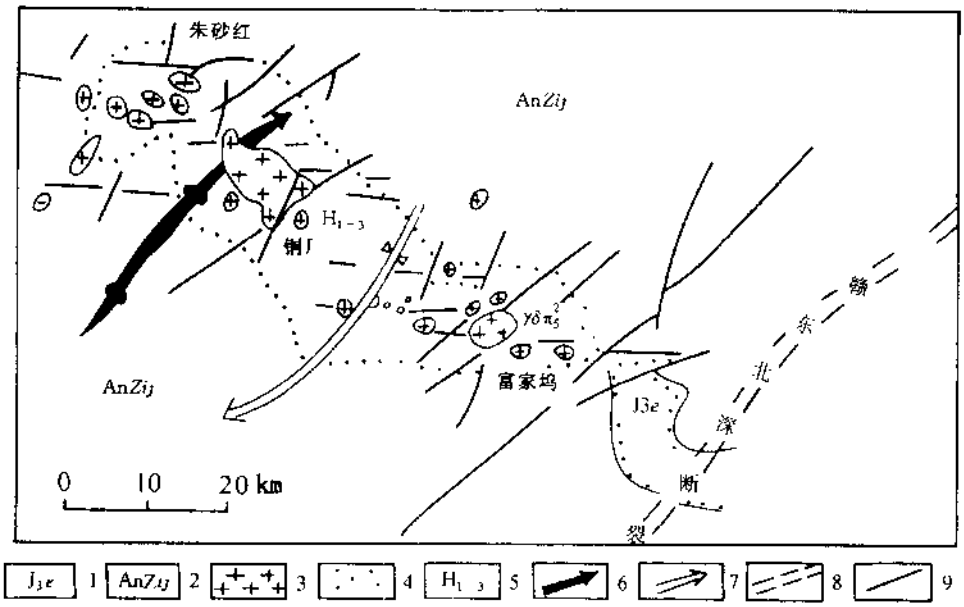


图 3.2.1　江西德兴铜矿田及外围地质图

(据朱训等，1983)

1—侏罗系鹅湖岭组；2—双桥山群浅变质岩系；3—花岗闪长斑岩；4—蚀变带范围；5—蚀变岩；6—倾伏背斜；7—向斜；8—深断裂；9—断层

矿田区处于乐平重力高北东重力抬高区与大茅山重力低之间梯度带的东南，偏重力低一侧，呈同向扭曲的重力低值带中；磁场以赣东北深断裂带为界，北西为平静磁场区，南东为复杂磁场区，矿田位于复杂磁场区边缘的北西向低缓负异常中(图 3.2.2)。

---

❶ 物探所铜矿化探组。斑岩铜(钼)矿地球化学特征与评价的初步研究，1978。

❷ 朱炳球等。斑岩铜(钼)矿地球化学特征及异常评价研究。物化探研究所，1982。

❸ 叶永红，胡长燕。江西省德兴铜矿地区内生金属找矿预测研究报告。江西省地质矿产局物化探大队，1991。

❹ 赵经祥等。地球物理地球化学新技术在铜矿勘查与评价中的应用(国家科技攻关专题编号：85-901-05-02)　地矿部物化探所，1995。

❺ 伍宗华等。我国主要类型铜、多金属矿床区域地球化学异常特征和筛选方法("八五"地矿部科技攻关)。地矿部物化探所，1995。

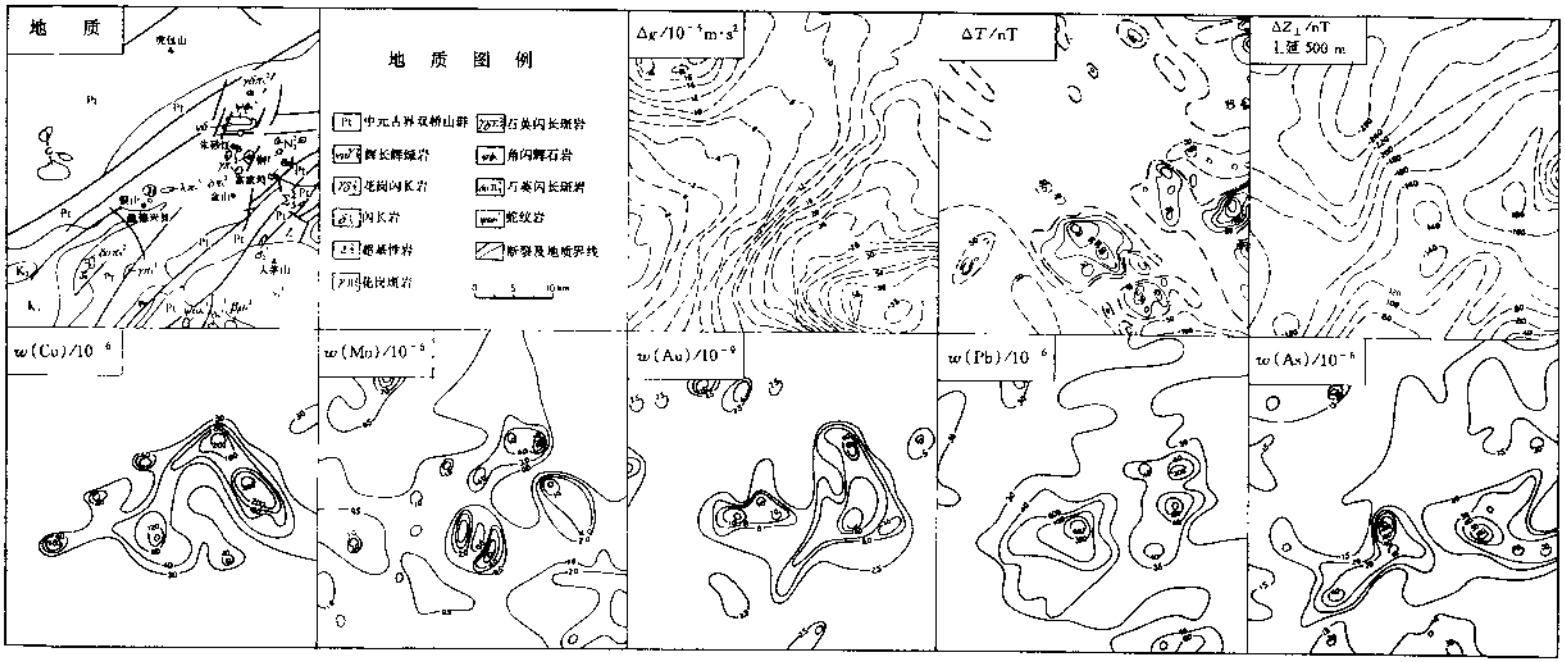


图 3.2.2 江西德兴铜矿田及外围地球物理-地球化学(水系沉积物)区域场剖析图

(据叶永红、胡玉燕 1991 年资料改编)

地球化学场显示为 Cu、Mo、Au 等元素构成的北东向高背景带(图 3.2.2)。该异常带长一百多公里,宽几千米至几十千米,其中以 Cu、Mo 为主,伴有 Au、Ag、Pb、Zn、Cd、As、Sb、Hg、Bi 等多元素组合异常。德兴铜(钼)矿田和银山铅锌(银)铜矿田异常位于其中段,前者以 Cu、Bi、Mo、Au、W 等元素组合为主,后者以 Pb、Zn、Cd、As、Sb、Hg 为主;各元素异常具有明显的浓度分带,异常间相互套合或重叠。

二、成矿环境

1. 地层

矿田区内,除赣东北深断裂带中零星分布有侏罗系和外围东南隅有震旦系、寒武系之外,大面积出露江南台隆基底层——中元古界双桥山群浅变质岩系(千枚岩、凝灰质千枚岩、沉凝灰岩、变余砂岩等),其原岩为泥质、粉砂质及火山凝灰质沉积岩。双桥山群浅变质岩即德兴铜矿的围岩。

2. 构造

区内褶皱、断裂发育。褶皱构造主要有早期的泗洲庙 EW 向向斜,晚期的德兴—铜厂和张家坂—雷门两处 NE 向复式倒转背斜,两者斜交于矿区中部。断裂构造以 NE 向赣东北深断裂带为主体,除改造了早期 EW 向断裂构造外,又形成了与之配套的 NNE 向、NW 向断裂系统。

赣东北深断裂是区内导岩、导矿的主要断裂带,多组不同方向断裂与次级背斜的交汇是控制岩体就位的主要因素,岩体与围岩接触带是斑岩矿体的主要赋矿部位。

3. 岩浆岩

岩浆活动频繁,尤以燕山期岩浆活动最为强烈,形成多种岩性的侵入岩和次生火山岩。与成矿有关的燕山早期浅—超浅成侵入杂岩体,由花岗闪长斑岩、英安斑岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩、石英斑岩等组成。花岗闪长斑岩和英安斑岩为主要成矿母岩。

斑岩体的相变不明显,其蚀变、矿化呈过渡渐变关系。

4. 区域地球化学

(1)赣东北多金属成矿带中,各矿床均处于高 Fe_2O_3(>5%)、Al_2O_3(>13%)、K_2O(>2.5%);低 SiO_2(<70%)、NaO_2(<0.3%)的地球化学环境。

(2)双桥山群浅变质岩平均 $w(Cu)=40\times10^{-6}$,其中凝灰质岩石最高,$w(Cu)=74\times10^{-6}$,其他成矿元素含量亦较高,如 $w(Pb)=29\times10^{-6}$、Mo 为 1.8×10^{-6}、Zn 为 104×10^{-6}、Ag 为 0.37×10^{-6}。

燕山早期各类浅成侵入体中,亲铁和亲铜元素含量为区域岩浆岩类中最高,从其早阶段到晚阶段呈 Cr、Ni、Co、V、Ti 元素含量降低,Cu、Mo、Pb、Zn、Ag 元素含量增高的趋势。如燕山早期花岗闪长斑岩 Cu、Mo 含量全区最高 $w(Cu)$为 $(132\sim230)\times10^{-6}$、Mo 为 $(3.7\sim10)\times10^{-6}$,Ag 含量也较高;安山玢岩中 Pb、Zn 和英安玢岩中 Ag 为全区最高。

(3)据矿田及周围 700km² 范围内,岩矿石样品 Cu 元素分析结果,显示 Cu 地球化学场可清晰的划分出高、中、低值场。其高值场位于矿体中心,而围绕三个矿床的外围显示为低值场,面积约 400km²,再向外呈中值(或正常)场(图 3.2.3)。这种地球化学场清楚地表明围岩为成矿提供了物质来源,因而认为双桥山群为区内主要矿源层。

(4)矿田上,水系沉积物测量显示主成矿元素异常规模大、强度高,并具有清晰的多

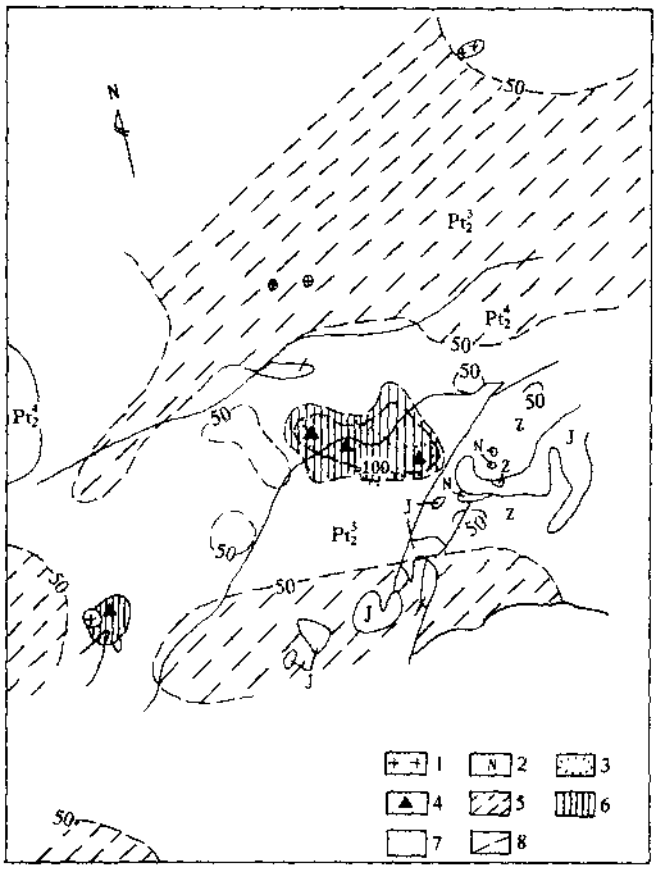


图 3.2.3　江西德兴铜矿田（水系沉积物）铜地球化学场分布图

（引自秦克俭等，1992）

1—花岗闪长斑岩等长英质岩；2—基性-超基性岩；3—热液蚀变范围；4—铜矿床；5～7—铜地球化学场；（5—正常场，6—增高场，7—降低场）；8—铜含量（10^{-6}）等值线

元素异常组合分带特征（图 3.2.4），内部带以 Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi 为主，外围带以 Pb、Zn、Cd、Mn、As 为主。矿田异常约 100km^2，包括富家坞、铜厂、朱砂红三个矿床，形成三个明显的浓集中心，以 Cu 2400×10^{-6}圈出的内带，组合有 Mo、W、Sn、Ag、Sb 等异常；Pb、Zn、Mn、As、Co 等异常呈环状，围绕着 Cu 异常内带。

5. 区域地球物理场

区域布格重力异常形态复杂，重力高、低异常交替出现。德兴矿田一带总体显示为北西向重力低异常，或处于 300°方向的剩余重力高异常上的低值异常带（图 3.2.4）中；朱砂红斑岩体位于重力低异常向北凸出的舌状重力低上，铜厂斑岩体位于弱重力高的鞍部，富家坞斑岩体位于其东部重力低异常处。

磁场表现为北部伴有弱负异常的低缓磁异常，走向 300°，$\Delta Z_{max} = 250$nT，50nT 等值线圈闭与矿田蚀变带形态相似，范围略大。

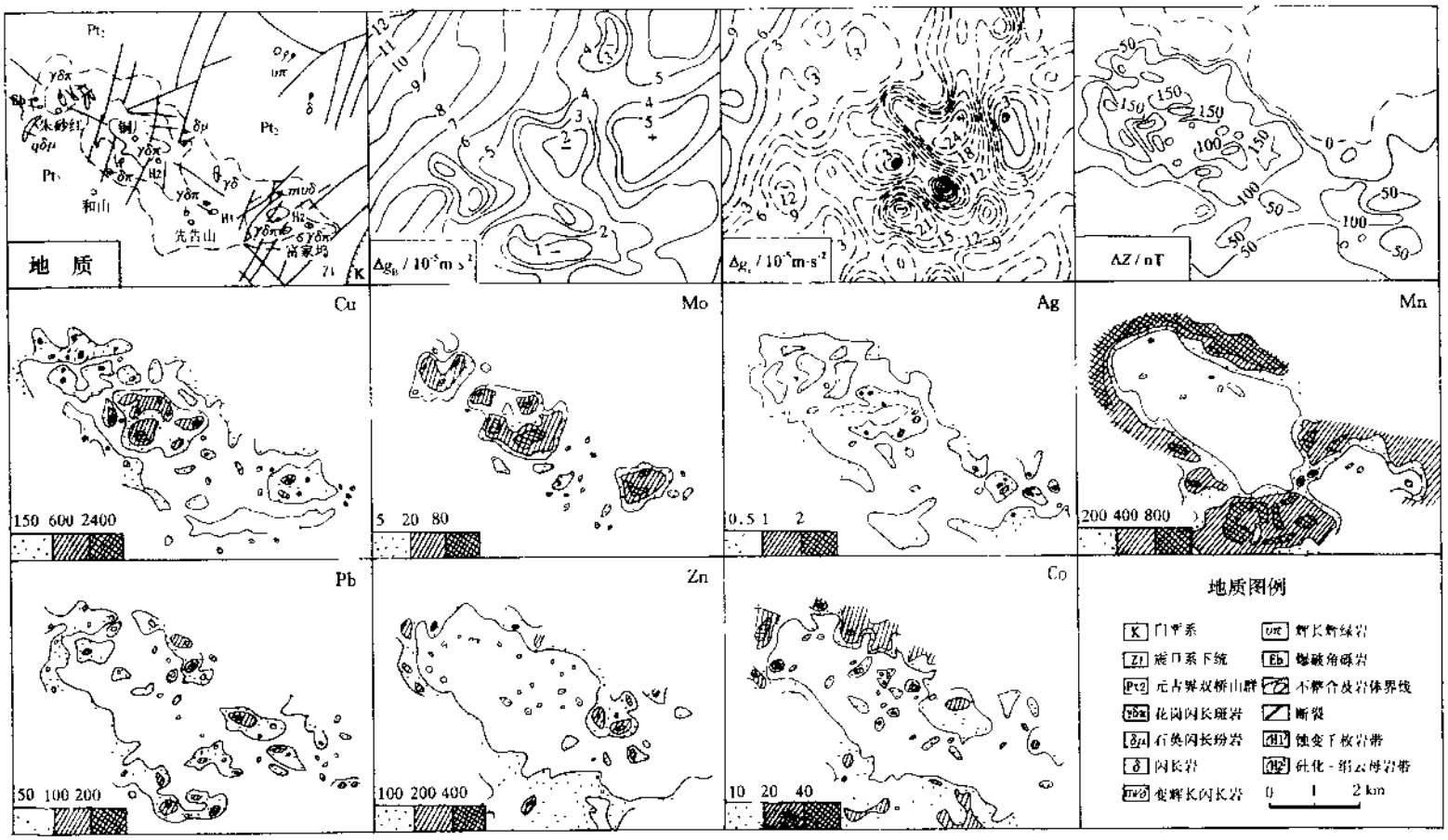


图 3.2.4　江西德兴铜矿田区地球物理-地球化学场剖析图

（引自叶永红、胡玉燕，1991 年）

银的质量分数单位 10^{-9}，其他的为 10^{-6}

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

三个矿床的主要矿体均赋存于浅成含矿斑岩小岩株的浅侧部，沿岩体与围岩接触带分布；矿体与围岩没有明显的分界线，已圈定的矿体倾向北西，呈空筒状，平面上呈环形；矿体边界根据采用的工业品位指标而定。

铜厂、富家坞和朱砂红矿床的矿体倾角依次为：30°～50°，25°～46°，40°～60°，其中富家坞矿床剥蚀最深，铜厂铜矿大部分被剥蚀，朱砂红为隐伏矿床。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造有细脉浸染状、细脉状和浸染状，并形成如下矿石构造分带：

斑岩体中心……接触带……围岩

浸染←微脉～细脉←浸染 | 微脉～浸染→细脉～浸染→细脉～大脉

金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿，次为辉钼矿、砷黝铜矿及斑铜矿，辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、磁黄铁矿等硫化物含量更少。脉石矿物以石英、绢云母、水白云母、伊利石、绿泥石为主，碳酸盐和硫酸盐矿物及赤铁矿次之。

3. 矿化阶段及分带性

成矿期可分为：岩浆晚期气成热液成矿期、岩浆期后热液成矿期和次生氧化成矿期。以岩浆期后热液成矿期最主要，它又可分为五个成矿阶段。

以斑岩接触带为中心的内外对称矿化分带为主，环状侧向分带次之。

4. 蚀变类型及分带

蚀变具有斑岩中心蚀变和接触带蚀变叠加、改造的特点，并由接触带向两侧大致形成对称的蚀变分带。蚀变分带见表 3.2.1。

表 3.2.1 德兴矿田蚀变分带简表

原岩	蚀变带	
花岗闪长斑岩	绿泥石（绿帘石）—伊利石—钾化带	↑
	绿泥石（绿帘石）—水白云母化带	弱
	石英—绢云母化带	|
———	———接触带———	强
	石英—绢云母化带	|
千枚岩	绿泥石（绿帘石）—水白云母化带	弱
	绿泥石（绿帘石）—伊利石化带	↓

5. 氧化带

矿田氧化带较发育，氧化带中，铜、铅、锌等有色金属呈贫化趋势，铁、金等元素则相对富集。

6. 主要控矿因素

赣东北深断裂带控制着有色金属矿带的延展，具有明显的导岩、导矿作用；深断裂带北西侧区域性 NW—NNW 向断裂控制着矿田的展布；元古宇地层褶皱轴部与多组断裂交叉复合部位控制矿床定位。

中元古界双桥山群富亲铁和亲铜元素，提供了铜、钼（少量）等成矿元素和有利于金属硫化物沉淀的还原环境。

燕山早期花岗闪长斑岩含铜量高于地层中铜含量的 7.7 倍，为成矿提供了矿质来源。斑岩体内外接触带为主要容矿构造。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

区域上燕山期花岗岩、花岗闪长岩密度远小于双桥山群浅变质岩，其密度差达 0.25 $\times 10^3 kg \cdot m^{-3}$；而磁性为弱—微磁。

因矿区内岩矿石种类繁多，且均经受过不同程度的蚀变，故仅以岩石的蚀变强弱进行岩石的物性统计分类（表 3.2.2）。

表 3.2.2 德兴矿田主要岩矿石物性参数表

岩矿石名称	密度/（$10^3 kg \cdot m^{-3}$）			磁性			电性	
	块数	常见值	变化范围	块数	$\kappa/4\pi \times 10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3} A \cdot m^{-1}$	块数	η/%
铜矿石	106	3.22	2.64～3.90		4.40×10^2	2.0×10^1		
强蚀变花岗闪长斑岩	73	2.58	2.43～2.73	9	4.69×10^3	5.66×10^2	39	28.1
中蚀变花岗闪长斑岩	57	2.53	2.43～2.61	96	5.99×10^2	4.7×10^1	23	11.4
弱蚀变花岗闪长斑岩	144	2.49	2.40～2.70	23	2.64×10^2	3.8×10^1	21	1.1
中强蚀变浅变质岩				35	1.47×10^2	0.7×10^1	21	28.1
弱蚀变浅变质岩				25	2.83×10^2	2.1×10^1	21	13.5
浅变质岩	3748	2.72	2.50～2.96	49	6.70×10^1	0.8×10^1	43	1.1
花岗岩、花岗闪长岩		2.47			$< 10^1$	$< 10^0$		

据叶永红、胡玉燕 1991 年资料整理。

根据表 3.2.2 统计，矿区内铜矿石密度最大，次为浅变质岩；花岗闪长斑岩密度最小。磁性最强的强蚀变花岗闪长斑岩仅具中等磁性，矿石与中蚀变花岗闪长斑岩次之，磁性最弱者为未蚀变的花岗闪长斑岩。矿石极化率无实测资料，但据地面激电观测及硫化物矿石一般极化率资料，应属高极化；且岩石极化率似与蚀变强弱呈正相关。

2. 物性模型

矿田区岩矿石物性特征归纳于表 3.2.3，依据朱砂红矿区 49 线地质剖面转换的物性模型参见图 3.2.5（b）下图，相应物性体特征见表 3.2.3。

3. 地球物理异常

（1）重力异常：宏观上矿田呈重力低反映，朱砂红矿床处于其西侧梯度带上；铜厂、富家坞位于重力低异常的侧向突出部位（图 3.2.4）。按钻孔中 $w(Cu) \geqslant 0.4 \times 10^{-2}$控制矿体范围，对朱砂红、铜厂、富家坞矿床进行了重力异常模拟计算，相应异常值分别约为 0.5×10^{-5}、0.9×10^{-5}、$0.5 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$（密度差取 $0.18 \times 10^3 kg \cdot m^{-3}$），异常幅值远小于含矿斑岩引起的重力低幅值；故在矿田上仍显示为重力低异常。

表 3.2.3　德兴矿田主要岩矿石物性特征归纳表

物　性	斑岩体——花岗闪长斑岩			矿　体	围岩——浅变质岩		
	未蚀变	弱蚀变	中强蚀变		中—强蚀变	弱蚀变	未蚀变
密　度	低			高		中	
磁　性	极微	弱	较弱～中	较弱	弱	弱	最弱
极化率	微	微	中～高	高*	高	中	微
电阻率	高*	低*	低*	甚低*	低*	低*	高*
物性体编号	$②_2$		$②_1$	①	④	③	⑤

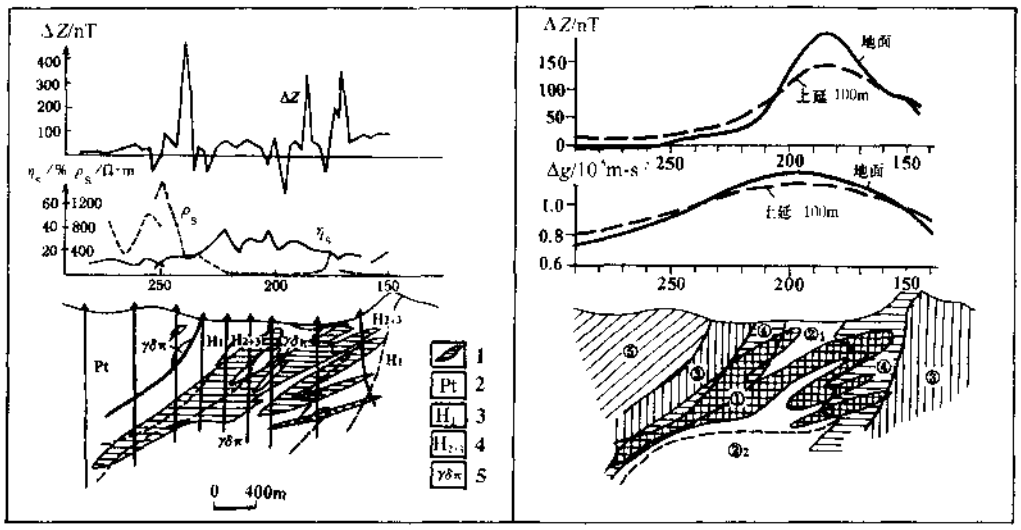
* 根据一般岩矿石物性特征推测。

根据 49 线朱砂红矿床物性地质剖面［图 3.2.5（b）］，并参考矿田主要岩矿石物性数据（表 3.2.2），其计算 Δg 异常幅值大于 $0.4\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$［图 3.2.4（b）］。

（2）磁异常：矿田上呈现低缓磁异常，北部伴有弱负异常。ΔZ 150nT 等值线大致沿中蚀变带边界分布。

朱砂红矿区 49 线综合剖面显示［图 3.2.5（a）］：含矿斑岩外接触带，ΔZ 异常剧烈跳跃、幅值超过 300nT；中部在小幅度跳跃中，可见约 100nT 的低缓异常。磁异常系矿体、含矿岩体及外接触带中局部磁铁矿化引起，异常极值部位向含矿岩体倾斜方向位移。49 线物性地质体剖面计算 ΔZ，在矿上有异常［图 3.2.5（b）］反映。

（3）激电异常：朱砂红 49 线综合剖面［图 3.2.5（a）］显示进入蚀变带后，激电即呈'低阻高极化'的异常特征；在厚大的矿体上，异常更加明显，视电阻率 ρ_S 与视极化率 η_S 曲线组成平缓宽阔的镜象异常．$\rho_S<50\Omega\cdot m$，η_S 呈 10%的高背景，$\eta_{S\,max}>30\%$。激电异常为矿体与蚀变带的综合反映，异常总体向矿体倾斜方向位移。



(a)　　(b)

图 3.2.5（a）　49 线物探剖面
（据刘庆生等 1982 资料编绘）
1—矿体；2—元古界双桥山群；3—弱蚀变千枚岩；
4—中—强蚀变千枚岩；5—花岗闪长斑岩

图 3.2.5(b)　物性断面及地球物理异常模型
（计算曲线物性参数列于表 3.2.4）

表 3.2.4　朱砂红铜矿区 49 线地球物理实际模型参数表

物性模型编号	剩余密度 $10^3kg\cdot m^{-3}$	磁化强度 $A\cdot m^{-1}$	磁偏角	磁倾角	走向长度/m
②矿	0.18	0.1387	-3°02′	41°33′	-400~400
②$_1$	0.00	1.2570			-500~500
②$_2$	0.00	0.1212			-500~500
④	0.00	0.0533			-500~500
③~⑤	背景物性地质体				

4．干扰体或干扰因素及其影响

在蚀变带中圈定矿体时激发极化法的主要干扰为黄铁矿化引起的异常；磁法干扰为磁性矿物分布不均匀引起的。

五、矿区地球化学特征

1．岩矿石地球化学参数

（1）仍以蚀变强弱进行岩石归类，各类岩石微量元素含量列于表 3.2.5。其中以中强蚀变浅变质岩中 Cu、Mo 最高；中—强蚀变花岗闪长斑岩中 Ag、Au 含量最高。

（2）各斑岩体中微量元素含量见表 3.2.6，其中含矿岩体较非含矿岩体的 Cu、Mo、Ag 含量明显高，且其离差和变异系数大，频率分布曲线呈双峰或多峰形式；含矿与矿化岩体中微量元素含量则不易区分。

表 3.2.5　德兴矿田区岩（矿）石部分微量元素含量统计表

岩石名称	Cu	Mo	Ag	Pb	Zn	Mn	Ni	Co	Au
花岗闪长斑岩	1042	68	0.41	33	44	264	22	35	0.040
强蚀变花岗闪长斑岩	2474	53	1.72	107	148	441	18	26	0.308
中蚀变花岗闪长斑岩	2787	66	0.93	30	62	361	24	39	0.323
弱蚀变花岗闪长斑岩	1225	65	0.46	44	76	356	22	34	0.225
中强蚀变浅变质岩	3744	128	0.76	27	77	170	29	48	0.181
弱蚀变浅变质岩	369	14	0.42	31	61	355	36	46	0.130
浅变质岩	70			43	106	470	13	28	0.012

元素质量分数单位为 10^{-6}。　　引自叶永红、胡玉燕，1991。

表 3.2.6　德兴矿田岩体中部分微量元素含量统计表

矿床	岩石名称（样品数）	Cu	Mo	Ag	Pb	Zn	Mn	Co	矿床规模
铜厂*	花岗闪长斑岩	230	3.7	<1	26	140	—	14.0	特大型
富家坞	花岗闪长斑岩（63）	258	6.7	0.60	12	26	319	8.0	特大型
朱砂红	花岗闪长斑岩（53）	129	4.3	0.50	27	12	83	5.0	中　型
银山	石英斑岩（17）	56	187.0	0.50	19	10	58	2.5	矿化（钼）
大银尖	花岗岩（30）	43	119.0	0.50	53	17	144	2.0	矿化（钼）
东岩山*	斑岩（19）	70	1.0	0.06	15	36	50	5.3	矿　化
鹅坑*	斑岩（21）	85	2.7	0.06	20	95	343	11.0	无　矿
村坑*	斑岩（9）	50	1.1	0.09	22	39	240	5.0	无　矿
八十源*	斑岩（4）	26	2.5	0.07	21	29	214	6.0	无　矿

元素质量分数单位为 10^{-6}；* 为冶金部地质所铜矿组资料。

2. 地球化学异常

（1）不同采样介质均有地球化学异常显示。

溪流水化学异常：面积 > 20km^2、异常呈北西向展布（图 3.2.6），浓集部位在出露或隐伏矿床的中强蚀变带上方，其高值异常 $c(Cu^{2+}) \geqslant 0.64$mg/L、$c(SO_4^{2-}) = 16 \sim 64$mg/L、pH≤5；局部还有 Mo^{4+} 异常，含量 0.001 ~ 0.005mg/L。

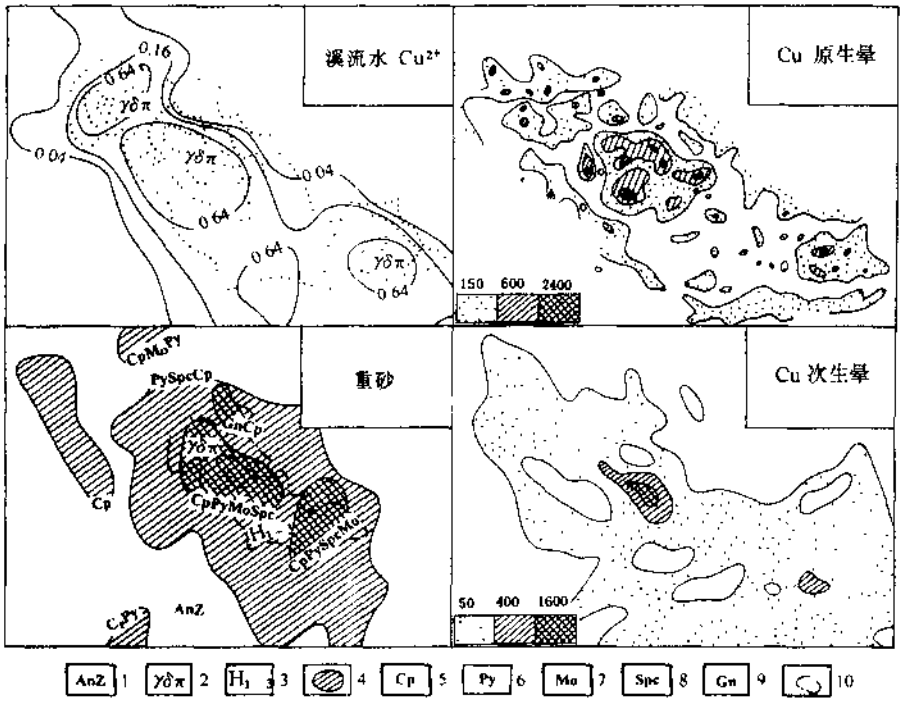


图 3.2.6　不同采样介质地球化学异常平面图

（引自朱训等，1983）

1—浅变质岩；2—花岗闪长斑岩；3—蚀变岩；4—重砂异常；5—黄铜矿；6—黄铁矿；7—辉钼矿；8—镜铁矿；9—方铅矿；10—蚀变带．w(Cu)单位为10^{-6}；Cu^{2+}为 mg/L

河流重砂异常：重矿物多达 50 种，主要为金属硫化矿物和自然金，异常亦呈北西向展布，面积达 40km^2，黄铜矿、辉铜矿的重砂异常主要分布在铜厂、富家坞矿区。

土壤地球化学异常：面积 25km^2，比蚀变范围大，呈北西向展布；有明显分带特征，内带由 Cu、Mo、Ag、W、Sn、Bi 等元素异常组成，外带由 Pb、Zn、Ag、As、Ni、Co、Mn 等元素异常组成。三个矿床上方均有明显的 Cu、Mo、Ag 异常。

岩石地球化学异常：异常面积大于蚀变带范围，Cu、Mo、W、Bi、Ag 异常浓集中心对应于三个矿床的上方；Pb、Zn、Mn、Ni、Co 等元素亦有明显异常。

（2）异常特征。矿田中三个矿床具有相同的成矿条件，地球化学异常特征也基本相同，仅因剥蚀深度不同，地表异常显示有所差异。其主要成矿元素 Cu、Mo 及 Ag 异常特征示于表 3.2.7。

三个矿床上的异常规模约为岩体规模的 3 ~ 10 倍，其形态相似；异常规模排列顺序与矿体规模顺序一致，即铜厂 > 富家坞 > 朱砂红。

表 3.2.7　德兴铜矿田三个矿床 Cu、Mo、Ag 元素异常特征

矿床名称	成矿元素	异常形状	异常面积/岩体面积	一般含量	均值 $a_0/10^{-6}$	浓度分带	异常浓度分带特征
铜厂	Cu	不规则或似等轴状	$\frac{2.30km^2}{0.70km^2}$	300～1500	800	150～600～2400	内、中、外带齐全，内带有一定面积，浓集中心在岩体北部
	Mo		$\frac{2.00km^2}{0.70km^2}$	15～100	50	5～20～80	浓集中心环绕岩体分布，主要在岩体的南及东南侧
	Ag		$\frac{1.75km^2}{0.70km^2}$	0.5～1.6	0.71	0.5～1.0	内、中、外带发育，内带较小，内、中带与矿体范围一致
富家坞	Cu		$\frac{0.68km^2}{0.20km^2}$	200～900	500	100～200～400	主要为外带，内、中带零星分布，中心在接触带上，呈环状，北环较高
	Mo		$\frac{0.80km^2}{0.20km^2}$	25～120	70	1～10～100	浓集中心环绕岩体分布，主要在岩体的南侧
	Ag		$\frac{0.40km^2}{0.70km^2}$	0.5～2.3	0.80	0.5～1.0～2.0	内带不发育；中带范围较小，一般出现在矿体内
朱砂红	Cu		$\frac{0.70km^2}{0.06km^2}$	200～500	300	150～600～2400	主要出现外带异常，中带零星分布，浓集中心在岩体北部
	Mo		$\frac{1.00km^2}{0.06km^2}$	10～90	45	5～20～80	浓集中心环绕岩体分布，主要在岩体的东及东南侧
	Ag		$\frac{0.70km^2}{0.06km^2}$	0.5～1.0	0.65	0.5～1.0	内带不发育；中带一般出现在矿体内部

据朱训等 1983 年资料、朱炳球 1982 年资料整理。

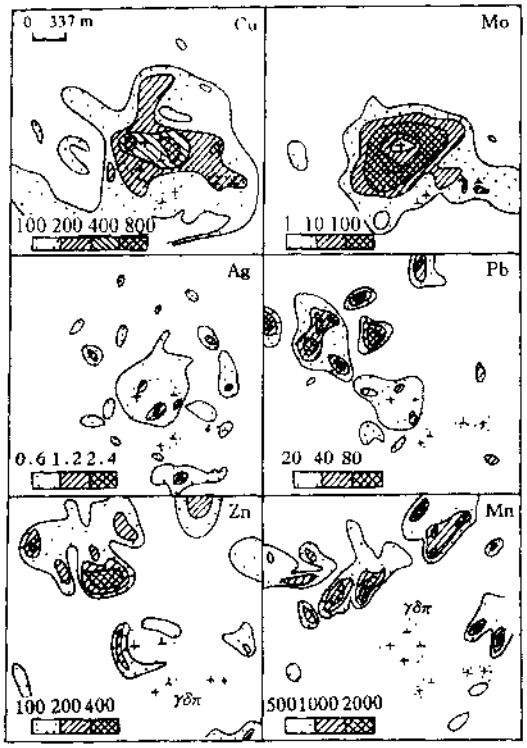


图 3.2.7　富家坞铜矿床岩石地球化学异常

元素质量分数单位为 10^{-6}

以富家坞半隐伏铜矿床为例，异常面积为岩体出露面积的4倍（图3.2.7），异常空间分布的明显特征是：Cu、Mo、Ag异常包围着花岗闪长斑岩岩体，浓集中心在岩体周围，强度的排列顺次与矿体的规模顺序一致，揭示了铜（钼）矿与斑岩体有成因联系。矿床剖面异常形态见图3.2.8。

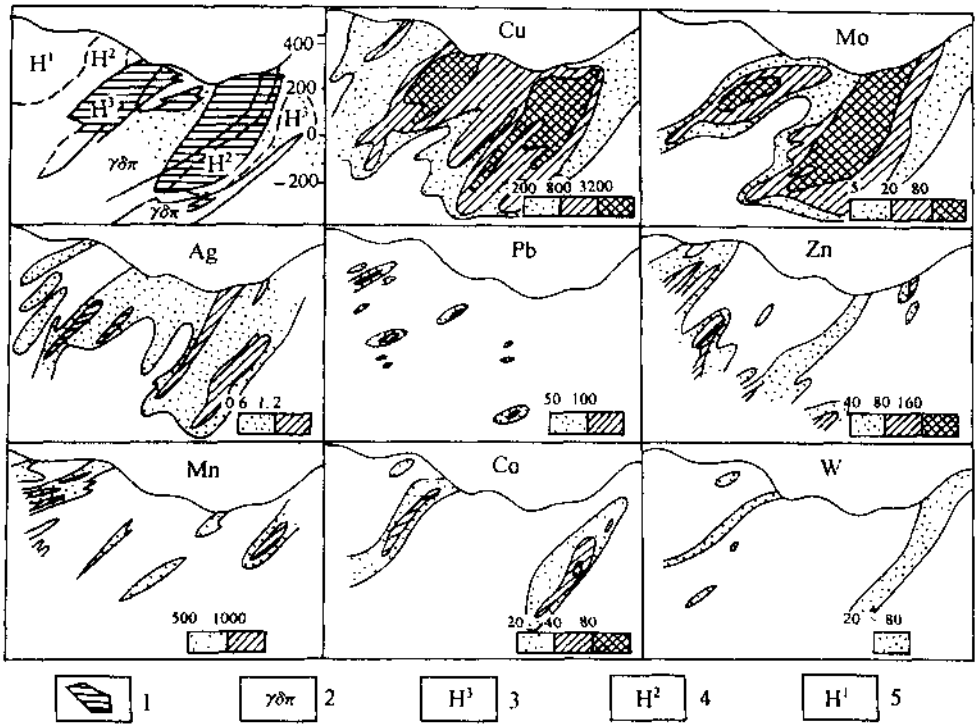


图3.2.8 富家坞铜矿床3线勘探剖面钻孔岩石地球化学异常

（引自朱训等，1983）

1—铜钼矿体；2—花岗闪长斑岩；3—石英绢云母化带；4—绿泥石、水云母化带；5—绿泥石、伊利石化带；元素质量分数单位为10^{-6}

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

（1）矿床异常与矿田异常均具有明显的组分分带特征。矿床异常分为中心带和边缘带，与矿田异常的内部带和外围带对应。矿床异常中心带由Cu、Mo、Ag、Au、W、Sn等元素组成，边缘带由Pb、Zn、Mn、Ni、Co等元素组成。矿床上显示出Cu、Mo、Ag异常在中部，Pb、Zn、Mn、Co、Ni异常在边缘的元素水平分带特征。

以富家坞矿床为例，其垂向分带序列自上而下为：Zn—Pb—As—Ag—Mn—Ni—Cu—Mo。

（2）Cu、Mo异常中伴有Au、Ag异常时，可作为矿体赋存部位的标志；或者矿带或矿区岩石中出现（0.02～0.n）$\times 10^{-6}$的Au异常，和大于0.5×10^{-6}的Ag异常时，可用以指示赋矿部位。

4. 地球化学异常模型

德兴斑岩铜矿（斑岩体呈岩株形式产出）平面上，异常围绕斑岩体呈等轴状面型分布，元素组合中心带以Cu、Mo、Ag、Au、Bi、Se为代表，边缘带以（W、Sn）As、Co、

Pb、Zn、Cd、Mn为代表；剖面上，异常呈钟状分布，垂向分带也十分明显。以德兴矿田中半隐伏的富家坞矿床为例，其地球化学异常模型见图3.2.9。

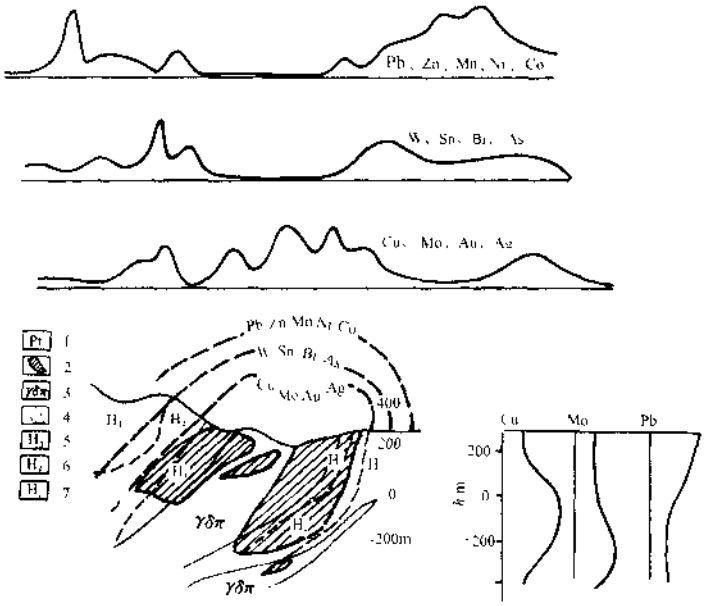


图3.2.9　富家坞铜矿床岩石地球化学异常模式

1—元古宇双桥山群；2—矿体；3—花岗闪长斑岩；4—蚀变带界线；5—石英绢云母化带；6—绿泥石—水白云母化带；7—绿泥石—伊利石化带

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 德兴铜（钼）矿田地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表3.2.8。

2. 德兴铜（钼）矿田地质-地球物理-地球化学模型见图3.2.10。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定铜、多金属成矿带。以1:20万水系沉积物测量为主，配合1:10万航空物探和1:20万区域重力测量。

（2）寻找并圈定含矿岩体。岩石（土壤）地球化学、水化学测量，1:5万水系沉积物测量；1:5万高精度重、磁测量与1:2.5万激发极化法；地形条件较好时，亦可采用自然电场法等。

（3）含矿岩体中确定赋矿部位并了解其产状。大比例尺（1:2.5万～1:1万）岩石（土壤）地球化学测量；大比例尺（1:1万～1:5千）高精度重、磁测量，激发极化法、瞬变电磁法等。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表3.2.A　德兴铜（钼）矿田矿床地质特征简表。

表3.2.B　德兴铜（钼）矿田矿床地球物理特征简表。

表3.2.C　德兴铜（钼）矿田矿床地球化学特征简表。

表 3.2.8　德兴铜（钼）矿田矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	扬子准地台内江南台隆东段南缘，受江南台隆与钱塘坳陷之间的赣东北深断裂带控制，地处断裂带的北西侧	
	地球物理场	矿田位于乐平重力高与大茅山重力低之间梯度带的东南侧，北东同向扭曲的重力低值带中；以赣东北深断裂带为界，北西磁场平静，南东磁场复杂，矿田位于复杂磁场边缘北西向低缓负磁场中	
	地球化学场	Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、As 等元素构成区域异常带，矿田位于中段。矿床上方有明显浓集中心；Cu 100×10^{-6} 圈出内带，伴有 Mo、W、Sn、Ag、Sb 等元素异常；Pb、Zn、Mn、As、Co 等元素异常呈环状、围绕 Cu 内带异常分布	
地质	地　层	中元古界双桥山群浅变质岩系（千枚岩、凝灰质千枚岩、沉凝灰岩、变余砂岩等），原岩为泥质、粉砂质及火山凝灰质沉积岩	
	构　造	元古宇地层褶皱轴部与多组断裂交叉复合部位，斑岩体内、外接触带	
	岩浆岩	燕山早期浅—超浅成侵入，由花岗闪长斑岩、英安斑岩、石英闪长玢岩、石英斑岩等组成的杂岩体	
	围岩蚀变	主要为石英-水白云母化带（或石英-绢云母化带），且其蚀变强，蚀变带较宽	
	赋矿部位	花岗闪长斑岩与围岩（千枚岩）的接触带，特别是上接触带	
	主要矿石矿物	黄铁矿、黄铜矿，次为辉钼矿、砷黝铜矿、斑铜矿	
	直接找矿标志	氧化带中，铜、铅、锌等有色金属呈贫化趋势，铁、金等元素则相对富集	
地球物理	探测目标物	蚀变花岗闪长斑岩体	矿体
	目标物物性特征	低密度（$<2.58\times10^{3}kg\cdot m^{-3}$）； 弱—中磁性（$M\approx n\times10^{-1}A\cdot m^{-1}$）； 微—中极化（约 10%），低电阻（$n\times10^{1}\Omega\cdot m$）	高密度（$>3.2\times10^{3}kg\cdot m^{-3}$）； 较弱磁性（$M\approx n\times10^{-2}A\cdot m^{-1}$）； 高极化（>30%），低电阻（$n\times10^{1}\Omega\cdot m$）
	地表异常特征	重力低或呈相对重力低； ΔZ 磁异常总体呈低缓形态，北部伴有弱负异常；150nT 等值线大致沿中蚀变带边界分布； 激电异常 η_S 呈 10%高背景异常反映	矿体埋藏不深时：激电在 η_S 为 10%高背景上，可形成明显的次级异常，其 $\eta_{S\,max}>30\%$；并可能有较明显的重力高异常
	干　扰	激电异常干扰主要为黄铁矿化；磁异常干扰为磁性矿物的不均匀分布	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、As、Mn 等； 前缘元素：边缘带由 Pb、Zn、Mn、Ni、Co、As 等元素组成； 近矿元素：中心带由 Cu、Mo、Ag、Au、W、Sn 等元素组成； 尾部元素：	
	元素浓度分带	富家坞：Cu 100～200～400 Mo 1～10～100 Ag 0.6～1.2 Pb 50～100 Zn 40～80～160　Co 20～40 铜　厂：　150～600～2400　5～20～80　0.5～1.0～2.0　50～200　60～120　　15～30～60 朱砂红：　150～400～2400　5～20～80　0.5～1.0　　50～100　60～120　　20～40	
	主要元素异常形态与分布范围	成矿元素 Cu、Mo、Ag 异常形态呈似等轴状，相互套合，浓集部位在岩体或接触带上方，由 Cu、Mo、Ag、Au、W、Sn 等元素组成中心带异常；Pb、Zn、Co、Ni、Mn、Bi 等元素组成边缘带异常	
	其它特征	隐伏矿床地表异常特征是：成矿及伴生元素无明显的分带现象，绝大多数指示元素异常相互重叠。氧化带中 Cu、Pb、Zn 等呈贫化趋势，Fe、Au 等元素相对富集	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

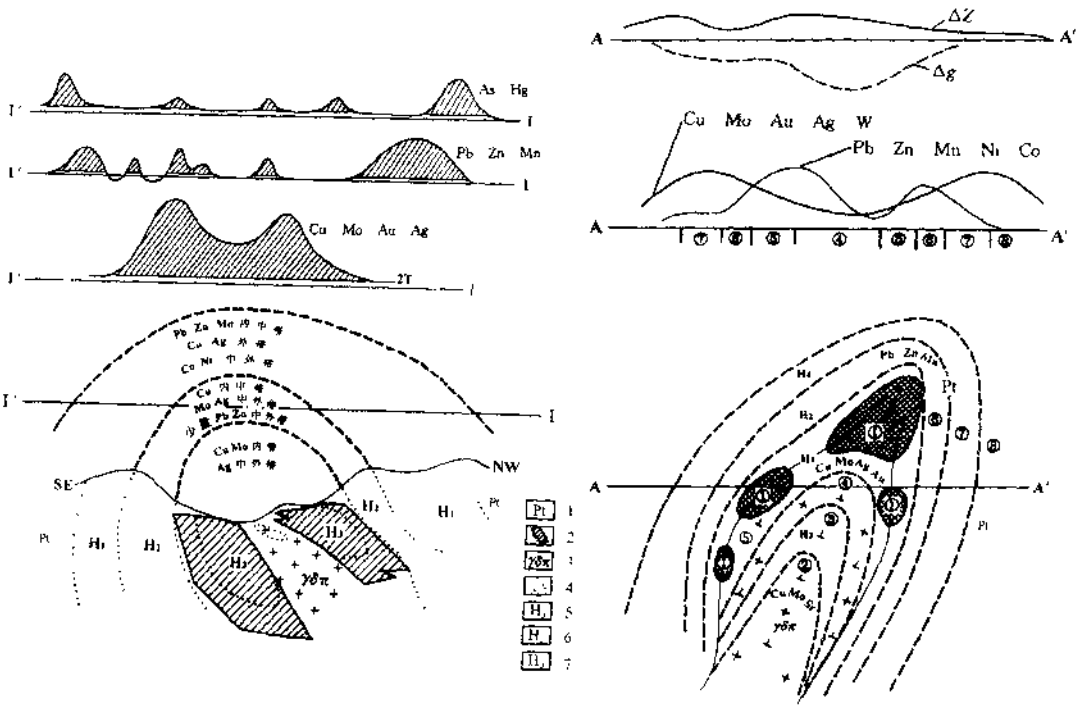


图 3.2.10　德兴铜（钼）矿田地质-地球物理-地球化学模型

图中地质体-物性体 地球化学异常对应关系见表 3.2.9；1—元古宇双桥山群；4—分带；其余图例同图 3.2.8

表 3.2.9　地质体-物性体-地球化学异常对应表

地质体	蚀变代号	物性体编号	物性特征			地球化学异常特征
			密度	磁性	极化率	
斜钼金矿体		①	高	中	高	Cu Mo Au Ag 为内带，Mn 为负异常
花岗闪长斑岩		②	低	微	微高	Cu Mo Sr（外带）
绿泥石（绿帘石）—伊利石—钾化带	H3	③	低	弱	低	Cu Mo 为中内带，Ag Zn Co Ni 等为中外带
绿泥石（绿帘石）—水云母化带	H2	④	低	中	中	同上
石英—绢云母化带（接触带）	H1	⑤	中	弱	高	Cu Mo Ag 为中内带，W Sn 为外带
绿泥石（绿帘石）—水云母化带（围岩）	H2	⑥	中	弱	中	Pb Zn Mn W Co Ni 等为中外带
绿泥石（绿帘石）—伊利石—钾化带	H4	⑦	中	弱	低	同上
双桥山群浅变质岩		⑧	中	微	微	Mn Pb Zn Ni Co Ag Cu 为外带异常

据叶永红、胡玉燕 1991 年；吴承烈等 1998 年资料改编。

表 3.2.A　德兴铜（钼）矿田矿床地质特征简表

地理位置		江西省德兴县	1:20 万图幅：H-50-（28）	
矿床类型		斑岩型	矿石建造	Cu（Au、S、Mo、Re 等）
矿床规模、品位		特大型，Cu：0.423% ~ 0.501%	容矿岩石	花岗闪长斑岩
地质成矿环境	构造背景	江南台隆东段南缘、赣东北深断裂带的北西侧		
	地　层	除赣东北深断裂带中零星分布有侏罗系和外围东南角有震旦系、寒武系地层外，大面积出露中元古界双桥山群浅变质岩系（千枚岩、凝灰质千枚岩、沉凝灰岩、变余砂岩等）；原岩为泥质、粉砂质及火山凝灰质沉积岩		
	构　造	褶皱、断裂发育。褶皱主要有早期 EW 向向斜、晚期 NE 向复式倒转背斜，两者斜交于矿区中部。断裂以 NE 向赣东北深断裂带为主体，它改造了早期 EW 向构造，形成了配套的 NNE 向、NW 向断裂系统		
	岩浆岩	岩浆活动频繁，以燕山期最为强烈，形成多种岩性的侵入岩和次火山岩，与成矿有关的燕山早期浅—超浅成侵入杂岩体，由花岗闪长斑岩、英安斑岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩、石英斑岩等组成 里特曼指数 $\sigma = 1.02 \sim 2.57$　　戈蒂尼指数 $\tau = 25.69 \sim 35.36$		
	主要控矿因素	赣东北深断裂带具有明显的导岩、导矿作用；区域性 NW—NNW 向断裂控制着矿田的展布； 元古宇地层褶皱轴部与多组断裂交叉复合部位控制矿床定位； 中元古界双桥山群为矿源层； 燕山早期花岗闪长斑岩为成矿提供了矿质来源，斑岩体内外接触带为主要容矿构造		
矿床特征	成矿岩体	三个矿床的成矿岩体均为花岗闪长斑岩，岩体沿北西西向分布，围岩为双桥山群泥质岩石与长石质硬砂岩及硬砂质泥岩互层		
	容矿构造	含矿斑岩体的内、外接触带		
	矿化阶段	岩浆晚期气成热液成矿期、岩浆期后热液成矿期和次生氧化成矿期；以岩浆期后热液成矿期最主要，它又可分为五个成矿阶段		
	蚀　变	由接触带向两侧蚀变分带大致对称， 岩体中心→围岩：绿泥石（绿帘石）-伊利石-钾化带→绿泥石（绿帘石）-水白云母化带→石英-绢云母化带→绿泥石（绿帘石）-水白云母化带→绿泥石（绿帘石）-伊利石化带		
	矿化分带	以斑岩接触带为中心的内、外对称分带为主，以斑岩为中心的环状侧向分带次之		
	矿体特征	金属矿物：主要有黄铁矿、黄铜矿，次为辉钼矿、砷黝铜矿、斑铜矿；辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿、磁黄铁矿等硫化物含量更少		
		矿石特征：矿石构造有细脉浸染状、细脉状和浸染状		
		矿体形态：受斑岩体形状控制，呈穿心筒状，平面上呈环状		
	脉石矿物	石英、绢云母、水白云母、伊利石、绿泥石等		
表生地质		矿区氧化带较发育， 在氧化带中 Cu、Pb、Zn 等有色金属元素呈贫化趋势；Fe、Au 等元素相对富集		
地貌景观		湿润中低山区，植被发育		
备　注				

表 3.2.B　德兴铜（钼）矿田矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	矿田位于乐平重力高北东重力抬高区与大茅山重力低之间梯度带的东南侧，偏重力低一侧，向北东同向扭曲的重力低值带中
	磁　场	磁场表现为以赣东北深断裂带为界，北西为平静磁场区、南东为复杂磁场区，矿田位于复杂磁场边缘北西向低缓负磁场中
矿区(田)异常	重力异常	布格重力异常形态复杂，重力高、重力低交替出现，矿田一带总体呈北西向重力低异常，或处在300℃方向剩余重力抬高场的低值异常带中； 朱砂红斑岩体位于重力低异常向北凸出的舌状重力低上，铜厂斑岩体位弱重力高的鞍部，富家坞斑岩体处在其东部重力低异常中
	磁力异常	呈北部伴有弱负异常的低缓磁异常，走向300°，ΔZ_{max} = 250nT，50nT等值线圈闭与矿田蚀变带形态相似，范围略大
	电异常	蚀变花岗闪长斑岩范围显示低阻、中—高极化异常
	其他	
矿床异常	重力异常	宏观上，矿田重力异常呈重力低反映，朱砂红矿床处于其西侧梯度带上；铜厂、富家坞位于重力低异常的侧向突出部位
	磁力异常	矿田上呈低缓磁异常，北部伴有弱负异常；ΔZ150nT等值线大致沿中蚀变带边界分布，ΔZ磁异常在含矿岩体外接触带呈剧烈跳跃、幅值大于300nT；中部在小幅度跳跃中可见约100nT的低缓异常　磁异常系矿体、含矿岩体及外接触带中局部磁铁矿化引起，异常的极值部位向含矿岩体倾斜方向位移
	电异常 激电异常	视极化率 η_s 呈约10%的高背景异常，$\eta_{s\,max} > 30\%$。 异常为矿体与蚀变带的综合反映，总体向矿体倾斜方向位移
	电异常 电阻率异常	平缓宽阔的低阻带与高极化率异常对应， 矿床上方 $\rho_s < 50\Omega\cdot m$、上升为400Ω·m中阻后，过渡为高阻
	电异常 电磁异常	
	其他	

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		磁性		电性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	η/%	ρ/Ω·m
	铜矿石	3.22	2.64～3.90	4.40×10^2	2.0×10^1		
	强蚀变花岗闪长斑岩	2.58	2.43～2.73	4.69×10^3	5.66×10^2	28.1	
	中蚀变花岗闪长斑岩	2.53	2.43～2.61	5.99×10^2	4.7×10^1	11.4	
	弱蚀变花岗闪长斑岩	2.49	2.40～2.70	2.64×10^2	3.8×10^1	1.1	
	中强蚀变浅变质岩			1.47×10^2	0.7×10^1	28.1	
	弱蚀变浅变质岩			2.83×10^2	2.1×10^1	33.5	
	浅变质岩	2.72	2.50～2.96	6.70×10^1	0.8×10^1	1.1	
	花岗岩、花岗闪长岩	2.47		$<10^1$	$<10^0$		
	备　注						

表 3.2.C　德兴铜（钼）矿田矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、As、Mn 等													
	空间分布	矿田位于北东向多金属成矿带的中段，对应有 Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、As 等元素组成的区域异常带，沿走向具有元素组合分带特征：中段为矿田所在部位，异常元素组分复杂、异常规模大，浓集中心明显；北东、南西两侧，异常小，元素组分简单，以 Pb、Zn、Mn、As 为主，以 Cu 100×10^{-6}圈出的异常内带，有 Mo、W、Sn、Ag、Sb 元素组合异常，约 12km²，富家坞、铜厂、朱砂红三个矿床上方形成三个浓集中心，有 Pb、Zn、Mn、As、Co 等元素异常环绕												
	元素浓度分带	Cu 25～50～100　Ag 0.1～0.2～0.4　As 20～40～80　Mn 700～1000 Mo 1～2～4　Pb 30～60～120　Cd 0.3～0.6～1.2 Au 2～4～8　Zn 80～120～300　Bi 0.5～1.0～2.0												
	元素水平分带	具有明显的组分分带特征：中心带由 Cu、Mo、Ag、Au、W、Sn 等元素组成，边缘带由 Pb、Zn、Mn、Ni、Co、As 等元素组成													
	其它特征	含矿岩体上，Cu、Mo 含量高于同类岩体几倍以上，比离差、变异系数大，频率分布曲线呈双峰或多峰形式													
矿床异常	位　置	地　表											剖　面		
	元素组分	Cu、Mo、Ag、Au、W、Pb、Zn、Mn 等											Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、Co、W、Rb 等		
	空间分布	主成矿元素 Cu、Mo、Ag 异常形态均为似等轴状，相互套合，浓集部位在岩体或接触带上方。由 Cu、Mo、Ag、Au、W、Sn 等元素组成中心带异常；Pb、Zn、Co、Ni、Mn 等元素组成边缘带异常												富家坞、铜厂异常分布大致相似，接触带附近 Cu、Mo、Ag 等元素浓度分带清晰，浓集中心在矿体内，Co、Pb、W 等元素异常呈壳状环绕矿体；Mn、Pb、Zn 异常呈条带状，在矿体的上、下盘围岩中，朱砂红原生异常组分分带不明显，围绕矿体呈同心环状异常		
	元素浓度分带	富家坞：Cu 100～200～400～800　Mo 1～10～100　Ag 0.6～1.2～2.4　Pb 20～40～80 Zn 40～200～400　Mn 500～1000～2000　Co 20～40 铜　厂：Cu 150～600～2400　Mo 5～20～80　Ag 0.5～1.0～2.0　Pb 50～200　Zn 60～120 Co 15～30～60 朱砂红：Cu 150～400～2400　Mo 5～20～80　Ag 0.5～1.0　Pb 50～100　Zn 60～120 Co 20～40													
	元素分带序列												自上而下（富家坞）： Zn—Pb—As—Ag—Mn—Ni—Cu—Mo		
	元素间相关性	朱砂红、铜厂：Ag、Cu 与 Mo、Cu 为两个主成矿因子。 富家坞：Cu 与 Mo 分别为独立成矿因子													
	其它特征	朱砂红隐伏矿床和富家坞半隐伏矿床地表异常特征是：成矿及伴生元素无明显的分带现象，绝大多数指示元素异常相互重叠													
矿体剥蚀程度评价指标															
岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg
	γδπ —铜　厂	230	26	140		<1			3.7		14				
	—富家坞	258	12	26		0.6			6.7		8				
	—朱砂红	129	27	12		0.5			4.3		5				
	强蚀变 γδπ	2474	107	148	308	1.72			53	22	35				
	中强蚀变浅变质岩	3744	44	77	181	0.76			128	29	48				
	浅变质岩	70	43	106	12					13	28				
	中国花岗闪长岩*	18.5	18	165	0.7	0.057	0.5	1.4	0.66	19	12	2.0	0.15	0.15	6.2
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；*为鄢明才等资料，1997													

第三节　西藏玉龙铜（钼）矿床

玉龙矿床❶❷❸❹ 位于西藏自治区江达县，是我国迄今已发现最大的玉龙斑岩铜（钼）矿带中规模最大的矿床。该矿带中尚有马拉松多、多霞松多，扎那尕、莽总等大、中型铜（钼）等矿床。

一、区域地质背景

玉龙矿带地处全球性的特提斯-喜马拉雅斑岩铜（钼）矿带的东部端缘，受羌塘-昌都微陆块（亦称三江印支褶皱带）控制。矿带位于微陆块东部或澜沧江大断裂以东，沿玉龙—徐中的陆缘山盆地带分布。

区域布格重力异常全为负值，总体趋势为南高北低、东高西低。玉龙矿带处于澜沧江与金沙江之间相对重力高带西部，察雅北东近南北向重力低北缘与昌都—江达近东西向重力高、低相间异常带交汇部位（图 3.3.1）。对应区域磁场为以正磁异常为主的金沙江北北西向复杂磁场区与昌都—左贡宽缓平稳的负磁场区之间的低磁异常带。

区域地球化学场显示：玉龙—徐中一带为以 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 元素异常为主，伴有 As、W、Cd、Bi 等元素异常。异常呈串珠状北北西向分布，组分复杂、含量高、变化大，形态较规则、浓集中心明显；其北段以 Cu、Mo、Au、Ag 异常为主，南段 Cu、Mo 异常减弱，Pb、Zn 相对增强。土壤测量 Cu、Mo、Pb、Zn 元素有明显异常，Cu 异常一般达 $n\times100\times10^{-6}$，且面积较大，如马拉松多异常约 4.3km^2。

二、成矿地质环境

1. 地层

矿带内出露地层比较齐全，从老到新依次为古生界、中生界和新生界，以中生界的上三叠统分布最广。

矿区主要出露地层有下奥陶统、泥盆系—石炭系、上三叠统及第四系。其中古生界分布于矿区的外围东部边缘，上三叠统广泛分布于整个矿区。上三叠统不仅是燕山期至喜马拉雅期斑岩体的围岩，而且是含矿斑岩体的直接围岩；并因含矿斑岩的侵入在区内发生强烈蚀变，与紧邻矿区外围地层有较大差异。

上三叠统主要有：甲丕拉组（T_3j）为陆相红色碎屑岩，分布于矿区北部，近岩体处已蚀变为石英黑云母角岩，夹角岩化石英砂岩，略远离岩体主要蚀变为青盘岩化角岩；波里拉组（T_3b）为浅海相灰岩夹砂岩，区内呈大片分布，并出露于矿体两侧，已变质为大理岩、夕卡岩或具大理岩化、夕卡岩化、硅化等蚀变；阿堵拉组（T_3a）为海相砂页岩分布于矿区南部，沿裂隙见绿泥石脉和碳酸盐岩充填，破碎带见角岩和夕卡岩化蚀变。

---

❶ 李云清，王原钧等。西藏自治区江达县玉龙铜钼矿区物探工作报告，西藏地质局物探大队，1977。

❷ 杨孔声，王永华等。类乌齐幅 8-47-（1）、干多乡幅 8-47-（2）地球化学图说明书（1:20 万水系沉积物测量），1991。

❸ 伍宗华等。我国主要类型铜多金属矿床区域地球化学异常特征和筛选方法。地矿部物化探所，1995。

❹ 地矿部“七五”攻关项目内部研究报告。藏东地区铜、锡、金成矿地质特征及远景预测，1990。

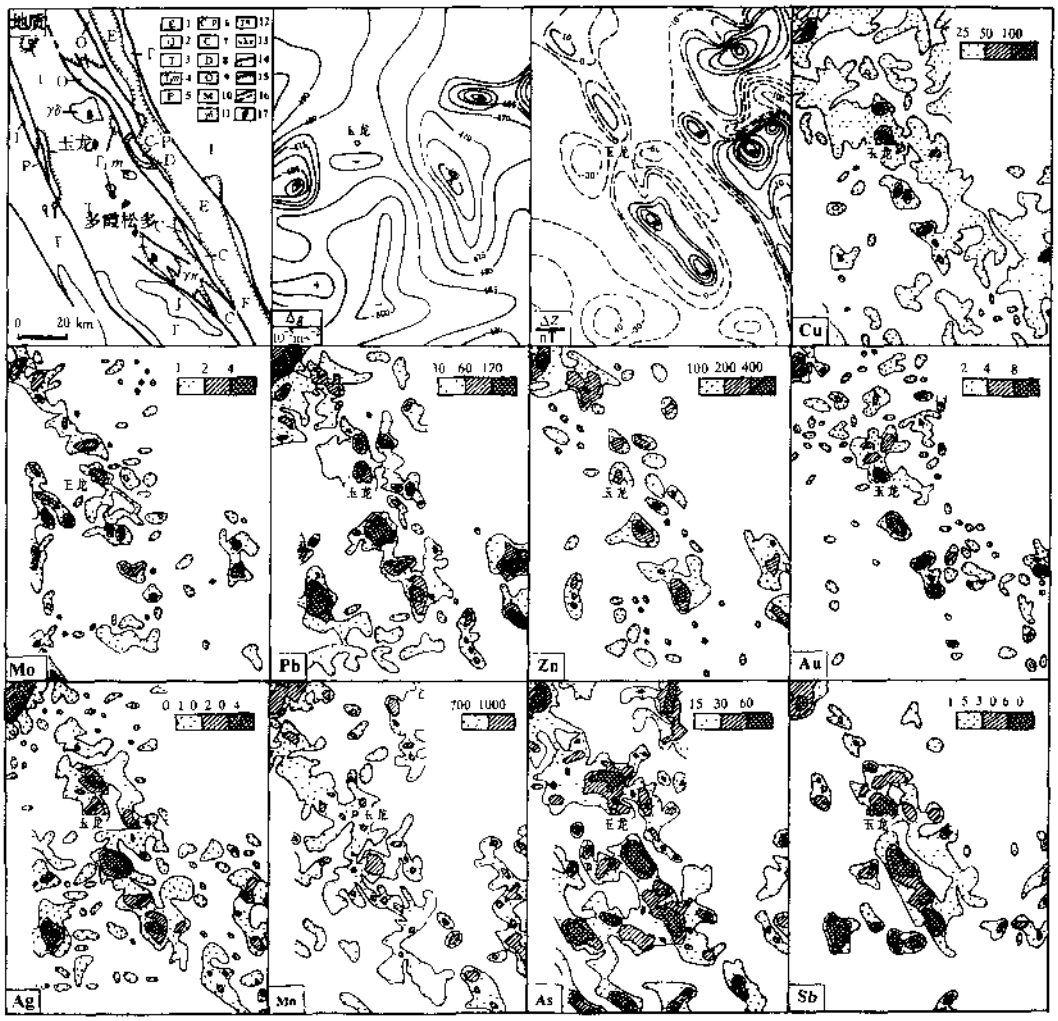


图 3.3.1　西藏玉龙矿带地球物理-地球化学区域场剖析图

（据唐仁鲤 1995 年、伍宗华等 1996 年资料编绘）

1—第三系钙质碎屑岩夹火山岩；2—侏罗系砂岩、砂砾岩夹泥岩；3—二叠系砂页岩、灰岩、火山岩；4—下二叠统马拉松多组；5—二叠系砂板岩、砂页岩、灰岩；6—石炭系—二叠系；7—石炭系灰岩夹页岩；8—泥盆系碎屑岩、灰岩；9—奥陶系杂色板岩夹石英砂岩；10—古生界片麻岩、石英岩、混合岩；11—花岗闪长岩；12—花岗斑岩；13—二长花岗斑岩；14—地质界线；15—不整合界线；16—实测及推测断层；17—具斑岩型铜钼矿化的岩体；元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

2. 构造

区域构造线北段呈 NW 向，南段近 SN 向，中部呈微向 NE 突出的弧形。

矿带自西向东由第三系贡觉红色断陷盆地、青泥湖—海通隆起（复背斜）、玉龙复向斜和妥坝复背斜组成；带内褶皱强烈，断裂发育，其主体组成一个有内在联系的较为完整的褶皱断裂体系。

矿区位于青泥湖—海通复背斜西翼，恒星错—甘龙拉 NNW 向短轴平缓背斜的轴部

SSE 倾伏端。青泥湖—海通复背斜为略向北东突出的帚状褶皱带，下奥陶统和上古生界组成褶皱基底，构成复背斜的核部；三叠系—侏罗系构成两翼。该复背斜又由一系列次级复式背斜和复式向斜组成；呈地垒构造形态，两侧以断裂为界。

3. 岩浆岩

矿带内岩浆活动具多旋回性和继承性，并明显地受褶皱（复背斜边缘）和内部断裂控制。印支期之前，以中—基性喷发活动为主；燕山期和喜马拉雅期，以侵入活动为主，喷发次之。

喜马拉雅期侵入岩十分发育，侵入体呈带状沿 NNW—SSE 区域构造走向成群分布，岩体多侵位于三叠系。主要岩石类型有二长花岗斑岩、花岗斑岩、石英二长（斑）岩、正长斑岩和花岗闪长（斑）岩等。以酸性、中酸性为主的浅成—超浅成侵入岩与成矿关系极为密切。

含矿斑岩体为黑云母二长花岗斑岩复式岩体，属于喜马拉雅期，出露面积 0.63km^2；平面呈梨形，剖面呈蘑菇状。岩体大部已钾化、硅化，蚀变为黑云母花岗斑岩和钾长花岗斑岩，深部过渡为石英二长斑岩。

4. 区域地球化学

区域内主要岩石及采样介质中微量元素的平均含量见表 3.3.1，比较可见关系如下。

（1）亲铜元素（Cu、Au、Ag、Pb、Zn）及 W、Mo 在上三叠统地层中明显富集，其次为泥盆系地层，表明铜、钼等多金属矿床与这两种地层关系较密切。

赋矿层位上三叠统甲丕拉组上部与波里拉组下部，其 Cu、Mo、Ag 等元素含量富集更为突出。

（2）喜马拉雅期花岗斑岩类较其它时代花岗岩类富 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Bi、Sb 等，贫 Cr、Ni、Co、V、Ti、Sr、Sn、Hg 等，且 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au 的含量变化范围大，该期花岗斑岩具有成矿母岩的地球化学特征。

5. 区域地球物理场

区域内磁异常表现为：在 -20 ~ -30nT 磁场背景上断续分布着 10 ~ 40nT（个别高于 90nT），长轴呈北北西向的椭圆形异常，含矿斑岩均位于椭圆形异常附近。

区域地球物理场与区域地质构造的对比显示：局部重力低与强度较弱的正磁异常为中酸性岩带或规模较大的岩体反映。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿体赋存于含矿斑岩体的内、外接触带，总体形态呈蘑菇状。“蘑菇茎”由筒状矿体构成，长度大于 500m，其下段截面近圆形，0.4 ~ 0.5km^2；上段呈椭圆状，长轴近南北向，长约 1km，面积约 0.67km^2。“蘑菇盖”由中心部分已剥蚀的似层状矿体构成，向外缓倾并呈楔状变薄，水平投影面积约 0.67km^2（周边长约 6km）。

筒状（Ⅰ号）矿体：由矿化斑岩和近接触带的矿化角岩组成，地表 470m 以下为无矿核（矿体平均厚度 331.5m），占全矿区铜金属储量 38.4%，平均品位 0.52%。

似层状矿体：由类型不同的上、下矿层组成，沿岩体或筒状矿体四周呈环状分布，平均宽约300m，北端矿体窄而薄。上矿层（Ⅱ、Ⅴ号矿体）为岩熔型准块状富矿，四周平

表 3.3.1　玉龙矿带及外围地区主要岩石及采样介质中微量元素含量

主要岩石或采样介质	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Mo	W	Sn
	平均含量/变化范围（变化系数）							
藏东地区上三叠统碎屑岩（澜沧江断裂以东地区）	23.3	20.0	79.9	1.1	60.1			2.5
喜马拉雅期花岗斑岩	29.7 9.1～63.7	64.4 26～126	97.6 57～148	0.91 0.4～2.2	150 90～290	2.21 0.4～5.83	5.33 1.6～12.0	
燕山期二长花岗岩	11.8 12.4～22.9	28.9 13.0～82.8	27.2 13.0～60.1	6.21 0.48～12.9	60 52～130	0.38 0.24～0.94	1.92 1.0～3.92	
藏东地区岩石	21.5 (2.67)	22.4 (2.16)	58.8 (1.01)	1.82 (2.74)	61.6 (1.64)	0.59 (4.15)	2.38 (7.98)	2.81 (1.38)
藏东地区水系沉积物	27.0 (2.09)	40.6 (4.16)	89.6 (0.76)	2.20 (6.90)	117.4 (2.15)	1.05 (1.28)	3.22 (3.52)	4.08 (5.12)
上三叠统甲丕拉组*	1400				5000	30		
上三叠统波里拉组*	840				3000	2		
主要岩石或采样介质	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	Mn	B
	平均含量/变化范围（变化系数）							
藏东地区上三叠统碎屑岩（澜沧江断裂以东地区）	29.2	12.1						
喜马拉雅期花岗斑岩		11.8 6.3～31.5	35.2 5.2～47.9	4.30 2.8～10.8	0.91 0.18～2.52	19 5～36		
燕山期二长花岗岩		6.57 2.6～9.70	11.3 1.05～53.3	4.18 0.16～15.8	0.40 0.04～0.86	130 3～1560	353 292～447	29.2 11.6～52.6
藏东地区岩石	38.5 (4.62)	11.0 (1.01)	8.98 (1.90)	1.57 (6.97)	0.33 (2.61)	19.9 (2.68)	561 (0.93)	38.1 (1.46)
藏东地区水系沉积物	37.4 (2.17)	13.6 (0.40)	25.0 (1.52)	1.84 (7.78)	0.61 (1.60)	72.2 (23.9)	688 (0.41)	65.5 (0.46)
上三叠统甲丕拉组*		21						
上三叠统波里拉组*		5						

元素质量分数单位：Au、Ag、Hg为10^{-9}，其余元素为10^{-6}；注*者引自陈文明，1983；其他据唐仁鲤等1995年资料整理。

均厚度19.3～90.6m，其西南部矿最富，铜平均品位4.74%；下矿层（Ⅲ、Ⅳ号矿体）由赋存于甲丕拉组角岩层顶部和波里拉组下夕卡岩层之间的细脉浸染状矿石组成，表内矿平均厚约25m。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造以细脉浸染状为主（占矿石总量82%），其次为块状及少量角砾状。主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、赤铁矿，次为铜蓝、辉铜矿、黝铜矿，及少量斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等；脉石矿物为斑岩与角岩中的造岩矿物。

有益伴生组分十分丰富，主要有：Au、Ag、Re、Fe、S、W、Bi、Co、Pb、Zn及Pt族元素等。

3. 矿化阶段及分带性

成矿活动具有时间长即从岩浆晚期到低温热液期，规模大即矿化分布范围约2km^2，

成矿类型多即可划分为斑岩（细脉浸染）亚型、斑岩-岩熔亚型和斑岩-夕卡岩亚型。

由于各期矿化相互穿插叠加，同期矿化形成的各矿石带间呈渐变过渡，因而矿化分带极为复杂，难以划出明显的界线。其总体趋势是：斑岩体内为铜钼（金）矿化；接触带为铜铁（金、银）矿化，铜钴、铜钨矿化；远离侵入体围岩中形成铅锌银等矿化。

4. 蚀变类型及分带

蚀变类型主要有钾长石化、黑云母化、钠长石化、硅化、绢云母化、粘土化、电气石化、夕卡岩化和青磐岩化。

含矿斑岩蚀变分带由内向外为：钾化带、钾硅化带、绢英岩化带、硅化粘土化带。叠加于各蚀变带上，还有不同程度的青磐岩化或碳酸盐化。

含矿斑岩围岩除大面积呈明显的热变质——砂泥岩发生角岩化，碳酸盐岩形成大理岩、结晶灰岩、夕卡岩外，还发育有宽阔的蚀变晕。角岩由接触带向外蚀变分带为：钾硅化角岩带、绢英岩化角岩带、弱蚀变（或称青磐岩化）角岩带；碳酸盐岩由接触带向外蚀变分带为夕卡岩带、大理岩带（又可分为硅灰石化和粘土化带）、结晶灰岩带。

上述蚀变岩，构成了玉龙矿床明显的“中心式”对称面型蚀变特征，即以岩体中心向正常围岩（灰岩或砂泥岩），分为内、中、外蚀变带：内带——钾化、硅化、绢英岩化、粘土化；中带——夕卡岩、大理岩或角岩化、粘土化、青磐岩化、（强）硅化、绢云母化；外带——结晶灰岩或角岩化、青磐岩化。工业矿体主要分布于青磐岩化带以内的各蚀变带中，亦即深色蚀变带以内的浅色蚀变带中。

5. 氧化带

表生条件下岩石中含铁矿物氧化成褐铁矿，在矿的外围形成十分明显的铁染晕圈；斑岩中浸染状硫化矿物氧化形成“豹皮岩”或“火烧皮”；原生铜矿物被孔雀石等表生铜矿物取代；（岩熔型）块状硫化物形成铁帽等，且氧化深度很大。

6. 主要控矿因素

构造控矿作用：①昌都微陆块东侧陆缘山盆及其深大断裂控制玉龙矿带；②NWW 向断裂控制矿田；③次级褶皱轴部控制矿床；①斑岩体内、外接触带控制主要矿体。

岩浆岩控制内生多金属矿床，其成矿专属性无论在区域上或是矿带内都表现得十分明显；燕山末期至喜马拉雅运动早期，以酸性岩为主的中酸性深源浅成—超浅成岩浆活动，伴有强烈的以铜钼为主的多金属矿化，形成玉龙斑岩铜（钼）矿带的主体。

矿化受--定的有利层位控制，已发现的矿床和矿化点均赋存于三叠系地层中。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

由表 3.3.2 可见：区内含矿斑岩无磁性，近地表含铜褐铁矿、赤铁矿仅有弱磁性；围岩具弱—中等磁性，矿化角岩具中---高磁性，接触带附近磁铁矿磁性最强。

矿石极化率高于具弱极化率围岩（灰岩、大理岩）的 2 倍以上，主要干扰为具有区内最高极化率的黄铁矿化角岩。此外，岩体外围炭质砂页岩也会形成干扰异常。

斑岩体及接触带中各类矿石的电阻率低于围岩（灰岩、大理岩）一个级次以上，黄铁矿化角岩电阻率更低。

表 3.3.2　玉龙铜（钼）矿区主要岩、矿石物性统计表

岩、矿石名称	磁性			电性			
	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}		η/%		ρ/Ω·m	
	常见值/变化范围	常见值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围
接触带氧化铜矿层				9.5	7.0 ~ 20.0	1.2×10^2	$5.00\times10^1\sim2.00\times10^2$
致密块状含黄铁矿铜矿	6.00×10^1	8.00×10^1	$<10^1\sim1.00\times10^2$	19.2	16.0 ~ 23.8	1.5×10^2	$9.90\times10^1\sim3.86\times10^2$
致密块状含铜磁铁矿	1.02×10^5	7.60×10^4	$6.92\times10^2\sim1.70\times10^5$	20.0	7.9 ~ 37.1	2.5×10^3 (?)	$1.14\times10^3\sim4.30\times10^3$
矿化角岩	5.89×10^3	2.60×10^3	$<10^1\sim2.14\times10^4$	15.3	10.1 ~ 22.6	3.7×10^2	$6.00\times10^1\sim2.30\times10^3$
黄铁矿化角岩	9.52×10^2	2.81×10^3	$1.12\times10^3\sim4.94\times10^3$	37.0	20.0 ~ 46.0	$n\times10^1$	$1.68\times10^2\sim2.20\times10^3$
含矿斑岩	$<10^1$	$<10^0$		13.6	11.0 ~ 18.0	2.8×10^2	$1.40\times10^2\sim4.60\times10^2$
无矿斑岩	2.18×10^2	2.80×10^2	$1.45\times10^2\sim4.77\times10^2$	3.5	1.5 ~ 5.7	3.5×10^2	$1.40\times10^2\sim1.74\times10^3$
炭质砂页岩	$<10^1$	$<10^0$		10.7	8.0 ~ 15.0	2.5×10^2	$1.60\times10^2\sim1.38\times10^3$
灰岩、大理岩	5.80×10^2 (?)	3.60×10^2 (?)	$<10^1\sim5.87\times10^3$	4.2	2.0 ~ 5.0	6.24×10^3	$8.90\times10^2\sim1.04\times10^4$

注：(?) 者不符常规，本模型未予采用　　据唐仁鲤等 1995 年、李云清 1977 年资料整理。

2. 物性模型

玉龙铜矿实为“多位一体”矿床，矿体形态及分布均较复杂，因而物性体分类亦较复杂。物性体分类及其特征见地质-地球物理-地球化学模型图 3.3.7。

3. 地球物理异常

（1）磁异常：宏观上，在岩体内磁异常低缓，ΔZ 多在 ±250nT 间跳动（图 3.3.2），局部 $\Delta Z>1000$nT；岩体周围异常较强（1000 ~ 5000nT），并沿接触带形成开口向东南的半环状，有的高峰异常北侧还伴有很强的负磁异常，$\Delta Z_{min}<-1000$nT。

切穿矿区中部的 41 线综合剖面显示（图 3.3.3）：在岩体上磁异常低缓，强度一般为 $\pm n\times100$nT，个别达 1500nT；外接触带异常强，梯度陡。南接触带出现两个峰值，分别约为 5000nT 和 1500nT，其北侧还伴有负磁异常，且异常与接触带处矿体对应，其特征反映矿体向南倾斜。北接触带异常南陡北缓，北侧无负异常伴生，$\Delta Z_{max}\approx3000$nT，与接触带处矿体对应，反映矿体向北缓倾。

（2）自电异常：平面上呈宽缓连续分布，覆盖整个矿区。除在岩体北部 ZK110 孔附近出现 $\Delta U_{max}\approx250$mV 的正异常外，其余均为负异常。异常极小值沿外接触带处矿体呈环状围绕岩体分布，矿体露头附近出现 -200、-300mV 的负心；岩体上 ΔU 一般小于 -100mV。

沿剖面的南段，ΔU 呈宽缓的负异常，南陡北缓，其负心与南接触带及其中矿体对应，$\Delta U_{min}\approx-500$mV；中部矿化岩体上，$\Delta U$ 由约 -100mV 缓增至约 +250mV；北接触带

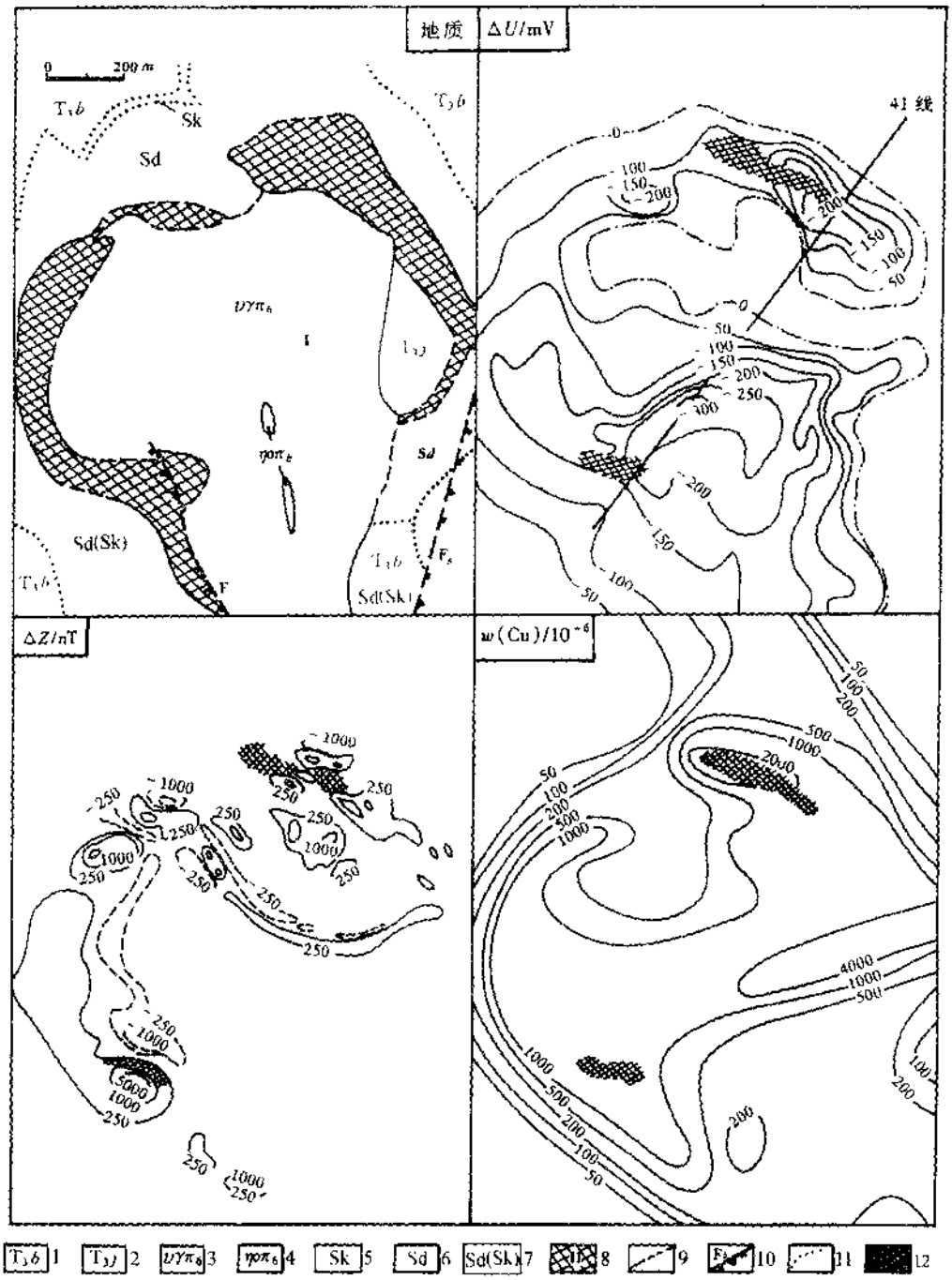


图 3.3.2 玉龙铜（钼）矿区自电（ΔU）、磁测（ΔZ）和铜元素地球化学异常平面图

（引自唐仁鲤等，1995）

1—波里拉组碳酸盐岩夹砂泥岩；2—甲丕拉组角岩、砂质角岩；3—钠长斑岩、石英钠长斑岩；4—二长花岗斑岩；5—夕卡岩化带；6—大理岩化带；7—大理岩化夹夕卡岩化硅化带；8—矿体及编号；9—实测及推断地质界线；10—实测及推断断层及编号；11—蚀变带界线；12—矿体露头

附近又出现负异常，负心亦与接触带及其矿体对应，$\Delta U_{min} \approx -200mV$；在两侧围岩上，$\Delta U$ 呈正异常或接近正常场。

（3）激电异常：在区内未做较大面积的激电勘查，根据剖面资料认为其效果较好，并与自电异常呈正相关伴生出现。应注意区分黄铁矿化角岩的干扰异常。

在含矿岩体及北接触带矿体上，激电显示呈宽阔平缓的高值异常（图 3.3.3），视极化率 η_S 约 20%（一般为 11%～18%）；与 η_S 异常对应的视电阻率 ρ_S 呈宽阔的低阻带，ρ_S 在 100～400Ω·m 间变化。南接触带矿体上，η_S 降低至约 8%，对应 ρ_S 仍呈低阻反映。进入围岩后 η_S、ρ_S 均趋正常，即 $\eta_S < 3\%$、$\rho_S > 1000\Omega \cdot m$。

中极距（$AB_{max} = 1500m$）激电测深反映，η_S 曲线一般呈 G 型（图 3.3.4），ρ_S 曲线呈 D 型或 HK 型；一般前支 $\eta_S < 4\%$、$\rho_S > 400\Omega \cdot m$。在矿体上，曲线前支转折点较明显，其斜率在 30°～75°；尾支有明显的渐近线，一般 $\eta_S < 20\%$、$\rho_S > 100\Omega \cdot m$。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

主要干扰体为黄铁矿化角岩，构成电性干扰。其激电异常呈高极化、低电阻，η_S 高达 20%～46%，ρ_S 往往只有 $n \times 10\Omega \cdot m$；测深曲线虽亦呈 G、D 型，但首、尾渐近值均不明显，曲线变化梯度大，尾支 $\eta_S > 20\%$、$\rho_S < 100\Omega \cdot m$ 对应有强大的自电异常，其 ΔU_{min} 可达 −300～−500mV。

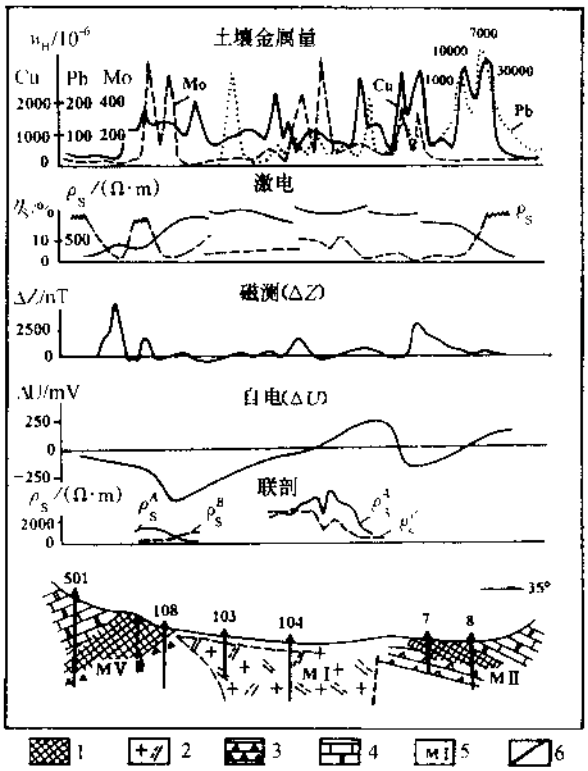


图 3.3.3　玉龙铜(钼)矿区 41 线综合剖面图

（引自唐仁鲤等，1995）

1—外接触带矿体；2—含矿二长花岗斑岩；3—矿化角岩；4—白云质灰岩；5—异常编号；6—推断岩体边界

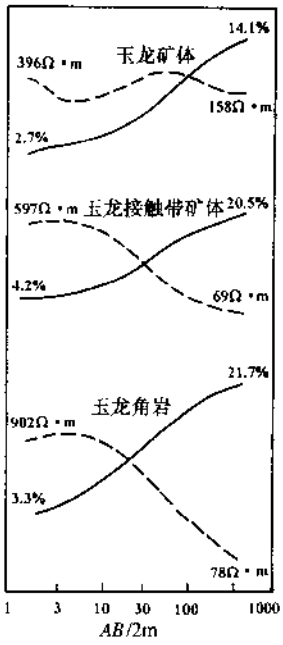


图 3.3.4　玉龙矿区激电测深曲线

（据唐仁鲤等 1995 资料编绘）

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

玉龙岩体主要岩石中微量元素含量列于表 3.3.3。由表可见 Cu、Mo、Au、Hg、W、Ag、As、Sb、Bi 元素明显富集，其中 Mo、Sb、As、W、Bi 尤其富集；表明岩体中丰富的微量元素为成矿提供了矿质来源。

表 3.3.3 玉龙铜（钼）矿区岩体中微量元素含量统计表

岩石名称	样品数	Cu	Mo	Au	Pb	Zn	Cd	Hg
钾变二长花岗斑岩	4	178.4	122.8	23.15	37.8	10.8	0.05	0.076
二长花岗斑岩	6	697.6	9.8	5.67	62.0	38.0	0.08	0.085
中国二长花岗斑岩*		8.0	0.56	0.6	26	43	0.054	0.006
岩石名称	W	Sn	Ag	As	Sb	Bi	Rb	Sr
钾变二长花岗斑岩	36.4	5.78	1998	94.8	18.40	7.39	231.0	132.4
二长花岗斑岩	12.2	5.12	1370	18.1	4.25	37.62	242.9	794.0
中国二长花岗斑岩*	0.63	1.9	56	1.0	0.12	0.19	140	320

元素质量分数单位：Au、Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；* 引自邬明才等，1997；其他据杨孔声等 1991 年资料整理。

2. 地球化学异常

矿床上方土壤（岩石）中，形成以岩体为中心的 Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi、As、Sb、Pb、Cd 等元素组合异常；在 0.01 的信度下，Cu 与 Au、As、Sb、Bi、Hg、Zn 具有显著正相关，相关系数 $r=0.917$。其主要元素的异常特征见表 3.3.4。

表 3.3.4 玉龙铜（钼）矿区主要微量元素异常特征

元素符号	含量范围	平均值	衬度	面积/km^2	浓度分带
Cu	52～6547	1138	28.4	36	40～80～150
Mo	2～47.4	36.6	36.6	8	1～4～8
Au	4.4～20.1	14.4	3.6	16	4～8～15
Ag	0.23～0.27	0.82	4.1	28	0.2～0.4～0.8
Pb	64～337	155	2.8	24	60～120～250
Sb	3.2～34	18.2	4.6	28	4～8～15
W	5.5～37	18.5	4.6	20	4～8～15
Bi	0.8～49	8.2	10.3	56	0.8～1.5～3.0

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}　　据唐仁鲤等 1995 年，伍宗华等 1995 年资料编。

图 3.3.5 显示各元素异常的浓度分带明显，异常间相互套合呈同心圆状；其总体形态似椭圆状，范围约 $36km^2$。

3. 元素分带序列

成矿元素具有明显的水平、垂直分带。其总的规律是以斑岩为中心，向外依次出现高温到低温元素的面型环状分带（图 3.3.5）。

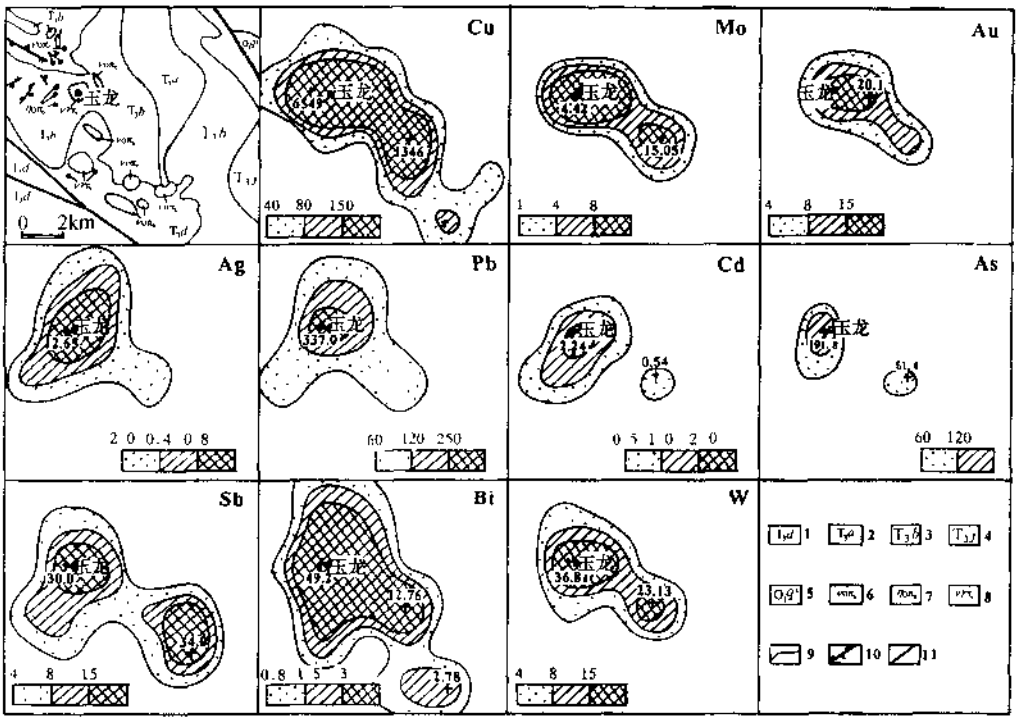


图 3.3.5　玉龙铜（钼）矿床地球化学异常剖析图

（据杨孔声等 1991 年资料编绘）

1—上三叠统夺盖拉组；2—上三叠统阿堵拉组；3—上三叠统波里拉组；4—上三叠统甲丕拉组；5—下奥陶统青泥洞组；6—石英二长斑岩；7—石英钠长斑岩；8—二长花岗岩；9—地质界线；10—逆断层；11—性质不明断层

表 3.3.5　玉龙铜（钼）矿区物性体分类及其物性特征归纳表

编号	物　性　体	密度	磁性	激发极化性质	电阻率	备　　注
②	无矿斑岩，下古生界变质岩、早—中三叠世火山岩		中磁	弱极化	中阻	燕山末期至喜马拉雅期斑岩体的围岩
③	含矿斑岩及斑岩型硫化矿		微磁	中极化	中阻	探测目标
④	岩熔型块状硫化矿氧化带		中磁	中极化	中阻	探测目标
①	岩熔型块状硫化矿体		强磁	中高极化	低阻	探测目标
⑤	外接触带斑岩型矿（矿化角岩）		高磁	中极化	中阻	探测目标
⑥	外接触带矿化围岩		中磁	中极化	中阻	探测目标的标志
⑦	上三叠统碳酸盐岩		微弱磁	弱极化	高电阻	围岩
	上三叠统黄铁矿化角岩		中磁	高极化	低阻	外围区域中的干扰岩层
	上三叠统炭质砂页岩		微磁	中极化	中阻	

注：缺密度资料。

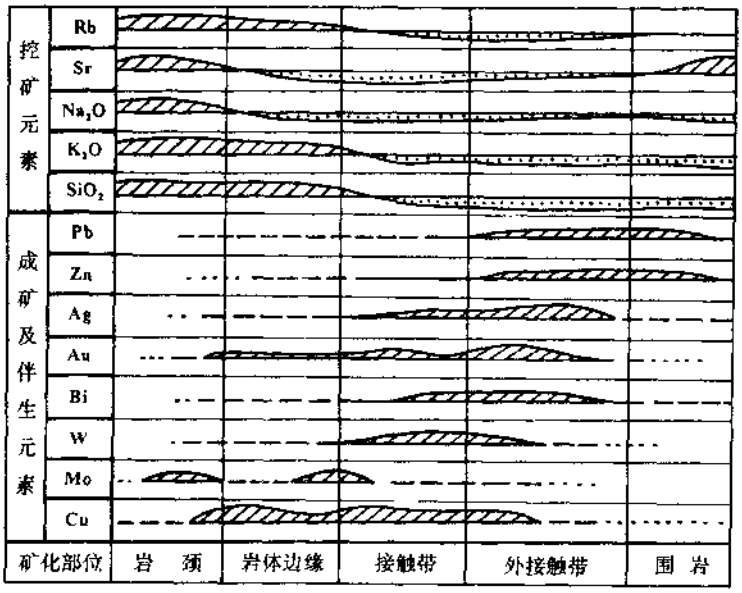


图 3.3.6 玉龙矿床地球化学元素分带模式图

（据唐仁鲤等 1995 年资料绘）

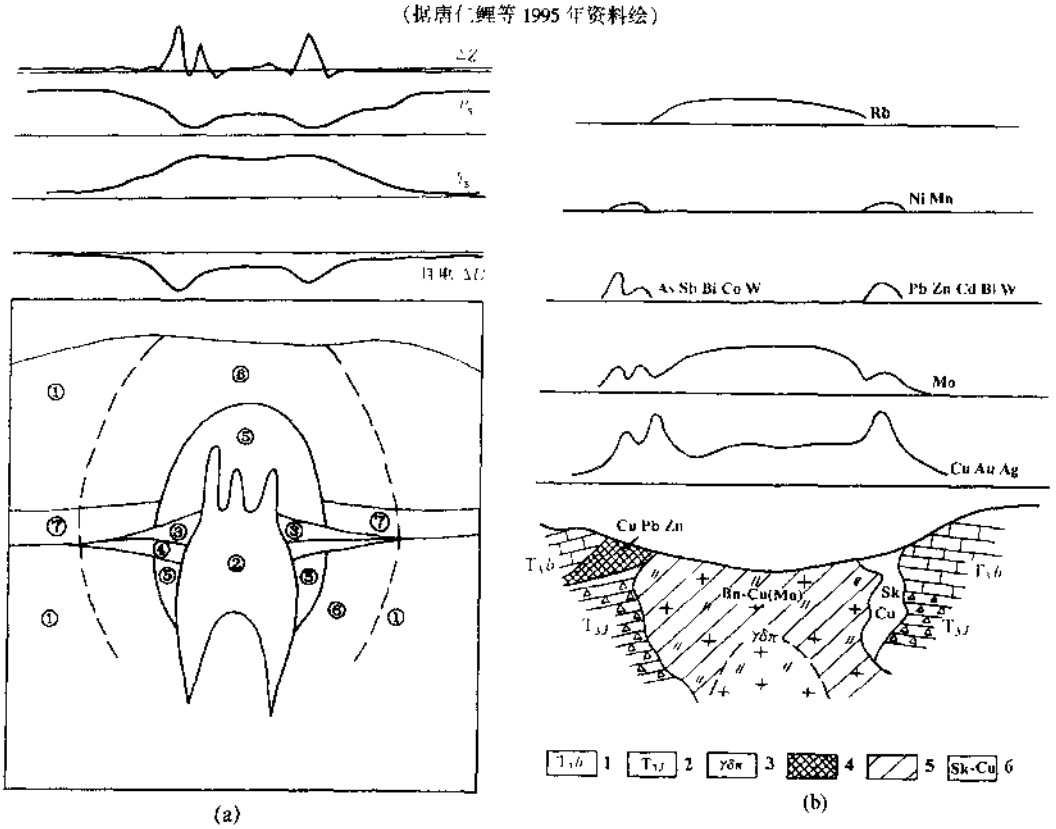


图 3.3.7 玉龙铜（钼）矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型

（据唐仁鲤等 1995 年，吴承烈 1998 年资料改编）

(a)地质-地球物理异常示意模型。物性模型据唐仁鲤成矿模式编绘，物性体及特征见表 3.3.5。(b)地质-地球化学异常模型。1—白云质灰岩；2—角岩；3—二长花岗闪长斑岩；4—多金属矿；5—斑岩铜(钼)矿；6—夕卡岩型铜矿

表 3.3.6　玉龙铜（钼）矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	位于羌塘-昌都微陆块（亦称三江褶皱带）东部或澜沧江大断裂以东，玉龙矿带沿玉龙—徐中的陆缘山盆地带分布	
	地球物理场	地处澜沧江与金沙江之间相对重力高西部，近 SN 向重力低北缘与昌都—江达近 EW 向重力异常带交汇部位．对应区域磁场为以正磁异常为主的金沙江 NNW 向复杂磁场区与昌都—左贡宽缓平稳的负磁场区之间的低磁异常带	
	地球化学场	以 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 元素异常为主，伴有 As、W、Cd、B 等元素异常、异常呈串珠状 NNW 向分布，组分复杂，含量高、变化大，浓集中心明显；北段以 Cu、Mo、Au、Ag 异常为主，南段 Cu、Mo 异常减弱，Pb、Zn 相对增强	
地质	地　层	上三叠统甲丕拉组红色碎屑岩；波里拉组灰岩夹砂岩；阿堵拉组砂页岩。近岩体处已分别蚀变为角岩、大理岩、夕卡岩，或发生角岩化、大理岩化、夕卡岩化、硅化等蚀变	
	构　造	断裂：上三叠统下伏基底断裂，尤其是 20°～200°和 110°～290°两组断裂的交汇部位； 褶皱：次级背斜构造的轴部、近轴部和倾伏端	
	岩浆岩	侵位于三叠系燕山期末—喜马拉雅期，以酸性、中酸性为主的浅成—超浅成复式岩体，岩石类型主要为二长花岗斑岩、花岗斑岩、花岗闪长（斑）岩等，出露面积不大	
	围岩蚀变	围岩大面积热变质发生角岩化或形成大理岩、夕卡岩。岩体及其接触带由内向外形成钾化→钾硅化→绢英岩化→硅化粘土化的蚀变分带；并叠加不同程度的青磐岩化或碳酸盐化	
	赋矿部位	由岩体内到内、外接触带，乃至围岩都有不同程度的矿化	
	主要矿石矿物	黄铜矿、辉钼矿；铜蓝、辉铜矿、斑铜矿、及少量斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等	
	其他标志	直接标志：矿体露头、铁帽及其转石等。 蚀变、矿化及其表生作用形成的内浅、外深和“火烧皮”（褐铁矿色染）等色异常	
地球物理	探测目标物	含矿斑岩岩体	内、外接触带似层状矿
	目标物物性特征	微磁性（$M<10^{-3}A\cdot m^{-1}$）； 中极化（约 14%）； 中电阻［$(2\sim3)\times10^{2}\Omega\cdot m$］	中、高磁性［$M\approx n\times(10^{-2}\sim10^{1})\ A\cdot m^{-1}$］ 中高极化（约 20%） 中低电阻［$(1\sim2)\times10^{2}\Omega\cdot m$］
	地表异常特征	ΔZ 在 ±250nT 间跳动，个别 >1000nT，呈正、负相间低缓异常；激电 η_S 呈 11%～18%的宽阔异常，对应 ρ_S 100～400Ω·m 低阻带；宽大连续低缓自电异常 ΔU：－100～－300mV	环绕岩体低磁异常，呈强度不等的局部高磁异常，并与较强自电异常负心对应； 激测深曲线：η_S 为 G 型，前支斜率 30°～75°；ρ_S 为 D 型；尾支渐近线 $\eta_S<20\%$，$\rho_S>100\Omega\cdot m$
	干扰异常	黄铁矿化角岩可形成高极化（20%～46%），低电阻（$n\times10\Omega\cdot m$）异常，和强大自电异常，ΔU_{max}：－300～－500mV　岩体外围炭质砂页岩可形成电性干扰	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi、As、Sb、Pb、Cd 前缘元素：Pb、Zn、As、Sb、Hg、Mn 近矿元素：Cu、Mo、Au、Ag	
	元素浓度分带	Cu：40～80～150　Au：4～8～15　As：60～120　Cd：0.5～1.0～2.0 Mo：1～4～8　W：4～8～15　Sb：4～8～15 Ag：0.2～0.4～0.8　Bi：0.8～1.5～3.0　Pb：60～120～250	
	主要元素异常形态与分布范围	形成以斑岩体为中心，相互套合的 Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi、As、Sb、Pb、Cd 等元素组合异常，总体形态似椭圆状，面积约 36km²；各元素异常呈似同心圆状，浓度分带明显	
	其它特征	Au、Ag 异常特征表现出玉龙斑岩铜（钼）矿床中，金、银矿亦具有相当大的规模	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

平面上，从岩体中心向围岩，或由内带→外带依次为：Mo、Cu→Cu、Mo、W、Bi、Au、(Fe)→Pb、Zn、Ag、Cd→Sb、Bi、(As、Hg、Mn)（图 3.3.6）；垂向上，具有上 Cu 下 Mo 的分带趋势。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 玉龙铜（钼）矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 3.3.6。

2. 玉龙铜（钼）矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型示于图 3.3.7。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）圈定矿带：1:20 万水系沉积物测量，圈定 Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、W 等元素异常区带；1:20 万～1:50 万区域重力、航空磁测，圈定有利控矿构造及斑岩岩带。

（2）圈定含矿（斑）岩体：1:5 万土壤地球化学、水地球化学测量；1:5 万～1:10 万高精度重力、航空物探。

（3）寻找和确定矿体赋存部位：1:1 万～1:2.5 万激发极化法及高精度重、磁和岩石地球化学测量等。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 3.3.A　玉龙铜（钼）矿床地质特征简表。

表 3.3.B　玉龙铜（钼）矿床地球物理特征简表。

表 3.3.C　玉龙铜（钼）矿床地球化学特征简表

表 3.3.A　玉龙铜（钼）矿床地质特征简表

地理位置	西藏江达县　　1:20 万图幅：H-47-（2）、(8)		
矿床类型	斑岩型（岩浆型*、夕卡岩型）	矿石建造	Cu、Mo（Fe、S、Au、Ag 等）
矿床规模、品位	超大型、贫铜大于等于 0.4%，富铜大于等于 1.5%	容矿岩石	黑云母二长花岗斑岩
地质成矿环境	构造背景	位于羌塘-昌都微陆块（或三江褶皱带）东部青泥洞-海通复背斜的西翼，恒星错-甘龙拉短轴背斜的轴部向南倾伏部位	
	地　层	出露地层有下奥陶统、泥盆系—石炭系；上三叠统及第四系，以上三叠统分布最广，是含矿斑岩体的直接围岩；主要岩性为陆相碎屑岩和海相碳酸盐岩、碎屑岩，近岩体处已分别蚀变为角岩、大理岩、夕卡岩，或发生角岩化、大理岩化、夕卡岩化、硅化等蚀变现象	
	构　造	NNW 向展布的短轴平缓背斜，轴部由上三叠统组成；NNW—SSE 向温泉大断裂通过矿区，岩体中裂隙极为发育，大致走向 290°～320°	
	岩浆岩	以喜马拉雅期侵入岩最为发育，多侵位于三叠系，并呈带状沿 NNW—SSE 向成群分布；主要岩石类型有二长花岗斑岩、花岗斑岩、石英二长（斑）岩、正长斑岩和花岗闪长（斑）岩等， 含矿斑岩体为黑云母二长花岗斑岩复式岩体，岩体大部分已发生钾硅化、黑云母化、钠长石化、绢云母化、粘土化等热液蚀变。 里特曼指数 $\sigma=3.14$（$\eta\gamma\pi$）　　戈蒂尼指数 $\tau=12.01$（$\eta\gamma\pi$）	
	主要控矿因素	昌都微陆块东侧陆缘山盆及其深大断裂控制玉龙矿带；NWW 向断裂控制矿田； 次级褶皱轴部控制矿体，斑岩体内、外接触带控制主要矿体； 燕山末期至喜马拉雅早期以酸性为主的中酸性深源浅成—超浅成岩，控制了区内内生多金属矿床； 成矿受一定的有利层位（三叠系）控制	
矿床特征	成矿岩体	为喜马拉雅期侵入的以黑云母二长花岗斑岩为主的复式岩体，呈岩株产出，出露面积 0.63km²	
	容矿构造	岩体的裂隙，接触带及上三叠统甲丕拉组角岩层顶部和波里拉组下夕卡岩层间	
	矿化阶段	成矿活动时间长，从岩浆晚期到低温热液期，大体分为：改造型铜钼矿化＋斑岩型铜矿化—浸染型钨铋矿化＋浸染型铜锌银矿化—夕卡岩型铜硫铁铅矿化—脉状铅锌银矿化	
	蚀　变	蚀变发育，由岩体向围岩可分为内带：钾化、硅化、绢云母化、粘土化；中带：夕卡岩化、角岩化、粘土化、青磐岩化、硅化、绢云母化；外带：结晶灰岩、角岩化	
	矿化分带	各期矿化穿插叠加，同期矿化呈渐变过渡，成分带极为复杂，总趋势是斑岩体内为铜钼（金）矿化；接触带中为铜铁（金、银）矿化，铜铅、铜钨矿化；远离岩体的围岩中形成铅锌银等矿化	
	矿体特征	金属矿物：黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、赤铁矿，次为铜蓝、辉铜矿、斑铜矿，及少量斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等	
		矿石特征：以细脉浸染状为主（占矿石总量 82%），次为块状及少量角砾状	
		矿体形态：等轴状、似层状、透镜状等	
	脉石矿物	为斑岩与角岩中的造岩矿物	
表生地质		呈面状分布的细脉浸染状金属硫化物经地表氧化淋滤作用生成褐铁矿而呈褐红色，在浅色矿物衬托下呈现出鲜艳色彩，似“火烧皮”色异常	
地貌景观		高寒高原，中高山—高山区	
备　注		*：芮宗瑶将其划归为“层控块状硫化物矿”。该矿床对围岩一般无选择性，仅因其物理化学性质不同，矿化方式有别，如形成细脉浸染状，似层状、角砾状等	

表 3.3.B　玉龙铜（钼）矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	斑岩带位于区域重力场中次一级近 SN 向重力低的北东侧，与 NE 向重力梯级带及高、低局部异常带的交汇部位
	磁　场	区域内磁异常表现为：在 -20 ~ -30nT 磁场背景上断续分布着 10 ~ 40nT（个别高于 90nT）的长轴呈 NNW 向的椭圆形异常，含矿斑岩均位于椭圆形异常附近
矿区(床)异常		从区域地球物理场与区域地质构造的对比显示：局部重力低与强度较弱的正磁异常系中酸性岩带或规模较大的岩体反映
	重力异常	
	磁力异常	宏观上，岩体内异常低缓，多在 ±250nT 范围内跳动，局部 $\Delta Z > 1000$nT；岩体周围异常较强，一般为 1000 ~ 5000nT，沿岩体接触带形成开口向东南的半环状异常带，有的高峰异常北侧伴有很强的负磁异常（$\Delta Z_{max} < -1000$nT）
	电异常	
	自电异常	呈宽缓连续分布，以负异常为主，仅在岩体北部 ZK110 孔附近出现 $\Delta U_{max} \approx 250$mV 的正异常，异常极小值沿外接触带呈环状围绕岩体分布，矿体露头附近出现 -200、-300mV 的负心异常；岩体上异常一般小于 -100mV
矿床异常	重力异常	
	磁力异常	岩体上 ΔZ 一般为 $n \times 100$nT，个别达 1500nT；外接触带附近异常强，梯度陡；南接触带两个峰值分别约为 5000nT 和 1500nT，且北侧伴有负磁异常的磁异常与接触带处矿体对应，其异常形态反映了矿体向南倾斜，北接触带异常南陡北缓，$\Delta Z_{max} \approx 3000$nT，与接触带处矿体对应，北侧无负异常相伴，亦反映矿体向北缓倾。
	电异常 激电异常	在含矿岩体及北接触带矿体上，呈宽阔平缓的高值异常，$\eta_S \approx 20\%$；对应 ρ_S 呈宽阔的低阻带，$\rho_S = 100 \sim 400\Omega \cdot m$　南接触带上，η_S 降低至约 8%，对应 ρ_S 仍呈低阻反映　进入围岩后，η_S 及 ρ_S 均趋正常，即：$\eta_S < 3\%$、$\rho_S > 1000\Omega \cdot m$
	电异常 激电测深	η_S 曲线一般呈 G 型，ρ_S 曲线呈 D 型，前支一般 $\eta_S < 4\%$、$\rho_S > 400\Omega \cdot m$。矿体上曲线前支转折点明显、适中，尾支有明显渐近线，$\eta_S < 20\%$、$\rho_S > 100\Omega \cdot m$
	电磁异常	
	自电异常	剖面南段呈宽缓负异常，南陡北缓，负心与南接触带及其矿体对应，$\Delta U_{min} \approx -500$mV；中部矿化岩体上，$\Delta U$ 由 -100mV 缓增至 +250mV；北接触带附近又呈负异常，负心亦与接触带及其矿体对应，$\Delta U_{min} \approx -200$mV；两侧围岩上，$\Delta U$ 呈正异常或接近正常场

