目　录

我国成矿预测理论和方法研究的若干新进展（代前言）……朱裕生（1）
汝阳南部铅锌成矿远景区大比例尺成矿预测工作经验和成果……
……燕长海　刘良才（8）
西藏罗布莎铬铁矿1:25000比例尺成矿预测方法……李紫金(15)
浙江东部火山岩区成矿系列综合信息成矿预测……吴江涛(21)
浙江省遂昌县银坑山金银矿区及外围大比例尺成矿预测概要……
……周俊法　钱建民(34)
福建省上杭县紫金山地区区域成矿模式及1:1万综合信息矿产预测……
……郑颖煜(51)
吉林省内生金属矿床区域成矿预测效果……金丕兴(64)
陕西省潼关金矿田1:5万成矿预测……
……常建国　段绪省　雷建池　李兴民　朱宽平　李德海(68)
广西九万大山—元宝山地区锡多金属成矿区地球物理与地球化学特征及找矿预测……王全明　朱裕生　方一平(81)
水系沉积物金化探异常的一种简单筛选方法及其在山西省垣曲县一带的应用……张晓华(90)
浙江省遂昌治岭头金银、铅锌矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型及应用……吴江涛(94)
应用区域地球化学资料开展内生金属矿产成矿预测的研究……
……金丕兴　何起良(102)
原生晕分带序列计算程序的智能化和系统化设计及其在成矿预测中的应用
……方一平　王全明(113)
云南蒙自白牛厂银多金属矿床成矿地质条件及成矿模式……
……李纯杰　史洪岳(120)
扬子地块晚震旦世陡山沱期磷块岩成矿规律及富矿预测……
……东野脉兴　郑文忠　李钟模　胡珞兰(127)
中国西北地区石油地质特征、成矿规律及油气前景预测经验……
……康玉柱(133)
中国硫铁矿床的分类及预测……李钟模(140)
华北地台北缘元古宙多金属硫铁矿床成矿规律及成矿远景预测……夏学惠(145)
论隐伏矿床预测……梅燕雄(153)
提高盲矿预测效果的主要途径……刘振江　殷友东(161)
关于大比例尺成矿预测工作的思考……祁月明(166)

我国成矿预测理论和方法研究的若干新进展

（代　前　言）

朱　裕　生

（中国地质科学院成矿远景区划室）

成矿预测是一门正在蓬勃发展的年轻而实用的学科，它涉及到基础地质学科（大地构造、地层、岩石、矿物、矿床等）和方法技术学科（地球物理勘探、地球化学勘探、遥感图像解释、计算机技术等）两大门类，它的概念、理论、方法以及与其它学科的关系，依赖于实践和经验的积累和总结。自1979年开始在全国范围内开展了成矿远景区划、矿产资源总量预测、成矿预测（中、大比例尺）及第二轮成矿远景区划工作。在实践中对成矿预测的理论和预测方法作了全面的探索，目前已形成完善的理论框架和一套方法体系。根据我国目前的研究现状，本文对所取得的成果和获得的效益分别加以介绍，以飨广大成矿预测人员、专业研究人员和教育专业科研人员，从而进行共同探索，完善和发展具有中国特色的成矿预测理论和方法体系。

一、成矿预测工作在我国发展的三个阶段

成矿预测目前在国内已划归普查前期工作，属于地质生产工作的组成部分。在我国，对成矿预测的理论和方法进行探索研究和大规模实践的历史还很短。若以1979年在全国开始的成矿远景区划作为起点，至今仅十多年。在这期间，探索研究的面却很宽，普及程度也较高，参与的人员之众和获得的成果之多也是史无前例的。就成矿预测理论和方法研究来说，在我国的发展历史大致可以分为以下几个阶段。

（一）成矿预测方法探索研究阶段

该阶段大致划在1979年我国开展成矿远景区划工作以前。当时，在国际上已是研究成矿预测方法最昌盛的时期。首先，在国际协调计划（IGCP）第98项“资源研究中计算机应用标准”的推动下，世界各国都重视成矿预测方法研究，出台了一些重要的国家级项目，主要有“阿拉斯加矿产资源评价计划”（AMRAP）、美国的“国家铀矿资源评价计划”（NURE）、“美国尚未发现的石油和天然气可回收资源的地质估计”（725号公报）、美国本土矿产评价计划（CUSMAP）[1]。这些庞大的国家级矿产资源评价计划都是由政府直接领导和完成的。在实施这些计划时，对预测的方法都作过探索和研究。其中，M. Allais提出了泊松分布模型；J. C. Griffiths提出了判别函数；D. P. Harris则应用判别分析方法完成了亚利桑那州、新墨西哥州和犹他州三个州的小比例尺成矿预测工作[1]。在我国，赵鹏大、朱裕生等人先后完成了宁芜火山岩盆地[2]、庐枞火山岩盆地[1]和青海玉树沟的统计预测工作[3]。在此期间，国外以F·P·阿格特伯格为

首，提出了一套矿产资源评价的数学方法；国内出版了较为完整的有关成矿预测的数学方法专著[4][5]，为成矿预测工作的开展提供了基本方法。该阶段的特点归纳如下：

1. 普遍开展了成矿预测方法的探索研究，提出了多种数学方法，并逐渐与成矿预测的实践结合起来，对某地区或某个矿带作出评价，用实例证实了一些数学方法的实用性和有效性；

2. 在实践中，提出了数学模型与地质模型相结合的原则，并明确地指出，成矿地质作用是复杂的，难以用数学模型模拟，地质数据的定量化程度较低，与数学模型难以匹配，需要创造更有效的预测方法，以适应地质理论的现状；

3. 成矿预测数学方法的提出，促进了地质学中电子计算机的应用。

（二）实用发展阶段

该阶段大致划在 1979 年至 1985 年，其主要标志是：1979 年在全国开展了成矿远景区划工作；1982 年又提出了在全国开展矿产资源总量预测工作，并设立矿产资源总量预测方法研究的重点科研项目；在实践中总结了一套成矿预测方法，并逐步形成为一个体系；在学术上相继提出了矿床统计预测[2]、成矿预测方法学[1]、多元统计预测[6]。该阶段获得了丰硕的成矿预测成果，并根据预测成果提出的远景区在普查工作中找到了一些矿床[3]。更重要的是为国民经济中长期规划的制订、地质找矿的工作的部署提供了资料依据。该阶段的基本特点是：

1. 在大量实践基础上形成了一套系统的预测方法，并向纵深发展。在地质工作中成矿预测的重要性初步为广大地质人员所认识，地质找矿的各级管理部门也重视成矿预测工作，有些地区扭转了普查基地不足的被动局面，产生了较好的社会效益。

2. 成矿预测方法被大力推广，大力发展，各院校和管理部门多次举办成矿预测方法学习班，为基层单位技术干部更新了知识、培训了业务骨干。成矿预测方法的大力普及，带来成矿预测工作的大力发展，并纳入管理部门的常规工作。

3. 出版了许多有关成矿预测方法的专著。包括综合性的[1][2]和专门性的方法[7][8]。

4. 成矿预测理论形成雏型，首次提出了地壳矿产资源富有度、类比、地质变量的综合和分解等理论[9]，使我国的成矿预测方法走向成熟。

（三）总结创新阶段

该阶段自 1986 年至今。目前，地质找矿的难度发生了实质性的变化。一方面，由地表矿的寻找逐步转化为隐伏矿床的预测、普查和评价；另一方面，随着国民经济的高速发展，对矿产地质工作的要求也愈来愈高，需向工业部门提供更多的、经济效益更好的矿山开发后备基地。另外，老矿山保有储量的枯竭，使地质找矿面临着严峻的局面。政府部门提出了第二轮矿产普查的基本方针和措施，并制定了 12 年地质找矿工作纲要和宏观控制的方针等，使成矿预测由探索研究性质的工作转化为普查前期的生产性工作，纳入矿产勘查计划，并将成矿预测成果作为普查立项的依据。在此期间，我国出版了一系列有关成矿预测的专著，代表性的著作有：《成矿预测的地质基础和方法》❶、《成矿预测理论和方法》❹、《中大比例尺成矿预测文献汇编》❷、《矿床发现的最佳途径》❸、《隐伏矿床预测》[10]、《隐伏矿床(体)的寻找》[11]、《金属矿床大比例尺定量预测》[12]、《金矿资源综合信息评价方法》[13]、《成矿预测方法》❹等。对国外的成矿预测

---

❶ 朱裕生编著，中国地质科学院区划室内部推广材料，1989。

❷ 吉林省地质科技情报研究所，中国地质科学院成矿远景区划室编著，1991。

❸ 张秋生主编，吉林省地质学会，1986。

❹ 朱裕生编著，中国地质科学院成矿远景区划室，1992。

工作进行过专门考察❶。从以上事实看出，本阶段的基本特点是：

1. 成矿预测是取得地质找矿重大突破和寻找隐伏矿床的方法途径之一。它作为矿产勘查的内容之一，已列入正规地质工作计划，在矿产勘查单位普遍开展起来。

2. 从已经获得的成果可知，本阶段实现了理论与实践相结合、探索与发展相结合、经验总结与创新相结合的途径。在大量实践的基础上总结归纳，发展成为具有我国自己特有的成矿预测理论、原则和方法，提出了类比相似、地质异常致矿和地质条件组合控矿三项基本理论，最小面积最大含矿率、优化评价、综合预测评价、循序渐进和统一尺度标准五项成矿预测准则；独创了一套找矿靶区优选的方法；总结了一套编制成矿规律图、成矿预测图和地质工作部署建议图的方法要求；制订和建立了一套管理成矿预测工作的技术要求和管理办法❷，形成了一个较为完整的成矿预测学科体系。

3. 成矿预测的找矿实效越来越明显，通过"全国固体矿产成矿预测系统综合研究"项目和"金属矿床大比例尺定量预测"[12]及其它金、银矿床预测项目的总结，发现了数十处矿产地，有些为大型、超大型矿床。这些成果的总结，又进一步促进了成矿预测工作的发展。

4. 成矿学理论与成矿预测密切相结合、融为一体的趋势越来越明显。有关的典型著作有《中国矿床成矿模式》[14]、《成矿规律和成矿预测学》[15]、《矿床模式》[16]，《中国矿床成矿系列及其理论在成矿预测中的应用》❸、《以若干金属矿区为例建立找矿经验模式的研究》❹等。从事成矿预测的科研、教育和勘查人员，试图应用成矿模式（区域的、矿床的）和找矿模型将相似-类比理论，建立成矿学理论与找矿预测之间的桥梁，为理论找矿开辟途径。

5. 政府部门对成矿预测的管理日趋完善，已设立专门机构进行专业管理。就地矿部而言，在专业司局的管辖下，对成矿预测工作在全国开展的步骤极为明确，为配合新一轮固体矿产的普查提出在全国开展中、大比例尺成矿预测，并先后召开了四次全国性的交流会。为贯彻以地质找矿为中心的方针，又部署了第二轮成矿远景区划工作。这些工作都是通过成矿远景区划室的业务渠道进行的。

综上所述，成矿预测工作在我国发展过程的三个阶段和显示的相应标志是明显的，在工作中取得了举世皆知的成绩，在矿产勘查工作中显示了它的作用，为隐伏矿床的预测评价和普查找矿开辟了新途径。

二、成矿预测理论概述

成矿预测工作最初是从应用多元统计方法和电子计算机技术对地质数据的处理而开始发展起来的，尔后逐步完善，并进一步开拓新的思路，在引进国外成功实例的基础上，发展完善成今天的成矿预测理论和方法体系。

1982 年，中华人民共和国与联合国教科文组织联合举办了矿产资源评价讨论会。会后的

---

❶ 李均权、朱裕生、李维菊编著，《成矿预测技术考察报告》。

❷ 见由地质矿产部直属单位管理局颁发的"固体矿产成矿预测基本要求"(1990)、"固体矿产第二轮成矿远景区划技术要求"(1992)、"固体矿产第二轮成矿远景区划成果汇总要求"(1993)等若干个技术性文件。

❸ 陈毓川、裴荣富等编著。

❹ 朱裕生、姜枚、张德全等编著，《国外地质勘探技术》编辑部。

总结[17]，提出了成矿预测理论体系的雏型(地壳矿产资源的富有度、已知到未知的类比、地质数据建模等)，总结出实用的区域价值估计法、体积估计法、丰度估计法、矿床模拟估计法、德尔菲估计法、特征分析法和成因地质模型法等方法。此次总结的方法成为全国开展矿产资源总量预测的基本方法并获得了预期的成果。1984年，根据全国已取得的基本成果，作者总结了相似类比、地壳矿产资源富有度、成矿作用函数拟合、地质变量的综合和分解及地质解释的五项理论，以及区域矿产、矿区(矿田)、矿床预测的三类方法，形成了一套预测评价理论和预测方法的初步骨架[1]。以后，赵鹏大教授提出了统计预测法[2]，王世称教授提出了综合信息评价方法[18]。以上的理论和方法是总结创新阶段指导成矿预测的基本理论和实用方法。1989年，作者❶和赵鹏大❷教授几乎同时提出了成矿预测的理论和预测准则。至此，我国自己的成矿预测理论骨架已形成。其要点是：

1. 相似-类比理论

是指在相似的地质条件下赋存类似的矿床，其资源量也应相似。此理论是当前成矿预测中首要的理论原则。相似类比的具体内容包括：

(1) 理论预测　目前成矿理论较多，通常有“板块成矿论”、“多旋回成矿”、“槽台成矿”、“岩浆-热液成矿”、“生物成矿”、“沉积-喷气成矿”、“热卤水成矿”、“矿床成矿系列”、“层控矿床”、“火山成矿”、“地洼成矿”、“地质力学成矿”、“低温成矿”、“变质成矿”等理论。虽然理论较多，但对预测和找矿来说，尚无一种绝对正确有效的成矿理论供大家应用，只能在某种理论的指导下，对地质实际作相对有科学依据的判断。无论用哪种理论，持哪种观点，在预测和勘查时，总是用成矿理论作指导，并且可取得一定的预测和找矿效果。

(2) 模式类比　一般来说，模式类比是进行预测的较好途径。在成矿学的研究中建立的区域的、矿床的成矿模式和找矿模型都是类比的标准。我国建立的模式[14]用于成矿预测是其中之一。它对提高成矿预测成果的可靠性起到了很大作用。模式类比的方法简单而实用，“就矿找矿”、“点面结合找矿”等方式都包含了模式类比的含义。

(3) 经验类比　是常用的一种类比方式。通常是应用地质概念模式来实现的，但由于各人的经历不同，知识有差异，因而受人为约束较大，常常出现“因地而异”、“因人而异”的现象，所以经验类比的局限性较大。

(4) 人工智能类比　又称专家系统类比。它是应用专家的知识通过计算机来实现的，其效果的优劣取决于专家知识的广度和深度及经验的积累程度，目前尚在探索过程中。

(5) 计算机模拟类比　此项技术我国正在起步，有待深入研究，是一种较好的预测途径。

(6) 专家组类比　此种方式类比与经验类比、专家系统类比有很大差异。它是通过一组专家来实施的，而经验类比和专家系统常常是单个专家进行的。目前已越来越多地采用这种类比方式。

由“已知到未知”的类比理论在成矿预测中得到广泛应用。但在实际工作中，常常遇到在相似地质条件下矿床的产出并不是必然的事件，即使有矿，其大小、质量有时难以判断，有些超大型矿床存在无类比性等的难题，需要作进一步探索。

---

❶ 吉林局科技情报所和区划室合编，《中、大比例尺成矿预测文献汇编》，7—12页。

❷ 同❶，1—6页。

2. 地质异常成矿理论

该理论又称"求异理论"。这里所指的地质异常是广义的，包括地质的、地球物理的、地球化学的及遥感图像的异常等。地质异常是一种与周围地质环境截然不同的地质结构或参数值。应用相似-类比理论只能预测和寻找同类矿床，用地质异常成矿理论有可能探寻新的远景区，发现新类型矿床，识别新的含矿层位，确定新的含矿构造，开拓矿产勘查的新用途。地质异常表现形式为多种多样，目前尚难提出一个统一的标准划定地质异常。按照地质异常的尺度水平结合运用成矿区带级别的概念，对地质异常可以作合理的分级，这些在成矿预测中应用的实际问题，需作深入研究。虽然目前仍在探索之中，但在成矿预测工作中已经显示出它的实用价值。

3. 地质条件组合控矿理论

单一控矿因素的研究和应用，在过去的成矿远景区划和总量预测工作中应用极为普通，而地质条件组合控矿只是在近年来总结了大量成矿预测成功的实例和失败的教训后才提出的预测理论。控矿因素与地质异常一样，具有级别的差异，控制全球性成矿区带的成矿地质条件和控制某类矿床成因特征及空间位置的地质条件的级别是不相同的，从总体来看，可分为区域的(成矿区带的)、矿田的、矿床(体)的若干级次，每一级次的控矿作用是不同的。同一级次的控矿因素只能用于同级预测区的圈定和推断解释。若相互混淆，不但不能提高预测的可靠性，还有可能带来干扰。与成矿有关的地质条件组合体用来阐明矿床的控矿地质因素，要比用单一因素、不分级次的地质参数说明与成矿作用的关系要深刻得多。在预测中就能够保持有利成矿因素，剔除不利成矿因素，从而深化对不明因素的认识。在成矿预测工作中其必要性表现在：

(1) 标志着成矿地质条件之间的相互关系，是对矿与非矿、大矿与小矿、小矿与矿化的区分的识别标志，可以较为有效地预测推断潜在矿床；

(2) 是提高成矿预测成果可靠性的途径，实现较确切的预测；

(3) 深化了对地质条件内涵的认识，有可能标定每个因素或组合后的参数在预测中所起作用的大小(也称变量"权")，实现预测的三定目标(定类型、定空间、定规模)，是找矿靶区优化的理论基础。

成矿预测与其它技术方法一样，都必须由理论作指导。成矿预测的理论，也就是目前提出的三项内容，它大大地促进了我国成矿预测的理论和技术水平。

三、成矿预测方法概述

成矿预测方法的内涵是广义的。由地质作用的概念、地质数据转化为矿产资源量的整个过程统称为矿产资源评价方法学，它组成一个完整的体系[1]。按孙明志[18]的提义，预测方法包括预测的职能和任务、预测的技术方法、需求分析和技术评价等内容。在成矿预测中应包括预测的目标和任务，成矿预测理论和找矿靶区，预测的准则和层次的划分，数据(地、物、化、遥)、单元、控制区的选择，预测方法选择，预测模型的建立，预测区的优选，可靠性评估，成矿系列图件编制和普查验证工作等，涉及的方法甚广。成矿预测方法从狭义的角度看，仅指预测的数学方法和经验方法。从实用角度出发，它应涉及预测方法、远景区优选方法和成矿预测图的编制方法。

预测方法，通常指多元统计方法，近几年又提出灰色系统理论、分形理论、模糊数学等方

法。在大量的实践基础上，我国独创了编码打分法、有利因素相关法等❶。

远景区优选方法，又称找矿靶区优选方法。这也是我国预测工作者在成矿预测中创造的方法，具体指非先验约速模型法、先验约速模型法、参数综合评判法、地质参数的累加累乘法、总体分解法、地质背景衬度法❷等。

成矿系列图件的编制方法涉及到地质学的逻辑思维、地质理论、地质成果的表达方式和图面的美学艺术等。图件一般分基础图件、辅助图件和目的性图件三类，每类图件都有不同的编图方法和要求。图件也是成矿预测成果的组成部分，它的优劣反映了成矿预测成果的实用价值。它是地质找矿的必要资料，使成矿预测成果与地质找矿直接联系起来。虽然编图方法属地质制图技术，但自应用计算机绘制地质图以来，它很自然地成为成矿系列图件编制方法的组成部分，是成矿预测工作中不能忽视的内容。

成矿预测方法目前正在发展过程之中，在实践中走向成熟，在探索中获得发展。在我国，一方面应用国际上通用的成矿预测方法获得了一定的预测效果；另一方面，应用我国独创的一些方法，与矿床地质特征结合得更紧密，预测效果更好。它标志着我国的成矿预测方法已经与国外并列发展，并有不少创新。倘若再作深一步探索，创造我国完整的成矿预测方法体系将为期不远。

四、回顾与展望

自 1979 年开展成矿远景区划至今，在成矿预测的工作中我国跨越了一个又一个高峰，克服了一个又一个难关，取得的成果是巨大的。首先，完成了全国第一轮成矿远景区划和 30 个跨省区划项目，为“七五”和“八五”地质找矿部署提供了依据，特别为制订地质找矿工作纲要准备了基础资料。其次，对我国矿产资源的远景心中有底，并为开展中、大比例尺成矿预测提供了选区依据。根据已有的地质资料和预测成果将全国划出 30 个区带，确定部控的 6 个重点找矿工作区，为地质找矿的宏观调控提出了目标区。在“七五”和“八五”期间，这一工作是有效的，地勘费宏观调控的目标区投向是正确的，甚至 1:5 万区调的安排重点放在目标区的方向是正确的。据此可以说，成矿预测成果为全国地质工作部署指明了方向。第三，中、大比例尺预测成果为点上突破准备了地质依据和指明了具体的空间位。据初步统计，全国开展的中大比例尺项目达 121 项，找到大、中型矿床 20 余处，有些属超大型矿床，有些是隐伏矿床。这些找矿效果证实了成矿预测理论和方法的正确性。第四，发现和圈定了一些新的成矿区带，特别是提出了一些新类型矿床、新的含矿层(或含矿构造)，使我们扩大了找矿领域、开拓了新的找矿思路。最后，成矿预测工作促进了新技术、新方法的应用，特别是电子计算机在地质学中的应用。计算机地质制图的探索研究、地质模拟技术的引进等，使地质模式描述计算机化和规范化；地质数据库的建立，为地质数据的存储和使用开辟了新途径，地质数据处理的计算机化为成矿预测准备了方法技术。所有这些都为矿产勘查人员提供了新方法、新思路，拓宽了地质找矿的新途径。

总而言之，成矿预测工作在我国发展的基本特点是：在成矿学理论的指导下，结合我国的

---

❶ 见朱裕生主编，《成矿预测方法》98—126 页。

❷ 同❶，29—97 页。

地质特征和矿产时空规律特征，在应用国外已有成矿预测方法的基础上，独创了适用我国矿产地质特点的成矿预测理论、找矿靶区圈定准则和创造了新的预测方法；提出了编制成矿预测系列图件的方法和基本要求，大大地提高了地质找矿的科学性和社会经济效益，在普查找矿的实践中获得较好的找矿效果。在当前预测评价隐伏矿床的地质找矿实践面前，今后更需要发展成矿预测的理论和方法，应用最新科学技术方法，特别是计算机技术，实行地质资料的二次开发，从中提取预测和找矿信息，将成矿预测和普查找矿密切结合起来，在新的一轮普查找矿的实践中使我国的成矿预测的理论水平和方法技术迈向一个新台阶。

参 考 文 献

[1] 朱裕生，1984，矿产资源评价方法学导论，地质出版社，2—4 页。

[2] 赵鹏大，胡旺亮，李紫金。1983，矿床统计预测，地质出版社，54—107 页。

[3] 中国地质科学院地质矿产所四室数学地质组，1978，祈连山某超基性岩体矿化特征的统计分析，国际交流地质学术论文集(4)，物探、化探。

[4] 中国科学院地质研究所，1977，数学地质引论，地质出版社，58—64 页。

[5] 董文泉、周光亚、夏立显编著，1979，数量化理论及其应用，吉林人民出版社。

[6] 王学仁编著，1982，地质数据的多变量统计分析。科学出版社。

[7] 方开泰、潘恩沛，1982，聚类分析，地质出版社。

[8] 余金生、李裕伟，1985，地质因子分析，地质出版社。

[9] 同[1]，21—24 页。

[10] 孙殿卿、高庆华编著，1987，隐伏矿床预测，地质出版社。

[11] 池三川编著，1988，隐伏矿床(体)的寻找。中国地质大学出版社。

[12] 周宏坤、丁宗强、雷祖志、徐良根、傅水兴编著，金属矿床大比例尺定量预测，地质出版社。

[13] 王世称、成秋明、范继璋著，1990，金矿资源综合信息评价方法，吉林科学技术出版社。

[14] 陈毓川、朱裕生编著，1993，中国矿床成矿模式，地质出版社。

[15] 卢作祥、范永香、刘辅臣编著，1989，成矿规律和成矿预测学。武汉：中国地质大学出版社。

[16] D·P·考克斯、D·A·辛格，1990，矿床模式，地质出版社。

[17] 朱裕生、潘恩沛，1984，矿产资源评价的理论和实践。地球科学国际交流(一)。

[18] 孙明玺编著，1986，预测和评价，浙江教育出版社。

汝阳南部铅锌成矿远景区大比例尺成矿预测工作经验和成果

燕长海　刘良才

（河南省地矿厅第二地质调查队）

一、采用的技术方法

本文涉及的研究区位于河南西部伏牛山系外方山脉深山区，属华北地台南缘活动地带的中元古界熊耳群火山岩出露区，断裂发育，岩浆活动频繁，成矿条件好，但研究程度低。该区50年代完成1:20万区调工作，80年代初完成1:5万区调工作，其间断续进行过以找铅锌为主的地质踏勘、普查工作。在找矿及基础地质研究上仍没有突破性进展。

研究工作主要采用的技术方法以王世称教授提出的地质、物探、化探、遥感解释及数学地质相结合的综合信息矿产资源评价的理论为指导，按地质矿产部部颁发的《固体矿产成矿预测基本要求》制订了工作程序，见图1。

二、工作经验和成果

（一）工作中重视各类资料的二次开发及优化处理，注重实践，大胆创新，最大限度地提取综合找矿信息。

在详细收集区内已有的地质、物探、化探、遥感及矿产资料的基础上，通过认真分析研究，去伪存真、去粗取精，从寻找前人工作中的薄弱环节或疑难未结的问题入手，开展工作。如本区1:5万区调工作中未研究火山机构，重砂、化探资料只停留在相当于II级汇水盆地的综合异常的圈定，航磁资料仅是原来的平剖面图。这些远不能满足研究工作的需要，必须深化研究。

1. 在加密1:5万区调填图线、点基础上，详细查阅了区调第一性实际资料（野外手图、填图记录、岩矿鉴定报告）首次确定了五羊垛、西岭、马鞍乔山、段家岭、椒沟等五个古火山口及孟村—合村北古裂隙喷溢带。并认为由北而南，火山活动由早到晚，早期为偏基性熔浆沿古裂隙喷溢，晚期为中心式喷（爆）发。

2. 在原重砂、水系沉积物测量II级汇水盆地综合异常基础上，查阅实际取样点及分析报告，编制了最小汇水盆地（IV-V级）异常分布图。有效地确定了异常源部位。

3. 利用电子计算机对原有航磁资料进行了0、200、500、1000、3000、5000 m等六个高度的延拓，利用0°、45°、90°、135°四个方向的水平一阶导数和垂向二阶导数在0 m高度上做化极等计算处理成图。清楚地展示了研究区不同深度隐伏的花岗岩、石英二（闪）长岩和断裂构造规模、序次、产状。

4. 对区调和矿产普查工作中的单样、单元素评价和含矿性研究的大量岩、矿石光谱分析结果，进行了不同岩类、构造的分类计算，确定了成矿元素的原生地球化学异常特征。

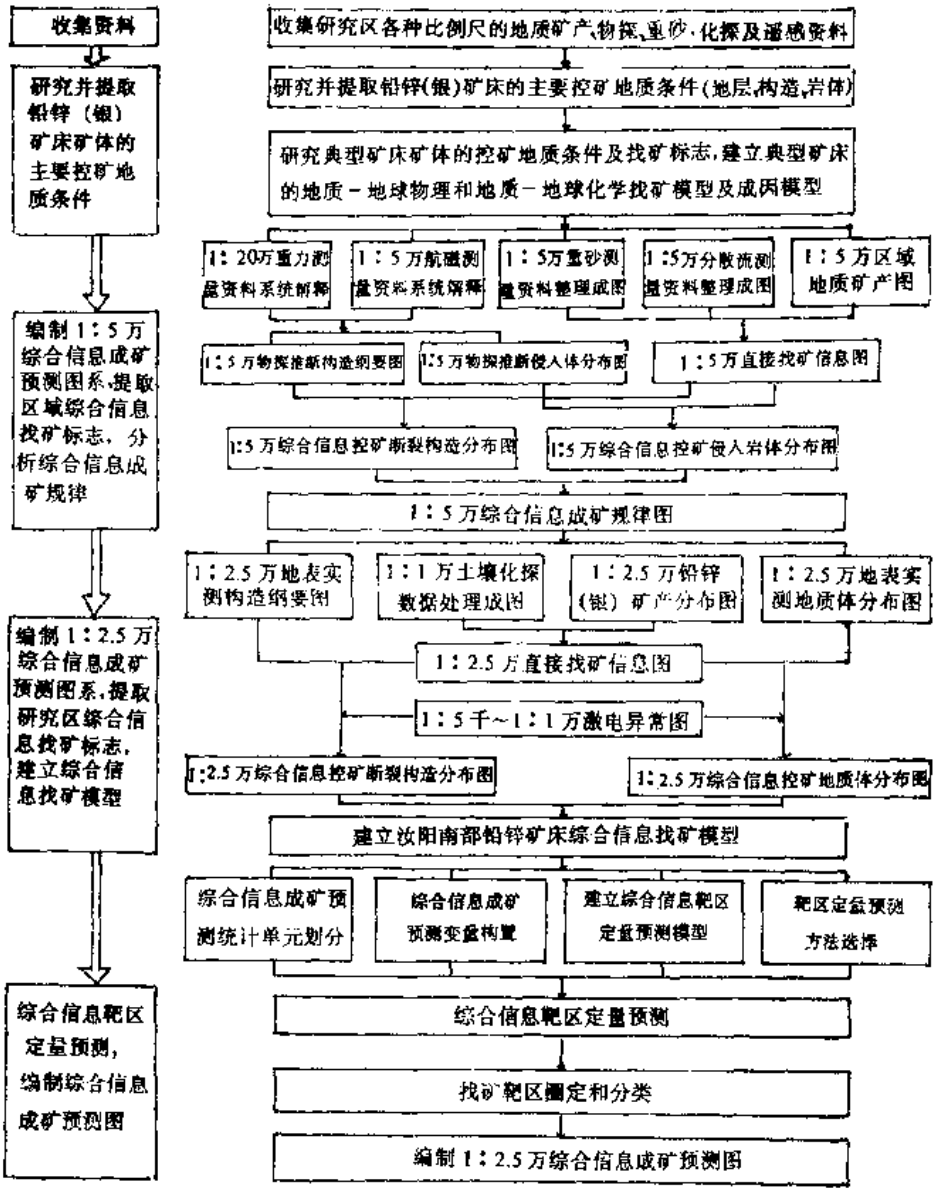


图 1　大比例尺综合信息成矿预测工作流程图

① 确立熊耳群鸡蛋坪组 II、III 岩性段和王屋山晚期石英二(闪)长岩是成矿的矿源岩；燕山晚期花岗岩是主要的成矿热能源；近东西向和北东向断裂为本区铅锌(银)的主要控矿构造等大量的地质先验前提信息。

② 通过对典型矿床的地质、物、化探资料的深入研究，首次建立了本区铅锌矿床成矿模式及地质-地球物理找矿模型、地质-地球化学找矿模型，给出了与邵跃所建立的热液矿床原生晕分带序列基本一致的元素分带序列，为矿产预测靶区的确定提供了重要的信息。

（二）充分应用新理论和计算机技术，最有效地提取区域成矿综合信息。

1. 应用马尔科夫模型对研究区广泛出露的熊耳群鸡蛋坪组火山岩的岩性、喷发韵律进行研究，在原区调划分的三个岩性段中较详细地厘定为五个岩性段，对各岩性段韵律类型、韵律特征及成岩形式有新认识，认为 II、III 岩性段韵律类型复杂，同时存在正向分异、反向分异及脉动分异三种类型；喷发单层厚度差别大；含凝灰岩夹层多；喷溢相和爆发相并存。为成矿提供了有利的空间条件和物源基础。

2. 对1:1万土壤地球化学测量获得的Pb、Zn主成矿元素及Mo、Ag伴生元素进行了地质统计学研究，为控矿地质条件及成矿规律研究提供了极为重要的地球化学信息。

(1) 实验变差函数的研究

① Pb、Zn元素空间变化的方向性

由图2、图3可见，近东西方向是Pb、Zn变化最大的方向，北北东方向变化最小，连续性最好而北东和北西向的变化介于上述二者之间，这与研究区矿田主要受北北东向隐伏断裂构造岩浆岩带控制、铅锌矿床(点)则集中呈近东西向带状分布相吻合。因此，把近东西向和北北东向作为Pb、Zn元素的主要变化方向，突出了控制Pb、Zn元素空间分布的主要地质因素。

② Pb、Zn元素的空间变化幅度、连续性和影响范围

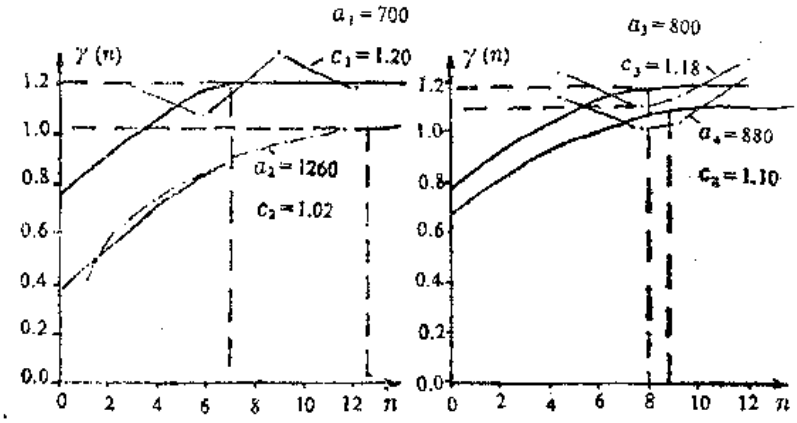


图2 铅元素实验变差函数

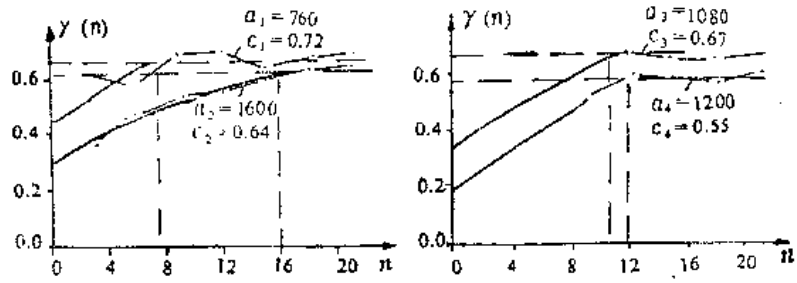


图3 锌元素实验变差函数

在图2、3中，Pb、Zn元素的基台值均是近东西向最大，其次是北西向、北北东向最小。这与区内近东西向断裂构造岩浆岩带为主要的导矿、储矿构造，北西向断裂属导矿构造相一致。

由图2、3中的变程可以看出，无论Pb或是Zn元素均是北北东方向上的稳定变化，范围大，空间变化的连续性好。近东西方向最小，连续性最差。北东和北西向则介于上两者之间。综上，说明了矿田内铅锌矿化的区域控制因素是沿北北东向侵入的燕山晚期隐伏花岗岩体。

(2) 对数泛克立格研究

① Pb、Zn、Ag、Mo元素的浓集趋势

图4反映出Pb、Zn、Ag元素浓集区集中在图幅中西部，浓集面积大、浓集强度高，各元素浓集中心吻合较好。各元素浓集区的空间展布总体上呈北北东向和北西向，在这两个方向上，各浓集中心近等间距出现，具有较强的规律性。浓集区长轴方向为北北东向，短轴方向主要为近东西向，其次为北东向。Pb、Zn、Ag元素总体展布位置与北北东向断裂构造岩浆岩带和北

086534

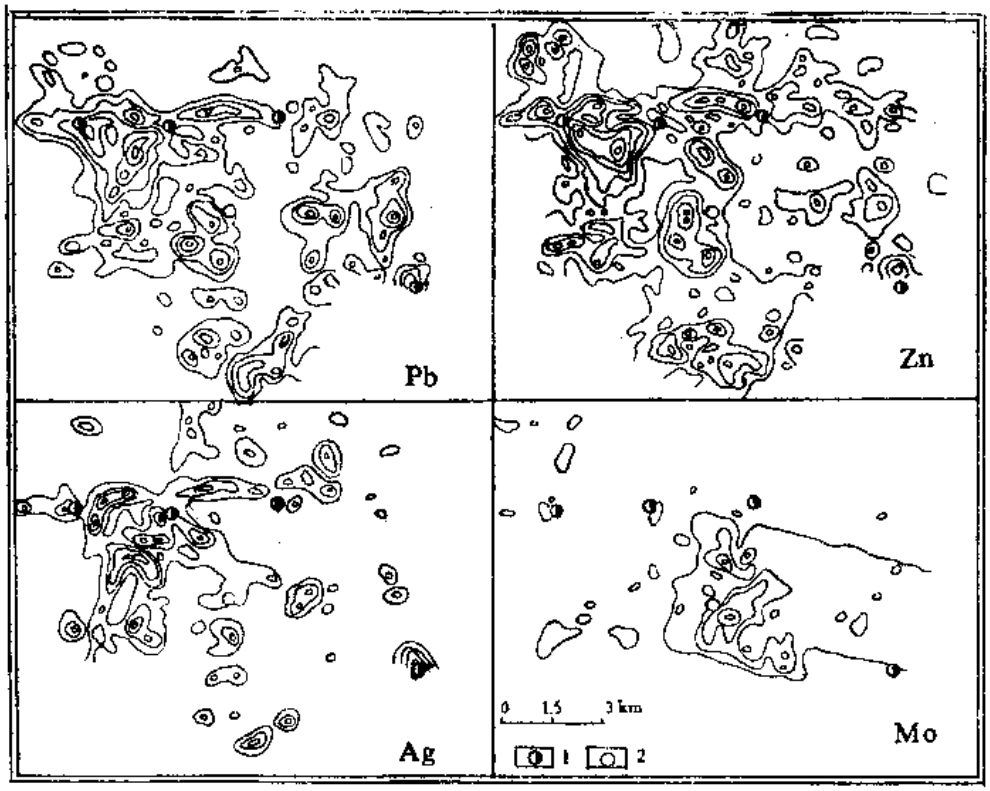


图 4　元素对数泛克立格估值图

1—中型铅锌矿床；　2—钼矿点

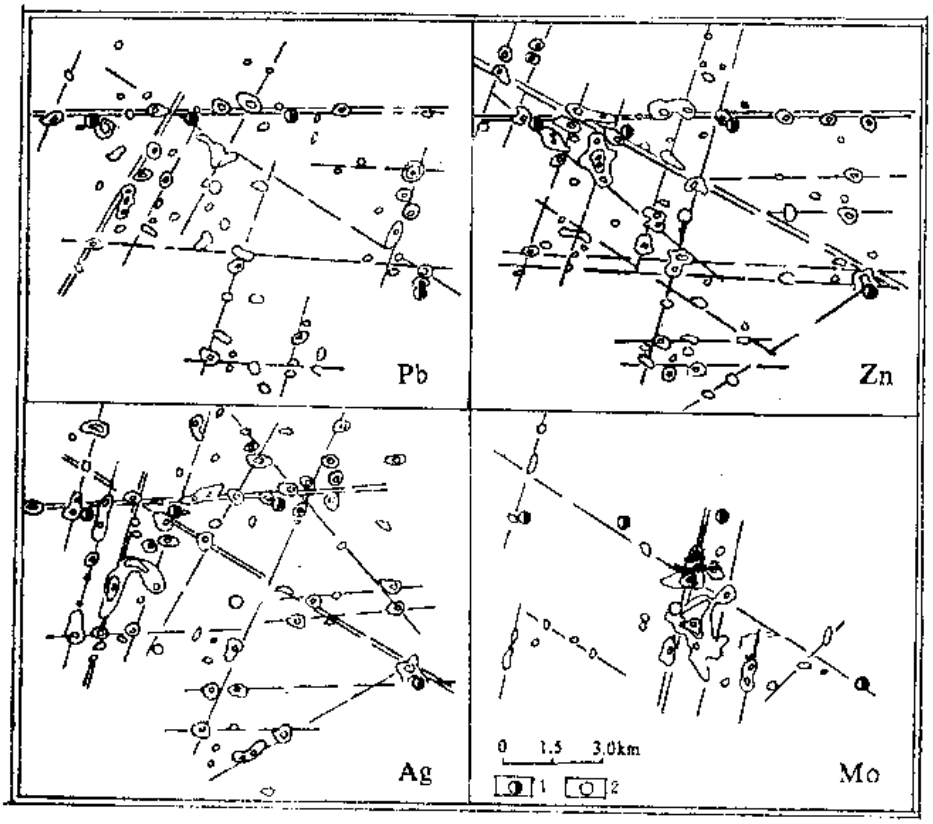


图 5　元素对数泛克立格剩余值及推断构造图

1—中型铅锌矿床；　2—钼矿点

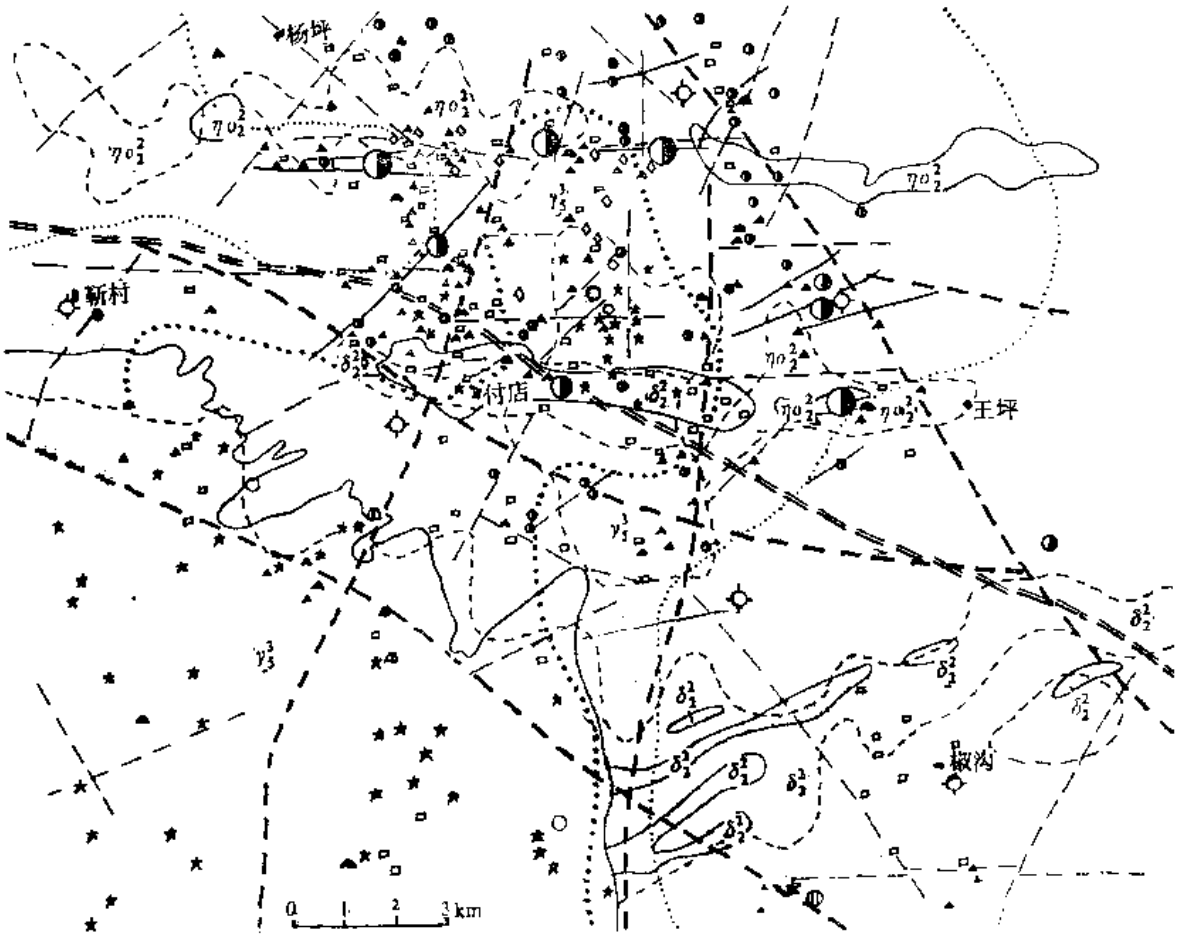
西向导矿构造吻合，浓集区的短轴方向与区内储矿构造线一致，各浓集区与已知铅锌矿床(点)产出位置有较好的对应关系，规模及浓集梯度较大的浓集区对应着较大规模的铅锌矿床。

Pb、Zn、Ag元素的上述空间分布特征与区域地质情况相关联，表明这三种元素主要受区域成岩、成矿作用的控制。中西部分布的较大的Pb、Zn、Ag元素高背景区恰好位于物探推测隐伏花岗岩体缓倾伏端之外接触带上，又是近东西向、北西向和北北东向三组断裂之交汇部位。

Mo元素浓集区集中分布于下铺—大房庄一带，浓集区长轴方向呈北北东向，短轴方向则呈近东西方向，与该钼矿区地表钼矿化范围吻合。

② Pb、Zn、Ag、Mo元素异常的空间分布特征

在图5上，Pb元素异常受区域构造控制的格局更为清晰，依照异常空间展布特征，近东西



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27

图6 汝阳付店地区综合信息成矿规律图

1—燕山晚期花岗岩；2—王屋山晚期闪长岩；3—王屋山晚期石英闪长岩；4—王屋山晚期石英二长岩；5—实测岩体界线；6—航磁推断500米深岩体界线；7—重力推断2500米深岩体界线；8—重力推断10000米深岩体界线；9—超壳深大断裂；10—深大断裂；11—浅部断裂；12—地表断裂；13—古火山口；14—中型铅锌矿床；15—小型铅锌矿床；16—铅锌矿点；17—铅锌矿化点；18—钼矿点；19—钼矿化点；20—铜矿点；21—小型萤石矿床；22—萤石矿点；23—铅元素浓集中心；24—锌元素浓集中心；25—砷元素浓集中心；26—银元素浓集中心；27—钼元素浓集中心

向和北北东向断裂控矿的特点最为明显，北西向导矿构造虽亦有 Pb 异常显示，但相对较为零散，浓集程度低。

在 Zn 元素异常分布图上，近东西向控岩、控矿断裂显示最清楚。北西向导矿断裂与 Zn 异常较吻合。Zn 异常的展布还与北北东向断裂关系密切，几个浓集强度高、规模大的 Zn异常均位于两组或三组断裂交汇部位，并与铅锌矿床(点)产出位置一致。

Ag 元素异常显示的构造格局与 Pb 元素近乎一致，近东西和北北东向控岩(矿)断裂都显示得很清楚，而北西向断裂相对显示较弱。

Mo 异常集中分布于下铺附近，反映了北北东向断裂及燕山晚期隐伏花岗岩体的存在。

综合分析上述各元素异常的空间分布及浓集特征，可以得出如下结论：

Pb、Zn、Ag 三元素异常分布的共同点是对近东西向断裂有极清楚的反映，所不同的是 Pb、Ag 异常之分布与北北东向断裂很吻合，而 Zn 异常则主要反映近东西和北西向断裂。表明 Pb、Zn、Ag 元素并非都是同一期(阶段)矿化作用的产物。早期矿化为近东西向，以 Zn为主，伴有微弱的 Pb、Ag 矿化，此为铅锌矿床形成的"雏形"阶段；晚期矿化主要沿北北东向断裂以Mo、Pb、Ag矿化为主。同时，由于近东西向断裂的继承性活动，早期矿化体上叠加了晚期矿化，形成了目前这种矿产分布特征，该期(阶段)为铅锌矿床形成之"风暴"阶段。Mo 异常位于下铺钼矿区，向外近似对称地分布着 Pb、Zn、Ag 等中低温元素异常，再向外为 Ag 异常，为下铺浅隐伏花岗岩体的存在提供了又一地球化学证据。

上述表明，对数泛克立格法较为直观地显示出区内主要的控矿断裂为近东西向和北北东向，尤其两者或与北西向等三组断裂之交汇部位，则为Pb、Zn 矿床的最有利成矿部位。此与地质观察、重磁解释推断的隐伏断裂、岩体特征一致，为编制直接找矿信息图、成矿规律和成矿预测图(图 6)提供了最确切、可靠的资料。

三、预测成果及经济效益

根据提取的各类综合找矿信息，选用逻辑信息和特征分析法建立的定量预测模型，预测出中型矿床单元 6 个，小型矿床单元 6 个，矿点单元 21 个。E+F级资源量 127.49×10^4t，提出了研究区将构成河南唯一的大型铅锌矿产基地的结论，其潜在价值达 40—50 亿元。

在工作进行中，提出的两批靶区验证，效果极好。

第一批验证靶区——杜家庄铅锌银预测区，证实了物探推断的沿近东西向断裂侵入的石英二(闪)长岩外倾产状及矿化连续富集地段，经追加工作量探明了成矿前景较好的有P_2、P_3、P_4三条矿化破碎带，其中 P_4矿化带已按 160 m 间距(III类型D级)控制铅锌工业矿体长 960m，延深 196 m，且可单独圈出银矿体，已控制D级 Pb—Zn储量 12.5×10^4t，Ag44t，平均品位 Pb+Zn 5.61×10^{-2}，Ag78×10^{-6}，其矿石质量位于研究区之首。提交了中型铅锌银矿详查基地，从开始验证到提交详查基地只用了不足八个月时间，找矿评价速度快，为国家节省了十多万元投资。

第二批验证靶区——泉水沟南沟铅锌预测区，已有稀疏钻孔、坑道控制 P_4 矿化带，矿体厚 6—8m，Pb+Zn 平均品位 $4.2-7.6\times10^{-2}$，有望构成又一中型铅锌矿床。

此外，在老代仗沟矿区详查工作中有 10 多个孔见到航磁推断的隐伏石英二(闪)长岩体。在总结本区铅锌矿成矿规律和综合信息找矿模型基础上，果断地终止了成矿信息不佳的宝丰

沟和裂子山两处的普查工作，为国家节约了十几万元投资。成矿预测为贫困的汝阳县提供了确切的铅锌矿产资源，为该县开发矿山，脱贫致富作出了重要贡献。

四、工作体会

本项目预测效果好，经济效益显著，除采用了先进理论及新技术、新方法外，与下述有利条件也是分不开的。

1. 实行了院校（技术顾问为长春地质学院刘安州教授，数据处理由中国地质大学（武汉）承担）、科研所和生产部门（项目主要承担者）联合攻关的组织形式。地质队具有实际资料多、资料熟、勘查手段齐全及预测意识强的优势，而院校和科研单位容易引进新理论，具有情报信息灵通、实验手段齐全的优势。合作者密切配合，充分发挥了各自的优势，才使预测工作达到了事半功倍的效果。实践证明，由院校（或科研单位）与生产部门联合开展成矿预测是最好的组织形式。

