



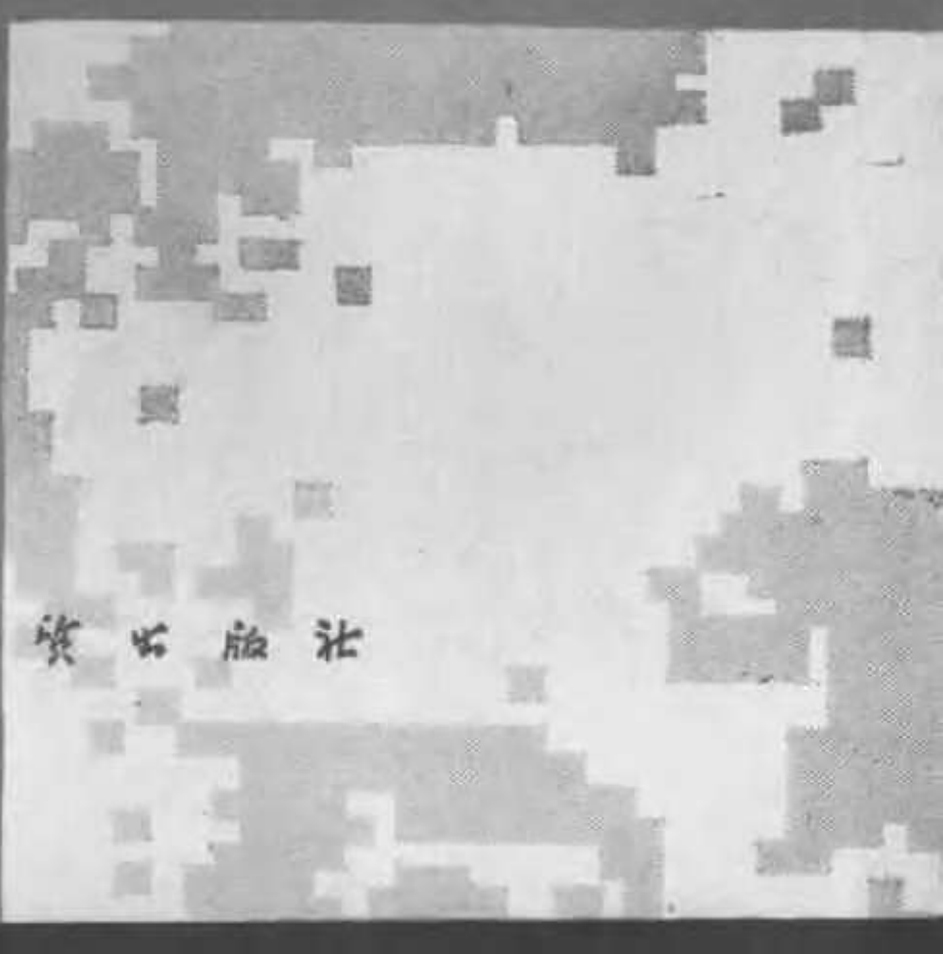
1：5万遥感物探化探应用研究丛书

基岩地球化学测量方法

——以胶东牟平—乳山金矿带水道测区为例

赵伦山　吴悦斌　沈镛立　著





92
37
1

地质出版社

ISBN 7-116-01471-3/P·1201

定 价：5.20 元

1:5 万遥感物探化探应用研究丛书

基岩地球化学测量方法

——以胶东牟平—乳山金矿带水道测区为例

赵伦山　吴悦斌　沈镛立　著

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 简 介

本书介绍1：5万基岩地球化学测量的理论、方法及胶东牟平—乳山金矿带水道测区的研究成果。所介绍的方法以地质地球化学紧密相结合为指导思想，探索理论指导找矿和综合信息预测方法的途径。书中介绍了基岩地球化学测量的一套方法，包括目标追踪采样法和G.A.系统异常的计算机评价等；在胶东水道实验区解决的基础地质问题和找矿方面的成果。本书适合于从事野外化探和地质矿产普查找矿的技术人员使用，也可供勘查地球化学和成矿作用地球化学的科研人员及高、中等地质院校相关专业师生参考。

1：5万遥感物探化探应用研究丛书

基岩地球化学测量方法

——以胶东牟平—乳山金矿带水道测区为例

赵伦山　吴悦斌　沈镛立　著

责任编辑：王永泰

地质出版社出版发行

（北京和平里）

北京地质印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

开本：850×1168 1/16　印张：4.6875　插页：4页　铜版图：1页　字数：114000

1993年12月北京第一版·1993年12月北京第一次印刷

印数：1—1000册　定价：5.20元

ISBN 7-116-01471-3/P·1201

THE METHOD FOR ROCK GEOCHEMICAL SURVEY

Abstract

A 304 km² area in the Mupping-Rushan auriferous belt, eastern Shandong, China, has been covered by bedrock sampling using a new technique called "Target Tracing Prospecting", in which two kinds of rock samples are taken simultaneously during the field work and two sets of indicator elements are used for each set of samples. The advantage of this technique is that it can acquire both information on basic geologic research and prospecting in one field visit. The theory behind the technique is based on the view that there are two geochemical fields which could be dealt with separately. For the study Mupping-Rusan area we have:

1. Normal (or background)field which is determined by sampling the unmineralized fresh rocks and using Sr, Zr, V and Ti as the indicators to research into some problems in geology and mineralization in the area.

2. Anomalous field which is observed by sampling the material that have evidence of mineralization or influence of certain mineralization, such as quartz veins, altered rocks, gossans, tectonites and dykes,

and using Au, Ag, Pb, Cu, Zn, As, Mo and Co as the indicator elements to investigate the distribution of mineralization in the working area, and delineate prospecting targets.

The distribution of sample sites within a sampling unit is random whereas the sampling units are systematically arranged before field work begins. The entire working area is first divided into sampling units according to the grid of the topographic base map. The densities of sampling for the 1:50,000 scale are: 1—2 samples per square kilometer for the background field; 3—4 samples for the anomaly field, thus the general density of sampling is about 4—6 samples per unit. This arrangement of sampling keeps the distribution of sample sites homogeneous over the entire study area and ensures more complete geological information.

Our experimental work on rock geochemical survey in Mupping-Rusan area has yielded some interesting results which is briefly described below. The regional structure framework and the metamorphism of the study area is well expressed on the maps of geochemical background field. Also some indications towards genesis of the granites in the area are given. On the geochemical map of zirconium, there is a high value zone. Following up in the field, we found that the area where Zr values are higher than 400×10^{-6} are related to a kind of quartzite, the protolith of which is feldspathic sandstone. Therefore, the key bed that dividing the Proterozoic Erathem from Archaeozoic

Erathem was found. The geochemical information of Ba and Sr replenishes the evidence which supports the viewpoint that the genesis of the granites in the working area is migmatization. The migmatization zone with intensive K-alteration is defined by the distribution of Ba and Sr, which is favorable to Au mineralization and is assumed to be the secondary source of gold mineralization.

25 integrated anomalies were delineated in the study area, of which 7 are associated with known gold deposits whereas other 18 were newly discovered. A computer program, called G-A system, is developed and used to evaluate the anomalies. So far, four commercial gold ore bodies have been discovered in the anomalies.

序

在地球化学探矿发展早期，岩石测量被认为是一种详查手段，70年代以后，开始用于区域性勘查研究。在G.J.S.戈维特主编的《矿产勘查的岩石地球化学》一书中，专门讨论并介绍了70年代到80年代初西方国家在用岩石测量方法研究含矿与不含矿侵入体的识别、含锡花岗岩的鉴别和含矿与不含矿火山旋回的划分，以及脉状和交代矿床的区域性异常等方面的成果。原苏联于1985年出版了《岩石化学测量与普查方法》一书，总结了他们在配合1：5万区域地质测量中地球化学方法的研究成果，强调了以基岩及上覆疏松产物取样为依据的岩石化学方法的重要性，指出这种方法可以成功地用来解决地质测量过程中产生的众多地质问题。我国从70年代末开始有计划地组织了在成矿区（带）上开展区域岩石地球化学勘查的研究课题，先后完成了广东一六地区、豫西卢氏—灵宝地区及“六五”期间按主要岩类分布区安排的“成矿区带区域地球化学与地球化学找矿方法研究”项目。本书是作者“七五”期间在变质岩分布区金矿带上所进行的同类课题的研究成果。书中介绍了研究工作所取得的主要地质成果：如对该区胶东群和荆山群的划分及原岩恢复提出了地球化学依据与标志；论证了胶东群和荆山群为金矿的主要矿源层；提出和论证了混合岩化交代前锋带为该区金矿的二次矿源岩，并控制了金矿带分布的认识；建立了区域成矿的地质地球化学模型，以及通过基岩地球化学测量新发现了一批有找矿远景的异常等。该项研究在方法方面取得了以下新的进展：

其一，作者根据解决基础地质问题和找矿与矿产预测的双重目的，提出了按“背景场”与“异常场”两个系统采样（称为目标追踪采样法）和分析两套指示元素的设计思想和实施方案。这

是在工作布署上的一个新发展。这种作法进一步提高了采样与样品分析的目的性和针对性，从而在相同工作量的基础上增强了样品的有效利用率和其中的有用信息量。这种工作方案在胶东的牟平—乳山金矿带的实践中取得了满意的结果。

其二，在异常评价中，作者将地质因素与地球化学参数有机地结合起来，建立了一个新的异常评价系统——G. A，计算机评价系统。在该系统中，较充分地考虑了调查地区的各种对成矿有利的地质因素，并赋之以定量化参数。在地球化学指标的应用方面，增加了评价的新参数，如异常陡度、剥蚀深度等，为异常评价，特别是弱异常评价探索了新的思路。

本书总结的经验和作法，已在其它地区试用，并取得了较好的效果。当然，地质作用是极其复杂的，任何一种方法都不能机械套用，特别是有些具体方法和参数的确定，需要结合调查地区的具体条件加以科学地选择。但这些基本思路和做法，对于从事地质与化探的人员进行综合区域地质调查和普查具有指导意义，对于科研和教学人员，也有重要参考价值。

前述这些研究工作（包括“六五”期间完成的涉及更大范围的侧重于基本地球化学问题研究的南岭地区区域地球化学研究）的共同特点是：（1）均以解决基础地质问题（包括区域成矿）和找矿与矿产预测的双重任务为目的；（2）以基岩为采样对象的岩石测量为基础；（3）将基本地球化学问题的专题研究与面积性岩石测量紧密结合；（4）将建立调查区主要矿产的矿床地球化学模式作为工作内容之一，并作为调查区异常评价的主要依据；（5）把完成地质勘查任务与研究开发勘查方法紧密相结合。

通过十多年在不同岩类地区和不同成矿带上对区域性岩石测量的探索研究与开发(这些成果均已陆续公开出版)，不仅取得了一批很有价值的地质成果，而且在理论与方法上均有了很大的发展与提高，并正在逐步形成具有我国自己特点的理论与方法体系。它们的推广应用，将有利于提高我国中、大比例尺的区域地质调查和矿产预测的质量和水平，并将进一步促进我国区域勘查

地球化学学科的发展。

吴承烈

1993 年

前　言

本书主要根据地质矿产部“七五”科技攻关项目“1∶5万区域地质调查中遥感、地球物理、地球化学方法应用研究”的V-I专题“1∶5万区调中地球化学理论与方法技术应用研究”成果编写的。专题研究由中国地质大学（北京）地质矿产系地球化学教研室承担，实验测区选在山东省牟平—乳山金矿带水道—高陵地区。

基岩地球化学测量具有采样目标直接、样品地质代表性明确、异常无位移，以及便于结合地质资料扩大获取地质及成矿信息等优点。经过本次专题攻关，研制了地质、化探结合的目标追踪采样法和G.A.计算机异常评价系统等一套野外和室内工作方法，提高了基岩地球化学测量在中、大比例尺矿产预测中的应用效果。专题成果于1990年5月通过部级评审，测量方法已在一些地质队推广使用，均取得了良好效果。本书重点介绍基岩地球化学测量的方法，并结合水道测区资料阐述解决基础地质问题的思路和找矿成果。全书除前言、绪论和结论外，共分五章，由赵伦山、吴悦斌、沈锡立分章执笔编写，由赵伦山校核，整理，定稿。专题科研工作由本室全体同志集体完成；徐景奎、周群辉、杨忠芳、胡秀珍、方勤方、储伟光、战卫国参加了野外调查、采样、分析测试、资料整理和绘图等工作；研究生祝新友、周继荣、施俊法、徐勇、申志军、陈志宏和本专业87、88、89届的部分毕业生也参加了不同阶段的实际工作。

在专题研究过程中，得到了地矿部勘查技术司、中国勘查技术院领导和有关专家的关心和指导；山东省地矿局、山东第三地质队、地矿部第一综合物探大队、牟平县政府、水道镇政府、牟平金矿、乳山金矿、金牛山金矿、牟平县地质队等单位给予专题

研究以多方面的支持和协助，在此一并表示感谢。吴承烈教授在本专题研究过程中，对研究工作给予多方面的指导，又在百忙中审阅了全部书稿，并为本书撰写了序，作者在此对他表示深深的谢意。

由于作者学术水平所限，书中难免存在疏漏与错误，作者诚挚地期待专家和同志们提出批评和指正。

作者　1992 年 7 月

目　录

绪论……

一、当前我国地质探矿事业的发展特点…… 1

二、理论指导找矿与综合化方法…… 2

三、基岩地球化学测量的基本思路…… 5

第一章　基岩地球化学测量工作方法…… 7

一、地质地球化学剖面测制方法…… 8

二、典型矿床(点)的地球化学研究方法……10

三、区域基岩地球化学测量方法……12

四、1:5 万区域地球化学调查的工作程序 ……24

第二章　背景场与基础地质问题研究方法……26

一、地质地球化学填图……27

二、背景场研究方法……31

三、区域地质及其控矿问题研究……45

第三章　区域成矿地质地球化学模型……57

一、牟平—乳山金矿带构造控矿规律……57

二、矿化体分带模式……62

三、成矿物理化学条件与物质来源研究……67

四、区域成矿地质地球化学模型……77

第四章　成矿信息提取方法与区域异常研究……82

一、成矿信息提取方法……82

二、异常场的地球化学研究……86

三、异常特征参数的描述与综合分析…… 104

四、已知矿原生岩异常分带特征…… 106

第五章　基岩地球化学异常综合评价方法…… 109

一、异常综合评价的步骤和方法…… 110

二、水道测区基岩地球化学异常评价…… 115
结论和几点认识…… 133
主要参考文献…… 136

绪　论

1985年，地质矿产部在太原固体矿产普查工作会议上提出了在全国开展新一轮矿产普查的战略任务，并制定出必须依靠科学技术进步对区域矿产资源进行综合调查和评价的方针；1992年，又提出“探宝计划”、“科技兴地计划”，并要求“努力实现地质找矿的新发现”，提出“矿产资源的勘查要以发现大型、超大型矿产为重点，同时兼顾中小型矿床的勘查，继续加强重点片的普查找矿工作及现有矿区的外围普查找矿的总体部署。从此，我国矿产勘查事业步入了一个新的历史发展阶段。

一、当前我国地质探矿事业的发展特点

在实施新的一轮矿产普查任务时，我国地质找矿行业所面临的形势可以概括成以下几个特点：

1．国家经济的发展对各种矿产资源的需求持续增长，而大部分矿种保有储量不足两个五年计划需要。根据有关部门统计，建国以来我国经济发展对各种矿产资源的消耗量平均每年以3％—5％的比率递增。据中国地质学会矿产资源保护和综合利用委员会测算，到2000年我国各种金属、非金属矿物原料需要将增长50％到数倍。对国家经济发展来讲，矿产资源形势是严峻的。

2．找矿难度愈来愈大，探矿成本不断提高。经过40多年大规模的普查勘探，内地省份的大部分出露矿、浅埋矿床均已被发现，今后找矿的主要目标是盲矿、掩埋矿（或称隐伏矿）、难辨认矿、深部矿，以及需探索的新类型矿，包括大型、超大型矿。如果仍沿用老的方法寻找这些产状复杂、难于观测的矿，必将难

以奏效。

3．随着我国经济管理体制改革的深入，要求一切经济活动都必须提高效益。地质探矿活动的市场化管理势在必行。在地质探矿事业中，过去那种不重视效益，不计算成本，周期过长，以及无效重复的工作方式愈来愈不适应改革开放形势的需要，如何提高地质探矿工作的经济效益，是当前摆在地质战线面前的新课题。其中，除一部分属于管理体制改革的问题外，根本方面还在于找矿方法的改进和提高，即应依靠科技，提高效益。

4．从另一方面看，经过40多年的地质勘查工作，不但找到了大批的矿产基地，同时对我国的基本地质构造特征和成矿规律也进行了较全面的调查研究，积累了资料。据初步统计，目前全国1:20万地质区调已完成600万km^2以上，占国土总面积63%以上的内地各省大部分已经完成；1:5万地质区调在有找矿远景的成矿区带上已覆盖了相当大面积；80年代末完成了内地省份的1:20万水系沉积物扫面计划；此外，覆盖全国不同比例尺的物探、遥感和多种化探测量资料，以及成矿区带和典型矿区研究成果都是今后深入开展地质勘查、发现新的矿产基地的有利条件。

二、理论指导找矿与综合化方法

多年来，我国广大的地质勘查工作者和科研人员，在自己的找矿实践中不断总结经验，探索新的找矿途径和方法。进入80年代以来，地矿、有色、冶金、黄金、核工业等系统的地质技术队伍，在对本地区成矿规律取得深入认识的水平上，摸索出了一套新的找矿思路和勘查方法，并在很多地区取得了突破，特别是在金矿找矿中效果更为明显。在许多内地高研究程度区有了新发现，找到了大矿。总结这些地区找矿成功的经验，将对新的一轮普查工作会有所启发，也可能是解决找隐伏矿和探索新类型矿的途径。

1．重视成矿理论对找矿的指导作用。积极引进和吸收新的成矿理论，不断总结国内外新的找矿经验和成矿控矿规律，是启发思路，指导找矿的依据。近年来，国内外成矿理论的研究异常活跃，随着现代地质观测和分析技术的改善，新资料迅速积累，新认识不断提出，使人们原有的矿床成因概念得到深化，总结了新的成矿控矿理论。矿床学工作者一致认为，成矿作用是一种区域性地质现象，矿床的形成是经历了多种作用、多期演化，多种物源累积富集的结果。在总结事实的基础上，提出了各种类型矿床的成矿演化模式及地质控矿条件，深化了矿床学理论。如70年代以来，层控理论的兴起，矿源层及后期改造成矿理论的总结，大洋洋脊热卤水的发现及热卤水成矿观点的建立，板块构造控矿理论、同生成矿机制和成矿系列理论的提出，以及近年来地热系统和浅成低温热液成矿、成矿流体研究，成矿实验和成矿动力学的探索等，都加深了对成矿过程的认识，拓宽了找矿的思路。每一种成矿理论的提出和模型的建立，都标志着一个时期找矿经验的总结和对一批矿床成矿规律认识的深入，并能导致一批新矿床的发现。

2．研究典型，解剖新点。成矿作用在区域类似的地质条件下有成带发育的规律，“就矿找矿”、“顺藤摸瓜”的方法在本矿带内是行之有效的找矿途径。应强调的是，应深入研究已知典型矿床的成矿条件和控矿机制，如构造控矿条件、矿体的侧伏规律等；同时，也需要对待评价的新点的地质环境进行认真的解剖。如在胶东，石英脉型金矿化有产于张性断裂段的规律，但在一个带内各点上，张性构造结构形式不同。有的矿产于主断裂两侧的次级张性断裂中，有的则赋存于主断裂的叠加转向部位。经过深入分析预测区的地质条件，才能有把握地应用已知成矿规律指导勘查工作。

3．在新类型、新地区上取得突破。深入研究新地区地质构造条件，根据实际观测到的矿化特征和元素富集分散的地球化学一般规律，探索其形成新类型矿床的可能性。要使新的一轮普查

找矿取得成效，必须在类型和地区上有所突破。为此，要求找矿技术人员应既具有理论找矿的指导思想，又不简单化硬套某典型矿床成矿模式，做到掌握模式，不套用模式，在开阔思路的基础上，根据本区的地质背景特征追索矿化的宏观标志和微观踪迹。在寻找大型、超大型矿床中，也必须向未知的新类型方向去探索，因为往往超大型矿床是独一无二的，或自成类型的。如我国胶东的蚀变岩型金矿类型，在国外很不发育或不成型；中国西南川、黔、湘、滇诸省发育的碳硅泥岩型金矿是一种不同于国外已知矿的新类型的微细浸染型金矿。我国经过40多年系统的地质工作，内地各省地质研究程度很高，积累了丰富的实际资料，为新类型、新地区的突破提供了较充分的基础条件，并且在很多省区都实现了突破。

4．综合化找矿方法。开展综合信息矿产预测，使用实用有效的综合指标异常评价技术，也是近年来找矿取得成功的重要经验。以直接找矿方法为主体的地质化探综合化找矿在金和各种金属矿床的勘查和隐伏矿体追踪中，取得了明显的效果。综合化找矿的核心是应用现代多种探矿手段，尽可能全面地获取预测区的各种成矿信息，通过综合分析这些信息资料而取得对本区形成某种矿产的可能性及其空间、时间分布规律和赋存条件的较准确的、客观的认识。地质和化探方法的综合化，能够最有效地集中本测区宏观和微观的直接表现出来的矿化信息，并结合本区的地质构造条件和控矿规律的综合分析，达到科学预测的目标。综合化找矿方法还包括充分应用遥感、物探、重砂和数据资料的计算机处理等现代方法。

我国“八五”期间即将完成的全国1:20万水系沉积物化探扫面，是一种高效、快速、信息面广、覆盖全国土的勘查计划。新的一轮矿产勘查，首先应从查证1:20万水系沉积物异常着手。在其中应特别重视“科技兴地”方针，推广以地质、化探结合为核心的综合信息矿产评价技术。

三、基岩地球化学测量的基本思路

基岩地球化学测量也称岩石地球化学测量，是系统采集基岩样品来达到查明区域矿产和地质特征目的的一种勘查方法。早期的基岩测量是从50—60年代的原生晕方法开始的，当时，在苏联和我国的化探工作中，使用原生晕方法在矿区或其外围进行大比例尺的找矿，以异常查证、矿点评价及找外围和深部矿体为主要目标，取得了良好的效果。进入70和80年代以来，一些重视系统区域地质工作的国家，如苏联、加拿大等国都加强了中、大比例尺的区域地质研究和找矿。当时，苏联提出了新的一轮1:5万区调计划，并要求把现代地质找矿中的新理论和新方法应用到1：5万区调中去。1982年提出了区调和普查一体化的技术方案，建立起以地质区调和基岩地球化学测量为主体的1：5万综合区调普查的新的工艺流程。实验了1：5万基岩地球化学测量方法，其测量总面积达到了1：5万区调覆盖范围内基岩出露地区面积的50%—70%。

在我国，1983年地质矿产部提出，在新的一轮1：5万区调中要求提高对测区地质构造特征的认识深度，并深入查明区域成矿和控矿规律，为此要求在1：5万区调和矿产预测中应“不断掌握和应用新理论、新技术和新方法，充分发挥遥感、物探、化探等方法在区域地质研究和普查找矿等方面的作用”。强调理论指导和综合化方法开展中大比例尺区调和矿产预测，是我国80年代以来地质工作的主导方向。中大比例尺的基岩地球化学测量方法研究，在我国于70年代末开始。当时，中国地质大学於崇文和张本仁教授分别在广东一六地区及豫西地区首先将现代地球化学理论和方法应用于研究区域基础地质问题，并试验应用基岩地球化学测量方法进行1：5万矿产预测，开创了地质、化探结合研究基础地质问题和找矿的新方向。在该两个项目及后期研究中，应用地质、地球化学相结合的思路研究区域地层、构造、岩

浆活动、矿产等问题，并试验了基岩地球化学测量和数据处理方法，取得了明显的效果。1988 年，张本仁论证了在1:5万地质区调同时，结合进行 1：5 万基岩地球化学测量的必要性和可行性。同时，於崇文在广东一六地区区域地球化学项目中首先将当时刚刚引入我国的克立格法应用到元素区域空间分布的研究，研制出了分解区域测量中背景场和异常场的技术方法。我国以 1：5 万为主体的中大比例尺的基岩地球化学测量，在方法和研究基础地质问题的深度上居国际领先地位，积累了丰富的经验。

区域基岩地球化学测量与水系沉积物、土壤测量相比，有采样目标直接、样品代表性明确、异常无位移，以及便于深入测定同位素、流体包裹体和元素存在形式等多种观测指标，因而有可能扩大获取地质及成矿信息等优点。对研究基础地质问题和区域成矿规律有无可争辩的优越性。但由于岩石化学成分和矿化分布的不均匀性，在不加大网度的条件下，如何解决控制全区，达到不漏矿的问题，是一个技术难关，也是对其找矿效果评价中长期争议的核心。这一课题也是“八五”期间项目研究的重点。我们的研究遵循地质、地球化学紧密相结合的方向，充分发挥综合化方法研究复杂成矿作用的优势，制定了以目标追踪采样法为主体的基岩地球化学测量方法，配合进行实测地质地球化学剖面，典型矿床研究，应用 G·A 计算机系统进行异常评价等。这一套工作方法能够较全面、系统、高效地获取测区的区域地质和区域成矿的宏观和微观信息。应用地球化学证据使得区域基础地质问题得到深入认识，在此基础上建立区域成矿控矿地质地球化学模型；使用引入地质控矿变量的 G·A 系统对所获得的区域矿化信息进行综合评序，达到快速、高效地筛选出异常靶区的目的。在胶东水道测区实验的结果取得了解决基础地质问题和找矿两方面的成果。基岩地球化学测量在出露良好地区最为适用，在浅覆盖区，如胶东西部招掖金矿带上，经过下挖 30 cm—60 cm 采半风化基岩的方法试验，也取得了满意的结果。

第一章　基岩地球化学测量工作方法

地质矿产部1981年颁布的《区域地质矿产调查工作要求》中指出："区域地球化学调查的主要任务是查明区域地球化学特征与矿产的关系，为成矿预测提供地球化学依据；对测区内主要异常作出评价，同时为基础地质、环境地质及其它特殊任务提供地球化学资料和数据"。根据这一要求，不应将1:5万区域地质调查工作中的地球化学调查单纯看作是一种找矿手段，它的任务应是与区域地质调查密切结合，在查明区域地球化学特征的基础上，运用现代地球化学理论和方法进行研究分析，为区域矿产预测和某些基础地质问题的阐明提供地球化学信息和依据，从而深化对基础地质问题及成矿规律的认识，提高调查区的研究深度与找矿效果。因此，1:5万区域地球化学调查是一项地球化学研究系统工程，除对区域内地层、构造、岩浆活动以及主要矿产等开展专题地球化学研究外，还应在工作区内进行面积地球化学测量工作。区域地球化学测量与区域内各项专题地球化学研究应是互相配合、相互渗透的。

野外调查工作是区域地球化学调查取得第一手资料的重要环节，必须给予充分的重视，进行周密的设计。地球化学野外工作除与一般地质野外工作有许多共同之处外，也有自己的特点。地球化学样品的采集是取得各种地球化学数据的主要手段，样品采集是否合理关系到能否可靠、有效地提取各种地球化学信息，能否根据资料的归纳分析得出有意义的地球化学结论。因此，样品采集工作是关系到区域地球化学调查质量与效果的关键，是一项技术性很强的工作。本章着重讨论区域地球化学调查各主要环节的野外工作方法。

一、地质地球化学剖面测制方法

测制地质地球化学剖面是地球化学研究的基本工作方法之一，其目的是研究剖面方向上地质地球化学特征的系统变化规律，为各种专题地球化学研究提供系统的资料。根据研究目的不同，地质地球化学剖面可以是研究区出露主要层位的地层剖面，穿越主要侵入岩体的剖面，岩体接触带剖面，不同方位的构造剖面以及矿带、矿体的地质地球化学剖面等。因此，根据需要剖面可长可短，比例尺可大可小。本节着重讨论地层地球化学剖面测制的一般原则，对于其他类型的剖面可以以此为借鉴。这里需要强调的是，在1:5万基岩地球化学调查中应对区内出露的较大岩体和接触带，以及典型矿化带进行剖面研究工作。

地层地球化学剖面测制的目的在于系统了解测区内出露的各时代地层（包括变质地层）不同组段、不同类型岩石的各种元素丰度及其它参数的基本数据，了解各元素背景分布的基本特征，查明某些成矿元素可能的原始富集层位或有利成矿层位；了解各类岩石元素共生组合特征，为确定研究背景场的指示元素、判断原始沉积环境及恢复变质岩原岩类型提供地球化学依据；了解各元素在沉积过程中在时间上的演化特征与规律，为研究沉积环境随时间的演变和古构造环境分析提供地球化学信息。

地层地球化学剖面测制应注意遵循以下原则：

1．剖面应选择在研究区地层出露齐全，能够采集到比较新鲜的岩石标本和样品的地段进行。应尽量避开岩浆活动和后期矿化蚀变作用强烈的地区，以使所获基础地球化学资料不受或少受后期叠加地质作用的影响。如地质条件及地层出露条件不能满足以上要求，不能在同一地段测制完整地层地球化学剖面时，可以选择不同地段分段测制，特殊情况下，剖面亦可选择在研究区以外的附近地区进行测制。

2．在可能的条件下，剖面应尽量与本区区调工作的标准或典

型剖面相一致，以使地质和地球化学剖面资料能得以最大程度的配合和相互利用。一般情况下对研究区测制一条完整地层剖面即可，但如需要对研究区某时代地层进行古地理地球化学研究，或对测区内不同地段出露的相同层位进行对比研究时，还应根据情况在研究区对该段地层测制多条剖面。

3．剖面测制按实测地层剖面的基本要求进行，比例尺可根据地层中岩性变化的复杂程度而定。在1:5万比例尺的基岩地球化学测量中可采用1:5000比例尺作野外剖面草图，室内整理时以1:10000比例尺成图。

4．地球化学样品采集以岩性层为样品分割单位。尽量避免岩性差别很大的层位混采归并为一个样品。岩性频繁规律性变化的韵律层位可作为一个采样单位处理，但需在采样记录中详细描述。相邻岩性单位其岩性差别较大时，非优势层或夹层可视具体情况单独进行采样或略去，而不混夹于主要岩性样品中以保证样品岩性上的单一性。因为不同岩性的混合样品将会严重歪曲元素间的共生组合规律。

5．采样间距视比例尺而定，在1:5万比例尺的测量中，平均采样间距可定为20m—40m，厚度大于10m的层位应单独采样。

6．样品采集应采用连续拣块法，即在每一样品所代表的层内等间距连续采集10块以上小块岩石组合成一个样品。样品重量约250g。采用连续拣块法并使小块岩样较均匀分布于取样层段，可以保证样品对于整个取样层位的代表性和采样的稳定性。

7．采集的样品应力求新鲜。每一小块岩样应注意除去岩石露头表皮，特别是应注意除去覆盖于岩石露头表部的地衣类植物。样品分析时有机质的存在会对某些元素产生严重干扰。

8．剖面中如采集其他类型的样品，如光片、薄片样品、稳定同位素、同位素年龄样品等，应注意和剖面上基本地球化学样品之间的配合，以利于资料的综合利用。

9．剖面测制过程中应对宏观地质地球化学特征进行详细的观察与描述，特别应注意地层组段之间沉积间断界面或岩性突变

界面处的观察，必要时应沿走向适当顺层追索，发现有矿化、蚀变或铁帽存在时应单独采样。

二、典型矿床(点)的地球化学研究方法

1:5万区域地球化学调查中，对研究区内已知的各种类型典型矿床或矿（化）点的研究是一个不可缺少的环节。研究结果对于系统了解本区主要矿化类型的特征、控矿因素、成矿作用规律，对于面积地球化学测量中采样对象的选取、指示元素的确定以及区域地球化学异常评价解释工作都有重要的指导意义。