岩、矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		磁性		电性	
	常见值	变化范围	$\kappa/4\pi \times 10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	η/%	$\rho/\Omega \cdot m$
接触带氧化铜矿层					9.5	1.2×10^2
致密块状含黄铁矿铜矿			6.00×10^5	8.00×10^1	19.2	1.5×10^2
致密块状含铜磁铁矿			1.02×10^5	7.60×10^4	20.0	2.5×10^3
矿化角岩			5.89×10^3	2.60×10^3	15.3	3.7×10^2
黄铁矿化角岩			9.54×10^2	2.81×10^3	37.0	$n \times 10^1$
含矿斑岩			$< 10^1$	$< 10^0$	13.6	2.8×10^2
无矿斑岩			2.18×10^2	2.80×10^2	3.5	3.5×10^2
炭质砂页岩			$< 10^1$	$< 10^0$	10.7	2.5×10^2
灰岩、大理岩			5.80×10^2	3.60×10^2	4.2	6.2×10^3
备　注	地磁场：$T_0 = 0.365$A·m^{-1}，$\theta = 45°$；物性定向标本测定；剩余磁化方向近于磁北，倾角 $\theta \approx 10°$					

表 3.3.C　玉龙铜(钼)矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn
	空间分布	1:20 万水系沉积物 Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、Bi、W、Cd、Mn 等元素异常呈 NNW 向串珠状分布 Cu、Mo、Au、Ag 浓集中心与已知矿体或矿点对应，揭示了玉龙矿带北段以 Cu、Mo、Au、Ag 矿化为主，南段 Cu、Mo 减弱，Pb、Zn 相对增强　矿田中内带以 Cu、Mo 伴 Au、Ag 异常为主，外带为 Pb、Zn 等异常
	元素浓度分带	Cu 25 ~ 50 ~ 100　Ag 0.1 ~ 0.2 ~ 0.4　Cd 0.2 ~ 0.4 ~ 0.8　As 15 ~ 30 ~ 60 Hg 50 ~ 100 ~ 200 Mo 1 ~ 2 ~ 4　Pb 30 ~ 60 ~ 120　W 2.5 ~ 5 ~ 10　Sb 1.5 ~ 3.0 ~ 6.0 Au 2 ~ 4 ~ 8　Zn 100 ~ 200 ~ 400　Mn 700 ~ 1000　Bi 0.4 ~ 0.8 ~ 1.6
	元素水平分带	矿田→外围：呈 Cu、Mo→Au、Ag→Pb、Zn 异常分带
	其他特征	
矿床异常	位　置	地　表　　剖　面
	元素组分	Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi、As、Sb
	空间分布	形成以岩体为中心，总体形态似椭圆状，异常范围大于矿体(约 36km²)的 Cu、Mo、Au、Ag、W、Bi、As、Sb、Pb、Cd 等元素组合异常；各元素异常呈同心圆状，浓度分带明显，异常间相互套合
	元素浓度分带	地表浓度分带：　Ag 0.2 ~ 0.4 ~ 0.8　Bi 0.8 ~ 1.5 ~ 3.0　Pb 60 ~ 120 ~ 250 Cu 40 ~ 80 ~ 150　Au 4 ~ 8 ~ 15　As 60 ~ 120　Cd 0.5 ~ 1.0 ~ 2.0 Mo 1 ~ 4 ~ 8　W 4 ~ 8 ~ 15　Sb 4 ~ 8 ~ 15
	元素分带序列	自岩体→接触带→围岩： Cu、Mo、Au、Ag→Cu、Fe、Au、Ag→Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、Hg、Mn　　垂向上具有： 上 Cu、下 Mo 的分带趋势
	元素间相关性	在 0.01 的信度下，As、Sb、Bi、Hg、Cu、Zn、Au 元素具有显著正相关，相关系数 $r = 0.917$
	其他特征	Au、Ag 异常特征显示出玉龙斑岩铜(钼)矿床中，金、银矿产亦具有相当大的规模
矿体剥蚀程度评价指标		

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
蚀变二长花岗斑岩	178.4	37.8	10.8	23.2	2.0	36.4	5.78	122.8			94.8	18.4	7.4		4
二长花岗斑岩	697.6	62.0	38.0	5.4	1.37	12.2	5.12	9.75			18.1	4.2	37.6		6
喜马拉雅期花岗斑岩	29.7	64.4	97.6	0.9	0.15	5.3		2.21		11.8	35.2	4.3	0.9	19	32
中国二长花岗岩*	8	26	43	0.6	0.056	0.63	1.9	0.56	7	55	1.0	0.12	0.19	6.0	

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余为 10^{-6}；* 为鄢明才等资料，1997

第四章　夕卡岩型矿床

第一节　湖北铜绿山铜铁金矿田

铜绿山铜铁金矿田❶❷❸❹❺ 位于湖北省大冶县，在矿区 38km² 范围内已探明大、中、小矿床 7 处。按矿床成矿系列划分，主要有两类，即铜绿山式铜、铁（金）矿床（包括铜绿山大型矿床，石头咀、鲤泥湖、桃花咀中型矿床）和鸡冠咀式铜、金、硫（中—大型）矿床；以及铜山（中型）、猴头山（小型）铜钼矿床等。

一、区域背景

铜绿山矿田为大冶—阳新铜铁金钨钼铅锌硫多金属Ⅳ级成矿带“南亚带”中最大的矿田。位于下扬子台拗西端，鄂城—大磨山 NNE 向隆起带东段，大冶复式向斜南翼。

矿田地处武汉重力高与阳新重力低之间的复杂重力场，对应于鄂东南中部变化剧烈的磁异常区。

地球化学场显示，矿田处在约长 70km、宽 10km 的大冶—阳新 Cu、Au、Bi、Mo 元素富集区的西北，或阳新岩体的北西 Cu、Au、Ag、Mo 等高含量区。

二、成矿环境

1. 地层

矿田处于岩浆岩出露区，沉积地层仅呈半岛状及捕虏体状残留于岩浆岩中，主要有下三叠统大冶群（T_1dy）大理岩、白云质大理岩，局部有下白垩统火山碎屑岩。矿区北部绝大部分为第四系湖积粘土覆盖，深部见下白垩统（有些资料将其划归上侏罗统）灵乡组（K_1l）湖相砂砾岩夹安山岩，及马架山组（K_1m）火山岩、中上三叠统蒲圻群（$T_{2-3}pq$）砂页岩。最重要的容矿围岩为下三叠统大冶群碳酸盐岩。

2. 构造

矿田位于区域性 NW 向含矿构造带和 NNE 向矿化蚀变破碎带的交汇部位，NWW 向断裂与 NNE 向断裂组成网格状构造；NWW 向断裂为控岩控矿构造；NNE 向断裂为控矿构造。

3. 岩浆岩

❶ 葛宗侠，曹洛华，姜春浦等。鄂城-大冶-阳新地区铜铁矿控矿条件、成矿规律与成矿预测。湖北省地质科学研究所、湖北省区测队，1985。

❷ 曹洛华，葛宗侠，于德武等。建立地质-地球物理-地球化学找矿模型方法研究（75-55-05-05-03）。地矿部物化探研究所，1990。

❸ 徐外生，刘崇民，庞庆恒。隐伏矿的地球化学勘查方法技术研究（75-55-05-01），地矿部物化探研究所，1990。

❹ 余元吕等。鄂东南地区铜铁金等多金属成矿地质条件与成矿预测（75-55-02-06A）。鄂东南地质队，1990

❺ 胡惠民。大比例尺成矿预测及其方法研究（015-3）。湖北地矿局，1991。

矿区分布于阳新复式岩体西北段燕山晚期石英二长闪长玢岩岩株，主要岩石有石英二长闪长玢岩（$Q\eta\delta\mu$）、石英闪长岩（$Q\delta$）、闪长岩（δ）和安山玢岩（$\alpha\mu$）等。

与成矿有关的岩浆岩以富钾、酸度较大、铁镁较低为特点。以铜为主的矿床，其岩石类型为：石英闪长岩-石英二长闪长玢岩-花岗闪长斑岩；以金为主的矿床其岩石为：花岗闪长斑岩-正长闪长玢岩。

4. 区域地球化学

（1）微量元素平均含量。区内不同时代地层中成矿元素的含量明显不同。其主要容矿围岩为三叠系地层中碳酸盐岩的化学组分（表 4.1.1），与下扬子地台（东部）（含碳酸盐岩）地壳平均化学组成含量比较，相对浓集系数 Cu 的大于 1，Au、Ag、Mo 的相对浓集系数大于 5。

表 4.1.1　矿区主要地层部分化学元素平均含量

地　层	岩　性	样品数	Cu	Pb	Au	Ag	Mo	As	W	Co	Ba
下白垩统灵乡组	湖相砂砾岩夹安山岩	433	10	10			<3			10	400
上三叠统		26	71	9			<3			18	309
中三叠统		724	11	12			<3			15	431
下三叠统		1815	3.7	4.9			<3			5.2	307
中下三叠统※	泥质岩	14	16	22	4.8	0.31	<2.0	1.8	5.3	21	364
	粉砂岩	9	21	23	3.6	0.33	<2.0	5.2	4.5	34	300
下三叠统※	白云岩	2	10	11	6.5	0.40	2.0	4.7		10	50
	灰　岩	6	26	20	6.9	0.49	3.5	18.1	4.5	15	136
下扬子地台东部（含碳酸盐岩）地壳※※			19	18	0.93	0.063	0.71	5.2	1.34	8.7	503

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；※※引鄢明才等资料，1997；※引自薛迪康资料，1997；其他引自前页注❶。

矿区依附的阳新岩体部分化学元素平均含量见表 4.1.2，其主体燕山早期侵入体的 Cu 含量高出扬子地台东部同类岩石含量近 2 倍，其中石英正长闪长玢岩相对浓集系数更大，显示区内铜矿与之密切有关。

表 4.1.2　阳新岩体部分地球化学元素平均含量

时　代	岩　类	样品数	Cu	Pb	Ag	Mo	Ni	Mn	Ti	Ba	Nb	Y
阳新岩体（燕山期中酸性岩）		52	37.4	15.7	67.8	1.6	11.4	624	3709	715	13.9	15.7
燕山早期	石英二长闪长岩	788	26	13			11	619	3125	567	11	12
	石英二长闪长玢岩	80	40	11			10	549	1900		14	<10
燕山晚期	闪长岩	15	11	12			<10	525	2100		14	<10
扬子地台东部花岗闪长岩※		111	15	22	0.053	0.39	11	490	2775	730	11.4	17

元素质量分数单位：10^{-6}；※引自鄢明才等资料，1997 年；其他引自前页注❶。

(2) 矿田区域地球化学异常特征　1:5万水系沉积物异常呈条带状相互叠合，元素组分复杂，以 Cu、Mo、Au、Ag、Pb 为主。其中 Cu 异常约 7.6km^2，具有明显的浓度分带（图 4.1.1），$w(Cu)_{max}\approx2000\times10^{-6}$，衬度 3.9；$w(Au)_{max}\approx77.6\times10^{-9}$，衬度 3.1。

岩石测量在矿田上形成 Cu、Mo、Ag 异常，围绕石英二长闪长玢岩体呈环状分布。铜绿山矿床位于环状异常东侧；西部异常对应鸡冠咀矿床；桃花咀矿床处于异常的西北。

因矿区采矿历史久远，地表污染较严重，应注意化探方法的选用及其异常分析。

5. 区域地球物理场

矿区位于布格重力异常偏零值线负重力场一侧；对应于以阳新岩体磁异常为主体，呈北西向延伸，高场强，大范围的正、负伴生磁异常北端零值线附近（图 4.1.1）。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

铜绿山夕卡岩型铜铁矿床：由 12 个大小不等的矿体（群）组成，主要矿体均赋存于夕卡岩中；空间上总体分布受构造控制，呈三个矿带展布。

主矿带北北东向，沿 NE22°延伸，长约 2100m，宽约 300～350m。矿体呈似层状或不规则透镜状，各矿体（群）大都以主矿体为中心，两侧伴有大致呈雁行排列的多个矿体；倾向 SE，倾角∠50°～85°，具尖灭再现现象。

北东东向矿带沿 NE60°展布，矿体呈不规则透镜状，倾向 SE∠60°～70°；矿体小，连续性差，分布零星。

北北西向矿带沿 NW15°～20°方向分布，由一些小矿体组成。

鸡冠咀斑岩-夕卡岩型铜金矿床：矿体赋存标高在 -5～-622m 间，分布于平面投影长 900m，宽 160～330m 的范围内。矿体形态复杂，主要呈透镜状、扁豆状、枝叉状等，主矿体（群）有 4 个。单个矿体分别长 50～750m，厚 1.2～83.6m，斜深 25～408m；走向北东、倾向北西，倾角变化较大。

2. 矿石构造及主要矿物组合

铜绿山铜铁矿床：按工业类型划分为铁矿石、铜铁矿石、铜矿石、钼矿石和铜硫矿石。组成各类矿石的矿物成分较复杂，主要金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、辉铜矿、辉钼矿及闪锌矿、自然金等。脉石矿物有透辉石、方解石、白云石、石英、玉髓、钙（铁）铝榴石、金云母、阳起石等。

矿石构造有致密块状、浸染状、脉状、角砾状、粉末—砂状等。

鸡冠咀铜金矿床：矿石类型很复杂，可划分为铜金（硫）矿、铜（硫）矿、硫铁矿石等 7 个工业类型。总体矿石建造为自然金-黄铜矿-黄铁矿-磁铁矿，并以铜金硫矿石和钼矿石-黄铁矿-黄铜矿的次序过渡分布组成大矿体。主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、赤铁矿、磁铁矿、辉铜矿等，前三种为金矿的主要载体矿物。脉石矿物有方解石、白云石、石榴子石、透辉石、金云母等

矿石构造主要有块状、浸染状、角砾状、网脉状等。

3. 矿化阶段及分带性

铜绿山矿田为一系列有成因联系的矿床围绕同一成矿的中酸性侵入体，自岩体向外，其矿化元素组合依次为：Mo→Fe→Fe、Cu→Cu、Fe→Cu、S→S→Pb、Zn。

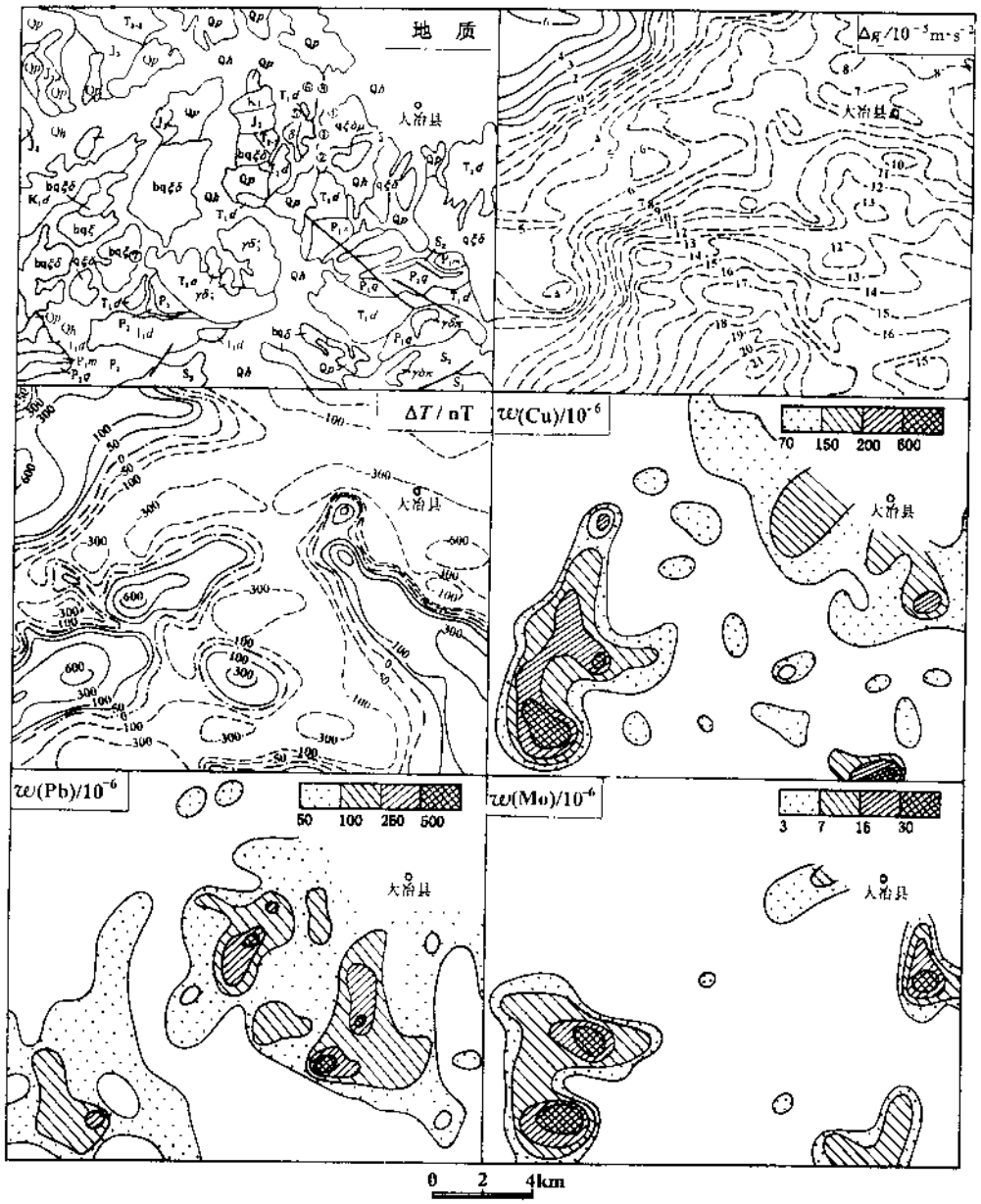


图 4.1.1 湖北大冶铜绿山矿田综合区域场剖析图

（据葛宗侠等 1985 年资料编绘）

1—铜绿山铜铁矿；2—铜山铜钼矿；3—石头咀铜铁矿；4—鲤泥湖铜铁矿；5—猴头山铜钼矿；6—鸡冠咀金铜矿；7—大广山铁矿；8—桃花咀铜铁矿；9—第四系全新统；10—第四系更新统；11—上侏罗统；12—二叠系中上统；13—下二叠统大冶组；14—下二叠统茅口组；15—下二叠统栖霞组；16—中志留统；17—下志留统；18—黑云母石英正长闪长岩；19—花岗闪长岩；20—黑云母石英闪长岩；21—花岗闪长斑岩；22—石英正长闪长玢岩；23—断层

铜绿山矿床：成矿可分两期、四个阶段，即：

夕卡岩期，硅酸盐阶段；

热液成矿期，氧化物-磁铁矿阶段→石英-硫化物阶段→碳酸盐-硫酸盐阶段。

在空间分布上，金属矿化选择交代各夕卡岩带并呈相应的矿化分带，由内向外：钾化、硅化斜长石岩辉钼矿化带→斜长石岩辉钼矿化带（辉钼矿、黄铁矿）→夕卡岩化斜长石岩铜矿化带（黄铜矿、黄铁矿）→金云母（或石榴子石）透辉石夕卡岩化铜铁矿化带（黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿）→夕卡岩化（白云质）大理岩铜矿化带（黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿）。

铜矿主要与透辉石夕卡岩关系密切，其次是白云石大理岩及斜长石化石英二长闪长玢岩；铁矿主要与透辉石（石榴子石）夕卡岩关系密切。

鸡冠咀矿床：富碱正长闪长玢岩小岩株侵入于早期岩体和三叠系碳酸盐岩围岩或捕虏体中，以成矿斑岩小岩株为中心，形成斑岩型、角砾岩型、夕卡岩型和层控型矿体，构成典型的“多为一体”的特征。矿化有从钼、硫（铜）→钼、铜（硫）→铜、金、硫（铁）→铁、金、铜、硫的变化。

4. 蚀变类型及分带

铜绿山矿床：夕卡岩发育，蚀变分带清楚。含矿接触带夕卡岩宽 100～200m，以交代碳酸盐岩为主。有金云母透辉石（透闪石）夕卡岩和石榴子石透辉石夕卡岩；叠加多种热液蚀变——金云母化、绿泥石化、蛇纹石化、碳酸盐化、硅化等。

与内接触带→正接触带→外接触带相应的蚀变作用为：钾化、钠化、绢云母化→铁白云石化、菱铁矿化、方柱石化→白云石化、硅化、硬石膏化、蛇纹石化。

铜矿与钾化、硅化、金云母化、铁白云石化关系密切。一般情况下，蚀变越强，矿化越富；蚀变带越宽，矿体规模越大。

鸡冠咀矿床：围岩蚀变主要有钾钠长石化、夕卡岩化、碳酸盐化、硅化、绿泥石化、蛇纹石化等。矿床由内向外呈：石英正长闪长玢岩→透辉石化石英正长闪长玢岩→斜长石岩或透辉石化斜长岩→透辉石夕卡岩（含矿）、石榴子石夕卡岩→金云母透辉石夕卡岩或透辉石石榴子石夕卡岩（含矿）→夕卡岩化大理岩（白云质大理岩）分带。

5. 氧化带

铜绿山矿床：氧化带发育，具垂直分带现象；南部分带比较明显，地表淋滤带铁帽下，常有次生氧化铜富集段存在。

鸡冠咀矿床：浅部矿体曾遭受风化剥蚀，部分为白垩系中基性火山沉积角砾岩堆积、掩埋。

6. 主要控矿因素

铜绿山矿床：矿体赋存于呈北北东向展布的下三叠统大冶群（T_1dy^{3-7}）碳酸盐岩残留体或捕虏体与石英二长闪长玢岩接触交代形成的夕卡岩中；NNE 向断裂接触带和层间破碎带为主要控矿构造。

鸡冠咀矿床：处于区域 NW 向含矿构造带和 NNE 向断裂接触破碎带复合部位；矿体主要赋存于，燕山晚期富碱正长闪长玢岩含矿小岩体与下三叠统大冶群第七段（T_1dy^7）外接触带的大理岩层间破碎带中。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

矿区主要岩矿石物性统计见表4.1.3，其中夕卡岩与围岩有较明显的物性差异，含铜磁铁矿与围岩的物性差异更为显著。

铜绿山矿床：岩矿物性分级见表4.1.4。

鸡冠咀矿床：根据岩芯密度、磁化率与剩余磁化强度测定数据的聚类分析，划分了五个物性分类；结合收集的电性资料，其岩矿石的主要综合物性特征（表4.1.5）如下。

（1）矿石：具高密度，中—高极化率、低—中电阻。按矿石的磁性又可分为两类，一类为高磁性，所占比例不大；另一类微—弱磁性为矿床的主体。

表4.1.3 铜绿山夕卡岩型铜铁矿床岩矿石物性参数

岩矿石名称	密度 $10^3 kg \cdot m^{-3}$	磁性		电性	
		$\kappa/4\pi \times 10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A \cdot m^{-1}$	$\eta/\%$	$\rho/\Omega \cdot m$
含铜磁铁矿石	3.90	1.2×10^6	1.4×10^5	61.0	
夕卡岩	2.91	3.2×10^3		4.8	$4.0 \times 10 \sim 9.6 \times 10^3$
石英正长闪长岩	2.69	$(3.5 \sim 4.0) \times 10^3$	$(3.0 \sim 5.0) \times 10^2$	3.2	
石英正长闪长玢岩	2.60	1.8×10^3	2.0×10^2		4.0×10^3
闪长岩	2.61	$(0 \sim 3.6) \times 10^3$	2.6×10^2		1.0×10^3
蚀变风化火成岩	<2.60	$1.7 \times 10^2 \sim <10$	$4.0 \times 10 \sim <1$		$1.0 \times 10^2 \sim 1.5 \times 10^3$
砂页岩（T_3）	2.59	<10	<1	3.5	
灰　岩（T_1）	2.69	<10	<1	0.8	1.5×10^5
大理岩（T_1）	2.71	≤10	≤1	1.4	$7.0 \times 10^2 \sim 4.2 \times 10^5$

据湖北物探队资料整理。

表4.1.4 铜绿山夕卡岩铜铁矿床岩矿物性分级

岩矿石类	密　度	磁　性	电阻率	极化率
铜铁矿石	极高	强	（其低—低）	强
岩浆岩岩体	低—中	中	高	微
夕卡岩	高	中—（高）	低—高	弱
碳酸盐岩	中	中	极高	微
碎屑岩	低	低		微

（2）赋矿围岩为大理岩或白云质大理岩：具有中等密度，微磁性，微极化和高—极高电阻率。

（3）主要岩浆岩为低密度，中等磁性，微极化和高电阻。

（4）下白垩统灵乡组火山岩属较低密度，中—高磁性，微极化。

综上可见鸡冠咀矿床其矿体与围岩存在明显的物性差异，但矿体相对（埋深的）规模

表 4.1.5　鸡冠咀夕卡岩铜金矿床岩矿石物性分级

分类	组成的岩、矿石	密度 $10^3kg\cdot m^{-3}$	磁性	电性		说明
				电阻率	极化率	
A	大冶群碳酸盐岩	中等（2.70左右）	微—其微	高—极高	微	主要成矿围岩
B	岩浆岩、灵乡组碎屑岩及大冶群上部碳酸盐岩	低（2.60左右）	弱磁		微	
C	主要矿石类	高（3.50左右）	弱、微磁	中阻	中—高	
D	灵乡组喷出相中基性熔岩及部分岩浆岩	较低（略大于2.60）	弱—高磁		微	近地表分布时成为干扰磁异常
E	部分矿石	高	高	中—低	高	数量少，引不起大的异常

不大。以赋矿大理岩作为探测目标，其物性特征是：较高密度（$\Delta\sigma$ 约 $0.39\times10^3kg\cdot m^{-3}$）和较高（综合）极化率，及微弱磁性，较高电阻率。根据岩矿石密度和磁性的聚类分析结果，并结合地质体分布，编绘的物性聚类立体示意图见图 4.1.2。

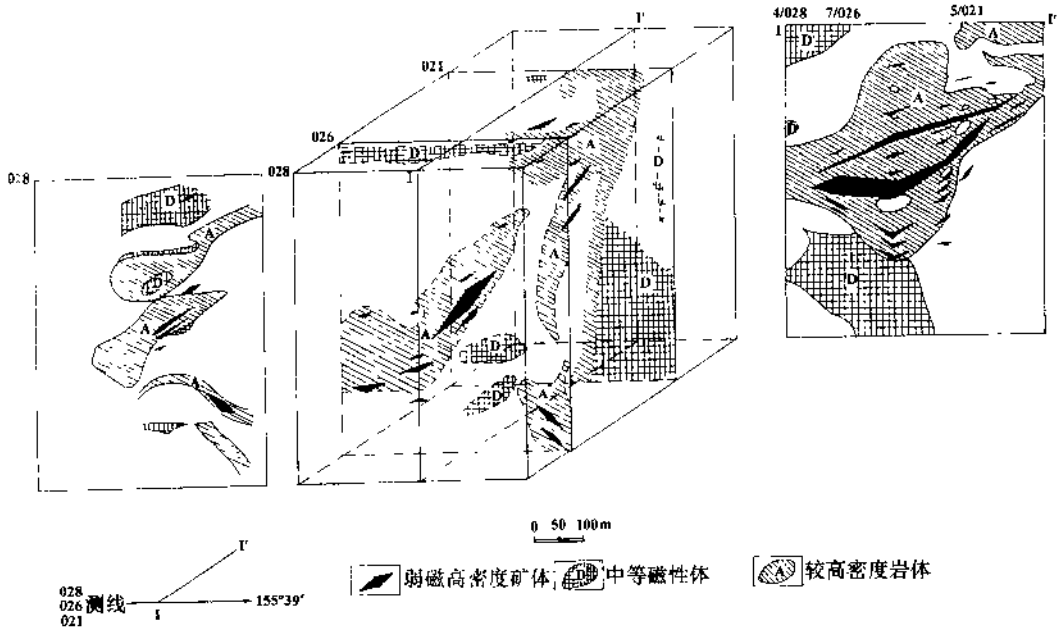


图 4.1.2　鸡冠咀铜金矿矿床物性聚类分析立体示意图

2. 地球物理异常

铜绿山矿床

各种物探方法在矿上均有明显的异常。

（1）磁异常。航磁 ΔT 异常强度大于 500nT，形态规则，异常分布与成矿构造带一致。地磁 ΔZ 异常（图 4.1.3）呈串珠状，叠加在北北东向隐伏大理岩引起的低或负异常背景上，大于 5000nT 的陡梯度狭条状异常为浅部或地表氧化矿体的反映；大于 2000nT 的宽缓

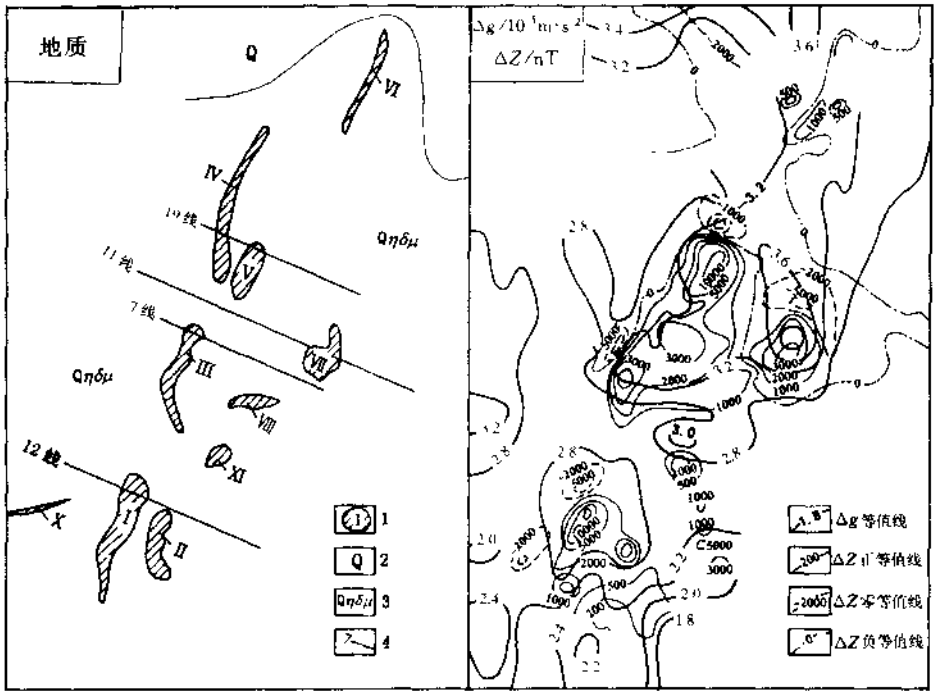


图 4.1.3　铜绿山矿区重、磁异常综合平面图

（地质图据湖北省地质局第一地质队，1973 年资料编）

1—矿体及编号；2—第四系；3—石英二长闪长斑岩；4—勘探线及编号

异常，为 70～100m 埋深的原生矿体的反映；小于 2000nT 的规则异常，或在宽大、低缓的岩体异常背景上呈局部抬高的较规则异常，有可能为埋藏更深（或磁性较弱）的矿体引起。

（2）重力异常。宏观上显示为北北东延伸，南东→北西降低的梯度带。其中范围较大的次级重力高，一般为岩体中隐伏大理岩的反映；与矿化构造带方向一致的封闭状或舌状重力高，Δg_B 幅度（0.2～1.0）$\times 10^{-5}m\cdot s^{-2}$的异常为矿体与大理岩或夕卡岩的综合反映。若对应有局部磁异常，则为典型的夕卡岩型矿异常。

（3）电异常。自然电场法：在矿体上形成 $|\Delta U| > n \times 100mV$ 的负自然电位异常。

电阻率法：联合剖面出现明显的交点（图 4.1.4）；测深曲线在矿体上方呈 H 型或 KH 型曲线，无矿地段曲线为 A 型；其电性断面上，矿体多对应于相对低阻凹陷（如 19 线），或高、低电阻的过渡带（如 12 线）。

激发极化法：呈形态规则、视极化率 $\eta_s \approx 10\%$ 的异常，并与高阻背景上的相对低电阻率异常对应。

鸡冠咀矿床

（1）重、磁异常。区内东南部，即岩浆岩分布区，磁场较复杂，重力场值较低[1]（图 4.1.5）。西北部大理岩捕掳体及矿体赋存地段，出现明显的重力高异常和平稳的负磁场；

[1] 李家俊。综合物探方法在鸡冠咀铜硫矿区的应用。鄂东南地质科技情报，1983～1984 合订本。

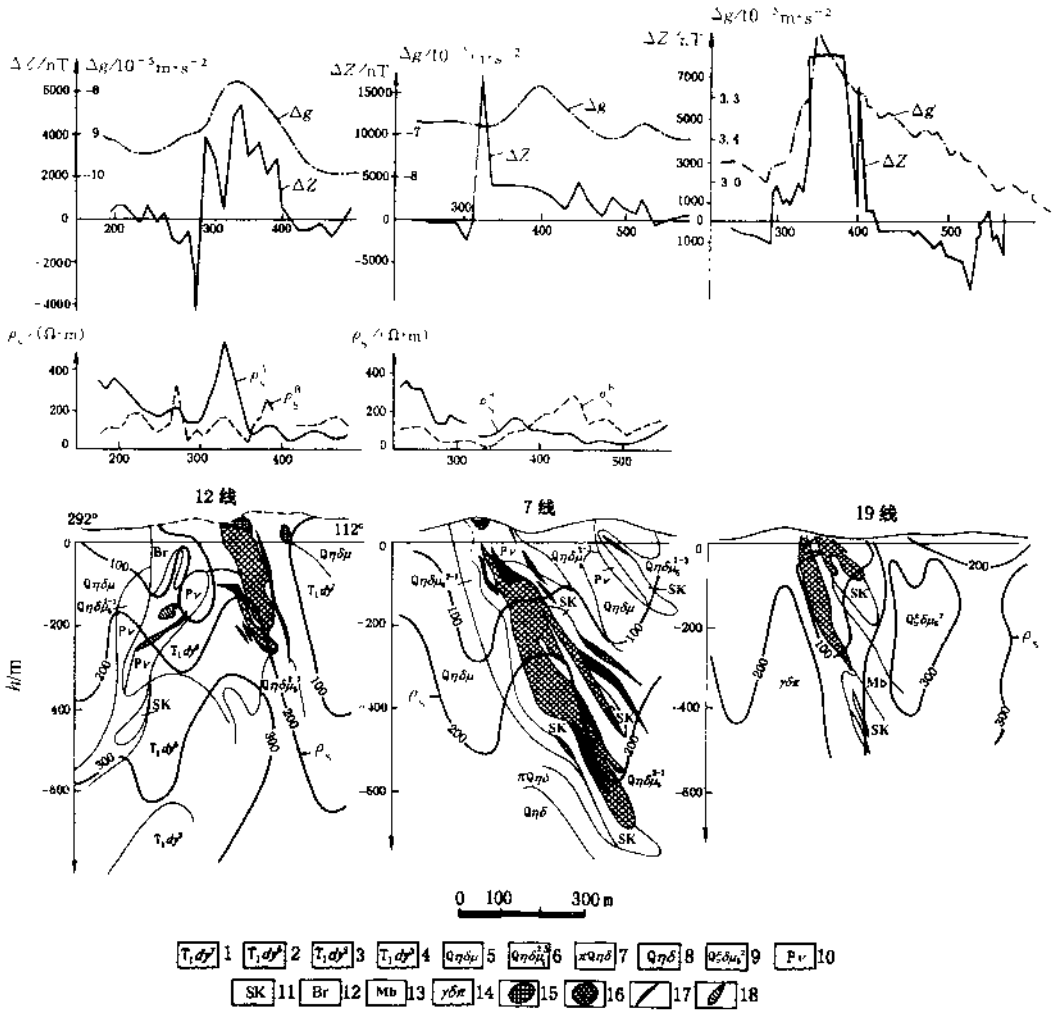


图 4.1.4 铜绿山矿床（12、7、19 勘探线）物探综合剖面图

（12、7 线引自薛迪康等，1997；19 线引自葛宗侠等，1985）

1—白云石大理岩；2—大理岩；3—白云质大理岩；4—含泥质条带薄层大理岩状；5—石英二长闪长玢岩；6—斜长岩化石英二长闪长玢岩；7—斑状石英二长闪长岩；8—石英二长闪长岩；9—石英正长闪长玢岩；10—斜长石岩；11—夕卡岩；12—构造角砾岩；13—大理岩；14—花岗闪长斑岩；15—铁矿体；16—铜铁矿体；17—铜矿体；18—钼矿体

向北面，即下白垩统灵乡组火山岩分布区，磁异常增高，重力场降低。

剖面特征表现为：探测目标赋矿大理岩上方，对应有重力高；而磁异常无明显反映（图 4.1.6）。据重力异常正演计算，赋矿大理岩引起的重力异常幅值 $0.9\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$，当埋深增加 200m 后，幅值仅有 $0.1\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$。

（2）电异常。东南部岩浆岩分布区，视电阻率 $\rho_S>60\Omega\cdot m$，并在重力高异常东侧 ρ_S 相对增高；火山岩分布区，受地表 15～20m 湖积黏土低阻屏蔽，ρ_S 低于 $<20\Omega\cdot m$。

剖面上，实测视充电率 M_S 呈幅度不高（1%～3%）的宽缓异常，ρ_S 呈低—中低阻平

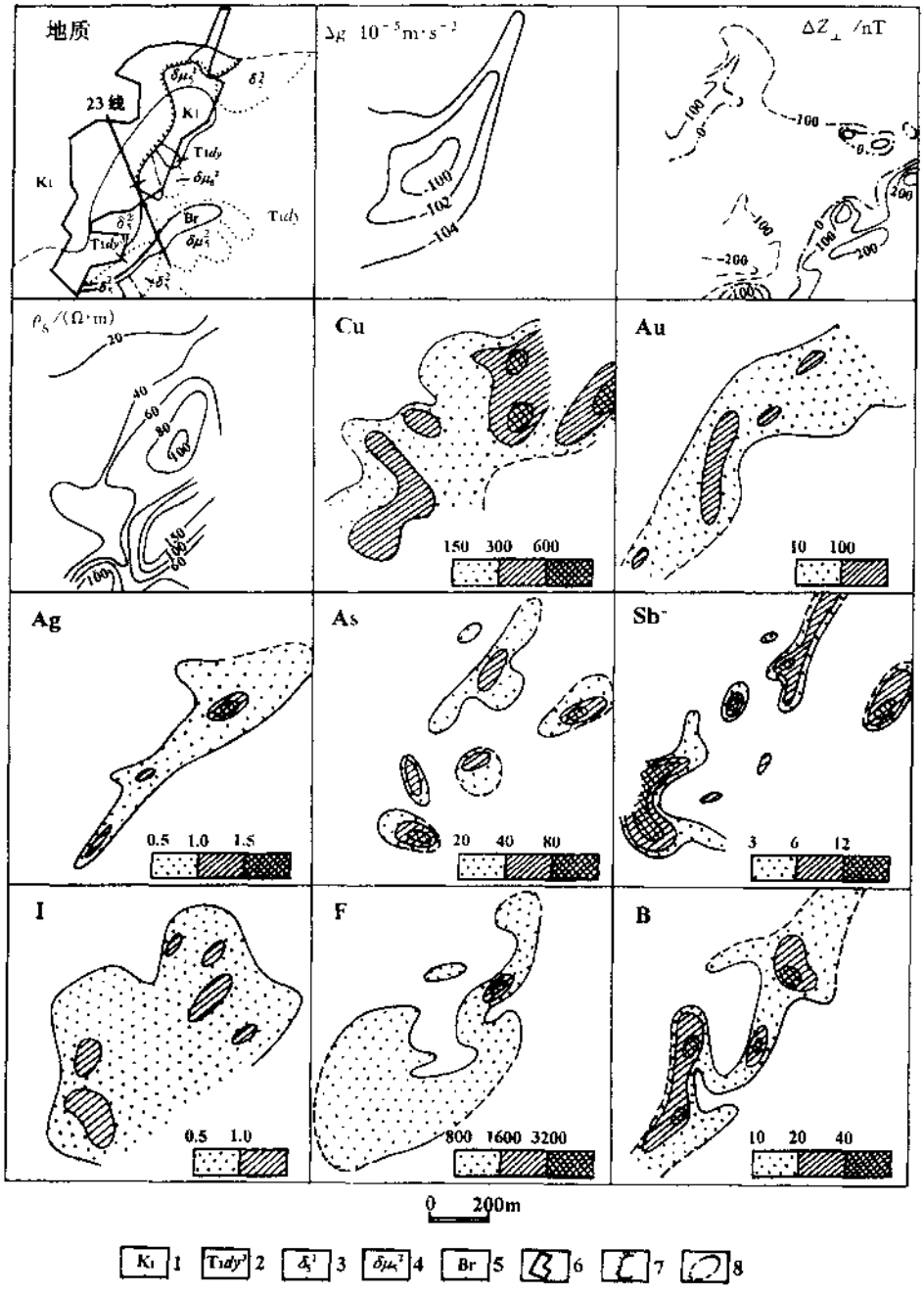


图 4.1.5 鸡冠咀矿床地球物理-地球化学异常剖析图

（地质、物探据李家俊、1984 资料；化探据徐外生等 1990 资料编绘）

1--角砾岩夹凝灰岩；2—白云质大理岩；3—闪长岩；4--闪长玢岩；5—角砾岩；6—矿体投影；7—不整合界线；8—实、推测地质界线；Au、Ag 的质量分数单位为 10^{-9}，其他为 10^{-6}

缓台阶上的微弱增高。赋矿大理岩上方，对应有中高 M_S 异常及低 ρ_S 局部增高。

3. 干扰体或干扰因素及其影响

（1）磁异常干扰。因斜磁化影响，分布于岩体接触带附近，特别是其北侧的矿异常，

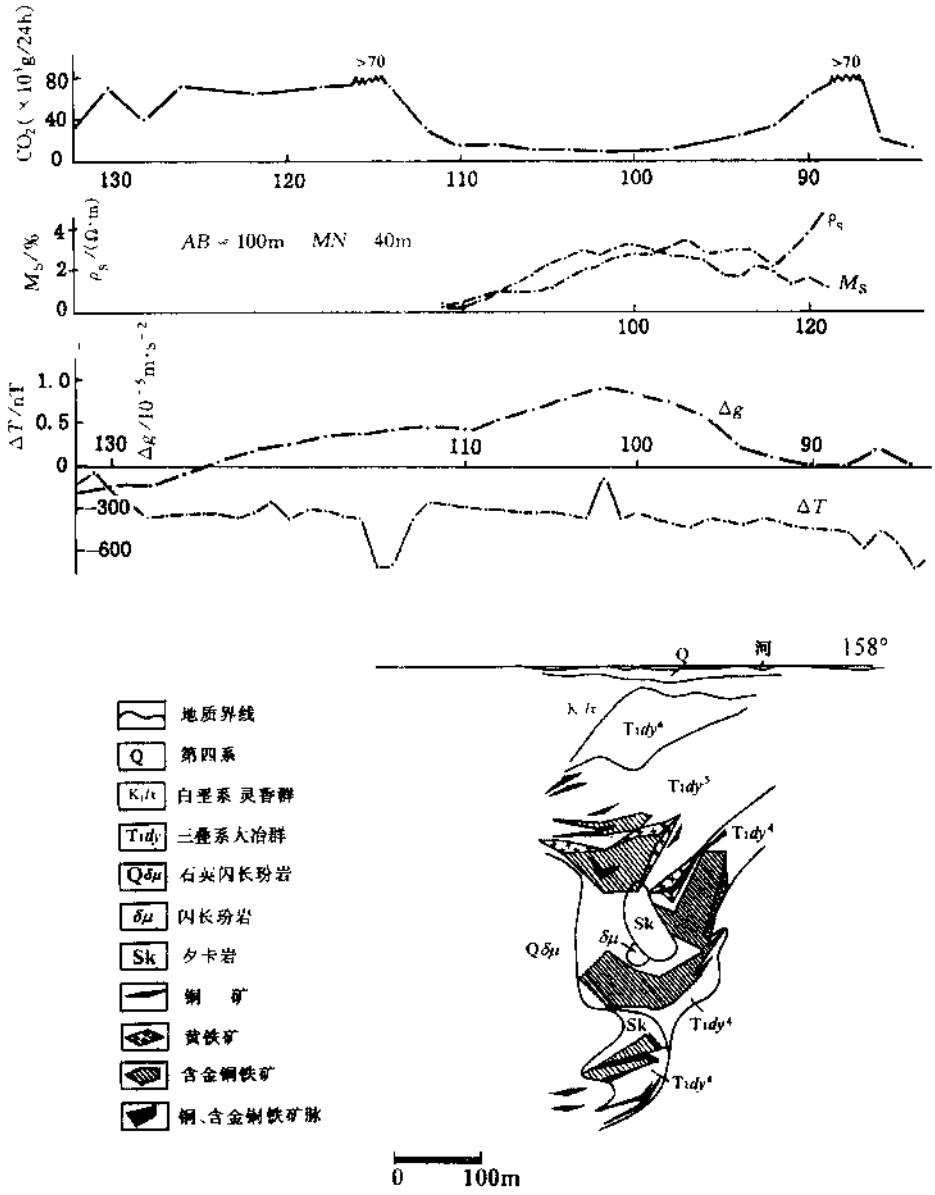


图 4.1.6 鸡冠咀矿区 023 线综合剖面图

因叠加有磁性岩体引起的南正、北负的中强异常，往往难以分辨。

灵乡组喷出相中基性熔岩分布区，其磁性虽不强（$M \approx 0.2\mathrm{A \cdot m^{-1}}$），但因其出露地表，亦对矿异常形成干扰。

（2）非赋矿大理岩可形成明显的非矿重力高异常。

（3）较厚的湖积层及部分湖区常年积水，构成探测目标上方的大面积低阻屏蔽干扰。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

由表 4.1.6 中与矿有关的几个岩体的部分元素组成可见，成矿元素含量高于中国同类岩石的平均含量，也高于阳新岩体的相应元素的平均值。各岩体 ΣREE 含量，均落在区内含矿岩体稀土特征值 124.28～260.83 的范围内。

岩矿石元素组分复杂、含量高，与矿化关系密切的有 Cu、Au、Ag、Co、Bi、W、Mo、Sn、Sb、Hg、F、I、B 等元素，它们具有较高的衬值和原始衬度，其中 Cu、Au、Ag、As 元素的原始衬度在 20 以上；Co、Bi、W、Mo 为 5～13 倍；其他元素也达 1.2～3 倍。

Cu、Au 等成矿元素具有极强的亲硫性；岩浆岩中 S 的平均含量 $w(S) > 590 \times 10^{-6}$，且标准离差大，是判别岩体成矿的有效指标。

表 4.1.6 铜绿山矿田与矿有关的几个岩体部分元素组成

矿床	岩体的主体岩性	Cu	Au	Ag	Pb + Zn	Mo	W	ΣREE
铜绿山	石英二长闪长玢岩（$Q\eta\delta\mu$）	144.3	5.94	0.13	49.5	2.13	3.72	204.77
鸡冠咀	正长闪长玢岩（$\xi\delta\mu$）	330	257	0.25	68.0	45	26	223.06
桃花咀	石英闪长岩（$Q\delta$）	120.0	50	0.60	200.0			138.85
猴头山	闪长岩（δ）	31.0	1.83	0.24	52.1			148.85
阳新岩体		37.4	3.48	0.068	76.1	1.6	2.4	
中国闪长岩（含二长闪长岩）（鄢明才等 1997）		27	0.81	0.054	104	0.6	0.46	381.62

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　引自薛迪康等资料，1997；葛宗侠等资料，1985。

2. 地球化学异常

矿田区水地球化学异常范围大（图 4.1.7），异常的有 Cu、Pb、Zn、Mo、SO_4^{2-}，伴有较高的 $w(SO_4^{2-})/w(Cl^-)$ 值和较低的 HCO_3^- 含量，其中 Cu、Pb、Zn 元素异常符合较好。

铜绿山矿床

（1）岩石地球化学测量。异常元素主要有：As、F、B、Ba、Au、Ag、Cu、Pb、Mo、Zn、Co、Bi、Mn，In、Fe 等。其中，Cu、Mo、Au、Ag、Bi、Pb、Zn 等元素异常范围较大，浓度分带清楚，且各元素异常套合较好，中、内带异常具有一定规模；Cu、Ag、Zn 异常面积和平均含量分别为：1.06，0.27，0.35km^2 和（478，0.27，150）$\times 10^{-6}$。As、Pb、Ba、F、B 等前缘元素呈中—外带异常；近矿元素 Cu、Au、Ag、Mo、Fe 呈内—中带异常；矿尾部元素 Sn、Co、Zn、Bi、Mn（W）呈中—外带异常。一般 Cu 内带，Mo、Ag、Zn 中带异常指示矿体赋存部位。

异常具有明显的水平分带，从岩体→接触带（矿体）→围岩（碳酸盐岩），元素分带呈：Mo、W、Co、Bi、Sn、Mn、Zn→Cu、Au、Ag→B、As、F、Pb、Ba；不同地质部位的部分元素含量见表 4.1.7。

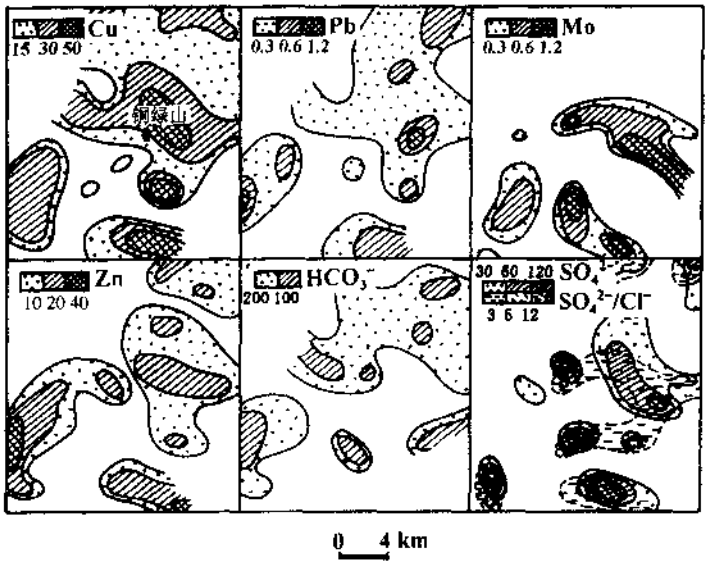


图 4.1.7 铜绿山矿田地下水地球化学异常图

（引自徐外生等，1990）

质量分数单位：Cu，Pb，Zn 为 10^{-6}，HCO_3^- 为 10^{-2}；SO_4^{2-} 为 10^{-2}；Cl^- 为 10^{-2}

表 4.1.7 铜绿山矿床不同地质部位部分元素含量

元素	岩体	内夕卡岩带	铜铁矿石	外夕卡岩带	围岩（碳酸盐岩）
Cu	40	141	11272	40	1.2～2.9
Au	4.6	10.7	1090	8.3	0.9～2.2
Ag	90	130	6500	150	500～150
Pb	18	83	19	17	3.4～9.9
Zn	323	48	423	31	5～26
Mo	3.6	7.0	56.0	0.8	0.14～0.50
Co	7.3	6.9	88.4	3.0	0.5

元素质量分数单位：Au，Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据余元昌资料整理。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面。异常（图 4.1.8）主要特征：①矿体前缘异常宽大、尾部异常窄小，且呈分叉状；②矿体上盘异常宽大，梯度变化舒缓，下盘异常狭窄，梯度陡；③异常外带宽度为矿体厚度的 1～3 倍，中带宽度略大于矿体厚度。

鸡冠咀矿床

（1）岩石地球化学测量。按 100m × 50m 勘探网度的钻孔，取其第四系盖层下岩芯样分析，结果与矿化关系密切，具有较高衬值及原始衬度的异常元素有：Cu、Au、Ag、As、Co、Bi、W、Mo、Sn、Sb、Hg、F、I、B 等，其中 Cu、Au、Ag、As 的原始衬度大于 20

元素组合异常具有较明显的水平分带（图 4.1.5），由南东→北西，即从岩体→接触带→赋矿岩层呈：Mo、Bi→Cu、Au、Ag→Hg、As→B、Sb、I 分带。

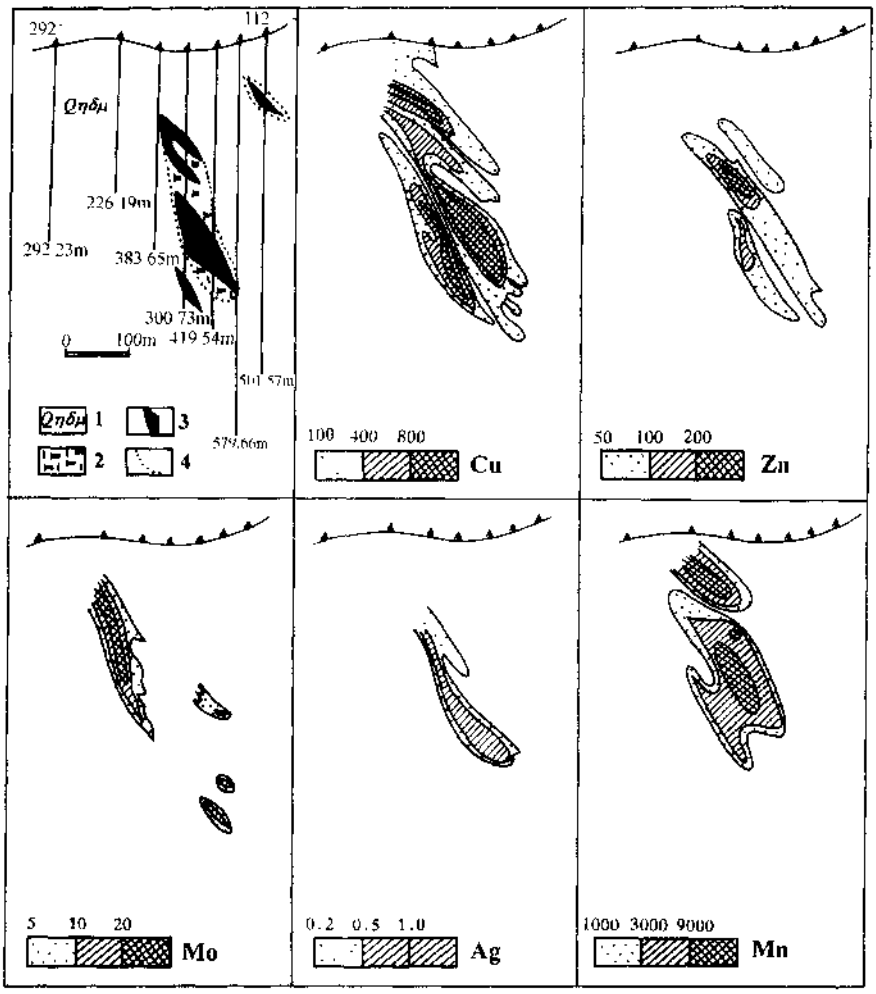


图 4.1.8 铜绿山矿床 11 线勘探剖面地球化学异常图

引自周亚特，1985）

1—石英二长闪长玢岩；2—透辉石夕卡岩；3—铜铁矿体；4—地质界线

Ag 的质量分数单位为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

（2）通过矿体上方剖面，CO_2 呈含量低但对值明显的“驼峰式”异常（图 4.1.6）。

（3）钻孔岩石地球化学异常。Cu、Au、Ag 元素原生异常的高浓度带与矿体对应（图 4.1.9），中、外带异常包围矿体并在上盘或前缘发育；I、Hg、As、Sb、B 异常发育于矿体上盘，形成较宽阔的异常，其中 I 元素，在矿体上部显示出大范围的“帽状”异常；Mo、W、Bi、Co 元素于矿体的中下部发育，或形成底部浓集的尾部异常。

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

（1）元素分带序列

铜绿山矿床：

原生晕元素轴向分带：（由上至下）As—Ag—Cu—Mn—Zn—Co—Mo—W。

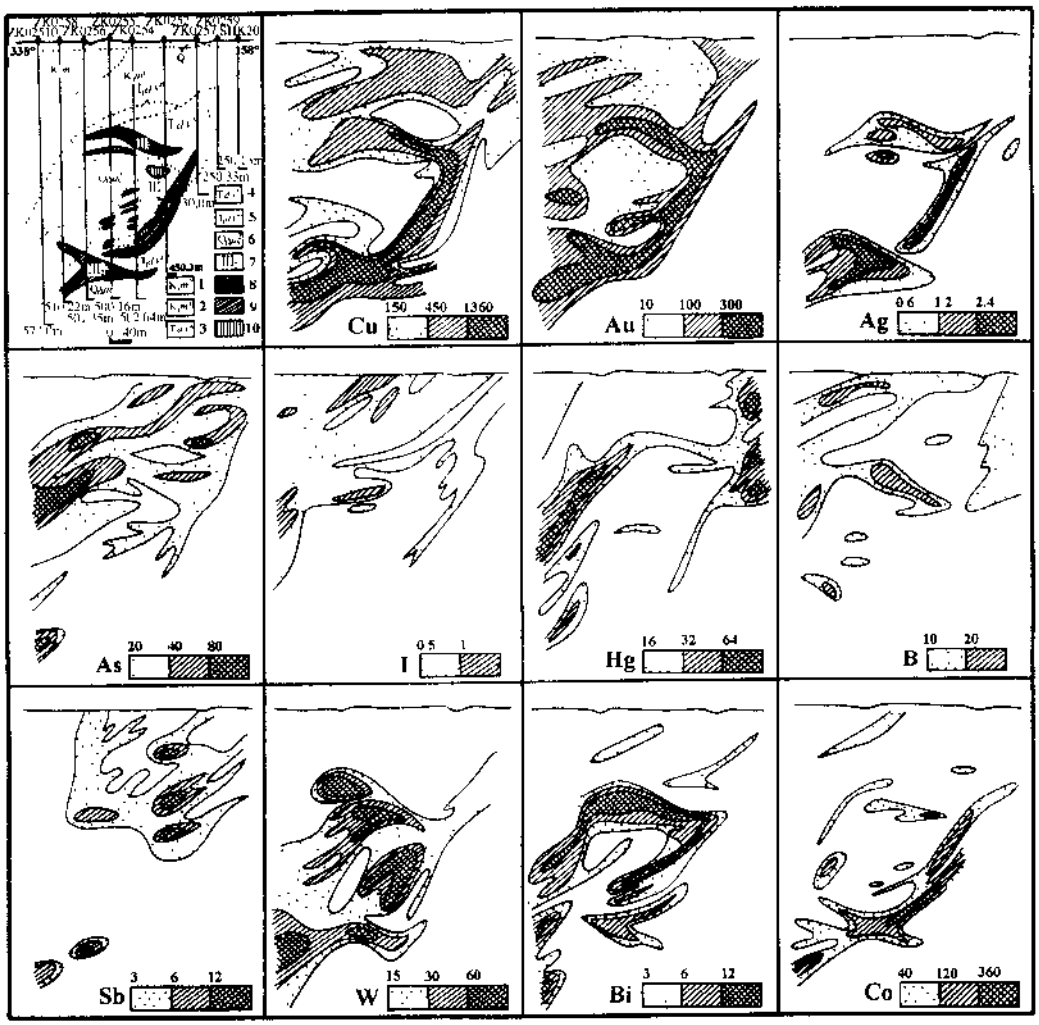


图 4.1.9　鸡冠咀矿区 025 勘探线钻孔岩石地球化学异常剖面

1—细砂岩、砂砾岩夹凝灰岩；2—角砾岩、含砂砾岩；3—大理岩；4—白云岩大理岩；5—砂质岩、粘土岩；6—闪长玢岩；7—矿体；8—铜、铁矿体；9—铜含矿；10—钼矿体。Au、Ag 质量分数单位 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

成矿元素分带：（由上至下）Cu—Cu、Fe—Fe—Au—Mo。

前缘指示元素为：As、Ag、Cu、Pb、Mo；近矿指示元素为：Cu、Au、Fe、Zn、Bi、Mo、Co；矿尾指示元素为：Cu、Mo、Au、W、Fe、Sn、Ni。

鸡冠咀矿床：

轴向分带序列：（As、F、Hg）—（Sb、B）—Ag—Au—Cu—Mo—Co—Bi。

（2）矿化剥蚀程度评价指标列于表 4.1.8。

4. 地球化学异常模型

铜绿山矿床地球化学模型见图 4.1.9；鸡冠咀矿床地球化学模型示于图 4.1.10。

表 4.1.8　铜绿山矿田矿床矿化剥蚀程度地球化学评价指标

矿床类型	标　志	矿前缘或矿上	近　矿	矿　下
夕卡岩型铜铁矿床	元素组合	As、F、B、Pb	Cu、Au、Ag、Mo、Fe	Sn、Co、Zn、Bi、Mn
	$\frac{Cu\times 50}{Fe}$	>3	1~3	<1
	$\frac{Ag\times 1000}{Cu}$	>0.75	0.50~0.75	<0.50
斑岩-夕卡岩型铜金矿床	元素组合	As、Hg、F、Sb、B、Pb、Ba	Cu、Mo、Ag（Au）	Co、Ni、Mn、Bi
	$\frac{Ag\times 1000}{Cu}$	>2.0	0.20~2.0	<0.20
	$\frac{Au\times As\times Sb\times 10^6}{Cu\times (Co)^2}$	>1.0	0.1~1.0	<0.1

元素质量分数单位：Au、Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}　　据薛迪康等资料，1997

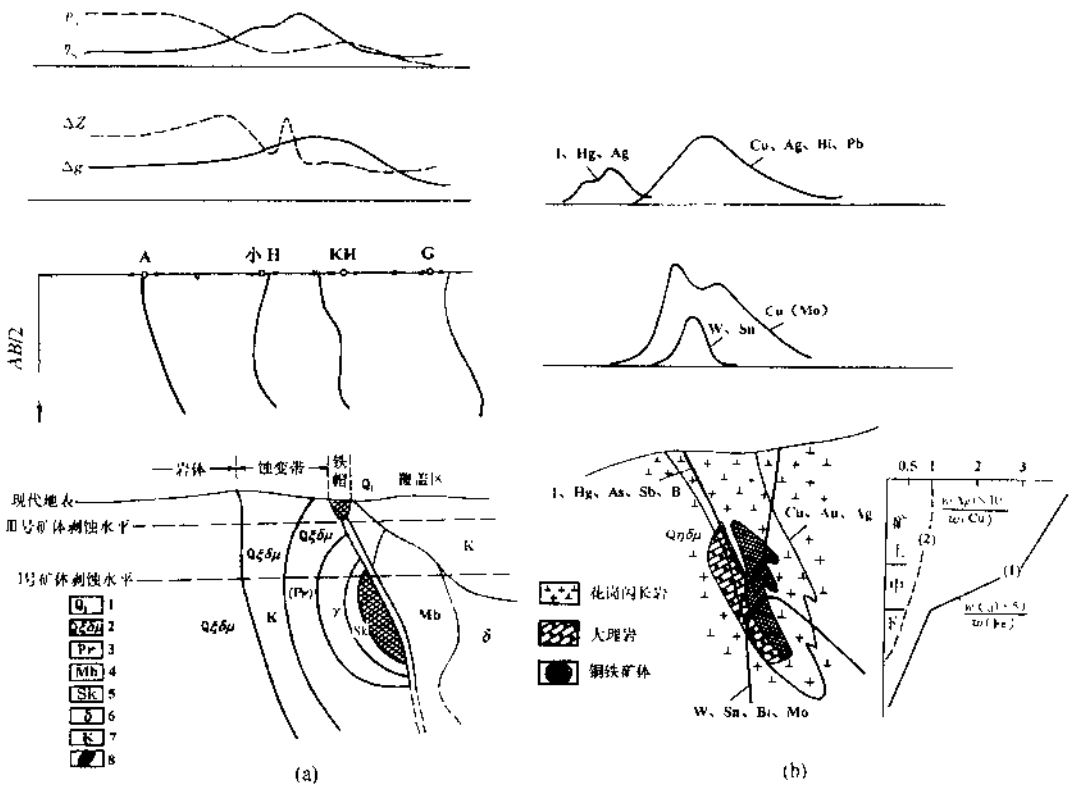


图 4.1.10　铜绿山夕卡岩型铜铁矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型图

(a) 地质-地球物理概念模型（据付家灿等，1993 年资料编绘）　1—第四系；2—石英正长闪长玢岩；3—斜长石岩；4—大理岩；5—夕卡岩；6—闪长岩；7—火山碎屑岩；8—矿体。(b) 地质-地球化学模型

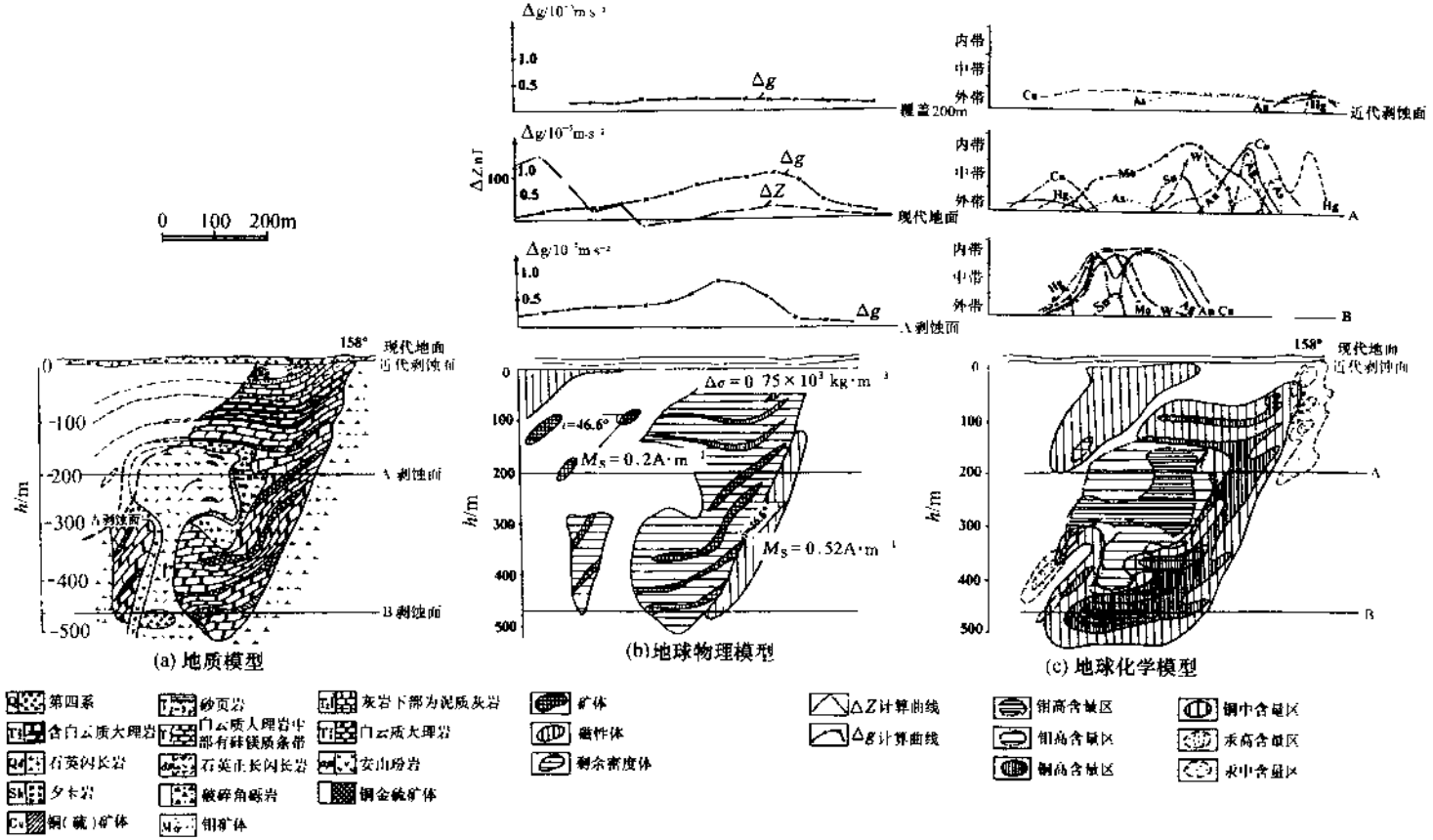


图 4.1.11　鸡冠咀斑岩-夕卡岩型矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型图

表 4.1.9　铜绿山铜铁金矿田矿床地质-球物理-地球化学找矿标志集

矿　床		铜绿山铜铁矿床	鸡冠咀铜金矿床
标志分类		标　志　或　信　息　显　示	
区域背景	地质构造	下扬子台拗西端，鄂城—大冶山 NNE 向隆起带的东段，大冶复向斜南翼；阳新岩体西北端	
	地球物理场	矿田地处武汉重力高与阳新南重力低之间的复杂重力场，鄂东南中部变化剧烈的磁异常区。矿区位于布格重力异常零值线偏负重力场一侧，对应于以阳新岩体为主体，呈北西向延伸，高场强、大范围的正、负伴生磁异常北端零值线附近	
	地球化学场	大冶-阳新 Cu、Au、Bi、Mo 元素富集区西北，或阳新岩体 Cu、Au、Ag、Mo 等高含量区	
地质	地　层	下三叠统大冶群（T_1dy）大理岩、白云质大理岩	
	构　造	区域性 NW 向含矿构造带和 NNE 向矿化蚀变破碎带的交汇部位，岩浆岩体与围岩接触构造带	
	岩浆岩	高硅、低铁镁、富碱的石英正长闪长玢岩	富碱、高钾的正长闪长玢岩
	围岩蚀变	夕卡岩发育，蚀变分带清楚： 金云母透辉石夕卡岩带（铁铜（金）矿）； 夕卡岩化大理岩带（铜（金）矿）	钾钠长石化（铅硫-铜金矿）； 石榴子石、透辉石夕卡岩化（铅铜（硫））； 夕卡岩化（铜金（铁硫）矿）
	赋矿部位	接触带与层间破碎带	接触带，大理岩捕虏体层间破碎带
	主要矿石矿物	黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉铜矿、辉钼矿、闪锌矿、自然金等	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、赤铁矿、磁铁矿、辉铜矿等，前三种为金的主要载体矿物
	直接找矿标志	铁帽，孔雀石。	
地球物理	探测目标物	含铜磁铁矿体	铜金矿体+围岩（大理岩）
	目标物物性特征	相对围岩物性差异显著，呈高密度、高磁性；低电阻、强极化	相对周围的岩浆岩（石英正长闪长玢岩等）呈高密度、高极化；磁性、电阻率差异不大
	地表异常特征	由岩体→大理岩：重力场值增高、磁场强度减小；矿体上方显示强磁异常、较明显重力高和激电异常，及较大的自电异常；接触带附近呈低阻反映	矿体上方呈明显弱重力高和低缓激电异常，及宽缓电阻率接触带异常上的微弱增高
	干　扰	非矿大理岩构成的非矿重力异常	近地表分布的中基性熔岩，为区内主要磁性干扰体；非赋矿大理岩构成主要的非矿重力异常；湖积层及部分湖区大面积低阻屏蔽
地球化学	异常元素组分 主要组分	As、Au、Ag、Cu、Pb、Mo、Zn	Cu、Au、Ag、I、Hg、As、Sb、Mo、W、Bi
	异常元素组分 前缘元素	As、Ag、Cu、Pb、Mo	I、Hg、As、Sb、B
	异常元素组分 近矿元素	Cu、Au、Fe、Zn、Bi、Mo、Co	Cu、Au、Ag
	异常元素组分 尾部元素	Cu、Mo、Au、W、Fe、Sn、Ni	Mo、W、Bi、Co
	元素浓度分带	Cu：100～200～400，　Zn：100～200～400 Au：10～20～40，　Co：20～40～80 Ag：0.2～0.5～1.0，　Bi：5～10～20 Mo：10～20～40，　Mn：1000～2000～4000	Cu：150～300～600，　As：20～40～80 Au：10～100，　Sb：3～6～12 Ag：0.6～1.2～2.4，　Bi：3～6～12 Mo：15～30～60，　F：800～1600～3200
	主要元素异常形态与分布范围	异常范围较大，浓度分带清晰，各元素异常套合较好，从岩体→接触带（矿体）→围岩，呈：Mo、W、Co、Bi、Sn、Mn、Zn→Cu、Au、Ag→B、As、F、Pb、Ba 水平分带	原生异常（钻孔中盖层下岩芯样分析）水平分带较明显，从岩体→接触带→赋矿岩层，异常元素分带：Mo、Bi→Cu、Au、Ag→Hg、As→B、Sb、I。矿体上方 CO_2 呈“驼峰式”异常
	其他特征		
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 4.1.9。

2. 地质-地球物理-地球化学找矿模型图

铜绿山夕卡岩型铜铁矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型图和鸡冠咀斑岩-夕卡岩型矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型图，分别示于图 4.1.10 和图 4.1.11。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

夕卡岩型矿石一般具有高磁、高密度、高极化、低电阻的物性特征，与围岩差异明显，应用以磁法为主的物探方法，寻找夕卡岩矿化带，进而确定矿体空间分布的大体形态，其效果较显著。夕卡岩型矿为典型热液蚀变产物，成矿及伴生元素的原生晕异常规模较大，化探方法效果亦非常显著。物化探勘查的一般流程如下。

(1) 确定岩体接触带。以航磁及区域重力方法为主，通常为重、磁异常过渡带或梯度带。

(2) 寻找并圈定矿致异常。应用大比例尺地磁、重力、电磁法及化探（岩石、土壤地球化学测量）方法，并综合分析、识别接触带附近有意义的局部异常。

寻找埋深较大的夕卡岩型铜铁矿，应提高各方法的观测精度；斑岩-夕卡岩型铜金矿应以含矿大理岩为探测目标，进行间接找矿。

(3) 详查及勘探阶段。应用井中物探（声波、电磁波透视）、钻孔原生晕等，确定矿体产状（形态），寻找或发现井旁盲矿等。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 4.1.A　铜绿山铜铁金矿田矿床地质特征简表。

表 4.1.B　铜绿山铜铁金矿田矿床地球物理特征简表。

表 4.1.C　铜绿山铜铁金矿田矿床地球化学特征简表。

表 4.1.A　铜绿山铜铁金矿田矿床地质特征简表

地理位置	湖北省大冶县		1/20 万图幅：H-50-（13）
地质成矿环境	矿床类型	铜绿山矿床：夕卡岩型 鸡冠咀矿床：斑岩-夕卡岩型	矿石建造	铜绿山矿床：Cu-Fe 型、 鸡冠咀矿床：Cu-Au 型等
	矿床规模、品位	铜绿山：大型；Cu 为 1.55%，TFe 为 40.39% 鸡冠咀：中型；Cu 为 1.51%，Au 为 2.58g/t	容矿岩石	夕卡岩为主，容矿围岩为大冶群碳酸盐岩
	构造背景	下扬子台拗西端，鄂城—大冶由 NNE 向隆起带的东段，阳新岩体西北端		
	地　层	出露地层有下三叠统大冶群（T_1dy）大理岩、白云质大理岩，局部有下白垩统火山碎屑岩；前者主要呈半岛状及捕虏体状残留于岩浆岩中，矿区北部为第四系湖积黏土覆盖，其深部见下白垩统灵乡组（K_1l）湖相砂砾岩夹安山岩及马架山组（K_1m）火山岩，中上三叠统蒲圻群（$T_{2-3}pq$）砂页岩		
	构　造	矿田区处于区域性 NW 向含矿构造和矿区 NNE 向矿化蚀变破碎带的交汇部位。区内 NWW 向断裂与 NNE 向断裂组成网格状构造；NWW 向断裂为控岩控矿构造；NNE 向断裂为控矿构造		
	岩浆岩	燕山运动晚期，主要岩石有石英二长闪长玢岩、石英闪长岩、闪长岩、正长闪长玢岩和安山玢岩等　与矿有关的岩浆岩以富钾、酸度较大、铁镁较低为特点。 二长闪长玢岩：$w(SiO_2)$为 62.04%，$w(Na_2O+K_2O)$为 7.54%，$w(Na_2O)/w(K_2O)$为 1.06； 正长闪长玢岩：$w(SiO_2)$为 56.03%，$w(Na_2O+K_2O)$为 9.69%，$w(Na_2O)/w(K_2O)$为 0.39		
	主要控矿因素	燕山运动晚期浅成—超浅成、富钾、酸度较高、铁镁较低的中酸性复式岩体的前缘部位、NWW（或 NW）与 NNE 褶皱断裂接触破碎带复合部位、层间剥离断层、断裂接触带等 下三叠统大冶群第三七岩性段，并与膏盐层有密切的空间关系或一定的成因联系		
矿床特征	矿床	铜绿山铜铁矿床		鸡冠咀铜金矿床
	成矿岩体	石英二长闪长玢岩		正长闪长玢岩
	容矿构造	节理裂隙带、矿化角砾岩带；NNE 向断裂接触带、层间剥离带		岩体前缘爆破裂隙和下部隐爆角砾；前缘正接触带；层间破碎带、层间裂隙
	矿化阶段	分两期、四个阶段，即夕卡岩期，硅酸盐阶段；热液成矿期，氧化物-磁铁矿阶段→石英-硫化物阶段→碳酸盐-碳酸盐阶段		为典型的“多位一体”的矿化特征：早钼、硫（铜）→钼、铜（硫）→铜、金、硫（铁）→铁、金、铜、硫的变化
	蚀　变	夕卡岩发育，蚀变分带清楚　夕卡岩带宽 100～200m；热液蚀变有金云母化、绿泥石化、蛇纹石化、碳酸盐化、硅化等		主要有：钾钠长石化、夕卡岩化、碳酸盐化、硅化、绿泥石化、蛇纹石化等、大理岩
	矿化分带	由内接触带→正接触带→外接触带，相应矿化种类为：钼矿化→铁铜（金）矿化→铜（金）矿化		由斑岩体→内接触带→外接触带，相应矿化种类为：钼硫-铜金→钼铜（硫）→铜金硫（铁）→铁金铜（硫）
	矿体特征	金属矿物：黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、辉铜矿、辉钼矿及闪锌矿、自然金等		金属矿物：黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、赤铁矿、磁铁矿、辉铜矿等，前二种为金矿的主要载体
		矿石特征：矿石构造有致密块状、浸染状、脉状、角砾状、粉末—砂状等		矿石特征：矿石构造呈块状、浸染状、角砾状、网脉状等
		矿体形态：12 个大小不等的矿体（群）组成，主矿带 NNE 向，约长 2100m，宽 300～350m，矿体呈层状或不规则透镜状，两侧伴有雁行排列的多个矿体，具尖灭再现现象；NEE 向矿带，矿体呈不规则透镜状，矿体小，连续性差		矿体形态：4 个主要矿体（群）分布于长 900m、宽 160～330m 范围内，单矿体长 50～750m，厚 1.2～83.6m，斜深 25～408m；走向 NE，形态复杂，主要呈透镜状、扁豆状、枝叉状等
	脉石矿物	透辉石、方解石、白云石、石英、玉髓、钙（铁）铝榴石、金云母、阳起石等		方解石、白云石、石榴子石、透辉石、金云母等
	表生地质	氧化带发育，具垂直分带现象		大部分为 15～25m 湖积黏土覆盖
	地貌景观	湿润低山景观区		
	备　注			

表 4.1.B　铜绿山铜铁金矿田矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	武汉重力高与阳新重力低之间的过渡的复杂重力场					
	磁　场	鄂东南中部变化剧烈的磁异常区					
矿区（田）异常	重力异常	位于布格重力异常零值线偏负重力场一侧，重力异常宏观上显示为北北东延伸，南东→北西降低的梯度带，范围较大的次级重力高，一般为岩体中隐伏大理岩反映					
	磁力异常	以阳新岩体磁异常为主体的北西向延伸、高强度、大范围的正、负伴生的磁异常北端零值线附近，矿区航磁异常强度大于500nT，形态规则，异常分布与成矿构造带一致					
	电异常						
矿床异常	矿　床	铜绿山铜铁矿床			鸡冠咀铜金矿床		
	重力异常	与矿化构造带方向一致的封闭状或舌状重力高异常，相对幅度（0.2～1.0）$\times 10^{-5}m\cdot s^{-2}$，为矿体与大理岩或夕卡岩的综合反映			东南部岩浆岩分布区，重力场值较低；西北部大理岩捕虏体及矿体赋存地段，呈相对重力高异常；北西部及北面，灵乡组火山岩分布区，重力场降低		
	磁力异常	地磁异常呈串珠状，叠加在北北东向隐伏大理岩（捕虏体）引起的低或负磁异常背景上：大于5000nT的陡梯度狭条异常为浅部或地表氧化矿反映；大于2000nT的宽缓异常为浅埋深原生矿的反映；小于2000nT的规则异常，或在宽缓的岩体异常背景上呈局部抬高的较规则异常，可能为埋藏更深（或磁性较弱）的矿体引起			东南部岩浆岩分布区，磁场较复杂；西北部大理岩捕虏体及矿体赋存地段，对应平稳负磁场；北西部及北面灵乡组火山岩分布区，磁场增高；中部接触带处，显示接触带异常特征		
	电异常	激电异常	显示为形态规则、视极化率 η_s 10%左右的激电异常		大理岩捕虏体及矿体赋存地段，伴有中高充电率（相当于极化率）异常		
		电阻率异常	测深曲线在矿体上方呈H型或KH型曲线，无矿地段为A型曲线；在电性断面上，矿体多对应于相对低阻凹陷，或高、低电阻过渡带		大理岩捕虏体及矿体赋存地段，伴有低视电阻率局部增高。灵乡组火山岩区，受地表湖积层增厚及湖水影响低于20Ω·m		
		自然电场	形成$\lvert\Delta U\rvert > n\times 100$mV的负自电异常				
	干　扰	大理岩捕虏体构成的非矿重力异常、非赋矿大理岩构成的非矿重力异常			湖积层及部分湖区大面积低阻屏蔽		
主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	η/%	$\rho/\Omega\cdot m$
	含铜磁铁矿石	3.90		1.2×10^6	1.4×10^5	61.0	
	夕卡岩	2.91		3.2×10^3		4.8	$4.0\times10\sim9.6\times10^3$
	石英正长闪长岩	2.69		$3.5\sim4.0\times10^3$	$3.0\sim5.0\times10^2$	3.2	
	石英正长闪长玢岩	2.60		1.8×10^3	2.0×10^2		4.0×10^3
	闪长岩	2.61		$0\sim3.6\times10^3$	2.6×10^2		1.0×10^3
	蚀变风化火成岩	<2.60		$1.7\times10^2\sim<10$	$4.0\times10\sim<1$		$1.0\times10^2\sim1.5\times10^3$
	砂页岩（T_3）	2.59		$\leqslant10^1$	$\leqslant10^0$	3.5	
	灰岩（T_1）	2.69		$\leqslant10^1$	$\leqslant10^0$	0.8	1.5×10^5
	大理岩（T_1）	2.71		$\leqslant10^1$	$\leqslant10^0$	1.4	$7.0\times10^2\sim4.2\times10^5$
备　注							

表 4.1.C　铜绿山铜铁金矿田矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分（见备注）	以 Cu、Mo、Ag 等元素为主														
	空间分布	Cu、Mo、Ag 等元素异常围绕石英二长闪长玢岩岩体呈环状分布，铜绿山矿床位于环状异常的东侧；西部对应鸡冠咀矿床；桃花咀矿床处于异常的西北部。 水地球化学异常范围大，异常有 Cu、Pb、Zn、Mo、SO_4^{2-}，伴有较高的 $w(SO_4^{2-})/w(CO^-)$ 值和较低的 $w(HCO_3^-)$ 含量，其中 Cu、Pb、Zn 异常符合较好														
	元素浓度分带	岩石：Cu：100～200～400，Mo：5～10～20，Ag：0.2～0.5～1.0 水化学（元素质量分数单位（w_B）：10^{-9}）：Cu：15～30～50，Mo：0.3～0.6～1.2，Zn：10～20～40														
	元素水平分带															
	其他特征															
矿床异常	矿　床	铜绿山铜铁矿床								鸡冠咀铜金矿床						
	元素组分	As、F、B、Ba、Au、Ag、Cu、Pb、Mo、Zn、Co、Bi、Mn、In、Fe								Cu、Au、Ag、As、Co、Bi、W、Mo、Sn、Sb、Hg、F、I、B						
	空间分布	元素异常套合较好，异常范围较大，浓度分带清晰，Cu、Ag、Zn 中—内带异常面积相应（平均含量）分别为：1.06、0.27、0.35km²（478×10⁻⁶、0.27×10⁻⁶、150×10⁻⁶）、从岩体→接触带（矿体）→围岩呈 Mo、W、Co、Bi、Sn、Mn、Zn→Cu、Au、Ag→B、As、F、Pb、Ba 水平分带								原生异常（钻孔中第四系覆盖层下岩芯样分析）水平分带较明显，由南东向北西，即从岩体→接触带→赋矿岩层，异常元素的组分分带为：Mo、Bi→Cu、Au、Ag→Hg、As→B、Sb、I。矿体上方 CO_2 呈明显"驼峰式"异常						
	元素浓度分带	Cu：100～200～400，　Zn：100～200～400 Au：10～20～40，　Co：20～40～80 Ag：0.2～0.5～1.0，　Bi：5～10～20 Mo：10～20～40，　Mn：1000～2000～4000								Cu：150～300～600，　As：20～40～80 Au：10～100，　Sb：3～6～12 Ag：0.6～1.2～2.4，　Bi：3～6～12 Mo：15～30～60，　F：800～1600～3200						
	元素分带序列	原生晕元素轴向分带（由上至下）： As—Ag—Cu—Mn—Zn—Co—Mo—W。 成矿元素分带（由上至下）：Cu—Cu、Fe—Fe—Au—Mo								轴向分带序列为（由上至下）： （As、F、Hg）—（Sb、B）—Ag—Au—Cu—Mo—Co—Bi						
	元素间相关性															
	其他特征															
矿体剥蚀程度评价指标		$w(Cu)\times50/w(Fe)$：矿上＞3，近矿 1～3，矿下＜1。 $w(Ag)\times10^3/w(Cu)$：矿上＞0.75，近矿 0.5～0.75， 矿下＜0.50								$w(Ag)\times10^3/w(Cu)$： 矿上＞2.0；近矿 2.0～0.2；矿下＜0.2 $(w(Au)\times w(Sb)\times10^3)/w(Cu)\times w(Co)$： 矿上＞1.5；近矿 1.5～0.5；矿下＜0.5						
岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	
	T_{2-3}泥质岩	16	22	121	4.8	0.31	5.3		＜2	30	21	1.8	0.91	0.23	21	
	T_{2-3}粉砂岩	21	23	120	3.6	0.33	4.5		＜2	69	34	5.2	0.41	0.20	23	
	T_1白云岩	10	11	110	6.5	0.40			2.0	9	10	4.7	0.22	0.28	49	
	T_1灰岩	26	20	76	6.9	0.49	4.5		3.5	23	15	18.1	1.49	0.25	19	
	阳新岩体	37.4	15.7	60.4	3.48	0.07	2.4	1.6	1.6	11.4	14.6	3.6	0.52	0.15		
	石英二长闪长岩	26	13	＜50						11	＜10					
	石英二长闪长玢岩	40	11	＜50						10	＜10					
	闪长岩	11	12	＜50						＜10	＜10					
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}； 注：矿区采矿历史久远，地表污染较甚，岩石地球化学测量结果反映矿田异常较为客观														

第二节　湖南水口山铅锌矿田

水口山铅锌矿田[1][2][3]位于湖南省常宁县东，距衡阳市45km；是我国开采历史悠久的大型铅锌（银、金等）多金属矿山；由相距约2.5km的水口山（或老鸦巢铅锌硫）和康家湾（铅锌金银）两个大型矿床组成。此外，还有鸭公塘铅锌铜硫矿床（中型）、老鸦巢金矿（大型）以及中区铁铜铅锌硫矿床、温塘铅锌矿床等，范围约600km^2。

一、区域背景

矿田位于江南古陆东南缘，耒阳—临武近SN向构造带北端，衡阳断陷盆地的南缘。

矿田处于衡阳（盆地）重力高[4]南侧近东西向较宽缓的梯度带上，和湘南北部零陵—水口山—五峰仙东西向航磁异常带[5]北侧正、负异常分界附近（图4.2.1）。

地球化学场对应于湘南东西向Cu、Pb元素高背景带[6]中的水口山弱Cu、Pb异常区。

二、成矿环境

1. 地层

矿田区东、西、北三面均被中、新生界覆盖。中生界岩层主要有：下白垩统东井组红层（K_1d），下侏罗统高家田砾岩（J_1g），下三叠统大冶泥灰岩（T_1d）。区内出露地层主要为二叠系，次为中上石炭统壶天群白云岩（C_{2+3}）及部分上泥盆统锡矿山组（D_3x）。泥盆系、石炭系主要分布于矿田的南、西及东南部；二叠系分布于矿田中部。上二叠统斗岭组（P_2d）主要为炭质砂页岩，下二叠统栖霞组（P_1q）主要由含炭质条带状灰岩，含燧石灰岩组成，为铅锌金银的主要赋矿层位；下二叠统当冲组（P_1d）由含铁锰质岩、硅质页岩、泥灰岩等组成，为金矿的主要赋矿层位。

2. 构造

区内褶皱构造发育。燕山运动使二叠系产生一系列近SN向的褶皱和断裂。

矿田范围内褶皱可分为三级：Ⅰ级褶皱由西向东分布有大市背斜、兰湖复式向斜和新盟山背斜；Ⅱ级褶皱分布于盐湖复式向斜中，有马颈口倒转向斜、石坳岭倒转背斜和四丘田倒转向斜；Ⅲ级褶皱分布在Ⅱ级褶皱中，有鸭公塘、仙人岩、老鸦巢倒转背斜和康家湾隐伏倒转背斜。

断裂构造亦可分为三级，Ⅰ、Ⅱ级为NNE向或SN向的逆冲断裂；Ⅲ级为规模更小的NE、NW、EW三组断裂。与康家湾隐伏矿关系密切的F_{22}断层属区域性Ⅰ级断裂带。

---

[1] 纪泉水，王双璧，田德玉等。湖南省常宁县水口山矿田康家湾铅锌金矿区评价地质报告。湖南冶金地质勘探二一七队，1982。

[2] 练自强，吴延之。湘南锡铅锌多金属隐伏矿床预测研究（编号：75-55-01-08）。中国有色金属工业总公司湖南地质勘查局，中南工业大学，1990。

[3] 湖南省地质矿产局物探队。湖南不同类型铅锌矿床物化探找矿效果总结与研究，1984。

[4] 谢湘雄主编。湖南省区域重磁成果研究报告。湖南省地质学校，1989。

[5] 秦葆瑚执笔。湖南区域重磁资料的初步地质解释。湖南省地质局物探队，1978。

[6] 罗素菲，姜翠萍。湖南省1:50万铜铅元素地球化学图说明书。湖南省地质局区域地质调查队，1979。

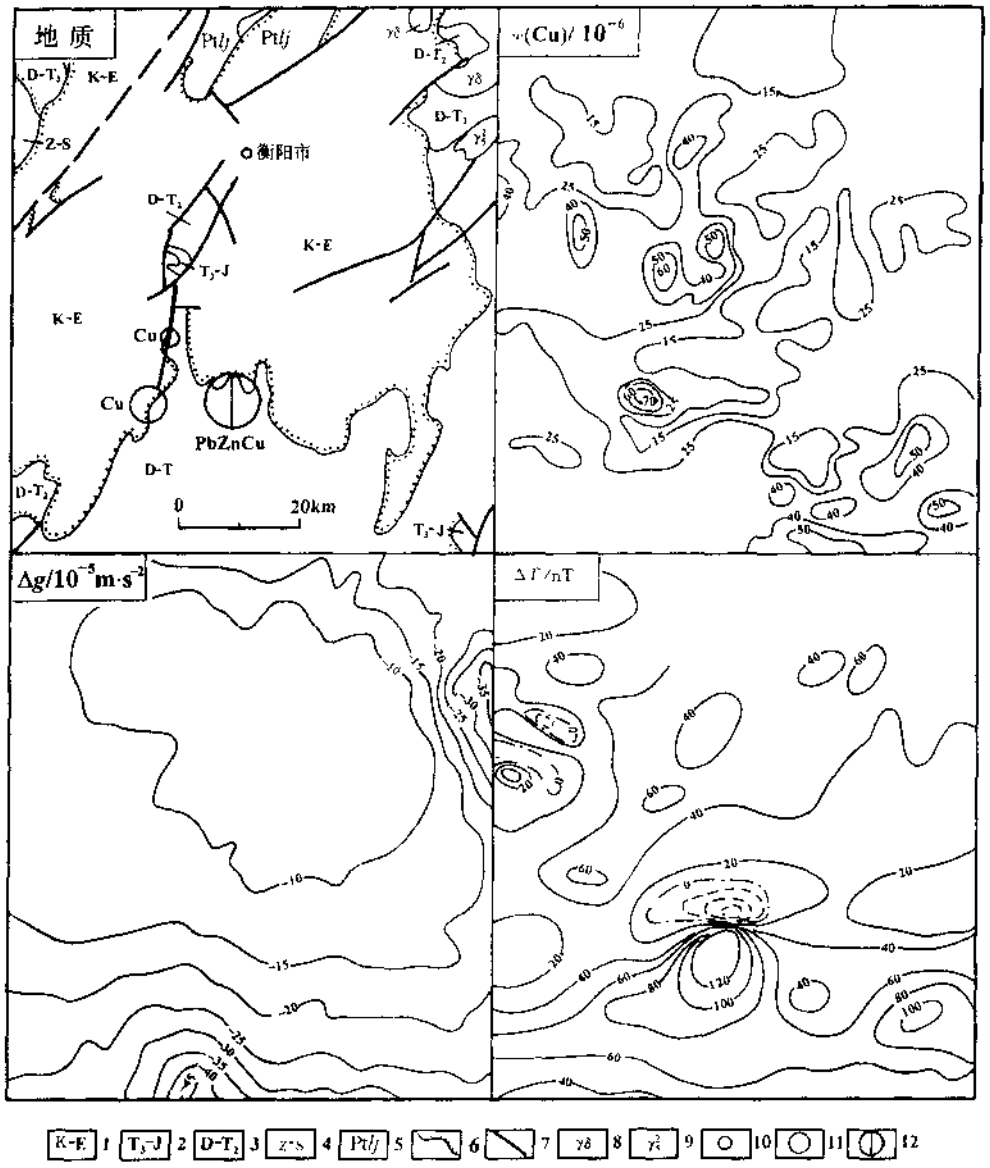


图 4.2.1　水口山矿田区及外围综合区域场剖析图

（据谢湘雄，罗素非等资料编绘）

1—白垩系—第三系；2—上三叠统—侏罗系；3—泥盆系—中三叠统；4—震旦系—志留系；5—元古宇冷家溪群；6—不整合地质界线；7—断层；8—花岗闪长岩；9—花岗岩；10—小型矿床；11—中型矿床；12—大型矿床

3. 岩浆岩

燕山期岩浆沿Ⅲ级倒转背斜轴部侵入或喷发，产生一系列浅成、超浅成中酸性岩体。出露的主要有花岗闪长岩岩体及一些花岗斑岩、石英闪长斑岩岩脉。

与水口山矿床有成因联系的花岗闪长岩，分东、西两个岩体，分别侵入于老鸦巢和鸭

公塘两个倒转背斜，出露面积为 1.8km² 和 0.8km²，属贫 Si，富 Fe、K，Al 过饱和，偏碱性的中酸性岩。

4. 区域地球化学场[1]

水系沉积物测量结果显示，水口山一带区域地球化学场具有：

（1）$w(Fe_2O_3)>5.0\%$、$w(Al_2O_3)>12.5\%$、$w(Na_2O)>0.3\%$、$w(SiO_2)>70.0\%$的地球化学环境。

（2）异常规模大，组合元素多，Pb、Zn、Cd、Ag、Au 异常呈似等轴状，叠合较好，尤其是内带更为明显（图 4.2.2）。

（3）主要元素异常特征参数见表 4.2.1。其中 Pb、Ag、Cd、Zn 异常面积分别为：136、172、124、76km²，峰值为（747，5.74，25，2672）$\times10^{-6}$；Au 及 Cu、Sb、Bi 的异常峰值分别为 165×10^{-9}及（142、20、8）$\times10^{-6}$，各元素衬值较高，变异系数除 Cu、Sb 外均大于 1，表明区域矿化活动较强

表 4.2.1　水口山地区区域地球化学特征参数

元素符号	Pb	Zn	Ag	Au	Cd	As	Sb	Bi	Cu
含量变化范围	35～747	108～2672	100～5740	3～165	0.5～25.0	24～456	3.1～20.1	0.71～8.00	40～142
平均含量	108.8	330.4	455.2	25.6	2.7	109.9	7.3	2.52	75.5
变异系数	1.46	1.78	2.39	1.60	1.96	1.42	0.66	1.11	0.45
异常面积/km²	136	76	172	64	124	24	48	20	32

元素质量分数单位：Au、Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据古平等资料编

5. 区域地球物理场

受更大区域重力场影响，水口山一带重力异常北东高、南西低，呈北西向的宽缓梯级带；矿田附近等值线明显扭曲，并与北北东走向的岩层基本一致（图 4.2.2）。矿田区磁场呈正、负伴生异常，强度较高、形态较规则，其主体异常为埋深较大的隐伏岩体与水口山岩体的综合反映。南侧正异常呈南北向略长的椭圆状，极值 $\Delta T_{max}>400nT$，外侧等值线明显扭曲，间隔宽缓；北侧负异常东西向拉长，$\Delta T_{min}<-300nT$。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

水口山铅锌矿床：矿体产于花岗闪长岩体超覆于下二叠统碳酸盐岩的接触破碎带内。矿化带长 1000m，延深大于 500m。矿体形态复杂，呈筒状、扁豆状、脉状、不规则状。自东向西分布有 17 个矿体，长 13～302m、厚 5～38m。

康家湾铅锌金银矿床：赋存于远离岩体接触带的侏罗系底砾岩与石炭系-二叠系不整合面附近（F_{22}）断层硅化破碎带中的角砾岩段。矿化带呈北北东走向，长约 3000m，宽 150～700m。主矿体 7 个，长 300～1500m、厚 3～10m。矿体呈似层状、透镜状，产状平缓，与倒转背斜或硅化破碎带基本一致，埋深北浅南深。

[1] 湖南省地质局物探队。1:20 万耒阳幅区域化探报告（水系沉积物测量），1982。

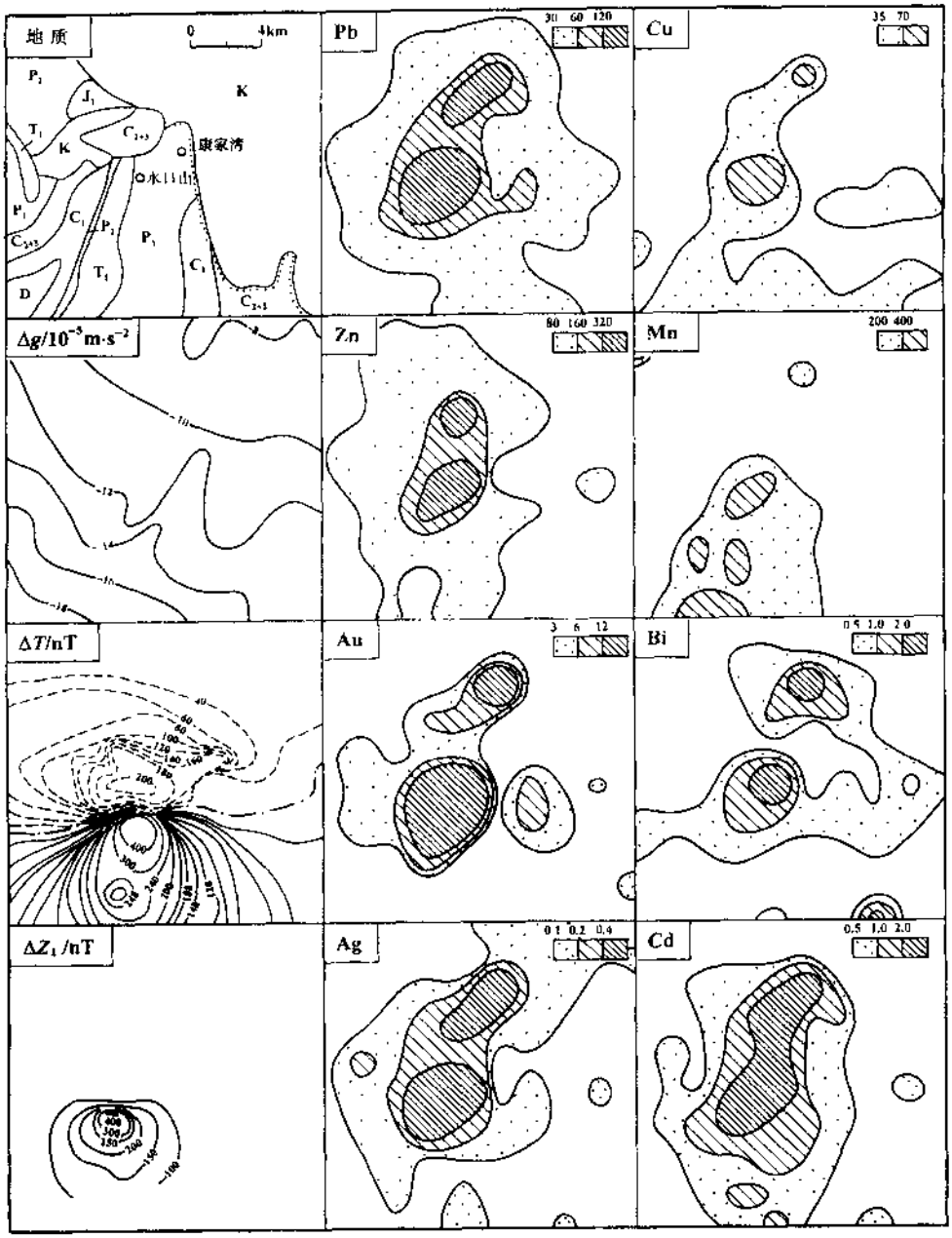


图 4.2.2　水口山矿田综合区域场剖析图

（据湖南省地质局物探队资料，1984；及古平等 1998 年资料编绘）

Au 质量分数单位为 10^{-9}，其余为 10^{-6}

2. 矿石构造及主要矿物组合

水口山矿床：矿石构造有块状、团块或斑点状、浸染状等；金属矿物主要有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿，其次有磁黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿及少量白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、黝锡矿、自然金等。非金属矿物主要有方解石、石英，次有石榴子石、透辉石等。

康家湾矿床：矿石构造有块状、条带状、环带状及脉状；主要金属矿物有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿，其次有磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿等，及少量自然金、自然银等。非金属矿物主要有石英、玉髓，次有方解石、水云母-绢云母等。

3. 矿化阶段及分带性

矿田具有多期、多阶段成矿特点，成矿期包括夕卡岩期、热液交代硫化物期和碳酸盐岩期，其中热液交代硫化物期为主要成矿期。

水口山矿床：具有明显的蚀变—成矿水平分带，从岩体向外呈：蚀变花岗闪长岩→夕卡岩及钨、钼、铋矿化→夕卡岩化大理岩及石英、黄铁矿、金、铜矿化→大理岩及铅锌矿化等分带。沿垂向自上而下大体呈黄铁矿→铅、锌矿→铜、铁矿分带。

康家湾矿床：南段以黄铁矿、铅锌矿为主，北段铅锌银金矿增多。

4. 蚀变类型及分带

区内围岩蚀变繁多，相互叠加，并具带状分布特点。

水口山矿床：岩体与围岩之间有完整的接触变质蚀变环带，长近千米。内接触带：钾长石化、绿泥石化、黄铁矿化→接触带：绢云母化→外接触带：夕卡岩化或角岩化带，宽约 20m，从地表 200m 标高至深部 -1000m 标高。

康家湾矿床：围岩蚀变有夕卡岩化、绢云母化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化等，其中硅化、碳酸盐化、绢云母化为近矿围岩蚀变。

5. 氧化带

呈几米至数十米残积或残坡积疏松层，水口山岩体接触带附近氧化带中发育有铁帽。

6. 主要控矿因素

区域性深断裂带是控制矿田的重要因素，水口山矿田即位于 EW 向、SN 向和 NE 向几组大断裂的交汇部位。

花岗闪长岩及花岗闪长斑岩的成岩后期岩浆热液提供了主要成矿物质。

复式褶皱中的背斜轴部及倾伏端，或两组以上不同方向断裂交叉部位是岩浆岩入侵的有利地段，为主要的导岩、导矿构造。

花岗闪长岩体超覆接触破碎带，或侏罗系底砾岩与石炭系-二叠系不整合面附近的破碎带为主要容矿构造。

四、矿区地球物理特征[1][2]

1. 岩矿石物理性质

（1）密度：区内矿石密度极高，与围岩之间存在较大的密度差（表 4.2.2）。

（2）磁性：除分布于接触带中的磁铁矿、夕卡岩有强磁性外，中酸性岩浆岩具中等磁性；以铅锌矿、黄铁矿构成的矿体，以及各时代沉积岩均属微磁性。

此外，水口山花岗闪长岩的磁性分布不均匀，岩体不同部位的磁性差异较大，其磁性分布见表 4.2.3。

---

[1] 黄常助，李少连，王秉银等。湖南水口山磁异常研究报告。冶金地质研究所磁法组，冶金二一七队物探组，1979。

[2] 唐天河，湖南冶金物探队，1967.12；湖南冶金物理探矿队，水口山铅锌矿区物化探工作总结，1969。

表 4.2.2　水口山铅锌矿田物性参数统计表

岩矿石名称（岩类）	密　度①		磁　性②			
	块数	σ/（10^3kg·m^{-3}）	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	M_r/（10^{-3}A·m^{-1}）	磁偏角	磁倾角
铅锌矿石	94	4.78	微			
黄铁矿矿石	22	3.99	微			
磁铁矿			6.76×10^4	7.61×10^3		
夕卡岩			2.50×10^2	2.70×10^1		
大理岩	45	2.70				
（各时代沉积岩）			微			
花岗闪长岩	85	2.68	1.13×10^3	7.50×10^1	0°	45°
石英闪长斑岩			6.50×10^2	4.00×10^2		
花岗斑岩石英斑岩			微			

区内地磁场要素：垂直分量 $Z_0=0.287$A·m^{-1}，偏角 $D=1°30'$，倾角 $I=39°$；①密度：引自湖南地质局物探队资料；②磁性：除铅锌、黄铁矿矿石引自参考资料❶；其他引自参考资料❶（标本共500块，定向标本73块）。

表 4.2.3　水口山岩体各部位的磁性参数表

	浅　部		$(\overline{\kappa}/4\pi\times10^{-6}\text{SI})$：$9.23\times10^2$	$(\overline{M_r}/10^{-3}\text{A·m}^{-1})$：$6.00\times10^1$
2号岩体（西部）	深部	北段	9.31×10^2	7.40×10^1
		南段	1.15×10^3	7.20×10^1
4号岩体（东部）	深部	北段	6.89×10^2	4.00×10^1
		南段	2.15×10^3	1.09×10^2

（3）电性：结合资料❶，区内岩矿石电阻率 ρ 和极化率 η 由低至高大体顺次如下。

ρ：铅锌矿石→黄铁矿石→砂质、炭质砂页岩→花岗闪长岩→碳酸盐岩；

η：未蚀变岩石（1.5%～2.0%）→含炭质岩石→矿石或矿化蚀变岩石（10%～40%）。

2. 物性模型

因区内已有物性资料较少，结合岩矿石的一般物理性质，水口山矿区主要岩矿石物性特征综合概括于表 4.2.4：

表 4.2.4　水口山矿区主要岩矿石物性特征归纳表

主要岩矿石名称	密　度	磁　性	极化率	电阻率
铅锌硫化矿	极高（$>4\times10^3$kg·m^{-3}）	微	高	低
铁铜铅锌硫化矿石	极高	高—强（$10^3\sim10^4$）$\times10^{-3}$A·m^{-1}	高	低
花岗闪长岩	中低	中	微弱	中高
碳酸盐岩	中高	微	微	高
夕卡岩	中高	弱中	弱	中
碎屑沉积岩	低	微	微	中
黄铁矿化岩石	中	微	中	中高

❶　李智，张九龄，李磊等。水口山矿田金矿富集规律及找矿靶区优选。湖南冶金地质局。

3. 地球物理异常●

(1) 矿田区（图 4.2.3）。

重力异常：形态复杂（1:5 万），其相对重力高、低异常与岩性及矿化-蚀变有关。除分布范围较广的碳酸盐岩层形成较明显的重力高外，矿化-蚀变发育地段，如老鸦巢（即水口山）、鸭公塘、中区（百步磴），康家湾矿床区附近亦显示为相对重力高异常；而煤系地层构成的向斜上则显示呈相对重力低。

航磁异常：化极（1:5 万）异常似等轴状，外围等值线稀疏，$\Delta T_{\perp}$100nT 等值线圈闭范围 70km^2 左右，北部有微弱负异常。该似等轴状异常中心位于水口山花岗闪长岩体中部，强度大于 600nT，梯度变陡处为岩体和接触带附近夕卡岩及磁铁矿物富集的反映；其东部岩体南段磁性最强，异常也最大。老盟山岩体上，出现明显的局部异常，$\Delta T_{max} > 400$nT。

(2) 矿床区。

水口山（及鸭公塘、中区）矿床。

磁异常：地磁 ΔZ（1969 年资料、精度较低）出规模较大的近圆形区域异常（图 4.2.4）和水口山局部磁异常组成。异常圆滑规则，以正异常为主，强度 500 ~ 1200nT，负值不明显。矿床附近及岩体磁性增强部位出现次级异常；或等值线呈明显迂回状。

自电异常：已知老鸦巢、鸭公塘、中区等矿区，均发现自电（1:1 万）异常。异常范围除鸭公塘较小外，一般较大，$\Delta U = -50$mV 等值线圈闭范围 0.4 ~ 1.7km^2。异常梯度平缓，幅值不大，一般为 -100 ~ -300mV。矿床区自电异常虽分布较广，但异常中心与浅部矿体无明显对应关系；而是主要分布在当冲组——抗风化强、富含地下水的硅质层或层间破碎带上，乃渗滤电场引起的异常（老鸦巢 ZK310 孔电测井，在含水或破碎的岩层上自电异常明显增大）。由于矿区内当冲组分布较广，自电异常亦遍及整个矿床区。

激电异常：据中区（百步蹬）矿床区几条剖面（图 4.2.5）观测结果显示，以视极化率 $\eta_S \geqslant 10\%$ 圈出的激电异常长 750m，宽 100 ~ 200m；呈北西西向展布，斜交于自电异常。

中区 A7 线物化探综合剖面（图 4.2.6）显示：激电异常北陡南缓，$\eta_{S\,max} > 18\%$，与自电异常极小值：$\Delta U_{min} \approx -260$mV 对应较好；在赋存黄铁矿的岩体接触带附近，联合剖面视电阻率 ρ_S 曲线显示，呈宽缓的低阻异常（ρ_S：40 ~ 100Ω·m）。

此外，岩体内接触带发现有放射性异常。

康家湾矿床。

重力异常：综合平面图显示（图 4.2.3）矿床区一带重力等值线迂回复杂，异常总体呈北东东向低缓的相对重力高，为隐伏倒转背斜轴部（P_1q）岩层与矿体的综合反映。

磁法异常：特征不明显，高精度磁测亦未发现有意义的异常。

电磁异常：瞬变电磁法结果显示（图 4.2.7），在已知矿体上，晚期道出现较明显的相对低阻异常，为矿与断层的综合反映。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

倒转背斜轴部含水挤压破碎带形成的渗滤电场，是自然电场法的主要干扰。

含炭质岩层及黄铁矿化围岩可能形成激发极化法的干扰异常。

● 李智，张九龄，李磊等。水口山矿田金矿富集规律及找矿靶区优选。湖南冶金地质局。

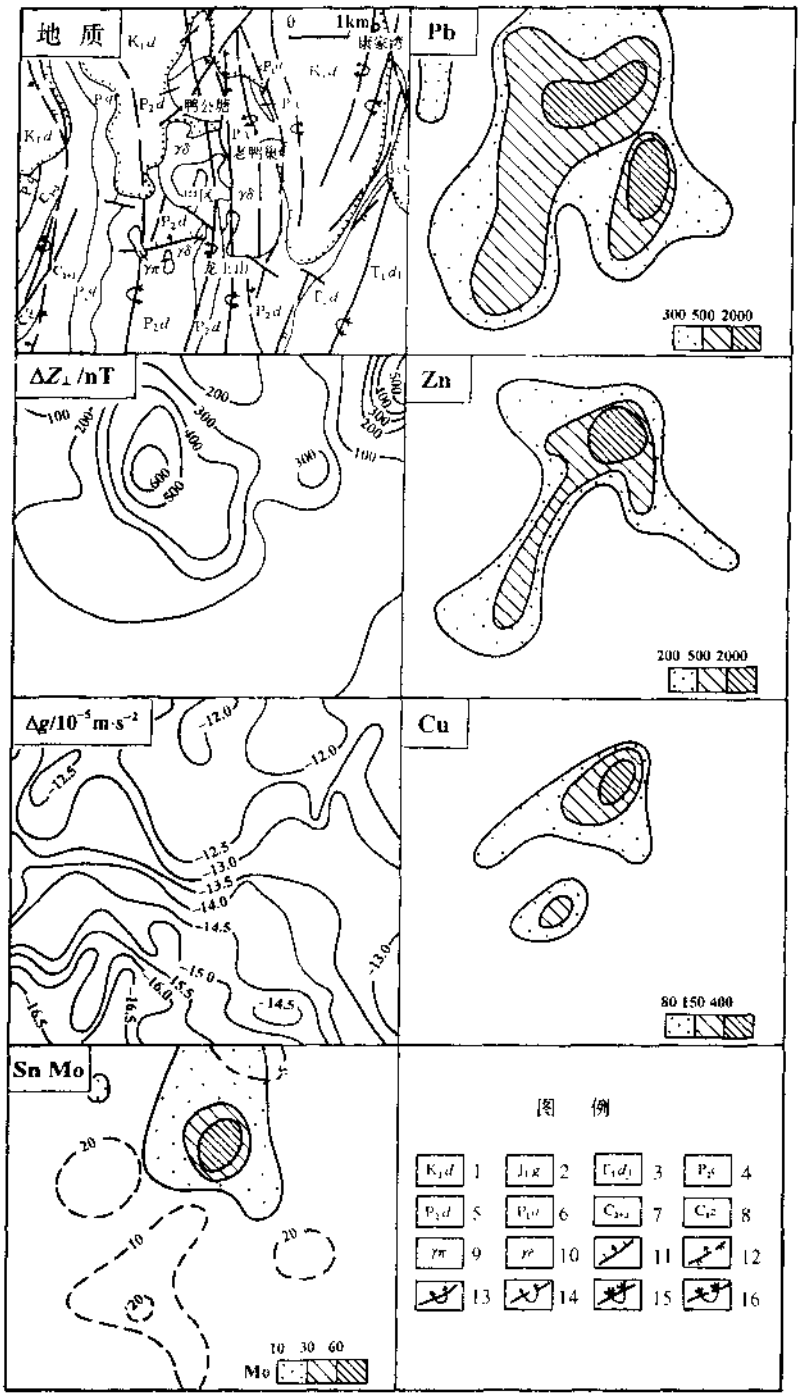


图 4.2.3 水口山矿田区物化探异常综合平面图

（据纵自强，吴延之等 1990 年资料编绘）

1—下白垩统东井组；2—侏罗系高家田组；3—下三叠统大冶群；4—上二叠统长兴组；5—上二叠统斗岭组；6—下二叠统栖霞组（P_1q 为栖霞组）；7—中-下石炭统壶天群；8—下石炭统梓门桥组；9—花岗斑岩；10—花岗闪长岩；11—正断层及编号；12—逆断层及编号；13—倒转背斜；14—隐伏倒转背斜；15—倒转向斜；16—隐伏倒转向斜，元素质量分数单位 10^{-6}