2. 成矿预测工作与本队普查找矿紧密结合，及时有效地组织安排验证了预测的靶区，使预测与找矿随时都能相互印证，极其有效地提高了预测效果及普查找矿的成功。

“汝阳南部铅锌成矿远景区大比例尺成矿预测”属河南省地矿厅科技招标项目，(89005)由第二地质调查队承担，科研所协作完成。经专家（赵鹏大教授主审）评审通过。

参 考 文 献

燕长海，1991，应用地质统计学方法提取地球化学找矿信息，物探化探计算技术 第三期第13卷。

西藏罗布莎铬铁矿 1:25000 比例尺成矿预测方法

李 紫 金

（中国地质大学，武汉）

西藏罗布莎铬铁矿床是我国目前最大的铬铁矿床。罗布莎超镁铁岩体，位于喜马拉雅造山带内重大构造边界——雅鲁藏布江蛇绿岩带的东段，具有极其重要的大地构造位置和十分复杂的构造型式。概括地说，以洋壳伸展作用、岩石圈多层韧性剪切作用、蛇绿岩变形分解作用、岩体新生面理置换作用、造山期后浅层次逆冲和隆伸作用等为特征，在这种复杂的构造格局下，形成了罗布莎铬铁矿床。对于西藏罗布莎铬铁矿床成矿模式的研究及资源量预测，具有十分重要的理论意义和实际价值，因而，受到了国内外广大地质科学工作者的普遍关注。本次成矿预测工作，是在前人工作的基础上，对现有资料进行全面深入分析研究和二次开发。在研究过程中各专题都采用了本学科当代新的成矿理论和成矿预测理论及技术方法。制定了本项目成矿预测研究中的技术路线，研究内容及实施步骤，综合表示于方法流程图(图 1)。

由图 1，有利找矿远景区的圈定是通过两个途径，一是按研究专题构造、岩矿、统计分析及物探等单因素研究分别圈定找矿远景区后，再依各专题研究方法所圈定的远景区重合程度作为有利度划分级别；二是全区划分网格单元，建立地质概念模型、选取变量建立多因素特征分析定量预测数学模型，圈定不同级别远景单元。对最终圈定的有利找矿靶区，用特征分析法和体积法估算远景单元 F 级和 G 级资源量，用剖面法和类比法估算 E 级资源量。

各专题研究获得了突破性认识和进展，是成矿预测获得成功的关键，其成果现分述如下：

1. 构造研究新认识

利用构造研究的前沿学科，进行多尺度、多层次、多类型、多期次、四维(三维空间和时间)动态性构造变形分解，建立了本地区控岩控矿构造型式、构造变形序列、成岩成矿系列及豆荚状铬铁矿的动力成矿模式，系统的构造解析，有力地表明罗布莎豆荚状铬铁矿(矿带、矿群、矿体)的形态、位态、内部结构、空间展布及它的形成和演化，都不同程度的受到构造的制约。同时，在研究中，还首次发现了在蛇绿岩带中多层次韧性剪切系统，特别是镁铁质糜棱岩的发现，对认识岩石圈结构、板块动力学、地幔流变学和豆荚状铬铁矿床的成因等重大地质问题具有十分重要的意义。通过研究，总结了与矿化有关的构造识别标志，圈定了构造因素预测有利找矿远景区 5 个。其具体工作是，完成了野外多尺度地质剖面的系统观察和测制、野外构造系统测量(面、线产状)及 1:25000 地质构造图的编制，室内超微、显微构造分析和现代测试手段相结合，进行了透射电镜分析、均一法构造测温及岩石单轴抗压强度测量等研究工作。

将该区控岩控矿构造型式，概括为：1 个主矿带、2 种大地构造背景、3 种构造系统、4 类变形体制、5 个变形序列和 6 种变形场。1 个主矿带是指位于蛇绿岩剖面中下部，由斜辉橄榄岩、纯橄岩异离体和铬铁矿“三位一体”构成的构造含矿杂岩带。2 种大地构造背景包括洋内

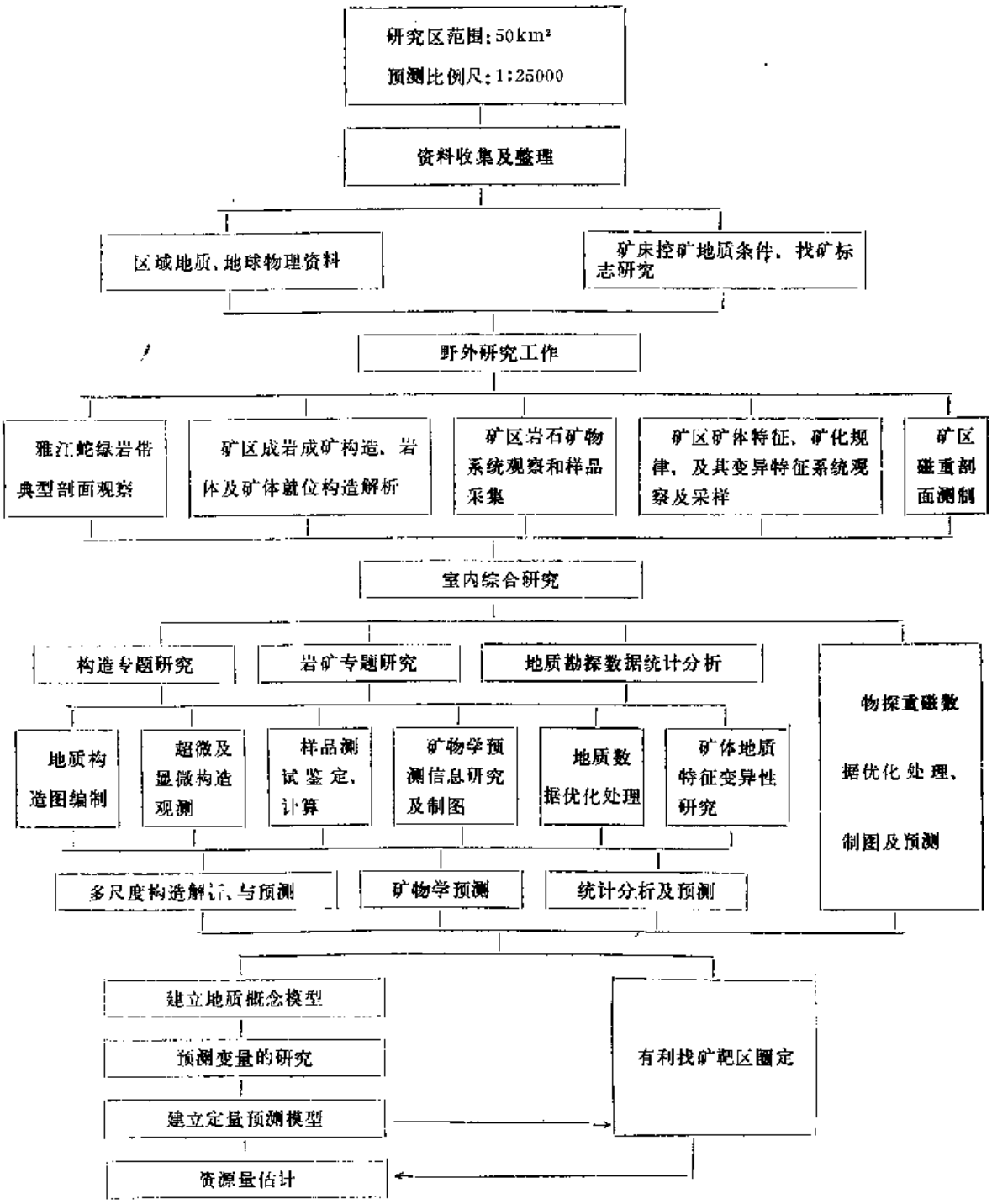


图 1　西藏罗布莎铬铁矿大比例尺成矿预测方法流程图

伸展和造山带挤压，早期伸展形成蛇绿岩，后期造山作用中“挤入”上地壳并发生肢解。3 种构造系统为，多层韧性剪切系统、透镜网络系统和脆性断裂系统。这些构造系统反映了由深层次向浅层次的演化。4 类变形体制指，由岩石圈深层向浅层发生粘性流变、韧性剪切、韧脆性变形及脆性变形。5 个变形序列是，洋内伸展作用、上地幔韧性剪切作用、造山期构造变形分解作用、逆冲推覆作用、及造山期后隆伸构造作用，这 5 个变形序列中包括了 6 种变形场，即伸、缩、升、降、剪、滑。

在划分本区构造变形序列、成岩成矿控矿系列基础上，建立本区铬铁矿动力成矿模式，列

表。本区处于地体结合带，具强烈构造作用及多种构造变形改造，若消除后期构造影响和重塑蛇绿岩剖面后，恢复得到本区成矿构造有两种，一种是洋壳伸展；二是幔内剪切。前者造成蛇绿岩的生成和侵位，后者有助于蛇绿岩剖面下部物质动态部分融熔和铬铁矿剪切富集成矿，从而形成构造含矿杂岩带，通过流变学研究，构造成矿的物理状态是：温度为1000—1200°C，差异应力2—3 MPa，应变速率为10^{-15}—10^{-6} s^{-1}，粘度为10^{21}—10^{22}P❶。

成岩、成矿系列划分表

构造系列	成岩系列	成矿系列	演化阶段		意义
洋壳伸展	蛇绿岩含矿杂岩	引张深熔成矿作用	成矿阶段		板块动力学、地幔流变学矿床成因(理论)
幔型韧性剪切带	镁铁质糜棱岩	深层剪切成矿作用			
透镜网络系统	蛇纹石化构造片岩	主成矿带变形分解作用	改造阶段	韧性	提供找矿方向
逆冲推覆构造	构造混杂岩碎裂岩	矿体冲断位移		脆性	勘查准则(实际)
隆伸—走滑构造	角砾岩、碎裂岩	矿带叠落平错			

控岩控矿构造，本区三条主逆冲断层带位于岩体南北两侧和岩体内部斜辉橄榄岩相带和纯橄岩带之间。由于其向北不均匀的逆冲推覆，造成罗布莎岩体平面上的弧形结构和剖面上的倒置层序。主矿带受控于构造含矿杂岩带，即早期韧性剪切带，主矿带与剪切带中透镜网络带空间分布位置一致。造山期后平移断层兼具倾向滑动的正断层，使含矿带切割错开和叠落，表现为地堑式断陷和阶梯式分布的现貌。每个矿群，是变形分解型式中的一个大透镜体，矿体群可划分为A、B、C 3种构造类型，A型为右行雁列式矿群、B型为平行排列式、C型为左行雁列式矿体群，A、B、C三型分别对应于矿带内所出现的逆时针压剪性应力-应变场、近南北向挤压场、及顺时针压剪性变形场。透镜状铬铁矿体，受变形分解作用的控制，有一定的优选方位，表现出有规律的走向、倾斜度和侧伏，并与挤压构造所产生的局部应力-应变场关系密切。控矿构造的厘定和构造识别标志，主要有以下几个方面：①各种类型的构造岩，如构造混杂岩、糜棱岩、碎裂岩、角砾岩等；②构造透镜体及构造片理面理发育区；③纯橄岩异离体的含量多少及空间分布特点；④野外断层的识别、性质的判断及位移量计算；⑤蛇纹石化强烈程度及空间分布；⑥铬铁矿滚石及含矿石的残坡积物集中分布区；⑦其它：结合其它专题研究成果，如物探重磁数据处理结果及其解释，矿群矿体形态特征研究及其投影图特征分析。尤其已知矿群、矿体各种形态统计参数，如长、宽、最大延深、产状变化、倾伏方向和倾伏角、单矿体形态及排列形式等。

矿体产出的具体构造部位：除纯橄岩相中浸染状贫矿外尚有4个部位①斜辉橄榄岩与上三叠统的接触带；②构造含矿杂岩带；③斜辉橄榄岩相与纯橄岩相接触带；④构造混杂岩带。并认为，①③④不代表原生成矿位置，是逆冲推覆构造引起的矿体置移，矿体具有规模小、脆性变形强烈、分布规律差的特点。第②为主矿带它与早期幔内韧性剪切带一致，代表了成矿原始产出层位，矿体具有规模大、品位高、矿化连续性较好的特点。

2. 矿物学预测方面：据成因矿物学、定量矿物学研究方向，利用新的研究技术方法，重点是进行矿物电子探针分析；测定矿物的平衡温度(t)、压力(p)；测算矿物的溶解热(ΔH)、密度

❶ $1P=10^{-1}Pa\cdot s$。

(ρ)；测定矿物热电性等工作，系统地总结与成矿密切相关的岩石和矿石的演化阶段、演化环境、具有成矿信息的标志矿物及其参数，并明确提出这些参数的有利找矿数值区间，具体圈定了有利找矿的矿物学预测远景区。

研究结果认为，罗布莎超镁铁岩体主要由斜辉橄榄岩、二辉橄榄岩、纯橄岩和铬铁矿岩(铬矿石)等组成，主要矿带除受斜辉橄榄岩岩相的宏观控制外，更重要的是构造控制，我们称之为构造含矿杂岩带，该杂岩带由斜辉橄榄岩、纯橄岩异离体、铬铁矿及其厚度不等的纯橄岩或纯橄岩蚀变的蛇纹岩外壳(包容层)等岩石组成。

与矿化关系密切的3类主要岩石的演化阶段和演化环境：①斜辉橄榄岩，通过对该岩石中镁橄榄石、含铬尖晶石和顽火辉石演化特征的研究，认为斜辉橄榄岩主要经历了3个演化阶段，据平衡条件通过地压梯度估算，其演化环境相当于上地幔中深部、上地幔上部及上地幔顶部和下地壳部位。②纯橄岩主体，据铬尖晶石和镁橄榄石的平衡条件估算深度相当于上地幔上部环境，进一步演化出现的铁镁铬铁矿与镁橄榄石的平衡条件相当于上地幔顶部和下地壳环境。③铬铁矿岩(铬矿石)中镁铬铁矿、铁镁铬铁矿与镁橄榄石有两个演化阶段，一是相当于上地幔顶部或下地壳底部条件；二是相当于下地壳条件。所以，主要铬铁矿化作用与晚期演化的纯橄岩有关。

具有成矿信息的标志矿物为斜辉橄榄岩中的顽火辉石、镁橄榄石和尖晶石族矿物，能提供成矿信息的参数是①顽火辉石的平衡温度(t)、平衡压力(p)、和焓的改变量(ΔH)；②镁橄榄石的 t、ΔH 和密度(ρ)；③ 尖晶石族矿物的 t 和热导电系数。其中最主要的是顽火辉石的 t-p-ΔH，认为 t、p 高晕和 ΔH 低晕是反映相对原始状态的超镁铁岩出露的位置，而 t、p 低晕和 ΔH 高晕区是铬铁矿化的有利部位，并通过绘制参数的等值线图及确定参数的有利找矿数值区间，圈定了矿物学预测远景区。

与铬铁矿化有关的矿物学信息参数的有利找矿数值区间为：①顽火辉石，平衡温度(t)平均值为 1011±73°C，平衡压力(p)平均值为 2.290±0.778 GPa，溶解热(ΔH)为 −62382±34 cal[1]·mol^{-1}，即 t、p 低值晕区和 ΔH 的高值晕区是找矿有利部位；②镁橄榄石有利找矿的参数为：平衡温度(t)1138°C(±23)、溶解热(ΔH)为 94.132 cal·mol^{-1}(±0.059)、密度(ρ)为 3.325 g·cm^{-3}(±0.006)。

3. 统计分析研究，重点是对已有的大量地质勘探数据的二次开发和统计分析处理，从数量关系及其规律性方面反映成岩成矿信息并进行预测。同时，进行少量微量元素及包体测温样品的采集和测试。

对收集的岩石、矿石全分析、矿石基本分析、铬尖晶石单矿物全分析以及微量元素测试等数据，进行了特异样品处理后，作统计分布特征、数学特征值参数、聚类分析及因子分析等统计分析方法的计算。对钻孔地质资料输入计算机，进行了矿群、矿体形态特征的统计和制图。最终圈定统计分析有利找矿远景区8个。

通过上述工作提供了如下认识：

(1) 本区主要含矿岩相带斜辉橄榄岩带及纯橄岩带，主要含矿岩性为斜辉橄榄岩和纯橄岩，从岩石化学成分数量上表现有相似性和差异性。相似性表现在：具有相似的稀土配分型式，部分微量元素比值绝大多数样品稳定；不同岩相 MgO 含量没有明显差异(平均含量

[1] 1 cal=4.1868 J.

42.34%)；两种岩相中的纯橄岩化学成分无差异；岩石中 Cr_2O_3 含量稳定(0.44—0.45%)，因子分析结果均呈独立因子；多数化学成分呈单一正态分布参数无显著差异。差异性表现为：斜辉橄榄岩与纯橄岩相比，轻稀土相对偏低（即 LREE/HREE 比值偏低)；岩石化学成分 CaO、Al_2O_3 偏高而 MgO 偏低；由聚类分析结果，本区斜辉橄榄岩从化学成分数量关系上反映至少有两种类型，其区别是 SiO_2、Al_2O_3、CaO、MgO 含量上有明显差异。以上结果，反映了不同岩相不同岩性的同源性及演化分异特点。

(2) 同一岩体在不同地段主要含矿岩石及矿石化学成分变化，西部罗布莎矿段与东部香嘎山矿段相比，前者岩石中 MgO、FeO、SiO_2 含量偏高而 Fe_2O_3 偏低且斜辉橄榄岩岩石中多数组份不服从正态分布，而香嘎山段含矿岩石的化学组分除 TFe(Fe_2O+FeO)外均服从正态分布。罗布莎矿段的矿石化学成分 SiO_2 及 Fe_2O_3 在全铁中所占比例均偏高。提供了两矿段虽同属一个含矿带但不一定是同一赋矿层的可能。

(3) 从矿带、矿群和矿体形态统计特征研究表明，矿体具有成带分布分段集中的特点，常有一定的规模、形态，产状变化有一定规律性。

消除构造影响后，初始的含矿带为长约 10 km 左右、宽 200—380 m 的板状体，进一步可分为两个亚带(上下含矿层)，层距平均 100 m 左右(两矿段)，总体走向近 EW向倾向南。矿带中矿群呈平行或斜列状继续分布于矿带中，单矿群呈透镜状，总体产状走向 NE、倾向 SE、并向 SE 侧伏侧伏角 15—30°，矿群中包含矿体个数可达几十个最少 2 个。单矿体呈扁透镜状、似脉状，长宽比一般为 2:1—3:1，在矿群中沿最大延深轴线方向呈叠瓦状串珠状或平行尖灭侧现排列，产状与矿群总体产状一致，在三个方向投影图上表现其优选方位明显受构造控制。

(4) 矿化特征，可分为两期，早期贫矿化赋存于纯橄岩岩相带中，矿石为中等——稀疏浸染状。晚期富矿化富矿石赋存于斜辉橄榄岩岩相带中，矿石主要为致密块状、豆状、中等——稠染浸染状，富矿石中 Cr_2O_3 的统计分布特征为负偏，主要化学组分均服从正态分布，显示了成矿物质单一同源的特点。据矿石及近矿围岩包体测温资料，富矿化温度约为 680—960°C，而据矿物测算成矿温度为 873—1013°C。

(5) 由微量元素及包体测温数据的统计分析结果，认为罗布莎岩体属阿尔卑斯型超镁铁质岩，总体成岩温度估计值为 1040—1180°C，主要岩类稀土元素总量低，与球粒陨石相比显示极度亏损，稀土元素的配分型式为下凹型，出现明显的铕(Eu)负异常，轻稀土变化范围比重稀土宽。

(6) 近矿围岩的某些统计标志，岩石中 Cr_2O_3 含量大于 1%；稀土元素总量低且轻重稀土比值高；造岩矿物中出现 740—960°C 混熔包裹体，且包裹体中发育多类型共存的不混熔包裹体群。

4. 物探数据的优化处理，由于本区缺少化探资料，以及本次研究中所布置的 1:1 万横穿岩体的重、磁剖面和横穿局部矿体的大比例尺磁法短剖面均未获得予期效果。所以，只对研究区已有数据进行优化处理，主要是航磁、地面磁法重力详查数据、少量磁法剖面数据等。处理方法主要是化极、求导、延拓、反演、趋势面分析及图像处理技术等。

航磁资料和岩体剖面物探资料处理后的定量解释，对罗布莎岩体的平面和剖面形态，作了合理推断。认为岩体呈透镜状，长约 30 km 左右、最宽约 3 km，展布于上三叠统复理石建造与上白垩统海相火山岩硅质岩及第三系之间，岩体总体走向基本上呈近东西向，但由西向东由 EW向→NW—SE 向→EW向，倾向南，倾角南陡北缓，延深较浅呈无根楔形。

岩体上面积性重、磁资料的位场变换和图像处理结果，清晰地反映了已知矿带、矿群位置与重磁场的宏观对应关系，并由此确定了物探重磁资料在预测中的判别指标。已知矿带与背景磁场基础上叠加的次一级磁异常关系密切，与重力异常的梯度带在空间上有较好的重合。在罗布莎矿段，NWW向重力梯度带相应位置上的磁场变化平缓区为矿群的位置，梯度带规模越大越完整，可能矿群规模越大。在香嘎山矿段，磁场梯度带基本上反映了构造含矿杂岩带，而且与重力梯度带位置一致，重磁资料图像复合处理后，局部有规律排列的"异常体"，可能反映了矿群的位置。根据重磁资料的判别标志，圈定了物探预测有利找矿远景区。

在各专题研究成果基础上，总结本区成矿控矿地质条件和找矿标志建立地质概念模型，是多因素综合预测的基础。我们体会，在勘探程度研究程度较高地区进行大比例尺隐伏矿成矿预测，虽具有资料丰富的有利方面，但也存在预测难度大风险性大的另一面，研究结果很容易成为低水平重复。要取得突破性进展，必须实行本文一开始所强调的，重视当代成矿理论和预测理论的新进展，大胆的引进新的观点和思路，以深入的扎实的地质研究为基础，充分采用合理的新技术新方法，实行多学科联合攻关的同时，重视构造研究的导航作用。重视野外和室内研究工作中多学科的相互配合、渗透、补充和不断修正认识，使之逐渐接近客观实际，以利于提高预测结果的可靠性。要取得成效，还必须实行院校与地质队联合攻关的组织形式，生产单位发挥其资料熟、手段全、找矿经验丰富、及预测找矿意识强的优势，而院校具有不受原认识的束缚容易引进新的理论、思路、观点和新的技术方法，两者优势若能充分发挥，可使预测工作快速经济。尤其西藏地质二队派参加项目的年轻人边搞科研边在校进修的作法，是卓有远见的。

本项目是1990年，地质矿产部和西藏地矿局立为定向科研项目，由西藏地矿局第二地质队和中国地质大学(武汉)合作完成。

本项目是在常年工作在西藏的广大地质工作者历年来的罗布莎研究成果的基础上完成的，工作中受到西藏地矿局曹佑功总工等领导的关心和大力帮助，受到第二地质大队领导及广大职工的热情支持和协作。在此一并表示感谢。本报告已于1992年正式评审通过。

由于水平有限，不当之处欢迎读者批评指正。

参 考 文 献

[1] 徐宝文、巴登珠、张宜智，1982，雅鲁藏布江巨型构造带地质特征初步探讨，青藏高原地质文集 I，地质出版社。

[2] 王恒升等，1983，中国铬铁矿床及成因，科学出版社。

[3] 金恩民等，1983，西藏红旗铬铁矿床成矿规律初步研究，青藏高原地质文集(6)。

[4] 肖序常，1984，藏南日喀则蛇绿岩及有关的大地构造问题，中法喜马拉雅考察成果，地质出版社。

[5] 崔年文，1986，藏南若干阿尔卑斯型橄榄岩体的变形，地质出版社。

[6] 王希斌等，1987，豆荚状铬铁矿床的成因——以西藏罗布莎铬铁矿床为例，地质学报。

[7] 王国庆、夏斌，1987，西藏罗布莎蛇绿岩及其构造意义，大地构造与成矿学第11卷第四期。

[8] 周祥、曹佑功等，1989，西藏板块构造建造图说明书，地质出版社。

[9] 夏斌，1991，西藏拉昂错蛇绿岩地球化学特征及成因意义，西藏地质第1期。

[10] 郭铁鹰、梁定益、张宜智、赵宗溥等，1991，阿里地质，中国地质大学出版社。

[11] 朱志澄，1989，逆冲推覆构造，中国地质大学出版社。

[12] 单文琅、宋鸿林、傅昭仁、任建业，1991，变形分析的理论方法和实践，中国地质大学出版社。

[13] 赵鹏大等，1991，地质勘探中的统计分析，中国地质大学出版社。

[14] 李紫金，1992，大比例尺定量预测方法，有色金属矿产与勘查，第1卷第6期第361页。

[15] 路凤香，1989，地幔岩石学，中国地质大学出版社。

[16] 薛君治、白学让、陈武，1986，成因矿物学，武汉地质学院出版社。

浙江东部火山岩区成矿系列综合信息成矿预测

吴 江 涛

（浙江省物化探勘察院）

浙江东部沿海中生代火山岩区属环太平洋成矿带的西部，是我国多金属、贵金属、非金属矿产重要产地之一。项目以成矿系列理论为指导，运用综合信息方法总结本区成矿规律，应用地质-地球物理-地球化学典型矿床找矿模型，开展成矿预测，选出找矿靶区，提出今后地质工作建议。

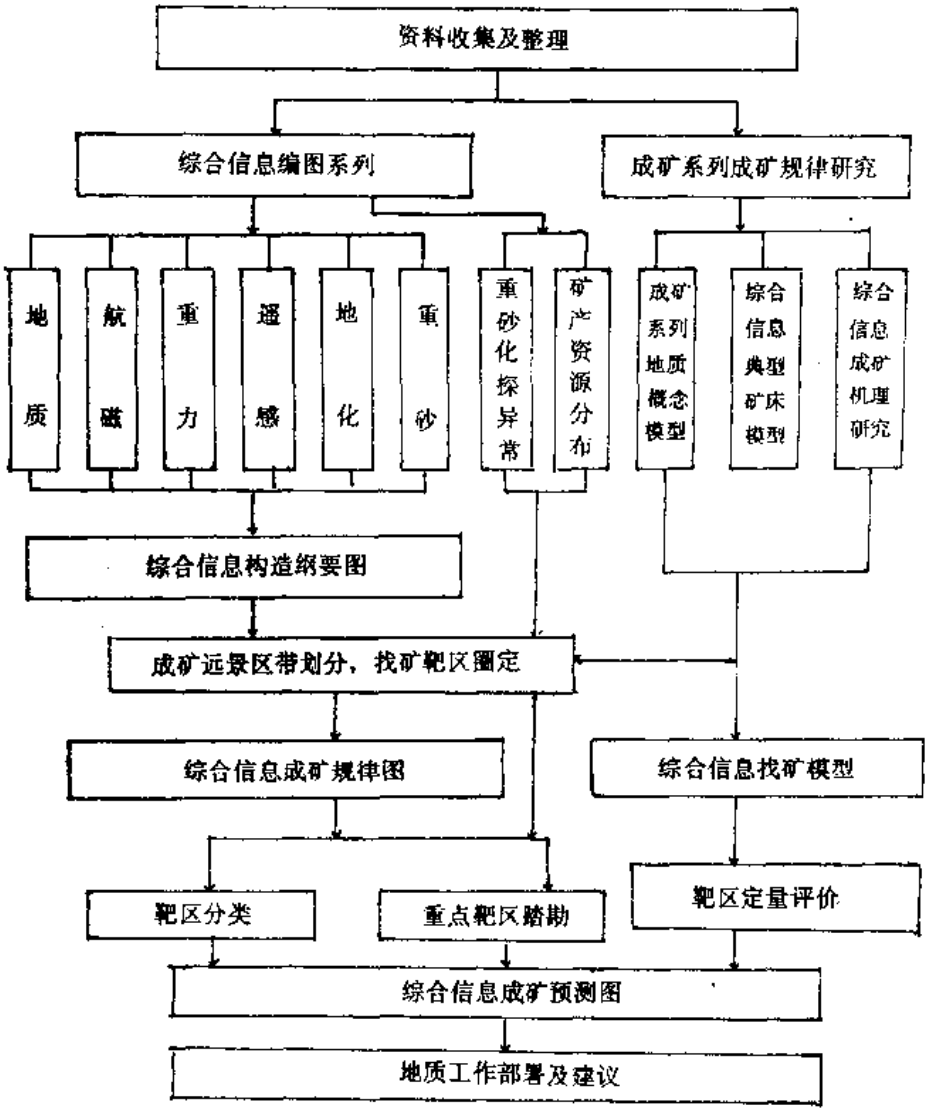


图 1 浙东火山岩区成矿预测工作方法程序框图

一、基本工作方法

通过对本区的资料的全面分析，总结浙东火山-岩浆热液矿床基本特征，确立以火山热液铅、锌、银(金)矿床成矿亚系列为主要研究对象，制定研究方案见图 1。

成矿预测系统工作步骤可分为两大部分，以下作简要说明：

1. 综合信息编图系列：首先进行编制各类方法系列图件，综合形成构造纲要图，通过重砂化探异常及矿产分布研究，在构造纲要图的基础上进行成矿区带划分及成矿靶区的圈定，形成综合信息成矿规律图，然后进一步对靶区成矿有利度的资料分析、综合，将靶区分为 A、B、C 三类，并对重点靶区进行踏勘，编制成矿预测图。

2. 成矿系列地质特征控矿规律研究系统：包括地质概念模型总结、典型矿床研究、成矿机理分析，通过统计预测，建立综合信息找矿模型，进行靶区定量评价。

编图与成矿规律研究虽然形成两大工作系统，但由于工作中互相密切配合，互相关联，可提供多方面的找矿靶区的成矿有利条件及找矿标志信息，从而便于选择在最有找矿远景地段进行地质工作部署，开展普查找矿工作。

二、火山-岩浆热液矿床成矿模式

浙东火山岩区内生矿产成矿活动开始于晚侏罗世末期。自侏罗纪开始大规模酸性火山岩

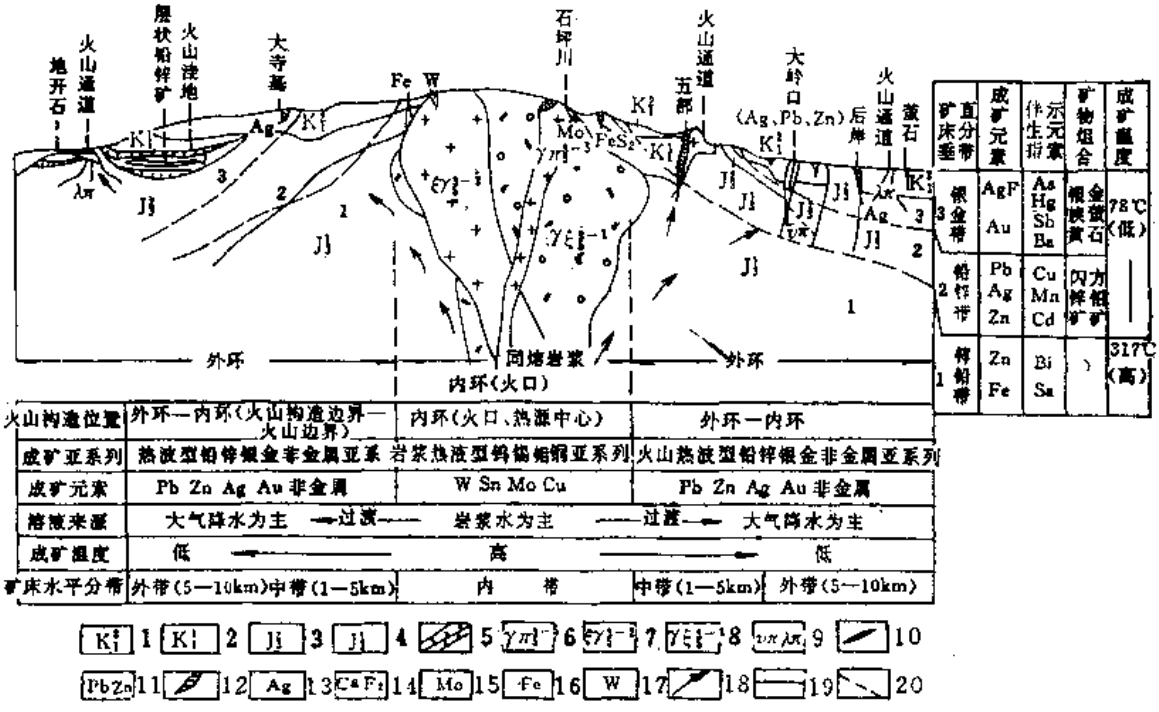


图 2　浙江省东部岩浆-火山热液矿床成矿模式图

1—下白垩统朝川组；2—下白垩统馆头组沉积层；3—上侏罗统西山头组；4—上侏罗统高坞组；5—火山洼地内沉积层；6—燕山晚期第三阶段花岗斑岩；7—燕山晚期第二阶段钾长花岗岩；8—燕山晚期第一阶段石英二长岩；9—霏细斑岩；10—矿脉；11—铅锌矿；12—银铅锌矿；13—银矿；14—萤石矿；15—钼矿；16—黄铁矿、铁矿；17—钨矿化；18—热液运移方向；19—地层分界线；20—矿带分界线

浆活动形成北东向喷发带，到侏罗纪晚期火山活动减弱，出现喷发沉积间歇，此时带来铅锌成矿物质在洼地内沉积，形成河湖相含有铅锌物质沉积层，后经过热液交代形成层状铅锌矿。进入早白垩世火山活动出现酸性岩浆喷发和基性熔岩喷溢，形式"双模式"火山岩组合。火山活动在北东和北西向基底断裂制约下形成众多的破火山、火山穹隆，火山洼地等火山构造叠置于晚侏罗世火山构造之上，在火山盆地内，由于富含铅锌物质带入形成铅锌高背景，多相多岩性组合的地层，在晚期区域性次级断裂带中，具有张剪性，张性特征，方向为北北东向、北西向断裂为良好的容矿断裂，储矿场所，火山活动晚期岩浆侵入于火山构造中心，形成中央侵入体，同时在火山构造内各类断裂带内形成次火山岩、岩脉、隐爆角砾岩等，含矿热液由地壳沉部向上运移，在各种成矿有利部位沉淀下来，钨、锡、钼高温元素沉淀于火山构造的中心部位，一般在中央岩体的断裂、裂隙内，尤其是酸性浅成斑岩体就有可能形成矿床。铅锌、银等中低温元素的矿床形成于火山构造的边部，在火山热液的驱动下，加上地表水的地下渗滤循环，围岩内的铅锌元素活化转移，在成矿构造有利部位，在封闭的条件下，矿液不断地富集，形成裂隙充填——交代脉状铅锌矿床，这类矿床是本区主要的工业矿床。

综上所述岩浆-火山热液矿床的成矿作用在时间上是多期次，在空间上是形成了中央岩体到火山构造边部的高、中、低温度的矿床分带，其水平分带和垂直分带特征见岩浆-火山热液成矿模式示意图(图 2)。

三、综合信息成矿规律图的编制

综合信息成矿规律图是以地质体为目标，将地质、物化探、重砂、遥感资料加以综合分析，用编图的形式归纳总结，为总结成矿规律，提取控矿信息，系统地研究本区成矿系列控矿机理。在编图过程中，根据成矿地质概念模式，重点研究控制 III 级火山构造及区域基底断裂及燕山期岩浆活动对火山构造的制约，总结 III 级火山构造的控矿地质特征。

在编图中应用了全省 1:20 万地质、物探、化探、遥感、重砂等有关资料，进行综合分析；以地质体为研究对象，将各类资料所提供的信息加以综合，形成对地质体推断解释的结果。首先进行综合信息构造纲要图的编制，它是在各单项构造纲要的基础上有机地关联、编制而成，反映了全区区域构造格架，提供控岩、控矿信息。其内容重点表达了与控矿关系密切的深断裂、火山构造，是"环圈状"特征的侵入体及"双模式"火山岩分布等地质体。也反映了燕山期火山旋回及地质分布，中央岩体的侵入深度，剥蚀程度，与成矿有关的岩石化学特征等(图 3)。

区域构造格架的基本特点是：基础断裂控制火山构造发育，两组断裂交汇处是火山构造中心，东西向基底断裂控制火山构造展布。

全区共圈定与成矿关系密切的火山构造 26 个，其各类信息特征见表 1。

在构造纲要图的基础上，进一步分析矿产资源的成矿地质条件，从地质概念模型，综合信息典型矿床模型，找矿模型等方面总结全区成矿规律，找矿标志。总结矿产资源的矿床类型，矿石组合，规模大小，分布规律等，再分析研究区内化探重砂异常的分布、规模、元素组合等特征，编制综合信息成矿规律图。

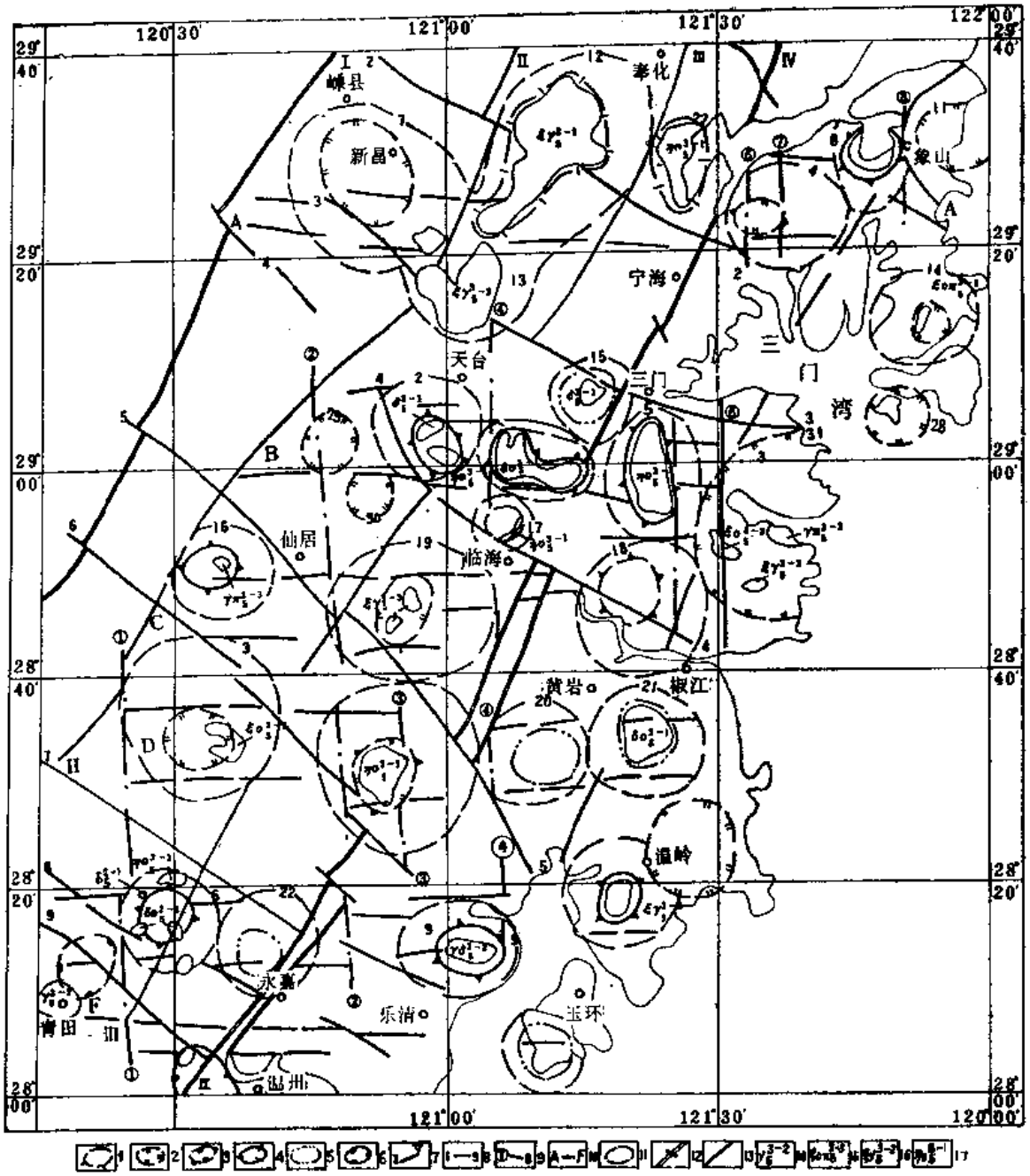


图 3　浙江省东部火山岩区综合信息构造纲要图

1—火山穹隆；2—破火山；3—复活破火山；4—环状特征侵入体；5—火山构造(未分)；6—火山洼地；7—北北东断裂带及编号；8—北西向断裂带及编号；9—南北向断裂带及编号；10—东西向断裂带及编号；11—火山构造边界及编号；12—深断裂；13—基底断裂；14—花岗岩；15—第三阶段岩体；16—第二阶段岩体；17—第一阶段岩体

四、典型矿床地质-地球物理-地球化学模型

开展典型矿床研究建立找矿模型是充分利用区内已知矿床的成矿特征与未知区（成矿预测靶区）进行类比，为成矿预测提供依据，是建立找矿模型的主要内容。

表 1　成矿火山构造综合信息一览表

编号	火山构造名称及类型	火山构造中心特征			环形构造信息					
		侵入体	航磁	重力	地质	遥感	重力	航磁	化探	重砂
1	半山复活破火山	石英二长岩	正场	重力低	1	1	1	1	1	1
2	山头郑黄坦幸火山穹隆	石英闪长岩	正场	重力高	1	1	1	1	1	1
3	上井破火山	花岗斑岩	波动场	重力低	1	1	1	1	1	1
4	茶山复活破火山	闪长玢岩	跳跃场	重力低	1	1	1	1	1	1
5	康各火山穹隆	石英二长岩	正场	重力高	1	1	1	1	1	1
6	银坑火山穹隆	石英闪长岩	正场	重力高	1	1	1	1	1	1
7	新昌破火山	隐伏	平静场	重力低	1	1	1	1	1	1
8	坪头火山穹隆	石英二长岩	负背景正场	重力高	1	1	0	1	1	0
9	虹桥火山穹隆	石英闪长岩	正场	重力高	1	1	1	0	1	0
10	河头火山穹隆	花岗闪长岩	正场	重力高	1	1	1	1	1	1
11	涂茨破火山	石英闪长岩	正场	重力低	1	1	1	0	1	0
12	小将侵入体	钾长花岗岩	负场	重力低	1	1	1	1	1	1
13	龙皇堂侵入体	花岗岩	负场	重力低	1	0	1	1	1	1
14	石浦破火山	石英正长斑岩	负场	重力低	1	0	1	0	1	0
15	里桃火山构造	石英闪长斑岩	正场	重力高	1	1	1	1	1	1
16	高尖头火山穹隆	花岗斑岩	正场	重力高	1	1	1	1	1	1
17	李田山复活破火山	石英二长岩	正场	重力低	1	1	1	1	1	1
18	营田火山穹隆	隐伏	正场	重力高	1	1	1	0	1	1
19	括苍山破火山	石英闪长岩	正场	重力低	1	1	1	1	1	1
20	岐田火山构造	隐伏	负背景正场	重力低	1	0	1	1	1	1
21	泽国火山构造	石英二长岩	正场	重力高	1	0	1	0	1	1
22	银场火山构造	隐伏	负场	重力高	1	1	1	1	0	1
23	东辽火山穹隆	钾长花岗岩		重力低	1	1	1	1	1	1
24	孙坑火山洼地		负场	重力低	1	1	1	1	1	1
25	林里火山洼地		正场	重力高	1	0	0	0	1	1

注：环形构造信息 1 表示有，0 表示无。

典型矿床的物化探异常特征总结，将应用分析靶区内物化探异常是否为矿引起的可能性，为靶区提供深部找矿信息。

典型矿床模型实例：

五部铅锌矿产于半山复活破火山北东部位，近南北向断裂构造带内（见图 3 1 号火山构造）。矿床以岭后溪为界，分南北两个矿段(床)，北矿段为大型铅锌矿床，伴生银、镉，南矿段为小型铅锌矿床。

1. 五部矿田综合信息找矿模型

五部矿田成矿模型反映了整个半山火山构造产出、发展。形成以及成矿作用全过程，收集分析总结火山构造范围内的航磁、重力、水系沉积物，重砂等资料编制成五部矿田综合找矿模式图(图 4)。

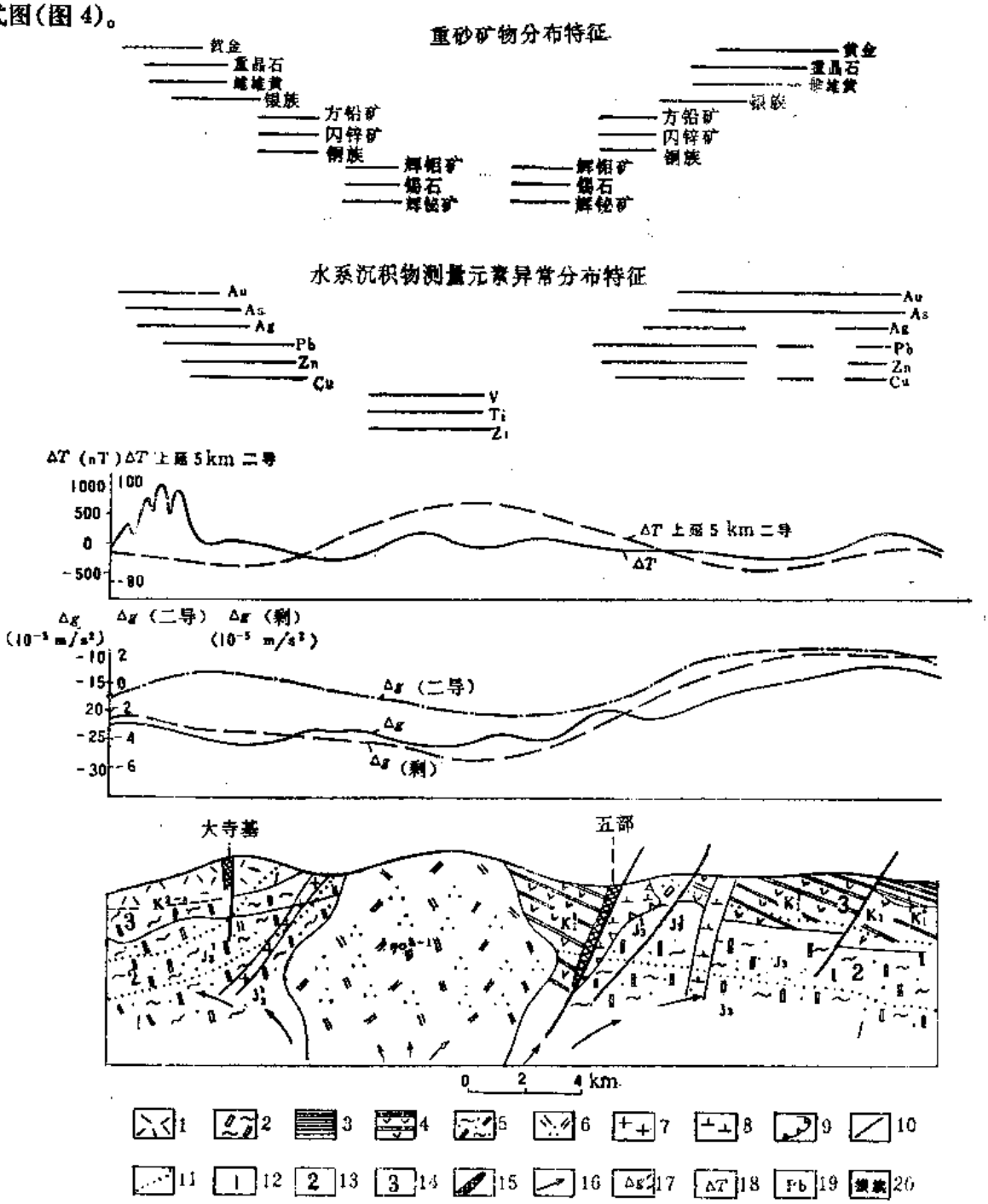


图 4 五部矿田综合信息找矿模式示意图

1—K_1^{1-b} 朝川组爆溢～侵出相；2 K_1^{1-b} 朝川组爆溢相；3—K_1^{1-a} 朝川组沉积相；4—K_1^1 馆头组喷发—沉积相；5—J_3^1 高坞组爆溢相；6—ηo_3^{1-1} 石英二长岩；7—$\gamma\delta$ 花岗闪长斑岩；8—$\lambda\pi$ 流纹斑岩；9—火山通道；10—断层；11—矿化分带界线；12—锌铋矿化带；13—铅锌矿化带；14—金银矿化带；15—矿体；16—热液运移方向；17—重力布格异常曲线；18—航磁异常曲线；19—水系沉积物异常分布；20—重砂异常分布

从图 4 中可见，航磁正场、重力负场反映了火山构造基本轮廓，火山构造边部环状强磁跳跃场是中心式火山喷发时形成的环状堆熔结凝灰岩，重砂矿物及水系沉积物异常清楚地反映

由火山构造中心至边部，成矿物质由高温向低温有规律的变化。

综合本区区域成矿条件，各类找矿标志，成矿有关的各类地质体所显示的地球物理、地球化学异常，将各类信息综合成表格式五部矿田综合信息找矿模型表2。

表 2　五部铅锌矿田综合信息找矿模型

标志分类		综合信息显示
火山构造	地质环境	受早白垩世半山复活破火山构造控制，形成以中央侵体——半山石英二长岩为中心，周边有双模式地层分布，外环有爆发性强熔结凝灰岩及熔结角砾岩
	矿产分布	各类矿产分布具有明显的环状分带性，近中央岩体部位为内带，分布有铁锌矿点，磁铁矿点，离岩体1—5 km为中带，主要分布铅锌矿床矿点，离岩体5—10 km为外带，分布铅锌、铅锌银、银金矿床、矿点，萤石矿点
	遥　感	卫星影像图上表现为明显的双环影像，内环圈反映中央岩体出露界线，外环反映破火山边界
	重　力	半山—农林为中心的环形重力低，它是中央岩体的反映，整个矿田范围可区分东部重力高，西部重力低，反映镇海—温州断裂带在此通过
	航　磁	矿田中心石英二长岩为波动状正磁场，上延2—5km的二阶导数，图为近椭圆形的正磁场区，外围环状分布弧形高强度正负相间的异常带
双模式地层	地　质	沉积岩夹有基性安玄岩和酸性流纹质凝灰岩类
	航　磁	正负波动磁场区
	地　化	Cr、Ni、Co、V、Ti、Cu元素高含量区
地化异常		成矿元素围绕中央岩体呈环带分布，中央岩体为成矿元素低值区，局部(近岩体部位)出现Sn异常，环绕岩体周围汇中带是Pb、Zn、Ag、Cu异常分布区，外带为Au元素异常为主体
重砂异常		呈明显的环形分带，中央岩体周围为内带，局部分布辉铋矿、锡石、辉钼矿，形成中高温重砂矿物组合异常；中带分布闪锌矿、铅族、铜族等中温矿物组合异常；外带主要分布黄金、重晶石、萤石、银族等低温矿物组合异常