从区域地球化学调查的任务和要求出发，典型矿床及矿(化)点的野外工作中应注意以下地质地球化学特征的观察和样品采集工作。

1．矿床产出的地质背景。如矿床所处的构造环境、容矿围岩类型、特征，矿体与围岩的关系等。

2．矿床及矿体产出的几何特征。矿体（群）的空间展布特征，矿体的形态、规模、产状要素以及空间变化规律等。

3．矿床的围岩蚀变特征。矿床的围岩蚀变类型、规模，特别应注意不同类型蚀变之间的关系，并采集相应的标本与样品。

4．矿床物质成分特征。包括矿石矿物、脉石矿物组合以及它们在空间上的分布规律。注意采集不同地段不同矿物组合的标本和样品。

5．矿石结构构造及矿化阶段的观察，特别应注意富矿地段的空间展布特征。

6．成矿作用后的构造活动规模、产状，构造充填物类型以及它们对矿床的影响。

为进行上述内容的观察研究，除对地表天然露头观察外，应充分利用已有地质工程，如探槽、浅井、钻孔、坑道以及坑口矿石和废石堆等。在风化强烈或第四纪覆盖区地表工程给我们提供了地表观察和采样的良好条件；坑口矿石与废石堆集中于坑道工

程采掘出的各类岩石和矿石，通过它们虽不能了解矿石与岩石产出的准确空间位置，但对于矿物种属、矿物组合、矿石结构构造、矿物世代、矿物生成顺序、围岩蚀变类型以及成矿期次等资料的收集具有得天独厚的优越条件，对进一步在坑道中的系统观察有着重要的指导意义；钻孔与坑道能给我们提供对矿床（体）进行三度空间观察的条件，使我们能加深对成矿成晕物质空间结构的了解，从而有可能得到某些判断矿床（体）剥蚀深度的地质地球化学依据。

对典型矿床的研究中，采集的样品包括光片、薄片样品、矿石及岩石分析测试样品、单矿物样品、包体测温及包体成分测定样品、稳定同位素测试与同位素年龄测定样品等。样品的数量可以根据矿床的地质复杂程度决定。同时应尽量收集和利用前人的资料。在收集前人资料时除收集上述样品的分析测试结果外，还应了解样品采集的地点、采样方法、分析方法和精度等，以使前人资料能得到合理的利用。通过这些样品所得的结果可以帮助我们深入研究矿床的物质成分、显微结构特征，了解不同类型矿石的主要与伴生元素组合，矿床形成的某些物理化学条件，矿床原生晕分带特征，成矿时代以及提供成矿物质来源的线索。

需要强调的是，在典型矿床和矿点的研究中，地球化学样品的采集应注意样品的代表性与系统性。

所谓样品的代表性即采集的地球化学样品应有确切的地质-地球化学涵义。例如，采集某种脉石矿物进行单矿物分析或对其包裹体进行研究时，样品应对应于相应的成矿期次；横穿矿体采集地球化学剖面样品时，样品的分割应注意围岩、蚀变类型、矿化类型以及成矿阶段等因素，单样的构成与采样密度以能充分反映剖面中地质特征的变化为原则，不宜采取机械地等距定点采样的作法。

采样的系统性包含两方面的含义。一是对同一类样品的采集应有系统性。例如，要了解成矿元素在空间上的分布规律，样品的采集应按剖面进行，地表剖面、钻孔或不同中段的坑道剖面在

空间上应当对应，以利于资料的整理与解释。系统性的第二层含义是不同类型样品应尽量做到相互配合或配套。例如，同位素测定与其它测试样品之间的配合，采集岩石化学全分析样品同时采集薄片样品进行镜下观察等，切忌采集各种样品单打一，相互毫无联系的作法。

通过以上讨论可见，典型矿床研究的理想条件是已经深部工程勘探的矿床或开采矿山。但对于某些有代表意义的矿点，虽无深部工程亦应收集资料。资料收集的内容应视具体条件而定。典型矿床研究的室内工作方法及在水道测区的研究成果见第三章。

三、区域基岩地球化学测量方法

区域地球化学测量的目的是通过在研究区范围内的系统样品采集，了解各种化学元素在研究区二维空间上的分布特征与规律，综合其它地球化学专题研究的成果，为解决区域基础地质问题提供有意义的地球化学信息并为区域矿产预测提出有希望的成矿远景区。

以基岩为对象的区域地球化学测量，其突出的优点是样品的地质背景明确，所得到的地球化学信息直接，能够和样品所代表的地质体的其它地质特征联系和对应，有利于对资料进行地质、地球化学相结合的综合研究；所得到的元素在测区内的背景分布和异常分布均无空间位移，元素含量也未因表生作用而产生贫富的变化。因而，元素之间保持原有的共生组合的关系，有利于研究元素间存在的原生共生规律。因此，基岩地球化学测量所揭示的空间分布特征和共生规律不仅可为解决测区的基本地质问题提供有意义的地球化学信息，而且可以排除由于表生作用因素而造成的异常的多解性，为地球化学找矿提供更为直接可靠的信息。同时，这一特点还决定基岩地球化学异常对矿化有较大的探测深度，可以结合典型矿床原生晕分带的规律对一些埋深较大、地表异常显示较弱的矿化进行有效的评价，在某些情况下，还可对矿

床的剥蚀或埋藏深度作出有依据的判断。

另一方面，由于基岩样品未经表生作用的均匀化，元素在不同地质体中的含量与分布特征往往存在突变性的差异，这就给基岩地球化学测量在采样理论和采样方法技术上带来许多问题，集中表现在采样方案上，诸如采样布局、采样密度、样品构成、样品代表性以及采样效率等问题，同时还进一步涉及资料整理、成果表达等一系列问题。因此，采样方案是否合理、有效是区域基岩地球化学测量是否可行和质量优劣的关键。对于这一问题国内外地球化学工作者在理论与方法上都进行过不少探索。

一般地说，一种合理的取样方案就是根据一定的原则从研究对象（总体）中抽取一定数量的样品组成样本（实际上，在许多情况下我们不可能对研究对象的全体进行研究），使样本的分布与总体的分布尽可能一致，从而通过样本的空间分布规律推断总体的空间分布规律，即通过对总体中有限单位的调查结果作为对总体普遍适用的一种估计。

根据区域基岩地球化学测量的特点，一个合理的抽样原则，样品对不同地质体中元素的背景分布和因矿化引起的异常分布要有代表性，应能充分揭示元素背景和异常分布的结构和规律，并能经济有效地发现矿致异常。因此，对于一个具体地区的区域基岩地球化学测量的采样方案，应充分考虑以下因素：

1．区域地质构造和地球化学场的特征；

2．区域地质发展进程和矿化作用的基本特点；

3．基岩出露条件；

4．当前的经济发展水平和其它技术条件。在确定采样方案时，应根据以上因素对样品的布局、采样密度、采样单位以及具体采样方法做出明确的规定。

下面介绍几种基岩地球化学采样方案，并作适当的评述。

（一）丛聚法采样

区域地球化学工作中丛聚法采样是在工作区域内的少数地段集中采集样品的一种做法（图1—2A）。采用这一方案的最大优

点是采样投资少，效率高。它的使用前提是采样地段对于研究区域必须具有一定代表性。或者，局部地段的变化和区域性变化的大小大致相同，例如，对于某些成分较均一的岩浆岩体，可以在岩体的局部地段集中一些样品来了解整个岩体的地球化学特征；或者，区域具有某种规律性的变化特征，通过对少数局部地段的采样可以收集到区域性的变化信息。例如，对区域地层的地球化学研究中，可安排在少数地段进行剖面采样来了解不同时代地层在区域上的地球化学变化规律。但丛聚采样也有明显的缺点，其中最主要的问题是样品未能覆盖全区，因而不能系统地揭示区域性变化的细节，也无法编制出较详尽的区域地球化学图件。因此，丛聚采样主要在专题性区域地球化学研究或小比例尺区域地球化学研究中使用，在大、中比例尺区域地球化学研究或调查工作中应用不够广泛。

（二）简单随机采样法

根据抽样理论，对于单一的均匀总体用简单随机抽样法，样本能对总体的分布参数作出无偏的估计。于崇文（1964）对北京房山花岗闪长岩体进行地球化学研究工作时曾采用这一采样方案。其具体做法是，采用500m见方网格将房山岩体划分为若干个单元，按一定抽样比率进行等概率抽样。抽样结果样品基本覆盖岩体不同区域，样品分析结果表示成元素含量等值线图，很好地揭示了不同元素在岩体中的分布规律。简单随机抽样法适用于象房山岩体这样的总体成分比较均匀的地质总体，而区域地球化学测量的情况则复杂得多。测区中地质构造与出露岩石类型往往十分复杂。简单随机抽样，样本在空间上的分布也是随机的，抽样结果样品的空间分布往往疏密不一，一些地段还会出现无样控制的空白区（图1—2B）。这种情况当单元划分较多而抽样比率较小时将会更为严重。区域地球化学测量的任务主要是通过样本中元素的空间分布规律揭示总体的空间分布规律，样品分布不均特别是空白区的出现对不均匀总体元素的空间估值无疑存在估值精度不一的明显隐患。因此，简单随机取样方案对于区域地球化

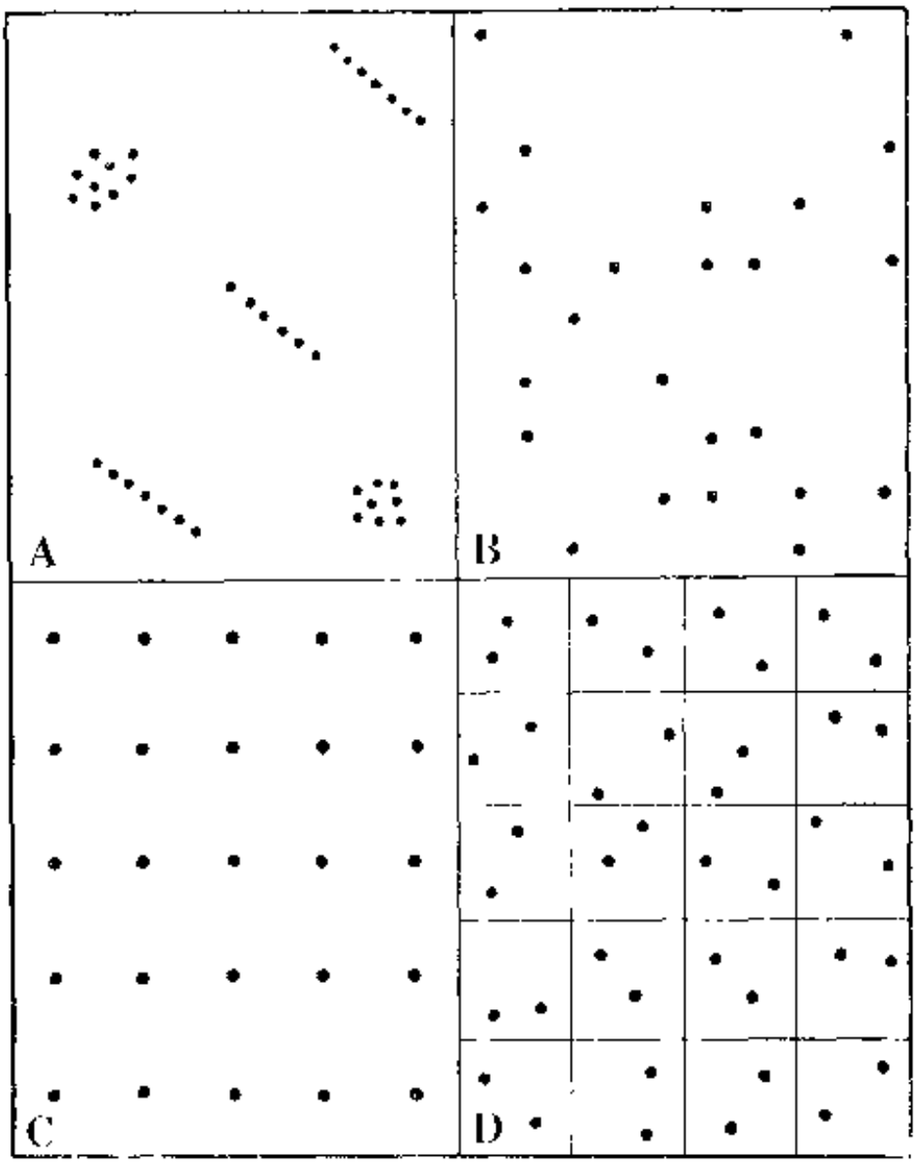


图 1—2　地球化学采样方案

A—丛聚采样；B—简单随机抽样；C—规则网格采样；D—分层随机采样

学测量来说应用是局限的。

（三）规则网格法采样

对于不均匀的地质体，网格法采样方案样本能够有效地反映总体的分布特征。原苏联及我国早期的原生晕找矿规范都要求采用规则网格法采样。根据找矿目标与测区地质特征的不同网格形状可以采用方形网、矩形网或菱形网等，目前土壤测量大多仍采用这种方法（图1—2C）。规则网格法采样密度的大小应根据采样介质中元素含量的变异程度来确定，基岩介质由于其元素分布的空

间突变性明显较土壤的大，要有效地发现有意义的异常就应保证样品有足够的密度，因而在一些化探规范中对岩石测量规定的采样密度比相同比例尺土壤测量的采样密度要大得多，这就要求工作地区需要有很好的基岩出露条件。在一般区域性工作中我们只能利用现有的基岩露头，这种大范围的良好基岩出露条件很难得到满足。因此，这一采样方案从经济投入和技术条件两方面来说，在区域地球化学测量中采用都是受到限制的。

（四）分层随机采样法

为了克服简单随机取样可能造成的样品分布不均和空白区出现，规则网格法采样不考虑具体地质情况的“撒网捕鱼”式的机械方法与基岩出露条件上的苛刻要求，并从降低经济投入和提高取样效率方面考虑尽可能减少样品数量，目前国内外区域基岩地球化学测量常采用所谓“分层随机采样”方案。其方法是将整个测区按一定规格大小的网格划分成若干小单元（或层），每一单元内按相对均匀分布的原则规定一定的取样密度采集若干个样品（图1—2D）。单元中出露不同地质体（取样单位）时，样品的分配按其各自出露的面积大小来决定取样单位的取舍和确定不同取样单位采集样品的数量比例。有的工作中，为增强找矿信息还强调要注意对采样单元中矿化或蚀变岩石样品的采集。这一采样方案可以保证整个测区内样品保持相对均匀的分布，发挥了基岩采样可以对采样对象的地质特征预先识别的优势，避免了网格法采样中采样人员被动性，从而增加了样品的代表性和取样的自由度，提高了采样效率，取得了事半功倍的效果，在不少地区的区域地球化学调查中采用取得了重要的成果。

通过实践，发觉这一采样方案也存在一些缺陷。

1．一般地说，开展1:5万区域地球化学测量工作之前，对工作区的主要矿化类型、区域地质特征以及已知矿床和矿化点的分布已有初步的了解。为了更好地发现异常，强调适当对已知或可能的矿化、蚀变岩石样品的采集，这一考虑无疑是正确的。但在实际采样工作中由于采样单元中样品数量的限制，具体采样人员

将面临对一些已知矿点和明显矿化样品是否应当采集的抉择难题，舍弃一些可能的矿化样品无疑会失去一些有意义的异常信息。区域地球化学测量中样品采集工作常常是分组进行，不同采样者对采样要求中这一原则的理解和实际处理问题的差异可能会使整个采样结果产生畸变。

2．从理论上分析，元素的背景分布与异常分布一般归属两类（或两类以上）的总体，将这两（多）类总体用同一样本（混合样本）来进行参数估计，即便是通过某些数据处理技术的处理，对背景总体或异常总体都不会得到无偏的估计。混合样本一般不服从正态分布，其中的高值样品通常来自异常总体，它们对混合样本的均值有较大的离差，其方差在整个样本方差中往往具有举足轻重的作用，因而对这类混合样本进行统计处理时会使统计结果产生严重歪曲。以样本方差、协方差为出发点的统计方法，如方差分析、相关分析以及以变量间统计相关为出发点的多元统计分析，如因子分析、对应分析、R型聚类分析等都会出现这种情况。在地质统计分析中计算半变异函数时，会因个别离群样品使半变异函数急剧跳跃，进行克立格估值时也会因个别高值点的存在而出现大片高值异常区的现象。在一些工作中，为满足一些统计分析方法要求变量服从正态分布的前提，对于这类混合样本往往采用正态或对数正态分布模型假设进行检验，对样本中的高值点进行剔除处理，但这一处理的结果，被剔除的样品极大可能是属于异常总体，它们包含着重要的矿化信息。在采样密度不大的情况下，经离群点剔除后的样本，其空间分布特征和统计参数可能主要代表了元素在背景层次上的规律，而并未对异常总体特征进行反映实际的刻划。

3．由于分层随机采样是按网格“分层”，然后按网格内出露不同类型岩石的面积大小分配样品数量，虽然采样时注意反映矿化信息样品的采集，但总的来说混合样本主要包含的是反映区域背景分布的样品。从一般的统计规律来说，背景总体与异常总体相比变差相对较小，元素含量的空间波动幅度和频率也相对较低，

从估值精度和反应空间变化规律的精确程度考虑，采集异常总体的样品数应多于背景总体的样品数，分层随机取样中两类样品的分配比例正好与此原则相反，其结果是对异常总体参数估计和空间分布规律描述的精度不如背景总体。因此，这一采样方案没有充分利用两类总体的特点来合理确定两类总体应有的样品比例，从而未能在样品数量限制的前提下充分获取异常总体的信息，降低了提供的区域矿产预测结果的可靠程度。

4．正如上面讨论所指出，分层随机取样方案克服了网格法采样的盲目性，针对采集基岩样品可以对样品类型、地质特征等进行观察与识别，有选择地采集样品，从而提高了每一样品的代表性，但这一采样方案仍未充分发挥基岩地球化学测量的优势，即在对工作区已有地质资料初步掌握的基础上，可以对测区内可能的矿化类型进行大致的判断，在采样时能对背景岩石和各类矿化地质体进行初步目视识别，并在采样方案中具体落实，从而使区域地质调查工作从采样开始就更密切、更合理的和地质工作结合起来。

（五）目标追踪采样法

是本专题研究制定的网格采样与丛聚采样相结合的一种采样方法。这一采样方案设计的基本思路是将基岩地球化学测量中一般采集混合样本的传统做法改为分别采集具有不同地质地球化学意义的基岩介质的方法。一般地说，区域地球化学测量测区范围内往往包含数以十计的各种地质体，化学元素在它们中的含量分布是有差异的，统计分析中可将它们视为不同的总体。但从勘查地球化学角度分析，我们可将它们分为两类基本的地球化学总体，一类为背景总体，是由矿化作用以前形成的地质体的总和，它们在空间上基本是连续的，从元素空间分布的观点我们将其称之为背景场（或正常场）。另一类为异常总体，它们是元素呈异常分布的矿化地质体的总和，在一定空间范围内是连续的，称之为异常场。目标追踪采样法采取了丛聚采样的野外追索选择的优点，同时在布样上把测区划分为规则网格的采样单元，保证了样品在空

间上的控制性。

这一采样方案在山东牟平—乳山金矿带的实验研究中取得了满意的结果。它的优点是：

1．由于区分两类样品取样，对于取样者来说目标明确，不会面对如何取舍矿化样品的问题，并且在采集异常场样品时，强调尽可能采集矿化较强的样品，从野外采样开始就注意追索矿化线索，这有利于发现有意义的矿致异常。

2．克服了采集混合样本给数据整理带来的各种困难。背景场与异常场样品的地质含义明确，不必象混合样本那样依靠一些统计处理方法设法分辨出背景信息和异常信息，因此也不必为统计推断结果的可靠性担心。

3．由于两类样品特征不同，地球化学意义不同，在区域地球化学调查中所起的作用也不同，因此可以对两类样品采用两套不同的指示元素分别进行资料处理，这样既可充分利用不同样品的特点，又可充分发挥不同元素在解决不同地球化学问题中特有的指示作用，从而提高获取地球化学信息的质量和效率。

4．在两类样品数量的分配上，考虑到两类总体变差不同，异常场样品的数量大大超过背景场样品数量，从而明显增强了评价异常的基础，提高了矿产远景靶区预测的可靠性。

5．由异常场样品所圈定的成矿元素及矿化指示元素的高值区对矿化强度和矿化类型的指示，较之其他方法具有更明确、更细致的指示意义。

（六）牟平—乳山金矿带水道测区基岩地球化学测量实例

牟平—乳山金矿带位于山东半岛中部，是胶东地区极有远景的金矿产远景区。该区已知矿产类型以金为主，基岩出露条件良好，是进行区域基岩地球化学测量方法研究的理想地区。区内金矿以石英脉型为主，蚀变岩型亦有少量矿点发现。我们在该矿带选择了 288km²（后扩大为 304km²）的区域进行基岩地球化学测量，具体实施方案如下：

1．工作图件

以1:2.5万地形图为野外工作图件，利用罗盘及地形地物标志定点。定点误差不超过25m。

由于本区1:5万地质填图工作正在进行，所用地质图是在山东地质三队1:5万区调设计书编制的1:5万地质图的基础上，及时收集该队1:5万地质填图的资料进行工作。

2．采样布局与采样密度

在基岩地球化学测量测区范围内，以地形图方里网网格（1 km^2）为采样单元，每一采样单元内的样品数控制在4—7件，一般取5件。其中异常场样品3—5件，背景场样品1—2件（见图1—3）。各类样品在取样单元内和相邻单元之间应注意样品分布的均匀、合理。为满足这样的采样布局要求，采样前需根据地质图对该取样单元的主要地质情况进行很好的了解与分析。

3．采样介质

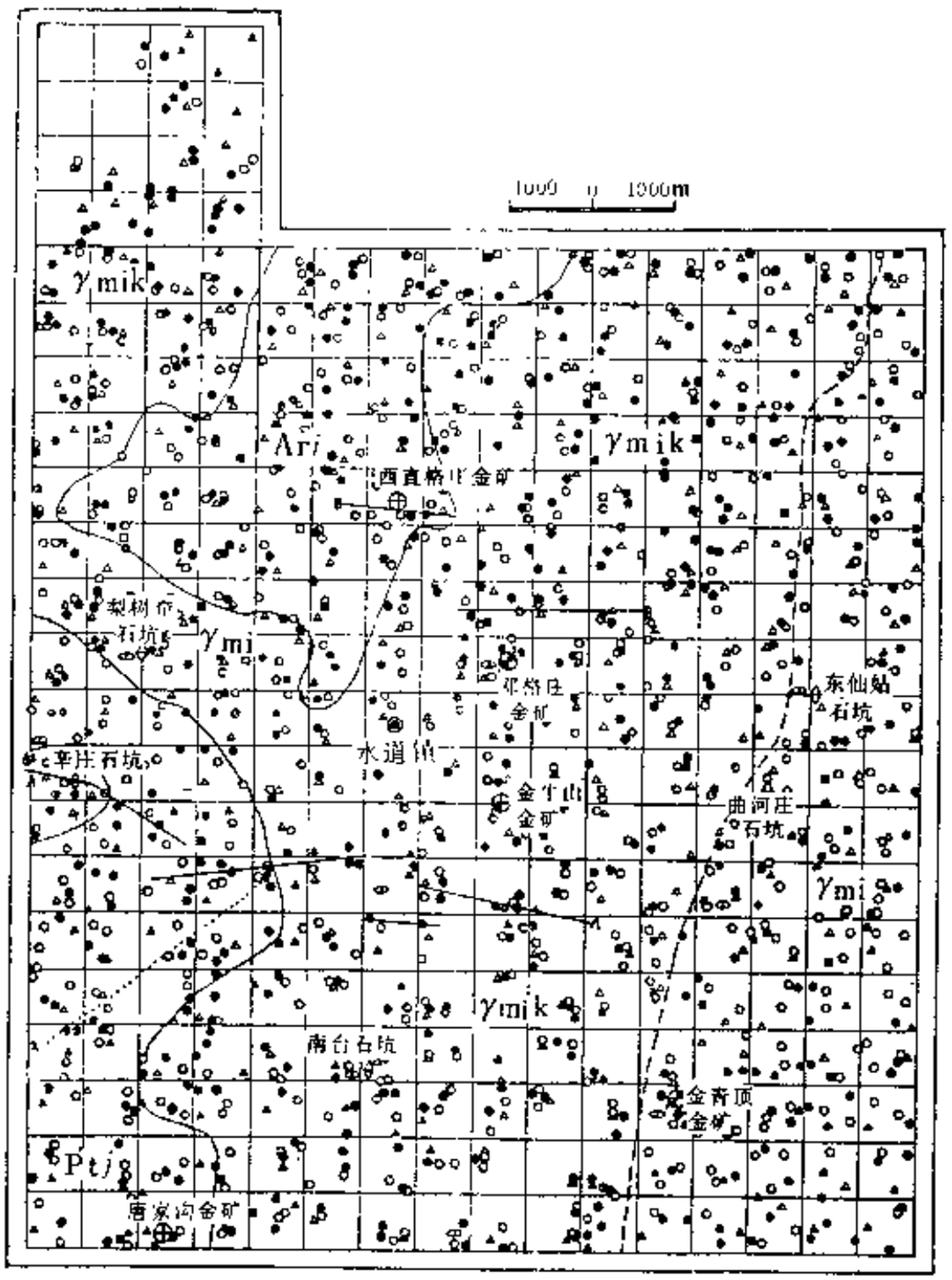
背景场样品采集未受蚀变的新鲜岩石一件，其岩性选择为该取样单元内分布的主要岩性单位。如取样单元内两种岩性分布面积相当，可参考相邻单元岩性分布的情况加以确定。如取样单元内岩性分布复杂，种类较多，可适当增加有代表性的样品一件。

异常场样品采集反映本区成矿活动产物及受其影响的基岩。具体采集对象为：蚀变带或构造破碎带样品二件。选择取样单元内有代表性的构造、蚀变带采样。石英脉样品二件。石英脉是热液活动与特定类型构造活动同时空的产物，是本区金矿化的主要赋存岩石。系统地采集石英脉样品将会获取有关金矿化活动的重要信息。取样时注意石英脉的构造方位与矿化特征，并尽可能采集肉眼观察发现的有可能富集金的样品，见图1—3。

4．样品构成

样品采集点露头不小于5 m^2，在岩石出露不连续，单个露头不能达到上述要求时，可以在几个邻近的露头上取样，但应注意采样对象的一致性。

采样用拣块法采取，由8—12块小样合成，当采样对象成分均一时，小样可在采样点范围内均匀散布；如当取样单位岩性成



Ptj 元古代荆山群
Arj 太古代胶东群
γmi 混合花岗岩
γmik 混合花岗岩内接触带
太古代与元古代界线
地质界线
混合花岗岩内接触带界线
地质地球化学剖面
石英脉采样点
构造蚀变岩采样点
基岩采样点
成矿地球化学研究矿区
基岩研究点
异常详查区
岩石化学全分析样品及数据

图 1—3 牟平—乳山金矿带水道测区采样点分布图

分不均一，其空间分布有明显方向性时(如地层、条带状混合岩、构造及蚀变带等)，小样应沿其变化方向线状分布，且原则上应包罗岩性变化的范围。

样品应尽量采自未受风化的岩石，小样不应有天然露头表皮，以免植被及其他因素对样品的污染。

5．采样记录

采样时观察及记录内容编制成“基岩地球化学采样记录”表（见表1—1），表中所列观察记录内容可以归纳为八个部分：

① 采样观测点的地理位置、特征及编号；

② 采样点出露岩石肉眼观察的主要特征；

③ 采样点附近构造的基本特点；

④ 观测点上各种脉岩出露的基本特征；

⑤ 采样观测点矿化情况及其特征；

⑥ 采样点上采集的各类样品和标本的编号；

⑦ 备注。以文字或图补充说明样品点各种地质特征和标志；

⑧ 采样责任表。

6．重复采样

在面积性基岩地球化学测量的采样中要进行适当的重复采样，以检验采样的质量。重复采集样品的数量控制在总样品数的3%—5%。分别按背景场和异常场样品用随机抽样法确定重复采样的单元和位置。重复样品与面积采样同时进行。

实验研究区的采样结果，在 304 km^2 面积内，背景场样品采取率为 100%，异常场样品中石英脉采取率为 97.3%，构造蚀变岩为95.8%。样品在采样范围内基本上均匀分布（见图1—3）。

面积性基岩地球化学测量的采样效率，根据本次在牟平—乳山金矿带水道测区的实践，二人一组，每组每天可完成 3 km^2—4 km^2，约15—20件样品的采集工作。根据这个工作进度，二个采样组 60 d—75 d 即可完成一幅 1:5 万图幅的全部面积性采样工作。与同比例尺的土壤测量相比，这一采样方案可以大大提高野外采样工作效率，相应减少 3/4 测试工作量，取得比土壤测量更

表 1—1　基岩地球化学采样记录

测区：

统一编号			图　幅			观测点位置			
野外编号			露头类型			坐　标	$x=$	$y=$	
岩石特征	岩石名称		时代		产状	类　型		备　注	
	结构构造		颜色			倾向倾角			
	主要矿物成分、含量				其它				
构造	类　型		性　质						
	产　状		发育程度						
脉岩	名　称		穿叉关系						
	规　模	长　　宽	形　态		颜色				
	主要成分		发育程度		产状				
矿化	类　型		强度及规模						
	矿物组成		围岩蚀变						

样品标本	样品类型	名　称	新鲜程度	样　号	袋　号	用　途

采样者　　记录　　日期　　年　　月　　日

丰富的地质、地球化学信息。

四、1:5万区域地球化学调查的工作程序

1:5万区域地质调查工作中的地球化学调查工作，最好能与区调工作同步进行。这是因为两者工作任务总的目标一致，许多工作需要互相配合、例如资料收集、踏勘工作、剖面测制以及其他专题研究工作，如能同步进行可更好的加强地质调查与地球化学调查工作的配合，提高整个区调工作的效率。同步工作的另一优点是能使地质工作人员直接参与区域地球化学测量工作。从前面介绍的区域地球化学调查的各项野外工作要求可知，基岩地球化学样品的采集要求采样工作人员具有掌握基本地质知识与实践的较高技术素质，地质人员只要稍加实践即能完全胜任这一任务。地质人员参与面积性基岩样品采集工作的好处还在于采样工作可以结合区域填图工作同时进行，采样中对异常场的目标追踪也会促使地质人员对矿化特征进行更深入细致的观察，从而更加系统地掌握区域成矿作用信息，从全面提高区调工作质量方面考虑可以起到事半功倍的效果。

从区域地球化学调查本身的工作安排考虑，整个工作可以分为四个阶段。

1．资料收集与踏勘阶段

这一阶段的主要任务是通过收集已有资料和踏勘工作尽可能全面、系统地了解工作区地质背景资料，以往工作成果与工作程度、存在的主要地质问题以及测区的自然地理环境与工作条件。在此阶段应系统收集与整理已有的地球化学资料。通过这一阶段的工作，应对工作区需要解决的基本地质和找矿问题做到心中有数。对异常场样品的采集对象有一个初步的考虑。

2．基础资料获取阶段

此阶段的工作是通过一定的实际工作取得必要的地球化学资料，为下一阶段全面系统的地球化学调查打下良好的基础。这一

阶段需做的工作包括：

① 地球化学剖面测量。其中包括地层的地质地球化学剖面。通过剖面采样，系统了解研究区各类岩石的元素丰度和设计分布特征，为面积性地球化学测量样品分析中指示元素的确定提供依据。这一阶段对矿床（点）的研究是初步的，可以通过个别剖面工作了解典型矿床（点）的主要地质地球化学特征。