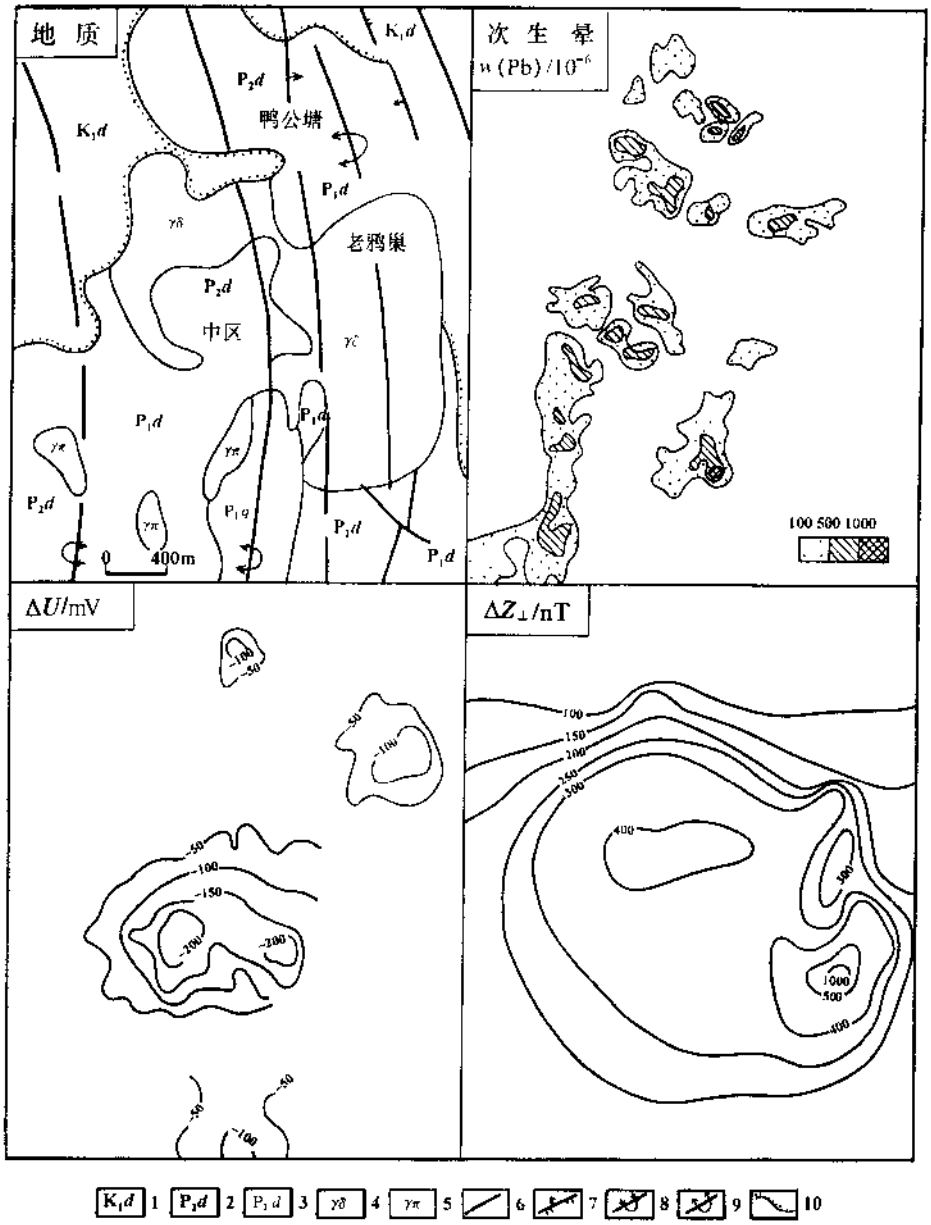


图 4.2.4　水口山矿床区物化探异常综合平面图

（据黄常勋等 1979；湖南冶金物理探矿队，1969 年资料编绘）

1—下白垩统红层；2—上二叠统砂页岩；3—下二叠统硅质页岩；4—花岗闪长岩；5—花岗斑岩；6—断层；7—逆断层；8—倒转向斜；9—倒转背斜；10—不整合。原资料中，ΔZ 异常形态确与图 4.2.3 不同，推测因 ΔZ 观测精度不同所致

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

据矿田区 7529 个岩石样的分析统计（表 4.2.5），Au、Ag、Cu、Pb、Zn 在花岗闪长岩

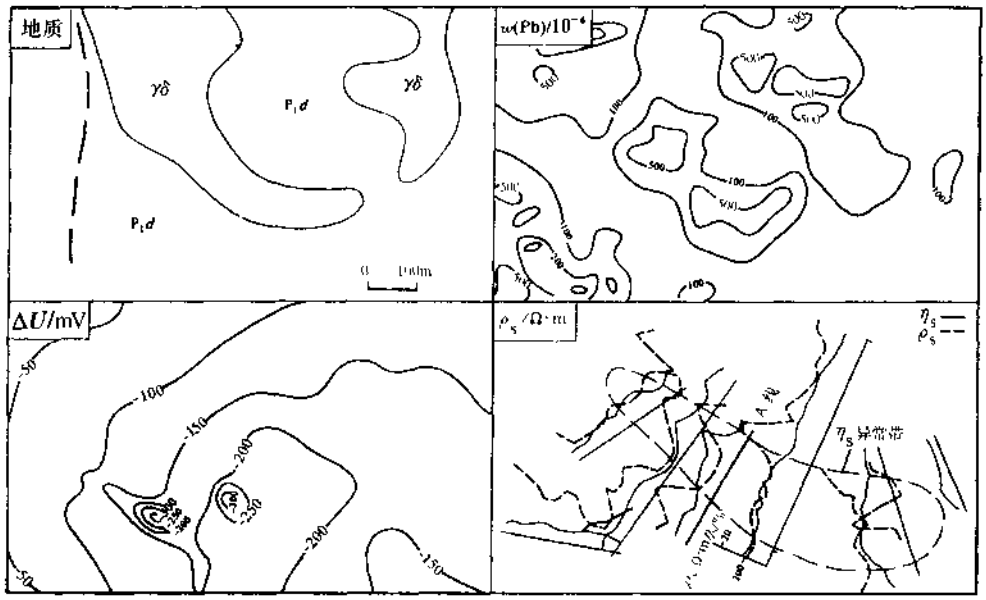


图 4.2.5 中区（百步磴）矿区物化探异常综合平面图

（据湖南冶金物理探矿队，1969 年资料编绘）

中含量最高（离差、浓集系数最大），显示了花岗闪长岩为成矿提供了一定矿质。

各类地层中以二叠系和白垩系中 Au、Ag、Pb、Zn 元素较为富集，表明这两个层位中主成矿元素背景含量高，是有利的成矿层位。

表 4.2.5 水口山矿田各地层单元及岩体中成矿元素含量特征

地层或岩体（代号）	Au		Ag		Pb		Zn		Cu	
	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数
下白垩统（K_1）	14.0	3.45	157	1.56	76	1.17	119	1.00	51	1.20
下侏罗统（J_1）	2.2	5.45	115	1.03	52	1.67	75	0.51	38	0.74
下三叠统（T_1）	2.8	0.68	101	0.71	47	0.36	126	0.56	59	0.61
下二叠统（P_1）	6.6	5.45	162	2.06	77	2.62	103	0.77	37	1.27
石炭系（C）	3.2	4.06	117	1.61	55	0.56	113	0.47	43	1.60
上泥盆统（D_3）	1.3	1.08	58	0.43	43	0.28	90	0.33	28	0.46
花岗闪长岩（$\gamma\delta$）	134.0	2.01	890	3.10	319	1.44	187	0.85	170	0.83
英安玢岩（$\delta\mu$）	1.4	0.93	78	0.41	59	0.32	99	0.28	45	0.35
中国花岗闪长岩*	0.7		57		18		60		18.5	

元素质量分数单位：Au、Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}，※为引自鄢明才等 1997 年资料，其他据刘石年 1996 年资料编。

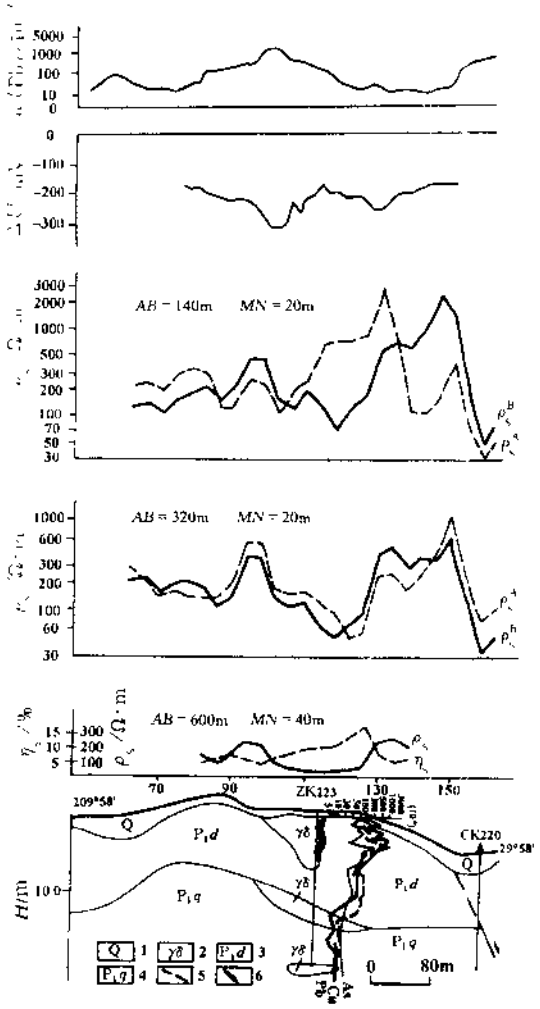


图 4.2.6 中区矿区 A7 线物化探综合剖面图

（据唐天河，1967 年资料编绘）

1—第四系；2—花岗闪长岩；3—砂岩夹炭质页岩；4—大理岩；5—正断层及编号；6—黄铁矿

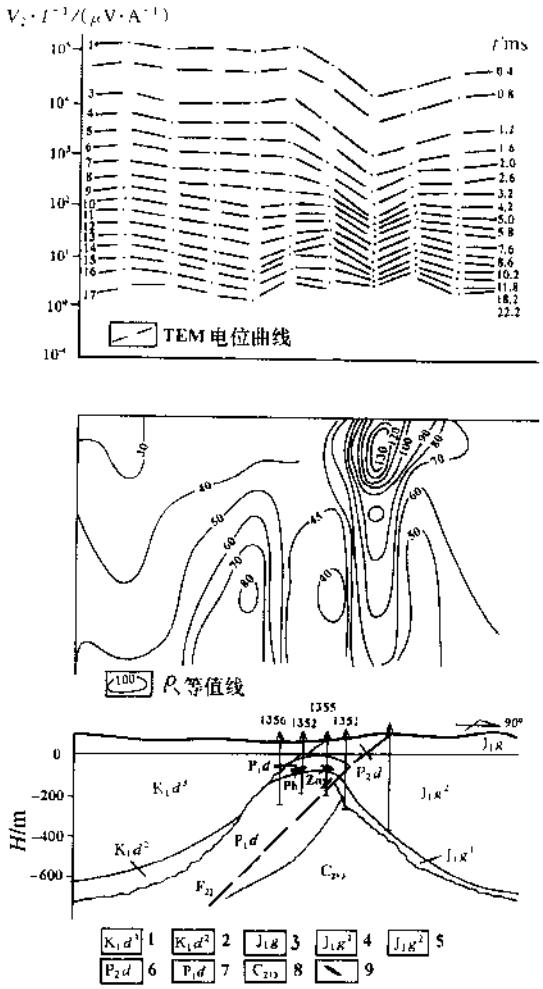


图 4.2.7 康家湾矿区 135 线东段 TEM 剖面图

（据李智，张九龄等资料编绘）

1—下白垩统东井组上段；2—东井组中段；3—侏罗系高家山组；4—高家山组下段；5—高家山组中段；6—下二叠统斗岭组；7—下二叠统当冲组；8—中—上石炭统；9—铅锌矿体

2. 地球化学异常

（1）矿田区。水系沉积物测量：Pb、Zn、Cu、Mo 及 Ag、As、Sn 等元素组合异常主要分布在水口山矿床区（图 4.2.3），其浓集中心位于水口山附近；其中 Pb、Zn 异常范围大、强度高、浓度分带明显。

土壤测量：成矿元素 Pb、Zn、Au、Ag、Cu 异常，受近 EW 向和 NE 向基底断裂影响而呈北西西向分布。异常强度北高南低；在矿田北部下白垩统与下伏岩层的不整合面附近，异常明显增大。水口山岩体接触带处的矿床区，成矿元素及 As、Sb、Sn 等元素异常，

具有规模大、分带明显、浓集中心清晰等特征。

岩石测量：水口山岩体接触带附近的矿床区，Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、Sn 等元素组合异常强度大、浓度分带明显；其他地段异常规模不大，或元素组合简单。康家湾矿床区仅有 Cu、Pb 元素的异常反映、呈近南北向分布，具有浓度分带；异常平均含量分别为：162.5×10^{-6}、650×10^{-6}。

（2）矿床区。

水口山（及鸭公塘、中区）矿床，

①岩矿石地球化学参数：矿石单矿物中微量元素及含量见表 4.2.6。方铅矿石中 Ag、Te 及 Bi 较高；闪锌矿中 Cd、Mn 最高；黄铁矿中以 Bi、Sd、Se 为最高。

表 4.2.6　水口山矿床区单矿物中微量元素含量表

矿物名称	Ag	Cd	Mn	Bi	Se	Te	Sb	Tl	Sn	Ge	Sb/Bi
方铅矿	1531	46	50	168	14	157	772	6.30	30	0.8	4.60
闪锌矿		2815	6193	3.9	3.3	12.5	0.1	5.37	26	20.8	1.25
黄铁矿	9.8	85	39	5220	168	77	3491	2.20	0.75		

元素质量分数单位为 10^{-6}。　　摘自湖南地质局物探队参考资料

②土壤测量：Pb 元素异常见图 4.2.4，除水口山岩体接触带附近矿床区有异常显示外，大部分 Pb 异常沿下二叠统当冲组分布，与含铁锰质岩石关系密切。与 Pb 组合的异常元素尚有 Cu、As、Ag、Sb、Bi、Sn、Mo 等。

康家湾矿床。

①主要地层岩性中微量元素平均含量列于表 4.2.7。区内当冲组、栖霞组 Pb 含量高达 517.3×10^{-6}、402.0×10^{-6}，Ag、As 含量亦相应的增高。此外，高家田组下段的 Pb、大冶群中 Cu、斗岭组中 Mo 都比较高；且大多数元素含量远高于区域沉积盖层的丰度值。

表 4.2.7　康家湾矿床区主要地层中微量元素平均含量

时代	地层		岩性	Cu	Pb	As	Sn	Mo	Sb	Ag	Hg
白垩系	东井组		紫红色砂页岩、砾岩	28.0	30.2	50.8	12.6	0.35	23.0		3.10
侏罗系	高家田组	上段	粉砂岩、页岩	25.5	17.0	28.7	2.2	0.31	85.0	0.20	0.57
		中段	砂岩、砂页岩	32.5	48.9	32.7	2.3	0.53	40.1	0.60	0.74
		下段	砾岩	59.3	109.1	38.5	5.0	7.60			
二叠系	大冶群		泥灰岩	146.4	37.7	15.5	12.4	0.43		0.13	
	斗岭组		砂页岩及含煤建造	56.9	89.2	43.1	27.3	13.60	14.5	0.21	
	当冲组		硅质岩、泥灰岩	65.4	517.3	222.4	27.2	2.71	19.3	1.29	
	栖霞组		灰岩	75.0	402.0	228.7	90.7	3.70	22.8	1.00	
中国东部华南褶皱系沉积盖层平均化学组成*				15	24	5.8	2.4	0.77	0.46	0.056	9.6

元素质量分数单位：10^{-6}；※引自鄢明才，迟清华，1997。

②据矿区 100 线钻孔岩芯 Pb 元素含量随深度的变化（图 4.2.8）显示，Pb 异常主要发育在倒转背斜的轴部挤压破碎及层间剥离地段，沿（F_{22}）断裂由地表向深部逐渐增强，其最高峰值超过 10000×10^{-6}。可利用原生晕异常研究构造，进而推测成矿的有利地段；ZK328 即此项研究的验证见矿孔。

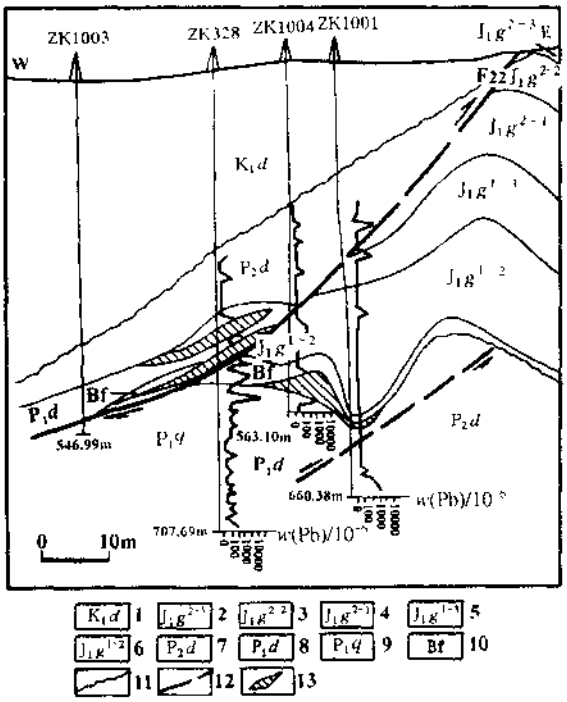


图 4.2.8　康家湾矿区 100 线岩芯 Pb 量变化曲线

（引自纪泉水等，1982）

1—下白垩统东井组；2—下侏罗统高家田组中段第三层；3—高家田组中段第二层；4—高家田组中段第一层；5—高家田组下段第三层；6—高家田组下段第二层；7—上二叠统斗岭组；8—下二叠统当冲组；9—下二叠统栖霞组；10—破碎带；11—地层不整合线；12—断层；13—铅锌矿体

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 水口山铅锌矿田地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 4.2.8。

2. 水口山铅锌矿田地质-地球物理-地球化学找矿模型示意图见图 4.2.9。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程。

（1）发现和圈定含矿岩体。以 1:20 万～1:10 万航磁和重力圈定中酸性岩体（岩体一般与重力过渡带或梯度带附近的范围较大、形态较规则的正负伴生磁异常对应）；以水系沉积物测量 Pb、Ag、Cd、Zn、Au、Cu、Sb、As、Sn 等元素组合异常大体判断岩体的含矿情况。

（2）圈定含矿接触带及矿异常。应用中—大比例尺地磁（或航磁）、重力、电磁法及化探（岩石、土壤测量）方法，勘查并圈定含矿接触带，分析研究矿异常及异常地质体产状。

（3）详查及勘探阶段。应用井中物探（声波、电磁波透视）、钻孔原生晕确定矿体产状，寻找井旁盲矿等。

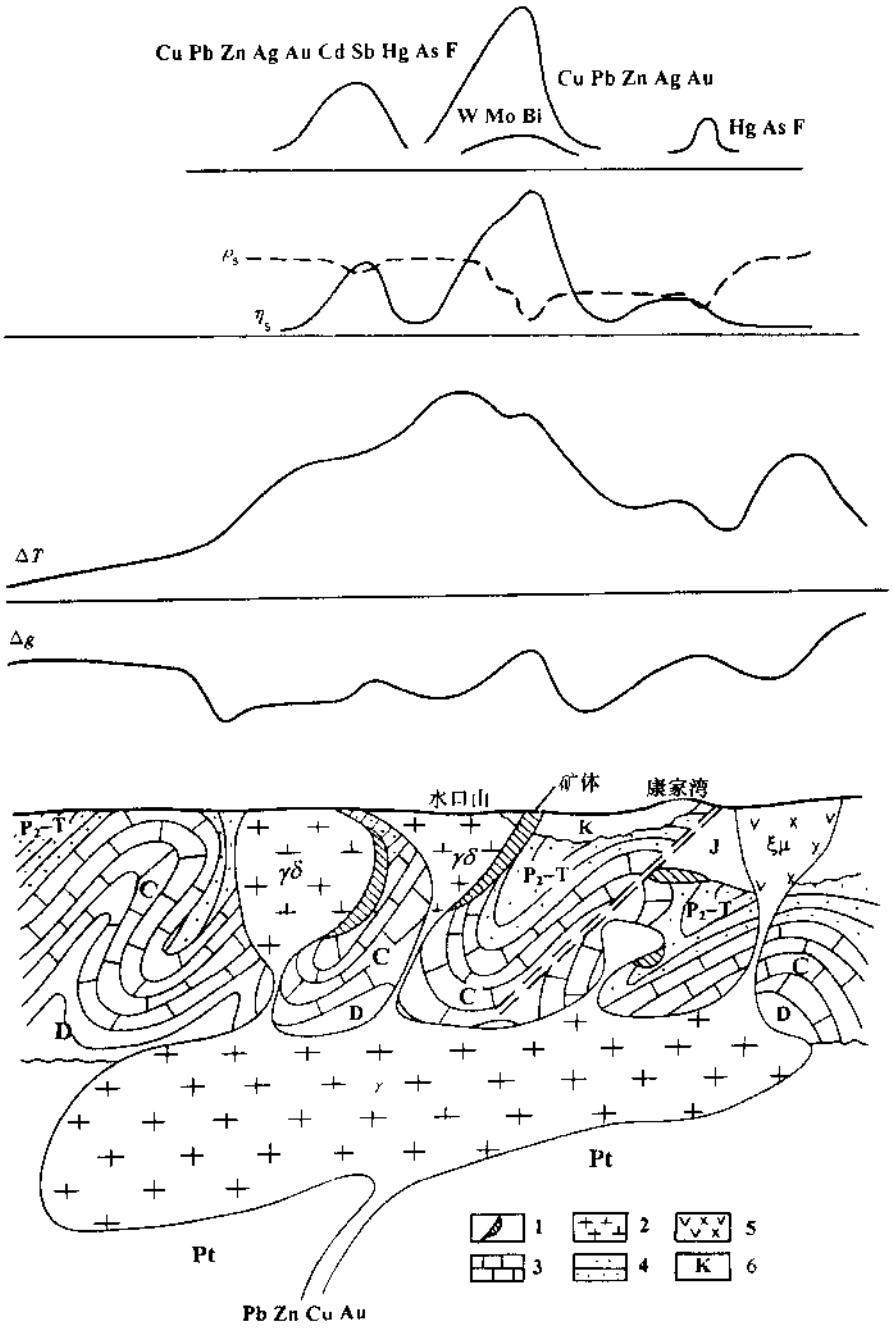


图 4.2.9　水口山铅锌矿田地质-地球物理-地球化学找矿模型示意图

1—矿体；2—花岗闪长岩；3—碳酸岩；4—碎屑岩；5—正长闪长粉岩；6—白垩系红层。

地质成矿模式据《中国矿床成矿模式》P153 图 3-3 略有修改；地质体相应物性特征见表 4.2.9

表 4.2.8　水口山铅锌矿田矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	衡阳断陷盆地的南缘，EW 向、SN 向、NE 向大断裂的交汇部位	
	地球物理场	近东西方向的较宽缓的重力异常梯度带上，等值线明显扭曲，异常形态复杂的相对重力高、近东西向航磁异常带的北侧，正负异常的分界线附近，矿田区磁异常形态较规则，正、负异常伴生，强度较高	
	地球化学场	区域地球化学异常规模大，具有 Pb、Ag、Cd、Zn、Au、Cu、Sb、Bi、As、Sn 等元素组合；其中 Pb、Zn、Cd、Ag、Au 异常呈似等轴状，叠合较好，尤其是内带更为明显	
地质	地　层	下二叠统栖霞组由含炭质条带状灰岩，含燧石灰岩组成，为铅锌金银的主要赋矿层位； 下二叠统当冲组含铁锰质岩、硅质页岩、泥灰岩等，为金矿的主要赋矿层位	
	构　造	二叠系构成的一系列近 SN 向的褶皱和断裂。其中复式褶皱中倒转背斜轴部及倾伏端，或两组以上不同方向断裂交叉部位为主要的导岩、导矿构造；矿床一般赋存于Ⅲ级褶皱中	
	岩浆岩	燕山期浅成、超浅成中酸性岩浆岩，与成矿关系密切的主要有花岗闪长岩及花岗闪长斑岩	
	围岩蚀变	水口山矿床：具有近千米的深厚、完整的接触变质蚀变的夕卡岩环带； 康家湾矿床：硅化、碳酸盐化、绢云母化为近矿围岩蚀变	
	赋矿部位	水口山：花岗闪长岩体超覆接触破碎带； 康家湾：侏罗系与石炭-二叠系不整合面附近	
	主要矿石矿物	水口山：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿；次有磁黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿及少量白钨矿、自然金等； 康家湾：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿；次有磁黄铁矿、毒砂、磁铁矿及少量自然金、银等	
	直接找矿标志	铁帽	
地球物理	探测目标物	燕山期浅成、超浅成中酸性岩体	铅锌硫化矿体
	目标物物性特征	中等密度（$2.68\times10^{3}kg\cdot m^{-3}$）； 中等磁性（0.4～0.6）$\times A\cdot m^{-1}$； 高阻、微极化	极高密度； 一般为微磁，含磁铁矿物较多时具中磁性； 低阻、高极化
	地表异常特征	重力梯度带上的局部扭曲部位； 负异常较弱，正异常强度较高的正、负异常伴生，形态较规则的磁异常； 高视电阻率，微弱视极化率异常	相对重力高（无实测资料）； 含磁铁矿较多时，在较宽的正磁异常旁显示； 局部磁异常增高； 相对低视电阻率、高视极化率异常； 有可能显示自电负异常
	干　扰	倒转背斜轴部含水挤压破碎带形成的渗滤电场，是自然电场法的主要干扰； 含炭质岩层及黄铁矿化围岩可能形成激发极化法的干扰异常	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Pb、Ag、Cd、Zn　Au、Cu、Sb、Bi、As、Sn 前缘元素： 近矿元素： 尾部元素：	
	元素浓度分带		
	主要元素异常形态与分布范围	水口山：岩体接触带附近异常强度大、浓度分带明显；其他地段异常规模较小或元素组合简单。土壤测量大部分 Pb 异常沿下二叠统当冲组分布，与含锰质岩石关系密切 康家湾：仅有 Cu、Pb 元素的异常反映，其平均含量为：162.5×10^{-6}、650×10^{-6}，呈近南北向分布，具有浓度分带	
	其他特征	利用原生晕异常研究构造，进而推测成矿的有利地段，ZK328 即为该项研究的验证见矿孔	
备　注			

表 4.2.9　地质体与物性体对应表

地质体			物性特征			
岩浆岩与地层	岩性	符号	密度/10^3kg·m^{-3}	磁性/A·m^{-1}	极化率	电阻率
矿体			极高（4.78）	微或中	中—高	低
岩浆岩	中酸性岩	γδ、ξα	中（2.68）	中（0.4～0.6）	微	高
石炭系	碳酸盐岩	C	中（2.70）	微	微	高
下二叠统—三叠系	砂页岩	P_2—T	低	微	微	中—高
白垩系	砂岩	K	低	微	微	中低

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 4.2.A　水口山铅锌矿田矿床地质特征简表。

表 4.2.B　水口山铅锌矿田矿床地球物理特征简表。

表 4.2.C　水口山铅锌矿田矿床地球化学特征简表。

表 4.2.A　水口山铅锌矿田矿床地质特征简表

地理位置	湖南省常宁县城东约 30km　　1:20 万图幅：G-49-（17）		
矿床类型	夕卡岩型及热液交代充填型	矿石建造	Pb、Zn、Au、Ag（S、Cu、Fe、Ge、Se 等）
矿床规模、品位	大型，Pb：2.50%～3.92% Zn：2.57%～4.48% 康家湾：Au 3.25～9.43g/t，Ag 88.74g/t	容矿岩石	水口山：花岗闪长岩与大理岩接触破碎带或夕卡岩化大理岩； 康家湾：硅化破碎带，硅质泥灰岩
地质成矿环境	构造背景	江南古陆东南缘，耒阳—临武近 SN 向构造带北端，衡阳断陷盆地的南缘	
	地层	中生界：主要有下白垩统东井组红层，下侏罗统高家田砾岩及下三叠统大冶泥灰岩； 古生界：主要有下二叠统栖霞组由含炭质条带状灰岩，含燧石灰岩组成，为铅锌金银的主要赋矿层位；下二叠统当冲组含铁锰质岩、硅质页岩、泥灰岩等，为金矿的主要赋矿层位，次为中上石炭统壶天群白云岩及部分上泥盆统锡矿山组	
	构造	二叠系呈一系列近 SN 向的褶皱和断裂，褶皱构造发育，可分为三级：其中分布于Ⅱ级褶皱中的Ⅲ级褶皱：鸭公塘、老鸦巢倒转背斜和康家湾隐伏倒转背斜等与成矿关系密切。断裂构造亦可分为三级，Ⅰ、Ⅱ级为 NNE 向或 SN 向的逆冲断裂；Ⅲ级为规模更小的 NE、NW、EW 三组断裂	
	岩浆岩	燕山期浅成、超浅成中酸性岩浆岩，出露的主要有花岗闪长岩及一些花岗斑岩、石英闪长斑岩 水口山花岗闪长岩分东、西两个岩体，分别侵入于老鸦巢和鸭公塘两个倒转背斜，出露面积为 1.8km² 和 0.8km²，属贫 Si，富 Fe、K，Al 过饱和，偏碱性的中酸性岩	
	主要控矿因素	区域性 EW 向、SN 向和 NE 向几组深断裂带交汇部位控制矿田。 复式褶皱中的倒转背斜轴部及倾伏端，或两组以上不同方向断裂交叉部位为主要的导岩、导矿构造。 花岗闪长岩及花岗闪长斑岩的成岩后期岩浆热液提供了主要成矿物质。 花岗闪长岩体超覆接触破碎带或侏罗系与石炭系-二叠系不整合面附近的破碎带为主要容矿构造	
矿床特征	成矿岩体	花岗闪长岩	
	容矿构造	水口山：花岗闪长岩体超覆于下二叠统碳酸盐岩的接触变质破碎带； 康家湾：远离岩体接触带的侏罗系与石炭系-二叠系不整合面附近 F_{22} 断层硅化破碎带	
	矿化阶段	具有多期、多阶段成矿特点，成矿期包括夕卡岩期、热液交代硫化物期和碳酸盐期，其中热液交代硫化物期为主要成矿期	
	蚀变	水口山：岩体与围岩间有近千米的完整接触变质蚀变环带，由内→外：钾长石化、绿泥石化、黄铁矿化→绢云母化→夕卡岩化或角岩化带；宽约 20m，延深 1200m 左右。 康家湾：硅化、碳酸盐化、绢云母化、夕卡岩化、绿泥石化等；前三种蚀变为近矿围岩蚀变	
	矿化分带	水口山：具明显的蚀变-成矿水平分带：夕卡岩及钨钼铋矿化→夕卡岩化大理岩及石英、黄铁矿、金铜矿化→大理岩及铅锌矿化等分带，自上而下大体呈黄铁矿→铅锌矿→铜铁矿分带。 康家湾：南段以黄铁矿、铅锌矿为主，北段铅锌银金增多	
	矿体特征	金属矿物：水口山：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿；次有磁黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿及少量白钨矿等。 康家湾：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿；次有磁黄铁矿、毒砂、磁铁矿及少量自然金、银等	
		矿石特征：水口山：矿石构造有块状、团块或斑点状、浸染状等。 康家湾：矿石构造有块状、条带状、环带状及脉状	
		矿体形态：水口山：形态复杂，呈筒状、扁豆状、脉状、不规则状。 康家湾：呈似层状、透镜状，产状平缓与倒转背斜或硅化破碎带基本一致，北浅南深	
	脉石矿物	水口山：主要有方解石、石英，次有石榴子石、透辉石等。 康家湾：主要有石英、玉髓，次有方解石、水云母-绢云母等	
表生地质	氧化带由几米至数十米的残积或残坡积疏松层组成，水口山岩体接触带附近氧化带中发育有铁帽		
地貌景观	湿润低山丘陵		
备　注			

表 4.2.B　水口山铅锌矿田矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	区域背景场处于湘东南衡阳（盆地）重力高南侧，近东西向的较宽缓的梯度带上，水口山一带重力异常显示为北东高、南西低，等值线呈北西向的宽缓梯级带分布
	磁　场	处于湘南北部零陵—水口山—五峰仙东西向航磁异常带北侧正、负异常分界线附近，矿田区磁异常形态较规则、呈正、负异常伴生，强度较高。其主体为埋深较大的隐伏岩体与水口山岩体的综合反映　南侧正异常南北向略长，极值 $\Delta T_{max} > 400nT$，外圈等值线明显扭曲，间隔宽缓；北侧负异常东西向拉长，$\Delta T_{min} < -300nT$
矿区（田）异常	重力异常	矿田附近重力等值线明显扭曲、形态复杂，其间相对重力高、低异常与岩性及矿化-蚀变有关。除碳酸盐地层上形成较明显的重力高外，矿化-蚀变发育地段，如老鸦巢、鸭公塘、中区和康家湾矿床区附近亦显示呈相对重力高；而煤系地层上，则显示为相对重力低
	磁力异常	航磁化极 ΔT_ 异常似等轴状，中心位于水口山岩体中部，强度 > 600nT，梯度较陡；外围等值线稀疏，ΔT_ 100nT 闭合范围 70km² 左右，北部有微弱负值、东部岩体南段异常增大。老鼻山岩体上，局部异常明显，ΔT_ $_{max} > 400nT$
	电异常	
	其他	
矿床（体）异常	重力异常	水口山：矿床区 1:5 万重力异常显示为相对重力高。 康家湾：1:5 万重力等值线迂回复杂，异常总体呈北东东向，其低缓的相对重力高，为隐伏倒转背斜轴部岩层与矿体的综合反映
	磁力异常	水口山：异常由规模较大的近圆形区域异常和水口山局部磁异常组成。以正异常为主，ΔZ 强度 500 ~ 1200nT，负值不明显。矿区附近出现次级异常或等值线明显迂回。 康家湾：磁异常特征不明显，高精度磁测亦未发现有意义的异常
	电异常　激电异常	水口山：中区（百步蹬）矿区剖面性激电观测，以 $\eta_s \geq 10\%$ 圈出的激电异常长 750m，宽 100 ~ 200m；呈北西西向展布，与自电异常斜交。 A7 线剖面显示：异常北陡南缓，$\eta_{s\,max} > 18\%$，对应于赋存黄铁矿的岩体接触带附近
	电异常　电阻率异常	水口山：中区矿区联合剖面视电阻率曲线显示呈宽缓的低阻（$\rho_S = 40 \sim 100\Omega \cdot m$）
	电异常　电磁异常	康家湾：矿体上瞬变电磁法晚期道，出现较明显的相对低阻异常，为矿与断层的综合反映
	自电异常	水口山：异常梯度平缓，ΔU 幅值 -100 ~ -300mV。除鸭公塘异常范围较小外，一般范围较大，-50mV 等值线圈闭范围：0.4 ~ 1.7km²，异常中心与浅部矿体无明显对应关系；异常主要分布在抗风化强、富含地下水的当冲组硅质层或层间破碎带上； A7 线剖面上，ΔU_{min} 约 -260mV 左右极小值与激电异常对应较好

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/（$10^3 kg \cdot m^{-3}$）		磁性		电性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi \times 10^{-6}SI$	$M_t/10^{-3}A \cdot m^{-1}$	$\eta/\%$	$\rho/\Omega \cdot m$
	铅锌矿石	4.78		$< 10^1 \sim 10^2$	$< 10^0 \sim 10^1$	10 ~ 40	
	黄铁矿矿石	3.99		$< 10^1 \sim 10^2$	$< 10^0 \sim 10^1$		
	磁铁矿石			6.76×10^4	7.61×10^3		
	夕卡岩			2.50×10^2	2.70×10^1		
	大理岩	2.70					
	花岗闪长岩	2.68		1.13×10^3	7.50×10^1		
	花岗闪长斑岩			6.50×10^2	4.00×10^2		
	矿化蚀变岩石					10 ~ 40	
	未蚀变岩石					1.5 ~ 2.0	
	备　注						

表 4.2.C　水口山铅锌矿田矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Pb、Ag、Cd、Zn、Au、Cu、Sb、Bi、As、Sn														
	空间分布	区域地球化学异常（1:20 万）规模大，元素组合复杂，Pb、Zn、Cd、Ag、Au 异常呈似等轴状，叠合较好，尤其是内带更为明显。 矿田区（1:10 万）呈 Pb、Zn、Cu、Mo 及 Ag、As、Sn 等元素组合异常，其浓集中心位于水口山附近；其中 Pb、Zn 异常范围大、强度高、浓度分带明显														
	元素浓度分带	Pb：30～60～120　Ag：100～200～400　As：20～40　W：>5　Mn：200～400 Zn：80～160～320　Au：3～6～12　Sb：3～6～12　Sn：>5　B：100～200 Cu：35～70　Cd：0.5～1.0～2.0　Bi：0.5～1.0～2.0　Mo：1.0～2.0　Be：8～16														
	元素水平分带															
	其他特征	土壤测量：成矿元素 Pb、Zn、Au、Ag、Cu 异常受近 EW 向和 NE 向断裂影响，呈北西西向分布，强度北高、南低，在矿田北部下白垩统与下伏岩层的不整合面附近，异常明显增大，岩体接触带处矿体区，成矿元素及 As、Sb、Sn 等元素异常，具有规模大、分带明显、浓集中心清晰等特征														
矿床异常	元素组分	地表										断面				
		Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、Sn 等														
	空间分布	水口山：岩体接触带附近异常强度大、浓度分带明显；其他地段异常规模较小或元素组合简单。 土壤 Pb 异常主要沿下二叠统当冲组分布，与含铁锰质岩石关系密切。 康家湾：仅有 Cu、Pb 元素的异常反映，呈近南北向分布，具浓度分带，其平均含量分别为：162.5×10^{-6}、650×10^{-6}											康家湾：100 线 Pb 元素含量随深度的变化显示：Pb 异常主要发育在倒转背斜的轴部挤压破碎及层间剥离地段，沿 F_{22} 断裂由地表向深部逐渐增强，10000×10^{-6}				
	元素浓度分带															
	元素分带序列															
	元素间相关性	土壤测量除 Pb 元素异常外，尚有 Cu、As、Ag、Sb、Bi、Sn、Mo 等元素异常														
	其他特征	利用原生晕异常研究构造，进而推测成矿的有利地段，ZK328 即为其验证见矿孔														
矿体剥蚀程度评价指标																
岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
	铅锌矿石	305	HL	6431		487	58	28	0.6	6	3	291	103	94	30	50
	黄铁矿石	533	2609	3277		21	9.1	14	5.9	7	5	333	21	7	50	22
	硅质岩、泥灰岩*	65.4	517			1.29		27	2.7			222	19			
	灰岩**	75.0	402			1.00		91	3.7			229	23			
	花岗闪长岩	122	45	141		0.87	5.0	4	3.5	6	6	49	35	2.5	270	2
	强蚀变花岗闪长岩	184	386	675		0.80	7.0	14	4.4	25	9	34	19	3	170	6
备　注		元素质量分数单位：Au、Ag、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；*：下二叠统当冲组；**为下二叠统栖霞组														

第五章　海相火山岩型矿床（田）

第一节　甘肃白银厂铜多金属矿田

白银厂矿田[1][2] 位于甘肃省白银厂市境内，由折腰山、小铁山（大型），火焰山（中型）和铜厂沟、四个圈（小型）五个矿床组成，面积约 25km^2。以折腰山铜锌矿床和小铁山多金属矿床为建模矿床。

一、区域背景[3][4]

白银厂矿田位于北祁连加里东优地槽褶皱带东段中部火山岩带。该火山岩带呈 NWW 向分布，长 110km，宽 10～15km，由寒武系—奥陶系连续分异的细碧岩—角斑岩—石英角斑岩，以及相应的次火山岩、熔岩、火山碎屑岩组成的较完整的火山岩系。其中，白银厂寒武纪火山岩穹，呈近东西向展布，约 350km^2。白银厂矿田位于火山岩穹的中部。

区域重力场呈长轴为东西向的椭圆形重力高（图 5.1.1），Δg_B 11 × 10^{-5}m·s^{-2}等值线圈闭约长 15km、宽 12km；区域磁场表现为在北西西向长椭圆形低缓 ΔT 正磁场背景上，叠加了众多强度 80～350nT 的局部异常群。该椭圆形高重、高磁异常，大体与白银厂火山岩穹对应；白银厂矿田位于该高重、高磁异常的东缘。

二、成矿环境

1. 地层

出露地层以早古生代海底火山喷发沉积和海相碎屑沉积岩为主。赋矿层为一套由基性到酸性分异明显的寒武纪火山岩系，其岩性主要为石英角斑凝灰岩、石英钠长斑岩、细碧岩等，其次为中基性火山-沉积岩（含凝灰质、泥钙质、泥硅质千枚岩等）。可划分三个岩组（旋回）、六大岩层（亚旋回）；有三个含矿层：上部含矿层有折腰山、火焰山矿床（Cu-S）；中部有小铁山、四个圈矿床（Pb-Zn-S）；下部有铜厂沟矿床（Cu-S-Pb-Zn）。

2. 构造

矿田为一复式背斜构造，矿床区均位于石英角斑岩、石英角斑凝灰岩为核心的短轴背斜构造内；局部常见牵引褶曲及次级紧闭褶皱。断裂主要有 NWW、NEE 和 NNE 向三组。

---

[1] 左介辞，周世德等，白银厂块状硫化物矿床及地质考察路线简介　国际硫化物矿床专题学术讨论会，野外考查指导书，1991。

[2] 赵海如，李百祥。甘肃省白银地区物化探大比例尺铜、多金属矿成矿预测报告，甘肃省地矿局物探队，1990。

[3] 夏林圻，夏祖春，祁连山地区与海相火山岩有关的铜、多金属矿成矿条件和找矿预测研究（85-901-02-02），西安地矿所，1992。

[4] 李百祥，匡世。甘肃省白银市白银矿区近外围铜、多金属矿物、化探普查报告。甘肃省地矿局物探队，1992。

白银厂矿田火山岩穹平面呈椭圆形，约东西长 7km，南北宽 5.6km（图 5.1.3），中心为酸性石英角斑质火山岩；四周为基性细碧岩质火山岩及中性角斑岩质火山岩分布。岩穹有东、西两个喷发中心，其上又有若干受 NWW 和 NE 向两组成岩断裂、交叉控制呈棋盘

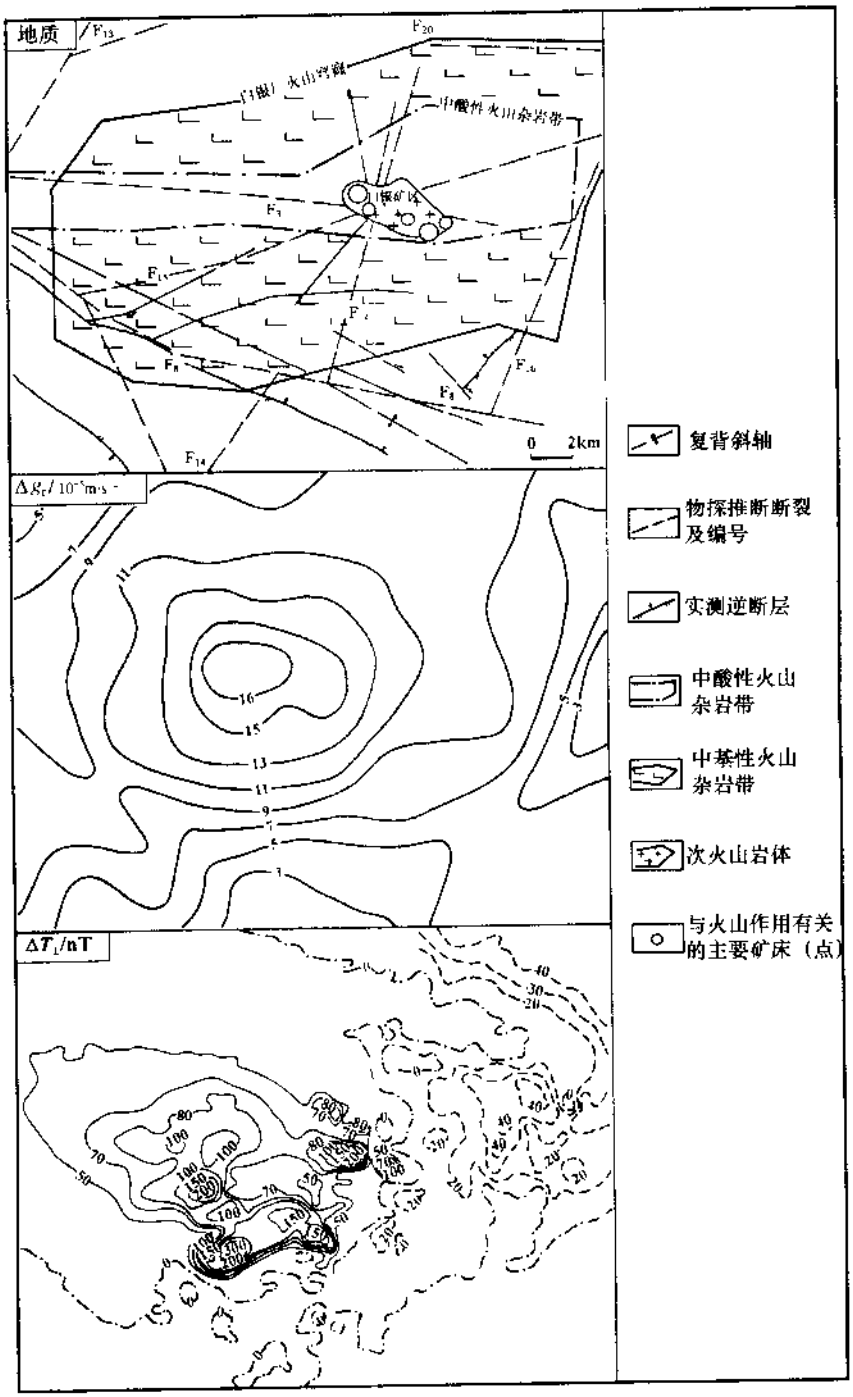


图 5.1.1 白银厂地区区域地球物理场剖析图

（据李百祥等 1992 年资料编绘）

状分布的火山口和寄生火口，已知工业矿床的性质、分布与古火山构造密切相关。

3. 岩浆岩

区内侵入岩不甚发育，主要为加里东中—晚期岩浆侵入，以黑云母花岗岩、钠长花岗斑岩和钠长花岗闪长岩为主。

岩浆侵入活动与火山活动受同一构造控制，可能属同源产物；两者有继承关系。

4. 区域地球化学

（1）微量元素的平均含量。矿田区赋矿地层中主要岩性的微量元素平均含量列于表5.1.1。其中，中部岩组第三岩层成矿元素 Cu、Pb、Zn 明显偏高。各类岩石中微量元素平均含量见表5.1.2。

表 5.1.1　白银厂矿田各地层中主要岩性微量元素平均含量

岩组	岩层	主要岩性	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Hg	Mn	Ba
上部	第六岩层	硅化片岩、板岩	20	10	< 50	47	6	0.18	1090	260
	第五岩层	细碧岩夹大理岩	30	13	< 50	35	10	0.08	4620	370
中部	第四岩层	细碧玢岩、角斑岩	40	10	< 50	39	9	0.23	2620	1000
	第三岩层	石英角斑岩及石英角斑凝灰岩	50	28	120	13	7	0.16	2140	300
	第二岩层	细碧岩、大理岩、细碧玢岩	60	16	60	50	13	0.43	1330	580
下部	第一岩层	方解石片岩	20	8	< 50	40	7	0.46	2000	700

元素质量分数单位：10^{-6}。　　引自陈兰桂，1982。

可见：

①容矿岩石石英角斑凝灰岩中 Cu、Pb、Zn 成矿元素较其他岩性具较高的背景含量；

②Ni、Co、Mn 随火山岩从酸性→基性含量递增，片岩和千枚岩中的含量稍有增高；

③石英钠长斑岩中，Cu、Zn 含量较高，次为细碧玢岩凝灰岩，显示 Cu、Zn 富集与后期石英钠长斑岩的侵入密切有关。

表 5.1.2　白银厂矿田各种岩石微量元素平均含量

	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mo	As	Sn	Ag	Ba	Mn	Hg	n =
石英角斑岩	22.6	13.7	65.6	7.0	8.3	0.8							76
石英角斑凝灰熔岩	35.6	8.6	65.1	6.5	7.0	0.9			0.2				
石英角斑凝灰岩	32.3	10.2	66.7	7.7	11.6	1.0	20.1	6.3	0.2	383	885	10.6	461
角斑凝灰岩	33.8	16.3	76.2	10.9	12.2	0.7			0.2	325	911		27
细碧玢岩凝灰岩	44.3	23.1	87.0	11.4	10.6	0.7			0.1	312	1272	11.1	80
绢云母片岩	37.2	13.9	72.0	10.2	10.1	0.7			0.2				86
千枚岩	25.7	16.2	68.7	10.9	11.1	1.0			0.1	311	1388	5.9	40
石英钠长斑岩	74.2	13.7	95.2	6.0	7.4	0.8			0.2				
花岗斑岩	36.0	22.1	65.8	7.9	9.5	1.1			0.1				

元素质量分数单位：Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　引自赵海如，李百祥，1990。

（2）区域地球化学异常特征。白银厂地区地貌景观为干旱荒漠，局部黄土覆盖，气候干旱，干涸沟系发育，植被稀疏；基岩裸露，岩石物理风化强烈，次生晕不发育，异常范围不大。

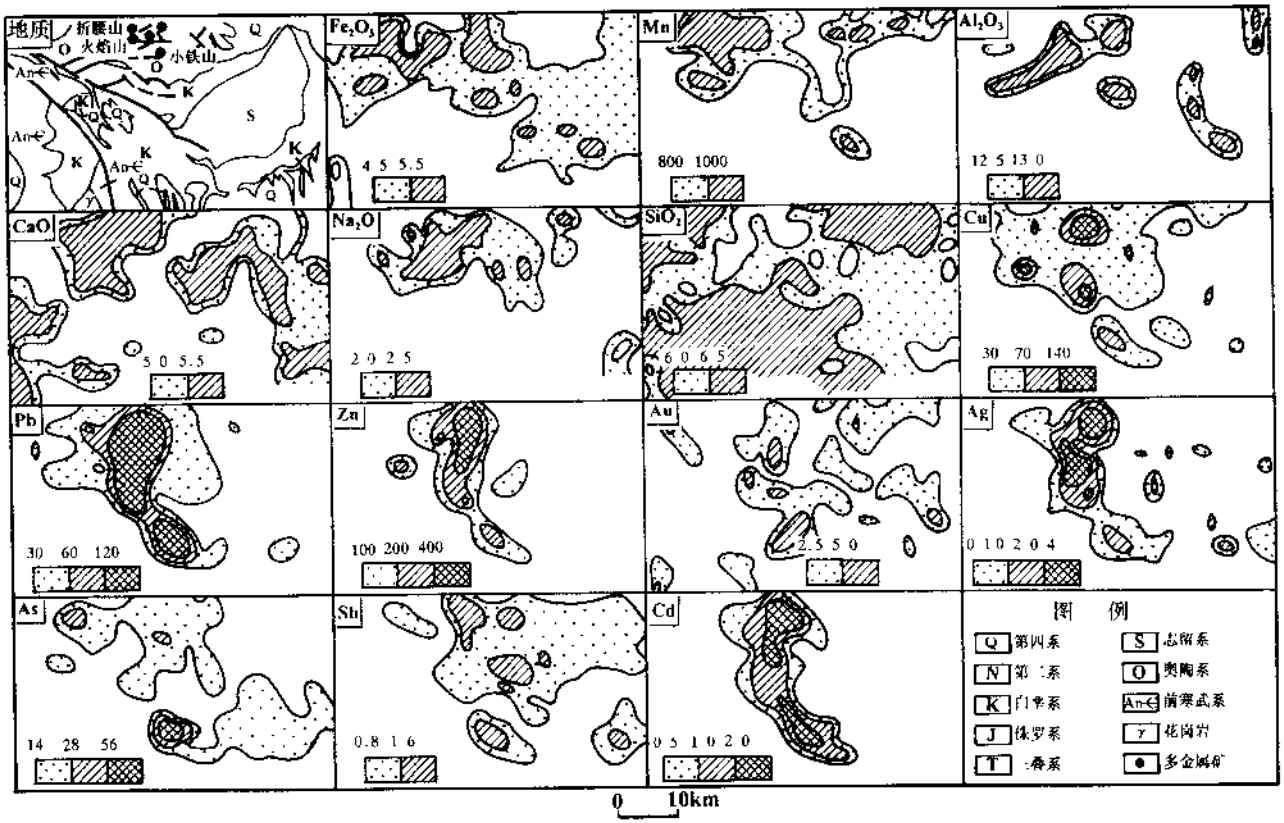


图 5.1.2 白银厂地区成矿环境与微量元素异常分布图

(引自占平等,等,1995)

Fe_2O_3、Al_2O_3、CaO、Na_2O、SiO_2 的质量分数为 10^{-2},Au 质量分数为 10^{-9},其余为 10^{-9}

1:20万水系沉积物测量（图5.1.2）显示：白银地区Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、Hg、Sb、Bi等元素异常衬值高❶，浓集中心明显，高值区相互叠合；Au、As、Mo异常较弱。成矿地球化学环境中Fe_2O_3、Mn、CaO、Na_2O、Al_2O_3等呈近东西向异常，范围大，有浓度分带。其中Na_2O、Al_2O_3的高值区大于矿田范围；Mn高值区在矿田的东、西两侧；SiO_2与上述组分相反，即在矿田上呈明显的低值，五个矿床均处于小于60%的含量范围内。

5. 区域地球物理场

重力垂向二次导数Δg_{zz}异常（图5.1.3）显示：矿田区处在由多个局部重力低组成的北西西向负重力异常带上，Δg_{zz}（$-25\sim-35$）$\times10^{-9}m^{-1}s^{-2}$等值线圈闭范围，与密度低于中基性火山岩和沉积变质岩的酸性火山岩的分布范围对应。

$\Delta T_{\perp}$图上，矿田处于椭圆形正异常北东侧的$-10\sim-30$nT零星负磁异常分区区，反映区内矿及围岩的磁性均很微弱，且不均匀；椭圆形正异常为基性火山岩的反映。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

已发现五个矿床，按其产出部位分两类：

（1）火口型：产于火山口及其近侧，有折腰山、火焰山、铜厂沟矿床；

（2）火山斜坡型：产于火山斜坡上，有小铁山、四个圈矿床。

矿体均成群成带出现，每个矿床由几个乃至二百多个矿体组成，但主要矿体仅有几个。各矿床的矿体规模见表5.1.3

表5.1.3 白银厂矿田各矿床的矿体规模

矿床	矿床规模/m		矿体数	主矿体数	主矿体规模/m		
	长	宽			长	宽	斜深
折腰山	1600	100～150	193	3	350～600	15～130	45～600
火焰山	1400	300左右	253	3	250～400	5～55	200～300
小铁山	1000	50～100	12	3	100～300	5～45	460～530
铜厂沟	1000	500～700	190	矿体分散，规模小			
四个圈	400	160左右	28				

引自左介辞等，1991。

矿体产状与围岩片理方向基本一致，自西向东走向呈110°～135°间变化，倾向SW，倾角50°～80°，局部直立。矿体形态以透镜状、扁豆状、似层状为主，次为脉状、楔状，常见其分枝、复合、膨胀、狭缩等现象。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石工业类型可划分为：块状铜铅锌矿石、块状含铜黄铁矿石、浸染状铜铅锌矿石、浸染状铜矿石和黄铁矿石。

❶ 图5.1.2中矿田区异常向南延伸部分，为白银选矿厂造成的污染异常。

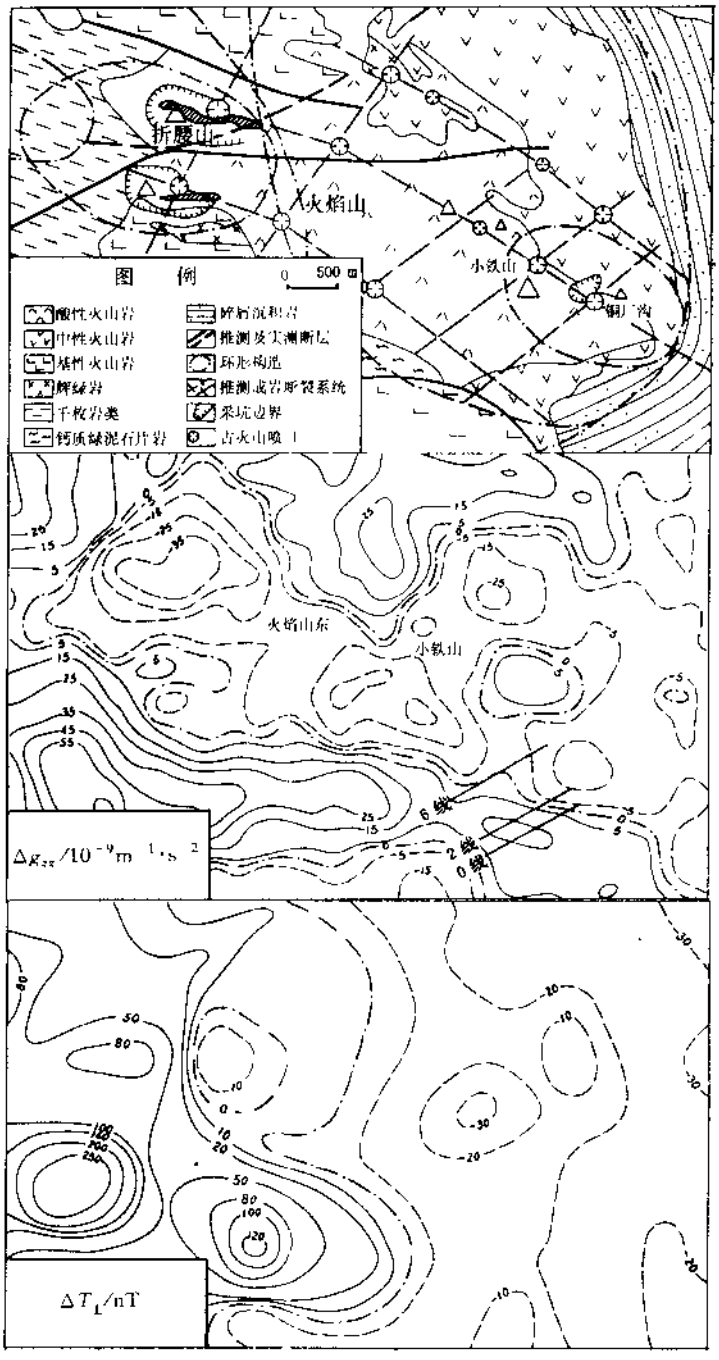


图 5.1.3 白银厂矿区地球物理区域场剖析图

（据夏林圻（地质），李百祥（物探）资料编绘）

△为已知矿

矿物组合：

折腰山矿床：主要有：黄铁矿、黄铜矿。次要有：闪锌矿、方铅矿、黝铜矿，及少量磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、硫砷铜矿、白铁矿、方黄铜矿、辉铋矿、自然金、自然银、斑铜矿等. 脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、碳酸盐等。

小铁山矿床：主要有：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿。次要有：黄铜矿、砷黝铜矿、斑铜矿，及少量毒砂、磁铁矿、菱铁矿、黝铜矿、自然金、金银矿等。脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、白云母、重晶石等。

3. 矿化阶段及分带组合

可分为两个成矿期，五个矿化阶段，即火山喷发成矿期和热液成矿期的四个矿化阶段。折腰山矿床形成于火山喷发成矿期和热液成矿期第一、第三矿化阶段；小铁山矿床是在火山喷发成矿期堆积黄铁矿石过程中，叠加热液成矿期第一、第三矿化阶段形成的。

矿化分带一般为上部铅锌较多，下部铜含量增多，铅明显减少。

折腰山矿床：已被侵蚀掉三分之一，铜铅锌储量中铜占88%，铅不足1%。具有明显的垂直分带现象。上部氧化带主要由铁帽组成；次生富集带，一般厚15m左右，富集有次生铜矿物；下部为原生带。

小铁山矿床：储量中铜仅占22%，铅占21%；铜向下有增加趋势。

4. 蚀变类型及分带

围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、重晶石化、绿帘石化等，以及赤铁矿化、黄钾铁矾化、高岭土化等次生蚀变。

矿体周围蚀变带发育，其形态与矿体相似，由含矿地段向外，蚀变强度逐渐减弱。以无长石带组成蚀变带核心，向外依次为：假象无长石带—长石被中等交代带—长石弱交代带—原岩带。无长石带从下向上又构成次生石英亚带—绢云母石英岩亚带—石英绢云母亚带的一次或多次重复现象。

所有矿体均赋存于无长石带，且与其规模及内部分带的明显程度呈正相关。

5. 氧化带

折腰山矿床：氧化带较发育，厚30～40m，可分为风化带（铁帽）、淋失带和次生硫化富集带。

小铁山矿床：除其西端有小规模铁帽外，几乎全为盲矿。

6. 主要控矿因素

以酸性石英角斑质火山岩为中心，四周分布着基性细碧岩质火山岩及中性角斑岩质火山岩的白银厂矿田火山岩穹，控制了矿田和矿床的性质与分布。

矿化作用与石英角斑岩浆活动有关；矿床的容矿围岩为石英角斑岩凝灰岩段，矿体赋存于凝灰质沉积岩夹薄层泥质千枚岩、板岩互层沉积-火山岩组内，与地层大致呈整合产出，明显受岩性及层位控制。

矿体均产于强蚀变带中，显示成矿与热液活动关系密切。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

白银厂矿田区主要岩矿物性统计见表5.1.4。图5.1.4、5.1.5、5.1.6分别为矿田西Ⅳ

表 5.1.4　白银厂矿田区岩矿石物性参数统计表

岩矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}			弱－微磁(块数)	磁化率/$4\pi\times10^{-6}$SI		剩磁/10^{-3}A·m^{-1}		极化率/%			电阻率/Ω·m		
	n	常见值	变化范围	无磁	常见值	变化范围	常见值	变化范围	n	常见值	变化范围	n	常见值	变化范围
块状含铜黄铁矿	85	4.74	4.15～4.90	16/128	5.18×10^2	10～4100	8.2×10^1	20～1090	130	27.5	11.4～51.0	94		0.05～14.7
浸染状含铜黄铁矿	44	3.83	3.09～4.14									22		0.10～630
块状多金属矿	16	4.40	3.36～4.82	5/15	4.03×10^2	170～795	4.7×10^1	22～103	16	21.1	10.7～29.8	15		0.11～50
矿化石英角斑凝灰岩	54	2.81	2.61～3.22	10/55	2.0×10^1	8～41	0.4×10^1	1～12	55	2.7	0.1～28.3	53	1.08×10^3	40～11300
石英角斑凝灰岩(钻孔)	873	2.74	2.33～3.09	54/833	1.6×10^1	1～65	0.3×10^1	1～16	848	1.1	0.1～10.7	62	2.94×10^3	70～11300
石英角斑凝灰岩(地表)	5	2.64	2.59～2.71	1/5	2.3×10^1				5	1.3	0.9～1.6			
石英钠长斑岩(钻孔)	35	2.67	2.60～2.77	28/44	3.2×10^1	6～278	0.7×10^1	1～89	40	1.2	0.2～2.5	3	5.67×10^2	180～3170
石英钠长斑岩(地表)	2	2.64	2.62～2.66	1/2	2.3×10^1				2	1.3	1.6～1.9			
石英角斑岩	12	2.65	2.53～2.72	4/5	1.2×10^1	9～16	0.2×10^1	1～5	11	0.9	0.4～2.4	3	7.89×10^2	130～5660
千枚岩(钻孔)	510	2.73	2.45～2.95	7/261	1.2×10^1	5～36	0.2×10^1	1～3	253	1.0	0.1～9.2			
千枚岩(地表)	49	2.67	2.52～2.83	6/51	2.2×10^1	13～32	0.3×10^1	2～5	49	1.5	0.1～5.6			
绢云母绿泥石片岩(钻孔)	525	2.72	2.47～3.17	55/270	2.3×10^1	5～201	0.3×10^1	2～26	266	1.0	0.1～10.9			
绢云母绿泥石片岩(地表)	25	2.69	2.61～2.80	2/24	1.2×10^1	9～16	0.2×10^1	1～2	28	1.0	0.2～1.8			
炭质千枚岩(地表)	42	2.51	2.22～2.61	4/43	5.0×10^1	39～71	0.7×10^1	7～9	30	13.2	5.0～30.5			
大理岩(钻孔)	3	2.60	2.52～2.72	3/4	1.9×10^1	12～27	0.5×10^1	3～7	4	0.9	0.6～1.1			
大理岩(地表)	21	2.68	2.56～2.85	11/20	2.6×10^1	11～71	0.4×10^1	1～12	22	1.4	0.4～2.9			
硅质岩(钻孔)	16	2.71	2.64～2.89	0/21					20	1.2	0.3～5.4			
硅质岩(地表)	41	2.65	2.49～2.73	0/36					42	1.0	0.1～4.2			
硅质板岩	2	2.66	2.64～2.69	2/2	1.9×10^1	10～42	0.3×10^1	3～3	2	2.5	0.9～6.8			
变砂岩(地表)	21	2.68	2.60～2.80	2/22	4.8×10^1	24～96	0.7×10^1	4～13	21	1.0	0.4～3.1			
花岗斑岩(钻孔)	14	2.65	2.51～2.70	6/13	4.0×10^1	15～236	0.9×10^1	2～89	14	1.1	0.7～1.7			
花岗斑岩(地表)	7	2.67	2.61～2.78	2/7	4.3×10^1	38～48	0.8×10^1	7～9	6	1.7	0.7～3.1			
细晶岩(钻孔)	2	2.61	2.55～2.67	2/3	5.3×10^1	44～64	1.3×10^1	8～21	3	1.0	0.3～1.9			
细晶岩(地表)	10	2.66	2.61～2.77	2/6	6.4×10^1	39～106	1.7×10^1	9～32	9	1.6	0.5～4.8			
细碧岩类		2.71	2.49～3.04		1.0×10^2		2.0×10^1							
石英脉(钻孔)	95	2.67	2.61～2.94	19/78	1.9×10^1		0.4×10^1		86	0.8	0.20～4.00			
石英脉(地表)	5	2.63	2.61～2.65	2/9	1.37×10^2	103～181	1.7×10^1	9～31	6	0.9	0.11～2.77			
黄土、砂砾石		2.09	1.63～2.51											

据赵如海、李百祥等 1990～1992 年资料整理。

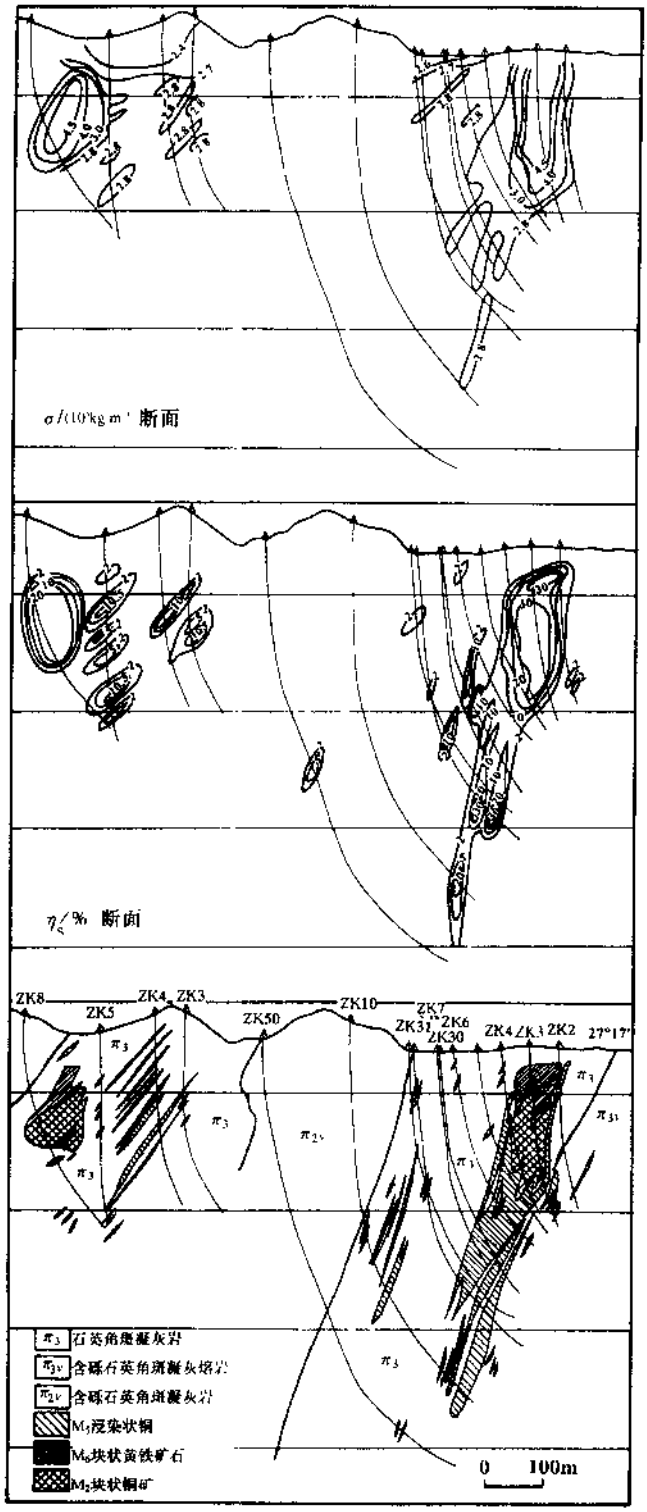


图 5.1.4 白银厂矿田西Ⅳ行勘探线物性断面图

（据赵海如，李百祥 1992 年资料编绘）

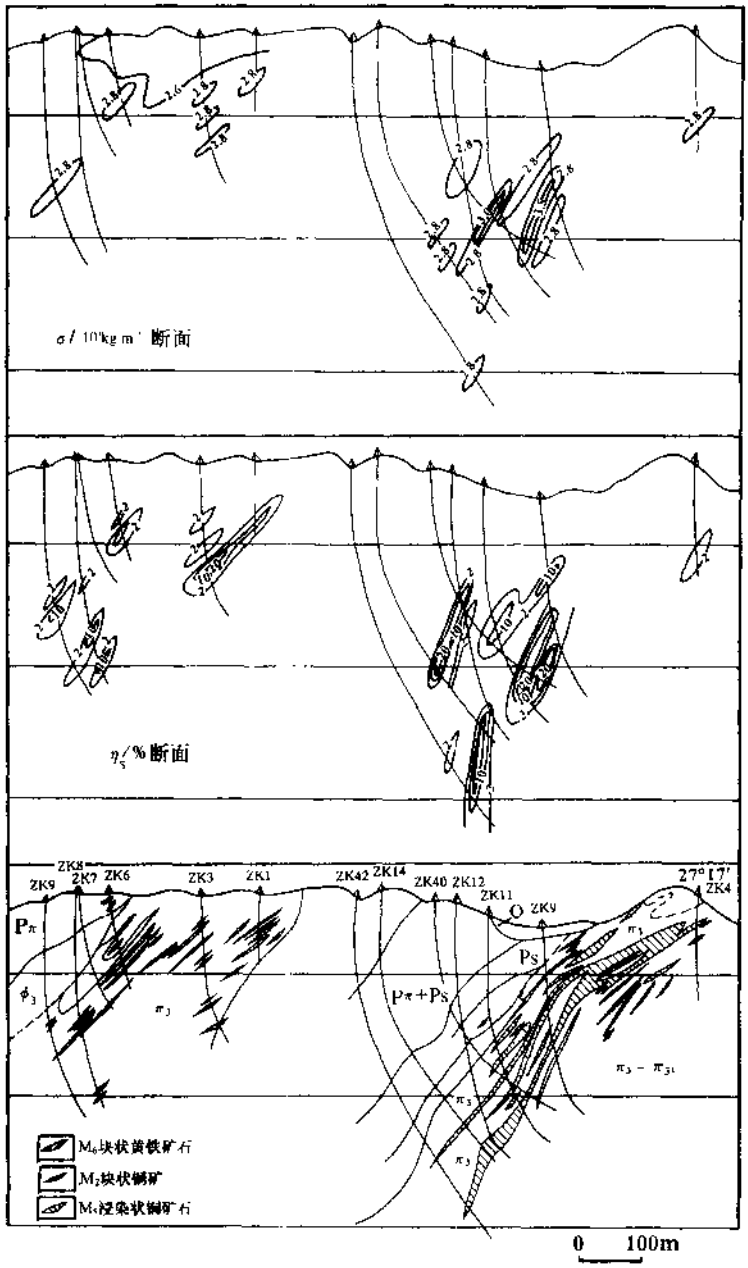


图 5.1.5 白银厂矿田西Ⅹ行勘探线物性断面图

（据赵海如，李百祥 1992 年资料编绘）

地质图例见图 5.1.4

行(折腰山致密状矿段)、西Ⅹ行(折腰山浸染状矿段)、东Ⅻ行(小铁山)勘探线物性断面图。

（1）密度。块状矿石密度高且较稳定，大多在 $4\times10^3kg\cdot m^{-3}$以上；浸染状矿石密度亦属较高，在（3～4）$\times10^3kg\cdot m^{-3}$间变化，它们明显高于容矿岩石及围岩。

围岩密度与其受矿化和蚀变作用的程度大多呈正相关，因而同种岩石的密度，一般深

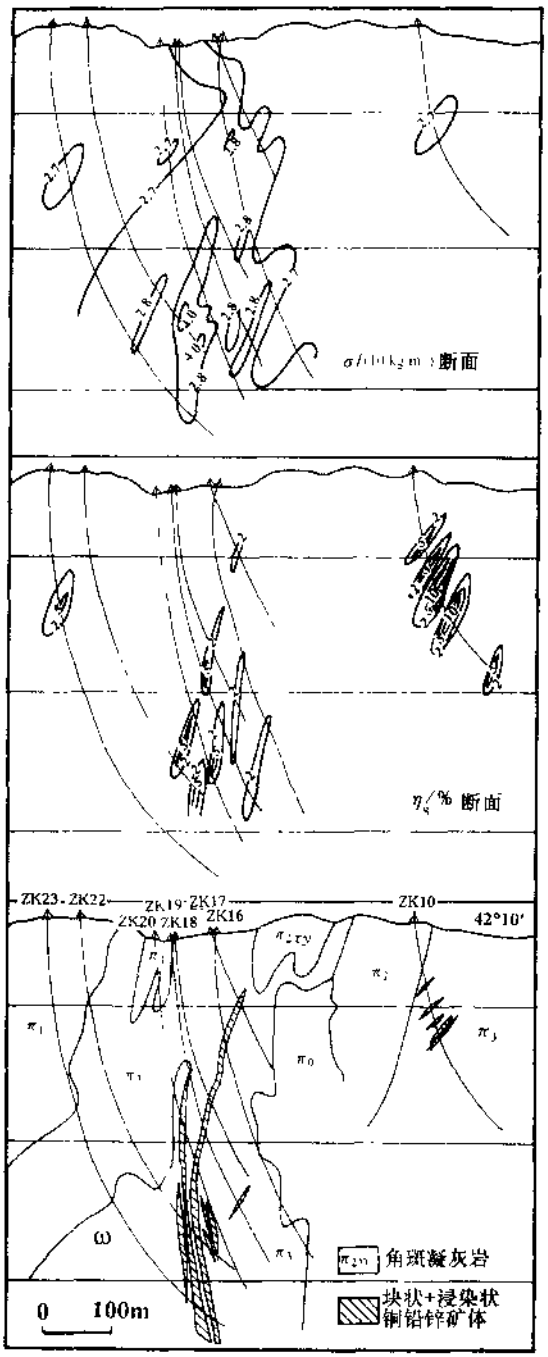


图 5.1.6 白银厂矿田东Ⅲ行勘探线物性断面图

（据赵海如，李白祥 1992 年资料编绘）

部（钻孔中）高于地表；而产于各矿床的同类岩石，其密度有不甚明显的差异。

由表 5.1.5 可见：折腰山～火焰山含矿围岩的密度高于近矿围岩；而小铁山矿床区则相反。

表 5.1.5 各矿床主要围岩密度统计表 ($10^3 kg \cdot m^{-3}$)

矿床名称	容矿围岩		近矿围岩
	石英角斑凝灰岩	绢云母绿泥石片岩	千枚岩
折腰山～火焰山	2.74（$n=388$）	2.83（$n=19$）	2.71（$n=22$）
小铁山	2.69（$n=103$）	2.72（$n=242$）	2.73（$n=233$）
铜厂沟	2.77（$n=18$）		

n 为统计样品数。

图 5.1.4 为西Ⅳ行钻孔岩芯密度断面（位置见图 5.1.7）：$4.00\times10^3 kg\cdot m^{-3}$等值线大致圈定了块状矿石的范围，其内圈密度等值线达 $4.50\times10^3 kg\cdot m^{-3}$；向外密度逐渐降低，乃浸染状矿体的反映；再外 $2.80\times10^3 kg\cdot m^{-3}$等值线圈出了矿化、蚀变作用造成密度明显变异的范围。近地表密度 $\sigma\leqslant2.40\times10^3 kg\cdot m^{-3}$为火焰山矿床上部强次生蚀变（高岭土化、绢云母化）的反映。

图 5.1.5、5.1.6 显示：以浸染状矿为主体的矿段，物性断面（位置分别见图 5.1.7、5.1.9）中高密度的范围较小。

（2）磁性。区内岩矿石的磁性均很弱，在少数微弱磁性的标本中，含铜、多金属块状矿石和石英脉、细晶岩脉的磁性略高。含微弱磁性的矿石，其磁性主要源于与铜矿石品位大致呈正消长的磁黄铁矿和磁铁矿等磁性矿物的含量；纯块状含铜黄铁矿的磁性极弱。

（3）电性。①电阻率：据部分岩矿标本测定，矿石的电阻率明显低于围岩，但又存在许多非矿低阻体，成为不可忽视的干扰。②极化率：含铜黄铁矿和多金属硫化物矿石，无论其构造如何，均具有较高的极化率。岩石中，除炭质千枚岩具中等极化率外，其他极化率均很低。因此，矿与围岩间存在着明显的极化率差。

（4）综合岩矿石物性特征归纳于表 5.1.6。

表 5.1.6 白银厂矿田岩矿物性归纳

地质体	密度 $10^3 kg\cdot m^{-3}$	磁化率 $4\pi\times10^{-6}SI$	极化率 %	电阻率 $\Omega\cdot m$
矿石	极高（>3.3）	弱（$n\times10^{1\sim2}$）	中高（20 左右）	甚低（$n\times(10^{-1}\sim10^{0})$）
围岩	中（2.7 左右）	微（20 左右）	微（<4）	高（10^3 左右）
矿与围岩差异	>0.6	较小	明显	明显
干扰因素	浅层岩性不均匀	基性脉岩	炭质千枚岩	非矿低阻体

2. 地球物理异常

折腰山矿床：

①重力异常：为 1956 年资料。虽工作范围小（仅作 12 条剖面），观测精度较低，但其结果仍显示出重力勘查方法的有效性。图 5.1.7 中剩余重力异常（Δg_r）$3.5\times10^{-5} m\cdot s^{-2}$等值线圈闭，与致密块状矿体对应。西Ⅲ行综合剖面 Δg 异常宽缓、圆滑（图 5.1.8），其主体部分

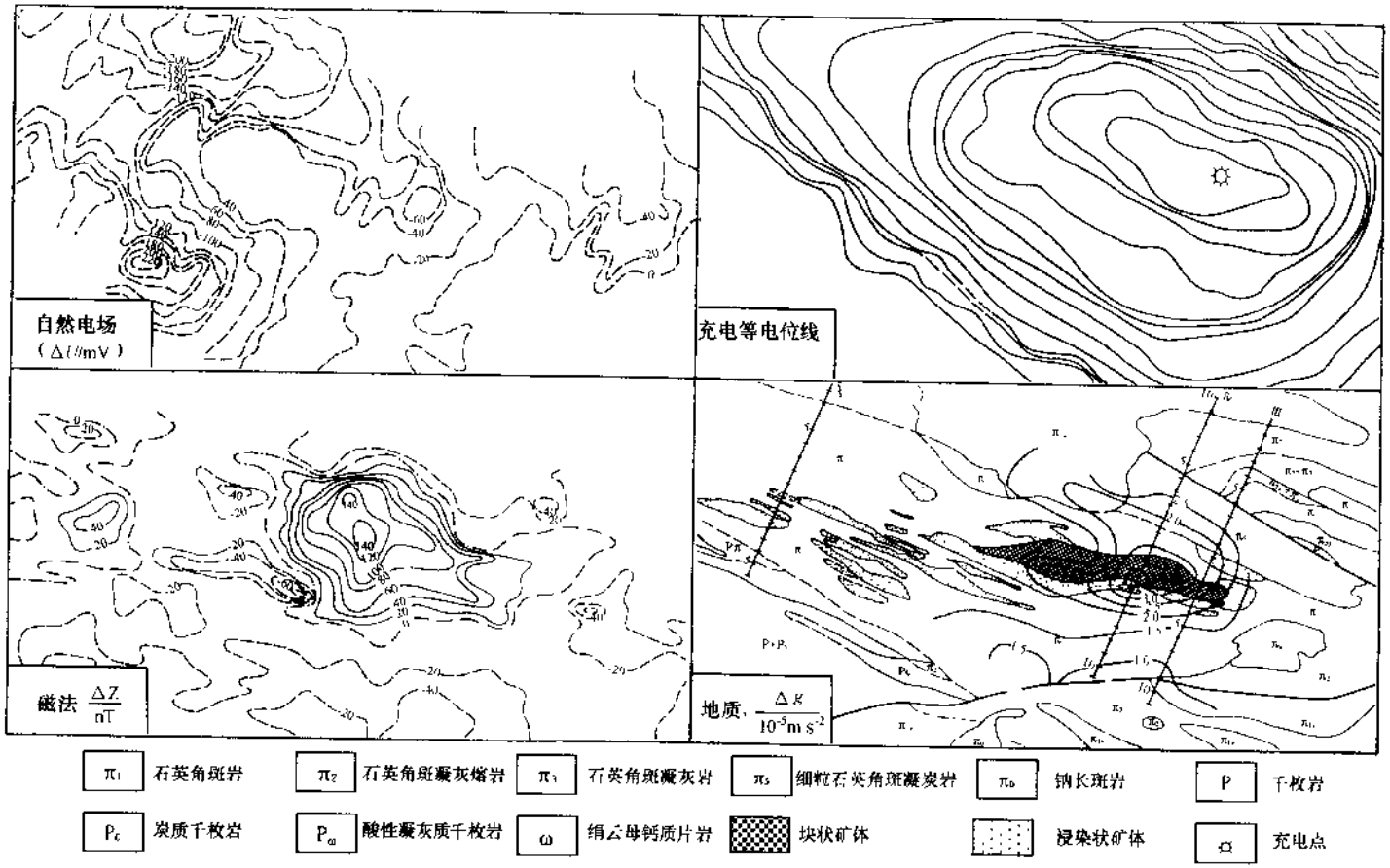


图 5.1.7　折腰山矿床区物探综合平面图

（据赵海如、李白祥 1992 年资料编绘）

Pπ 为凝灰质千枚岩，Ps 为硅质千枚岩

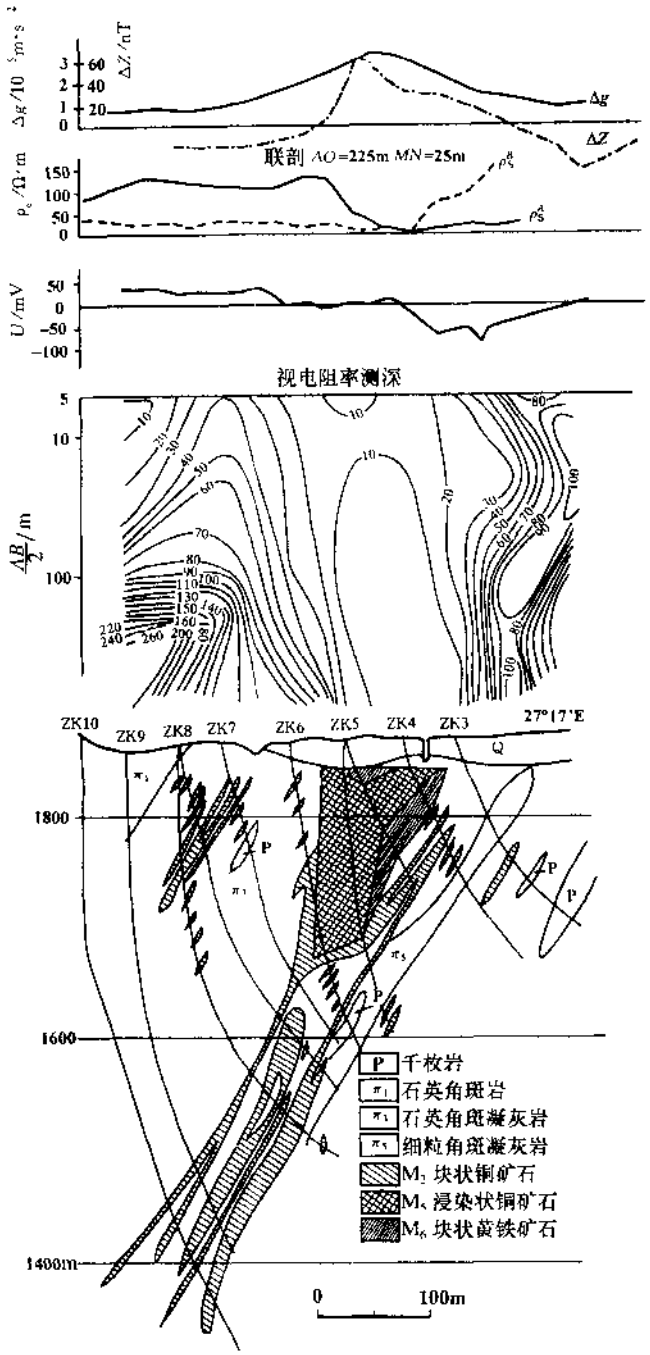


图 5.1.8 （折腰山矿床区）西Ⅲ行物探综合剖面图

（据赵海如、李百祥 1992 年资料编绘）

近于对称，幅值大于 $2.5\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$，异常的极值位置及形态，亦与块状矿体对应较好。

②磁异常：ΔZ 异常反映（图 5.1.7）呈两个近等轴状正异常。一个与致密块状矿体西段对应，系矿体中磁性矿物集聚的反映，异常形态变化较大，表明磁性矿物分布的不

均；其周围为负磁异常，其中位于西南侧的负异常较大。

另一异常为矿区西部浸染状矿体中局部含微弱磁性矿物的反映。

ΔZ 剖面曲线见图 5.1.8。异常极值很弱（约 60nT），但形态较规则，且与块状矿体对应较好。

③电异常：自然电场法：－20～－80mV 等值线伸向南东，局部有－60mV 封闭圈，位置大致与致密状矿体西段对应；剖面上形成极值近－80mV 的宽缓异常，其负心大致对应矿体的北缘。东段异常不明显，与氧化还原条件有关。矿区西部浸染状矿体上，自然电场强度为－40～－140mV，可能因介于南、北两个与炭质岩石有关的较强自电异常（$|\Delta U|$ = 200～220mV）之间，而形成相对高；或者可能与近矿部位蚀变破碎等因素有关。

充电法：圈定致密状矿体的效果较好。充电电位极大值相对充电点向矿体顶部明显位移，等值线沿矿体走向拉长，约为宽度的三倍；等位线内部稀疏，外部密集，很好地反映了良导矿体的特点。

联合剖面法：在块状矿体顶部的中心部位，视电阻率 ρ_S 形成明显的正交点（图 5.1.8），且低阻带较宽。

电阻率测深法：视电阻率 ρ_S 断面图中，$\rho_S < 20\Omega\cdot m$ 的宽阔低阻带与块状矿段对应较好，两侧电阻率明显升高，$\rho_S > 100\Omega\cdot m$。

小铁山矿床：

①重力异常：剩余重力异常 Δg_1 为 1959 年观测资料，零值线圈闭（图 5.1.9）包围了矿区东部主矿体；其中部变窄，乃表层低密度黄土覆盖较厚所致。

布格重力异常 Δg_B 系 1991 年高精度观测资料。在西部埋深 150m 的矿体上，显示有微弱异常；东部主矿体处出现的重力低，与采掘后出现的质量亏损有关。

采矿破坏了地形地貌，Ⅶ线高精度重力测量畸变点较多，但在已知矿上仍显示有 $0.3\times10^{-8}m\cdot s^{-2}$ 的剩余重力异常（图 5.1.10）；其东侧 $0.3\times10^{-8}m\cdot s^{-2}$ 剩余重力异常，与 CSAMT 发现的 T_2 推断矿致异常对应较好（图 5.1.11）。

②电异常：

自然电场法：椭圆形异常长轴沿矿带分布，极小值－230mV。－100mV 等值线圈出两个封闭异常，基本与顶部埋深 60～70m 的主矿体对应。

激电法：中梯装置激电异常呈北西条带状，η_S = 3% 的等值线可圈定矿体群的分布；激电测深曲线转折点对应 $AB/2$ 距离，与矿顶埋深相应（图 5.1.12）。

联合剖面法：正交点联线与激电异常轴部大致对应，且其低阻带宽阔，$\rho_S < 600\Omega\cdot m$ 的宽度约 160m，但畸离带不明显；联剖异常主要为矿化蚀变带造成的物性变异。

充电法：在孔深 98m，距矿体 2m 的泥浆中充电，极大值向矿顶位移，等位线沿矿体走向拉长呈椭圆状，长、宽比约 2.5，属良导体反映。因矿埋深较大，等位线间隔变化较均匀，对矿体边界反映不明显。

可控源音频大地电磁法（CSAMT）：反演拟电阻率断面图（图 5.1.11），在已知矿上对应有低阻异常 T_1，其北侧 200m 左右发现了电阻率更低的 T_2 异常。经钻探验证见浸染状及块状铜多金属矿，并于孔深 724.04m 终孔于较为巨厚的矿化蚀变岩中。

3. 干扰体或干扰因素及其影响

未开采前，电法的主要干扰为炭质岩层，次生蚀变带等；重力法干扰主要为厚度变化

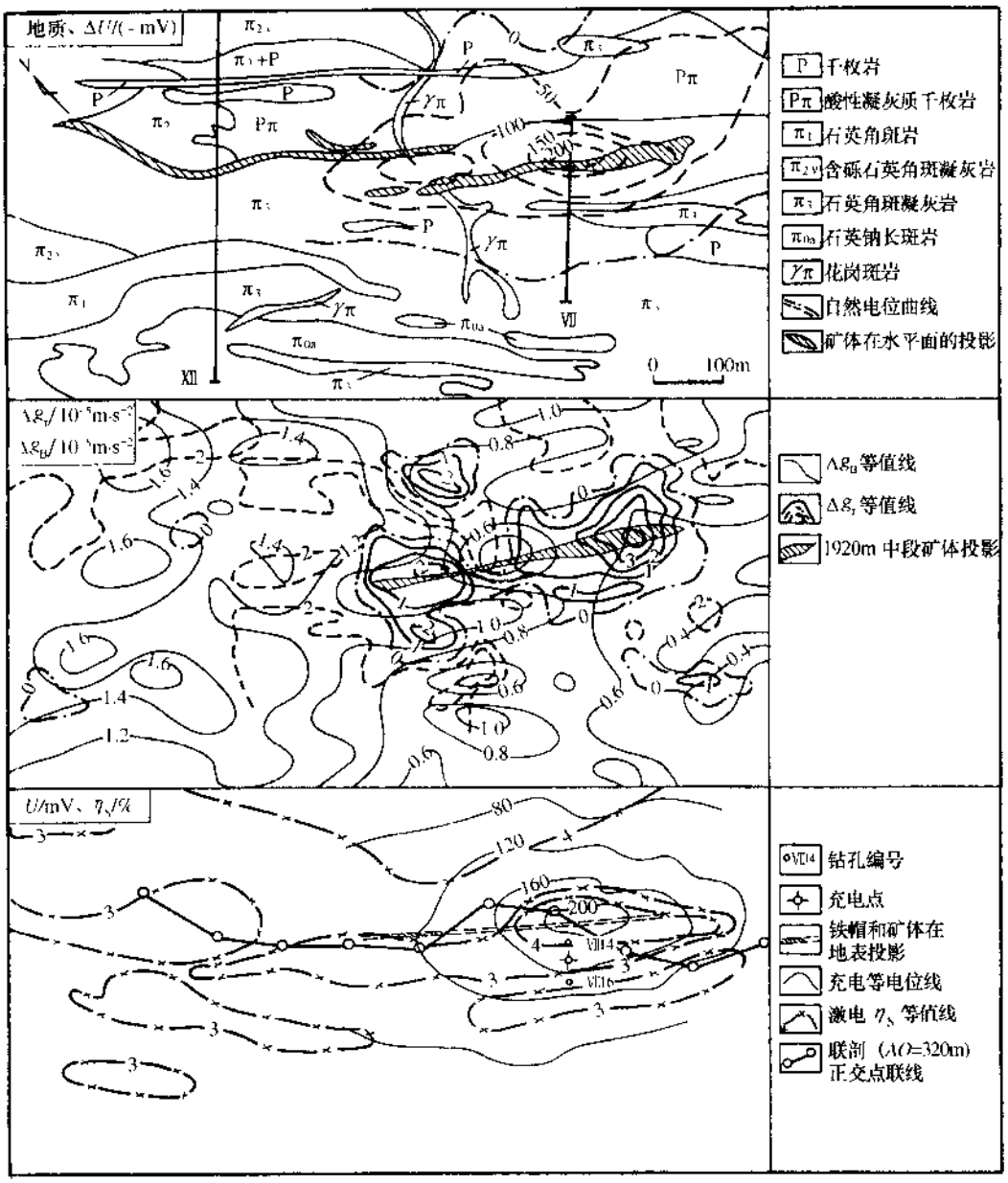


图 5.1.9　小铁山矿床区物探综合平面图

（据赵海如、李白祥 1992 年资料编绘）

较大的局部黄土覆盖及复杂的地形。开采后增加了多种人文干扰。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

（1）白银厂矿田不同成矿元素的矿床，其伴生元素亦有差别（表 5.1.7）。

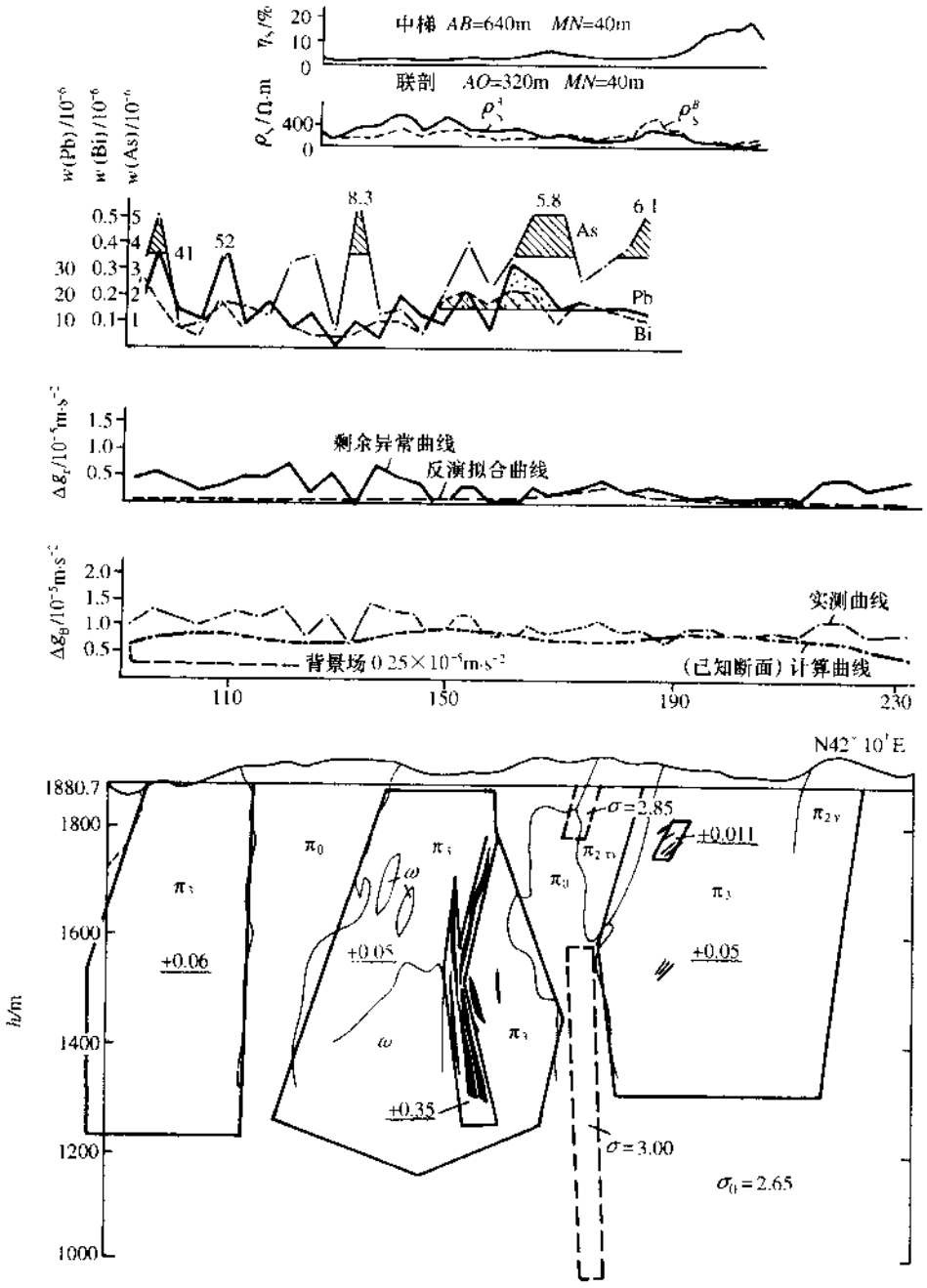


图 5.1.10 （小铁山矿区）东Ⅶ行物探综合剖面图

（据赵海如等 1992 年及周安昌等 1995 年资料编绘）

下图中①地质图例见图 5.1.4;②下划 ±0.06 数字为 2.5D 密度体剩余密度(单位:$10^3 kg \cdot m^{-3}$);③虚线框为反演推断 2.5D 密度体地质图例见图 4.2.4

（2）各矿床的含矿围岩大多为石英角斑凝灰岩，由其微量元素统计（表 5.1.8）可见：含矿围岩中成矿元素含量与其富集成矿呈反消长关系，如小铁山矿床背景低，聚集成矿作用强；而铜厂沟、四个圈矿床原生晕发育，但元素富集成矿作用较差。

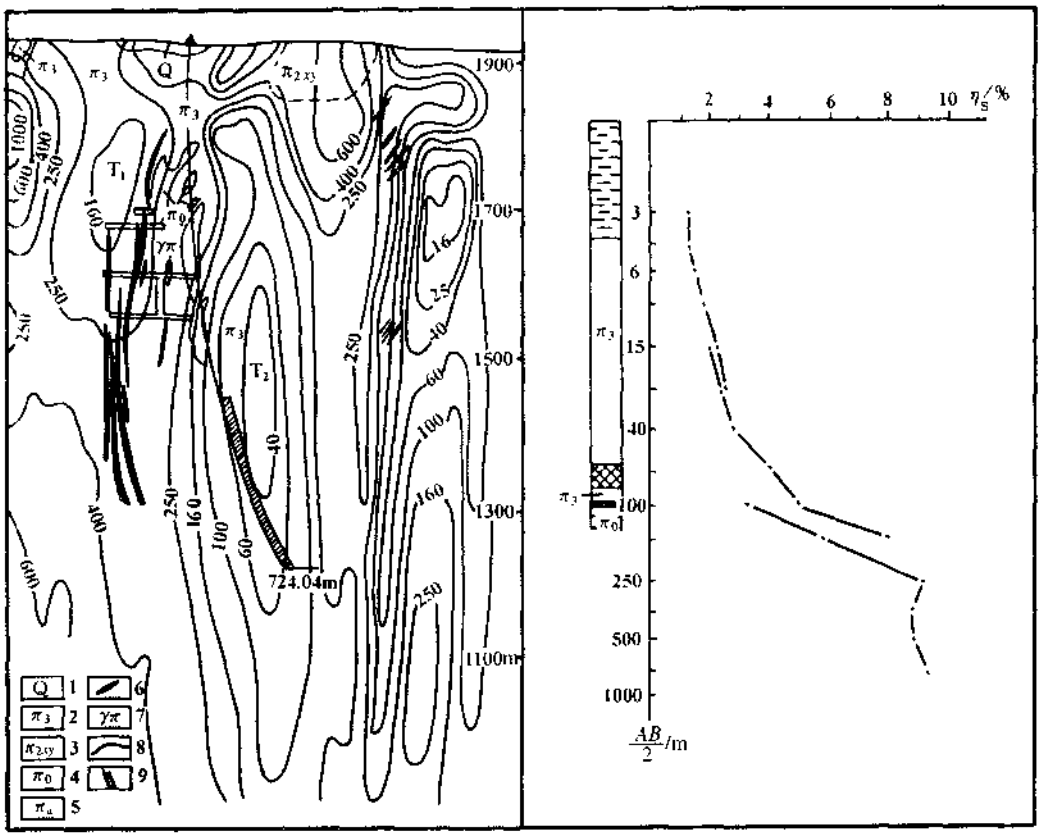


图 5.1.11　小铁山矿区Ⅶ线 CSAMT 异常及验证结果

1—第四系；2—石英角斑凝灰岩；3—石英角斑凝灰熔岩；4—石英钠长斑岩；5—钠长斑岩；6—矿体；7—花岗斑岩；8—ρ_s 等值线（Ω·m）；9—验证孔见矿及矿化段

图 5.1.12　小铁山矿区 ZK14/Ⅶ激电测深曲线

表 5.1.7　白银厂矿田各矿床矿石中成矿及伴生微量元素平均含量

矿床	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	Cd	Mo	Co	Ba
折腰山① $n=17$	1.38	0.098	0.419	312	10.5	490	37	166	1836	28	7 5	5.2	230	2668
小铁山① $n=6$	1.48	3.661	5.876	1042	15.6	1054	1557	79	29407	13	81.7	14.0	143	4659
火焰山② $n=9$	1.34	0.550	3.650		184.6	430	90	40		284	1.6	20.0	143	
铜厂沟② $n=3$	1.62					150	30	60				10.0	20	
背景值	19	17	50	3.9	0.1	2.5	0.15	0.16	13.2	1.3	0.7	0.7	6	113

元素质量分数单位：Cu、Pb、Zn 为 10^{-2}，Au、Ag、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；①引自赵海如，李百祥，1990；②引自李公时，1982。

表 5.1.8　白银厂矿田各矿床含矿围岩微量元素含量统计

矿床名称	Cu	Pb	Zn	Ag	Mo	Sn	Ni	Co	As	Hg
折腰山	86.7	14.7	220.7	0.6	1.3	8.5	8.3	19.8	27.6	28.1
火焰山	58.4	40.5	140.0	1.5	2.7	11.7	9.7	20.9	35.6	42.6
小铁山	48.3	10.1	72.6	0.8	1.1		8.6	12.4		26.4
铜厂沟	158.6	94.5	340.0	1.7	1.7	5.5	8.4	15.2	28.7	32.6
四个圈	134.1	37.5	230.3	1.5	1.3	4.7	8.4	15.4	29.1	17.9
含矿围岩平均背景	97.2	39.5	200.9	1.22	1.62	7.6	8.7	16.7	30.2	29.5
变异系数/%	49.2	85.1	50.4	39.9	39.6	41.9	6.7	21.1	12.0	30.6
矿田岩石背景值	32.8	12.8	69.7	0.18	0.90	6.3*	8.6	11.0	20.1*	10.6*

元素质量分数单位：Hg为10^{-9}，其余元素为10^{-6}；*为（单一）石英角斑凝灰岩元素含量；引自赵海如、李百祥，1990。

2. 矿区地球化学异常

（1）矿田岩石地球化学测量：出现多个孤立的多元素综合异常（图 5.1.13）。主要分布在矿田的东、西两端；没有一个元素能形成反映整个矿田规模的异常，且小铁山矿床上

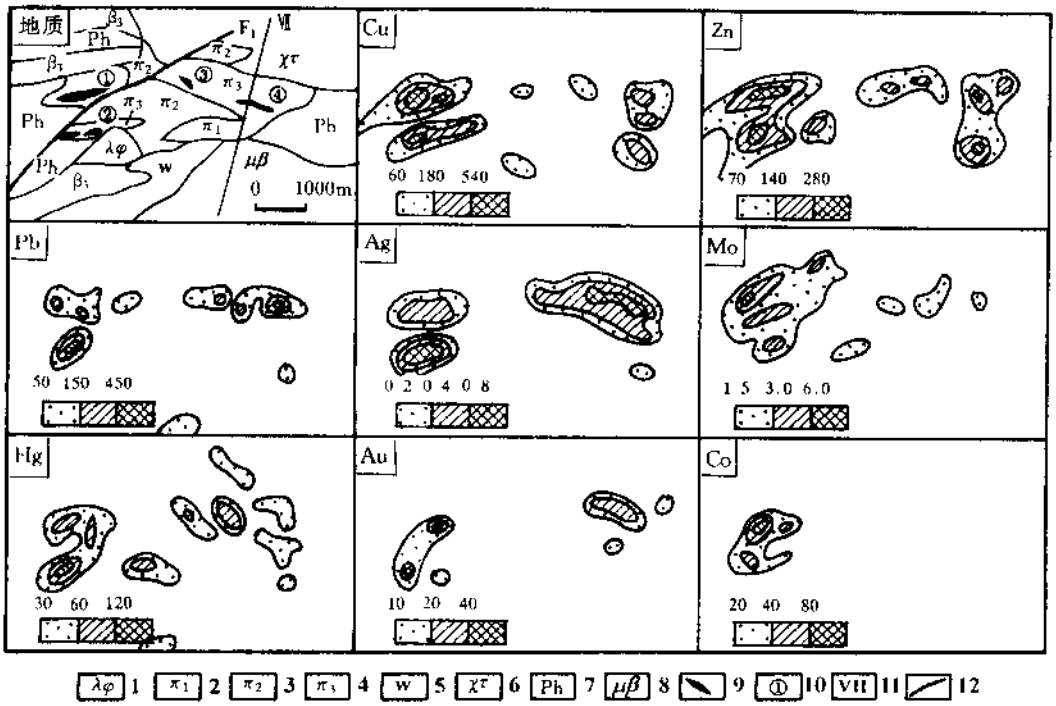


图 5.1.13　白银厂矿田岩石地球化学异常

（引自吴承烈等，1998）

1—石英钠长斑岩；2—石英角斑岩；3—石英角斑凝灰熔岩；4—石英角斑凝灰岩；5—钠质绢云母绿泥石英片岩；6—角斑岩；7—千枚岩；8—细碧玢岩凝灰岩；9—矿体；10—异常编号；11—勘探剖面；12—断层。元素质量分数单位：Au、Hg为10^{-9}，其余元素为10^{-6}

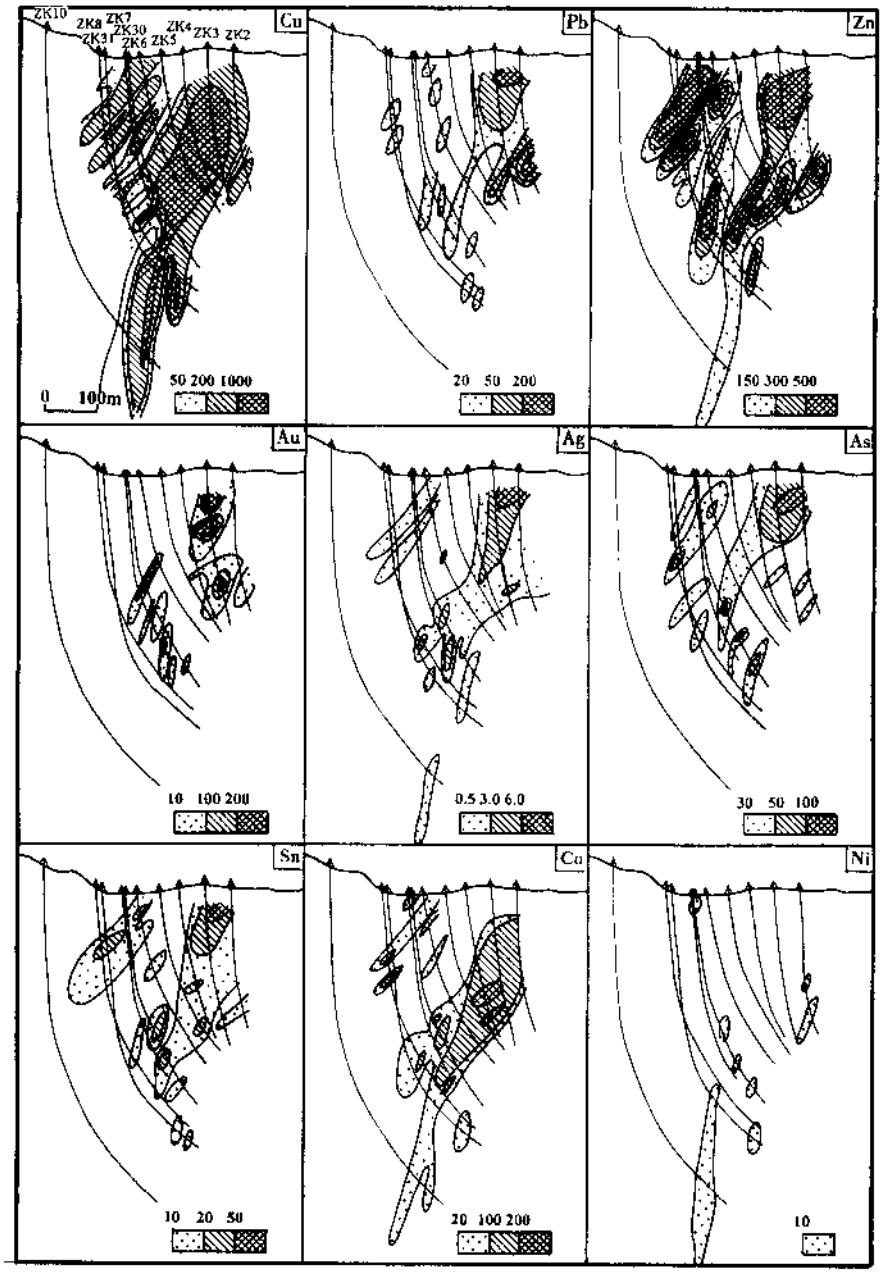
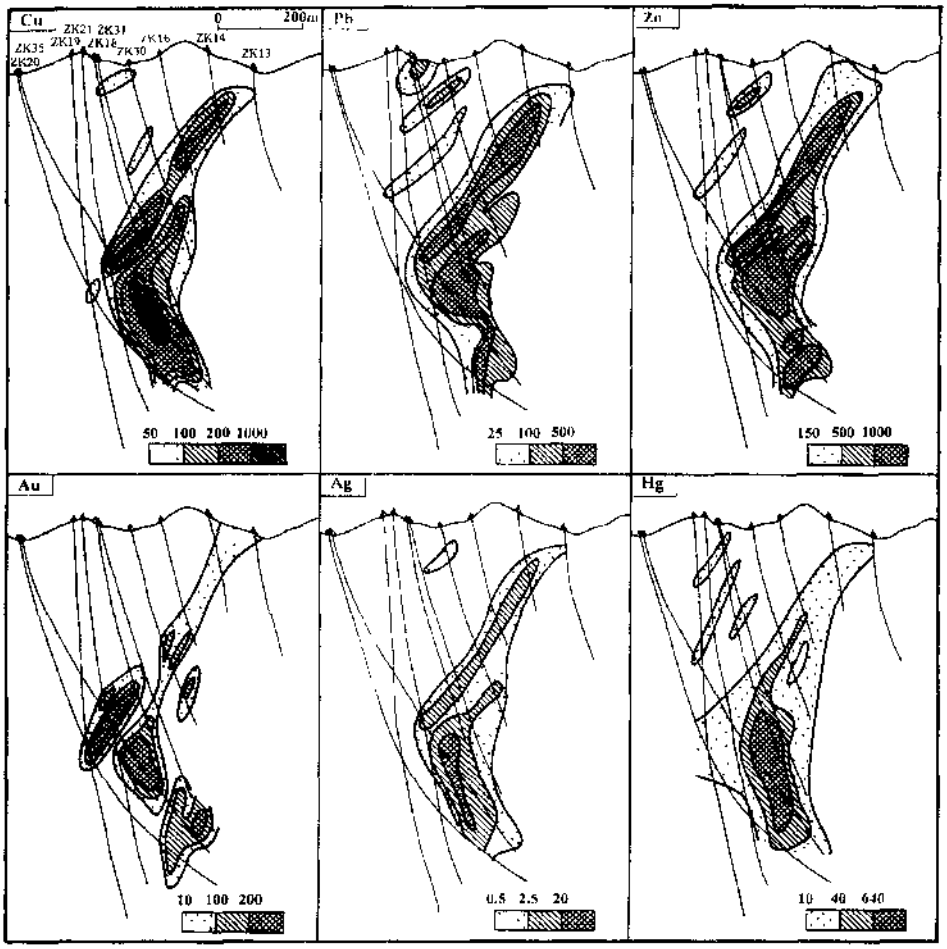


图 5.1.14　西Ⅳ线（折腰山矿区）钻孔岩石地球化学异常图

（据赵海如、李百祥 1992 资料编绘）

地质断面图同 5.1.4；Au 单位 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}



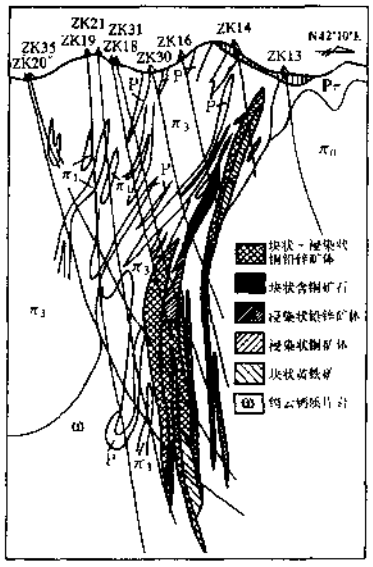


图 5.1.15　东Ⅶ线（小铁山矿区）钻孔岩石地球化学异常图

（据赵海如，李百祥 1992 年资料编绘）

Au 的质量分数 10^{-9}，其余 10^{-6}

表 5.1.9　白银厂铜多金属矿田矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	矿田位于北祁连加里东优地槽褶皱带东段中部火山岩带中，近 EW 向的白银厂寒武纪火山岩穹的中部	
	地球物理场	重力场呈长轴近东西向的椭圆形重力高，以 $\Delta g_B 11\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$ 等值线圈闭的重力高面积约 180km²；区域磁场呈长轴北西西向的椭圆形低缓 ΔT 正磁场背景上，叠加了众多强度 80～350nT 的局部异常群．该椭圆形高重、高磁异常，大体对应着白银厂火山岩穹	
	地球化学场	1:20 万水系沉积物测量显示，Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、Hg、Sb、Bi 等元素异常衬值高，浓集中心明显、高值区相互叠合；而 Au、As、Mo 异常较弱	
地质	地　层	赋矿岩层为一套由基性到酸性分异明显的寒武纪火山岩系．其岩性主要为石英角斑凝灰岩、石英钠长斑岩、细碧砂岩等，其次为中基性火山-沉积岩（含凝灰质、泥钙质、泥硅质千枚岩等）	
	构　造	矿田为一复式背斜构造，矿床位于以石英角斑岩、石英角斑凝灰岩为核心的短轴背斜构造内；或矿床的性质和分布与古火山构造密切相关，按产出部位分为火口型和火山斜坡型两类	
	岩浆岩	侵入岩不甚发育，火山喷发活动规模较大；火山活动与岩浆侵入活动受同一构造控制	
	围岩蚀变	矿体周围蚀变带发育，其分布与矿体形态相似，主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、重晶石化、绿帘石化等，以及赤铁矿化、黄钾铁矾化、高岭土化等次生蚀变	
	赋矿部位	石英角斑岩、石英角斑凝灰岩为核心的短轴背斜构造内	
	主要矿石矿物	折腰山矿床：黄铁矿、黄铜矿，闪锌矿、方铅矿、黝铜矿；磁铁矿、磁黄铁矿、自然金等 小铁山矿床：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、砷黝铜矿；毒砂、磁铁矿、自然金等	
	直接找矿标志	铁帽	
地球物理	探测目标物	块状含铜黄铁矿、多金属矿	浸染状含铜黄铁矿、多金属矿
	目标物物性特征	极高密度、弱磁性， 中—中高极化，甚低电阻率	高—极高密度、弱磁性， 中高极化，低电阻率
	地表异常特征	具一定规模，且埋深不大的矿体上： 有明显的重力（高）异常，有的出现局部弱磁异常；视极化率、低电阻率异常较明显；联剖装置有明显的“矿”交点	具一定规模，且埋深不大的矿体上： 有较明显的重力（高）异常，有的出现局部弱磁异常；视极化率明显、低电阻率异常微弱；联剖装置有不明显的“矿”交点
	干　扰	炭质千枚岩为激电和电磁法的主要干扰；次生蚀变带可形成电干扰异常。 厚度变化较大的局部黄土覆盖、次生蚀变带，及复杂的地形为重力法的干扰	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Mo、Ni、Co、Mn、Hg 前缘元素：折腰山矿床：Pb、Zn、I、Cd；　　小铁山矿床：I、F、Sr 近矿元素：折腰山矿床：Cu（Pb、Zn）、Au、Ag、As、Sb、Bi、Se 小铁山矿床：Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、Co、Mo	
	元素浓度分带	Cu：60～180～540　Au：10～20～40　Co：20～40～80　Hg：30～60～120 Pb：50～150～450　Ag：0.2～0.4～0.8　Ni：15～30 Zn：70～140～280　Mo：1.5～3.0～6.0　Mn：1500～3000～6000	
	主要元素异常形态与分布范围	折腰山矿床：与火焰山矿体形成统一的 Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 元素的组合异常，近东西向展布，长 2.5km，宽 1.7km，各元素浓集中心不重合，其中 Cu、Pb、Zn、Ag 成矿元素出现内带异常，Cu 异常范围较 Pb 大，在矿体下盘较上盘的异常发育 小铁山矿床：地表异常较弱，其 Cu、Pb（Zn、Ag）Mo、Hg 组合异常与四个圈矿区异常相联	
	其他特征	白银厂地区地貌景观为干旱荒漠，局部黄土覆盖，气候干旱，干涸沟系发育，植被稀疏；基岩裸露，岩石物理风化强烈，次生晕不发育，地球化学异常范围不大	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