2. 五部铅锌矿床综合信息找矿模型

五部铅锌矿是我省典型的陆相火山热液矿床，通过对成矿地质特征的深入研究，认为在构造破碎带内，由于火山热液作用，深部热液上升与下渗地表水的掺和、对流作用使深部成矿物质与火山沉积含矿物共同运移，积聚与构造破碎带，内形成工业矿体（图5）。进一步深入分析研究地球化学异常，总结元素分带特征，形成地球化学模式图（图6）。根据矿床地表地质-地球物理-地球化学特征编制综合信息找矿模式图(图7)。

综上所述归纳成五部矿床综合信息找矿模型，用表格式表达，见表3。

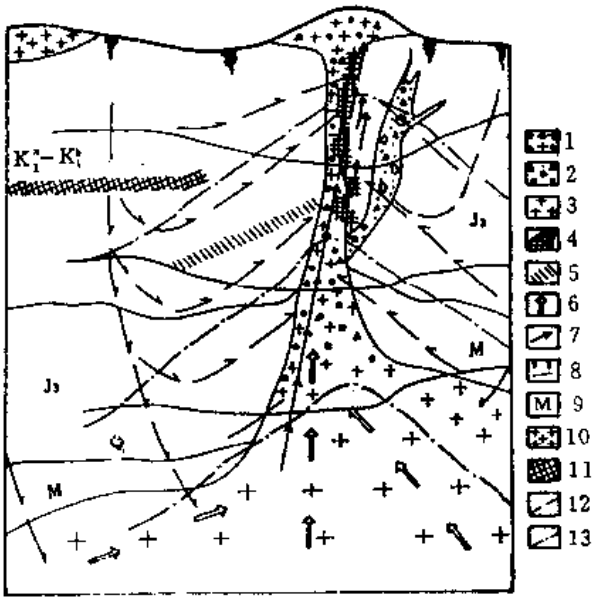


图 5　五部铅锌矿成矿模式图

1—石英霏细斑岩；2—隐爆角砾岩；3—深部岩浆岩；4—五部式锌铅矿；5—火山含矿沉积物；6—深部热液运移方向；7—控矿断裂；8—地下水下渗方向；9—火山基底构造层；10—花岗岩；11—层状矿床；12—等温线（自上而下升高）；13—等压线（自上而下升高）

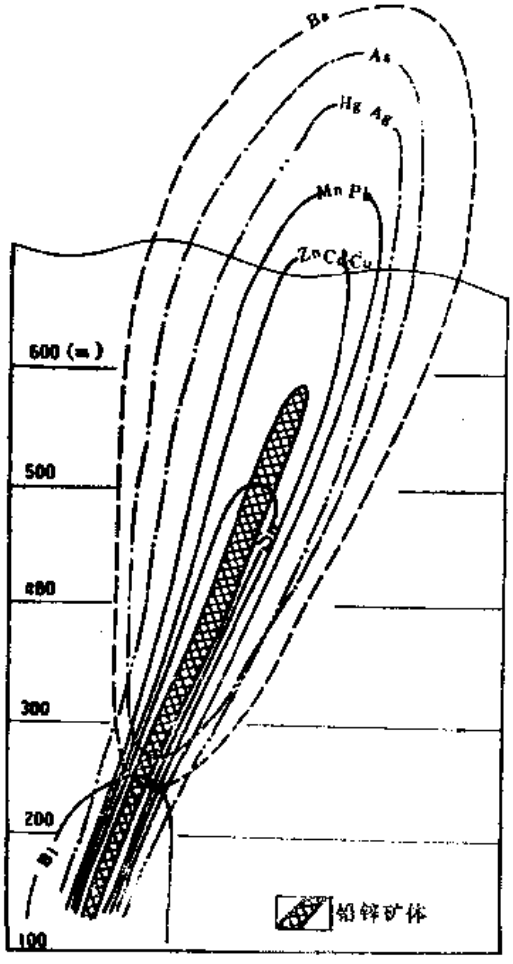


图 6　五部矿床原生异常模式图

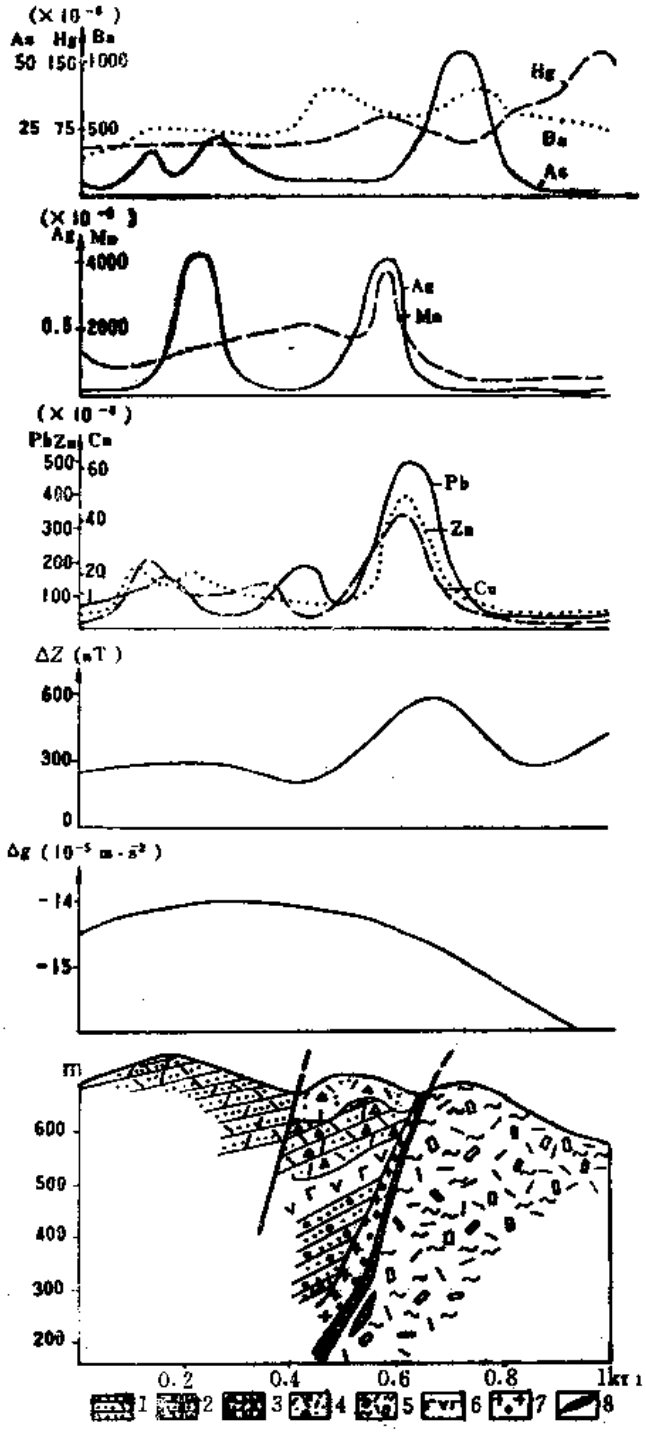


图 7　五部铅锌矿床综合信息找矿模式图

1—凝灰质砂岩；2—砂砾岩；3—沉凝灰岩；4—角砾凝灰岩；5—晶屑熔结凝灰岩；6—安玄玢岩；7—石英霏细斑岩；8—矿体

表 3　五部铅锌矿床综合信息找矿模型

标志分类		信息显示
成矿地质环境	成矿构造部位	矿床位于半山复活破火山构造东北部位，矿体产于具有较大规模的近南北向断裂带内
	控矿构造环境	断裂带内具有张剪性、断裂带内有次火山岩隐爆角砾岩发育，具有寄生火山口特征
	成矿围岩	流纹质、英安质晶屑玻屑熔结凝灰岩为主体
	遥　感	TM卫片线型影像较清晰
	重　力	含矿断裂带位于局部重力异常梯度带上，西部重力高、东部重力低
	地　磁	含矿断裂带的北段，东西两侧地磁场略有差异，磁场背景西部低于东部，东西部均叠加有北西向正异常带
矿化带找矿标志	地表矿化特征	网脉状铁锰帽
	围岩蚀变	北矿段绢云母化，硅化为主，南矿段除发育绢云母化与硅化外，有绿泥石化，绿帘石化发育，并伴有磁铁矿化、镜铁矿化、黄铁矿化
	矿物成分	工业矿体：方铅矿、闪锌矿、伴生银、闪锌矿以浅色为主，伴生特征矿物、蔷薇辉石、辉钼矿
	矿石结构构造	压碎结构、角砾状构造
地化异常	元素组合	成矿元素：Pb，Zn，Ag 指示元素：Mn，Cu，Hg
	元素分带	水平分带：由内向外Zn→Pb→Ag→Bi 垂直分带：由上至下Ba→As→HgAg→Mn(Mo)Pb→Zn→Cd→Cu→Bi
	前缘元素	Ag，As，Ba，Hg(Sb)
	中部元素	Pb，Zn，Cd，Mn
	尾部元素	Cu，Bi，Sn
	剥蚀程度判别指标	矿体头部：Ag×100/Pb≈0.5　Ag×50/Cu≈5 矿体尾部：Ag×100/Pb>1　Ag×50/Cu>10　Zn/Pb>10　Zn/Cd>200
重砂矿物标志		具有一定规模的铅族、闪锌矿铜族、重晶石、辰砂、雄黄等组合出现

五、浙东火山热液矿床综合信息找矿模型

为了进一步总结全区各种矿床的成矿地质特征及其直接、间接找矿标志在不同矿床上的差异和矿床之间的分布规律，需要开展各种矿床之间的类比，进行统计预测分析研究，进一步取得矿床产出的有利与不利条件，找出不同矿种、矿石类型的矿床成矿条件之间差异，大型矿床、小型矿床、矿化蚀变带之间成矿地质条件的差异等方面的地质成果，建立全区综合信息找矿模型，用表格式表达综合信息矿田找矿模型(表 4)，主要说明区域控矿条件及找矿标志。综合信息矿床找矿模型(表 5)，主要描述矿床地质特征及物化探异常。

表4　浙东火山热液成矿系列矿床综合信息找矿模型

标志分类			综合信息显示
基底断裂控制成矿火山构造发育	地质		北东—北北东向为规模最大的一组控制燕山早期岩浆-火山活动，东西向断裂为宽带型，燕山晚期中心式火山喷发呈东西带状分布。 北西断裂发育期较晚与北东交汇处于微盆岩浆-火山活动中心。 南北—北北西向断裂带蚀变发育，为控矿断裂带次级平行断裂往往形成容矿断裂
	遥感		密集排列的色线，色界，明暗相间影像，色带等特征，其中北东向为长度大，明显，其他方向断裂短、粗，北西向出现锯齿状
	重力		重力布格异常等值线梯度明显，等值线明显弯曲，串珠状，等轴异常，平行排列等特征
	航磁		上延不同高度，不同方向导数极值线
	地化		由幔源基性岩元素与地壳深部酸性成岩元素的异常线型分布
	重砂		宽带状线形异常断续分布
火山构造（复活破火山类型成矿有利）	火山构造中心成矿有利特征	侵入体岩石类型	石英二长岩体的复式岩体
		侵入体岩石化学特征	岩石的氧化度Ox'值的大小与铅锌银矿产密切相关，相关系数达 0.67—0.6%，碱质参数α、A、S、Fi 与铅正相关，碱质参数偏钠部分Na_2O、Ab与锌正相关，碱质参数偏钾部分K_2O、Or和MnO与银成正相关
		遥感	环形影像具有棕红色夹黄白色色调
		重力	中心重力场为重力低
		航磁	中心为正负平静场上延后为正场
		化探	中心为造岩元素及高温成矿元素异常
		重砂	中心不出现金属或砂矿物异常
	火山构造环带成矿有利特征	双模式盆地 地质	火山构造环带部分地段有沉积岩，火山碎屑岩、酸性基性熔岩组成的"双模式"火山岩地层存在，对成矿最有利
		双模式盆地 地化	具有Ni、Cr、Co、V、Ti、Cu元素的高背景或异常
		双模式盆地 航磁	为较平静的正场或正负波动场。
		外环 遥感	具正向双环或多环圈影像
		外环 航磁	具弧形，环形高强度正负相间异常带
		外环 地化	中低温成矿元素异常呈环状分布
		重砂	重砂异常环绕火山构造中心具有明显的分带。内带：辉钼矿、锡石，辉钨矿。中带：铅族、闪锌矿、铜族、重晶石。外带：黄金、银族、萤石、重晶石，铅族

表 5　浙东火山热液成矿系列矿床综合信息找矿模型

标志分类	综　合　信　息　显　示
成矿围岩	火山碎屑岩最有利，其次是熔岩，沉积岩不利
成矿有利的容矿断裂标志	断裂带规模大，有成矿前霏细斑岩或流纹斑岩侵位分布；有隐爆角砾岩，及寄生火山通道出现；容矿断裂多次活动，断裂性质为张剪性，断裂方向：南北或北北西最有利，其次为北西向
围岩蚀变	硅化、绢云母化，黄铁矿化，锰碳酸盐化为铅锌矿床主要蚀变；玉髓化，萤石化，重晶化为银（金）矿床主要蚀变
矿物结构构造及矿物组合	具有角砾状构造、压碎结构；有矿有利矿物中出现浅色闪锌矿预示剥蚀不深；辉铅矿，蔷薇辉石是铅锌矿指示伴生矿物，毒砂是银（金）矿床的指示伴生矿物
矿床置于火山构造的位置	距离中央侵入体边部5—8km的地段最有利于成矿
地化特征	成矿元素Pb、Zn、Ag异常规模大小直接指示该类型矿床规模的大小。Au、As、Sb异常规模大小指示银矿床的成矿有利度。As、Hg、Ba等元素异常为铅锌矿床的前缘元素，指示隐伏矿床成矿有利度地段
重砂异常	具有一定规模的铅族，闪锌矿、毒砂等组合重砂异常为直接找矿标志，其中铅族、闪锌矿的含量多少指示矿床规模的大小，银族、黄金，方铅矿，毒砂等组合重砂异常是银矿床的找矿标志。钼族重砂异常出现是某些铅锌矿床的间接找矿标志

六、综合信息成矿预测

1. 成矿预测靶区的圈定，采用模式类比法，预测分矿田预测，矿床预测两级进行，在成矿区带的划分基础上圈出 26 个成矿火山构造，为矿田预测区，其中 11 个为模型单元（区内有已知工业矿床），另 15 个为预测单元。

矿床预测区的确定用下列基本原则：

（1）在矿田内选出成矿有利构造部位，如离火山构造中心一定距离的构造破碎带。

（2）构造破碎带矿化蚀变带发育。

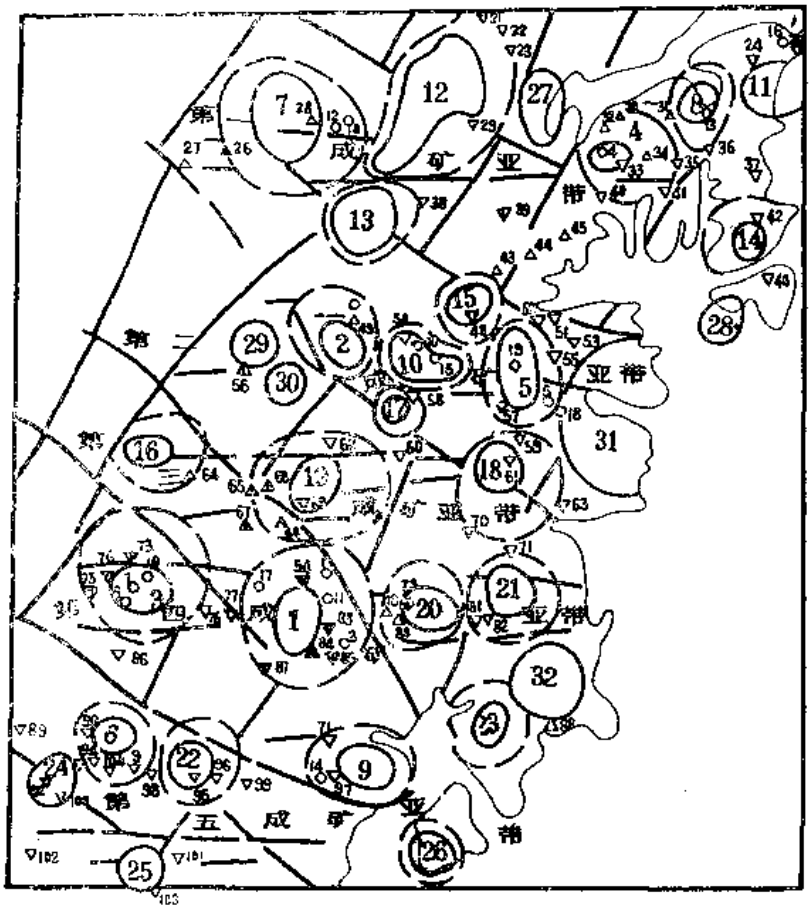
（3）化探、重砂组合异常明显，元素分带清楚。

共选出 84 处矿床预测单元（包括模型矿田内已知矿床外围的预测区），另有模型矿床 20 个单元。

2. 资源量估算

按矿田、矿床两级分别进行，对各类靶区的成矿地质条件进行资料分析研究，购置控矿变量、选择定量预测数学方法，建立数学模型，对靶区进行数学回代，求得各靶区的资源量，所求资源量附合 G 级储量基本条件，少数经过普查的矿点，普查结论尚有一定工作价值的矿床预测单元所求资源量可为 F 级。

3. 根据成矿条件有利程度，预测依据是否充分，资源潜力大小等将预测区分成A、B、C三类，编制预测成果图(图 8)。



1 2 3 4 5 6 7 8

图 8 浙江省东部火山岩区成矿预测图

1—矿田预测区及编号：1—11模型单元，12—26预测单元，27—32成矿较差单元；2—矿床模型单元及编号；3—银(金)矿床预测单元，A类单元及编号；4—银(金)矿床预测B类单元及编号；5—银(金)矿床C类单元及编号；6—铅锌矿床预测A类单元及编号；7—铅锌矿床预测B类单元及编号；8—铅锌矿床预测C类单元及编号

4. 成矿远景区的评价、优选、重点靶区踏勘，提出工作建议。通过踏勘对成矿远景区取得更多的资料，可提供下一步工作方法，手段，比例尺，预计工作量及取得成果。同时进一步论证预测成果的可靠性及优先安排普查找矿的地段。

预测成果简述：

从区域成矿条件分析，第四成矿亚带为重点找矿远景地段，成矿亚带内广泛分布第III旋回火山岩地层，破火山构造类型为主体、规模大，次火山活动频繁，断裂发育，矿化蚀变普遍，异常分布广泛。位于五部矿田东部的岐田火山构造是工作程度低，成矿远景好的矿田，该火山构造中央岩体尚未出露，剥蚀较浅，有明显的铅、锌、银、金组合异常和多种矿物重砂异常，金异常分布于外环圈，元素分带清楚，是寻找隐伏矿床有利地段，经过靶区踏勘，发现多处含金矿化石英脉，本区已作为普查基地开展工作。

五部矿田是一个典型的多活动破火山构造。区内火山热液矿床成矿系列矿产分布及异常分带均具有明显的规律。在五部大型铅锌矿床外围，尚有很大的资源潜力，可开展大比例尺成

矿预测工作。选择 56 号矿床单元进行踏勘，该成矿靶区位于五部矿床的西部，化探异常与北西向构造破碎带有关，是矿田南部上垟矿床北西沿伸部位，通过踏勘找到一组多条西北断裂组成的矿化带，有两条断裂经采样分析，铅、锌、银含量较高，其中北部的一条长 1400 m，产状走向为 30°，倾角为 80°—87°，宽 10 m 左右，带内岩石破碎，蚀变强烈，发育有硅化，黄铁矿化，绢云母化。发现一处矿化露头，厚 0.95 m，含 Pb 为 15.4×10^{-2}，Zn 为 25.56×10^{-2}，Ag 为 135.9 g/t，其中有 6 米矿化带的平均含量 Pb 为 0.6×10^{-2}，Zn 为 1.0×10^{-2}，Ag 为 8.1 g/t，此矿化带已开展地质工作，进行普查评价。位于上述矿化带以南 100 米，另有一条矿化带，长 1000 m 左右，宽 1—8 m 不等，断裂带内构造角砾岩明显，并有霏细斑岩分布，蚀变强弱不一，变化较大，有硅化，绢云母化，黄铁矿化。发现矿化露头一处，破碎带宽 2—3 m，含 Zn 为 26.18×10^{-2}，Pb 为 0.2×10^{-2}，Ag 为 43.6 g/t。

七、小　　结

浙东火山岩地区，应用中比例尺开展成矿预测方法研究，以浙东沿海中生代陆相火山岩区为实例，火山热液矿床成矿系列为研究对象，以火山构造为基本单元（矿田），总结成矿规律。资料表明矿产资源的形成，产出与分布是附合成矿系列基本理论，同时对本区各类物、化、遥勘查资料开展了一系列分析研究，通过成矿地质体为目标的综合信息找矿方法，对本区的成矿远景提出了合理的解释，提供了更多的找矿信息。尤其是深部找矿信息的提供，对隐伏矿床的预测，是通过物化探资料的解释推断得到了更有力的论据。

本项目是国家重点科技攻关项目的三级课题，由浙江省物化探勘查院与浙江省第五地质大队合作完成，在方法研究阶段得到长春地院王世称、王於天教授指导。笔者通过整理，摘要叙述，如有不当之处，敬请读者批评指正。

浙江省遂昌县银坑山金银矿区及外围大比例尺成矿预测概要

周俊法　钱建民

（浙江省地矿局第七地质大队）

银坑山大型金银矿床，堪称“江南一枝花”。遂昌金矿是“七五”期间国家重点建成的岩金生产矿山，然而，现保有储量仅能服务六七年。因此，加强地质找矿是当务之急。为此，开展矿区及外围大比例尺成矿预测，对找矿远景与资源潜力作出估计，为实现找矿新突破提供决策依据。

一、工作程序

本项目是对预测矿种金银矿、铅锌(硫)矿、多金属矿及伴生元素等多矿种进行综合预测评价，目的在于：

1. 预测已知金银矿带深部找矿远景(第二赋矿中段)、断失矿体及平行矿带。
2. 矿区外围有无新的金银矿床预测。
3. 矿区及外围新矿种的预测。

工作方法采取了以下几点：

1. 对测区内已有的地、物、化、遥和矿山开采资料进行系统整理和二次开发，对缺失资料部分进行补充调查，使预测单元内都有相应的地质找矿综合信息资料。

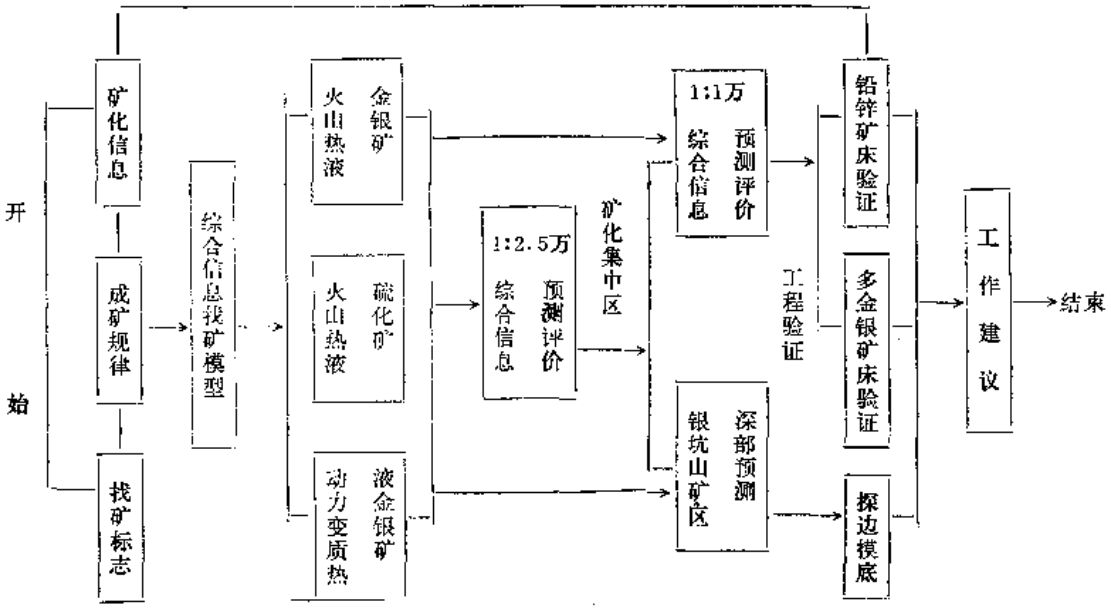


图1　成矿预测工程流程

2. 以地质为先验，以成矿规律研究为基础，以综合信息为标志，进行多矿种综合预测评价。

3. 据预测区内矿床特点和工作程度，制定了按矿种、分层次、分区预测，定性与定量预测相结合的工作方案。运用“相似类比理论”、“求异理论”、“地质条件组合控矿理论”，圈定矿床、矿化体、矿体三级靶区。

预测区在 84 km^2 内，定性预测圈定矿床级找矿靶区，比例尺为 1:25000。在此基础上，优选出 7.5 km^2 多矿种集中区(矿化集中区)，进行 1:10000 预测，预测矿化体、矿体，为验证工程与矿产勘查布置提供依据。

4. 采用预测、普查组合工作方法，既圈定各级靶区，又进行必要验证。缩短了找矿周期，提高了成矿预测的可信度。

预测工作流程见图 1。

二、成矿模式研究

预测区位于北东—南西向的陈蔡—龙泉基底隆起金银成矿带与北西—南东向的遂昌—三门中生代火山侵入成矿带交汇处。

前震旦系以片麻岩(全岩 Rb-Sr 等时线年龄 1707.4±65.0 Ma[1]) 为主的区域热动力变质岩，属角闪岩相的硅线石蓝晶石带，原岩为含火山物质的海相砂泥质沉积岩。显构造窗出露。片麻岩的 Au、Ag 平均残存量分别为 1.38×10^{-9}、0.153×10^{-6}($n=306$)。变质岩之上不整合覆盖了上侏罗统陆相中酸性-酸性钙碱系列火山杂岩。松古盆地及其边缘出露下白垩统陆相碎屑沉积岩，夹双峰式火山岩。

侵入体有变质花岗岩(晚元古?)、加里东晚期层状蚀变石英闪长岩 (PlK-Ar 法 396.9±7.2 Ma)，以及燕山期花岗岩体。

变质岩内发育近东西的韧性剪切带。燕山期进入大陆边缘活动期，断裂发育，火山、侵入活动强烈，具多旋回特征。

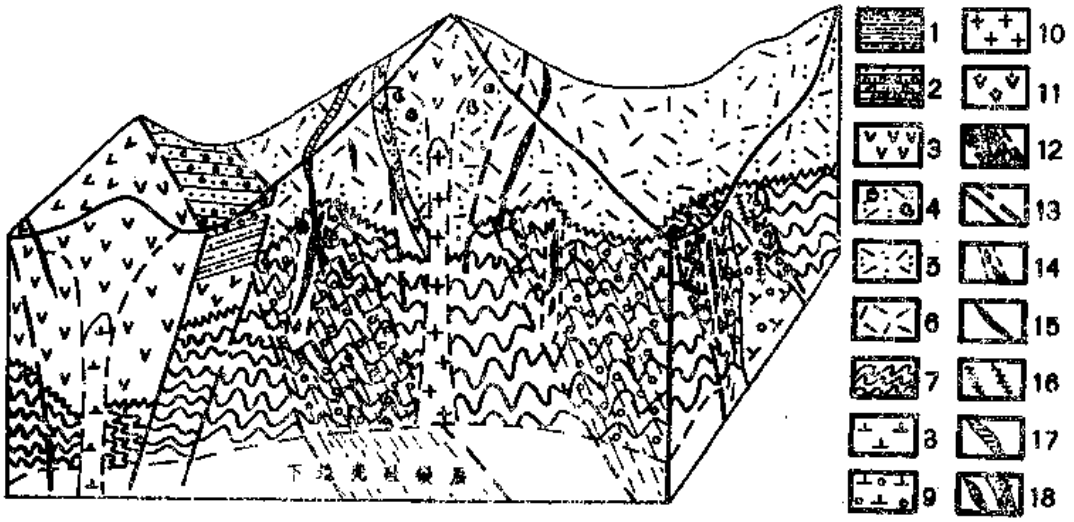


图 2　组合成矿模型图

1—砂页岩；2—含碳砂岩；3—安山岩；4—集块凝灰岩；5—流纹质凝灰岩；6—流纹岩；7—褶皱基底；8—闪长岩；9—石英闪长岩；10—花岗斑岩；11—霏细斑岩；12—韧性剪切带；13—断裂；14—脆性剪切带；15—金银矿体；16—石英脉型多金属矿体；17—黄铁矿体；18—铅锌矿体

不同的构造环境和成矿作用在预测区内形成了多种类型的矿床。主要有：

1. 动力变质热液石英脉型金银矿——银坑山金银矿床(I 类)。

2. 与加里东晚期层状石英闪长岩侵位有关的岩浆热液型多金属矿——局下多金属矿 (II 类)。

3. 燕山早期中酸性-酸性火山、侵入成矿作用有关的硫化矿床——治岭头地区的黄铁矿床、铅锌矿床(III 类)。

4. 燕山晚期中酸性-中性火山成矿作用形成的金银矿床——庄山金银矿点(IV 类)。

各类矿床形成与热液充填交代有关，但又有明显的差异 (表 1)。不同成因类型矿床的时空组合，构成了矿床组合。根据成矿规律研究，建立了矿床组合模型(图 2)。

表 1 矿 床 特 征 简 表

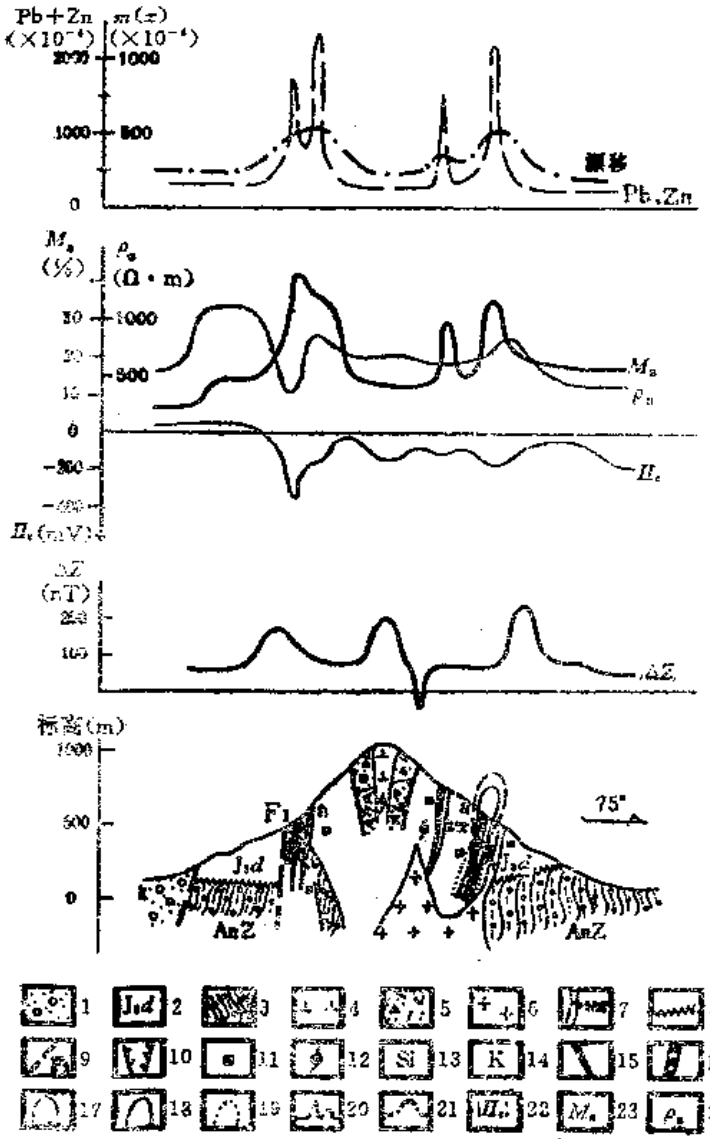
矿床类型 / 地质特征		I 类矿床	III类矿床	IV类矿床
构造环境		晋宁——加里东褶皱隆起区	燕山早期火山、岩浆、构造活动区	燕山晚期火山、岩浆、构造活动区
容矿地层		AnZ	AnZ、J_3	K_1
岩浆岩			霏细斑岩，花岗斑岩	二长斑岩、安山玢岩
容矿构造		韧性剪切带内的脆性断裂	火山环状构造，接触带	断裂带
主成矿元素		Au, Ag伴生Cu, Pb, Zn, S	Pb、Zn、S伴生Ag, In, Cd	Au, Ag伴生Cu, Pb, Zn
围岩蚀变		硅化，黄铁矿化，绢云母化、绿泥石化，蔷薇辉石化，菱锰矿化	绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、蔷薇辉石化	硅化、绢云母化、绿泥石化、萤石化、黄铁矿化，绿帘石化、碳酸盐化、重晶石化
矿物组合		银金矿、金银矿、螺状辉银矿，碲金矿、自然银、黄铁矿、方铅矿，闪锌矿、黄铜矿，石英、绢云母、蔷薇辉石	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、石英、绿泥石、绢云母，绿帘石、长石、蔷薇辉石、方解石	碲银矿、银金矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、绢云母、石英，方解石、长石、萤石，重晶石
矿石建造		贫硫化物石英建造	硫化物建造	石英硫化物建造
矿化类型		充填交代石英脉型，石英网脉型	充填交代硫化物脉、网脉、浸染状	充填交代石英脉型
产状		160°—190° ∠40°—60°	沿火山构造环状分布，倾角50°—76°，内倾	30—60° ∠71°—81°
规模		大型	中型	矿点
Au/Ag		1:14—1:20		1:45
同位素值	$\delta^{34}S‰$	+0.33—+7.44	+8.1	−7.34
	$^{206}Pb/^{204}Pb$	17.115—18.258	17.315—18.123	
	$^{207}Pb/^{204}Pb$	15.475—15.974	15.552—15.824	
	$^{208}Pb/^{204}Pb$	38.355—40.088	38.561—39.463	
成矿温度		早期237—277°C(石英包体) 晚期214—396°C(均一温度)	330～568°C(同位素平衡温度)	248—300°C(石英包体均一温度)
物质来源		下地壳为主	上地壳为主	上地幔

三、综合信息找矿模型

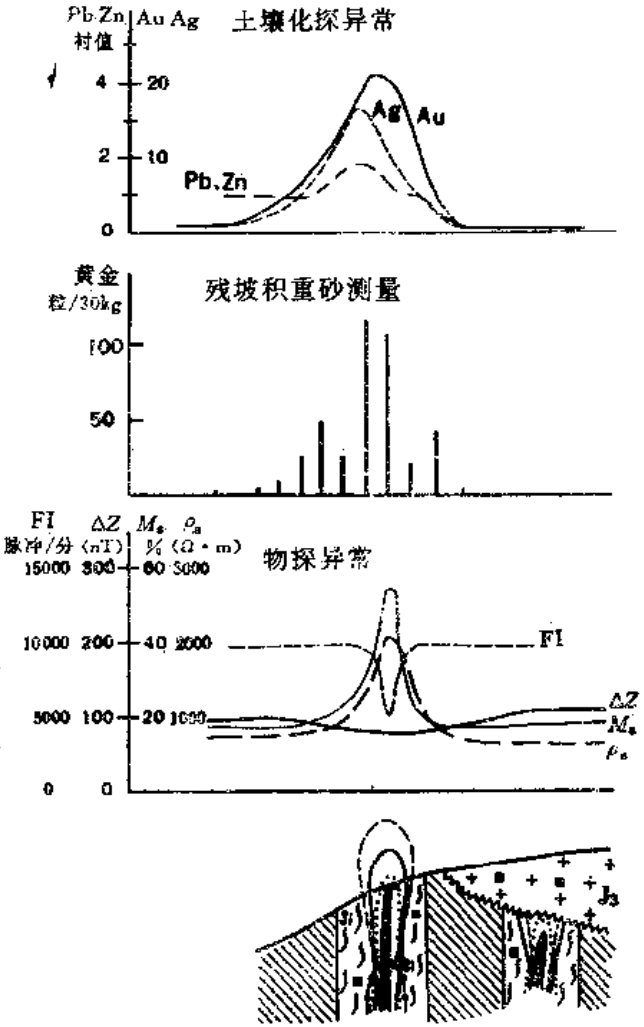
在成矿规律、矿化信息等研究基础上，从各类矿床的地、物、化、遥与重砂等资料的综合分析中，提取成矿信息，建立了相应的找矿标志(表 2)。

表 2　各类矿床找矿标志

矿床类型 / 找矿标志	石英脉型金银矿床(I)	富铜多金属矿(II)	铅锌硫矿床(III)	火山岩型金矿(IV)
地质标志	1. 前震旦系角闪岩相片麻岩中的韧性剪切带 2. 晚期发育于剪切带内的准脆性——脆性断裂带，具尖灭侧现规律	前震旦系片麻岩中的糜棱岩带	晚侏罗世中心火山构造及环状、放射状断裂系统	早白垩世盆地及边缘的双峰式火山活动形成的火山构造及其相应断裂
矿化蚀变标志	1. 贫硫化物石英脉建造 2. 黄铁绢英岩化、硅化，绢云母化，蔷薇辉石化，黄铁矿化	1. 石英硫化物建造 2. 绿泥石化、绿帘石化、硅化、深色蚀变组合	脉状、细脉状、浸染状铅锌矿化，绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化、碳酸盐化等组合	1. 含金石英硫化物建造 2. 青盘岩化、硅化、多金属矿化
岩浆岩标志	韧性剪切带内层状中酸性岩体	石英闪长岩	霏细斑岩、花岗斑岩等	二长斑岩、安山玢岩
物探标志	1. 不同方向的布格重力梯度带、航磁异常的交汇处，剩余重力异常零值线拐弯处 2. 中—高阻带、高η_s异常与天然放射性相对负常套合的综合异常 3. 物探显示的不整合面线状隆起部位是寻找埋藏矿的简接标志	1. 低缓航磁异常。负异常区的局部抬升的100至200nT似等轴状ΔZ异常 2. 低阻、高充电率组合异常	1. ΔZ100—200nT的念珠状异常 2. ρ_s500—1000Ω·m中低阻带 3. $M_s>25\times10^{-3}$ 4. 自电负异常 5. 综合测井的低阻、自电负异常与电极电位滑动接触电流正异常的组合	总体近似等轴状的强航、地磁异常
化探标志	1. 水系沉积物的黄金异常与以Au为主的Au、Ag、Pb、Zn、Cu组合异常。 2. 残坡层中黄金异常，Au、Ag为主的土壤异常，"高原式"对数泛克立格高漂移区的估值剩余异常 3. 原生晕 $Au>50\times10^{-9}$、$Ag>3\times10^{-6}$ 的内带晕发育 $Au\times Ag/Pb\times Zn>0.5$、$Au\cdot Ag/Sn\cdot Mo>1$ 指示矿，剥蚀较浅；$Au\times Ag/Pb\times Zn<0.1$ $Au\times Ag/Sn\times Mo<0.3$指示尾部晕	1. 水系沉积物的Cu、Pb、Zn、Ag组合异常 2. 土壤异常以Cu为主的Cu、Pb、Ag组合异常 3. 山峰式的高漂移与估值剩余异常	1. 水系沉积物Pb、Zn、Mn、Cu、Ag、(Au、Mo)异常区，重砂铅族－黄铁矿－刚玉-绿帘石异常区 2. 土壤以Pb、Zn为主的Mn、Ag、As、(Au)、Sn、Mo组合异常，Pb、Zn对数泛克立格高漂移区的剩余异常 3. 原生晕以 Pb、$Zn>1000\times10^{-6}$内带晕发育为特征	1. 水系黄金、辰砂、砷族组合异常，弱的Cu、Ni水系异常 2. Ag、Au、As土壤异常 3. "丘陵式"对数泛克立格漂移区的估值剩余异常
遥感标志	断块式的特殊影像		反映火山构造的环状影像	
其　它	古采冶遗址、老硐	老硐		



1—下白垩统陆相沉积岩；2—火爽组火山岩；3—前震旦系变质岩；4—安山玢岩；5—火山角砾岩；6—燕山期花岗岩；7—霏细斑岩；8—不整合面；9—断层；10—火山口；11—黄铁矿化；12—绿帘绿泥石化；13—硅化；14—高岭土化；15—黄铁矿体；16—铅锌矿体；17—Mn、Ag、Au原生晕；18—Pb、Zn、Cu 原生晕；19—Sn、Mo 原生晕；20—Pb、Zn 次生晕；21—Pb、Zn 对数泛克立格估值飘移；22—自电；23—M_s充电率；24—视电阻率



1—火山岩；2—变质岩；3—糜棱岩带；4—含金石英脉；5—不整合面；6—黄铁矿化；7—硅化；8—Hg、As、Sb 原生晕；9—Au、Ag原生晕；10—Pb、Zn、Cu 原生晕；11—Sn、Mo 原生晕；12—天然放射性；13—地面磁法；14—充电率；15—电阻率；16—残坡积重砂黄金异常

图 3　火山热液铅锌硫矿床的综合找矿勘查模型

图 4　动力变质热液金银矿矿合信息找综模型

Ⅰ类矿床和Ⅲ类矿床，据找矿标志建立了综合信息找矿模型(图3、图4)。

四、定性定量预测

预测采用从找矿单元(矿床靶区)—目标物(含矿地质体)—验证—目的物(矿体)，逐步逼近的工作方法，估计E级、F级资源量，条件具备时求D级储量。

(一) 定性预测——矿床靶区圈定

测区在84 km²内，矿床类型多，找矿信息有异同，各类矿床的有矿控制单元较少，应用多元统计预测有一定的困难。因此，以成矿地质条件为前提，预测单元内综合信息有利找矿标志为依据，结合信息量计算，筛选有矿单元，将相互关联的有矿单元圈定为找矿靶区。

在1:25000成矿规律图上，按公里网划分成1×1 km²预测单元，计14×6个，对三类矿床进行预测，据成矿规律与综合信息标志的分析研究，剔除了对三类矿床成矿均不利的无矿单元23个。Ⅰ类矿床预测单元14个，其中有矿控制单元1个；Ⅲ类矿床预测单元10个，其中有矿控制单元4个；Ⅳ类矿床预测单元49个，其中有矿控制单元1个。有10个预测单元Ⅰ、Ⅲ类矿床叠置。见图5。

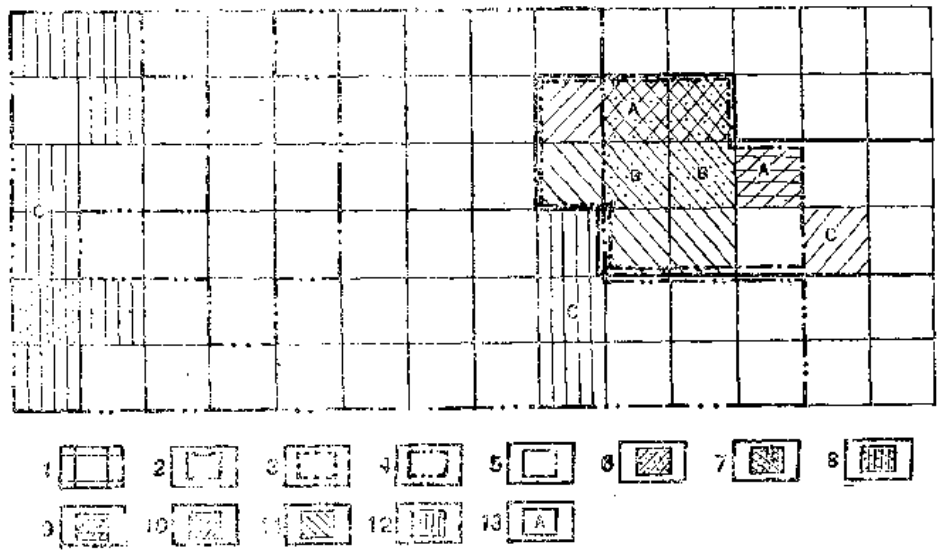


图5 1:25000预测矿床靶区

1—预测单元；2—Ⅰ类矿床预测区；3—Ⅲ类矿床预测区；4—Ⅳ类矿床预测区；5—剔除单元；6—Ⅰ类矿床已知有矿单元；7—Ⅲ类矿床已知有矿单元；8—Ⅳ类矿床已知有矿单元；9—Ⅱ类多金属矿单元；10—Ⅰ类矿床预测靶区；11—Ⅲ类矿床预测靶区；12—Ⅳ类矿床预测靶区；13—找矿靶区类别

据各类矿床综合信息找矿模型，选取反映某类矿床的有利信息存在与否，购置二态变量，采用相关频数法与地质先验相结合，确定预报变量。初始变量与预报变量见表3。各类矿床预测单元内的有利找矿标志数和信息量($\Sigma I_j \to B$)计算结果列于表4—表6。预报结果：

Ⅰ类矿床　以有利找矿标志数≥4，$\Sigma I_j \to B \geqslant 1.0$为标志量，确定有利找矿单元6个，其中一个单元经钻探验证为含铜多金属矿。因此，圈定二个靶区，银坑山金银矿区为A类靶区，刘坑为C类靶区。

表 3　初始变量构置及预报变量

矿床类型	I		II		III	
变量类型	预报变量号 / 变量意义		预报变量号 / 变量意义		预报变量号 / 变量意义	
地　质	1	前震旦变质岩出露	1	AnZ_1、J_3d^{1-2} 地层	1	中性—中酸性次火山及火山侵入岩
	2	韧性剪切带，层状中酸性岩体	2	环状、放射状断裂	2	北西—南东向断裂
			3	距火山构造中心（≤1500m）	3	北东—南西向断裂
			4	近南北向断裂	4	与北西—南东大断裂导通的近南北向断裂
			5	火山侵入岩（霏细斑岩）		
蚀　变	3	变质岩硅化			5	绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化、硅化、绢云母化　二类或二类以上存在时有利
	4	变质岩黄铁矿化				
化探（对数泛克立格估值）	5	Au漂移≥10×10^{-9}	6	Pb漂移≥75×10^{-6}	6	Au漂移≥10×10^{-9}
	6	Ag漂移≥0.4×10^{-6} As漂移≥35×10^{-6}	7	Zn漂移≥180×10^{-6}	7	Ag漂移≥0.2×10^{-6}
			8	Pb剩余异常	8	As漂移≥35×10^{-6}
	7	Au剩余异常	9	Zn剩余异常	9	Au剩余异常
	8	Ag剩余异常			10	Ag剩余异常
		As剩余异常			11	As剩余异常
重　砂	9	一级水系残坡积黄金异常		一级水系（II级）重砂铅族异常	12	黄金及黄金＋辰砂一级水系异常
物　探		剩余磁异常	10	低缓ΔZ正异常	13	地磁　正异常（ΔZ—500nT）
			11	中低阻、高级化		

表 4　I类矿床有利找矿变量及信息量

单元号 \ 变量号	矿化变量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	有利找矿标志数	$\Sigma I_j \to B$	备　注
23	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	4	1.359	△
24	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	7	2.487	金银矿体
25	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	5	1.575	隐伏金银矿
37	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	5	0.952	黄铁矿床
38	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.137	
39	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0.584	
40	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	5	1.128	多金属矿
41	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3	0.584	
42	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.032	
52	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.032	
53	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.137	
54	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.137	
55	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	1.128	△
56	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0.137	
信　息　量		0.032	0.047	0.544	0.447	0.368	0	0.447	0	0.544			
排　序		6	7	1	3	5	8	3	8	1			

△找矿远景单元。

表 5　II类矿床单元变量及信息量

单元号＼变量号	矿床变量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	有利找矿标志数	$\Sigma I_j \to B$	排序	备注
23	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0.2518	9	矿(化)体
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	0.9738	1	铅锌矿床
25	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	10	0.9438	4	铅锌矿床
37	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	0.9738	1	△
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	10	0.9438	4	黄铁矿床
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	11	0.9738	1	黄铁矿床
40	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.6550	6	I类多金属矿
52	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	7	0.5371	8	矿(化)脉
53	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	8	0.5671	7	多金属矿化
54	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	6	0.2483	10	
信息量		0	0.0969	0.0969	0.1549	0.0299	0.0457	0.0457	0.0969	0.0299	0.2216	0.1549				
排序		11	4	4	2	9	7	7	4	9	1	2				

表 6　III类矿床单元变量和信息量

单元号	变量号 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	$\Sigma I_j \to B$	有利找矿标志数	有利找矿单元(△)
1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1.4617	6	△
2	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1.2534	6	△
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0.2008	2	
6	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0.5478	4	
7	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0.6582	3	
8	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.5243	4	
9	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0.3992	4	
15	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0760	4	
16	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1.5744	7	△
17	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0.2889	3	
20	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0.6582	5	
21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.3469	2	
22	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.6704	4	
23	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0.8876	7	△
29	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1.3995	6	△
30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.2220	2	
31	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0.5641	4	
34	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.4573	3	
35	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.7326	4	

续表

单元号	变量号													$\Sigma I_j \to B$	有利找矿标志数	有利找矿单元(△)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
33	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0.6122	4	
37	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0.6582	7	
43	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1.6312	7	△
48	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.5600	3	
49	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.4116	3	
50	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.6063	3	
51	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1.1307	9	△
57*	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1.6004	8	
58	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1.3873	7	△
59	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0.6582	5	
61	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.7326	4	
62	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0.3223	4	
63	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0.8207	5	
64	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0.4116	5	
65	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0.8557	9	△
66	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.1104	3	
67	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1985	2	
68	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1104	1	
71	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0.9012	6	△
72	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0.7673	5	
73	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0.3904	3	
74	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1104	1	
75	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.4573	3	
76	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0.4573	4	
77	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0.9456	5	
78	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0.4116	4	
79	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0.7537	8	△
80	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1985	3	
81	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1104	1	
82	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.3469	2	
$I_j \to B$																
排序																