② 面积性基岩地球化学测量的实验工作。不同地区的地质情况不尽相同，自然地理环境、基岩出露情况也有差别，因此任何一个地区的基岩地球化学测量工作都不能采取机械执行某一规范的要求或照搬某个地区工作的成功经验。具体情况具体分析才是能使我们工作取得成功的基本准则。因而，对于一个具体地区的基岩地球化学测量的具体实施方案，在不违背规范规定的一般要求的原则下，应通过本区有针对性的实验工作加以确定。具体做法可以选择一片面积不大（40 km^2—60 km^2）对于本区具有代表性的区段进行实验工作。对于目标追踪采样法应着重研究异常场采样对象选择。

3．全面开展区域地球化学调查阶段

本阶段是整个区域地球化学调查工作的主体阶段。各项地球化学专题研究工作和面积性基岩地球化学测量工作全面展开。工作中应对所采集的各类地球化学样品及时送交有关实验室进行分析测试，应及时检查分析质量，及时对面积性地球化学测量结果所圈定的异常进行评价和查证工作。

4．报告编写阶段

完成各种地球化学资料的综合整理，编制完成各种地球化学图件，编写区域地球化学调查报告。

第二章　背景场与基础地质问题研究方法

现代矿床地质学认为，成矿作用是区域地质构造演化历史中一定条件下的产物，成矿成晕与地质环境有密不可分的联系。因此，从成矿规律来讲区域地质条件是控制成矿的重要因素；从找矿和异常评价来讲地质条件是找矿线索，也是异常评价的一方面依据。100多年来矿床学和找矿地质学积累了丰富的地质找矿经验，把地质找矿规律和地球化学探矿结合起来，在充分认识本测区成矿控矿地质规律的基础上评价化探异常和筛选靶区，有可能提高化探找矿的效果，为当前解决深部找矿和找盲矿问题开辟新的途径。

本书介绍的基岩地球化学测量方法，包含着对测区基础地质特征的信息的获取技术，即对背景场的地球化学测量。常规的化探工作不需要深入研究背景场的地质意义。从近10多年来国内外大量的勘查地球化学找矿实践看来，背景场资料不但包含大量的基础地质特征信息，而且可以获取到评价化探异常所必须的成矿地质环境依据。因此，深入研究背景场是勘查地球化学工作所必须完成的课题，为此只要在地球化学测量中增加有关问题的观察和样品采集，以及增加地质作用指示元素的测定，就可以获取到所需要的信息。本书所介绍的基岩地球化学测量方法，除常规的化探找矿测量项目外，还包含了针对地质信息样品的采集，即系统的背景场测量。概括地讲，使用目标追踪采样法进行的基岩地球化学测量包括四个方面资料的系统的采集：

1．宏观地质现象的观察。包括对区域地层、岩体、构造、变质作用、接触关系及地质特征在区域上的变化的观察和描述。

2．宏观矿化现象的观察。如对矿脉、含矿带、接触带、铁

帽、蚀变现象等的观察研究，以及必要的地质和化探采样。

3．微观地质信息的采集。主要指对背景场的系统的采样。地质作用除留下宏观可观察的地质体，如地层、岩体、构造断裂等外，还形成了大量的微观信息，即通过系统采样分析其中常量和微量元素含量，元素存在形式，以及同位素丰度等说明地质作用的性质条件和区域上的分布。通过系统的目的性明确的对未矿化地段的采样，可以取得地质作用的微观信息；所测定的指示元素根据具体测区的地质情况选择，并且根据测量结果、剖面资料和典型矿床研究对测区基础地质问题进行综合分析和推断。近10年来国内外迅速发展起来的区域地球化学分支，在应用微观信息解决地质问题方面积累了丰富的经验，初步形成了较完整的理论和工作方法。微观信息的开发和使用是现代地球化学的具有巨大潜力的优势。

4．微观矿化信息采集。即异常场地球化学测量。目标追踪采样法把宏观矿化现象的追踪与系统的基岩样品采集结合起来，提高了采样效率，减少了盲目性，保证了获取到区域矿化资料完整性。

本章以胶东水道测区为例，重点介绍宏观和微观地质作用信息的采集方法，及其资料综合整理和解释推断中的经验和成果。

一、地质地球化学填图

成矿和成晕是一种区域性地质现象，其分布和发育受测区地质构造条件控制。勘查地球化学人员如果对本测区地质特征及控矿规律有较充分的了解，将对异常的圈定、评价有很大帮助。如果在野外化探测量过程中化探技术人员对测区地质环境亲自进行观察研究，则将进一步提高找矿效果，并且可以补充测区的地质工作，根据所取得的地球化学证据对测区基础地质问题的认识得到加深或修正。

为适应通过一次野外测量施工，同时获取到测区内地质和矿

化的宏观和微观信息的要求，在胶东水道测区试验了野外观察和采样同步进行，室内把观察资料和测试分析结果综合编图的一套工作方法，称为地质地球化学填图。针对水道测区地质情况进行了以下方法试验。

（一）区域断裂构造测量

在野外基岩采样的同时，对采样点的岩性、构造、矿化特征等进行全面的观察记录。其中对构造的观察包括变质地层的产状、接触关系，接触带结构，交代残留体，断裂构造的产状，及其充填石英脉的产状、延伸情况，结构面的性质，构造岩特征，构造断裂之间的叠加改造关系等。针对断裂构造对金矿的重要控制作用，在采样中特别加强了断裂构造内容的观察和编录，以便取得区域断裂构造的整体信息，查明其对金矿的控制。

以野外采样记录卡中记录的测区408个构造断裂和石英脉的产状成图。并把图中断裂性质相同、方向一致、空间位置相近，野外追索记录中有一定延伸的产状在图上相连（在图上2 km距离内存在三个以上的性质方向一致的产状时连成一条断裂），这样共绘出长度达2 km以上的断裂46条，其中产状为NE10°—15°的34条，NE15°—30°的10条，NW340°—350°的断裂两条，如图2—1。

由图可见，本区发育最强烈、规模最大的一组断裂构造是产状为NE5°—15°的新华夏系断裂带。其主、次断裂密集带在测区内出现五条，自东向西排列为：曲家口、将军石、金牛山、牟平—唐家沟、下齐各断裂带，其间呈大体为4.5km—5km的等间距平行产出。本组断裂为测区的控矿构造，几乎观察到的全部含金石英脉都产于这一组断裂中，经常为连续达数公里的含金石英脉或蚀变岩所充填。这组断裂总体上呈压扭性质，但局部为张扭性质。根据区内已知典型矿床研究，在断裂的张扭性段石英脉膨大，金矿石品位增高形成富矿体，因此，张扭性段控制金的富矿段（矿化中心），这种张扭性段在区域上呈左旋斜列式以4.5km—5 km的间距排列。由成矿指示元素图可以看出，Au、Ag、As等

主要成矿指示元素的异常明显地沿NE5°—15°一组断裂发育，证明这一组断裂是控制区域热液活动和金成矿的控矿构造，同时说明断裂构造测量法可以准确地反映区域断裂构造发育特征。

在测区北西部——金牛山和下齐断裂之间的地段发育一组NE15°—30°的华夏式断裂带（见图2—1），由尺坎到徐家寨全长达11km。经地面检查证实华夏式断裂切割了唐家沟—牟平断裂带，因此其形成时间较晚。从区域构造体系图上看出，测区内由尺坎到徐家寨的华夏系断裂为区域玉林店—海阳大断裂的一部分，总长达100km，不含矿，对金矿脉有破坏作用。

图2—1是根据基岩地球化学测量采样记录资料按1：5万比例尺编绘的地质图。其所依据的采样点总数为1474点（相当于地质观测点），按总面积为304km²计平均采样网度为4.85点/km²。其中各地层地质界线及接触界线主要根据野外采样岩性记录，并参考Ba、Sr、V、Zr的岩性指示元素异常等值线图绘出，图中特别标明了禄格庄组和胶东群的推测接触界线，是根据禄格庄组底部变质砂岩及其Zr的峰值异常位置绘出的。同时根据花岗岩中原岩交代残留体及V、Zr、Y等元素异常将该界线推至昆嵛山花岗岩体中。图中的断裂构造是根据实测408个断裂产状资料编绘的。其余图上的资料如矿点、残留体、石英脉、蚀变带等均来自采样观察实测资料。

（二）区域蚀变带填图

通过区域地球化学调查，对矿化、铁帽、蚀变和脉岩进行了较系统的观察和编录。编录的项目包括石英脉、长英质脉、长石脉、煌斑岩脉、绢英岩、绢英岩化花岗岩、构造蚀变岩、黄铁矿点、铁帽点，以及硅化、透辉石化、蛇纹石化、绿泥石化等内容。这些脉岩和蚀变作用包括区域变质和混合花岗岩化时期产物，也包括燕山期热液成矿作用阶段的形成物。

为了追踪区域热液活动的发育特点，将野外记录卡片中的绢英岩、绢英岩化花岗岩，以及铁帽、黄铁矿化点的资料投图，并把空间上接近的蚀变记录点连接成带。测区304 km²范围内共绘

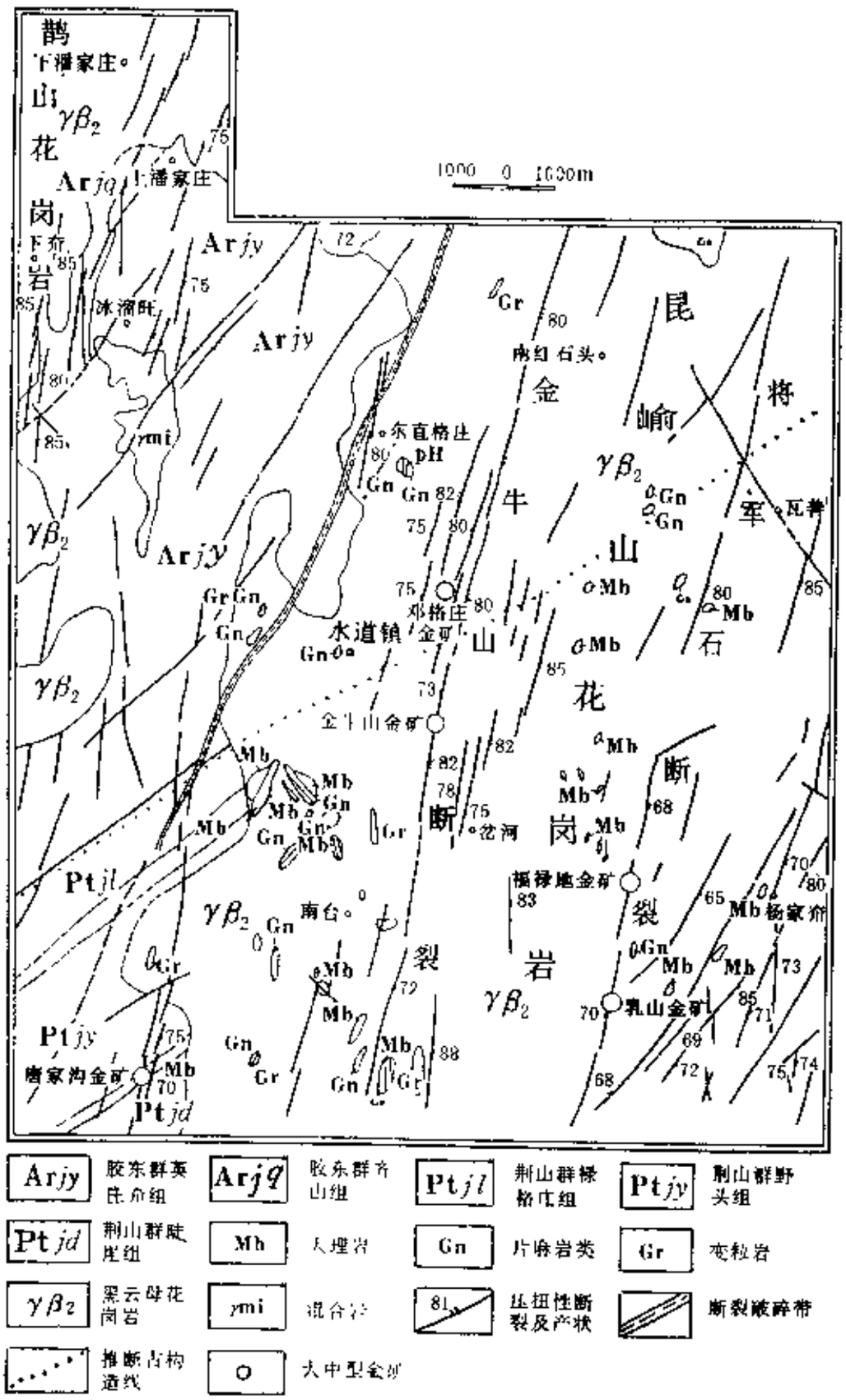


图 2—1 牟平—乳山金矿带水道地区地质图

出41条绢英岩及绢英岩化花岗岩等蚀变岩带，还有大量的单点资料。蚀变带的延伸方向多为NNE向、SN向或NNW向，最长可达5 km，大多为2 km—3 km长。其中在11条蚀变带上观察到黄铁矿化点或铁帽，也是金矿化点。图上圈出来的蚀变带有的与已知金矿脉相吻合，如金青顶金矿、金牛山金矿等，有的与测区新圈定的异常吻合，大多数短小的蚀变带不一定处在已知矿化或异常上，显然它们也指示区域热液活动发育的某些踪迹。

在空间分布上蚀变带主要发育在五条控矿断裂上，如金牛山断裂及其两侧蚀变带最为密集。其它如将军石断裂、唐家沟断裂、下夼等断裂均有与之相吻合的蚀变带发育。区内已知的七个大小金矿都可观察到稳定连续的绢英岩化蚀变带。由图2—1可见，由测区东南角的金青顶金矿，经邓格庄、金牛山到西直格庄，以及到冰流旺、下夼的近NW330°方向延伸的宽阔的带内是测区蚀变带的密集区。因此蚀变带的发育是受区域构造控制的，反映热液活动的区域分布。根据区域构造和矿化资料的综合分析，由金青顶到下夼的沿测区对角线展布的NNW向张性左旋斜列式断裂带，金矿化和原生异常都十分发育，为本区重要的控矿构造线，区域蚀变带填图结果提供了有力的证据。

此外，根据区域蚀变带图还可以归纳出混合花岗岩化阶段蚀变和脉岩的区域分布特征，如长英质脉、长石脉主要出现在外接触带，即胶东群、荆山群变质岩系中；花岗岩红化、硅化作用主要发育在内接触带；而透辉石化、透闪石化、蛇纹石化则主要见于荆山群大理岩分布区，以及混合花岗岩内接触带出现的大理岩残留体或大理岩交代残余“阴影”区内，这些蚀变点出现的位置及大理岩残留体的总体展布方向，与区域地层的走向一致，反映出花岗岩属原地半原地混合交代的成因特征。

二、背景场研究方法

背景场的研究方法包括区域标准地质地球化学剖面的测制和

面积性基岩地球化学测量的背景场采样。背景场样品的布局要求既考虑到保持系统性和覆盖全测区，又根据背景场成分变化相对不大的特点，网度采用1—2样/km^2，在岩性变化和构造复杂地段取样可以加密。背景场研究主要是根据系统采集的微观信息，解决测区与成矿控矿有关的基础地质问题，为测区异常评价提供成矿地质条件依据。

（一）岩性指示元素

背景场样品中的地质作用信息，主要反映在样品中的元素含量在空间的变化上。地球化学已证明，岩石中元素的分布和分配有一定的规律性，微量元素的组合、分布特征参数及其在各种地质产物中的变化有指示成因、物源、成岩环境和后期叠加作用的意义。因此，岩石中元素是地质作用和成岩机制的指示剂——称为岩性指示元素。选择岩性指示元素与以找矿为主要目标的成矿指示元素不同，它必须在所涉及的地质作用中有广泛的活动，反映地质作用的强度和范围，又不被后期热液叠加作用所干扰，保留地质信息的有效性，此外还应是容易测定有可能取得良好数据结果的元素。因此岩性指示元素须通过实验选择。

近10多年来国内外开展的岩石地球化学测量和区域地球化学研究发现，许多常量和微量元素有指示地质作用的意义，已经开发出一批典型的地质作用指示元素或元素组合，也称岩性指示元素。文献中已被广泛使用的如Cr、Ni、V、Ti、Mg等指示超基性和基性岩的分布；Be、Ba、W、Sn、U、Th、REE组合指示酸性岩浆活动；SiO_2、K、Ba、Sr反映区域混合岩化作用；Zr、Cr、Y、Th、REE组合为碎屑沉积岩特征；Sr、Mn、F、Ba的高背景区指示碳酸盐类的分布；MgO/CaO、Ba/Sr、B、K、Fe_2O_3/FeO等指标有指示沉积环境的地球化学意义；W、Mo、Be、Li、B、F等元素组合标志高温汽成和热液成矿显示；B、F异常指示火山活动中心或火山口；K、Rb、Cs、Li、Ba、SiO_2的异常与斑岩型、火山岩型成矿蚀变作用有关；F、Cl、B、S、I、CO_2、H_2O、H_2等是矿化剂元素，该组合异常标志有利的成矿

环境等。地质作用和地质环境指示元素有待沉入研究和开发。

在胶东水道测区对背景场样品进行了以下9个指示元素的使用实验：Ba、Sr、V、Cr、Mn、Ti、Be、Y、Zr，以及Au、Ag、Cu、As等。各元素的指示意义和应用结果如下：

Ba、Sr——为亲石微量元素，其地球化学性质分别与K、Ca相近。在花岗岩、混合岩和花岗质片麻岩中富集，混合岩化作用中Ba、Sr的活动广泛，主要反映K质交代作用的发育地段和发育强度，因此是混合岩化K交代作用的指示元素。另外Ba在富Si、Al、K质成分的片岩中也有一定的富集；Sr对大理岩（与Ca共生）有明显的指示意义。

V、Ti——亲铁微量元素并具有一定亲石性，在岩浆岩系列中富集在基性和超基性岩中。本区在斜长角闪岩和煌斑岩脉中特别富集，角闪和黑云片麻岩中也有中等富集，而在花岗岩中含量低，因此V、Ti高值为胶东群和荆山群变质地层中偏基性岩石的指示元素。

Zr——为亲石微量元素，在岩浆岩系列中富集在酸性和碱性岩石中，本区平均含量达60×10^{-6}—100×10^{-6}，但更高的Zr富集在变质砂岩中，世界砂岩平均值为220×10^{-6}，在本区青虎山硅化变质砂岩中两个样平均含量达544×10^{-6}。因此，Zr的峰值是沉积砂岩（变质砂岩）和碎屑岩的指示元素。

Y——与Zr有相同的分配规律，富集在沉积碎屑岩（变质砂岩及片岩中），热液和混合岩化作用中较难活动。Y的高值带指示沉积变质建造的产出区域，低值带可能反映交代作用残留“阴影”。

Cr——为亲铁元素，强烈富集在超基性岩和基性岩中，在本区为斜长角闪岩及煌斑岩的指示元素，但由于其它岩石如花岗岩中Cr低于分析检出限，Cr元素报出率低，而难于成图。

Be——为典型亲石稀有元素，富集在酸性岩浆岩中，花岗岩中Be平均含量达3×10^{-6}。但Be属岩浆结晶分异残余富集性质的元素，而本区花岗岩属混合岩化成因，其中Be含量低于花岗岩

中的世界平均值。

Au——主要成矿元素，在本矿带区域变质、混合岩化及后期热液成矿作用中都有广泛的活动。为了查明金在各地质事件中的行为以及金成矿富集的条件，分别在背景场、异常场中成图，把两个体系中金的分布对比得出Au在混合岩化作用中被活化并初步富集，而在热液成矿作用中再次活化，在有利的构造空间内形成大规模富集的机理。

经过同样方法对Ag、Cu等成矿元素进行相同的研究得出同样活化成矿的认识。

（二）指示元素的分布参数与浓度分级

表2—1为根据莱山剖面资料统计的主要成矿指示元素及岩性指示元素在测区主要类型岩石中的分布参数。背景场中元素空间分布资料首先反映着不同成分岩石的区域变化。由于本区混合岩化交代作用普遍发育，为了提高数据统计结果的代表性，对岩石样品经过了严格剔除处理，受混合岩化影响的样品未参加统计。

由表列资料与各元素在相应岩石中的世界平均值对比可知，本区为Au、Ag、As、Ba、Sr、Y等元素的富集区。这些元素在本区的含量高于相应岩石的世界平均丰度值达1.5—6倍，因此是成矿和指示地质作用的有效指示元素。表明成矿元素Au、Ag、As、Cu在区域上有较丰富的成矿物源，有可能形成具工业价值的矿体，在这个意义上讲Zn、Pb、Co、Ni等元素则为在整个区域上都比较贫乏的组分。

在不同时代和产状的岩石中Au、Ag、As的含量变化有共同规律，即胶东群的各类岩石Au等元素普遍比荆山群同类岩石高。与此同时，贯入到胶东群岩系中的混合花岗岩比荆山群的混合花岗岩含Au、Ag、As值均高。以上事实说明混合花岗岩中微量元素的含量对原被交代改造的基岩有继承性。从成矿物质来源角度讲，胶东群及荆山群都构成本区的矿源层，而其中胶东群各种岩石对提供Au、Ag、As等成矿物质更为有利，而胶东群地层中斜长角闪岩又是最富成矿元素的矿源岩。混合花岗岩可看成是二次

表 2—1 背景场各类岩石中元素的平均含量（单位 10^{-6}，Au 为 10^{-9}）

岩性	Au			Ag			As			Pb			Ba		
	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ
片麻岩类	19	4.07	0.67	27	0.074	0.114	27	2.4	2.5	27	2.8	2.4	31	1418.3	1455.7
片岩类	12	3.32	1.96	26	0.087	0.095	27	2.4	3.3	27	4.7	5.8	42	1414.4	890.1
花岗岩类	160	3.33	0.72	44	0.107	0.150	44	2.3	4.2	44	10.0	11.9	63	1370.1	3323.7
斜长角闪岩	8	4.81	0.69	34	0.092	0.075	34	6.6	10.4	34	6.4	8.9	12	1096.4	1192.3
变质砂岩	4	0.81	0.11	4	0.128	0.040	4	23.9	13.9	4	9.2	2.9	4	1421.8	692.7
大理岩	10	0.87	0.20	10	0.026	0.022	10	3.5	0.8	10	2.9	2.9	9	365.8	225.7
石英脉	23	0.56	0.54	23	0.180	0.310	23	4.6	5.7	23	4.6	5.7	19	226.9	299.1
长石石英脉	9	0.28	0.15	9	0.196	0.497	9	3.5	1.1	9	21.9	52.0	9	259.0	730.4
煌斑岩脉	6	0.44	0.32	5	0.320	0.650	5	3.4	1.0	6	3	2.3	6	1476.7	808.2

续表

岩性	V			Zr			Y			Sr			Mn		
	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ	n	$\bar{x}$	δ
片麻岩类	40	21.2	35.5	41	108.1	95.8	24	17.9	21.5	29	8.0	7.6	38	1559.0	2183.5
片岩类	42	92.3	47.6	42	70.4	67.6	25	19.8	17.3				42	551.5	404.0
花岗岩类	62	3.4	2.3	62	61.0	41.5	33	3.8	2.9	63	22.3	16.9	20	1252.5	1495.6
斜长角闪岩	12	160.6	159.4	12	100.5	86.3	29	50.5	47.4	12	13.3	8.5	39	1179.2	927.2
变质砂岩	4	118.3	19.4	4	308.1	258.0	4	5.5	5.0	4	23.1	20.9	4	621.8	388.2
大理岩	10	130.9	120.7	9	14.9	6.6	8	21.9	7.0	10	9.5	3.9	10	141.7	94.1
石英脉	23	18.1	40.5	20	20.2	32.2	13	3.4	0.69				4	5100.0	4678.7
长石石英脉	9	82.1	51.1	9	104.1	50.9	7	21.8	11.8				7	642.9	413.6
煌斑岩脉	6	256.2	141.8	6	149.7	62.5							4	1067.5	585.6

矿源岩，同样，与胶东群变质岩接触的混合花岗岩更有利于金成矿。

为了应用岩性指示元素在各种岩石中的含量的变化追踪区域地质作用的特征，仍采用绘制等值线图的方法。由岩性指示元素圈出来的异常——岩性异常，与化探异常的含义不同，这里是指不同岩石中各元素含量上的差别所引起的指示元素浓度在空间上的变化。为此，以测区内分布最广的岩石混合花岗岩中元素的平均含量为基础，与测区内分布范围也比较大而且平均含量与花岗岩有一定反差的片麻岩的均值比较，求两种岩石元素含量均值的平均数或中值作为元素含量变化的界限值，相当于异常下限值。在界限值以上的样品点，根据在测区内出现的含量高于花岗岩和片麻岩的岩石含量的均值，取其间的中值作为该元素在测区的高值带浓度值。对于低含量的样品，同样取平均值更低的岩石的均值与花岗岩或片麻岩的均值之间的中值作为低浓度带的分界值。由此，用内插法绘出的异常图的等值线有岩性地质界线的意义，即每两个等浓度线之间的范围大体相当于某一种岩石的分布区。例如，测区内分布最广的花岗岩类中Zr的平均含量为61×10^{-6}，胶东群和荆山群变质岩系中的主体岩石片麻岩中 Zr 的平均含量为108.1×10^{-6}，取两类岩石平均含量的中间数 80×10^{-6} 为界线值；异常图上的80×10^{-6}等值线有大体划分花岗岩和片麻岩界线的地质意义。区内最富Zr的岩石是变质砂岩，其均值为 308.1×10^{-6}，取此值与片麻岩的平均值（108.1×10^{-6}）中间的 150×10^{-6}为高值带浓度线，300×10^{-6}线以上为变质砂岩分布区。大理岩含Zr最低，平均值为14.9×10^{-6}，取其与花岗岩的平均值（61.0×10^{-6}）之间的中间数40×10^{-6}为低值带浓度界线。表 2—2 为水道测区使用的岩性指示元素浓度值划分表。

（三）研究岩性指示元素区域分布的意义

将Ba、Sr、Zr、Y、V、Mn等元素的背景场数据按采样点位置（1—2点/km^2）展点作图，应用表2—2的界线值绘制等浓度线。绘图时根据野外的采样记录，并考虑现场实测的地质产状。

表 2—2 岩性指示元素浓度值划分表

	低 值	界线值	高 值	峰 值
Ba	1000	2000	5000	>10000
Sr	<10	20	40	>80
V	<8	15	50	>100
Zr	<40	80	150	>450
Y	<0.5	5	10	>20
Mn	<200	600	1000	>5000
Ti	<1000	2500	5000	>7000
Au	<0.5	2	6	>10

单位：10^{-6}， Au 为10^{-9}

由图2—2、图2—4的岩性指示元素含量的空间变化总体特征可以看出，元素含量等值线基本上沿着地质界线延伸或完全吻合。本区最重要的基岩地质界线是混合花岗岩与胶东群和荆山群的接触界线，以及两群老变质岩系中不同岩性的接触界线。因此，根据岩性指示元素的含量可以粗略（取决于采样点的网度）勾绘测区的岩性分布图，即背景场的元素分布反映本区混合岩化作用及区域变质作用时期产物的区域分布状况。如果将岩性指示元素的分布图与成矿指示元素，即异常场元素分布图作比较，则两种采样介质、两套指示元素测量结果所反映的地质作用的差别会更加清楚，见图4—2、图4—6。后者各图上成矿指示元素异常的空间分布基本上沿测区内五条NNE向断裂带呈近南北向发育，反映了燕山期热液成矿作用元素活动的区域发育特征，详见第四章。本节就背景场元素分布所反映的地质问题综述如下：

1．Ba、Sr的分布　钡、锶在混合花岗岩中的平均含量分别为4370.1×10^{-6}和22.3×10^{-6}，在胶东群和荆山群片麻岩中的平均含量为1418.3×10^{-6}和8×10^{-6}，是测区的低值带。在混合花岗岩和变质岩系的接触线上Ba、Sr含量陡然变化，见图2—2。Ba的2000×10^{-6}和Sr的10×10^{-6}等值线与接触线大体相吻合。因此，合理选择良好的指示元素进行地球化学填图可以追踪地质体

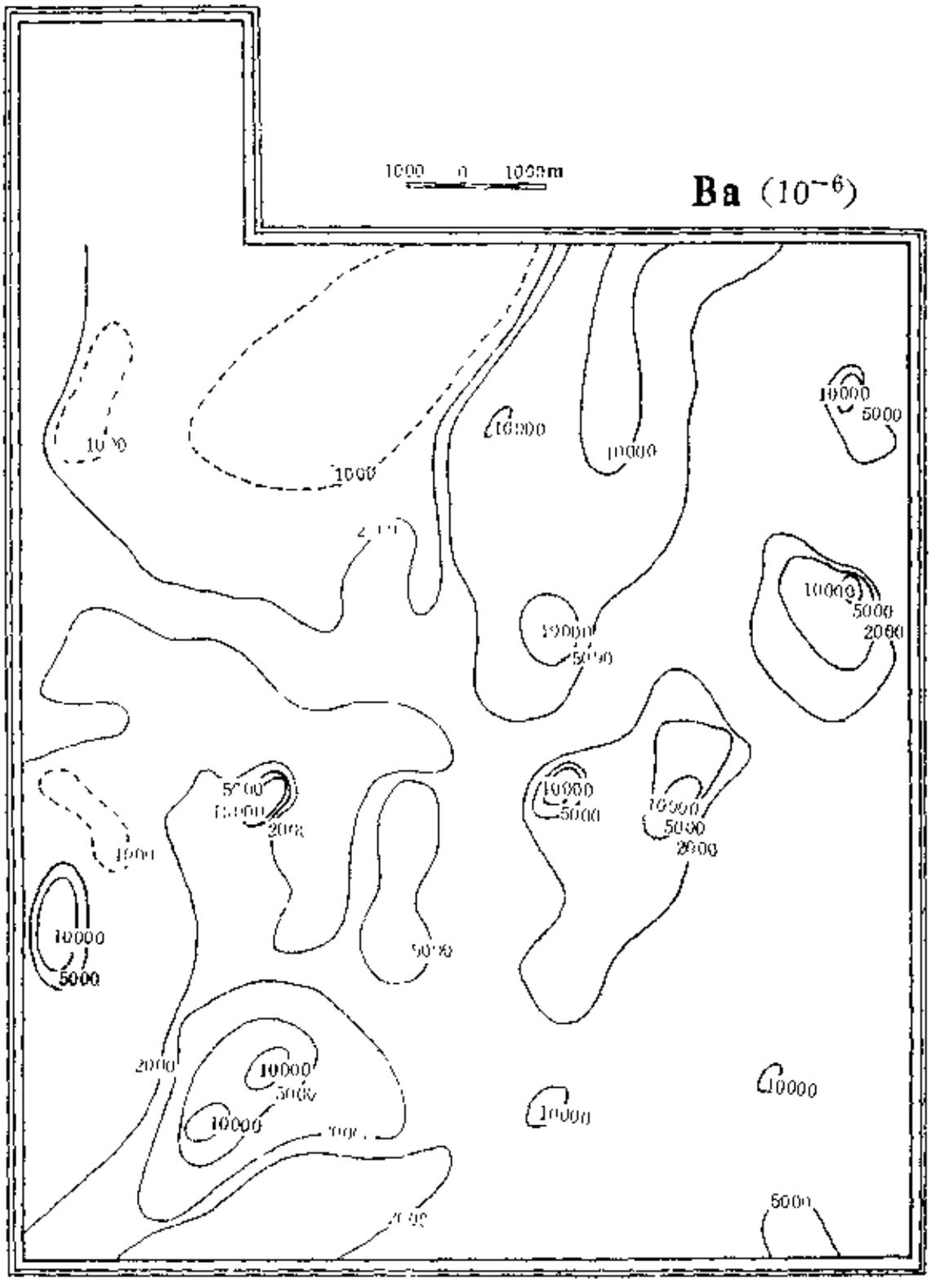


图 2—2　水道测区背景场Ba地球化学平面图

的分布界线。

由图2—2可见，在靠近昆嵛山花岗岩中心部分（本测区将军石断裂以东一带）大片均匀的肉红色中粗粒黑云母钾长花岗岩分布区，Ba、Sr含量在均值上下波动。测区内Ba、Sr的高值区位于沿接触带大体呈NE向延伸的一个宽度达6km—10km的带内，其中Ba含量4000×10^{-6}—6000×10^{-6}，几处Ba的峰值$>10000\times10^{-6}$。Sr的高值带与此相吻合，在20×10^{-6}—40×10^{-6}以上。该带的地质特征是K、SiO_2交代强烈，发育大片钾长石化及具伟晶构造的长英质混合岩贯入脉体，同时出现交代不彻底的片麻岩残留体。本带构成昆嵛山花岗岩体的内接触带，也是混合岩化交代前锋带。根据Ba、Sr的地球化学性质与K很相近并共生的特点，Ba、Sr的高值带反映本区内强烈的K交代作用。Ba、Sr高值带也是有利于金成矿的地段。