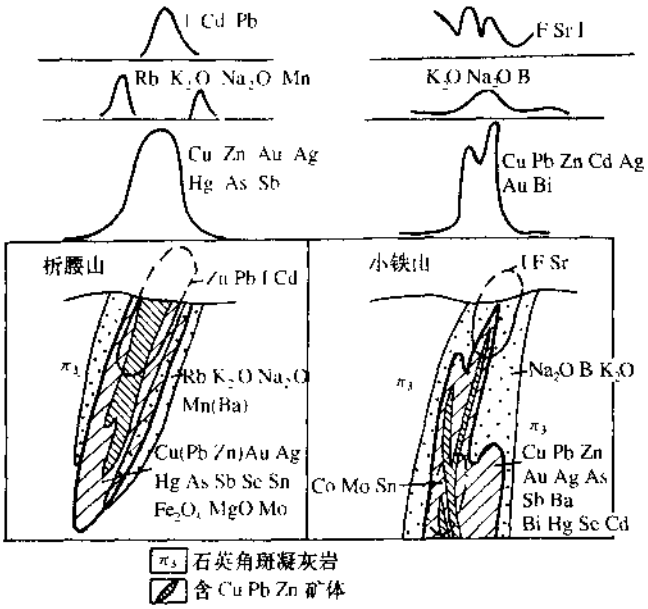


图 5.1.16 白银厂铜多金属矿田地球化学异常模型

表 5.1.10 白银厂矿田主要物性地质体参数表

物性地质体		$\sigma/10^3 kg \cdot m^{-3}$	$M/(10^{-1} A \cdot m^{-1})$	$\eta/\%$	$\rho/\Omega \cdot m$
①	折腰山块状矿体	3.60	中 $n \times 10^2$	20	$n \times 10^{-1}$
②	小铁山块状矿体	3.30			
③	折腰山-浸染状矿体	3.20		20	$n \times 10^0$
④	小铁山矿化蚀变围岩	2.80	弱 $n \times 10$	2	$n \times (10^2 \sim 10^3)$
⑤	折腰山近矿围岩	2.71		2	
⑥	小铁山近矿围岩	2.66			
⑦	次生蚀变带	2.50		2	$n \times 10^2$
⑧	黄土	2.10			

异常不明显或较弱；规模较小的铜厂沟、四个圈矿床上异常却较明显。

西部的①、②号异常区的 Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、Hg、Au 和 Co 等元素异常强度高，浓度分带清晰，浓集中心分别与折腰山、火焰山矿床对应。其中 Cu、Zn、Ag、Mo 异常范围大，Pb、Hg、Au、Co 异常范围较小，显示以铜锌为主的矿石建造特征。东部异常较弱，③号 Pb（Zn、Ag）Mo、Hg 组合异常位于四个圈矿区；④号异常与小铁山和铜厂沟矿区对应，其中 Cu、Zn、Ag 异常规模较大，伴有 Pb、Hg、Au 异常。

（2）矿床区异常。

折腰山矿床：折腰山与火焰山矿床上，形成统一的 Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 元素的组合

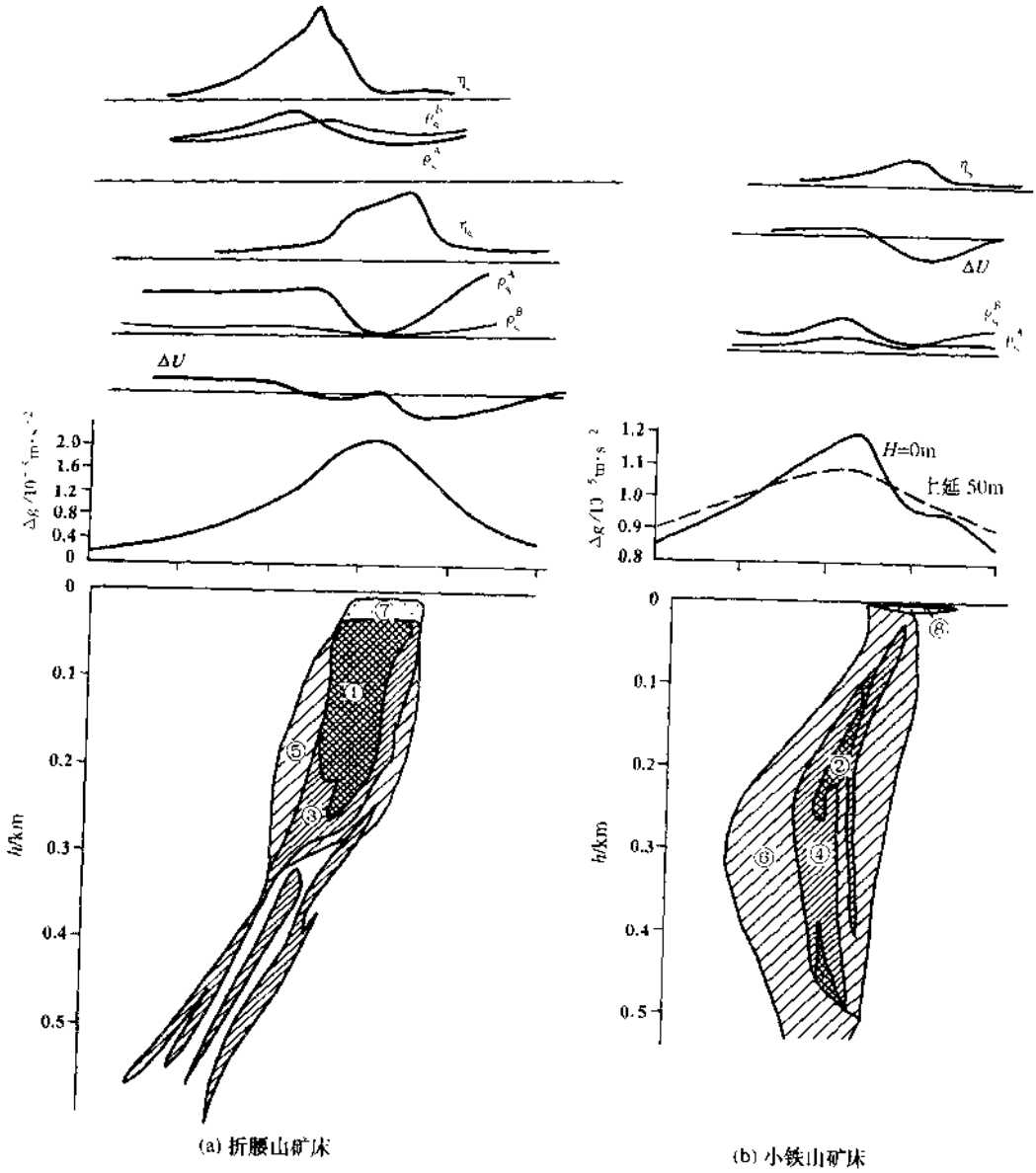


图 5.1.17　白银厂铜多金属矿田地质-地球物理找矿模型

异常（图 5.1.13），近东西向展布，长 2.5km，宽 1.7km，各元素浓集中心不重合，异常值变化范围分别为：Cu（100～600）$\times 10^{-6}$、Pb（65～900）$\times 10^{-6}$、Zn×（200～1100）$\times 10^{-6}$、Ag（0.2～>0.8）$\times 10^{-6}$、Mo（1～>6）$\times 10^{-6}$。其中 Cu、Pb、Zn、Ag 成矿元素出现内带异常，为矿及矿化围岩所引起。

据西Ⅳ线钻孔岩芯测量显示（图 5.1.14），Cu、Zn、Hg、Ag、Sn、As、Co、Au 等形成明显多元素组合异常，Ni、Ba 异常不连续，Cu、Zn 异常与矿体范围相当。从成矿元素组合看，Pb、Zn 在矿体上部富集，Cu 富集于下部。

小铁山矿床：地表异常不明显。东Ⅶ线钻孔岩石地球化学异常剖面显示 Cu、Pb、Zn、

Hg、Au、Ag等元素异常比较发育（图5.1.15），其范围和形态与矿体基本一致，表明矿体在围岩中扩散、渗透晕不甚发育。

此外，卤族元素I、F在该隐伏矿床上有明显的异常反映。I在0.3×10^{-6}背景上出现200~250m宽，最高含量达26×10^{-6}的清晰异常；F为亲石元素，其异常可指示赋矿地段。

3. 元素分带系列与矿化剥蚀程度评价指标

折腰山矿床元素分带系列：As-Ba Pb-Ag-Au-Hg-Zn-Co-Sn-Cu-Mo-Ni

小铁山矿床元素分带系列：Zn-Au-Ag-Ni-As-Pb-Ba-Hg-Cu-Sn-Co-Mo

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 白银厂铜多金属矿田地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表5.1.9。

2. 白银厂铜多金属矿田地质-地球化学异常模型见图5.1.16，地质-地球物理找矿模型见图5.1.17。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定火山穹隆：1:10万~1:5万重力、航磁测量。

（2）配合地质勘查圈定古火山构造：1:1万~1:2.5万高精度重、磁测量，及岩石地球化学测量等。

（3）发现并圈定矿体群或矿体。1:1万~1:5千高精度重力测量，激发极化法、自然场法及岩石地球化学测量等。详查阶段采用充电法，联合剖面法，并配合井中物探等。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表5.1.A　白银厂铜多金属矿田矿床地质特征简表。

表5.1.B　白银厂铜多金属矿田矿床地球物理特征简表。

表5.1.C　白银厂铜多金属矿田矿床地球化学特征简表。

表 5.1.A　白银厂铜多金属矿田矿床地质特征简表

地理位置		甘肃省白银厂市境内	1:20万：J-48-（30）	
矿床类型		海相火山岩型；或块状硫化物矿床	矿石建造	折腰山：Cu-Zn 型，小铁山：Cu-Pb-Zn 型
矿床规模、品位		大型 折腰山：Cu 为 2.84%、Zn 为 2.50%； 小铁山：Pb 为 3.39%、Zn 为 5.34%、Cu 为 1.29%	容矿岩石	石英角斑凝灰岩
地质成矿环境	构造背景	矿田位于北祁连加里东优地槽褶皱带东段中部火山岩带中，近 EW 向的白银厂寒武纪火山岩穹的中部		
	地　层	出露地层以早古生代海底火山喷发沉积和海相碎屑沉积岩为主，赋矿层为一套由基性到酸性分异明显的寒武纪火山岩系，岩性主要为石英角斑凝灰岩、石英钠长斑岩、细碧玢岩等，次为中基性火山-沉积岩（含凝灰质、泥钙质、泥硅质千枚岩等），可划分三个岩组（旋回）、六大岩层（亚旋回）；有三个含矿层：上部含矿层有折腰山、火焰山矿床；中部有小铁山、四个圈矿床；下部有铜厂沟矿床		
	构　造	白银厂矿田火山岩穹，平面呈椭圆形，约东西长 7km，南北宽 5.6km，中心为酸性石英角斑质火山岩；四周为基性细碧岩质及中性角斑岩质火山岩。东、西有两个喷发中心，又有若干受 NWW 和 NE 向两组成岩断裂，交叉控制呈棋盘状分布的火山口和寄生火口。矿床的性质和分布与古火山构造密切相关		
	岩浆岩	侵入岩不甚发育，主要为加里东中—晚期岩浆侵入，以黑云母花岗岩、钠长花岗斑岩和钠长花岗闪长岩为主。岩浆侵入活动与火山活动受同一构造控制，可能属同源产物；两者有继承关系		
	主要控矿因素	以酸性石英角斑质火山岩为中心，四周分布着基性细碧岩质火山岩及中性角斑岩质火山岩的火山岩穹，控制了矿田和矿床的性质与分布 矿化作用与石英角斑岩浆活动有关；矿床的容矿围岩为石英角斑凝灰岩；矿体与地层大致呈整合产出，明显受岩性及层位控制。 矿体均产于强蚀变带中，显示成矿与热液蚀变关系密切		
矿床特征	成矿岩体			
	容矿构造	按产出部位分为两类：①火口型：产于火山口及其近侧，有折腰山、火焰山、铜厂沟矿床； ②火山斜坡型：产于火山斜坡上，有小铁山、四个圈矿床		
	矿化阶段	两个成矿期，五个矿化阶段，即火山喷发成矿期和热液成矿期的四个矿化阶段。 折腰山矿床：形成于火山喷发成矿期和热液成矿期第一、三矿化阶段； 小铁山矿床：在火山喷发成矿期堆积黄铁矿石过程中，叠加热液成矿期第一～第三矿化阶段形成的		
	蚀　变	主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、重晶石化、绿帘石化等，及赤铁矿化、黄钾铁矾化、高岭土化等次生蚀变。矿体均赋存于无长石带，且与其规模及内部分带的明显程度呈正相关		
	矿化分带	矿化分带一般是上部铅锌较多；下部铜含量增多，铅明显减少		
	矿体特征	金属矿物：折腰山：黄铁矿、黄铜矿，闪锌矿、方铅矿、黝铜矿；磁铁矿、磁黄铁矿、自然金等。 小铁山：黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、斑铜矿；毒砂、磁铁矿、自然金等		
		矿石特征：矿石工业类型可划分为：块状铜铅锌矿石、块状含铜黄铁矿石、浸染状铜铅锌矿石、浸染状铜矿石和黄铁矿石		
		矿体形态：以透镜状、扁豆状、似层状为主，次为脉状、楔状，常见其分枝、复合、膨胀、狭缩等现象		
	脉石矿物	折腰山矿床：石英、绢云母、绿泥石、碳酸盐 小铁山矿床：石英、绢云母、绿泥石、白云母、重晶石		
表生地质		折腰山矿床：氧化带较发育，厚 30～40m，可分为风化带（铁帽）、淋失带和次生硫化富集带 小铁山矿床：除其西端有小规模铁帽外，几乎全为盲矿		
地貌景观		干旱荒漠，局部黄土厚覆盖		
备　注				

表 5.1.B　白银厂铜多金属矿田矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	呈长轴为东西向的椭圆形重力高，以 $\Delta g_B 11\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$ 等值线圈闭的重力高异常，约长 15km、宽 12km；该椭圆形重力高，大体对应着白银厂火山岩穹
	磁　场	区域磁场表现为，在长轴呈北西西向椭圆形低缓 ΔT 正磁场背景上，叠加了众多强度 80～350nT 的局部异常群；该宏观高磁异常，大体与白银厂火山岩穹对应
		白银厂矿田处于火山岩穹对应的高重、高磁异常的东缘
矿区(田)异常	重力异常	重力垂向二次导数 Δg_{zz} 异常显示，矿田区处于由多个局部重力低组成的北西西向负重力异常带上，Δg_{zz}：$(-25\sim-35)\times10^{-9}m^{-1}\cdot s^{-2}$ 等值线圈闭范围，与酸性火山岩的分布范围对应
	磁力异常	ΔT_a 异常图上，矿田处于其椭圆形正异常北东侧的 $-10\sim-30$nT 的零星负磁异常分布区，反映区内矿及围岩的磁性均很微弱，且不均匀；椭圆形正异常为基性火山岩的反映
	电异常	
	其他	
矿床异常	重力异常	折腰山矿床：据 1956 年 12 条较低精度的剖面资料，Δg，$3.5\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$ 等值线圈闭，与致密块状矿体对应，剖面上：$\Delta g>2.5\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$，极值位置及形态与块状矿体对应较好。 小铁山矿床：1959 年资料，零值线圈闭包围了矿区东部主矿体；中部因低密度黄土覆盖较厚，异常变弱，1991 年高精度资料，在西部埋深 150m 的矿体上，显示有微弱异常
	磁力异常	折腰山：两个近等轴状 ΔZ 正异常，一个与块状矿体西段对应，系矿体中磁性矿物集聚的反映，形态变化较大表明磁性矿物分布不均；剖面异常很弱（约 60nT），形态较规则，且与矿体对应较好。另一异常为西部浸染状矿体中局部含微弱磁性矿物的反映
	电异常 激电异常	小铁山：异常呈 NW 条带状，η_S3% 等值线可圈定矿体群的分布，激电测深曲线转折点 $AB/2$ 与矿顶埋深相应
	电异常 电阻率异常	折腰山：充电法圈定块状矿体效果较好，电位极大值相对充电点向矿体顶部明显位移，等值线沿矿体走向拉长，约为宽度的三倍；等位线内部稀疏，外部密集，很好地反映了良导矿体的特点　联合剖面：在块状矿体顶部近中心处，有明显的正交点，且低阻带较宽　电测深 ρ_s 断面图中，$\rho_s<20\Omega\cdot m$ 的宽阔低阻带，与块状矿段对应较好，两侧 $\rho_S>100\Omega\cdot m$。 小铁山：充电法等位线呈沿矿走向拉长的椭圆状，属良导体反映；因矿埋深较大，对矿体边界反映不明显。联合剖面上交点联线与激电异常轴大致对应，且低阻带较宽，$\rho_s<600\Omega\cdot m$ 的宽度约 160m，但畸离带不明显
	自电异常	折腰山：$-20\sim-80$mV 等值线伸向南东，局部 -60mV 圈闭大致与块状矿体西段对应；剖面上极值近 -80mV 的宽缓异常，负心大致对应矿体的北缘；东段氧化还原条件不利，异常不明显　西部浸染状矿体上，呈 $-40\sim-140$mV，可能因地处南、北两个炭质岩层形成的较强自电异常（$|\Delta U|=200\sim220$mV）之间，而出现电位相对高；或与近矿部位蚀变破碎等因素有关。 小铁山：椭圆形异常长轴沿矿带分布，-100mV 等值线呈两个封闭圈，大体与顶深 60～70m 的主矿体分布对应

主要岩矿石物性

岩、矿石名称	密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁性		电性	
	常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	$\eta/\%$	$\rho/\Omega\cdot m$
块状含铜黄铁矿	4.74	4.15～4.90	5.18×10^2	8.2×10^1	27.5	
浸染状含铜黄铁矿	3.83	3.09～4.14				
块状多金属矿	4.40	3.36～4.82	4.02×10^2	4.7×10^1	21.1	
矿化石英角斑凝灰岩	2.81	2.61～3.22	2.0×10^1	0.1×10^1	2.7	1.08×10^3
石英角斑凝灰岩	2.74	2.33～3.09	1.6×10^1	0.3×10^1	1.1	2.94×10^3
千枚岩	2.73	2.45～2.95	1.2×10^1	0.2×10^1	1.0	
绢云母绿泥石片岩	2.72	2.47～3.17	2.3×10^1	0.3×10^1	1.0	
炭质千枚岩	2.51	2.22～2.61	5.0×10^1	0.7×10^1	13.2	
备　注						

表 5.1.C　白银厂铜多金属矿田矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、Hg、Sb、Bi、Au、As、Mo、Ni、Co、Mn													
	空间分布	1:20 万水系沉积物测量显示，白银厂地区 Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、Hg、Sb、Bi 等元素异常衬值高，浓集中心明显，高值区相互叠合；Au、As、Mo 异常较弱													
	元素浓度分带	Cu：30～70～140　As：14～28～56　Hg：100～200～400　Bi：0.5～1.0 Pb：30～60～120　Ag：0.1～0.2～0.4　Au：2.5～5.0　Mo：0.8～1.6 Zn：100～200～400　Cd：0.5～1.0～2.0　Mn：800～1000　Sb：0.8～1.6													
	元素水平分带														
	其他特征	白银厂地区地貌景观为干旱荒漠，局部黄土覆盖。气候干旱，干涸沟系发育，植被稀疏，局部黄土覆盖；基岩裸露，岩石物理风化强烈，次生晕不发育，地球化学异常范围不大													
矿床异常	元素组分	地　表													
		Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Mo、Ni、Co、Mn、Hg													
		断　面													
		Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Sb、Mo、Ni、Co、Hg、F、I 等													
	空间分布	折腰山矿床：与火焰山矿床形成统一的 Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 元素的组合异常，近东西向展布，长 2.5km，宽 1.7km，各元素浓集中心不重合。其中 Cu、Pb、Zn、Ag 成矿元素出现内带异常，Cu 异常范围较 Pb 大，在矿体下盘较上盘的异常发育 小铁山矿床（为隐伏矿）：地表异常不明显，卤族元素 I、F 有较明显异常反映，可用以指示赋矿地段														
		折腰山矿床：西Ⅳ线钻孔岩芯测量 Cu、Zn、Hg、Ag、Sn、As、Co、Au 等呈明显多元素组合异常；Ni、Ba 异常不连续。Cu、Zn 异常与矿体范围相当。从元素组合分析：Pb、Zn 在矿上部富集，Cu 富集于下部。 小铁山矿床：东Ⅶ线钻孔岩石地球化学异常剖面显示：Cu、Pb、Zn、Hg、Au、Ag 等元素异常比较发育其范围和形态与矿体基本一致，表明矿体在围岩中扩散、渗透晕不甚发育													
	元素浓度分带	Cu：60～180～540　Au：10～20～40　Co：20～40～80　Hg：30～60～120 Pb：50～150～450　Ag：0.2～0.4～0.8　Ni：15～30 Zn：70～140～280　Mo：1.5～3.0～6.0　Mn：1500～3000～6000														
	元素分带序列	折腰山矿床：As—Ba—Pb—Ag—Au—Hg—Zn—Co—Sn—Cu—Mo—Ni 小铁山矿床：Zn—Au—Ag—Ni—As—Pb—Ba—Hg—Cu—Sn—Co—Mo														
	元素间相关性	Cu 与 Zn、As、Bi、Mo、Ag、Co、Sn、Hg、Ba、Mn 相关 Zn 与 Au、Ag、Hg、Sn、Mn、Ba 相关													
	其他特征	据折腰山矿床钻孔岩芯测试分析：Pb、Zn、I、Cd 位于矿体上部，Cu、Co、Au、Ag、As、Sd、Bi、Mo、Se、Hg 与矿体范围大体一致，形成上 Pb、Zn，下 Cu 的异常分布特征														
矿体剥蚀程度评价指标															
岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg
	折腰山矿床矿石	1.38	0.10	0.42	312	10.5			5.2		230	490	37	166	1.8
	小铁山矿床矿石	1.48	3.66	5.88	1042	15.6			14.0		143	1054	1557	79	29.4
	折腰山围岩	86.7	14.7	221		0.6			1.3	8.3	19.8	27.6			28.1
	小铁山围岩	48.3	10.1	73		0.8			1.1	8.6	12.4				26.4
	石英角斑凝灰岩	32.3	10.2	67		0.2		6.3	1.0	7.7	11.6	20.1			10.6
	绢云母片岩	37.2	13.9	72		0.2			0.7	10.2	10.1				
	千枚岩	25.7	16.2	69		0.1			1.0	10.9	11.1				5.9
	花岗斑岩	36.0	22.1	66		0.1			1.1	7.9	9.5				
备　注		元素质量分数单位：矿石中 Cu、Pb、Zn 为 10^{-2}，Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；围岩中 Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}													

第二节　四川拉拉厂铜矿田

拉拉厂矿田[1]区位于四川省会理县黎溪区，是1957年找镍矿时检查地磁、化探异常发现的。由落凼（大型）、老羊汗滩（中型）、石龙（小型）三个矿床组成，老羊汗滩又包括老虎山铜矿和小厂铜矿。

一、区域背景

矿田区位于扬子地台西缘，康滇地轴（裂谷）中段，金沙江断裂带东侧；属于扬子古板块川滇岛弧带的西南缘、南岭东西向构造带和川滇南北向构造带的复合部位；大体分布在东经102°线附近。

地球物理研究证明：康滇地轴102°带为一古裂谷活动时期发育的地幔岩浆岩构造带，延深很大（15～20 km）；地壳密度高、磁性强，表现为延伸很长的重高、磁高异常带；并显示呈高波速、高阻抗楔形带，无地壳分层反映。

地球化学场显示：拉拉厂一带呈Cu、Co、F、Mo、Sn、Au、Ag等元素含量增高；Pb、Cd、As、Sb、B等元素含量降低的北北东向异常带。

二、成矿环境[2][3]

1. 地层

区内缺失古生界地层，主要地层为下元古界会理群河口组（Pt_1h）。该岩层由一套正常沉积和火山沉积变质岩组成，与矿区西出露的会理群通安组（Pt_1t）海相沉积变质岩，以断裂相接；矿区东部上三叠统白果湾组（T_3b）煤系地层不整合于河口组之上，依次往东为侏罗系和白垩系内湖泊相地层沉积。

河口组地层含上、中、下三个火山喷发旋回，六个岩性段，其中：Pt_1h_2、Pt_1h_4、Pt_1h_6为火山变质岩；Pt_1h_1、Pt_1h_3、Pt_1h_5为沉积变质岩。

主要含矿层为$Pt_1h_4^3$和$Pt_1h_4^1$，其岩性主要为角斑质-石英角斑质火山碎屑及熔岩。落凼、小厂铜矿属$Pt_1h_4^3$含矿层，老虎山、老羊汗滩、石龙铜矿属$Pt_1h_4^1$含矿层；Pt_1h_1、Pt_1h_2、Pt_1h_5岩段中亦发现铜矿化点。

2. 构造

区内具有太古宇结晶基底和元古宇褶皱基底的双层基底构造特征，褶皱、断裂构造发育。NWW向河口背斜为区内主要褶皱，轴部地层为河口组。矿田区位于背斜的南西翼。

拉拉厂地区基本为一轴向近南北，北端仰起、南端撒开的不对称复式向斜构造。其西翼被F_{13}（$F_{Ⅱ}$）断层破坏，直接与通安组地层接触；东翼受东西向挤压，形成次一级的落

---

[1] 罗育全，邓文勋。四川省会理县拉拉厂铜矿物化探方法应用、找矿模型及预测研究成果报告。四川省物探大队综合研究队，1993。

[2] 中国地质科学院成矿远景区划室。矿床成矿模式选编（一）。1990。

[3] 陈广蓉，仇月玲。四川拉拉厂铜矿地质找矿新进展（中国铜矿找矿新进展）。有色金属公司地勘总局编，1993。

向斜、老虎山背斜、小厂向斜等，再向东被 F_{27}、F_{29}断层破坏。

断裂多形成于成矿后，或成矿后复活。按生成早、晚有 EW、NNE、NE 和 NW 向四组，前两组系区域性深断裂，可能形成于结晶基底前，具有继承、复活、改造等特点，控制了区内岩浆的喷溢和侵入；所有断裂对矿体均有破坏作用，但影响不大。

3. 岩浆岩

区内岩浆活动以晋宁期最活跃；次为海西期的基性—超基性岩侵入，其规模甚小。

晋宁早中期以海底间歇喷溢为主，其钠质火山岩为区域成矿母岩，主要由石英钠长岩和火山凝灰岩组成。晋宁中晚期以侵入为主，岩体富含碱、铁质。其辉长岩、花岗斑岩、钠长岩等基性和酸性岩，呈岩床、岩盆状沿围岩的片、层理延展；或在地表呈“岩被”状覆盖于围岩上；局部地段破坏了矿体，又因其热力作用使矿体产生富集、改造。

基性岩发育并呈岩床、岩被覆盖于 Pt_1h_4 含矿层的地段，常有较富矿体分布。

4. 区域地球化学

（1）微量元素的平均含量。由拉拉厂地区不同介质中微量元素含量特征表 5.2.1 可见下述内容。

表 5.2.1　四川拉拉厂地区不同介质中微量元素含量特征

元素	水系沉积物			土　壤			岩　石		
	均值	异常下限	全国均值*	均值	异常下限	全国均值*	均值/统计块数	异常下限	全国均值**
Cu	24.5	30	21	34.1	60	21	20.2/139	50	17
Co	19.4	30	12	22.6	40	12	20.4/181	40	12
Sn	3.1	6	3.3	7.2	15	2.3	3.4/119	5	1.8
Mo	0.6	1	0.85	1.8	3	1.1	1.3/210	3	0.6
As	4.9	13	9.1	4.6	10	9.6	1.03/151	2	2.8
Sb	0.4	0.5	0.73				0.09/181	0.2	0.22
Pb	16.9	30	25	9.4	20	24	11.1/264	20	18
Zn			68	77.0	150	68	36.6/274	100	63
Au	2.6	3	1.3				1.44/175	3	0.77
Ag	70	100	80				31/183	65	56
Mn			682	1637.4	3000	540	1655.4/135	3000	600
Ni	33.9		24	48.8	100	25	68.1/245	100	21
B	44.9	55	46	32.6	80～100	41	13.6/155	30	16
W	1.5		2.0						0.8
Hg	13		42						9.0
F	506.6		484				246.9/184	500	480

元素质量分数单位：Au、Hg、Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；据罗育全、邓文勋 1993 资料编。* 为鄢明才等，中国各类沉积物化学元素平均含量，物探与化探，1995，19（6）；** 为鄢明才、迟清华，中国东部地壳与岩石的化学组成，1997。

①水系沉积物中含量（1:5 万平地幅与姜驿幅）与全国水系沉积物中均值比，仅 Au、Co、Ni 的比值稍高；Cu、Sn、Ag、B 等相近；Mo、As、Sb、Pb、W 等为贫化元素。

②土壤中 Cu、Co、Sn、Mo、As、Zn 等元素含量，比其水系沉积物和岩石中的含量高，表明这几种元素在土壤中富集。与全国土壤中平均值比较：Sn、Mn 为富集元素，Cu、

Mo、Ni、Co等较为富集，As、Pb为贫化元素。

③岩石中含量与我国东部地壳丰度比较：Mn、Ni的浓集系数分别为2.76、3.25，Co、Sn、Mo、Au浓集系数>1，Ag、F、As、Sb、Pb、Zn为贫化元素。

(2) 区域地球化学异常特征　在拉拉厂地区，1:20万区域地球化学Cu、Co、F、Mo、Sn、Au、Ag、Hg等元素组合异常呈北北东向展布（图5.2.1），Pb、Cd、As、Sb、B等元素显示为低于区域背景的负异常，其中Cu、Mo、Au等异常范围较大。拉拉厂矿田位于异常带的北偏东侧。

5. 区域地球物理场

布格重力异常Δg_B显示为长轴呈NE20°的长椭圆状(图5.2.1)，以$-180\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$等值线圈闭范围约150 km^2，幅值大于$8\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$。该区域重力高大体反映了被会理群通安组和中生界地层所夹的河口组的分布范围，东、西梯度带分别与F_{29}、F_{II}断裂带对应。

与重力高对应的航磁ΔT异常，呈北北东向延伸较长，范围较大的宽缓磁异常，其北及北东侧伴有负磁异常；西侧与多个局部正、负磁异常组成的北北东向复杂异常带相接。区域的西北，显示为平稳的正磁场。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

落凼铜矿体主要赋存于$Pt_1h_4^3$的中、下部；$Pt_1h_4^1$、$Pt_1h_4^2$为次要含矿层；老羊汗滩的矿体沿$Pt_1h_4^1$层的下部分布。矿主要赋存于变质凝灰岩中，一般一个小旋回构成一个主矿体；落凼矿床区的5个主矿体占97%的储量。

矿体一般呈似层状、透镜状，与围岩产状基本一致，并随之呈波状起伏变化。多以重叠—叠瓦式产出，膨缩现象明显，亦见分叉、复合及尖灭现象。

矿体分布呈近东西或北西西走向，倾向南或南南西；倾角一般20°~30°。单矿体长近2000~24 m；厚度$n\times100\sim50$ m。落凼铜矿上倾端接近地表，最大埋深403 m；老羊汗滩主矿体埋深150~380 m。

近火山口处，矿体多呈叠层状集中分布，单体厚度明显增加；远离火山口处，矿体数量减少，厚度变薄并趋于尖灭。产于黑云石英片岩、石榴黑云片岩与石英钠长岩的接触处或交替频繁部位的矿体，一般品位较高，连续性好；产于单一岩性或粒度细的致密状石英钠长岩中的矿体品位低，一般不连续。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造一般呈星散浸染和细脉浸染状，局部呈条纹—条带状、脉状或角砾状。

主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、斑铜矿，其次有硫铜钴矿、硫镍钴矿、辉砷钴矿等。脉石矿物以钠长石、石英、黑云母、白云母等为主。

矿石类型以黄铁矿+黄铜矿为主，或为黄铜矿矿石；斑铜矿矿石仅在矿体的局部出现。由于矿体中磁铁矿化发育，铜矿中往往具有富铜富铁的特点。

3. 矿化阶段及分带性

矿化可分为两个阶段，即火山-沉积阶段和后期改造阶段。

4. 蚀变类型及分带

蚀变不发育。主要蚀变矿物有黑云母、氟磷灰石、钠长石、石英、萤石、绿泥石等。

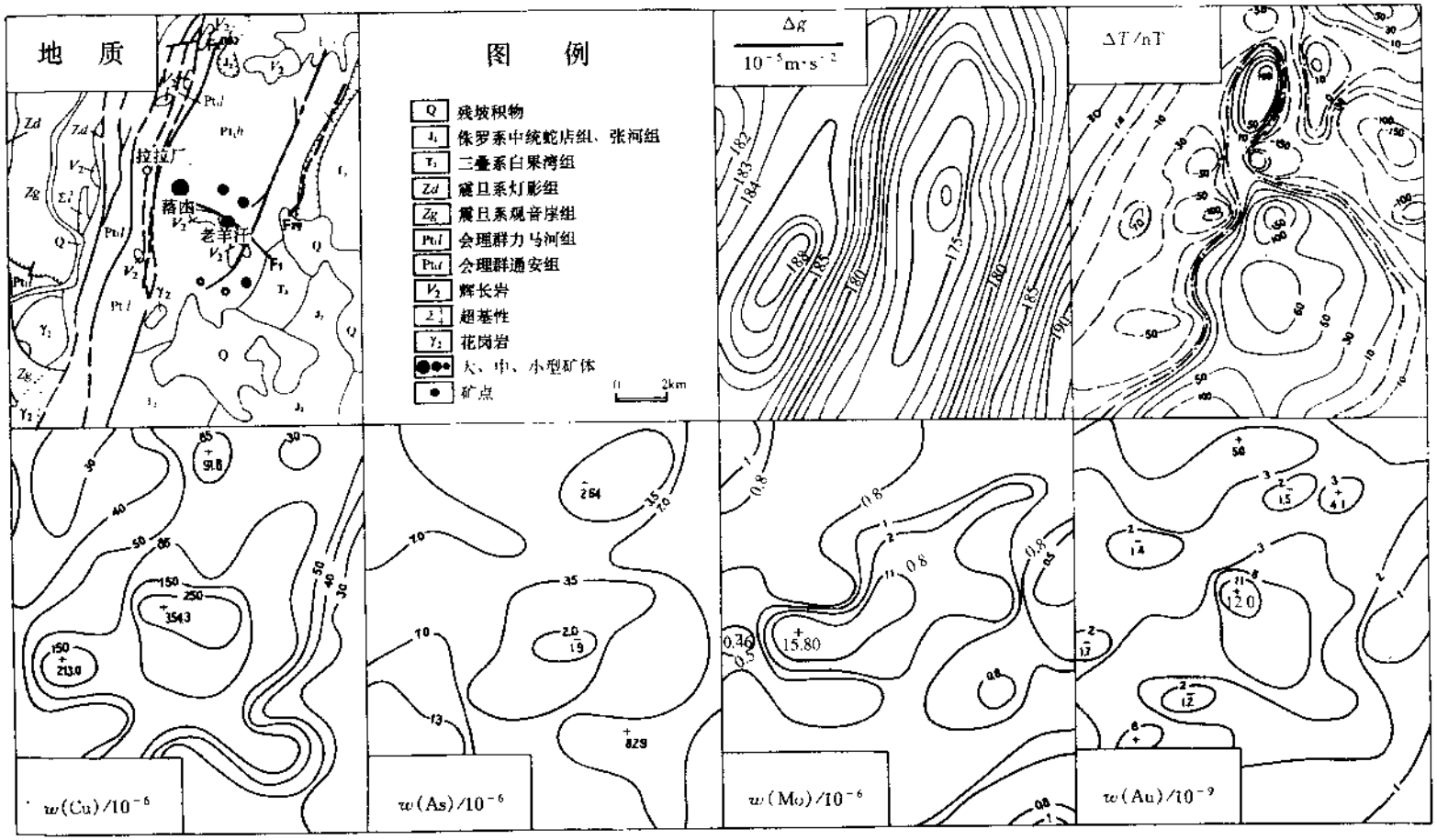


图 5.2.1 拉拉厂铜矿田及外围地球物理-地球化学区域场剖析图

（据罗育全、邓文勋 1993 年资料编）

与铜矿化关系密切的有黑云母化、碳酸盐化，铁黑云母为近矿蚀变（含量 10% ~ 30%时对成矿最有利）；绿泥石化与铜矿化关系不密切。

蚀变未构成明显的分带，但在赋矿地段及其附近黑云母化、萤石化范围狭窄，碳酸盐化分布较宽。由早至晚生成顺次大体为：黑云母化—硅化—萤石化—碳酸盐化—绿泥石化。

5. 氧化带

区内长期处于剥蚀状态，一般氧化深度达 20 ~ 40 m。老羊汗滩、落凼矿区局部地段氧化深度达 80 ~ 100 m。

氧化带中铜矿物有戴氏赤铜矿、孔雀石、蓝铜矿、胆矾等；更多的铜以吸附态存在于硅酸盐矿物和褐铁矿中，形成结合式氧化铜，为难选矿石。

6. 主要控矿因素

矿体明显地受层位和岩性控制：矿体的形态与空间分布受 $Pt_1h_4^3$ 组变质钠长岩（落凼矿床）或 $Pt_1h_4^1$ 组黑云片岩（老羊汗滩矿床）的形态与分布范围控制。

NNE 向和 NWW 向深断裂控制了区内岩浆的喷溢和侵入；向斜的轴部和次级褶皱构造为矿体的富集部位；NE、NW 向断裂对铜矿体有破坏作用。

四、矿区地球物理特征[1]

1. 岩矿石物理性质

(1)区域物性特征：拉拉厂地区主要出露岩层的物性参数列于表5.2.2。含矿地层河

表 5.2.2　拉拉厂地区地层及其容矿岩石物性参数

地层代号	主要岩石	密度 $10^3kg\cdot m^{-3}$	极化率		磁性		
			块数	(%)	块数	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$
T_1h	煤系地层	2.61				< 100	< 100
Pt_1l	海相沉积变质岩	2.78				< 100	< 100
Pt_1h_6	石英钠长岩、磁性及斑状石英钠长岩				1163	4.51×10^3	1.36×10^3
Pt_1h_5	白云石英片岩、大理岩				115	< 100	< 100
	石榴子石角闪钠长岩、钠长岩				390	6.05×10^3	0.49×10^4
$Pt_1h_4^3$	石英钠长岩、云英钠长片岩等	2.84	147	2.0	310	2.76×10^3	1.00×10^3
$Pt_1h_4^2$	白云石英片岩、斑状石英钠长岩		15	1.3	199	< 100	< 100
	磁性石英钠长岩				717	6.10×10^3	1.15×10^3
$Pt_1h_4^1$	石榴子石角闪黑云片岩				234	0.75×10^3	0.20×10^3
Pt_1h_3	钙质白云片岩、白云片岩夹变砂岩				136	< 100	< 100
	绢云炭质板岩		8	22.0			
Pt_1h_2	石英钠长岩、钾长石英钠长岩		15	1.6	226	2.74×10^3	1.12×10^3
Pt_1h_1	白云石英片岩（含炭质板岩）		21	3.4	34	< 100	< 100

据薛钦昌等 1990，罗育全、邓文勋 1993 资料编。

[1] 薛钦昌，苏邑珍，付绍毅等。四川省会理县拉拉厂化探异常检查工作报告。四川省地质局物探队，1990。

口组（Pt_1h）的密度与磁性均高于与之接触的岩层（T_3b 和 Pt_1t），显示了该岩层的基性成分较高，且经受过区域变质的地质特征。此外，三个火山变质岩性段（$Pt_1h_{2,4,6}$）磁性较强；三个沉积变质岩性段（$Pt_1h_{1,3,5}$）磁性微弱，清晰地反映出火山喷发的三个旋回。

地层中以变质作用形成的各种钠长岩磁性最强，其磁性强弱次序为：石英钠长岩 > 斑状石英钠长岩 > 石榴子石角闪钠长岩 > 石英钠长岩。

炭质板岩为高极化、低电阻（ρ：（$n \sim n \times 10$）Ω·m）岩石，其他岩石均呈微极化、高电阻（ρ：约为 1000 ~ 3000Ω·m）。

（2）矿区物性分析。据落凼矿区 1 线和老羊汗滩矿区 24 线（图 5.2.5）钻孔岩芯物性测定数据，重新作了统计。表 5.2.3 中磁性参数与参考资料（罗育全，邓文勋）磁性统计值的差别在于：磁性均值是根据实测最低数值，对“无”磁性标本的 κ、M_r 值，分别赋以 $80 \times 4\pi \times 10^{-6}$SI、$40 \times 10^{-3}$A/m 的统计结果。

表 5.2.3 矿床区主要岩矿石物性参数统计表

岩矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		极化率/%		磁化率 $\kappa/4\pi \times 10^{-6}$SI		剩磁 $M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	
	落凼	老羊汗滩	落凼	老羊汗滩	落凼	老羊汗滩	落凼	老羊汗滩
	平均值 变化范围 （测定块数）		平均值 变化范围 （测定块数）		平均值* “有”磁性标本磁性变化范围 （测定总块数/“无”磁标本块数）			
铜矿石	2.96 2.52 ~ 3.46 (60)	2.92 (26)	26.9 (60)	22.5 (32)	1.22×10^4 1459 ~ 240789 (60/21)	7.77×10^3 (36/19)	2.28×10^3 366 ~ 33379 (60/21)	1.85×10^3 (36/20)
铁矿石	3.62 (1)	3.68 (3)	21.4 (1)	35.3 (3)	9.71×10^4 (1)	8.61×10^4 (3)	5.40×10^3 (1)	2.05×10^4 (3)
辉长岩	2.87 (18)	2.96 2.83 ~ 3.08 (78)	4.12 (18)	2.27 0.56 ~ 9.15 (78)	3.19×10^3 (25/11)	2.88×10^3 756 ~ 47449 (78/41)	8.19×10^2 (25/11)	4.26×10^2 114 ~ 5813 (78/39)
钠长岩	2.86 2.72 ~ 3.00 (91)	2.82 2.70 ~ 2.94 (115)	3.02 1.19 ~ 7.66 (91)	2.28 0.47 ~ 10.96 (115)	1.07×10^4 2573 ~ 111736 (91/34)	2.53×10^3 254 ~ 79318 (115/51)	1.17×10^3 302 ~ 11302 (91/34)	1.62×10^3 316 ~ 23297 (115/47)
片岩类	2.93 2.81 ~ 3.04 (87)	2.83 2.70 ~ 2.95 (68)	3.82 0.70 ~ 20.80 (87)	2.25 0.49 ~ 10.32 (78)	8.12×10^3 2322 ~ 88827 (87/38)	1.23×10^3 162 ~ 29482 (68/31)	1.70×10^3 652 ~ 13615 (87/38)	5.35×10^2 127 ~ 7528 (68/32)

※“有”磁性标本的数据平均值。

①密度：矿石及大多数岩石的密度均较高（$> 2.80 \times 10^3$kg·m^{-3}），而且有的岩石，如部分辉长岩的密度甚至高于矿石。在密度参数断面（图 5.2.2、5.2.3）中，矿体虽都与高密度带（$\sigma > 3.00 \times 10^3$kg·m^{-3}）对应，但围岩中亦出现不少高密度分布区，所以宏观上，岩石与矿石的密度差异不甚明显或不明显。

②磁性：矿石磁性依次为磁铁矿、磁赤铁矿 > 铜矿石 > 赤铁矿、磁赤铁矿 > 锰铁矿。不同层位的铜矿石磁性变化较大。落凼矿区：矿石标本中微磁性者较少，且微磁性标本多采于矿层的顶、底板，在磁性断面图中，部分矿体与高磁中心对应。老羊汗滩矿区：微磁

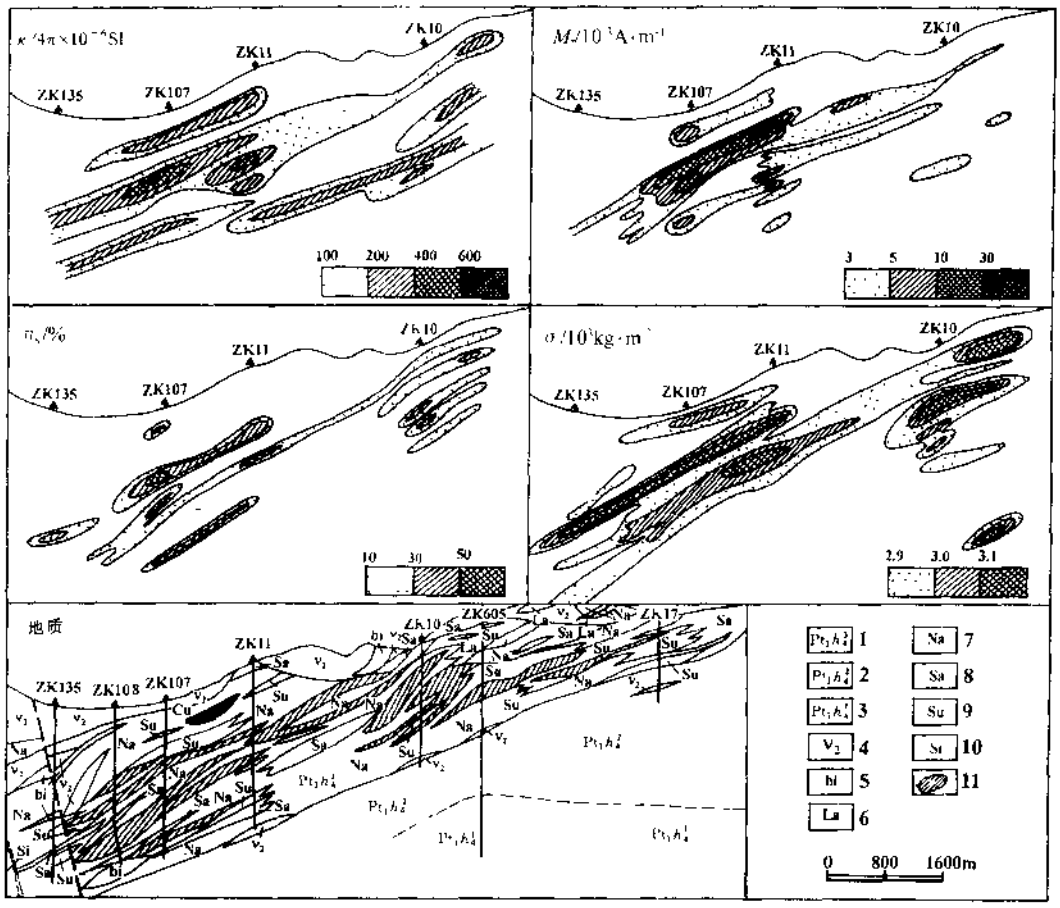


图 5.2.2 落凼矿区 II 线物性断面剖析图

（据罗育全、邓文勋 1993 年资料编绘）

1～3—河口组第二、二、一岩性段；4—辉长岩；5—侵入角砾岩；6—煌斑岩脉；7—石英钠长岩；8—白云石英片岩；9—黑云片岩；10—炭质板岩；11—铜矿体

性的标本过半，其高磁性标本多采于矿层的顶、底板。在磁性断面图中，部分矿体被零等值线圈围，多数矿体与磁性等值线的分布无明显的相关关系。

铜矿石磁性虽高于围岩，但其均值差异不足一倍，又因矿体的部分直接围岩磁性较强，因此岩、矿石间宏观磁性差异不明显

③电性：铜矿石具有较高的极化率（>30%），但由于金属矿物分布不均匀，以及受矿石结构、构造等因素影响，其极化率不甚稳定（图 5.2.4）。鉴于一般围岩的极化率很低（1%～3%），因此，岩、矿极化率仍有明显的差异；在物性断面图中，高极化率范围与矿层的分布对应极好。

2. 物性模型

据拉拉厂矿区岩矿石综合物性特征（表 5.2.4）分析：落凼矿床区，矿相对围岩呈高磁、弱高密度、高极化和微低电阻特征；与铜矿石极化率相近的赤、磁铁矿和炭质板岩的区别在于赤、磁铁矿磁性更强，其电阻率与围岩相当；炭质板岩为微磁、低密度和低电阻。老羊汗滩矿与围岩仅有明显的电性差异。

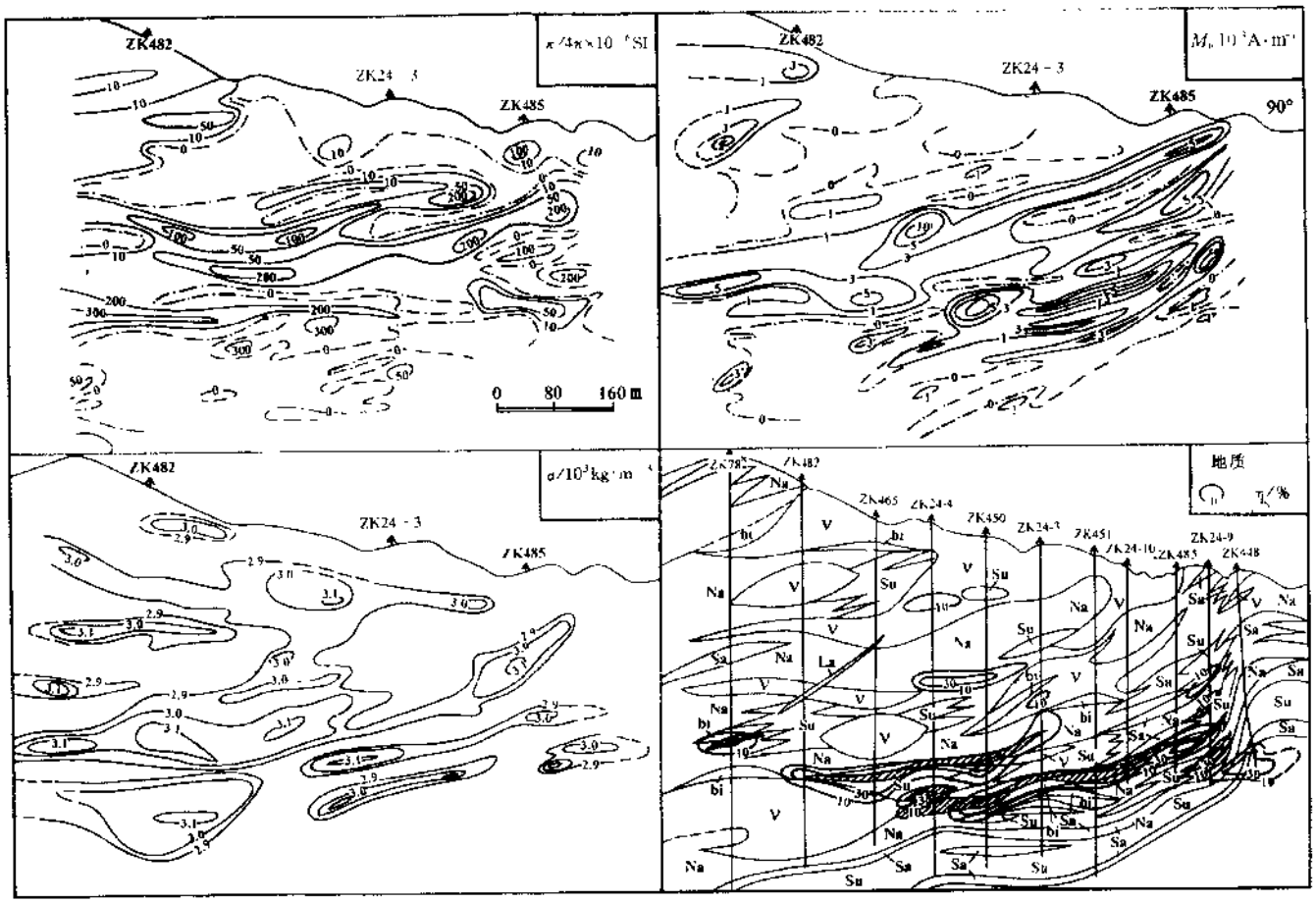


图 5.2.3 老羊汗滩矿区 24 线物性断面剖析图

（据罗育全、邓文劭 1993 年资料编绘）

1—辉长岩；2—侵入角砾岩；3—煌斑岩脉；4—石英钠长岩；5—白云石英片岩；6—黑云片岩；7—炭质板岩；8—铜矿体；9—铁矿体

表 5.2.4　拉拉厂铜矿田岩矿石综合物性特征表

物性参数　代号(单位)	落卤矿床区		老羊汗滩矿床区		赤、磁铁矿	炭质板岩
	铜矿体	围　岩	铜矿体	围　岩		
密度　$\sigma/10^3 kg\cdot m^{-3}$	2.96	2.86	2.92	2.82 左右	>3.05	<2.80
磁化强度 $M/A\cdot m^{-1}$	8.0	5.8 左右	5.5	2.4 左右	47.3	<0.05
极化率 η/%	26.9	3.5 左右	22.0	2.3	31.2	22.0
电阻率 $\rho/\Omega\cdot m$	铜矿：260～100；围岩：1000～3000				2000～4000	$n\sim n\times 10$

3. 地球物理异常

(1) 矿田区：①磁异常：地面（1:2.5 万）磁测结果显示（图 5.2.5）：ΔZ 异常形态复杂，正、负异常梯度变化大，零值附近等值线密集成束；小范围的正、负异常随处可见，正、负极值一般为 400～1900nT、－200～－900nT，个别异常内圈等值线可达 2900nT 或－2100nT。宏观正磁异常区呈北西向展布，其南东端转向近南北向，与河口组含矿层分布相当。已知矿床及多数铜、铁矿点均分布于正磁异常中部或边缘。②重力异常：落卤和老羊汗滩矿区，对应有 $3.5\times10^{-13}m^{-1}\cdot s^{-2}$ 和 $6.5\times10^{-13}m^{-1}\cdot s^{-2}$ 的垂向二导异常，显示矿体及近矿围岩具有较大的剩余密度。因系 1:20 万资料，难以提供更详细的信息。

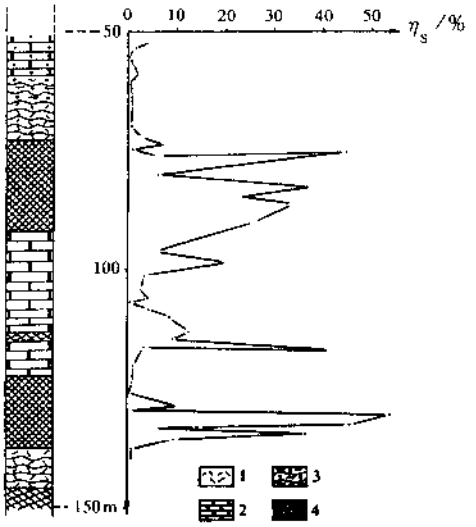


图 5.2.4　落卤矿区Ⅵ线 ZK107 孔极化率柱状图

(引自薛钦昌等，1990)

1—流纹岩；2—白云岩；3—混合岩；4—铜矿体

(2) 矿床区：

落卤矿床：

①激电异常：中梯装置：η_S 平面图（图 5.2.6）显示：η_S5%等值线圈闭与矿体分布范围对应较好，其北缘大致对应于见矿孔北界联线；南西侧异常减弱，为矿体向南西倾斜、埋藏深度加大的反映。5%等值线圈内包容了三个近东西向的 η_S 局部异常，反映了矿体群的总体走向及其富集部位。

Ⅵ线综合剖面穿过激电异常中部，对应矿体群上倾端：η_S 极值约 10%（图 5.2.7），沿主矿体倾斜方向异常呈台阶式缓慢下降；下倾端（埋深约 400m）$\eta_S<2\%$；在矿体群上方小于 300Ω·m 局部低阻背景段上，ρ_S 呈 700～1600Ω·m 的高阻异常。

激电测深断面图（1:4000）上，η_S 高值区呈半封闭楔型，当对数“模”取 1.45cm 时，楔型异常大体反映了矿体群的空间分布。

矿体电阻率较高，采用激电二次参数——视激电率 C_S（$\eta_S\cdot\rho_S$）可辅以识别激电异常

②磁异常：矿体上地磁 ΔZ 有异常反映，且总体显示为南缓北陡。因斜磁化影响，在矿体上倾端出现伴生的－1000nT 左右的负磁异常。因异常形态不规则，又无较平稳的正

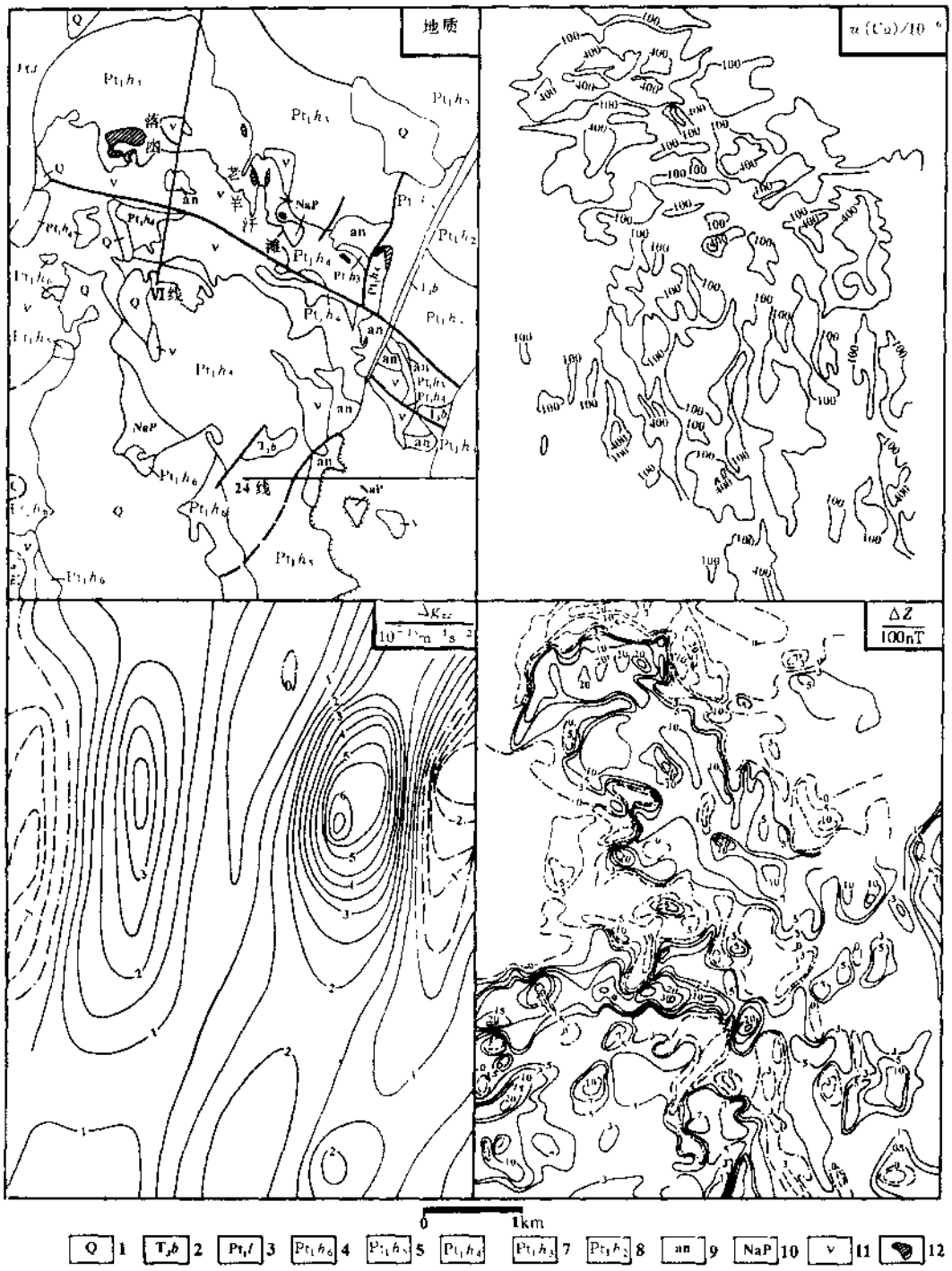


图 5.2.5　拉拉厂矿田区物探化探异常综合平面图

（据罗育全、邓文勋 1993 年资料编绘）

1—第四系；2—白果湾组；3—会理群力马河组；4—上火山变质岩段；5—上沉积变质岩段；6—中火山变质岩段；7—中沉积变质岩段；8—下火山变质岩段；9—钠长岩；10—斑状石英钠长岩；11—辉长岩；12—铜矿体　编者注：图中 g_z 采用艾勒金斯Ⅱ公式，计算半径 500m，单位 $10^{-13}/m \cdot s^2$ 可能有误

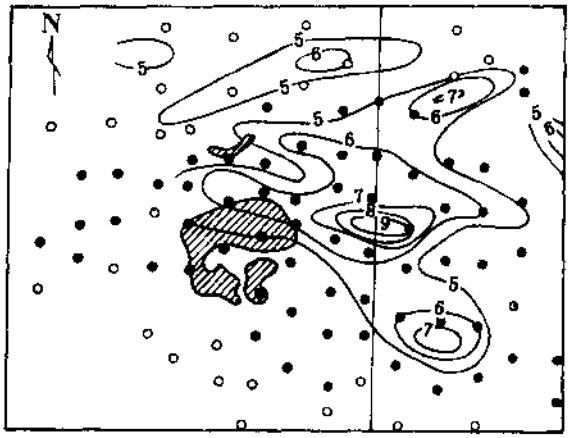


图 5.2.6 落凼矿区激电法（中梯）η_S（%）平面图

（引自薛钦昌等，1990）

·—见矿钻孔；—未见矿孔

常场衬托，故单以磁测资料识别矿体引起的异常较难。

③重力异常：根据Ⅶ线地质勘探剖面及岩矿石密度资料，将矿体群及片岩体作为相对高密度体，其密度差取 $0.08\times10^3 kg\cdot m^{-3}$ 及 $0.06\times10^3 kg\cdot m^{-3}$，重力正演计算均可引起近 $0.2\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$ 的重力异常（图 5.2.12）；异常叠合幅值略大于 $0.25\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$。

老羊汗滩矿床：

①激电异常：24 线综合剖面（图 5.2.8）显示：采用 AB = 1500m、MN = 40m 的激电中梯装置，对应埋深较浅的矿体群上倾部位呈宽缓的微弱异常，η_S 约 4%，相对幅度 1% 左右；ρ_S 在 240 ~ 1500Ω·m 间跳跃，无明显异常。

激电测深断面图（1:4000，对数“模”取 1.45cm）上：$AB/2$ = 100m 加大到 750m 时，η_S 由 1%增至 4%、ρ_S 由 100 增至 500Ω·m；视激电率 G_S 的 5、10Ω·m 等值线，可大体反映矿体群的总体分布形态，显示了缓倾矿体上测深装置效果优于中梯装置。

②磁异常：地磁 ΔZ 或 ΔT 观测曲线、对应矿体部位，均无能以识别的异常显示。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

炭质板岩、铁矿体、铁矿化等是激电法工作的干扰。前两种干扰通过其他方法的综合解释，可予以识别；铁矿化激电异常则难予区分。

图 5.2.12 重力正演计算结果表明，非含矿片岩是重力异常的主要干扰；应用综合电、磁法异常有可能区分。

落凼矿体群总体产状呈层状，且水平延伸甚大，影响纵向分辨率较差的重力、磁法和中梯装置激电法圈定矿体的效果。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

（1）矿床区主要围岩中微量元素含量见表 5.2.5。角砾岩中 Cu、Au、Ag 等成矿元素含量较高，可能与矿化作用有关；炭质板岩中 Cu、Mo、Ag、As 等元素较其他岩石含量高。除 Ag 外，Cu、Mo 可能形成水系沉积物测量的干扰异常。

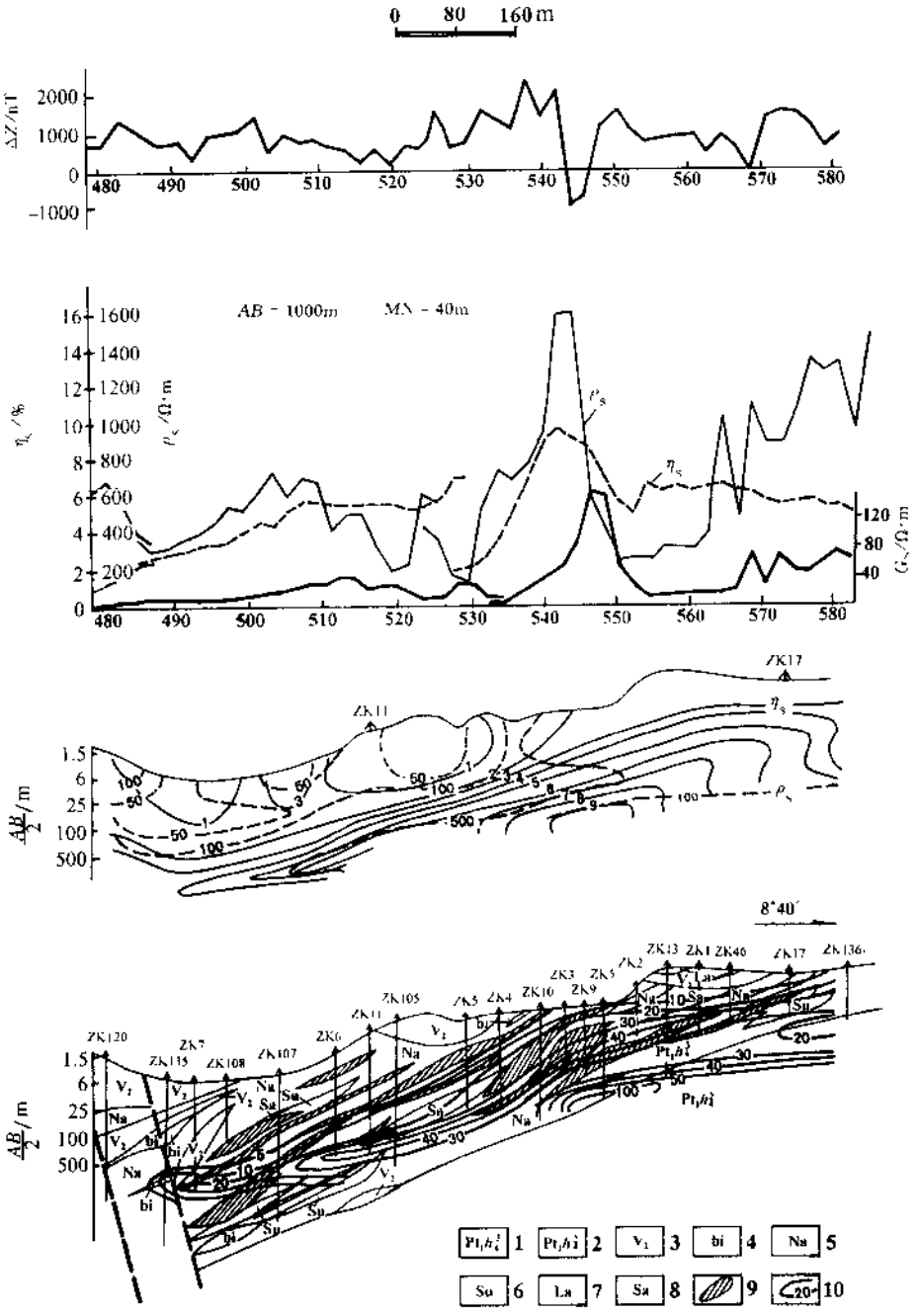


图 5.2.7 洛南矿区Ⅵ线物探综合剖面图

（据罗育仝、邓文勋 1993 年资料编绘）

1—黑云片岩、二云片岩、白云石英岩；2—白云钠长片岩、磁铁石英钠长岩；3—辉长岩；4—侵入角砾岩；5—钠长岩；6—黑云片岩；7—煌斑岩脉；8—白云石英片岩、石英白云片岩；9—铜矿体；10—视激电率 G_s 等值线

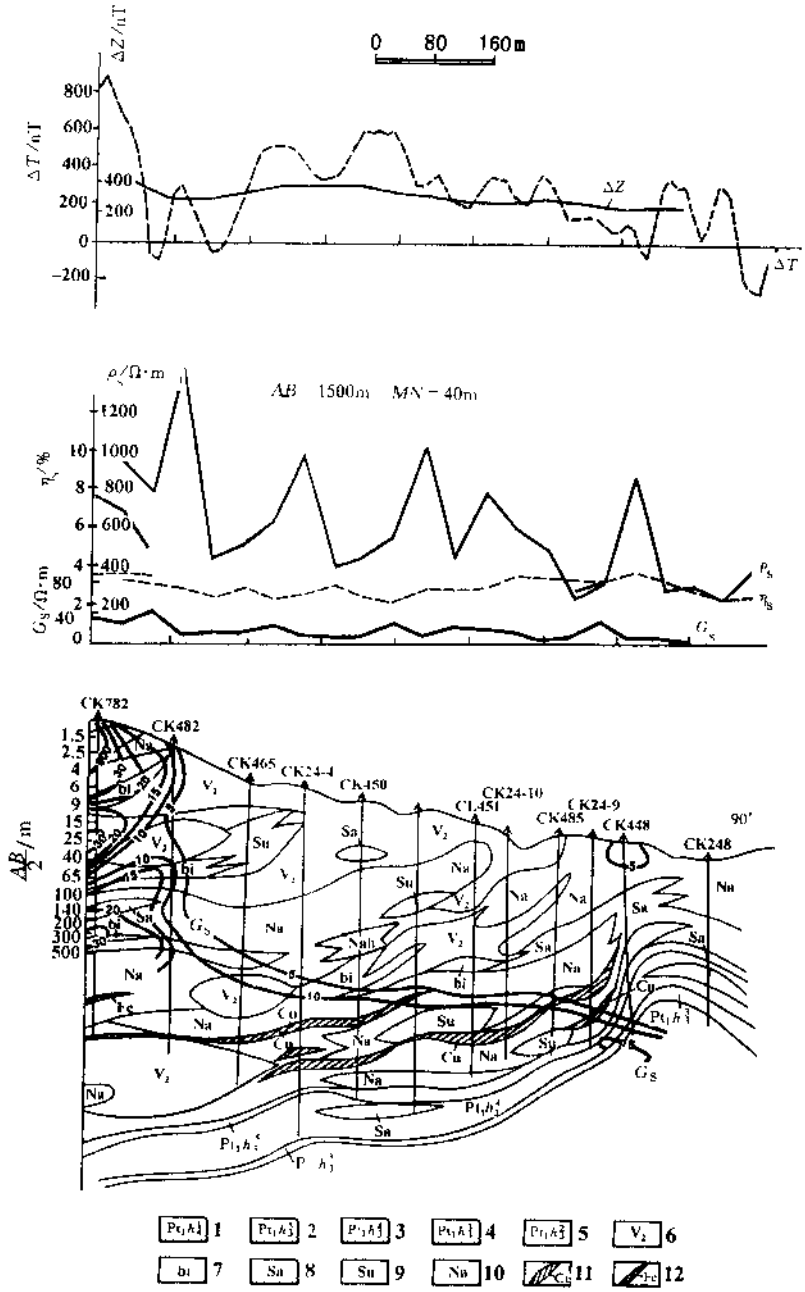


图 5.2.8　老羊汗滩矿区 24 线物探综合剖面图

（据罗育仓、邓文勋 1993 年资料编绘）

1—石榴子石黑云片岩、黑云片岩、斑状石英钠长岩；2—白云石英片岩；3—石榴子石角闪黑云片岩辉长岩；4—钙质白云石英片岩；5—绢云炭质板岩夹大理岩及变砂岩；6—辉长岩；7—侵入角砾岩；8—白云石英片岩、石英白云片岩；9—黑云片岩；10—角闪石英钠长岩；11—铜矿体；12—铁矿体

表 5.2.5　落凼矿区围岩部分微量元素含量统计表

岩石名称	Cu	Co	Sn	Mo	As	Sb	Bi	Au	Ag	F	Mn
白云石英片岩	15.9 7*	13.2 11	3.30 5	1.71 10	0.90 12	0.08 14	0.09 8	0.83 11	0.03 6	127.5 14	1883 12
云母片岩	23.6 12	14.6 15	3.42 14	1.25 14	1.06 14	0.06 12	0.08 17	0.95 11	0.03 6	169.8 17	1626 19
黑云片岩	25.0 10	19.2 17	3.59 9	1.59 15	0.90 13	0.08 21	0.09 13	0.87 9	0.04 6	125.4 12	1955 18
炭质板岩	32.0 2	16.7 5	3.30 3	1.86 5	1.31 3	0.13 4	0.08 4	1.20 5	0.16 6	166.7 3	1538 3
肉长岩类	20.9 23	17.2 57	3.31 26	1.49 40	0.97 47	0.09 50	0.08 37	0.97 26	0.04 23	150.7 35	1462 49
辉长岩类	24.4 8	32.3 7	3.39 7	0.99 8	0.90 10	0.11 8	0.08 7	0.69 7	0.04 10	163.9 9	2012 11
角砾岩	31.4 4	17.5 4	3.20 3	1.10 8	0.82 4	0.07 3	0.09 4	1.73 3	0.06 5	171.9 4	1714 7
区域背景值	20.2	20.4	3.41	1.27	1.03	0.085	<0.10	1.44	0.031	246.7	1655

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；※为统计样品数　　据罗育全等 1993 年资料编

（2）表 5.2.6 显示：落凼矿区铜矿石中，Co、Sn、Mo、Bi 元素含量亦较高；与铜矿化岩石中伴生元素及环境元素含量比较，有较明显的差别。

表 5.2.6　落凼矿区铜矿石与铜矿化岩石部分元素含量对比

样　品	Co	Mo	Sn	As	Bi	F	SO_4^{2-}	La	Y	K_2O	Na_2O
铜矿石(43 块)	144.6	113.6	33.3	45.0	1.82	2314	35326	251.0	101.6	30687	22317
铜矿化岩石(43 块)	53.7	23.6	15.9	9.2	0.33	575	17693	100.9	67.5	38586	23717

元素质量分数单位：10^{-6}。　　据罗育全、邓文勋 1993 年资料编。

（3）根据其他资料认为：铜矿石中 Pb、Zn 偏低，以及 Pb、Zn 元素仅在部分非含矿层位（$Pt_1h_3^{2-4}$、$Pt_1h_5^1$、Pt_1h_6 等）的岩石中局部增高的地球化学特征，显示落凼矿床有别于一般含铜黄铁矿型铜矿。

2. 地球化学异常

（1）矿田区。土壤测量（1∶1 万）：异常与地质构造线方向一致，即由东西向至小厂—石龙段转向近南北向。其中 Cu 异常分布集中，规模较大，形态复杂，浓集中心清晰（图 5.2.5），并伴有 Co、Mo、Sn、As、Ag、Nb、La 等元素异常；Co、Mo、Sn、Ag 异常浓集中心与 Cu 异常浓集中心吻合。落凼、老羊汗滩、石龙等矿床均分布在该异常范围内。

（2）矿床区

①土壤测量：Cu、Co、Mo、Sn、Ag、La 等元素组合异常呈不规则状，面积约 $4km^2$（大于矿区的矿化范围），分布在落凼矿区①、②、③号矿体上及其周围，异常轴向大致与铜矿体一致（图 5.2.9）。矿体上主要有 Cu、Mo、Co、Sn、Ag 异常，Cu 异常分带不清晰，但浓集中心明显；Mo、Co、Sn、Ag 的异常分布与铜矿体基本一致或略小。

在矿化富集地段，环境元素 K_2O 和 Fe_2O_3 有明显异常，其含量分别为 8.12%～8.80%

和20%～40%；而 Na_2O 则呈现贫化，含量2.60%～2.67%，低于3.0%的背景。

②钻孔岩石地球化学剖面异常：落凼矿区Ⅵ线、老羊汗滩矿区24线钻孔岩石地球化学异常（图5.2.10、5.2.11）显示异常浓度分带明显，具同心结构，中、内带紧密。据Cu、Mo、Co、Sn、Au、Ag、As、Sb、Bi、F等10种元素统计，矿体上、下盘原生异常扩散距离落凼矿区一般为3～10m；老羊汗滩矿区为5～20m。矿体上盘晕相对发育的异常元素有：Sn、Sb、Au、F等；下盘晕发育的有 SO_4^{2-}、Cu、Co、Bi等；沿矿体倾向下方晕渗滤迁移距离达150m～220m的有 SO_4^{2-} 及Ag、As、Cu等元素，迁移较近有Sn、Bi、F等元素。由于矿层多，各元素异常相互叠合，原生异常分带不明显，浓度梯度变化大；离开矿体很快就降至背景场。

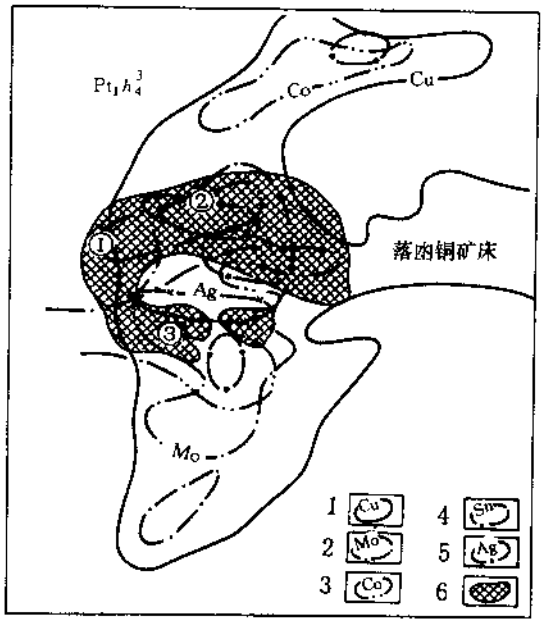


图5.2.9 落凼矿床区土壤测量异常特征
（引自薛钦昌等1990资料）
1—$w(Cu)\leqslant 200\times10^{-6}$；2—$w(Mo)\leqslant 8\times10^{-6}$；3—$w(Co)\leqslant 80\times10^{-6}$；4 $w(Sn)\leqslant 30\times10^{-6}$；5—$w(Ag)\leqslant 0.4\times10^{-6}$；6—矿体及编号

落凼Ⅵ线钻孔岩石Cu、Mo、Au、Ag、Sb元素异常含量偏高，Co、Sn、Mo、Au、Ag、As、Sb、Bi与Cu异常浓集中心叠合程度为76%～96%；老羊汗滩24线钻孔岩石Co、Sn、As、Bi、F等元素异常含量偏高，与Cu浓集中心叠合度为55%～70%。

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

（1）分带序列：因矿体成群产出，原生异常分带不明显，仅以其指示元素异常出露部位及异常规模大小排序，提出宏观的元素分带序列如下。

落凼矿床：自下而上 Ni、Sn、Mo、Co（底板）→Cu（矿体）→Cr、Ba、B（顶板）。

老羊汗滩矿床：由内而外或自下而上 Co（Bi）→Mo（Sn）→As→Cu（Au、Ag、Sb）→F（Bi）。

（2）矿化剥蚀程度：利用一些元素的比值可作为判断矿体剥蚀深度的指标。由表5.2.7可见：$w(Zn)/w(Sn)$、$w(B)/w(Cu)$、$w(Ba)/w(Cu)$比值小，$w(Cu)/w(Cr)$比值大，为矿体剥蚀深的标志；反之则为浅剥蚀。

利用原生晕轴向分带序列：若异常组分以Zn、B、Ba为主，属矿体剥蚀较浅异常。以Cu、Mo、Co为主，为中等剥蚀。若异常呈Ni、Cr、V组合，则显示矿体已剥蚀至尾部。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 拉拉厂铜矿田地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表5.2.8。

2. 地质-地球物理-地球化学找矿模型见图5.2.12。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定含矿层：1:20万水系沉积物测量，配合以1:10万～1:5万重力、航

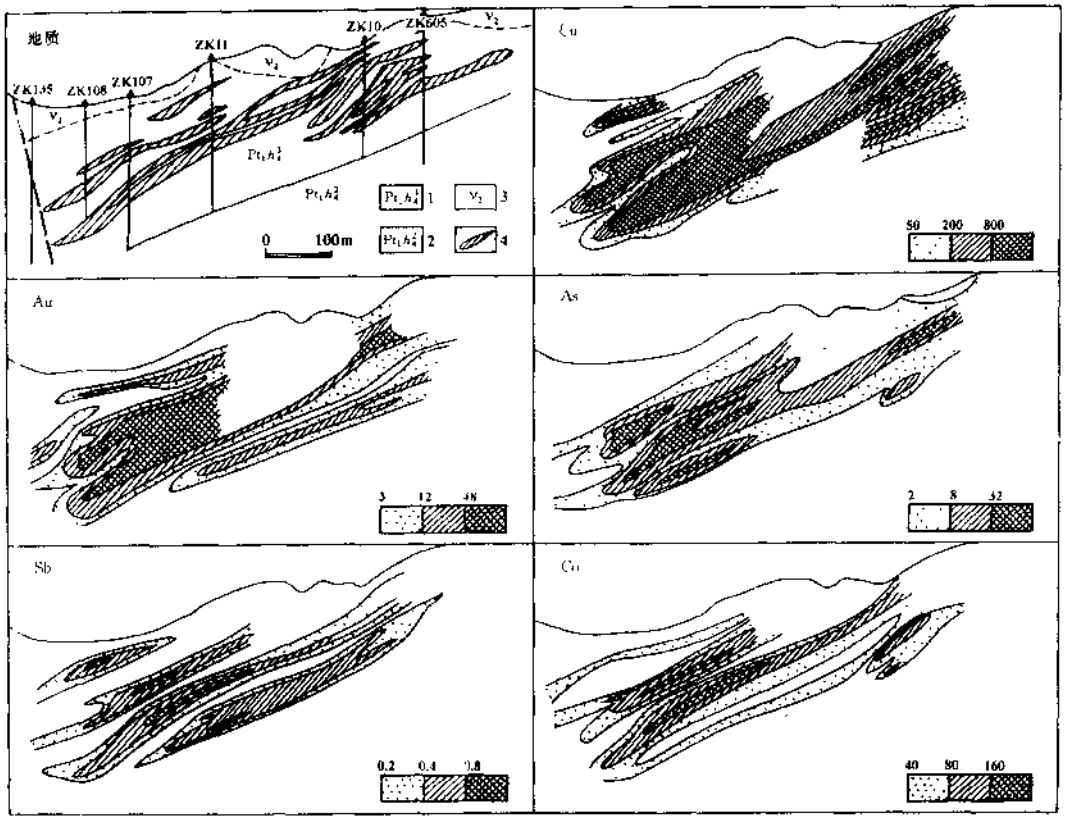


图 5.2.10　落凼矿区Ⅶ线勘探剖面钻孔岩石地球化学异常图

（据罗育令　邓文勋 1993 年资料编绘）

1—黑云片岩、二云片岩、白云石英岩；2—白云钠长片岩、磁铁石英钠长岩；3—辉长岩；4—铜矿体；

Au 的质量分数单位为 10^{-9}，其余为 10^{-6}

磁测量。

（2）发现并圈定矿化富集部位：高精度重、磁测量，激发极化法（中梯装置）及岩石或土壤地球化学测量等综合手段。

表 5.2.7　元素对比值与矿体关系

浓度分带 （与矿体距离）	内带 （10～50m）	中带 （50～150m）	外带 （>150m）
$w(Zn)/w(Sn)$	1～3	3～5	5～10
$w(B)/w(Cu)$	0.001～0.01	0.01～0.30	0.5～1.0
$w(Ba)/w(Cu)$	0.1～1.0	1～5	5～10
$w(Cu)/w(Cr)$	10～100	1～10	0.1～1.0

引自薛钦昌等 1990 资料。

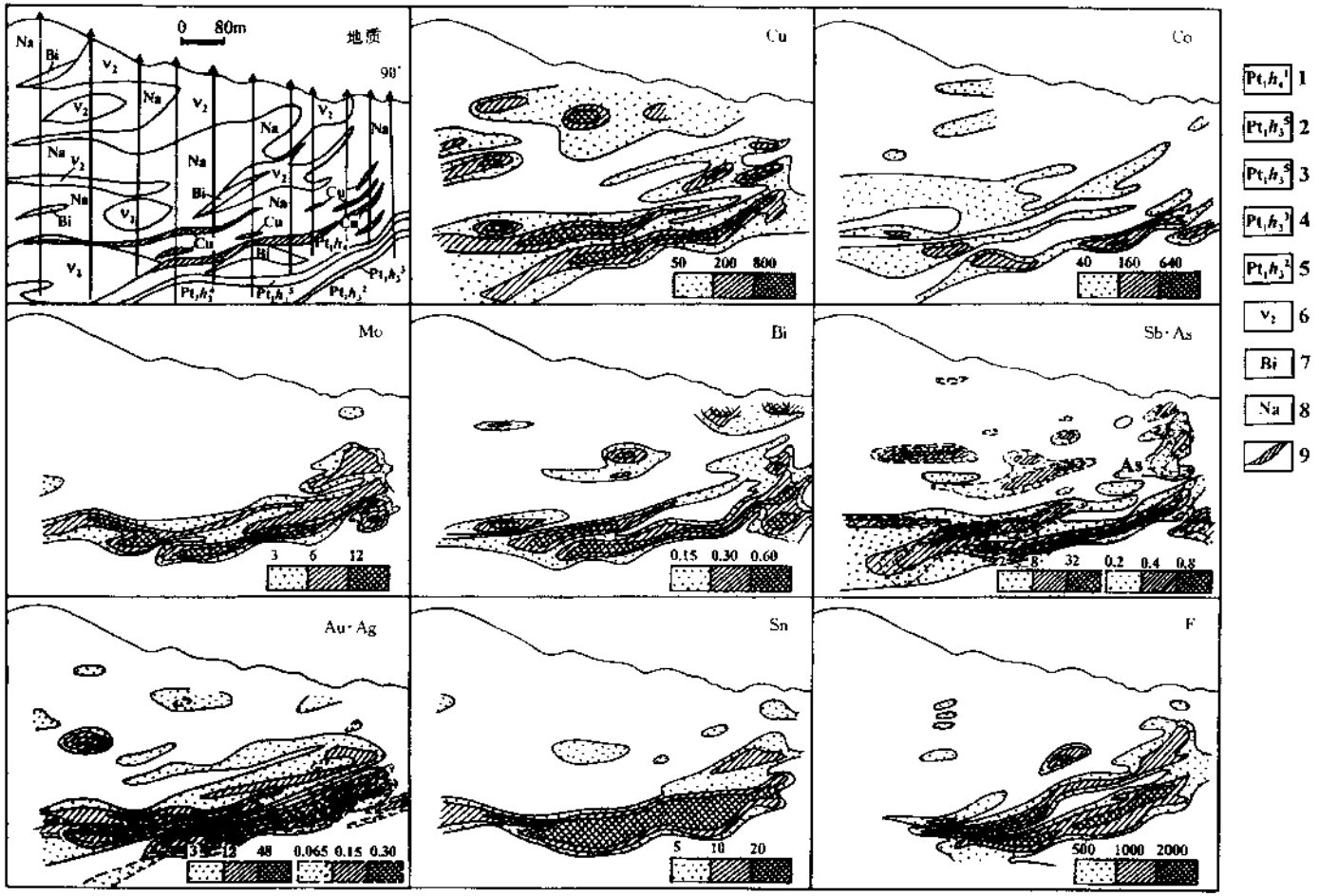


图 5.2.11　老羊汗滩矿区 24 线勘探剖面钻孔岩石地球化学异常图

（据罗育全、邓文勋 1993 年资料编绘）

1—石榴子石黑云片岩、黑云片岩、斑状石英钠长岩；2—白云石英片岩；3—石榴子石角闪黑云片岩辉长岩；4—钙质白云石英片岩；5—绢云炭质板岩夹大理岩及变砂岩；6—辉长岩；7—侵入角砾岩；8—石英钠长岩；9—铜矿体。Au 的质量分数单位为 10^{-9}，其余为 10^{-6}

表 5.2.8　拉拉厂铜矿田地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	矿田位于扬子地台西缘，康滇地轴中段、金沙江断裂带东侧，属于扬子古板块川滇岛弧带的西南缘、南岭东西向构造带和川滇南北向构造带的复合部位	
	地球物理场	北北东向延伸很长的重高、磁高异常带	
	地球化学场	呈 Cu、Co、F、Mo、Sn、Au、Ag 等含量增高；Pb、Cd、As、Sb、B 等降低的北北东向异常带	
地质	地　层	中元古界河口组 Pt_1h_4 为区内重要含矿层。铜矿主要分布于 $Pt_1h_4^3$、$Pt_1h_4^1$ 两个层位中，Pt_1h_1、Pt_1h_2、Pt_1h_5 岩段中亦发现铜矿化点。 钠质火山岩建造是一个较大范围的找矿标志，特别是地层中呈封闭的火山碎屑堆积透镜体	
	构　造	拉拉厂向斜是铜矿床的区域地质构造条件；矿体主要富集于其轴部与次级褶皱构造中。 断裂多形成于成矿后或成矿后复活，对矿体虽有破坏作用，但对矿体的后期改造、富集又起了重要作用。矿床一般位于 NWW 向断裂的两侧	
	岩浆岩	晋宁期钠质火山岩为区域成矿母岩，主要由石英钠长岩和火山凝灰岩组成。铜矿床与变质火山岩类（变钠质粗面岩、霏细岩及变质凝灰岩等）和变质钠长岩类有密切的成因联系，晋宁期基性侵入岩既破坏了矿体，又因其热力对矿体有改造、富集作用。基性岩发育并呈岩床、岩被覆盖于 Pt_1h 含矿层的地段，常有较富矿体分布	
	围岩蚀变	蚀变不发育，未构成明显的分带，但在赋矿地段及其附近黑云母化、萤石化范围狭窄，碳酸盐化分布较宽；与铜矿化关系密切的有黑云母化、碳酸盐化，特别是铁黑云母化是近矿蚀变（含量 10%～30%时对成矿最有利）；绿泥石化与铜矿化关系不密切	
	赋矿部位	铜矿体主要赋存于拉拉厂向斜的轴部上含矿段（$Pt_1h_4^3$）、含矿岩石为黑云石英片岩和石英钠长岩互层；其次为下含矿段（$Pt_1h_4^1$），含矿岩石为石榴子石黑云片岩夹少量石英钠长岩	
	主要矿石矿物	黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿为主，次有斑铜矿、辉钼矿、辉铅矿、硫铜铅矿、硫镍铅矿、辉砷铅矿、赤铁矿、钛铁矿、锡石等	
	直接找矿标志	铜的地表氧化物，岩石中残留的浸染状褐铁矿团点，及铜草等	
地球物理	探测目标物	含矿层（$Pt_1h_4^{3-2}$）	铜矿体群
	目标物物性特征	高密度（相对围岩 $\Delta\sigma=(0.1\sim0.2)\times10^3kg/m^3$） 高磁（$M=1\sim3A/m$） 微极化（$\eta$ 2.0%）	高密度（$\Delta\sigma=0.8\times10^3kg/m^3$） 高磁（$M=10A/m$） 中极化（$\eta$ 26.9%）、中—高阻
	地表异常特征	重力高异常；对应航磁 ΔT 异常为伴有负磁异常（NNE 向）延伸较长、范围较大的宽缓磁异常；ΔZ 异常形态复杂，正、负异常梯度变化大，宏观仍显示为正磁异常	η_s5%等值线圈闭与矿体群分布范围对应较好，其局部异常反映了矿体群平面分布或富集部位　视激电率 G_S 可辅以识别激电异常。地磁 ΔZ 有异常反映，但用以识别矿异常较难
	干　扰	炭质板岩、铁矿体、铁矿化等是激电法的干扰，其中铁矿化激电异常则难予区分。 重力正演表明，非含矿片岩能引起重力异常干扰，以综合电、磁法异常有可能区分。 矿体群总体产状呈层状，且水平延伸甚大，影响纵向分辨率较差的方法圈定矿体的效果	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Co、F、Mo、Sn、Au、Ag、Hg 等。 原生异常分带不明显，矿体又相叠成群产出，因而元素组分分带不清晰，实际效果不理想	
	元素浓度分带	Cu：50～200～800　Co：40～80～160　Sb：0.2～0.4～0.8 Au：3～12～48　Mo：3～6～12　As：2～8～32	
	主要元素异常形态与分布范围	矿田区 Cu 异常规模较大，形态复杂，浓集中心清晰；并伴有 Co、Mo、Sn、As、Ag、Nb、La 等元素异常；其中 Co、Mo、Sn、Ag 异常浓集中心与 Cu 异常浓集中心吻合。 矿体上主要有 Cu、Mo、Co、Sn、Ag 异常，Cu 异常分带不清晰，但浓集中心明显；Mo、Co、Sn、Ag 的异常分布与铜矿体基本一致或略小	
	其他特征	w（Zn）/w（Sn）、w（B）/w（Cu）、w（Ba）/w（Cu）比值减小，w（Cu）/w（Cr）比值增大，可作为矿体剥蚀深的标志；反之则为浅剥蚀	
备　注		元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

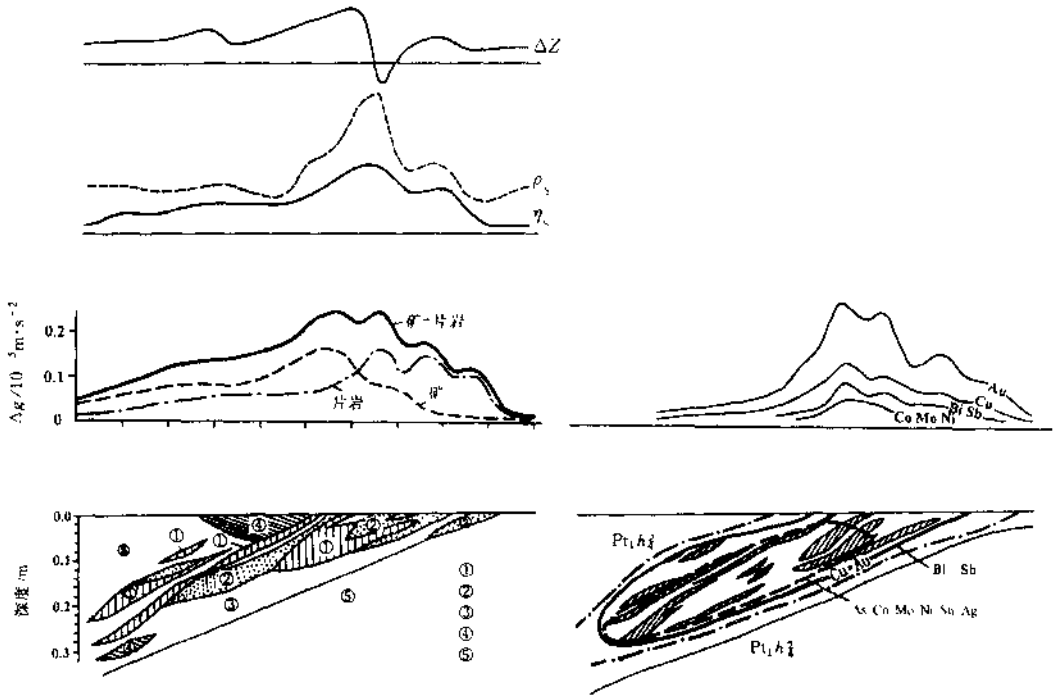


图 5.2.12　拉拉厂矿田落卤矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型示意图

地质体物性特征与重力正演计算密度取值见表 5.2.9

表 5.2.9　落卤矿床主要地质体物性特征

地质体		密度/10^3kg·m^{-3}		磁　性			电　性	
编号	名称或代号	（常见值）	Δg 让演计算	磁化率	剩磁	磁化强度 M/A·m^{-1}	极化率/%	电阻率
①	铜矿体群	高（2.94）	$\Delta\sigma=+0.08$	高	高	高（8.01）	中（26.9）	中～高
②	片岩类	高（2.92）	$\Delta\sigma=+0.06$	中	高	高（5.52）	微（3.82）	
③	钠长岩（主体围岩）	高（2.86）		高	高	高（6.19）	微（3.02）	
④	辉长岩	高（2.86）	$\Delta\sigma=0.00$	中	中	较高（2.32）	微（4.12）	
⑤	$Pt_1h_4^2$	高（2.84）		高	中	较高（3.16）	微（2.0）	
干扰地质体——炭质板岩				微	微	微（$n\times10^{-3}$～10^{-2}）	中（28.7）	甚低～低
——铁矿石		极高（3.62）		高	高	极高（$n\times10^1$）	中（21.4）	高～极高

（3）大体了解或确定矿体群产状：测深装置激发极化法或频率域激发极化法（偶极装置），并配合以井中物探。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 5.2.A　拉拉厂铜矿田地质特征简表。

表 5.2.B　拉拉厂铜矿田地球物理特征简表。

表 5.2.C　拉拉厂铜矿田地球化学特征简表。

表 5.2.A　拉拉厂铜矿田地质特征简表

地理位置	四川省会理县西南黎溪区	1:20 万：G-48-（13）	
矿床类型	含铜黄铁矿型	矿石建造	Cu-Co（Mo、Au）
矿床规模、品位	落凼铜矿大型，老羊汗滩铜矿中型。Cu：1.10%～0.84%，	容矿岩石	片岩类（黑云片岩、白云石英（钠长）片岩等）和石英钠长岩及磁铁石英钠长岩
地质成矿环境	构造背景	位于扬子地台西南缘，康滇地轴中段，金沙江断裂带东侧；属于扬子古板块川滇岛弧带的西南缘、南岭东西向构造带和川滇南北向构造带的复合部位	
	地　层	主要出露地层为古元古界会理群河口组（Pt_1h）一套正常沉积与富钾、富钠的中酸性火山沉积变质岩组成；划分为三个火山-沉积旋回和六个岩性段（Pt_1h_{1-6}）。与矿区西出露的通安组（Pt_1t）海相沉积变质岩以断裂相接；东部上三叠统白果湾组（T_3b）煤系地层不整合于河口组之上，依次往东为侏罗系和白垩系内湖泊相地层沉积。河口组 Pt_1h_4 为区内最主要的含矿层位	
	构　造	具有太古宇结晶基底和元古宇褶皱基底的双层构造特征，褶皱、断裂构造发育。NWW 向河口背斜为区内主要褶皱，轴部地层为河口组。矿田区位于背斜的南西翼。 拉拉厂地区为一轴向近 SN、北端仰起、南端散开的不对称复式向斜；其西翼被 F_{II} 断层破坏；东翼为次一级的落凼向斜、老虎山背斜、小厂向斜等，向东被 F_{27}、F_{29} 断层破坏。 依断裂生成早晚有 EW、NNE、NE 和 NW 四组，前两组系深断裂，可能形成于结晶基底前，具有继承、复活、改造等特点，控制了区内岩浆的喷溢和侵入；所有断裂对矿体均有破坏作用，但影响不大	
	岩浆岩	岩浆活动以晋宁期最活跃；次为海西期的基性—超基性岩侵入，其规模较小。 晋宁早中期以海底间歇喷溢为主，其钠质火山岩为区域成矿母岩，晋宁中晚期以侵入为主，岩体富碱、铁质。其辉长岩、花岗斑岩、钠长岩等基性和酸性岩，呈岩床、岩盆状沿围岩的片、层理延展；或在地表呈“岩被”状覆盖于围岩；局部地段破坏了矿体，又因其热力作用使矿体产生富集、改造	
	主要控矿因素	层位和岩性：矿体的形态与空间分布受 $Pt_1h_4^3$ 组变质钠长岩（落凼矿床）或 $Pt_1h_4^1$ 组黑云片岩（老羊汗滩矿床）的形态与分布范围控制。 NNE、NWW 向深断裂控制了岩浆的喷溢和侵入；向斜轴部和次级褶皱构造为矿体的富集部位	
矿床特征	成矿岩体		
	容矿构造		
	矿化阶段	矿化可分为两个阶段，即火山-沉积阶段和后期改造阶段	
	蚀　变	蚀变不发育。主要蚀变矿物有黑云母、氟磷灰石、钠长石、石英、萤石、绿泥石等。与铜矿化关系密切的蚀变为黑云母化、碳酸盐化；绿泥石化与铜矿化关系不密切。 由早至晚的生成顺次大体为：黑云母化—硅化—萤石化—碳酸盐化—绿泥石化	
	矿化分带	不明显	
	矿体特征	金属矿物：黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、斑铜矿，其次有硫铜钴矿、硫镍钴矿、辉砷钴矿等	
		矿石构造：星散浸染和细脉浸染状，局部呈条纹—条带状、脉状或角砾状	
		矿体形态：似层状、透镜状，与围岩产状基本一致，多以重叠—叠瓦式产出，膨缩现象明显，亦见分叉、复合及尖灭现象	
	脉石矿物	钠长石、石英、黑云母、白云母、铁白云母等	
表生地质		一般氧化深度达 20～40m，老羊汗滩、落凼矿区局部地段氧化深度达 80～99m。氧化带铜矿物有戴氏赤铁矿、孔雀石、蓝铜矿、胆矾等，更多的铜以吸附态，存在于硅酸岩矿物和褐铁矿中	
地貌景观		湿润中低山区	
备　注			

表 5.2.B　拉拉厂铜矿田地球物理特征简表

区域场	重力场	长轴呈 NE20°的长椭圆状重力高，$-180\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$等值线圈闭范围约 150km²，幅值大于 $8\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$，大体反映了被会理群通安组和中生界地层所夹河口组的分布范围，东、西梯度带分别与 F_{29}、$F_{\text{Ⅱ}}$断裂带对应
	磁　场	航磁 ΔT 呈北北东向延伸较长、范围较大的宽缓异常，其北及北东侧伴有负磁异常；西侧与多个局部正、负磁异常组成的北北东向复杂异常带相接，区域的西北，显示为平稳的正磁场
	地球物理场	研究表明：康滇地轴 102°带为一古裂谷活动时期发育的地幔岩浆岩构造带，延深大（15～20km）；地壳密度高、磁性强，表现为延伸很长的重高、磁高异常带；并显示呈高波速、高阻抗的楔形带，无地壳分层反映
矿区（田）异常	重力异常	1:20 万资料处理显示：落雄和老羊汗滩矿区，对应有 $3.5\times10^{-13}m^{-1}\cdot s^{-2}$和 $6.5\times10^{-13}m\cdot s^{-2}$的重力垂向二次导数异常，表明矿体及近矿围岩具有较大的剩余密度
	磁力异常	ΔZ 正磁异常区宏观呈北东向展布，其南东端转向近 SN 向，与河口组含矿层分布相当，已知矿床及多数铜、铁矿点均分布于正磁异常中部或边缘
	电异常	
	其他	
矿床区异常	重力异常	
	磁力异常	ΔZ 异常形态复杂，正、负异常梯度变化大，零值线附近等值线密集成束；小范围的正、负异常随处可见，极值 400～1900nT、－200～－900nT，个别内圈等值线可达 2900nT 或－2100nT
	电异常　激电异常	落雄矿区激电中梯 5% η_S 等值线圈闭与矿体分布范围对应较好，其北缘大致位于见矿孔北界；南西侧异常减弱，为矿体倾向南西埋藏较深的反映。5%等值线所圈 3 个近东西向 η_S 局部异常，反映了矿体群走向分布或矿体的富集部位。异常中部剖面，对应矿体群上倾端 η_S 达 10%左右，沿主矿体倾斜方向，异常呈台阶式缓慢下降；下倾端（埋深约 400m）外 $\eta_S<2\%$。 测深断面图（1:4000）上，η_S 高值区呈半封闭楔型，以对数“模”1.45cm 绘出的 η_S 断面，楔型异常大体反映了矿体群的空间分布
	电异常　电阻率异常	在主矿体群上方，ρ_S 在小于 300Ω·m 局部低阻背景段处呈 700～1600Ω·m 的高阻异常。 矿体电阻率较高，采用视激电率 G_S（$=\eta_S\cdot\rho_S$）二次参数，可辅以识别激电异常
	电异常　电磁异常	
	其他	

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	η/%	$\rho/\Omega\cdot m$
	铜矿石（落雄）	2.96	2.52～3.46	1.22×10^4	2.28×10^3	26.9	（0.26～1）$\times10^3$
	（老羊汗滩）	2.92		7.77×10^3	1.85×10^3	22.5	
	铁矿石（落雄）	3.62		9.71×10^4	5.40×10^3	21.4	（2～4）$\times10^3$
	（老羊汗滩）	3.68		8.61×10^4	2.05×10^4	35.3	
	辉长岩（落雄）	2.87		3.19×10^3	8.19×10^2	4.12	
	（老羊汗滩）	2.96	2.83～3.08	2.88×10^3	4.26×10^2	2.27	
	钠长岩（落雄）	2.86	2.72～3.00	1.07×10^4	1.17×10^3	3.02	（1～3）$\times10^3$
	（老羊汗滩）	2.82	2.70～2.94	2.53×10^3	1.62×10^3	2.28	
	片岩类（落雄）	2.93	2.81～3.04	8.12×10^3	1.70×10^3	3.82	
	（老羊汗滩）	2.83	2.70～2.95	1.23×10^3	5.35×10^2	2.25	
	炭质板岩			$<1.6\times10^2$	$<8.0\times10^1$	28.7	$n\sim n\times10$
备　注							

表 5.2.C　拉拉厂铜矿田地球化学特征简表

矿域或矿田异常	元素组分	Cu、Co、F、Mo、Sn、Au、Ag、Hg等	
	空间分布	水系沉积物中Cu、Co、F、Mo、Sn、Au、Ag、Hg等含量增高，Pb、Cd、As、Sb、B等含量降低的组合异常呈北北东向带状分布，反映了铜（钴）矿化带和基性、超基性岩分布范围，Cu、Mo、Au等异常范围较大，$w(Cu)$以150×10^{-6}圈出拉拉厂局部异常，伴有Au、Co、Mo、Sn、Hg、F等元素组合异常，土壤异常与地质构造线方向一致，即由东西向至小厂—石龙段转向近南北向，其中Cu异常分布集中，规模较大，形态复杂，浓集中心清晰，并伴有Co、Mo、Sn、As、Ag、Nb、La等元素异常；Co、Mo、Sn、Ag异常与Cu异常浓集中心吻合。落凼、老羊汗滩、石龙等矿床均分布在该异常内	
	元素浓度分带	Cu:40～85～150　Co:30～50　Au:3～6～11　As:3.5～7.0　Mo:1～2～4　F>700　Sn:6～12	
	元素水平分带		
	其他特征		
矿床区异常	元素组分	地表：Cu、Co、Mo、Sn、Ag、As、Sb	断面：Cu、Co、Mo、Sn、Au、Ag、As、Sb、F
	空间分布	土壤测量Cu、Co、Mo、Sn、Ag、La等元素组合异常呈不规则状，面积约4km²（大于矿化范围），分布在落凼矿区①、②、③号矿体上及其周围，轴向大体与铜矿体一致。矿体上主要有Cu、Mo、Co、Sn、Ag异常，Cu异常分带不清晰，浓集中心明显；Mo、Co、Sn、Ag异常分布与铜矿体基本一致或略小。	铜矿体周围有Cu、Co、Mo、Sn、Au、Ag、As、Sb、F等元素异常，但浓度梯度变化大，离开矿体异常很快衰减至背景。 落凼矿床以Cu、Mo、Au、Ag、Sb元素含量偏高，与Cu浓集中心叠合达76%～96%； 老羊汗滩矿床Co、Sn、As、Bi、F相对偏高与Cu浓集中心叠合达55%～70%
	元素浓度分带	Cu：100～400	落凼矿床：Cu：50～200～800　Co：40～80～160 Mo：3～24～200　Au：3～12～48 As：2～8～32　Sb：0.2～0.4～0.8
	元素分带序列	落凼矿床：自下而上：Ni、Sn、Mo、Co（底板）→Cu（矿体）→Cr、Ba、B（顶板）； 老羊汗滩矿床：按异常规模从大到小：F(Br)—Cu(Au,Ag,Sb)—As—Mo(Sn)—Co(Bi)	
	元素间相关性		
	其他特征	矿化富集地段，环境元素K_2O和Fe_2O_3有明显异常，其含量分别为8.12%～8.80%和20%～40%；而Na_2O则呈现贫化，含量2.60%～2.67%，低于3.0%的背景。 岩石中Pb、Zn元素仅在部分非含矿层位（Pt_1h_3、Pt_1h_5、Pt_1h_6等）中局部增高；铜矿石中Pb、Zn偏低，Zn甚至低于克拉克值的特征显示：落凼矿床有别于一般含铜黄铁矿型铜矿	
矿体剥蚀程度评价指标		浅剥蚀：$w(B)/w(Cu)$ 0.5～1.0　$w(Ba)/w(Cu)$ 5～10　$w(Cu)/w(Cr)$ 0.1～1　$w(Zn)/w(Sn)$ 1～3 中剥蚀：0.01～0.3　1～5　1～10　3～5 深剥蚀：0.001～0.01　0.1～1　10～100　5～10	

岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
	铜矿石（落凼）	9999			230	0.51		33.3	114		145	45.0	0.65	1.82		43
	（老羊汗滩）	8875			200	0.34		35.4	76		234	93.6	0.46	2.89		22
	钠长岩（落凼）	20.9			0.97	0.04		3.31	1.49		17.2	0.97	0.09	0.08		23
	（老羊汗滩）	22.9			1.38	0.03		3.56	1.49		18.6	0.97	0.07	0.09		45
	辉长岩（落凼）	24.3			0.69	0.04		3.39	0.99		32.3	0.90	0.11	0.08		8
	（老羊汗滩）	13.4			1.19	0.03		2.88	0.91		42.4	0.92	0.09	0.09		16
	侵入角砾岩（落凼）	31.4			1.73	0.06		3.20	1.10		17.5	0.82	0.07	0.09		4
	（老羊汗滩）	19.1			1.53	0.02		3.75	1.00		39.3	1.12	0.11	0.09		11

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg为10^{-9}，其余元素为10^{-6}

第六章　陆相火山岩型矿床
——福建紫金山铜金矿床

紫金山铜金矿床[1][2][3]位于福建省上杭县北，地处上杭—云霄铜（金、多金属）成矿带北段，面积约4.37km^2；其上部氧化淋滤产出硅化帽金矿（中型），下部为铜矿，伴生大型明矾石矿、镓矿，中型银矿、硫铁矿。

一、区域背景

矿区位于闽西南晚古生代坳陷的西南缘，上杭—云霄NW向深断裂带与NE向宣和复背斜的交汇处；或上杭NW向白垩纪火山-沉积盆地北东缘。

区域布格重力异常图上，紫金山矿区位于永定—上杭北西向重力梯级带北东侧近南北向重力高的北东缘（图6.1）；该梯级带长度超过100km、宽40km，梯度变化约1×10^{-5}m·s^{-2}/km的上杭—云霄重力梯级带（深大断裂带引起）的北西段；近南北向重力高的异常幅度大于2×10^{-5}m·s^{-2}，推测为震旦系变质基底和宣和复背斜（轴部）南端的综合反映。

航磁化极ΔT_异常强度不大（－100～300nT），但形态复杂。东西向（武平—古田）异常与近南北向（通过上杭）异常在紫金山一带交汇，并形成200～300nT，范围近千平方公里的正磁异常区；该磁异常系中酸性—基性侵入岩和磁性火山岩的综合反映。

水系沉积物测量Au、Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Bi、Sn、Hg等元素异常浓度高、范围大、浓集中心明显，具有明显的组合分带。Au、As、Sb异常呈近南北向，分布于上杭—紫金山一带，与剩余重力异常基本一致；Cu、Pb、Zn、Ag、Bi、Sn等元素异常，以一定间隔沿东西向分布于紫金山—古田一带。

二、成矿环境

1. 地层

区域内地层出露不全，主要有：震旦系下统楼子坝群（Z_1lz），为一套浅变质的浅海相细碎屑岩，组成基底地层；上泥盆统天瓦寨组（D_3t）、桃子坑组（D_3t），下石炭统林地组（C_1l）、中统黄龙组（C_2h）、上统船山组（C_3c）；泥盆系—石炭系地层为一套浅海—滨海相细碎屑岩、碳酸岩类，不整合于基底岩层之上；上三叠统文宾山组（T_3w）为沉积碎屑岩类；下白垩统石帽山群（K_1sm）、上统沙县组（K_2s）等为盆地相火山-沉积碎屑岩类。

---

[1] 蒋炳铨，覃新春等。福建省上杭县紫金山地区万分之一填图地质报告。福建省第八地质队，1990.12。

[2] 郑颖煜，蒋炳铨，张宗铸等。福建省上杭县紫金山地区成矿模式及1:1万综合信息矿产预测报告。福建省第八地质队，1991.12。

[3] 潘金滇，刘庆生，蔡以评等。福建省上杭县紫金山铜金矿床及其外围物化探勘查工作综合报告。福建地质勘查技术院，1993.11。

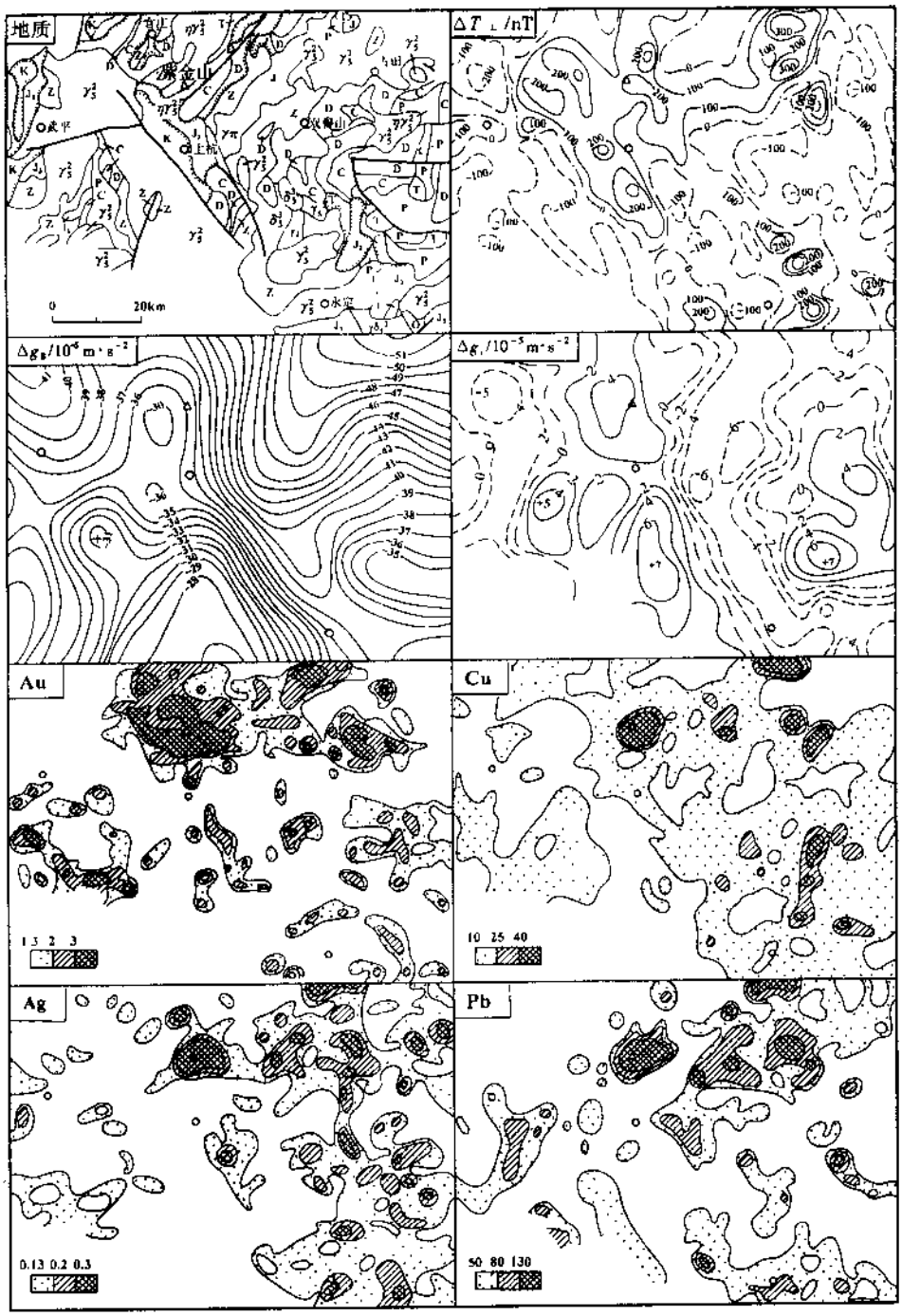


图 6.1　紫金山矿床综合区域场剖析图

（据潘金滇，刘庆生等 1993 年资料编绘）

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

矿区范围内仅有白垩系火山-沉积岩零星分布。

2. 构造

由震旦系下统构成轴部，泥盆系—石炭系为两翼的宜和复式背斜，轴面倾向北西，核部为紫金山复式岩体侵入。区内构造错综复杂，断裂构造和火山机构为主要控矿构造。

断裂主要有两期：第一期印支—燕山早期，控制了花岗岩的分布；第二期形成于燕山早、晚期之间，控制了燕山晚期火山喷发中心的分布，为主要金铜矿化带的控矿构造。

火山活动强烈，火山机构受 NE、NW 向断裂交汇结点的控制。紫金山火山机构北西和南东侧发育了大量脉状次英安玢岩和隐爆角砾岩，形成长 1.8km、宽 0.8km 的次英安玢岩-角砾岩带，其总体呈 NE—SE 走向、倾向 NE，倾角中等—缓；控制了矿区铜金矿带的分布，其集中发育部位即铜金矿化主要地段。

3. 岩浆岩

区域内岩浆活动强烈，加里东至燕山期均有侵入活动，最主要为燕山期。早期岩体有紫金山复式岩体（γ_5^2）、才溪岩体（$\eta\gamma_5^2$）等；晚期主要有四坊复式岩体（$\gamma\eta_5^3$）。