* 已知有矿单元。

III 类矿床　以有利找矿标志数>6，$\Sigma I_j \to B > 0.5$ 为标志量，确定有利找矿单元 8 个，围绕华峰尖火山构造分布为 B 类找矿靶区。

IV 类矿床　以有利找矿标志数$\geqslant 6$，参考 $\Sigma I_j \to B$ 筛选出 11 个有利找矿单元，圈定二个 C 类找矿靶区，分布于预测区的早白垩世盆地内。

（二）资源量估计

据定性预测结果，选择 I 类矿床 A 类找矿靶区，III 类矿床 B 类找矿靶区进行详细预测。I 类矿床预测隐伏矿体与断失矿体，采用地质类比法进行定性、定量预测。III 类矿床采用统计预测方法进行定性、定量预测。

1. I 类矿床预测

据预测目标，分三个地段进行：

1）西矿段断失矿体

a. 预测区特征

① 中矿段 IV 矿带中的 IV—1、IV—2、IV—4 和 IV—5 四个矿体，IV—1 矿体形态简单，矿化均匀（Au 品位变化系数 0.7633），品位高（Au: 18.15×10^{-6}，Ag: 187.83×10^{-6}），但走向长度仅为其它矿体的 1/2—1/3，不符合矿体近于等长分布的规律。

② Au、Ag 与 Au 乘厚度的水平方向变化性的地质统计学分析，对数实验变差函数计算与球状模型最优拟合，变程为 300m，256m，210m，约为单矿体长度的 1/2，表明这些变量在单个矿体内自相关，单矿体延长约 400—500m，近于等长分布。

③ IV—1 矿体在 F_1 断层处，厚度（7.23m），与品位（Au: 17.26×10^{-6}，Ag: 186.34×10^{-6}）呈突变。

④ 遥感资料反映，F_1 断层造成左旋位移 300—600m，工程控制垂直落差 100—150m。

⑤充填于 F_1 断裂带中的闪长岩岩脉角闪石 Ar-Ar 法年龄谱为典型的受过热扰动的年龄谱系，成岩年龄 167.5±6.6Ma，热扰动年龄 103.9±3Ma，表明 F_1 在成矿后曾强烈活动。

b. 预测结果

据以上成果，西矿段存在断失矿体，断失距离 300—600m，参照已探明 IV—1 矿体的品位、厚度，计算 E 级资源量 Au: 2.7t，Ag: 40.8t。

2）中矿段已知矿带深部预测

a. 预测区特征

① 中矿段 IV 矿带的矿体，控制总长 1150m，矿体呈狭长条带分布于 420—620m 标高范围，而脉体延深则大得多。与国内外同类型矿床相比，垂直矿化范围明显偏小。

② 矿床的储矿围岩、控矿容矿构造、矿源深度和成矿的物化条件等的研究结果表明，矿石沉淀的垂向范围较大。

③ 已探明的矿体平均延深为矿体长度的一半，反映了构造延深为长度之半的规律，中矿段矿带延长约 1700m 左右，控矿构造延深应大于 800m。

④ IV 矿带容矿构造在走向上呈波状起伏，宽度张缩明显，张缩部位与波状扭曲部位同步（图 6），矿化富集中心与容矿构造部位一致（图 7）。容矿断裂的底板距离二维一次趋势与剩余、水平宽二维五次趋势与剩余，揭示了控矿构造倾向上也具同样的变化规律。

b. 预测结果

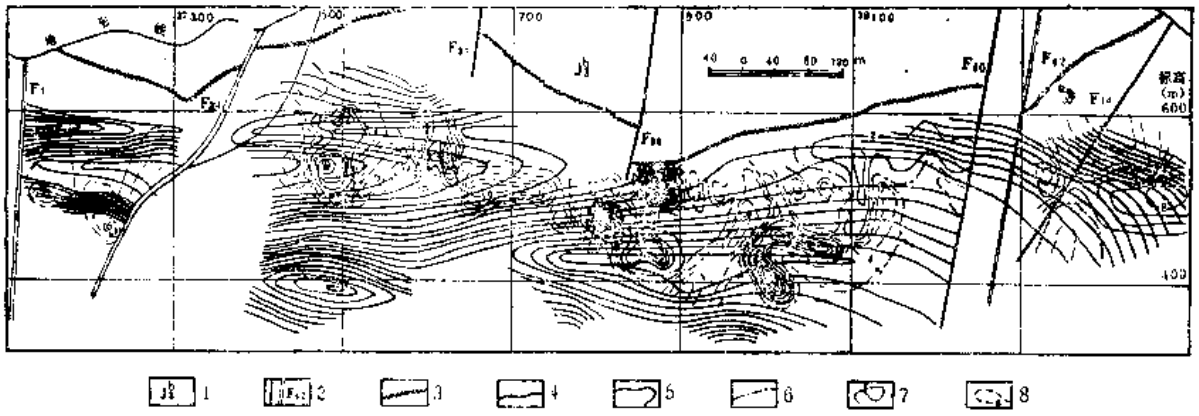


图 6　IV 号矿带容矿断裂水平宽度(米)二维五次趋势及剩余图

1—上侏罗统火山岩；2—断层及编号；3—不整合面；4—地表地形线；5—趋势值等值线；6—剩余值零等值线；7—剩余值正等值线；8—剩余值负等值线

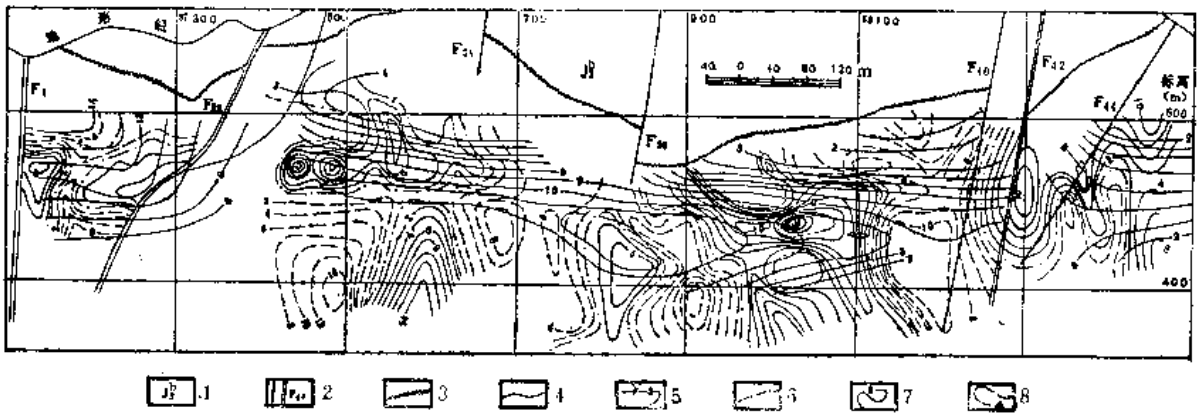


图 7　IV号矿带 Au(10^{-6})二维七次趋势及剩余图

1—上侏罗统火山岩；2—断层及编号；3—不整合面；4—地表地形线；5—趋势值等值线；6—剩余值零等值线；7—剩余值正等值线；8—剩余值负等值线

据以上特征，预测 IV 矿带深部可能出现新的赋矿中段。据中矿段 IV 矿带的边界条件 F_1 断层和火山构造，圈定 L1 线至 L20 线，0—200m 标高为找矿远景地段。

3) 平行矿带预测

银坑山口普查钻孔岩心重新研究结果，变质岩普遍糜棱岩化，脆性断裂发育，出现 As、Sb、Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Bi、Mo 晕，R 型因子计量 F_2|As—Sb—Mo| 和 F_3|Au| 的因子计量大于 1，这些特征与已知矿体的特征基本一致。而且 5 线 ZK81 见矿体，垂厚 1.08m，Au：2.38×10^{-6}，Ag：78.4×10^{-6}。因此，银坑山II为一个新的隐伏矿找矿靶区。同时，说明银坑山金银矿区可能存在平行矿带。

2. III 类矿床的定量预测

在 III 类矿床的 B 类靶区，采用 $0.25\times0.25km^2$ 为预测单元进行统计预测，计 10×12 个单元。其中：有矿控制单元 6 个，地表有较好矿化显示的 8 个单元为扩充控制单元，已知无矿单元 4 个，待判单元 102 个，初始变量见表 7。

表 7　1:10000预测初始变量和预报变量

变量类型	初始变量号	预报变量号	变量说明	变量类型	初始变量号	预报变量号	变量说明
地质	1	1	AnZ或J_3d^{1-2}	岩石测量	16	6	Pb≥800×10⁻⁶样点存在
	2		$v\pi$		17	7	Zn≥800×10⁻⁶样点存在
	3		E—W向断裂	对数泛克立格估值	18		Ag剩余异常
	4		S—N向断裂		19		Cu剩余异常
	5		NNW—SSE向断裂		20	8	Pb剩余异常
	6		NNE—SSW向断裂		21	9	Zn剩余异常
	7	2	火山中心距离300—1500m		22		As剩余异常
土壤地化异常	8		Ag≥1×10⁻⁶	物探	23	10	地磁弱正异常>100nT
	9		Ag≥0.3×10⁻⁶		24	11	中低阻ρ_s500～1000Ω·m
	10		Cu≥100×10⁻⁶		25	12	高充电率M_s≥25%
	11		Cu≥40×10⁻⁶				
	12	3	Pb≥500×10⁻⁶				
	13	4	Pb≥200×10⁻⁶				
	14		Zn≥500×10⁻⁶				
	15	5	Zn≥200×10⁻⁶				

选择 10 个已知单元，对初始变量用相关频数法逐步筛选出 9 个二态变量为预报变量（表 8），物探变量在判别分析时作三态变量使用，构置方法：有利标志存在（+），不存在（—），无资料（0）。

表 8　控制单元初始变量及筛选结果

单元号	预测量 $Y=\begin{cases}1 & \text{有矿}\\0 & \text{无矿}\end{cases}$	初始变量号																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
24	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
25	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
37	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
47	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
42	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
52	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
21	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
50	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
预报变量号		1						2					3	4		5	6	7			8	9	

采用信息量计算法、特征分析法预测目标物靶区。

1）信息量计算结果作图（图 8）。选取频率分布曲线的拐点（$\Sigma I_j \to B = 1$）为临界值来判别，$\Sigma I_j \to B \geqslant 1$ 判为有矿单元，计 30 个。控制单元、扩充控制单元回判结果，有矿单元判对率 100×10^{-2}，但部分地表见矿化的单元被判为无矿，这样有可能漏矿。为此，将 $\Sigma I_j \to B \geqslant 0.8$ 作为临界值预报，预报有矿单元 45 个。

2）特征分析法预测

用表 8 的 9 个变量，增加 3 个物探变量进行预测。增加物探变量的目的在于提高对盲矿的预报能力。由 6 个有矿控制单元和 8 个扩充单元建立代数和法、主分量法矿床数学模型：

代数和法矿床模型：

$$Y=0.0916x_1+0.0092x_2+0.0819x_3+0.0912x_4+0.0819x_5+0.0827x_6+0.0823x_7+0.0818x_8+0.0814x_9+0.0869x_{10}+0.0819x_{11}+0.0648x_{12}$$

主分量法矿床模型：

$$Y=0.0924x_1+0.0924x_2+0.0812x_3+0.0921x_4+0.0812x_5+0.0826x_6+0.0823x_7+0.0815x_8+0.0812x_9+0.0873x_{10}+0.0822x_{11}+0.0633x_{12}$$

二个模型相似，选用代数和法为预测模型。据控制单元回代结果，确定 $Y>0.5$ 为有矿单元，计 54 个(图 8)。信息量法选上 45 个单元有 43 个单元同时遴先，被信息量法错判的 21 号单元与地表有矿化而深部矿化很差的 11 号单元，已被剔除，增加了 11 个有矿单元。可见，特征分析增加了物探变量，使深部矿化信息得到了较好的反映。

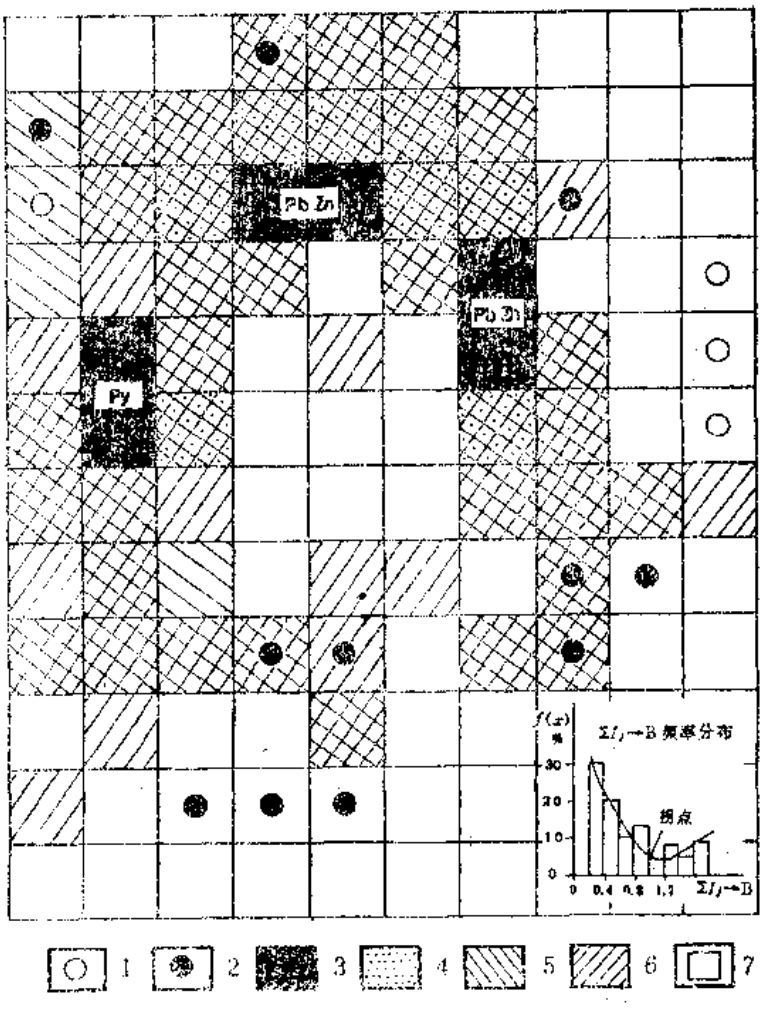


图 8　II 类矿床 1:10000 统计预测结果

1—无矿控制单元；2—地表有矿化单元；3—有矿控制单元；4—扩充控制单元；5—信息量法判为有矿单元；6—特征分析法判为有矿单元；7—预测单元

3. 资源量估计

1）勘探剖面原生晕含矿率计算资源量

银坑山金银矿床中矿段的铅锌矿，是查证勘探剖面多建造原生晕的结果。据 L28、L38 两条勘探线地球化学剖面(8 个钻孔)，Pb、Zn 含量均大于 1000×10^{-6} 原生晕圈定的铅锌矿体，求得的平均含矿率为 19.45×10^{-2}，它基本反映了 Pb、Zn 含量大于 1000×10^{-6} 原生晕内工业矿体出现的概率。

已知铅锌矿段向西延伸 600m 范围内(L24 至 L1)，有五条勘探线原生晕资料。用 Pb、Zn $\geqslant1000\times10^{-6}$ 原生晕的平均斜长估计矿体斜长，据原生晕轴线的平均倾角 (65°)、平均垂厚 (68.18m)、平均含矿率 (19.45×10^{-2})，求得矿体真厚 6.18m。以已知矿体的体重 ($2.896t/m^3$)、品位 (Pb: 0.79×10^{-2}、Zn: 2.2×10^{-2}) 作为预测矿体的参数，用体积法计算得：Pb: 2.33×10^4t，Zn: 6.49×10^4t。

2) 丰度法计算资源量

本法多用于区域资源量上限的估计。我们应用其方法原理，通过已知矿体在含矿地质体中的富集因子计算，估计目标物靶区的资源量。丰度法要求对含矿单位地质体有高精度的分析资料为依据，而本区使用 100m × 40m 网度，水平撒样法分析的土壤地球化学资料。因此，用 1:2000 填图过程中取得的散点岩石地球化学资料的网格数据，与同单元的土壤地球化学资料网格化数据进行相关分析($r_{(Pb)}=0.602, r_{(Zn)}=0.702, n=19$)，检验结果呈正相关，说明土壤中矿化元素的丰度能够近似地反映地质体矿化元素的丰度。

已知矿体分布区富集因子计算结果：$r_{D(Pb)}=0.3306$、$r_{D(Zn)}=0.6859$，富集因子较大，原因是矿体与含矿地质体的体积比相对较大。为说明丰度法计算模型可用性，先选择原生晕含矿率计算资源量的块段进行试算。二种方法计算的铅锌资源量比较，丰度法铅偏高 46.45×10^{-2}，锌偏低 2.97×10^{-2}，铅＋锌总量正偏 16.76×10^{-2}。因此，认为用丰度法计算目标物靶区的铅锌资源量是可行的。

五个找矿靶区采用丰度法计算资源量结果：铅：57.94×10^{4}t。锌：150.59×10^{4}t。铅锌矿床中伴生元素 Ag、Cd、As，用已知矿体中主矿元素与伴生元素对的储量比值，估算资源量。铅锌矿床中的 Ag 主要赋存于 PbS 中，用 $(Q_{Ag}/Q_{Pb})\times10^{5}=10.35$ 估算，Cd 多赋存于 ZnS 中，用 $(Q_{Cd}/Q_{Zn})\times10^{5}=56.22$ 估算，用 $Q_{As}/Q_{(Pb+Zn)}=1.55$ 估算。计算结果：伴生 Ag 625.86t、Cd 8831t。As337.2×10^{4}t。

3) 多金属矿床预测资源量

定性预测结果将 40 号单元判为金银矿找矿有利单元，平硐验证结果为多金属矿。平硐实控矿体长 150m、水平厚 4.2m、平均品位：Cu：$0.4g\times10^{-2}$，Pb：2.44×10^{-2}，Zn：0.73×10^{-2}，Ag：23.1×10^{-6}。土壤测量圈定的 Cu、Pb、Ag 异常面积 500m × 400m，电法 $M_s\geqslant25\times10^{-2}$ 异常长轴大于 600m，电测深推断的容矿构造延深大于 300m。采用地质块段法计算资源量：Cu：1.03×10^{4}t，Pb：5.26×10^{4}t，Zn：1.57×10^{4}t，Ag：49.8t。

根据《固体矿产成矿预测基本要求》(试行稿)中，预测资源量级别划分的基本要求，将预测的金银矿断失矿体、原生晕含矿率计算的铅锌矿及多金属矿的资源量划为 E 级，丰度法计算的 Pb、Zn 及伴生 Ag、Cd、As 的资源量划为 F 级。

五、初步验证结果

1. 金银矿靶区验证初见成效

1990 年 4 月，在编制《中矿段金银矿探边摸底设计》时，根据勘探资料与原生晕资料的详细对比研究，推定 IV—4、IV—5 矿体顶界尚有垂高 40—80m 的矿体未圈定，外推储量 Au 为 1.5t、Ag 为 40t，在设计审查时认为，依据可靠，方案正确，由矿山进行生产探矿。

去年，对预测的 III、IV 号矿带深部赋矿中段与西矿段北部远景地段进行验证。中矿段深部以 150m 间距施工三条勘探线 5 个钻孔，控制标高为 300—100m，有 4 个钻孔见垂厚为 2.07—21.12m 石英脉或黄铁绢英岩化带(未见矿体)，证实 III、IV 号矿带向下延深。ZK1202孔在 100m 标高处又出现 Au 0.32×10^{-6} 的矿化，可能成矿预测推断的无矿间隔(200 至 250m) 偏小，第二赋矿中段可能在 0 m 标高左右出现。

西矿段北远景地段，有 4 个孔见石英脉型金矿(表 9)，揭示了存在平行矿带的可能。

2. 铅锌硫矿床靶区经验证，控制矿量已达中型规模

成矿预测时，为验证 $Pb(Zn)\geqslant 1000\times 10^{-6}$ 原生晕的含矿性及铅锌矿的远景，挖掘了掩埋

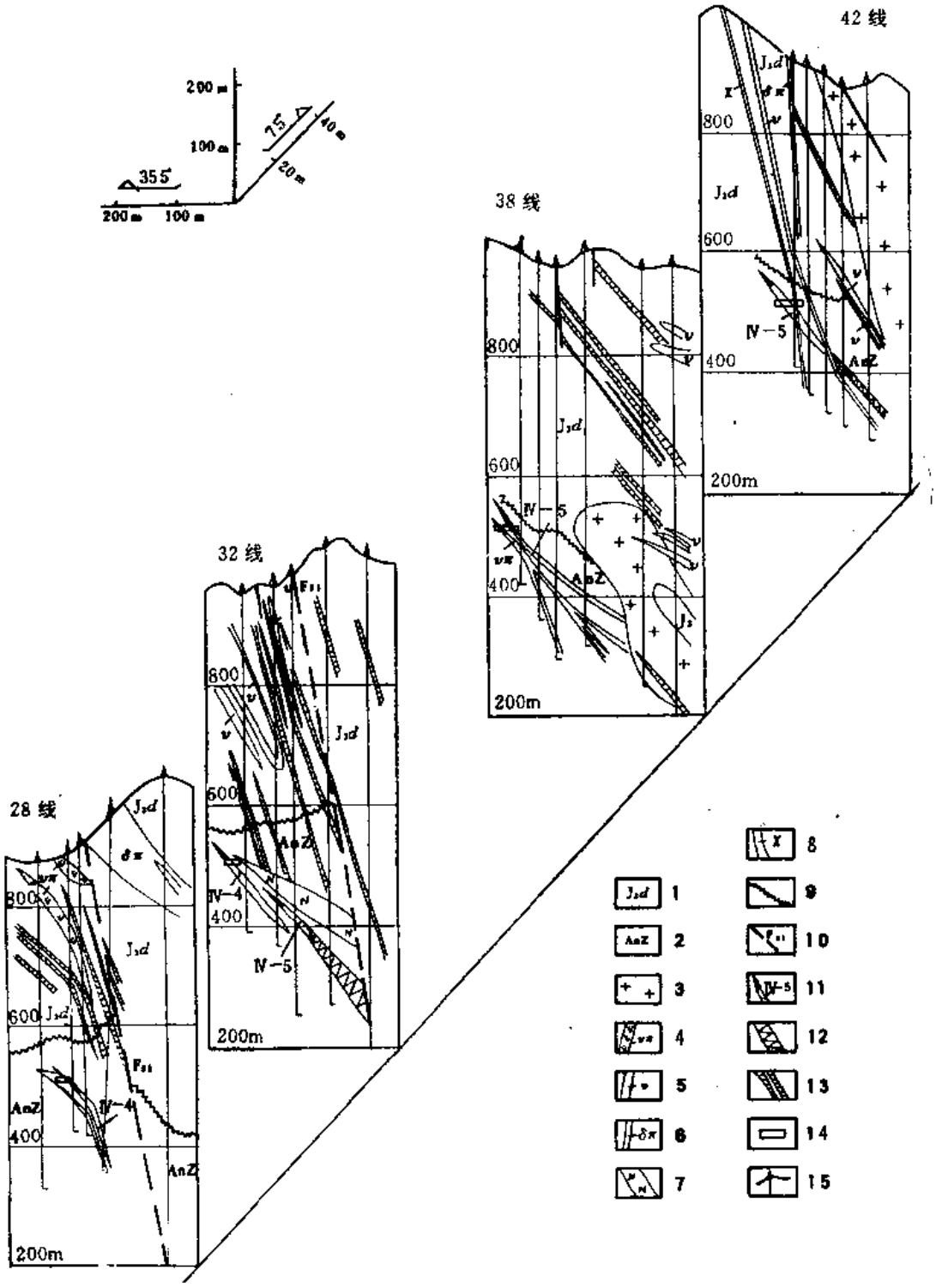


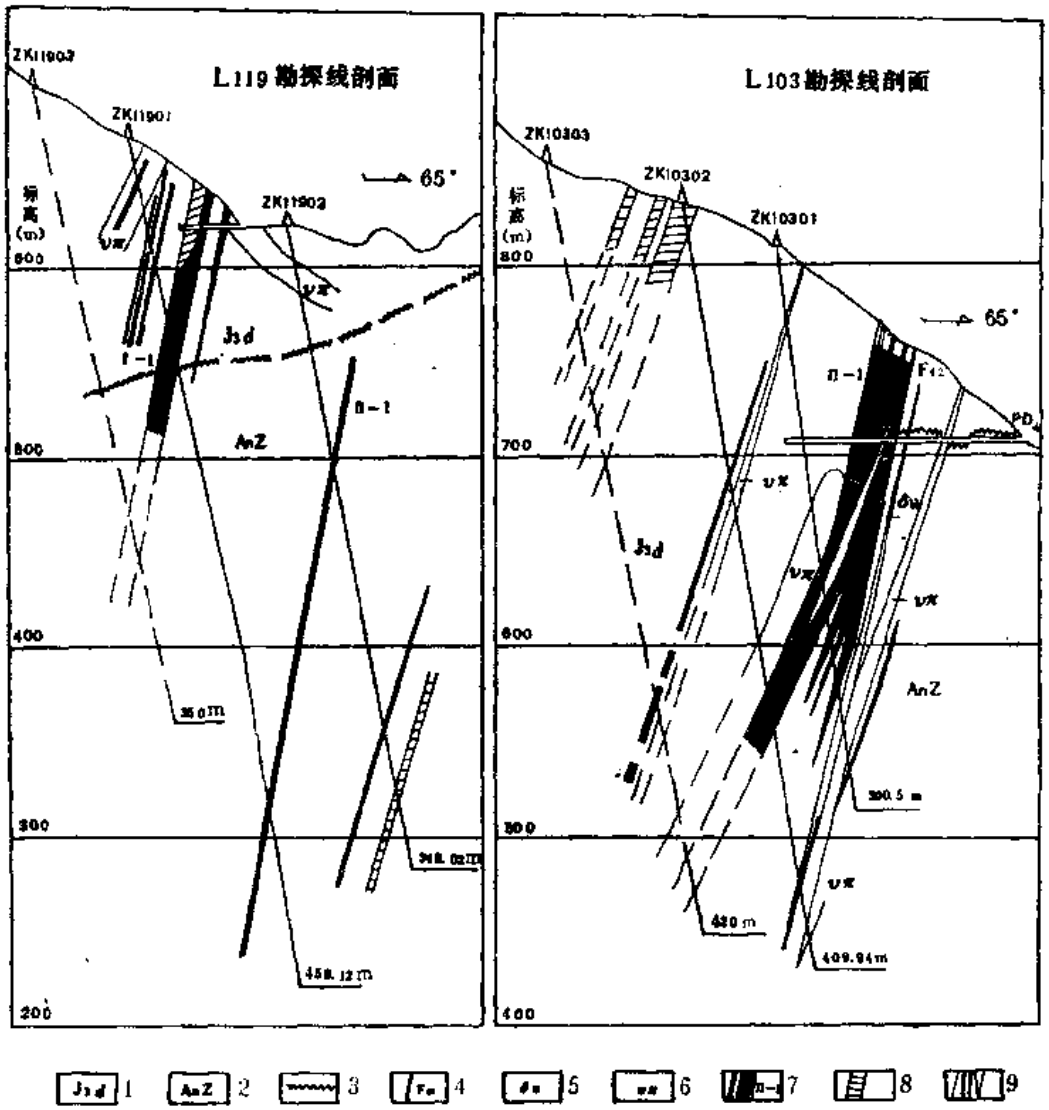
图 9　华峰尖北坡铅锌矿联合剖面图

1—大爽组火山碎屑岩；2—前震旦系变质岩；3—花岗斑岩；4—霏细斑岩；5—霏细岩；6—闪长玢岩；7—钠长斑岩；8—煌斑岩；9—不整合面；10—断层及编号；11—金银矿体及编号；12—石英脉；13—铅锌矿体；14—坑道；15—钻孔

表 9　西矿段北见矿表

孔　号	垂　厚(m)	底板标高(m)	分　析　结　果×10⁻⁹	
			An	Ag
ZK1001	1.5	181.9	8.38	129.9
ZK1002	17.85	268.7	8.34	112.0
ZK072	1.00	144.4	10.0	72.0
ZK81	1.08	110	2.38	78.0

的 L28、L38、L24 三条线的 10 个钻孔，利用了 L32、L42 的 10 个钻孔的保留岩心，进行补充编录、劈样分析，圈定了铅锌工业矿体，控制矿体走向长为 400—500m，斜长为 100—350m (图 9)，初步验证结果，区内燕山期火山侵入成矿作用形成的铅锌矿体具一定规模。



1　2　3　4　5　6　7　8　9

图 10　杨梅岗铅锌硫矿段L119、L103 勘探线验证剖面

(注:L103 位于 L119 北 400 m)

1—上侏罗统大爽组火山岩；2—前震旦变质岩；3—不整合面；4—断裂及编号；5—闪长玢岩；6—霏细斑岩；7—矿体及编号；8—矿化带；9—氧化带

杨梅岗矿段预测的铅锌F级资源占全区资源量的31×10^{-2}，是主要矿段，列入"八五"矿产勘查规划重点验证区。该矿段有三条主矿化蚀变带，呈斜列式分布。对I、II号矿带初步探矿结果，矿体赋存于火山碎屑岩与变质岩中，部分位于次火山岩——霏细斑岩接触带。I、II号矿带中分别圈出二个主矿体(图10)。

两个矿体共获D级储量(金属量)

对银坑山金银矿区预测的隐伏金银矿、铅锌硫矿床与多金属矿等找矿靶区初步验证，结果表明：矿区找金银矿有一定的远景规模，外围找金也可能有新的突破。铅锌硫矿床可望发展成大型矿床。矿区"八五"找矿计划的实施，必将取得丰硕的成果，为矿山的生产与发展，提供矿产资源与地质资料。

参 考 文 献

[1] 胡雄健等，1991，《浙西南前寒武地质》，地质出版社。

[2] M·A·金赫特曼等著，1982，热液矿床详细构造预测图，地质出版社。

[3] 池三川，1988，隐伏矿床(体)的寻找，中国地质大学出版社。

[4] 范永香等，1989，成矿规律和成矿预测学，中国地质大学出版社。

[5] 徐章明，治岭头金银矿区F1断层的研究及找矿方向探讨，黄金，1990第五期。

[6] 周俊德，《银坑山金银矿床的原生地球化学异常特征》，地质与勘探，1983第一期。

[7] 赵鹏大等，1983，矿床统计预测，地质出版社。

福建省上杭县紫金山地区区域成矿模式及1:1万综合信息矿产预测

郑 颖 煜

（福建省地矿局第八地质大队）

本文介绍的预测工作是在开展 40km² 1:1 万地质填图和相应的岩石原子晕测量的基础上进行的。文中总结了紫金山地区不同矿床类型在成矿过程中的时、空内在联系，分析了成矿条件和成矿规律，建立了区域（矿田）成矿模式、找矿模型，圈定了找矿靶区，估算了资源量，提出了验证工作的建议。

一、大地构造位置

预测区位于华南加里东褶皱系东部，东南沿海火山活动带西部亚带，上杭北西向白垩纪陆相火山—沉积盆地东北缘，上杭—云霄北西向深断裂带西段与北东向宣和复背斜的交汇部位。深部构造单元属闽中地幔凹陷带的西南部。

二、紫金山地区地质特征

（一）地层

区内地层较简单，主要有下震旦统楼子坎群(Z_1lz)细碎屑岩，上泥盆统天瓦峒组(D_3t)粗-细碎屑岩，下白垩统石帽山群(K_1sh)粗安质—流纹质火山碎屑岩、熔岩及过渡岩类等。预测区外南东侧见石炭系碎屑岩、碳酸盐岩等。

（二）侵入岩

侵入岩是区内主体岩类，亦为工作和研究重点。

1. 花岗岩

区内所见花岗岩均为燕山期岩浆活动产物，分燕山早期紫金山复式岩体和晚期四坊复式岩体，其构成如下：

燕山晚期（深源同熔）
- 罗卜岭岩体（$\gamma\delta\pi_5^{3(1)_{03}}$）：花岗闪长斑岩（含矿斑岩）
- 四坊岩体（$\gamma\delta_5^{3(1)_{04_1}}$）：中粒花岗闪长岩
  - 全岩：Rb—Sr 102.2±9.2Ma
- 仙师岩岩体（$\eta\gamma_5^{3(1)_{04}}$）：似斑状细粒黑云母二长花岗岩
  - （锆石 U-Pb 118±4Ma）

燕山早期（壳源重熔）
- 金龙桥岩体（$\gamma_5^{2(3)d}$）：细粒白云母花岗岩
- 五龙子岩体（$\eta\gamma_5^{2(3)c}$）：中—中细粒二长花岗岩（锆石：U-Pb 157±$^{5}_{6}$Ma）
- 迳美岩体（$\gamma_5^{2(3)e_1}$）：似斑状中—粗粒花岗岩（锆石：Rb-Sr 145±12Ma）
- 才溪岩体（$\eta\gamma_5^{2(3)a}$）：似斑状粗粒二长花岗岩（锆石：U-Pb 133Ma）

据目前研究认为，燕山晚期岩体，特别是四坊复式岩体及其相关的岩浆热液活动与本区铜（钼）矿化关系十分密切。燕山早、晚期岩浆岩特征对比见表1。

表1 燕山早期和晚期岩体主要特征对比表

项目＼期	燕山早期（紫金山复式岩体）	燕山晚期（四坊复式岩体）
岩石和矿物	酸性岩，富含石英，斜长石以钠-更长石为主，不含（或极少含角闪石）角闪石	酸-中酸性岩，斜长石以中长石为主，含角闪石
岩石化学	高硅，低钙、镁，SiO_2>70%，CaO<0.4%，Al_2O_3<13%，MgO<0.7%，碱度率≥2.1分异指数≥74，钾长石K/Rb比值=237.2	低硅，高铝，钙、镁，SiO_2<70%，Al_2O_3>13%，CaO>2.5%，MgO>1.2%，碱度率≥1.3%，分异指数≤75，钾长石K/Rb比值=564.2
稀土元素	δEu0.28—0.52，Eu亏损较显著	δEu0.72，Eu亏损不明显，轻稀土富集程度增加
副矿物	种类多而含量少，组合简单，磁铁矿含量仅16×10^{-6}左右，金属硫化物常见，锆石晶形较简单，以四方和复四方两类晶形为主，长宽比一般为1—3:1，$HfO_2$1.42%，$ZrO_2/HfO_2$41.55	含量相对较高，组合较复杂，富含磁铁矿，达10^{-3}级，锆石晶形较复杂，以复四方双锥晶形为主，长宽比值较大，2—3:1。少数可达4—7:1，$HfO_2$1.02%，$ZrO_2/HfO_2$66.67
微量元素	Pb、Sn、Bi、Ag、Nb、Cu、Au、Mo丰度相对较高	Cu、Mo、Ba、V丰度明显高于早期岩体，Pb、Zn相对较低
蚀变	热液蚀变强烈而彻底，长石几乎被蚀变殆尽，蚀变种类多，组合复杂，并见有高温蚀变组合	岩石总体较新鲜，蚀变强度较早期岩体逊色得多，蚀变种类较少，组合较简单未见高温蚀变组合
矿化	控制了紫金山地区金铜矿田的分布，岩浆期后的热液作用在岩体边缘和顶部形成高背景场，并见早期矿化	与矿化关系密切。特别是浅成-超浅成侵入体（次火山岩体）与金、铜、钼矿化有直接的成因联系，这一期的火山-次火山热液作用是主要的成矿作用
与火山-次火山岩的关系	未见与其有成因联系的火山岩	与之有成因联系的火山-次火山岩很发育，岩体与其有较为相近的岩石化学副矿物、稀土元素、微量元素的特征
年代学依据	绝对年龄157±$^{5}_{6}$Ma—133Ma	绝对年龄118±4Ma—102.2±9.2Ma
岩体成因类型	为壳源物质重熔形成	为深源物质同熔的产物

2. 脉岩

区内脉岩较发育，与铜矿化关系目前尚不明显。主要有辉绿玢岩、闪长玢岩、安山玢岩、花岗斑岩、石英斑岩、长石斑岩等。

（三）火山机构及次火山岩

1. 火山机构

区内火山机构主要有紫金山、大发岗、赤水三个火山机构，前二者为中心式火山机构，后者为裂隙式火山机构，其中以紫金山火山机构规模最大，活动最强烈。其它尚有黄金亭和观音座莲两个小火山机构。区内火山机构剥蚀程度较深，多只残留次火山岩相和隐爆相，目前认为隐爆相与铜矿化密切。

2. 次火山岩

(1) 隐爆碎屑岩

包括隐爆角砾岩及隐爆凝灰岩，而以前者为主，以紫金山火山机构最发育，与铜矿化关系密切。按产状可分筒状和脉状两种类型，从时间上至少可分早、晚两期。

(2) 英安玢岩

空间上与隐爆碎屑岩类形影相随，形成于隐爆作用之后，至少可分为三期，是区内矿化物质直接携带者之一，矿化多位于英安玢岩的外接触带。

(四) 构造

区内主要发育断裂构造，按走向可分为北东、北西及近东西、近南北向四组，以前两组最为发育，且具多期活动特点，互相垂直构成“棋盘格状”构造(见图 1)。其中北东向 F_{1-1}、F_{1-4}、F_{1-5}、F_{1-9} 为控制矿化带分布的重要边界断裂。北西向为铜、金、银重要的赋矿断裂。而 F_{2-10} 为本区矿化分区断裂，以北主要为铜、钼矿化，以南为铜、金矿化。

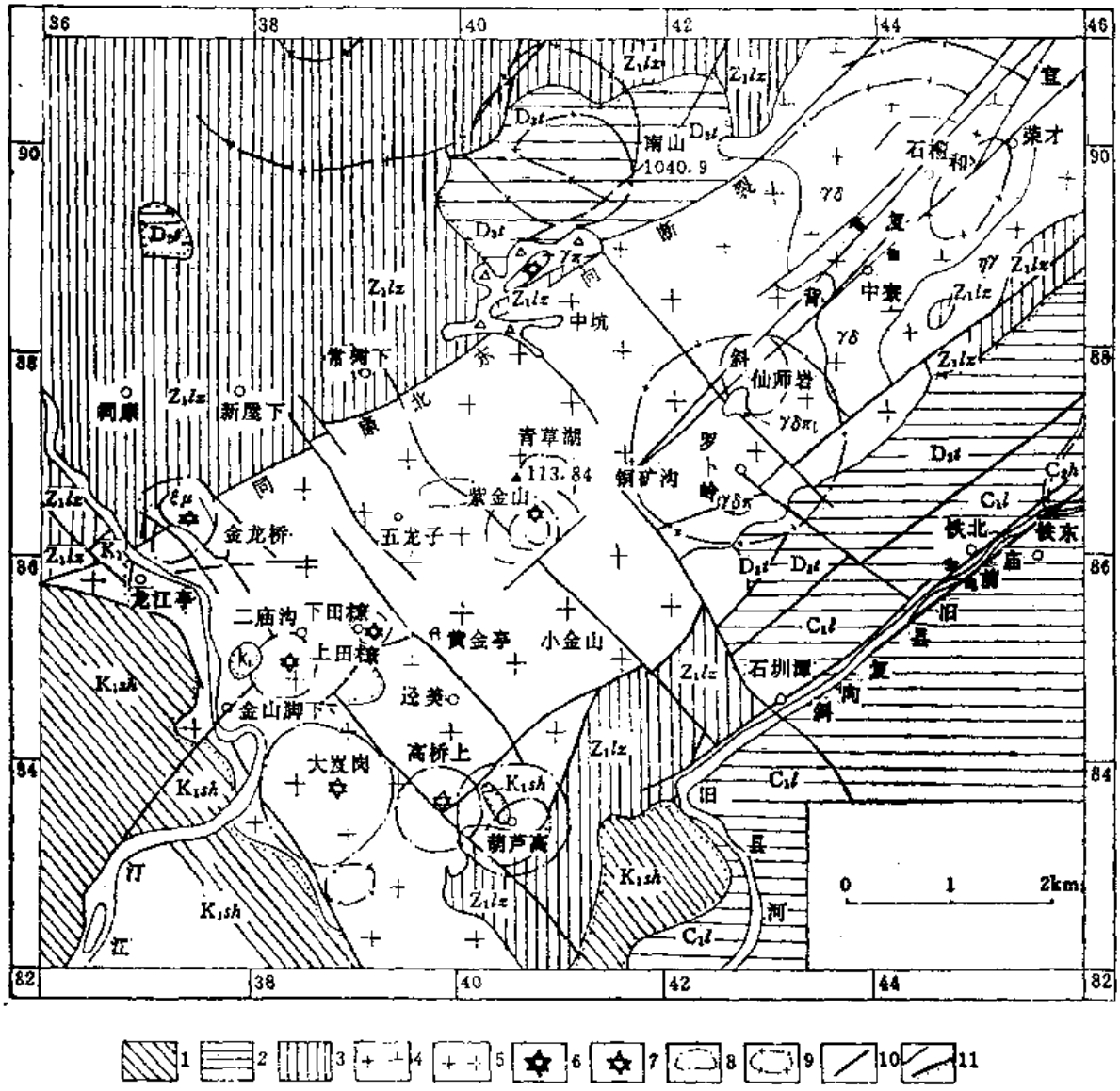


图 1 紫金山地区构造略图

1—燕山期构造层；2—华力西期构造层；3—加里东期构造层；4—燕山晚期花岗闪长岩；5—燕山早期花岗岩；6—古火山口；7—推测古火山口；8—火山活动成因环状构造；9—岩浆侵入；活动成因环形构造；10—线性断裂；11—整合；不整合地质界线

（五）蚀变特征

区内各岩体普遍遭受蚀变，种类繁多，高、中、低温均有，主要蚀变类型有硅化、地开石化、黄铁矿化、绢云母化、绢英岩化、叶蜡石化、水云母化、明矾石化、绿泥石化、绿帘石化、重晶石化、石膏化、碳酸盐化、萤石化、沸石化、个别氯黄晶化。在四坊复式岩体见钾长石化、黑云母化。上述蚀变中以前三种分布最广，其中钾化、黑云母化、云英岩化、氯黄晶为气化——高温热液蚀变，其余为中、低温热液蚀变。蚀变期次划分及组合特征见表 2。

表 2　紫金山矿田蚀变矿化期次划分简表

成矿期		燕山晚期								现代
成矿时代		K_1							K_1-K_2	
矿化类型		斑岩热液型铜钼			中低温火山—次火山热液型铜金银				火山热液型铀	氧化带金
					次火山热液型铜			火山热液型金银		
蚀变矿化阶段		早期 (Q+K)	中期 (Q+Ser +Che)	晚期 (Q+D +Prp)	初期 (α+Ser)	早期 (Q+D)	晚期 (Q+Alu)	(Q+Prp)	(Q-Hm)	表生期
矿物		500—350℃	330—250℃	200—80℃	400—300℃	300—220℃	220—180℃	180—100℃		
黄铁矿	Py				Py I		Py I	Py II		
辉钼矿	Mol	Mol-1	Mol-2	Mol-3						
斑铜矿	Bor									
黄铜矿	Ch	Ch1		Ch2						
磁铁锡铜矿										
磁铁铁铜矿	Maw									
锡砷黝铜矿含铋	Col									
针硫铋铅矿	Ak									
黄锡矿	St									
辉碲铋矿点	Te									
硫砷铜矿	En						En I	En II		
蓝辉铜矿	Di						Di I	Di II		
铜　蓝	Cv						Cv I	Cv II		
孔雀石	Mal									
褐铁矿	Lim									
方铅矿	Gal	Gal 1	Gal	Gal-2						
闪锌矿	Sph	Sph1	Sph2							
自然金银	Ng Ag							Ng—Ag		
钙铀云母	Aut									

注：═══主要期；——次要期；1—紫金山矿床；2—仙师岩矿点；3—龙江亭矿床；4—二庙沟矿点；5—大发岗矿点；6—五子骑龙矿床；7—悦洋矿点；8—上杭盆地

各蚀变组合往往互相叠加、改造，中间常有一过渡带。在空间分布上可分面状、线状和环状三种形式。

（六）地球物理及地球化学特征

1. 地球物理特征

本区航磁异常较明显反映了燕山晚期中酸性岩浆侵入-火山、次火山活动的踪迹。故从航磁异常的强度变化、形态特征上，可提供深部构造、火山机构位置及隐伏-半隐伏中酸性岩体的存在信息。本区铜、金矿床(点)多处于磁异常值 0—+100nT 区间。

区内有一呈似等轴状重力异常，已知铜金钼矿床(点)均多分布于重力 $(0-2)\times10^{-5}m/s^2$ 窗口滑动 20km×km 之间的等值线拐弯部位。

区内矿化与非矿化岩石有明显的电性极化差异，其矿化程度越高，极化强度越大，而电阻率则随矿化强度增强而明显下降。故电法视频散率、视电阻率是本区寻找金属硫化物的有效方法。磁测对了解不同岩性，尤其寻找隐伏的花岗闪长斑岩类有一定效果。静电 α 卡可了解区内断裂构造效果尚佳。

2. 地球化学特征

区内地表岩石测量和微金分析结果统计表明：

(1) 区内 Cu 的背景值基本接近于地壳克拉克值，Pb、Zn 的背景值为克拉克值的 3—4 倍，而 Au、V、Ga、Ba 的背景值则仅为克拉克值的 1/2—1/3 左右。

(2) 区内主要微量元素在不同岩性、岩体中的含量变化总趋势为：燕山晚期侵入岩中 Ba、V、Ca、Mo 的含量明显偏高，特别是四坊岩体中，Cu 的平均含量达 133.5×10^{-6}，其黑云母中 Cu 可达 350×10^{-6}；燕山晚期的英安玢岩及隐爆角砾岩中，Pb、Au 含量明显偏高，表明区内 Au、Cu 的矿化作用主要与燕山晚期的岩浆活动和火山、次火山活动有关。

三、矿化特征

区内铜(金)各矿床(点)的矿化特征，可划分为三种矿化类型(见表 3)：

表 3 紫金山地区主要矿床(点)矿化特征一览表

矿床(点)	概述	矿石类型	矿物组合	矿石结构	矿石构造	矿床蚀变
紫金山大型铜(金)矿床	矿床位于北西向F_{2-10}与北东向F_{1-4}断裂交汇部位。矿区主体为一火山机构，其中心由一直径约 200m 的岩枝状英安玢岩及隐爆角砾岩构成，并沿北西、南东方向分布有北西走向的隐爆角砾岩脉群，其宽度达 600m并具多次脉动特点。Cu、Au、Ag、Pb原生异常明显 矿体主要赋存于英安玢岩外接触带之隐爆角砾岩脉带及其矿体附近的五龙子岩体花岗岩中。650m 标高以上的氧化带为金矿体，650m 标高以下的原生带为铜矿体 矿化受火山机构、断裂构造(特别是北西向断裂)及次火山岩联合控制，属中、低温火山-次火山热液成因类型	1. 微-细脉明矾石-蓝辉铜矿、金属硫化物型铜矿石 2. 石英-褐铁矿氧化型金矿石	1. 以黄铁矿、蓝辉铜矿为主，铜蓝、硫砷铜矿次之(部分以铜蓝、黄铁矿为主，蓝辉铜矿次之)，见少量斑铜矿、黄铁矿、辉铂矿、(砷)黝铜矿、硫锑铜矿、似黄锡矿、硫锡铁铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿等。金属矿物占矿石 5%—10%。脉石矿物主要为石英、明矾石、地开石及绢云母等 2. 以自然金、褐铁矿、赤铁矿为主。脉石矿物以石英为主	它-自形粒状结构，包含结构、交代残余结构、固熔体分离结构	(变)胶状构造、块状构造、微-细脉状构造、浸染状构造，细脉浸染状构造角砾状构造	硅化、绢云母化、地开石化、明矾石化、黄铁矿化、重晶石化、氟黄晶化
龙江亭小型铜(银)矿床	矿床处于北西向断裂带与北东向F_{1-1}断裂交汇部位。矿区主要岩性为金龙桥岩体之细粒花岗岩，英安玢岩，并见隐爆角砾岩及五龙子岩体花岗岩等。与区外相邻的悦洋铜(金、银)矿床属同一矿床。在悦洋处还见有火山岩盖层 矿体主要赋存于英安玢岩外接触带、金龙桥岩体内接触带及火山岩与花岗岩的接触带(见悦洋) 矿化受次火山岩、花岗岩及北西断裂构造联合控制，属火山-次火山热液与斑岩热液叠加型	铜矿石类型为微-细脉石英-黄铁矿型硫化矿石 银为伴生矿	以黄铁、黄铜矿、斑铜矿为主，闪锌矿、方铅矿、蓝辉铜矿、铜蓝、辉铜矿、硫砷铜矿为次，硫铜铋矿、黄锡矿、锡砷黝铜矿少量，偶见针硫铋铅矿、硫锡铁铜矿、辉碲铋矿、碲银矿、锡石等脉石矿物以石英、绢云母、地开石为主 悦洋矿区还见有金、银矿物	充填交代结构、胶状结构、粒状结构	细脉状、网脉状构造，块状构造、稀疏浸染状构造。局部见细脉浸染状、角砾状构造等	硅化、地开石化、绢云母化、重晶石化、黄铁矿化、明矾石化、叶蜡石化、水云母化、萤石化等
罗卜岭仙师岩铜钼矿化	矿区出露仙师岩岩体、四坊岩体及才溪岩体，发育北东、北西向断裂。卫片解释该区具岩浆成因的环形影象构造。地表高Cu、Mo异常 四坊岩体之花岗闪长斑岩是成矿母岩，矿化产于斑岩体外接触的二长花岗岩(似斑状)中。上铜下钼 矿化受花岗闪长斑岩及造构控制，为斑岩热液成因	1. 脉状-网脉状、浸染状硫化物黄铁矿型矿石。 2. 石英-硫化物辉钼矿型矿石	主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、褐铁矿(地表)，次要为斑铜矿、磁黄铁矿及铜蓝、蓝辉铜矿。偶见方铅矿、锡石、硫锡铁铜矿等	它形-半自形粒状结构	块状，角砾状构造、脉状构造，细脉浸染状构造	硅化、绢云母化、叶蜡石化、绿泥石化、绿帘石化、绢英岩化、云英岩化、明矾石化、地开石化、钾化地表见铁帽