一些肉眼难以观察和辨认的地质现象可以通过基岩地球化学测量的结果来确认。如根据Ba分布图，测区内从水道到刘家夼公路两侧的狭长地带应为混合花岗岩分布，即沿公路两侧昆嵛山花岗岩与鹊山花岗岩体是连通的。但由于黑云斜长片麻岩和黑云二长片麻状花岗岩肉眼很难区分，因而在地质填图中将片麻岩连成一片，经现场检查证明，除在梨树夼村东分水岭处尚存留不宽的黑云片麻岩露头外，两侧花岗岩露头已接近穿通。

2．V的分布　钒在混合花岗岩中的含量$<10\times10^{-6}$，钒的6×10^{-6}等值线大体与花岗岩和片麻岩的接触界线一致。V的正异常在测区分布在老变质岩地层的南、北两片，由水道到刘家夼的东西向公路两侧V异常也是分开的。同时由于本区混合岩化作用普遍发育，V属于易被交代带出的成分，因此V的高值带比较零星。但对照野外地质观察资料仍可看出V异常的地质意义。在测区西南部V的15×10^{-6}高值带等值线沿NE方向延伸，野外观察证实此处出露胶东群英庄夼组角闪石和黑云母斜长片麻岩，变质地层走向为NE20°—40°。因此，V的异常可以圈定片麻岩的出露区，测区北部V异常亦大体以NE向延伸。

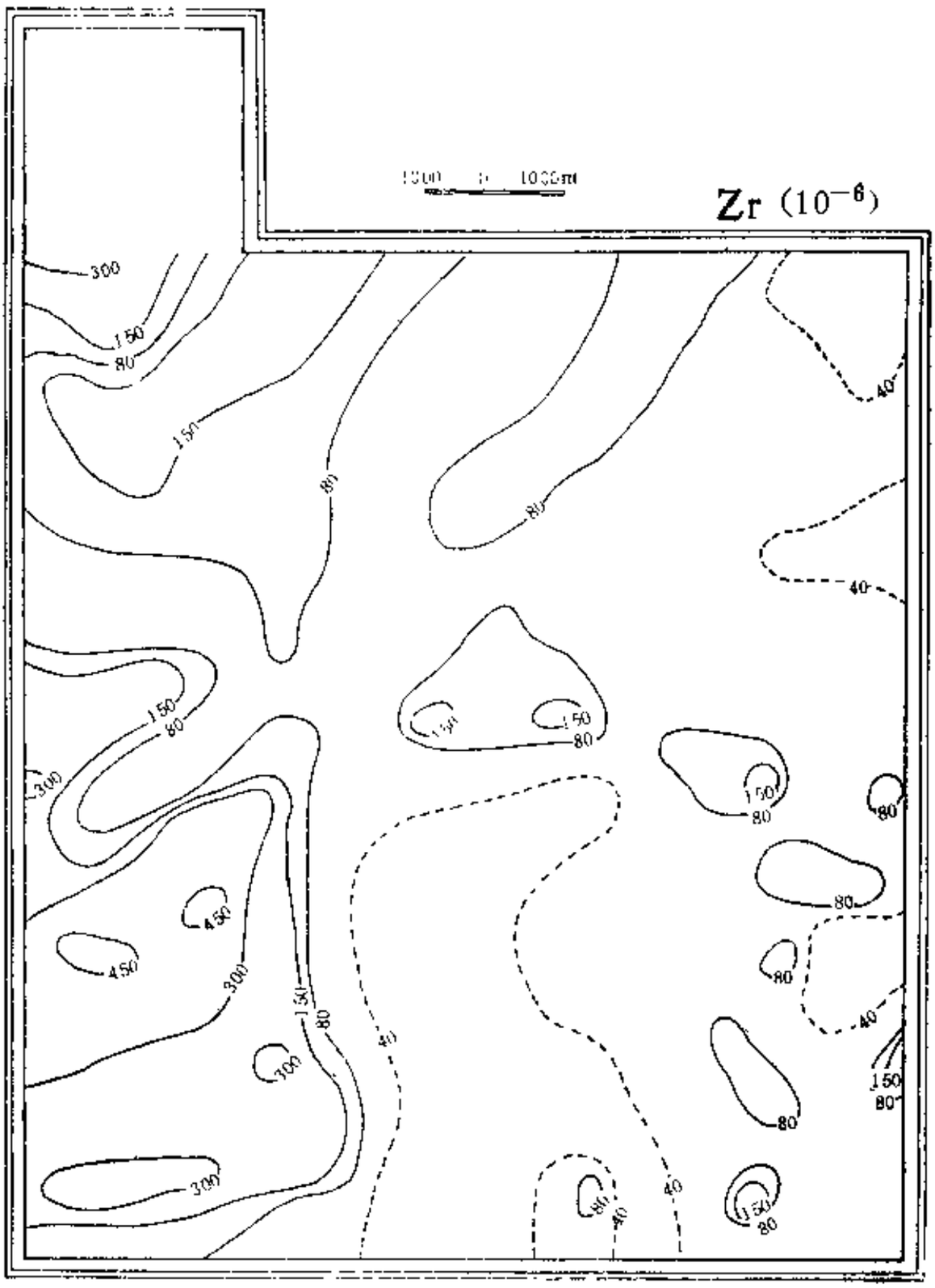


图 2—3　水道测区背景场Zr地球化学平面图

片麻岩区30×10^{-6}、50×10^{-6}的V的峰值以及混合花岗岩区内V的15×10^{-6}及6×10^{-6}的异常大多以单点异常形式出现。在片麻岩区内这些异常峰值相连大体与片麻岩的走向一致，有意义的是这些NE向伸展的小片异常可以断续延伸到昆嵛山花岗岩体内。有几个点已证明为花岗岩交代残留体样，而连续成小片的6×10^{-6}V的负异常可以认为是混合岩化交代不彻底的原片麻岩的"阴影"，它们连线的产状也呈NE25°—35°方向，与片麻岩出露区一致。因此，在混合花岗岩区内的V异常集中在混合岩化交代前锋带内，低值小片V异常指示被交代的片麻岩的"阴影"。利用这些异常可以大体恢复混合岩化作用前古老变质岩系的展布特征，同时也为昆嵛山岩体属混合岩化交代成因提供了佐证。

3．Zr、Y的分布　Zr、Y为亲石稀有元素，在热液和混合岩化交代作用中比较稳定，在风化中也不易活动，因此常富集于沉积碎屑岩如砂岩及粘土页岩中。测区变质砂岩中含Zr最高，均值为308×10^{-6}。片麻岩中也相对较高，混合花岗岩中Zr为负异常区，其众值Zr为80×10^{-6}—40×10^{-6}，Y为5—0.5×10^{-6}。因此Zr、Y为沉积建造的指示元素。如图2—3所示，Zr和Y的高值带出现在测区的西南部，为本区荆山群变质砂岩和片岩分布区（在北部片麻岩分布区也出现了钇的20×10^{-6}以上的高值区）。

由图2—3可以看出Zr的80×10^{-6}界限值与混合花岗岩和片麻岩的接触线大体一致。在水道镇向西的东西带上Zr、Y均显示低值，与Ba的结果一致。Zr、Y的异常等值线总体上具有NE向延伸的共同方向，反映了本区变质地层的总体走向。同时，在昆嵛山花岗岩的内接触带内有小片或零星的Zr、Y低值带出现，等值线的走向方向同样为NE向，大体与变质岩系出露区的走向方向相连接。此外，Zr、Y的低值带与V一样显示出混合岩化前的地层展布方向。

锆异常图的两小片峰值（$>450\times10^{-6}$）具有特殊地层意义，两片异常排列为NE向，与地层走向一致。经现场检查为两处不连续出露的变质砂岩露头，正处于胶东群片麻岩之上的荆山群低

部，经采样检查青虎山硅化变质砂岩的两个样品Zr含量分别为690.3×10⁻⁶和398×10⁻⁶，为测区最高值。野外和室内薄片观察证明，岩石具明显的变余砂状结构，薄片中石英和锆石颗粒磨圆度好（详见图版Ⅰ）。由于露头不连续，异常亦为岛状，该层与胶东群片麻岩呈断层接触，其上为较连续出露的荆山群禄格庄组大理岩。此层变砂岩在莱山剖面安吉村附近也有出露，从区域对比上看，该层变质砂岩产出在荆山群的最底部，可作为胶东群和荆山群分界的标志层，见图2—3。

4．Au的分布　Au的背景场分布主要为追踪燕山期脉状金矿形成之前区域内Au的分布特征。但由于Au是热液活动被活化的元素，背景场中金的分布已受到热液作用的改造。图2—4为背景场中金的分布，由图看出，在胶东群和荆山群变质岩系中Au仅有2×10^{-9}—6×10^{-9}的零星异常，而连续大片的$>2\times10^{-9}$的高值区处于混合花岗岩的内接触带，这说明混合花岗岩内接触带——混合岩化前锋带为Au的高背景区，也是金的有利成矿带。

如果将背景场与异常场金的分布（图4—2）对比，则可明显的看出，异常场中金沿NNE向断裂形成高度浓集的矿化带，在全区形成25个Au异常，即矿化中心。图4—2上的Au矿化中心沿两组构造方向展布，一是NNE向新华夏系断裂带，另一是NW330°的斜列式张扭性段排列带。比较图2—3和图4—2，背景场中两片Au高背景区正好处于异常场的非异常区。换言之，异常场的Au强异常和矿化分布区正是背景场金含量低值区（一般$<1\times10^{-9}$）。这一事实证明了一个推测，即混合花岗岩的混合岩化交代前锋带为Au的高背景带，且金处于易活化的赋存状态，在燕山期发生断裂构造时所伴随着的热液活动，活化萃取了基岩中的金，使之集中成矿，此段背景场Au为低值，而热液活动弱的地段金保留了高背景含量。背景场中金的分布及与异常场的对比资料证实了本区Au成矿物质直接由热液浸取自混合花岗岩围岩的论点。因此，混合花岗岩前锋带是金的二次矿源岩。

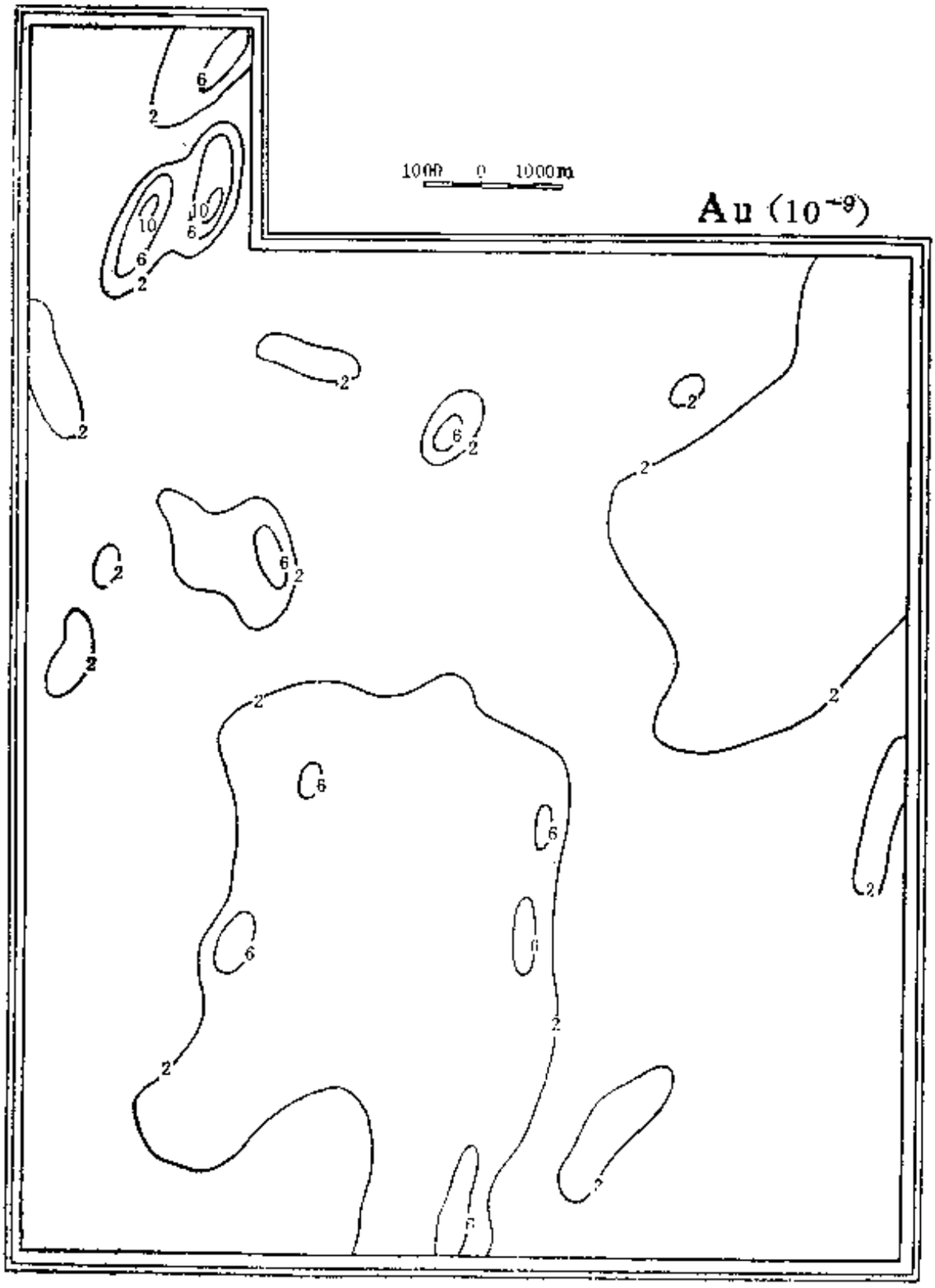


图 2—4　水道测区背景场Au地球化学平面图

三、区域地质及其控矿问题研究

基岩地球化学测量、区域标准地质地球化学剖面和典型矿床研究所获取的资料，其中包含着丰富的区域地质作用信息，特别是地球化学微观信息是深入研究区域基础地质问题及其控矿作用的重要证据。应用现代地球化学和地质学理论、方法综合分析各种宏观和微观资料，可以对测区基础地质问题的认识得到补充和深入。

本节就水道测区胶东群和荆山群的划分依据、变质建造的含金性、花岗岩的成因及区域金矿化的物质来源和活化作用等专题进行综合资料分析，并试图论证深入的区域基础地质问题的研究、区域找矿预测和化探异常评价有密切的关系。

（一）胶东群与荆山群接触关系与划分标志

在区域上胶东群与荆山群接触界线多数人认为是断层接触，也有人认为是角度不整合。本次通过对两条剖面的地质地球化学观察研究，确认荆山群底部存在一套变质砂岩层，具有底部碎屑岩的指示意义，可以作为界线划分和接触关系的一个补充证据。因此认为，胶东群和荆山群在区域整体上为角度不整合接触，大部分地段表现为断层接触。变质砂岩层的确定证据如下：

① 野外地质证据：变质砂岩层出露于水道青虎山和莱山剖面的安吉村一带。空间分布为一长透镜体状，最大厚度达200 m，主要矿物组成为斜长石、石英、钾长石、黑云母。其层位应属于禄格庄组底部（见莱山剖面，图1—1）。

② 岩石学证据：通过显微结构的观察研究，发现岩石具有沉积砂岩所特有的变余组构，即变余砂状结构（见图版Ⅰ—1），石英颗粒具有一定的磨圆度，副矿物锆石以压裂、浑圆产出特征为主（图版Ⅰ—2），另外，斜长石的含量占了长石类矿物的绝大部分，说明该岩石确属沉积变质成因，可定名为变质长石石英砂岩。

③ 地球化学证据：表 2—3 为变质砂岩微量元素含量表。从中可以看出，本区变质砂岩与世界砂岩微量元素平均含量大致相当，Zr、Ba、Sr、Mo、Mn、Ni、Co、Ti 等元素含量略高于世界砂岩的各元素含量。Zr的富集与本区变质砂岩中锆石含量较多有关系。Mo、Mn、Ni、Co、Ti 均为亲铁元素，它们的相对富集表明变质砂岩的源岩为较基性的岩石。实际上是源于胶东群中基性火山岩。从这点意义上讲，我们把变质砂岩作为胶东群和荆山群的划分界线是合理的。岩矿鉴定表明，本区变质砂岩为长石砂岩，高含量的长石使得 Ba、Sr 相对富集。

④ 区域基岩地球化学测量的结果表明，变质砂岩出露区为一个 Zr 的高值区（见图 2—3），因此 Zr 的高值或峰值带（$>400\times10^{-6}$）可作为胶东群和荆山群界线划分的证据之一。

区域变质砂岩与乌拉尔花岗质砂岩的化学成分对比结果表明（见表 2—4），其主要化学成分大致一致，但本区变质砂岩中的 SiO_2、K_2O、Na_2O 组分含量偏高，Fe_2O_3、FeO、MgO、CaO 的组分偏低，很显然这与后期区域混合岩化作用有关，SiO_2、K_2O、Na_2O 组分加入，而 FeO、MgO 组分被带出。

为了进一步确定其原岩的岩石类型，应用F. S Pettijohn 提出的 $\lg(SiO_2/Al_2O_3)$-$\lg(Na_2O/K_2O)$ 图解，投点的结果（图 2—5）证实变质砂岩的原岩为杂砂岩和长石砂岩。

（二）含金变质建造与矿源层

变质岩原岩建造的恢复主要依据其化学成分，并结合野外地质产状及岩性组合。为了区分变质原岩建造类型，首先利用 (al+f_m)-(c+alk)-Si 图解，对区域内主要岩石进行判别（见图 2—6）。结果表明，胶东群斜长片麻岩类及斜长角闪岩类大多数落入火成岩区，均为火成建造。变粒岩由于其化学组成变化较大，投影点比较分散，具有火山-沉积建造的特征。因此，胶东群变质原岩建造应以火成建造为主，局部发育火山-沉积建造；荆山群的斜长片麻岩及斜长角闪岩类多数落入沉积岩区，少数落入火成岩区，变粒岩均落入沉积岩区。可见，荆山群原岩建造与胶东群

表 2—3 变质砂岩微量元素含量表

样号	岩性	采样点	元素含量 (10^{-6})														
			Ba	Sr	Mo	Mn	Zr	Cr	Ni	Co	V	Ti	Bi	La	Y	Ce	Yb
89070	弱硅化变砂岩	青虎山	1123	29.60	0.60	201	690.3	1.16	2.98	0.45	2.31	419	0.61	57	0.37	4.22	0.32
89071	弱硅化变砂岩	青虎山	1579	54.40	0.51	269	398.0	2.75	26.40	1.30	13.56	2170	0.77	10	0.69	29.0	2.91
89081	变砂岩（新鲜）	安吉村	545	2.22	1.95	1041	55.1	24.20	12.60	2.81	5.99	2140	0.68	56.70	8.96	100.4	0.98
89082	变砂岩（半风化）	安吉村	2440	6.02	1.76	976	88.80	32.90	17.67	8.99	31.20	3110	0.55	49.80	11.86	118	0.87
	平均值（$\bar{x}$）		1420	23.06	1.20	621.7	308	15.25	14.91	3.39	18.26	1967	0.65	43.4	5.47	62.91	1.27
	世界砂岩平均值①		316	20	0.20	n	220	35	2	0.3	20	1500	—	30	10	92	1

① 据 K. Turkian and K. Wedepohl, 1961

表 2—4 变质砂岩岩石化学成分表

样号	岩性	岩石化学成分（%）												
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	H_2O^-
89071	弱硅化变砂岩	77.16	0.22	12.92	0.59	0.31	0.02	0.04	0.35	2.27	5.12	0.03	0.71	0.00
89081	变质砂岩	73.33	0.16	14.86	0.62	0.82	0.04	0.43	0.31	2.12	5.82	0.14	1.07	0.05
89082	变质砂岩	72.08	0.28	16.60	1.73	0.79	0.04	0.40	2.21	3.10	3.19	0.04	1.78	0.00
	花岗质砂岩①	60.83	0.46	13.63	3.08	1.64	0.52	2.28	3.93	1.54	1.54	0.04		

① 据乌拉尔花岗质砂岩数据，普斯托瓦洛夫，1940

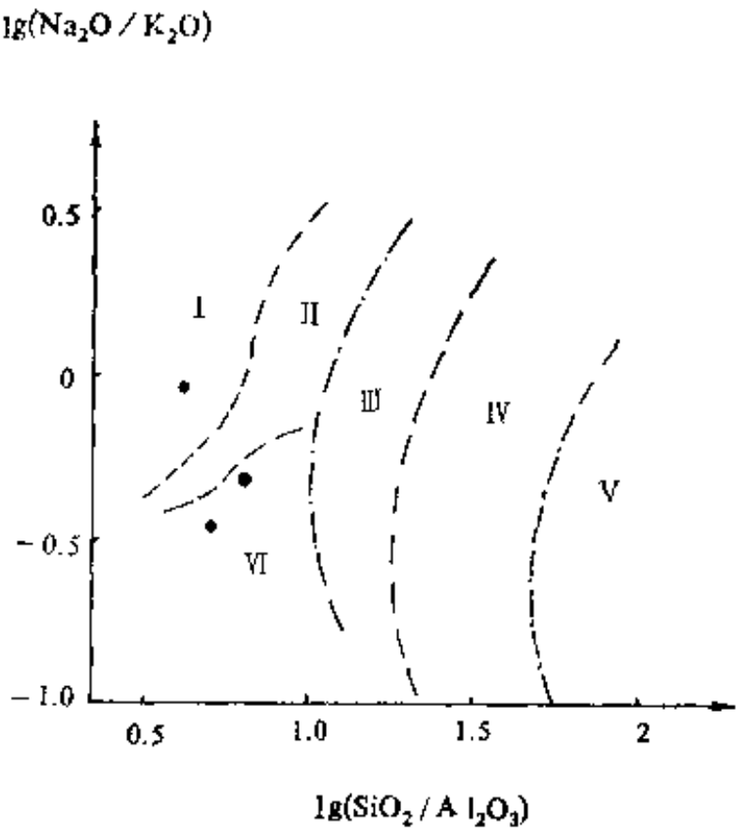


图 2—5 变质砂岩lg（SiO_2/Al_2O_3）-lg（Na_2O/K_2O）图解（据F. S Pettijohn）

I—杂砂岩；II—岩石碎屑砂岩；III—亚长石砂岩；IV—亚岩屑砂屑岩；V—石英砂屑岩；VI—长石砂岩；本区变质砂岩样

相比有较大差异，以沉积建造为主，局部发育有火山建造及火山沉积建造。

由图2—5可以看出，投点在火成岩区内可明显地分为两群，即中酸性岩群及基性岩群，这说明胶东陆壳是以岩浆双峰式演化为基础而发育起来的，由晚太古代的火成建造演化为早元古代的沉积建造。

国内外大量的勘探资料和研究结果表明，矿源层的存在直接控制着金矿集中区的空间分布，对金矿的形成起重要作用。表2—5列出了胶东群和荆山群中不同岩性岩石金的平均含量。总体上讲，金的含量按斜长角闪岩、大理岩顺序依次降低，而主要的富金变质岩石多集中分布于胶东群地层中，即金主要富集于胶东群基性岩石中，太古代基性火山岩（玄武岩）建造为主要含金层位。需要指出的是，除胶东群斜长角闪岩和片岩外，金的平均含

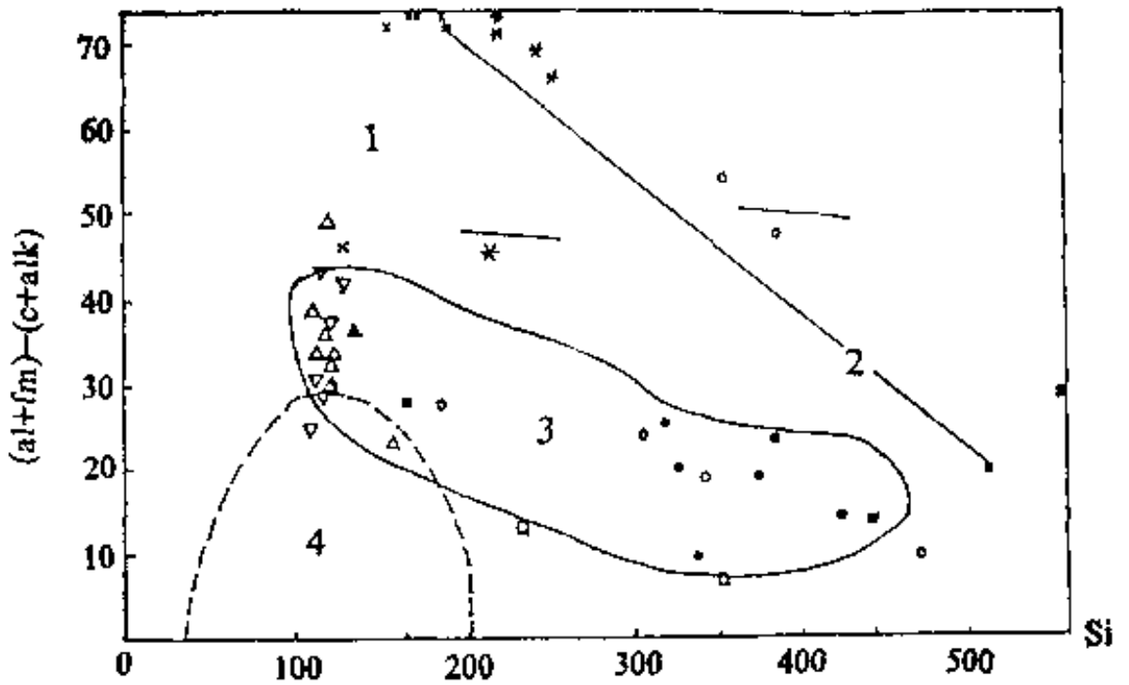


图 2—6 区域变质岩(al + fm)-(c + alk)-Si图解（据西蒙南）

1—泥质沉积岩；2—砂质沉积岩；3—火山岩；4—钙质沉积岩；●—胶东群片麻岩；○—荆山群片麻岩；△—胶东群斜长角闪岩；▽—荆山群斜长角闪岩；▲—脉状斜长角闪岩；■—胶东群变粒岩；□—荆山群变粒岩；×—胶东群片岩；*—荆山群片岩

量值均低于同类岩石世界平均值，由此就产生了胶东群和荆山群能否构成胶东地区金成矿的矿源层的争议。针对这一问题进行了测金的HF溶矿试验，表2—6给出了各种岩石样品用王水和HF酸两种溶剂溶样的分析结果。由表可见，用常规化学光谱法由王水溶样测金的结果除 1 个样稍高外其余 14 个样含金都在 4.8×10^{-9} 以下，基本与表 2—5 的结果吻合，而所有的样品用HF酸溶样测定结果都高于王水溶样。证明常规化学光谱法测定结果不是样品中的全部金，而只是其中的易活化部分。用 HF 处理样品可以测得全部金，其中斜长角闪岩平均值达 8.98×10^{-9}，而花岗岩平均达 6.1×10^{-9}，都大大高于同类岩石的世界平均值。因此，从丰度特点上看，本区胶东群和荆山群地层都属于富金建造，其中约一半的金处于易活化状态，因此构成胶东地区金成矿的矿源层。表2—6的结果还说明，岩石中含量接近一半的金为赋存于硅酸盐矿物晶格中的牢固结合状态，它们必须经过变质交代、混合岩化

表 2—5　区域变质地层金的含量表

	岩石类型	Au (10^{-9})			同类岩石世界平均值①
		n	平均值	均方差	
太古宙胶东群	片麻岩类	19	2.07	2.67	3.9
	片岩类	12	2.34	1.96	2.2
	斜长角闪岩类	8	4.81	2.69	4.8
元古宙荆山群	片麻岩类	39	1.45	1.12	3.9
	片岩类	37	2.81	1.34	2.2
	斜长角闪岩类	39	2.63	1.41	4.8
	大理岩类	10	0.87	0.20	1.5

① 据魏德波尔，1974

表 2—6　金在岩石中赋存状态分析

样号	岩石名称	含金量(10^{-9})		采样点
		王水	HF酸	
HF901592	片麻岩（包体）	0.91	3.4	车家夼
HF901593	花岗岩	2.2	3.1	车家夼
HF901594	含 Py 黑云花岗岩	2.8	5.7	南台
HF903115	片麻岩	0.38	5.0	南台
HF90062	基性岩残留体	2.92	5.5	东仙姑
HF90300	条带状混合花岗岩	0.30	9.4	东仙姑
HF90298	雾迷状混合花岗岩	0.68	7.8	东仙姑
HF90069	花岗岩	0.10	4.7	东仙姑
HF90046	斜长角闪岩	2.12	3.1	马家窑金矿
HF90047	条带状斜长角闪岩	0.86	5.6	马家窑金矿
HF90048	强混合岩化斜长角闪岩	0.1	3.2	马家窑金矿
HF90089	斜长角闪岩（英）	0.28	11	莱山安吉村
HF90015	斜长角闪岩（齐山）	13.17	16	齐山招远栖霞标准剖面(招远)
HF901581	斜长角闪岩（包体）	4.6	15	杭北头
HF90092	角闪二云片岩	1.13	5.6	水桃林

等作用才能被活化带出和成矿富集。区域胶东群和荆山群变质建造可称为是金成矿的初始矿源层，为胶东地区金成矿的一级控制因素。

（三）花岗岩的成因及其与金成矿的关系

在牟平—乳山金矿带大片出露并与金成矿有密切关系的花岗岩为昆嵛山和鹊山两大花岗岩体，图2—1。成矿带内的金矿床和矿点沿两大岩体的内外接触带发育，花岗岩构成金矿化的直接围岩。关于胶东地区的赋矿花岗岩的成因问题，长期以来存在争议，主要有重熔岩浆和混合岩化交代两种观点。通过基岩地球化学测量和配合的专题性研究工作，取得了补充证据。认为本区昆嵛山和鹊山花岗岩体是在元古时期，由胶东群和荆山群变质岩系经过多期区域变质作用后，温度压力进一步提高发生混合岩化交代作用，以及局部达到重熔作用形成。因此属于原地半原地以交代作用为主形成的花岗质混合岩或混合花岗岩。主要证据如下：