燕山期岩浆岩占据了矿区中部，为紫金山铜金矿床的主要围岩。早期形成紫金山复式岩体呈北东向展布，长约 8km、宽 4km，主体由似斑状黑云母二长花岗岩、二长花岗岩、花岗岩组成的侵入体。晚期以中酸性火山-侵入活动为主，喷出相有安山质英安质熔岩、次火山岩、英安斑岩，浅成相花岗闪长斑岩，中深成相花岗闪长岩以及隐爆角砾岩、热液角砾岩等。其中，英安斑岩和花岗闪长斑岩与铜、金、银等成矿有成因联系。

4. 区域地球化学

（1）微量元素的平均含量。①区内各地层中除 Ba 外（表 6.1），其余元素含量均高于中国东部碎屑岩的平均含量，浓集系数在 2.0 ~ 12.6 之间。Cu、Au、Ag 在各地层中含量变化不大，Cu、Au 浓集系数小于 3，反映区内 Cu、Au 矿化与地层无直接关联。

表 6.1　紫金山地区地层主要微量元素平均含量

地　层	Cu	Au	Pb	Zn	Mo	Bi	Ag	Sn	Ba	n
白垩系石磜山群	32.9	1.88	108.6	62.0	6.64	1.71	0.34	5.11	291.1	187
泥盆系天瓦组	29.8	2.60	37.7	43.0	4.37	2.26	0.39	5.94	221.7	142
震旦系楼子坝群	47.4	2.40	40.1	83.4	5.00	1.98	0.33	8.24	358.3	267
中国东部碎屑岩*	15	1.0	18	51	0.54	0.18	0.05	1.6	525	

Au 的单位为 10^{-9}，其余为 10^{-6}；※为鄢明才 1997 资料。

②由表 6.2 可见：区内各岩体中 Cu、Au、Bi、Ag、As、Sn、Mo、Pb 等微量元素的含量普遍高于全国花岗岩类的相应平均值；Cr、Ni 与均值相当；Ba 为贫化元素。其浓集系数最高达 30.8 ~ 41.2；Cu、Au、Bi、Mo 的系数在 5 ~ 24 之间，表明区内有丰富的成矿物质来源。此外，燕山期的四坊、仙师岩体中 Cu、Mo 含量最高；金龙桥岩体中 Au、Ag、Bi、Sn 最高。各岩体中不同微量元素的组合特征，反映其不同的成矿专属性。

表 6.2 紫金山地区侵入岩体中微量元素平均含量

岩体名称岩性	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Bi	Sn	Mo	Cr	Ni	V	Ba	Be	n
四坊岩体 花岗闪长岩	133	90	62	2.9	0.43	46.5	3.63	5.0	16.9	5.7	7.1	57	283	4.2	70
佃师岩岩体 黑云母花岗岩	90	38	46	3.6	0.44	46.9	1.69	7.3	9.2	7.5	6.7	54	302	3.5	167
金龙桥岩体 二云母花岗闪长岩	45	85	48	4.9	0.52	40.5	5.37	12.1	6.1	5.1	5.9	8	108	3.7	239
五龙子岩体 二长花岗岩	47	115	57	2.7	0.44	37.0	5.36	9.5	6.5	10.3	5.9	16	158	3.4	574
迳美岩体 花岗岩	38	75	50	4.0	0.49	45.9	3.10	6.3	5.0	5.8	6.2	18	73	3.9	440
竹溪岩体 二长花岗岩	30	63	48	3.4	0.52	49.4	4.69	5.8	4.2	3.3	6.2	22	87	5.3	32
全国花岗岩※	5.5	26	40	0.48	0.06	1.2	0.24	2.2	0.70	6.6	5.2	23	680	3.2	
全国花岗闪长岩※	18.5	18	60	0.7	0.057	2.0	0.15	1.4	0.66	44	19	67	850	1.3	
全国二长花岗岩※	8	26	43	0.6	0.056	1.0	0.19	1.9	0.56	12	7	33	930	2.5	

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素 10^{-6}；据蒋炳全等 1990 年资料编，※为鄢明才等 1997 资料。

（2）区域地球化学异常特征。1∶20 万水系沉积物测量发现（图 6.2）五处区域异常（Ⅰ～Ⅴ号）。其中Ⅰ号异常即紫金山异常：元素组合复杂，规模最大（面积大于 40km²），Cu、Au、Ag、Mo 含量高，有明显浓集中心和分带；伴有 W、Sn、Pb 等弱异常；Sb、As 异常主要分布在北部。

5. 区域地球物理

布格重力异常（Δg_B）等值线在紫金山—迳美一带呈“S”型扭曲（图 6.3），其西侧出现封闭的重力高；重力最大剩余异常 $\Delta g_{r\,max}$（$\Delta g_r = \Delta g_B - \Delta g_B$（$20 \times 20km^2$））$4.7 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$。$\Delta g_r 3.0 \times 10^{-5} m \cdot s^{-2}$等值线呈似三角形重力高，东西长约 7km；紫金山矿区即位于重力高南东边缘等值线扭曲形成的次级重力高附近。该重力高可能与震旦系基底大片出露有关；相邻重力低为沿断裂侵入的中、酸性岩体，以及密度相对较低的矿区围岩的综合反映。

在 100～200nT 的低缓正磁场中，北东向的迳美—罗卜岭异常较突出，$\Delta T_{\perp} = 240nT$ 等值线圈闭长约 8km，宽 2～4km；其内又圈出东、西两个异常，强度分别为 470nT 和 302nT，紫金山矿区位于这两个异常的鞍部。地磁 ΔZ 异常与 $\Delta T_{\perp}$ 异常形态相似，东、西异常极值分别大于 400nT 和约 200nT，矿区即位于异常西北缘的负磁异常区。$\Delta T_{\perp}$ 低缓正磁场和 ΔZ 负磁异常，反映了区内地层及蚀变岩石的磁性微弱；ΔZ、$\Delta T_{\perp}$ 正磁异常为隐伏中酸性岩体引起。据 ΔZ 异常反演，推测迳美岩体浅部埋深约 350m，深部岩体埋深 1.4～1.9km；其北东与罗卜岭深部岩体连为一体。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿化带由多条脉状矿体组成，总体走向北西，倾向北东，产状与 NW 向区域构造和隐爆角砾岩产状一致。铜矿化带走向长 1200m，最大厚度达 1400m；金矿化主要分布于强硅

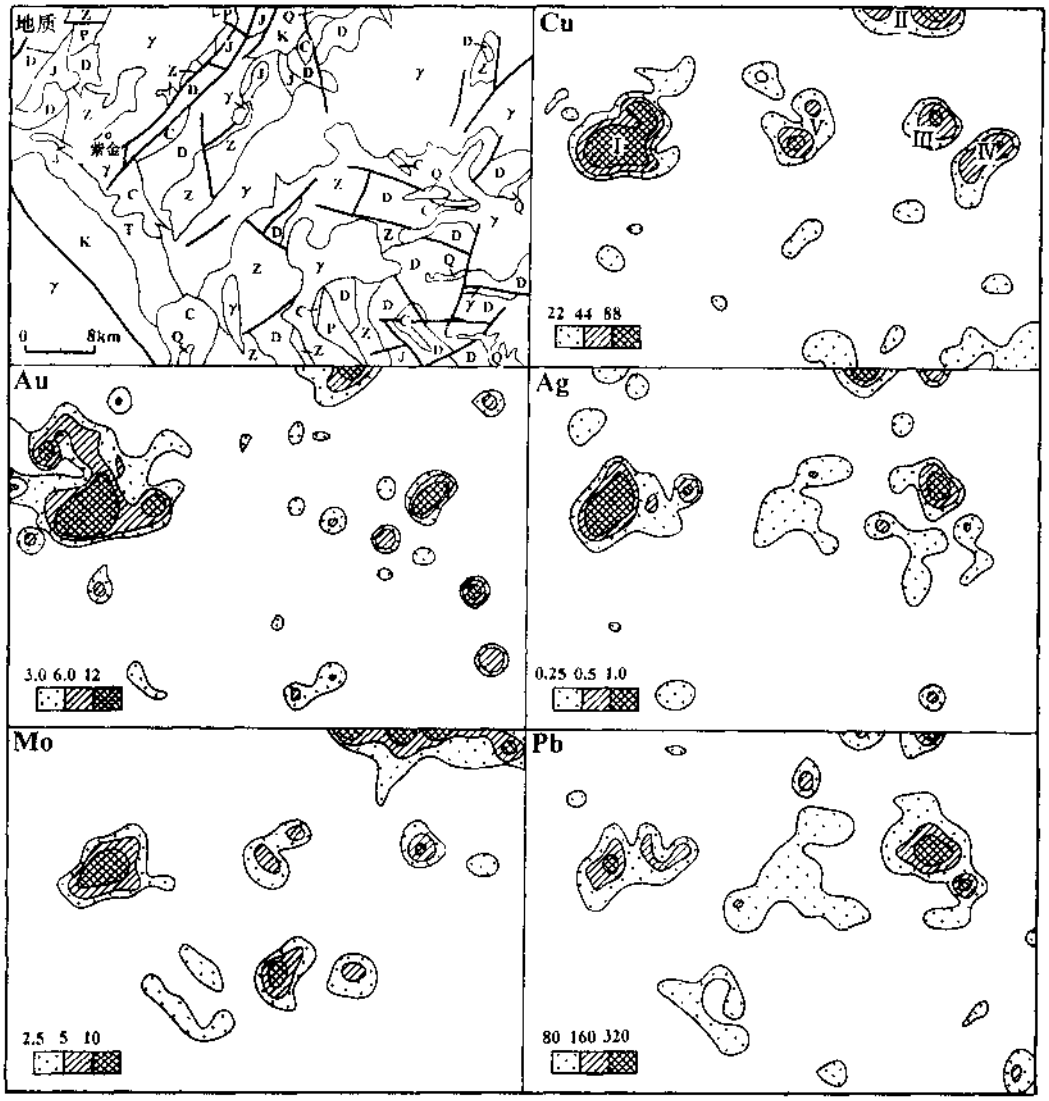


图 6.2 紫金山地区水系沉积物测量主成矿元素地球化学异常图

（据福建省地质勘查技术院 1:20 万区域化探网格数据编绘）

Au 元素质量分数单位为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

化角砾岩带中，范围小于铜矿化。

铜矿体呈脉状、透镜状成群分布，初步圈定矿体 41 个，总体走向 320°，倾向北东、倾角 30°左右；具有上陡下缓、南陡北缓的特点。矿体沿倾向延深略大于走向延长；走向长 150～800m（多数 300～500m）；倾向延深 270～980m（多数 100～200m）。

金矿受构造裂隙带控制，相当部分由构造碎裂岩组成；矿体呈脉状、透镜状，走向北西，倾向北东，倾角 35°～60°；走向长 200～300m，延深约 200m，厚一般 3～5m。

紫金山矿床系指矿区西北矿段的铜金矿体，并由南向北，自下而上划分为 0、Ⅰ、Ⅱ号三个铜金矿带；金矿体主要分布在Ⅰ号矿化带。

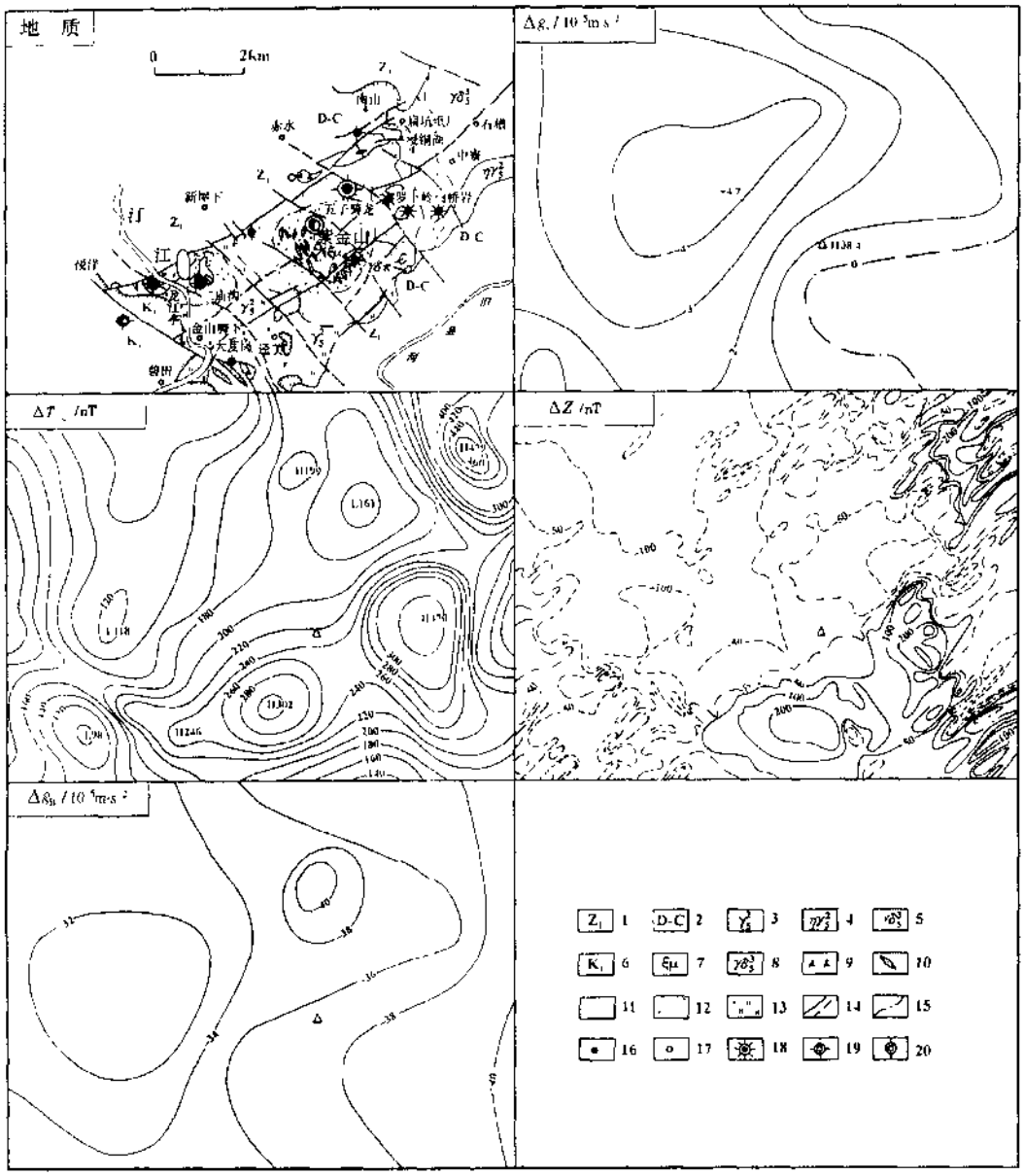


图 6.3 紫金山矿区及外围区域地球物理异常综合图

（据潘金滇、刘庆生等 1993 年资料编）

1—变质细碎屑岩；2—粗碎屑岩；3—花岗岩；4—二长花岗岩；5—花岗闪长岩；6—中酸性火山岩；7—英安斑岩；8—花岗闪长斑岩；9—隐爆角砾岩；10—热液角砾岩；11—石英-地开石-明矾石带；12—石英-绢云母-地开石带；13—石英-绢云母带；14—断层；15—蚀变分带界线；16—铜矿床（点）；17—金矿床（点）；18—斑岩型矿床；19—中低温热液型矿床；20—高硫浅成低温热液型矿床

2. 矿石构造及主要矿物组合

铜矿石主要为细脉—微脉状、浸染状构造（铜矿物及黄铁矿呈脉状或浸染状充填交代隐爆角砾岩及蚀变英安玢岩和花岗岩）。金矿石为胶状结构，角砾状、碎裂状构造。

铜矿石基本为原生硫化物矿石，以黄铁矿、蓝辉铜矿-辉铜矿为主，其次为硫砷铜矿、铜蓝，少量斑铜矿和微量黄铜矿、黝铜矿、砷黝铜矿、硫锗铜矿、硫铜锗矿等；脉石矿物主要有石英、明矾石、地开石等，局部含绢云母。

金矿石为氧化矿，主要有褐铁矿、针铁矿、赤铁矿等，局部见黄铁矿、自然金、方铅矿、斑铜矿、蓝辉铜矿、硅孔雀石、自然铜等；脉石矿物以石英（残留、次生）为主，及少量地开石等。

3. 矿化阶段及分带性

矿化作用主要发生在次火山晚期隐爆热液阶段。因多期成矿和较强的氧化淋滤作用，矿床具有明显的垂直分带。金矿主要产于标高约 650m 以上的氧化带，铜矿体大多位于潜水面下；形成上部为次生（铁帽型）金矿，下部为原生伴有金的铜矿，即呈“上金下铜”分带。铜矿化又具标高 580m 以上以蓝铜矿为主，400m 以下逐渐过渡为以黄铜矿为主的垂直分带。黄铁矿从地表至深部都存在。

4. 蚀变类型及分带

热液蚀变强烈，主要有硅化、地开石化、明矾石化、重晶石化、绢云母化和黄铁矿化等一系列低温热液蚀变；范围达数平方公里，垂深近千米，具“面型”和“线型”多期蚀变叠加的特点。

蚀变垂直分带较明显，自下而上呈石英-绢云母化带→石英-地开石-明矾石-重晶石带→硅化（帽）带。

5. 氧化带

极为发育，厚度 200～300m，最大达 400m。氧化带和原生带之间的次生硫化物富集带仅局部可见。氧化作用对金矿生成有决定性的影响，主要富集在氧化带的中部，多与褐铁矿共生；铜矿物在氧化带中明显贫化。

6. 主要控矿因素

NE 向和 NW 向断裂交汇部位控制了与铜金矿床密切相关的火山机构。

铜矿体产于火山机构外侧，受燕山晚期中酸性次火山岩-英安玢岩及隐爆角砾岩的控制。

金矿受表生氧化作用控制。

四、矿床地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

岩矿石物性归纳于表 6.3。其中无磁性标本磁化率、剩磁均赋以‘5’参与统计。据表 6.3 分析结果如下。

（1）密度：矿区缺密度参数，但根据铜矿石主要呈细脉—微脉状、浸染状的构造特征分析，矿与围岩的密度差异不会很大。

（2）磁性：区内绝大多数岩矿石磁性微弱，有磁性标本不足 20%。主要磁性体为具中等磁性的花岗闪长岩，其次为具弱磁性的花岗岩类中的花岗斑岩、二长花岗岩；蚀变作用使这些磁性体的磁性进一步减弱。

地层中，仅白垩系石帽山群部分火山碎屑岩具弱磁性，基底岩层的磁性标本极少。

（3）电性：各种岩性的电阻率均较高，相当于中—高电阻率。矿石及强黄铁矿化岩石无电阻率数据，但根据一般电性特征，应属低—甚低电阻率。

表 6.3 紫金山矿区主要岩矿石物性参数表

岩矿石名称	磁性*			极化率 η/%			电阻率 ρ/Ω·m	
	块数	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	M_r/ (10^{-3}A·m^{-1})	块数	均值	变化范围	块数	常见值
蓝辉铜矿				2	30.3	26.02 ~ 34.57		
黄铁矿化(Py化)火山岩	26	(<10 ~ 19)	<10	4	2.8	1.30 ~ 3.94	4	2.47×10^3
黄铁矿化断层角砾岩				4	7.8	2.68 ~ 12.73		
黄铁矿化花岗岩花岗闪长岩	>21	(<10 ~ 35)		21	2.7	1.01 ~ 5.10	28	7.71×10^4
强黄铁矿化花岗岩花岗闪长岩				9	9.2	2.26 ~ 16.13		
火山碎屑岩(K_1)	67	1.22×10^3 (<10 ~ 1130)	6.5×10^1 (<10 ~ 670)	66	1.9	0.30 ~ 5.34	39	1.61×10^4
沙砾岩(K_1)	35	<10	<10					
碎屑岩、碳酸盐岩(D ~ T)	169	<10	<10	87	2.0	0.42 ~ 4.95	10	1.08×10^4
沙岩、千枚岩(Z_1)	64	5.8×10^1 (<10 ~ 1280)	1.2×10^1 (<10 ~ 130)	47	2.0	0.42 ~ 4.80	9	2.80×10^4
炭质泥、板岩(Z_1、T_3)				4	9.4	1.40 ~ 16.50		
花岗岩类	59	5.74×10^2 (<10 ~ 2420)	6.8×10^1 (<10 ~ 320)	107	1.6	0.44 ~ 4.02	59	1.59×10^4
蚀变花岗岩类	86	1.2×10^1 (<10 ~ 370)	6.0×10^1 (<10 ~ 110)					
花岗闪长岩	34	1.67×10^3 (<10 ~ 3080)	1.99×10^2 (<10 ~ 727)	15	1.7	0.76 ~ 3.17	3	5.12×10^3
蚀变花岗闪长岩	55	2.55×10^2 (<10 ~ 3354)	4.4×10^1 (<10 ~ 335)	3	2.2	1.67 ~ 3.14		
隐爆角砾岩、英安斑岩等	>39	(<10 ~ 30)	(<10 ~ 640)	22	1.4	0.26 ~ 5.75	39	1.43×10^4
破碎带、断层角砾岩	>23	21		12	2.5	0.67 ~ 5.69	26	2.23×10^4

※指( )内数据为变化范围。　　据潘金滇等 1993 及郑颖煜等 1991 资料整理。

铜矿石属高极化，其余岩石极化率取决于黄铁矿化的强弱与含炭质的情况。区内一般岩石的极化率均低于2.5%，微弱黄铁矿化岩石极化率略有升高，但仍小于3.0%；强黄铁矿化岩石具中高极化。震旦系和上三叠统中的炭质泥岩和炭质板岩具中等极化率，为激电矿异常的主要干扰。

2. 物性模型

因矿区物性资料缺乏，现有的资料显示其岩、矿石磁性、密度差异不大。根据岩矿石极化率参数，给出其示意物性模型见图 6.6。

3. 地球物理异常

因矿区地形复杂，一般物探方法施工困难且干扰很大，据现有的资料分析如下。

(1) 磁异常。1:1 万地磁异常图上，矿区显示为 -50 ~ -125nT 的舒缓负磁异常；零星的 0 ~ 25nT 正磁异常，系次火山岩及花岗岩类磁性不均匀引起。因矿石中未见磁性矿物

的描述，围岩磁性亦很微弱，在磁异常图上未发现与矿化对应的异常。

（2）激电异常。据资料介绍，因铜矿多分布于200～300m深处，其上部为金矿及硅化铁帽，加之地形极为复杂，激发极化法效果不佳。供电极距较小的剖面（未收集资料），其实测视极化率 η_S 一般5%～9%；$\eta_{S\,max}$28%；背景2%～3%。

五、矿床地球化学特征

1. 岩石地球化学参数

由矿区主要岩石中微量元素的平均含量及标准离差统计（表6.4）可见如下内容。

表6.4 紫金山矿区岩石中微量元素统计表

岩石名称（块数）	Au	Cu	Mo	As	Sb	Bi	Ag
	平均含量（标准离差）						
隐爆角砾岩（$n=45$）	331.1 (488.2)	604.3 (870.9)	21.2 (32.2)	190.2 (166.6)	17.1 (25.1)	32.5 (31.8)	1.61 (1.33)
硅化地开石化花岗岩（$n=66$）	243.4 (310.3)	70.6 (71.6)	16.1 (17.0)	153.3 (160.1)	23.5 (139.9)	14.9 (23.0)	1.52 (1.09)
地开石化硅化花岗岩（$n=94$）	212.0 (323.4)	511.7 (593.0)	11.9 (13.0)	194.0 (169.8)	10.4 (15.5)	34.1 (43.2)	1.45 (1.26)
英安玢岩（$n=28$）	172.7 (275.3)	490.7 (579.8)	18.8 (21.9)	121.9 (117.6)	7.3 (11.1)	26.3 (40.4)	0.77 (0.67)
蚀变石英岩（$n=20$）	337.6 (465.3)	284.0 (593.7)	17.5 (26.2)	121.8 (129.6)	9.0 (14.7)	33.7 (43.5)	2.43 (1.30)
区域背景值	6.5	26.4	3.6	11.4	1.16	1.7	0.24

元素质量分数单位：Au为10^{-9}，其余元素为10^{-6}。　　据福建省第八地质队资料整理。

（1）主成矿元素Cu、Au与伴生元素Ag、Mo、As、Sb、Bi的含量高于区域背景值的数倍至数十倍；Mn、Ba、Zn等为贫化元素，明显低于区域背景值。Au、Cu的衬值分别为：51.8～26.5、22.9～2.7，并具有较大的标准离差和大于1的变异系数；表明这类岩石为含矿岩石。

（2）不同岩石中高含量的微量元素有差异，如隐爆角砾岩中Cu、Mo最高，其次是Au、As、W、Hg；蚀变石英岩中Au、Ag最高，其次是As；地开石化、硅化花岗岩中As、Bi最高，其次是Cu、Pb；英安玢岩中Pb、W最高，其次是Mo。

2. 地球化学异常

（1）岩石测量：矿区外围50km^{2}岩石测量（图6.4），按异常特征可分为两类：一类为Au、Ag、As、Sb、Bi、Pb、Cu等低—中低温热液矿化的成矿元素及伴生元素组合，主要分布在紫金山矿区西北部，与火山机构或火山、次火山热液活动有关。另类为Cu、W、Mo组合，显示斑岩型矿化特征，主要分布在东南部，与半隐伏花岗闪长斑岩关系密切。由于多期次成矿，不同元素异常在同一空间呈相互叠加。

异常元素组合自SE→NW依次呈W、Be→Mo、Cu、Au、Ag→Au、Cu、Hg、Ag、As、

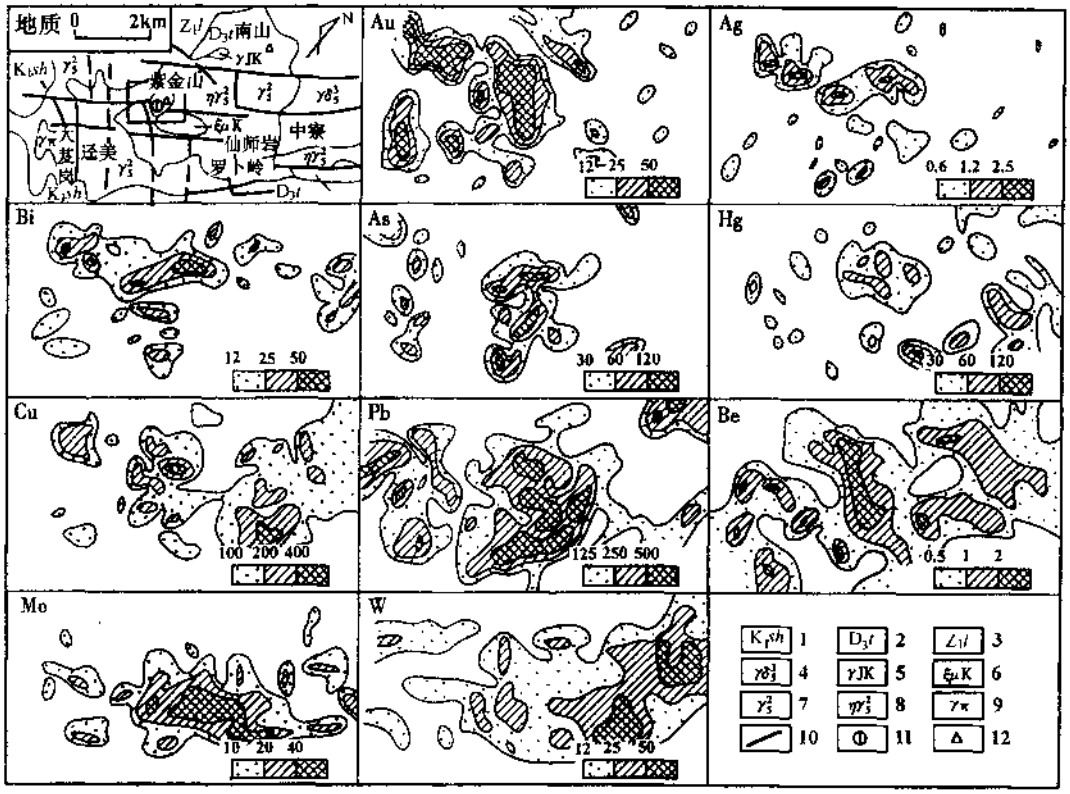


图 6.4　紫金山矿区及外围岩石测量地球化学异常图

（据余学东等 1995 年资料编）

1—石帽山群火山沉积岩；2—天瓦栋组海相沉积岩；3—楼子坝群浅变质岩；4—中粒花岗闪长岩；5—隐爆角砾岩；6—英安玢岩；7—花岗岩；8—二长花岗岩；9—花岗斑岩；10—断裂；11—铜金矿区范围；12—山头。

Au、Hg 质量分数单位为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

Sb 的水平分带，反映了高温→中温→中低温的元素组合，以及剥蚀程度由强→弱的特征。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面　矿区 3、4 勘探线钻孔原生晕研究（图 6.5），清楚地显示出上 Au、下 Cu 的异常分带特征。大致可分为四种元素组合：①Au、Bi、Hg、Mo 组合，与金矿带产出部位相当；②Ag、As、Sb、Pb、Cu 组合，出现在金矿带下部，铜矿带上部；③W、Sn、Zn 中、内带异常，主要分布在铜矿带下部；④Be 异常，出现在铜、金矿带的外围。

自上而下形成：Au、Bi、Hg、Mo→Sb、As、Ag、Pb、Cu→Sn、Zn、W 的组合异常。

按元素分带指数计算，紫金山矿床的垂直分带序列自上而下为：Au、Mo、Hg→Sb、As、Bi→Pb、Ag、Cu、Zn、W、Sn

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

根据矿上、矿下原生晕分布特征及主要元素平均含量累乘比值计算，紫金山铜金矿床剥蚀程度的评价指标见表 6.5。

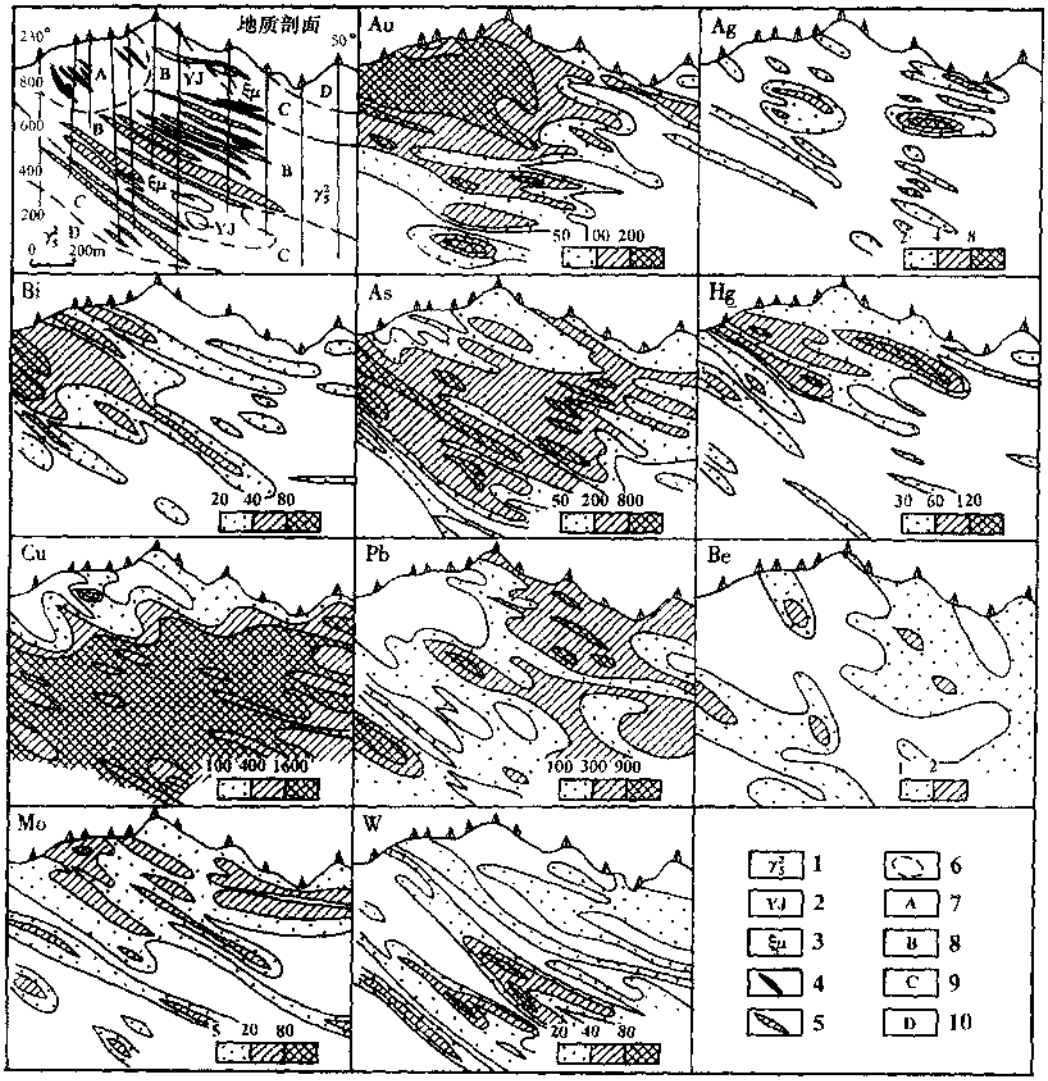


图 6.5　紫金山矿床 3 勘探线钻孔岩石地球化学异常

（引自余学东等，1995）

1—花岗岩；2—隐爆角砾岩；3—英安粉岩；4—金矿体；5—铜矿体；6—蚀变带界线；7—强硅化带；8—石英明矾石化带；9—石英地开石化带；10—石英绢云母化带。Au、Hg 质量分数单位为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

4. 地球化学异常模型

综合紫金山铜金矿床地球化学异常平面与剖面的分布特征，概括其地球化学异常模型如图 6.7 所示。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 紫金山铜金矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志（归纳于表 6.6）

2. 紫金山铜金矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型图

由于紫金山矿区缺少物探实际（实测）剖面，又没有较系统的岩、矿石物性参数资料，目前尚难提出较适宜的地球物理找矿模型。图 6.6 中激电异常，是根据极化率参数提出的示意极化率模型和异常曲线，作地球物理找矿模型之参考。图 6.7 为紫金山铜金矿床地球化学异常模型图。

表 6.5　紫金山铜金矿床剥蚀程度评价指标

矿化带部位	$w(Au)\cdot w(Hg)/w(Ag)/w(Cu)\cdot w(W)\cdot w(Sn)$	异常元素组合
金矿带	>1	Au、Hg、Ag（Mo）
铜矿带上部	1～0.1	Sb、Bi（Au、Cu、As）
铜矿带中部	0.1～0.01	Cu、Au、As（Sb、Bi、W）
铜矿带中下部	0.01～0.001	W、Sn（Cu、As）

引自余学东等，1995。

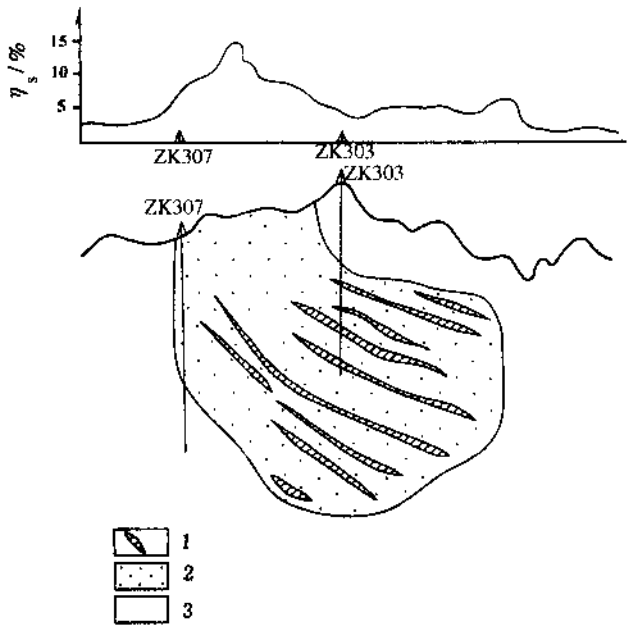


图 6.6　紫金山矿床极化体与激电异常模型示意图

1—高极化（30%左右）；2—中极化（5%左右）；3—微极化（<2%）

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定铜金矿化带。以 1:20 万水系沉积物测量为主，结合 1:10 万航空物探和 1:20 万区域重力测量。

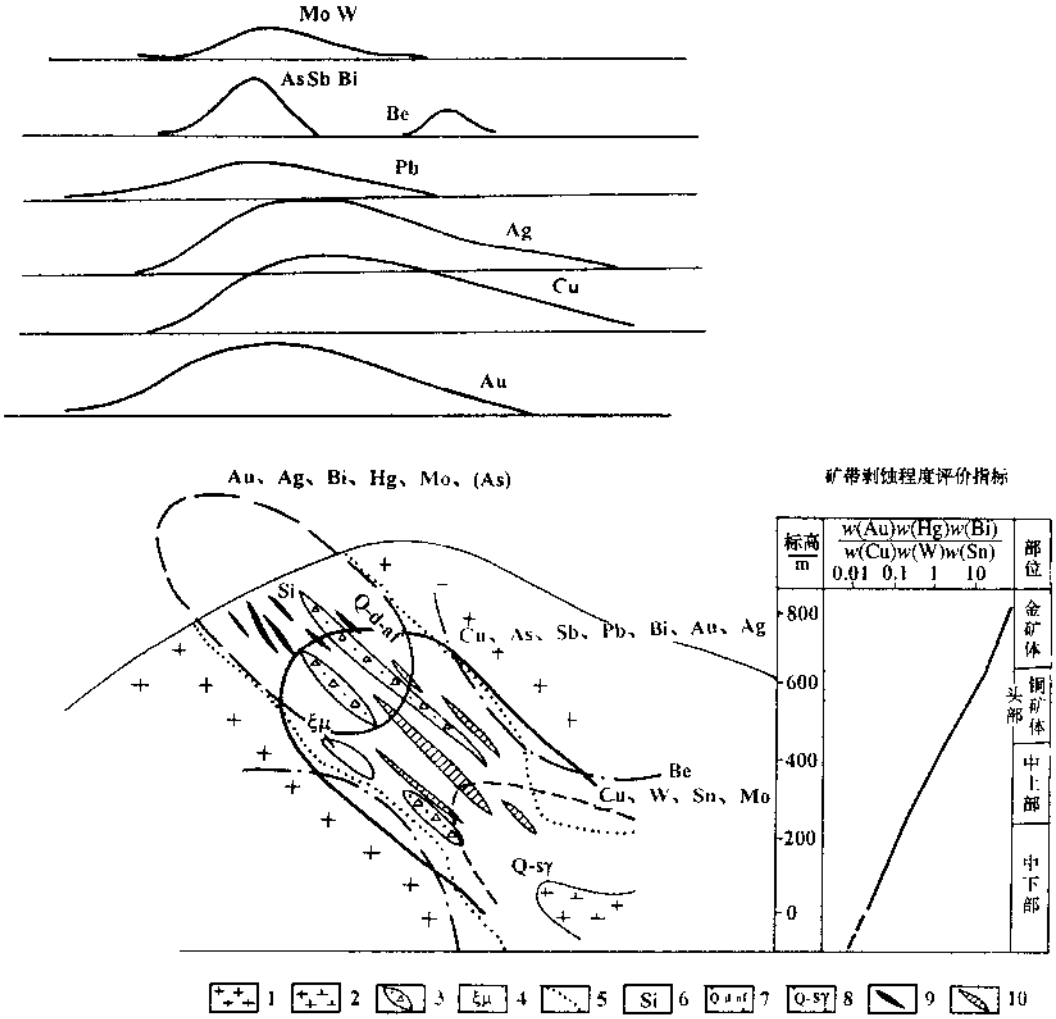


图 6.7　紫金山铜金矿床地球化学异常模型

1—花岗岩；2—花岗闪长斑岩；3—隐爆角砾岩；4—英安玢岩；5—蚀变带界线；6—硅化；7—石英-地开石-明矾石化；8—石英-绢云母化；9—金矿脉；10—铜矿体

(2) 寻找并圈定矿化富集部位。鉴于成矿区带的地形地貌条件，应以岩石（250m × 250m 组合样）地球化学，1:5 万水系沉积物测量为主，配合 1:2.5 万小极距激发极化法等。

(3) 确定赋矿部位并了解其产状。1:1 万岩石地球化学测量；综合物探剖面测量，以及井中综合物探方法技术。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 6.A　紫金山铜金矿床地质特征简表。

表 6.B　紫金山铜金矿床地球物理特征简表。

表 6.C　紫金山铜金矿床地球化学特征简表。

表 6.6　紫金山铜金矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	闽西南早古生代坳陷的西南缘，上杭—云霄 NW 向深断裂带与 NE 向宣和复背斜的交汇处，上杭 NW 向白垩纪火山-沉积盆地北东缘	
	地球物理场	永定—上杭北西向重力梯级带北东侧的近南北向重力高的北东缘；航磁 $\Delta T_{\perp}$ 异常强度不大（-100～300nT）但形态复杂。东西向（武平—古田）异常与近南北向（通过上杭）异常在紫金山一带交汇，并形成 200～300nT，范围近千平方公里的正磁异常区	
	地球化学场	水系沉积物 Au、Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Bi、Sn、Hg 等元素异常浓度高、范围大、浓集中心明显，具有明显的组合分带	
地质	地　层	出露不全，震旦系下统楼子坝群为一套浅变质的浅海相细碎屑岩组成基底地层；泥盆系—石炭系细碎屑岩、碳酸岩类不整合于基底之上。矿区仅见白垩系盆地相火山-沉积岩零星分布	
	构　造	宣和复背斜核部侵入有紫金山复式岩体，断裂构造和火山机构为主要控矿构造。断裂构造有两期，其中第二期形成于燕山早、晚期之间，是金铜矿化带的主要控矿构造	
	岩浆岩	燕山期岩浆岩为紫金山铜金矿床的主要围岩，早期侵入形成紫金山复式花岗岩体；晚期以中酸性火山-侵入为主，英安斑岩和花岗闪长斑岩与铜、金、银等成矿有成因联系	
	围岩蚀变	范围达数平方公里、垂深逾千米；具“面型”和“线型”多期蚀变叠加特点。垂直分带较明显，自下而上呈石英-绢云母化带→石英-地开石-明矾石-重晶石带→硅化（帽）带	
	赋矿部位	铜矿主要赋存于 NW 向热液角砾岩脉和脉侧的蚀变岩（或次火山角砾岩的内外接触带）中，标高 650m 以下；金矿产于 650m 标高以上氧化带中	
	主要矿石矿物	铜矿基本为原生硫化物矿石，以黄铁矿、蓝辉铜矿为主；次为硫砷铜矿、铜蓝、黄铜矿、斑铜矿等。金矿为氧化矿，主要载金矿物为褐铁矿、针铁矿、赤铁矿等，少见黄铁矿、自然金等。	
	直接找矿标志	地表铁帽，范围达几十平方公里、十分强烈、分带明显的热液蚀变	
地球物理	探测目标物	含铜、金矿化蚀变带	铜矿脉群体
	目标物物性特征	微磁性、（中～低密度） 中～弱极化	微磁性、（中密度） 中极化
	地表异常特征	可能形成相对较低，不甚平稳的磁、重异常；在视极化率 η_S 2%～3%背景上，呈现 5%～9%的宽缓视 η_S 异常	矿脉群上方，视极化率 η_S 增大，其异常可达 15%左右
	干扰异常	矿区内，早期热液蚀变生成的黄铁矿化，可能形成激电法的干扰异常； 外围地层中炭质泥岩、炭质板岩为电法及电磁法的干扰	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Au、Ag、Cu、Mo、As、Sb、Pb、Zn 等； 前缘元素：Au、Bi、Hg（Mo）； 近矿元素：Cu、Au、As（Sb、Bi、W）； 尾部元素：W、Sn、Zn	
	元素浓度分带	Au：12～25～50　Pb：125～250～500　AS：30～60～120　W：12～25～50 Cu：100～200～400　Zn：100～200～400　Sb：2.5～5.0～10.0　Sn：12～25～50 Mo：10～20～40　Ag：0.6～1.2～2.5　Bi：12～25～50　Hg：30～60～120	
	主要元素异常形态与分布范围	岩石测量显示两类异常：一类为 Au、Ag、As、Sb、Bi、Pb、Cu 组合，即低温—中低温热液矿化的成矿及伴生元素组合，与火山机构或火山、次火山热液活动有关。另类为 Cu、W、Mo 组合，显示斑岩型矿化特征，不同元素异常相互叠加。自 SE→NW 呈 W、Be→Mo、Cu、Au、Ag→Au、Cu、Hg、Ag、As、Sb 水平分带，反映高→中→中低温的元素组合特征	
	其他特征	不同矿化类型异常元素组合不同：斑岩型铜钼矿呈 W、Mo、Cu、Sn（Pb、As、Sb、Bi、Hg）组合；中低温火山热液铜金矿呈 Au、Ag、Cu、Pb、Mo、As、Bi、Hg（W、Sb）组合；低温火山热液金、金铜矿呈 Au、Ag、Cu、Pb、Sb、Bi、Ba（As、Zn）组合	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

表 6.A　紫金山铜金矿床地质特征简表

地理位置	福建省上杭县城北 15km		1:20 万图幅：G-50-（27）
矿床类型	陆相火山岩型（中、低温次火山热液型）	矿石建造	Cu、Au
矿床规模、品位	特大型　Cu：0.6% ~ 1.4%，平均 1.09%	容矿岩石	中酸性火山岩为主，少部分为基性火山岩
地质成矿环境	构造背景	闽西南晚古生代坳陷的西南缘，云宵—上杭 NW 向深断裂带与 NE 向宣和复背斜的交汇处；或上杭 NW 向白垩纪火山-沉积盆地北东缘	
	地　层	地层出露不全，震旦系下统楼子坝群为一套浅变质的浅海相细碎屑岩类，组成基底地层；泥盆系—石炭系地层为一套浅海滨海相细碎屑岩、碳酸岩类，不整合于基底之上。上三叠统为沉积碎屑岩类；白垩系地层为盆地相火山沉积碎屑岩类	
	构　造	区内构造错综复杂。宣和复式背斜核部侵入了紫金山复式岩体；两期断裂，第一期在印支—燕山早期，控制了区内花岗岩岩体的分布；第二期形成于燕山早、晚期之间，控制了燕山晚期火山喷发中心的分布，是金铜矿化带的主要控矿构造	
	岩浆岩	燕山期岩浆岩为紫金山铜金矿床的主要围岩，燕山早期侵入形成黑云母二长花岗岩-二长花岗岩-花岗岩构成紫金山复式岩体；晚期以中酸性火山-侵入为主，喷出相有安山质英安质熔岩、次火山岩、英安斑岩，浅成相花岗闪长斑岩，中深成相花岗闪长岩以及隐爆角砾岩、热液角砾岩等；英安斑岩和花岗闪长斑岩与铜、金、银等成矿有成因联系	
	主要控矿因素	NE 和 NW 向断裂交汇部位，控制了与铜金矿床密切相关的火山机构； 铜矿体产于火山机构外侧，受燕山晚期中酸性次火山岩-英安玢岩及隐爆角砾岩控制； 金矿受表生氧化作用控制	
矿床特征	成矿岩体	燕山早期中粗粒黑云母二长花岗岩、中粒二长花岗岩、细粒花岗岩所构成的复式花岗岩体	
	容矿构造	次火山角砾岩的内外接触带，NW 向密集裂隙带和网脉状裂隙带	
	矿化阶段	主要为次火山晚期隐爆、热液蚀变作用阶段	
	蚀　变	呈硅化、地开石化、明矾石化、重晶石化、绢云母化和黄铁矿化等一系列低温热液蚀变类型；自下而上较明显的石英-绢云母化带→石英-地开石-明矾石-重晶石带→硅化（帽）垂向分带	
	矿化分带	具明显的“上金下铜”的垂直分带：金矿主要产于标高约 650m 以上的氧化带；铜矿体大多位于潜水面下，且标高 580 ~ 400m 以蓝铜矿为主，400m 以下以黄铜矿为主	
	矿体特征	金属矿物：铜矿石以黄铁矿、蓝辉铜矿为主；次为硫砷铜矿、铜蓝、黄铜矿、斑铜矿等，金矿石主要为褐铁矿、针铁矿、赤铁矿等，少见黄铁矿、自然金等	
		矿石特征：铜矿石以细脉—微脉状、浸染状构造为主（铜矿物及黄铁矿呈脉状或浸染状充填交代隐爆角砾岩及蚀变英安玢岩和花岗岩）。金矿石为胶状结构，角砾状、碎裂状构造	
		矿体形态：铜矿体呈脉状、透镜状成群分布，总体走向 320°，长 150 ~ 800m，倾向北东，倾角 30°左右延深 270 ~ 980m；金矿体呈脉状、透镜状，走向北西、长 200 ~ 300m，倾向北东，倾角 35° ~ 60°，延深约 200m，厚一般 3 ~ 5m	
	脉石矿物	以石英为主，少量地开石等	
表生地质		氧化带极为发育，厚度 200 ~ 300m，最大厚度达 400m，氧化带中，金属硫化物已基本氧化，可见黄铁矿化的氧化残余；局部见铜的氧化物斑铜矿、铜蓝、孔雀石等	
地貌景观		湿润中低山	
备　注			

表 6.B　紫金山铜金矿床地球物理特征简表

区域场	重力场		矿区位于永定—上杭北西向重力梯级带北东侧的近南北向重力高的北东缘，该重力梯级带为长度超过 100km、宽 40km，梯度变化约 $1\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$/km 的上杭—云霄（深大断裂带反映的）重力梯级带的北西段；近南北向重力高幅度大于 $2\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$				
	磁　场		航磁 $\Delta T_{\perp}$ 异常强度不大（－100～300nT），但形态复杂。东西向（武平—古田）异常与近南北向（通过上杭）异常在紫金山一带交汇，形成 200～300nT，范围近千平方公里的正磁异常区，系中酸性—基性侵入岩和磁性火山岩的综合反映				
矿区（旧）异常	重力异常		剩余重力异常（Δg_1：$\Delta g_B-\Delta g_B$（$20\times20km^2$））$3.0\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$等值线似三角形，东西长约 7km，外圈等值线形状复杂；最大剩余异常 $4.7\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$。矿区位于剩余重力异常南东边缘等值线扭曲形成的相对重力高（与震旦系基底大片出露有关）附近；其相邻重力低为沿不同方向断裂侵入的中、酸性岩体及矿区围岩的密度相对较低的反映				
	磁力异常		在 $\Delta T_{\perp}\approx240$nT 等值线圈闭的长约 8km，宽 2～4km 的异常内，又圈出东、西两个异常，强度分别为 470nT 和 302nT，矿区位于两异常间的鞍部。地磁 ΔZ 异常与 $\Delta T_{\perp}$ 异常形态相似，东、西异常极值分别大于 400nT 和 200nT，矿区位于 ΔZ 异常西北缘的负磁异常区。$\Delta T_{\perp}$ 低缓正磁场和 ΔZ 负异常，反映区内地层及蚀变岩石的磁性微弱				
	电异常						
	其他						
矿床异常	重力异常						
	磁力异常		矿区内地磁测量，显示以－5～－125nT 舒缓负磁异常为主，零星分布有 0～－25nT 的范围不大的磁异常，系次火山岩及花岗岩类磁性不均匀的反映				
	电异常	激电异常	因铜矿多分布于 200～300m 深处，上部为金矿及硅化铁帽，加之地形极为复杂，激电法效果不佳。据供电极距较小的剖面显示，视极化率 η_S 异常一般为 5%～9%；$\eta_{S\max}$ 28%；视极化率背景 η_S：2%～3%				
		电阻率异常					
		电磁异常					
	其他						
主要岩矿石物性	岩、矿石名称		密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁　性		电　性	
			常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	M_r/（$10^{-3}A\cdot m^{-1}$）	η/%	$\rho/\Omega\cdot m$
	蓝辉铜矿						30.3	
	强黄铁矿化岩石						9.2	
	黄铁矿化岩石						2.7～7.8	
	K_1 火山碎屑岩				1.22×10^2	6.5×10^1	1.9	1.61×10^4
	K_1—D 碎屑岩、灰岩				<10	<10	2.0	1.08×10^4
	T_3、Z_1 炭质泥岩和板岩						9.4	
	花岗岩类				5.74×10^2	6.8×10^1	1.6	1.59×10^4
	花岗闪长岩				1.67×10^3	1.99×10^2	1.7	5.12×10^3
	次火山岩				<10～30	<10～640	1.4	1.43×10^4
备　注			岩矿石物性资料欠缺					

表 6.C　紫金山铜金矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Cu、Au、Ag、Mo 为主，次为 W、Sn、Pb、Bi、As、Sb 等													
	空间分布	Cu、Au、Ag、Mo 异常呈 NE 向分布，具有强度大、浓度分带和浓集中心明显的特征，且 Au 异常范围大于 Cu 异常；并伴有 W、Sn、Pb、Bi 等异常。大范围的 Sb 异常，呈南北向分布，北部见 As、Zn 为弱异常													
	元素浓度分带	Au：3～6～2　Pb：80～160～320　As：7～14～28　W：8.5～17～34 Cu：22～44～88　Zn：140～280～560　Sb：0.4～0.8～1.6　Sn：11～22～44 Mo：2.5～5～10　Ag：0.25～0.5～1.0　Bi：1.3～2.6～5.2													
	元素水平分带	岩石测量自 SE→NW 水平分带呈：W、Be—Mo、Cu、Au、Ag、Pb、As—Au、Cu、Hg、Ag、As、Sb													
	其他特征	斑岩型铜钼矿化的异常元素组合：W、Mo、Cu、Sn（Pb、As、Sb、Bi、Hg） 中低温火山热液铜金矿床的异常元素组合：Au、Ag、Cu、Pb、Mo、As、Bi、Hg（W、Sb） 低温火山热液型金和金铜矿化的异常元素组合：Au、Ag、Cu、Pb、Sb、Bi、Ba（As、Zn）													
矿床异常	元素组分	地　表										断　面			
		Au、Ag、As、Sb、Bi、Pb、Cu 等										Au、Ag、Cu、Mo、As、Sb、Pb、Zn 等			
	空间分布	矿区及外围 50km² 岩石测量，异常元素可分两类组合：Au、Ag、As、Sb、Bi、Pb、Cu 组合，主要分布在北西部，与火山机构和火山-次火山热液活动关系密切；Cu、W、Mo 和 Au 组合，主要分布在南东地段，与花岗闪长斑岩关系密切											Au、Cu 异常浓度分带明显，内带尤为发育，呈上 Au 下 Cu 的分布特征，Au、Bi、Hg、Mo 异常与金矿带产出部位相当，Ag、As、Sb、Pb 和 Cu 异常出现在金矿带下部，铜矿带上部；W、Sn、Zn 的中、内带异常主要出现在铜矿带下部；Be 异常出现在铜、金矿带的外围				
	元素浓度分带	地表　Au：12～25～50　Pb：125～250～500　As：30～60～120　W：12～25～50 Cu：100～200～400　Zn：100～200～400　Sb：2.5～5.0～10.0　Sn：12～25～50 Mo：10～20～40　Ag：0.6～1.2～2.5　Bi：12～25～50　Hg：30～60～120													
	元素分带序列	自上而下：Au、Mo、Hg—Sb、As、Bi—Pb、Ag、Cu、Zn、W、Sn													
	元素间相关性														
	其他特征														
矿体剥蚀程度评价指标		w(Au) w(Hg) w(Ag)/w(Cu) w(W) w(Sn)　元素组合 金矿体　>1　Au、Hg、Ag、Mo 铜矿体头部　1～0.1　Sb、Bi（Au、Cu、As） 铜矿体中部　0.1～0.01　Cu、Au、As（Sb、Bi、W） 铜矿体下部　0.01～0.001　W、Sn（Cu、As）														
岩矿石微量元素平均含量	岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
	隐爆角砾岩	604	143	20	331	1.61	18.0	26.0	21			190	17.1	32.5	598	45
	硅化地开石化花岗岩	71	70	17	243	1.52	14.8	7.7	16			153	23.5	14.9	566	66
	英安玢岩	491	229	20	173	0.77	37.5	9.5	19			122	7.3	26.3	457	28
	蚀变石英岩	284	67	19	338	0.67	13.3	5.9	18			122	9.0	33.7	531	20
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}														

第七章　沉积变质岩型矿床
——内蒙古霍各乞铜多金属矿床

霍各乞铜多金属矿床❶❷❸❹❺❻ 位于内蒙古狼山地区南部，属乌拉特后旗管辖，为狼山有色金属成矿带一处大型矿床，其东南尚有东升庙、炭窑口大型铜多金属矿床。

一、区域背景

矿区位于华北地台北缘，内蒙古地轴西端边缘坳陷带中狼山有色金属成矿带。由于区域构造位置特殊，区域内地层出露较齐全，岩浆活动频繁，构造复杂，矿产丰富。

区域重力异常基本呈北东向展布（图 7.1），重力高、低异常由 SE→NW 相间排列，场值变化在（－170～－136）$\times 10^{-5}m\cdot s^{-2}$之间。区域磁场平稳，场值在 0～－100nT 范围内变化。

小比例尺水化学测量方法试验，在霍各乞地区有明显的 Cu、Ag、Zn、SO_4^{2-}、pH 等组合异常。

二、成矿环境

1. 地层

太古宇五台群（乌拉山群）结晶片岩、片麻岩、混合花岗岩构成结晶基底，其上覆盖为元古宇狼山群（成矿带东段定名为渣尔泰群）地槽型浅变质沉积岩系。上述地层分布在狼山南北两侧，沿内蒙古地轴呈狭长带状分布。石炭系—二叠系砂页岩层、侏罗系—白垩系绿色、紫红色砂砾层零星分布，不整合于狼山群之上。

狼山群为直接容矿岩石，自下而上划分为四组：Pt_1 由片岩、片麻岩、黑云母石英片岩和二云母石英片岩组成，具明显混合岩化；Pt_2 为主要含矿层，按岩性自下而上分为白云岩-灰岩亚组、灰岩板岩片岩亚组、白云岩亚组及炭质千枚状片岩亚组；Pt_3 主要由中厚层石英岩组成；Pt_4 由黑云母石英片岩、二云母石英片岩及炭质板岩组成。矿赋存于狼山

---

❶ 庞琦等。内蒙古乌拉特中后联合旗霍各乞多金属矿区六四年度物化探工作总结报告书。冶金工业部华北冶金地质勘探公司五一九队，1964。

❷ 任天祥，赵云，张华等。内蒙古中西部荒漠半荒漠区区域化探扫面方法技术研究。地矿部物探化探研究所，内蒙古自治区地矿局第一物化探大队，1986。

❸ 张立真。内蒙古渣尔泰群铜、铅、锌等多金属硫化物矿床综合模型建立及应用。内蒙古第一物化探队，1987。

❹ 李惠，康诵琦，秦过佩等。内蒙古狼山有色金属成矿带层控矿床地球化学异常模型。有色北京矿产地质研究所、华北有色地勘公司第一物探大队、内蒙古有色地勘公司三队，1987。

❺ 金荣禄，何志国，张立真等。内蒙古狼山-渣尔泰山地区物化探资料综合研究及找矿预测。内蒙古第一物化探队，1989。

❻ 中国有色金属工业总公司内蒙古地质勘查局。内蒙古狼山地区铜多金属成矿规律找矿方向研究（75-05-03-09），1990。

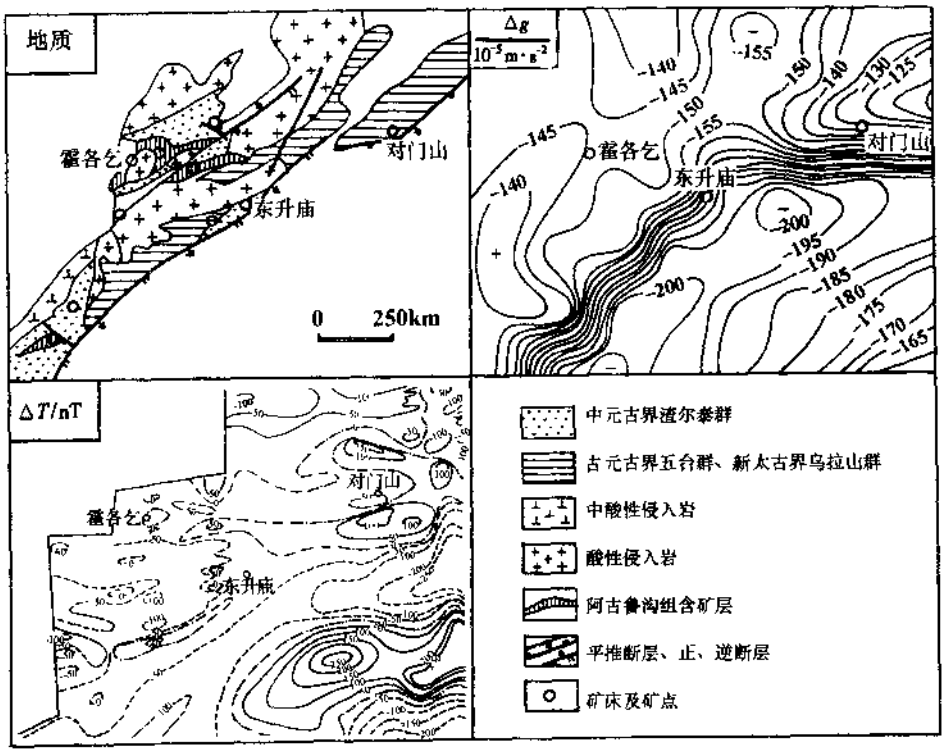


图 7.1 内蒙古狼山-渣尔泰山铜多金属成矿带西段及地球物理背景

（据郎殿有(地质)等 1987 年资料，张立真(重力)等 1987 年资料，航遥中心(航磁)1:100 万资料编绘）

群炭质—细碎屑沉积建造中，区域变质程度相当绿片岩相。含矿地层剖面如下：

顶板：云母石英片岩。

含矿层：
- 上含铜石英岩层，其条带状炭质石英岩为主要含矿岩石。
- 泥灰岩层，厚度不大，但连续分布。铅锌矿化，以铅为主，锌含量低；
- 下含铜石英岩层，条带状炭质石英岩为主要含矿岩石。
- 含铅锌炭质板岩层，铅锌矿化为主，锌与岩石中炭质含量较明显相关。

底板：千枚岩层（千枚岩、黑云母石英片岩）。

2. 构造

区内褶皱、断裂构造发育，整个成矿带由以狼山群为核部，狼山群第一、二岩性组分布于两翼的复式背斜组成；其两翼又发育有二级褶皱构造。

3. 岩浆岩

区内岩浆活动强烈，岩浆岩分布面积约占二分之一。其中加里东期侵入岩有斜长角闪岩、角闪辉石岩等；海西期狼山花岗岩呈岩基大面积出露。

4. 区域地球化学

(1) 区域地层中微量元素的含量。由狼山成矿带不同时代地层微量元素含量对比表（表 7.1）可见如下内容。

①二叠系地层中以 Ba、V、Ga、Ti 含量最高；石炭系灰岩以 Mo、Pb、Hg 含量最高；Zn、Ni、Cr、Co以狼山群(未分组)岩层中的含量最高，Cu、Ag则分别以狼山群第三和

表 7.1　狼山成矿带区域地层成矿背景值表

元素符号	白垩系（K）	侏罗系（J）	二叠系（P）	石炭系（C）	狼山群（平均）	狼山群				区域
						第三组（Pt_3）	第二组（Pt_2）	第一组（Pt_1）	未分组（Pt_B）	
Cu	9.2	14.9	12.8	7.1	19.6	22.3	18.5	13.5	27.6	16.2
Mo	10.3	9.5	6.7	17.3	7.9	5.0	11.6	4.2	7.3	8.8
Pb	29.8	26.1	28.2	60.7	34.4	21.4	50.0	23.1	24.0	33.1
Zn	36.0	64.1	87.2	30.1	55.0	43.9	62.8	53.0	103.0	59.5
Mn	627	447	599	212	317	169	513	151	465	389
Ba	856	797	1374	150	341	410	281	242	1096	616
Ni	5.9	12.5	15.9	14.9	12.7	9.4	16.5	10.7	40.7	15.5
Cr	48.5	63.0	67.4	13.5	48.7	61.0	40.7	55.2	145.7	60.4
V	27.1	46.2	75.6	16.8	31.6	26.1	35.0	20.1	57.1	37.3
Co	5.0	6.8	13.0	9.9	10.2	8.4	11.9	8.7	22.5	10.7
Ga	11.4	16.7	24.3	0.97	7.0	6.7	6.7	5.2	23.4	11.4
B	22.3	31.8	5.0	7.2	30.6	33.5	25.5	50.8	5.0	23.5
Ti	929	2054	3300	59	732	944	546	573	1828	1218
Ag	0.025	0.021	<0.02	<0.02	0.025	0.02	0.031	0.057	<0.02	0.023
Hg	0.017	0.017	0.019	0.052	0.025	0.017	0.019	0.02	0.029	0.024
F	333	1268	477	94	432	404	436	425	696	507

元素质量分数单位：10^{-6}；除区域值外，其余引自李惠等，1987。

第一岩性组含量最高。

②狼山群第二岩性组为含矿岩组，Pb、Zn、Mn、Mo、Ag、Ni、Co 含量均大于区域和狼山群的平均含量，其中 Pb、Zn、Mo、Mn 的含量又高于第一、三岩组。

③狼山群不同类型岩石中 Cu、Pb、Zn 的含量为：灰岩 > 石英岩 > 板岩、千枚岩、片岩，即与区内岩石的矿化的强弱一致。

（2）岩浆岩中的微量元素含量。矿区花岗岩中富含 Mo、Cr、Co、F 等元素；斜长角闪岩与基性岩相比，则富 Mo、Pb，贫 Ba、V、Mn；次闪辉长岩与基性岩相比，富 Mo、Pb，贫 Cu、Mn、Ba、Ni、V。

（3）区域地球化学异常特征。1:20 万区域化探显示，霍各乞矿区有明显的，范围较大的 Cu、Pb、Zn、Ni、Mn、Co 等元素组合异常（图 7.2）。

5. 区域地球物理

区域重力场反映，霍各乞矿区位于北东向重力梯级带上偏重力高一侧（图 7.2），其南、东侧显示为局部重力低；北西侧为局部重力高异常。重力低与北东向分布的大面积出露的花岗岩（$\sigma = (2.55 \sim 2.61) \times 10^3 kg/m^3$）岩体对应。

在航磁 ΔT 异常图上，矿区位于大范围平静负磁场（0 ~ -100nT）中，似等轴状的南正北负异常的变换部位，其正、负极值约 ±600nT；化极后负异常略向北移。平静磁场为

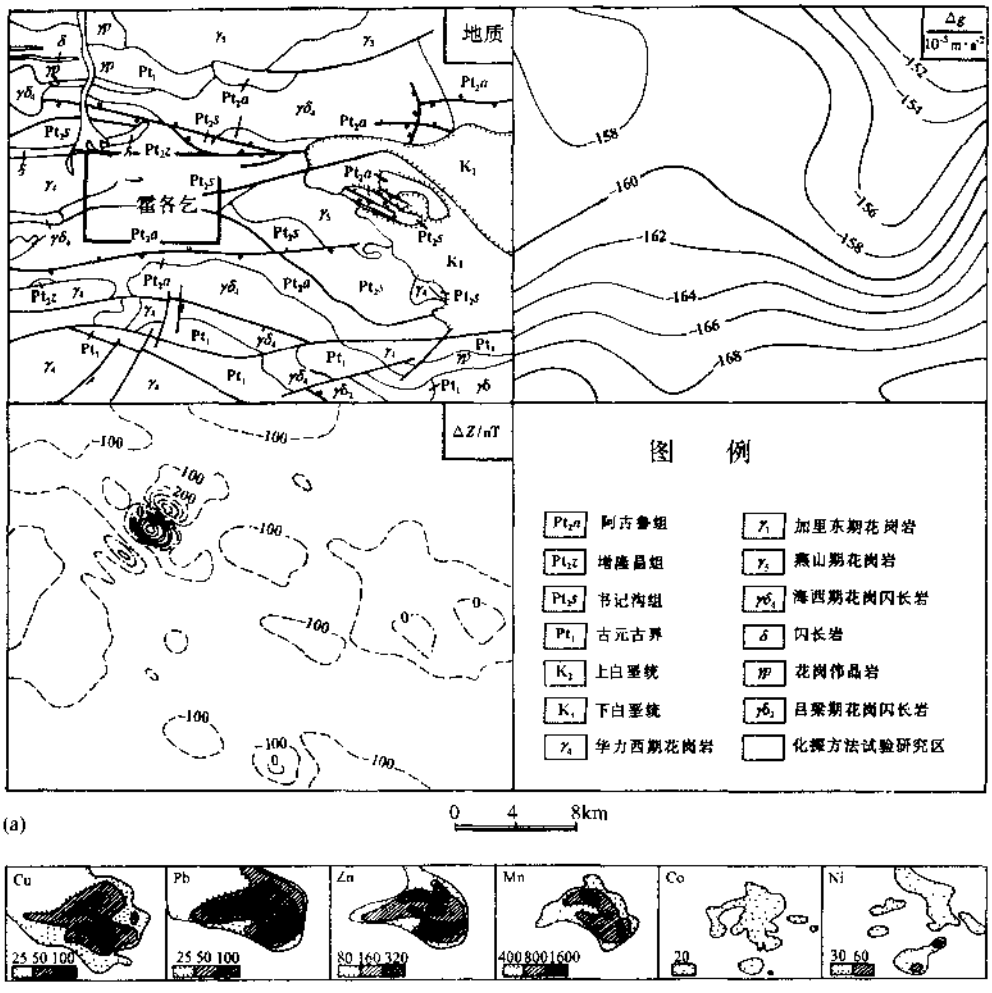


图 7.2 （a）霍各乞矿床区域地球物理-地球化学场剖析图，（b）化探方法试验研究区 1:10 万水系沉积物测量异常剖析图

（a）图据金荣禄，何志国，张立真等 1989 年资料编绘；

（b）图据任天祥，赵云，张华等 1986 年资料编绘。元素质量分数单位为 10^{-6}。

Δg 单位：$10^{-5}m/s^2$，ΔZ 单位：nT

弱磁性地层和花岗岩岩体的反映，磁异常与狼山群中含矿地层有关。

三、矿床地质特征

霍各乞矿区由一、二、三号铜多金属矿床组成（图 7.3）。一号矿床为主体，以铜为主；二、三号矿床分别以铅锌、铁为主，规模较小，品位较低。

1. 矿体组合分布及产状

矿体主要赋存于第二岩组（白云岩、炭质片岩夹灰岩）中第二岩性段的上部，矿层约长 1500m，平均厚 90m，走向 70°～80°，倾角约 70°；矿体均呈层状、似层状，形态较规

整；与含矿岩层整合一致，并随围岩产状变化形成协调一致的褶曲或波状起伏。矿体产状较陡，倾角一般大于60°或呈直立、倒转。

主要铜矿体3个，铅锌矿体24个，铁矿体12个。其铜矿体特征见表7.2。

表7.2 霍各乞一号矿床主要铜矿体特征简表

编号	长/m	平均厚/m	大体形态	占总储量
Cu-1	750	23.70	规整，厚度较稳定；东段垂深300m处均厚68m，四周渐薄	51%左右
Cu-2	500	11.50	较复杂，厚度变化大；品位较稳定（0.50%～0.95%）	
Cu-6	660	27.85	规整，产状稳定；分上、下两层，以Ⅰ层为主	42.66%

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造以浸染状、条带状为主，次为块状、细脉状、网脉状。矿石自然组合较明显地受岩性控制，条带状炭质石英岩主要形成黄铜矿-黄铁矿型组合；块状石英岩为黄铜-磁黄铁矿型组合；泥灰岩为方铅矿-磁黄铁矿型组合；炭质板岩为方铅矿-铁闪锌矿-磁黄铁矿型组合。

矿石矿物主要有：黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿，次为毒砂、赤铁矿等。脉石矿物主要有石英、方解石、阳起石、铁闪石、透辉石、绢云母、绿泥石等，另有少量红柱石、电气石、石榴子石等。

3. 矿化阶段及分带性

当沉积盆地形成后，在火山喷气作用形成的高温气成热液上升过程中，携带来自地壳深处的有用物质，同时捕获老地层中有用成分使其在沉积物中聚集、封存及迁移富集；成岩成矿后，又经历了区域变质作用及多期次构造、岩浆侵入。

矿化分带从顶板→底板依次为：铜→铅锌铁→铜→铅锌。

4. 蚀变类型及分带

蚀变作用在矿区分布不均匀，含铅锌矿的炭质板岩热液蚀变很弱。区内主要围岩蚀变为透辉石透闪石化。与矿化有关的蚀变主要有如下类型。

硅化：与矿化关系最密切的有两种：①不规则脉状，其脉壁或脉端有黄铜矿分布；②团块状，黄铜矿呈浸染状、斑杂状分布于石英颗粒间。

透辉石-铁闪石化：是伴生磁铁矿化的主要蚀变类型。

黑云母化-绢云母化：黑云母化发育于距含矿层较远的层位中；绢云母化较普遍发育于含矿层内。

5. 氧化带

氧化带的深度及产物依含矿层岩性不同而有所区别。条带状炭质石英岩：氧化带矿物以褐铁矿、孔雀石、夕孔雀石为主，平均深约48m。块状石英岩：以褐铁矿为主，一般深约21m。炭质板岩：氧化带矿物有褐铁矿、黄钾铁矾、铅铁矾，深度约达40m。

6. 主要控矿因素

受同沉积断裂控制的断陷盆地，控制了含矿建造的分布；近南北向构造发育，又将盆

地分成一些次级盆地、洼地，并直接控制了矿床的分布。

含矿建造的古地理环境，制约了矿体的分布；矿石建造较明显地受岩性控制。

区域变质作用、构造活动、岩浆岩侵入，对矿体进行了不同程度的改造。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

根据矿区（一号矿床）岩矿石物性（表 7.3）及区域物性资料分析如下。

表 7.3 霍各乞矿区（一号矿床）岩矿石物性参数统计表

岩矿石名称	块数	密度 $10^3 kg \cdot m^{-3}$	磁化率 $4\pi \times 10^{-6} SI$	剩磁强度 $10^{-3} A \cdot m^{-1}$	有磁块数/无磁块数	电阻率 $\Omega \cdot m$（测井）
铜矿石	38	2.90	7.39×10^2	2.02×10^3	15/23	106
铅矿石	37	3.22	2.63×10^3	1.92×10^3	26/11	20
铁矿石	16	3.26	3.38×10^3	1.46×10^3	10/6	
透闪石岩	11	2.70	3.88×10^3	2.55×10^3	7/4	
透辉石岩	4	3.28	8.53×10^2	1.85×10^3	2/2	360
石英岩类	20	2.96	3.11×10^2	5.11×10^2	4/16	300
石英片岩类	29	2.97	6.02×10^2	1.03×10^3	12/17	
二云石英片岩	14	2.98	7.51×10^2	1.20×10^3	5/9	1600
黑云母石英片岩	7	2.94	1.30×10^3	7.56×10^2	3/4	
硅化板岩						640
炭质板岩						10

据金荣禄，何志国，张立真等 1989 年物性资料整理。整理时，对原"无磁性"标本分别赋值 κ 为 100；M_r 为 60。

（1）密度：比较复杂。除铅矿石、铁矿石及透辉石岩为高密度，透闪石岩密度较低外；铜矿石与围岩密度接近，且数值较高。因矿围岩即直接容矿岩石，故呈较高密度（$> 2.90 \times 10^3 kg \cdot m^{-3}$），亦即层控矿床之特征反映。

（2）磁性：不均匀，一般属中—高磁性。铁、铅矿石及透闪石岩磁性最强，次为高磁性的铜矿石和透辉石岩；石英岩及各种片岩因矿化、变质作用影响，具中—高磁性。

另据狼山—渣尔泰有色金属成矿带东段资料，渣尔泰群岩石属弱磁性；若磁性增强则与矿化活动相关，因而为磁法圈定含矿岩层提供了物性前提。

（3）电性：矿石和炭质板岩（或含炭质岩石）较其他岩石的电阻率低 1～2 个级次。由于区内矿石自然组合明显受岩性控制，如炭质石英岩和炭质板岩分别形成黄铜矿-黄铁矿和方铅矿-铁闪锌矿-磁黄铁矿组合，故以电法圈定含矿岩层乃至矿层均具一定前提。

2. 物性模型

依据矿区岩矿石物性和一号矿床Ⅴ线地质剖面转换的概括物性模型（参见图 7.9），其相应物性体特征列于表 7.4。

表 7.4　霍各乞矿区物性模型参数特征归纳表

物　性	矿体		矿化围岩	围岩 狼山（渣尔泰）群	干扰体 炭质板岩
	铜矿体	铅(铁)矿体			
磁性特征	中—高磁		中—高磁	微磁	
$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	7.40×10^{2}	2.84×10^{3}	$3.11\times10^{2}\sim3.88\times10^{3}$		
$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	2.20×10^{3}	1.78×10^{3}	$5.11\times10^{2}\sim2.55\times10^{3}$		
ρ/Ω·m	$1\times10^{1}\sim1\times10^{2}$			$3\times10^{2}\sim16\times10^{2}$	$1\times10^{1}\pm$
极化率	中（高）极化		弱极化	弱极化	中（高）极化
物性体编号	①	②	③	④	⑤

3. 地球物理异常

（1）矿区异常特征。磁异常（图 7.3）：航磁 ΔT（1:5 万）异常似等轴状，负异常以半环状围绕于正异常的北西侧；正、负异常极值分别大于 2800nT、小于 - 800nT；背景为平稳的负磁场。

地磁 ΔZ 异常：由多个北负南正、南缓北陡的局部异常组成环带状，环直径约 2.2km（图 7.3 中缺二号矿床 ΔZ 资料，环带异常未全部展现）。一号矿异常（见图 7.4）位于南

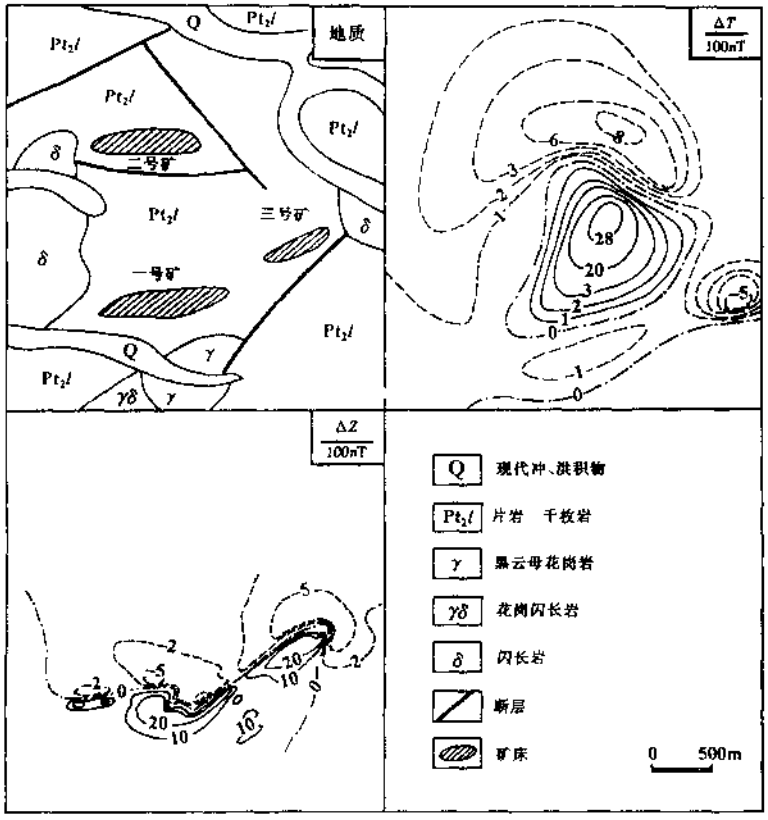


图 7.3　霍各乞矿区磁异常平面图

（据金荣禄等 1989 年资料；庞琦等 1964 年资料编绘）

部，西弱东强、规模最大；三号矿异常位环带东南，为区内最强（＞10000nT）的异常；二号矿异常在北面，异常极值最高（ΔZ_{max}达 52700nT，ΔZ_{min}约－4000nT）。

自电异常：与磁异常形态相似，对应各矿床的异常等值线均呈北稀、南密的分布特征。因炭质板岩形成的自然电场的影响，异常的宽度较大。其中，一号矿床自电异常最强，ΔU 一般为－200～－300mV；二号矿床 ΔU 一般＜－150mV，最低－300mV；三号矿床东段有异常显示，ΔU 一般为－250mV 左右，西段反映不明显。

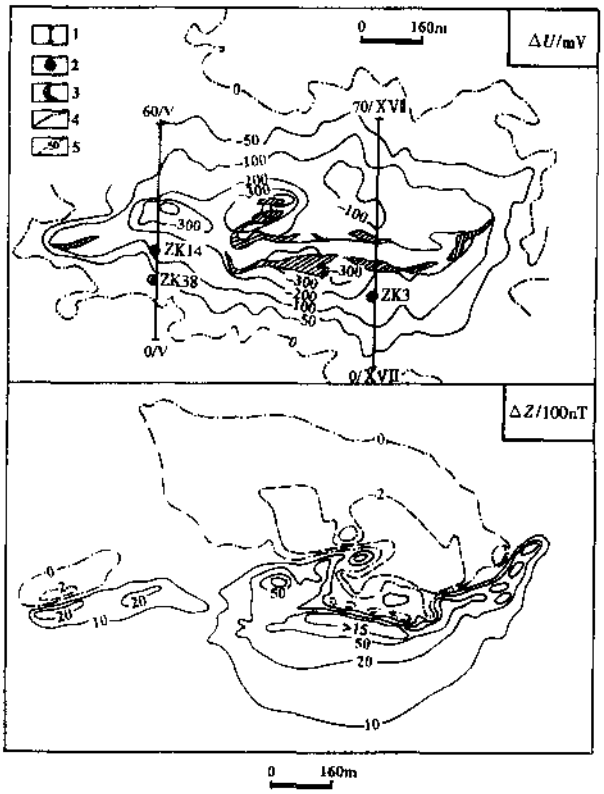


图 7.4　霍各乞一号矿床物探平面图

（据庞琦等，1964 年资料编）

1—剖面线；2—钻孔；3—含矿石英岩；4—ΔU 零等值线；5—ΔU 等值线

（2）一号矿床区异常特征。

①平面异常特征（图 7.4）。磁异常：ΔZ 磁异常呈近东西向带状分布，与含矿层对应较好。异常长约 1400m，两端窄（60～80m），中间宽，最宽处大于 300m；东强西弱。东段一般大于 10000nT，ΔZ_{max}＞20000nT；西段一般 2000～4000nT，南缓北陡，北侧出现不连续的负异常，强度一般为－200～－1000nT。区内含矿岩层大多分布在 ΔZ 为 2000nT 等值线圈闭内或近旁，等值线北疏南密分布，反映其向南倾斜的产状特征。

自电异常：形态与磁异常相似，宽度较大。ΔU 一般－200～－300mV，最强处－420mV。除含矿层外，尚有炭质板岩形成的自电异常的叠加。自电异常中心一般与含铜石英宽大或分布密集部位对应；且多处在 ΔZ500nT 等值线之外，与含铜石英岩分布部位大体对应。

②剖面异常特征。矿床西段：以Ⅴ线综合剖面为例（图 7.5）。

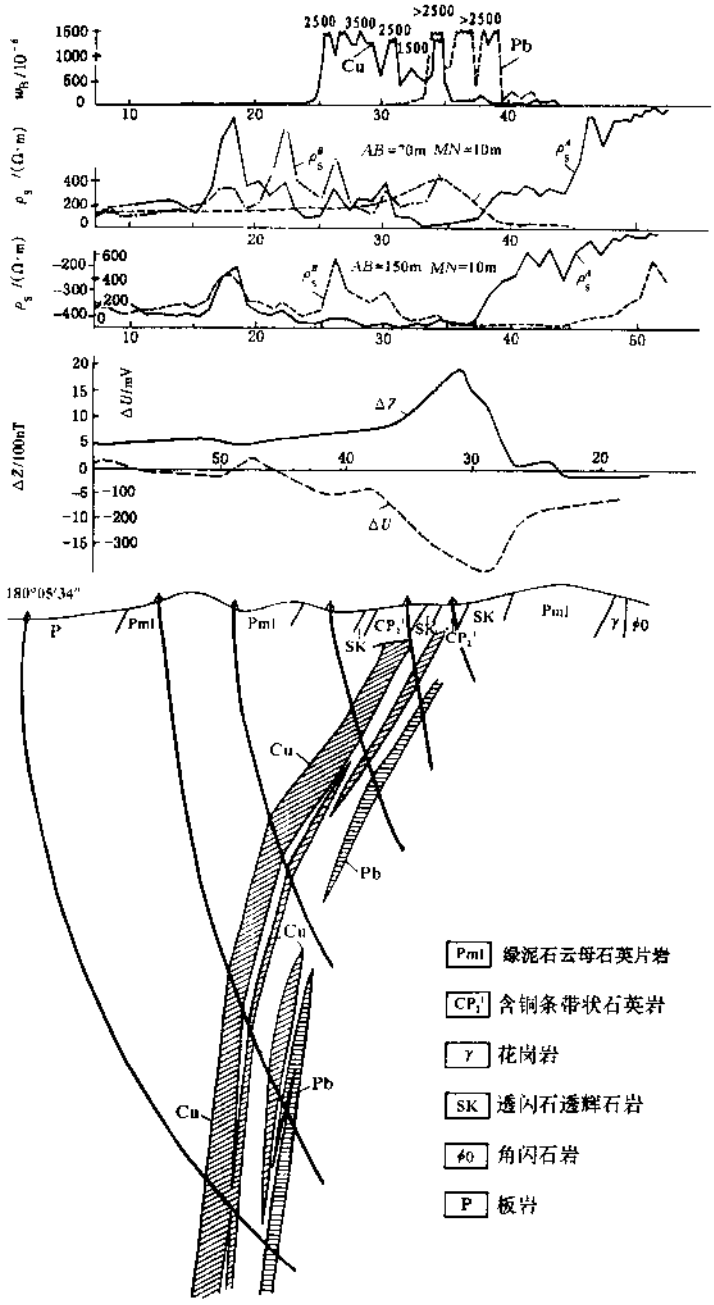


图 7.5 一号矿床Ⅴ线综合剖面图

（据底琦等 1964 年资料编绘）

磁异常：ΔZ 曲线宽缓，北翼略陡；异常宽度与含矿层对应，极大值 $\Delta Z_{max} \approx 2000$nT，偏向矿层底部（即向北偏移）。

自电异常：宽度与磁异常相当，亦呈北陡南缓，$\Delta U_{min} \approx -400$mV，且更偏向北（与炭质板岩中的铅锌矿层处于含矿层的底部有关）。

联合剖面：大、小极距均有低阻正交点，畸离带明显，ρ_S 均值小于 100Ω·m；大极距低阻带较宽，与含矿层对应良好，为含矿层中多个矿体的综合反映。

矿床东段：以 X Ⅶ线综合剖面为例（图 7.6）。

磁异常：ΔZ 曲线尖锐，北陡南缓，极大值落在含矿层中部，$\Delta Z_{max} \approx 3800nT$。

自电异常：ΔU 曲线宽缓，南翼上升极缓，$\Delta U_{min} \approx -230mV$，位置与磁异常对应，很

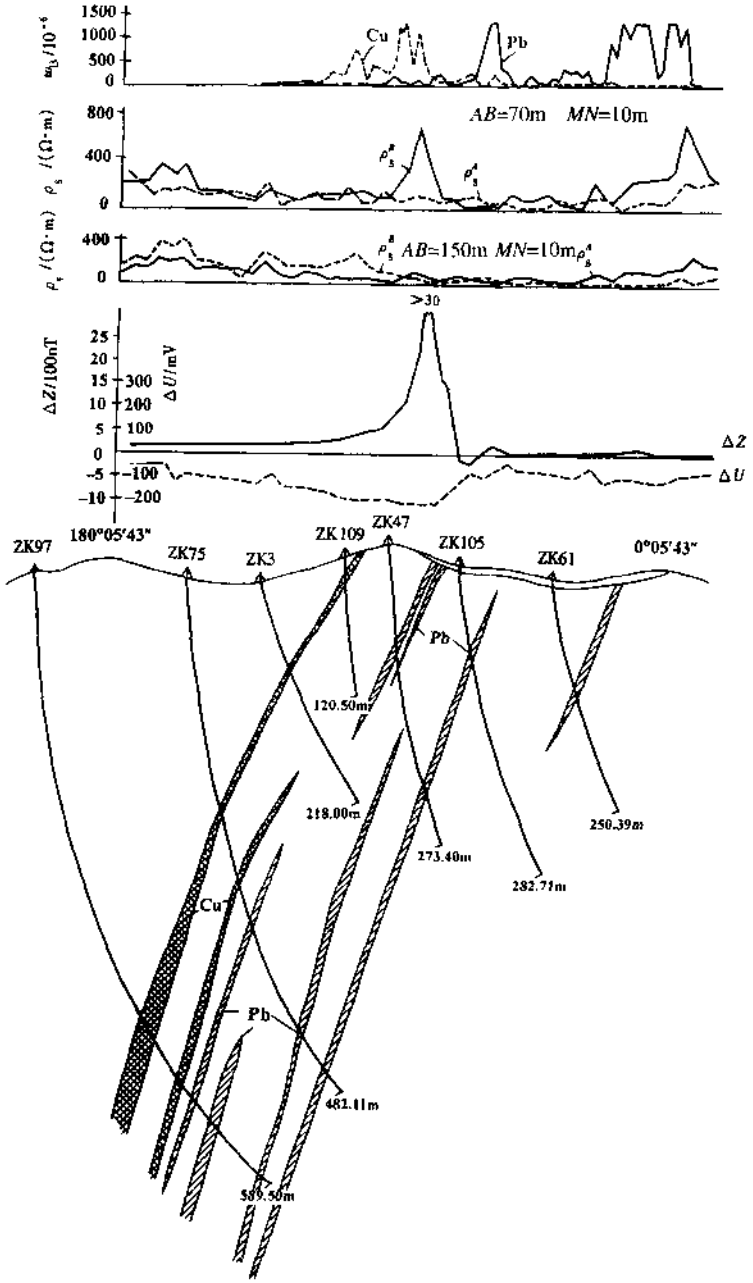


图 7.6 一号矿床 X Ⅶ线综合剖面图

（据庞琦等 1964 年资料编绘）

好地反映了含矿层。

联合剖面：有宽阔的低阻带，$\rho_s < 100\Omega \cdot m$ 的带宽约 260m，其北界相当于含矿层顶部位置，南界与矿层底板的板岩对应，正交点与含矿层的底界对应。由于一号矿床东段底板为低阻的炭质板岩，联合剖面的低阻带为矿带与炭质板岩的综合反映，炭质板岩上视电阻率更低，与物性结果一致。

五、矿区地球化学特征

1. 含矿岩石微量元素的含量特征

矿区一号矿床的主体含矿岩层各主要岩矿石微量元素含量见表 7.5。

①岩石中：Cu 元素主要富含于（炭质）条带状石英岩中，平均含量高达 2909×10^{-6}，为其他岩性的 7～35 倍；黑云母石英片岩中含量最低。Hg、Au 元素在（炭质）条带状石英岩中含量亦高于其他岩石；Mn 在透辉、透闪石英岩中含量较高；Pb、Zn、Ba、B、Ag、Bi 等以炭质板岩中含量相对较高。

按主要指示元素相对区域背景值的浓集系数大小排序为：Ag（223）> Cu（135）> Pb（5）> Zn（3.3）> Mn（3.2）> Co（1.5）。

②矿石中（一号矿床）：主要元素有 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Mn、Cd、Ba、Mo 等。

2. 地球化学异常特征

明显的受含矿岩层层位和岩性的控制，含矿层内矿体的侧向异常十分发育，在上、下盘围岩中，形成了一定宽度的异常。

（1）岩石测量。Cu、Pb、Ag、Zn 异常呈东西向带状分布（图 7.7），其中 Cu、Pb、Ag 的中、内带异常对应于矿体的赋存部位；Cu、Pb、Ag、Zn 外带异常与矿化带范围相当。V、Ga、B、Cr、Ni 的低值区或负异常与矿化带的范围大致对应；矿化带上 V、Ti、Ba 呈负异常，其外围显示为外带异常。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面　钻孔岩石地球化学异常具有明显的分带特征：Cu、Pb、Zn、Ag、Au 等在赋矿部位或矿化带有明显的中、内带异常（图 7.8），且浓度梯度大；上、下盘的 Cu、Pb、Zn 外带异常范围比矿体大 1～2 倍；Mo 异常仅在赋矿部位有中带异常的显示；V、Ti、Cr、F 为负异常，或在局部赋矿部位的外围出现外带异常。

3. 赋矿部位异常特征及判别指标

①出现 Cu、Pb、Zn、Ag 中、内带异常，并伴有 Hg、Mn、Cd、（Mo、Sn）中、外带异常，和 V、Ni、Cr、Ga、B 及条带状 Ti、F 等元素的弱或负异常；

②赋矿部位及矿化类型的判别指标见表 7.6。

4. 地球化学异常模型

霍各乞矿床具有较典型的沉积变质型矿床的地球化学异常特点，根据矿区含矿岩层及赋矿部位的异常特征，概括其地球化学原生异常模型见图 7.9b。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 霍各乞铜多金属矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 7.7

2. 霍各乞铜多金属矿床地质-地球物理-地球化学模型见图 7.9

表 7.5　霍各乞矿区一号矿床含矿岩层中主要岩性微量元素含量统计表

含矿层位		Cu	Mo	Pb	Zn	Mn	Ba	Ni	Cr	V
顶板	二云石英片岩	55	7.24	47	145	241	798	20.6	82	28
赋矿部位	绢云母石英片岩	234	4.08	27	67	79	865	5.7	30	30
	上条带状石英岩	2909	6.09	187	79	339	258	8.6	51	25
	透辉透闪石英岩	408	11.70	289	127	1623	326	11.1	34	33
	下条带状石英岩	408	4.03	417	51	107	693	5.0	53	30
	炭质板岩	86	9.57	3101	670	298	8828	10.8	59	66
底板	黑云母石英片岩	47	9.68	188	334	957	611	18.2	77	84
含矿层位		Co	Ga	B	Ti	Ag	Hg	Be	Au	F
顶板	二云石英片岩	16.8	28.7	63	3264	0.28	0.017	2.50	0.011	1068
赋矿部位	绢云母石英片岩	5.0	18.4	58	963	0.48	0.023	2.50	0.021	642
	上条带状石英岩	10.5	5.5	11	349	1.80	0.028	2.50	0.023	428
	透辉透闪石英岩	12.5	5.8	8	256	1.49	0.014	2.97	0.010	797
	下条带状石英岩	5.0	4.4	16	350	1.47	0.019	2.53	0.020	259
	炭质板岩	8.7	25.6	124	2563	2.21	0.019	3.66	0.010	1161
底板	黑云母石英片岩	15.0	29.2	100	3550	0.31	0.024	2.76	0.011	1329

元素质量分数单位：10^{-6}。　　据内蒙古有色地质勘查局 1990 年资料编。

表 7.6　霍各乞矿区赋矿部位及矿化类型地球化学判别指标

主成矿元素和伴生元素组合比	比　值	判　别	
$\frac{w(V)+w(Ti)+w(Mn)}{w(Cu)+w(Pb)+w(Zn)}$	<0.05	赋矿部位	指示铜、铅锌矿化范围
	0.05～0.10		围岩及矿体接触带
	>0.10		围岩
$\frac{w(Cu)}{w(Pb)+w(Zn)}$	>1.0	矿化类型	铜矿化
	1.0		铅矿化
	0.02 ±		铅锌矿化

据内蒙古有色地质勘探局资料编，1990。

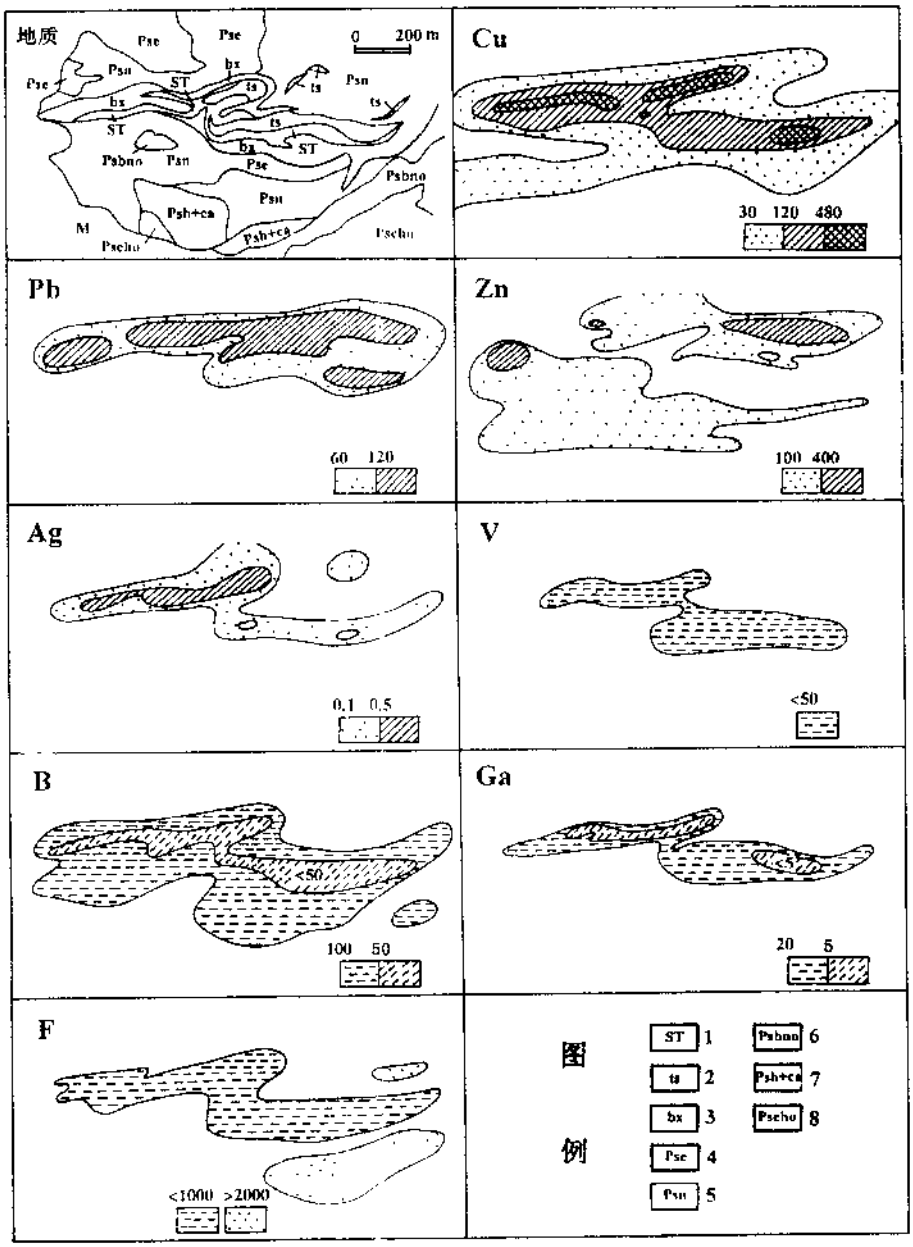


图 7.7　霍各乞一号矿床岩石地球化学异常图

（引自李惠等，1987）

1—条带状石英岩；2—透闪石岩；3—矿化板岩；4—二云石英片岩；5—黑云石英片岩；6—钙质黑云石英片岩；7—红柱石二云石英片岩；8—浮土。元素质量分数单位：10^{-6}

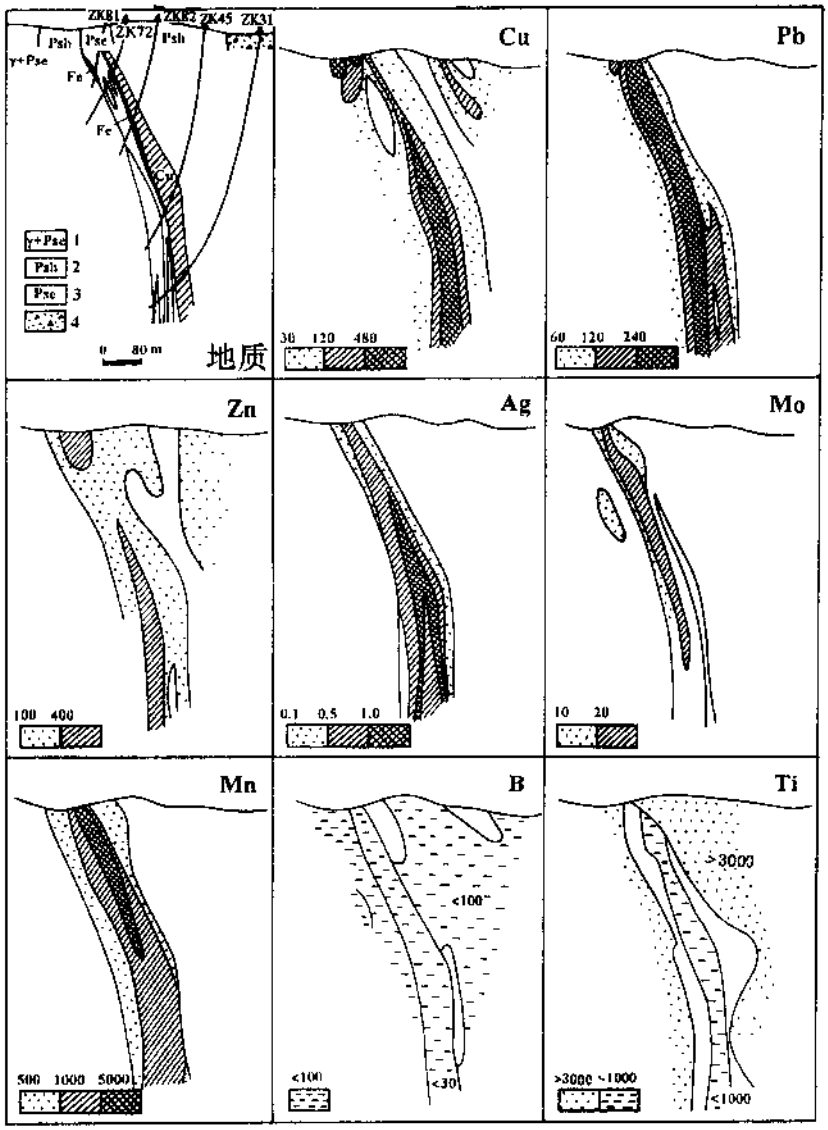


图 7.8　霍各乞一号矿床钻孔岩石地球化学异常剖面图

（引自李惠等，1987）

1—混杂二云石英片岩；2—黑云石英片岩；3—二云石英片岩；4—破碎带。元素质量分数单位：10^{-6}

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定铜、多金属含矿岩层：以中比例尺（1∶20 万 ~ 1∶10 万）航空物探（磁/放）为主，配合水系沉积物（粗粒级 -10 ~ +0.9mm）测量及 1∶20 万区域重力测量。

（2）寻找并圈定矿体或矿化体密集部位：以 1∶5 万地磁或航空综合（磁/电磁/放）测量为主，配合 1∶2.5 万岩屑地球化学测量和自然电场法、激发极化法等。

（3）确定或研究矿体形态及矿化类型：大比例尺（1∶1 万）磁力勘查，激发极化法、电阻率（联合剖面装置）法，及地下或井中物探方法确定或研究矿体产状；以岩屑地球化

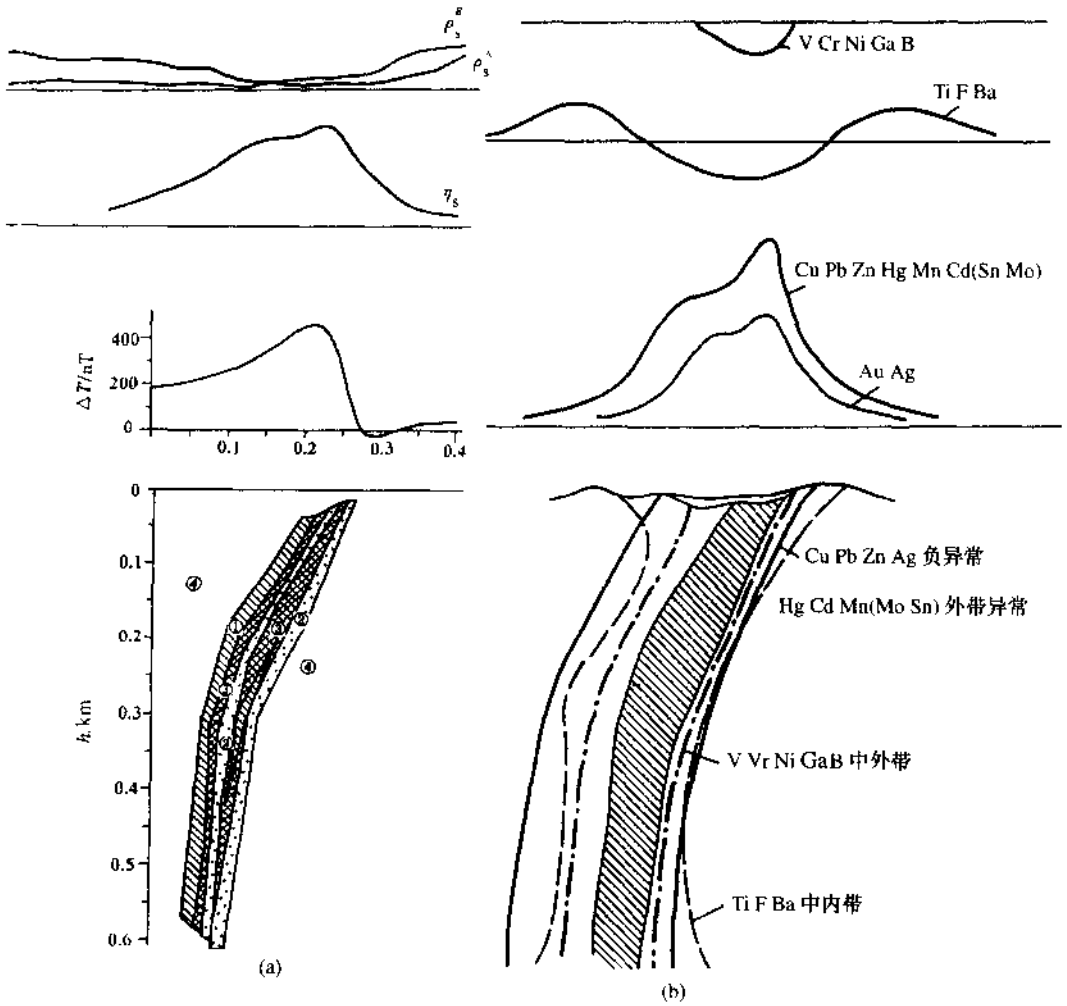


图 7.9　内蒙古霍各乞矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型

(a) 地球物理异常模型（ΔT 正演计算参数见下表）；(b) 地球化学异常模型

ΔT 正演计算方法	2.5D 磁异常正演计算程序		
磁性地质体及编号	①铜矿体	②铅（铁）矿	③矿化围岩
磁化强度：M/A·m^{-1}	1.580	1.346	0.953
地磁场参量	T_0 = 0.5540A/m　I = 59°10′　D = -4°28′		

学测量异常的主成矿元素和伴生元素的组合比值，判别赋矿部位和矿化类型。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 7.A　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地质特征简表。

表 7.B　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地球物理特征简表。

表 7.C　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地球化学特征简表。

表 7.7　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	位于华北地台北缘，内蒙古地轴西端的边缘坳陷带	
	地球物理场	区域重力异常基本呈北东向展布，高、低重力异常由南东→北西呈明显的相间排列，其场值变化在 -170×10^{-5} ~ $-136\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$之间。区域磁场平稳，场值在 0 ~ -100nT 范围内变化	
	地球化学场	小比例尺水化学测量方法试验，在霍各乞地区有明显的 Cu、Ag、Zn、SO_4^{2-}、pH 等组合异常	
地质	地　层	中元古界狼山群第二岩组（白云岩、炭质片岩夹灰岩）中第二岩性段的上部，矿赋存于狼山群炭质—细碎屑沉积建造中。顶板为云母石英片岩，含矿层自下而上分为：上含铜石英岩层、泥灰岩层、含铅锌炭质板岩层和下含铜石英岩层四组，底板为千枚岩层	
	构　造	沉积断陷盆地，控制了含矿建造；近南北向构造划分的次级盆地控制着矿床分布	
	岩浆岩		
	围岩蚀变	硅化：与矿化关系最密切的两种形式：①不规则脉状，其脉壁或脉端分布有黄铜矿；②团块状，黄铜矿呈浸染状、斑杂状分布于石英颗粒间。 透辉石-铁闪石化：为伴生磁铁矿化的主要蚀变类型。 黑云母化-绢云母化：前者发育于距含矿层较远的层位中；后者较普遍发育于含矿层内	
	赋矿部位	矿体主要赋存于第二岩组中第二岩性段的上部，自上而下分为：上含铜石英岩层，其条带状炭质石英岩为主要含矿岩石；泥灰岩层，以铅为主，锌含量低；下含铜石英岩层，条带状炭质石英岩含矿；含铅锌炭质板岩层，铅锌矿化为主	
	主要矿石矿物	黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、次为毒砂、赤铁矿等	
	直接找矿标志	铁帽（以褐铁矿、孔雀石、黄钾铁矾为主）	
地球物理	探测目标物	含矿岩层	矿体（一号矿床）
	目标物物性特征	中—高磁性（$n\times(10^{0}\sim10^{1})$ $A\cdot m^{-1}$） 弱极化；中阻（$n\times10^{2}$）	中—高磁性（$n\times10^{0}A\cdot m^{-1}$）， 中（高）极化；中—低电阻（$1\times10^{3}\sim10^{2}$）
	地表异常特征	含矿层多分布在 ΔZ = 2000nT 与 ΔU = -200mV的等值线圈闭内或近旁，等值线北疏南密，反映含矿层向南倾斜。磁异常与含矿层对应较好；自电异常除含矿层外，尚有炭质板岩形成的异常的叠加。自电异常中心一般与含铜石英岩宽大或密集部位对应	ΔZ 异常：呈近 EW 向带状，两端窄中间宽，长约 1400m；西弱（2000 ~ 4000nT）东强（> 10000nT）；南缓北陡，北侧呈不连续的 -200 ~ -1000nT 负异常。 自电异常：形态似磁异常，宽度较大；异常值 -200 ~ -300mV，最强处 -420mV
	干扰异常	不含矿的炭质岩层可形成电性干扰异常	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Cu、Pb、Zn、Ag、Mn、Ti 矿体→外围：Cu、Pb、Zn→Au、Ag、Mn→V、Ti、Cr、F	
	元素浓度分带	Cu　30 ~ 120 ~ 480　　Pb　60 ~ 120 ~ 240　　Zn 100 ~ 400　　Ag 0.1 ~ 0.5 ~ 1.0 Mo 10 ~ 20　　Mn 500 ~ 1000 ~ 5000	
	主要元素异常形态与分布范围	异常明显受含矿层位和岩性控制，矿体的侧向异常十分发育，在上、下盘围岩中能形成一定宽度的异常。异常呈东西向带状分布，Cu、Pb、Zn、Ag 的中、内带异常反映矿体；Cu、Pb、Zn、Ag 的外带异常及 V、Ga、B、Cr、Ni 的弱或负异常反映矿化带范围	
	其他特征	赋矿部位判别指标：$w(V)+w(Ti)+w(Mn)/w(Cu)+w(Pb)+w(Zn)$ < 0.05　指示铜、铅锌矿化范围 0.05 ~ 0.10　围岩及矿体接触带 > 0.10　围岩 矿化类型判别指标：$w(Cu)/w(Pb)+w(Zn)$ > 1.0　铜矿化 1.0　铅矿化 约 0.02　铅锌矿化	
备　注		元素质量分数单位：10^{-6}	

表 7.A　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地质特征简表

地理位置		内蒙古乌拉特后旗	1:20 万图幅：K-48-（30）	
矿床类型		沉积变质矿床	矿石建造	Cu、Pb、Zn（S、Ag、Cd、Fe 等）
矿床规模、品位		大型规模：Cu 品位为 1.09%；Pb 品位为 1.25%；Zn 品位为 1.42%	容矿岩石	炭质—细碎屑沉积建造，区域变质程度相当绿片岩相
地质成矿环境	构造背景	华北地台北缘，内蒙古地轴西端的边缘坳陷带		
	地　层	太古宇五台群结晶片岩、片麻岩、混合花岗岩构成结晶基底，其上覆盖为元古宇狼山群地槽型浅变质沉积岩系，顺内蒙古地轴呈狭长带状分布。石炭系—二叠系砂页岩层、侏罗系—白垩系砂砾层零星分布，不整合于狼山群之上，狼山群为直接的容矿岩石，自下而上可分四个组		
	构　造	区内褶皱、断裂构造很发育，整个成矿带由以狼山群为核部，狼山群第一、二岩性组分布于两翼的复式背斜组成；两翼又发育有二级褶皱构造		
	岩浆岩	岩浆活动强烈，火成岩分布面积约占二分之一。其中加里东期侵入岩有斜长角闪岩、角闪辉石岩等；海西期狼山花岗岩呈岩基大面积出露		
	主要控矿因素	受同沉积断裂控制的断陷盆地，控制了含矿建造的分布；近南北向构造发育，又将盆地分成一些次级盆地、洼地，并直接控制了矿床的分布。 含矿建造古地理环境制约了矿体的分布；矿石建造明显受岩性（炭质-细碎屑沉积变质岩）控制。 区域变质作用，构造活动、岩浆岩侵入，对矿体进行了不同程度的改造		
矿床特征	成矿岩体			
	容矿构造			
	矿化阶段	沉积盆地形成后，在火山喷气作用形成的高温气成热液上升过程中，携带来自地壳深处的有用物质，同时捕获老地层中有用成分使其在沉积物中聚集、封存及迁移富集；成岩成矿后，又经历区域变质作用及多期次构造、岩浆侵入，使矿体叠加富集		
	蚀　变	蚀变作用在矿区分布不均匀，含铅锌矿的炭质板岩热液蚀变很弱。区内主要围岩蚀变为透辉石透闪石化。与矿化有关的蚀变主要有：硅化、透辉石-铁闪石化和黑云母化-绢云母化		
	矿化分带	从顶板→底板：铜→铅锌铁→铜→铅锌		
	矿体特征	金属矿物：主要有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿，次为毒砂、赤铁矿等。		
		矿石特征：矿石构造以浸染状、条带状为主，其次为块状、细脉状、网脉状		
		矿体形态：较规整，与地层产状基本一致，均呈层状、似层状。随围岩产状变化形成协调一致的褶曲或波状起伏。矿体产状较陡，倾角一般大于 60°或直立、倒转		
	脉石矿物	主要有石英、方解石、阳起石、铁闪石、透辉石、绢云母、绿泥石等，另有少量红柱石、电气石、石榴子石等		
表生地质		氧化带的深度及产物依含矿层岩性不同而不同。条带状炭质石英岩：氧化带矿物以褐铁矿、孔雀石、夕孔雀石为主，平均深约 48m；块状石英岩：以褐铁矿为主，一般深约 21m。炭质板岩：氧化带矿物有褐铁矿、黄钾铁矾、铅铁矾，深度约达 40m。		
地貌景观		干旱荒漠，地形起伏不大		
备　注				

表 7.B　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	布格重力异常基本呈北东向展布，高、低重力异常由南东→北西呈明显的相间排列，场值变化在 -170×10^{-5} ~ $-136\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$之间。其南、东侧显示为局部重力低；北西侧为局部重力高异常。重力低与北东向展布的大面积分布的花岗岩岩体对应
	磁　场	磁场平稳，航磁 ΔT 异常在 0 ~ -100nT 范围内变化；矿区对应于其中南正、北负，似等轴状异常的变换部位，其正、负极值约 ±600nT
矿区（田）异常	重力异常	
	磁力异常	1:5 万航磁 ΔT 异常似等轴状，南正北负，负异常以半环状围绕在正异常的北西侧。地磁由多个 ΔZ 异常组成直径约 2.2km 的环带状，正、负异常极值分别大于 2800nT、小于 -800nT；背景为平稳的负磁场
	自电异常	形态与磁异常相似，对应各矿床的异常等值线、均呈北稀、南密的分布特征。因炭质板岩形成的自然电场的影响，其异常宽度较大，其中一号矿强度最大，$\Delta U=-200$ ~ -300mV；二号矿一般 ΔU 小于 -150mV；三号矿床东段有异常显示，ΔU 一般为约 -250mV，西段异常不明显
	其他	
矿床异常	重力异常	
	磁力异常	一号矿床异常平面特征：ΔZ 异常呈近东西向带状分布，长约 1400m；两端窄，中间宽（最宽大于 300m）。异常西弱（一般 2000 ~ 4000nT）、东强（一般大于 10000nT，$\Delta Z_{max}>20000$nT）；梯度南缓北陡，北侧出现不连续的负异常，强度一般为 -200 ~ -1000nT。 剖面特征：矿床西段异常宽缓，北翼略陡；宽度与含矿层对应，$\Delta Z_{max}=2000$nT，偏向矿层底部。东段异常尖锐，北陡南缓，$\Delta Z_{max}=3800$nT 落在含矿层中部
	电异常 自电异常	一号矿床：平面形态与磁异常相似，宽度较大；异常一般 -200 ~ -300mV，最强处 -420mV。 剖面特征：矿床西段异常北陡南缓，宽度与磁异常相当，$\Delta U_{min}=-400$mV，偏向北侧；东段异常宽缓，南翼上升缓慢，$\Delta U_{min}=-230$mV，极值与磁异常对应，反映了含矿层
	电异常 电阻率异常	联合剖面：在一号矿床西段大、小极距均有低阻正交点，ρ_S 均值小于 100Ω·m，畸离带明显；大极距低阻带较宽，与含矿层对应良好。东段呈宽阔的低阻带，$\rho_S<100\Omega\cdot$m 带宽约 260m，其北界相当于含矿层顶部，南界与矿层底板的板岩对应；正交点对应于含矿层底界
	电异常 电磁异常	
	其他	