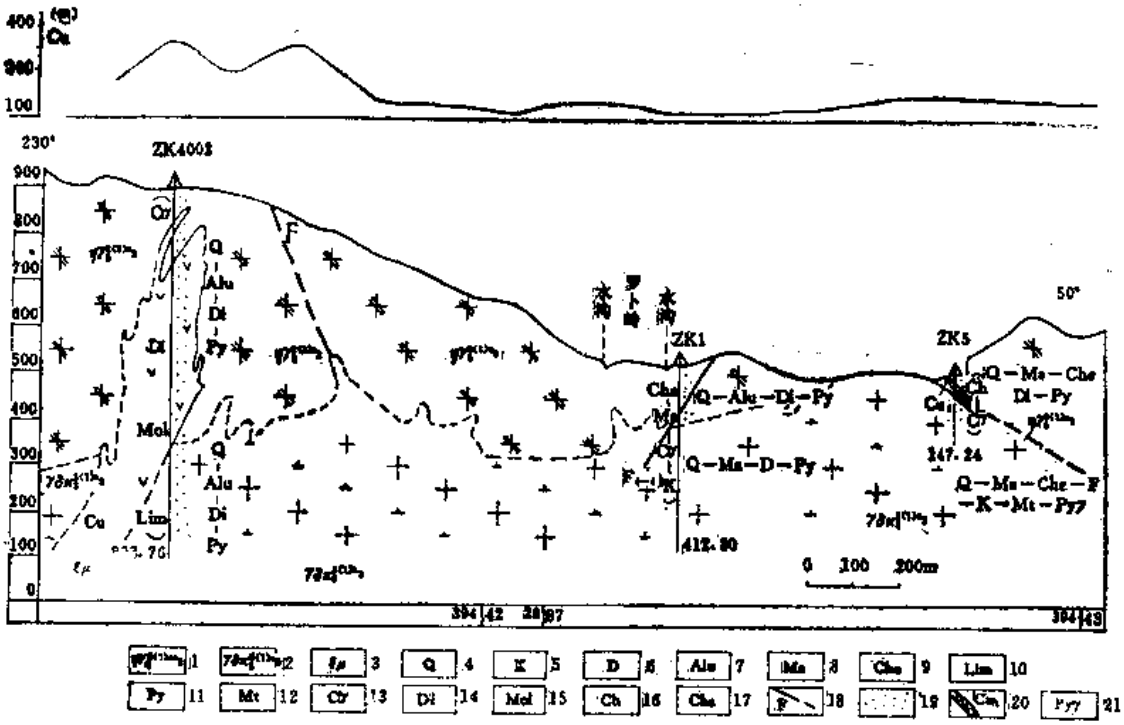


图 2 罗卜岭—仙师岩斑岩型铜钼矿模型图

1—中细粒二长花岗岩(五龙子岩体); 2—花岗闪长斑岩(罗卜岭岩体); 3—英安玢岩; 4—硅化; 5—钾化; 6—地开石化; 7—明矾石化; 8—绢云母化; 9—绿泥石化; 10—褐铁矿化; 11—黄铁矿化; 12—磁铁矿化; 13—铜蓝矿化; 14—蓝辉铜矿化; 15—辉钼矿化; 16—黄铜矿化; 17—辉铜矿; 18—推测断层; 19—浸染状铜钼矿化; 20—铜矿体; 21—磁黄铁矿化

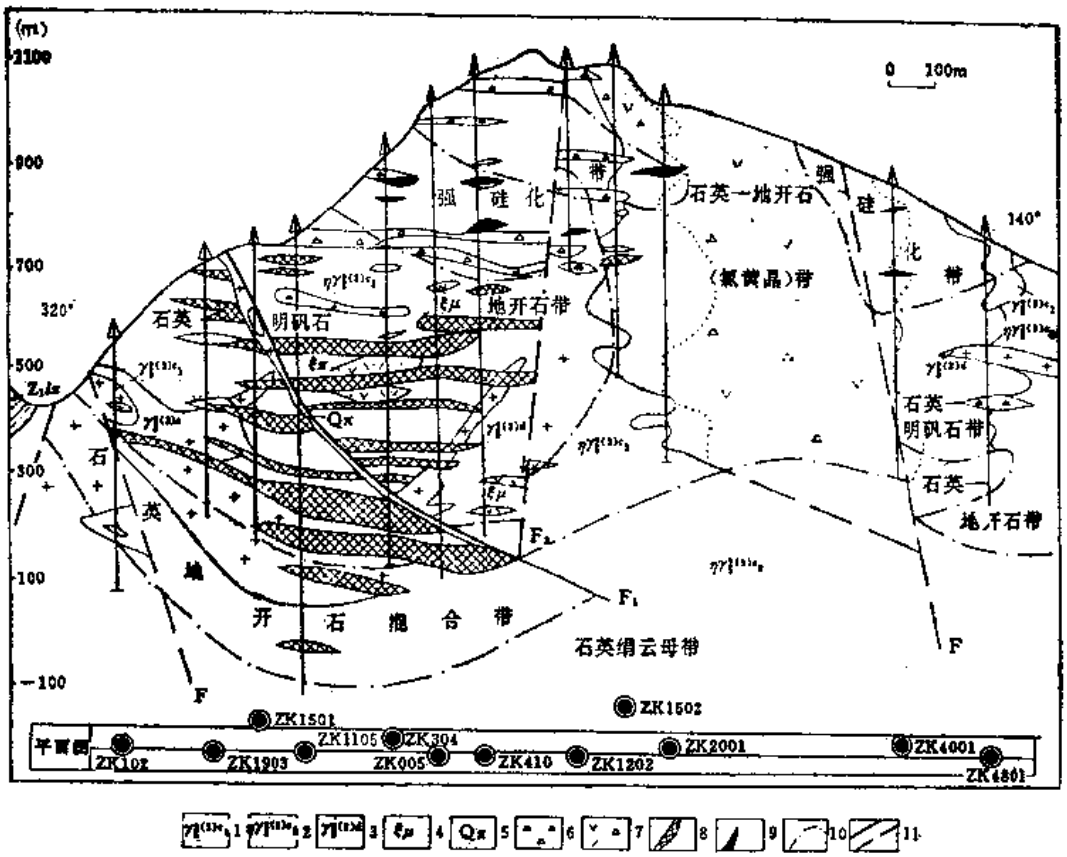


图 3 紫金山铜金矿 27—48 线纵剖面地质略图

1—粗粒碎裂花岗岩; 2—中细粒二长花岗岩; 3—细粒花岗岩; 4—英安玢岩; 5—石英斑岩; 6—隐爆角砾岩; 7—英安质隐爆角砾凝灰岩; 8—铜矿体; 9—金矿体; 10—蚀变带界线; 11—实、推测断层

据参考文献[12]

1. 斑岩热液(Cu、Mo)矿化

以罗卜岩—仙师岩矿点为代表(见图 2)，Cu、Mo 矿化主要赋于花岗闪长斑岩体外接触带。铜矿石为脉状-细网脉状、浸染状黄铜矿型硫化物矿石。钼矿为脉状石英-辉钼矿型硫化物矿石。

其矿化特征，上部主要为黄铜矿-斑铜矿组合，以脉状-细脉状为主。中下部为黄铜矿-辉钼矿组合，以浸染状-细脉浸染状为主。沸腾包裹体发育，具高盐度特征(含盐度 33.5—66w_B% NaCl+KCl)。

2. 火山-次火山中低温热液型铜金银矿化

以紫金山铜(金)矿床为代表("紫金山式"，见图 3)加上悦洋矿点上部金银矿化带。

紫金山铜(金)矿床具较明显垂直分带，金矿主要产于标高大约 650m 以上的氧化带中，铜矿体绝大多数则位潜水面以下不同距离的各类围岩原生带中。矿体主要分布于火山机构中心北西侧的脉状角砾岩内、外接触带中。矿体呈脉状、透镜状成群分布，形态从简单—复杂。金矿体呈脉状、大透镜状。

铜矿石自然类型见表 3。铜成矿可分四期：即岩浆期后热液成矿期(I)；次火山热液成矿期(II)；低温热液成矿期(III)；表生成矿期(IV)。其中(II)是铜矿主要成矿期，(III、IV)对金的成矿有重要影响。矿区水热流体具有低盐度(0—21.6w_B% NaCl，集中分布于 4—8w_B%)、低密度(0.6—1.0g/cm^3)。矿区地质特征见图 4、表 3。

3. 叠加型铜银金-铅锌矿化

即下部或早期为斑岩型铜或铜钼矿化，中上部或中期叠加有次火山热液型铜矿化，有的地方上部还有晚期低温火山-次火山热液金银铅锌矿化，并非单一成因类型，以悦洋铜金矿床发育最完好。

4. 火山岩型铀矿化

以碧田铀矿点为代表，矿化赋存于石帽山群下组上段($K_1sh_2^b$)流纹岩内。

5. 铜金硫化物矿床氧化带淋滤残积型金矿及冲积型砂金矿。

四、成矿规律

1. 成矿物质来源具多源性和深源性特征，矿化具多期次、多成因及互相叠加规律。成矿作用与燕山晚期幔源同熔中酸性(钙碱性-碱性)岩浆上侵及相应的火山、次火山活动有关。在垂向上，铜矿化类型自下而上为斑岩型铜(钼)矿→火山、次火山中低温热液型铜(金银)矿→火山岩型铀矿的分带关系(见表 4)。

2. 成矿元素具有"东西分带、南(西)北(东)分块"、"上 Au、Ag，下 Cu、Mo" 的分布特征。剥蚀深度为"北深南浅、中部深两侧浅"。

3. 控矿因素较复杂，各类型矿床控矿因素有所差异，主要由岩体(基础)、构造(前提)、火山机构(条件)、蚀变(属性)等四种条件所控制，彼此是有机联系与互相制约的。

4. 构造控矿总的规律是北东、近东西向构造为导岩、导矿构造，控制着岩体和主要成矿带的展布。北西和近南北向及火山机构为容矿、储矿构造。主要矿床(点)多处于 2—3 组构造交汇部位。

5. 蚀变与矿化关系密切，金矿化主要与硅化(Q_{III})、呈粉末状黄铁矿化(Py_{III}) 有关；蓝

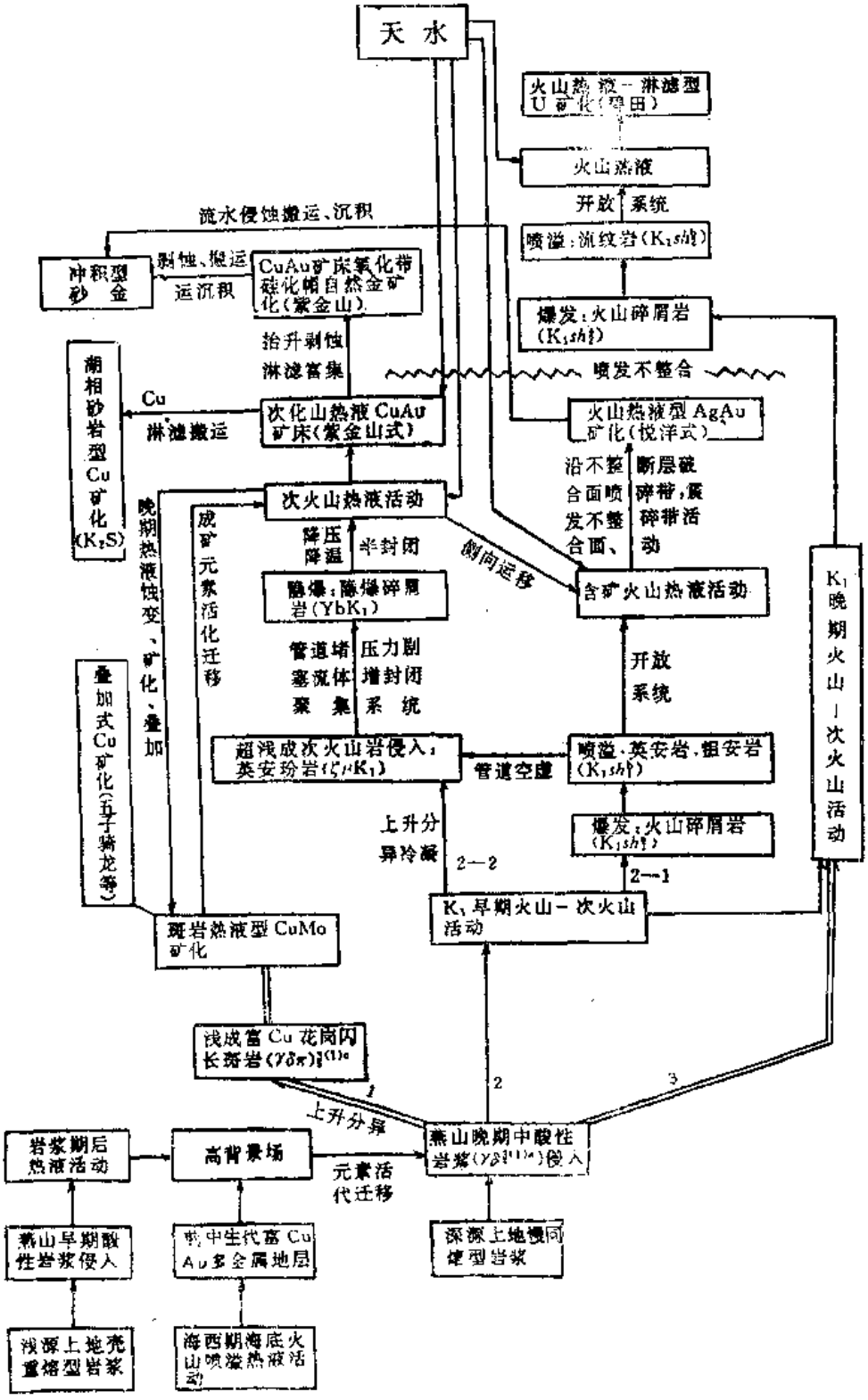


图 4　紫金山地区成矿系列演化图

辉铜矿、铜蓝、硫砷铜矿化主要与明矾石化关系密切；斑铜矿、黄铜矿化主要与石英绢云母化有关；辉钼矿与绢云母化、绢英岩化有关；铅锌矿化多与碳酸盐化和绿色蚀变有关。

表 4　紫金山矿田钼-铜-金-铅-锌-银成矿系列特征简表

成矿带	矿田名称	构造旋回	岩浆系列	主要地质作用	矿床(点)成因类型	成矿期次划分及成矿作用			成矿温度·℃	矿化类型及重要金属矿物组合	矿石结构构造及矿体形态	赋矿围岩	主要蚀变组合	主要控矿因素	矿床(点)	成矿时代
						期	阶段	名称及成矿作用								
上杭—云霄北西向深断裂铜金多金属成矿带	紫金山矿田	燕山晚期旋回（K_2—K_1）	深成混合源同熔型钙碱性—碱性岩浆系列	淋滤；沉积	铁帽；沙金	IV	表生成矿期			褐铁矿；自然金	胶状，蜂窝状，片状	铁帽；河床沙砾			金山脚下	
				流纹岩喷溢（$K_1zh_2^b$）火山热液	火山岩型铀矿化	III	火山热液-淋滤铀成矿期			铀矿化；钙铀云母		流纹岩（$K_1zh_2^b$）	黑化、钾化、赤铁矿化	酸性熔岩、裂隙、硅化破碎带	碧田铀矿点	
				粗安岩等（$K_1zh_2^b$）喷发火山-次火山热液，大气降水混合活动	火山-次火山热液铜、金、银矿化（悦洋式）（紫金山式）	II	II_4	火山-次火山热液铜金成矿期	低温火山热液金、银成矿阶段	自然金、银金矿，银矿化	粒状，超显微粒状，胶状，蜂窝状构造；细脉状，脉带状矿体	硅化粗安岩（$K_1zh_2^b$）粗安质英隐爆角砾岩（YjK_1）震碎细粒花岗岩	低温硅化（灰、灰黑色玉髓微晶石英）-粉尖状黄铁矿化-水云母化、重晶石化	“三岩”（如左），“三带”（不整合喷发不整合面，次火山岩体接触部位隐爆角砾岩带，硅化破碎带）“三蚀变”（如左）“三叠加”（三带叠加）	悦洋、龙江亭、二庙沟矿点上部	Rb-Sr法 99.6±9.1 Ma（K_1末—K_2）
				隐爆及次火山热液活动，地下水混入			II_3		金成矿阶段 中低温晚阶段主成矿阶段	铜蓝、蓝辉铜矿、硫砷铜矿	细网脉，裂隙充填型大脉；侧列式脉群矿体	热液角砾岩，隐爆角砾岩，中细粒花岗岩震碎	石英-明矾石化	火山机构，NW向断裂破碎带、隐爆角砾岩，震碎中、细粒花岗岩，石英-明矾石化带。	紫金山矿床；龙江亭、悦洋、二庙沟、大茏岗矿点部分地段	K-Ar法 94.1—111.78Ma（K_1—K_2）
				英安玢岩，粗面斑岩侵入K_1zh_1火山喷发			II_2		次火山热液阶段铜 早阶段成矿阶段	方铅矿，硫砷铜矿、蓝辉铜矿	星散状		石英-地开石化			
							II_1		隐爆前期高温-气化热液成矿期	辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿	浸染状为主		石英-绢云母化			
				燕晚深成岩浆后，花岗长斑岩体侵入	斑岩型铜钼矿化	I	II_3		中深成斑岩热液钼铜成矿期	辉铜矿、方铅矿、闪锌矿	细脉浸染状	花岗闪长斑岩（$\gamma\delta_5^{3(1)a3}$）似斑状细粒黑云母花岗二长花岗岩（$\eta\gamma_5^{3(1)a1}$）	石英-地开石-叶蜡石化	矿化花岗闪长斑岩 $\gamma\delta_5^{3(1)a3}$ 石英绢云母化带，裂隙密集群	仙师岩—罗卜岭矿点	
				大规模中酸性之闪长斑岩体侵入			II_2		铜、钼矿化主要阶段。辉钼矿、黄铜矿		浸染状为主		石英-绿泥石化 石英-绢云母化			
							II_1		星散辉钼矿				钾化黑云母化硅化			

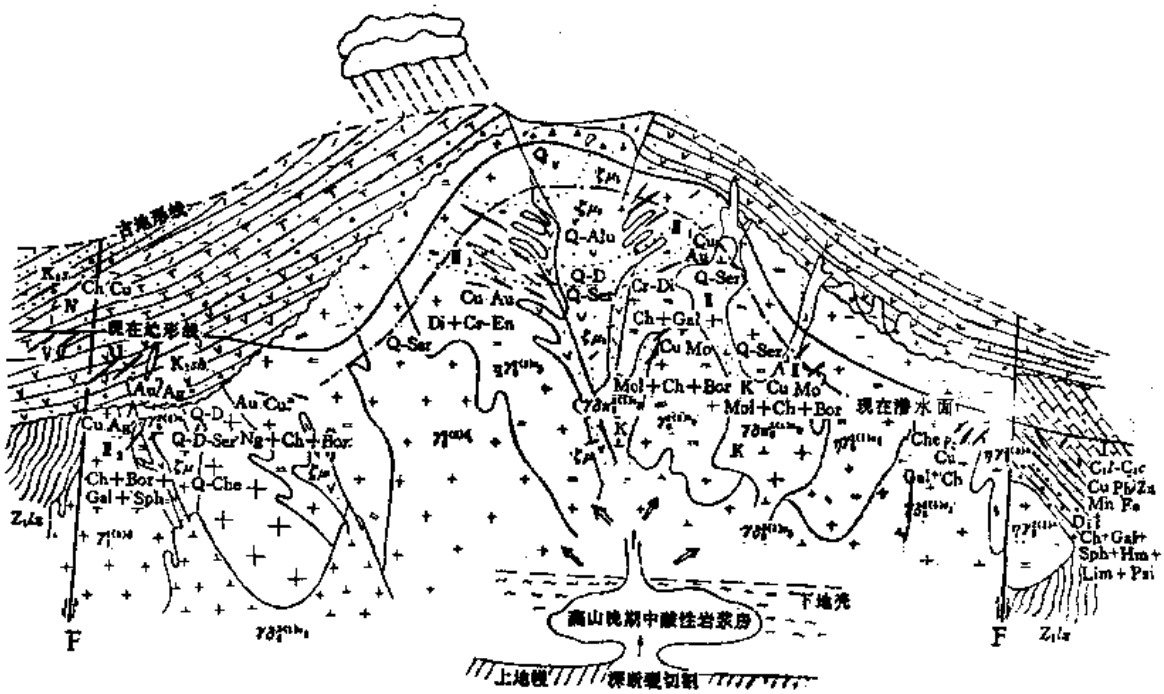
6. 矿床(点)多位于卫片环形影象构造 0—1km² 左右的范围内。

7. 沸腾包裹体普遍发育，特别是在铜的主要成矿带，反映了成矿期曾发生过多次突然减压作用，成矿是在较低压的半开放环境下形成的。

五、成矿系列、成矿模式和找矿标志

(一) 成矿系列、成矿模式

据目前研究认为，紫金山地区铜金多金属矿均属与幔源同熔型钙碱性-碱性岩浆有关的热液成矿系列(见表 4)。即斑岩型铜(钼)矿-火山、次火山中低温热液型铜(金银)多金属矿系列。其成矿系列演化和成矿模式见图 5、图 6。



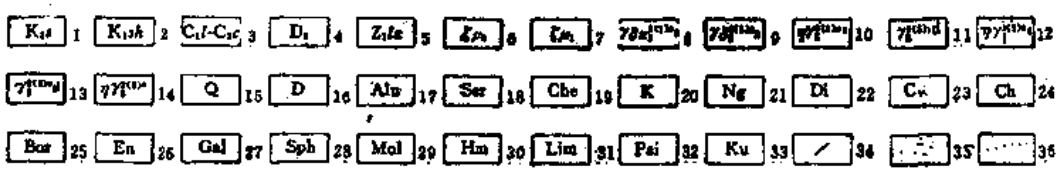


图 5 紫金山地区铜、金、钼矿床成矿模式图

1—上白垩统沙县组；2—下白垩统石帽山组；3—下石炭统林地组—上石炭统船山组；4—上泥盆统；5—下震旦统楼子坝群；6—晚期英安玢岩；7—早期英安玢岩；8—花岗闪长斑岩；9—花岗闪长岩(四坊岩体)；10—似斑状细粒黑云母二长花岗岩(仙师岩岩体)；11—含斑细粒花岗岩(金龙桥岩体)；12—碎裂中细粒二长花岗岩(五龙子岩体)；13—碎裂粗粒、巨粒花岗岩(径美岩体)；14—似斑状中粒二长花岗岩(才溪岩体)；15—硅化；16—地开石化；17—明矾石化；18—绢云母化；19—绿泥石化；20—钾化；21—自然金；22—蓝辉铜矿；23—铜蓝；24—黄铜矿；25—斑铜矿；26—硫砷铜矿；27—方铅矿；28—闪锌矿；29—辉钼矿；30—赤铁矿；31—褐铁矿；32—硬锰矿；33—金银矿；34—矿体；35—浸染状矿体；36—蚀变带界线；I—海底火山热液沉积铜铅锌锰铁多金属矿；II—斑岩型铜钼矿；III_1—次火山热液型铜金矿；III_2—火山-次火山热液型铜铅锌金银矿；IV—沉积砂岩型铜矿；V—火山岩型铀矿

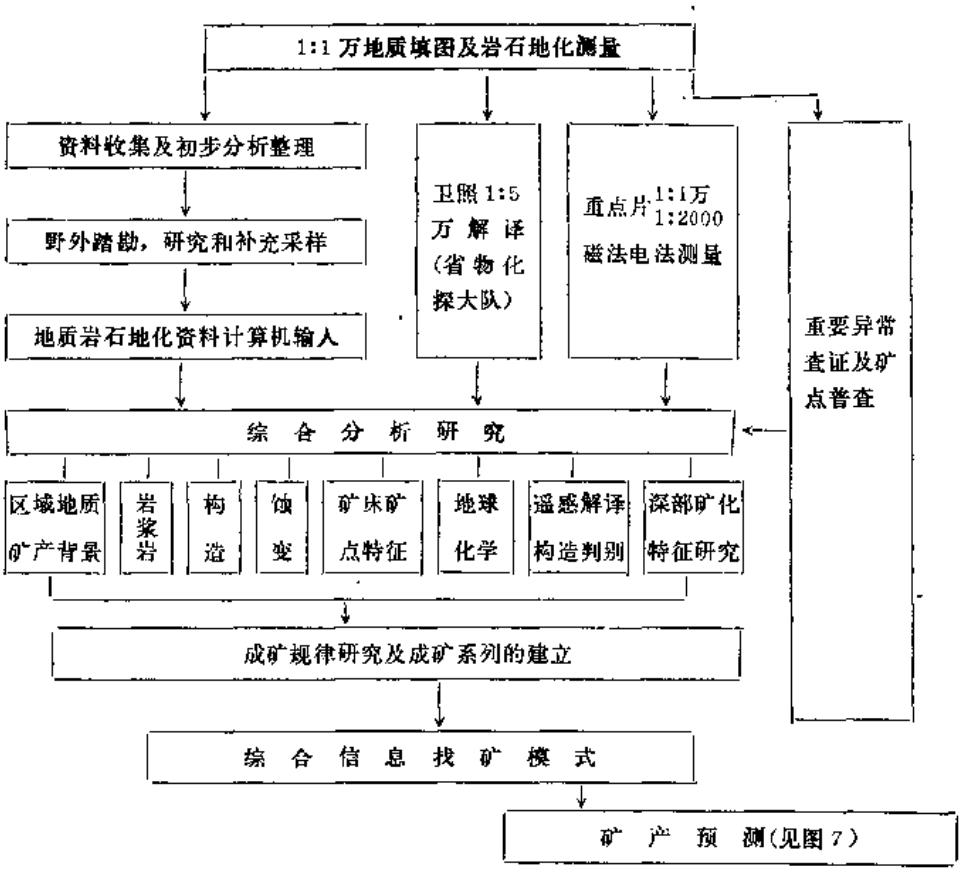


图 6　紫金山地区 1:1 万成矿预测程序简图

（二）找矿标志

1. 北东与北西向构造交汇部位及构造裂隙密集带。

2. 隐爆相发育的火山机构。

3. 花岗闪长斑岩体（面积小于 1 km^2）内、外接触带及相关的石英绢云母化带-泥化带部位。

4. 高硫中低温蚀变强的石英-明矾石化带地段。

5. 英安玢岩外接触带。

6. 环形影象构造外围 0—1km 范围。

7. 电法测量具高频散率（P_s>6%）、低电阻率（ρ_s<200Ω·m）部位。

8. 地化 As、Sn、Bi、Ba、Cu(Au) 异常、组合异常或总量异常区。As、Sn、Ag、Bi、Ba、Ca(Au) 为铜的上方指示元素，Mo、Ni、Zn 为铜的下方指示元素。

9. 成矿期仍活动的北西向断裂破碎带、震碎带、裂隙密集带、不整合或喷发不整合面。

10. 铜矿化露头及古采铜群地段等。

六、成矿预测

本次预测工作以铜矿为主要目标，并对铜资源量进行估算，预测工作程序及流程见图 6、图 7。

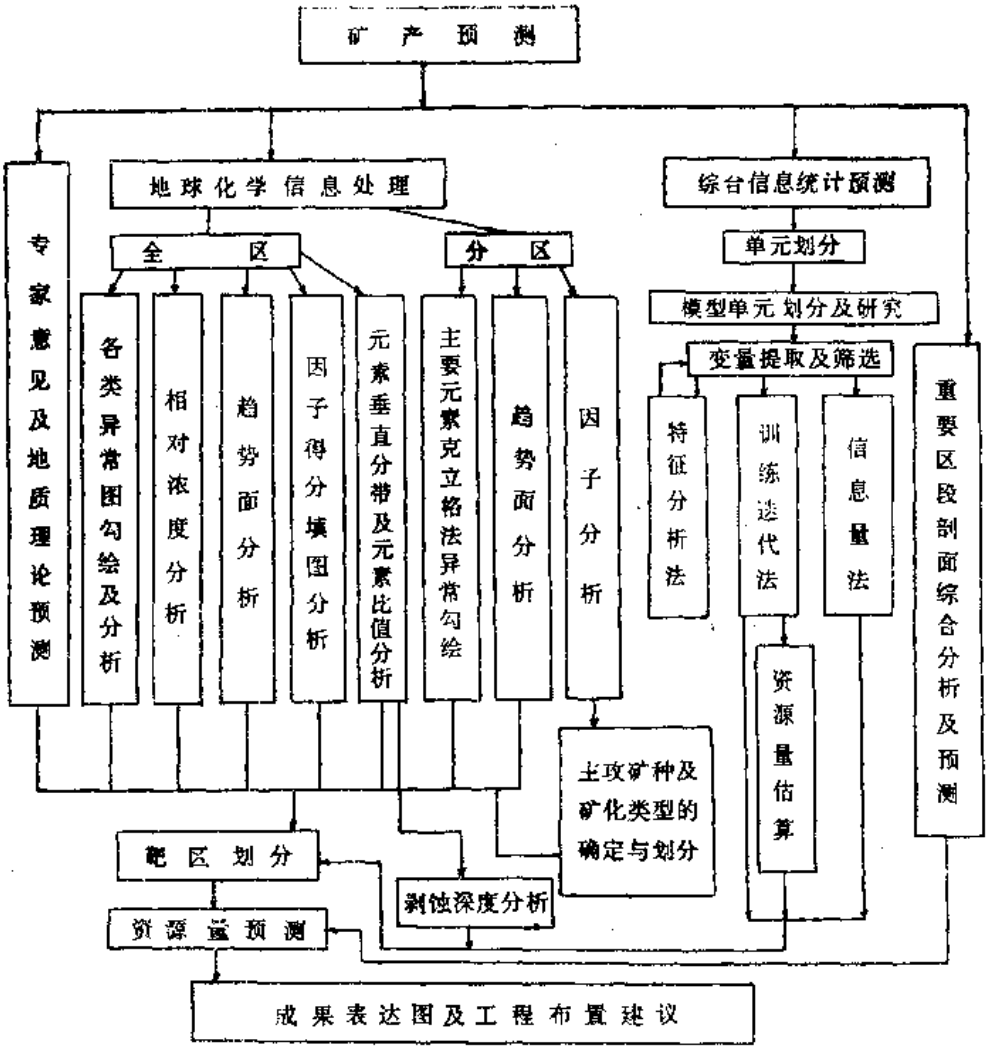


图 7　矿产预测工作流程图

通过各项研究工作及综合信息矿产预测结果，对紫金山地区找矿远景有以下认识：

1. 区内北东向 F_{1-4} 与北西向 F_{2-10} 是两条重要的控矿断裂，已有铜矿化主要分布于 F_{1-4} 北西盘，特别是 F_{1-4} 北西与 F_{2-10} 北东的夹持地段，该地段资源量占最大优势。

2. 区内具有工业远景的矿种除铜、金外，尚有银、铅、钼、锡等。铜除紫金山矿区外，外围仍有较大远景。

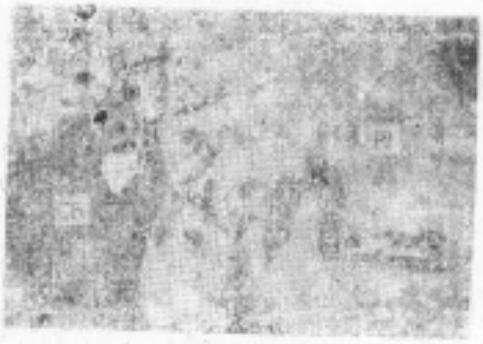
3. 紫金山地区矿石矿物复杂，种类繁多，已知矿物有 90 多种，金属矿物近 60 种。其中含 Cu 矿物约 30 种，元素互相替换频繁，混入现象普遍；含 Ag 矿物约 14 种；含 Bi 矿物 7 种；含 Sn 矿物 9 种。上述情况表明，一个矿田(区)矿物种类越多越复杂，反映其成矿环境越复杂，具有多期次、多阶段成矿的特征，预示着有形成大矿的条件和可能，提供了良好的找矿信息，故紫金山地区找矿前景可观，似在情理之中。

本文系由郑颖煜根据福建省地矿局第八地质大队 1992 年提交的《福建省上杭县紫金山地区区域成矿模式及 1:1 万综合信息矿产预测报告》而编写，原作者有郑颖煜、蒋炳铨、张宗铸、王文桂、王福万、关绵木、林明育、黄文清等。文中图件由该地质队编图组清绘，并引用了地矿部矿床地质研究所、南京地质矿产研究所、闽西地质大队、福建省物化探大队等单位的有关资料，在此一并致谢。

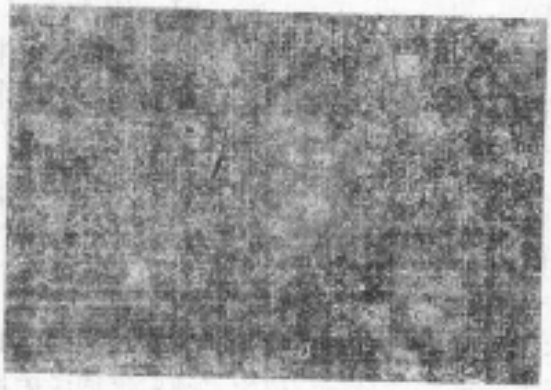


照片 1 ×20
KLB2-2 （盘子四头）

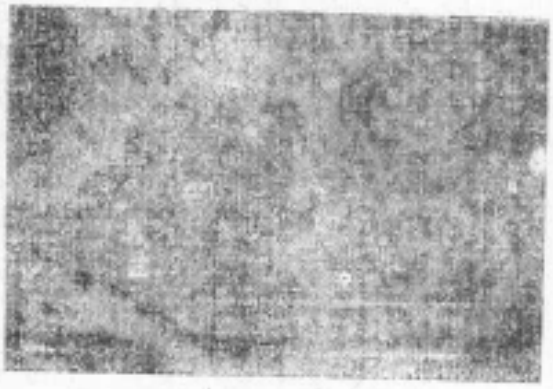
钾化细粒斑状二长花岗岩环带斜长石(Pl)被钾长石(Po)交代，石英(Q)



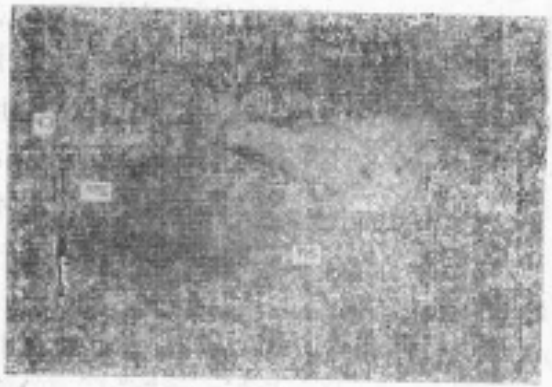
照片 2 正交偏光 ×20
KLBZK1—6(罗卜岭 ZK1 196m)
钾化花岗闪长斑岩
黑云母斑晶(Bi)被绿泥石(Chl)交代，绿泥石呈黑云母假象，斜长石斑晶(Pl)



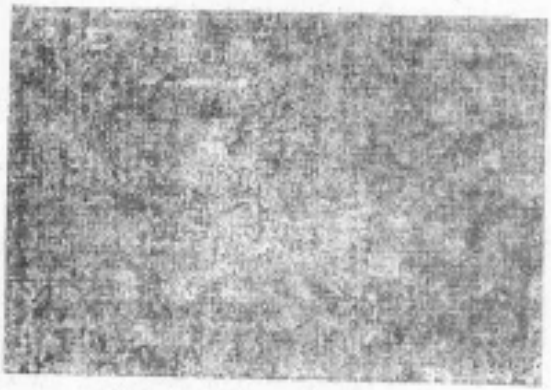
照片 3 625×
KS272—6—1(紫金山矿区 2K2702. 232.60m)
硫铁锡铜矿(Ma)交代锡锑黝铜矿(Col)，矿物生成顺序：锡锑黝铜矿——>硫铁锡铜矿——>斑铜矿——>黄铜矿——>蓝辉铜矿——>铜蓝



照片 4 625× GZK5—3(罗卜岭 ZK5 36.20m)
磁黄铁矿(Pyr)交代黄铁矿(Py)；黄铜矿交代磁黄铁矿(Pyr)



照片 5 KLS—10—Z(二庙沟 汀江边北地表)
黄铜矿交代斑铜矿(Bor)呈长短不一的针状；蓝辉铜矿(Di)交代黄铜矿(Ch)。铜蓝交代蓝辉铜矿(Di)；似黄锡矿(Sta)交代铜蓝(Cv)、蓝辉铜矿(Di)、黄铜矿(Ch)、斑铜矿(Bor)；锌砷黝铜矿(ZCol)交代似黄锡矿(Sta)、蓝辉铜矿(Di)、铜蓝(Cv)、黄铜矿(Ch)、斑铜矿(Bor)等。矿物生成顺序：斑铜矿——>黄铜矿——>蓝辉铜矿——>铜蓝——>似黄锡矿——>锌砷黝铜矿



照片 6 250× G805—2—2下
(五子骑龙 ZK805 254.74m)
斑铜矿(Bor)交代黄铁矿(Py)，铜蓝(Cv)交代斑铜矿(Bor)，黄铜矿(Ch)交代铜蓝(Cv)

吉林省内生金属矿床区域成矿预测效果

金 丕 兴

(吉林省地矿局)

吉林省地矿局在"七五"后期和进入"八五"以来相继完成了四平—梅河地区，通化—浑江地区，吉林地区和延边地区 1:20 万成矿预测工作，以及全省贵金属及有色金属成矿预测报告。在此基础上，编制出吉林省第二轮主要金属矿种(Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Sn) 成矿远景区划。为"八五"地质工作部署和 10 年规划提供了基础资料和依据；也是吉林省地矿局地质找矿工作实现由传统的和经验找矿向科学找矿，由劳动密集型向知识密集型转化的重要途径。以下就成矿预测的主要成果和几点体会谈谈我们的认识，仅供参考。

一、基础地质及成矿地质背景分析

区域成矿地质背景的分析和研究在一定意义上讲属"认识论"范畴，只有经过实践检验的真理，才算得上理论。因此，基础地质及区域成矿地质背景的分析、研究必须与区域成矿规律相结合，经得起地质找矿工作的考验。我们从矿产成矿作用的属性出发，着重分析研究了基础地质与成矿的关系，并利用多种信息的综合解释，相互论证，取得了一些新成果和新认识：

1. 用构造-地层学新概念建立地层建造系统、构造环境分析和成矿预测。现代地层学的发展，特别是从地壳发展沉积盆地的演化，人们逐步认识到复杂的地质作用过程，往往不能用简单的岩石岩性地层法进行地层对比。而用地层-构造-地层建造分析方法，研究构造环境，可能是现代地层学的研究方向。这样能比较客观地解决区域地层对比中的一些"老大难"问题。例如吉林省境内吉南太古宙地层对比，早、中元古宇以及全省中生代火山盆地，吉北早古生代的呼兰群、青龙村群的地层对比长期存在分歧，众说纷纭。其中重要原因，是对构造研究不清。这一次经过对地层建造组合的构造环境分析，在建造划分上以地壳发展阶段地球动力学环境和岩相分析相结合，建立地层建造系统，这样比较清楚地反映了地壳发展演化的历史过程，是综合解释区域成矿规律及成矿，控矿地层，找矿标志的重要依据。

2. 花岗岩成因系列，在一定程度上能反映地壳构造环境及地壳发展的"成熟度"。应用构造-岩浆建造及其演化的历史分析的方法，与沉积建造配套，构成一定地球动力学环境的沉积岩浆岩套，能比较系统地论证地壳演化。从陆壳-洋壳-陆壳转换同步或非同步的各种岩浆建造标志，能总体建立地壳发展成熟度与壳源岩浆成矿系列和区域成矿体系的重要标志。例如辽吉地块的中生代活化区，在地壳抬升的过程中，由于地质构造环境发生有规律的变化，同样也导致形成不同岩浆岩系列和成矿系列。在抬升初期(三叠纪)形成片麻状及等粒状黑云母花岗岩-二云母花岗岩("S"型特征同位素年龄 206Ma)，而在地壳抬升较强的燕山早期则形成闪长岩-花岗闪长岩-似斑状黑云母花岗岩系列("I"型花岗岩，同位素年龄 160Ma)。但在燕山晚

期，由于地壳趋向稳定增厚则形成石英二长岩-角闪纹长花岗岩系("A"型花岗岩同位素年龄130Ma)。从总体上构成岩浆巨旋回的"S"型-"I"-"A"型岩系的演化系列，而每个花岗岩系列往往构成一套成矿系列。

3. 关于"槽、台"分界问题的新认识。过去将吉林省东部山区的大地构造单元划分为南"台"、北"槽"的格局，其间为超深断裂带相隔。近些年板块构造学派，对吉林省东部的古、新板块的演化，亦众说纷纭。有的指出槽、台分界为早古生代洋壳消减带，构成弧、沟，盆过渡体系；还有的认为北部古生代洋壳向吉南古陆壳仰冲等等。根据最近的工作和地、物、化、遥多学科综合解释说明槽、台分界并非一条超深断裂带相隔，而是存在着具有一定规模的多次活动裂解地体拼合带。例如桦甸至两江地区由南往北，依次可以划分出：晚太古老牛沟韧性剪切带，金银别韧性剪切带，富尔河深断裂带以及古洞河深断裂带等。这些断裂带根据综合解释，重、磁场延拓场特征表明延深大，产状陡，为不同地质时期拉张过渡壳的产物，但后期发展为挤压碰撞，表现为韧性剪切或走滑破碎带。

4. 运用"活动论"概念根据多学科综合信息进行"构造单元"分区，在省内尚属首次。过去对构造单元的分区，往往是单一地质的方法，有时也应用物、化探资料但更多的是为论证某一地质观点提供依据而已。没有把地球物理场区，地球化学场区与地质构造单元按照它们之间存在的自然联系，有机的综合在一起，按照不同等级和标准进行分区。地质场（赵鹏大，1992）与地球物理场，地球化学场都是地质客体不同属性的反映。经过综合分析表明共性远多于特殊性，根据"面型"综合信息分析进行构造单元的分区是可行的。从而为深化区域成矿规律和圈定找矿远景区等提供区域准则和标志。

二、区域矿产成矿规律的认识

通过典型矿床剖析，区域成矿地质条件，控矿因素的分析，区域成矿模式的建立，根据地、物、化、遥综合解释成果，在贵金属及有色金属矿产成矿规律方面获得许多新的或深化的认识主要有：

1. 进一步认定和重新确认的与贵金属及有色金属矿产有关的地质体或初始矿源层有：(1) 太古界夹皮沟群三道沟组(Au、Ag、Cu)；(2) 下元古界荒岔沟组 (Pb、Zn、Cu、Au、Ag)；(3) 下元古界大栗子组(Fe、Cu、Pb、Zn)；(4) 下元古界临江组(Sb、Au)；(5) 下元古界花山组(Au)；(6) 下元古界珍珠门组(Pb、Zn、Au)；(7) 中元古界色洛河群(Au、Ag)；(8) 前奥陶系呼兰群(Cu、Pb、Zn、Au)；(9) 下古生界石缝组(Ag、Pb、Zn、Cu)；(10) 上古生界鹿圈屯组(Au、Ag)；(11) 上古生界石咀子组(Cu、Au、Ag)；(12) 上古生界柯岛-庙岭组 (Cu、Pb、Zn)；(13) 华力西期花岗岩系 (Cu、Pb、Sn、W、Mo、Zn、Au)；(14) 燕山期花岗岩系(Au、Cu、Pb、Zn、Ag、Sn、Sb、W、Mo)。此外，还有一些局部地质体或矿源层，但范围有限，为成矿预测提供区域准则和标志。

2. 用"边缘成矿理论"到剖析矿床产出的构造环境获得规律性的认识。吉林省东部山区大、中型贵金属及有色金属矿床90%以上都分布在大地构造单元和地质体的边缘部位。这些部位通常是地质结构构造异常和地质过程异常，主要是古陆核边缘裂陷槽，古陆内裂谷边缘断裂带，各种性质的过渡壳即陆壳活动带和成熟陆壳局部裂陷火山盆地边缘断裂以及深断带等等。

这些边缘带、过渡带，不仅控制矿床的空间分布，而且对矿床成因类型和矿床组合也有控制作用。例如吉南古陆边缘裂陷槽晚太古花岗-绿岩地体 Au(Cu)-F 成矿系列(夹皮沟金矿等)，吉南古陆边缘裂陷槽中元古火山碎屑，碳酸盐建造侵入岩叠加 Au(U)系列(海沟金矿)，吉北褶皱区早古生代汇聚型过渡壳(岛弧)S、Zn、Cu、Pb、Au 系列(放牛沟多金属矿)等。

3. 基底控矿及成矿物质来源深源性是吉林省东部山区贵金属及有色金属矿床成矿又一重要特征。基底控矿作用，一是作为成矿物质的重要来源(初始矿源层)，对后生成矿作用的矿床类型和空间分布有明显的控制；二是基底作为被剥蚀的物源区对以后形成的含矿建造及其组合有明显的控制；三是基底物质组分被改造或参与成矿作用形成新的矿床。另外，从已知矿床绝大多数矿体的延深大于延长富含重矿化剂元素(As、Sb、Hg、Bi)和与成矿有关的花岗岩系列以"I"型为主等亦表明成矿物质来源的深源性特征。

4. 吉林省的贵金属及有色金属矿的成因类型绝大多数为后生成因和叠生成因的。也就是说成岩与成矿的时差很大，有的相差几亿至十几亿年(夹皮沟金矿等)，同时也反映成矿作用的多期性、长期性、继承性和叠生性特点以及矿床成因类型的复合性特点。把握这一规律将有利于提高成矿预测质量和水平。

5. 通过典型矿床(矿田)的研究建立矿床成因模式和区域成矿演化模式，并在此基础上根据地、物、化、遥标志建立综合找矿模型，是成矿预测相似类比理论的基础。根据我们的实践在建模工作中除模型本身的意义和作用外，有两点体会：一是多数已知矿区(矿田)工作程度和研究程度不够，没有从整体上把握整个矿田，也就是说矿田探边模底都不清，普遍存在有扩大远景和深部找矿问题；二是把该模型放到区域场上去再认识会深化某些区域性规律有利提高成矿预测的质量。

三、综合解释及综合图件

以地质体为对象、各学科理论为原理、综合方法为手段、成矿预测为内容的多学科综合方法预测，不仅扩大了解决地质问题的能力，而且拓宽了找矿视野，为分析区域成矿条件，总结区域成矿规律，提供多种信息和依据。根据综合解释和成矿预测的要求，编制各学科方法的系列图件，例如构造-建造图，综合解释断裂构造图和综合解释地壳结构构造图，以及地球化学场分区图、构造地球化学图、地球化学找矿远景区划图等，与传统的编图方法、内容表达等方面有创新并具有适用性的特点。

四、按地壳结构构造类型、构造演化与成矿的关系

在大地构造单元分区的基础上，根据区域控矿因素组合及地、物、化、遥综合标志，对全省金、银、铜、铅、锌、锑、锡等七矿种 I、II、III、IV、V 级成矿区带，重新进行了划分。这是到目前为止，吉林省最为系统、最为完整、也是最新的区划成果。这次以 IV、V 两级区划为主，其中 IV 级成矿区带共计 26 处，有 7 处为新发现和重新圈定的，V 级成矿区 22 处，预测区 187 处(其中 A 级 21 处，B 级 53 处，C 级 113 处)。同时还进行了定量预测。

五、对全省金、银、铜、铅、锌、锑、锡等七矿种的矿产资源现状和找矿前景的分析与建议

当前普查找矿工作，选区是十分重要的环节，选区正确有可能取得重大突破，相反选区失误则会带来很大的浪费。吉林省由于有了1:20万成矿远景区划成果，使普查找矿都部署在有找矿前景的区段。近几年在荒沟山—南岔成矿带、大黑山条垒成矿带、百里坪成矿区以及闹枝成矿区等地的普查找矿工作都取得了新的进展。其中荒沟山—南岔地区已查明中型以上矿床有4处，荒沟山金矿、南岔金矿、荒沟山铅、锌矿和青沟子锑矿新的矿化线索较多，已知金矿尚有扩大的可能。目前在大横路一带虽铜矿品位较贫，新发现钴矿（新类型）较有前景初步查明可达中型以上。另据百里坪地区的成果，已控制银矿化带4条以上，初步估计银的远景可达1000—3000t以上，大黑山条垒北段兰家金矿有望扩大远景，八台岭银矿外围影壁山发现金、银矿化带长500m，金、银品位在边界以上。上述地区均列为吉林省地矿局“八五”期间重点片。

本项目在实施过程中受到地矿部直管局、区划室等领导部门的重视。试点图幅的阶段性成果及部分地区成果曾在1988年—1992年间三个全国性地矿工作会议上作过介绍，反响较大。并在1989年、1991年、1992年地矿部举办的学习班以及陕西地矿局、黑龙江地矿局、有色总公司吉林矿产勘查局、四川地矿局等6个省局以上学习班作过介绍和交流。《中比例尺成矿预测方法及要求》曾列为地矿部1991年科技成果推广项目(85-08-203）产生了较为广泛的社会效益。

本文“一”、“二”两项内容大部分素材分别由吉林省地研所高银度和王振中高级工程师提供，在此谨表谢意。

陕西省潼关金矿田1:5万成矿预测

常建国　段绪省　雷建池　李兴民　朱宽平　李德海

（陕西省地矿局第六地质队）

小秦岭地区是我国重要的金矿成矿区带和黄金生产基地，黄金储量及年产量居全国第二位，陕西省潼关金矿田是小秦岭金矿成矿带的西段，是陕西省的主要产金地。随着黄金生产的迅猛发展和对金矿资源需求，陕西地矿局决定在本区开展1:5万金矿成矿预测。

一、工作方法

本次成矿预测是按地质、物探、化探遥感资料，分析成矿信息，建立成矿模式，划分网格单元，提取单学科的定量预测变量，选取最有效的变量进行单学科的金资源量回归预测，对比各学科预测结果，再次优化变量，然后进入综合预测。