1．花岗岩体与区域变质地层无明显侵入接触关系，边缘混合岩化作用明显，呈现岩石成分和结构构造的渐变过渡关系，过渡接触带的主要特征是靠近外接触带出现大量的钾硅质混合岩脉体贯入，在内带混合花岗岩中保存着变质岩围岩的残留体，如图2—1。残留包体愈靠近接触带愈多，其规模更大；包体的中心部分岩石组构和产状与区域分布的地层相同，证明包体是变质地层在原地被混合岩化交代的残留体。混合花岗岩与其共生的黑云斜长片麻岩成分对比表明，片麻岩中的K_2O(平均为3.03%)、Na_2O（平均为4.07%）低于花岗岩（分别为4.24%和4.60%），而MnO、TiO_2、ΣFeO、MgO则高于花岗岩，微量元素方面也显示了同样的规律性。这种成分变化特征证明了原地钾、钠交代作用成因方式(图版Ⅱ—1)。原地混合岩化交代成因较好地解释了昆嵛山花岗岩的成分和结构构造在区域上的不均匀性；根据花岗岩对源岩成分的继承性将岩体以玉林店一带为界划分为北部的由胶东群交代形成的JD_T型花岗岩，以中粒二长花岗岩为代表，其成分以富MgO、FeO、SiO_2、K_2O为特征；在测区南部分布的为JS_T

型花岗岩，主要由荆山群变质岩系交代形成，以中粗粒浅肉红色花岗岩为代表，成分特征富含 Al_2O_3、CaO 组分。

2．对昆嵛山花岗岩的显微结构观察，发现下列典型的交代成因结构，见图版Ⅱ—1。

蠕英结构及石英穿孔结构：钾长石交代斜长石后，剩余的石英以蠕虫状或穿孔状分布在钾长石中；

交代残余结构：钾长石交代斜长石不彻底，残余的斜长石呈孤岛状分布在钾长石中，有时被交代的斜长石仍隐约保留聚片双晶，形成不完全交代结构，图版Ⅱ—2；

斜长石出熔结构：斜长石在高温条件下形成出熔钠长石条纹；

反应结构：在石榴石黑云母花岗岩中，发现石榴石是通过下述变质反应生成的：

$$2Ms + 2Bi + Q = 4Kf + Alm + Sill + H_2O$$

温克勒把石英存在时，白云母分解形成钾长石 $+ Al_2SiO_5 +$ 水，压力大于 3.5×10^8Pa时片麻岩部分重熔形成混合花岗岩作为超变质作用开始的标志。因此，上述结构特征应为混合岩化作用的产物。

3．根据取自测区的两花岗岩体的岩石的化学成分，本区花岗岩与中国黑云母花岗岩组成相比，表现为 SiO_2、MgO、P_2O_5 组分偏低而 CaO、Na_2O、K_2O 组分偏高的特征，FeO、CaO 偏高以及MgO、MnO、P_2O_5、SiO_2 偏低是由花岗岩源岩组分所致，而 Na_2O、K_2O 组分偏高，可能是由于地幔去气去碱作用，富含钾、钠的岩汁向上迁移，对壳源岩石进行混合交代作用的结果。总体来讲，由于源岩成分的差异以及成岩条件的不同，昆嵛山和鹊山花岗岩体的主要化学成分在空间上变化较大。JD_γ型花岗岩中的 SiO_2、ΣFeO 含量高于 JS_γ 型花岗岩，Al_2O_3、CaO 则低于 JS_γ 型花岗岩，这与胶东群、荆山群的平均化学成分相一致。

R. Dhana Razu 和 J. S. R. Krishna Rao 提出了区分岩浆花岗岩和交代花岗岩的Na-K-Ca图解（图 2—7）。工作区内花岗

岩体在该图解上的投点落在岩浆花岗岩区和交代花岗岩区的过渡带上，多数在'推测岩浆花岗岩'区以外，属交代成因。少数落入岩浆花岗岩区，属于重熔岩浆型花岗岩，结合野外宏观地质特征和岩石学研究资料，证明该结论是正确的。

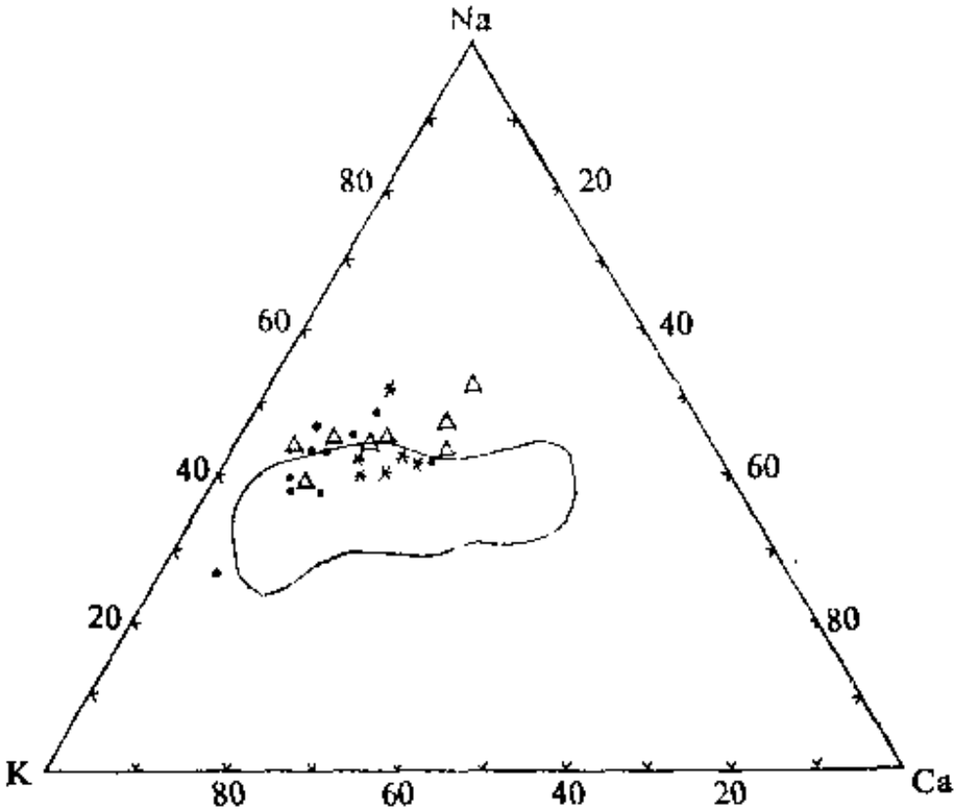


图 2—7　区域花岗岩Na-K-Ca图解（据R. Dhana等）
●—$D_\gamma J$型花岗岩；△—JS_γ型花岗岩；＊—鹊山花岗岩；⬭—推测岩浆花岗岩区

4．微量元素的含量与分布。通过基岩地球化学测量，查明了Ba、Sr、V、Zr等13种微量元素在花岗岩中的丰度和区域分布特征表(2—7)。把本区花岗岩中微量元素含量与华南三种成因系列的花岗岩对比（见表2—8），结果表明在混合岩化交代作用中具惰性行为的Cr、Ni、Sr等元素平均含量值接近于华南改造型花岗岩。

根据源岩所划分的两种类型花岗岩JD_γ型花岗岩及JS_γ型花岗岩中的微量元素含量（见表2—7），结果说明两种类型花岗岩的微量元素特征明显不同。JD_γ型花岗岩中的成矿元素族Au、Ag、Pb、Zn，铁族元素Co、Ni、V，明显地高于JS_γ型花岗岩，

表 2—7　两种类型花岗岩微量元素表

花岗岩类型	微量元素含量(10^{-6},Au, Ag 为 10^{-9})						
	Au	Ag	Pb	Zn	Co	Ni	V
JD_γ型花岗岩	2.49	43.7	6.00	63.50	1.20	3.54	6.76
JS_γ型花岗岩	1.56	31.8	5.76	41.75	1.06	1.36	6.50

花岗岩类型	微量元素含量(10^{-6},Au, Ag 为 10^{-9})						样品数
	Sr	Zr	Ba	Y	La	Yb	
JD_γ型花岗岩	32.93	88.60	6360	4.08	42.58	0.24	10
JS_γ型花岗岩	43.40	100.1	6940	5.53	32.80	0.19	10

表 2—8　区域花岗岩与华南花岗岩微量元素对比表(10^{-6})

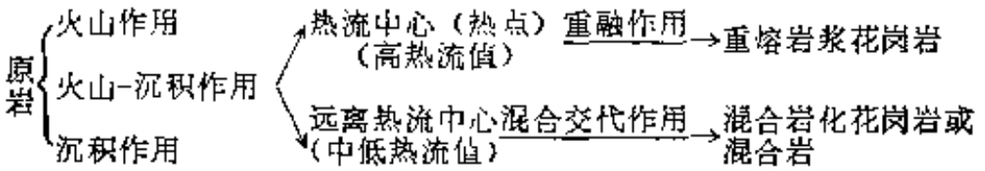
成因系列	Cr		Ni		Sr	
	样　数	均　值	样　数	均　值	样　数	均　值
华南幔源型	6	304	6	68		—
华南同熔型	19	15	19	13	62	293
华南改造型	11	2	11	1	24	69
昆嵛山花岗岩	—	2.17	9	2.45	20	38.15
鹊山花岗岩	—	9.26	4	1.49	10	34.2

而Sr、Zr、Ba，稀土元素Y、La、Yb则低于JS_γ型花岗岩。综前所述，区域主要成矿元素及铁族集中分布在区域主要含金火成建造胶东群中，故JD_γ型花岗岩的源岩为胶东群建造。JS_γ型花岗岩中富含Sr、Ba、Zr造岩元素及Y、La、Yb稀土元素特征反映其源岩应为沉积建造，即荆山群。两种不同类型花岗岩微量元素的特征，表明区域花岗岩为壳源改造型，经原地混合交代作用形成。

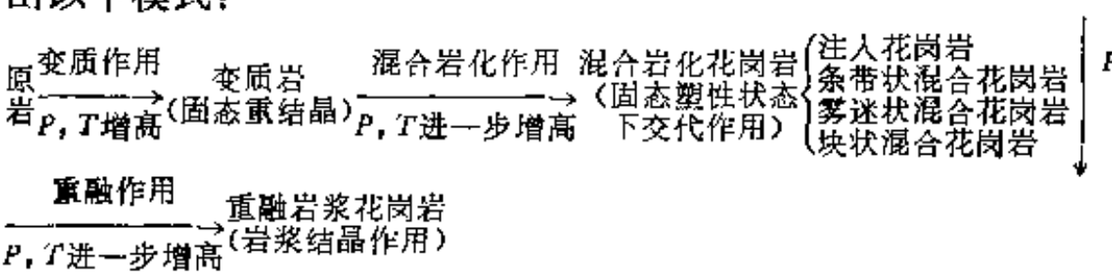
根据基岩地球化学测量背景场Ba、Sr、Zr、Y、V等元素的等值线图（见图 2—2 至图 2—4），在昆嵛山花岗岩内接触带约

10km—12km 宽的范围内，出现一个 Ba、Sr 等元素的大片高值带。该带宏观特征以钾化交代强烈为特征，该带岩石化学测定结果也得到$K_2O>4.0\%$含量。根据地球化学性质上 Ba、Sr 与K紧密共生同步富集的规律，Ba、Sr 的高值带反映了混合岩化交代强烈带，称为混合岩化交代前锋带。

总之，本区昆嵛山和鹊山花岗岩体的形成与演化是胶东前寒武纪地壳高热流所产生的热事件的结果。Wasserburg（1975）指出，早期球粒陨石质地球的热流是今天的 8 倍。胶东前寒武纪地壳的热流特征也符合这一原则。因此可以认为，区域花岗质岩石与变质岩石是同期热事件的不同环境下的产物，即热流的空间位置决定了区内混合岩化的区域分布，热流的强度决定了区域变质-混合岩化作用的发展演化阶段，可归结为以下简化模式：



需要指出的是，重熔再生岩浆的形成首先经历了混合岩化作用，实际上可以理解为重熔作用是混合岩化作用达到高峰的阶段。两种花岗岩的成因是紧密相联的两个发展阶段的产物。概括出以下模式：



从这意义上讲，区域变质作用是岩浆作用的孕育阶段，混合岩化作用是岩浆作用的初始阶段，进一步可过渡到典型的岩浆作用阶段。

混合岩化作用属超变质作用的范畴，富K、Na等阳离子以及富挥发分的流体相的广泛交代作用和高度的渗透能力更有利于金从源岩（包括变质岩）矿物晶格中释放出来，并且富集在混合岩化交代前锋部位上，形成了金的原生地球化学异常。图2—8和图

2—4清楚地表明混合岩化作用对金的富集作用。

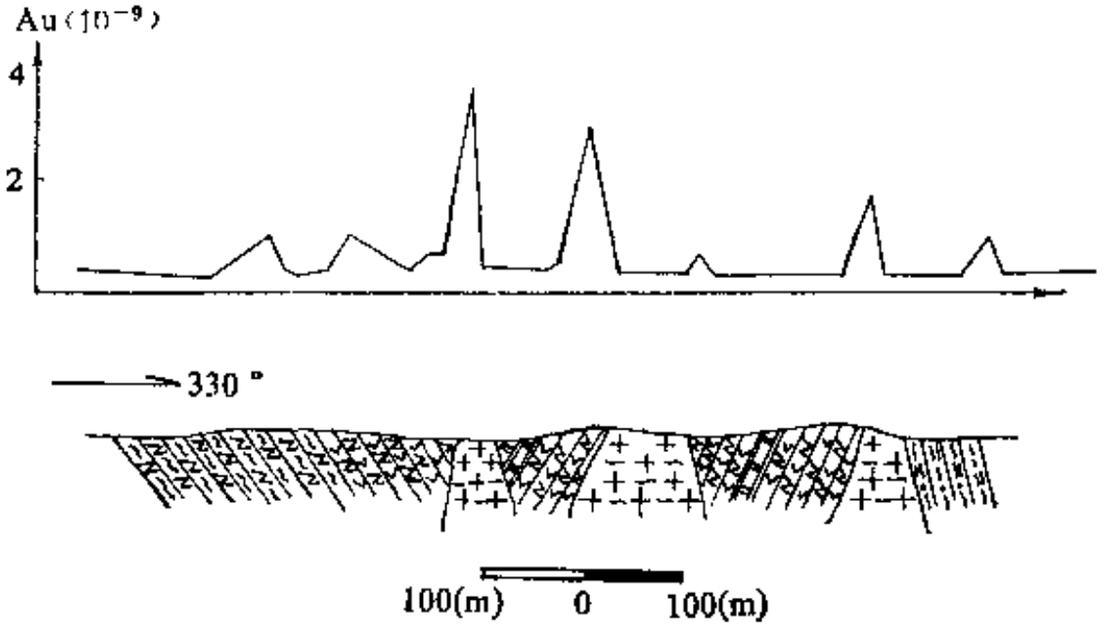


图 2—8 混合岩化前峰带地质地球化学剖面图

由图2—8和图2—4的资料可见，金在混合岩化作用中发生一定的富集是肯定的，但迄今在胶东地区未发现产于混合岩脉体或混合花岗岩中而又不与燕山期新华夏系断裂有关的金矿化现象。换言之，胶东地区金矿化无一例外地都产出在燕山期华夏系或新华夏系断裂中。因此，胶东金矿属混合岩化期后溶液成矿的观点是缺乏足够的证据的。通过研究 Au 在花岗岩中的赋存状态结果（表2—6）证明，取自混合岩化交代前峰带的南台和车家夼的两个花岗岩样品，用王水溶样的化学光谱法测金含量为 2.2×10^{-9} 和2.8×10^{-9}，平均为2.5×10^{-9}，与图2—4 的金背景场图中内接触带存在金的$>2\times10^{-9}$的富集带的结果一致。而这两个样品的 HF 溶样测定结果平均值为 4.55×10^{-9}，其中易活化态（王水溶出部分）金占总金含量的55%。在靠近岩体的中心部位的东仙姑采集的花岗岩样品，用王水和 HF 溶样测得金含量的平均值分别为 0.46×10^{-9} 和 7.3×10^{-9}，其中易活化态金占样品金总量的6.3%。由此可见，区域混合岩化作用结果使金在其交代前峰带发生微弱的富集，形成一个高背景带，同时也导致超过50%的金处于易活化状态，为后期金在此带再次活化富集成矿创造了有利条件，因此，称为金成矿的二次矿源岩。

第三章　区域成矿地质地球化学模型

成矿作用是一种区域性地质现象，相同类型的矿床往往在区域上成带密集产出，带内各矿床的成矿地质条件有相似之处。因此，在区域勘查工作中深入研究已知典型矿床，充分利用已有探采工程所揭露出来的深部结构和变化，对加深认识区域成矿控矿规律，并应用于对未知区的评价，是一种行之有效的工作方法。我们研制的基岩地球化学测量方法，把典型矿床研究和建立区域成矿地质地球化学模型作为一个重要的环节加以强调，原因在于基岩测量所圈出的异常的评价，需要加入地质控矿条件变量，即用于异常评价的 G·A 系统包含地质控矿条件变量（详见第五章）。本章以水道测区邓格庄、金牛山、乳山（金青顶）等已知典型金矿床研究为例，阐明研究区域成矿规律，建立区域成矿地质地球化学模型的方法，有关矿床成因问题的讨论也从大区域范围的金矿预测出发，力求提出进一步找矿方向。

一、牟平—乳山金矿带构造控矿规律

（一）邓格庄—金牛山金矿构造控矿特征

金牛山金矿位于邓格庄矿以南约1km，矿脉产于金牛山主断裂中，向北延伸品位变贫，而在与主断裂近于平行产出的次级断裂中却赋存着高品位矿石，即邓格庄金矿。因此两矿应属于同一个矿化体系，分为南北两个矿段，见图2—1。

邓格庄矿段由五条赋存于次级断裂中的矿脉构成，其中除Ⅱ号脉产状为NE10°—15°，NW倾 80°外，其它四条脉均为NE15°—25°方向伸展，与金牛山主断裂（NE10°—15°）间有一小角度夹角。邓格庄矿段最长的Ⅰ号脉长达2500m（见图3—1）。Ⅰ、Ⅱ号脉

厚度为0.2m—1m，Ⅱ号脉矿体膨大部位厚度达3m。Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ号脉为单脉，厚度变化大（0.1m—3.0m，由膨大和收缩部位组成，局部出现串珠状。Ⅱ和Ⅲ号脉两侧还有短小的侧脉。Ⅰ号脉规模最大，为复脉，由三条平行的脉组成，厚度不大但较稳定，三条脉大体呈左旋侧列式排布（见图3—1)。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ号矿脉对金牛山主断裂来讲，都属于次级侧脉。有意义的是四条侧脉均呈NW倾向，与金牛山主断裂的SE倾向相反。这一事实说明金牛山断裂具多期活动历史，侧脉的形成可能为后期叠加应力场作用的结果。

含矿石英脉的分布、产状、形态和规模都受构造的控制，并进而控制矿化的物质成分及金矿石品位。根据山东省第三地质队的钻孔资料，对矿脉的深部产状变化进行了分析，图3—2为邓格庄金矿Ⅱ号脉6-54勘探线矿体深部产状透视图，最南端的6线矿体出露地表（+100m)，在深部0m中段尖灭，矿化重心部位约在+50m中段，向北自9线开始地表石英脉已不够工业品位，深部尖灭点及矿化重心逐步变深，直到北部的54线矿体在-400m以下尖灭。空间上Ⅱ号矿脉为南端扬起向NE侧伏产状，图3—2中由品位乘以厚度为最大值的“矿化重心”相连大体呈40°角侧伏。根据已有资料邓格庄金矿Ⅰ、Ⅱ号脉北部钻孔深处已控制到-500m深，矿体尚未尖灭，而地表出露的石英脉已不够工业品位；另一方面邓格庄矿南端的相距约1km的金牛山金矿脉地表为厚富的多金属矿体（厚度达6.5m)，在深部坑道的70m左右矿体即已尖灭。因此，邓格庄—金牛山矿作为一个统一的矿化体系，其矿化体产状有南端扬起出露地表，向北侧伏的空间产状规律。

（二）金青顶金矿矿脉的构造控制

金青顶金矿产于将军石断裂中，将军石断裂位于金牛山断裂东侧，相互平行相距约4.5km，该断裂总体走向NE5°—15°，断裂面SE陡倾，断裂总体呈压扭性质，产于同一条断裂中的福禄地金矿位于金青顶金矿以北约3.5km，两矿也可以看成是统一的成

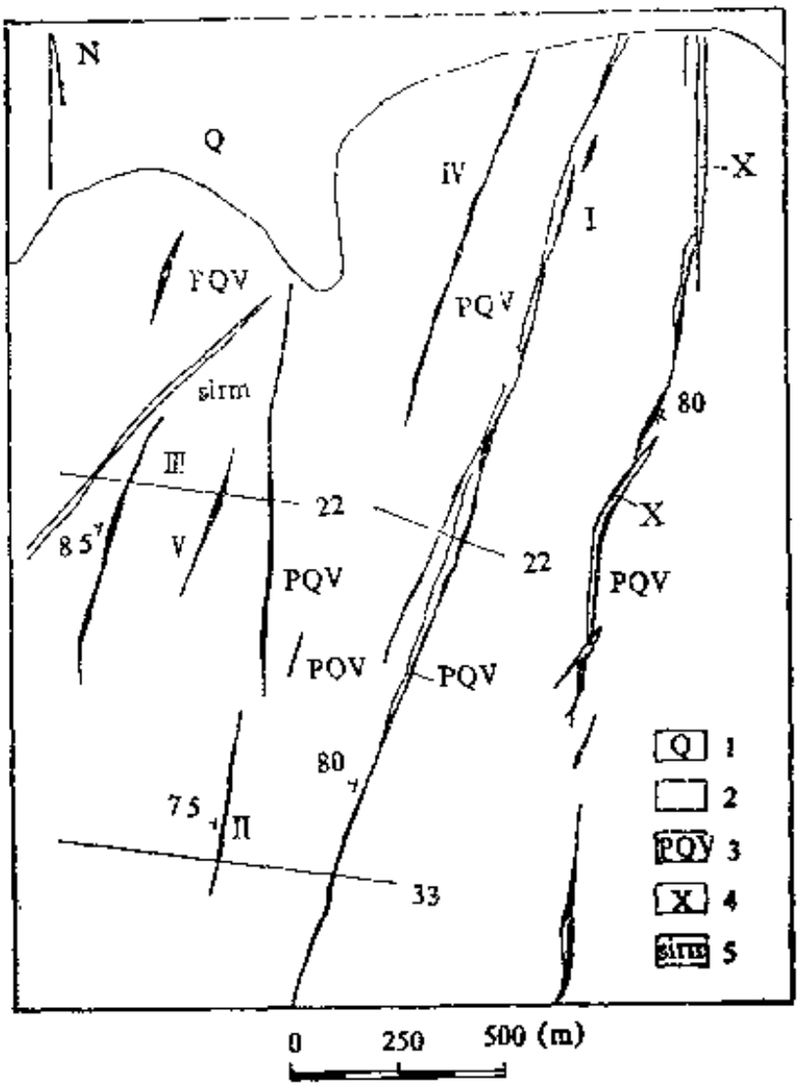


图 3—1 牟平邓格庄—金牛山金矿地质简图
（据山东省第三地质队）

1—第四系；2—花岗岩；3—含金黄铁矿石英脉；4—煌斑岩脉；5—硅化石英脉

矿单元。

金青顶金矿含金石英脉为单脉，总长达4km，平面上呈舒缓的“S”形弯曲，并出现膨大、收缩的变化。工业矿体由南北两个构造膨大段富矿柱组成。矿体收缩部分石英脉走向接近将军石主断裂的走向，约5°—15°，由贫矿石英脉组成，厚度约1m；在矿脉膨大地段矿脉走向NE20°—25°，为富矿体，厚度可达3m—4m。在金矿带范围内矿脉的厚度与金品位大体呈正相关，这一规律在金青顶矿表现明显。

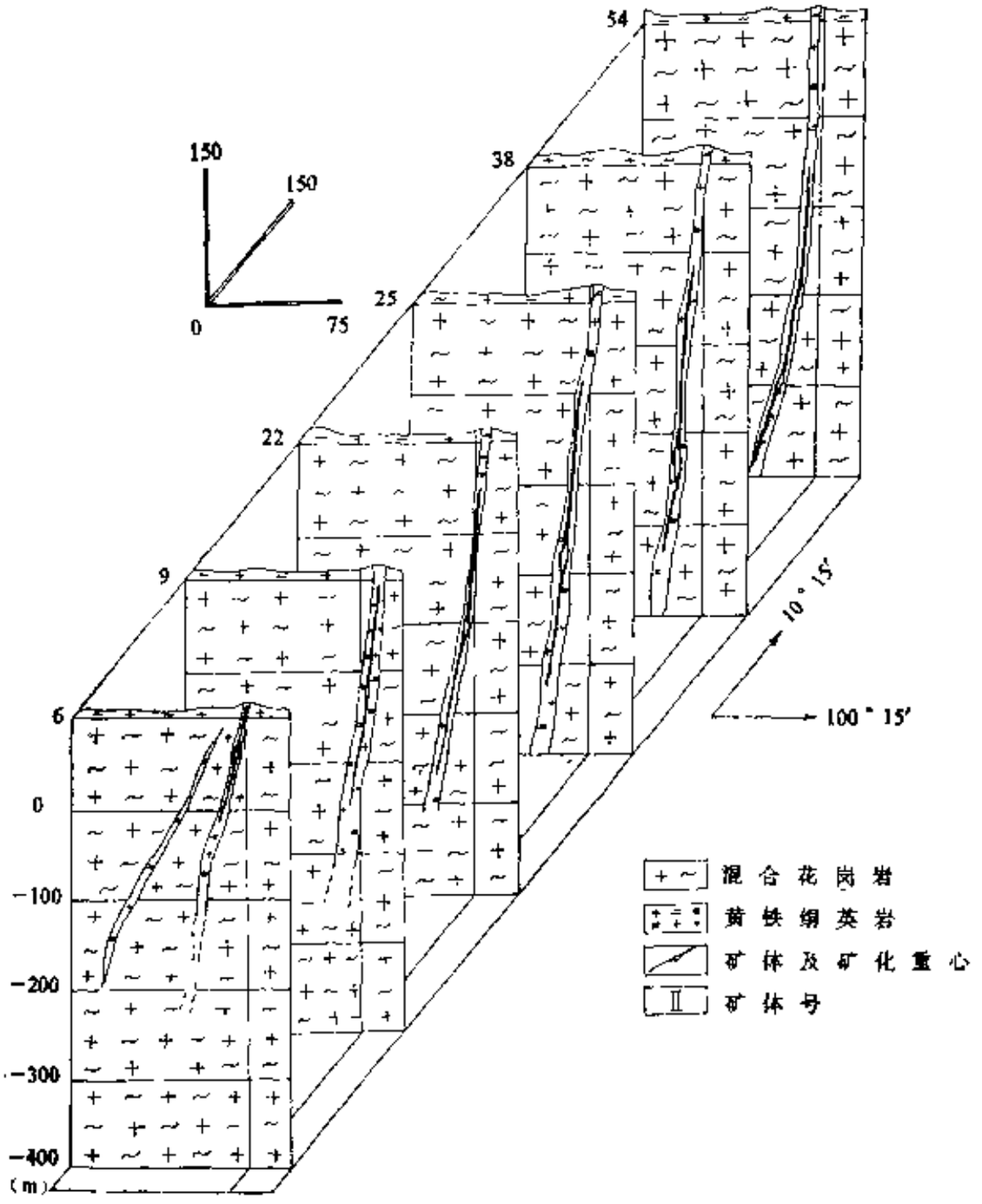


图 3—2 邓格庄金矿Ⅱ号脉矿体
（根据山东第三地质队资料编制）

金青顶金矿地表露头长度为400m，据目前已有的钻孔资料，控制矿体延深达 800m 多，尚未出现尖灭趋势。矿区南端铁帽发育，矿井中见块状方铅矿、黄铁矿，并含有黄铜矿、闪锌矿等多金属硫化物矿石。在民采竖井中矿体于60m深处迅速尖灭，而在矿体北端矿石变为块状石英黄铁矿富矿石延深超过走向长度。因此，矿体（富矿段）的空间形态为一斜深大于走向延长的 向 NE

方向深部侧伏的扁豆状富矿柱。矿体最大厚度的矿化重心轴大体以60°—65°角向NE侧伏。金青顶金矿容矿构造也属于由两次构造活动叠加形成的张扭性断裂段，其主要特点是主断裂的转向部位。

（三）金矿化的空间展布规律

区域上金矿床和矿点主要充填于NNE向新华夏系断裂带中，如图2-1。以金牛山断裂为例，由北到南长达85km的断裂带上已发现和观察到的金矿床和矿点达60余处。许多矿点密集成串，或可连成一条脉。从目前的找矿经验来看，大部分矿点不具工业利用价值，已发现的金矿床在含矿断裂中断续出现，严格受有利构造条件的控制。

1．新华夏系断裂的两种应力性质分段。金牛山、将军石等早燕山期新华夏系断裂构造，总体上具压扭性结构特征，如沿断裂面经常见到的挤压破碎带，挤压透镜体，擦痕面等。部分地段被石英脉充填，这些石英脉大多为乳白色的无矿石英脉，呈左旋斜列式追踪排列。压扭性段一般为无矿段，构成控矿断裂的大部分地段。已知金矿床研究表明，含矿地段特别是富矿段的断裂多具有张性或张扭性结构特征，主要表现为容矿构造空间（脉体厚度）的局部膨大、石英脉壁参差不齐、包裹有棱角分明的前期石英角砾、大小混杂、无规则排列、被晚期矿石胶结等现象，见图3-1和图3-3。因此，可以认为本矿带控矿断裂根据其构造应力性质可以划分为压性、压扭性和张性、张扭性两种地段，其中压性段占绝大部分；张性段仅局部发育。工业金矿化主要在张性或张扭性构造地段形成。研究表明，张性构造空间无论从热力学还是动力学条件上都更有利于成矿物质的聚集与沉淀，张性构造是本带的含矿构造。

本区新华夏系断裂构造具有多期活动特征。在一条断裂上压扭性和张性结构面的同时存在说明两期构造活动主应力方向的改变，在成矿期，受区域性近南北向剪压应力的走滑断裂作用形成分段发育的张扭性断裂段。张扭性段在局部可以以次级平行张性

断裂(如在邓格庄矿区)或局部主断裂扭张转向（如在金青顶，局部转为NE15°—25°方向）等形式发生。邓格庄金矿次级断裂与主断裂呈小夹角不平行，而又不相交会；主断裂面为SE倾向，角度较缓，而次级断裂为NW倾向角80°左右，这些事实证明主、次级断裂由两期构造活动叠加形成。

2．张扭性构造区域展布规律。含矿构造分段出现在主断裂带上的张性或张扭性段，每一个张性段构成一个矿化中心，空间上张性段大体以等间距沿主断裂出现，在相邻平行控矿断裂之间则以左旋斜列式排布。图2-1为水道、冯家幅基岩地球化学测区范围内已知大中小型金矿床区域分布图，由测区东南角的金青顶—福禄地金矿到金牛山—邓格庄金矿，向北西直到下齐联成一条大体沿NW330°方向排布的斜列式金矿化发育带，测区内主要已知金矿都集中在带内。在构造上可能是区域新华夏控矿断裂的张扭性段展布带，因此NW330°也是本区有利金矿成矿的控矿构造。

二、矿化体分带模式

牟平—乳山金矿带各已知矿床，除由具体的成矿构造结构影响矿体在规模、形态和侧伏角度的差别以外，其矿石成分、围岩蚀变和矿体的分带特征等在各矿表现出共同性规律。

（一）矿石成分及成矿阶段

构成本带矿脉的金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、银金矿、毒砂，以及本次在邓格庄Ⅱ号脉发现的砷黝银矿、雄黄；脉石矿物为石英、方解石、菱铁矿、绢云母、绿泥石、粘土矿物等。几种稳定的矿物组合及其特征的结构构造构成本矿带常见的矿石类型：稀疏浸染状黄铁矿石英脉，个别地段构成低品位金矿石；块状或稠密浸染状石英黄铁矿、磁黄铁矿矿石，为主要的金矿石，其中黄铁矿或磁黄铁矿呈非自形晶结构；含金石英多金属硫化物矿石，以方铅矿黄铁矿为主，常含有