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	η/%	$\rho/\Omega\cdot$m
	铜矿石	2.90		7.39×10^2	2.02×10^3		1.06×10^2
	铅矿石	3.22		2.60×10^3	1.92×10^3		2.00×10^4
	铁矿石	3.26		3.38×10^3	1.46×10^3		
	透闪石岩	2.70		3.88×10^3	2.55×10^3		
	透辉石岩	3.28		8.53×10^2	1.85×10^3		3.60×10^2
	石英岩类	2.96		3.11×10^2	5.11×10^2		3.00×10^2
	云母石英片岩类			7.42×10^2	1.04×10^3		1.60×10^3
	矿化板岩						6.40×10^2
	炭质板岩						1.00×10^4
备　注							

表 7.C　内蒙古霍各乞铜多金属矿床地球化学特征简表

区域找矿组合异常	元素组分	Cu、Pb、Zn、Ag、As
	空间分布	小比例尺水化学测量方法试验，在霍各乞地区有明显的 Cu、Ag、Zn、SO_4^{2-}、pH 等组合异常；水系沉积物测量在矿区一带有明显的，范围较大的 Cu、Pb、Zn、Ni、Mn、Co 等元素组合异常；1:5 万化探显示有：Cu(30 ~ 90)、Pb(25 ~ 150)、Zn(75 ~ 180)、Ag(0.20 ~ 0.45)、As(30 ~ 40)等元素组合异常
	元素浓度分带	水系沉积物异常分带：Cu 25 ~ 50 ~ 100　Pb 25 ~ 50 ~ 100　Zn 80 ~ 160 ~ 320 Mn 400 ~ 800 ~ 1600　Ni 30 ~ 60　Co > 20
	元素水平分带	
	其他特征	明显受含矿层和岩性控制，含矿层内矿体的侧向异常发育；上、下盘围岩中形成一定宽度的异常
矿体异常	位　置	地　表 ｜ 断　面
	元素组分	Cu、Pb、Zn、Ag、Mn、V、Ti、Ga ｜ Cu、Pb、Zn、Ag、Mn、Mo、Ti
	空间分布	异常呈东西向带状分布，Cu、Pb、Ag 的中、内带反映矿体；Cu、Pb、Ag、Zn 外带异常；V、Ga、B、Cr、Ni 的低或负异常反映矿化带范围 ｜ Cu、Pb、Zn、Ag、Mn 等在赋矿部位或矿化带有明显中、内带异常，上下盘围岩中 Cu、Pb、Zn 外带异常发育，V、Ti、Cr、F 为负异常，形态呈带状，连续性好
	元素浓度分带	Cu：30 ~ 120 ~ 480　V：< 50　F：< 1000，> 2000 Pb：60 ~ 120 ~ 240　B：< 50 ~ 100　Mo：10 ~ 20（剖面） Zn：100 ~ 400　Ga：< 5 ~ 20　Mn：500 ~ 1000 ~ 5000（剖面） Ag：0.1 ~ 0.5 ~ 1.0　Ti：< 1000、> 3000　B：< 30 ~ 100（剖面）
	元素分带序列	自矿体→外围 Cu、Pb、Zn→Au、Ag、Mn→V、Ti、Cr、F
	元素间相关性	
	其他特征	赋矿部位判别指标： $w(V)+w(Ti)+w(Mn)/w(Cu)+w(Pb)+w(Zn)$ { < 0.05 指示铜、铅锌矿化范围；0.05 ~ 0.10 围岩及矿体接触带；> 0.10 围岩 } 矿化类型判别指标：$w(Cu)/w(Pb)+w(Zn)$ { > 1.0 铜矿化；1.0 铅矿化；约 0.02 铅锌矿化 }
矿体剥蚀程度评价指标		

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	
绢云母石英岩	234	27	67	21	0.62			4.08	5.7	5.0				23	
上条带状石英岩	2909	187	79	23	2.62			6.09	8.6	10.5				28	
透辉透闪石英岩	408	289	127	10	2.40			11.70	11.1	12.5				14	
下条带状石英岩	86	417	51	20	1.30			4.03	5.0	5.0				19	
炭质板岩	201	3101	670	10	3.21			9.57	10.8	8.6				19	
一号矿体		220	212		2.74					16.1					
区域背景平均值	14	33	59		0.013			7.40	13.0	8.4					

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

第八章　其他类型矿床——河北蔡家营铅锌银热液矿床

蔡家营矿床[1][2][3][4][5] 位于河北省张北县，是一个以铅、锌、银为主的特大型多金属矿床，为华北地台北缘兰城子—蔡家营—青羊沟成矿带中最主要的矿床；与460（张麻井）大型铀钼矿床相距不到15km。

一、区域背景

矿区位于华北地台北缘中段，以北部康保—围场与南部尚义—平泉两条EW向深断裂所挟持的内蒙古地轴的中部，冀北断陷东缘沽源台凹西蔡家营凸起东缘。

区域背景重力场处于沽源重力高西南伸延递降场的末端，背景磁场呈近东西向正、负磁场转换梯度带；沽源重力高对应为低缓局部正、负相间磁异常分布区（图8.1）。

二、成矿环境

1. 地层

区域内，古元古界变质岩系构成基底构造层，不整合覆盖着上部构造层——中生界晚侏罗世—早白垩世火山岩系；新生界第四系松散堆积物覆盖较厚。矿区出露地层简单，但岩性复杂，主要有如下地层。

古元古界红旗营子群大同营子组上部，分布较广，岩性自下而上为夕线石斜长变粒岩（G_1），石榴子石斜长变粒岩（G_2），黑云斜长变粒岩（G_3），绿泥石化角闪斜长变粒岩（G_4）。其中G_4为蔡家营矿床的矿源层。

上侏罗统：白旗组（J_3b）为一套火山碎屑沉积岩；张家口组（J_3z），主要有凝灰质砂砾岩和流纹质晶屑凝灰岩、流纹岩等酸性火山岩，分布较广。

2. 构造

区域构造较复杂。矿区位于基底构造层大型倒转复式向斜的北翼，其上又叠加了一系列近SN向的基底褶皱，同时产生了一系列的断裂构造。

红旗营子群结晶基底呈近SN向紧密褶皱，岩层倾角东部陡立，西部较缓。盖层为EW走向，略向北倾；北部盖层不整合盖于变质岩上，南部呈断层（F_{45}）接触。

断裂构造分为：成矿前断裂出露于矿区中部，其中岩石被挤压成碎裂岩。成矿断裂中

---

[1] 张长江等。河北省张北县蔡家营铅锌银矿地质特征、成矿规律及成因。河北省地质矿产局第三地质大队，1994。

[2] 曹洛华，徐外生，周安昌。河北蔡家营铅锌银矿地球物理、地球化学特征及模式的研究。地矿部物探化探研究所，1990。

[3] 曹洛华，程立真，张豪兰。某些矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型的研究。地矿部物探化探研究所，1991。

[4] 曹洛华，徐外生，周安昌等。蔡家营矿区外围找矿靶区的物探化探筛选与评价。地矿部物探化探研究所，1992。

[5] 庞庆恒。冀北地区铅锌银多金属矿床区域地球化学模型（硕士论文），1994。

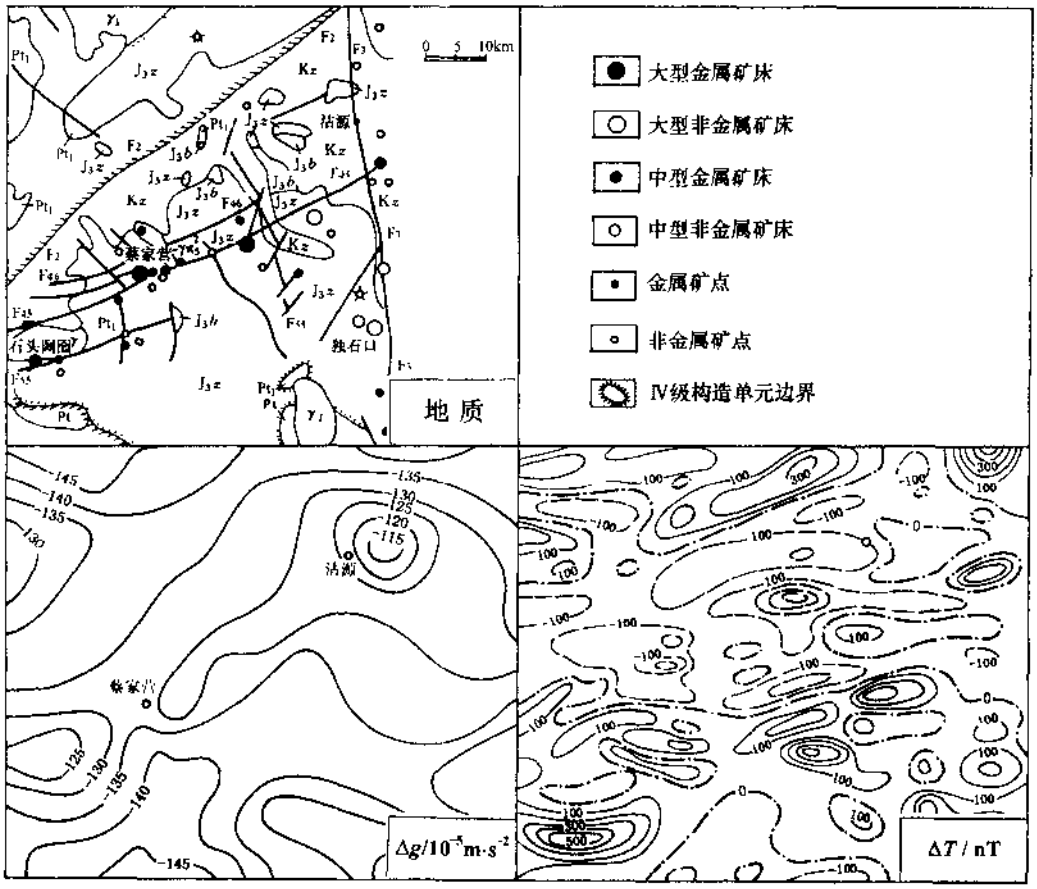


图 8.1　蔡家营地区地球物理背景场

导矿断裂 F_{45}、F_{17}呈 NEE 走向，分别由矿区南部和北侧通过；其旁侧羽状构造为容矿断裂。成矿后断裂为破矿构造，主要呈 NNW 向。

矿区东南部何包沟火山机构深部与 F_{45}、F_{17}导矿断裂沟通，与成矿有密切关系。

3. 岩浆岩

区内只有燕山期花岗斑岩及其派生的岩枝——石英斑岩。矿区附近出露的蔡家营、白水淖岩体，其中心相为花岗斑岩，边缘相为石英斑岩。

花岗斑岩多呈岩株状。石英斑岩分早期、成矿期和晚期三种。

早期石英斑岩（$\lambda\pi^1$）：受后期热液交代作用，岩石产生强烈绢云母化、黄铁矿化、方铅矿化、闪锌矿化等，局部富集形成铅锌银工业矿体。

成矿期石英斑岩（$\gamma\pi^2$）：切穿早期矿体后，被晚期热液交代形成新的矿体。

晚期石英斑岩（$\gamma\pi^3$）：分布有稀疏浸染状黄铁矿。

4. 区域地球化学

（1）微量元素的平均含量。由表 8.1 可见区内基底构造层古元古界红旗营子群中主要成矿元素含量与华北地台地壳化学元素丰度相比，具有不同程度的富集。矿区附近尤为明

表 8.1　蔡家营矿区及外围地区主要岩石成矿元素平均含量

层位或岩石	件数	Pb	Zn	Au	U	Ag	As	Cu	Mo
红旗营子群大同营子组（区域）	314	33.6	116.2		10.2	30	5.87	25.6	0.77
红旗营子群大同营子组（矿区）	536	50.5	283.9	4.1	5.2	374	34.51	72.7	1.07
上侏罗统白旗组（矿区）	137	13.7	162.3	3.7	4.3	197	0.70	12.0	0.69
上侏罗统张家口组（矿区）	153	19.8	50.4	1.6	10.6	120	3.81	7.0	6.0
华北地台地壳化学元素丰度*		13	74	1.0	1.0	57	1.5	30	0.50
内蒙古地轴地球化学背景**		21	53	0.8		77	5	16	0.7

元素质量分数单位：Au、Ag为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；据张长江等 1994 年资料整理；*引自鄢明才等，1997；**引自华北地台北缘编图组（迭代统计）。

显，Pb、Zn、Ag、Au、U 元素的区域浓集系数大于或近于 4，显示红旗营子群具有矿源层的特征。

（2）异常元素组合与分布。蔡家营一带处于地球化学高背景场区，显示出 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Cu、Au 等异常元素组合（图 8.2），其中 Pb、Zn、Ag、As、Sb 有明显的浓集

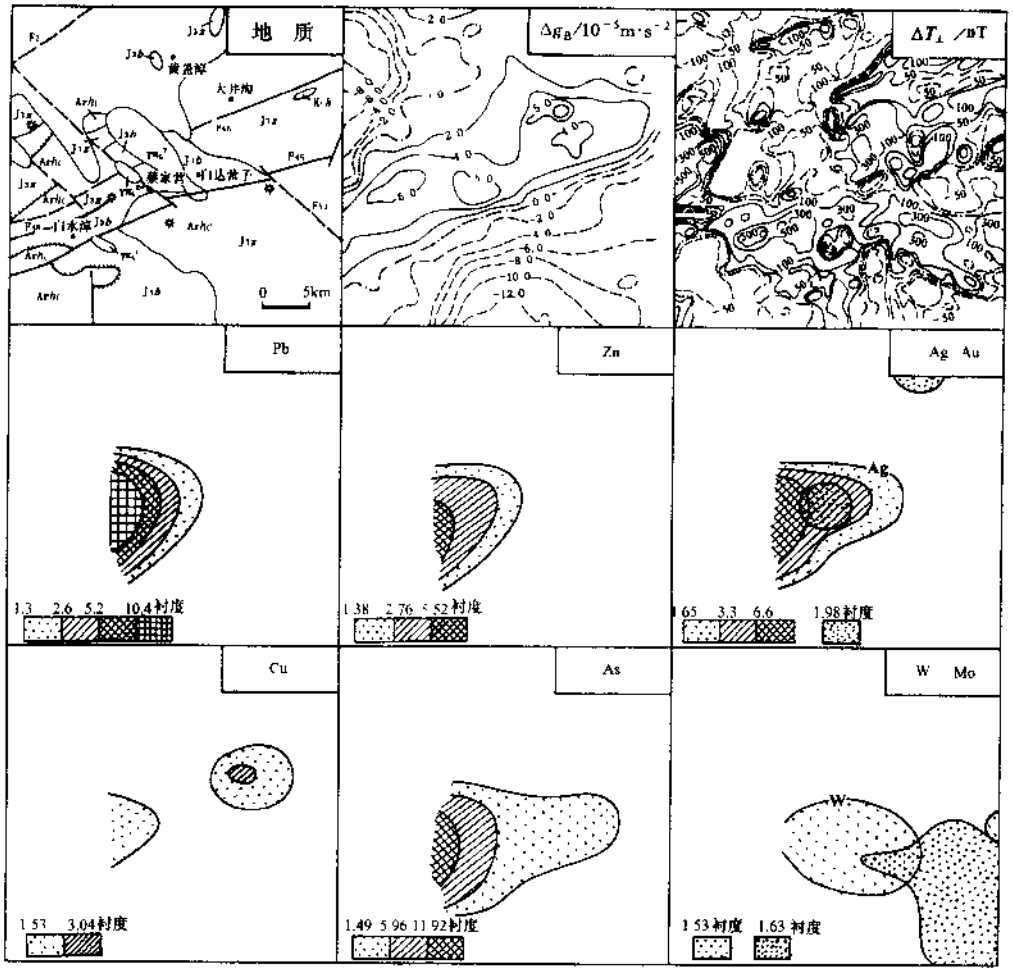


图 8.2　蔡家营矿床区域地球物理-地球化学场剖析图

化探引自徐外生等，1992；庞庆恒，1994；化探图为 1:20 万水系沉积物测量元素衬度等值线；地质图中地层见文字

中心，落于矿区附近。此外，尚有 W、Mn 等弱异常显示。

5. 区域地球物理场

区内构造盖层与基底、岩体与围岩之间的物性差异明显，因而地球物理场能较好地反映区域地质构造特征；而且区域重力场和区域磁场之间存在较明显的相关性。

太古宇红旗营子群出露区，显示为重高与磁高异常对应。当其上有新生界—中生界岩层覆盖时，则显示为重力高与杂乱或复杂磁场对应。上侏罗统火山岩分布区，呈重力低和杂乱磁场显示；碎屑岩分布区则与重力低和以负磁异常为主的稳定磁场对应。重、磁梯度带、线性异常联线等，多为构造断裂带反映，部分为物性界面的显示。

蔡家营矿区，航空电磁与航空伽马能谱测量有较明显的伽马能谱总量与电磁响应实、虚分量异常。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

根据矿脉群的空间分布，矿区内划分五个矿带，即以锌矿为主的Ⅲ号矿带和以多金属矿为主的Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ号矿带（图 8.5）。截至 1993 年，除Ⅲ矿带外，其他矿带尚处于普查或地表揭露阶段。

Ⅲ矿带规模最大，主要赋存于红旗营子群角闪斜长变粒岩中，由一系列走向北西西，倾向南南西的矿体群组成。矿体分布长 1320m，南北最宽达 1200m，面积约 1.2km^2。矿体严格受断裂构造控制，大多为不规则脉状、透镜状或枝状，局部呈囊状；单矿体一般长 300～800m，厚 1～49m 不等。

Ⅰ矿带规模较小；Ⅱ和Ⅳ矿带深部见矿，远景很好。

Ⅴ矿带为隐伏矿，矿带长 1800m，宽 500～800m，分布面积 1km^2；矿体形态复杂，以脉状为主，但分枝、复合、尖灭、再现及膨胀、收缩等现象普遍存在。

2. 矿石构造及主要矿物组合

有两种截然不同的矿石类型：西部为绢云母-多金属型，东部为绿泥石-闪锌矿型。其矿石构造完全相同，即以脉状、块状和稠密—稀疏浸染状构造为主，局部见团块状、角砾状矿石构造。

矿物组成较复杂，矿石和脉石矿物多达 30 余种。常见矿石矿物有闪锌矿、含铁闪锌矿、铁闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂以及磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、孔雀石等；脉石矿物有绿泥石、绢云母、石英、方解石等。

3. 矿化阶段及分带性

矿床形成经历了多期次，多阶段的成矿过程。铅锌矿化主要在中温热液硫化物成矿期，始于石英-硫化物阶段，终于硫化物-方解石阶段；金、银和铋矿化在中低温热液成矿期，银矿化又相对较晚。

矿体（或矿石）垂向分布规律较为明显：下部为单锌矿体（或绿泥石-闪锌矿型矿石），上部为多金属矿体（或绢云母-多金属型矿石）；有用元素反映为上部富银铅，下部富锌。

4. 蚀变类型及分带

近矿交代蚀变岩有绿泥石青磐岩建造，黄铁绢英岩建造及碳酸盐蚀变建造，前两种分

别以Ⅲ矿带和Ⅴ矿带最为发育。

Ⅴ矿带围岩蚀变分带性比较明显，由矿体中心向外依次为线型绢云母化带（黄铁绢英岩带）—面型绢云母化蚀变带—绿泥石化带—原岩；在断裂两侧往往呈不对称分布。

5. 氧化带

铁帽是多金属矿床的直接找矿标志。此外，氧化带中铅、锌品位高度贫化；细脉浸染状矿体在地表仅见星点状褐铁矿化，而深部很可能存在工业矿体。

6. 主要控矿因素

古元古界红旗营子群角闪斜长变粒岩提供了成矿物质来源。

康保—围场与尚义—平泉两条深断裂，控制了区域成矿带，不同方向断裂交汇部位，火山机构的存在，特别是断裂与火山机构交汇部位，是成矿的有利地段，也控制着与成矿有关的斑岩体的分布。

燕山期构造-岩浆岩活动不仅产生含矿流体，更有助于变质岩层中成矿元素的活化转移，并在有利的容矿构造裂隙中淀积成矿。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

矿区岩矿石物性分别列于表 8.2、8.3、8.4，结合其空间分布（图 8.3），特征如下。

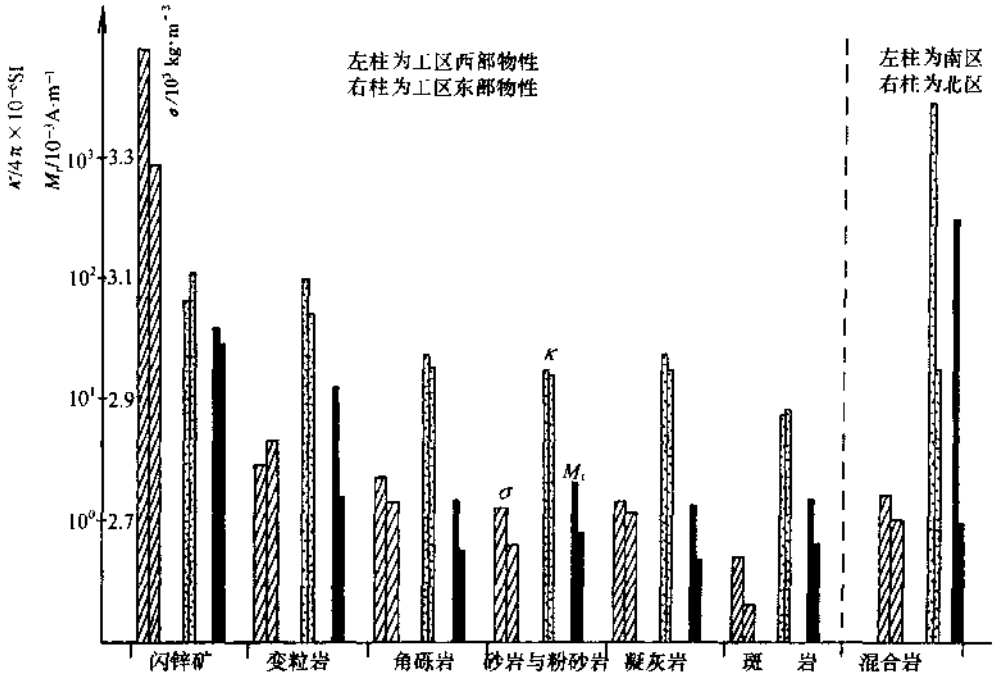


图 8.3　蔡家营矿区岩矿石密度与磁性对比图

（1）密度：区内岩石密度大都高于同类岩石，碎屑岩、凝灰岩尤为突出，而矿石密度偏低。岩石密度最高者为变粒岩，且矿区东部高于西部，其他岩石相反；反映其盖层与基

表 8.2　蔡家营矿区岩矿石密度与磁参数统计表*

岩矿石名称	标本块数/矿带编号	密度/10^3kg·m^{-3}		磁化率/$4\pi\times10^{-6}$SI		剩磁强度/10^{-3}A·m^{-1}	
		统计值	算术平均	统计值	几何平均	统计值	几何平均
闪锌矿	5/Ⅴ 273/Ⅲ	3.48 3.29	3.29	63.40 112.06	110.92	38.64 28.78	28.91
闪锌矿黄铁矿	8/坑道、ⅡⅢⅤ		3.12		37.07		16.63
方铅矿锌铅矿	4/坑道、ⅢⅤ		3.55		34.59		2.60
黄铁矿	20/Ⅲ		3.62		112.14		7.67
变粒岩	25/地表		2.75		49.20		7.87
	182/Ⅴ 589/Ⅲ 8/Ⅰ、Ⅱ	2.79 2.83 2.82	2.82	97.69 48.62 27.08	56.89	12.32 1.49 1.51	2.44
蚀变岩	11/坑道 21/Ⅴ 39/Ⅲ 4/Ⅱ	2.84 2.87 2.90 2.88	2.88	38.02 27.72 62.81 50.96	43.65	2.64 2.10 3.26 1.63	2.66
混合岩	6/地表、坑道		2.60		5.72		1.78
	15/Ⅴ 36/Ⅲ 3/Ⅱ	2.71 2.70 2.80	2.71	21.11 15.11 42.60	17.58	3.83 0.45 4.69	0.93
混合岩**	18/Ⅴ		2.74		2792.5		350.8
角砾岩	5/地表、坑道 12/Ⅴ 34/Ⅲ	2.86 2.77 2.73	2.75	20.09 23.50 17.86	19.28	2.01 1.51 0.59	0.83
砂岩、粉砂岩	3/地表 17/Ⅴ、Ⅲ	2.73 2.70	2.70	18.23 15.78	16.14	5.76 1.38	1.71
凝灰岩	17/地表		2.56	21.24	20.02	29.76	1.82
	58/坑道、Ⅲ、Ⅴ		2.73	19.68		0.80	
斑岩	48/地表	2.54	2.56	15.81		23.46	
	76/坑道、Ⅲ、Ⅴ	2.58		7.42		0.86	
流纹岩	20/地表、Ⅲ		2.51		11.91		37.12
花岗岩	12/地表		2.59		4.96		0.83
石英岩	12/Ⅲ		2.69		11.27		0.95
辉绿岩	22/地表、Ⅲ		2.72		124.17		36.64
闪长玢岩	2/地表		2.71		431.12		30.82

* 测定精度较高，其精度分别为 $\varepsilon_\sigma=\pm0.0082\times10^3$kg·m^{-3}，$\theta_\kappa=0.403\%$，$\theta=4.61\%$。 * * 可能为磁铁矿化混合岩。

表 8.3 蔡家营矿区岩矿石电性参数统计表

岩矿石名称	块数	充电（极化）率/%		电阻率/Ω·m		备注
		变化范围	常见值	变化范围	常见值	
闪锌矿矿石		3～62	<10	3.5×10^{2}～1.1×10^{4}	3.0×10^{3}	
多金属矿矿石		30～60	45	1.4×10^{1}～2.3×10^{2}	1.0×10^{2}	据 ZK100-1 和
黄铁矿化岩石			>10	1.8×10^{2}～1.5×10^{4}	$<1.5\times10^{3}$	ZK209-1 岩芯测定
变粒岩		1.1～8.8	3.0	5.1×10^{1}～2.2×10^{4}	4.0×10^{3}	
铅锌黄铁矿矿石	6	14.1～49.0	33.3			
氧化铅锌矿及黄铁矿矿石	2	9.8～13.7	11.4			据河北物探队资
石墨化片麻岩（变粒岩）	4	11.3～19.3	15.4			料
酸性火山岩	14	1.2～7.5	3.7			
闪锌矿方铅矿矿（化）层	21			4.70×10^{1}～1.13×10^{2}	8.60×10^{1}	
蚀变岩	33			3.20×10^{3}～2.16×10^{4}	4.72×10^{3}	
石墨化蚀变岩	3			2.10×10^{1}～2.49×10^{2}	2.30×10^{1}	据河北物探队电
斜长角闪变粒岩	36			4.18×10^{2}～1.28×10^{4}	6.52×10^{3}	测井曲线资料
混合岩	11			2.54×10^{3}～1.28×10^{4}	4.89×10^{3}	
石英斑岩	7			2.56×10^{3}～1.28×10^{4}	4.29×10^{3}	

表 8.4 蔡家营矿区岩矿石声学特征统计表

岩矿石名称	块数	声波速度/m·s^{-1}		主频/kHz		振幅（归一化）	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
团块、团斑状矿石	10	3273～4000	3556	43.75～56.25	49.48	77～225	119
细脉浸染、星点状矿石	9	3636～4727	4259	43.75～56.25	54.49	110～295	189
变粒岩	14	4668～5882	5243	50.00～56.25	55.21	196～818	445
石英斑岩	5	4462～4645	4545		56.25	132～450	305

底密度呈反向变化。

（2）磁性：岩石中磁性最强者为分布于矿区西南的混合岩，其磁性比一般岩矿石高出1～2个级次，其他岩石间无显著差异。矿石磁性微弱，与围岩间差异较小，且东部矿石磁性略高于围岩；西部磁化率则较围岩偏低。

（3）电性：围岩呈弱—微极化、高电阻。闪锌矿矿石电性与围岩相当，其微观极化率略高于围岩，电阻率微低；多金属矿石为中阻、高极化，且与矿化岩层及石墨化蚀变岩电性差异不大。

（4）声学特性：团块、团斑状矿石（大多为富矿矿石）相对围岩具有波速低、主频低和振幅低的特征；而细脉浸染、星点状矿石（大多为贫矿矿石）与围岩差异不明显。

2. 物性模型

（1）矿区主要围岩变粒岩和矿石的物性参数概于表 8.5，综合物性特征如下。

表 8.5　蔡家营矿区岩矿石综合物性参数表

物理性质	符号（单位）	闪锌矿型矿石	多金属型矿石	围岩（变粒岩）
密度	$\sigma/10^3 kg\cdot m^{-3}$	3.29	3.05～3.62	2.80
磁性	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$n\times10^2$	$n\times10^1$	$n\times(10^1\sim10^2)$
	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	$n\times10^1$	$n\times10^0$	$n\times(10^0\sim10^1)$
电性	$M/\%$，$\eta/\%$	<10	30～40	3
	$\rho/\Omega\cdot m$	3×10^3	10^2 左右	4×10^3

闪锌矿型矿石为高密度、弱—微磁性、高电阻、弱极化；多金属型矿石为高—极高密度、微磁性、中电阻、高极化；围岩（变粒岩）为中高密度、微—弱磁性、高阻、微极化。

（2）Ⅴ矿带 500 勘探线部分钻孔和Ⅲ矿带 315 勘探线钻孔岩芯密度、磁性数据聚类分析结果示于图 8.4。500 线物性聚类体与矿脉产状基本一致；315 线物性聚类体为一些与矿脉斜交或正交的平缓或弧状脉体，并相互重叠、交错的散布于整个断面，其中第 5 类以黄铁矿化矿石为主，第 6、7 类以锌矿石为主，第 8 类为含磁性矿物较多的矿石。

3. 地球物理异常（图 8.5、8.6、8.7）

（1）重力异常：区内重力场由北东向南西降低，反映了基底构造层红旗营子群变粒岩与矿化带的分布及其密度变化。重力高异常主要反映如下。

各类矿石的富集地段，如以多金属型矿石为主的Ⅴ矿带和以闪锌矿型矿石为主的Ⅲ矿带上，均有重力高异常反映；但Ⅲ矿带异常宽缓，叠加有矿化蚀变岩的异常。

有一定规模的矿化蚀变岩分布地段，如Ⅲ矿带。

围岩中岩性不均匀形成的局部高密度地质体。

（2）磁异常：磁场的变化趋势与重力场截然相反，即磁场为区外白水淖磁异常的东延部分，由南西向北东降低，反映磁铁矿化混合岩（?）的分布。区内 $\Delta T_{\perp}$ 有如下反映。

正磁异常主要反映磁铁矿、磁黄铁矿矿石的富集地段，或磁铁矿化混合岩分布地段；以及规模较大的中—基性脉岩。

负磁异常反映赋存于弱磁性围岩中的微磁矿体，如Ⅴ矿带（图 8.6）或岩性层。

正负相间的条带状异常为出露或半出露，延深不大的中—基性脉岩反映。

（3）电异常：以矿区中部的高极化、中阻电异常最为明显，主要反映黄铁矿化及矿化带的分布范围。以视充电率 M_S5% 等值线圈出的四处局部异常，均与矿或矿化地段对应，如Ⅴ矿带矿脉群上 M_S5% 左右、电阻率相对较低，ρ_S 为 200～400Ω·m；Ⅲ矿带上 M_S 为 3%～5%、电阻率较高，$\rho_S>300\Omega\cdot m$。

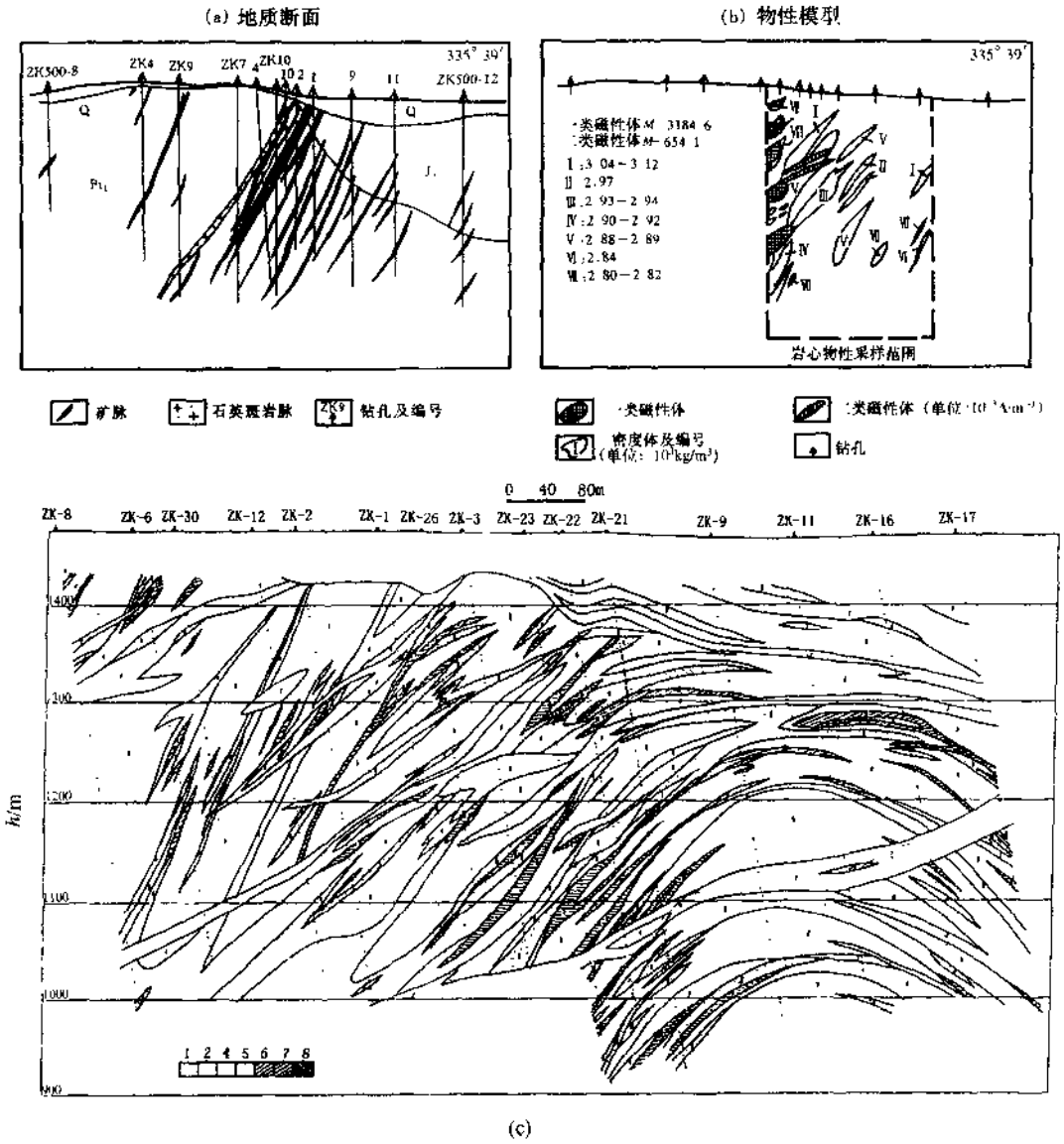
处于有利成矿部位，低于 5% 的异常亦可能为矿体的反映，如Ⅱ矿带激电异常。

（4）井中物探：在Ⅲ矿带井中声波透视，对确定井间矿体位置、圈定矿体形态、判断矿体走向连续性、寻找井间盲矿等取得较好效果。

此外，矿区南部 F_{45} 断裂，各种物探方法均有明显异常反映。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

圈定矿体或矿脉群体：激电异常的主要干扰为黄铁矿化；重力主要影响是以闪锌矿型矿石为主的矿脉群与围岩密度差异较小，以及围岩中岩性（或密度）的不均匀。



(c)

图 8.4 蔡家营矿床Ⅲ矿带 315 线、Ⅴ矿带 500 线物性聚类分析断面图

(a) 地质断面；(b) 物性模型；(c) 315 线物性聚类断面图，图中图例为聚类分析类别

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

矿区附近红旗营子群各主要岩石成矿元素含量与区域背景值相比，具有不同程度的富集（表 8.6）。其中角闪斜长变粒岩含量最高，Pb、Zn、Ag 元素衬值分别约为：6、19、22；而火口管道相流纹岩的 Au 和 Mo 的衬值分别为 4 和 19。显示：红旗营子群大同营子组上部 G_4 角闪斜长变粒岩具有矿源层显示；火山机构与成矿活动关系密切。

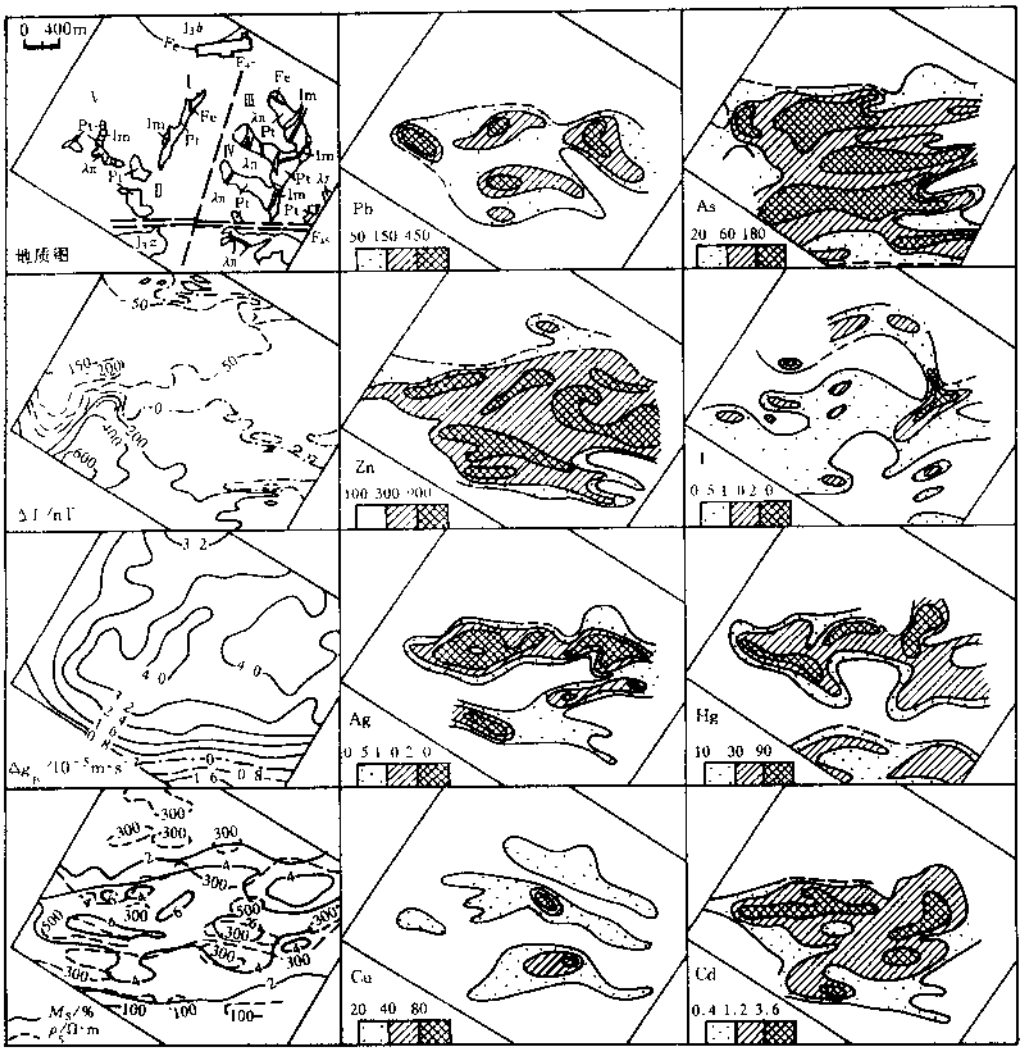


图 8.5　蔡家营矿区地球物理-地球化学（岩屑）异常剖析图

（化探据徐外生等，1990 年资料编）

1—上侏罗统白旗组；2—上侏罗统张家口组；3—元古宇红旗营子组；4—混合岩；5—石英斑岩；6　氧化矿脉露头；7—断裂；8—矿带编号、元素质量分数单位：Ag、Hg 为 10^{-9}，其他为 10^{-6}

表 8.7 列出了Ⅲ、Ⅴ矿带岩矿石及主要金属矿物中微量元素的含量。Ⅲ矿带矿石中 Co、Ni、Bi、Mn 平均含量高，与矿体中高温期矿物闪锌矿、黄铁矿的组合特征相似；Ⅴ矿带矿石中 Pb、Ag、As、Sb、B 平均含量高，与中温期矿物方铅矿组合特征相近。

2. 矿区地球化学异常

（1）水化学异常：矿区及其外围显示异常总体呈北东东向，即沿区域矿化带展布，北东侧尚未封闭；中带异常又分出南（Ⅰ）、北（Ⅱ）两个异常带（图 8.8），分别沿 F_{45}、F_{46}断裂分布。南异常带中部即对应于蔡家营矿区，为 Pb、Zn、As、Sb、Mn、Mo、Ag 及

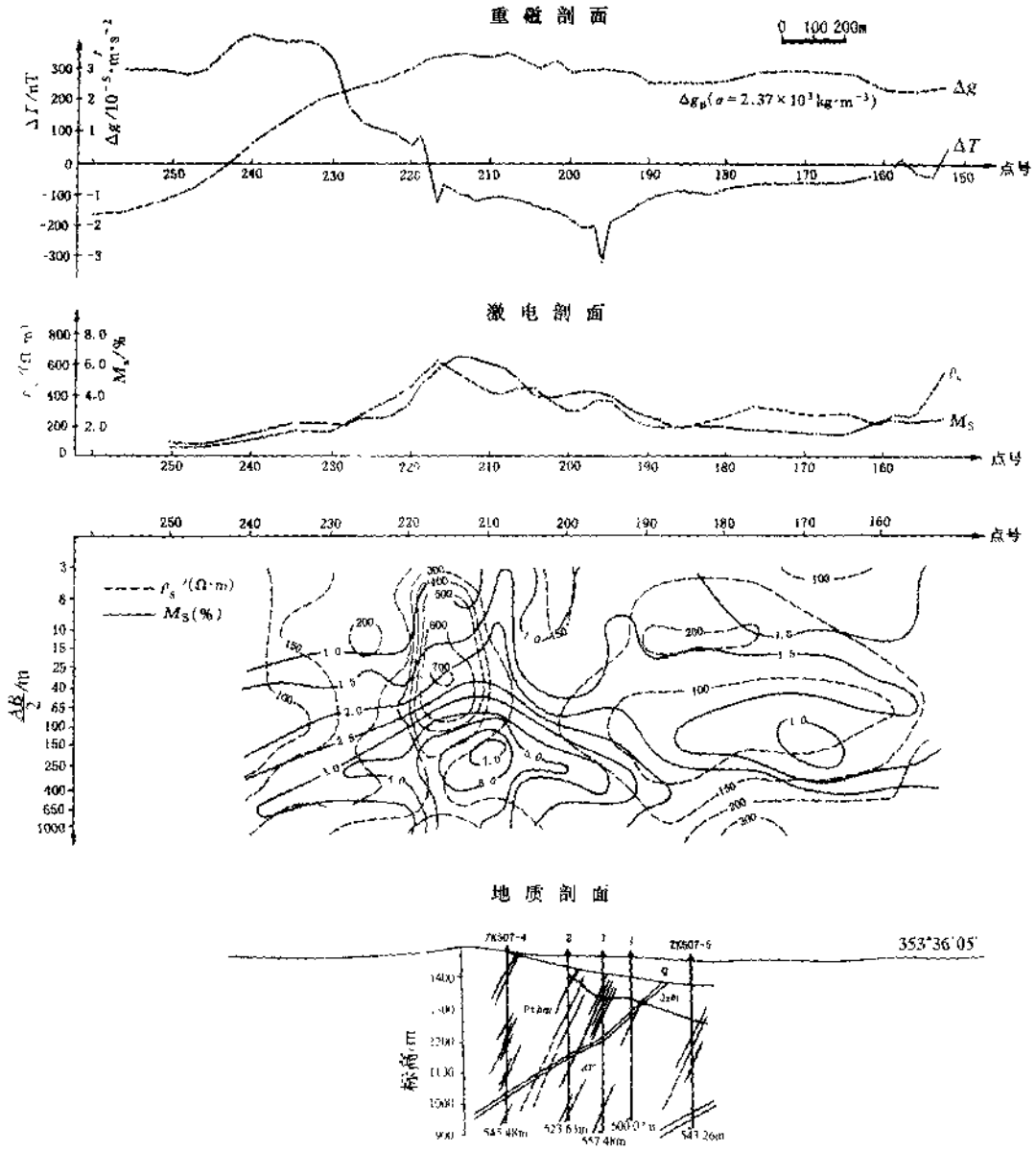


图 8.6　蔡家营矿区 507 勘探线物探综合剖面图

地质标记见图 8.5

Se 元素和 SO_4^{-2} 异常组合，前五种元素异常范围大，有明显的浓集中心。北异常带分布于蔡家营矿区北侧，为 Cu、Pb、Mn、As、Sb、Zn、Mo、SO_4^{-2} 等组合。

（2）岩石异常：地表岩石（屑）测量显示 Pb、Zn、Ag、Hg、As、Sb、B、Cd、Mn 等元素异常（图 8.5），总体呈不规则宽带状，长轴呈北东向，约 3.6km（约 9km²）；具明显的浓度分带。各元素异常的特征值列于表 8.8。其中 Pb、Zn、Ag 异常范围包容了整个矿床，且异常平均值较高，面积较大。Cd 异常形态与 Pb 相似；Mn 异常出现在北部Ⅰ、Ⅲ、

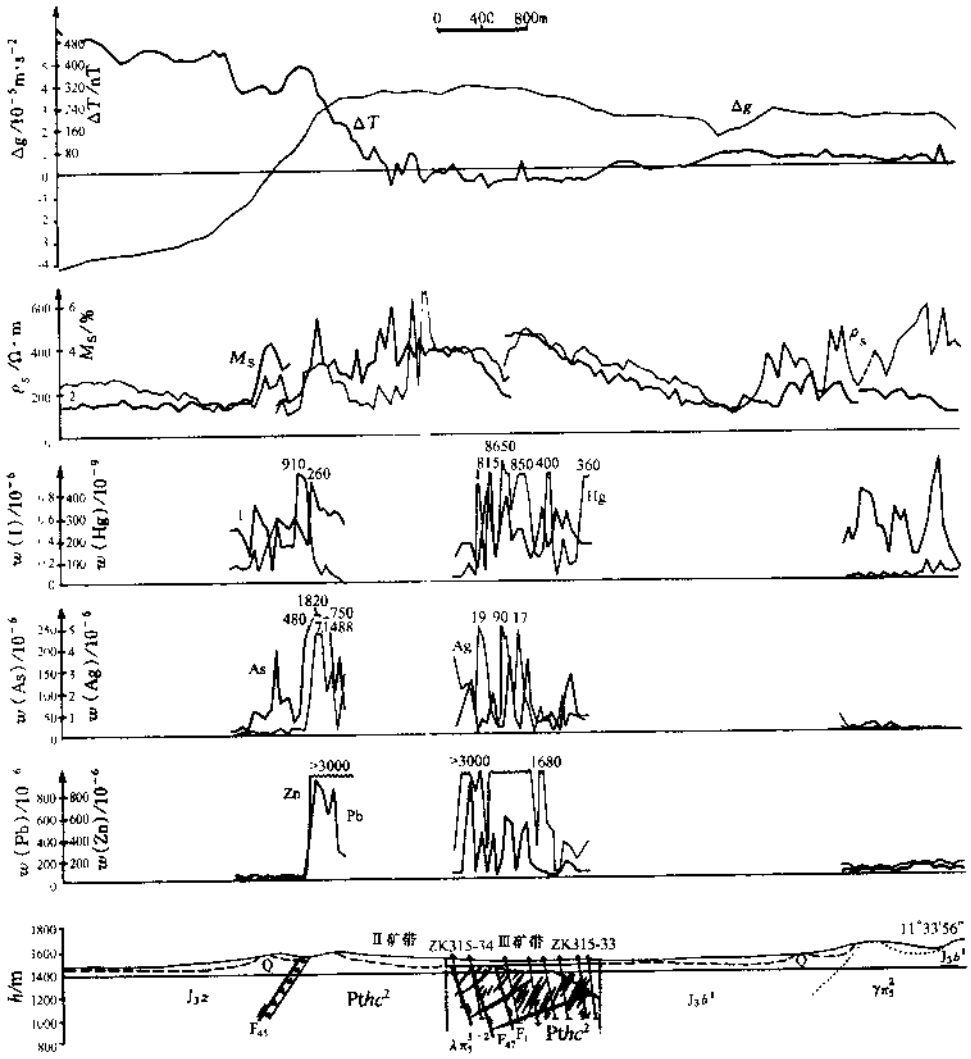


图 8.7 蔡家营矿区沿 315 勘探线物化探综合剖面图

（化探资料引自徐外生等，1992）

J_3z 为张家口组；J_3b 为白旗组；Ptbc 为红旗营子群

Ⅴ矿带上，南部Ⅱ、Ⅳ矿带上异常较弱；As、Sb 异常面积最大，含量较高。

（3）钻孔岩石地球化学异常剖面：504 勘探线剖面图（图 8.9）显示成矿元素 Pb、Zn、Ag 的原生异常规模大，浓度分带明显；其外带窄，中带异常发育并与矿化带对应，内带异常与矿脉群分布大体相当，并显示出 Pb、Ag 浓集中心在矿体上部，Zn（Cd）高浓度带在矿脉群中偏下部；As、Sb、Hg、Bi、B 异常环绕于整个矿带，高浓度带在矿体中上部；Cu、I、Co、Bi 异常较弱，以外带异常为主，分布在矿体的尾部。

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

垂直分带（自上而下）：I—B—Sb—Hg—As—Ag—Pb—In—Zn—Cd—Bi—Co—Mn—Cu

水平分带（自外向内）：I、B、As、Sb—Hg—Zn—Cd—Pb、Ag—In、Co、Bi、Mn、Cu

异常元素分带显示：矿上（前缘）异常元素组合为 As、Sb、B、I、Hg；矿或近矿异

表 8.6 蔡家营矿区主要岩石中成矿元素平均含量

层位或岩石	件数	Pb	Zn	Au	U	Ag	As	Cu	Mo
红旗营子群夕线石斜长变粒岩	81	28.9	120.2	5.3	5.1	130	0.74	71.0	1.30
石榴子石斜长变粒岩	94	25.2	103.2	0.9	6.0	220	6.41	64.0	0.90
黑云母斜长变粒岩	149	35.0	200.4	4.0	4.8	310	7.02	70.0	1.00
角闪斜长变粒岩	212	80.8	485.2	5.1	5.2	580	79.20	79.2	1.10
混合岩	98	47.6	45.5	1.0	32.0	90	0.10	29.5	0.50
白旗组一段砂砾岩	52	11.2	125.0	7.7	3.1	180	1.30	11.0	0.70
白旗组一段杂色页岩	50	16.2	200.0	2.0	3.7	290	0.39	12.0	0.40
白旗组二段安山岩	35	14.0	164.0	0.4	6.9	90	0.27	13.6	1.10
张家口组三段流纹岩	82	18.6	51.0	1.2	12.6	110	0.57	8.2	9.20
张家口组二段粗面岩	71	21.2	49.7	2.0	8.4	125	7.55	5.5	2.30
火山口管道相流纹岩	5	17.4	43.6	14.3	29.0	290	12.75	11.0	14.80
花岗斑岩		64.0	280.0	13.0		590		5.0	
石英斑岩		66.0	152.0	8.0		370		3.0	
矿区背景值		13.3	24.8	4.0		26	5.87	5.6	0.77

元素质量分数单位：Au、Ag 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。 据张长江等 1994 年资料整理。

表 8.7 Ⅲ、Ⅴ矿带岩矿石及主要金属矿物中微量元素平均含量

元素	Ⅴ矿带岩石 $n=33$	Ⅲ矿带矿石 $n=24$	Ⅴ矿带矿石 $n=22$	矿区背景值	闪锌矿 $n=14$	方铅矿 $n=7$	黄铁矿 $n=8$
Pb	62.9	2243.5	2333.9	13.3	11.7	85.87%	590
Zn	498.2	3103.7	1785.8	25.0	53.83%	4648	1647
Cd	1.2	3.80	3.56	0.061	1395.6		4.36
Ag	0.29	17.02	25.10	0.026	85.21	100	56.34
Cu	7.1	44.4	39.5	5.6	200.7	51	233
Co	14.0	26.3	16.7	<5	77.7		168
Ni	5.7	16.6	8.4	<5	35.5		84
Bi	0.45	56.73	19.48	0.12	76.4	17	90
Mo	1.18	5.20	2.64	0.77			0.73
As	27.2	828.6	3507.5	5.9	1105.03	2196	3739
Sb	1.85	25.12	38.64	0.23	95.25	904	53
Hg	4.8	278.3	201.1	4.9			
I	0.23	0.46	0.36	0.42			
B	9.1	19.0	48.1	5.0			
Mn	1913	100096	8160	195	1970	143	274

元素质量分数单位：10^{-6}。 据张长江等 1994 年资料整理。

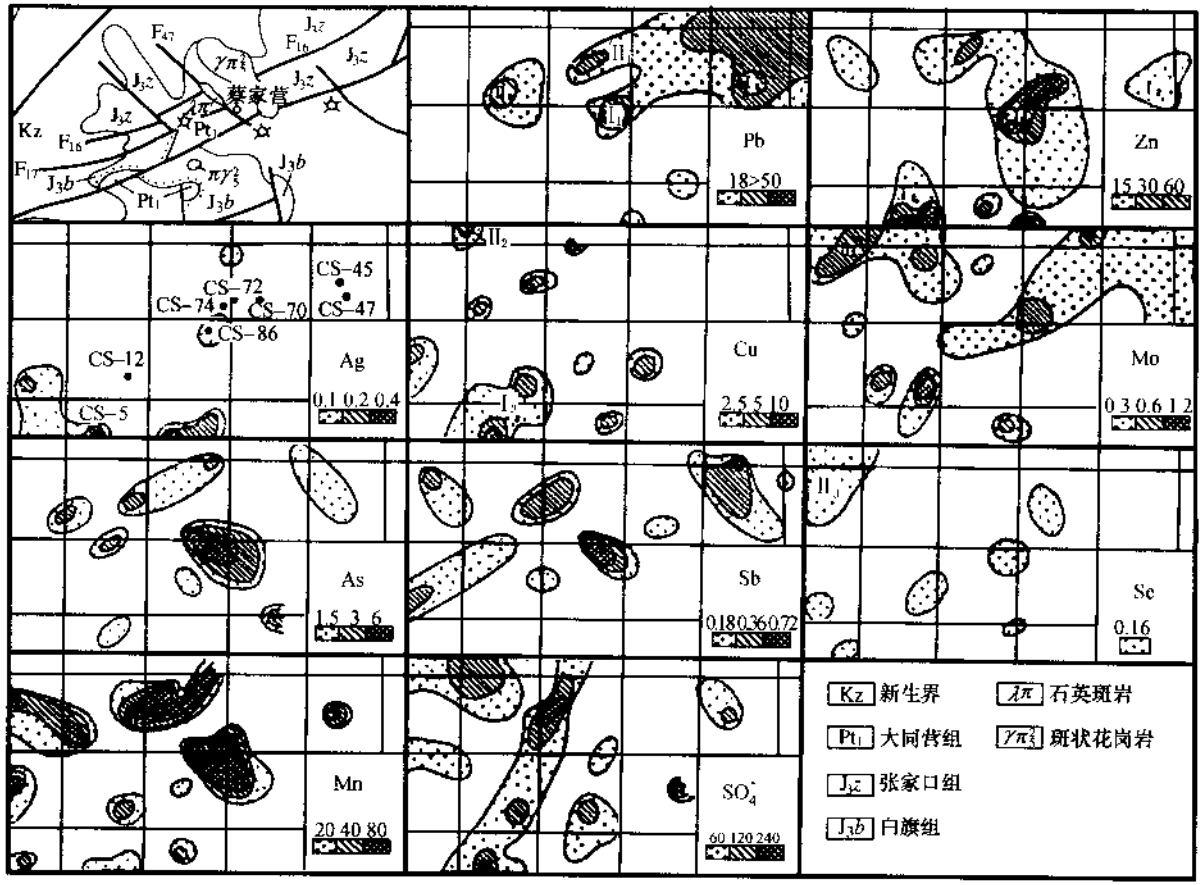


图 8.8 蔡家营矿区及外围水化学异常图

(引自徐外生等,1992)

元素含量单位:Ag 为 10^{-9},其余为 10^{-6};SO_4^{2-} 为 mg/L

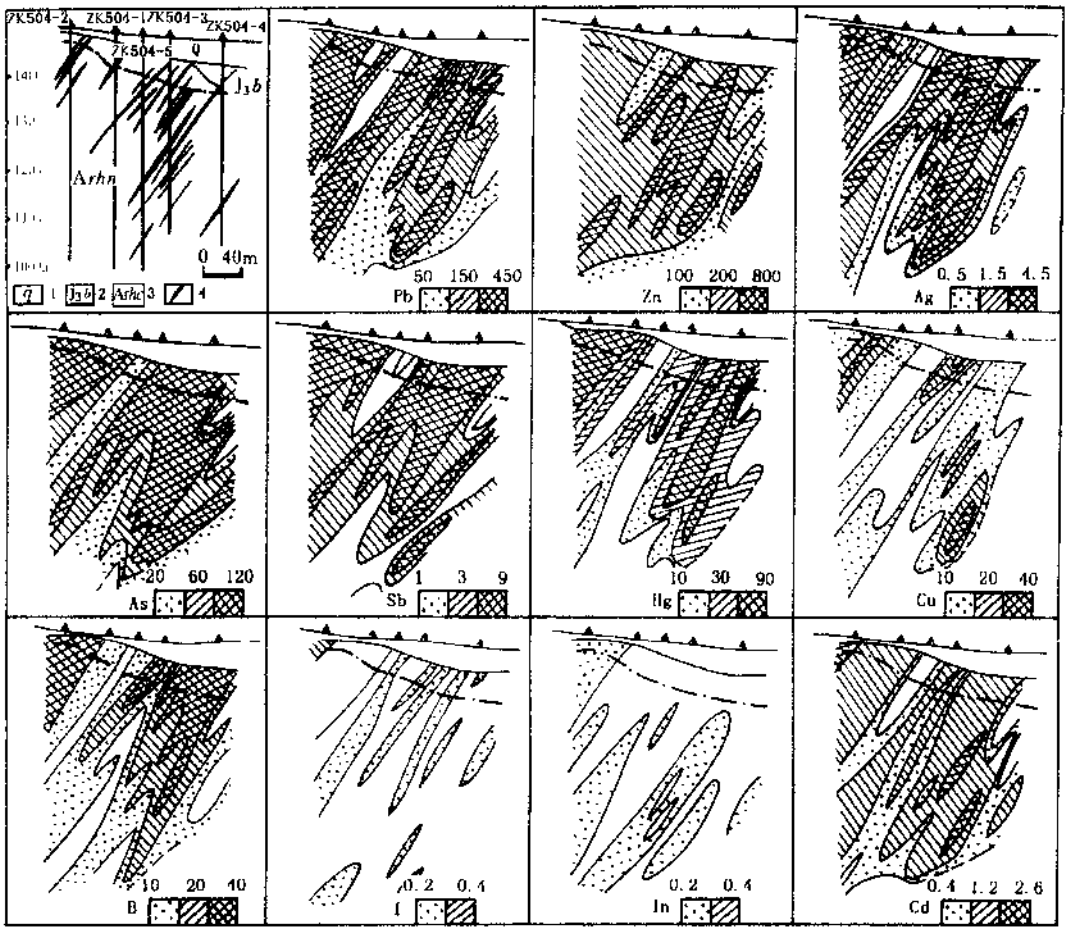


图 8.9　蔡家营矿区 504 勘探线岩石地球化学剖面图

（引自徐外生等，1992）

1—第四系覆盖层；2—上侏罗统门旗组；3—元古宇红旗营子群变粒岩；4—铅锌银矿体。

元素质量分数单位：Ag、Hg 为 10^{-9}，其他为 10^{-6}

常元素组合为 Pb、Zn、Cd、In、Ag、Mn；矿下（尾部）异常元素组合为 Cu、Bi、Co。

矿化剥蚀程度指标：$w(As)\cdot w(Sb)\cdot w(B)\cdot w(Pb)/w(Cu)\cdot w(Bi)\cdot w(Co)\cdot w(Zn)$显示（表 8.9），Ⅳ矿带最大表明剥蚀最浅；Ⅴ、Ⅱ矿带剥蚀较浅，Ⅲ、Ⅰ矿带剥蚀最深，其反映与矿区勘查结果一致。

根据累乘比值绘出的等值线图（图 8.10）大致圈出两个带，较明显地反映出Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ矿带主矿脉群所处剥蚀较浅。不同剥蚀深度相应累乘比值：

剥蚀程度：$\dfrac{w(As)\cdot w(Sb)\cdot w(B)\cdot w(Pb)}{w(Cu)\cdot w(Bi)\cdot w(Co)\cdot w(Zn)}$

浅剥蚀：>2000

中剥蚀：120～250

深剥蚀：12～30

表 8.8　蔡家营矿区地球化学异常特征值

元素	面积/km²	平均值	标准离差	标准化面金属量（NAP）	浓度分带
Zn	5.44	745.0	586.6	163.42	100 ~ 300 ~ 900
Pb	3.44	364.9	480 4	94.39	50 ~ 150 ~ 450
Ag	2.84	1.9	1.68	207.55	0.5 ~ 1.0 ~ 2.0
Cd	3.76	1.94	1.33	119.57	0.4 ~ 1.2 ~ 3.6
Mn	3.48	2971	3201 1	35.04	1000 ~ 3000 ~ 9000
I	4.44	0.83	0.41	8.79	0.5 ~ 1.0 ~ 2.0
Hg	4.84	87.2	152.5	86.30	10 ~ 30 ~ 90
As	6.84	237.9	412.9	277.23	20 ~ 60 ~ 180
Sd	6.92	21.3	89.0	652.21	1.0 ~ 3.0 ~ 9.0
B	6.16	23.4	17.6	28.83	10 ~ 20 ~ 40
Bi	1.64	1.4	2.6	19.14	0.4 ~ 1.2 ~ 3.6
Mo	3.66	4.3	5.5	20.53	2 ~ 6 ~ 18
Co	2.36	15.7	9.1	14.82	10 ~ 20 ~ 40
Cu	2.44	33.3	51.6	14.55	20 ~ 40 ~ 80

元素质量分数单位：Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；据刘崇民等，1994 年资料整理；标准化面金属量（NAP）=（异常平均值/背景平均值）×异常面积。

表 8.9　蔡家营地表岩石(屑)样微量元素及剥蚀程度指标统计表

矿带(n)	As	Sb	B	Cu	Bi	Co	Pb	Zn	$\frac{w(As)\cdot w(Sb)\cdot w(B)\cdot w(Pb)}{w(Cu)\cdot w(Bi)\cdot w(Co)\cdot w(Zn)}$
Ⅰ(7)	410.4	11.7	24.3	74.1	2.56	15.4	790.7	1122.1	28.27
Ⅱ(16)	327.9	5.7	16.0	19.7	0.58	10.9	370.7	735.5	121.48
Ⅲ(44)	111.0	8.1(42)	27.2	19.6	1.79	11.0	263.2	1295.0	12.86
Ⅳ(12)	678.7	11.1	14.8	22.7	0.19	7.9	323.2	489.4	2154.89
Ⅴ(67)	236.7	8.9	38.7	13.3	0.83	9.0	176.6	576.5	251.59

元素质量分数单位：10^{-6}。　　引自刘崇民等，1994。

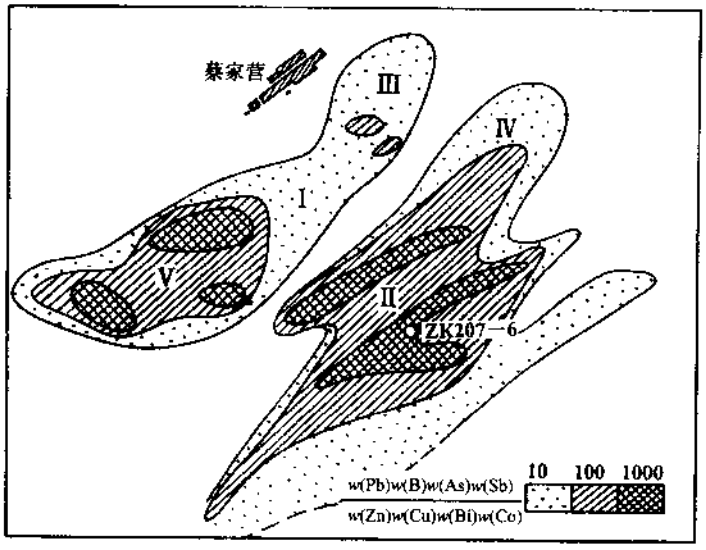


图 8.10　矿区地表岩石（屑）测量元素累乘比值图
（引自刘崇民等，1994）

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 蔡家营铅锌银矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 8.10。

2. 蔡家营铅锌银矿床地质-地球物理-地球化学模型图示于图 8.11。

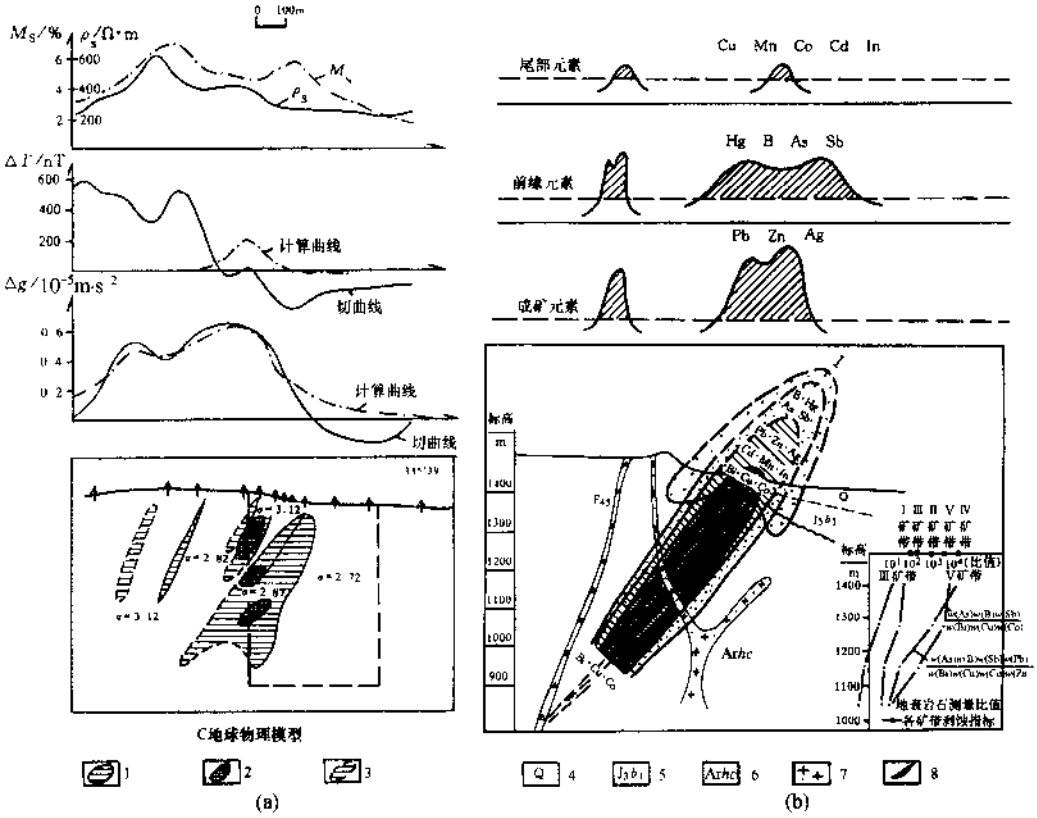


图 8.11 蔡家营铅锌银矿床地质-地球物理-地球化学模型图

(a) 地球物理实际模型（V 矿带）；1—密度体（$10^3 kg \cdot m^{-3}$）；2—磁性体；3—推断密度体。(b) 地球化学异常模型；4—第四系；5—侏罗系白旗组砂岩；6—红旗营子群斜长变粒岩；7—石英斑岩；8—矿体

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

(1) 圈定矿化带或优选找矿靶区：水化学测量，航空（磁、伽马能谱、电磁）综合站，区域重力测量等。

(2) 寻找和确定矿脉群赋存部位并判断其剥蚀程度：高精度重、磁及激发极化法与岩石（屑）地球化学测量等。

(3) 寻找井旁盲矿、确定或了解矿体（富矿）产状及矿体的联接情况：井中声波、电磁波透视，瞬变电磁井-地系统等。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 8.A 蔡家营铅锌银矿床地质特征简表。

表 8.B 蔡家营铅锌银矿床地球物理特征简表。

表 8.C 蔡家营铅锌银矿床地球化学特征简表。

表 8.10　蔡家营铅锌银矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	华北地台北缘中段，以北部康保—围场与南部尚义—平泉两条 EW 向深断裂所挟持内蒙古地轴的中部，冀北断陷东缘沽源台凹西蔡家营凸起东缘	
	地球物理场	处于沽源重力高西南伸延递降场的末端，背景磁场为近东西向正、负磁场转换梯度带；沽源重力高对应为低缓局部正、负相间磁异常分布区	
	地球化学场	Pb、Zn、Ag、As 等地球化学高背景区	
地质	地层	下元古界红旗营子群角闪斜长变粒岩（C_4）为潜在矿源层	
	构造	断裂带和火山机构为最主要构造标志，断裂交汇部位最为有利，其次为密集的节理带	
	岩浆岩	中生代中酸性火山岩及酸性偏碱的岩浆岩分布区、特别是浅成—超浅成的石英斑岩类岩体及岩脉群分布地段对成矿有利	
	围岩蚀变	青磐岩化、绢云母化与矿体关系密切，大面积青磐岩化是主要找矿标志之一	
	赋矿部位		
	主要矿石矿物	闪锌矿、含铁闪锌矿、铁闪锌矿、方铅矿、黄铁矿；以及毒砂、黄铜矿、磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、磁黄铁矿等。 按矿石类型分为多金属型矿石和闪锌矿型矿石	
	直接找矿标志	铁帽，裸露地表的硫化物矿脉；地表星点状褐铁矿化，白土化等	
地球物理	探测目标物	矿化带	矿脉群体
	目标物物性特征	中高密度：大于 $2.80\times10^3kg/m^3$ 微弱磁性：$n\times10^{-3}\sim10^{-2}A/m$ 弱极化：η 小于 10%；相对高阻	高密度：$(3.02\sim3.62)\times10^3kg/m^3$ 微磁性：$n\times10^{-2}A/m$ 中—高极化：η：10%～40%；相对低阻
	地表异常特征	重力反映为规则增高的较宽大的区域重力高异常，Δg 幅值大于 $1\times10^{-5}m\cdot s^{-1}$。 正、负磁场转换带的正磁场一侧， 宽带状激电异常，η_S 大于 3%；中—高电阻率，视电阻率 ρ_S 为 300～700Ω·m	多金属型矿脉群上方：形成明显的剩余重力异常，幅值 $(0.4\sim0.8)\times10^{-5}m\cdot s^{-1}$；视极化率高：$\eta_S$—5%左右。 闪锌矿型矿脉群上方：重力异常较弱，幅值 $(0.2\sim0.4)\times10^{-5}m\cdot s^{-1}$；$\eta_S$ 较高为 3%～5%。可能出现相对正，或相对负，形态较规则，幅值不高的磁异常
	干扰异常	激发极化异常干扰为黄铁矿化；重力（高）异常干扰主要为高密度蚀变岩和围岩	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Pb、Zn、Ag、Cd、As、Sb、Hg、Bi（I、B、Cu、In、Co、Mn） 前缘元素：As、Sb、B、I、Hg 近矿元素：Pb、Zn、Cd、In、Ag、Mn 尾部元素：Cu、Bi、Co	
	元素浓度分带	Pb 50～150～450　Hg 10～30～90　Cd 0.4～1.2～3.6　As 20～60～180 Zn 100～300～900　Sb 1～3～9　Mn 1000～3000～9000　Co 10～20～40 Ag 0.5～1.0～2.0　Bi 0.4～1.2～3.6　B 10～20～40　Cu 20～40～80	
	主要元素异常形态与分布范围	水系沉积物测量显示为 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Cu、Au 等异常元素组合，其中 Pb、Zn、Ag、As、Sb 有明显的浓集中心。 岩（屑）石异常呈不规则宽带状，长轴 NE 向，具明显浓度分带。Pb、Zn、Ag 异常平均值较高。Cd 异常形态与 Pb 相似；As、Sb 异常面积最大，平均含量较高	
	其他特征	水化学异常总体呈北东东向，呈 Pb、Zn、As、Sb、Mn、Mo、Ag、Cu 等元素和 SO_4^{-2} 组合	
备注		元素质量分数单位：Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

表 8.A　蔡家营铅锌银矿床地质特征简表

地理位置		河北省张北县蔡家营		1/20 万：K-50-（20）
矿床类型		中温热液充填-交代脉状	矿石建造	Pb、Zn、Ag（Au、S、As 等）
矿床规模、品位		特大型，Zn 为 2%～8%，Pb 为 1%～5%	容矿岩石	角闪黑云斜长变粒岩
地质成矿环境	构造背景	内蒙古地轴的中部，冀北断陷东缘沽源台凹西蔡家营凸起东缘		
	地层	出露地层简单，岩性复杂，主要有下元古界红旗营子群大同营子组上部，岩性自下而上为夕线石斜长变粒岩，石榴子石斜长变粒岩，黑云斜长变粒岩，绿泥石化角闪斜长变粒岩（矿源层）。上侏罗统白旗组火山碎屑沉积岩不整合盖于变质岩上；张家口组酸性火山岩与基底岩层呈断层接触，第四系松散堆积物覆盖很厚		
	构造	矿区位于基底构造层大型倒转复式向斜的北翼，其上又叠加了一系列近 SN 向的基底褶皱，同时伴有一系列的断裂构造。导矿断裂 F_{45}、F_{17}呈 NEE 走向，分别从矿区南部和北侧通过；其旁侧羽状断裂构造为容矿断裂		
	岩浆岩	岩性、期次均较简单，只有燕山期花岗斑岩及其派生的岩枝——石英斑岩。矿区及附近出露的蔡家营岩体及白水淖岩体，其中心相为花岗斑岩，边缘相为石英斑岩。 花岗斑岩：侵入于红旗营子群及白旗组地层，多呈岩株状。 石英斑岩：早期石英斑岩受后期热液交代作用，产生强烈绢云母化、黄铁矿化和铅、锌矿化，局部富集成铅锌银矿体；成矿期石英斑岩形态复杂，切穿早期矿体，被晚期热液交代形成新的矿体　晚期石英斑岩常分布有稀疏浸染状黄铁矿。 里特曼指数 $\sigma = 1.93$　　戈蒂尼指数 $\tau = 311.00$		
	主要控矿因素	下元古界红旗营子群角闪斜长变粒岩提供了成矿金属来源。 多组断裂交汇，火山机构的存在，特别是断裂与火山机构交汇部位，密集节理带是成矿的有利地段。 燕山期构造-岩浆岩活动不仅产生含矿流体，更有助于矿源层中成矿元素的活化转移，淀积成矿		
矿床特征	成矿岩体			
	容矿构造	F_{45}、F_{17}导矿断裂旁侧羽状断裂构造为容矿断裂		
	矿化阶段	铅锌矿化主要在中温热液硫化物成矿期，始于石英-硫化物阶段，终于硫化物-方解石阶段；金、银和铋矿化在中低温热液成矿期，银矿化又相对较晚		
	蚀变	近矿交代蚀变岩有绿泥石青磐岩建造（绿泥石化、阳起石化和绿帘石化），黄铁绢英岩建造（绢云母化、黄铁矿化和硅化）及碳酸盐蚀变建造，前两种分别以Ⅲ矿带和Ⅴ矿带最为发育。 Ⅴ矿带蚀变分带明显，由矿体中心向外依次为线型绢云母化带（黄铁绢英岩带）—面型绢云母化蚀变带—绿泥石化带—原岩；断裂两侧往往呈不对称分布		
	矿化分带	矿区西部以绢云母-多金属型（多金属）矿体为主，东部以绿泥石-闪锌矿型（单锌）矿体为主。垂向分带为：上部多金属矿，下部单锌矿体，或上部富银、铅，下部富锌		
	矿体特征	金属矿物：闪锌矿、含铁闪锌矿、铁闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂以及磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、孔雀石等		
		矿石特征：含两种不同矿石类型，西部以绢云母-多金属型为主；东部为绿泥石-闪锌矿型，两者矿石构造相同，即以脉状、块状和稠密-稀疏浸染状为主，局部见团块状、角砾状矿石		
		矿体形态：单锌矿体大多为不规则脉状、透镜状或枝状，局部呈囊状；矿体一般长 300～800m，厚 1～49m 不等。多金属矿体形态复杂，以脉状为主，但分枝、复合、尖灭、再现及膨胀、收缩等现象普遍存在		
	脉石矿物	绿泥石、绢云母、石英、方解石等		
表生地质		氧化带中铅、锌品位高度贫化；细脉浸染状矿体在地表仅见星点状褐铁矿化		
地貌景观		坝上半干旱低山丘陵		
备　注				

表 8.B　蔡家营铅锌银矿床地球物理特征简表

区域场	重力场		区域背景重力场处于沽源重力高西南延伸递降场的末端				
	磁场		区域背景磁场显示为近东西方向正、负磁场转换梯度带				
	综合重、磁场		太古宇红旗营子群出露区对应重高与磁高异常，其上有新生界—中生界岩层覆盖时，显示为重力高与杂乱或复杂磁场。上侏罗统火山岩分布区，反映为重力低和杂乱磁场；碎屑岩区与重力低和以负磁异常为主的稳定磁场对应。重、磁梯度带或线性异常联线，多为断裂带反映，部分反映为物性界面				
矿区（Ⅲ）异常	重力异常		矿区重力异常场由北东向南西降低，反映基底构造层——下元古界红旗营子群变粒岩和矿化带的分布及其密度变化；南部重力陡梯度带为 F_{45} 断裂带反映				
	磁力异常		矿区磁异常为其西南侧白水淖磁（高）异常的东延部分，异常由南西向北东降低，反映磁铁矿化混合岩（?）的分布				
	电异常		矿区中部表现为高极化、中电阻异常，主要反映黄铁矿化及矿化带的分布范围				
	其他		在矿区上，大比例尺航空电磁和航空伽马能谱测量获得较明显的电响应实、虚分量与伽马能谱总量异常				
矿床异常	重力异常		以多金属型矿石或以闪锌矿型矿石为主的矿脉群体上，均形成局部剩余重力（高）异常，前者异常幅值（0.4～0.8）$\times 10^{-5}m\cdot s^{-1}$，后者异常较弱				
	磁力异常		矿带上，出现相对正，或相对负，形态较规则，幅值不高的磁异常				
	电异常	激电异常	Ⅴ矿带——以多金属型矿石为主的矿脉群上，极化率高 η_S 5%左右。 Ⅲ矿带——以闪锌矿型矿石为主的矿脉群上，极化率较高 η_S 3%～5%				
		电阻率异常	Ⅴ矿带电阻率相对较低，ρ_S 为 200～400Ω·m。 Ⅲ矿带电阻率较高，ρ_S 大于 300Ω·m				
		电磁异常					
	井中物探		井中声波测量，用以确定井间矿体位置、圈定矿体形态、判断矿体走向连续性、寻找井间盲矿等效果较好				
主要岩矿石物性	岩、矿石名称		密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁　性**		电　性
			常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	η/%	$\rho/\Omega\cdot m$
	闪锌矿		3.29	2.14～5.66	1.11×10^2	2.89×10^3	<10	3.0×10^3
	方铅矿、锌铅矿		3.55	2.82～4.09	0.35×10^2	0.26×10^1	45±	1.0×10^2
	黄铁矿（黄铁矿化）		3.62	2.17～4.55	1.12×10^2	0.78×10^1	(>10)	$(<1.5\times10^3)$
	变粒岩（坑道、钻孔）		2.82	1.60～4.22	0.57×10^2	0.24×10^1	3.0	4.0×10^3
	蚀变岩		2.88	2.34～3.37	0.44×10^2	0.27×10^1		$*4.72\times10^3$
	混合岩（坑道、钻孔）		2.71	2.50～3.14	0.18×10^2	0.09×10^1		$*4.89\times10^3$
	混合岩（磁铁矿化）		2.74	2.67～2.87	27.92×10^2	35.08×10^1		
	角砾岩		2.75	2.04～3.29	0.19×10^2	0.08×10^1		
	砂岩、粉砂岩		2.70	2.46～2.98	0.16×10^2	0.17×10^1		
	凝灰岩（坑道、钻孔）		2.73	2.44～2.85	0.20×10^2	0.18×10^1		
	斑岩（石英斑岩）		2.56	2.36～2.87				$*4.29\times10^3$
	花岗岩		2.59	2.46～2.79	0.05×10^2	0.0810^1		
备注			* 为电测井资料；** 为几何平均值					

表 8.C　蔡家营铅锌银矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Pb、Zn、Ag、As、Sb、Cu、Au 等（水系沉积物）	
	空间分布	蔡家营一带位于水系沉积物地球化学高背景场区，显示出 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Cu、Au 等异常元素组合，其中 Pb、Zn、Ag、As、Sb 有明显的浓集中心，均落于矿区范围，此外，矿区附近尚有 W、Mn 的弱异常显示	
	元素浓度分带	水化学：Pb　6～18～>50　Mo　0.3～0.6～1.2　Cu　2.5～5.0～10.0 Zn　15～30～60　As　1.5～3.0～6.0　Mn　20～40～80 Ag　0.1～0.2～0.4　Sb　0.18～0.36～0.72　SO_4^{-2}　60～120～240（mg/L）	
	元素水平分带		
	其他特征	水化学异常总体呈 NEE 向，即沿区域矿化带展布，为 Pb、Zn、As、Sb、Mn、Mo、Ag、Cu 等元素和 SO_4^{-2} 异常组合	
矿床异常	元素组分	地　表	剖　面
		Pb、Zn、Ag、Hg、As、Sb、B、Cd、Mn 等	
	空间分布	异常呈不规则宽带状，长轴北东向，范围约 9km²；具明显浓度分带。Pb、Zn、Ag 异常包容了整个矿床，异常平均值最高。Cd 异常形态与 Pb 相似；Mn 异常出现在北部Ⅰ、Ⅲ、Ⅴ矿带上，南部Ⅱ、Ⅳ矿带上较弱；As、Sb 异常面积最大，平均含量较高	Pb、Zn、Ag 原生异常规模大，浓度分带明显。外带窄；中带异常发育与矿化带对应；内带异常与矿脉群分布相当。Pb、Ag 异常的浓集中心在矿体上部，Zn(Cd)和 As、Sb、Hg、Bi、B 高浓度带集中在矿体中上部；Cu、Co、Bi 异常较弱，分布在矿体尾部
	元素浓度分带	Pb　50～150～450　Hg　10～30～90　Cd　0.4～1.2～3.6　As　20～40～80（20～60～180） Zn　100～300～900　Sb　1～3～9　Mn　1000～3000～9000　Co　10～20～40（>15） Ag　0.5～1.0～2.0　Bi　0.4～1.2～3.6　B　10～20～40　Cu　20～40～80（10～20～40）	
	元素分带序列	自围岩向矿带内： I、B、As、Sb—Hg—Zn—Cd—Pb、Ag—In、Co、Bi、Mn、Cu	自上而下： I—B—Sb—Hg—As—Ag—Pb—In—Zn—Cd—Bi—Co—Mn—Cu
	元素间相关性	相关系数 $r=0.4$ 时，矿石中 As、Sb、Ag、Pb 与 Bi、Hg、I、Zn、Cd 元素形成两个簇团。显示主成矿元素 Pb、Ag 与 Zn、Cd 分别为两个成矿因子	
	其他特征	在矿带上方，气体（CO_2、气汞等）测量取得了一定效果	
矿体剥蚀程度评价指标		矿体上部剥蚀——累乘比值 $w(As)\cdot w(Sb)\cdot w(B)\cdot w(Pb)/w(Cu)\cdot w(Bi)\cdot w(Co)\cdot w(Zn)>2000$ 矿体中部剥蚀——累乘比值 $w(As)\cdot w(Sb)\cdot w(B)\cdot w(Pb)/w(Cu)\cdot w(Bi)\cdot w(Co)\cdot w(Zn)$ 120～250 矿体下部剥蚀——累乘比值 $w(As)\cdot w(Sb)\cdot w(B)\cdot w(Pb)/w(Cu)\cdot w(Bi)\cdot w(Co)\cdot w(Zn)$ 12～30	

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	I
Ⅲ矿带矿石	44	2243	3104		17.0			5.2	17	26	829	25	57	278	0.46
Ⅴ矿带矿石	39	2334	1786		25.1			2.6	8	17	3507	38	19	201	0.36
Ⅴ矿带岩石	7	63	498		0.29			1.2	6	14	27	2	0.4	4.8	0.23
元古宇变粒岩	73	50	284	4.1	0.37			1.1			34				
角闪斜长变粒岩	79	81	485	5.1	0.58			1.1			79				
元古宇混合岩	30	48	46	1.0	0.09			0.5			0.1				
白旗组火山碎屑岩	12	14	162	3.8	0.20			0.7			0.7				
张家口组火山岩	7	20	50	1.6	0.12			6.0			3.8				
石英斑岩	3	66	152		0.37										
矿区背景	5.6	13.3	24.8		0.026			0.77	<5	<5	5.87	0.23	0.12	4.89	

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

第二篇　贵金属矿床(田)

第九章　火山-沉积类型矿床——湖北银洞沟海相火山-沉积亚类银（金、铅锌）矿床

银洞沟银（金、铅锌）矿[1] 位于湖北省西北的鄂陕交界处，属竹山县茅塔镇管辖，南距县城64km。矿区范围2km^2，为银金共生的大型矿床，深部还赋存有铅锌矿。

一、区域背景

矿区位于南秦岭印支褶皱带武当隆起西缘鲍峡—得胜断褶带的中西段（图9.1）。

地球物理场显示：为相对重力低，和以负磁异常为主的平缓磁异常区[2]，ΔT异常值一般在0～－100nT之间变化。

二、成矿环境

1. 地层

属秦岭地层区。区域内，除三叠系及侏罗系外，中元古界至新生界均有出露。前寒武系武当群（武当山群）分布最广，次为下古生界。下震旦统耀岭河群出露于西部，与下伏武当群呈平行不整合接触，为一套海底喷发的细碧-角斑岩建造。

武当群为变质火山岩系，自上而下划分为楼台、挡鱼河、杨坪三个岩组。其中，挡鱼河上段蚀变火山岩为赋矿岩层；银矿体和铅锌矿体的赋矿岩性，分别为变石英角斑质凝灰岩和钾长石英角斑岩。

2. 构造

本区处于武当隆起西缘与北大巴山加里东褶皱带东北端交接地带。下古生界、震旦系、武当群变质岩系同步褶曲，形成多组不同方向的紧密褶皱及其相关的断裂。以得胜—许家坡一线为界，东部以NE向逆掩断层为特征，西部则呈近EW向高角度逆冲断层。

银洞沟临近得胜—许家坡一线西侧，其构造虽以近EW向为主，但与NE向褶皱呈连续协调展布。区内主体构造为向西倾伏的银洞沟-石门沟背斜，属银洞沟-梨树坪复式倒转背斜西段，控制了矿床的总体产状及展布方向；断裂构造不甚发育，较大的断层有两条。

3. 岩浆岩

多期次的火山-侵入活动，生成了区内超基性—酸性种类繁多的岩浆岩。其中海相古火山活动最强烈，形成广泛分布的细碧-石英角斑岩建造，与以银金为主的多金属矿化密切有关。伴随火山活动有超基性、基性岩侵入，呈岩脉、岩墙状产出，与成矿关系不大

4. 区域地球化学

---

[1] 吴贤奎，周骏华，王寿琼。矿床专著、贵金属矿产 No.11。湖北省竹山县银洞沟银金矿床。湖北省鄂西北地质矿产调查所，1988。

[2] 唐震弘，李瑞环。竹山幅（I-49-（33））航空磁测说明书。湖北省物探队航空物探分队，1983。

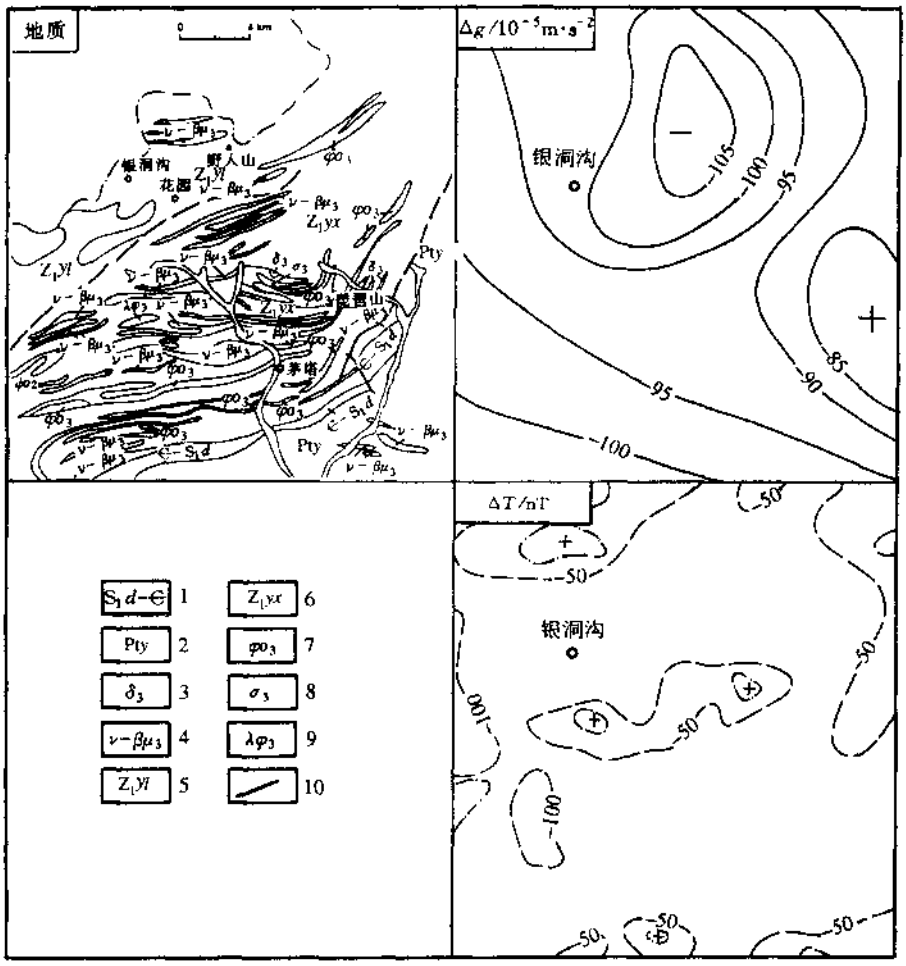


图 9.1　银洞沟银金矿区域地球物理背景场剖析图

（据唐颐弘、李瑞环，1983 年资料编绘）

1—志留系—寒武系；2—杨坪组；3—闪长岩；4—辉长-辉绿岩；5—耀岭河群；6—郧西群；7—角闪岩；8—橄榄岩；9—石英纳长斑岩；10—断裂

（1）微量元素的平均含量。银洞沟东约 6km 的刘家河剖面，各地层主要岩性的微量元素平均含量见表 9.1。与中国东部地壳化学组成比较：明显高的有 Y，部分高的有 Ag、Au、Ga、Pb、Zn 等，而 Cr、Ni、Co、Sr 等则大多较低。其中①上挡鱼河组：变石英角斑质凝灰岩 Ag 含量最高，区域浓集系数为 2 左右；变泥质粉砂岩 Au 的区域浓集系数近于 2，显示了武当群上挡鱼河组为区内银金成矿的有利层位。②上杨坪组：变石英角斑质凝灰岩 Pb、Zn 含量高，Pb 的区域浓集系数大于 5。

（2）区域地球化学异常特征。

1∶20 万水系沉积物测量结果显示，银洞沟一带，出现以 Ag 为主的 Ag、Pb、Zn、Cu 元素组合异常。异常由三条支沟组成，各元素的浓集中心一致；异常沿水系延伸超过 5km，范围约 $5km^2$。

图 9.1　银洞沟矿区外围地层微量元素平均含量

时代	主要岩性	块数	Ag	Au	Pb	Zn	Cu	Cr	Sr	Ni	Co	Y	Ga
耀岭河群（Z_1yl）		24	0.08	1.4	11.7	72.8	37.0	56.3	114.4	31.8	16.1	45.9	
武当群上杨坪组	变含炭石英角斑岩	1	0.10	0.6	6.8	40.4	22.4	18.2	41.5	14.6	11.7	26.5	20.0
	变石英角斑质凝灰岩	17	0.06	1.7	80.3	107.1	19.3	52.3	146.9	18.5	9.7	33.0	16.6
武当群上杨坪组	变泥质粉砂岩沉凝灰岩	3	0.03	1.3	7.7	63.4	13.2	24.5	98.1	7.5	5.6	37.4	15.3
	组平均值	21	0.06	1.6	66.4	98.1	18.6	46.7	134.9	16.8	4.4	33.6	16.6
武当群上挡鱼河组	变泥质粉砂岩	4	0.04	1.6	66.4	98.2	27.5	48.0	132.3	29.0	14.8	39.2	22.5
	变石英角斑岩	10	0.06	1.1	11.2	114.2	21.0	9.9	50.2	5.6	3.9	33.1	19.4
	变石英角斑质凝灰岩	20	0.11	1.0	6.5	66.2	18.3	12.0	58.3	5.5	4.7	33.9	19.3
武当群下挡鱼河组	变泥质粉砂岩、凝灰质粉砂岩	97	0.03	0.5	6	53	4.3	64	117	24	12		
	变细碧质熔岩、凝灰岩	233	0.03	1.1	5	60	4.8	139	264	64	21		
南秦岭造山带武当群※		42	0.070	0.53	9.3	50	20	46	164	13	10	16	16
中国东部地壳化学组成※			0.055	0.9	15	76	26	76	350	31	19	17	19

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；※为鄢明才等资料，1997。　据吴贤奎等 1988 年资料编。

单点分析测试：Ag（2×10^{-6}）、Pb（20～70）$\times10^{-6}$、Zn（100～300）$\times10^{-6}$。

5. 区域地球物理场

矿区位于局部重力低异常的南西侧，$\Delta g_B < -100\times10^{-5}m\cdot s^2$；航磁 ΔT 为平静的负磁场，场值 -50～-100nT[注]（图 9.1）。

注：对应地层以武当群挡鱼河组为主，其中侵入了大量辉长辉绿岩、角闪岩、闪长岩、橄榄岩等脉岩；西南部有耀岭河群分布（图 9.2）。物性资料表明这类脉岩，以及地层中的一些岩性，如绿泥钠长片岩、火山砾岩等，均具中—高磁性。为何会呈平静的负异常；并形成重力场值降低，尚未找到适当的解释。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿体一般由 1～2 条含矿石英主脉（厚 0.4～1.0m）及其支脉和矿化围岩组成，形成单脉或复脉型矿体，呈脉状，少数呈透镜状；厚度较稳定—不稳定，平均厚约 2m。均呈近东西走向，倾向南，倾角陡（66°～80°）。

已圈定矿体 27 个，其中，占 80%工业储量的主要矿体 11 个。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石均为原生矿，按工业类型划分为金银矿石与铅锌矿石两类，另有少量银铅锌矿石或铅锌银矿石。矿石构造以浸染状、条带状、脉状为主。

金银矿石中金属矿物主要有自然银、辉铜银矿、螺状硫银矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿，次要有硫铜银矿、含银锌黝铜矿、深红银矿等；及微量自然金、淡红银矿等。脉石有石英、白云母、铁白云母、绿泥石、磷灰石、锆石、金红石、榍石等。

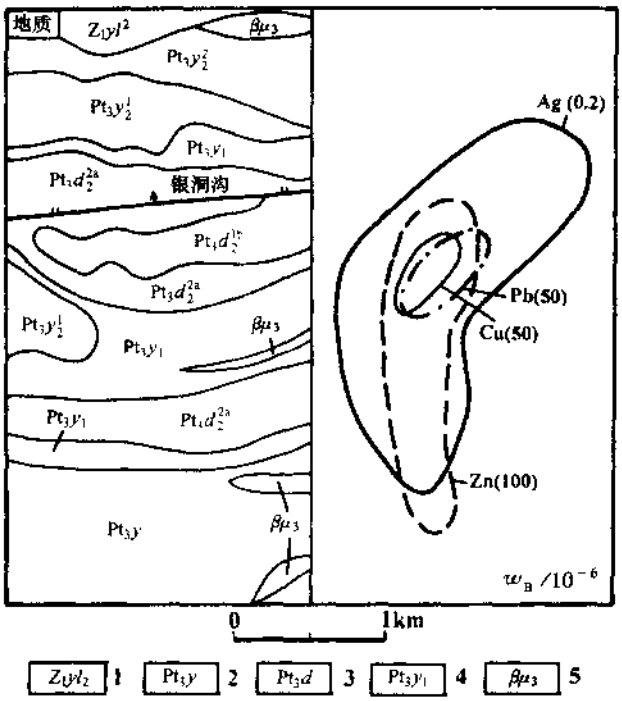


图 9.2 银洞沟银金矿区域地球化学异常图

（地质引自吴贤孝等参考资料）

1—下震旦统耀岭河群；2—新元古界武当群杨坪组；3—中元古界群挡鱼河组；4—变含黄铁矿泥质粉砂岩；5—变辉绿岩

3. 矿化阶段及分带

经历了多期多阶段成矿作用，大体可分为气液期、热液期和表生期三个成矿期。主要成矿作用发生在热液期，分四个成矿阶段，即糖粒石英-铅锌矿化阶段、糖粒石英-银金矿化阶段、粗粒石英-含铅锌银金矿化阶段和块状石英铁白云石-弱矿化阶段。

在空间上，矿化呈明显的垂直分带，自上而下为银金矿化带→铅锌-银金矿化带→铅锌矿矿化分带。

4. 蚀变类型及分带

围岩蚀变强烈，以硅化为主，呈面型分布，是重要的找矿标志。次为黄铁矿化、铁白云石化；局部发育有绢（白）云母化、绿泥石化、金云母化、重晶石化等。

5. 氧化带

不发育，氧化深度仅 1 ~ 2m。

6. 主要控矿因素

中元古界武当群挡鱼河组上亚组火山喷发沉积岩（石英角斑质凝灰岩、凝灰质粉砂岩）是成矿的有利围岩。

蓟县期火山喷发及尔后的流纹质潜火山活动在成矿中起主导作用。

加里东期褶皱断裂构造是矿床形成的直接定位因素。

海西—印支期区域变质变形作用使矿床受到强烈改造。

四、矿区地球物理特征[1]

1. 岩矿石物理性质

本区仅收集到岩矿石的部分电性资料。由表9.2可见如下内容。

表9.2 银洞沟银铅锌矿岩矿石电性参数表

岩矿石名称	极化率/%			电阻率/Ω·m		
	块数	平均值	变化范围	块数	平均值	变化范围
黄铁矿化石英角斑质凝灰岩	16	3.22	0.60～9.35	11	9.57×10^2	415～1836
石英角斑质凝灰岩	19	1.46	0.23～2.65	9	1.09×10^2	177～2978
凝灰质片岩	9	1.47	1.04～2.85			
含炭凝灰岩	18	1.40	1.20～1.65			
含砾石英角斑质凝灰岩	16	1.28	0.66～2.20			
变泥质粉砂岩、粉砂岩	25	1.41	0.42～2.49	25	1.47×10^3	266～7309
石英脉	4	0.72	0.45～1.11			
含炭凝灰岩（测区西南部）	5	38.85	34.60～43.10			
辉长辉绿岩	9	1.13	0.43～2.44	7	1.36×10^2	618～2494
铅锌矿石	3	35.30	28.50～40.00			

据何广耀及唐霞弘、李瑞环资料整理。

①极化率：铅锌矿石具强极化率，高于其他岩石一个级次。地表出露岩石中，含矿岩石黄铁矿化石英角斑质凝灰岩具弱极化率，较其他岩石高出1～2倍。由于黄铁矿化与银矿化关系十分密切，给激电法勘查提供了前提，但也因此会造成一些干扰。此外，测区西南的含炭凝灰岩具强极化率，也能产生较强的干扰异常。

②电阻率：含矿蚀变带与围岩均为高阻岩石，二者无明显差异。炭质岩层一般具有低电阻率，可用以区分矿与非矿极化率异常。

2. 地球物理异常

据1:1万激电法勘查，视极化率 η_S 异常呈近东西向带状分布（图9.4），异常强度一般为4.5%～5.0%，带宽约350m。其东端4.0%等值线自行封闭；而西段 η_S 高达7.0%仍有增强的趋势，因而异常长度大于1.5km。异常带中部 η_S4.5%等值线圈闭与矿化强硅化蚀变带对应很好；其东部偏北，西部偏南，反映了蚀变带的东、西段分别向北、南方向倾

[1] 许介仁，张忠良，凌铁城等。湖北省竹山县银洞沟-石门沟矿区激电工作详查报告。湖北省第五地质大队，1984。

象。

激电异常为赋银金矿的强硅化蚀变带、深部铅锌矿化带及南侧的黄铁矿化岩石的综合反映，平面图上 J_{2-1}、J_{2-2}异常（异常值5.0%左右）为黄铁矿化引起的异常。

剖面上：η_S曲线在2.5%背景上，呈宽缓、起伏的异常形态（图9.3）；0线 $\eta_{S\,max}$达6.6%与含矿带对应较好，而范围宽于含矿带，尤其是测线的南段。

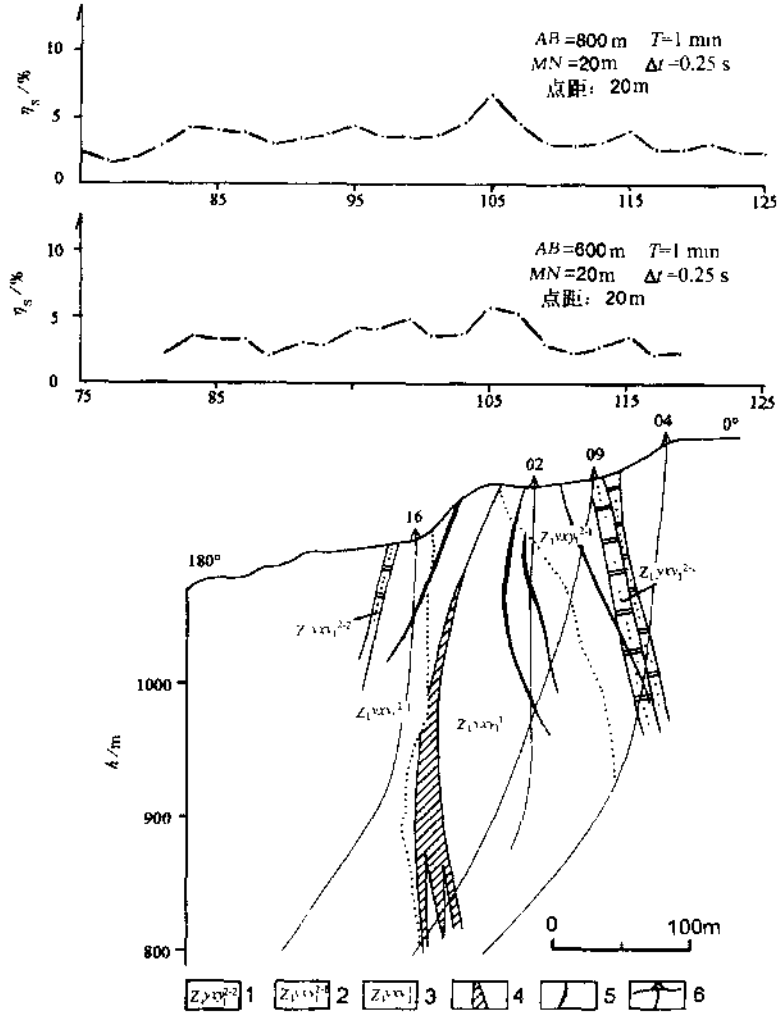


图9.3 银洞沟矿区0线激电（中梯装置）法试验剖面

（据许介仁等，1984年资料编）

1—白云岩、白云质粉砂岩；2—硅化石英角斑质凝灰岩；3—钾长石英角斑岩及碎屑岩；4—铅锌矿体；5—银金矿体；6—钻孔

3. 干扰体或干扰因素及其影响

测区西南的含炭凝灰岩具强极化率，能产生较强的激电干扰异常，可配合电阻率法或综合电阻率参数区分异常。与银金、铅锌矿化不相关的黄铁矿化可造成非矿激电异常。

五、矿区地球化学特征[●●]

1. 岩矿石地球化学参数

由表9.3可见各类矿石中主成矿元素变化，与矿床矿化的垂直分带规律一致，即Au、Ag由浅至深含量明显降低，而Pb、Zn反之。Pb、Zn、Cu、Mo的元素以银铅锌矿石中为最高。

表9.3 银洞沟矿区岩矿石中微量元素含量

岩矿石名称	Ag	Pb	Zn	Cu	Mo	Au	Cd	Hg	Ba	n
银矿石	346.60	775	1720	235	10	2.36				10
银铅锌矿石	189.70	35035	70843	2380	380	1.90				10
铅锌矿石	22.00	9400	19100	900	20	0.41	50			10
钾长石英角斑岩、钾长石英角斑质凝灰岩	0.50	280	425	80						2
变角斑岩、变角斑岩石英角斑岩	0.13	11	49	58	0.95			4.5	575	6
变石英角斑质凝灰岩	0.16	14	79	70	0.28			10.6	100	15
变泥质粉砂岩	2.17	25	60	15	5.45			4.2	302	4
白云岩	1.87	25	41	10	2.40			3.0	339	6

元素质量分数单位：Au、Hg为10^{-9}，其余元素为10^{-6}。 据朱维新等1983年资料编。

岩石中：钾长石英角斑质凝灰岩（及钾长石英角斑岩）中Pb、Zn、Cu等元素含量最高；Ag在变泥质粉砂岩及白云岩中最高，平均含量达2.17×10^{-6}及1.87×10^{-6}。

2. 地球化学异常

（1）岩石测量。Ag、Pb、Zn、Cu、Mo、Ba、As七个元素异常（图9.4）显示：Ag、Pb、Zn、Mo异常呈面型，近东西向延伸，与蚀变岩石分布范围重合，亦与区内倾伏背斜轴线及矿体走向一致。以Ag异常面积最大、强度高、连续性好，浓集中心明显、分带清晰；Pb异常面积最小，主要分布在矿带附近；Zn、Mo异常面积虽大，但含量低，无浓集中心。Cu、As、Ba异常呈线型，含量低且分布零星，叠合性差，大都分布在蚀变带外侧。

0测线地表岩石元素含量变化曲线示于图9.5。在矿化蚀变带上，Ag、Pb、Zn等异常极其突出；Cu、Sb等元素亦有较明显的异常。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面。21线钻孔原生晕剖面（图9.6）显示：主成矿元素Ag、Pb、Zn异常范围大、含量高、连续性好，浓集中心明显、分带清晰；其内带异常与矿体对应。其中Ag异常浓集中心偏上，即在矿上方形成规模较大的矿上晕；相应Pb、Zn异常较弱，连续性差。伴生元素As、Sb、Cu等异常具一定规模，浓集中心及分带亦较清晰，但连续性较差。As、Sb强异常主要发育在银矿体附近，Cu的强异常分布在铅锌矿体附近。Sn异常强度低，主要分布于矿化段两侧，其浓集中心在铅锌矿体下部及外侧；Mo

● 朱维新，冯钜昌。湖北省竹山县银洞沟银铅锌矿区岩石地球化学异常特征研究报告，湖北省第五地质大队，1983。

●● 朱维新，吴郁彦，仲崇学。湖北省竹山县银洞沟银金矿区及其外围勘查地球化学研究。湖北省鄂西北地质矿产调查所，1987。

异常以外带为主，连续性差。

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

（1）据地表岩石地球化学异常分析，自矿带向南、北两侧，主要元素组分水平分带呈：

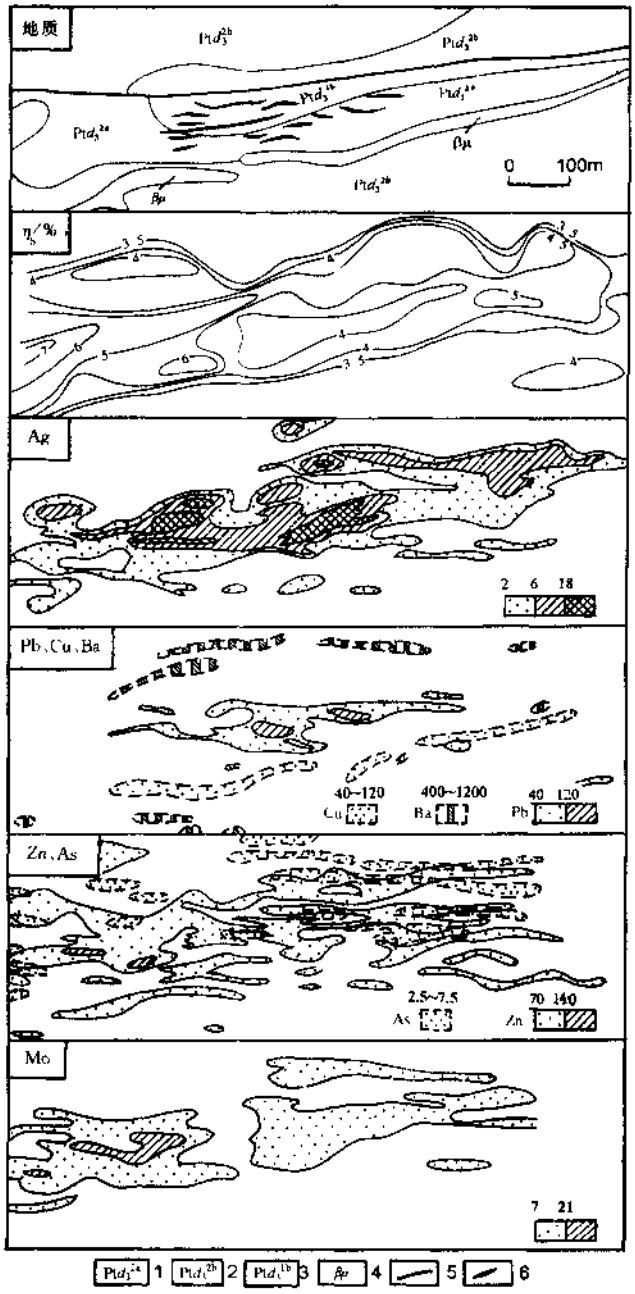


图 9.4 银洞沟银铅锌矿区物探化探异常平面图

（据朱维新等 1983 年资料及许介仁等 1984 年资料编绘）

1—白云质泥质粉砂岩夹白云岩透镜体；2—含凝灰岩泥质变粉砂岩；3—变石英角斑质碎屑凝灰岩；4—辉绿岩脉；5—断层；6—矿脉。元素质量分数单位：10^{-6}

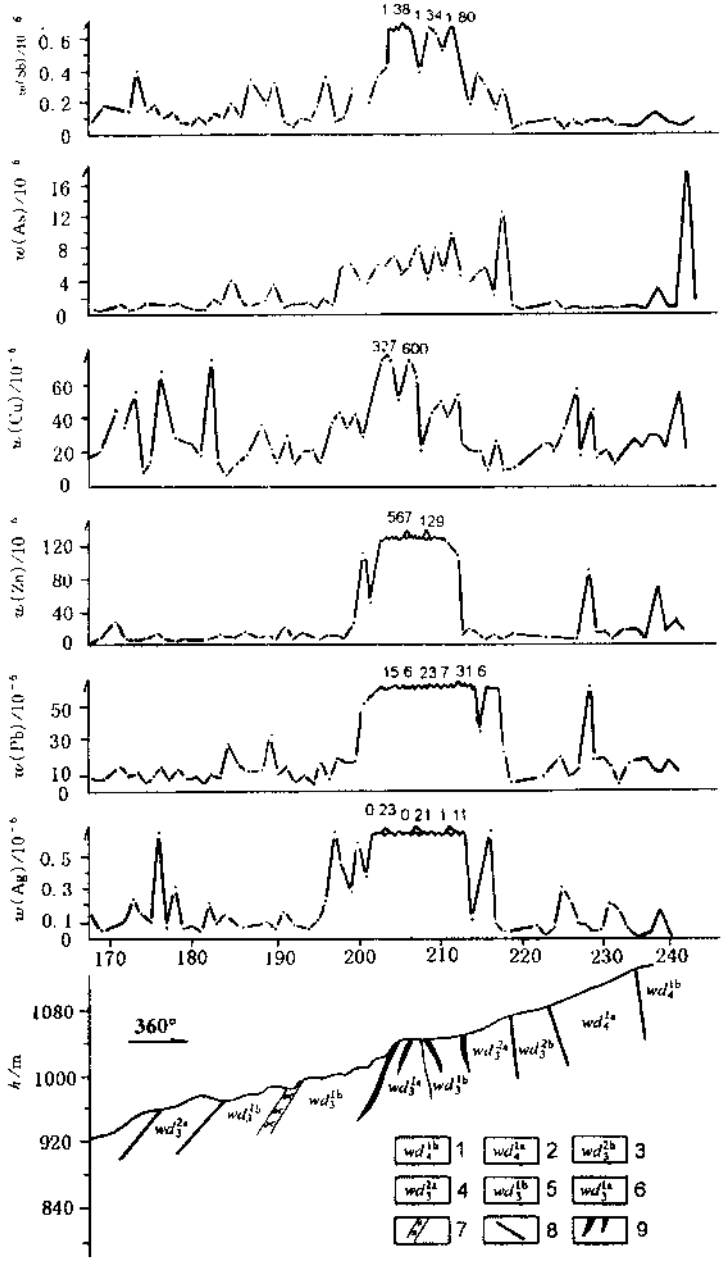


图 9.5　银洞沟矿区 0 线地表岩石元素含量变化剖面图

（引自朱维新等，1987）

1—变石英角斑质碎屑凝灰岩、沉凝灰岩；2—变石英角斑质沉凝灰岩；3—含凝灰质泥质变粉砂岩、含黄铁矿绢云片岩、变石英角斑质沉凝灰岩-凝灰岩；4—白云质泥质粉砂岩夹白云岩透镜体；5—下部为硅化石英角斑质凝灰岩，上部为含黄铁矿泥质变粉砂岩；6—硅化变钾长石英角斑岩、钾长石英角斑质凝灰岩；7—变辉绿岩；8—断层；9—矿体

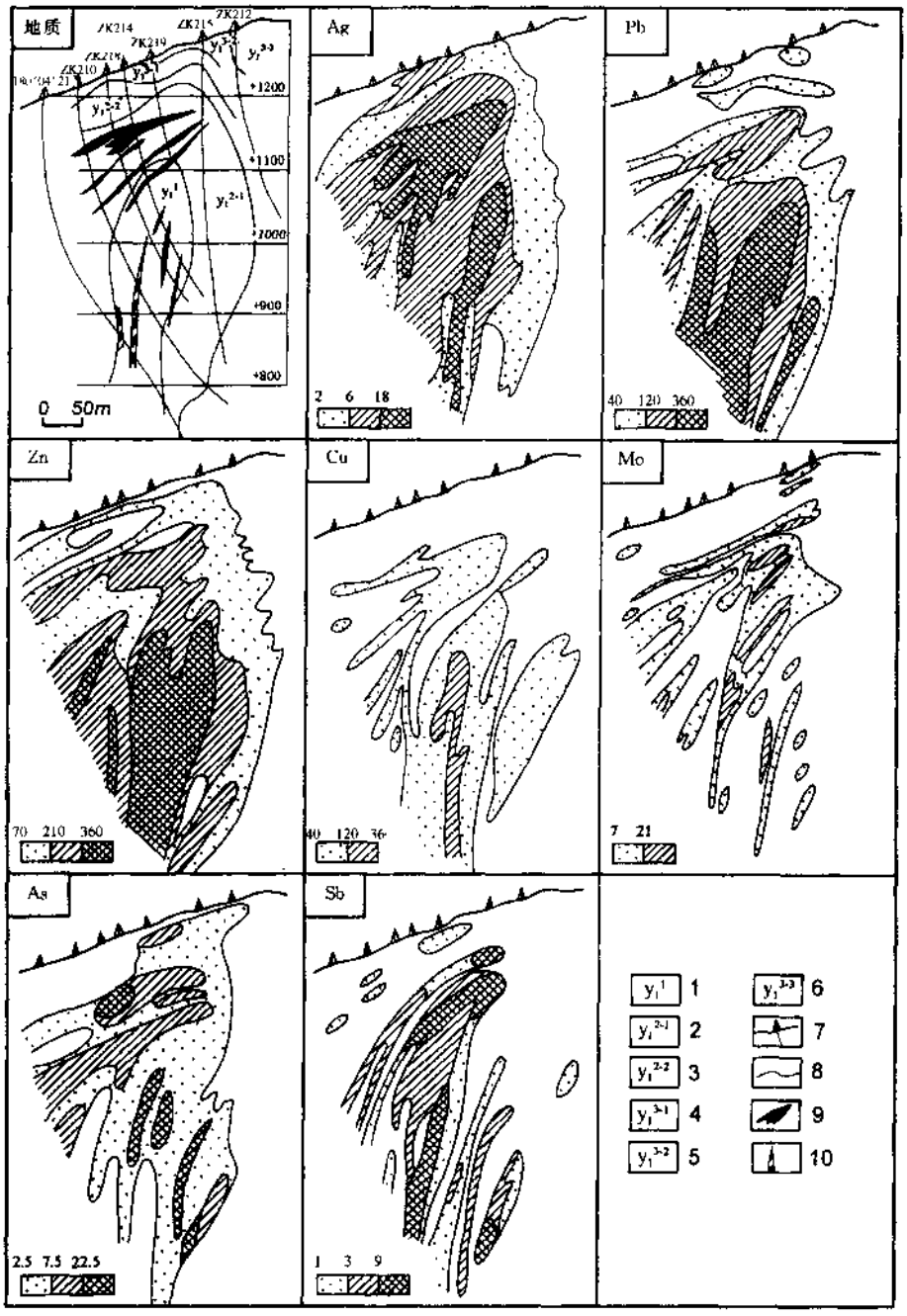


图 9.6 银洞沟矿区 21 线钻孔岩石地球化学异常剖面图

(引自朱维新等，1987)

1—硅化钾长石英角斑岩-凝灰岩；2—硅化、强硅化变石英角斑质凝灰岩；3—变白云岩，硅质、泥质白云岩夹黄铁矿凝灰质粉砂岩；4—变泥质粉砂岩白云岩、泥质粉砂岩；5—含黄铁矿变泥质粉砂岩；6—变泥质粉砂岩、泥质白云质粉砂岩；7—钻孔；8—地质界线；9—银矿体；10—铅锌矿体

元素质量分数单位：10^{-6}

Pb、Mo→Ag、Zn→Cu→Ba、As。

根据21线钻孔岩石地球化学异常剖面计算的各指示元素不同标高的分带指数，得出如下分带序列（自上而下）：Sb—As—Ba—Ag—Hg—Pb—Zn—Cu—Bi—Mo—Sn。

（2）矿化剥蚀程度评价指标见表9.4。

表9.4 银洞沟矿床矿体剥蚀程度评价标志

矿床剥蚀程度	矿体保存情况	元素比值指标		异常元素组合标志
		$w(Ag)\times100/w(Pb)$	$w(Ag)\times100/w(Cu)$	
浅剥蚀	银矿体保存或局部出露	>17	>36	Ag、Pb、Zn异常发育，Ag异常大于Pb、Zn异常；As、Sb、Ba等前缘元素异常清晰
中等剥蚀	银矿体局部残留 铅锌矿体局部出露	6~17	21~36	Ag、Pb、Zn异常发育；As、Sb、Ba异常微弱
深剥蚀	银矿体剥蚀尽 铅锌矿体局部残留	1~6	3~21	Pb、Zn异常为主，Ag异常很弱；Cu、Bi、Sb等元素异常发育

据朱维新等1985年资料改编。

4. 地球化学异常模型

银洞沟银（金、铅锌）矿床地球化学异常模型见图9.7。

此外，根据矿石中主要元素的因子分析，划出了8个主因子。其中 F_1（Pb，Bi，Cd，Sb，Zn）、F_6（Ag，As）为主要成矿因子；F_5（[Sr，Mo，CaO]，Ga）代表围岩蚀变过程中部分元素的交代关系。F_1 为铅锌矿石的元素组合，F_6 为银矿石的元素组合。Ag与Pb、Zn不在同一因子组内，显示了其形成过程分属两个成矿阶段。

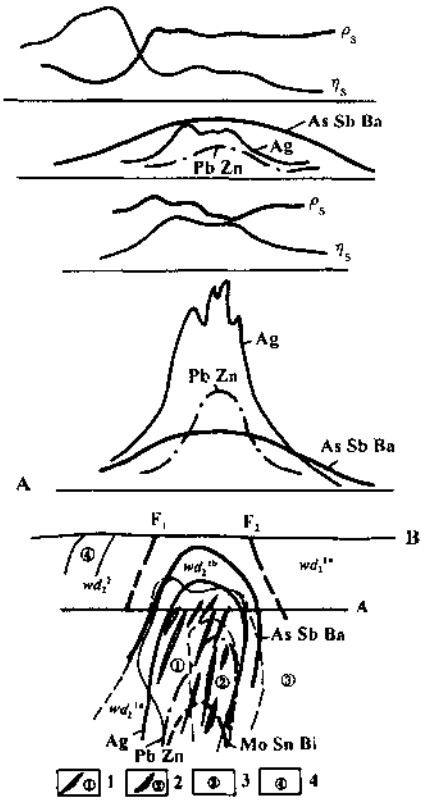


图9.7 银洞沟银(金、铅锌)矿床地质-地球物理-地球化学示意找矿模型图

1—金银矿体及黄铁矿化蚀变带；2—铅锌矿；3—围岩；4—含炭岩层

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 银洞沟银（金、铅锌）矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表9.5。

2. 银洞沟银（金、铅锌）矿床地质-地球物理-地球化学找矿示意模型见图9.7。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定以银金为主的多金属矿化异常。以1:20万水系沉积物测量为主，发现并圈定与银金为主的多金属矿有关的Ag、Pb、Zn、Cu等元素组合异常；配合1:20万~1:10万区域重、磁资料解释推断，分析研究与成矿地质环境有关的区域构造、岩浆岩空间分布等。

（2）寻找并圈定矿化强硅化蚀变带。①岩石地

表 9.5　银洞沟银（金、铅锌）矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	处南秦岭印支褶皱带武当隆起西缘鲍峡—得胜断褶带的中西段	
	地球物理场	布格重力异常相对低值区，矿区位于 $\Delta g_B < -100\times10^{-5}m/s^2$ 的局部低值异常的南西侧；平静负磁场区中，ΔT 异常值一般在 0～-100nT 间变化；矿区一带 ΔT 异常为 -50～-100nT	
	地球化学场	银洞沟一带出现以 Ag 为主的 Ag、Pb、Zn、Cu 元素组合异常。异常由二条支沟组成，各元素的浓集中心一致；异常沿水系延伸超过 5km，范围约 5km²	
地质	地层	武当山群挡鱼河上段蚀变火山岩为赋矿岩层；银矿体和铅锌矿体的赋矿岩性，分别为变石英角斑质凝灰岩和钾长石英角斑岩	
	构造	区内主体构造为向西倾伏的银洞沟—石门沟背斜，属于银洞岩—梨树坪复式倒转背斜西段，控制了矿床的总体产状及展布方向	
	岩浆岩	多期次的火山-侵入活动，生成了区内超基性-酸性种类繁多的岩浆岩。其中海相古火山活动最强烈，形成广泛分布的细碧石英角斑岩建造，与以银金为主的多金属矿化密切有关	
	围岩蚀变	近矿围岩蚀变以硅化为主，黄铁矿化、铁白云石化、绢云母化等次之。硅化是本区最强烈、最普遍的一种蚀变，它与矿体关系密切，是重要的找矿标志	
	赋矿部位	武当群变质火山岩系挡鱼河上段蚀变火山岩为赋矿岩层；银矿体和铅锌矿体的赋矿岩性，分别为变石英角斑质凝灰岩和钾长石英角斑岩（有变流纹岩侵入）	
	主要矿石矿物	金银矿石中金属矿物主要有自然银、辉铜银矿、螺状硫银矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿，次要有硫铜银矿、含银锑黝铜矿、深红银矿等，及微量自然金、淡红银矿等	
	直接找矿标志	矿化露头及其附近的古采矿老硐	
地球物理	探测目标物	矿化强硅化蚀变带 （以黄铁矿化石英角斑质凝灰岩为主）	
	目标物物性特征	弱极化（3.22%），（围岩平均极化率 1.38%），中高阻（$9.57\times10^2\Omega\cdot m$）	
	地表异常特征	η_S4.5%等值线圈闭，与矿化强硅化蚀变带对应良好；剖面上，在 η_S2.5%背景上，呈宽缓、起伏的异常形态；$\eta_{S\,max}$6.6%左右。异常与含矿带对应较好，且范围宽于含矿带	
	干扰异常	测区西南的含炭凝灰岩具强极化率，能产生较强的激电干扰异常，可配合电阻率法或综合电阻率参数予以区分。与银金、铅锌矿化不相关的黄铁矿化可造成非矿激电异常	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Ag、Pb、Zn、Cu、Mo、As、Sb 前缘元素：As、Sb　近矿元素：Ag、Pb、Zn、Cu　尾部元素：Mo、Sn	
	元素浓度分带	Ag：2～6～18　Zn：70～210　As：2.5～7.5　Mo：7～21 Pb：40～120　Cu：40～120　Ba：400～1200	
	主要元素异常形态与分布范围	岩石测量平面上 Ag、Pb、Zn、Mo 异常呈面型，近东西向延伸，与蚀变岩石分布范围重合，亦与区内倾伏背斜轴线及矿体走向一致。以 Ag 异常面积最大、含量高、连续性好，浓集中心明显、分带清晰；Pb 异常面积最小，主要分布在矿带附近。Zn、Mo 异常面积大，但异常弱无浓集中心；Cu、Zn、Ba 异常呈线型，分布零星，叠合性差，大都分布在蚀变带外侧。 剖面上在矿化蚀变带上 Ag、Pb、Zn 等异常极其突出；Cu、Sb 等元素亦有较明显的异常	
	其他特征	浅剥蚀：Ag、Pb、Zn 异常发育，Ag 范围大于 Pb、Zn，$w(Ag)\times100/w(Pb)>17$　$w(Ag)\times100/w(Cu)>36$ 中剥蚀：As、Sb、Ba 异常发育，$w(Ag)\times100/w(Cu)$6～17　$w(Ag)\times100/w(Cu)>21$～<36 深剥蚀：Pb、Zn 异常为主，Ag 弱，Cu、Bi、Sn 较发育 $w(Ag)\times100/w(Cu)$1～6　$w(Ag)\times100/w(Cu)>3$～<21	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。*为含有赋矿岩层的武当群挡鱼河组，其中侵入了大量辉长辉绿岩、角闪岩、闪长岩、橄榄岩等脉岩。据岩石一般物性，这类脉岩及地层中一些岩性属中—高磁性。区域磁场为何显示呈平静负磁场，并形成重力场值降低，尚未找到适当的解释	

球化学测量：Ag、Pb、Zn、Mo异常与蚀变岩分布范围一致，利用 w（Ag）×100/w（Pb）与 w（Ag）×100/w（Cu）的比值及指示元素组合标志，可以判断矿体剥蚀程度。

②激发极化法：η_S 为4.5%等值线圈闭与矿化强硅化蚀变带对应很好，可用其发现并圈定矿化有利地段。

地质体物性及电性特征见表9.6.