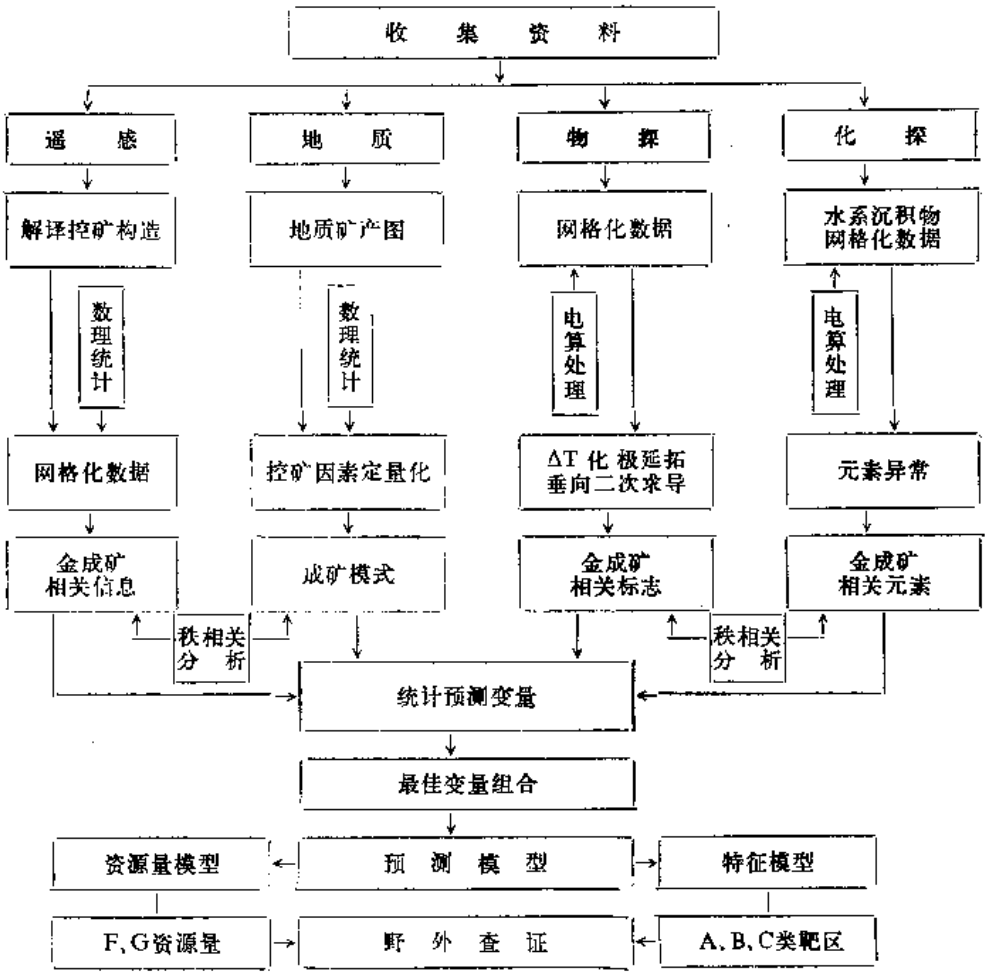


图1　成矿预测程序图

在进行综合预测时，主要采用特征分析法。首先，对各变量与不同级别的矿化单元作秩相关分析，确定各变量的赋值原则(区间)，将各变量进行"二态"赋值，计算变量的权系数，确定最佳变量组合，建立预测模型，完成预测；然后，进行野外查证，根据查证结果，再度优化变量，进行最终预测。预测程序见图 1。

二、金矿床成因模式

(一) 区域地质背景

潼关金矿田位于中朝准地台南缘、豫西断隆西端之太华台拱区，北为汾渭断陷，南为金堆城断凹。区域地层区划属华北地层区豫西分区金堆城小区。

(二) 成矿环境

区内赋矿地层为太古宇太华群高级变质岩系(见图2)。地层自下而上分五个地层组：大月坪组、板石山组、洞沟组(又分六个岩性段)、三关庙组(也分六个岩性段)及秦仓沟组。其中大月坪组由长英质片麻岩、斜长角闪岩及少量浅粒岩组成；板石山组由石英岩、长石石英岩、角闪黑云(黑云角闪)片麻岩、黑云斜长片麻岩及大理岩类、石墨片(麻)岩组成；洞沟组由黑云斜长片麻岩、含磁铁矿斜长角闪岩及其间过渡岩类——角闪黑云(黑云角闪)斜长片麻岩、紫苏麻粒岩、磁铁石英岩、(含)角闪磁铁石英岩组成；三关庙组主要为薄层状黑云斜长片麻岩、浅粒岩及较少的斜长角闪岩和过渡岩类，局部见较粗粒的斜长角闪岩；秦仓沟组由黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩组成，偶夹斜长角闪岩。

恢复原岩，太华群自下而上依次为：火山碎屑、陆屑沉积夹较多基性火山熔岩—陆源碎屑夹滨、浅海碳酸盐沉积——→陆屑、火山碎屑沉积，偶夹基性火山熔岩。

侵入岩较发育：花岗伟晶岩脉(γ_P)呈不规则状广泛分布，形成时代为古—中元古宙；晋宁期中粒二长花岗岩(γ_2^3)沿南部长期活动的巡马道断裂成带分布；太古宙片麻状花岗岩(γ_1)及加里东期黑云母花岗岩局部可见；燕山早期辉绿(玢)岩脉(墙)广布全区而规模均小；稍晚于辉绿(玢)岩的正长斑岩以半隐伏低倾角脉状在区内中部呈东西带状零星出露；华山、文峪黑云二长花岗岩基(γ_5^3)于晚燕山期侵入就位，系壳源重熔型，与本区金矿有成因联系。

横贯东西的大月坪——金罗班复背斜叠加在早期韧塑性斜歪倾伏——平卧褶皱（露头尺度——手标本尺度)之上，北翼缓、南翼陡、局部倒转，与构成太华台拱南、北界线并长期活动的巡马道断裂及山前断裂，一起形成本区的主要构造格架。脆韧性断裂——控脉构造带十分发育，按其产状、形态及形成顺序分为四种类型：

(1) 层间滑脱型：糜棱岩不甚发育、产状平缓，与所在地层片麻理近一致，主要发育在大月坪——金罗班复背斜轴部附近，形成较早。

(2) 中等倾角南倾及向北陡倾的逆冲韧性断裂、前者主要分布在大月坪—金罗班复背斜轴部及南翼，走向与背斜轴线近一致；后者主要位于北翼，倾向 NNW，倾角>50°，切穿了层间滑脱型断裂。

(3) 倾角陡立的 NE—NNE 向韧性-脆韧性剪切断裂带：呈近似等距的带状分布，一般向 SE 陡倾，部分直立或向 NW 陡倾。

(4) 走向近南北及 NW—NWW 向、近直立韧性-韧脆性剪切断裂带：呈近似等距的束状，主要分布于区内中部，倾角一般大于70°，倾向忽东忽西。

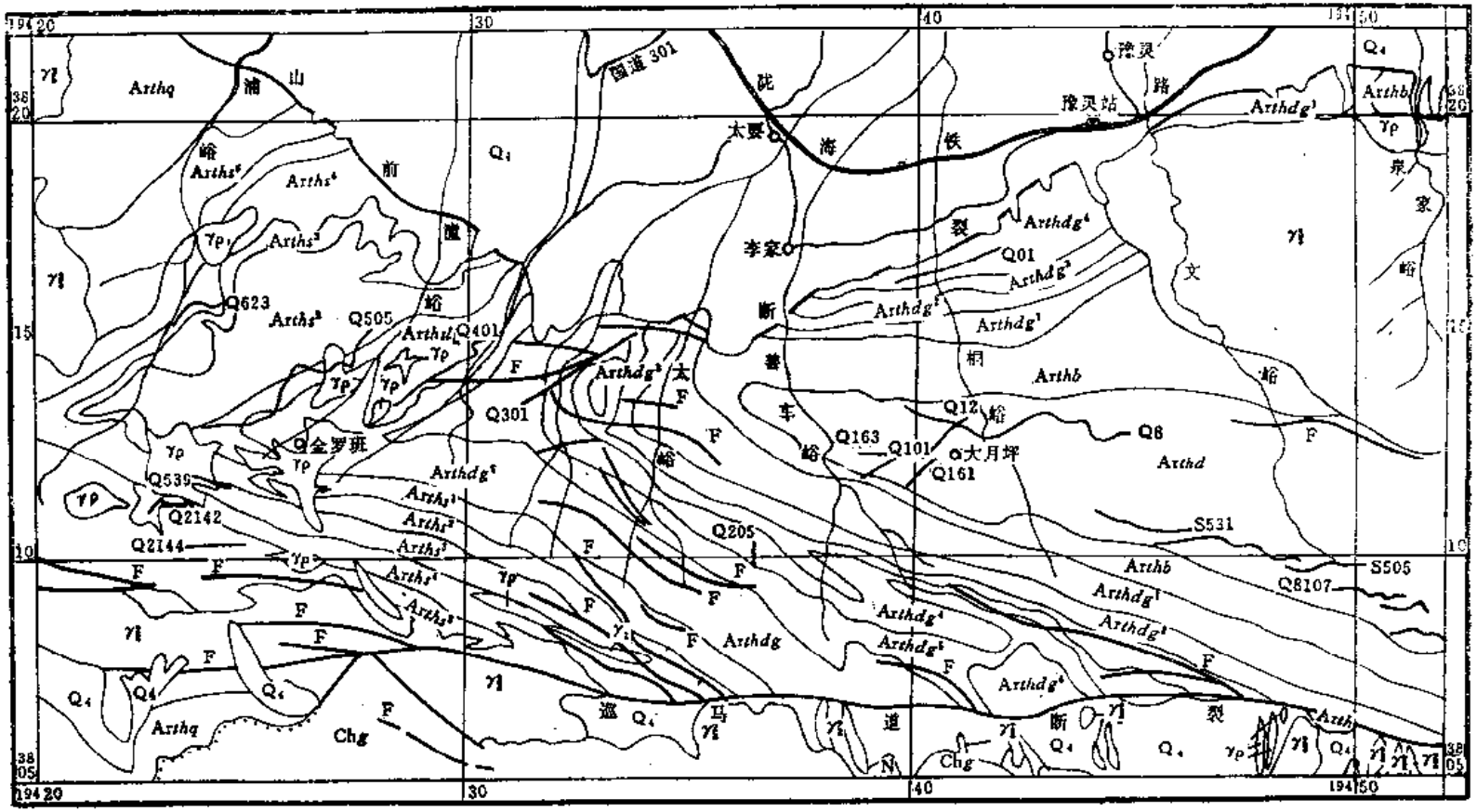


图 2　陕西省潼关金矿田地质图

1—第四系松散沉积；2—元古宇高山河组；3—太古宇太华群；4—晚燕山期花岗岩；5—晚元古宙花岗岩；6—太古宙片麻状花岗岩；7—花岗伟晶岩；8—断裂构造；9—10—含金构造带

四类控矿断裂按交切关系判断，生成顺序，为(1)→(2)→(3)→(4)。它们形成后又相继发生过多次继承性脆韧-脆性活动，成矿作用在其继承性活动中发生。

（三）矿床类型

区内金矿床为石英脉型，尚有蚀变构造岩型金矿化点。后者赋存于东西向韧性断裂晚期脆性活动产生的碎裂岩中，含矿岩石为多金属矿化、硅化碎裂岩，金属硫化矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、方铅矿，半自形-他形粒状，浸染状及网脉状构造；围岩蚀变为硅化、绢云母化、黄铁矿化、镜铁矿化及碳酸盐化。

（四）矿脉特征、分布规律、矿化类型和围岩蚀变

含金石英脉严格受控于脆韧性-韧性断裂，脉体规模小于控脉断裂的规模，因此，其平面分布与控脉断裂的分布一致。

(1) 产状平缓者主要集中出露于西部的蒿岔—潼峪一带；

(2) 走向近东西者基本沿大月坪—金罗班复背斜轴部附近密集成带；

(3) 北东走向者隐约成行叠加在东西密集带上；

(4) 走向南北者平行密集；

(5) 北西走向者零星分布；

(6) 受晚燕山期花岗岩体热梯度带的控制，石英脉相对密集区围绕晚燕山期黑云二长花岗岩体以3—6km距离大致呈弧形分布。

垂向上，受控于金罗班—大月坪复背斜，产状平缓者多出露于背斜倾伏端转折带地层产状平缓的较高层位，集中于剥蚀较浅的西部；东西向含金石英脉在剥蚀较深的东部地区密集成带，连续性较好，在剥蚀不甚的西部出露稀少而不连续；北东走向陡倾脉出露高程较低，在东部地区的部分山巅尚处于隐伏状态；近南北走向含金石英脉出露最差，石英脉不连续。

表 1

含金石英脉矿化类型	矿石成分及结构构造	矿化阶段	备　注
少黄铁矿型	乳白色粗粒石英；黄铁矿、中-粗粒、自形、星散状；偶见其他金属硫化物	I	含金性差，若无后阶段矿化叠加，一般不形成矿体
黄铁矿型	脉石英烟灰色，透明度好；黄铁矿半自形-它形，中细粒，条带浸染状，细脉浸染状；可见少量黄铜矿；偶见方铅矿、闪锌矿	II	含金性好，可单独形成矿体
黄铁矿为主的多金属矿化	脉石英透明度好；除黄铁矿为主外，方铅矿、黄铜矿、闪锌矿具相当含量，金属矿物它形粒状、斑杂状、稠密浸染状、网脉浸染状、团块状	III或II、III阶段叠加于I阶段上	含金性最好，单独即形成矿体
方铅矿为主的多金属矿化	方铅矿含量高(>3%)，局部形成方铅矿脉，黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿相对较少，它形粒状，脉状、网脉状	IV	含金性一般，可叠加于前几阶段矿化上，规模较小
黄铁矿碳酸盐石英脉	方解石、白云石、菱铁矿、石英；黄铁矿较自形，星散状	各阶段末，尤其是IV阶段末	在前已形成脉或脉旁裂隙中，含金性差

矿体严格受石英脉控制，矿体无一例外地赋存于石英脉内，仅个别矿体稍稍超出石英脉，延伸至脉体旁侧或尖灭端的蚀变构造片岩中。矿体规模一般不大于含金石英脉的规模。

相同产状的控脉断裂，规模较大者，其中赋存的矿体也较大；同一规模、产状不同的控脉断裂，其中赋存的矿体大小殊不相同。

含金石英脉愈破碎，愈有利于晚阶段金属矿化作用的叠加。

含金石英脉的矿化类型依其中脉石英及金属硫化矿物的组合、含量等确定，其矿化阶段矿石成分、结构等见表 1。

含矿热液对围岩的蚀变通常是多种蚀变叠加、过渡，沿矿脉或含金构造带呈带状分布。一般可分为内、中、外带，内、中带常位于控脉断裂带内（韧性活动的强带），外带多位于控脉构造带外（韧性活动的弱域），如图 3。

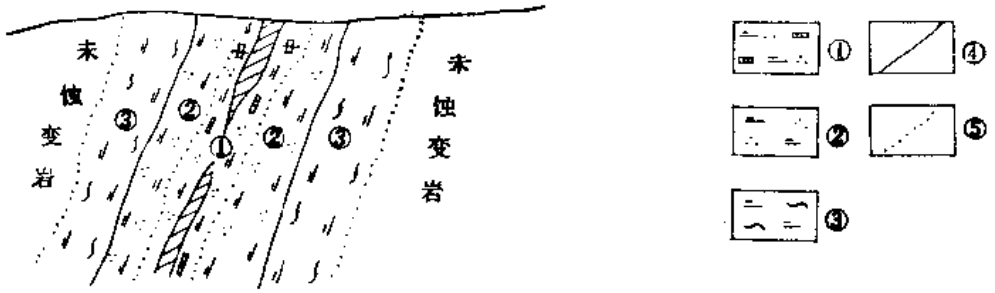


图 3　蚀变分带示意图

①内带，硅化、绢云母化、黄铁矿化；②中带，硅化、绢云母化；③外带，绢云母化、绿泥石化；④构造带边界及蚀变带分界；⑤蚀变带分界

（五）成矿物理化学条件

含金石英脉爆裂法测温值主要集中于 380°C—320°C、210°C—130°C 两个温度区间，说明是两个主要成脉阶段的温度，且以后一区间为主。其中前者是早阶段的成矿温度，而后者则主要为晚阶段的成矿温度。

溶液的 pH、Eh 值见表 2，成矿压力见表 3，溶液的矿化度>4.83%—24.87%。

表 2　包体测温、pH、Eh结果表

样　号	测试矿物	爆裂温度(°C)	pH	Eh
IXKw-189	石英	385	6.86	−0.467
IXKw-187	石英	348	7.41	−0.508
IXKw-191	石英	310	7.70	−0.533
IXKw-181	石英	305	7.03	−0.479
IXKw-182	石英	145	5.89	
IXKw-195	石英	135	6.73	
IXKw-194	石英	135	5.40	−0.326
IXKw-192	石英	130	6.34	
IXKw-193	石英	125	5.49	−0.349
IXKw-183	石英	104	6.37	

表 3

成　矿　阶　段	成矿压力(MPa)
I.金—黄铁矿—石英	145—163
II.金—黄铁矿—多金属—石英	127—158
III.金—多金属—石英	108—110
IV.金—黄铁矿—碳酸盐—石英	108

（六）矿床成因机理

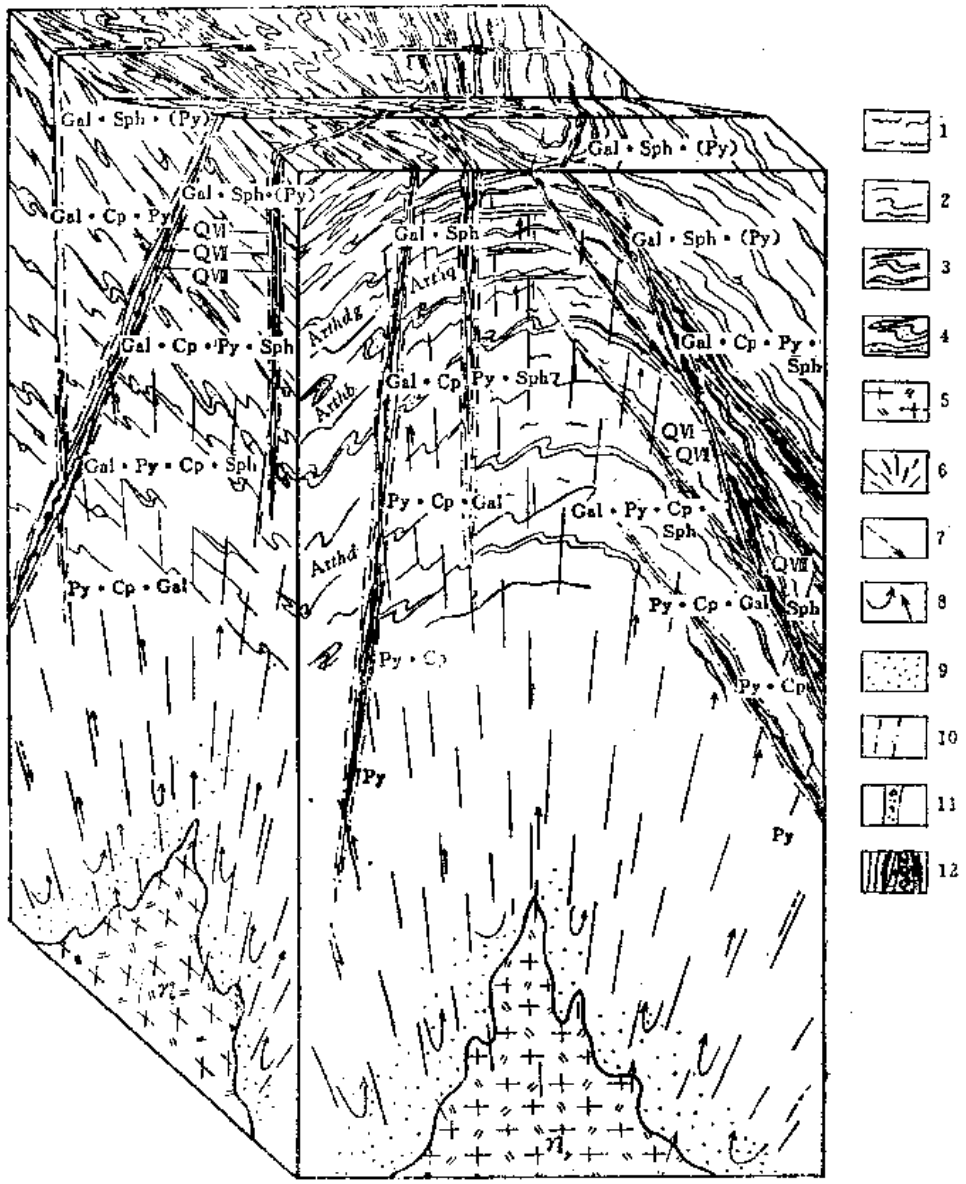


图 4　陕西省潼关金矿田矿床成矿模式图

1—条带状混合岩；混合片麻岩；2—片麻岩类；3—斜长角闪岩；4—石英岩类；5—燕山晚期二长花岗岩；6—劈理—裂隙；7—地下水运移方向；8—含矿热液运移方向；9—矿质活化区；10—脆韧性断裂；11—蚀变碎裂岩；12——、二、三阶段含矿石英脉

Arthdg—*Arthq*　洞沟组—秦仓沟组　　Py:黄铁矿　Cp:黄铜矿

Arthb　板石山组　　Gal:方铅矿　Sph:闪锌矿

Arthd　大月坪组　　(Py):黄铁矿或有或无

太华群富金火山碎屑、陆屑及基性火山熔岩岩系在高角闪岩相-麻粒岩相高级变质、混合岩化、选择性重熔过程中，金被充分活化，向溶液中迁移，晚燕山期陆壳重熔岩浆形成，其中的金也向伴之形成的岩浆热液中迁移；岩浆上侵过程中，在地层中形成热晕，促使剩余的金再度活化，下渗至此热晕中的地下水又萃取其中矿质，并与岩浆热液汇合，形成混合成矿热液。伴随韧性断裂的韧-脆性脉动式活动，于有利的空间在 Eh 上升，p、T、pH 下降的环境沉淀成矿。随着时间的推移，地应力场方向、大小的变化，遂于不同阶段形成不同产状的含金矿脉。矿床成因模式见图 4。

三、找矿标志

根据矿床成因模式，有以下找矿标志

（一）地质标志

1. 韧性、脆韧性断裂：是成矿的构造条件，其规模限制了矿体的规模；

2. 脆韧性、韧性断裂（以下简称构造带）的产状：决定了构造带在成矿期构造应力场的作用下是否能形成导矿通道及溶矿空间；

3. 石英脉类型：石英脉是产生石英脉型金矿床的必要条件，由成矿可稍晚于成脉，破碎的早阶段石英脉或透明度好、规模大的石英脉有利于形成大的矿体（床）；

4. 金属矿化类型：由成矿各阶段形成的金属矿化类型可以推知含金性的程度，区内以多金属的矿化类型含金性最好；

5. 与晚燕山期花岗岩体的距离：根据区内含金石英脉的密集规律知，3—6km 范围内有利于成矿；

6. 人工古采硐：有古人开采遗迹者，一般都有含金石英脉的存在；

7. 围岩蚀变：硅化、碳酸盐化、黄铁矿化等，都是含矿热液与围岩作用的标志。

（二）水系沉积物异常标志

Au 是直接指示元素，尚有 Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Sb、As、Hg 等间接指示元素。异常规模、元素组合可以指示金矿床的有无、剥蚀程度等。

（三）航磁异常标志

航磁化极垂向二导零值线说明了磁性体的分割界线，意味断裂构造的可能存在，多反映了控矿构造。

（四）遥感解译标志

太华群中控矿韧性剪切带，特别是构造片岩带，在图像上形成大型线理影纹带，同时伴有色调变化，形成遥感图像上明显的形色标志。其中东西向识别标志最明显，北东向次之，南北向不易识别。这些影像分别组成脉带式、构造结、串珠状及网格影纹，形成组合标志。

四、成矿预测

（一）单元划分

由于成矿的非层控性、成矿构造的多向性，采用网格法统计单元有一定的客观性、独立性、随机性，也符合数学地质研究的要求，为了工作的方便，按地理坐标以 1 km × 1km 的规格

划分了统计单元，单元编号由四位阿拉伯数字组成，前两位为单元左下角的X坐标 km 数，后两位为Y坐标 km 数的末两位。

（二）控矿变量的选取

各学科原始变量共 52 个，经过对预测有效性的研究，经筛选，提出 20 个变量作为参加统计预测的变量，详见表 4。

表 4　参加统计预测的变量

类　别	变　量	内　容	定 量 方 法
遥感	*YAO 1*	卫片解译韧性剪切带	单元构造线长度
	YAO 2	航片解译韧性剪切带	单元构造线长度
	YAO 3	韧性剪切带结点	个　数
物探	*WH 1*	航磁垂向二阶导数	零值线与单元中心距离
	WH 2	航磁上延 1 km垂向二阶导数	零值线与单元中心距离
化探	*HAu*	水系沉积物Au元素	异常是否存在
	HCu	水系沉积物Cu元素	网格化数据
	HPb	水系沉积物Pb元素	网格化数据
	HMo	水系沉积物Mo元素	网格化数据
	HBi	水系沉积物Bi元素	网格化数据
	HAs	水系沉积物As元素	网格化数据
	HSb	水系沉积物Sb元素	网格化数据
地质	*DG*	含金构造带	单元中出露总长度
	DK	含金构造带矿化类型	分类定量化
	DM	含金构造带内石英脉类型	分类定量化
	DCH	产状系数	米·克·吨$^{-1}$值
	DZ	含金构造带产状及变化	倾向、倾角
	DKT	矿体品位	单元中矿体品位
	DX	矿体厚度	单元中金矿体厚度
	DKu	矿床、矿点	个　数

为进一步提高变量的预测效果，地、物、化、遥各组成一个复合变量，说明如下：

1. 地质复合变量——产状系数：将全区 25 个矿(化)床(点)原始资料中产状、矿(化)脉厚度、品位三要素同时具备的采样点(线)列表统计，求出对应产状的工程(样线)平均品位×代表厚度，即 m·g·t^{-1} 值，在赖特网上进行上半球极点投影，在投影点旁标注对应的米·克·吨$^{-1}$值，然后像作节理极点等密图一样，只是这里以小圆内各极点 m·g·t^{-1} 值之算术平均值代替小圆内的节理极点数，从而编绘出已知含金石英脉的产状——m·g·t^{-1} 等值线图，如图 5(赖特网已简化)。它反映了区内含金石英脉的厚度、金矿化强度随其产状的变化规律。

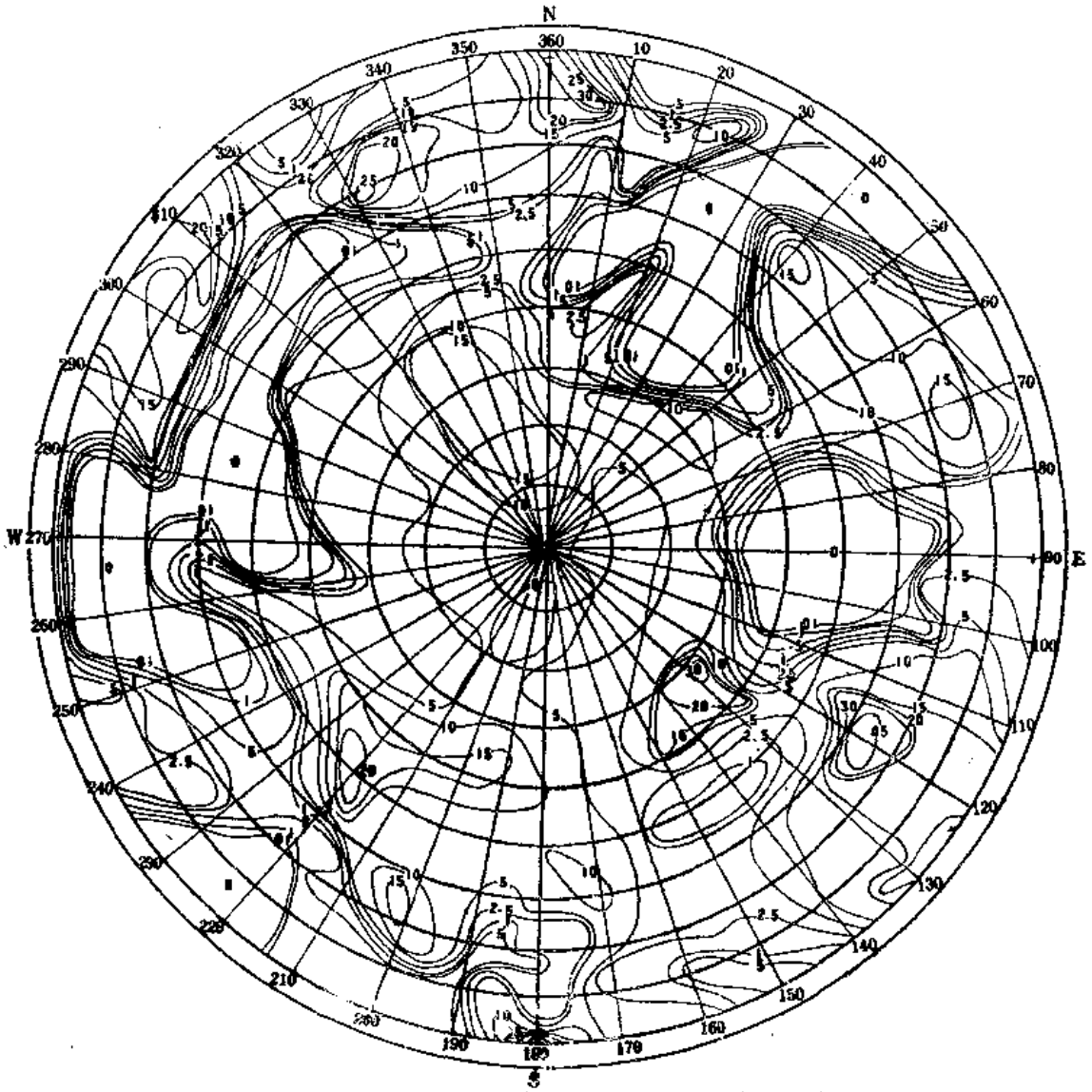


图 5　陕西省潼关金矿田已知含金石英脉产状一米·克·吨⁻¹等值线图

2. 遥感复合变量：将航、卫片解译的韧性剪切带的长度 $YAO1$、$YAO2$ 和结点数 $YAO3$ 按下式复合而成：$YAO=YAO1+YAO2+2OYAO3$。

3. 航磁垂向二次求导零值线形成的复合变量：充分利用原平面航磁化极垂向二次求导结果，又要考虑地形影响等不利因素及使变量反映具一定的深度，因而又作上延 1 km 垂向二次求导，然后将两种图叠加形成新的“+”、“−”区边界线作为一个综

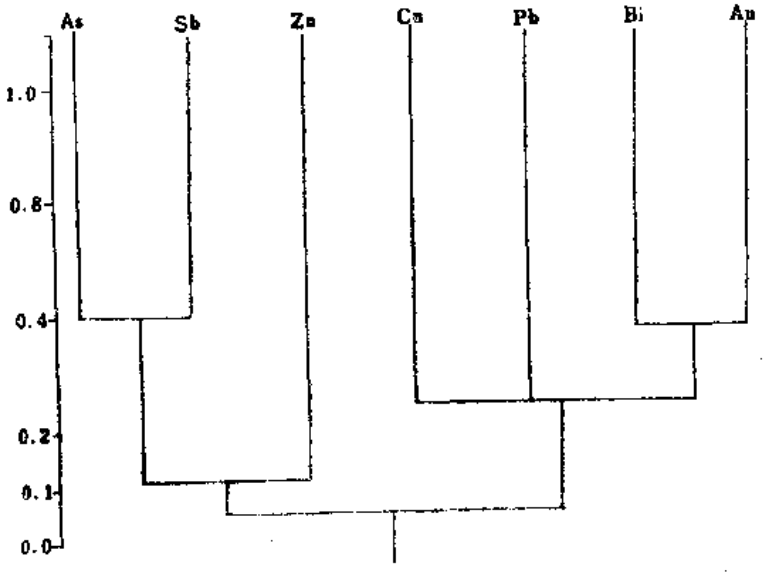


图 6　七个变量聚类分析谱系图(相关系数)

合信息(WH)参与统计预测。

4. 水系沉积物 Cu+Bi/As+Sb 比值：Au、Cu、Pb、Zn、Bi、As、Sb 七种元素的 R 型聚类分析谱系如图 6。图中在 0.24 级可分三组：As、Sb、Au、Cu、Pb、Bi, Zn；As、Sb 不能作为直接变量进入统计，但为前缘指示元素，为突出成矿部位故构置 Cu+Bi/As+Sb，为一复合变量(BY)。

(三) 变量赋值

应用秩相关分析来统计矿化程度与变量间的相关关系，寻找各变量的最优取值区间，对各单元原始数据进行分级排序，进行离散赋值。

确定矿化分级：以单元内已知矿床(点)个数代表矿化强度，矿化强度共分四级：中型矿床、小型矿床、矿点、无矿点。

控矿变量状态划分：划分原则是统计时零值尽量少，统计结果波动小，经多次试算，各变量分级表如表 5。

表 5 综合变量秩相关分析分级表

变量 \ 分级		1	2	3	4	5
遥感解译韧性带长度(mm) (YAO)		85以下	85—110	110—135	135—160	160以上
航磁 ΔT 化极垂向二次求导零值线与单元中心距离(cm) (WH)		0—1.0(−)	0—1.5(+)	71.0(−)	70.5(+)	
含金构造带长度(m) (DG)		500以下	500—850	850—2500	2500以上	
含金构造带矿化类型评分 (DK)		5分以下	5—11分	11—15分	15分以上	
产状系数 (DCH)		2以下	2—6.2	6.2—10.2	10.2以上	
含金构造带石英脉类型评分 (DM)		5分以下	5—10分	10—17分	17分以上	
水系沉积物	Cu元素网格化数据 ($W(Cu)/10^{-6}$) (HCu)	30以下	30—40	40—50	50以上	
	Pb元素网格化数据 ($W(Pb)/10^{-6}$) (HPb)	75以下	75—98	98—125	125以上	
	Mo元素网格化数据 ($W(Mo)/10^{-6}$) (HMo)	15以下	15—20	20—24	24—28	28以上
	Bi元素网格化数据 ($W(Bi)/10^{-6}$) (HBi)	0.19以下	0.2—0.29	0.3—0.89	0.9以上	
	Cu+Bi/As+Sb (BY)	0.25以下	0.26—0.39	0.4—0.89	0.9以上	

不同状态变量随矿化程度序列变化的秩相关系数和含矿性鉴别系数的计算公式分别为：

$$\rho = 1 - \frac{6\Sigma d^2}{n(n^2-1)}$$

ρ：秩相关系数；d：对比序列的序差；n：对比序列的分级数。

$$K=\frac{P_1}{P_1+P}$$

K：含矿性鉴别系数；

P_1：某地质变量存在时含矿单元数与全体含矿单元总数的百分率；

P：某地质变量存在时无矿单元数与全体无矿单元总数的百分率。

P 为 1 时，地质变量与矿化之间为密切正相关，P 为 -1 时，地质变量与矿化为密切负相关，P 为 0 时，二者之间无关。$K=1$ 时，表明该地质变量是极好的含矿指示标志，$K=0$ 时，表明地质变量是极好的无矿指示标志。

当 $1>\rho\geqslant 0.5, 1>K\geqslant 0.5$ 时，变量赋值为“1”，当 P、K 小于 0.5 时赋值为“0”。各控矿变量赋值原则见表 6。

表 6　参加统计预测变量的取值原则

变　量		YAO	WH	DG	DK	HAu	HCu	HPb	DM	DCH	HBi	BY
临界值		>110	+0.5—−1.0	>850	>11	是否报出	>40	>98	>10	>6.2	>0.2	>0.4
取值原则	1	落入	落入	落入	落入	是	落入	落入	落入	落入	落入	落入
	0	未落入	未落入	未落入	未落入	否	未落入	未落入	未落入	未落入	未落入	未落入

最佳特征集是根据诸变量在预测模型中的作用大小(权系数）来筛选的。筛选出 11 个变量的权系数曲线如图 7。



图 7　控矿变量权系数曲线图

对 11 个控矿变量进行的数理统计参数见表 7 。

变量异常下限的对数值按公式：$t=C_0+(1-0.75)Q$ 计算，C_0 为平均值，Q 为标准离差，异常下限 $T=10^t$，这样，诸变量均可在网格化数据图上圈出异常，从而可编出综合信息图。

（四）预测模型

选择 14 个研究程度高，具代表性、能反映金矿床特征的单元作模型单元，并选出 5 个检验单元。

表 7

变　量	样品数 N	背景平均值 C_0(对数)	标准离差 Q(对数)	变异系数 CA(对数)	异常下限 T
遥感解译 (YAO)	457	1.8810	0.2968	0.1578	150.9
$Bi+Cu/As+Sb$ 比值 (BY)	125	−0.4452	0.2043	−0.4589	0.57
产状系数 (DCH)	133	0.7549	0.1392	0.1844	7.84
构造带长度 (DG)	134	2.8179	0.4714	0.1673	1947
石英脉类型 (DM)	122	1.0721	0.1871	0.1745	16.3
金属矿化类型 (DK)	109	1.0472	0.1878	0.1793	15.42

对已选的 14 个模型单元和 11 个变量分别用平方和法和主分量法计算其权系数，所得结果见表 8。

表 8

变　量	变量名称	平方和法变量权	排　序	主分量法变量权	排　序
WH	航磁垂向二次求导	0.0933	3	0.96	3
DG	构造带长度	0.0940	2	0.97	2
YAO	遥感解译韧性带长	0.0832	4	0.55	5
DK	矿化类型	0.1054	1	1	1
HAu	水系沉积物金元素	0.1054	1	1	1
HCu	水系沉积物铜元素	0.0846	4	0.62	4
HPb	水系沉积物铅元素	0.0853	4	0.54	5
DM	石英脉类型	0.1054	1	1	1
DCH	产状	0.0796	5	0.64	4
HBi	水系沉积物铋元素	0.0844	4	0.67	4
BY	Cu+Bi/As+Sb 比值	0.0794	5	0.72	4

对 8 个变量在同等条件下用平方和法和主分量法分别建立数学模型并回代试算，所求得资源量绝对误差小于 30 kg，从而使用平方和法求得的权系数，成矿预测特征模型为：

$$Y=10\times[0.1054\times(DK+HAu+DM)+0.0936\times(WH+DG)+0.084\times(YAO+HCu+HPb+HBi)+0.0795\times(DCH+BY)]$$

Y 为关联度。

在模型中选 8 个勘探程度高的单元作为资源量预测模型单元，用数学分析求极值的原理和克莱姆法则求出各单元已知储量与单元中关联度之间的一元线性回归方程：

$$T=0.8623+0.3326Y$$

Y：关联度；T：已知储量对数值。

相关系数 $r=0.9769\gg2=0.01$，自由度为 6 时的 $r_{0.01}=0.8343$。

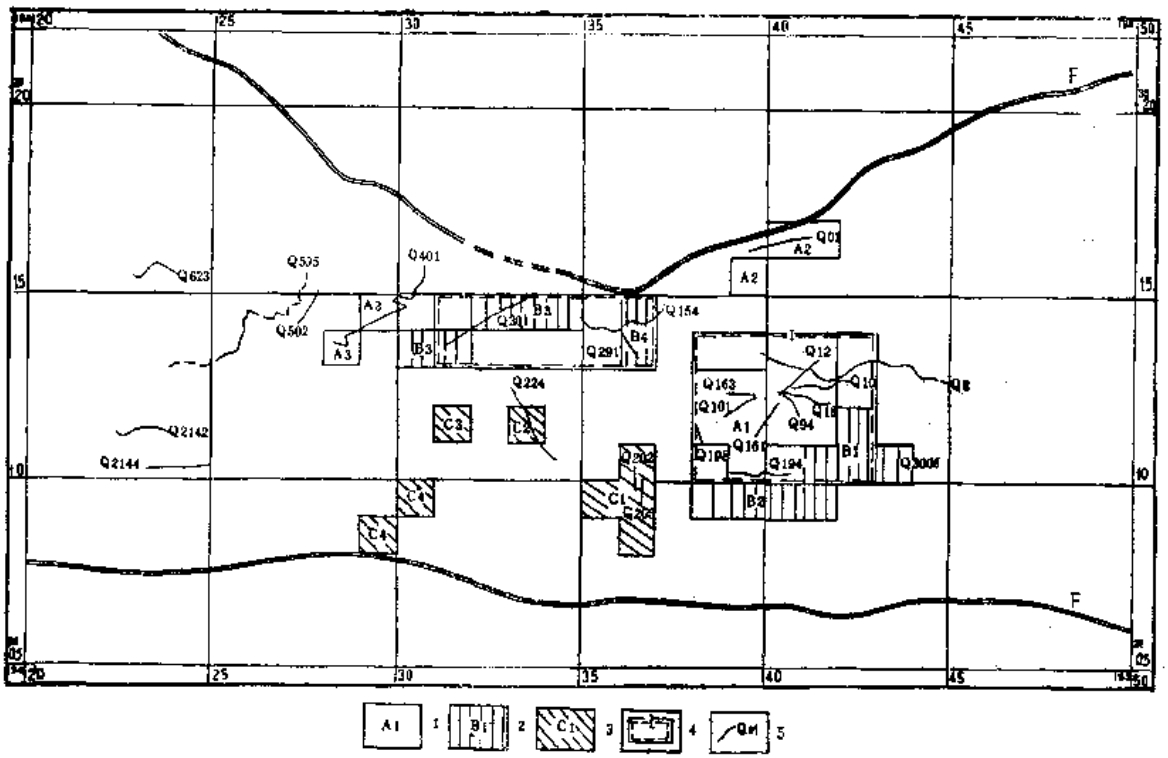


图 8　陕西省潼关金矿田成矿预测成果及工作建议图

1—A类靶区及编号；2—B类靶区及编号；3—C类靶区及编号；4—工作建议区及编号；5—含金石英脉及编号

（五）预测结果

1. A、B、C 类预测靶区的划分

靶区划分遵照优中选优的原则，首先由数学特征模型按单元分别回代求出对应的关联度值，根据关联度值的大小定出一、二、三级预测单元；其次在一级预测单元中划分预测 A、B、C 类靶区，其原则为：

A 类预测靶区：特征分析定为Ⅰ级预测单元，具有最佳综合信息组合，区内有已知矿床，品位高，具一定规模，进行过较高的地面地、遥、物、化探工作，有希望找到新的矿床。

B 类预测靶区：特征分析定为Ⅰ级预测单元，综合信息组合齐全，区内有已知矿点，进行过一些地质工作，有希望找到矿床。

C 类预测靶区：特征分析定为Ⅰ级预测单元，具有综合信息，区内有已知矿化点，地质工作程度较低。

2. 预测结果

共圈出 3 个 A 类、4 个 B 类、4 个 C 类十一个预测靶区，详见图 8（即预测成果及工作建议图）。

（六）质量评述

经采用齐波法预测，其结果极为接近，相对误差＜6％。

用特征模型对 14 个含金矿单元回代，判对率$\left(=\frac{\text{判对样品个数}}{\text{全部检验样品数}}\right)$达100％，大于一般要求(80％)，特别是储量在 1000 kg 以上的单元，储量对数值还与关联度呈线性分布。模型回代的单元相对误差最大 20.1％，平均 9.95％。

通过野外查证，在 B2 区发现了长达 2000 m 的含金构造带，其中部分地段品位高达24.51 g/t，具一定工业前景。

广西九万大山—元宝山地区锡多金属成矿区地球物理与地球化学特征及找矿预测

王全明　朱裕生　方一平

（中国地质科学院成矿远景区划室）

广西桂北九万大山—元宝山地区锡—多金属成矿作用主要与雪峰期黑云母花岗岩密切相关(毛景文,1989)。区内除个别矿区外,大部分地区地质研究程度较低，但具有找矿前景。本文重点是利用航磁、布格重力和化探分散流资料,在综合处理基础上,浓缩和强化矿化信息,从中提取地质构造单元、花岗岩岩体及接触带、半隐伏、隐伏岩体、断裂构造和深部断裂构造等地球物理和地球化学成矿信息,剔除非矿信息和识别找矿标志,进行矿产预测。

物、化资料综合处理的方法包括对航磁原平面向上延拓 2.5、5、10、20 km 的ΔT转化为$\Delta Z_{\perp}$化极,垂向二阶导数、四方向水平一阶导数的数据处理；对布格重力异常向上延拓 15 km 的垂向二阶导数处理和水系沉积物分散流元素组合相关构造——化探分析。

一、区域成矿环境概述

本区大地构造位置属于扬子准地台一级构造单元的东南缘，即江南古陆。东南界位于罗城乔善至融安一带,东界为三江—融安断裂。区域地质与矿产分布见图 1。

1. 地层展布及赋矿层位

区内出露的地层主要为中—上元古界,即四堡群、板溪群(丹州群)和震旦系。四堡群仅出露于花岗岩体的周围，由砂泥质岩夹火山岩夹火山碎屑岩、细碧岩、角斑岩组成。岩石普遍变质,变质程度自下而上减弱。板溪群角度不整合分布于四堡群之上,由变质的砂泥质岩夹少量的碳酸盐岩组成。震旦系由一套轻变质的含砾泥质岩、含砾砂质岩、砂泥质岩、硅质岩组成。

本区主要的赋矿层是四堡群。

2. 构造作用与成矿的关系

本区受多次构造运动的影响，主要有四堡期运动和雪峰期运动。四堡运动使得四堡期地层褶皱为一系列近南东东走向平行排列的复式倒转褶皱，与其相伴随的是一系列走向平行且规模较大的逆冲断层和一组北北东走向的剪切小断裂。雪峰运动形成北北东和近南北向的不对称褶皱和深大断裂,并伴随由深部地壳重熔产生的花岗岩体的侵入,形成本区两个近南北向的巨大复式褶皱。在岩体侵入围岩的接触带部位，北北东向与南东东向褶皱、断裂的交汇处，形成一系列以锡铜为主的多金属矿产。

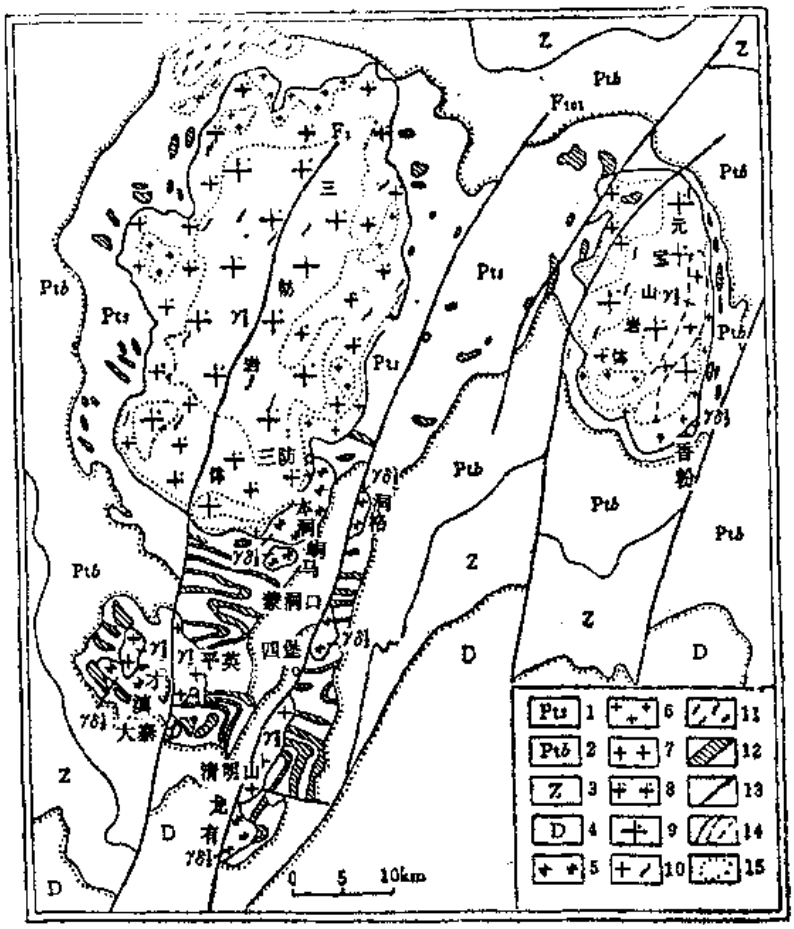


图 1　桂北九万大山—元宝山地区地质略图

（据莫柱孙等修编，1980）

1—四堡群；2—板溪群；3—震旦系；4—泥盆系；5—花岗闪长岩；6—细粒黑云母花岗岩；7—中粒黑云母花岗岩；8—中粒斑状黑云母花岗岩；9—中粗粒斑状黑云母花岗岩；10—片麻状花岗岩；11—混合岩；12—镁铁质—超镁铁质岩；13—断层；14—实测、推测地质界线；15—岩体相带界线

3. 花岗岩类岩石时空分布与成矿

本区主要的花岗岩浆活动是雪峰期黑云母花岗岩的侵入和定位。表现为三防、元宝山、田蓬、平英、清明山等岩体的出露。

成矿作用与雪峰期黑云母花岗岩具有非常密切的时空关系。

4. 成矿地质特征概述

本区成矿元素以锡、铜为特征，铅、锌、锑次之。矿化作用表现为以黑云母花岗岩岩体为中心的特征，每个中心矿床呈现明显的分带现象，由岩体内接触带向外依次有钨锡矿床→锡铜矿床→铜铅锌矿床→铅锌矿床→锑矿床。

在成矿过程中，经历了三个成矿期共六个成矿阶段。规模较大的锡多金属矿床形成于锡石-硅酸期的电英岩成矿阶段和锡石-硫化物期的矽卡岩锡铜成矿阶段，以产于平英岩体东接触带的一洞—五地、红岗山—沙坪和元宝山东接触带的九毛—六秀三个矿床为典型代表。矿体一般呈脉状或似层状产于岩体与地层的内外接触带中，距岩体 0—5 km 之内，形成的矿物组合主要为锡石、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、泡铋矿等。

二、成矿区地球物理与地球化学特征

（一）岩石物性参数特征

各类岩石物性参数见表 1。出露的岩石中以四堡群和板溪群地层的密度较高，为高密度层(2.62—2.7 g/cm³)，震旦系和花岗岩类岩石的密度较低，但相对围岩、岩体的密度更低(2.54—2.56 g/cm³)，与围岩存在 0.13 g/cm³ 的密度差。本区岩石的磁性都比较弱，除四堡群九小组为弱磁性层(K 为 137×10^{-6}(GSM)外，其余基本上属无磁性。

花岗岩基本无磁性、低密度，围岩为微磁性-弱磁性、高密度，在岩体上方形成磁力低、重力低异常。但由于黑云母花岗岩体的侵入活动形成的气成-热液蚀变作用(主要为云英岩化、钠长石化、钾长石化和电英岩化)和矿化作用，在岩体与围岩的接触带部位，会形成含有一定磁性矿物的矿石矿物组合(如磁黄铁矿、磁铁矿等)，均会产生较强的磁性，形成环绕岩体分布的磁异常。

因此，地层、岩体、岩体接触带内的矿体之间所产生的密度、磁性差异，是应用重磁进行解译的物性基础。

（二）重磁场特征及指示成矿作用的意义

九万大山—元宝山地区属复杂的变化磁场，为正、负两大区域场的接合部位，具体表现为沿四堡北北东向大断裂构成宽约 15 km 的正负变化梯度带。三防、元宝山花岗岩体出露部位显示低缓磁场，环绕其分布的是正高磁场带，与岩体和围岩的接触带对应；四堡群地层中局部显示正负跳跃场特征，与基性-超基性火山杂岩相对应，反映了四堡期火山活动的特点。