闪锌矿，黄铜矿，构成块状硫化物矿石；含稀疏浸染状黄铁矿的石英碳酸盐脉，有时形成低品位矿石。

以上几组常见的矿物组合在矿脉中形成规律的分带结构，从成矿时间演化序列和成矿温度上反映几个成矿阶段。成矿阶段的划分主要根据矿体中不同矿石组合的先后沉淀次序和相互穿叉交代关系，同时按成矿温度由高到低的顺序。如图 3-3 为金青顶金矿三个成矿阶段矿石的对称分带结构。这种分带在金矿带有共同规律。成矿阶段划分及矿石特征如下：

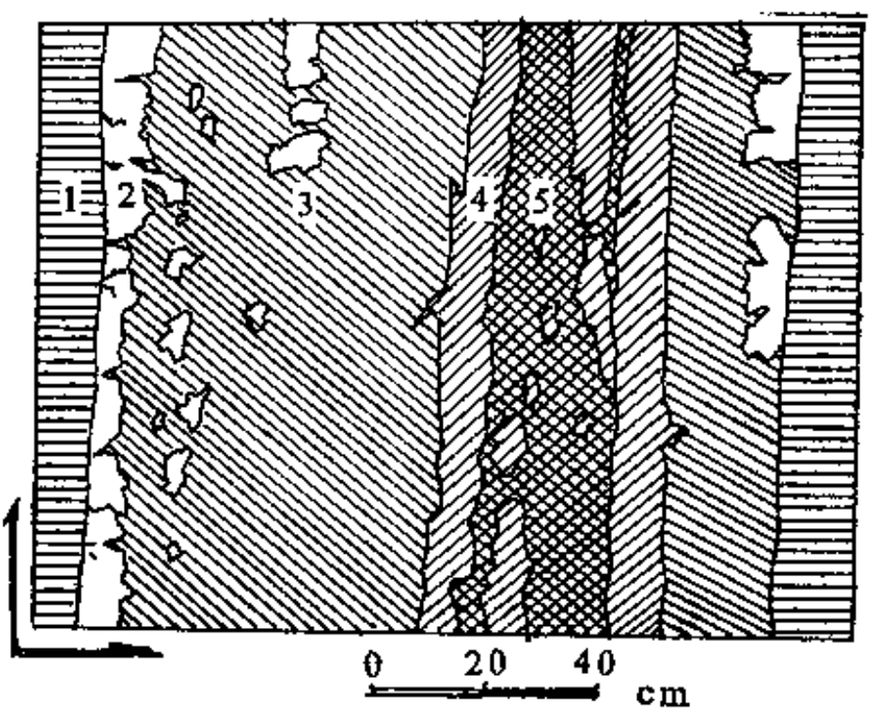


图 3-3　金青顶金矿－155m中段不同阶段矿石对称分带素描图（仰视）

1—绢英岩；2—第一阶段乳白色石英脉；3—第二阶段石英黄铁矿矿石；4—第三阶段石英黄铁矿菱铁矿矿石；5—第三阶段石英多金属硫化物矿石

第一阶段：浸染状黄铁矿石英脉阶段，石英为乳白色，粗粒，它形，常具栉状和梳状构造，含量占90%以上，普遍发育晶洞。黄铁矿呈自形立方体或五角十二面体，中粗粒，呈浸染状散布于石英中，含量为3%—6%。

第一阶段的含黄铁矿石英脉构成矿脉的主体，主要产在矿体的变窄收缩部位。含金品位低，为 100×10^{-9}—1000×10^{-9}，因此构成非矿段或贫矿段。在时间上形成较早，矿脉中常无乳白色

石英脉角砾被第二阶段块状黄铁矿石英矿石胶结和交代，因此，第一、二成矿阶段之间曾发生构造活动。

第二阶段：块状黄铁矿—磁黄铁矿石英矿石阶段，为块状富矿石；黄铁矿或磁黄铁矿含量达50％以上，少见细粒烟灰状黄铁矿矿石。黄铁矿为粗粒它形晶，观察到由脉壁到中央颗粒由细变粗，成分上黄铜矿、闪锌矿和菱铁矿逐渐增多的趋势，并向第三阶段矿石过渡。

第二阶段矿石以角砾状、碎裂状构造为特征，主要发育在裂隙的张性膨大部位，构成富矿体的主体，含金品位达7 g/t—40 g/t。据统计此类矿石构成胶东地区全储量的70％。地表风化后形成蜂窝状铁帽。

第三阶段：多金属硫化物石英矿石阶段。以黄铁矿、方铅矿块状矿石为主，含有闪锌矿、黄铜矿、石英、碳酸盐、镜铁矿。黄铁矿、方铅矿结晶颗粒粗大，自形好，石英呈细脉状，半透明，晶洞构造发育。本阶段以富硫热液成矿为特征，成矿温度偏低，与第二阶段矿石呈渐变过渡关系。本阶段矿石含金品位较高，构成富矿石，与第二阶段矿石一起构成矿脉的膨大部位，但多数发育在矿脉的上部或南部扬起端；风化后形成蜂窝状或胶状铁帽。

第四阶段：碳酸盐石英脉阶段。以方解石、菱铁矿为主，含有细脉状或团块状石英及粗粒自形浸染状黄铁矿；矿物结晶粗大，自形好，石英、方解石半透明，晶洞发育，为低温产物。第四阶段脉产在矿体南端尖灭处，为残余成矿溶液结晶产物。一般含金不够工业品位，但其发育在矿体的头部或侧翼，为良好的找矿标志。

（二）围岩蚀变作用

在金成矿的同时石英脉两侧围岩发生蚀变作用，蚀变带宽度3m—5m，对称发育。蚀变具分带结构，强度由内向外减弱；空间上蚀变作用有下部强，宽度大，上部变弱变窄的总体趋势。蚀变作用类型主要有：黄铁绢英岩化、硅化、红化、绿泥石化、碳

酸盐化等。

黄铁绢英岩化为混合花岗岩围岩特征的蚀变作用，包含多种蚀变反应，以长石类矿物的绢云母化为主体。黄铁绢英岩呈淡绿色，结构较松软。镜下观察绢云母强烈交代斜长石，其主体反应为：

$$NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8 + 2H^+ + K^+ \rightarrow$$
$$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 + 2SiO_2 + Na^+ + Ca^{2+}$$

分离出来的 SiO_2 形成硅化，表现为绢英岩化带中的细脉状石英；交代强烈时长石全部变为绢云母和石英，黑云母变为新生蚀变矿物绿泥石及呈浸染状分布的自形黄铁矿，其含量可达0.5%—2%。本矿带的黄铁绢英岩一般不构成工业矿体，据邓格庄矿区样品测定含金品位为 100×10^{-9}—470×10^{-9}。

红化蚀变作用：主要指发育在石英脉两侧外带的弱绢云母化带，红化作用在区内发育较广，在含矿石英脉、无矿石英脉及无脉裂隙两侧均出现，宽度可达数米。红化蚀变为一种热液活动产物，镜下观察见长石弱绢云母化，黑云母绿泥石化，岩石总体变为深红色，未观察到钾长石化作用。红化蚀变带 Au 含量降低，一般小于 1×10^{-9}。由此推断，矿带内广泛发育、与金矿脉并非紧共生的红化作用可能是来自地表的深循环溶液活化围岩中的金，形成含矿热液的一种宏观踪迹。

（三）矿体的分带结构与矿化体系

牟平—乳山矿带金矿化体包括矿石组合、围岩蚀变及原生晕围绕含矿构造空间存在规则的空间分带结构。这种分带现象反映了含矿构造对矿石沉淀的控制作用，也包含着成矿成晕的演化过程。

以金青顶矿为例，矿石矿物组合的分带结构表现清晰。金青顶金矿南端（3线以南）出露地表的矿体为块状多金属富金矿石，以块状黄铁矿、方铅矿矿石为主，含有黄铜矿、闪锌矿，矿石风化成胶状和蜂窝状铁帽。矿体南端是扬起端，深部约70m处矿体尖灭。沿矿体走向向北渐变成块状石英黄铁矿、磁黄铁矿富

金矿石，这种矿石地表出露不长，但到深部扩大，变宽，斜深达数百米，这是金青顶金矿的主体。沿走向12线以北由块状黄铁矿富金矿石变为稀疏浸染状石英黄铁矿矿石。

这一分带结构在邓格庄-金牛山金矿也有同样表现，作为成矿的一个统一的体系，位于矿体南端的金牛山金矿以出露块状多金属富金矿石为特征。探矿资料已证实其埋藏浅，向深部迅速尖灭的事实，表现了典型的南端扬起端的特征。向北接续金牛山矿脉的是邓格庄，Ⅰ、Ⅱ号矿脉富矿体。在25线地表出露块状黄铁矿富金矿石，向深部以约40°角侧伏，在50线以北钻孔控制深度达500 m，再向北地表矿体已不够工业品位，渐变为稀疏浸染状黄铁矿石英脉，见图3-2。

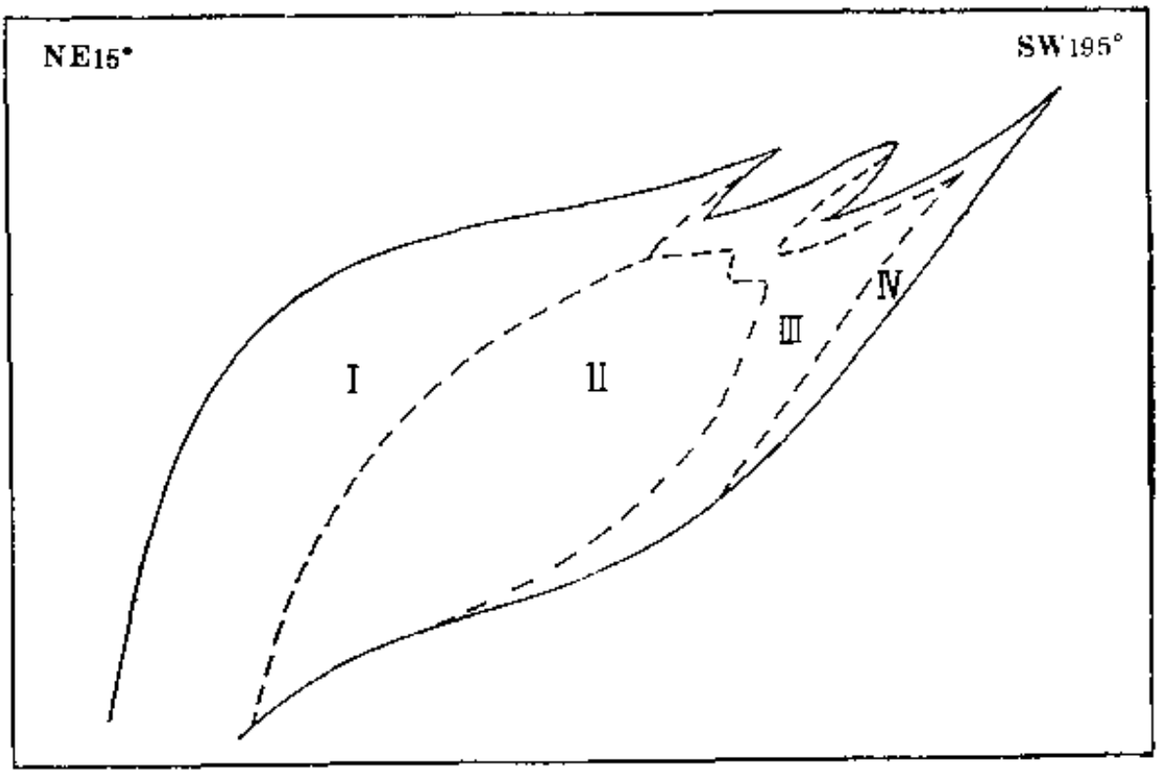


图 3-4　石英脉型金矿体空间分带模式图

Ⅰ—Ⅳ为各成矿阶段矿石分布区

以上分带规律简化概括为矿体空间分带模式图，如图3-4示。由图可见，矿体的物质成分分带也受含矿构造空间特征控制，构造裂隙的膨大部位（张性活动最强烈处）以沉淀Ⅱ、Ⅲ阶段富金

矿石为主，而北侧收缩矿脉为无矿或贫矿的第Ⅰ阶段乳白色石英脉产出。由此可见，由石英脉膨大部位构成的富矿体段为矿化中心，沿矿化中心数公里范围内的矿石组合、围岩蚀变及原生晕构成一套规则的空间分带结构。由此构成一个完整的成矿单元或成矿体系。矿化中心在构造上是区域新华夏系断裂具有一定展布规律的张性段，因此区域外围找矿可遵循张性段出现的线索追踪。

以上矿体分带结构对区域成矿预测和矿点、化探异常评价有重要意义。如图 3-4 示，如果按一定标高将矿体切割，则在大多数情况下南部为块状多金属矿石依次向北为块状黄铁矿富金矿石、稠浸染状或团块状黄铁矿金矿石，以及最北部为稀疏浸染状石英黄铁矿矿石的分带结构。矿石风化后形成南端块状、胶状铁帽，中间为不均匀褐铁矿染的石英脉，最北端为乳白色石英脉的分段结构。在深埋矿体浅剥蚀区，出露地表的则为矿体头部的矿化体支叉，主要为不连续的小规模石英脉，以及个别地段（靠矿化体南段）出现含有块状黄铁矿、方铅矿以及富含碳酸盐矿物的石英脉。

三、成矿物理化学条件与物质来源研究

研究矿床形成的物理化学条件及成矿物质来源问题的目的，是为了建立本区成矿的地质地球化学模型，并为区域成矿预测和带内找矿提供可靠依据。

（一）成矿物理化学条件研究

成矿温度 根据取自邓格庄、金牛山和金青顶金矿的共35件包裹体样品切片观察，及 155 个点的均一法测温试验，以及部分样品的冷冻法盐度测定结果，取得了本矿带金成矿的基本物理化学条件资料。两矿区流体包裹体以液相及气液两相包体为主，占观测包体数的80％以上，气-液比$V_G/(V_G+V_L)<10\%$，以3％—5％居多。在一、二成矿阶段石英脉中观察到含气相 CO_2 的包裹体，均一化后为气相。本矿带金成矿温度范围很宽，由 410℃—

100℃，围岩蚀变发生的温度高于相应阶段石英脉的形成温度。这一事实说明含矿石英脉结晶沉淀之前，热液已经开始同围岩发生化学反应，蚀变反应的结果导致成矿物质的析出。石英脉和围岩蚀变作用的温度由第Ⅰ到第Ⅲ阶段逐渐降低，温度区间有一定的重叠交叉。同时邓格庄比金青顶矿成矿温度稍高，统计两个矿的各阶段的成矿温度列于表3—1。

表 3—1 邓格庄、金青顶金矿成矿均一温度表(单位：℃)

矿区＼阶段	Ⅰ		Ⅱ		Ⅲ		Ⅳ	
	范围	峰值	范围	峰值	范围	峰值	范围	峰值
邓格庄	270—380	345	210—310	285(245)	160—210	190	110—150	135
金青顶	240—290	280	190—260	210	130—190	160	100—130	110

成矿压力　根据本矿带总体成矿温度较低的事实，同时考虑到成矿作用发生在张性裂隙中，在后期各阶段形成的矿石中见有大量的晶洞构造，证明成矿作用发生在较浅的部位。根据与玲珑、焦家等金矿对比推测本区金成矿深度大约为 2 km—3 km。按岩压与液压之间的压力计算成矿压力为 400×10^5 Pa—600×10^5 Pa。

成矿流体的盐度及化学成分　应用冰冻法测定了取自邓格庄金矿石英脉气液包裹体的冰点，并由相图查知成矿溶液的盐度：第Ⅰ阶段冰点为 −2.1℃——2.5℃，相应盐度为 3.42 wt%—4.07wt%NaCl equi，平均3.8wt%NaCl equi；第Ⅱ阶段冰点为 −1.8℃——2.5℃，流体盐度为2.93wt%—4.07wt%NaCl equi，平均为 3.42wt%NaCl equi；第Ⅲ、Ⅳ成矿阶段的成矿流体的冰点比第Ⅰ、Ⅱ阶段又有所升高，证明成矿作用晚期成矿溶液的盐度略有降低。资料表明本区成矿溶液具有较低的盐度，这与世界大多数热液金矿床成矿流体盐度均偏低的特征一致，同时在成矿演化过程中溶液的盐度有逐渐降低的特点。此外，两件取自围岩

表 3—2 金青顶金矿石英中流体包裹体成分

样号，阶段	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{3+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	F^-	Cl^-
JT23，Ⅰ	3.27	1.29	2.27	0.42	—	12.44	11.40	0.05	0.41
JT26，Ⅱ	27.50	13.30	4.08	2.23	15.17	—	468	4.53	2.75
JT25，Ⅲ	23.49	8.78	1.04	3.46	17.49	—	482	3.62	2.79

样号，阶段	CO_2	CO	CH_4	H_2O	K^+/Na^+	Ca^{2+}/Mg^{2+}	Cl^-/F^-	CO_2/H_2O
JT23，Ⅰ	0.0170	0.0186	—	0.946	2.46	5.50	0.42	0.022
JT26，Ⅱ	0.0356	0.0611	—	0.903	2.06	1.83	0.61	0.048
JT25，Ⅲ	0.0227	0.296	0.0057	0.698	2.67	0.30	0.77	0.029

① 离子成分的浓度单位为 g/1000g H_2O，气相成分浓度单位为摩尔分数。

蚀变带的石英包裹体样品的测定盐度平均为5.61wt%NaCl equi，说明成矿前的初始上升矿液为较高盐度的流体，在成矿演化过程中，由于不断渗入围岩的孔隙溶液，使矿液稀释，这一事实对推断本矿区矿质沉淀机制及成矿物质来源问题有重要意义。

应用热爆裂-水浸取法提取各成矿阶段的石英包裹体，用原子吸收和气相色谱法分别测定提取液中的离子成分和气态组分含量，见表3—2。如果第Ⅰ阶段包体成分最接近初始成矿溶液的成分，则本区原始成矿流体属 K-Ca-HCO_3-F 型水。成矿过程中自始至终 Na^+、Cl^-离子成分偏低；第Ⅱ、Ⅲ阶段溶液中 K^+、Na^+、F^-、Cl^-浓度的增高与围岩绢云母化、绿泥石化等蚀变作用有关，由于成矿作用在花岗岩成分的围岩中进行，K^+、Na^+、Mg^{2+}、Fe^{3+}成分的增长大于 Cl^-、F^-，而 $F^->Cl^-$。由于后期围岩孔隙水的加入，第Ⅲ阶段及以后各离子浓度普遍下降，与盐度的测定结果相一致。初始富 Ca^{2+}、HCO^-的流体通过成矿过程中伴生的碳酸盐化作用而被消耗掉，使晚期矿液改变成分，变为富 K^+、Mg^{2+}、SO_4^{2-}成分的溶液。以 SO_4^{2-}形式给出的测定结果在富 CO 和 CH_4 的还原性体系中应以 S^{2-}或 HS^-形式存在。由表 3—2 数据可见，成矿流体为富硫体系，而且随成矿作用的进展 ΣS^{2-}浓度不断增高，这与低温条件下 H_2S 在水溶液中溶解度提高有关，高浓度的溶解硫给成矿多金属阶段形成含 Au块状多金属硫化物矿石创造了条件。气相成分的数据说明成矿流体为富 CO_2 体系，同时成矿后期各阶段 CO、CH_4 的摩尔浓度提高指示变为还原性物理化学环境。

包裹体成分证据说明，成矿溶液为一种贫 Cl^-富硫 $(HS)^-$的流体，在这种体系中 Au 及其它成矿元素最有可能以硫氢络离子形式迁移，而难以形成稳定的氯络合物。

（二）成矿物质来源

成矿物质来源是现代矿床地球化学研究的核心问题之一，通过对同位素、包裹体及微量元素资料的综合分析和理论研究，有可能追索成矿各种组分的来龙去脉，从而深入认识成矿富集的机制和条件。成矿作用是一种大区域范围的地质作用，据现有资料，

牟平—乳山金矿带的成矿基本特征与胶东西部招掖矿带有多方面的一致性。本节综合引用了本矿带和招掖带的部分资料，试图从整个胶东区域范围内探讨金矿成矿物质来源问题。

1．硫同位素成分及硫的来源。我们分别按成矿阶段取样测定的金青顶金矿硫化物矿物硫同位素结果列于表3—3中。黄铁矿的硫同位素成分平均值为+6.78‰。据统计邓格庄金矿黄铁矿硫同位素成分众值为+6.5‰；牟—乳金矿带代表性硫化物矿物 $\delta^{34}S$ 值=+5‰—+10‰。这一数值与招掖带的资料非常一致，如玲珑为+6.7‰，焦家—新城为+9.5‰，三山岛为+12.1‰（王义文，1982）。图3—5为综合王义文（1981），山东地质三队（1987）资料以及专题实测数据绘出。

表 3—3 金青顶金矿硫同位素组成

样品号	矿 物	成矿阶段	$\delta^{34}S$(‰)
JT 23	黄铁矿	I	6.8
JT 26	黄铁矿	II	7.7
JT 26	黄铜矿	II	6.1
JT 18	黄铁矿	II	5.6
JT 17	黄铁矿	III	7.0
JT 17	方铅矿	III	-3.9
JT 17	闪锌矿	III	1.3

测试单位：北京铀矿地质研究所。

图示表明，胶东地区东西两个金矿带矿床中硫化物硫同位素组成具有区域一致性，变化范围为 $\delta^{34}S$=+13‰—+5‰，众数值为+6‰—+8‰。更有意义的是取自胶东群变质岩系及玲珑花岗岩、昆嵛山花岗岩体的黄铁矿样品也有相同的变化范围和相近的众数值。这有力地说明成矿物质硫取自成矿围岩——玲珑和昆嵛山花岗岩以及胶东群变质岩系。为了确切的推断成矿溶液总硫的同位素组成即 $\delta^{34}S_{\Sigma S}$，需要根据成矿时的温度条件下黄铁矿-H_2S 之间的同位素分馏系数公式进行计算，据 Ohomto 和 Ryl

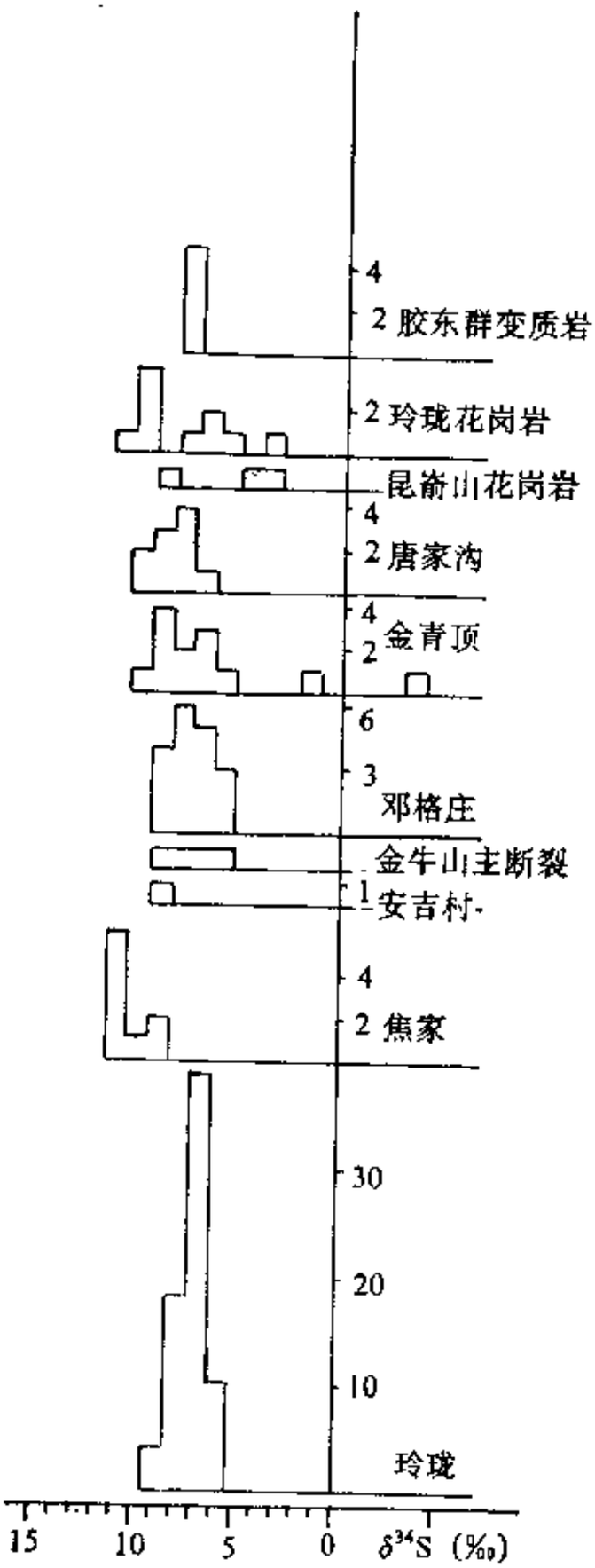


图 3—5　胶东金矿带硫同位素组成

地747号

（1979）公式为：

$$1000\ln\alpha_{Py-H_2S}=(0.40\pm0.08)\times10^6/T^2$$

式中T为绝对温度，α_{Py-H_2S}为同位素分馏系数。使用通用的近似计算式：

$$1000\ln\alpha_{Py-H_2S}\approx\Delta_{Py-H_2S}=\delta^{34}S_{Py}-\delta^{34}S_{H_2S}$$

以第Ⅰ成矿阶段的成矿温度为350℃及其形成的黄铁矿硫同位素实测数据$\delta^{34}S_{Py}=6.8‰$代入上式求得$\delta^{34}S_{H_2S}=+5.8‰$；同样方法求得第Ⅱ成矿阶段热液中$\delta^{34}S_{H_2S}=+6.5‰$。第Ⅰ、Ⅱ成矿阶段高温强还原条件下溶液中硫主要以负二价硫形式存在，H_2S的$\delta^{34}S$值可以代表总硫即$\delta^{34}S_{H_2S}=\delta^{34}S_{\Sigma S}$。

因此，从热液总硫的$\delta^{34}S_{\Sigma S}=+5.8‰—+6.5‰$的数值看，明显区别于幔源硫同位素组成，而与本区基底岩系胶东群变质岩系及其超变质交代产物昆嵛山混合花岗岩的硫同位素组成相近，因此可以认为胶东金矿床硫来源于含矿围岩及其原岩胶东群或荆山群。

2．金属物质的来源。收集到山东第三地质队（1987）、杨士望（1986）、王义文（1982）等发表的有关胶东地区的各种铅同位素资料共85件。样品取自玲珑、焦家、邓格庄等金矿床，以及玲珑、昆嵛山等花岗岩体和胶东群变质岩系。按照单阶段普通铅同位素演化模式投点作图，见图3—6。所用参数为：$a_0=9.307$，$b_0=10.294$，$\lambda_1=0.155125\times10^{-9}a^{-1}$，$\lambda_2=0.98485\times10^{-9}a^{-1}$，$T_0=4.55\times10^9a$，$^{238}U/^{235}U=137.8$。

由图3—6的投点可见，胶东地区铅的同位素组成变动于$^{206}Pb/^{204}Pb=16.4—18.0$、$^{207}Pb/^{204}Pb=14.5—16.2$范围内，总体讲变化范围较宽，说明胶东地区铅同位素的成因复杂和产状多样的特征。但同时从图中又可以看到大多数样品（约85%）集中在$^{206}Pb/^{204}Pb=17.0—17.7$和$^{207}Pb/^{204}Pb=15.0—15.7$的相对较窄的范围内；其相应的$\mu=7.5—8.5$及年龄值为1—4.5亿年内，暗示全区各种不同产状的铅可能取源于共同的物源。由图上各种产状样品的投点位置可以看出，落在外围分散的样大多取自金矿

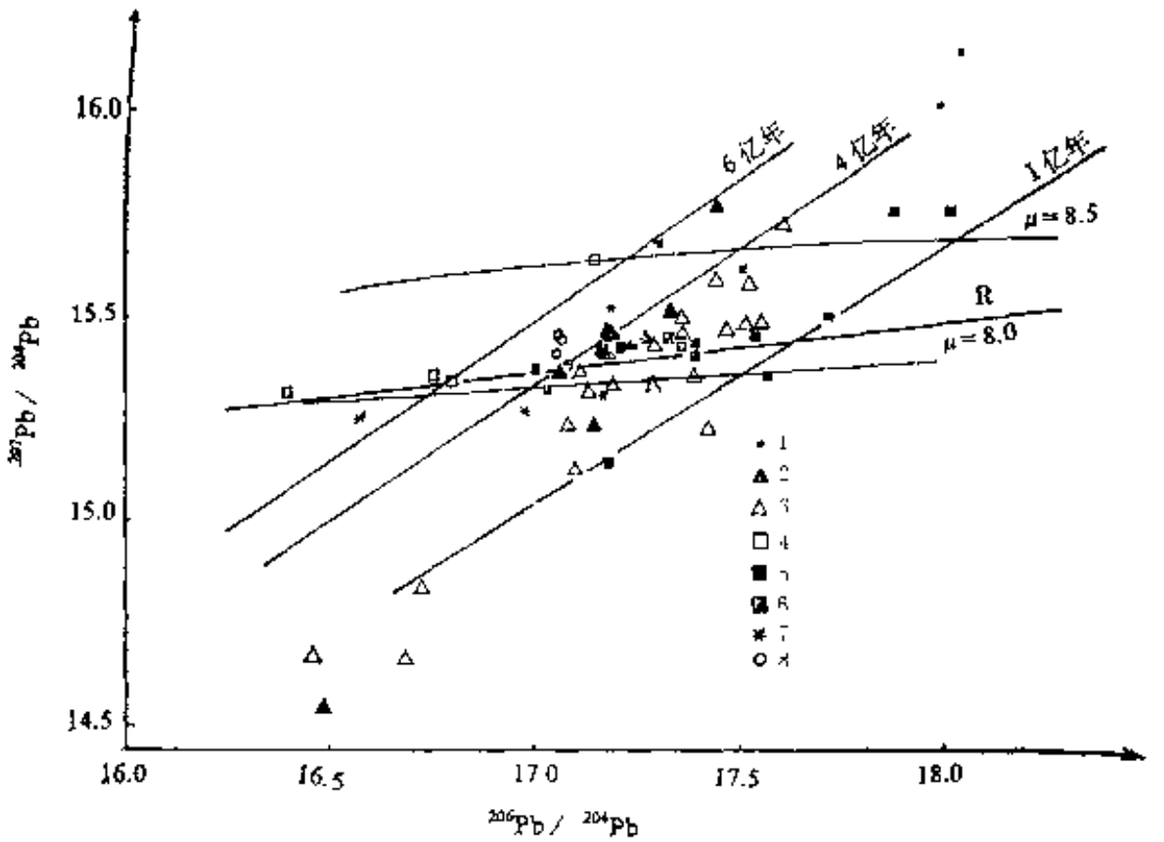


图 3—6 胶东金矿带铅同位素$^{205}Pb/^{204}Pb$-$^{207}Pb/^{204}Pb$图解

1—邓格庄；2—玲珑、郭家岭花岗岩；3—胶东群全岩铅；4—胶东群方铅矿；5—昆嵛山花岗岩；6—玲珑花岗岩；7—焦家、新城、三山岛；8—栖霞、马家窑

床，而取自胶东群地层和混合花岗岩的样品更集中在$\mu\approx8.1$的线两侧，将变质岩系及花岗岩中的样品共14个数据拟合出回归方程R如下：

$$^{207}Pb/^{204}Pb=13.3674+0.1178^{206}Pb/^{204}Pb$$

将直线R绘于图上，与全区样品点的密集带重合，其位置与相当于$\mu=8.1$的理论曲线有小角度斜交，大部分取自各金矿床的样点分布于直线两侧。以$\mu=8.1$为众值的取自胶东群地层及混合花岗岩各样品铅同位素组成代表本区总体物源层的铅同位素值，μ值表明其最终来源于地幔。同时对于分散于$\mu=8.1$直线上下两侧的取自各金矿床的样品则可以认为其铅来源于胶东群变质岩系或混合花岗岩。这一批铅同位素都属于两阶段Pb，随其叠加（变质及热液活动）的年代变新而μ值偏离愈远。如采自栖霞马家窑的产于变质岩系中的样品Pb同位素成分更靠近$\mu=8.1$