表9.6 银洞沟矿床物性地质体参数表

编号	物性地质体	电性	
		极化率	电阻率
①	银（金）矿及黄铁矿化蚀变	弱极化	中高阻
②	铅锌矿	高极化	低阻
③	围岩	微极化	高阻
④	含炭地层	高极化	中低阻

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表9.A 银洞沟银（金、铅锌）矿床地质特征简表。

表9.B 银洞沟银（金、铅锌）矿床地球物理特征简表。

表9.C 银洞沟银（金、铅锌）矿床地球化学特征简表。

表 9.A　银洞沟银（金、铅锌）矿床地质特征简表

地理位置		湖北省竹山县茅塔镇，南距县城 64km 的鄂陕交界处。1:20 万：I-49-（33）		
矿床类型		海相火山-沉积亚类	矿石建造	Ag（Au、Pb、Zn）
矿床规模、品位		大型，Ag 为 224g/t	容矿岩石	银矿：变石英角斑质凝灰岩 铅锌矿：钾长石英角斑岩
地质成矿环境	构造背景	南秦岭印支褶皱带武当隆起西缘，鲍峡—得胜断褶带中西段与北大巴山加里东褶皱带东北端交接地带		
	地　层	属秦岭地层区。区域内除三叠系及侏罗系外，中元古界至新生界均有出露。以前寒武系武当群（武当山群）分布最广，次为下古生界。下震旦统耀岭河群出露于西部，与下伏武当群呈平行不整合接触，为一套海底喷发的细碧-角斑岩建造。武当群为变质火山岩系，自上而下划分为楼台、挡鱼河、杨坪三个岩组。其中，挡鱼河上段蚀变火山岩为赋矿岩层		
	构　造	下古生界、震旦系、武当群变质岩系同步褶曲，形成多组不同方向的紧密褶皱及其相关的断裂。以得胜—许家坡一线为界，东部以 NE 向逆掩断层为特征，西部则呈近 EW 向高角度逆冲断层。 矿区构造以近 EW 向为主，又与 NE 向褶皱呈连续协调展布。主体构造为向西倾伏的银洞沟-石门沟背斜，属银洞沟-梨树坪复式倒转背斜西段，控制了矿床的总体产状及展布方向；断裂构造不甚发育，较大的断层有两条		
	岩浆岩	多期次的火山-侵入活动，生成了区内超基性—酸性种类繁多的岩浆岩。其中海相占火山活动最强烈，形成广泛分布的细碧-石英角斑岩建造，与以银金为主的多金属矿化密切有关。伴随火山活动有超基性、基性岩侵入，呈岩脉、岩墙状产出，与成矿关系不大		
	主要控矿因素	武当群挡鱼河组上亚组火山喷发沉积岩（石英角斑质凝灰岩、凝灰质粉砂岩）是成矿的有利围岩； 蓟县期火山喷发及尔后的流纹质潜火山活动在成矿中起主导作用； 加里东期褶皱断裂构造是矿床形成的直接定位因素； 海西—印支期区域变质变形作用使矿床受到强烈改造		
矿床特征	成矿岩体	银矿床多发育在第一岩性段第二亚段第一层变石英角斑质凝灰岩中，铅锌矿体多发育在第一岩性段底部变钾长石英角斑岩中		
	容矿构造	向西倾伏的银洞沟-石门沟背斜，控制了矿床的总体产状及展布方向		
	矿化阶段	经历了多期多阶段成矿作用，大体可分为气液期、热液期和表生期三个成矿期。主要成矿作用发生在热液期，分四个成矿阶段，即糖粒石英-铅锌矿化阶段、糖粒石英-银金矿化阶段、粗粒石英-含铅锌银金矿化阶段和块状石英铁白云石-弱矿化阶段		
	蚀变	围岩蚀变强烈，以硅化为主，呈面型分布，是重要的找矿标志。次为黄铁矿化、铁白云石化；局部发育有绢（白）云母化、绿泥石化、金云母化、重晶石化等		
	矿化分带	在空间上，矿化呈明显的垂直分带，自向而下为：银金矿化带—铅锌－银金矿化带—铅锌矿矿化分带		
	矿体特征	金属矿物：主要有自然银、辉铜银矿、螺状硫银矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿，次有硫铜银矿、含银锌黝铜矿、深红银矿等；及微量自然金、淡红银矿等		
		矿石特征：矿石构造以浸染状、条带状、脉状为主		
		矿体形态：呈单脉或复脉状，少数呈透镜状，厚度较稳定—不稳定，平均厚 2m 左右		
	脉石矿物	石英、白云母、铁白云母、绿泥石、磷灰石、锆石、金红石、锡石等		
表生地质		氧化带不发育，深度仅 1～2m		
地貌景观		半湿润中低山区		
备　注				

表 9.B　银洞沟银（金、铅锌）矿床地球物理特征简表

区域场	重力场		区域重力场，呈相对重力低值区； 矿区位于局部重力低值异常（$\Delta g_B < -100\times10^{-5}m/s^2$）的南西侧
	磁　场		平静负磁场区中，ΔT 异常值一般在 0 ~ -100nT 之间变化； 矿区一带，ΔT 异常为 -50 ~ -100nT
矿区（田）异常	重力异常		
	磁力异常		
	电异常		1:1 万激电法，视极化率 η_S 异常呈近东西向带状分布，异常强度一般为 4.5% ~ 5.0%，带宽 350m 左右；其东端 4.0% 等值线自行封闭；西端未封闭，η_S 高达 7.0% 仍有增强的趋势，因而异常长度大于 1.5km。异常带中部，4.5% 等值线圈闭与矿化强硅化蚀变带对应良好；其东部偏北，西部偏南，反映了蚀变带的东、西段，分别向北、南方向倾斜
	其他		
矿床异常	重力异常		
	磁力异常		
	电异常	激电异常	剖面上，η_S 曲线在背景约 2.5% 上，呈宽缓、起伏的异常形态；0 测线 η_S 极大值为 6.6%，异常与含矿带对应较好，且范围宽于含矿带，尤其是测线的南段。激电异常为矿化蚀变带及黄铁矿化带的综合反映
		电阻率异常	
		电磁异常	
	其他		

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/$10^3kg\cdot m^{-3}$		磁性		电性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$	$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	η/%	$\rho/\Omega\cdot m$
	黄铁矿化石英角斑质凝灰岩					3.22	9.57×10^2
	铅锌矿石					35.30	
	石英角斑质凝灰岩					1.46	1.09×10^3
	含砾石英角斑质凝灰岩					1.28	
	变泥质粉砂岩、粉砂岩					1.14	1.47×10^3
	含炭凝灰岩					1.40	
	含炭凝灰岩（西南部）					38.85	
	辉长辉绿岩					1.13	1.36×10^3

备　注	1. 矿区及外围，仅见到激电法勘查资料。 2. 当存在炭质地层产生的非矿极化率异常时，可通过其低阻、高极化的特征，与含矿带的高阻、高极化的异常予以区分。 3. 含有赋矿岩层的武当群挡鱼河组及其上覆耀岭河群，其中侵入了大量辉长辉绿岩、角闪岩、闪长岩、橄榄岩等脉岩。据一般物性资料，这类脉岩及地层中的一些岩性属中—高磁性，区域磁场为何显示呈平静负磁场，并形成重力场值降低，尚未找到适当的解释

表 9.C　银洞沟银(金、铅锌)矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Ag、Pb、Zn、Cu	
	空间分布	1:20万水系沉积物测量显示，银洞沟一带，出现以 Ag 为主的 Ag、Pb、Zn、Cu 元素组合异常。异常由三条支沟组成，各元素的浓集中心一致；异常沿水系延伸超过 5km，范围约 5km²	
	元素浓度分带		
	元素水平分带		
	其他特征	单点分析测试：Ag(2×10^{-6})、Pb($(20\sim70)\times10^{-6}$)、Zn($(100\sim300)\times10^{-6}$)	
矿床异常	元素组分	地　表	断　面
		Ag、Pb、Zn、Cu、Mo、Ba、As	Ag、Pb、Zn、As、Sb、Cu
	空间分布	岩石测量 Ag、Pb、Zn、Mo 异常呈面型，近 EW 向延伸，与蚀变岩石分布范围重合，亦与区内倾伏背斜轴线及矿体走向一致。以 Ag 异常面积最大、含量高、连续性好，浓集中心明显、分带清晰；Pb 异常面积最小，主要分布在矿带附近；Zn、Mo 异常面积大，但异常弱无浓集中心；Cu、Zn、Ba 异常呈线型，分布零星，叠合性差，大都分布在蚀变带外侧	Ag、Pb、Zn 异常面积大，含量高，连续性好，浓集分带清晰；其内带异常与矿体对应。Ag 异常浓集中心偏上，Pb、Zn 异常浓集中心偏下。As、Sb、Cu 异常较发育，但连续性不如 Ag、Pb、Zn；其中 As、Sb 强异常分布在银矿体附近，而 Cu 异常主要在铅锌矿体附近。Sn 异常强度低，主要分布于矿化段两侧，其浓集中心在铅锌矿体下部及外侧。Mo 异常以外带为主，连续性差
	元素浓度分带	Ag:2～6～18　As:2.5～7.5　Mo:7～21 Pb:40～120　Cu:40～120　Ba:400～1200 Zn:70～210	Ag:2～6～18　As:2.5～7.5～22.5　Mo:7～21 Pb:40～120～360　Sb:1～3～9　Sn:5～15～45 Zn:70～210～630　Cu:40～120～360
	元素分带序列	水平分带(自矿带向南、北两侧)：Pb、Mo—Ag、Zn—Cu—Ba、As 垂直分带(自上而下)：Sb—As—Ba—Ag—Hg—Pb—Zn—Cu—Bi—Mo—Sn	
	元素间相关性	矿石中主要元素因子分析，划出 8 个主因子。其中 F_1(Pb, Bi, Cd, Sb, Zn)、F_6(Ag, As)为主成矿因子；F_5([Sr, Mo, CaO], Cu)代表围岩蚀变过程中部分元素的交代关系。F_1 为铅锌矿石元素组合，F_6 为银矿石元素组合。Ag 与 Pb、Zn 不在同一因子组内，显示其形成过程分属两个成矿阶段	
	其他特征		
矿体剥蚀程度评价指标		浅剥蚀：Ag、Pb、Zn 异常发育，Ag 异常大于 Pb、Zn　$w(Ag)\times100/w(Cu)>17$　$w(Ag)\times100/w(Cu)>36$ 中剥蚀：As、Sb、Ba 异常发育，$w(Ag)\times100/w(Cu)>6\sim<17$　$w(Ag)\times100/w(Cu)>21\sim<36$ 深剥蚀：Pb、Zn 异常为主、Ag 弱，Cu、Bi、Sn 较发育，$w(Ag)\times100/w(Cu)>1\sim<6$　$w(Ag)\times100/w(Cu)>3\sim<21$	

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
银矿石	235	775	1720	2.36	346.6			10							10
金银矿石		70	340	4.44	225.2										1
银铅锌矿石	2380	35035	706	1.90	189.7			380							10
铅锌矿石	900	9400	19100	0.41	22.0			20							10
钾长石英角斑岩及角斑质凝灰岩	80	280	425		0.5										2
变石英角斑质凝灰岩	70	14	79		0.16									10.6	15
变角斑岩、变角斑岩石英角斑岩	58	11	49		0.13									4.5	6
变泥质粉砂岩	15	25	60		2.17									4.2	4
白云岩	10	25	41		1.87									3.0	
背景平均值	20	20	40		1.00			2			1.0	0.3		15	

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

第十章　变质类型矿床（田）——河南围山城（沉积）变质亚类金银矿田

围山城金银矿田位于河南省桐柏县围山城镇，由银洞坡大型金银矿床、破山特大型银矿床、河坎中型银矿床，以及老洞坡银矿组成；银洞坡和破山两个大型矿床东、西相距不超过5km。

一、区域背景[1]

围山城矿田位于秦岭-大别褶皱带中桐柏-大别地块西尖灭端的北缘，属羊册—明港、桐柏—商城两个深断裂之间的桐柏—大别（北坡）金银成矿带的北亚带。

1∶100万重、磁图显示矿田区处于北西西向桐柏—大别（或南阳—英山）重力低北缘梯度带；正、负区域磁场交接带偏正磁场一侧，场强一般为0～50nT，ΔT等值线亦呈北西西向延伸。

区域地球化学场显示为：Au、Ag高背景区的局部浓集区，并伴有Pb、Zn、As、Sb、Cd、Ni、Co、Mo、Mn等元素异常。

二、成矿环境

1. 地层

区内出露地层主要为上元古界歪头山组，为一套火山沉积岩组成，与上部大栗树组呈不整合接触。

歪头山组自下而上分为三段：下段角闪岩相碳酸盐岩-碎屑岩建造，为大理岩与斜长角砾岩互层；中段绿片岩相火山碎屑岩建造，由变粒岩、云母石英片岩及斜长角闪片岩组成，夹炭质绢云母石英片岩；上段绿片岩相变质火山碎屑岩建造，为黑云母变粒岩及角闪斜长片岩互层，夹炭质绢云母石英片岩及少量大理岩透镜体。上、中、下段各有一个含矿层位，分别为破山银矿床、银洞坡金矿床、河坎-老洞坡银矿点的含矿层位。

2. 构造

成矿带位于羊册—明港、桐柏—商城两个深断裂之间，成矿地质构造环境复杂。

纵贯成矿带的盘古山韧性剪切带及NW向背斜，和东部NE向背斜控制了赋矿地层的展布；与背斜轴平行的一系列层间剪切带和褶皱的转折端、倾伏端的断裂部位控制了矿床和矿体；即沿背斜轴部所形成的一系列顺层共轭剪切带为主要储矿构造。

3. 岩浆岩

区内岩浆活动十分频繁，从超基性到酸性、碱性岩均有出露。矿带东北出露海西期桃

[1] 韩存强，姚一元等。桐柏-大别造山带（北坡）金矿地质、地球物理、地球化学找矿模型评价指标的研究及预测。河南省地矿局第三地调队，1993。

园黑云斜长花岗岩体（γ_4^1），西北部出露燕山期梁湾似斑状二长花岗岩体（γ_5^3）。金矿化与海西晚期—燕山期花岗岩有关。

4. 区域地球化学

（1）矿田区一带主要地质单元金地球化学特征值统计（表 10.1）表明：区内海西期花岗岩和歪头山岩组中 Au 的平均含量高，浓集系数大，为成矿提供了物质来源。

表 10.1　矿田区主要地质单元中 Au（10^{-9}）地球化学特征值

地质单元	样品数	平均含量	变异系数	浓集系数
第三系	207	1.90	0.35	2.11
白垩系	143	1.76	0.32	1.95
上古生界南湾岩组	55	1.96	0.39	2.18
下古生界二郎坪岩群	54	2.11	0.47	2.34
上元古界歪头山岩组	46	2.94	1.80	3.27
桐柏-大别片麻杂岩	11	1.34	0.53	1.49
燕山期花岗岩	159	1.23	0.56	1.37
海西期花岗岩	145	4.07	3.18	4.52
加里东期片麻状石英闪长岩	136	1.48	0.40	1.64
中国东部地壳丰度估计值（鄢明才等，1997）	0.90			
区域背景值	1.56			
河南省背景值	1.49			

据邹光华等 1996 年资料整理。

（2）区域地球化学图上，沿歪头山岩组 Au、Ag 呈北西向带状分布的强异常，其面积分别为 40km^2 和 20km^2（图 10.1）。对应矿带中部 Au、Ag 异常相互套合，但浓集中心不同，Au 的浓集中心位于银洞坡、Ag 中心位于破山；与之组合的异常元素有 Pb、Zn、As、Sb、Cd、Ni、Co、Mo、Mn 等。

5. 区域地球物理场

布格重力异常图上，围山城矿田处于似葫芦状重力低异常的西南边缘；剩余重力异常似椭圆形，长轴呈北西向，长 5.5km，宽约 2km（图 10.1）。

航磁 ΔT 异常在桐柏地区呈北西向条带状，正、负相间平行排列（图 10.1），强度一般 200nT±，正磁异常有的可达 400nT；围山城矿田处于负磁异常带中。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿化连续性较好，矿体比较稳定，产状与地层一致，北西向层间挤压破碎带基本控制了矿体的分布；剖面上呈平行排列，具多层重叠现象，构成宽大的矿脉群。

银洞坡金银矿床：矿体走向北西（300°左右），延伸最大达 600m。在背斜轴部呈鞍状，两翼呈似层状、透镜状，平面和剖面上呈平行排列。

破山银矿床：矿体呈层状雁行排列，长数百米到千米，宽 10～100m，厚数米。

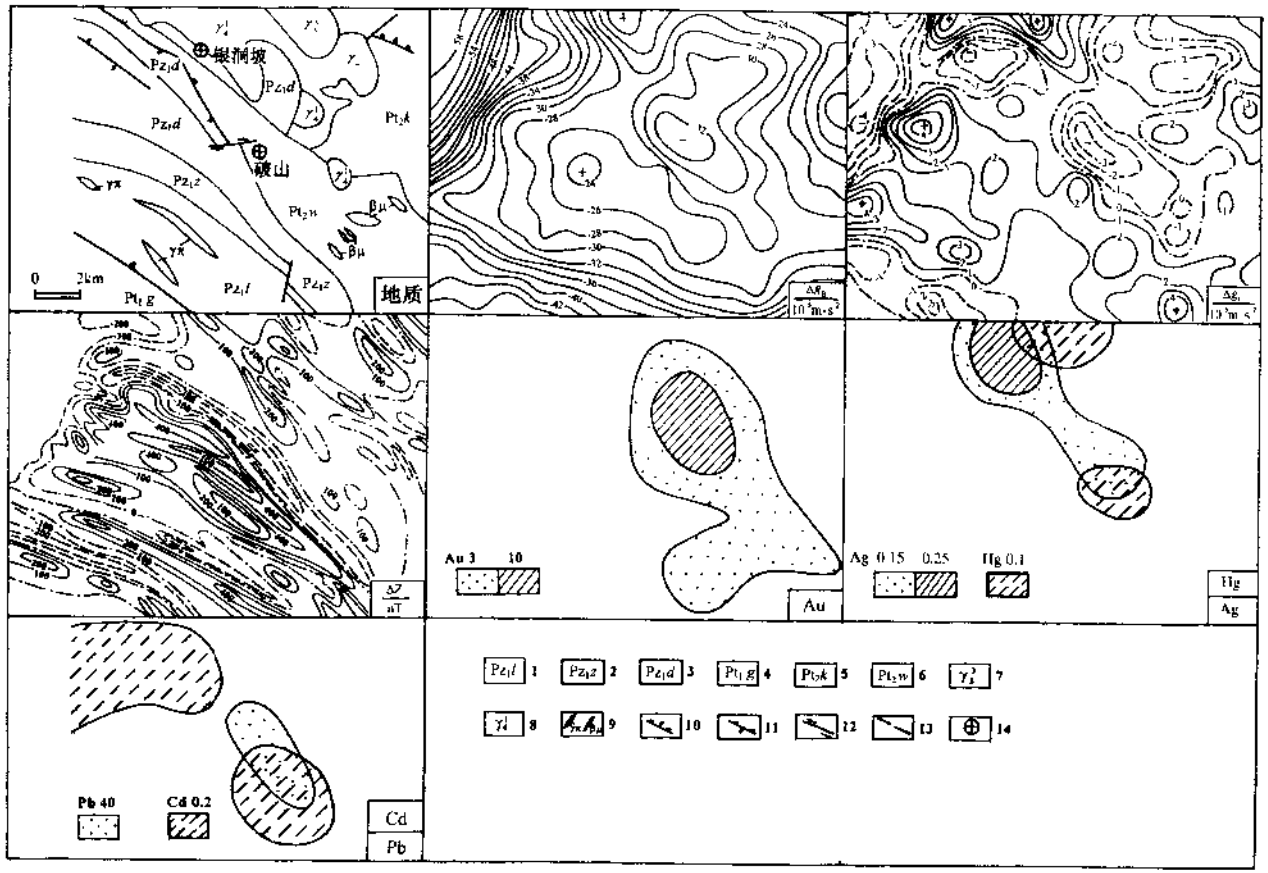


图 10.1　围山城金银矿田地球物理-地球化学场剖析图

（地球物理资料引自邹光华等，1996；地球化学资料引自韩存强等，1993）

1—刘山岩组变质斑状细碧岩；2—张家大庄组：黑云变粒岩、石英片岩；3—大栗树组细碧岩夹石英角斑岩；4—秦岭群斜长角闪片岩；5—宽坪群角闪斜长片麻岩；6—歪头山组变粒岩等；7—花岗岩；8—黑云母花岗岩；9—花岗斑岩脉、辉绿岩脉；10—实测正断层；11—实测逆断层；12—实测平移断层；13—实测、推测性质不明断层；14—大型金银矿床、银铅矿床

元素质量分数：Au、Hg 为 10^{-9}，其余为 10^{-6}

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造一般为浸染状、网脉状、角砾状、斑点状，局部呈块状。

主要矿物有自然金（银洞坡）、自然银（破山）、银金矿、辉银矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿等；脉石矿物主要有石英、绢云母、长石、绿泥石等。

矿床中金以独立金及金银互化物赋存。在矿石中金分布极不均匀，主要以晶隙金、裂隙金、包体金产出。

3. 蚀变类型及分带

区内广泛而强烈的蚀变为硅化，分布于矿体及近矿围岩中；绢云母化、碳酸盐化与硅化相伴随，但强度较弱。一般蚀变与矿化呈正相关，蚀变愈强，矿化愈好。

4. 氧化带

氧化带中褐铁矿化和黄钾铁矾化是明显的找矿标志。

5. 主要控矿因素

上元古界歪头山组为主要矿源层；海西期花岗岩可能为潜在的矿源。

NW 向褶皱及其伴生的顺层剪切带、共轭逆冲剪切带，控制含矿地层的展布，也控制了矿体的富集和赋存空间。

四、矿区地球物理特征[1][2]

1. 岩矿石物理性质

由围山城矿田区主要地质单元，银洞坡矿区主要岩矿石的密度、磁性参数统计（表 10.2），以及围山城矿田主要岩矿石电性参数统计表（表 10.3）可见如下内容。

表 10.2　围山城金银矿田区主要地质单元密度、磁性参数统计表

主要地质单元	密度		磁性				
	块数	$\sigma/10^3 kg\cdot m^{-3}$	块数	$\kappa/4\pi\times10^{-6}SI$		$M_r/10^{-3}A\cdot m^{-1}$	
				变化范围	平均值	变化范围	平均值
第四系	20	1.85			<10		<10
第三系	52	2.01	135	$<10\sim1.5\times10^2$	1.33×10^2	<10	<10
白垩系	84	2.20	179		1.16×10^2		7.8×10^1
石炭系	56	2.34	121	$<10\sim2.0\times10^2$	1.38×10^2	$<10\sim1.0\times10^2$	6.1×10^1
下古生界(二郎坪岩群)	169	2.63	522	$5.34\times10^2\sim6.87\times10^3$	1.85×10^3	$1.81\times10^2\sim3.62\times10^4$	1.22×10^3
上元古界歪头山岩群	63	2.62	220	$<10\sim3.22\times10^3$	1.50×10^3	$3.0\times10^1\sim1.93\times10^3$	9.83×10^2
太古界桐柏-大别杂岩	19	2.59～2.71	178	$2.5\times10^2\sim8.0\times10^2$	2.70×10^3	$1.8\times10^3\sim2.5\times10^4$	1.60×10^3
花岗岩			250	$4.5\times10^1\sim2.46\times10^3$	4.74×10^2	$5.5\times10^1\sim3.8\times10^2$	3.65×10^2
花岗斑岩		2.48	123	$<10\sim2.98\times10^3$	9.5×10^2	$<10\sim1.04\times10^3$	3.0×10^2
流纹岩			113	$<10\sim3.71\times10^2$	5.0×10^2	$<10\sim1.25\times10^3$	1.0×10^3

据邹光华等，1996 资料整理。

[1] 张乃昌。河南省主要物探方法试验研究总结。河南省地质局物探队，1983。

[2] 曾绍金，张传庭等。河南省桐柏县围山城金银多金属矿带物探、化探详查报告。河南省地质局地质八队，1980。

表 10.3　围山城矿田主要岩矿石电性参数统计表

岩矿石名称	采样位置	极化率 η/%			电阻率 ρ/Ω·m		
		块数	变化范围	几何平均值	块数	变化范围	几何平均值
矿化炭质绢云石英片岩	钻孔	65	10.2～65.3	21.9	87	2.0×10^{0}～1.5×10^{2}	2.0×10^{1}
炭质绢云石英片岩	地表	184	0.3～10.6	2.0	164	1.28×10^{2}～5.81×10^{3}	5.07×10^{2}
绢云石英片岩	地表及钻孔	628	0.6～7.8	1.9	266	8.1×10^{1}～5.95×10^{3}	4.14×10^{2}
变粒岩	地表及钻孔	326	0.5～7.1	1.9	110	3.5×10^{1}～3.36×10^{3}	3.83×10^{2}
斜长角闪片岩	地表	152	0.4～5.0	1.2	81	4.6×10^{1}～1.72×10^{3}	2.37×10^{2}
花岗岩	地表	47	0.4～5.5	1.9	34	8.7×10^{1}～1.25×10^{3}	3.71×10^{2}
大理岩	地表	20	0.1～4.5	1.0	10	3.54×10^{2}～6.05×10^{4}	2.25×10^{3}
夕卡岩	地表	13	0.8～2.3	1.5	11	2.57×10^{2}～8.24×10^{2}	4.80×10^{2}
石墨化绢云石英片岩	钻孔	11	8.7～87.4	52.4	13	1.80×10^{1}～1.95×10^{3}	8.6×10^{1}

据邹光华等，1996 资料整理。

（1）赋矿地层密度相对较高，其磁性高且较均匀；与矿化关系密切的花岗岩，其密度、磁性均低于元古宇变质岩及太古宇—下古生界岩层。

（2）矿石与围岩间的磁性、密度无明显差异；但具高极化，且部分矿石显示为低电阻（强硅化矿石电阻率较高）。

2. 物性模型

矿田区主要地质体及岩矿物性归纳于表 10.4；银洞坡矿床物性模型见图 10.2。

（1）区内主要岩石的磁性与密度具正相关，由高到低依次为：太古宇—下古生界岩层→酸性侵入岩类→上古生界及中生界岩层→新生界。

（2）由于矿化富集地段往往位于韧性剪切带，岩石发生强烈的蚀变，其磁性减弱，密

表 10.4　围山城矿田岩矿石物性特征归纳表

主要地质单元或地质体		密　度	磁　性	电　性	
		$\sigma/10^{3}$kg·m^{-3}	磁化强度 M/A·m^{-1}	极化率 η/%	电阻率 ρ/Ω·m
区域	新生界第四系	极低(1.85)	微磁($<10^{-2}$)		
	第三系	极低(2.01)	微弱($n\times10^{-2}$)		
	中生界白垩系	其低(2.20)	弱磁[$(1\sim2)\times10^{-1}$]		
	上古生界石炭系	其低(2.34)	弱磁[$(1\sim2)\times10^{-1}$]		
	太古宇—上元古界歪头山岩群	微低(2.62)	高磁[$(1\sim2)\times10^{0}$]		
	酸性侵入岩类	低(2.48)	中磁($n\times10^{-1}$)		
矿区	含矿岩石：矿化炭质绢云石英片岩			中高(21.9)	低(2×10^{1})
	围岩：片岩类变粒岩夕卡岩花岗岩			微(1.82)	中(4.09×10^{2})
	围岩：大理岩				高(2.25×10^{3})
	干扰地质体：石墨化绢云石英片岩			极高(52.4)	低(8.6×10^{1})

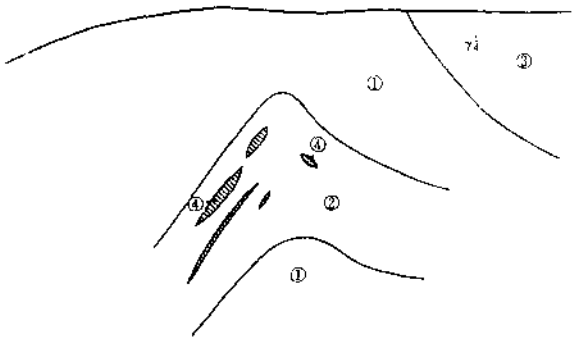


图 10.2 围山城矿田银洞坡矿床物性（概念）模型图
①太古宇—下古生界地层：低密度，中—高磁；②韧性剪切带：低密度、低磁、中阻、微极化；③酸性岩浆岩：具低密度，弱—中磁；④矿脉群：低阻、高极化

度变小。因而，一般对应有重力低的条带状负磁异常，往往是含矿带的异常反映。

(3) 因炭质绢云石英片岩为主要容矿岩石，有些矿石中除金、银矿外，还伴有 10% 左右的铅、锌、硫、镉等金属硫化物。因而，一般矿石都具有高极化率，有的矿石还显示为低电阻（强硅化矿石电阻率较高）。

(4) 石墨化绢云石英片岩为主要电性干扰。

3. 地球物理异常

(1) 矿田区异常。

激电异常：与围山城金银矿田对应的激电异常带，西起陈庄下石灰窑，向东过杨树洼，走向北西，长 15km，宽 0.2～3.0km；东部分成两支，东南部尚未封闭。

破山矿区：激电异常处在矿田异常带的中西部（图 10.3），视极化率 $\eta_S > 10\%$，长 8.9km，较宽处 200～700m。异常形态规则，连续性好，与歪头山组上部含矿层对应较好；其中部异常转折地段宽度较大，为破山银矿分布区。

银洞坡矿区：激电异常位于矿田异常东部，长 4.8km，宽 100～500m，东、西两端窄，中间宽；西段 η_S6%～8%，东段 8%～10%，中段极化率 12%。异常与中部含矿层的分布对应较好，其中段宽而强的异常为银洞坡主矿段分布区。

(2) 矿床区异常。

破山银矿床。

激电异常：

中梯装置：在矿床上方异常形态规则，连续性好，视极化率 η_S 幅度 10%～18%（图 10.4）。0 勘探线物探综合剖面（图 10.6）上异常平缓、圆滑，两翼基本对称，极大值 $\eta_{S\,max} \approx 14\%$。剖面曲线北东翼呈阶梯状，反映矿体呈多层产出；$\eta_S$ 曲线由陡梯度过渡到正常场为矿体向南西倾斜的反映。

对应激电异常处，视电阻率 ρ_S 曲线呈宽阔的低阻，在主矿体的倾斜方向上方，或含矿层的上部 ρ_S 最低（$<200\Omega\cdot m$）；主矿体出露地表处或对应含矿层下部 ρ_S 升高。宽阔的 ρ_S 低阻异常是规模较大的主矿体的反映，氧化矿及含矿层下部 ρ_S 较高。

联剖装置：由于地形影响，激电联剖曲线较复杂，大致在矿头上方，η_S 和 ρ_S 分别出现反交点和正交点；不同极距交点位移不明显。

测深装置：η_S 断面图大致反映了矿体的产状，ρ_S 断面呈低阻反映。

自电异常：呈宽阔的负异常，其极小值与主矿体大体对应，$\Delta U_{min} = -123mV$。

充电异常：各矿层的分层充电，可解决矿体的连接问题。

井中物探：以电测井为主的综合测井（视电阻率、自然电位、激发极化等），对划分矿层，指导取样分析等起了重要作用（图 10.5）。

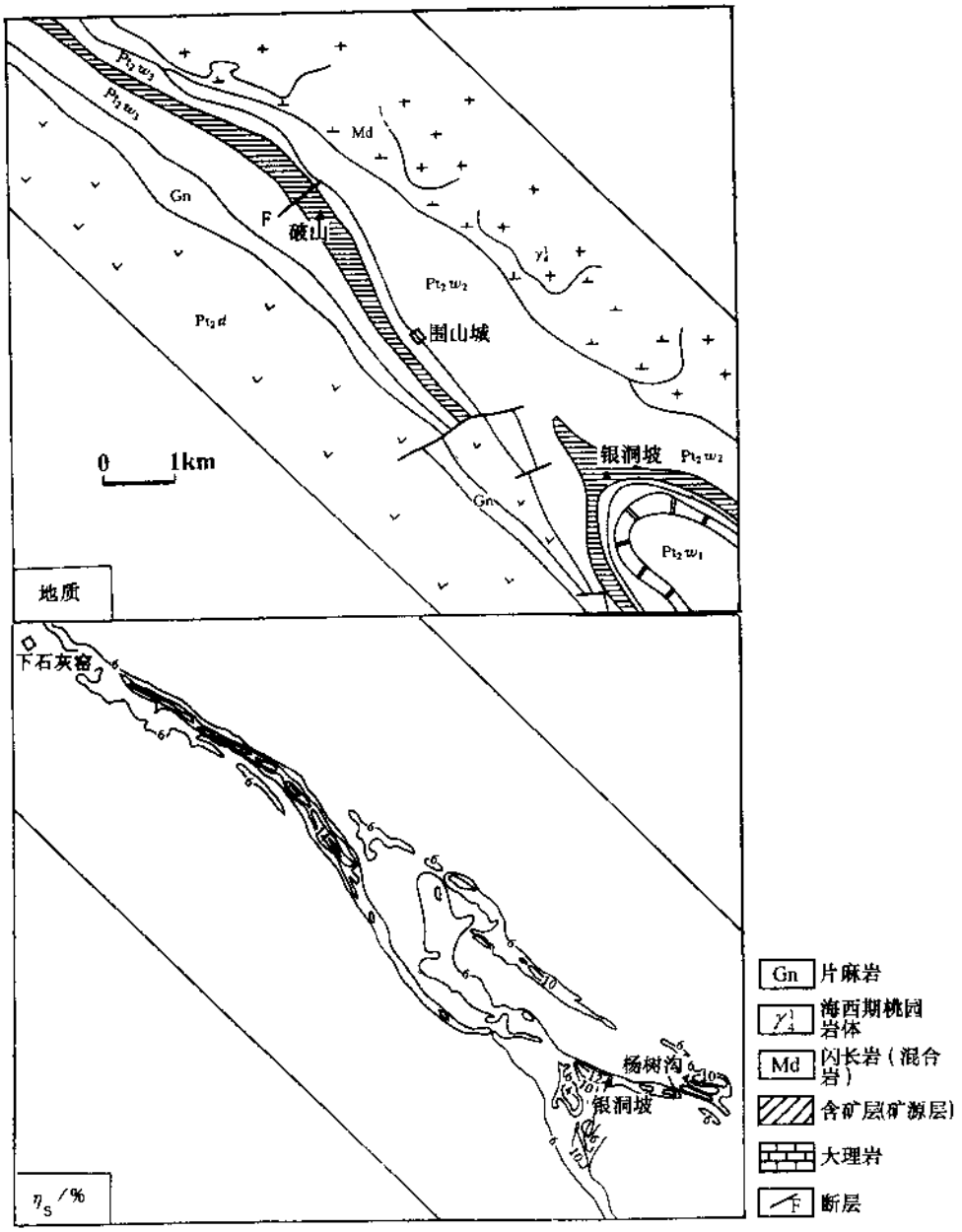


图 10.3 围山城金银矿田激电异常平面图

（引自曾绍金等，1980；张乃昌，1983）

银洞坡金银矿床

激电异常：

中梯装置：异常连续性较差（图 10.7），η_S 异常幅度略低（8% ~ 12%）。0 勘探线物探综合剖面（图 10.8）显示曲线圆滑，北陡南缓，$\eta_{S\,max}$ = 13.8%，反映矿体主要赋存于背斜南翼，且矿带向南倾斜；在矿体倾斜方向上方，有明显的低电阻率异常。

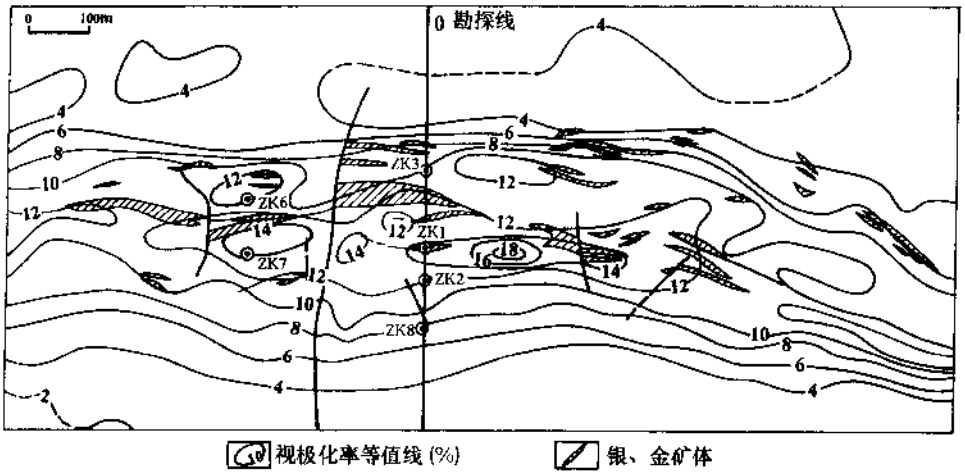


图 10.4 破山银矿视极化率等值线平面图

（引自曾绍金等，1980）

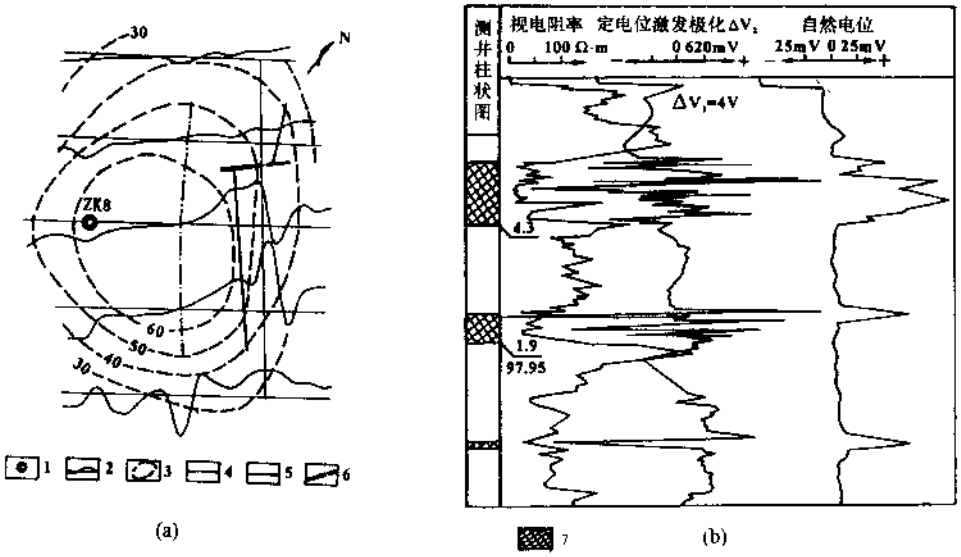


图 10.5 破山矿区 ZK8 孔充电法成果平面图（a）与 ZK41 孔综合测井成果图（b）

（据曾绍金 1997 年资料编绘）

1—充电钻孔；2—电位梯度曲线；3—电位等值线；4—充电轴（电位梯度零值点联线）；5—推断充电矿体顶端地表投影；6—推断断层；7—推断矿层

联剖装置：曲线规则，在矿头附近出现 η_S 反交点和 ρ_S 正交点，并随电极距增大，交点位置略向矿体的倾斜方向移动。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

区内主要电性干扰为石墨化绢云石英片岩，但因其分布不广，只在局部受挤压强烈或靠近岩体部位出现，且规模较小，故可借助其他方法予以区分。

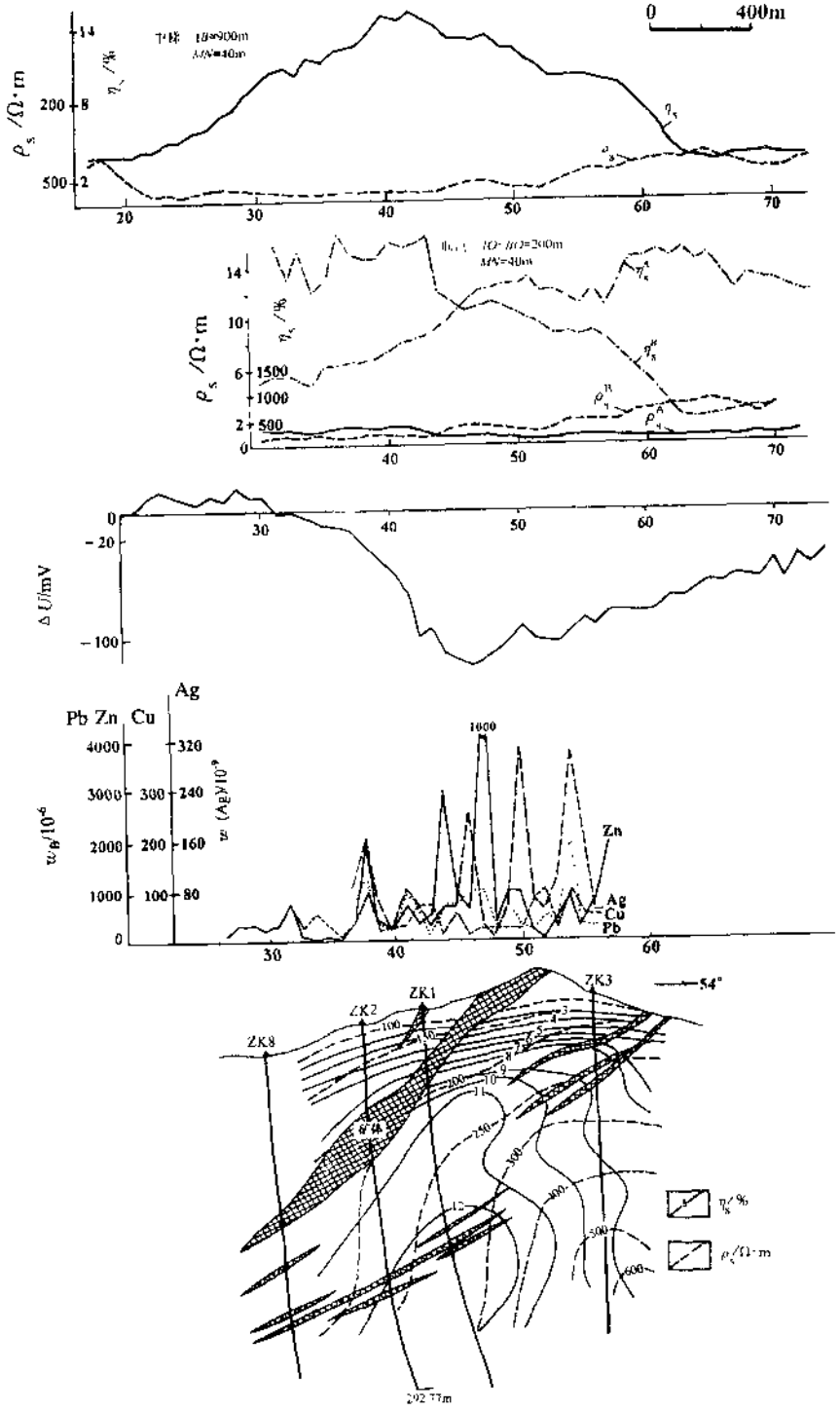


图 10.6　破山银矿床 0 勘探线综合剖面图

（引自曾绍金等，1980）

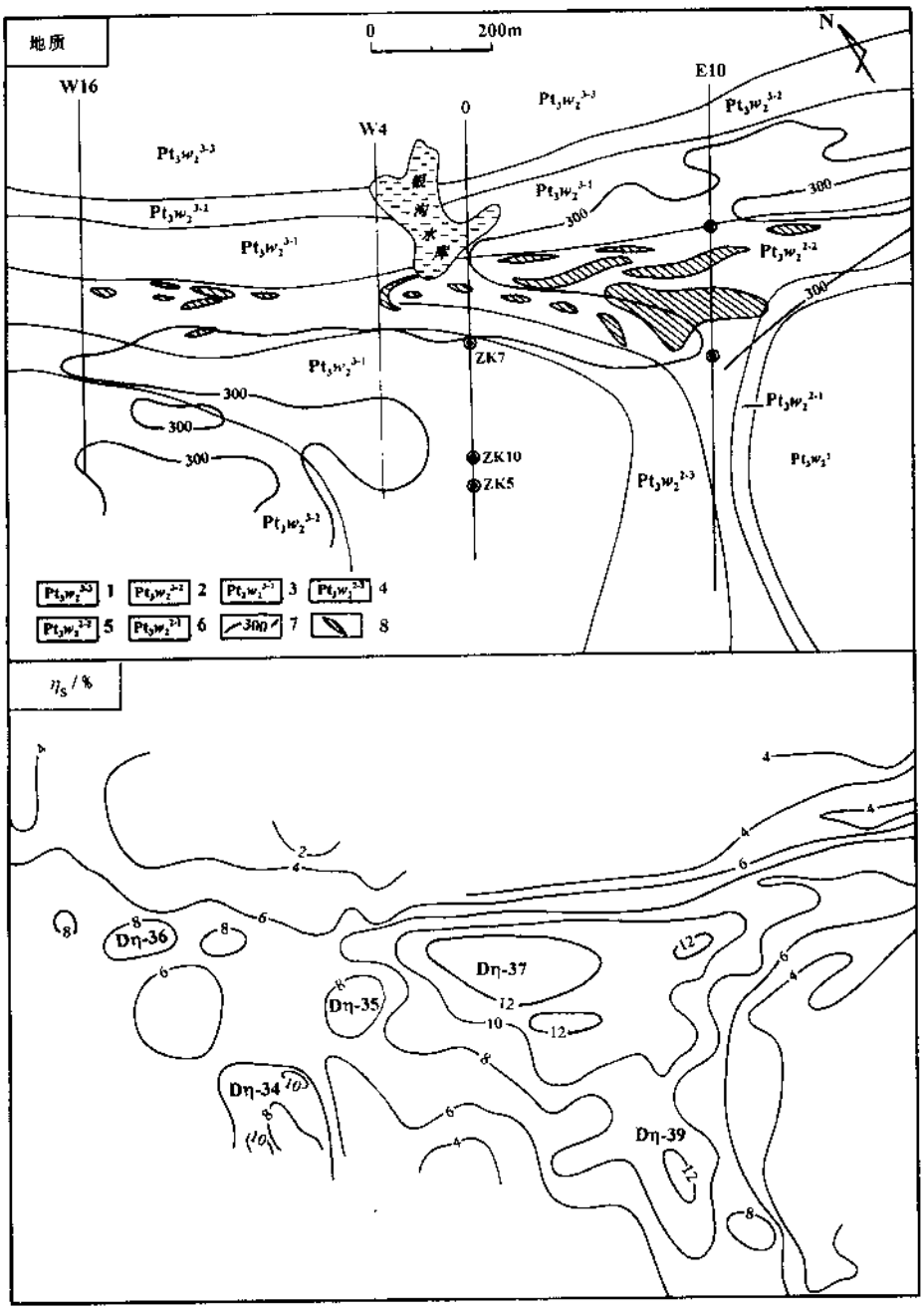


图 10.7　银洞坡金银矿区激电法视电阻率、视极化率等值线平面图

（据邹光华等，1996 年资料编绘）

1—歪头山组中部第三段第三层；2—第三段第二层；3—第三段第一层；4—第二段第三层；5—第二段第二层；6—第二段第一层；7—视电阻率等值线（单位：Ω·m）；8—矿体及编号

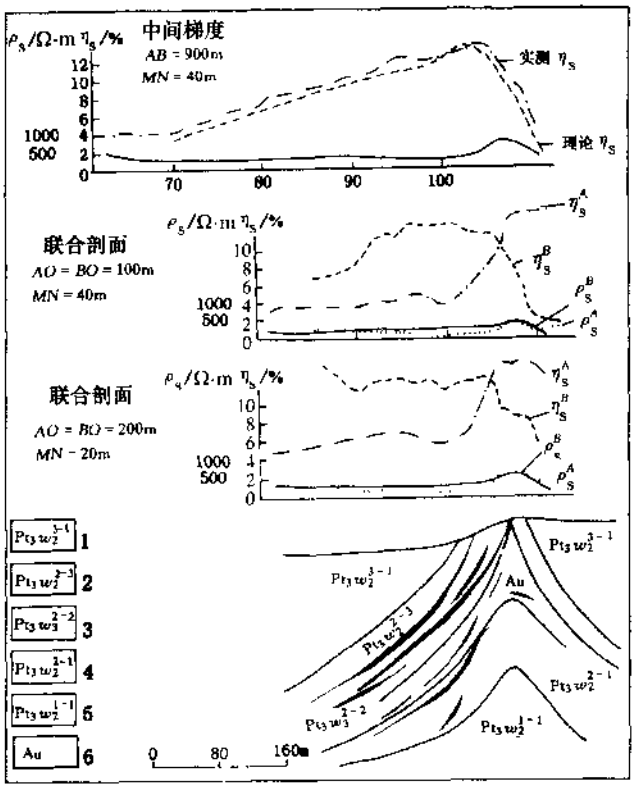


图 10.8　银洞坡金银矿区 0 线综合剖面图

（引自邹光华等，1996）

1—歪头山组中部第三段第一层；2—第三段第三层；3—第二段第二层；4—第二段第一层；5—第一段第一层；6—金矿体

五、矿区地球化学特征[1][2]

1. 岩矿石地球化学参数

矿田内主要地质单元成矿元素含量特征如下。

（1）矿田区歪头山岩组的中部和上部岩层中，Au、Ag 元素含量明显高于其他地质单元，其浓集系数分别为 7.73、49.8 和 4.49、65.8（表 10.5）。根据地球化学特征分析，歪头山组中部为金的赋矿岩层；上部为银矿赋矿层位。歪头山岩组中、上部 Pb、Zn 元素含量随 Au、Ag 元素含量增高而增大；反映两组地层在沉积成岩和区域变质之后，Au、Ag、Pb、Zn 等主要成矿元素仍显示有富集现象。

（2）破山矿区歪头山岩组主要岩层微量元素含量统计（表 10.6），上部层位 Ag 的浓集系数为 25.6，Ag、Pb、Zn 等主要成矿元素又以其第二岩性段为最高。

（3）蚀变岩石较同类未蚀变岩石的 Au、Ag、Pb、Zn、Mn 等元素含量明显增高（表

[1] 万欣，鄢安禄等。河南省桐柏县破山银矿床原生地球化学模式研究报告。河南省地矿局第三地调队，1983。

[2] 万欣。河南破山银矿床原生地球化学异常特征及找矿平价指标。银矿地球化学勘查论文集（李惠主编审），白银地质勘查基金办公室，1992。

10.7)，其中尤以硅化蚀变最为突出。

2. 地球化学异常

破山矿床

(1) 岩石测量（图 10.9)。矿床区，主要异常元素有 Ag、Pb、Zn、As、Cd 等，次要元素有 Cu、Mn、Ni、Co、Mo 等。Ag、Pb、Zn 及伴生元素 As 等异常范围大，形态较规整，浓度分带清晰。受断裂和含矿地层影响，异常在平面上，呈长条状或不规则带状展布。

(2) 岩石地球化学异常剖面。0 勘探线剖面，异常显示呈似层状、长条状及透镜状（图 10.10)。

银洞坡矿床

矿区地表土壤和岩石（1∶1 万～1∶2.5 万）地球化学测量表明，利用 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等指示元素可圈定含矿层及赋矿部位。

表 10.5　圈山城矿田主要地质单元成矿元素含量及浓集系数

地层及岩体	块数	Au		Ag		Pb		Zn		Cu	
		均值	K^{**}	均值	K	均值	K	均值	K	均值	K
大栗树组	14	0.54	0.60	0.67	12.2	11.4	0.76	214.2	2.82	82.9	3.19
歪头山岩组上部	>100	4.04	4.49	3.62	65.8	52.2	3.48	262.3	3.45	63.6	2.45
歪头山岩组中部	>200	6.96	7.73	2.74	49.8	61.2	4.08	200.4	2.64	65.6	2.52
歪头山岩组下部	101	1.16	1.29	0.38	6.9	28.1	1.87	152.0	2.00	54.0	2.08
混染带	13	0.53	0.59	0.39	7.1	18.7	1.24	186.5	2.45	84.6	3.25
桃园黑云斜长花岗岩体	34	3.5	3.89	0.19	3.4	19.9	1.32	26.9	0.35	10.8	0.42
梁湾似斑状二长花岗岩体	14	3.8	4.22	0.14	2.5	37.0	2.47	62.3	0.82	25.1	0.96
中国东部地壳丰度估计值*		0.9		0.055		15		76		26	

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。据韩存强等 1996 年资料整理；* 为引自鄢明才等资料，1997；K^{**}（浓集系数）＝元素平均含量/中国东部地壳丰度。

表 10.6　破山银矿区主要岩层微量元素含量及浓集系数

岩　层	Ag	Pb	Zn	Cu	Mo	Mn	Ni	Co	F	Ba
	平均含量 (10^{-6}) /K									
歪头山岩组上部	1.41 25.6	71.2 4.7	223 2.9	31.2 1.2	1.8 3.6	743 0.9	13.2 0.4	11.6 0.6	554 1.0	321 0.5
歪头山岩组上部第二岩性段	2.06 37.4	96.2 6.4	268 3.5	33.1 1.3	2.0 4.0	825 1.0	12.9 0.4	10.4 0.5	575 1.1	279 0.4
歪头山岩组中部	0.38 6.9	22.5 1.5	161 2.1	81.1 3.1	0.8 1.6	786 1.0	31.9 1.0	31.2 1.6	402 0.7	168 0.3
中国东部地壳丰度估计值*	0.055	15	76	26	0.5	810	31	19	540	620

* 为引自鄢明才等资料，1997。　　据万欣等 1983 年资料整理。

表 10.7　银洞坡金银矿床蚀变围岩微量元素含量统计表

岩矿石类型	Au	Ag	Pb	Zn	Cd	Cu	Mo	Mn	Ni	Co	As
炭质绢云石英片岩	1.22	≥5	200	750	5	30	5	750	10	7	6
硅化炭质绢云石英片岩	26.85	>50	≤2000	2000	25	70	5	3000	≥50	≤30	3
硅化碳酸盐化炭质绢云石英片岩	8.21	>20	≤1000	≥2000	25	70	≤20	≤5000	50	≥20	6
碳酸盐化炭质绢云石英片岩	2.76	>10	1500	1000	10	30	2	≤10000	35	10	12
不等粒黑云变粒岩	0.51	≤0.5	30	200	<5	20	3	1000	5	5	<2
绢云母化不等粒黑云变粒岩	1.31	10	350	≥700	7	30	3	1000	5	10	8
绢云母化炭酸盐化黑云变粒岩	2.29	>10	≥2000	≤5000	50	50	2	≤3000	10	10	12
碳酸盐化高岭土化黑云变粒岩	1.09	≤10	700	1500	20	≤30	1	1000	≤10	≤10	3
斜长角闪片岩	0.68	0.15	≥10	75	<5	100	0.5	500	30	≥20	<2
碳酸盐化斜长角闪片岩	1.94	≤5	≤30	100	<5	≤100	≤1	1000	25	≤30	2

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；引自韩存强等，1993。

（1）岩石测量（图 10.11）：

显示 Au、Ag 异常关系密切，其形态相似，范围基本一致；异常与矿体对应较好，并受地层与断裂构造控制。As、Pb、Zn、Cd 元素与 Au 异常密切相伴，Cu、Mo、Ni、Co 异常等仅在 Au 异常的部分地段出现。浅部矿体及剥蚀出露矿体上有 Au、Ag、As、Pb、Zn 的强异常，且有明显的浓度分带。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面（图 10.12）：

矿体的上、下盘异常不发育。背斜轴部的盲矿上方出现 Au、Ag、As、Pb、Zn、Cd 等元素中、外带异常；矿体的尖灭部位有 Au、Ag、As、Pb、Zn、Co、Mo 的中、外带异常。

据剖面中异常元素相关分析，Au 与 Ag、As、Co 相关，Ag 与 Pb、Zn、Cd 相关，Cu 与 Pb、Zn、Cd、Mo 相关。

3. 元素分带序列与矿化剥蚀程度评价指标

破山矿床：

主成矿元素有明显的浓度分带。以 Ag 的内带为核心，主要元素的异常呈环状或半环状依次叠合分布。如 AⅠ号矿异常，浅部以 As、Ag、Pb 异常为主；中部为 Cu、Ni、Co、Mn 异常；深部出现 Zn、Cd、Mo 异常。矿床剥蚀程度判别指标见表 10.8。

异常的轴向分带序列，由上至下为：As、Pb—Ag—Cu—Ni—Co—Mn—Mo、Cd、Zn。

银洞坡矿床：

元素分带自上而下为：As—Zn—Cd—Au—Ag—Pb—Cu—Mo—Co（Ni）。

矿床剥蚀程度判别指标见表 10.9.

4. 地球化学异常模型

破山银矿床和银洞坡金银矿床地球化学异常模型见图 10.13（a）和 10.13（b）。

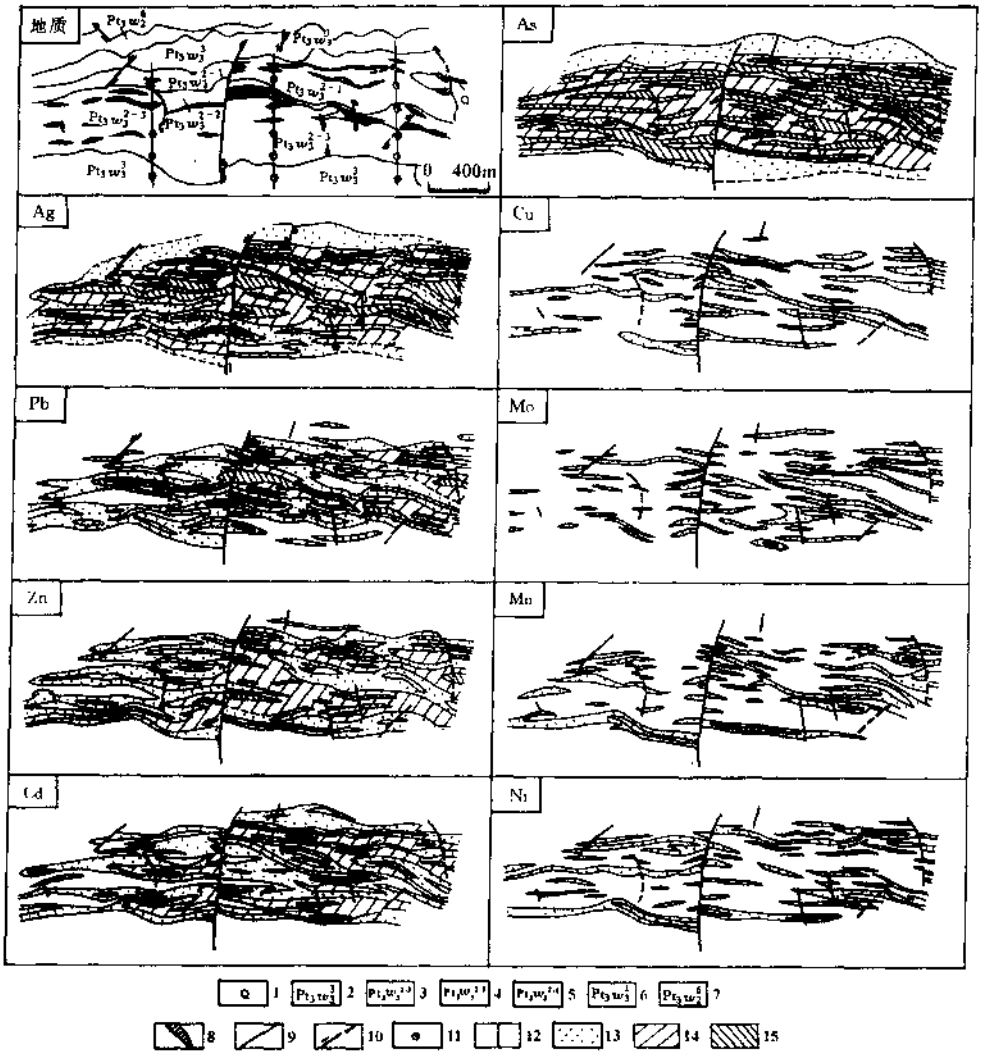


图 10.9 破山银矿区 E12 线—W8 线地球化学异常平面图

（引自万欣等，1983）

1—第四系；2—歪头山组上部第三段；3—上部第二段第三层；4—上部第二段第二层；5—上部第二段第一层；6—上部第一段；7—中部第六段；8—银矿体；9—地质界线；10—实测与推测断层；11—钻孔；12—勘探线；13～15—异常内、中、外带

表 10.8 破山矿床剥蚀程度判别指标

剥蚀部位	主要元素组合	伴生元素	$w(Ag)\times100/w(Zn)$ 或 $w(Ag)/w(Cd)$	$w(Ag)\times100/w(Zn)$ 或 $w(Ag)/w(Cd)$	$\frac{w(Ag)}{w(Mo)}$	$\frac{100\times w(Ag)\times w(As)}{w(Zn)\times w(Cd)}$
矿上部	Ag As Pb	Cd Zn Cu Mn(Sb Mo)	>2.5	≥1.0	>8	>7.0
矿中部	Ag Pb Zn Cd Cu	As Mn Mo Ni Co	2.5～0.7	>0.2	>2	7.0～0.1
矿下部	Ag Cd Zn Mo	Pb Cu Mn Co As	<0.2	≤0.2	<2	<0.1

引自万欣等，1983。

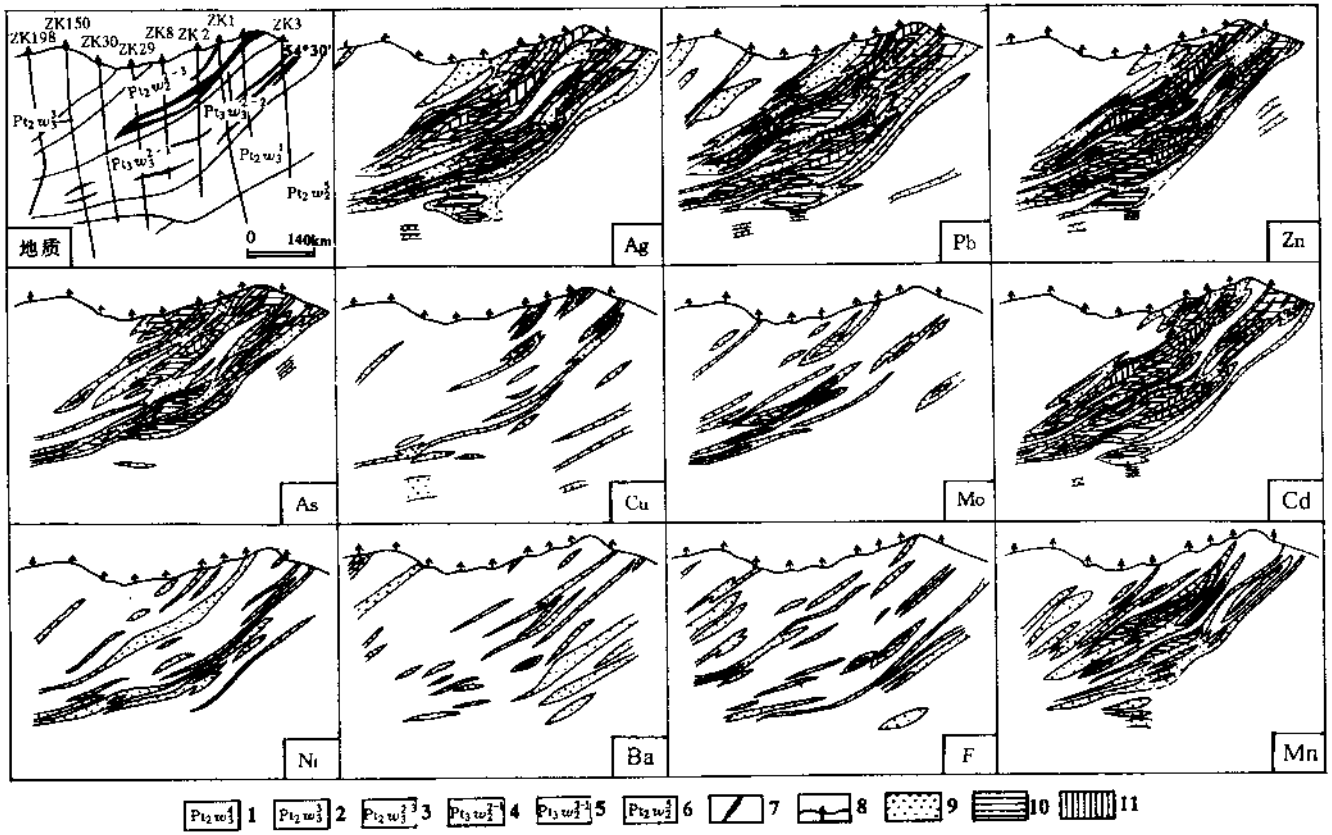


图 10.10　破山银矿区 0 勘探线钻孔岩石地球化学异常剖面图

(引自万欣等,1983)

1～6 图例中 w_3^1 上角第一数字为几段,后一数字为第几组;7—银矿体;8—钻孔;9—异常外带;10—异常中带;11—异常内带

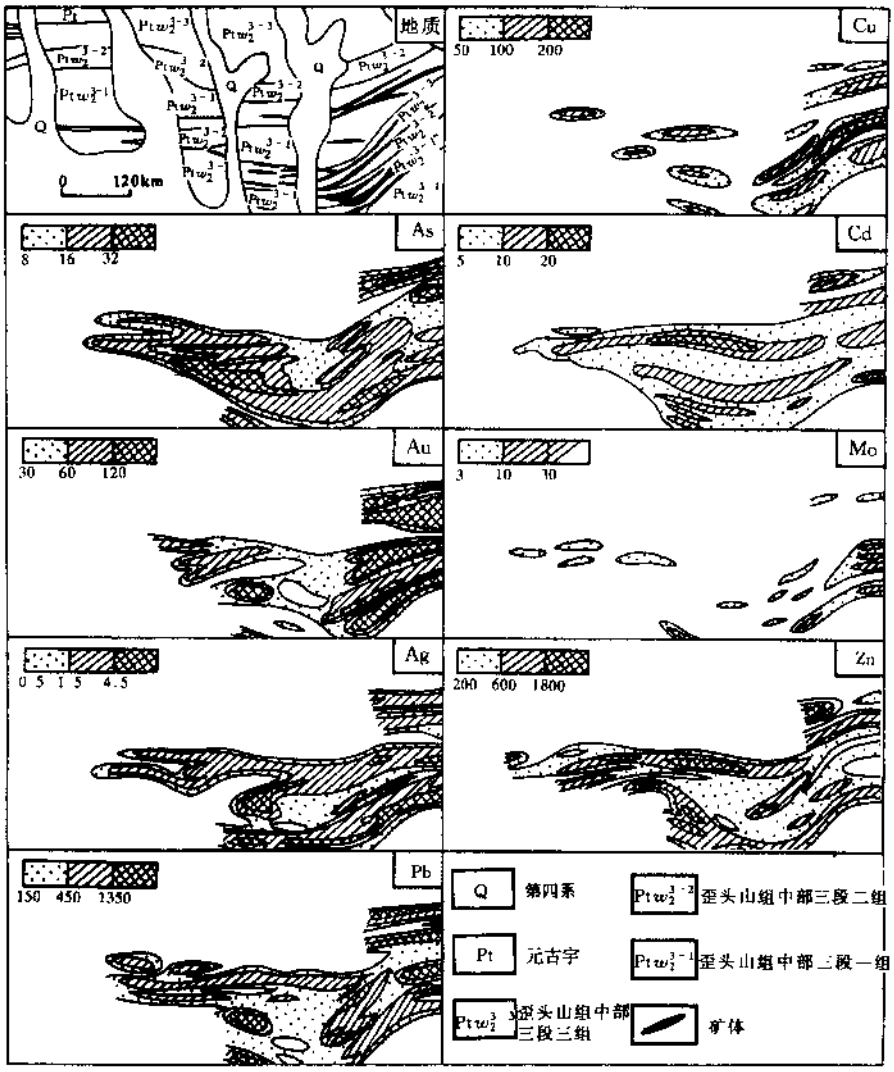


图 10.11　银洞坡金银矿区 W4—W32 线地球化学异常平面图

（引自韩存强等，1996）

元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

表 10.9　银洞坡矿床剥蚀程度判别指标

矿体部位	特征元素	$w(As)+w(Cd)+w(Au)/$ $w(Ni)+w(Co)+w(Mo)$	$w(Au)\times w(As)\times 10/$ $w(Ni)\times w(Mo)$	$w(As)/w(Mo)$
前缘	As Zn Cd	≥10	≥10	≥4
矿中	Au Ag Pb	≥1	≥4	≥2
尾部	Co Mo	<0.2	<0.3	<0.4

引自韩存强等，1993。

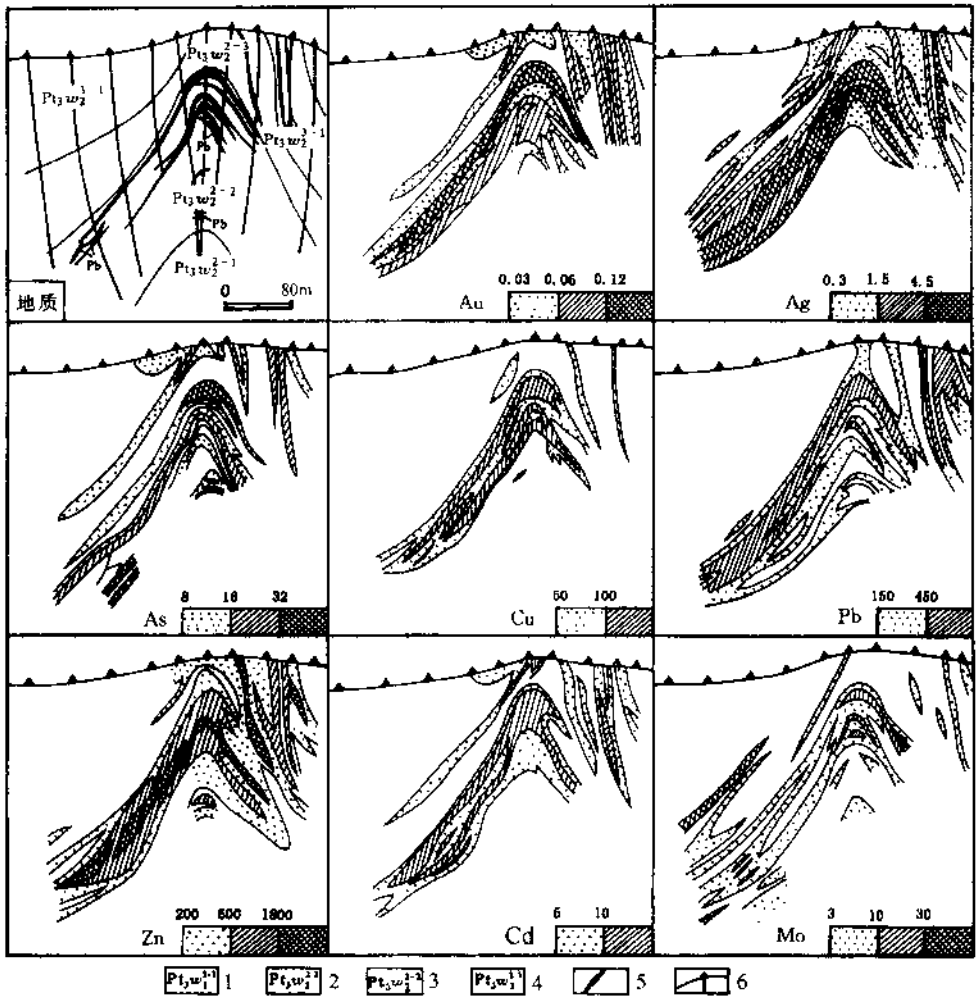


图 10.12　银洞坡金银矿区 W6 勘探线地球化学异常剖面图

（引自韩存强等，1996）

1—歪头山组中部三段一组；2—歪头山组中部二段三组；3—歪头山组中部三段二组；4—歪头山组中部二段一组；5—矿体；6—钻孔。元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余为 10^{-6}

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 围山城金银矿田矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 10.10。

2. 围山城金银矿田矿床地质-地球物理-地球化学模型见图 10.13。

3. 围山城金银矿田矿床优选勘查方法组合及工作流程

（1）发现和圈定含金银矿化异常：以 1∶20 水系沉积物测量为主，配合 1∶20～1∶10 万区域重、磁调查，圈定与成矿带有关的深断裂。

表 10.10　围山城金银矿田矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	围山城金、银成矿带位于秦岭-大别褶皱带中桐柏-大别地块西尖灭端的北缘；羊册—明港、桐柏—商城两个深断裂之间	
	地球物理场	矿田处于北西西向桐柏—大别(或南阳—英山)重力低北缘梯度带；磁场较为复杂，场值不高，异常亦呈北西西向延伸	
	地球化学场	区域地球化学场显示在 Au、Ag 元素的高背景区内的局部浓集区，并伴有 Pb、Zn、As、Sb、Cd、Ni、Co、Mo、Mn 等元素异常	
地质	地层	歪头山组：中段为变粒岩、云母石英片岩及斜长角闪片岩，间夹炭质绢云母石英片岩，为主要含金层位；上段为黑云母变粒岩及角闪斜长片岩互层，间夹炭质绢云母石英片岩及少量大理岩透镜体，为主要含银层位	
	构　造	区域性韧性剪切带或挤压剪切构造	
	岩浆岩	海西晚期—燕山期中酸性侵入岩	
	围岩蚀变	广泛、强烈的硅化，伴随强度较弱的绢云母化、碳酸盐化 (一般蚀变与矿化呈正相关，蚀变愈强，矿化愈好)	
	赋矿部位	与 NW 向背斜和 NE 向背斜轴平行的一系列层间剪切带；或褶皱转折端、倾伏端的断裂部位	
	主要矿石矿物	自然金(银洞坡)、自然银(破山)、银金矿、辉银矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿等	
	直接找矿标志	氧化带中褐铁矿化和黄钾铁矾化	
地球物理	探测目标物	含矿层：上元古界歪头山岩组	含矿岩石：矿化炭质绢云石英片岩
	目标物物性特征	较其他岩层及岩体的极化率高	中高极化(21.9%)；低阻($2\times10^4\Omega\cdot m$)； 围岩为：微极化(<2%)； 中—高阻，$4.09\times10^2\Omega\cdot m$
	地表异常特征	破山矿区：η_S 大于 10%、激电异常规则，连续性好，与上部含矿层对应；异常中部转折段宽度较大地段与银矿分布区对应。 银洞坡矿区：激电异常中间段宽，η_S 大于 12%；东、西端窄，与中部含矿层对应较好，中段宽而强的异常部位为主矿段分布区	激电：中梯异常宽缓或呈不对称形态，伴有宽阔的低阻带；联剖曲线在矿上呈正交点。 充电法：电位、梯度均有异常； 自电：当条件有利时，有自电异常，其极小值 $\Delta U_{min}<-200mV$
	干扰异常	石墨化绢云石英片岩为主要电性干扰，因这类岩石分布不广，不会形成大的干扰	
地球化学	异常元素组分	主要组分：破山矿床 Ag Pb Zn Cd As(Cu Mn)银洞坡矿床 Au Ag As Cd Pb Zn 前缘元素：Ag、As、Pb　　As、Zn、Cd 近矿元素：Ag、Pb、Zn、Cd、Cu　　Au、Ag、Pb 尾部元素：Ag、Cd、Zn、Mo　　Co、Mo、Cu、Ni	
	元素浓度分带	银洞坡：Au：30～60～120　Pb：150～450～1350　Cu：50～100～200　Ni：30～90～270 Ag：0.5～1.5～4.5　Zn：200～600～1800　Mo：3～10～30　Co：20～60～100 As：8～16～32　Cd：5～10～20	
	主要元素异常形态与分布范围	破山：Ag、Pb、Zn、As 异常范围大，平面上呈长条状或不规则带状； 银洞坡：Au、Ag 异常形态相似，范围基本一致，其内带异常与矿体对应较好；As、Pb、Zn、Cd 与 Au、Ag 异常密切相伴，Cu、Mo、Ni、Co 异常仅在 Au 异常部分地段出现	
	其他特征	浅剥蚀判别指标：银洞坡矿床：$w(As)+w(Cd)+w(Au)/w(Ni)+w(Co)+w(Mo)>10$ 或 $10\times w(Au)\times w(As)/w(Mo)\times w(Ni)>10$ 破山矿床：$100\times(Ag)\times w(As)/w(Zn)\times w(Cd)>7$ 或 $w(Ag)/w(Mo)>8$	
备　注			

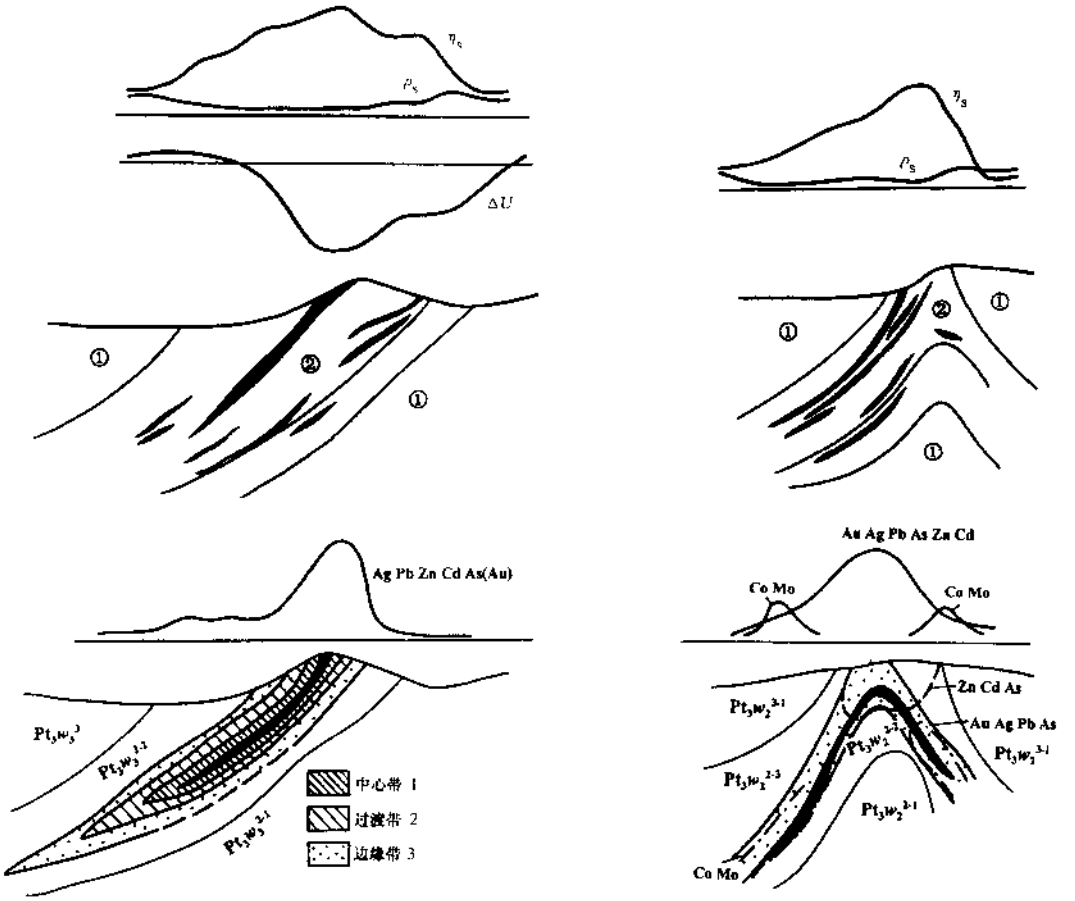


图 10.13　围山城金银矿田矿床地质-地球物理-地球化学模型

1—中心带 Ag(内)，Pb、Zn、Cu、As(内-中)，Cu、Mn(中-外)，Ni、Mo、Co(外)；2—过渡带 Ag(中)，Pb、Zn、Cd、As(中-外)，Mn、Cu(外)；3—边缘带 Ag、As、Pb、Zn(Cd)(外)

(2) 发现和圈定含矿岩层：1:5 万 ~ 1:2.5 万水系沉积物测量，配合激发极化法，进一步缩小和圈定异常范围及含矿层的分布。

(3) 在含矿岩层中圈定赋矿部位：1:2.5 万 ~ 1:1 万激发极化法和岩石或土壤地球化学测量，圈定赋矿部位，并大体确定其产状及矿化的剥蚀程度。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 10.A 围山城金银矿田矿床地质特征简表。

表 10.B 围山城金银矿田矿床地球物理特征简表。

表 10.C 围山城金银矿田矿床地球化学特征简表。

表 10.A　围山城金银矿田矿床地质特征简表

地理位置		河南省桐柏县围山城镇　1:20 万 I-49-（36）		
矿床类型		变质热液型	矿石建造	Au、Ag（Pb、Zn）
矿床规模、品位		银洞坡：Au 2～8g/t、Ag 50～100g/t 破山：Ag 289g/t	容矿岩石	炭质绢云母石英片岩
成矿环境	构造背景	矿田位于秦岭-大别褶皱带内桐柏-大别地块西尖火端的北缘。		
	地　层	出露地层主要为古元古界歪头山组，为一套火山沉积岩组成，与上部大栗树组呈不整合接触。歪头山组自下而上分为三段：下段为大理岩与斜长角闪岩互层；中段由变粒岩、云母石英片岩及斜长角闪片岩组成，间夹炭质绢云母石英片岩；上段为黑云母变粒岩及角闪斜长片岩互层，间夹炭质绢云母石英片岩及少量大理岩透镜体。各段均有一个含矿层位，以中、上段为主		
	构　造	纵贯成矿带的盘古山韧性剪切带及 NW 向背斜，和东部 NE 向背斜控制赋矿地层展布；与背斜轴平行的一系列层间剪切带，以及褶皱的转折端、倾伏端的断裂部位控制矿床和矿体分布		
	岩浆岩	区内岩浆活动十分频繁，从超基性到酸性岩、碱性岩均有出露。 矿带东北出露海西期桃园黑云斜长花岗岩体，西北部出露燕山期梁湾似斑状二长花岗岩体		
	主要控矿因素	上元古界歪头山组为主要矿源层；海西期花岗岩可能为潜在矿源层。 NW 向褶皱及其伴生的顺层剪切带、共轭逆冲剪切带，控制含矿地层的展布，并控制了矿体的富集和赋存空间		
矿床特征	成矿岩体			
	容矿构造	NW 向褶皱及其伴生的顺层剪切带、共轭逆冲剪切带		
	矿化阶段			
	蚀变	广泛而强烈的蚀变为硅化，分布于矿体及近矿围岩中；绢云母化与硅化相伴，但强度较弱。一般蚀变与矿化呈正相关，蚀变愈强，矿化愈好		
	矿化分带			
	矿体特征	金属矿物：自然金（银洞坡）、自然银（破山）、银金矿、辉银矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿等		
		矿石特征：矿石构造一般为浸染状、脉状、斑点状，局部呈块状		
		矿体形态：呈平行排列，具多层重叠现象，构成宽大的矿脉群 银洞坡：矿体产状与地层一致，延伸达 600m。背斜轴部呈鞍状，两翼呈似层状、透镜状 破山：矿体呈层状雁行排列，长数百米到千米，宽 10～100m，厚数米		
	脉石矿物	石英、绢云母、长石、绿泥石等		
表生地质		氧化带中褐铁矿化和黄钾铁矾化是明显的找矿标志		
地貌景观		半湿润中低山区		
备　注				

表 10.B　围山城金银矿田矿床地球物理特征简表

区域场	重力场		1:100 万布格重力异常图显示矿田区处于北西西向桐柏-大别（或南阳-英山）重力低北缘梯度带上
	磁场		1:100 万航磁图显示区域磁场正、负交接带偏正磁场一侧，场强一般为 0 ~ 50nT，ΔT 等值线呈北西西向延伸
	其他		
矿区（田）异常	重力异常		围山城矿田处于似葫芦状重力低异常的西南部边缘；剩余重力异常似椭圆形，长轴呈北西向，长 5.5km，宽约 2km
	磁力异常		航磁 ΔT 在桐柏地区呈北西走向，正、负相间平行排列的条带状磁异常，强度一般约 200nT，正磁异常有的可达 400nT；围山城矿田处于负磁异常带中
	电异常		矿田对应激电异常带，西起陈庄下石灰窑，东至杨树沟尚未封闭，走向北西，长 15km，宽 200 ~ 3000m；东部分成两叉，东南部尚未封闭。其中破山矿区处在激电异常带的北西部；银洞坡矿区位于矿田异常带东部
	其他		
矿床异常	重力异常		
	磁力异常		
	电异常	激电异常	破山矿床：异常形态规则，连续性好，长 8.9km，宽 200 ~ 700m，视极化率 η_S > 10%；异常对应于上部含矿层，其中部转折地段宽度较大，为银矿分布区。 银洞坡矿床：异常长 4.8km，宽 100 ~ 500m，东、西两端窄，中间宽；η_S 西段 6% ~ 8%，东段 8% ~ 10%，中段大于 12%。异常与中部含矿层的分布对应较好，中段宽而强的异常为主矿段分布区
		电阻率异常	对应激电异常呈较宽阔的低阻带，ρ_S < 500Ω·m；氧化矿在低阻带的边缘，或高、低阻交接处。联合剖面出现不明显的正交点，并向矿化层倾斜方向位移
		电磁异常	矿化层上方出现较宽阔的虚分量正异常。
		其他	

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		磁性		电性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	η/%	ρ/Ω·m
	第四系	1.85		< 10^1	< 10^1		
	第三系	2.01		1.33×10^2	< 10^1		
	白垩系	2.20		1.16×10^2	7.8×10^1		
	石炭系	2.34		1.38×10^2	6.1×10^1		
	太古宇—下古生界	2.63		1.87×10^3	1.03×10^3		
	酸性侵入岩类	2.48		6.0×10^2	4.96×10^2		
	含矿岩石					21.9	2.0×10^1
	围岩为片岩、变粒岩等					1.82	4.09×10^3
	大理岩						2.25×10^3
	干扰为石墨化绢云片岩					52.4	8.6×10^1
备　注							

表 10.C　围山城金银矿田矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Au、Ag、Pb、Zn、As、Cd 等	
	空间分布	1:20 万水系沉积物测量显示 Au、Ag 元素沿歪头山组岩层形成强异常，NW 向带状分布，面积分别为 40km² 和 20km²，异常在矿带中部套合，Au 的浓集中心位于银洞坡；Ag 的浓集中心位于破山。受 NW 向构造和歪头山组层位控制，形成 Au、Ag、Pb、Zn、As、Cd、Ni、Co、Mo、Mn 组合异常	
	元素浓度分带	Au:3 ~ 10　　Pb: > 40　　Mn: > 1500 Ag:0.15 ~ 0.25　　Cd: > 0.2　　Hg: > 0.1	
	元素水平分带		
	其他特征		
矿床异常	元素组分	破山银矿床	银洞坡金银矿床
		Ag、Pb、Zn、Cd、As、(Cu、Mn)	Au、Ag、As、Cd、Pb、Zn
	空间分布	Ag、Pb、Zn、As 异常范围大，呈带状展布，形态较规则。受构造与歪头山组岩层控制，其异常在平面上呈长条状或不规则带状	Au、Ag 异常形态相似，范围基本一致，其内带异常与矿体对应较好，并受地层与构造控制；As、Pb、Zn、Cd 与 Au、Ag 异常密切相伴，Cu、Mo、Ni、Co 异常仅在 Au 异常部分地段出现
	元素浓度分带		Au:30 ~ 60 ~ 120　　Zn:200 ~ 600 ~ 1800 Ag:0.5 ~ 1.5 ~ 4.5　　Cu:50 ~ 100 ~ 200 As:8 ~ 16 ~ 32　　Mo:3 ~ 10 ~ 30 Cd:5 ~ 10 ~ 20　　Ni:30 ~ 90 ~ 270 Pb:150 ~ 450 ~ 1350　　Co:20 ~ 60 ~ 100
	元素分带序列	自上而下： As、Pb、Ag-Cu、Ni、Co、Mn-Mo、Cd、Zn 浅部—中部—深部	自上而下：As-Zn-Cd-Au-Ag-Pb-Cu-Mo-Co(Ni) 前缘元素—近矿元素—尾部元素 As、Zn、Cd—Au、Ag、Pb—Cu、Mo、Ni、Co
	元素间相关性	破山：Ag、Pb、Zn、Cd 之间呈显著正相关，并组成主成矿因子 银洞坡：Au 与 Ag、As、Co、Ag 与 Pb、Zn、Cd、Cu，Cu 与 Pb、Zn、Cd、Mo 相关	
	其他特征	银洞坡矿区：Au、Ag、As、Pb、Zn、Cd 的中外带异常可作为寻找盲矿的指示元素组合	
矿体剥蚀程度评价指标		银洞坡矿床 特征元素 $w(As)\cdot w(Cd)\cdot w(Au)/w(Ni)\cdot w(Co)\cdot w(Mo)$ 破山矿床 特征元素 $w(Ag)/w(Mo)$ 浅剥蚀　As　Zn　Cd≥10　　浅剥蚀　Ag　As　Pb　>8 矿中部　Au　Ag　Pb≥1　　矿中部　Ag　Pb　Zn　Cd　Cu　>2 深剥蚀　Co　Mo<0.2　　深剥蚀　Ag　Cd　Zn　Mo　<2	

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	备注
歪头山岩组上部	63.6	52.2	262	4.04	3.62									矿田区
歪头山岩组中部	65.6	61.2	200	6.96	2.74									
歪头山岩组下部	54.0	28.1	152	1.16	0.36									
绢云石英片岩①	70	≤2000	2000	26.85	>50			5	≥50	≤30	3			银洞坡矿区
绢云石英片岩②	70	≤1000	≥2000	8.21	>20			≤20	50	≥20	6			
歪头山岩组上部	31.2	71.2	223		1.41			1.8	13.2	11.6				破山矿区
歪头山岩组中部	81.1	22.5	161		0.38			0.8	31.9	31.2				

备　注	元素质量分数单位：Au 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；①硅化炭质绢云石英片岩；②硅化碳酸盐化炭质绢云石英片岩

第十一章　与火山岩有关的矿床——新疆阿希浅成低温热液型金矿床

阿希金矿床[1][2][3][4] 位于新疆伊宁市北 20km。该矿床从 1:20 万区域化探发现 Au 的高含量点，到采用 1:5 万水系沉积物和岩石测量进行异常检查，后经探矿工程初步查明为大型金矿床，仅用了三年时间。

一、区域背景

阿希金矿床位于西天山博罗科努加里东岛弧带西段，吐拉苏火山盆地。属吐拉苏—肯特高尔金铜（钼、铅、锌）成矿带，西与哈萨克斯坦“准噶尔有色、贵金属和稀有金属成矿带”相接。

地球物理背景场处于近南北向区域重力高（幅值 $>5\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$）的东缘梯度带，与北西西向 ΔT 强磁异常的北侧负磁异常（-200nT 左右）的交会部位（图 11.1）；磁异常带向西延出国境。

推测区域重力高为伊犁幔隆的次一级赛里木幔凸的反映，强磁异常带为伊犁陆核（卫磁推断）的异常显示；地壳厚度 49～50km。

矿区位于吐拉苏-肯特高尔 Au、Cu、（Mo、Pb、Zn）地球化学亚区北西侧，异常元素主要有 Au、Cu、Pb、Zn 及 Ag、Hg 等。

二、成矿环境

1. 地层[5]

由前寒武浅海相碳酸盐岩建造构成老基底。中、上奥陶统浅海相碳酸盐岩夹硅质岩、碎屑岩建造，及下志留系中酸性火山岩、碎屑岩、熔岩夹碳酸盐岩建造组成基底地层；海西中期活化，形成上叠火山盆地，沉积了下石炭统地层。

---

[1] 李方久，王元国，于大为等。赛里木湖幅（L-44-XXXIV）1:20 万区域化探说明书。新疆第一区调大队，1987

[2] 毋瑞身，田昌烈，漆树基。新疆伊宁县阿希金矿控矿规律与外围靶区评价研究（85-902-04-01）。沈阳地质矿产研究所，新疆地矿局，1994。

[3] 毋瑞身，黄明杨，田昌烈等。西天山成矿地质条件与矿产资源综合评价研究（85-902-04）。地矿部沈阳地矿所，中国有色金属工业总公司矿产地质研究院，地矿部新疆地矿局第一区调队，西北大学，地矿部物化探研究所，1995

[4] 王玉山，徐良文，吴峰等。新疆伊宁县阿希金矿外围金铜综合物化探普查报告。新疆地矿局物化探大队，1993。

[5] 刘洪林，董连慧。新疆伊宁县阿希金矿地质特征及成因初探。新疆地质矿产局第一地质大队，新疆第二届天山地质矿产讨论会论文集，1991。

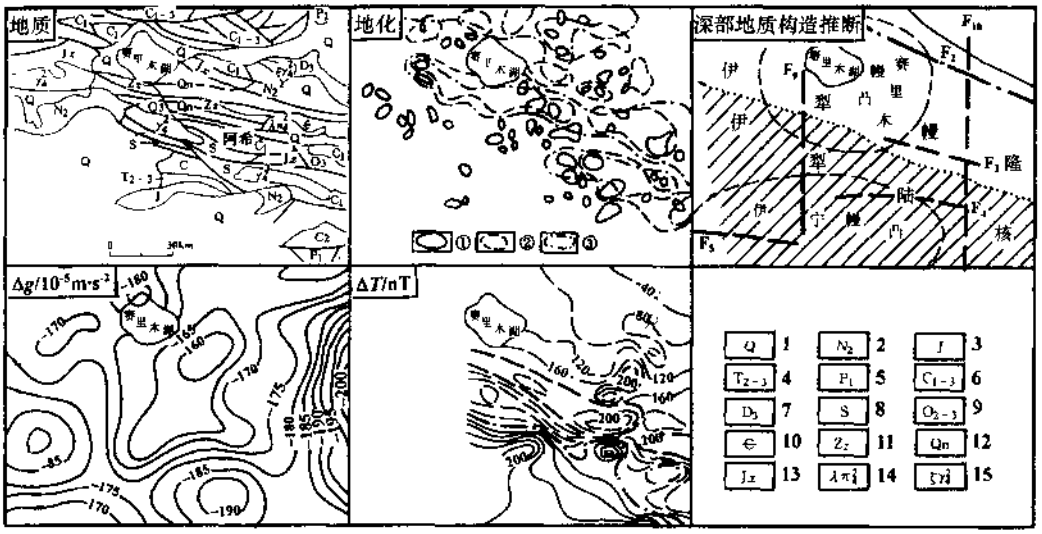


图 11.1　阿希矿床及外围区域背景场剖析图

（毋瑞身等 1995 年资料编绘）

1—第四系；2—砂岩，泥岩；3—砾岩，砂岩，泥岩；4—砾岩，砂岩，泥岩；5—安山岩，凝灰岩；6—灰岩，砂岩，页岩；7—灰岩，砂岩等；8—砂岩，泥灰岩；9—凝灰质砂岩，英安岩，大理岩；10—硅质泥质粉砂岩，灰岩；11—泥岩，灰岩，凝灰岩；12—变质砂岩，大理岩；13—大理岩，白云岩，石英岩；14—石英斑岩；15—钾长花岗岩。①—Au 含量 2×10^{-9}；②—As、Sb 异常；③—Ag、Hg 异常

矿区内出露地层，主要为下石炭统大哈拉军山组（C_1d）和阿恰勒河组（C_1a）。C_1d 为一套中酸性火山岩建造，不整合于基底地层之上；由下而上可分为呈整合接触的砾岩段、酸性火山灰凝灰岩段、下安山岩段、火山碎屑岩段和上安山岩段共五个岩性段。C_1a 组与下伏 C_1d 组呈角度不整合接触，主要为浅海相灰岩和细碎屑岩沉积，主要岩性有砂岩、砂质泥岩、生物灰岩、砂质灰岩和炭质泥岩等，底部见底砾岩。

2. 构造

区域构造线以 NWW—SEE 为主。矿区内构造以断裂为主，褶皱构造不发育。

断裂形成与火山构造密切相关（图 11.3），依其形式可分为：①分布于火山口外侧的放射状断裂，如 F_{14}、F_{15}等六条；②不规则状断裂，仅见于火山颈相中，如 F_4、F_9 等六条；③分布于火山口缘的环状断裂，包括 F_1、F_2 和 F_6 三条。F_2 断裂是伴随大哈拉军山组火山作用而形成的多期次断裂活动带，为金矿的重要控矿断裂；可能是基底断裂的复活再现。

3. 岩浆岩

区内侵入岩不发育，仅在矿区外围有海西期中—细粒二长花岗岩、黑云母二长花岗岩，中—细粒花岗闪长岩出露。脉岩主要有石英脉、碳酸盐脉及重晶石脉。有的呈较大的单脉产出，有的呈细脉或网脉充填于断裂或裂隙中。

此外，区内存在与火山机构密切相关的岩石，在空间上构成一处保存尚好的中心式古火山机构（破火山口）。由四种岩相组成，即①凝灰岩、火山角砾岩、集块岩组成爆发相；②辉石安山岩、角闪岩组成的溢流相；③英安质安山质角砾熔岩构成的火山颈（管道）

相；④石英角闪安山玢岩组成的次火山岩相。

4. 区域地球化学[1]

（1）微量元素的平均含量。由矿区所处西天山地区主要地质单元水系沉积物的地球化学特征（表 11.1）可见：①与中国（东部）地壳丰度比较，西天山地区除 Au、Zn 低外，余者均较高；②西天山地区石炭系水系沉积物中平均含量除 Au 外，其余元素均较高；其岩石中 Au 含量亦然较低（表 11.2）；③西天山各主要地质单元水系沉积物中，Au 的变异系数均大于 1，显示了 Au 元素的分布不均。

据有关资料，矿区及外围岩石中，高于地壳丰度的元素有 Pb、Zn、Cd、Ag、As、Sb、Bi、Cu 等，反映了亲 S 元素呈高背景值的特征。

表 11.1　西天山地区主要地质单元水系沉积物地球化学特征值

地质单元	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn
第三系（E－N）	0.76/2.10*	72.2/0.2	8.8/0.17	0.67/2.12	11.4/0.16	19.4/0.07	17.6/0.08	52.0/0.03
中生界（T－K）	0.69/2.51	75.2/0.2	8.2/0.19	0.62/2.43	23.2/0.08	23.9/0.06	16.7/0.09	64.7/0.02
二叠系（P）	0.67/2.61	82.4/0.2	11.0/0.13	0.70/2.00	19.3/0.08	39.4/0.04	21.5/0.07	95.5/0.01
石炭系（C）	0.77/2.46	80.0/0.2	8.4/0.20	0.71/2.28	25.9/0.06	35.4/0.04	18.4/0.09	88.9/0.01
泥盆系（D）	0.92/2.47	78.3/0.2	8.2/0.27	0.73/2.87	19.1/0.10	83.8/0.08	18.3/0.08	66.9/0.02
志留系（S）	1.23/1.53	80.7/0.2	9.9/0.18	0.61/3.11	20.0/0.08	27.6/0.05	23.2/0.06	77.4/0.02
元古界（Pt）	0.63/2.97	73.0/0.2	6.8/0.29	0.42/4.64	15.7/0.12	23.2/0.06	18.2/0.08	66.5/0.02
海西期花岗岩（γ_4）	0.51/3.85	74.1/0.2	7.1/0.29	0.44/3.65	13.7/0.11	21.4/0.07	24.5/0.06	77.3/0.02
西天山地区	0.80/2.37	78.4/0.2	8.0/0.22	0.62/2.84	20.3/0.08	29.1/0.05	19.5/0.07	71.6/0.02
中国东部地壳**	0.9	55.0	2.4	0.18	7.0	26	15	76

元素质量分数单位：Au、Ag、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。据母瑞身，漆树基等 1995 年资料编。* 为平均值/变异系数；** 为鄢明才等，中国东部地壳岩石的化学组成，1997。

表 11.2　区域主要地层岩石中 Au 的参数值

主要地层	奥陶系	志留系	石炭系
平均值	0.70	0.96	0.67
标准离差	0.70	1.50	0.49
变化系数	0.97	1.56	0.73
异常下限	1.75	3.20	1.40

元素质量分数单位：10^{-9}。　　引自新疆地矿局第一区调队。

（2）区域地球化学异常特征

阿希矿区紧邻 1:20 万区域化探卡占奇 Au 异常（Hs-19）北缘（图 11.2）。该异常近东西向延伸，以 $Au5\times10^{-9}$为下限，圈定异常范围约 45km²（长 10km、宽 3～6km）；其中三

[1] 谢德顺，邓振球，王欣观。新疆北部地球化学特征及地质找矿效果。国家三〇五项目办公室，新疆地矿局，新疆第二届天山地质矿产讨论会论文集，1991。

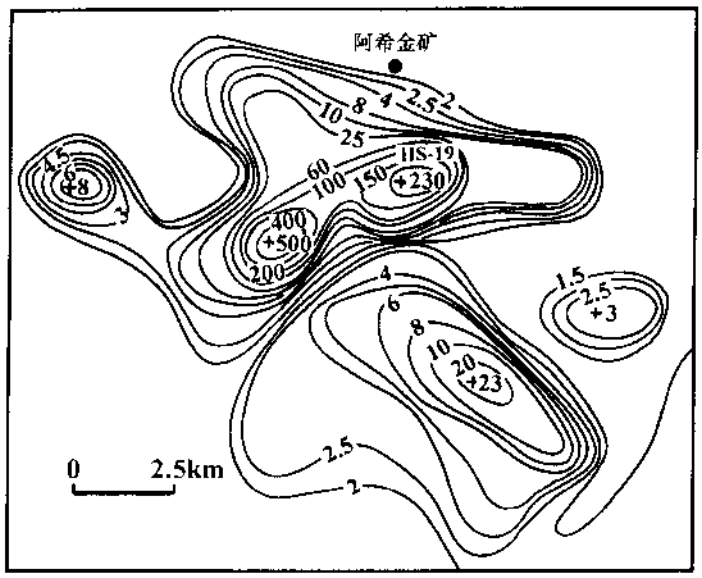


图 11.2　阿希地区 1:20 万水系沉积物 Au 元素异常图

（引自谢德顺等，1991）

个明显的浓集中心，Au 最高含量分别为 500×10^{-9}、230×10^{-9}、3×10^{-9}。

与 Hs-19Au 异常伴随的有 Ag、Hg、Cd、Cu、Pb、Zn 等元素异常，各元素异常套合较好，其特征见表 11.3。按标准化矿石金属量（NAP 值）大小排列，Au 为最大。

表 11.3　1:20 万水系沉积物测量卡占奇异常（Hs-19）元素特征表

异常元素	Au	Ag	Hg	Cd	Pb	Zn
大约面积/km^2	36	4	4	4	4	4
极大值	500	0.223	297	2.53	260	556
平均含量	104.7	0.223	297	2.53	260	556
浓度分带	3	1	3	2	3	2
NAP 值	753.68	4.96	15.84	10.12	34.80	10.00

元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；NAP 值为标准化矿石金属量；引自李方久等 1987。

5. 区域地球物理场

1:2 万地面高精度磁测，反映区内为低磁和负磁区（图 11.3），一般 $\Delta T=-150\sim250$nT。矿区东北部 C_1a 分布区，以正磁异常为主；西南部 C_1d 组分布区多为负磁异常区。ΔT 化极（$\Delta T_{\perp}$）平面图上，这两种岩层的磁异常特征反映更为清晰。

在 ΔT 平面图上，沿阿希古火山机构的主环状构造线、一些大小不等，形状各异的局部磁异常，呈长轴近南北向的椭圆状环带分布，环绕面积约 6.2km^2。阿希金矿即位于该环带磁异常的西缘。

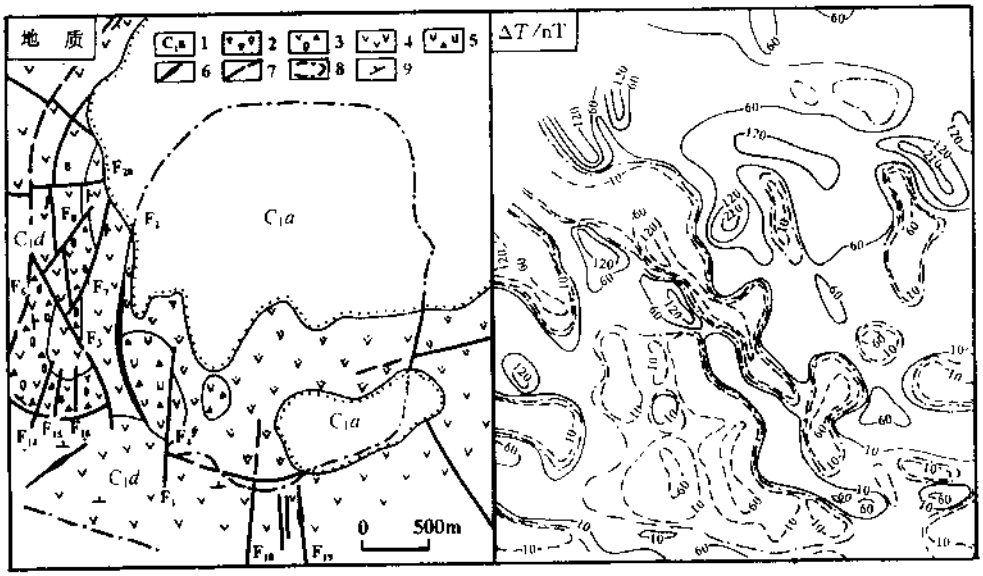


图 11.3 阿希矿区高精度磁测 ΔT 等值线及构造地质综合平面图

（ΔT 等值线图据王下山等 1993 资料编绘；构造地质图引自母瑞身等）

1—下石炭统阿恰勒河组碎屑岩；2—石英角闪安山玢岩（2～5 为下石炭统大哈拉军山组火山岩）；3—安山质含火山弹角砾岩；4—安山岩；5—安山质角砾熔岩；6—金矿脉；7—断裂；8—环状构造；9—火山岩产状

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

矿（化）带近南北向，由七个主要矿体构成。其中四个矿体（编号Ⅰ～Ⅳ）分布于西矿带，为矿床的主体。距西矿带 400m 的东矿带，由三个主要小矿体组成。

矿体主要产于断裂带内，围岩以 C_1d 组的安山玢岩、角砾熔岩为主。主要矿体以脉状、透镜状为主，倾向 45°～105°；长 60～560m，斜深 45～450m，平均厚 1.23～16.68m。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造以细脉-浸染状为主，次为稀疏浸染及星点浸染状。