1:50 万布格重力异常总的趋势，重力值由南东向北西逐步降(从 −50 mgal 到 −85 mgal 变化)。在三防、元宝山、平英和田蓬岩体部位分别形成 −95 mgal和−80 mgal 为极值的重力低异常中心。重力场在本区形成两条明显梯度带，其一是沿元宝山岩体南端至怀群的北东向梯度带，梯度为 2.5 mgal/km；另一是沿三防岩体北端至元宝山岩体北端的北西向梯度带，梯度为 2 mgal/km。

1. 花岗岩的重磁场特征

本区花岗岩岩体重磁场的一个普遍特征是，岩体部位显示重力低、磁力低，岩体与围岩接触带部位形成由多个局部正高异常组成的磁异常带，构成本区磁力高环绕磁力低的环形磁异常特征。经航磁上延 2.5、5、10 和 20 km 处理，三防岩体中心部位的负磁场向南东方向呈舌状延伸至宝坛地区，负磁场中心位于三防与宝坛之间，反映三防岩体深部向南东倾伏。上延20km。垂向二导异常环形圈闭的磁力高将平英、田蓬、清明山等三个岩体和三防岩体包围在一起，环心负值已成一个整体，说明三防和宝坛两个地区的岩体在深部可能是相连的。三防岩体负磁场向北西延伸，并在杆洞构成一个低值中心，其外围也被磁力高异常环绕，说明在此部位可能存在较三防岩体小得多的一个隐伏岩体。布格重力异常分别在三防和宝坛地区形成重力低异常，上延 15 km 垂向二导显示三防岩体和在深部向北西侧和南东侧延伸，并与磁场在深部的延伸部位相吻合，这进一步说明三防岩体深部形态的分布特征。元宝山岩体的磁场经上延处理后，岩体中心部位的低缓正磁场向北东方向延伸，并显示被磁力高异常环绕的特点，反映岩体深部向北东倾伏。重力异常上延 15 km 垂向二导异常也显示明显的向北东方向展布的特征。

因此，根据岩体深部的重磁场特征圈定它的隐伏形态范围。

在本区花岗岩活动与成矿关系密切，因此，中心重力低、磁力低被接触带的磁力高环绕的重磁组合特征，明显地反映了岩体及其接触带的成矿作用范围；重磁上延所反映的岩体深部倾侧伏形态特征，无疑扩大了本区成矿作用的远景范围。

2. 利用重磁信息解译断裂构造

应用航磁资料推测断裂构造，前人已做过不少工作，判定的依据分别有：1）断裂的发生使断层带中及附近的岩石物理性质发生了变化；2）在断裂带中有地质体侵入，并能引起串珠状异常或线性异常带；3）异常带的水平移动及线状异常带的明显错断或扭曲；4）不同形状特征的磁场分界线；5）线状异常的交叉和切割等。在本区，依据上述判定条件，分别对磁场和它的电算处理资料进行解译，确定主要断裂构造12条，构成本区主要构造格架（见图2）。

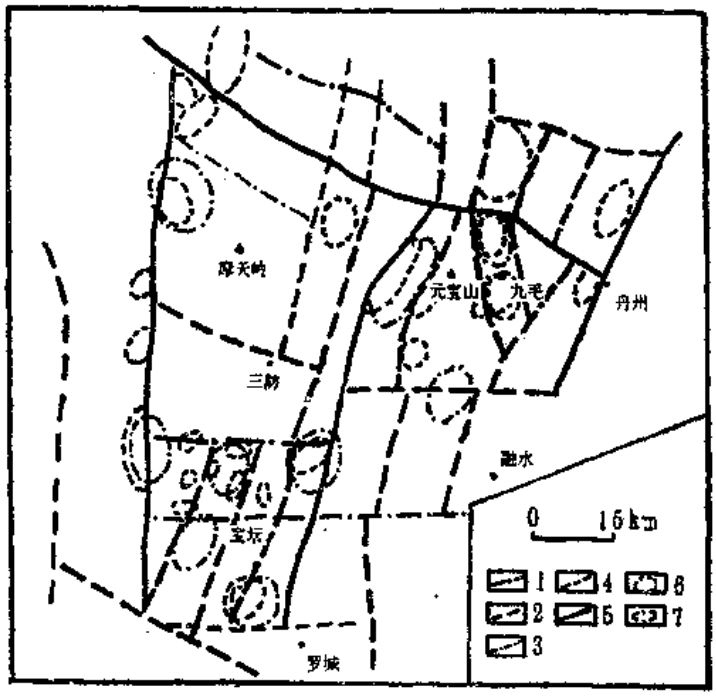


图 2　九万大山—元宝山地区重磁解译断裂构造和航磁异常分布图
1—航磁上延10km仍有显示的推测断裂；2—航磁上延5km仍有显示的推测断裂；3—航磁上延2.5km仍有显示的推测断裂；4—航磁原平面推测断裂；5—重磁吻合断裂；6—航磁异常及编号；7—航磁上延2.5km显示的磁性体界线

解译的断裂构造控制形为表现如下：

（1）航磁上延10 km仍有显示的不同组深断裂交汇，控制着三防、元宝山以及田蓬、平英、清明山雪峰期花岗岩岩体的分布，同时也控制着与上述岩体有关的锡金属矿床的矿化作用范围。

（2）元宝山地区，航磁上延5 km仍有显示的两条北北东向断裂和东西向断裂控制着元宝山岩体深部隐伏范围的东、西、南界，其白竹—龙额断裂与黄金—中寨—安太断裂构成隐伏岩体的西接触带；四荣—安陲断裂与融安—丹州断裂构成隐伏岩体的东接触带。航磁上延2.5km仍有显示的北北西向九毛断裂带为元宝山岩体东接触带出露地表的反映。

（3）宝坛地区，航磁上延2.5 km仍有显示的一系列北北东向断裂与本区一系列的东西向断裂相切，控制着平英岩体周围及下邦洞和龙有局部磁异常的分布，局部磁异常均分布在断裂上或两组断裂的交汇部位。

（4）航磁推测揭示三防岩体内部存在两条北西向断裂。

3. 局部磁异常与矿产分布的关系

局部磁异常主要分布于岩体与围岩的接触带中。其产生主要与花岗岩有关的矿化作用所形成的磁性矿物、热液蚀变带和围岩中的基性-超基性火山杂岩有关。据分析，局部磁异常与矿产分布具有如下规律：

（1）局部磁异常与矿产分布的统计关系

本区磁异常 20 个(分布见图 2),共有矿产地 47 处,其中锡多金属矿产 22 处,与磁异常相关的有 14 处,占该类型矿产数的 63%;铜矿点 11 处,与磁异常相关的有 6 处,占该类型矿产数的 54%;铅锌矿点 10 处,与磁异常相关的有 2 处,占铅锌矿产数的 20%;铜镍硫化物矿床(点) 4 处,基本不与磁异常对应。这样本区共有 22 处矿产地与磁异常直接相关,并且主要是锡多金属矿床(点)和铜矿床(点)与局部磁异常有着密切的联系。

(2) 航磁二次标志与矿产分布的关系

航磁二次标志指的是对航磁经化极、上延、垂向二导和水平一导以及形成的标志特征。本区经上延2.5 km垂向二导数处理后,通过与矿产分布特征(见图3)相关联后发现,全区仅有2—3处矿产分布于垂向二导等值线的正极值部位,而其他大部分的矿产均位于垂向二导的零值附近 $0\pm10\times10^{-7}$ nT/m² 的等值线带内,并且具有如下特征:

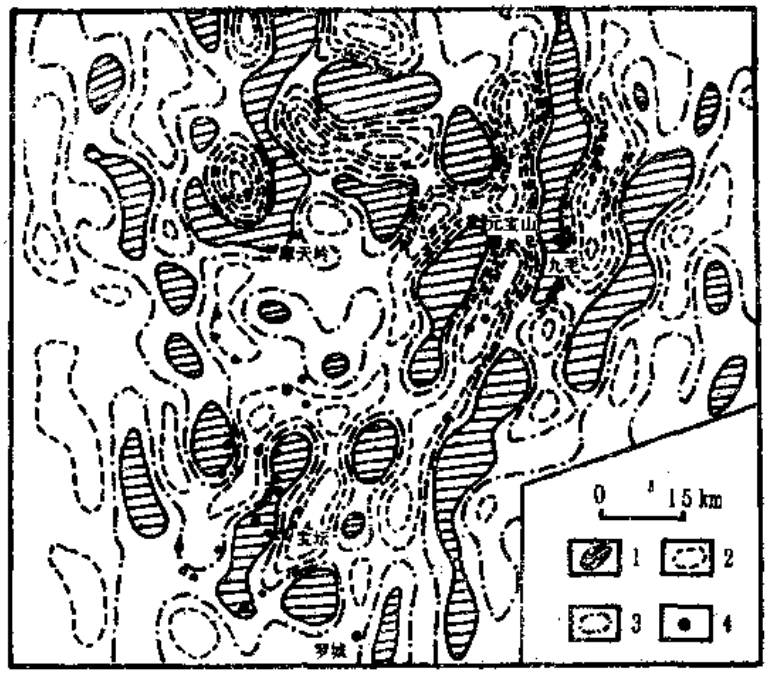


图 3 九万大山—元宝山地区航磁 $\Delta T\rightarrow\Delta Z_{\perp}$ 上延2.5km垂向二导及矿产分布图

1—正磁源体; 2—负等值线; 3—零值线; 4—矿床(点)

a. 矿产分布与等值线分布的形态相吻合,如九小、九江、大竹、五地、加龙、九毛、洞头等地矿床(点)或矿化点的分布特征。

b. 矿产主要分布在垂向二导具有较高浓集中心正值区的零值附近。如鱼四—五地—乔善一带、加龙—四菜一带,而这两条带集中了本区主要的探明储量。

c. 矿产多分布于等值线的转弯处、由密变疏处,如一洞—五地矿床、九毛—六秀矿床和加龙矿床。

d. 垂向二导零线圈定的磁性体分布范围,控制着岩体接触带内矿化区的分布。矿床(点)多产于磁性体的边缘,尤其是靠近岩体内接触带的一侧。

(3) 局部反磁化异常的找矿意义

本区每个花岗岩岩体的接触带均有若干个局部正高磁异常显示,这些磁异常在原平面图中一般为正负相伴随场,且以南正北负分布,经化极处理后负磁场消失,表现出属于感应磁场的性质。但在本区有一处的磁异常属于例外,即位于三防岩体北西端的 M-3 异常为很强的负磁场,经各种电算处理后仍表现出很强的负磁场,初步判定主要是由剩余磁场引起,且磁性体剩余场方向与感应磁场方向相反,呈现反磁化现象。在磁异常范围内,分布有铜矿点 2 处,矿点位于磁场梯度带的负场一侧。磁场上延 20 km 垂向二导异常为一与三防岩体相类似的负异常中心;上延 2.5 km 垂向二导异常为一中心负场,四周正磁场的环形异常。重力上延 15 km垂向二导异常也显示该区为一重力低异常。因此,认为在此部位存在一个隐伏花岗岩体,所明显

显示的反磁化场特征的这一属性经分析认为与旁侧三防的感应磁场再感应所致，并且它形成的时间推测也与三防岩体相近似。反磁化场反映又一个隐伏岩浆活动中心的特征，为今后寻找成矿远景区提供了一个间接找矿标志。

（三）地球化学特征

1. 岩石的微量元素含量特征

四堡群中As、Zn、Sb、W、Bi、Sn元素含量较高，Mo、Au、Ag则相对贫化；板溪群和震旦系均以 As、Zn、Sb 相对富集，而 Mo、Au、Cu 相对贫化。在相对富集的元素中，根据后期成矿作用的叠加强度系数（胡云中，1990），得知本区地层中后期作用显著叠加的成矿元素，震旦系为 As、Mo、Cu；板溪群为 As、Sb；四堡群为 Mo、Sb。

本区花岗岩体中，三防岩体的 Sn、W、Pb，元宝山岩体的 Sn、Pb、Zn，平英岩体的 Sn、W、Cu，清明山岩体的 Sn、Zn，田蓬岩体的 Sn、W、Cu，蒙洞口岩体的 Sn、Pb、Zn 等均相对富集，富集系数在几倍至几十倍之间。

2. 矿体中矿化元素组合特征

本区成矿作用共经历三个成矿期六个成矿阶段，规模较大的锡多金属矿床主要形成于锡石-硅酸盐成矿期的电英岩阶段和锡石-硫化物期的矽卡岩锡铜锌成矿阶段，形成的主要矿床类型的矿化元素组合为：

（1）云英岩型钨锡矿床，以 Sn、Cu、W 为主，As、Bi 次之；

（2）电英岩型锡矿床，以 Sn 为主，Cu、As、Pb、Zn、Bi 次之；

（3）锡石-硫化物型锡铜矿床，以 Sn、Cu、As、Pb、Zn 为主，Bi、W、Sb 次之。

3. 构造-地球化学异常特征

（1）岩体接触带

在岩体的内部和岩体接触带以显示 W-Sn-Bi 异常组合为特征。异常沿岩体接触带环形分布，与出露岩体的边界基本吻合，是岩体接触带的典型异常组合标志。W-Sn、Sn-Bi 异常组合主要在岩体的外围显示，在三防、宝坛地区构成沿九小—大安—怀群—乔善—四堡和元宝山岩体北东外围的环形特征，与应用航磁推测的隐伏岩体范围形态基本对应，并与布格重力异常和重力垂向二导的负重力场源的范围吻合，因此，出露岩体外围 W-Sn-Bi、W-Sn、Sn-Bi 异常组合环形分布是隐伏岩体的化探异常组合指示标志，异常组合的具体显示部位，是岩体蚀变带的发育地段。

（2）控矿构造的化探异常特征

a. 代表锡石-硅酸盐成矿期的 W-Sn、Sn-As 异常组合，主要沿五地—天河、安太—龙有两条北北东向断裂带、三防岩体的北西端接触带、元宝山岩体东接触带外侧安陲和平硐岭—北高近南北向断裂带分布。

b. 代表锡石-硫化物成矿期的锡-多金属成矿元素 Sn-Cu-As-Pb-Zn 组合异常主要分布在元宝山岩体接触带、田蓬、平英、清明山岩体区和沿大安—怀群—天河北西西断裂带中显示。

c. 代表贱金属成矿期的 Pb-Zn-Sb-Ag 矿化元素组合异常主要在宝坛地区南东外围、三防岩体内部的北西断裂、沿大安—怀群—天河北西西向和沿平硐岭—北高北北东向断裂带，呈面型和线型分布。

d. 平英岩体东接触带（即红岗山—沙坪矿区和一洞—五地矿区）、天河、三防岩体北东端接触带、安陲等地，主要显示锡石-硅酸盐与锡石-硫化物两个成矿期叠加作用形成的成矿元素

化探组合异常特点。

e. 宝坛地区化探组合异常与推测半隐伏岩体范围基本对应，并在出露岩体区（田蓬、平英）以Sn-多金属高温组合为主，外围则以Pb-Zn-Sb-Ag等低温组合为主，反映了由岩体中心向外的横向和纵向的元素组合分带特征。五地—天河北北东向断裂带的存在，是深部岩体沿构造带向上活动和矿液的通道，在地表形成化探异常带，含矿构造与大安—怀群—天河北西西向锡多金属含矿构造交汇于天河地区，构成与一洞、五地矿区相同的化探异常特点，是有利的成矿部位。

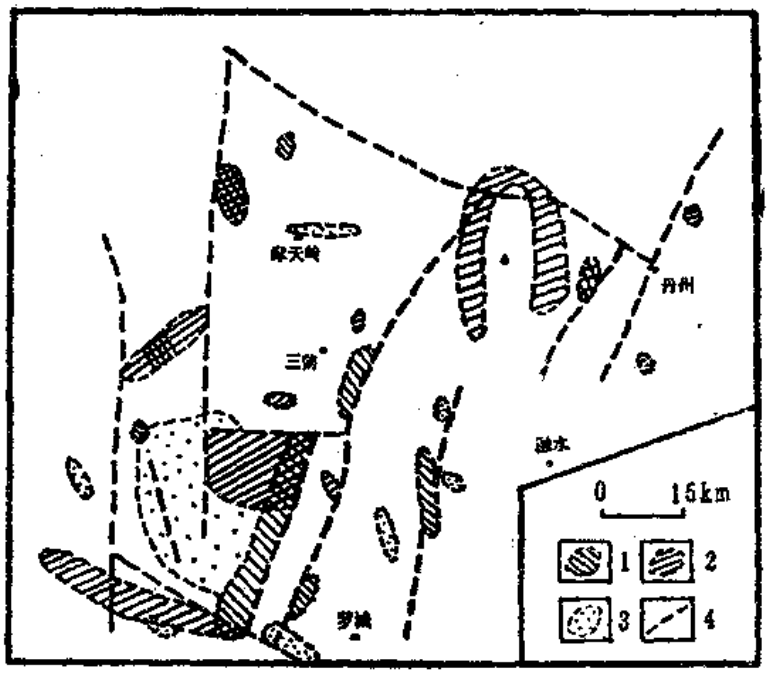


图4 九万大山—元宝山地区成矿元素化探异常组合分布图

1—W-Sn、Sn-As元素异常组合分布区；2—Sn-多金属成矿元素异常组合分布区；3—Pb-Zn-Sb-Ag元素异常组合分布区；4—航磁推测断裂

本区成矿元素化探异常组合分布特征如图4所示。

三、地球物理、地球化学的成矿信息标志

本区锡多金属成矿作用的主要控制因素及过程为雪峰期黑云母花岗岩体的侵入定位→岩体与围岩作用形成的接触带→接触带内有利的地质构造和岩性部位，相应反映出的矿化等级为成矿区→成矿带→矿田。因此，地球物理和地球化学特征也相应能够指示不同等级的矿化信息。

1. 重力低与被四周磁力高所环绕的中心磁力低异常组合，是花岗岩岩体的重磁信息标志；上延10公里航磁解译断裂并与重力梯度带吻合的构造带，是控制本区花岗岩体活动范围的基底深断裂构造带的重磁信息标志。

2. 围绕岩体分布的正高磁异常带和W-Sn-Bi化探元素异常组合，是岩体与围岩接触所产生的蚀变带和矿化带的磁场信息标志和化探异常标志。

3. 岩体接触带内有利的控矿条件组合部位，岩石、矿石磁性较强，常形成局部正高磁异常。利用磁场垂向二导正场区的零值线，可以圈出成矿有利部位的磁性边界，作为矿化作用范围的界线。在此矿床产出部位构造发育，尤以断裂构造，在一定程度上破坏了蚀变磁性带的整体性，使得其内的磁异常强度发生局部变化，如异常强度由强变弱处、梯度等，恰是这些部位，反映构造复合以及矿床（体）产出的有利场所。同理，相应的矿石矿物组合产生，使得这一部位的成矿元素含量与围岩构成差异，形成地球化学异常。本区W-Sn、Sn-As、Sn-Cu-As-Zn、

Sn-Cu-As-Pb-Zn、Sn-Cu-Pb-Zn-Sb 和 Pb-Zn-Sb 等化探异常组合与成矿阶段和矿化元素组合相一致，正是成矿作用在化探异常的反映。其中 Sn-Cu-As 主要是指示电英岩型锡矿床（如一洞、五地）的地化标志，而 Sn-As-Cu-Pb-Zn-Sb 则是锡石-硫化物型锡多金属矿床的地化标志。

四、找矿标志与找矿远景预测

1. 找矿标志

根据本区地质控矿因素、物化探控矿信息指示标志，确定成矿作用地、物、化综合成矿标志为：

（1）雪峰期花岗岩内外接触带，尤其是岩体的转折端、倾侧伏端等是成矿的有利地段；

（2）花岗岩接触带内，航磁垂向二阶导数零线圈定的磁性体范围是指示矿田产出部位的磁性标志；

（3）以 W-Sn、Sn-As 或 Sn-多金属元素为代表的分散流元素组合，或是一种以上的多种异常叠加部位，是指示矿田矿化特征的化探标志；

（4）两组或两组以上含矿断裂交汇部位，是矿田产出部位的构造——化探指示标志；

（5）岩体接触带，靠近岩体一侧，航磁垂向二导零值线附近、局部磁异常之间梯度带、磁异常等值线拐点处、转弯处、由密变疏处等，均是指示矿床（点）产出部位的磁场标志。

据此编制的综合成矿信息规律图如图 5 所示。

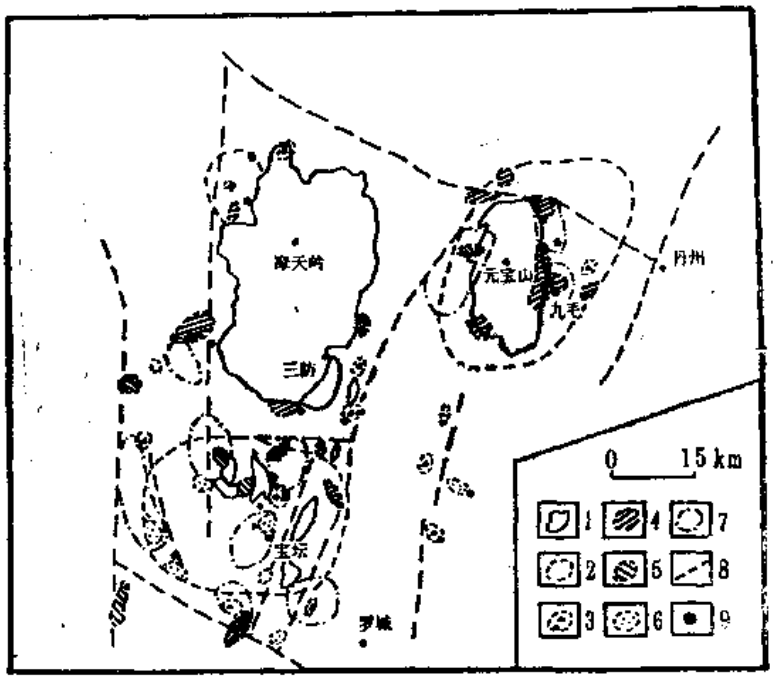


图 5　九万大山—元宝山地区锡多金属矿产综合信息成矿规律图

1—岩体；2—重磁推测隐伏岩体；3—化探 Sn-As 异常组合；4—化探 Sn-Cu-As-Zn 异常组合；5—化探 Sn-Cu-Pb-Zn-Sb 异常组合；6—化探 Pb-Zn-Sb 异常组合；7—磁性体边界；8—航磁推测断裂；9—矿床（点）

2. 找矿远景预测

在地质成矿规律认识的基础上，根据地球物理、地球化学特征及找矿信息标志，认为本区与雪期花岗岩有关的锡——多金属进一步找矿的方向应该是：

(1) 已知出露花岗岩体与围岩的接触带或岩体深部倾伏端等地段内，具有局部磁异常和成矿元素化探异常显示的部位，如三防岩体的西接触带、元宝山岩体的西、北、东接触带和平英岩体的南接触带。在这些部位，成矿条件和找矿标志与一洞—五地、红岗—沙坪以及九毛—六秀等矿床的成矿信息相类似，是寻找以锡铜为主的有利成矿预测区。这里要特别提出的是位于三防岩体北西端接触带的预测区，该区除了具有本区相同的成矿信息外，还在围岩中发育有黑云母斜长花岗斑岩和表现出强烈的反磁化异常特征。该磁场上延 2.5 公里垂向二导显示中心强烈负异常被四周低缓正磁场环绕的特征，推测该部存在一个隐伏小花岗岩体，而正负异常的梯度带指示隐伏岩体接触带的部位。区内有 2 处铜矿点均产于中心负异常的边缘梯度带上，并显示 Sn-Cu-As-Zn 化探异常。因此，认为该区是以铜锡为主的有利成矿预测区。

(2) 地、物、化推测的隐伏花岗岩基范围内成矿条件、找矿标志均有利的地段，如三防岩体与宝坛地区的深部隐伏范围内，位于一洞—五地、红岗—沙坪北北东向断裂带内的天河预测区。该区地层为中下泥盆统的应棠阶和四排阶，岩性为碎屑岩夹灰岩互层，有铅锌矿点产出，断裂发育。磁场经化极、上延、垂向二导处理，该区与红岗—沙坪、一洞—五地等矿区同属一个北北东向正磁异常带，并位于宝坛深部隐伏岩基南缘局部磁异常的梯度带上。化探异常发育，由北向南沿断裂发育有两个组合异常，北侧为 Sn-As-Pb-Sb，南侧为 W-Sn-Bi-Cu-As-Pb-Zn，与红岗—沙坪、一洞—五地矿区的化探异常相类似，所不同的是该区 Pb-Sb 异常发育。因此，认为该区为花岗岩体外围，产于有利断裂构造部位，以铅锌矿化为主的成矿远景区，经定位、定量评价，具有中型矿床的资源潜力。

3. 找矿实效

由广西地矿局第七地质队对三防岩体北西端预测区进行工程验证，在四堡群中黑云母斜长花岗斑岩蚀变破碎带中发现了铜矿脉，目前已追索揭露出大小矿脉 21 条，控制最长的一条矿脉已达 1300 m。矿脉厚度一般为 0.5—1 m，铜品位在 1% 以上，最高为 4.47%。矿石类型为石英脉型，主要矿物为黄铜矿和少量的斑铜矿。目前该区正在工作之中。宝坛南天河预测区目前已由广西石油队列为重要的大比例尺预测普查区之一开展了工作。

本次工作是与广西地矿局密切合作下完成的。在此期间，广西地矿局的黄启勋、王香成、刘永树等高级工程师提供了大量的资料和给予了很大的帮助，在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

[1] 王世称、王於天，1989，综合信息解译原理与矿产预测图编制方法，吉林大学出版社。

[2] 毛景文、宋叔和、陈毓川，1988，桂北地区火成岩系列和锡多金属矿床成矿系列，北京科技出版社。

水系沉积物金化探异常的一种简单筛选方法及其在山西省垣曲县一带的应用

张 晓 华

（中国地质科学院区划室）

地球化学环境对矿产的控制作用，已为广大地质工作者所认同，地球化学异常作为一种重要的找矿标志，在野外地质找矿及矿产预测研究中，起着越来越重要的作用。近年来，随着区域地球化学工作的深入进行及第二轮 1:20 万区域化探扫面工作的进一步开展，在各研究区及工作区内，获得了大量的地球化学资料，为今后地质找矿及地质研究提供了丰富的信息，同时也圈出了数量众多的地球化学异常区。如何对待、如何筛选这些异常，使其在目前有限的经济能力下发挥更大的经济和找矿效益，是摆在广大地质工作者面前的重要任务，尤其是对于野外找矿及成矿预测工作者来说，这更是一个迫切和值得深入研究的课题。

本人在山西省西南部 1:20 万金矿成矿预测工作中，进行了一些这方面工作的初步探索，并取得了一些认识，获得了预期的效果。本人认为，在这里提出的这一方法，作为一种简单、直观的异常筛选方法是可行和适用的，不失为一种对金化探异常进行快速、初步筛选的实用方法。

研究区位于山西省中条山中北部地区，该地区是我国重要的铜矿生产基地。本区大地构造位置属于豫西断隆(II 级)北部中条山断拱(III 级)构造单元中，中条山断拱可分为两个 IV 级单元，其西部是横岭关凸起，东部为垣曲凹断。研究区主要分布于以上两个 IV 级构造单元的结合部位。

区内出露地层主要为新太古界涑水群，古元古界绛县群、中条群和部分长城系、蓟县系及少量古生界，区内岩浆活动主要集中于新太古代(五台期)、古元古代(吕梁期)及新元古代（晋宁期），岩性以基性及中酸性火山次火山岩为主。另有部分燕山期中酸性侵入岩出露。新太古—古元古代的变质结晶基底以塑性变形为主，经过多期构造运动的叠加，形成总体呈北北东向，略呈“S”形的复式向斜褶皱系，形态多呈同斜倒转褶皱，往北东略有收敛。并伴随一系列顺层剥离韧性变形带。中新元古代以后，则以脆性变形-断裂构造为主，尤其是燕山期和喜山期断裂构造较发育，并且这些构造往往具有继承性和多期构造复活特点。本区矿产分布主要以铜为主，是全国闻名的铜矿集中产地。主要矿床为产于绛县群铜矿峪组中的铜矿峪型矿床，产于中条群篦子沟组中的篦子沟、桐木沟、胡家峪、老宝滩等胡篦型铜矿床。这些矿床，与金关系极为密切，除了主要元素铜之外，尚伴生有一定数量的金，构成了一定规模的伴生金矿床。本区已发现金矿产地共 17 处，其中矿床 7 处，矿点、矿化点各 5 处。7 个矿床中，有 5 个为铜伴生金矿床。大部分伴生金矿床均不存在单独的金矿体，金仅与铜矿体共生。矿体含金一般显示出铜高、钴高、金亦高，并且金含量与铜矿体厚度成正比关系的规律性。除此之外，区内具有

工业价值的钴、钼、银、铋等内生金属矿产也均与铜矿或金矿相伴生。区内没有独立的这类矿床出现，均为铜矿的伴生矿产。因此，本区铜矿、金矿与其他内生矿产的关系极为密切，形成了金矿与其他内生矿产相伴生产出的矿产背景成矿环境，同时也构成了金矿产野外找矿的易识别矿化标志和元素标志，为野外的金矿找矿工作，带来了一定程度的方便条件。

研究区所处的地质背景和矿产环境，决定了其所具有的化探及重砂异常分布特征。该区是一个化探及重砂异常集中分布区，各类元素异常密集出现。化探异常主要出现有 Au、Cu、Pb、Zn、W、Mo、Bi、As、Ba 等多种元素。重砂异常主要出现有 Au、Cu、Pb、W、Bi、Mo、As 等族矿物。多数异常均为多种元素或多种矿物组合异常。化探及重砂异常主要集中分布于涑水群、绛县群、中条群这三组古老变质地层中，尤其是涑水群与绛县群接触地段，异常更是成群出现，一旦超出这些地层，各类异常出现频率马上变小，异常强度也随之降低。化探及重砂异常总体展布方向与区域主体构造方向——北北东向相一致，异常展布受构造控制作用较为明显。

山西省地矿局物探大队将 1:20 万水系沉积物化探资料，按区内不同时代地层及主要岩浆岩划分单元，分别统计了各单元不同元素平均含量、标准离差、异常下限、背景平均值等背景参数。就 Au 元素来讲，在区域上，Au 元素平均含量除燕山期花岗岩最高(3.60×10^{-9})之外，其余依次为绛县群(3.46×10^{-9})、中条群(3.18×10^{-9})和涑水群(2.64×10^{-9})。其他三个参数(标准离差、异常下限和背景平均值)也表现出大致相同的规律性。就Cu元素来讲，元素含量平均值最高者为绛县群(107.86×10^{-6})，其余依次为燕山期花岗岩(51.02×10^{-6})、中条群(34.90×10^{-6})和涑水群(34.54×10^{-6})，其余三个参数也表现出了相同的规律性。由此可以看出，从区域上来讲，Au 元素和 Cu 元素含量最高的主要地层是古老变质结晶基底，并且这三类地质体在 Au、Cu 含量顺序上是一致的，从高到低均表示为绛县群——→中条群——→涑水群的含量顺序。燕山期花岗岩，在区域上绝大多数分布于古老变质结晶基底范围内。其 Au、Cu 含量高，可能是在岩浆活动时，淬取、富集了围岩的 Au、Cu 元素而造成自身含量较高。另外，从本区金矿床(点)空间分布特征来看，产在老古变质结晶基底内的矿床(点)约占矿床(点)总数的 72% 左右。而区内铜矿床(点) 几乎全部产于古老变质结晶基底内。由此可以看出，本区 Au、Cu 矿床矿源可能来自古老变质结晶基底，至少这类地层也是产出 Au、Cu 矿床的有利地层环境。

同时，区内化探原生晕资料表明，区内 Au、Cu 高含量基本是相伴出现，并且有 Au 高 Cu 也高的正相关关系。

依据综上所述研究区的地层、构造、岩浆岩、区域矿产及地球化学特征，选用直接指示成矿和找矿预测的 1:20 万水系沉积物化探测量和 1:20 万重砂测量资料作为最主要和最基本的信息基础。

我们知道，水系沉积物化探测量资料，是岩(矿)石经过表生作用表现出的岩(矿)石化学成分的直接信息，可以用来推测地质体的化学成分及元素含量特征，而重砂测量同样是岩(矿)石经过表生作用，其中保留下来的，在一定范围内较为稳定的岩(矿) 石矿物成分信息的直接反映，可以用来推测地质体的矿物成分及矿物组合特征。水系沉积物化探和重砂所表现的信息，各自代表了地质体成分特征的不同侧面。并且，二者的形成机制具有很大的相似性，都是岩(矿)石在表生作用下，经过风化、剥蚀、搬运等一系列作用的产物，而且二者的范围是大体一致的，也就是说，它们二者虽然都以各自的特点和规律性进行迁移，但一般都是从地势高的位置

向地势低的位置迁移，并且一般均不超出取样点所表示的有效汇水盆地范围。从二者所表现的异常范围的相似性，即相同或相近取样点所表示的有效或作用范围是相同的，异常点所代表的并非是一个点异常，而是反映取样点所表示的整个最小汇水盆地内所具有异常。就这一点而论，它们二者具有一致性。因此，我们利用取样点所代表的最小汇水盆地来表示异常范围，并且在此基础上进行进一步的研究工作。

依据这一认识，首先对水系沉积物和重砂资料进行了必要的预处理，预处理主要过程如下：

1. 利用 1:20 万地形图资料在研究区内划分出面积适中的汇水盆地。
2. 将水系沉积物化探及重砂异常点投于所画出的汇水盆地图上。
3. 以异常点所在的汇水盆地作为圈定异常的边界，圈出以汇水盆地为边界的化探或重砂异常。

以上重新圈定的异常为基础，继续进行下一步的工作——研究区的金化探、重砂异常分布，如图 1 所示。

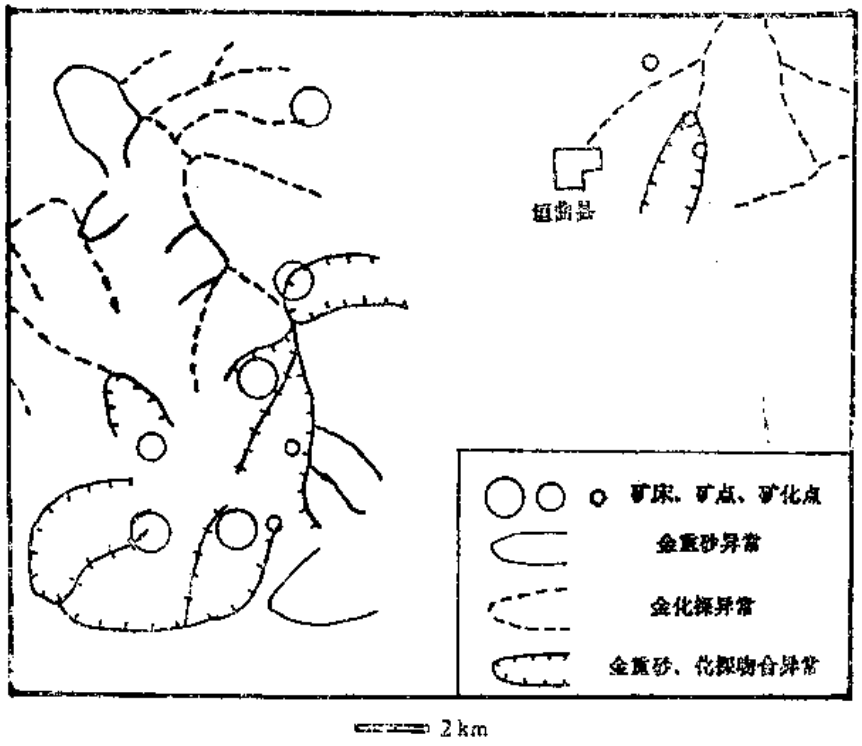


图 1　坝曲县周围金重砂、化探异常与金矿关系图

由图 1 可以看出，研究区金矿与金化探异常的关系极为密切，金矿床(点)几乎全部位于金化探异常内，金化探异常的找矿预测指示作用也表现的十分明显。金矿床(点)的产出，一般不超出金化探异常表示的范围。同时，金矿与铜化探异常的关系也较为密切，金矿床(点)基本产于异常范围内，受异常的指示和控制作用，较为明显。此外，Pb、Zn、Mo、W、As 等化探异常与金矿的关系也较为密切，金矿床(点)基本产于这些异常范围内或其周围。

由图 1 也可以看出，研究区金矿与金重砂异常也具有较密切的关系，在金矿床(点)产出地段，一般均有相应的金重砂异常相伴出现。只不过重砂异常种类，随地段的不同，有时会有不

同的异常组合。一般说来，金矿与金重砂异常关系最为密切。金矿床(点)产出地段，基本均有金重砂异常存在。除金重砂异常之外，金矿与铜、钨等重砂异常的分布也有一定的相关关系，但其指示和控制作用均不如金重砂异常明显和重要。

面对数量众多的化探、重砂异常，对其一一进行检查和评价工作，在经济、人力、物力上是不允许的，实际上也是不现实的。如何对这些异常进行筛选，是一个摆在我们面前的迫切而又重要的任务。

考虑到水系沉积物化学元素和重砂矿物在迁移路径及迁移范围等特征的一致性。我们采用将二者相结合，通过互相对比的方法来进行异常的初步筛选。根据以上的本区金矿与化探、重砂异常关系的密切程度及化探、重砂异常对金矿指示作用的大小，我们选择了金元素的化探和重砂异常来进行初步评价。具体方法是将以汇水盆地为异常范围的金化探及金重砂异常进行扣合，在图上形成了三种形式的异常，即单独的金化探异常，单独的金重砂异常和金化探重砂吻合异常。本区的扣合结果如图 1 所示。从这三种异常中选出重砂化探吻合异常，作为初步筛选出的重要异常和进一步工作对象。这样就可大大减少化探异常的数量，而其质量则有所提高。虽然所筛选出的金重砂、化探吻合异常对成矿的指示作用有所下降，而变得与重砂异常的指示作用相近似。但总体来说，它的指示作用仍然是十分明显和十分重要的。

由图 1 可以看出，研究区共有金矿床(点)11 处，其中矿床 5 处，矿(化)点 6 处。在 5 个矿床中，有 4 个落入金重砂、化探吻合异常范围内，占 80%，而 6 个矿(化)点中，有 4 个落入金重砂、化探吻合异常范围内，占 66.67%。对总体 11 个矿床(点)来说，落入金重砂、化探吻合异常范围内的共有 8 个矿床(点)，共占 72.7%。也就是说经过这种简单的异常筛选，指示找矿的有用信息保持率大约在 70% 左右，信息损失率可能在 30% 左右。整个研究区所圈出的金化探异常共有 18 处，而筛选后所剩的重砂、化探吻合异常仅剩 8 处，占异常总数的 44.44%。用 44.44% 的异常，表示出总体 70% 左右的信息，这在效益上是可行的和值得的。

在这里，我们仅仅考虑了找矿预测指示作用最大的单一金元素重砂、化探异常，如若增加与金关系较为密切的 Cu、Pb、Zn、W、Mo、Bi、Ag、As、Hg、Sb、Ba 等元素，并且将异常强度等因素考虑在内，可以预见预测效果还会更好，有用信息的保持率还会提高，信息损失率还会下降。

利用重砂、化探吻合异常来对化探异常及重砂异常进行初步的筛选，这虽是一种十分简单，但却直观、有效的方法，在经济上及效率上也是合算的。当然这仅仅是一种简便的异常筛选方法，和其他多种筛选方法和筛选手段相比，简单、直观是其最突出的特点。在地质找矿及成矿预测中，如果将这一方法和其他异常筛选办法、手段相互配合使用，互相验证，互相补充，相信找矿和预测效果将会更好。

参 考 文 献

[1] 《中条山铜矿地质》编写组，1978，中条山铜矿地质，地质出版社。

[2] 山西省地矿局区调队，1989，山西省区域地质志，地质出版社。

[3] 王世称等，1990，金矿综合信息评价方法，吉林科学技术出版社。

[4] 栾世伟等，1987，金矿地质与找矿方法，四川科学技术出版社。

浙江省遂昌治岭头金银、铅锌矿床地质－地球物理－地球化学找矿模型及应用

吴　江　涛

（浙江省地球物理地球化学勘察院）

浙江省治岭头金银矿床发现于60年代中期，70年代至80年代中期，经过普查、勘探，已探明一个中大型金银矿床，后又经多方面地质、地球物理、地球化学各项研究工作，取得了丰富的资料与研究成果。1989年浙江省地质矿产厅决定在本区开展大比例尺成矿预测，在工作中建立了综合信息成矿模型，对矿区外围的地球化学异常开展了综合信息定量评价，并经钻探初步验证，取得了良好的找矿效果。

一、地质-地球物理-地球化学找矿模型

（一）矿区地质概况

矿区内主要出露陈蔡群变质岩及上侏罗统磨石山组火山岩，火山岩覆盖变质岩之上，两者呈不整合接触。

区内断裂构造极发育，以北西向、北东向和近南北向为主，各种脉岩比较发育。矿床的产出明显受地层和构造因素控制，陈蔡群的黑云斜长片麻岩及含石榴石斜长片麻岩构成金银矿床的主要赋存围岩，主要矿脉均沿矿区张性断裂的方向呈145°—180°/∠40°—50°的产状产出，金银矿体在西端出露地表，沿不整合面向东侧伏（图1）。铅锌矿产于火山岩盖层内，是金银矿勘探时偶然发现，地表矿化未圈定矿体。

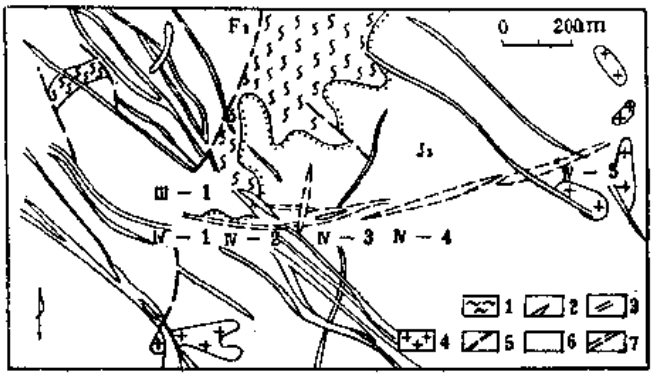


图1　治岭头银坑山金银矿区地质图

J_3—上侏罗统火山岩；1—变质岩；2—基性脉；3—霏细斑岩带；4—花岗斑岩；5—断层；6—含银矿体；7—矿体地表投影（500m）

矿物组合除金银矿物系列外，主要矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、金银矿等；脉石矿物以石英为主，构成了区内贵金属与贱金属的矿床组合。

近矿围岩蚀变强烈，金银矿化有硅化、黄铁矿化、锰碳酸盐化。铅锌矿主要有绿泥石化，绿帘石化黄铁矿化等。

（二）矿区地球物理、地球化学特征

1. 地球物理特征

岩矿石的地球物理特征：从表 1 可知，区内矿石磁性普遍弱；金银围岩黑云斜长片麻岩类，无磁性至弱磁性；其磁化率(κ)与剩磁(J_r)均为 0—$50\times10^{-6}\times4\pi\cdot10^{4}$T，其电阻率一般为 1600—5600 Ω·m。铅锌多金属矿石及黄铁矿石具低阻弱磁性，$\kappa=200\times4\pi$—$500\times10^{-6}\times4\pi$ SI。上侏罗统火山岩中的凝灰质砂砾岩、凝灰岩和流纹岩具相对低阻和中强磁性，视电阻率为 1000—2000 Ω·m，磁化率 $\kappa=200\times4\pi$—$600\times10^{-6}\times4\pi$SI。

表 1　岩矿石物性参数表

岩矿石名称	极化率 $\eta(\times10^{-2})$	电阻率 $\rho(\Omega\cdot m)$	磁化率 $\kappa(10^{-6}4\pi SI)$	剩余磁化 $\bar{J}_r(10^{-6}4\pi\cdot10^{4}T)$
黑云斜长片麻岩	7.6	2200～5600	0	0
蚀变黑云斜长片麻岩	2.57	1570	50	0
黄铁矿石	20.9	9290	400	290
多金属矿	20.2	<1500	500	530
凝灰岩	4.2	1300	200	230
流纹岩	2.2	7690	160	250
安山玢岩	2.0	2100	3460	150
辉绿岩	3.70	5184	4300	200
霏细岩	4.7	3061	1100	180
花岗岩	3.0	>6400	0	85
金银矿石	22.8	12400	0	0
凝灰质砂砾岩	0.8	1000	600	700

上述资料表明，矿脉与围岩及火山岩盖层之间有一定的物性差异，为利用磁性和电性资料，进行综合信息预测找矿提供了依据。

2. 矿区地球化学特征

岩矿石的地球化学特征见表 2，由表可知：矿区变质岩中的 Au、Ag、Cu 元素比火山岩高，而 Pb、Zn 则比火山岩低。

表 2　岩矿石地化参数特征表

岩石名称 \ 元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sn	Mo
	平均含量($\times10^{-6}$)						
金银矿	13.33	275.13	683	2088	4172	12.3	18.4
片麻岩	3.5	0.15	46	5.6	160	6.2	1.5
流纹斑岩	0.89	0.048	17.8	120	123	6.4	1
霏细岩	0.99	0.05	32.6	24.4	53.3	4.06	1.78
花岗斑岩	0.6	0.05	22	67	114	8.3	1.6
凝灰岩	1	0.094	5.9	42.6	24.2	2.24	2.22
火山岩中铅锌矿	0.042	27.82	255	25800	61000	38.2	57.2

3. 矿床地球化学异常特征

根据原生晕地球化学测量结果，光谱半定量分析资料进行整理，选择 Au、Ag、Cu、Pb、Zn As、Sn、Mo 等元素，元生异常元素空间分布规律特征及矿床原生分带序列进行研究。

(1) 矿床原生晕地球化学异常空间分布特征

据 L_{28} 勘探线钻孔岩石分析结果，对成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Mo 分别作了原生晕异常剖析图(图 2)，异常等量线值及异常下限值不低于 3 倍的背景众值。伴生元素以 2—3

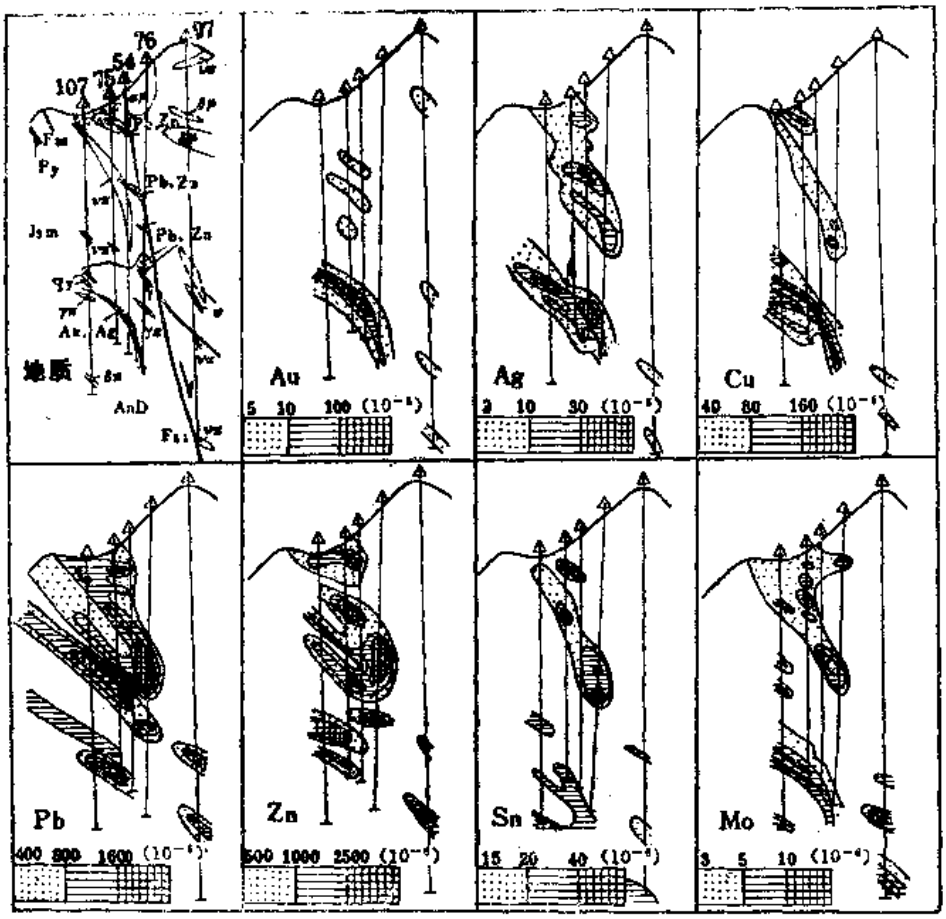


图 2 IV-4 矿体(L_{28}线) 岩石地球化学异常图

倍的背景众值为异常下限，对异常浓度带的划分采用 AHT 的表达式，把晕分成三个浓度带：外、中、内三带。由图 2 可见，成矿元素 Au、Ag 主要元素异常呈带状沿矿体展布；异常范围均大于矿体范围，出现明显浓集中心；$Au>0.1\times10^{-6}$，$Ag>10\times10^{-6}$，高浓度带，围绕矿体成晕。金银矿体上盘火山岩盖层，出现 Pb、Zn 成矿元素异常明显具浓集中心；$Pb>1000\times10^{-6}$，$Zn>10000\times10^{-6}$ 的高浓度带，Pb、Zn 异常套合性好，浓度分带清晰。明显出现变质岩中的金银矿地化异常与火山岩中的地化异常是不同成矿作用，不同成矿阶段，两者在时间上形成先后和空间分布上的叠加。

(2) 矿床指示元素分带序列

研究矿床原生分带序列按垂直分带(轴向分带)，从上向下元素组合分带变化规律，对矿床 L_{12}、L_{18}、L_{24}、L_{38}、L_{28}、L_{32} 勘探线进行计算，金银矿分带序列：As、Sb—Au、Ag—Cu、Pb、Zn—Sn、Mo。而铅锌矿床分带序列：Mn、Ag、Au—Pb、Zn、Cu—Sn、Mo 的轴向分带序列，基本与异常分布特征一致。

(三) 综合信息找矿模型

综合矿区(床)地质找矿标志，地球物理、地球化学与矿体信息显示，归纳成治岭头金银、铅锌矿床地质-地球物理-地球化学找矿模型，详见图 3、表 3。

从表 3 与图 3 可见，金银矿与铅锌矿具有不同的成矿地质环境，同时也反映出不同的成矿地质特征及不同的找矿标志。因此，在成矿预测工作时必须对不同的预测对象（金银与铅锌）