的直线。而取自玲珑及邓格庄的石英脉型金矿的样品则投点比较分散。其中三件邓格庄矿样品 μ 值最高(达 9.8)，这些数据说明邓格庄矿的铅同位素曾经经历过一段长时间的富U体系的演化历史，在本区可解释为在围岩花岗岩中的富铀环境。因此，邓格庄矿的 Pb 以及 Au、Ag 等成矿元素可能直接取自昆嵛山混合花岗岩。此外，铅同位素资料还说明，昆嵛山混合花岗岩形成年代较早，由胶东群地层经混合岩化原地交代形成。而邓格庄石英脉型金矿形成很晚，应晚于早燕山期。

区域基岩地球化学填图中 Au 的背景场分布图（图 2—4）资料补充说明 Au 的物质来源问题。由图中等值线可见，广大的无金矿化的昆嵛山花岗岩分布区（图东北角和西南角一带）Au 显示出均匀的高背景带，含量值为2×10^{-9}—6×10^{-9}，此值高于胶东群变质岩系 Au 含量，说明混合岩化作用前锋地段Au被活化，并且发生低程度的 Au 富集。与此同时，沿NNE向新华夏系控矿断裂带两侧以及由金青顶到下夼NW 330°方向的张性断裂斜列分布带上，基岩中 Au 的含量出现负异常带，一般低于 1×10^{-9}。该带宽度达 10 km—12 km。现代成矿地球化学已经在多处变质矿床、侧分泌矿床、后生热液改造矿床以及斑岩型矿床的外围确认有负异常带的存在，这说明成矿物质通过热液活动取自围岩，在一定构造空间经富集沉淀成矿的有力证据。本区应用两套取样介质采样的方法，充分显示了沿控矿构造带热液活动的结果，活化围岩中的金转入裂隙中富集的成矿机制。除Au以外矿体原生晕的Ni、Co、Zn、F 等都在不同程度有取自围岩而富集的方式。

3．氢氧同位素组成及水的来源。不同成因和产状的自然水其氢氧同位素组成有特征的变化规律。现代成矿地球化学查明，包裹体水的氢氧同位素成分包含着热液水的来源和成因的信息。图3—7为收集胶东地区代表性金矿床 H、O 同位素组成数据的投点结果（资料据：山东第三地质队（1987），杨士望（1986），王健（1986）等）。成矿热液的 δD 值直接由包裹体的提取水实测，δ^{18}O 值通过测定石英的 δ^{18}O 按其成矿温度应用理论公式计算而

得。

成矿流体 δD 变化范围较窄，介于－65‰——92.5‰之间，而 $\delta^{18}O$ 值表现了相对较宽的“漂移”范围－5.3‰＋7.3‰，位于大气降水和岩浆水范围之间。非常特征的现象是取自一个矿区的样品如玲珑金矿和十里堡银矿的样品点大体落在一条水平线上（即δD值接近一致，$\delta^{18}O$值漂移范围大）。图 3—7 投点资料证明胶东金矿热液水为来自大气降水的深循环地下水成因。虽然玲珑金矿和邓格庄金矿的少数点落入岩浆水范围，但考虑到这些样品

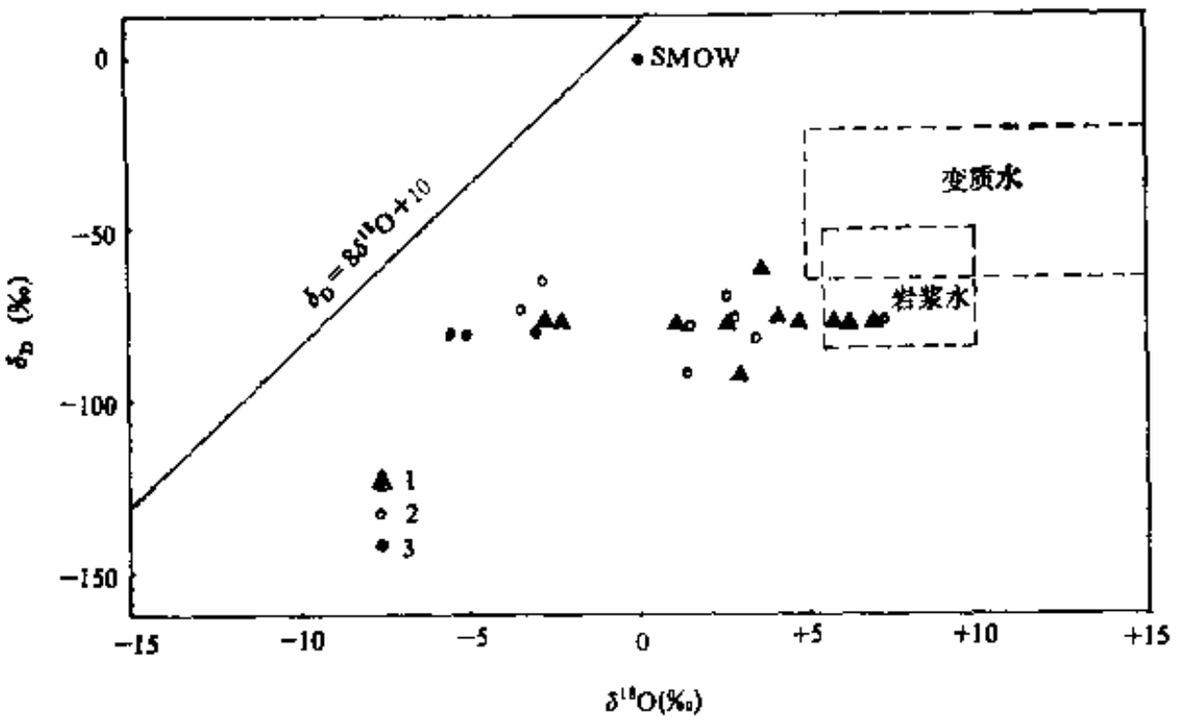


图 3—7　胶东金矿带成矿流体 δD-$\delta^{18}O$ 图

1—邓格庄、安吉村、西北道、福禄地金矿脉；2—玲珑金矿；3—十里堡银矿

是属于成因相同的一组样品，由于循环较深并经过充分的氧同位交换使之强烈漂移的结果，因此仍不能证明属岩浆水或部分岩浆水。在此，根据 $\delta^{18}O$ 值可以推断，玲珑和邓格庄矿的成矿溶液循环较深（成矿温度也相对较高），而十里堡银矿的成矿溶液循环较浅（$\delta^{18}O$ 值更接近大气降水），成矿温度低的典型矿例。根据张理刚统计的中国第三纪时期 δD 值在全国不同纬度的分布等值线

值，当时在胶东地区大气降水的 $\delta D = -60‰ \sim -100‰$ 之间。与本区包体水实测的 δD 值变化范围一致，佐证了成矿水来自当地大气降水的结论。

四、区域成矿地质地球化学模型

应用现代成矿地球化学的理论和研究手段有可能深入的认识成矿过程，包括成矿的整个演化历史，成矿物质的来源，元素富集的机制，从而更准确地查明成矿控矿的地质地球化学条件以及找矿的宏观和微观依据。成矿作用是一种区域性的地质事件，现代地球化学已查明大规模的成矿物质的区域性富集必定同区域性的某些地质构造事件有关，即多次叠加多期演化的成矿理论。因此，研究成矿规律必须从区域地质的空间和时间结构上考查元素富集的条件和机制，从而指导区域预测和评价。

（一）胶东金矿成矿演化历史

胶东金矿是经过多次区域地质构造作用使 Au 等元素在局部逐步富集的，只有那些有利于使元素富集的地段才能形成有工业价值的矿床。根据已有的资料可归结为如下几个作用时期：

1．新太古至古、中元古代时期（30亿年—17亿年）。在地壳演化的初期胶东地区为一个广阔的构造盆地，其中局部发育近东西向的裂陷带，地幔物质通过裂陷带上涌，形成大片分布的基性及中性的海底火山熔岩和火山沉积层，即胶东群。至古元古时期呈地槽继续沉降，火山熔岩及火山沉积建造继续沉积加厚，并开始海相正常沉积，构成荆山群原岩地层。胶东群和荆山群为源于地幔的富金建造，金含量可达 1×10^{-9}—20×10^{-9}，是胶东金矿的初始矿源层。其区域分布范围大体控制金矿化的有利地段，图3—8a。

2．中元古代末期，吕梁运动发生，大约在 17 亿年—16亿年前后本区发生褶皱隆起，形成以栖霞复背斜为核心的东西向复杂褶皱带，使胶东群、荆山群及粉子山群地层在褶皱的同时发生区域变质作用，全区达到中级（角闪岩相）变质程度，在重结晶过

程中 Au 被活化带出；在褶皱轴部及剪切断裂发育地段形成Au的局部富集，剖面中Au的含量可达20×10^{-9}—200×10^{-9}。在有利地段可能形成变质热液型(绿岩型)金矿，如栖霞县马家窑金矿等，图 3—8 b。

3．新元古代时期（14 亿年—7 亿年间）。在区域变质作用之后，发生大规模的混合岩化作用。混合岩化受东西向及北西向古构造控制，局部发生重熔或深熔作用。但在大部分地区表现为Si、K物质上升，并对古老变质岩系进行原地交代改造作用，形成玲珑、郭家岭、昆嵛山、鹊山等大规模的混合花岗岩体。在混合岩化交代作用中 Au 再次被交代活化。在混合花岗岩核心（重熔）部分及混合岩长英质脉体中 Au 的含量很低（$<1\times10^{-9}$），但在与胶东群、荆山群变质岩系接触带或交代前锋带内 Au 含量达到 2×10^{-9}—6×10^{-9} 的高背景带（个别样品高达 10×10^{-9}—100×10^{-9}）。更重要的是由于交代净化作用 Au 处于易活化的状态。因此，混合花岗岩交代前锋带成为 Au 成矿的二次矿源岩，是Au成矿富集的有利地段，图3—8 c。

4．燕山期(1.0亿 a 左右)，我国东部发生强烈的NE及 NNE 向区域断裂活动。本区以郯庐大断裂为中心形成大规模的深或中深区域大断裂及其次级断裂带，断裂构造具多期活动特征。在断裂活动同时有大气降水来源的深循环溶液广泛活动，不断活化淋取混合花岗岩及胶东群、荆山群变质岩系中的 Au、Ag、Pb、S 等成矿元素，在有利的（张性或张扭性）构造空间中沉淀富集，形成热液石英脉-蚀变岩型金矿床。见图 3—8 d。

（二）矿床成因问题

对胶东地区广泛分布的热液石英脉-蚀变岩型金矿的成因问题，近年来进行了大量的研究工作。所得结论比较一致的认识是：金矿由热液作用形成；成矿物质最终来自胶东群变质岩系；成矿时代为中生代后期，即燕山期。但对具体的成矿作用方式问题仍存在许多根本性观点的分歧，因此对区域评价和找矿方向仍有多种不同的看法。我们根据专题研究所获得的资料认为，以下

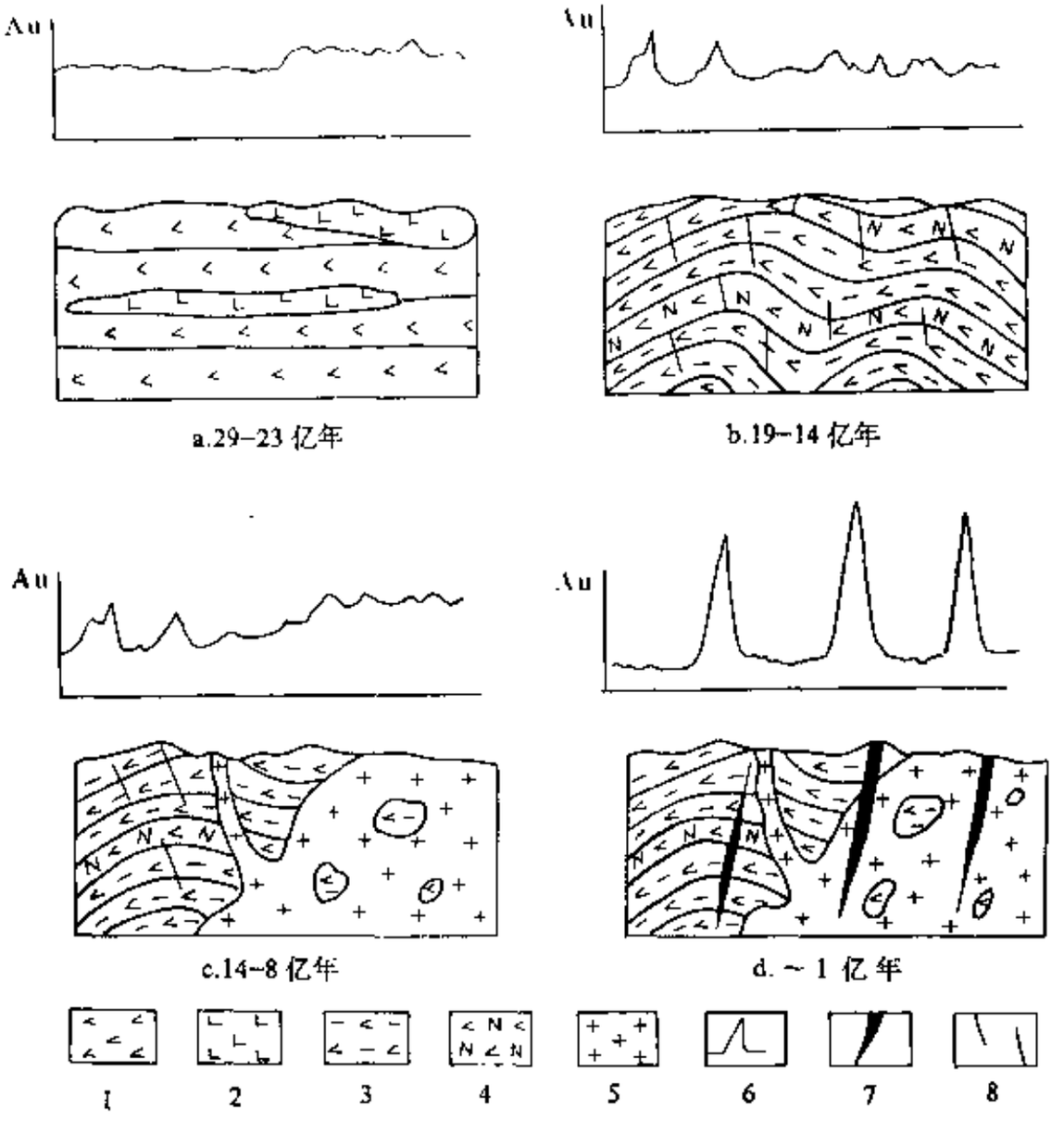


图 3—8　胶东金矿成矿演化历史

1—中基性火山岩；2—基性火山岩；3—黑云角闪斜长片麻岩；4—斜长角闪岩；5—混合花岗岩；6—金含量曲线；7—金矿脉；8—剪切断裂

几点特征是有成因意义的：

① 金矿体呈脉状产出，由石英硫化物大脉或包含石英细脉的蚀变岩带组成；

② 矿脉受区域新华夏系断裂带控制，为郯庐深断裂的次级构造，断裂和成矿的时代为燕山期；

③ 成矿流体的温度为中—低温热液；

④ 成矿金属和硫来自混合花岗岩及胶东群变质岩系，热液水来源于本区大气降水，成矿溶液为深循环流体；

⑤ 矿脉产出的有利地质背景条件为新元古代发生的混合岩化交代前锋带。含矿围岩除大部分为混合花岗岩石外还有胶东群变质岩系；

⑥ 成矿作用在整个胶东地区有共同性。

以上特征说明，变质热液、混合岩化期后热液、花岗岩侵入体期后热液以及重熔岩浆热液成矿模式都不能解释上述事实。根据现代成矿理论，本区石英脉-蚀变岩型金矿具典型的经历多期地质事件叠加、多次富集成矿的成因特征。晚元古宙的区域变质作用和混合岩化作用只起到使 Au 交代活化和在混合岩化交代前锋带初步富集的作用。所谓混合岩化期后溶液或重熔岩浆期后溶液的证据是不充分的。形成大规模的连续几十公里的石英脉或蚀变岩带成矿的作用是十几亿年以后的燕山期新华夏系断裂活动。由大气降水沿断裂构造的深循环活动活化淋取了混合花岗岩或胶东群变质岩系中的已处于易活化态的 Au、Ag 等元素，运移到有利的构造空间内沉淀成矿。因此本区石英脉-蚀变岩型金矿应属燕山期源于大气降水的深循环热液再活化富集的成因类型。

（三）区域地质控矿条件和评价依据

根据第二、三章资料，对牟平—乳山金矿带地质控矿条件和找矿依据可概括如下：

1．区域胶东群和荆山群含金绿岩建造分布区是区域金成矿的一级控制因素。富金矿源层的存在是后期地质构造活动使金成矿富集的首要条件。应指出，在含金建造分布区内不但有利于形成胶东地区占优势储量的石英脉-蚀变岩型金矿，在有利的地质条件下还可以形成其它多种类型的金矿，如变质热液型、绿岩型、同熔岩浆热液型、斑岩型、火山岩型等。因此，在区域成矿预测中，除继续对石英脉-蚀变岩型金矿进行工作外，应在其它类型金矿化开展勘查工作，在类型上不断取得突破。

2．元古期混合岩化交代前锋带是本区石英脉-蚀变岩型金矿

的二级控矿因素，也是金矿化的二次矿源岩。其中金除初步富集外还处于易活化状态，为后期的再活化成矿构成有利条件。因此混合花岗岩内接触带是金成矿的远景带，这一成矿规律在胶东地区有普遍意义。

3．区域早燕山期华夏系和新华夏系断裂是石英脉-蚀变岩型金矿的控矿构造，为本区金矿化的三级控矿因素。胶东脉型金矿严格受燕山期断裂构造控制，成矿时代均在1亿a左右，以及区域断裂只在穿过混合花岗岩内接触带地段才发生矿化的事实，证明金矿化属断裂活动期大气降水深循环再次活化金富集成矿的成因机制。

4．牟平—乳山金矿带新华夏系断裂的张性构造段是本带脉型金矿的储矿构造，是本带金矿化的四级控矿因素。本带新华夏系断裂有平行等距发育特点，相邻断裂之间的张性段呈右旋斜列式排布，在水道测区内储矿构造段大体沿NW 330°方向展布。

5．储矿构造段一般由一组密集的张性或张扭性断裂组成，构成一个相互连通的构造体系，表现为充填石英脉的膨大地段。在牟平—乳山金矿带含矿构造段具有总体上南端扬起北端侧伏的产出规律。成矿作用中受储矿构造的控制形成具有类似侧伏产状的矿化体，其中矿石组合、围岩蚀变及原生地球化学异常都表现为有规律的分带特征。

综上，遵循现代矿床学观点，应用地球化学理论和方法研究成矿带的区域地质特征及典型已知矿床的成矿规律，可以加深对本区成矿和控矿条件的认识，在建立区域成矿地质地球化学模型的基础上对区域成矿预测和化探异常评价有指导作用。

第四章　成矿信息提取方法与区域异常研究

从勘查矿产资源出发基岩地球化学测量的主要任务可以归并成两类：①描述地质体岩石及其构造的地球化学特征，以便对它们进行划分和对比，追索其界线，恢复形成条件，并用不同信息符号表达成图件；②对含矿地质体、有利于成矿的远景区和局部矿化现象进一步作出定性的或定量的预测评价。在综合分析各种信息之后，本测量方法的主要成果之一是利用背景场样品和异常场样品分别圈定指示元素的等值线图或形成彩色等级图像；背景场反映出不同地质体的空间分布和成矿元素在测区内的集散趋势，为成矿指示元素异常的圈定提供了波动起伏的背景基础；异常场是测区寻找新矿体和靶区的主要依据，它已包括了背景场和异常场的信息或者说两者信息叠加的结果。

一、成矿信息提取方法

某项地球化学测量的科学研究或生产工作，各项测试数据质量的优劣（可信程度）和所含信息量的大小，严格说取决于从采样到分析测试和数据处理等一系列的环节。换言之，地球化学测量中的信息提取不仅限于分析数据资料的处理，而是贯穿在采样方法、指示元素选择、样品加工、测试和数据处理等所有技术措施中。作为地质化探综合化基岩地球化学测量方法，首先强调在野外采样过程中能够获取到所需要的地质和成矿信息。显然，如果采样方案不能保证采集到足够的矿化信息，那么无论使用多么高明的处理技术也不可能得到正确的成矿认识。其次，样品加工和分析测试的方法选择和技术方案应充分考虑有利于对所获取的

地质和成矿信息的保存和压制误差干扰；指示元素的选择应从挖掘信息的角度加以考虑；地球化学勘查中的指示元素可以看成是测区内地质和成矿信息的载体，有效指示元素的开发和使用是勘查地球化学解决复杂找矿问题的技术关键。最后，化探资料的数据处理环节有保存信息、剔除随机因素和综合资料合成信息的重要作用。众多的多元统计分析方法在勘查地球化学中的引入和开发，核心在于各种方法的数学模型和所处理的地质或成矿作用诸因素关系间结构性质的吻合性。总之，整个地球化学测量工作都可以看成是一种大规模的测区地质和成矿信息的汇集，通过对信息的综合分析，达到加深区域地质特征认识和查明矿产地的目的。在一定的勘查精度要求下一项测量工作所获取的信息量愈多、愈准确，就表明该技术效率愈高。本节就基岩地球化学测量中的几个主要的技术环节，从信息的提取和综合角度阐述其技术思路；本章以下几节和第五章以水道测区为例来说明其实用效果。

（一）采样方案的信息获取量

本题制定的目标追踪采样法以提高野外测量阶段获取信息量为根本目标，力求在勘查工作重要的采样环节上改进勘查方法。目标追踪采样法在以下几点增高了信息量：

1．区分背景场和异常场的分别采样，增加了测区基础地质和控矿地质条件信息的收集，提高了测量的综合信息水平；

2．强调了采样的同时要有必要的观察记录（填记卡片），在原有的微观信息的基础上扩大了宏观信息的收集，其中包括地质和矿化的宏观信息；

3．采用地质追踪的选择方法，保证了在有限的取样网度条件下取到测区较多的矿化信息；野外追索选样的技术，突破了常规化探规则布网的随机性，解决了基岩采样中面对不均匀矿化而又要求不漏矿的难题。

总之，地球化学测量中的野外采样是一种技术密集性的工作，要求采样人员在野外按技术要求追索、观察、选样和填记卡

片，以保证获取到充分准确的勘查信息，而不是简单的取样。

（二）扩大指示元素，开发指示意义

不断扩大指示元素的使用范围，开发新的指示元素和同一个元素在不同地质环境条件下指示地质事件的作用，力求用较少的指示元素，提供出准确的解决地质问题和找矿两个方面的信息。例如，广西两江铜矿区曾利用卤素F和I作探途元素成功的找到了被厚层泥盆系地层覆盖的赋存于寒武系地层中的富铜矿体。此外，充分利用现代测试技术，如同位素分析、包体成分分析、稀土元素分析和偏提取技术等提供的数据资料，不仅用于矿床成因、物质来源方面的综合分析，也可以提取出找矿的重要信息。

在水道测区测量中试验使用了Ba、Sr、V、Zr等岩性指示元素，扩大了标示区域地质作用特征的信息。同时通过测定背景场中的Au、Ag等成矿元素的分布，解决了成矿前Au、Ag等元素的迁移演化历史和成矿物质来源的问题，扩大了其指示意义。总之，指示元素的开发是现代勘查地球化学的发展方向，也是具重要理论意义的课题。不断扩大指示元素使用范围和指示意义是增大地球化学勘查信息量的有效途径。

（三）样品加工和测试中的质量控制

基岩地球化学测量样品不仅有直接指示矿化空间位置的作用，而且对于矿化类型、剥蚀深度以及深部矿化特征等均具有一定指示作用。根据现代地质找矿要求，严格控制样品在加工流程中互不污染，在保证分析粒级要求的前提下，每件样品都要加工得十分均匀。以保证样品中包含的信息不致损失，不受干扰；分析数据都要达到定量或近似定量。作为与找矿有关的指示元素，要求尽量降低检出下限，保证分析的灵敏度；每次分析一定要有标准样和二级监控样配合，使批次误差减小到最低限度，按规定的自检样品不超差；使用单位密码抽样测试结果，用多项套合方差分析证实地球化学变差足够大，采样分析误差尽量小。对于解决基础地质问题的岩性指示元素，因其自然地球化学变差较小，为准确反映自然地球化学场的结构，要求适当提高分析精度。

此外，样品加工和分析技术的改进还能增大样品的信息量，提取到多方面有地质和成矿意义的信息。如目前地球化学勘查中常用的偏提取法、粒级分选、单矿物测定和赋存状态研究等，都有强化异常，压抑干扰，区分叠加变量和显示地质意义的作用，也是一种增大地质和矿化信息的途径。

（四）数据处理技术：信息的提取与合成

各种统计分析方法是提取地质地球化学信息的重要手段。在区域上成矿结构的地球化学标志总是存在的，它们会完整地或部分地在原始数据中或数据的转换形式中表达出来。一个最重要的因素是必须注意每种统计方法的应用前提，恰当的进行选择，使之建立的数学模型与自然客体的地质地球化学模型具有一致性，并赋予统计特征数一定的地质意义。

因此，化探数据处理既能提取成矿信息，又能综合信息，以取得对区域地质和成矿问题的总体性认识；同时，在方法选择和技术方案中又要考虑已有信息的保存和转化，以达到合理综合的目的。在胶东水道测区进行的基岩地球化学测量实验，由于区分了背景场和异常场采样，在取样环节上已经划分了样品的两个母体（其中背景场样品因取自不同岩石，仍属于多母体），因而可以直接按两个地球化学场分别作图和统计计算，免去了常规的趋势分析或类似的处理程序。由于样品具有明确的代表性，采样中避免了随机性，因而有可能对属于同一母体的样品进行直接的统计计算和作图圈异常，这都有利于信息的保存和转换。我们研制的异常评序的G·A系统，核心在于地质和矿化信息的综合，通过对地质控矿变量和宏观矿化特征的合理赋值，使地质信息定量化。同时，根据对本区金矿化的成矿机制分析得出的：在有利的地质构造控矿条件下，又有充分的热液成矿活动发生的地段才能成矿，而其中之任一条件的缺乏或不利都有否定作用的基本认识，设定了用G（地质变量）与A（基岩异常变量）相乘关系综合两种信息，来定量比较异常地段的含矿性（详见第五章）。提高了信息综合和评价的科学性。

总之，勘查地球化学的信息提取技术应在多元统计分析与地球化学相结合的方向上不断改进和提高。广义的信息提取技术贯穿在测量工作的采样、样品加工、分析和数据处理的全过程中；其中扩大野外测量阶段的信息量和室内阶段对信息的保存、扩展、解译和综合是发展信息提取技术的关键。

二、异常场的地球化学研究

（一）指示元素

异常场指示元素的确定主要根据如下四个方面：

1．参考前人资料。本项研究开展之前，先后有山东地矿局区调队、第三地质队、地矿部第一物探大队、省冶勘公司物探队等单位进行过区域性水系沉积物和土壤地球化学测量，基岩地球化学测量仅限于矿区和矿点。概括起来使用过的指示元素有 Au、Ag、As、Hg、Sb、Bi、Te、W、Mo、Cu、Pb、Zn 等。

2．已知矿区基岩地球化学异常特征研究。指示元素要兼顾每个元素指示异常的范围、强度和矿体剥蚀深度。要取得这方面的资料，已知矿区基岩地球化学异常研究最为有利。经过对邓格庄金矿和金青顶金矿的研究，得出Au、As、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Mo、W、Te 和 Hg 等元素在本区域对金矿体均有一定的指示作用。

3．考虑分析条件和经济效益。根据元素的地球化学性质，构成含Au(Ag）的矿物，除自然元素（如自然金、银金矿）外，则主要为硫化物（黄铁矿FeS_2、黄铜矿 $CuFeS_2$ 和磁黄铁矿$Fe_{1-x}S$等）、硒化物（硒铅矿 PbSe）、碲化物（碲汞矿 HgTe、碲金矿 $AuTe_2$ 等）、砷及砷的化合物：毒砂 Fe(AsS)、砷黝铜矿 Cu_{10}(CuFe)As_4S_{13}、雄黄As_2S_3等，还有锑化物和铋化物等，胶东金矿属富硫型，其它五种元素的矿物不出现或很少出现。我研究室用两米光栅光谱仪加罩电极法对Se、Te、Sb、Bi、Hg等元素测试，其灵敏度、报出率和重现性均较低，不能满足近似定量要

求。区域地球化学测量的成本与测试项目的多少有直接关系，在确保发现矿体和充分表征矿体异常特征的前提下，应尽量减少指示元素。考虑到上述原因，最后确定异常场指示元素为Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn、Mo、Co 等。

4．元素的指示意义。指示元素应具有图面上的直观意义和赋金矿物或伴生矿物中的含量意义，同时在金的成矿作用过程中与金成矿热液的迁移、沉淀有着成因联系。表4—1，和图4—1表征了测区内已知矿区和矿点微量元素的某些含量和直观特征，从中可以了解它们的指示作用。

表 4—1　邓格庄金矿Ⅱ号矿脉矿体及近矿围岩元素含量表

岩、矿石名称	样品数	①Au	Ag	Mn	As	Cu	Pb	Zn	Sn	Mo	Co	Ni
断层泥	4	200	1.36	175	152	470	65	27	4.75	11	13	5
黄铁绢英岩	3	71	0.25	567	83	208	18	14	0.54	6	10	3
石英-黄铁矿矿石	5	1367	1.54	890	543	706	255	31	0.30	13	38	2.5
矿体中黄铁绢英岩透镜体	2	800	1.33	850	511	521	43	28	0.98	4.4	42	2.6
黄铁绢英化碎裂岩	6	52	0.19	630	44	73	17	26	0.53	2.4	6	0.8
黄铁绢英岩化花岗碎裂岩	3	55	0.17	596	20	84	13	24	0.59	2.5	6	2
红化绢英岩化碎裂状花岗岩	4	27	0.17	491	32	51	11	23	0.63	0.4	1.8	0.7

① Au单位为10^{-9}，其他元素为10^{-6}。

Au是主要成矿元素。在本区两期四个阶段的热液活动形成的石英脉中均有矿化显示，尤以第二阶段石英黄铁矿化和第三阶段的石英多金属硫化物中（黄铜矿、方铅矿和少量闪锌矿）含Au最高，它以自然元素状态被包裹在黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂、雄黄等硫化物矿物中，是主要指示元素。

Ag是成矿元素之一。在两个主成矿阶段均有独立矿物，如银金矿、砷黝银矿，是与金同一成矿作用的产物。从表4—1和图4—1中可以看出，Ag与Au在矿体、近矿蚀变岩中有共消长关系，能够较好地指示金矿体存在。