按矿石的物质组分和结构构造，矿石类型可分为石英脉型、蚀变岩型和角砾岩型。

金属矿物有：黄铁矿、白铁矿、毒砂、磁黄铁矿、低铁闪锌矿、闪锌矿、黄铜矿等，含金矿物主要为自然金、银金矿。

3. 矿化阶段及分带性

成矿期分为火山期后热液期和表生期。

火山期后热液期：又可分四个矿化阶段：①黄铁矿-绢云母-石英阶段（有微弱金矿化）；②金-黄铁矿-石英阶段；③金-硫化物-石英阶段；④石英-碳酸盐阶段（金逐渐贫化尖灭）。

表生期：见于矿体顶部，部分矿物氧化分解形成氧化带。金属硫化物不同程度的氧化成褐铁矿、赤铁矿等。有少量次生金产出，金的成色相对较高。

4. 蚀变类型及分带

按成因可分为与火山活动过程中火山热液有关的自变质作用，和与火山期后成矿热液

有关的近矿蚀变作用。前者主要表现为面型绿泥石化、碳酸盐化，与金矿关系不大；后者主要表现为线型硅化、绢英岩化、粘土化，以及绿泥石化、碳酸盐化等，与金矿化关系较密切。

矿床的蚀变矿化带呈统一的时空分布格局。在空间上呈有规律的不完全对称带状分布，即以矿（化）带（矿体）为中心，向两侧（上、下盘）依次为：硅化带→（黄铁）绢英岩化-粘土化带→绿泥石化带；其强度自内而外由强变弱；蚀变带一般在矿体上盘较宽，可达50m以上，下盘略窄，且由地表向下，随金矿化体变小面变窄。

5. 氧化带

由原生矿物风化流失和原生矿石角砾氧化形成，褐铁矿等次生矿物组成的角砾状氧化矿石，常有黄钾铁矾、高岭土等呈土状分布。

6. 主要控矿因素

海西中期吐拉苏火山盆地控制了区域金矿带的展布。

横跨吐拉苏火山盆地的NNW向构造为最主要的控矿构造，控制了金矿田的分布。

火山机构环状构造边缘内侧近SN—NW向环状断裂带，控制了金矿体的分布。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

（1）磁性：矿区出露的岩、矿石均属弱磁性，且剩磁较弱（表11.4）。其中磁性较强者为砂岩和凝灰岩；矿石磁性最低，与矿有关的蚀变岩石磁性变弱，含金蚀变破碎带往往呈现负磁或低磁异常特征。

表11.4　阿希金矿床区岩矿石物性参数

群组	岩石名称	磁性					电性		
		块数	磁化率 $4\pi\times10^{-6}$SI		剩余磁化强度 10^{-3}A/m		块数	充电率 %	
			均值	变化范围	均值	变化范围		均值	变化范围
(C_1d)	含金石英脉	31	0.42×10^2	0～330	3.5×10^1	17～170	32	1.38	1.00～2.05
	含金方解石脉	10		19～389		16～98	8	1.53	1.30～1.85
C_1d	蚀变英安岩（安山岩）	35	2.32×10^2	7～1527	6.7×10^1	7～303	11	1.67	1.10～11.25
	凝灰（熔）岩	102		10～7593		11～514	95	4.19	2.95～5.05
	安山岩	30		0～565		11～241	29	3.84	3.30～5.05
	英安岩	33		0～860		8～224	72	3.80	1.45～5.35
C_1a	砾　岩	47	7.33×10^2	4～1806	6.3×10^1	11～305	30	3.92	1.60～4.95
	砂　岩	101		13～2693		17～1787	101	3.60	0.90～5.30
	粉砂岩	7		2.5～1312		25～131			

母瑞身、王玉山据参考资料整理。

（2）电性：岩石的充电率 M_S（或极化率）差异不明显，约4%，矿石及蚀变英安岩较低，仅1.38%～1.67%。按常规含金石英脉应为高阻，而断裂蚀变破碎带可能呈低阻反映。

总体认为：区内岩、矿石物性的差异较小。

2. 地球物理异常

（1）磁异常。在 Ax_1 含矿蚀变破碎带上，高精度 ΔT 磁测（1:1 万）呈南北向带状负异常（图 11.4），强度 0 ~ －50nT；其东侧与砂、砾岩分布区，大致以 ΔT 的零值线为界西侧与英安岩分布区负磁场连成一片。含金石英脉在蚀变破碎带的负磁异常中，无次级异常显示。

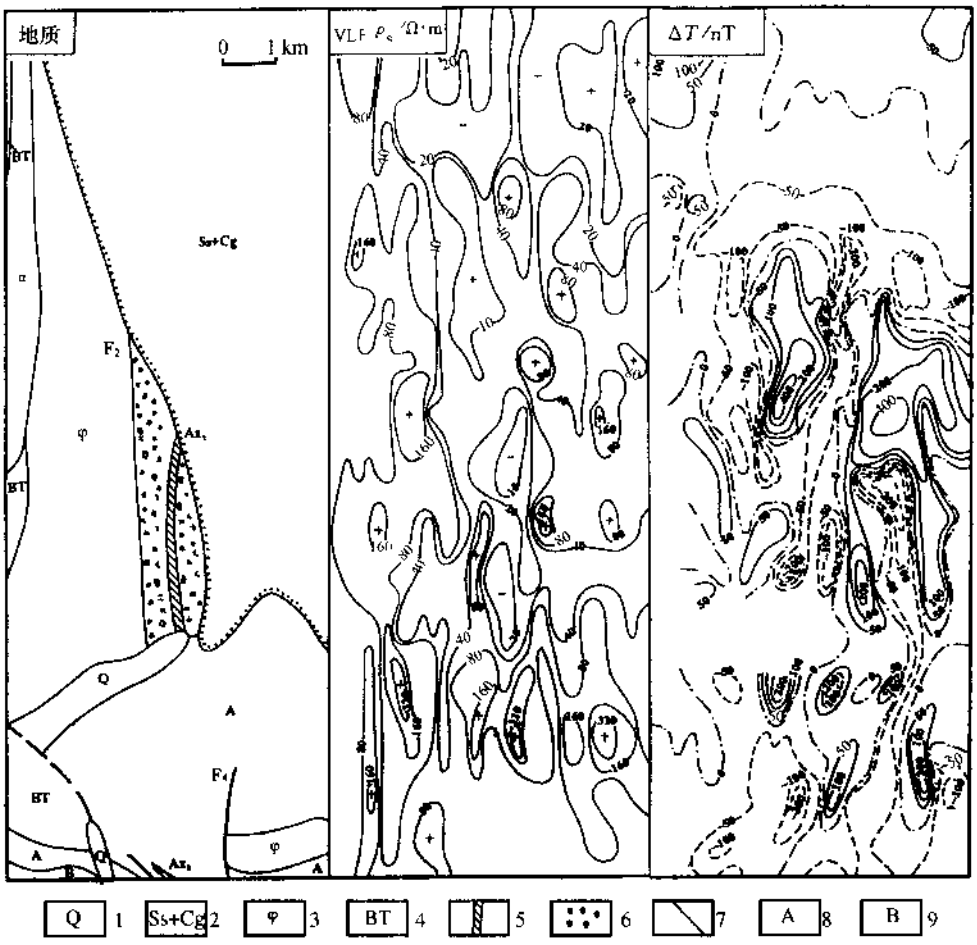


图 11.4 阿希金矿试验工区物探综合平面图

（据王玉山等 1993 年资料编绘）

1—第四系；2—砂岩、砂砾岩、砾岩；3—英安岩；4—沉凝灰岩；5—含金石英脉；6—蚀变破碎带；7—断层；8—集块岩；9—火山角砾岩

80 线剖面上，对应于出露地表的含金蚀变破碎带和矿体上，呈 －50 ~ －150nT 负磁异常（图 11.5）；而破碎带和矿体埋深约 50m 的 104 线的相应部位，无异常显示。

（2）电异常。在火山岩分布区，甚低频电磁法视电阻率 ρ_S 出现不规则跳跃；含矿蚀变破碎带上，总体反映呈 10 ~ 40Ω·m 的低阻带。图 11.4 中 80Ω·m 圈闭的长条状高阻异常，为输电电缆及水管干扰，影响了低阻带异常的形态。

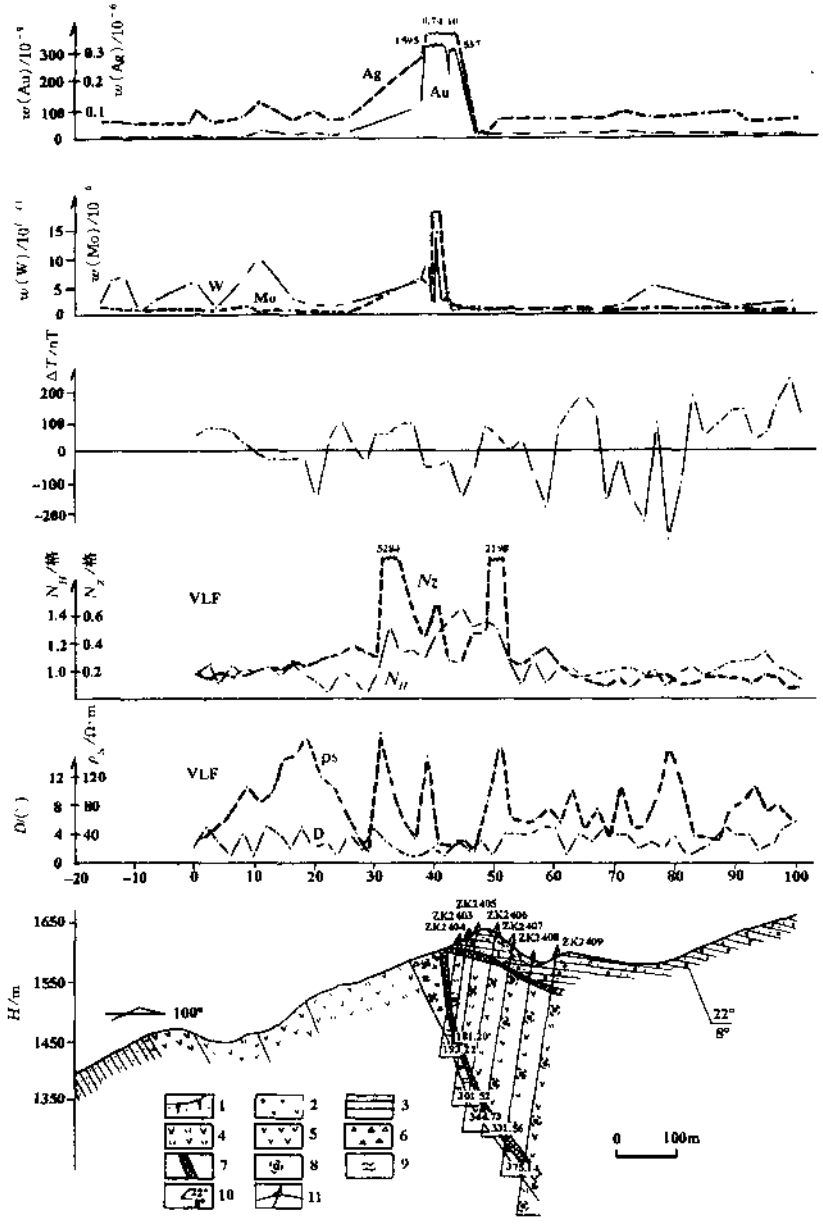


图 11.5　阿希金矿试验工区 80 线物化探综合剖面图

（据王玉山等 1993 资料编绘）

1—第四系；2—含砾砂岩；3—凝灰质砂岩；4—英安岩；5—安山岩；6—构造角砾岩；7—金矿脉；8—硅化；9—绢云母化；10—岩层产状；11—钻孔及编号

80 线剖面上，对应蚀变破碎带和矿体出露地段，VLF 总体呈 $\rho_S < 40\Omega\cdot m$ 的低阻异常，水管干扰呈尖锐高阻；椭圆极化倾角 D 有不明显的较圆滑的低值异常；感应磁场水平和垂直分量 N_h、N_z 在破碎带上出现高值异常，但范围远比破碎带宽。破碎带和矿体埋深较大的 104 线上，VLF 亦无异常反映。

(3) 放射性异常。20 线伽马能谱观测值统计见表 11.5。图 11.6 显示含金蚀变带上，伽马能谱测量有明显的异常，其 K 道、U 道及总道呈高值，Th 道为低值。石英脉上，各道全为低值；两侧安山岩、凝灰砂岩呈平稳曲线。因此对于浅覆盖区，伽马能谱的找矿效果较好。

表 11.5　新疆阿希矿区岩石能谱测量值

主要岩性	$w(K)/\%$	$w(U)/10^{-6}$	$w_{TC}/10^{-6}$	$w(Th)/10^{-6}$
破碎带	4 ~ 6	7	39 ~ 44	2 ~ 5
石英脉	< 1	< 1	17	2 ~ 5
安山岩、凝灰岩	2 ~ 3	1 ~ 3	23 ~ 30	7 ~ 11

引自母瑞身等，1995。

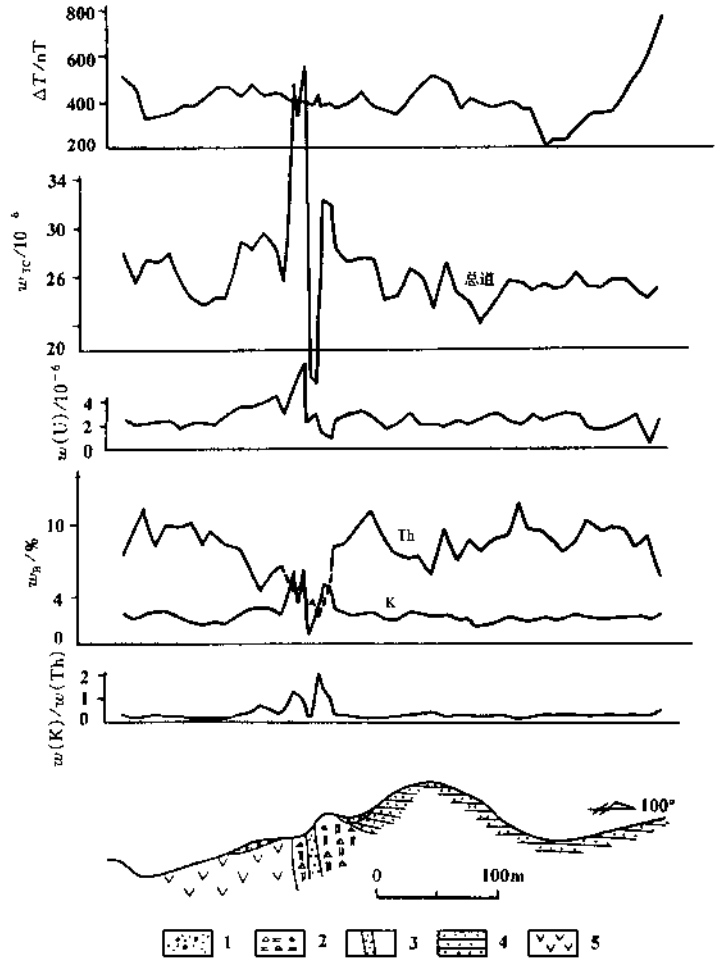


图 11.6　阿希矿区Ⅰ号矿脉北段（20 线）物探综合剖面图

（引自母瑞身等，1995）

1—第四系；2—含金蚀变带；3—石英脉；4—凝灰砂岩；5—安山岩

综上认为：1:1 万试验结果显示，在条件较好，即埋深不大的前提下，伽马能谱测量的找矿效果较好；高精度磁测和甚低频电磁法虽在含矿蚀变破碎带上有低磁—负磁和低视电阻率的反映，但异常特征不明显，难以区分与识别。

3. 干扰体或干扰因素及其影响

区内沟壑纵横、林草茂密，不利于物探施工，且会引起较大的地形干扰。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

矿区主要围岩（安山岩、英安质角砾熔岩）和蚀变岩、金矿石（含金石英脉）中微量元素的平均含量，及其与中国东部地壳丰度和安山岩类平均含量之比（浓度克拉克值）见表 11.6。根据蚀变岩、金矿石与矿区主要围岩平均值计算的浓集系数，按系数 K[②]（见表 11.6 注）>2 的元素由高→低的序列为：

金矿石：Au—As—Sb—Ag—Se—Mo—Hg—Pb；

蚀变岩：Au—As—Sb—Ag—Sb—As—Hg—Se—Mo；

安山岩、英安质角砾熔岩：Au—Ag—Sb—As—Hg。

表 11.6　阿希金矿区各元素浓集系数

岩矿石	参数	Au	Ag	Cu	Pb	As	Sb	Bi	Hg	Se	Mo	Co
主要围岩 $n=20$	均值	208	1.68	41.9	21.3	35.3	7.18	0.079	43.4	28.6	0.47	24.3
	K	231.1	30.54	17.46	1.42	14.71	38.89	0.53	6.20	1.68	0.94	1.28
	K[②]	320.0	33.6	1.23	1.42	9.29	23.93	1.00	4.34	0.57	0.76	1.16
蚀变岩 $n=15$	均值	569	3.25	37.8	28.8	1488.6	41.07	0.137	157.4	233.6	3.04	22.4
	K[②]	632.2	59.09	1.45	1.92	620.2	228.2	0.91	22.48	13.74	6.08	1.18
	K[①]	2.74	1.93	0.90	1.35	42.16	5.72	1.74	3.63	8.17	6.46	0.92
金矿石 $n=15$	均值	5676	10.20	27.7	35.6	4273.0	140.84	0.203	231.3	1282.6	24.75	25.0
	K[②]	6306.7	185.4	1.06	2.37	1780.4	782.4	1.35	33.04	75.45	49.50	1.32
	K[①]	27.29	6.07	0.66	1.67	67.25	19.61	2.58	5.33	44.83	52.66	1.03
中国东部地壳丰度		0.9	0.055	26	15	2.4	0.18	0.15	7.0	17	0.5	19
中国东部安山岩类		0.65	0.05	34	15	3.8	0.3	0.08	10	50	0.62	21

元素质量分数单位：Au、Hg、Se 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}；表中 K 为主要围岩平均值/中国东部安山岩类平均化学组分含量（中国东部地壳丰度、安山岩类平均化学组分含量，引自鄢明才等，1997）；K[①]为蚀变岩、矿石元素平均含量/矿区主要围岩平均值；K[②]为元素平均含量/中国东部地壳丰度。据母瑞身等 1995 资料改编。

上述序列说明自围岩（安山岩等）→蚀变岩→含金石英脉，Au、As、Sb、Ag、Hg、的含量明显增高，Cu、Zn 含量明显降低，而 Co、Ni 变化不大。表明 Ag、As、Sb、Hg 等元素与成矿作用关系密切。

2. 地球化学异常

（1）岩石测量。1:2 万岩石测量结果（图 11.7）：①Au、Ag 异常沿 F_2（及 F_5）断层呈南北向条带状分布，其浓度分带明显，且内带异常与 Ax_1 含矿蚀变破碎带对应较好，并不

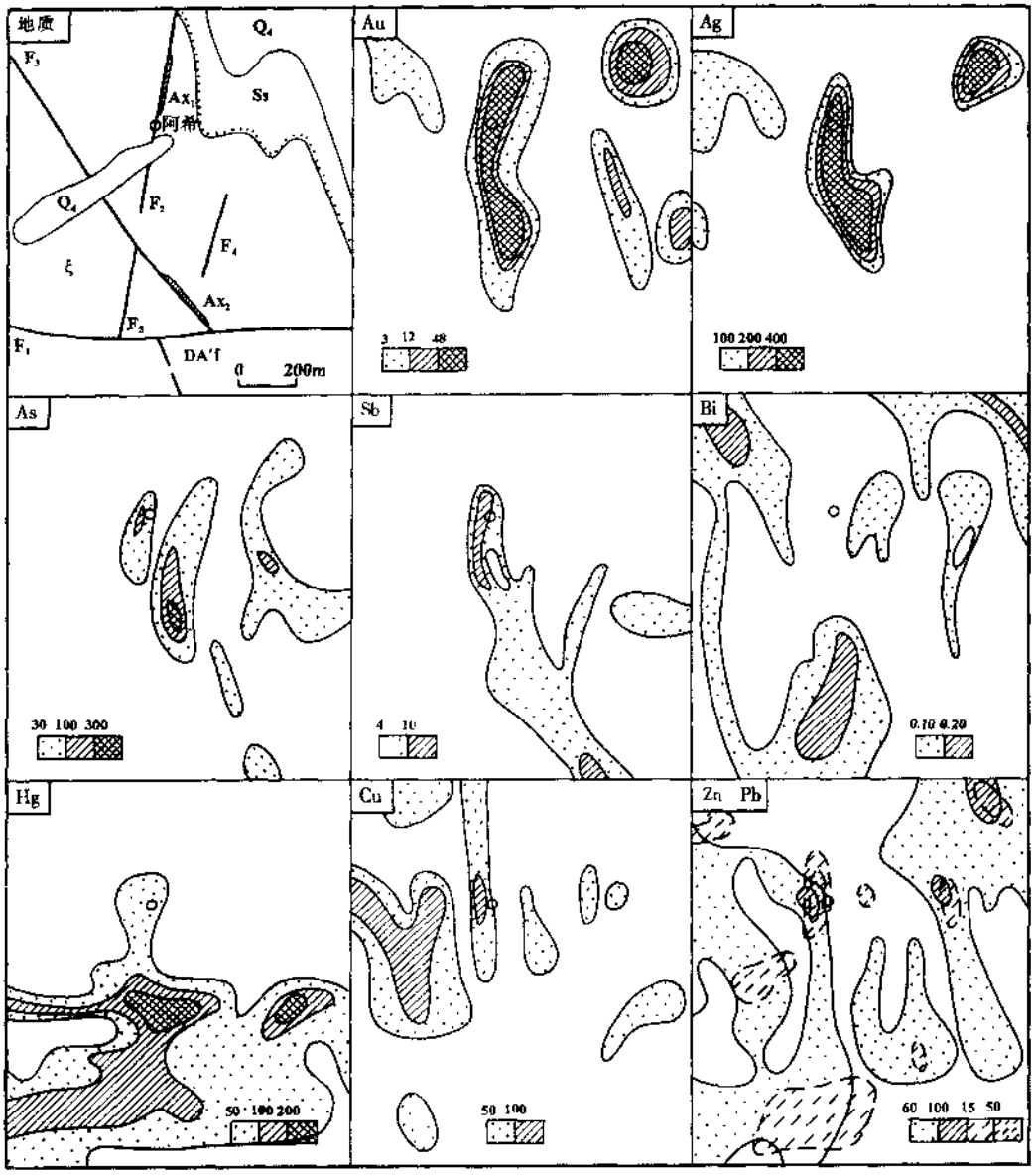


图 11.7　阿希金矿区岩石地球化学异常平面图

（据王玉山等 1993 资料编绘）

1—第四系；2—中—粗粒砂岩；3—英安岩；4—蚀变英安岩夹凝灰岩；5—不整合接触界线；6—含金石英脉；7—断层。Au，Ag 单位 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

同程度的显示有 As、Sb、Cu、Hg、Pb 等元素异常。Ax_2 矿脉处，仅有 As、Sb、Hg、Ag 等弱异常。②Bi 元素异常微弱，且在矿脉附近呈低于下限的异常显示。③Hg 异常较大，并具有清晰的浓度分带，但主要为构造的异常反映，其浓集中心恰处于 NW 与 NNE 向断层的交汇部位。④Cu、Pb、Zn 元素异常分布规律性不强，且异常微弱。

试验工区 80 线含金蚀变破碎带和矿体上，除 Au、Ag 呈强异常外，W、Mo 也有异常显示（图 11.5）。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面　据 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Ni、As、Bi、Hg、Se、Mo、Sn 等 13 种元素分析，Cu、Pb、Co、Ni、Bi、Mo、Sn 等元素异常规律不明显。24 线剖面（图 11.8）显示各元素异常均围绕矿体分布，其中 Au 异常紧裹矿体，Ag、As 异常比矿体范围大 1～2 倍；异常分带清晰、浓度变化小；其浓集中心各异，一定程度上反映了元素的分带现象，如 Ag、Hg、Se 的浓集中心处于 1450～1530m 标高；Au 浓集中心在 1350～1300m 标高之间；As、Sb 浓集中心在 1350～1250m 标高处。

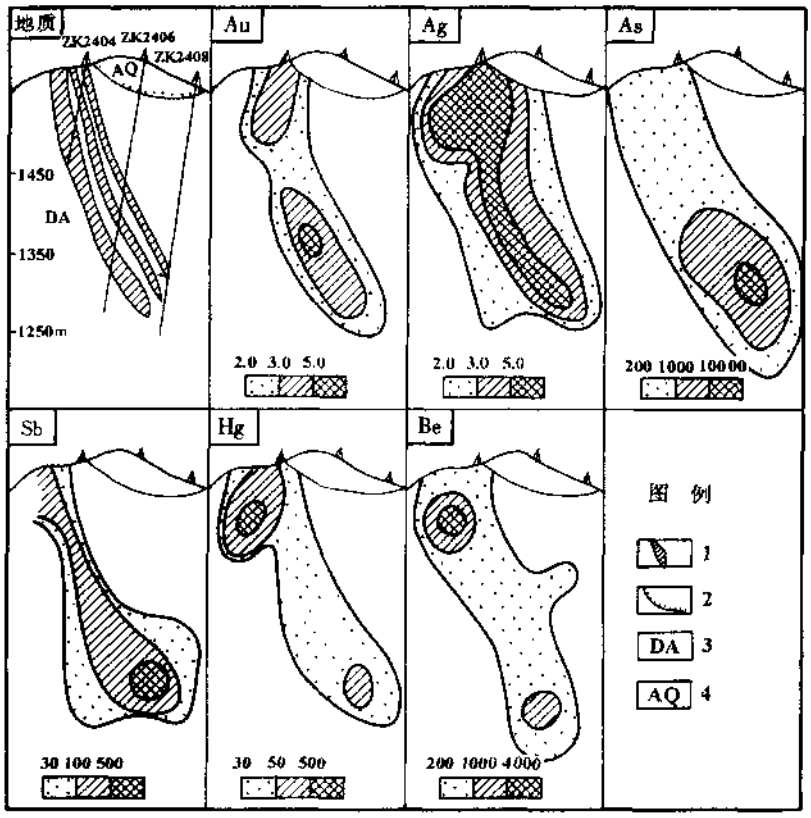


图 11.8　阿希金矿 24 线钻孔岩石地球化学异常图

1—金矿体；2—地层不整合线；3—下石炭统大哈拉军山组；4—下石炭统阿恰勒河组

Au、Ag 质量分数单位为 10^{-9}；其余元素为 10^{-6}

（3）地电化学（电提取）●。试验表明：由于矿区覆盖层较薄，地形地貌复杂，不同元素以及元素的不同存在形态所呈现的异常比较复杂。总体上，异常主要出现在矿体上方，及 C_1d 与 C_1a 地层不整合接触界面的浅露部位。

● 刘占元，刘吉敏。地电化学在隐伏矿快速找矿与评价中的应用研究（85-902-07-02E）。地矿部物化探研究所，1994。

3. 元素分带序列

矿区地球化学元素的原生异常的平面和剖面特征，显示异常元素组合有一定的分带现象，可划分如下。

前缘元素：Hg、Se、Ag（Mo）

近矿元素：Au、Ag（As、Sb）

尾部元素：Zn、Cu、Pb、Ni、Co（As、Sb）

元素垂直分带序列自上而下为：Ag—Hg—Sb—Au—Cu—Pb—Zn—As—Bi。

通常作为前缘元素的 As，阿希矿区却在尾部出现，可能因含 As 矿物赋存形式不同所造成，即一般若呈毒砂矿物，其 As 会在尾部富集。

4. 地球化学异常模型

地球化学异常模型见图 11.9。

六、地质-地球物理-地球化学找矿模型

1. 阿希金矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 11.8。

2. 阿希金矿床地质-地球物理-地球化学找矿示意模型见图 11.9。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

（1）发现和圈定含金矿化异常：在 1:20～1:10 万区域重、磁资料确定或反映的深断裂分布区，以 1:20～1:5 万水系沉积物测量发现并圈定与金矿有关的 Au、Ag、As、Sb、Hg、Se 等元素组合异常。

（2）发现火山机构：以 1:5 万航空综合站或航磁，或地面磁测为主。

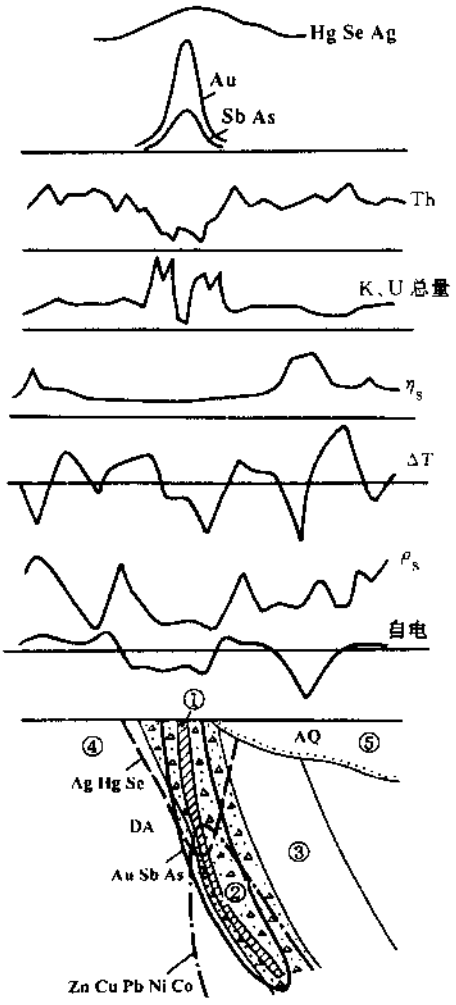


图 11.9　阿希金矿地质-地球物理-地球化学找矿模型示意图

（物性地质体参数见表 11.7）

表 11.7　阿希金矿床物性地质体参数表

编号	物性地质体	磁性			电性		放射性强度			
		定性	$\frac{\kappa}{4\pi\times10^{-6}\mathrm{SI}}$	$\frac{M_r}{10^{-3}\mathrm{A\cdot m^{-1}}}$	$\frac{M}{\%}$	ρ	$\frac{w(\mathrm{K})}{\%}$	$\frac{w(\mathrm{U})}{10^{-6}}$	$\frac{w(\mathrm{Th})}{10^{-6}}$	总道格
①	含金石英脉	微弱	42	35	<2	低阻	<1	<1	2～5	17
②	破碎带	弱	<150	<50	<2		4～6	7		39～44
③	蚀变安山岩、英安岩	弱	150	50	<2	高阻	2～3	1～3	7～11	23～30
④	DA-C_1d 组火山岩	中弱	70～358	40～90	3.8～4.2					
⑤	AQ-C_1a 组砂、泥岩等	中弱	270～980	30～50	3.6～3.9					

表 11.8　新疆阿希金矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	西天山博罗科努加里东岛弧带西段，吐拉苏火山盆地内	
	地球物理场	近 SN 向区域重力高（幅值大于 $5\times0^{-5}m\cdot s^{-2}$）的东缘梯度带，与北西西向 ΔT 强磁异常的北侧负磁（-200nT 左右）异常带的交汇部位；该磁异常带向西延出国境	
	地球化学场	区域地球化学异常显示，Au 异常呈东西向延伸，异常面积约 $45km^2$，并伴有 Ag、Hg、Cd、Cu、Pb、Zn 等元素组合异常，各元素浓集中心吻合较好	
地质	地　层	下石炭统大哈拉军山组（C_1d）火山熔岩和火山碎屑岩（英安岩和凝灰岩为主）	
	构　造	区域 SN 向断裂和火山机构复合处，环状构造边缘内侧的环状断裂带	
	岩浆岩	钙碱系列（部分为碱性系列）的中酸性火山岩、英安质角砾熔岩和石英角闪安山纷岩	
	围岩蚀变	强硅化、高岭土化、黄铁矿化、绢云母化和冰长石化	
	赋矿部位	沿火山机构管道壁形成的张性断裂	
	主要矿石矿物	黄铁矿、白铁矿、毒砂、磁黄铁矿、低铁闪锌矿、闪锌矿、黄铜矿等，含金矿物主要为自然金、银金矿	
	直接找矿标志	石英脉、黄铁矿、毒砂等硫化物增多，含金性好，地表呈红色褐铁矿化 石英脉中出现黄铁矿、白铁矿、毒砂，是找矿的直接标志 浅色带，即在含金石英脉的两侧，靠近矿体 1～20m 左右，常产生黄色带和浅绿色带，称为浅色带（蚀变带），是十分有效的找矿标志 烟灰色石英脉是找富矿的直接标志	
地球物理	探测目标物	火山机构	含矿蚀变破碎带
	目标物物性特征	岩石属弱磁性，由于岩性及后期蚀变磁性变弱，磁性不均匀	岩石蚀变磁性变弱； 低阻，弱极化； U、Th 放射性能谱较高
	地表异常特征	一些大小不等，形状各异的局部磁异常，呈长轴近南北向的椭圆环带状分布	埋深不大情况下，有特征不甚明显的低磁—负磁和低视电阻率的反映；γ 能谱测量有 K 道、U 道及总道呈高值，Th 道呈低值较明显的反映
	干扰异常	区内沟壑纵横、林草茂密，不利于物探施工，且会引起较大的地形干扰	
地球化学	异常元素组分	主要组分：Au、Ag、As、Sb、Se 等 前缘元素：Hg、Se、Ag（Mo） 近矿元素：Au、Ag（As、Sb） 尾部元素：Zn、Cu、Pb、Ni、Co（As、Sb）	
	元素浓度分带	Au：3～12～48　Cu：50～100 Ag：100～200～400　Pb：15～50 As：30～100～300　Zn：60～100 Sb：4～10　Bi：0.1～0.2 Hg：50～100～200	剖面： Au：2000～3000～5000　Sb：30～100～500 Ag：2000～3000～5000　Hg：30～50～500 As：200～1000～10000 Se：200～1000～4000
	主要元素异常形态与分布范围	地表 Au、Ag 呈条带状异常浓集中心明显，内带与金矿脉对应较好，并有 As、Sb、Cu、Hg、Pb 异常显示；Bi 元素异常微弱，Hg 异常较大，主要为构造的异常反映，其浓集中心恰处于北西与北北东向断层的交汇部位；Cu、Pb、Zn 元素异常微弱且分布规律性不强	
	其他特征	C_1d 组第五岩性段火山岩分布区中 Sb、Se、Hg 异常重合，且 $w(As)>200$、$w(Sb)>30$、$w(Se)\geqslant200$、$w(Hg)\geqslant50$ 为找矿有利地段； 蚀变岩石中 Au、Ag、Se、Hg、Sb、As 等元素组合的异常为矿体赋存部位的重要标志	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg、Se 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

（3）寻找并圈定含金蚀变破碎带：以岩石地球化学测量为主。伽马能谱测量、高精度磁测和电磁法等可作为综合手段；当含金蚀变破碎带埋深不大时效果较好。

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 11.A 新疆阿希金矿床地质特征简表。

表 11.B 新疆阿希金矿床地球物理特征简表。

表 11.C 新疆阿希金矿床地球化学特征简表。

表 11.A　新疆阿希金矿床地质特征简表

地理位置		位于新疆伊宁市北 20km 1:20 万图幅：赛里木湖幅（L-44-（34））		
矿床类型		浅成低温热液型	矿石建造	Au（Ag）
矿床规模、品位		大型　Ⅰ号脉：Au 平均品位(g/t)15.27 Ⅱ号脉：Au 平均品位(g/t)2.26	容矿岩石	安山岩、英安岩、火山碎屑岩、石英角闪安山玢岩
地质成矿环境	构造背景	西天山博罗科努加里东岛弧带西段吐拉苏火山盆地。吐拉苏—肯特高尔金铜（钼、铅、锌）成矿带，西与哈萨克斯坦“准噶尔有色、贵金属和稀有金属成矿带”相接		
	地　层	由前寒武浅海相碳酸盐岩建造构成老基底。中、上奥陶系浅海相碳酸盐岩夹硅质岩、碎屑岩建造，及下志留统中酸性火山岩、碎屑岩、熔岩夹碳酸盐岩建造组成基底地层；海西中期活化，形成上叠火山盆地，沉积了下石炭统地层		
	构　造	区域构造线以 NWW—SEE 为主，构造以断裂为主，褶皱构造不发育。 断裂形成与火山构造密切相关，依其形式可分为：①分布于火山口外侧的放射状断裂；②不规则状断裂，仅见于有火山颈相中；③分布于火山口缘的环状断裂，F_2 断裂是伴随 C_1d 组火山作用而形成的多期次活动断裂带，为金矿的重要控矿断裂；可能为基底断裂的复活再现		
	岩浆岩	侵入岩不发育，仅在矿区外围有海西期中—细粒二长花岗岩、黑云母二长花岗岩，中—细粒花岗闪长岩出露。脉岩主要为石英脉和碳酸盐脉及重晶石脉。有的呈较大单脉出现，有的呈细脉或网脉充填于断裂或列隙中。 与火山机构密切相关的岩石，在空间上构成一处保存尚好的中心式古火山机构（破火山口）。由四种岩相组成：即凝灰岩、火山角砾岩、集块岩组成爆发相；辉石安山岩、角闪岩组成的溢流相；英安质-安山质角砾熔岩构成的火山颈（管道）相和石英角闪安山玢岩组成的次火山岩相		
	主　要 控矿因素	海西中期吐拉苏火山盆地控制了区域金矿带的展布； 横跨吐拉苏火山盆地的 NNW 向构造为最主要的控矿构造，控制了金矿田的分布； 火山机构环状构造边缘内侧近 SN 向—NW 向环状断裂带，控制着金矿体的分布		
矿床特征	成矿岩体			
	容矿构造	近南北向弧型张扭性断裂是控矿和容矿构造		
	矿化阶段	成矿期分为火山期后热液期和表生期。 火山期后热液期：又可分为四个矿化阶段：①黄铁矿-绢云母-石英阶段（有微弱金矿化）；②金-黄铁矿-石英阶段；③金-硫化物-石英阶段；④石英-碳酸盐阶段（金逐渐贫化尖灭）		
	蚀　变	存在与火山热液有关的自变质作用和与火山期后成矿热液有关的近矿蚀变作用。前者主要表现为面型的绿泥石化、碳酸盐化，与金矿关系不大；后者主要表现为线型的硅化、绢英岩化、粘土化，以及绿泥石化、碳酸盐化等，与金矿化关系较密切		
	矿化分带	蚀变-矿化带呈统一的时空分布。空间上呈有规律的不完全对称带状分布，即以矿（化）带（矿体）为中心向两侧（上、下盘）依次为：硅化带→（黄铁）绢英岩化-粘土化带→绿泥石化带；强度自内而外由强变弱。一般矿体上盘蚀变较宽（>50m），下盘略窄，由地表向下，随金矿化体变小而变窄		
	矿体特征	金属矿物：黄铁矿、白铁矿、辉砂、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等，含金矿物为自然金、银金矿等		
		矿石特征：矿石类型有含金石英脉型和蚀变安山岩型。 构造以细脉-浸染状为主，次为稀疏浸染及星点浸染状		
		矿体形态：矿体以脉状、透镜状为主		
	脉石矿物	主要有绢云母，石英、（冰长石），次有白云母、方解石、绿泥石、磷灰石、高岭石等		
表生地质		原生矿物风化流失、原生矿石角砾氧化形成由褐铁矿等次生矿物组成的角砾状氧化矿石，常有黄钾铁矾、高岭土等呈土状分布		
地貌景观		高山森林草甸区		
备　注				

表 11.B　新疆阿希金矿床地球物理特征简表

区域场	重力场	矿区位于近南北向区域重力高（幅值大于 $5\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$）的东缘梯度带
	磁　场	显示为北西西走向 ΔT 强磁异常的北侧负磁异常（－200nT 左右）带，该强磁异常带向西已延出国境
		区域重力高为伊犁幔隆的次一级赛里木幔凸的反映，强磁异常带为伊犁陆核（卫磁推断）的异常显示；所处地壳厚度 49～50km
矿区（田）异常	重力异常	
	磁力异常	1:2 万地面高精度磁测反映为低磁—负磁区，一般 $\Delta T=-150\sim250$nT。矿区东北部 C_1a 分布区，以正磁异常为主；西南部 C_1d 组分布区多为负磁异常。沿阿希古火山机构的主环状构造线，一些大小不等，形状各异的局部磁异常，组成长轴近南北向的椭圆环带状异常，环绕面积约 6.2km²，阿希金矿即位于该环带磁异常的西缘
	电异常	
	其他	
矿床异常	重力异常	
	磁力异常	在 Ax_1 含矿蚀变破碎带上，高精度 ΔT 磁测（1:1 万）呈南北向带状负异常，强度 0～－50nT；其东侧与砂、砾岩分布区大致以 ΔT 零值线为界，西侧与英安岩分布区负磁场连成一片。 对应于出露地表的含金蚀变破碎带和矿体，磁测呈－50～－150nT 负异常；而破碎带和矿体埋深约 50m 的 104 线处，则无异常显示
	电异常 伽马能谱异常	含金蚀变带上，γ 能谱测量有明显异常，其 K 道、U 道及总道呈高值，Th 道为低值。石英脉上，各道全为低值，两侧安山岩、凝灰砂岩呈平稳曲线。浅覆盖区 γ 能谱的找矿效果较好
	电异常 电阻率异常	
	电异常 电磁异常	火山岩分布区，其低频电磁法视电阻率 ρ_S 出现不规则跳跃。含矿蚀变破碎带上，总体反映呈 10～40Ω·m 的低阻带。 蚀变破碎带和矿体出露地段，VLF 总体呈 ρ_S 小于 40Ω·m 的低阻异常；椭圆极化倾角 D 有不明显的较圆滑的低值异常；感应磁场水平和垂直分量 N_h、N_z 在破碎带上出现高值异常，但范围远比破碎带宽。破碎带和矿体埋深较大的 104 线上，VLF 亦无异常反映
	其他	

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	η/%	ρ/Ω·m
	含金石英、方解石脉			4.2×10^1	3.5×10^1	1.41	
	蚀变英安岩、安山岩			1.5×10^2	5.0×10^1	1.67	
	英安岩			7.0×10^1	4.0×10^1	3.80	
	安山岩			8.0×10^1	4.0×10^1	3.84	
	凝灰（熔）岩			3.5×10^2	9.0×10^1	4.19	
	砾岩			2.7×10^2	3.0×10^1	3.92	
	砂岩			9.8×10^2	8.0×10^1	3.60	
	粉砂岩			2.8×10^2	5.0×10^1		
备　注							

表 11.C　新疆阿希金矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Au、Ag、Hg、Cd、Pb、Zn		
	空间分布	矿区位于1:20万水系沉积物测量卡占奇异常（Hs-19）北缘。异常呈近东西向延伸，以 $Au5\times10^{-9}$ 为下限，圈出异常长 10km、宽 3～6km，面积约 $45km^2$。其中二个明显的浓集中心最高含量分别为 500×10^{-9}、230×10^{-9}、8×10^{-9}，并伴随有 Ag、Hg、Cd、Cu、Pb、Zn 等元素组合异常，异常套合较好		
	元素浓度分带			
	元素水平分带			
	其他特征	卡占奇异常按标准化矿石金属量(NAP值)大小排列计算：Au 为最大，次 Pb、Hg 等		
矿床异常	元素组分	地　表	断　面	
		Au、Ag、As、Sb、Cu（Pb、Hg）	Au、Ag、As、Sb、Hg、Se	
	空间分布	Au、Ag异常沿 $F_2(F_5)$ 断层呈 SN 向条带状分布，其浓度分带明显，内带异常与 Ax_1 含矿蚀变破碎带对应较好，不同程度的显示有 As、Sb、Cu、Hg、Pb 等元素异常；Ax_2 矿脉处，仅有 As、Sb、Hg、Ag 等弱异常，Bi 元素异常微弱，Hg 异常较大，浓度分带清晰，其浓集中心恰处于北西与北北东向断层的交汇部位　Cu、Pb、Zn 元素异常分布规律性不强，且异常微弱	各元素异常均围绕矿体分布，其中 Au 异常紧裹矿体，Ag、As 异常比矿体范围大1～2倍。异常分带清晰，浓度变化小。浓集中心各异，一定程度上反映了元素的分带现象，如 Ag、Hg、Se 的浓集中心在 1450～1530m 标高；Au 浓集中心在1350～1300m 标高之间；As、Sb 浓集中心在1350～1250m 标高	
	元素浓度分带	Au：3～12～48　Cu：50～100 Ag：100～200～400　Pb：15～50 As：30～100～300　Zn：60～100 Sb：4～10　Bi：0.1～0.2 Hg：50～100～200	Au：2000～3000～5000　Sb：30～100～500 Ag：2000～3000～5000　Hg：30～50～500 As：200～1000～10000 Se：200～1000～4000	
	元素分带序列	前缘元素：Hg、Se、Ag、Mo 矿体指示元素：Au、Ag、As、Sb 尾部指示元素：Cu、Pb、Zn、Ni、Co	自上至下： Ag—Hg—Sb—Au—Cu—Pb—Zn—As—Bi	
	元素间相关性	Au-Ag、Pb-Zn、Pb-Bi、As-Sb 相关较好		
	其他特征	C_1d 组第五岩性段火山岩分布区中 Sb、Se、Hg 异常重合，且 As 大于 200、Sb 大于 30、Se 大于等于 200、Hg 大于等于 50 为最佳找矿有利地段； 蚀变岩石中 Au、Ag、Se、Hg、Sb、As 等元素组合的异常为矿体赋存部位的重要标志		
矿体剥蚀程度评价指标				

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
含金石英脉	27.7	35.6	27.0	5676	10.20		2.28	24.75	66.7	25.0	4273	140.8	0.20	231.3	16
蚀变岩	37.8	28.8	62.4	569	3.25		3.82	3.04	57.8	22.4	1489	41.1	0.14	157.4	15
安山岩	41.9	21.3	65.1	208	1.68		1.96	0.47	74.7	24.3	35	7.2	0.08	43.4	20
阿希地区	26.1	9.4	52.1	2.8	0.06						9.53	1.48	0.07	35.6	
天山地区	23.53	13.73	62.42	0.50	0.06						3.33	0.25	0.15	11.93	
中国东部地壳丰度	26	15	76	0.9	0.055		1.4	0.5	31	19	2.4	0.18	0.15	7.0	

备　注	元素质量分数单位：Au、Hg为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

第十二章　与基性、超基性岩有关的矿床
——新疆哈图构造蚀变岩型金矿床

哈图金矿床[1][2][3]位于新疆托里县境内哈图山南麓，南东距克拉玛依市65km。其黄金开采史可追溯至清代。目前，已探明的金矿有齐依求Ⅰ号矿（简称齐Ⅰ），和其东约10km的齐依求Ⅱ号矿（简称齐Ⅱ）。

一、区域背景

矿区位于准噶尔海西褶皱带扎依尔-达尔布特复式向斜北翼。属哈图—灰绿山成矿带，该带西起阿克巴斯套花岗岩体北侧，东至灰绿山，全长近70km，宽1～3km。

地球物理场呈北东东向的展布，长60km，宽1～2km的重力高值带（图12.1），矿区处于该高值带的西部重力高的北侧。对应区域磁场，大部为－100nT左右的平稳负磁场，仅西局部重力高与极值大于500nT，编号TM-6的航磁异常的大体对应。

地球化学Au元素异常明显，大于20×10^{-9}范围约180km^2，最高含量达1733×10^{-9}。

二、成矿环境

1. 地层

矿区出露的地层主要为中—上石炭统包古图组和太勒古拉组。包古图组为一套中基性火山碎屑沉积岩。岩性主要有泥质粉砂岩、凝灰质砂岩、钙质粉砂岩和硅质粉砂岩。太勒古拉组亦为一套中基性火山岩、火山碎屑沉积岩，主要岩性有玄武岩、泥质粉砂岩、凝灰岩、碧玉岩、中性熔岩、硅质岩等。区内主要赋矿层位为太勒古拉组，分布于安齐断裂北西侧。

2. 构造

区域构造线主要为NE—NEE向，其中NE向规模较大。自北西→南东排列有：哈图断裂，安齐断裂，达啦布特断裂（图12.2）。三组断裂均呈NE—SW向展布。这三组断裂控制范围内，有大量金矿点及老硐分布。金矿主要赋存于安齐断裂北西侧的次级断裂带中，且以NE向和近EW向断裂带含矿性最好。

3. 岩浆岩

区域内岩浆活动频繁，岩浆岩比较发育，从超基性岩到中—酸性岩均有分布；以海西

---

[1] 张炳义，李树滋，王国彦等。新疆西准噶尔金矿地质、地球物理、地球化学综合研究报告。新疆地矿局第七地质大队，1990。

[2] 熊光楚，谢德顺，邓振球等。隐伏矿快速找矿评价与评价方法组合研究（85-902-07-02）。新疆有色地勘局物探大队，1995。

[3] 高增勋，许文汉，左都明等。新疆托里县齐依球金矿物化探普查试验报告。新疆地质局地球物理大队，1981。

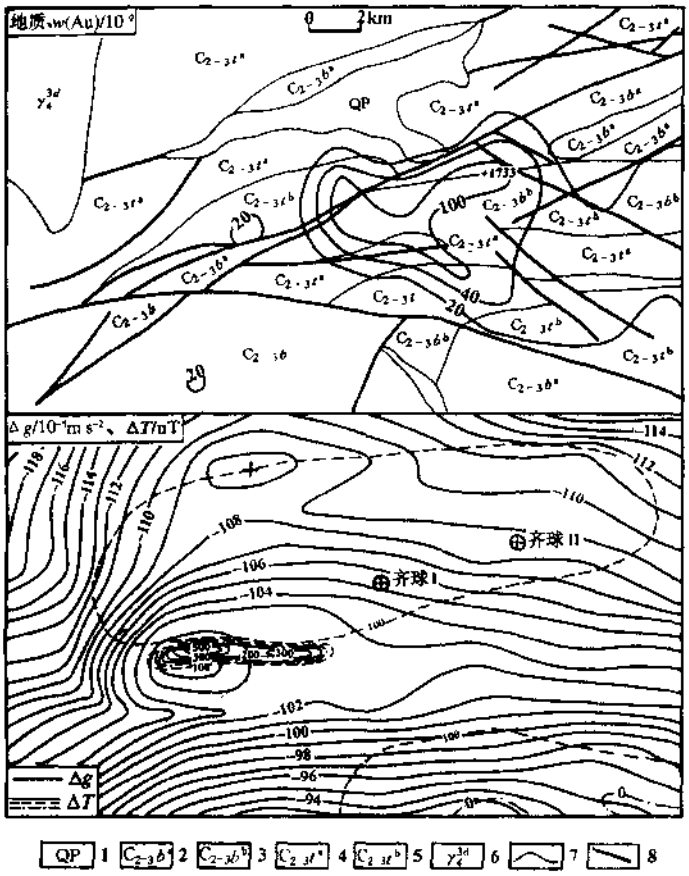


图 12.1 哈图金矿区域背景场剖析图

（据张炳义，李树滋等 1990 年资料编绘）

1—第四系更新统；2—中—下石炭统包古图组 a 岩性段；3—包古图组 b 岩性段；4—太勒古拉组 a 岩性段；5—太勒古拉组 b 岩性段；6—钾质花岗岩；7—地质界线；8—断层

晚期最为发育。超基性岩多为规模不大的岩株，酸性岩为规模较大的岩基，主要有阿克巴斯套和哈图花岗岩基（体）。沿哈图—灰绿山金矿带（见图 12.4）及其附近分布的岩浆岩，主要以火山—次火山岩为主。

实际资料表明，金矿床的规模与基性火山—次火山岩体规模呈正相关。次火山活动强烈，岩体规模大，产状复杂，且向下延深大者往往成大矿。矿带内主要金矿均位于这类大岩体内或其边缘部位。

4. 区域地球化学

（1）微量元素的平均含量。哈图金矿带主要地层中微量元素含量见表 12.1。其中太勒古拉组地层中 Au、As、Hg 元素含量明显高于区域背景值，Ag、Ba 则低于区域背景，Sb、Bi、W、Mo 稍高或近于区域背景。包古图组地层中 As、Sb、Hg、W、Mo 高于区域背景值，Au、Ag、Bi、Ba 稍高或接近区域背景。

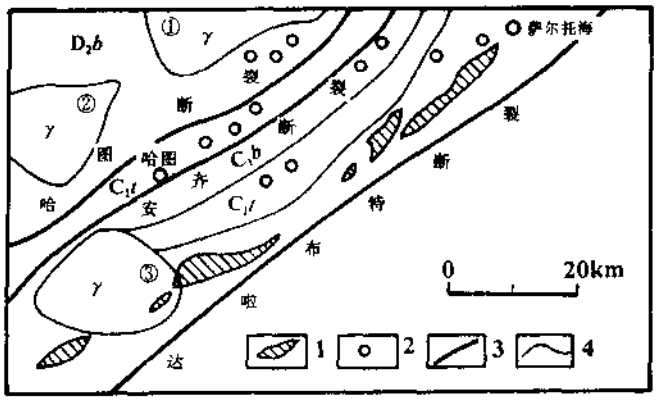


图 12.2　哈图金矿区域地质及金矿（床）点分布略图

（引自范宏瑞等，1998）

C_1b—下石炭统包古图组；C_1t—下石炭统太勒古拉组；D_2b—泥盆系巴尔雷克组；γ—海西期花岗岩基（体）；①为铁厂沟花岗岩基，②为哈图岩基，③为阿克巴斯套岩基。1—蛇绿混杂岩；2—金矿床；3—主要断裂；4—地层界线

表 12.1　哈图矿带中微量元素平均值

地　层	样品数	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	W	Mo	Ba
太勒古拉组（C_1t）	105	3.21	0.068	7.35	0.56	0.24	89.0	0.76	1.39	488
包古图组（C_1b）	68	2.75	0.118	10.26	1.35	0.23	74.0	1.42	1.81	742
矿带平均值		2.98	0.090	8.81	0.96	0.24	81.5	1.09	1.60	615
区域背景值	147	2.20	0.093	5.08	0.49	0.17	11.4	0.46	1.04	788

元素质量分数单位：Au、Hg为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据熊光楚等 1995 年资料编。

（2）区域地球化学异常特征：呈 Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg 等元素的高背景带。

5. 区域地球物理

哈图—灰绿山成矿带的重、磁、能谱异常主要与沿安齐断裂带分布的玄武-辉绿岩有关，由图 12.3 可见，（区域）重、磁异常与玄武-辉绿岩等次生火山岩对应较好。由于金矿的产出与玄武-辉绿岩密切相关，故利用重、磁及能谱异常，可圈出次生火山岩体的分布及大体形态，提供找金的有利地段。

图 12.4 显示重力垂向二次导数 Δg_z 异常呈近北东东向，强度约大于 $300\times10^{-11}/m\cdot s^2$。1:2.5 万航空综合站航磁异常呈近东西向串珠状断续分布，伽马能谱总计数率在 4000cpm（脉冲数/分）的正常背景上，出现与重、磁异常对应的 3000 ~ 3250cpm 的低值异常。齐Ⅰ、齐Ⅱ金矿，即分布于北东东向 Δg_{zz} 异常两端高值部位；分别与两个北负、南正，幅度 25 ~ 30nT 的航磁异常的负异常对应。

三、矿床地质特征

1. 矿体组合分布及产状

已发现并编号的主要金矿脉近 30 条，它们成群分布于安齐断裂上盘 $2km^2$ 范围内。矿脉（床）沿断裂（裂隙）充填形成，其空间位置、展布方向及形态变化与断裂构造基本一

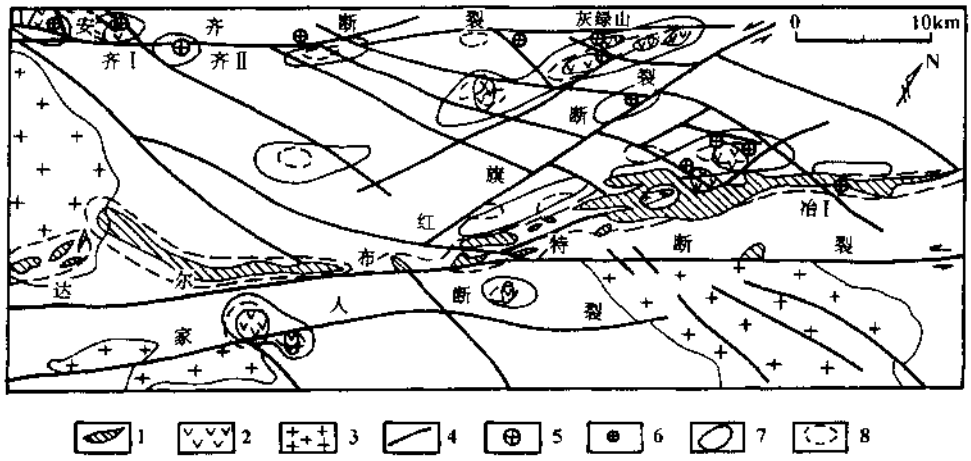


图 12.3 哈图—灰绿山金矿带重、磁剩余异常及地质简图

（引自熊光楚等，1995）

1—超基性岩；2—玄武辉绿岩；3—花岗岩；4—断裂；5—中型金矿床；6—小型金矿床；7—重力异常；8—磁异常

致，多以透镜状或脉状沿断裂延伸，并沿走向及倾向呈舒缓波状，具分枝复合现象。

矿脉大致可分为北西向、北东东—近东西向、北东向及少量北北西向脉组。其中以北西向脉组含矿性最佳，近东西向次之，最富的主矿脉为 L7、L8 和 L5 等。L7 矿脉走向 310°，倾向南西、倾角 51°～60°，地表控制长 384m，最大厚度 4m，沿倾斜延深达 500m。

2. 矿石构造及主要矿物组合

矿石构造为：浸染状、星点状、网脉状、细脉状。

硫化物含金石英脉型矿石，主要矿物组合有石英、方解石，含少量自然金、黄铁矿、毒砂等；贫—中硫化物蚀变岩型矿石，矿物组合为铁白云石、绢云母、绿泥石、碳酸盐及少量自然金、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿等。

3. 矿化阶段及分带性

成矿作用可分为三个阶段：

（1）石英-黄铁矿阶段（第Ⅰ阶段）。围岩蚀变微弱，黄铁矿化较弱，一般仅在近脉围岩中出现少量呈星散状分布的黄铁矿，此阶段金矿化较弱。

（2）石英-黄铁矿-毒砂-自然金阶段（第Ⅱ阶段）。又可分为两个亚阶段：早亚阶段围岩发生强烈蚀变，金矿化中等；晚亚阶段金矿化强烈，但在本矿区发生不普遍。

（3）碳酸岩化阶段（第Ⅲ阶段）。基本无金矿化，为成矿热液活动的尾声。

4. 蚀变类型及分带

热液蚀变主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化、碳酸岩化、钠长石化、绿帘石化等。当硅化、绢云母化和黄铁矿化十分发育时，即呈“黄铁绢云岩”，可形成具工业意义的矿体；毒砂化、绿泥石化和碳酸岩化亦具重要意义。围岩蚀变一般沿裂隙两侧呈不对称分布，大多是裂隙上盘蚀变带宽，蚀变类型复杂。由裂隙向外可分为三带。

（1）内（强）蚀变带。岩石具片理化，全部蚀变破碎，极少保留原岩成分，常见石英

脉或方解石脉分布。主要矿物有石英、绿泥石、方解石、绢云母，含较多的黄铁矿、毒砂、黄铜矿等金属硫化物，常见明金，往往构成石英脉型和围岩蚀变岩型富矿石。

（2）中蚀变带。较少见原岩成分，主要蚀变矿物有方解石、绿泥石、绢云母，少见黄

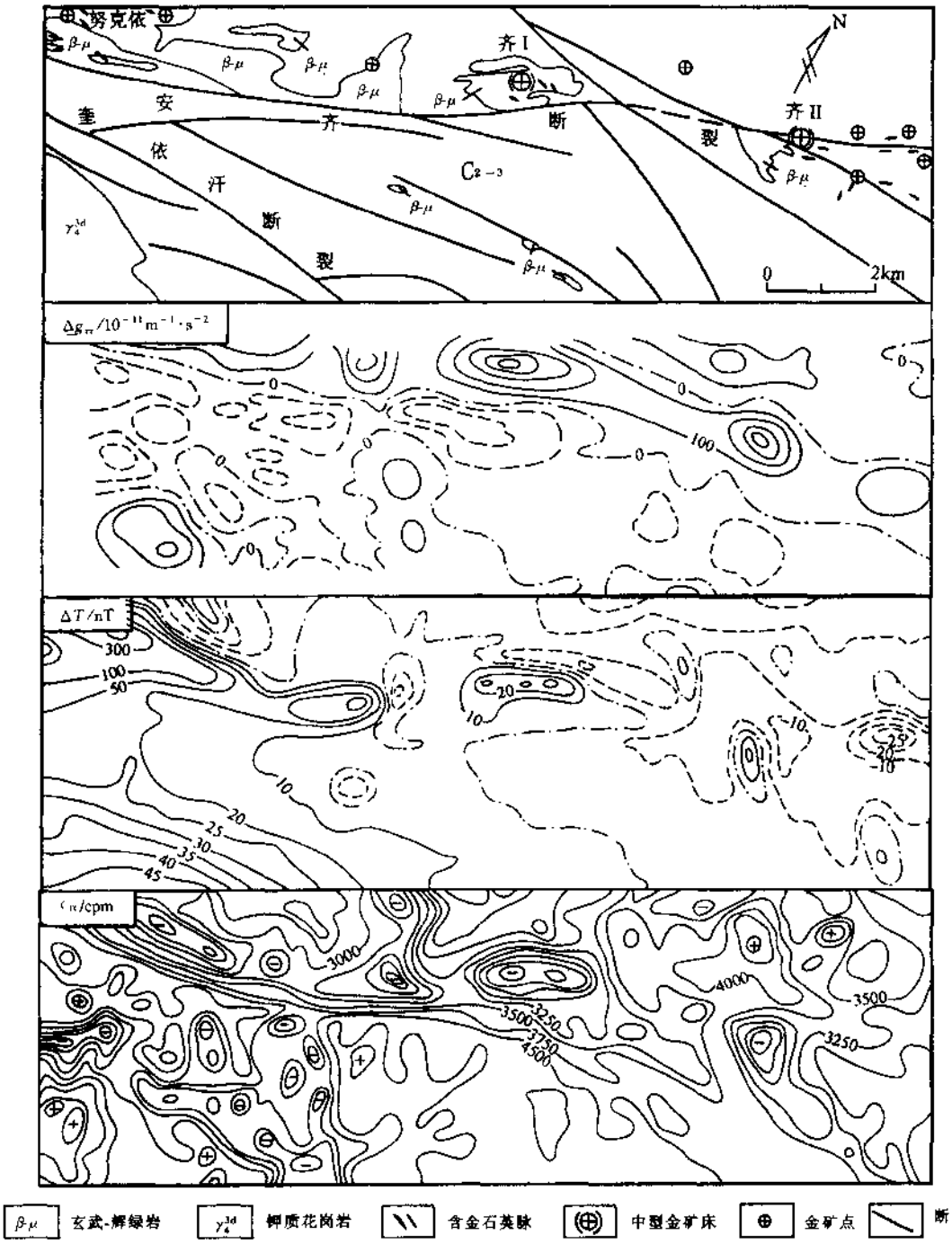


图 12.4　哈图金矿床区域场剖析图

（据高增勋等 1981 年资料编绘）

铁矿、毒砂、黄铜矿等硫化物。一般无明金，金的品位仍可达工业要求。

(3) 外（弱）蚀变带。为蚀变、破碎比较弱的岩石，原岩矿物可保留 50%以上，结构清晰，主要蚀变矿物有方解石、绿泥石、白钛矿，金含量很低。

5. 氧化带

在表生作用下，地表可见褐铁矿化、赭石化等。

6. 主要控矿因素

安齐断裂两侧及其次级断裂为控矿构造，即主干断裂提供了含矿热液的通道，次级断裂、裂隙构造提供了含矿热液充填、沉淀的空间。

(海西晚期) 酸性岩浆的侵入活动提供热源和含矿热水溶液。

火山熔岩、火山碎屑岩为矿床的围岩，玄武岩是成矿的有利围岩。

四、矿区地球物理特征

1. 岩矿石物理性质

据张炳义、熊光楚、高增勋参考资料，对部分岩性以块数加权平均，其岩矿物性参数见表 12.2、12.3。

表 12.2 哈图矿区主要岩矿石物性参数表

岩矿石名称	密度 $10^3 kg \cdot m^{-3}$			磁性			电性				
	块数	变化范围	均值	块数	$\kappa/4\pi \times 10^{-6}SI$ 常见值	$M_r/10^{-3}A \cdot m^{-1}$ 常见值	块数	$\eta/\%$ 变化范围	$\eta/\%$ 均值	$\rho/\Omega \cdot m$ 变化范围	$\rho/\Omega \cdot m$ 均值
玄武辉绿岩(钻)	55	2.88～3.09	3.00	34	1.5×10^3	8.6×10^2	63	0.4～25.5	2.50	120～518	270
凝灰砂岩(钻)	40	2.58～2.70	2.68	18	微	微	187	0.3～3.4	3.45	147～3645	697
凝灰岩(地)	69	2.67～2.78	2.73	23	微	微	31	1.0～3.6	1.87	116～604	310
硅质岩(地)				15	微	微	27	1.0～3.6	2.20	342～1070	390
含金石英脉(钻)							9	1.5～28.3	10.21		
(金)矿化凝灰砂岩型矿石(钻)							25	0.8～23.1	5.56		
(金)矿化岩石(钻)							178	1.1～38.2	6.22		
(金)矿化岩石(地)							33	1.8～7.0	3.19		

(钻)为测定标本采自岩芯；(地)为测定标本采自地表。　　据熊光楚、高增勋参考资料整理。

表 12.3 哈图矿区主要岩石放射性强度 (cpm) 表

岩石名称	点数	TC		K		U		Th	
		均值	标准离差	均值	标准离差	均值	标准离差	均值	标准离差
玄武辉绿岩	50	2536	329	206	68	41	9	24	6
蚀变玄武岩	55	2247	307	166	53	40	12	26	9
凝灰砂岩	135	3746	450～529	512	88～132	83	13～19	52	8～13
凝灰岩	53	3465	500	347	118	76	16	44	12
硅质岩	38	5332	327	723	65	118	18	72	17
花岗岩 (γ_4^3)	223	5713	354～550	831	74～106	110	12～20	88	14～17

据张炳义资料整理。

（1）容矿围岩玄武-辉绿岩具有中等磁性、较高密度，与围岩差异明显或较明显；极化率微弱，电阻率中等，即与围岩无明显电性差异。放射性强度较区内其它岩石低 2/3～1/4。当埋深浅时，可以伽马能谱测量圈定其分布范围。

（2）含金石英脉、金矿化凝灰砂岩及（金）矿化岩石具中等极化率，高于围岩一倍左右；出露地表后，因氧化极化率降低，与围岩无明显差异。

2. 物性模型

岩矿石物性特征，综合归纳于表 12.4，表中空白格为缺资料项。

表 12.4 哈图矿区主要岩矿石物性归纳表

地质体及主要岩性	密度	磁性	极化率	电阻率	放射性强度
含矿带：含金石英脉、矿化火山岩			弱～中		
容矿围岩：玄武-辉绿岩	高	中	微	中	低伽马能谱强度
围岩：火山岩、火山碎屑岩等	中	微	微	中～高	高伽马能谱强度

3. 地球物理异常

重力异常：在齐Ⅰ金矿区，高精度重力测量在赋存金矿的容矿围岩玄武-辉绿岩上观测到明显的局部重力高异常（图 12.5），其重力 $\Delta g_{\text{布}}$ 异常[1] 近于椭圆状，长轴呈北东向，横穿齐Ⅰ矿区剖面（图 12.6），重力 Δg_B 在南高北低的背景场上，显示呈较规则的重力高异常。曲线圆滑，幅值达（30～40）$\times 10^{-5}\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$，与容矿围岩玄武-辉绿岩对应较好。剩余 Δg_r 曲线梯度大，呈多峰状，两侧曲线的拐点处，与玄武-辉绿岩的边界大致对应。

磁异常：在大片负磁异常中，ΔT 呈长轴北东向的椭圆状微弱正异常，三个局部异常中心，其极值约 40nT；东南部等值线稀疏，北西密集并伴有弱负磁异常。

航磁 ΔT 剖面异常微弱而圆滑，曲线北陡南缓，略不对称；异常极大值 $\Delta T_{\max} \approx 35\text{nT}$，偏于玄武－辉绿岩的南部，北侧极小值 $\Delta T_{\min} \approx -6\text{nT}$。

伽马能谱异常：航放伽马能谱测量呈椭圆形低值异常，$c_{\text{TC,min}} \approx 2250\text{cpm}$，剩余异常约 1200cpm。

U、Th、K 及总量 TC 在剖面上，均显示为低值异常（图 12.6），相对强度分别为 w（K）$\approx 0.8\%$，w（U）$\approx 2.5\times10^{-6}$，w（Th）$\approx 6\times10^{-6}$，$c_{\text{TC}} \approx 1300\text{cpm}$。三种元素异常形态相似，位置相应，反映了齐Ⅰ金矿容矿围岩玄武-辉绿岩（蚀变）的分布范围。

4. 干扰体或干扰因素及其影响

据现有资料分析：综合物探圈定容矿围岩玄武-辉绿岩（蚀变）干扰较小；寻找和圈定含金石英脉的矿化蚀变带，可直接用激发极化法，其主要干扰为不含金的黄铁矿化。

五、矿区地球化学特征

1. 岩矿石地球化学参数

（1）矿石中主要微量元素含量（表 12.5）揭示：①与矿区背景比较，矿石中成矿成

[1] 图 12.5、12.6 中作者据对原资料判断对坐标进行了修正，作者。

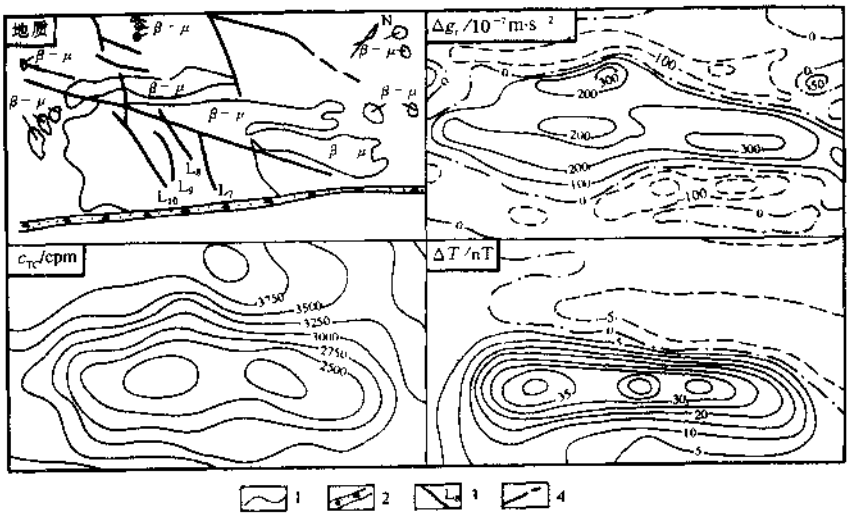


图 12.5　哈图金矿床齐Ⅰ金矿区综合物探异常图

（引自熊光楚等 1995 资料）

1—玄武辉绿岩；2—断裂破碎带；3—金矿脉；4—实测及推断断层

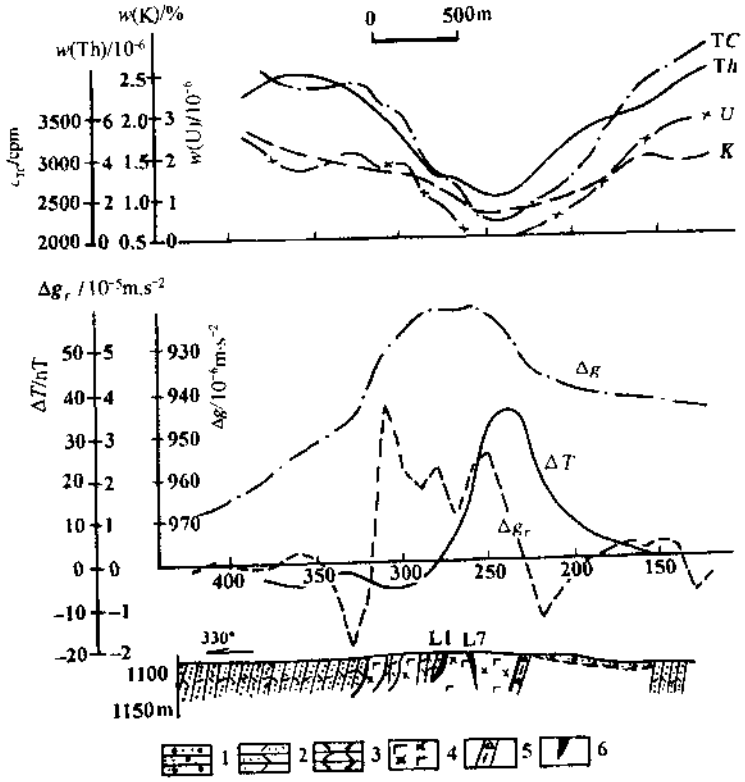


图 12.6　横穿Ⅰ矿区重磁放剖面

1—第四系；2—凝灰质砂岩；3—凝灰岩；4—玄武辉绿岩；5—断裂破碎带；6—金矿脉

晕元素组分可分为（Au、As、Sb），（Ag、Hg），（Bi、Mo）三组不同指示意义的指示元素。②齐Ⅰ、齐Ⅱ矿石中的微量元素含量变化及分布特征相近，表明受同一控矿因素，同一期次生成的金矿。

表 12.5 哈图矿区主要岩矿石中主要微量元素含量

岩矿石名称	样品数	Au	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Mo	W	Ba
齐Ⅰ矿石	17	5930	0.63	3561.0	49.54	0.19	110	0.59		
齐Ⅱ矿石	29	4210	0.26	1269.0	27.29	0.18	82	0.83		
蚀变玄武岩	18	14.8	0.04	40.3	2.77	0.09	14.3	0.40	18.56	89
玄武岩	12	1.9	0.01	1.6	0.46	0.13	9.9	0.30	3.64	50
硅化凝灰岩	15	15.2	0.06	33.4	7.69	0.16	54.3	0.30	0.55	542
凝灰质砂岩	16	2.6	0.06	18.8	5.21	0.15	51.9	0.98	0.58	600
凝灰质粉砂岩	26	5.8	0.08	22.9	3.87	0.16	61.2	0.90	0.58	690
泥质粉砂岩	15	17.5	0.13	28.3	6.00	0.19	68.7	1.50	0.58	478
矿区背景值	70	4.3	0.10	7.56	0.91	0.14	31	0.78		
区域背景值	147	2.2	0.09	5.08	0.49	0.17	11.4	1.04	0.46	788

元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}。　　据熊光楚等 1995 资料整理。

（2）矿区内主要岩石微量元素含量见表 12.5：①大部分岩性中 Au、As、Sb、Hg、W 等元素含量均高于区域背景值。②各类岩性中，泥质粉砂岩 Au、Ag、Bi、Hg、Mo 含量最高。③玄武岩中 Au、Ag、As、Sb 等元素明显低于其它岩性中含量，而蚀变玄武岩中，这几种元素含量较玄武岩高出 3～8 倍，显示构造活动和热液蚀变作用导致围岩中元素的活化转移，亦为区内控制成矿的重要因素。

2. 矿床地球化学异常

（1）岩石测量。齐Ⅰ矿区岩石地球化学异常图（图 12.7）显示：①安齐断裂北西侧矿脉赋存地段，有清晰的但形态不甚规则的 Au、Ag、As、Sb、Hg、B、Ba、Bi、Mo 异常；在断裂南东侧，这些元素的异常规模小、衬度低，呈断续分布。②Au、Ag、As 元素的主体异常和高浓度带，分布于矿区中部含金石英脉集中的 3～6 线地段，显示与含金石英脉紧密相伴；而 Sb、Hg、B、Ba 的主体异常及其中、高浓度带，分布在远离矿体的 0～5 线间，显示其中—远程指示元素的特征；Bi、Mo、W 的异常含量较低，其主体异常偏向矿区中部矿体出露一侧，呈剥蚀程度较大或矿尾部元素异常的特征反映。

剖面异常特征示于图 12.8。在含矿破碎带上，对应有明显或较明显的 Au、As、Sb、Hg、Bi、B 等元素异常。

（2）钻孔岩石地球化学异常剖面。齐Ⅰ金矿（L27 脉）0 线岩石地球化学异常剖面（图 12.9）显示，各元素异常多呈条带状，其中 Au、As、Ag、Se 等异常紧包矿脉（或矿化体）及热液蚀变带，浓集中心明显，分带清晰。Au、As 尤为突出，其内带异常指示矿

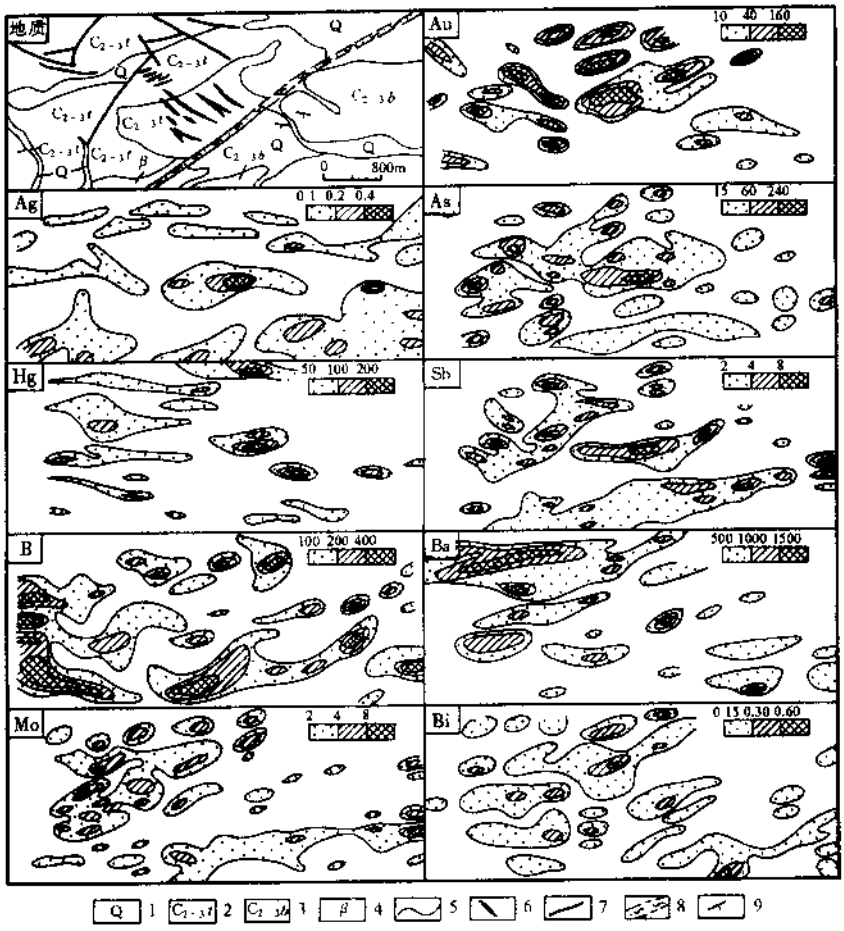


图 12.7　哈图金矿床齐Ⅰ金矿区岩石地球化学异常图

（据熊光楚等 1995 资料绘）

1—第四系；2—中－上石炭统太勒古拉组火山碎屑岩；3—中－上石炭统包古图组海相碎屑岩；4—玄武岩；5—地质界线；6—金矿脉；7—断层；8—断裂破碎带；9—岩层产状。元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

体赋存部位，外带异常大体与蚀变带范围对应。Sb、Hg、B、Ba 等元素异常的高浓度带集中分布于矿化带的前缘和上部，形成前缘晕；Bi、Mo、W 等元素含量低；其中、内带异常零星，并集中分布在矿化带的中、下部，为已控制的矿化带尾部晕的反映。

3. 元素分带序列及矿化剥蚀程度指标

（1）哈图金矿床的指示元素组合，具有较明显的垂直和水平分带。

水平分带（由内至外）：W、Mo、Bi、As、Au、Ag、Se→Au、As、Ag、Sb、Hg→Sb、Hg、B、Ba。垂直分带（自上而下）：B、Ba、Hg、Sb→As、Au、Ag、Se→Bi、Mo、W。

（2）剥蚀程度评价指标。根据前缘元素和尾部元素的累乘比值变化（表 12.6），可推断其矿化赋存部位，估量矿（化）体剥蚀程度。

表 12.6　哈图矿床剥蚀程度评价指标

矿体部位	$w(Au)\cdot w(Hg)\cdot w(B)/w(Mo)\cdot w(Bi)100$	$w(B)\cdot w(Hg)/w(Bi)\cdot w(Mo)$
矿(化)体前缘	> 50	> 100
矿(化)体	0.5 ~ 50	10 ~ 100
矿(化)体尾部	< 0.5	< 10

据古平等 1991 年资料编。

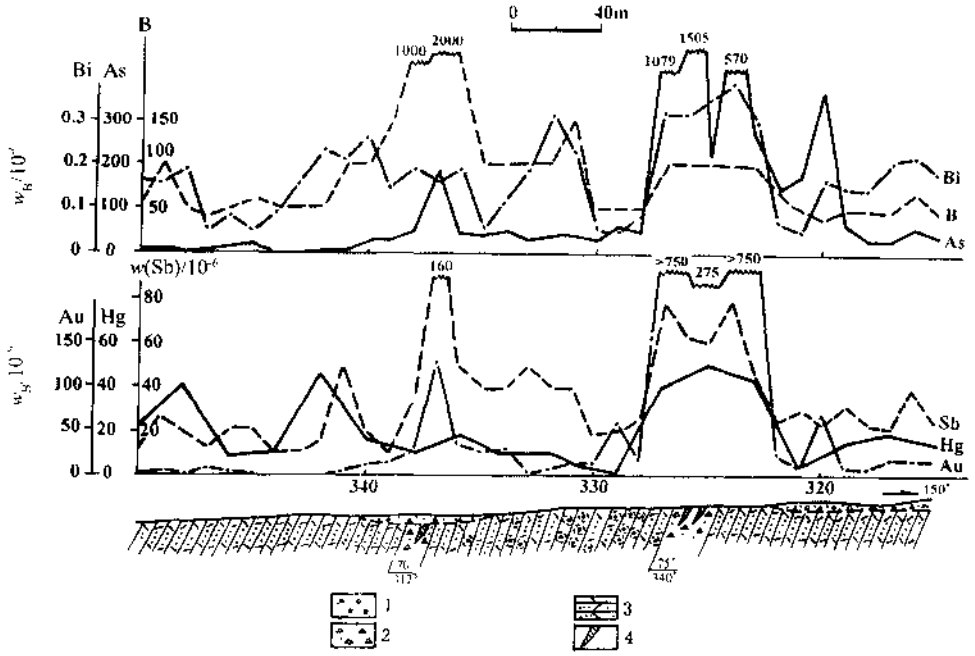


图 12.8　哈图金矿床齐Ⅰ金矿 16 线化探地质综合剖面图

(引自高增勋等，1981)

1—第四系；2—蚀变破碎带；3—凝灰质粉砂岩；4—金矿体

六、地球化学异常找矿模型及找矿标志

1. 哈图金矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志归纳于表 12.7。

2. 哈图金矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型示意图见图 12.10，哈图金矿地球物理找矿模型简表见表 12.8。

3. 地质找矿勘查物探化探优选方法组合流程

(1) 发现基性火山—次火山岩体聚集分布区：1:20 ~ 1:10 万区域重力、航空磁测调查；或应用 1:20 ~ 1:10 万重力、航磁等区域调查资料进行综合分析研究。

(2) 寻找并圈定容矿岩体玄武-辉绿岩：在基性火山—次火山岩体聚集分布区，进行

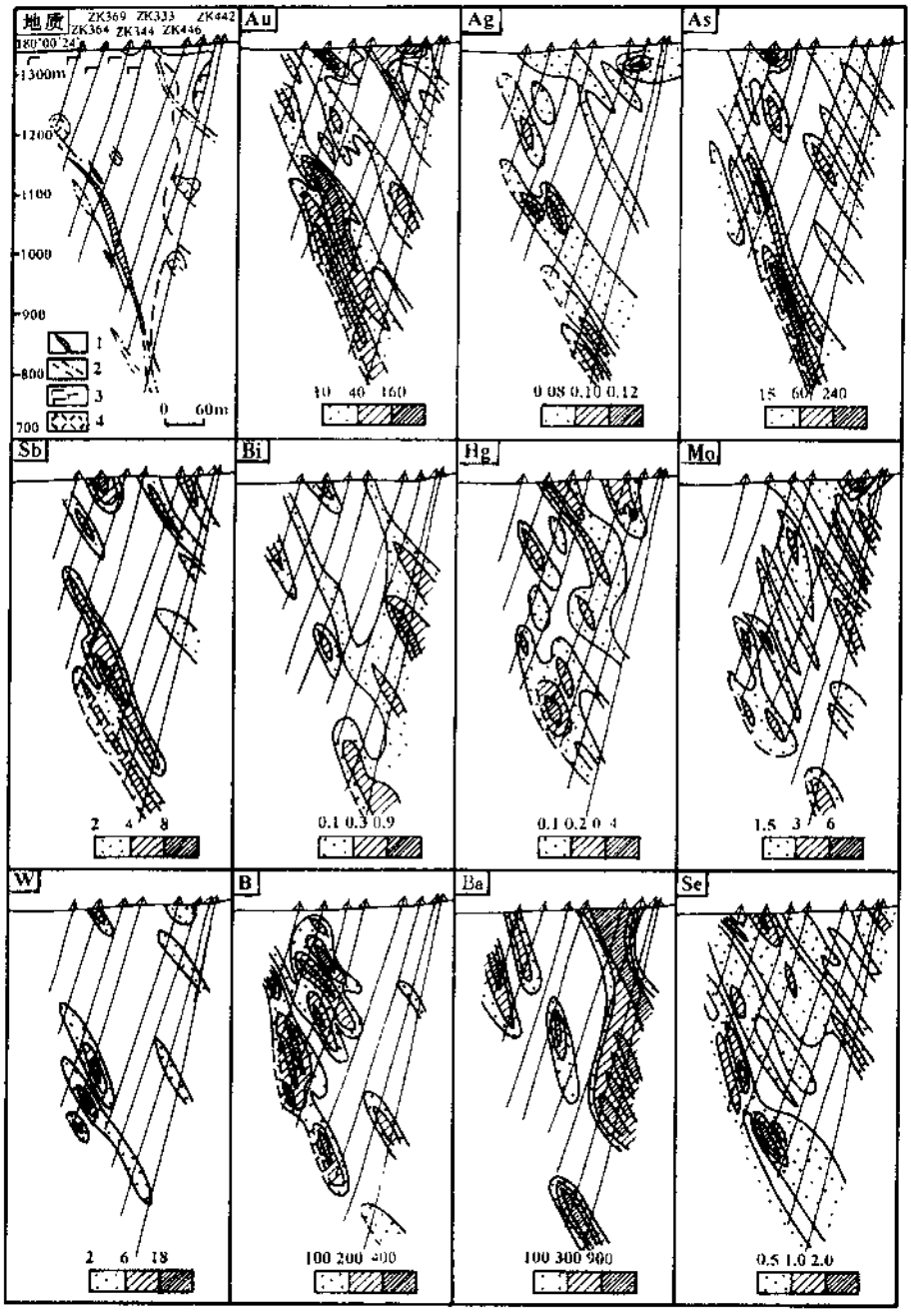


图 12.9 哈图金矿床齐Ⅰ金矿（127 脉）0 线岩石地球化学异常剖面图

（据熊光楚等 1995 资料编绘）

1—金矿体；2—蚀变破碎带；3—玄武岩；4—凝灰岩，金的质量分数单位为 10^{-9}，其余为 10^{-6}

表 12.7　哈图金矿床地质-地球物理-地球化学找矿标志集

标志分类		标志或信息显示	
区域背景	地质构造	位于准噶尔海西褶皱带扎依尔-达尔布特复式向斜北翼，属哈图—灰绿山成矿带	
	地球物理场	重力场呈北东东向重力高值带展布，长 60km，宽 1～2km，对应磁场为－100nT 左右的平稳负磁场，矿区处于重力高值带西部重力高及极值大于 500nT 的 TM-6 航磁异常北侧	
	地球化学场	Au 元素异常明显，大于 20×10^{-9}范围约 180km^2，最高含量达 1733×10^{-9}。其他 Ag、As、Sb、Bi、Hg 等元素呈高背景带，矿床即处于成矿带的相对高背景地段	
地质	地　层	主要赋矿层位为中—上石炭统太勒古拉组，为一套中基性火山岩、火山碎屑沉积岩，主要岩性有玄武岩、泥质粉砂岩、凝灰岩、碧玉岩、中性熔岩、硅质岩等	
	构　造	金矿主要赋存于安齐断裂北西侧的次级断裂带中，以 NE 向和近 EW 向断裂带含矿性最好	
	岩浆岩	矿床规模与基性火山—次火山岩体规模呈正消长关系。次火山活动强烈，岩体规模大；产状复杂，且向下延深大者往往成大矿。矿带内主要金矿均位于这类大岩体内或其边缘部位	
	围岩蚀变	硅化、绢云母化和黄铁矿化十分发育时，即形成“黄铁绢云岩”，可形成具工业意义的矿体。此外，毒砂化、绿泥石化和碳酸岩化亦具重要意义	
	赋矿部位	断裂（裂隙），或蚀变破碎带	
	主要矿石矿物	硫化物含金石英脉型矿石有石英、方解石，含少量自然金、黄铁矿、毒砂等； 贫—中硫化物蚀变岩型矿石有铁白云石、绢云母、绿泥石、碳酸盐及少量自然金、黄铁矿、毒砂、黄铁矿、黝铜矿、闪锌矿等	
	直接找矿标志	石英脉，尤其是烟灰色条带状石英脉；黄铁绢云岩化等	
地球物理	探测目标物	玄武辉绿岩体	含金石英脉矿化蚀变带
	目标物物性特征	较高密度（≥3.0×10^3kg·m^{-3}） 中磁（κ：$1.5\times10^3 4\pi\times10^{-6}$SI，$M$，$8.6\times10^2\times10^{-3}$A·m^{-1}） 较低放射性强度	弱—中极化（中低电阻率）
	地表异常特征	重力高，弱正磁异常； 伽马能谱（U、Th、K 与总量 TC）低值异常	中—弱视极化率异常（相对低阻异常）
	干扰异常	（运用综合物探方法，干扰较小）	不含金的黄铁矿化引起的异常
地球化学	异常元素组分	主要组分：Au、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Mo、B、W、Se 前缘元素：B、Ba、Hg、Se 近矿元素：Au、Ag、As、Se 尾部元素：Bi、Mo、W	
	元素浓度分带	Au：5～10～40～160　Sb：2～4～8　Mo：2～4～8 Ag：0.1～0.2～0.4　Hg：50～100～200　Ba：500～1000～1500 As：15～60～240　Bi：0.15～0.30～0.60　B：100～200～400	
	主要元素异常形态与分布范围	Au、Ag、As 元素主体异常和高浓度带，与含金石英脉紧密相伴；Sb、Hg、B、Ba 的主体异常及其中、高浓度带，显示为中—远程指示元素的特征；Bi、Mo、W 的异常含量较低，其主体异常偏向矿区中部矿体出露一侧，呈剥蚀程度较大或矿尾部元素异常的反映特征	
	其它特征	矿体剥蚀程度评价指标：$w(Ag)\cdot w(Hg)\cdot w(B)/w(Mo)\cdot w(Bi)\cdot100$　$w(B)\cdot w(Hg)/w(Bi)\cdot w(Mo)$ 矿（化）体前缘：　>50　>100 矿（化）体：　0.5～50　10～100 矿（化）体尾部：　<0.5　<10	
备　注		元素质量分数单位：Au、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}	

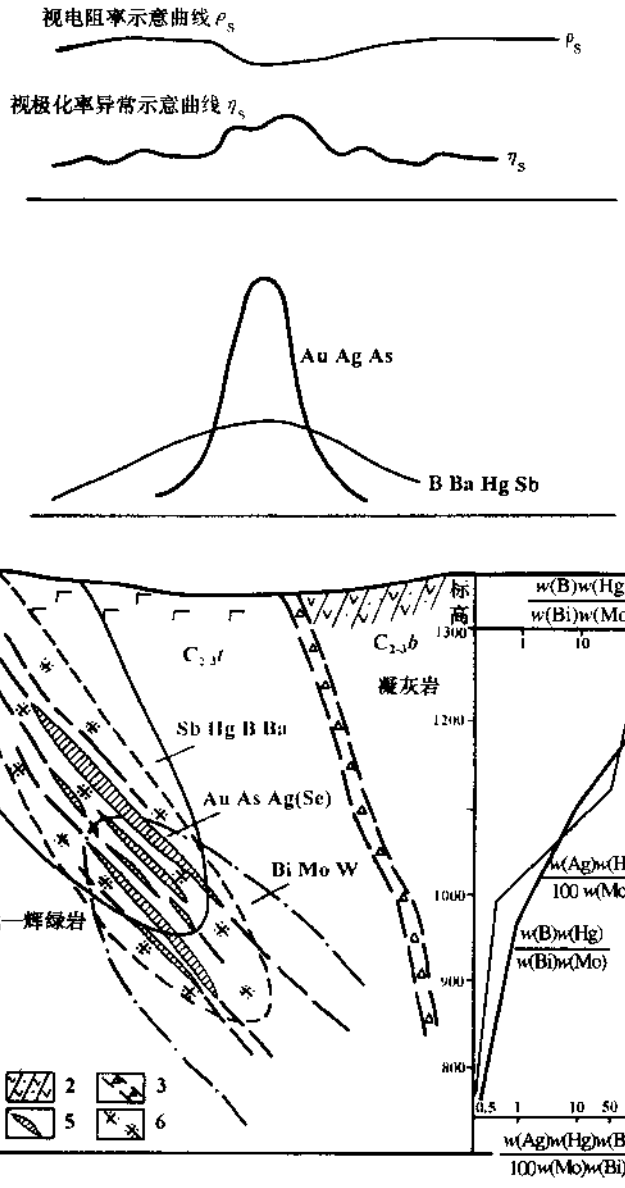


图 12.10　哈图金矿地质-地球物理-地球化学找矿示意模型

（据熊光楚等 1995 资料编绘）

1—玄武岩；2—凝灰岩；3—安山断裂；4—次级含矿断裂；5—金矿脉；6—热液蚀变带范围

1:5万～1:2.5 万航空磁测与伽马能谱测量或航空综合站观测。

（3）寻找和圈定含金石英脉矿化蚀变带：以岩石地球化学测量为主的中一大比例尺化探，和以激电法为主，配合高精度磁测，地面伽马能谱测量等。

表 12.8 哈图金矿地球物理找矿模型简表

	物性参数	地质体：玄武辉绿岩体	目标物Ⅰ围岩：火山碎屑岩	备 注
探测目标物Ⅰ——容矿围岩	密度	较高 （$\sigma \geq 3.0\ 10^3 kg \cdot m^{-3}$）	中 （σ：$2.68 \sim 2.73\ 10^3 kg \cdot m^{-3}$）	空白格为缺资料项
	磁性	中强磁性（$\kappa \approx 1.5 \times 10^3 \times 4\pi \times 10^{-6} SI$；$M_r \approx 8.6 \times 10^2 \times 10^{-3} A \cdot m^{-1}$）	微磁	
	电性			
	放射性	强度较低	强度较高	
探测目标物Ⅱ——矿（化）体	物性参数	地质体：含金石英脉矿化蚀变带	目标物Ⅱ围岩：火山岩、火山碎屑岩	
	密度			
	磁性			
	电性	中—弱极化（η：5.6% ~ 10.0%）	微弱极化（η：1.9% ~ 3.5%）	

七、地质、地球物理、地球化学特征简表

表 12.A 哈图金矿床地质特征简表。

表 12.B 哈图金矿床地球物理特征简表。

表 12.C 哈图金矿床地球化学特征简表。

表 12.A　哈图金矿床地质特征简表

地理位置		新疆托里县境内，南东距克拉玛依市 65km。1:20 万：L-45-（19）		
矿床类型		石英脉型、蚀变岩型	矿石建造	Au
矿床规模、品位		大型　石英脉型品位：15.7g/t， 蚀变岩型品位：4.90－7.58g/t	容矿岩石	石英脉，玄武岩
地质成矿环境	构造背景	准噶尔西褶皱带扎依尔-达尔布特复式向斜北翼，属哈图—灰绿山成矿带		
	地　层	出露地层主要为中—上石炭统包古图组和太勒古拉组。前者为一套中基性火山碎屑沉积岩，岩性主要有泥质粉砂岩、凝灰质砂岩、钙质粉砂岩和硅质粉砂岩；后者亦为一套中基性火山岩、火山碎屑沉积岩，主要岩性有玄武岩、泥质粉砂岩、凝灰岩、碧玉岩、中性熔岩、硅质岩等。主要赋矿层位为太勒古拉组，分布于安齐断裂北西侧		
	构　造	区域构造线主要为 NE—NEE 向，其中 NE 向规模较大。自北西→南东排列有：哈图断裂，安齐断裂，达啦布特断裂；三组断裂均呈 NE—SW 向展布，这三组断裂控制的范围内有大量金矿点及老硐分布。金矿主要赋存于安齐断裂北西侧的次级断裂带中，且以 NE 向和近 EW 向断裂带含矿性最好		
	岩浆岩	区域岩浆岩比较发育，从超基性岩到中—酸性岩均有分布；以海西晚期最为发育。超基性岩为规模不大的岩株；酸性岩为规模较大的岩基。主要有阿克巴斯套和哈图花岗岩基（体），沿哈图—灰绿山金矿带及其附近，主要以火山—次火山岩为主，金矿床的规模与基性火山—次火山岩体规模呈正相关。矿带内主要金矿均位于这类大岩体内或其边缘部位		
	主　要 控矿因素	安齐断裂两侧及其次级断裂为控矿构造；主干断裂提供含矿热液的通道，次级断裂、裂隙构造提供含矿热液充填沉淀的空间。 （海西晚期）酸性岩浆的侵入活动提供热源和含矿热水溶液。 火山熔岩、火山碎屑岩是矿床的围岩；玄武岩是成矿的有利围岩		
矿床特征	成矿岩体			
	容矿构造	安齐断裂北西侧发育的次级断裂带（Ⅳ-Ⅴ级断裂），及裂隙构造		
	矿化阶段	石英-黄铁矿阶段：围岩蚀变微弱，一般仅在近脉围岩中出现少量星散状分布的黄铁矿；金矿化较弱。 石英-黄铁矿-毒砂-自然金阶段：又可分为两个亚阶段：早亚阶段为围岩发生强烈蚀变，金矿化中等；晚亚阶段为金矿化强烈，但在本矿区发生不普遍。 碳酸岩化阶段：基本无金矿化，为本区成矿热液活动的尾声		
	蚀　变	主要有：硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化、碳酸岩化、钠长石化、绿帘石化等。当硅化、绢云母化和黄铁矿化十分发育时，即呈“黄铁绢云岩”，可形成具工业意义的矿体；毒砂化、绿泥石化和碳酸岩化亦具重要意义		
	矿化分带			
	矿体特征	金属矿物：硫化物含金石英脉型矿石：自然金、黄铁矿、毒砂； 贫—中硫化物蚀变岩型矿石：自然金、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿等		
		矿石特征：分为含金石英脉型和贫—中硫化物蚀变岩型两种。 矿石构造主要为：浸染状、星点状、网脉状、细脉状等		
		矿体形态：多以透镜状或脉状沿断裂延伸，走向及倾向呈舒缓波状，具分枝复合现象。矿脉大致可分为北西向、北东东—近东西向、北东向及少量北北西向脉组。以北西向含矿性最好		
	脉石矿物	含金石英脉型：主要为石英、方解石等； 贫—中硫化物蚀变岩型：铁白云石、绢云母、绿泥石、碳酸盐等		
表生地质		在表生作用下，地表可见褐铁矿化、赭石化等		
地貌景观		干旱荒漠区		
备　注				

表 12.B　哈图金矿床地球物理特征简表

区域场	重力场		呈北东东向的展布，长 60km，宽 1～2km 的重力高值带，矿区处于该重力高值带西部重力高的北侧；重力垂向二次导数 Δg_{zz} 异常呈近北东东向，强度约大于 $300\times10^{-11}/m\cdot s^2$；齐Ⅰ、齐Ⅱ金矿，分布于北东东向 Δg_{zz} 异常两端高值部位
	磁　场		1:10 万航空磁测，大部为 -100nT 的平稳负磁场，仅西部局部重力高处，对应有极值大于 500nT、编号 TM-6 的航磁异常。1:2.5 万航空综合站金矿普查：航磁异常呈近东西向串珠状断续分布。齐Ⅰ、齐Ⅱ金矿分别与两个北负、南正，幅度 25～30nT 的航磁异常的负异常对应
	放射性场		1:2.5 万航空综合站金矿普查：伽马能谱总计数率在 4000cpm 的正常背景上，出现与重、磁异常对应的 3000～3250cpm 的低值异常。
矿区(用)异常	重力异常		齐Ⅰ矿区，玄武-辉绿岩上有明显的局部重力高异常，其重力 Δg_{zz} 异常近于椭圆状，长轴呈 NE 向，长约 3km，宽 0.4～1.0km，三个异常中心，极值为 $(200\sim300)\times10^{-11}/m\cdot s^2$
	磁力异常		在大片负磁异常中，ΔT 呈长轴 NE 向椭圆状微弱正异常，三个局部异常中心，其极值约 40nT。磁异常等值线东南稀疏，北西密集，并伴有弱负磁异常
	能谱异常		伽马能谱异常呈低值椭圆状，$c_{TC\,min}\approx2250$cpm，剩余异常约 1200cpm；三种元素异常形态相似，位置相应，反映了齐Ⅰ矿区容矿围岩玄武辉绿岩(蚀变)的分布范围
	其他		
矿床异常	重力异常		横穿齐Ⅰ矿区剖面，重力 Δg 在南高北低的背景上，显示呈较规则的重力高异常，异常幅值达 $(30\sim40)\times10^{-5}m\cdot s^{-2}$，与容矿围岩玄武-辉绿岩对应较好。$\Delta g$ 异常曲线梯度大，呈多峰状，两侧曲线的拐点处，与玄武辉绿岩的边界大致对应
	磁力异常		ΔT 剖面异常微弱而圆滑，曲线北陡南缓，略不对称；$\Delta T_{max}\approx35$nT，偏于玄武-辉绿岩的南部，北侧极小值 $\Delta T_{min}\approx-6$nT
	电异常	激电异常	
		电阻率异常	
	能谱异常		横穿齐Ⅰ矿区剖面，U、Th、K 及总量 TC 均呈低值异常，其相对强度：$w(K)\approx0.8\%$，$w(U)\approx2.5\times10^{-6}$，$w(Th)\approx6\times10^{-6}$，$c_{TC}\approx1300$cpm

主要岩矿石物性	岩、矿石名称	密度/10^3kg·m^{-3}		磁　性		电　性	
		常见值	变化范围	$\kappa/4\pi\times10^{-6}$SI	$M_r/10^{-3}$A·m^{-1}	η/%	ρ/Ω·m
	含金石英脉（钻）					10.21	
	凝灰砂岩型矿石（钻）					5.56	
	（金）矿化岩石（地） （钻）					3.19 6.22	
	玄武岩辉绿岩（钻）	3.00	2.88～3.09	1.5×10^3	8.6×10^2	2.50	270
	凝灰砂岩（钻）	2.68	2.58～2.70	微	微	3.45	697
	凝灰岩（地）	2.73	2.67～2.78	微	微	1.87	310
	硅质岩（地）			微	微	2.20	390

备　注	(1) 物性参数栏中：（钻）为测定标本采自岩芯；（地）为测定标本采自地表。 (2) 主要岩石放射性强度 c_{TC}（cpm）：玄武辉绿岩：2326；蚀变玄武岩：2247；凝灰砂岩：3746 凝灰岩：3465；硅质岩：5332；花岗岩（γ_4^3）：5713

表 12.C　哈图金矿床地球化学特征简表

区域或矿田异常	元素组分	Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo
	空间分布	Au 元素异常明显，大于 20×10^{-9} 范围约 180km²，最高含量达 1733×10^{-9}，其他 Ag、As、Sb、Bi、Hg 等元素呈高背景带，矿床又处于成矿带的相对高背景地段
	元素浓度分带	
	元素水平分带	
	其他特征	
矿床异常	元素组分	地表：Au、Ag、As、Hg、Sb、B、Ba、Mo、Bi　　断面：Au、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Mo、W、Se、Bi
	空间分布	岩石测量在安齐断裂北西侧矿脉赋存地段，有清晰的形态不其规则的 Au、Ag、As、Sb、Hg、B、Ba、Bi、Mo 异常；南东侧，异常规模小，呈断续的低衬度异常带．此外，Au、Ag、As 元素主体异常，分布于矿区中部含金石英脉集中地段；Sb、Hg、B、Ba 的主体异常远离矿体，呈中—远程指示元素的特征；Bi、Mo、W 含量较低，主体异常偏向矿区中部矿体出露一侧　　各元素异常多呈条带状，其中 Au、As、Ag、Se 等元素异常紧包矿脉（或矿化体）、热液蚀变带，浓集中心明显，分带清晰；Au、As 内带异常指示矿体赋存部位，外带大体与蚀变带范围对应。Sb、Hg、B、Ba 等元素的异常主体分布于矿化带的前缘和上部；Bi、Mo、W 等元素含量低，其中、内带异常零星．分布在矿化带的中、下部
	元素浓度分带	Au：10～40～160　Hg：50～100～200 Ag：100～200～400　Bi：0.15～0.3～0.6 As：15～60～240　Mo：2～4～8 Sb：2～4～8　Ba：500～1000～1500 B：100～200～400　　Au：10～40～160　Hg：100～200～400 Ag：80～100～120　Bi：0.1～0.3～0.9 As：15～60～240　Mo：1.5～3.0～6.0 Sb：2～4～8　Ba：100～300～900 B：100～200～400　W：2～6～18
	元素分带序列	水平分带（自矿体→围岩）：W、Mo、Bi、As、Au、Ag、Se→Au、As、Ag、Sb、Hg→Sb、Hg、B、Ba 垂直分带（自上而下）：B、Ba、Hg、Sb→As、Ag、Au、Se→Bi、Mo、W
	元素间相关性	
	其他特征	
矿体剥蚀程度评价指标		矿体部位　$w(Ag)\cdot w(Hg)\cdot w(B)/w(Mo)\cdot w(Bi)\cdot100$　　$w(B)\cdot w(Hg)/w(Bi)\cdot w(Mo)$ 矿（化）体前缘：　>50　　>100 矿（化）体：　0.5～50　　10～100 矿（化）体尾部：　<0.5　　<10

岩矿石微量元素平均含量

岩、矿石名称	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Ni	Co	As	Sb	Bi	Hg	n
蚀变玄武岩				14.8	40	18.6		0.40			40.3	2.77	0.09	14.3	18
玄武岩				1.9	10	3.6		0.30			1.6	0.46	0.13	9.9	12
硅化凝灰岩				15.2	60	0.6		0.30			33.4	7.69	0.16	54.3	15
凝灰质砂岩				2.6	60	0.6		0.98			18.8	5.21	0.15	51.9	16
凝灰质粉砂岩				5.8	80	0.6		0.90			22.9	3.87	0.16	61.2	26
泥质粉砂岩				17.5	130	0.6		1.50			28.3	6.00	0.19	68.7	15
齐Ⅰ矿石				593	630			0.59			3561	49.5	0.19	110	17
齐Ⅱ矿石				421	260			0.83			1269	27.3	0.18	82	29
区域背景值				2.2	90	0.46		1.04			5.08	0.49	0.17	11.4	147
矿区背景值				4.3	100			0.78			7.56	0.91	0.14	31	70

备注	元素质量分数单位：Au、Ag、Hg 为 10^{-9}，其余元素为 10^{-6}

后　记

“中国主要大型矿床的地球物理-地球化学找矿模型”研究项目的研究者基于以往研究工作的基础，吸取了其他模型或模式研究的方法与经验，进一步完善了建立矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型（即综合信息找矿模型）的方法技术，提出了综合信息找矿模型的构成要素和基本格式，为按统一标准编制我国大型矿床综合信息找矿模型打下良好基础；通过对矿床不同尺度的地质、地球物理、地球化学特征，及其直接的、间接的找矿标志和矿化信息较系统的分析归纳，使模型对地质找矿勘查的指导作用得以增强；一定程度上补充或完善了相应矿床的成矿模式研究。

一、本书编入的20个矿床（田）综合信息找矿模型，包括有色金属矿床15个、贵金属矿床5个。所编找矿模型具有以下特点。

1. 系统性

——横向上：以矿床地质成矿模式或控矿因素为基础，物化探找矿标志或找矿信息为基本要素，组成矿床的地质、地球物理、地球化学综合信息找矿模型；形成多学科、多参数、多方位的特征或信息组合。

——纵向上：以矿床为主体，组成矿田或矿带→矿床→矿体的找矿标志、信息组合；形成多层次、多尺度特征或信息系列

——表达形式上：以文字描述式为基础，形成文字描述式、表格式、图形式找矿模型或找矿标志、信息集合；呈多样化的表达形式。

2. 实用性

——涉及的矿种及矿床类型较多　首批建模矿床基本涵盖了所有有色金属矿床类型和一些典型贵金属矿床类型。

——包含的资料和信息较全。除主要地质特征外，重点总结和归纳了矿床的岩矿石物性参数、地球化学参数特征，地球物理、地球化学背景场→区域场，矿田区→矿床区→矿体的物化探异常特征。

——针对各矿床地、物、化特征，总结提出的地质找矿勘查优选方法组合流程，可作为类似矿床选择勘查方法技术的借鉴或参考。

3. 开放性

所建矿床找矿模型格式统一，进一步修改、补充方便。

二、编入的矿床找矿模型尚存以下不足

由于多数矿床地质勘查时间较长，搜集资料较难，加之各矿床工作程度、工作条件、地质勘查思路、采用的方法技术不同等，有些矿床的找矿模型内容不齐，形式偏颇，精细程度较差。

编入的20个矿床模型中，同类矿床数量少，尚难按矿床类型归纳提出其综合信息概括找矿模型。

三、与编撰本书同时，还研制了“中国主要大型矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型（部分有色、贵金属矿床）”文档浏览软件

该软件具有以下特点：

（1）只需 IE 浏览器和 Acrobat Reader 支持；

（2）组织结构清晰，允许文本（文、图、表）格式复杂，容纳信息量大，可视化程度高；

（3）使用方便，检索快速、灵活。

主要参考文献

北京义驰美迪技术开发有限责任公司编．1997．Lotus Notes 4.5 用户指南（万水 Notes 从入门到精通系列）．中国水利水电出版社

陈毓川，朱裕生等．1993．中国矿床成矿模型．地质出版社

曹洛华，周安昌，吴凤翔．1997．在有色金属勘查中综合物探的应用．物探与化探，Vol.21 No.6

寸珪，陈纪明．1995．中国典型金矿床．地质出版社

地矿部地质辞典办公室编辑．1983．普通地质　构造地质分册（下册）．地质出版社

地矿部地质辞典办公室编辑．1985．矿物　岩石　地球化学分册．地质出版社

地矿部地质辞典办公室编辑．1986．矿床地质　应用地质分册（下册）．地质出版社

杜琦．1988．多宝山斑岩铜矿床．地质出版社

邓振球．1996．新疆金矿地球化学特征与找矿模型．新疆地质，Vol.14 No.2

傅家灿，黄学荣．1993．鄂东南地区几个铜铁金多金属矿床地质-地球物理-地球化学模型．湖北地质科技信息，1993（1）

范宏瑞，金成伟，沈远超．1998．新疆哈图金矿成矿流体地球化学．矿床地质，Vol.17 No.2

高文岗整理执笔．1976．青海某铜钴矿物探工作找矿实例．地球物理地球化学探测法找铜、多金属矿经验选编，地质出版社

古平等，余学东．1991．新疆哈图金矿床地球化学模式与金异常的评价方法．地球化学探矿实例，第四辑，地质出版社

黄正耀．1991．激电在拉拉铜矿区的找矿效果．四川地质科技情报，1991（1）

黄典豪等．1992．蔡家营铅-锌-银矿床．地质出版社

韩存强，张守恒等．1996．河南省桐柏县银洞坡金矿综合找矿标志及找矿模型．物探与化探，Vol.20 No.2

李克俭，吴学汉，张国柄．1992．热源矿床的矿源、水源和热源几矿床分布规律．科学技术出版社

栾玉广编著．1996．自然科学研究方法．中国科学技术大学出版社

阮天健，朱友光．1985．地球化学找矿．地质出版社

刘庆生，林时尖等．1982．磁法在江西多金属矿床上的应用效果．航空磁测与地面物化探找矿实例（第二集）．地质出版社

刘石年，张敏，吴永芳．1996．地质综合场体系及其在水口山矿田找矿预测中的应用．湖南地学新进展

刘崇民，徐外生．1994．蔡家营铅锌银矿床原生异常模式．物探与化探，Vol.18 No.5，1994

马文璞编．1992．区域构造解析——方法理论和中国板块构造．地质出版社

彭超，李能强．1982．水口山铅锌矿田控矿因素与矿床成因的初步探讨．湖南冶金地质，1982（1）

邱永进．1993．鄂东南地区铜铁金等多金属矿床原生地球化学分带特征及分带模式的找矿意义．物探与化探，Vol.17 No.3

芮宗瑶，黄崇柯，齐国明等．1984．中国斑岩铜（钼）矿床．地质出版社

孙文珂．1988．有关地质、地球物理、地球化学模型的几个技术问题，物探与化探，Vol.12 No.5

四川省地质局四〇三地质队．1974．四川拉拉铜矿成矿地质特征．地质科学研究院地质矿产所编，铁铜矿产专辑（第二集），地质出版社

曙光信息产业有限公司编．1998．Lotus Notes 使用与开发指南（IBM/Notus 软件技术系列丛书），电子工业出版社

唐仁鲤，罗怀松等．1995．西藏玉龙斑岩铜（钼）矿带地质．地质出版社

王雨田主编．1986．控制论　信息论　系统科学与哲学．中国人民大学出版社

王应洛主编．1988．系统工程．机械工业出版社

王培智主编．1989．软科学知识辞典．中国展望出版社

吴功建，林清漫，高锐．1988．地球物理方法及在地质和找矿中的应用．地质出版社

吴承烈，徐外生等．1998．中国主要类型铜矿勘查地球化学模型．地质出版社

吴贤奎，周骏华，王寿琼．1988．湖北省竹山县银洞沟银金矿床．矿床专著．贵金属矿产 No.11，湖北省鄂西北地质矿产调查所

熊光楚．1996．（1）地球物理勘探预测矿产资源的问题；（2）关于地球物理-地质模型的若干问题．见：王钟等主编，隐伏有色金属矿床综合找矿模型．地质出版社

熊鹏飞等．1994．中国若干主要类型铜矿床勘查模式．中国地质大学出版社

徐外生，朱炳球．1980．黑龙江某铜矿原生晕异常特征及评价标志．物探与化探，Vol.4 No.2

薛迪康，葛宗侠，张宏泰等．1997．鄂东南铜金矿床成矿环境模式与找矿模型．中国地质大学出版社

熊光楚，邓振球，谢德顺等．1996．新疆主要大中型金、铜等矿床的发现简史与找矿策略．北京：地质出版社

鄢明才，迟清华．1997．中国东部地壳与岩石的化学组成．科学出版社

姚志强，都起民，卢秉刚．1993．多宝山铜矿床综合找矿模型．大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集，地震出版社

杨华，梁月明，李孝媛等．1992．青藏高原东部航磁特征及其与构造成矿带的关系．地质出版社

余学东，邵跃，李应桂．1995．福建紫金山铜金矿床地质地球化学找矿模型及应用．物探与化探，Vol.19 No.5

鄢明才，迟清华等．1996．中国火成岩化学元素的丰度与分布．地球化学，1996（5）409～424

中国地球物理学会编著．1994．地球和地球物理．地球物理科普文选第一集，地质出版社

《中国矿床》编委会编著．1994．中国矿床（上册）．地质出版社

《中国矿床》编委会编著．1994．中国矿床（中册）．地质出版社

朱训等．1983．德兴斑岩铜矿．地质出版社

朱训（主编）．1999．中国矿情（第二卷 金属矿产）．科学出版社

翟裕生，姚书振，崔彬等．1996．成矿系列研究．中国地质大学出版社

邹光华，欧阳宗圻，李惠．1996．中国主要类型金矿床找矿模型．地质出版社

邹光华，欧阳宗圻等．1996．中国主要类型金矿床找矿模型论文集．地质出版社

朱炳球等．1985．斑岩铜（钼）矿床原生地球化学异常．勘查地球物理地球化学文集（2），地质出版社

赵元艺，马志红，冯本智等．1997．多宝山铜矿床系统地球化学及找矿研究．吉林人民出版社

周亚特．1985．铜绿山铜铁矿床地球化学及外围成矿预测．勘查地球化学勘查地球物理文集第二集（张本仁主编），地质出版社

张素兰，姚敬金，曹洛华，1999．河北蔡家营铅锌银矿床地球物理-地球化学找矿模型，物探与化探，Vol.23 No.6

曾绍金．1997．河南桐柏破山银矿的发现．地球物理与中国建设，地质出版社