表 3　地质-地球物理-地球化学找矿模型

标志分类		信息显示	
		金银矿床	铅锌矿床
地质	地层	陈蔡群变质岩	上侏罗统火山岩
	构造	近东西向断裂控制成矿带分布	北西及北北西断裂及火山通道控制成矿带
	岩石	片麻岩，强裂碎裂岩化出现	次火山岩和中酸性岩体出现
	矿化	普遍发育硅化、黄铁矿化	黄铁矿化、地表有铁帽
	蚀变	锰碳酸盐化	绿泥石化、绿岩石化
	围岩	黑云斜长片麻岩	火山碎屑岩、火山熔岩
地球物理	探测目标目的物物性地面异常	金银矿脉 无磁-微磁，中-低电阻率，高极化率 视电阻局部异常梯度带，有高极化率异常出现，相对形态不规则，幅值不高的磁异常	铅锌多金属矿脉 微磁-弱磁、低阻，中-高极化 低电阻率和高极化率异常显示，与低磁异常相对应
地球化学	土质异常	As、Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Mo等元素组合，异常套合较好，其中Au、Ag元素浓集中心明显	Mn、Ag、Pb、Zn、Au、Sn、Mo等元素组合，异常套合较好，其中Pb、Zn、Ag元素浓集中心明显
	岩石异常 前缘元素	Hg、As、Sb元素异常范围大	Mn、Ag元素异常范围大
	岩石异常 成矿元素	Au、Ag元素含量高，范围大。具浓集	Pb、Zn、Ag、Cu元素含量高，范围大，浓集中心明显
	岩石异常 尾部元素	Sn、Mo元素含量低，异常范围小	Sn、Mo元素含量低，异常范围小

采取不同地质变量，分别进行预测。本文应用已建立的综合信息找矿模型与地表的地球化学异常进行关联，进一步选用异常区的成矿地质特征，应用信息量法，评价地球化学异常的成矿有利度，选出普查找矿基地。

二、成矿预测

治岭头金银矿床位于华峰尖火山通道的西侧，金银矿产于基底变质岩系，上部火山岩盖层内产有铅锌矿，此类矿床正产于火山通道的环状断裂带内，环状断裂带形成明显的环状分布地球化学异常，这类地球化学异常可能与铅锌矿有关，对异常开展进一步分析研究，进行成矿预测。

（一）因子分析

利用土壤测量成果所圈定的地球化学异常进行因子分析研究了全区异常的矿化类型及元素共生组合关系，对成矿元素评价，并计算每个异常各个成矿因子的得分值，用得分值大小衡量化探异常成矿远景。

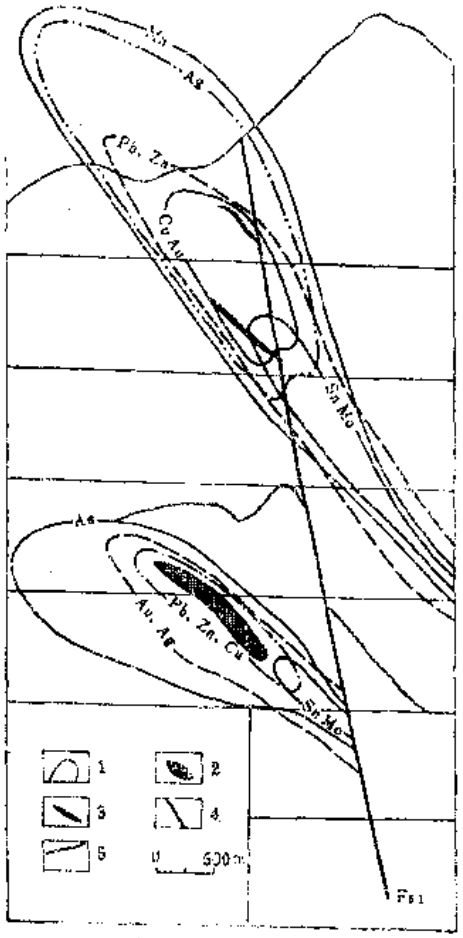


图 3　治岭头金银铅锌矿床原生异常模型图

1—各元素异常；2—金银矿体；3—铅锌矿体；4—断层；5—不整合地质界线

将矿区内20个异常为单元，选用Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sn、Mo等8个元素为变量，进行主成矿因子分析，分析结果列于表4和表5。

表4 R型因子载荷

因子 / 变量	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Au	−0.096	0.017	−0.945	−0.169	−0.214
Ag	0.081	0.891	−0.382	−0.052	0.044
Cu	0.056	0.923	0.286	−0.155	−0.025
Pb	0.899	0.104	0.032	0.235	0.081
Zn	0.974	0.151	0.073	0.062	0.079
Sn	0.830	−0.101	0.064	−0.089	0.311
Mo	0.276	0.027	0.233	0.248	0.881
As	0.107	−0.169	0.165	0.925	0.205
方差贡献	3.11	1.97	1.21	0.73	0.48
累积方差贡献	38.9	63.5	78.6	87.7	93.8

表5 因子得分表

异常号	因子得分值				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
1	−0.59	−0.35	0.85	0.89	−1.11
2	0.24	1.10	−2.38	0.299	0.86
3	1.23	−0.27	0.34	1.49	0.79
4	1.92	−0.21	0.086	1 31	0.71
5	2.30	−0.43	0.45	−0.71	−0.33
6	−0.28	3.76	1.08	−0.15	0.1
7	0.002	1.003	−0.009	−0.51	−1.51
8	−0.72	0.61	0.63	−0.09	−0.99
9	0.53	0.027	0.43	−1.39	0.38
10	0.04	−0.19	0.77	1.11	0.39
11	−0.19	−0.49	0.51	−0.22	−1.59
12	−1.16	−0.12	0.04	2.24	0.9
13	−0.13	−0.07	−1.24	−0.18	0.41
14	−0.92	−0.38	0.398	0.89	−0.06
15	−0.21	−0.28	0.196	0.04	0.68
16	−0.37	−0.35	−1.34	−0.06	−1.25
17	−0.33	−0.46	0.158	0.62	−1.08
18	0.84	−0.69	0.82	−1.37	1.72
19	−0.29	−0.25	−2.28	−1.03	−0.46
20	−0.92	−0.71	0.387	−0.93	1.42
方差贡献	3.11	1.97	1.21	0.73	0.48
累计方差贡献	38.9	63.5	78.6	87.7	93.8

1. 元素组合规律

由表4可见对于三个主因子，把原始变量中对成矿元素信息集中78.6%，主因子F_1为Pb、Zn、Sn元素组合；主因子F_2为Cu、Ag元素组合；主因子F_3为−Au、−Ag元素组合；F_4、F_5

各自成为分散因子。F_1 因子代表了 Pb、Zn 的成矿作用，F_2 因子代表了 Cu、Ag 的成矿作用，F_3 代表了 Au、Ag 的成矿作用。

2. 利用成矿因子得分值评价异常

由表 5 所示：以得分值大于±0.5 为限，选取成矿最有利异常；已知矿床及矿点引起的化探异常，成矿因子的得分值均较大。(1)银坑山金银矿为 2 号异常，成矿因子 F_3 因子得分值为−2.38(F_3 为负因子)。(2)银坑山中段地表铅锌矿化为 3 号异常，成矿因子 F_1 得分值 1.23。(3)局下北 Cu、Ag 矿点为 6 号异常，F_2 得分值 3.76。由表 5 可见，有利于寻找铅锌矿的 F_1 成矿因子有：4、5、9 号异常；有利于寻找铜银矿的 F_2 成矿因子有 6、7 号异常；有利于寻找金银矿的 F_3 成矿因子得分为负得分，得分值高异常的有 16、19 号异常。以上均为矿区开采污染异常。从异常分析，本区寻找金银矿不利。2 号化探异常是治岭头金银矿床所在位置，F_2、F_3 因子均高得分，而 F_1 因子也有显示，说明 2 号异常具 Pb、Zn 矿床与 Au、Ag 矿床复合叠加。

(二) 信息量法

应用信息量法对本区的地化异常作出定量评价。单元划分与因子分析相同，有所区别的是 3 号单元包括(3-1)、(3-2)。本区 22 个单元参加信息量计算，其中 2 个单元为已知矿体单元，2 号为金银矿体单元，3 号为铅锌矿单元，见图 4。

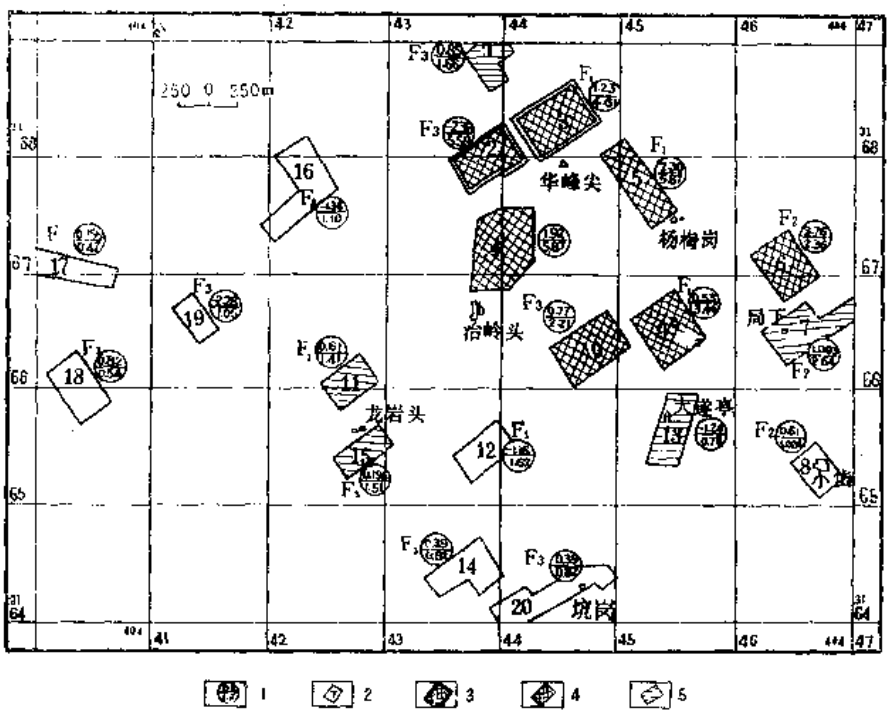


图 4　遂昌治岭头矿区外围成矿远景图

1—因子得分值，信息量 $\Sigma_j A_j \to B$；2—单元(异常)及编号；3—已知矿床单元(异常)及编号；4—预测找矿最有利单元(异常)；5—预测找矿有利单元(异常)

1. 标志状态信息计算

分析本区化探异常与地质体对应的地质特征，建立 7 个地质标志，各个地质标志又分若干个标志状态，共确定了 23 个标志状态。依各标志状态对信息量计算结果见表 6 所示。由表可见，找矿信息量较大的标志状态为有利找矿标志状态。该区各标志状态所提供找矿信息量较

表 6　各标志状态信息量计算表

标志 (A)	标志状态 (j)	编号	信息量 N=2 N_j	信息量 S=22 S_j	$(IA_j \to B)$ $\log\left(\frac{N_j/N}{S_j/S}\right)$	排序
地层	变质岩	1	1	7	0.196	17
	火山岩、次火山岩	2	2	20	0.041	23
断裂构造	北北东	3	1	9	0.096	22
	北西	4	1	7	0.196	15
	北北西	5	1	7	0.196	16
	近东西	6	1	3	0.565	1
	火山通道边缘	7	2	6	0.565	2
围岩蚀变	绢云母化	8	1	5	0.343	6
	黄铁绢英岩化	9	1	6	0.264	9
	绿泥石化	10	1	8	0.138	20
	硅化	11	2	13	0.228	14
	黄铁矿化	12	2	6	0.565	3
化探异常	Au元素异常	13	2	15	0.166	19
	Ag元素异常	14	2	19	0.064	21
	Cu元素异常	15	2	9	0.388	5
	Pb元素异常	16	2	9	0.388	4
	Zn元素异常	17	2	10	0.342	7
重砂异常	铅族	18	1	6	0.264	11
	黄铁矿	19	2	11	0.301	8
磁异常峰值	弱磁<200nT	20	2	15	0.166	18
	峰值200nT—500nT	21	1	6	0.262	12
电法异常	低阻：ρ_s<5000Ω·m	22	2	12	0.264	10
	高极化率：M_s>5%	23	2	13	0.229	13

大者依次为：

(1) 断裂构造近东西向及北西、北北西向；

(2) 地磁推断火山通道边缘；

(3) 围岩蚀变黄铁矿化，绢云母化；

(4) 化探异常 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 元素具浓集中心异常；

(5) 磁异常峰值 200—500 nT，电法异常具低电阻率高极化率异常。

2. 各主要变量标志地质意义

(1) 断裂构造：近东西向断裂，一般多具张性张扭性质，控制成矿带分布。北西及北北西断裂多数是北东向断裂的配套构造，该组断裂有大量晚期脉岩充填，是本区岩浆热液活动的一种标志，也是晚期黄铁矿、多金属矿脉充填的一组断裂方向。

(2) 围岩蚀变及电性特征：已知矿体围岩蚀变以硅化、黄铁矿化为主，蚀变的强度和宽度与矿液活动强度有关，矿脉厚，蚀变带就宽，以黄铁矿化为主的硫化物矿化及蚀变带则形成低阻高极化电性特征，有利寻找多金属矿床远景。

(3) 磁异常峰值：反映出露和隐伏岩体分布范围，地磁异常峰值 200nT—500 nT时，则指示岩体中心范围，同时铅锌矿体分布的最佳空间为 200 nT 磁异常左右。

(4) 化探异常：Au、Ag、Pb、Zn、Cu 元素为本区寻找金银、铅锌多金属指示元素。

根据各单元找矿信息计算结果，见表 7、图 4。从表 7、图 4 可见，6 号异常其总信息量为 2.361，经踏勘检查，发现地表具有远景的矿化带。全区 22 个单元中，信息量大于 2 者 10 个，其中已知有矿单元 2 个，未知单元 8 个，信息量得分大于 4 的有 2、3、4、5 号单元，是本区成矿最富集地段，具有良好的找矿远景。经过进一步工作，5 号单元经钻探验证，已找到铅锌、多金属工业矿体，为矿山提供后备资源。

表 7 找矿信息量表

异常号	信息量 $\sum_j A_j \to B$	有利单元
1	1.664	
2	5.592	△
3	4.605	△
4	5.867	△
5	5.871	△
6	2.361	
7	2.636	
8	1.004	
9	3.463	
10	2.205	
11	1.412	
12	1.62	
13	0.78	
14	0.822	
15	1.505	
16	1.10	
17	0.468	
18	0.539	
19	1.052	
20	0.822	
3—1	2.598	
3—2	3.786	△

三、结　论

通过对本区地化异常区的成矿地质特征研究，并应用综合信息找矿模型研究分析本区可能出现的成矿类型和各类型控矿因素，选用因子分析和信息量法，对本区地化异常作定量评价，证实了应用综合信息预测找矿，可取得显著的找矿效果，为治岭头矿区外围地质找矿和矿山发展展现了新的前景。

应用区域地球化学资料开展内生金属矿产成矿预测的研究

金丕兴　何起良

（吉林省地质矿产局）

八十年代以来，我国大部分地区都开展了第二代区域化探扫面，有些重要成矿区带还开展了1:5万区域化探。其覆盖面积之大、测试元素之多、测试精度之高、成果质量之好都是空前的。对这部分资料和成果的合理利用，深入开发研究，特别是在基础地质研究、区域地球化学研究和成矿远景区划等方面已成为不可缺少的重要组成部分。但是长期以来对区域化探成果的解释推断仅仅停留在对化探异常上，就异常论异常等传统方法一直影响着区域化探成果的扩展和开发应用。

吉林省地矿局在全省开展中比例尺成矿预测时对区域化探资料成果的应用进行了研究，并在成矿预测中取得了明显的效果。本文以吉林省中比例尺成矿预测为例作一简要介绍。

一、基本思路

地球化学图上能够反映多种元素的分布模式、元素组合特征、元素浓集特征、浓度梯度变化等。也就是说元素的分布、分配具有明显的方向性、地区性和差异性等，所有这些标志性特征，直接反映出地质构造环境、地质体和成矿作用的某些特征及空间分布。通过大量的数据处理宏量元素、微量元素、成矿元素含量变化、演化特征及其组合规律来研究成矿地质背景，实践证明不仅是可行的，而且是非常有效的。

化探找矿，首先要找局部异常，而局部异常是与区域背景相对应而存在的，因此要从区域背景场的研究做起。关于区域地球化学场的认识，我国采用地球化学场这一名词一开始是在成矿预测方面（范永香，1981），在《成矿预测研究中值得注意的几个问题》一文中指出“地球化学场是一定区域中化学元素分布和分配情况及迁集活动历史”（於崇文，1986）。在《地球化学的理论体系与方法论》一文指出：“地球化学作用在时间上表现为发展和演化过程，并常具韵律性的时间结构；在空间上表现为地球化学场，并且有局域化的空间结构。”前苏联的《岩石化学测量与普查方法》一书对地球化学场的论述，是综合了前苏联各地球化学家的观点的综述：“地球化学场乃是化学元素在地质产物中分布情况的一种整体表现，而这种表现又是随时间和空间而变化的，地壳的地球化学场在一套复杂的内生和外生旋回作用的影响下不断地受到改造。例如同生过程的特点是主要造岩组分和混入元素的行为具一致性，后生作用过程则破坏这种原始分布，可能导致微量元素在地壳中发生极大的分异和富集。”根据这些论述，可以明确以下

几点认识，一是地球化学场是客观存在的，问题是对它表达和描述而采取的技术与方法；二是地球化学场的成因类型基本可分两类，即同生过程（岩石形成过程）称为同生地球化学场（同生场），后生变化过程（成岩改造过程包括热液交代蚀变等）称为后生地球化学场或叠生地球化学场（叠生场）；三是地球化学场具有分区性，可根据元素含量水平、元素组合特点进行场区的划分，反映其结构的特征。

二、研究内容与要求

（一）地球化学系列图

- 地球化学图
  - 单元素
    - 单元素地球化学图
    - 单元素衬值数据图
    - 单元素衬度等值线图
    - 单元素衬值异常图
  - 多元素
    - 单一组合累乘值等值线图
    - 矿化类型组合异常图
    - 多元素多组合综合异常图
  - 综合图
    - 地球化学分区图
    - 构造地球化学图
    - 地球化学找矿远景区划图

（二）区域地球化学场研究

区域地球化学场的研究是地球化学分区的基础，是地球化学找矿远景区划的基础，也是地球化学异常研究的基础。主要研究内容有：

1. 元素含量水平分区，一般可划分出：

（1）高值区-富集场区；

（2）背景区-正常场区；

（3）低背景区包括低值区-贫乏场区。

2. 元素组合类型分区，首先将已测试的39种元素按地球化学性质划分为两大类，一是反映成岩过程有关的元素组；二是反映成岩后改造或叠生的以成矿作用为主的元素组。一般来说前一大类可划分为碱土金属元素组，铁族元素组和稀碱-稀有（稀土）元素组；后一大类可按成矿元素依据已知矿床类型的元素确定若干组合。每种组合按含量分区标准分别编制该组分的地球化学场分区图。

3. 地球化学分区是在上述元素含量分区和元素组合类分区的基础上，首先按同生地球化学场的发育程度确定Ⅰ级地球化学区，按单一元素组合同生地球化学场分布范围圈定Ⅱ级地球化学区，按叠生地球化学场的发育程度及其分布范围圈定Ⅲ级地球化学区。

（三）构造地球化学研究

构造地球化学研究，同样也是地球化学找矿远景区划的重要内容之一。根据地球化学分区图和综合异常图，分别提取不同级别的地球化学特征线。根据这些特征线的展布规律配套组合特点，分析推断与成矿或控矿的关系，进而确定若干构造地球化学预测准则及标志。一般

是Ⅰ级地球化学分区界线为Ⅰ级地球化学特征线，是全区规模最大的，往往与大地构造分区界线相一致；Ⅱ级地球化学分区界线，为Ⅱ级地球化学特征线，往往与区域构造-岩石单元的界线一致；Ⅲ级地球化学特征线，往往与大的地质体界线一致；Ⅲ级以下的地球化学特征线主要是一些高(低)值区及异常的轴线，反映元素的增益，亏损区的展布特征，有的直接反映控矿或容矿构造。

(四) 地球化学异常的研究

地球化学异常的研究，包括单元素异常和组合异常的圈定及综合异常的表达、异常评序筛选等，通过对已知矿异常的研究，建立已知矿异常模式通过类比对异常进行评价。

地球化学异常的研究必须与地球化学背景和成矿地质背景的研究相结合，进而总结区域规律与局部异常的关系。采用"地质背景衬度法"❶圈定异常能有效的克服因异常下限确定不合理而造成的扩大或掩盖异常的弊病，按元素组合多元素累乘值圈定组合异常，能挖掘和扩大异常信息量，采取多组合叠置方法表达综合异常和以异常群体(异常集中区)圈定找矿靶区或预测区提高了可信程度，从而拓宽了找矿视野，提高了对矿化类型的识别能力。

三、应用实例及取得的效果

有了基本思路和厘定的研究内容、要求，吉林省开展了"应用区域化探资料开展内生金属矿产成矿预测研究"。该研究成果在"吉林省中比例尺内生金属矿产成矿预测中起到了极为重要的指导作用。

(一) 吉林省成矿地质背景简况

吉林省位处两大构造单元，即南部中朝准地台和北部天山—兴安地槽褶皱区，大致以省内中部北东，东西向深大断裂带为界。两区不但具有构造运动、岩浆活动、沉积作用、变质作用以及成矿作用的显著差异性、多旋回性，而且还具有地质构造发展的多阶段性及其物质组分的不平衡性。

南部地台其发展演化可归结三个大地构造发展阶段：地槽发展阶段(太古—早中元古代)，其基本物质组成主要有两大类，太古代绿岩、TTG岩石组合为陆核的主要构成，而大陆裂谷内保存有巨厚的元古界海相碎屑岩、碳酸盐岩；准地台发展阶段(晚元古—二叠纪)，主要物质为狭长带状海相陆源碎屑、碳酸盐岩；滨太平洋大陆边缘活化阶段(三叠纪—新生代)，主要是基性、中基性、酸性火山岩。

北部地槽褶皱区可划分为两个大地构造发展阶段：地槽发展阶段(寒武—二叠纪)，该阶段除了保存有古生界海相、海陆交互相碎屑岩、碳酸盐岩、海相中基性火山岩外，大量的中酸性、酸性侵入岩改变了该阶段基底物质组分而占主导地位；滨太平洋大陆边缘活化阶段(三叠纪—新生代)，主要物质是基性、中基性至酸性火山岩(图1)。

(二) 区域地球化学场特征及其地球化学分区

两大构造单元的不均衡物质构成，分别形成性质、特征不同的地质体，其中规模大，分布范围广的地质体对所在构造区域的区域地球化学场的性质有着决定性的作用。

吉林省主要地质体地球化学元素组合基本遵循地质体元素专属性特征，其同生场的基本

❶ 金丕兴　吉林地质科技情报(1988,4)。

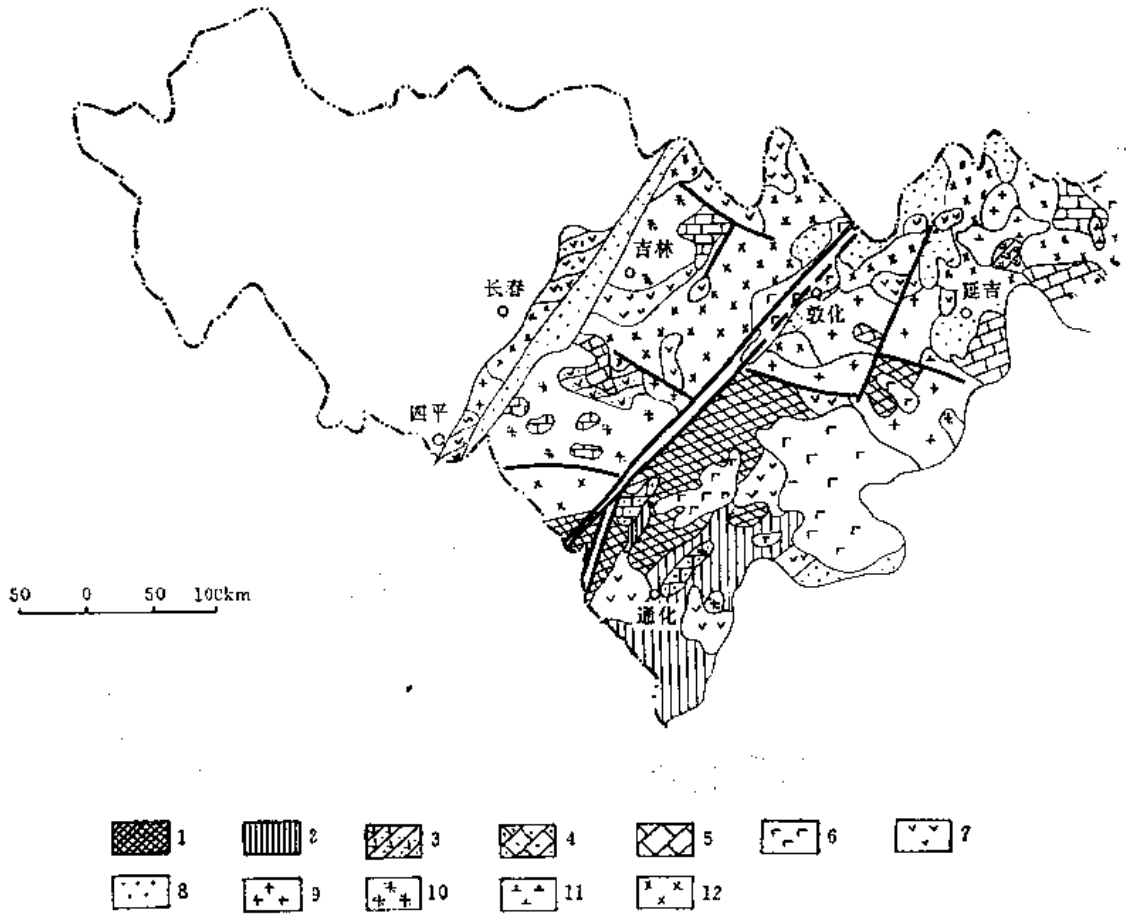


图 1 吉林省地质示意图

1—太古界绿岩、TTG 岩石；2—上古生界碳酸盐岩、碎屑岩；3—早古生代酸性侵入岩；4—元古界海相碎屑—碳酸盐岩；5—中生界基性火山岩；6—晚古生代酸性侵入岩；7—下古生界火山碎屑-中性、中基性火山岩；8—中生界中性、中酸性火山岩；9—中生代中性侵入岩；10—下古生界碎屑岩、碳酸盐岩；11—中生界陆相碎屑沉积；12—中生代中酸性、酸性侵入岩

表现形式有三类：Cr、Ni、Co、Mn、V、Ti、Fe 铁族元素组；Nb、U、Th、La、Y、Zr、Li、Rb、Be 稀碱-稀有(稀土)元素组；Al、Ca、Sr、Ba、B 碱土金属元素组。成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Bi、Cd、As、Sb、Hg、F、P 等。

三类同生场所反映的地质体物质组分特征，亦可归纳为三类：

1. 由区域内各种成因所形成的超基性、基性及至中基性岩浆所形成的侵入岩及火山岩有关的地质体，其同生场一般以铁族元素组为特征。

2. 区域内各种成因所形成的碱性、酸性、中酸性、中性岩浆所形成侵入岩和火山岩等有关的地质体，其同生场一般以稀碱-稀有(稀土)元素组为特征。

3. 表生沉积作用所形成海相、海陆交互相的碎屑岩-碳酸盐岩等有关的地质体，同生场一般表现出以碱土金属元素组为特征。

地质体物质组分特征是区域内主要地质作用，特定的构造环境中产物，在地球化学上代表该区域的同生地球化学场。在区域成矿作用中，同生地球化学场的性质，对研究或确定不同成矿类型成矿作用的地球化学环境，是不可缺少的研究课题，例如：寻找与绿岩有关的金、铜矿床，其地球化学环境多以铁族元素组同生场为主；而钨、锡、钼、汞矿床多以稀碱-稀有(稀土)元

素组同生场为主；铜、铅锌、多金属、银矿床由于同生场性质的不同，其矿化类型和成矿作用等均存在差异等等。同时，对同处于某一同生场内的元素组合相近的地质体，研究其同生场内成岩与成矿作用中的元素分散、迁移富集规律，有可能为成矿作用提供矿质来源等重大地质问题提供佐证。

随着构造发展阶段的演化，先期生成的地质体和构造发育区域，在后期生成地质体元素组分的参与和多阶段、多期次地质-地球化学作用的叠加改造中，造成区域叠生地球化学场。依据叠生场元素组合复杂程度，组合元素的丰度特征和叠加强度，可将叠生场划分为六种模式：

1. 复杂组分富集区
2. 较复杂组分富集区 } 高背景(高值区)
3. 简单复组分富集区
4. 各种组分含量正常区-背景区
5. 简单组分贫乏区
6. 复杂组分贫乏区 } 低背景(低值区)

各模式的地质意义及其相互关系可归纳为以下几点：

(1) 模式的划分表达了区域元素分布、分配的不均匀性，这种不均匀分布与同生场元素的初始分布、分配及后来叠生改造关系密切。

(2) 模式1、2集中体现了区域上元素丰度高，元素组分复杂、叠生强度大的区域地球化学场。该两模式多出现在地层发育、岩浆活动强烈、构造复杂区域。经研究统计对比，吉林省80%的地球化学异常矿点、矿化点，100%的各类已知矿床均分布在该两个模式的分布范围之中。

(3) 模式3、4多出现在地质构造简单，巨大侵入岩基及隆起区边部，元素丰度特征基本上保持同生场的元素初始状态，且叠加强度低，所以该两个模式只有少量的地球化学异常、矿点、矿化点分布。

(4) 模式5、6与上述模式相比它所表达的是区域元素亏损区域，多出现在长期活动的深大断裂带一侧，长期隆起尤其是中生代以后继续抬升的隆起中央部位，巨大岩基分布区等。该两模式分布范围内基本上不出现地球化学异常和矿化显示(不包括地球化学负异常)。

(5) 模式1、2经常与模式5、6相伴出现，后者常在前者的一侧或周边分布，且两者富集和贫乏元素组合存在着对应关系，说明元素在区域上存在着活化、迁移，对于成矿元素可形成聚积富集区和迁移贫化区。

同生场和以同生场为基础所形成的各种模式的叠生场，组成了区域的地球化学场。其分区(图2)。

元素分区的结果，表达了在区域基本构造格架环境的控制下，主要地质体物质组分的地球化学特征。I级地球化学分区，将南部地台区和北部地槽褶皱区清楚的区分开。其中北部地槽褶皱区又划分了三个II级地球化学区，I区和III区基本上是表生作用为主要成因的海相、海陆交互相沉积物组成的地质体的地球化学特征，II区是以酸性-中酸性等岩浆成因地质体物质组分的地球化学特征。南部地台区亦划分了三个II级地球化学区，IV区主要由太古代地质体所形成的地球化学区，V区由古裂谷环境元古代地层形成的地球化学区，VI区则是碱性火山岩形成的地球化学区。各个II级地球化学区内对元素的富集至贫化规律的表达十分清楚，成矿元素种类与地球化学区性质有关，不同地球化学区具有不同成矿元素特征。

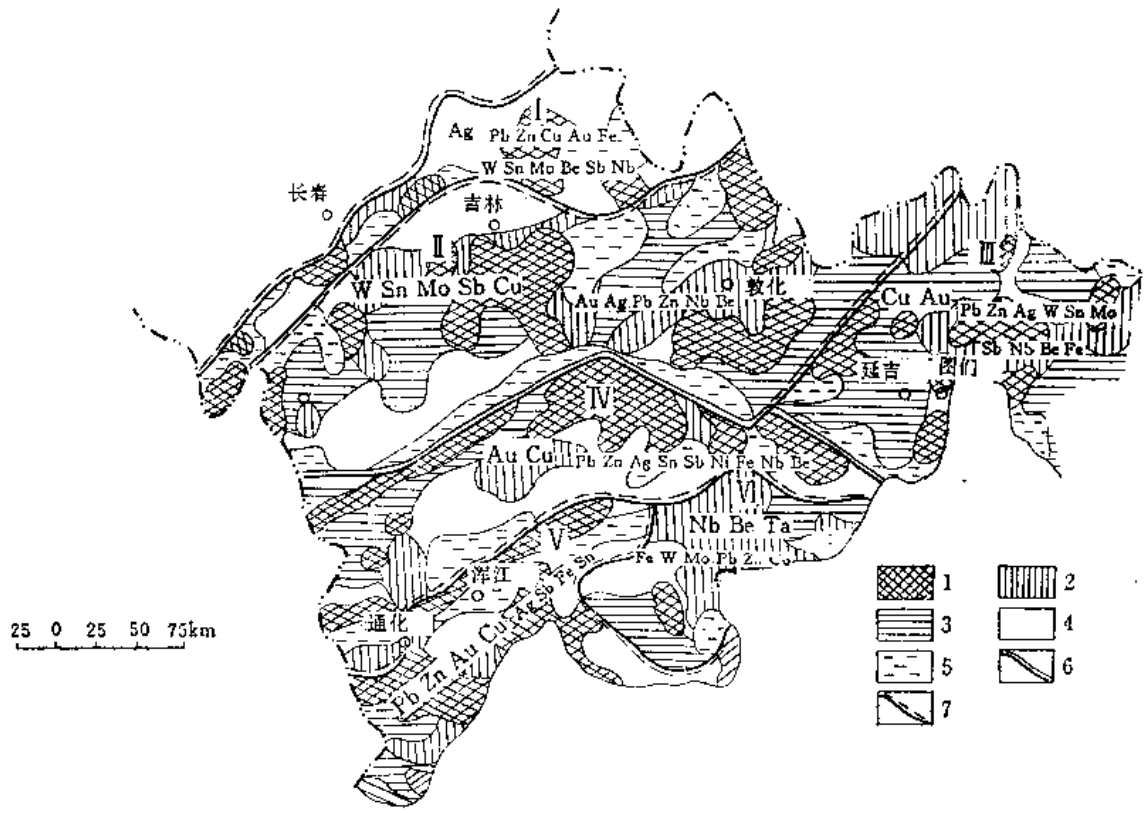


图 2　元素地球化学分区示意图

I、II、V区碱土金属元素组同生场及成矿元素，II、IV区稀碱-稀有(稀土)元素组同生场及成矿元素，IV铁族元素组同生场及成矿元素

1—复杂组分元素富集叠生场；2—较复杂组分元素富集叠生场；3—简单组分元素富集叠生场；4—各种组分元素含量正常场；5—简单、复杂组分元素贫乏叠生场；6—I级地球化学分区介线；7—II级地球化学分区介线

注：图中大号字体元素为主要成矿元素

（三）地球化学异常

依据区域化探资料所确定的地球化学异常，它所能指示的目的物在规模和种类上具有层次性。最基本的层次是反映矿床中主要矿元素，相关元素所显示的综合异常，该层次通常是最引人注目的目标物，因为它对于普查找矿可以起到最为直观的指示作用；第二个层次是多个彼此空间位置相近，且处于同一区域地球化学场内的综合异常，即异常集中区，它往往反映矿田或矿化集中区，同时亦是确定找矿预测区，远景区的重要标志之一；第三个层次是异常集中区的展布规律和相互之间关系，可用主成矿元素按一定指标所确定的更大规模区域性异常——地球化学省，它往往反映成矿区带的找矿信息，亦是确定找矿预测区，远景区的重要标志。

为合理确定和表达综合异常，我们研制了“地质体背景值较正元素衬度法”，该方法的提出基于区域的元素含量和分布的不均匀性，主要是不同性质地质体间的差异所造成，因此，样品的使用应以地质体为单元，在单元素异常圈定基础上，将主成矿元素及其相关组合元素的衬度值累乘强化异常，从而达到提高开发找矿信息的目的。主成矿元素及相关元素的元素组合主要依据区域内已知矿床成矿、成晕元素，区域簇群分析资料和国内、外同类矿床元素组特征等综合分析确定。

对全省七个矿种(金、铜、铅、锌、银、锡、锑)开展成矿预测，主成矿元素及相关元素组合总共划分了九个，它们是：

Au-Cr、Ni、Co、Mn;

Au-W、Sn、Mo、Bi;

Au-Cu、Pb、Zn、Ag;

Au-As、Sb、Hg、Ag;

Cu-Pb、Zn、Ag、Au;

Pb(Zn)-Cu、Zn、Ag、Cu;

Ag-Pb、Au、As、Sb;

Sn-W、Mo、Bi、As;

Sb-Pb、Zn、Ag、Au。

由主成矿元素和相关元素衬度值累乘所确定的综合异常，具有下列特点：

1. 发现和捕捉到其它方法不易识别的弱异常；

2. 充分体现不同地质体间主成矿元素，相关元素组合的差异；

3. 可直观的研究异常与地质体间的关系，进而总结地质体的成矿元素地球化学专属性；

4. 所得结果可在任何条件下进行对比、拼接，便于开展异常群体之间的区域性研究；

5. 筛选掉元素组合简单的单点和意义不大的局部异常。

结合地质-地球化学环境、成矿条件等对综合异常进行分析研究，可提供下列地球化学找矿信息：

1. 主成矿元素异常规模、浓度分带，元素组合及水平分带等特征，可以反映矿化类型，规模及其主要矿化地段；

2. 主成矿元素，相关元素的成晕成矿作用特征，对成矿物质来源，迁移富集规律研究提供佐证；

3. 确定地球化学找矿主要指示元素及指示矿体的前缘，近矿和尾部元素组合；

4. 为研究主要成矿元素成矿作用阶段和成矿温度等提供资料。

异常集中区，地球化学省与地质-地球化学环境及两者之间的关系和特征如下：

1. 主成矿元素地球化学省内，所展布的异常集中区常是成矿有利区域。尤其是多个元素地球化学省的发育，反映区内成矿作用复杂且强烈。所形成的矿产种类，矿床类型及规模均与成矿元素单一的地球化学省和无地球化学省出现的异常集中区有很大差异，这就给成矿远景区划，预测区的级别提供了依据。

2. 地球化学叠生场模式 1、2 控制了地球化学省的分布，同时亦控制了约 70% 的异常集中区，这些异常集中区几乎包括了所有规模较大，强度高，元素组合复杂的综合异常。而综合异常又控制了所有已知的金、有色金属矿床。由此，可以认为异常集中区和地球化学省是地球化学叠生场主成矿元素富集规律的体现，即主成矿元素从高背景分布一区域富集一局部富集的规律，逐层次的指出研究目的物从成矿远景区带一矿田或矿化集中区一矿床的地球化学找矿标志。

3. 地球化学省的展布在区域上与地质构造 I、II 级单元，地质体的性质和分布关系密切。吉林省分析研究了 Au、Cu、Pb(Zn)、Ag、Sn、Sb 元素地球化学省分布特征，结果表明地台区 Au、Cu 两元素地球化学省主要与太古代绿岩有关。Pb(Zn)、Ag、Sb 元素地球化学省与地台

区元古代裂谷海相沉积、海底火山物质关系密切。Sn 元素地球化学省主要与中生代酸性，碱性火山物质有关。地槽褶皱区地球化学省的分布比较复杂，且相互重叠，主要分布规律是 Cu 元素地球化学省主要与早古生代海相沉积-火山物质有关。Au 元素地球化学省主要与古生代海底中基性火山岩，中生代中酸性侵入岩有关。Ag、Pb(Zn)与晚古生代海相，海陆交互相沉积-火山物质、古生代—中生代中酸性侵入岩有关。Sn、Sb 元素地球化学省与古生代—中生代酸性侵入岩关系密切。

（四）地球化学区域成矿模式

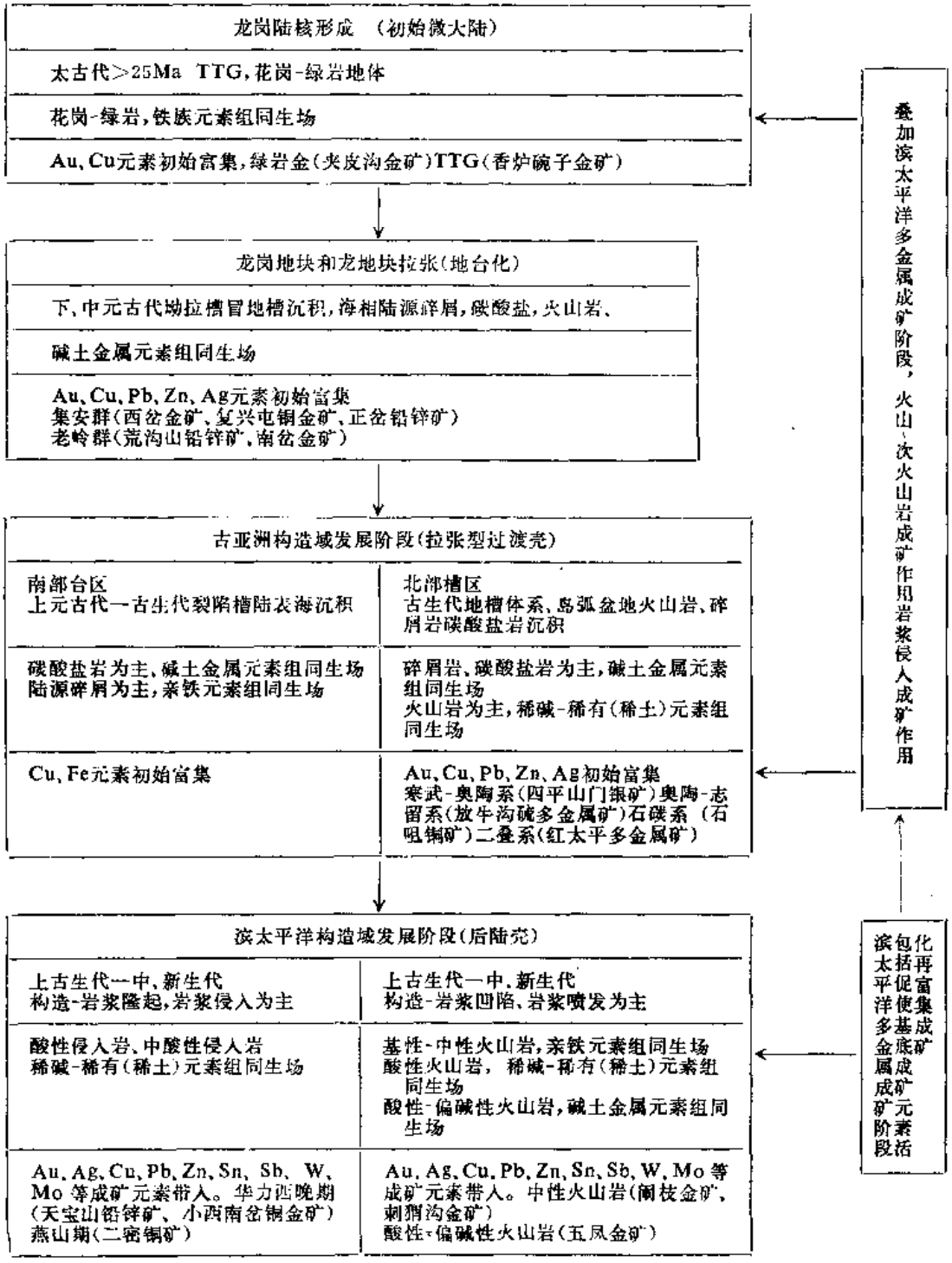


图 3 地球化学区域成矿模式

根据吉林省地球化学区域场，地球化学异常，区域地质构造发展演化和构造发展阶段的矿产特征，提出吉林省贵金属及有色金属地球化学区域成矿模式。

吉林省地质构造发展阶段演化，据吉林省地矿局王友勤(1989)总体上具有下特点：

1. 经历了三大构造发展演化阶段：太古代一下、中元古代初始微大陆至地台化的形成阶段，古亚洲构造域发展阶段和滨太平洋构造域发展阶段。

2. 三个发展阶段中前两个阶段的演化，在时代上由南向北推移，由活动的地槽向稳定的地台方向演化。滨太平洋构造发展阶段是北东向叠加在前两个构造发展阶段之上。

3. 总体看按时间顺序，随着构造演化的定向发展，火山活动表现为由海相火山活动向陆相火山活动方向发展。

各构造演化阶段的结果，造成地壳物质组成在区域上的不均匀性，因此，亦就决定了区域地球化学同生场的元素分布的不均匀性。又由于滨太平洋构造发展阶段的叠加，致使基底物质元素组分产生活化迁移和岩浆活动新的元素组分的带入，形成地球化学叠生场。在不同性质的同生，叠生地球化学区域场基础上，成矿作用及矿床的形成各有差异，据此，总结出吉林省地球化学区域成矿模式(图 3)。

各构造发展阶段的区域地球化学特征与成矿的关系是：

1. 初始微大陆形成与发展阶段，以太古代绿岩-花岗地体为主体的龙岗陆核，形成极其稳定的铁族元素组同生场。太古代基性岩浆火山活动，致使主要成矿元素 Au、Cu 形成初始富集，是金、铜矿成矿作用的重要初始矿源层。

2. 地台区元古代裂谷坳拉槽接受了巨厚的海相陆源碎屑、碳酸盐岩沉积，并伴随有强烈的海底火山活动。地球化学同生场主要反映与海水作用有关的物质组分，由这些物质组分所形成地质体分布区域内，基本上以碱土金属元素组地球化学同生场为代表，形成以 Au、Cu、Pb、Zn、Ag 等元素的初始富集，为金、铜、多金属矿成矿作用初始矿源层。

3. 古亚洲构造域发展阶段，南部地台区和北部地槽区差异较大，南部地台区主要是狭长地带下古生界陆表海沉积，沉积物受海水化学作用，生物化学作用强烈。地球化学同生场以碱土金属元素组为主，同时亦出现铁族元素组，其空间展布亦呈狭长带状。主要成矿作用以铁、铜、非金属为主。北部地槽褶皱区为典型地槽体系活动带物质堆积，是沉积作用、火山作用、侵入作用的共同产物，同时，又是海陆交互阶段，因此，同生场较为复杂，但总体上岩浆活动产物占主导地位，形成以稀碱-稀有(稀土)元素组同生场为主，碱土金属元素组和铁族元素组同生场也时而出现。该构造发展阶段促使 Au、Cu、Pb、Zn、Ag、Sn、Sb 元素发生初始富集，其初始矿源层以古生界为主，同时中生代岩浆作用产物也是成矿元素主要初始富集地质体。

4. 滨太平洋构造域发展阶段，在地质、地球化学上均具有继承性和改造性的特点。在地球化学上一是继承基底物资地球化学同生场，二是改造基底物质同生场，在有限的区域内（一般规模不大），形成代表该阶段物质组分的地球化学区域场-叠生场。

该阶段主要地球化学成矿作用有三个：

(1) 在成矿有利地段，促使基底物质成矿元素活化迁移，发生再富集；

(2) 强烈的岩浆活动为成矿作用又提供了新的物质组分；

(3) 为成矿作用的进行提供了大量的热源。

上述主要成矿作用叠加于前两个演化阶段的成矿作用之后，使初始矿源层 Au、Cu、Pb、Zn、Ag、Sb、Sn、W、Mo 等众多成矿元素再次富集直至矿床形成。该构造演化阶段，往往是贵

金属，有色金属矿产形成具有一定规模，矿体定位的极为重要的发展阶段。

（五）地球化学找矿远景区划

吉林省地球化学成矿预测准则及地球化学找矿标志是：

A．区域地球化学准则及标志

（1）同生地球化学场及典型元素组的准则与标志　具有代表性的典型元素组所划分的同生地球化学场，是成矿预测中对所处地质构造环境中具有代表性物质组分的地球化学特征的表达。在某种意义上它可以看做是成矿作用的地球化学环境，即不同性质的同生地球化学场代表不同的地球化学环境。例如，吉林省荒沟山金铜矿田，南岔金矿田分布在地台区碱土金属元素组同生场环境中，而山门银矿田，放牛沟多金属矿田，天宝山铅锌矿田和小西南岔铜金矿田分布地槽褶皱区碱土金属元素组同生场环境中。又如，夹皮沟金矿田只在铁族元素组同生场环境中，反映太古代绿岩控矿特点。而大黑山钼矿床和二密铜矿床只分布稀碱-稀有（稀土）元素组同生场环境中，反映中生代中酸性侵入岩控矿特点。因此，同生地球化学场是重要的地球化学成矿环境之一。

（2）叠生地球化学场及其强度准则与标志　叠生地球化学场叠加期次多，叠生场的规模大，强度高，元素种类和组合越复杂富集区，绝大多数是成矿有利区域，是矿田或矿化集中区分布区。

（3）区域元素含量增益或亏损地球化学准则与标志　元素地球化学分区可以明显地确定出多元素增益（富集区）和多元素亏损（贫乏区）的区域，而且两者往往相伴出现，这一事实表明：在区域成矿作用中，主要成矿元素及其相关元素存在着区域性迁移，而且具有补偿关系。

（4）主成矿元素高背景区准则及标志　主成矿元素高背景孕育着地球化学省和区域性异常，是区域上最为明显的目标物。并做为区域准则之一。主成矿元素区域背景的研究表明：吉林省已经确定的贵金属、有色金属Ⅳ级成矿区带，均与相应成矿元素或相关元素高背景区（包括高值区）吻合。

B．地球化学异常准则与标志

（1）大异常找大矿的准则　所谓大异常包括两个含义：一是主要成矿元素异常规模大，二是以主要成矿元素为本位的组合异常或综合异常规模大，浓集中心明显的异常。据吉林省近20处大、中型矿床的已知矿异常资料。其地球化学异常均在10 km^2以上，充分体现大异常找大矿的准则。

（2）多元素、多组合异常叠合分布的准则　矿致异常，特别是大、中型矿床已知矿异常，均是多种元素异常重叠或大部分重叠分布的综合异常，异常组分复杂，一般构成异常的元素10几种至多到30余种。例如夹皮沟金矿多达16种元素，而小西南岔铜矿多达28种元素。

（3）异常集中区或异常群体准则　以异常集中区或异常群体为准则，可以有效克服孤立的就异常论异常的片面性。并可根据异常集中区或异常群体的几何形态，分为线型和面型两种，线型异常集中区或异常群体，方向性特征明显，而且常常与成矿带展布方向吻合。面型异常集中区或异常群体，呈等轴状或椭圆状，常常与成矿区吻合。

Ⅳ、Ⅴ级地球化学找矿远景区划分原则有五个：

1．反映成矿区域构造地质背景所形成的同生地球化学场性质；

2．区域地质-地球化学及成矿作用的多期次、多阶段、多成因等，形成类型不同的叠生地球化学场性质；