As是金的矿化剂。在已知矿区发现的独立矿物有少量毒砂

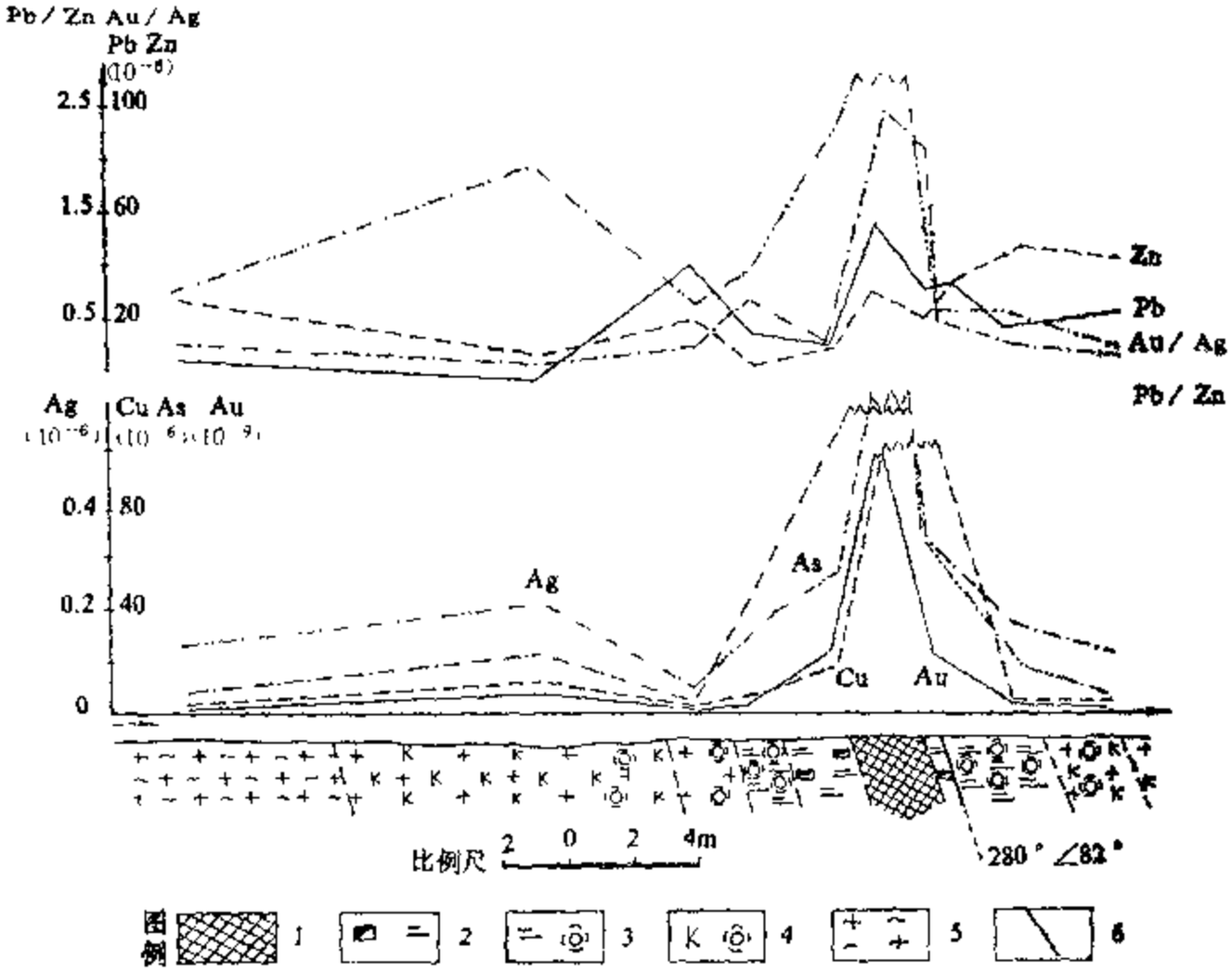


图 4—1　邓格庄金矿Ⅱ号脉第二中段地质地球化学剖面图

1—石英黄铁矿脉；2—黄铁绢英岩化；3—绢英岩化；4—硅化与红化；5—混合花岗岩；6—断层

和雄黄，更多是赋存于金的主要载体矿物黄铁矿中，因此与金有着成因上的密切联系。表4—1和图4—1同样反映出As对 Au 矿体有较好的指示作用。

Cu、Pb、Zn 是热液演化第三阶段的主要元素，该阶段形成了黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和少量闪锌矿等，是金的载体矿物。从上述图表也可以看出，对金矿体均具有指示作用。但Cu、Pb、Zn矿化范围偏于金矿体上部南西扬起端，因此，对指示金矿体异常的元素组合分带和前缘异常具有重要意义。

其它元素如 Mo、Sb、Bi 和 Co 对金矿化也有指示作用，但 Sb、Bi 在本区矿体中含量较低而且分布分配极不均匀，往往波动性大。

（二）背景值和异常下限

我们将背景场（一般基岩，用于基础地质研究）、异常场(石英脉及蚀变岩石，用于评价矿化异常研究）分别计算背景值和异常下限，并确定了异常分级，表4—2为异常场指示元素的含量特征值。

（三）异常的区域展布特征

地球化学异常是一种用微观指标圈定的地质体，基岩地球化学异常反映区内矿化作用的范围、强度和空间分布；由于矿化作用受地质环境因素控制，因此，区域基岩地球化学异常特征还包含着成矿规律的信息。在研究区域基岩异常展布特征时，重视分析异常与构造、岩体和变质地层的关系，并从成矿地质背景条件上了解异常的区域分布结构和划分异常带。水道测区内以北东走向分布的太古宙胶东群和元古宙荆山群变质地层为界，东部为昆嵛山混合花岗岩体，西部为鹊山混合花岗岩体，在地层两侧与岩体的混合岩化接触带上，由西向东近似等距排列着下夼、冰留旺、唐家沟、金牛山、将军石和曲家口六条 NNE 向被石英脉充填的断裂构造带，Au、Ag、As 等指示元素异常沿着上述断裂呈带状断续展布，构成测区内异常的区域分布基本格局。

1．异常划分

金是主要成矿元素，划分异常时以金异常中心为主，参考其它指示元素。金异常分级如表4—2示。为了便于显示测区内由张性断裂构造段构成一个成矿单元的控矿规律，确定以 Au 中带异常（100×10^{-9}）等值线划分异常带，在带内再以是否出现多处更高的异常中心划分单个异常。据此，测区共划分为16个异常带25个异常（见图 4—2），其中七个异常为已知的矿致异常，它们是五号唐家沟矿异常，八号西直格庄矿异常，九号邓格庄矿异常，十号金牛山矿异常，十四号岔河金矿异常，十九号金青顶金矿异

表 4—2　山东省水道地区基岩(石英脉)元素含量特征表

采样介质 \ 特征值 \ 特征数	元素	背景值 (c_0)		均方差	异常下限 (c_a)		异常分级		
		计算值	确定值	(ss)	计算值	确定值	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
石英脉	Au	2.621	3	2.827	8.275	10	10—99	100—999	>1000
	Ag	0.079	0.12	0.101	0.281	0.3	0.3—0.99	1—1.9	>5
	As	7.903	8	3.200	14.302	15	15—29	30—99	>100
	Cu	10.245	12	8.25	26.29	25	25—49	50—99	>100
	Pb	2.808	4	4.95	12.703	10	10—49	50—299	>250
	Zn	10.826	15	9.875	30.577	30	30—99	>100	
	Co	1.512	2	0.915	3.337	5	5—19	20—79	80
	Mo	1.012	1	1.052	2.908	2	2—9.9	>10	
	Mn	592		442	1477	1500	1500—4999	>5000	
	Te	1.288		0.681	2.649	3	3—9.9	>10	

① 单位：Au为10^{-9}，其它元素为10^{-6}。

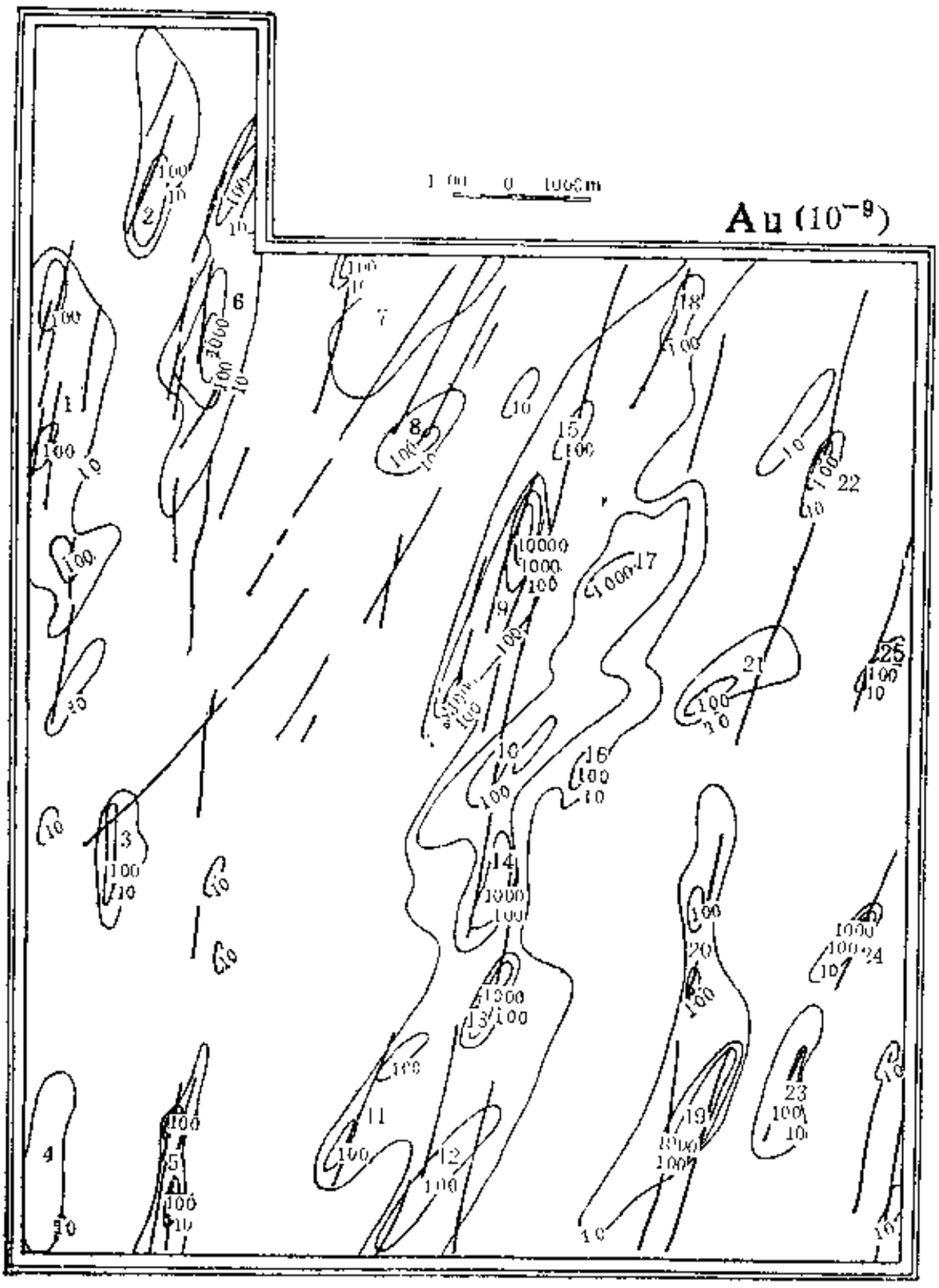


图 4—2　水道测区Au异常图

常和二十号福禄地金矿异常。其余十八处异常（个别已有民采点），均属新发现的异常。按单个异常编制异常卡片，计算异常特征值。见表4—3。

表 4—3 区域异常地质

异常号	地质		环
	岩	石英脉	围岩蚀变
1	混合花岗岩、黑云母斜长片麻岩	8条NNE向黄铁矿化石英脉斜列式分布	黄铁矿化、绢英岩化、硅化
2	混合花岗岩	NNE向含黄铁矿石英脉4条斜列式分布	绢英岩化（地表见方铅矿）
3	混合花岗岩、黑云斜长片麻岩	NNE向石英脉发育，有的宽达4m，NW向石英脉也有出现	硅化
5	混合花岗岩、黑云斜长片麻岩	NNE向石英脉发育，NNW向石英脉有出露	硅化、褐铁矿化，地表见方铅矿、闪锌矿
6	黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩	NNE向黄铁矿化石英脉6—9条斜列式排列，十分发育	褐铁矿化 硅化
7	混合岩化片麻岩、黑云斜长片麻岩	NNE向石英脉，脉体较小	褐铁矿化
8	混合花岗岩、黑云斜长片麻岩	地表石英脉不甚发育	绢英岩化
9 15	黑云母斜长花岗岩	金牛山主石英脉通过异常，两侧NNE向次级石英脉体发育	黄铁矿化 绢英岩化

地球化学特征综合表（a）

境特征			异常形态	异常规模
构造现象	矿床（点）	古坑、井		(km^2)
NNE向断裂发育NE、NW向断裂次之	矿点2处		带状或透镜状	8
NNE向断裂发育	矿点1处	古井2处	长扁豆状	3.5
NNE、NW断裂，NF破碎带发育			椭圆状	2
NNE、NNW向两组断裂发育	矿床1处，矿点2处	古坑2处	向南未封闭透镜状	2.5
NNE、NE、NNW三组断裂		古井2处	NNE长条状	5.5
NNE、NE、NNW三组断裂			金内带未封闭透镜状	1.2
主要为NNE向断裂，NE向断裂发育	已知矿床、矿点2处		椭圆状	1.5
金牛山NNE向断裂成组出现	已知矿床		长椭圆状	4.5

异常号	地质环		
	基岩	石英脉	围岩蚀变
10 11	黑云母斜长花岗岩	同上	黄铁矿化、褐铁矿化、绢英岩化
11	混合花岗岩、见少量透辉石化大理岩	含黄铁矿化石英脉断续出露	绢英岩化 硅化
12 13	混合花岗岩	含黄铁矿化石英脉断续出露	硅化
17	中粗粒混合花岗岩	NNE 向石英脉为主，出露有 NW 向石英脉	黄铁矿化 绢英岩化
18	混合花岗岩	NNE 向石英脉发育	黄铁矿化
19 20	中粗粒混合花岗岩	NNE 向含黄铁矿、多金属硫化物发育	黄铁矿化、绢英岩化、硅化
21	混合花岗岩	NE象石英脉发育	黄铁矿化 绢英岩化
23 24	中粗粒混合花岗岩	NNE 向含黄铁矿石英脉发育并斜列展布	绢英岩化 硅化
25	混合花岗岩	NNE向石英脉出露十多米长	绢英岩化 黄铁矿化

续表

境特征			异常形态	异常规模 (km^2)
构造现象	矿床（点）	古坑、井		
同上	已知矿床	古井2处	带状	2
金牛山NNE向主断裂及次级断裂通过异常			长条状	1.5
金牛山断裂东侧，破碎带发育			长条状	1.5
位于金牛山和将军石断裂之间，以NE向断裂为主	矿点1处		透镜状	4
金牛山断裂东侧次级断裂	矿点1处		鞋掌状	0.5
位于将军石断裂带上	已知矿床		长透镜状	5
将军石断裂西侧，NE向断裂发育	矿点2处		透镜状	3.5
位于曲家口断裂上	矿点1处		椭圆状	2.5
NNE向断裂发育			扁豆状	1

表 4—3　区域异常地质

异常号	异常元素组合	异常元素组分分带	异			
			Au			
			峰值	均值	衬度	峰值
1	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	内带：Au Ag 中带：Au As Cu Zn 外带：As Cu Pb Mo	300	60	6	>30
2	Au Ag As Pb Cu Zn	内带：Au Cu 外带：Ag As Pb Zn	680	85.4	8.5	>30
3	Au Ag As Cu Pb Zn	内带：Au As 中带：Au As Ag 外带：Ag Cu Pb Zn	1100	320	32	>30
5	Au As Cu Pb Zn Mo Ag	内带：Au Mo Zn 中带：Au Ag Cu As 外带：Ag Pb Cu As	1450	292	29.2	10.5
6	Au As Cu Pb Zn Mo Ag	内带：Au Ag As Cu Pb Zn Mo 中带：Au Ag As Cu Pb Mo 外带：g Cu Pb Mo	9500	917	91.7	>30
7	Au As Pb Zn Ag	内带：Au Zn As 外带：Ag Pb Zn	940	103	10.2	>30
8	Au Ag As	内带：Au Ag 外带：Au As	5200	1745	174.5	1.23
9 15	Au Ag As Cu Mo Pb Zn	内带：Au As 中带：Au Ag Pb 外带：Cu Pb Zn Mo	>10000	2515	251.5	4.2

地球化学特征综合表（b）

背　　参　　数　　（×10⁻⁶，Au为10⁻⁹）

Ag		As			Cu			Pb			Zn			Mo		
均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度
6.5	32	400	69	4.6	810	235	9.4	1200	204	34	700	162	5.4	84	9.1	4.6
7.7	38.5	87.1	30	2	229	53	2	1200	212	35	114	51	1.7			
5.6	27.9	125	38.5	2.6	500	204	8.2	460	124	20.7	225	117	6			
3	15	300	102	6.8	500	208	8.3	305	141	23.5	270	100	3.3	14	7.8	3.9
9.5	47.5	400	69.2	4.6	810	235	9.1	1200	204	34	110	52	1.7	84	9.1	4.6
15.3	76.4	130	71	4.7				510	146	24.4	94	68	2.3			
0.8	3.8	41	30	2												
2.0	9.93	53	28.5	1.5	66	38	1.5	120	30	5	50	31	1	56	13.6	6.8

异常号	异常元素组合	异常元素组分分带	异常			
			Au			
			峰值	均值	衬度	峰值
10 14	Au Ag Pb Zn Mo Cu As	内带：Au As Zn 中带：Au Ag As Cu Pb 外带：Ag Cu Pb，Mo 零星出现	>10000	3488	348.8	>30
11	Au Cu Ag Mo Pb Zn	内带：Au Mo 外带：Ag Cu Pb Zn	1050	473	47.3	1.1
12 13	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	内带：Au As Mo 中带：Au Ag Pb 外带：Ag Pb Cu Zn	1650	789	78.9	>30
17	Au Ag Cu Pb Zn Mo	内带：Au Ag Mo 中带：Au Ag Pb Zn 外带：Au Cu Ag As	1650	450	45	8
18	Au Ag As Cu Pb Mo	内带：Au Cu As Mo 外带：Ag As Pb	500	238	23.8	>30
19 20	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	内带：Au Mo Cu 中带：Au As Mo Zn 外带：As Ag Pb	2800	980	98.1	3.7
21	Au Ag As Cu Pb Zn	内带：Au As 外带：Ag Cu Pb Zn	860	182	18.2	0.85
23 24	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	内带：Au Ag Pb 中带：Ag As Pb Zn Mo 外带：Cu Pb	3300	919	91.9	>30
25	Au Ag Pb As Zn Mo	内带：Au Pb Mo Zn 外带：As Pb	1300	653	65.3	>30

续表

常参数																
Ag		As			Cu			Pb			Zn			Mo		
均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度	峰值	均值	衬度
56	27.8	780	169	11.3	280	87	3.5	540	101	16.5	38	33	1.1	9	5	2.5
0.9	4.6				380	125	5	23	11	1.8	31	31	1	17	6.3	3.2
3.1	15.5	77	42	2.8	380	125	5	400	196	32.7	500	192	6.4	60	9.6	4.8
1.4	6.9				34.7	34.7	1.4	88	28	1.7	160	155	5.2	7	4	2
13.7	68	21	21	1.1	26	25	1	48	17	2.4				9.5	4.8	2.4
2.7	18.3	100	34.5	1.8	53	42	1.7	800	139	23.2	110	51	1.8	24	7.5	3.8
0.57	2.8	29	29	1.6	47	47	1.3	82	21	3.5	58	33	1.1			
4.1	29.5	29	6.	1.1	285	161.5	6.6	46	32	5.3	170	78	2.6	40	16.6	8.3
8.2	41.2	21.5	11	1				140	85	14.1	34	31	1.1	3.7	3.7	1.6

2．异常的空间展布特征

异常空间展布特征指异常整体上的方向性、形态、异常中心及其与区域地质特征之间的相互关系。

（1）由图4—2至图4—6可见，Au、Ag、As 主要指示元素

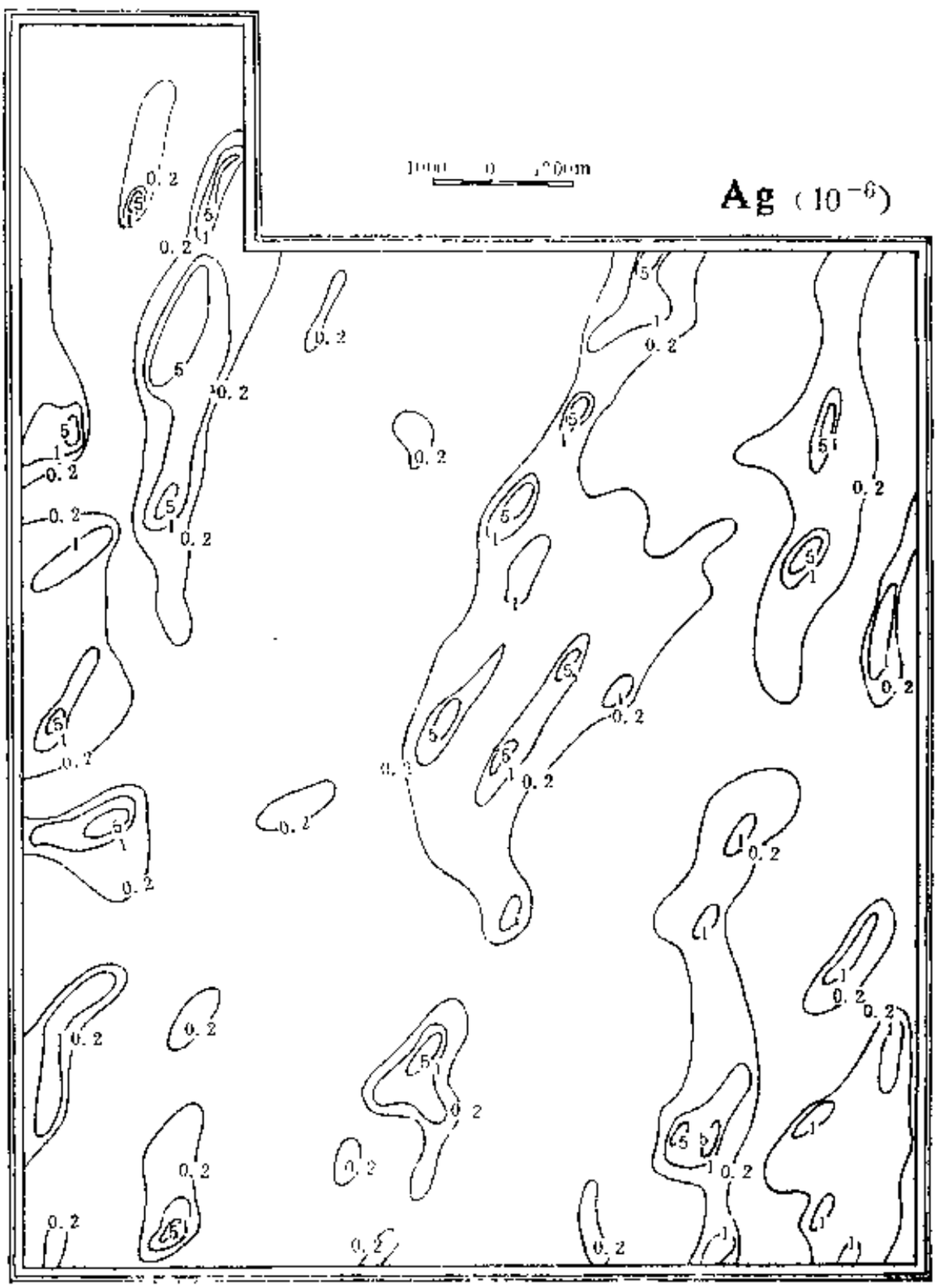


图 4—3　水道测区As异常图

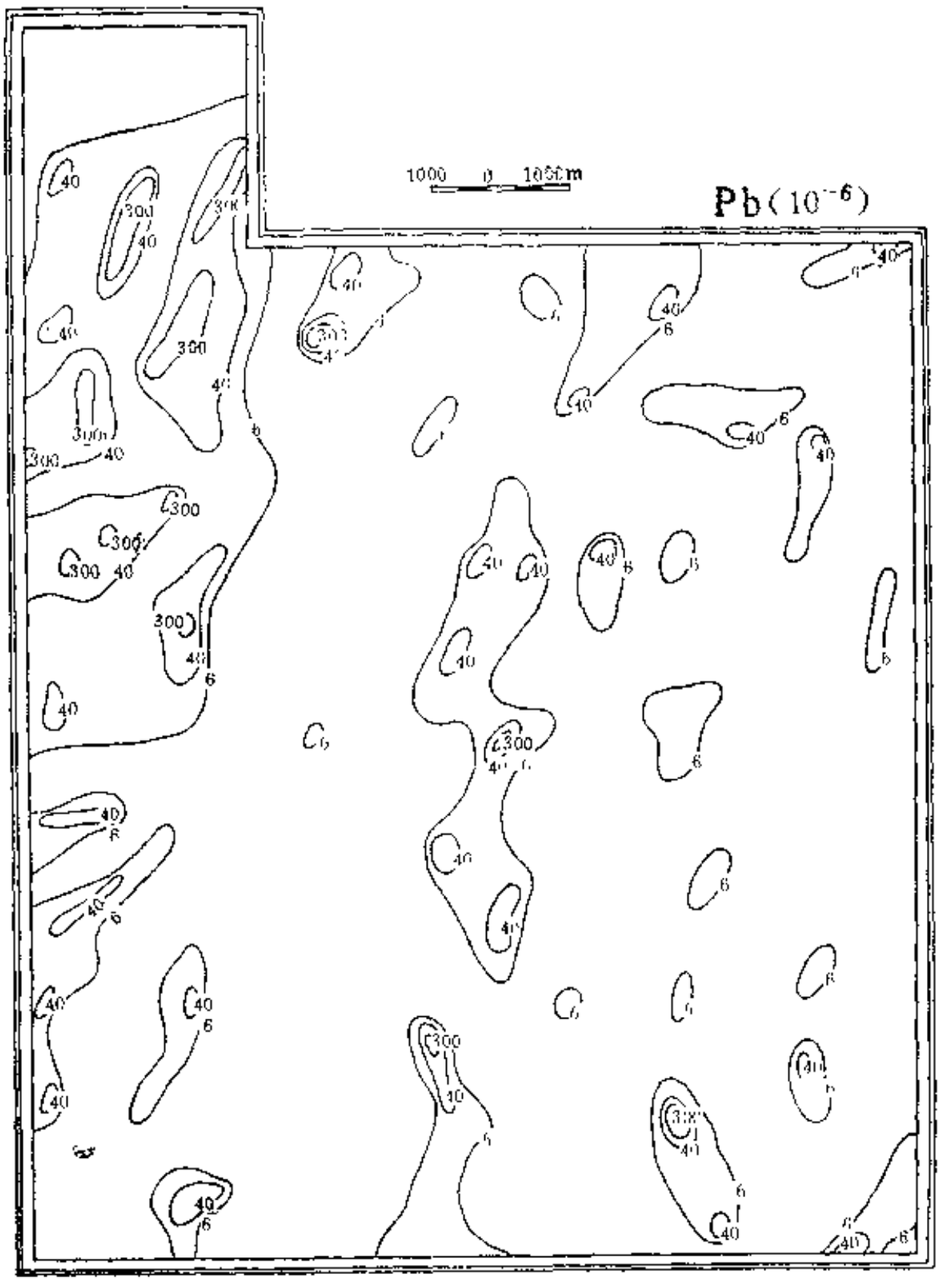


图 4—4　水道测区Pb异常图

的异常严格受 NNE 新华夏断裂构造的控制，沿含矿石英脉呈带状展布。以中带异常为例，其形态多数呈扁豆状或长透镜状，并与成矿单元十分吻合。图4—4和图4—6展示了伴生元素Cu、Pb、Zn异常的分布特征，总体上与Au、Ag、As相似，除一、六号异

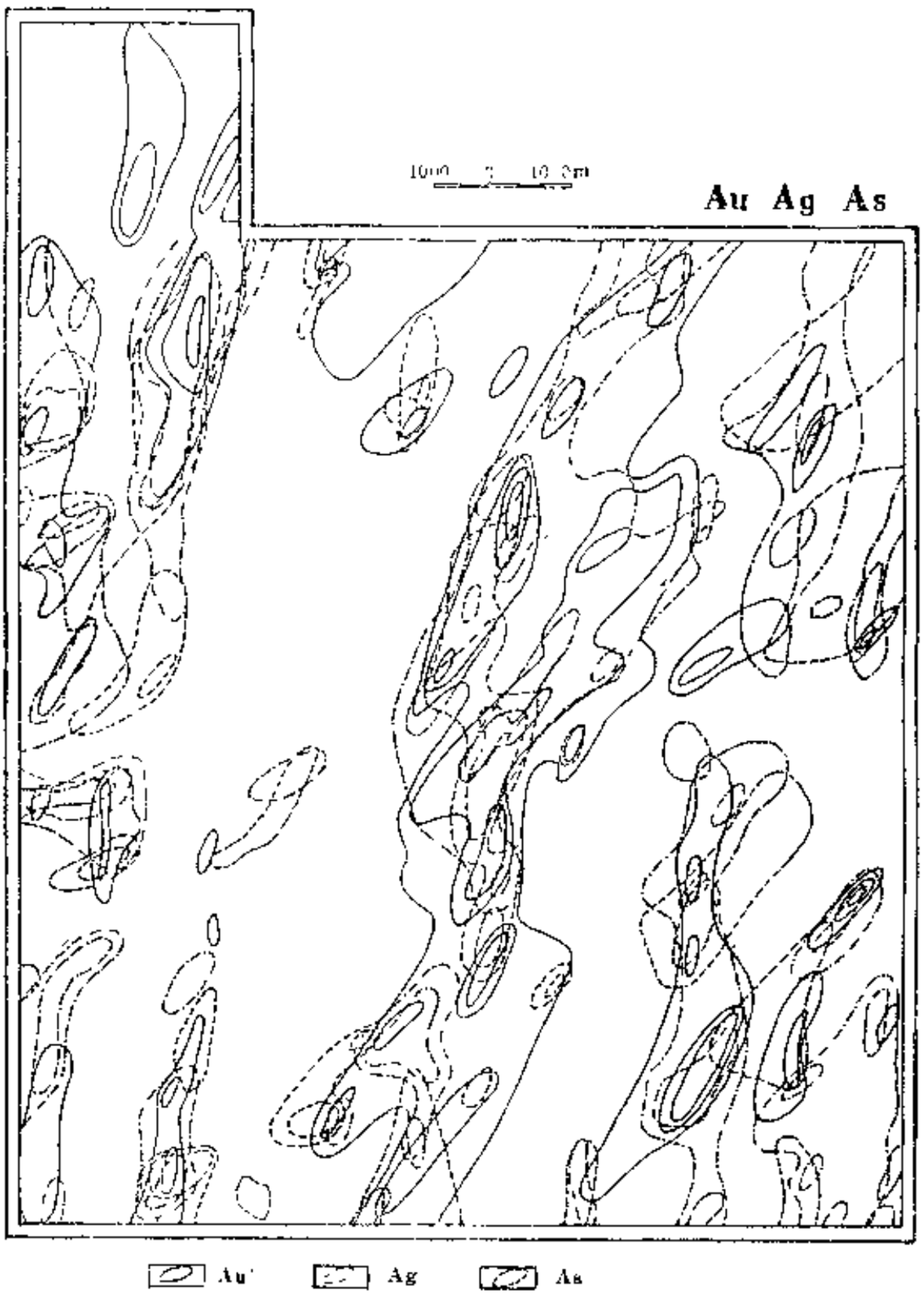


图 4—5　水道测区Au、Ag、As综合异常图

常完整而且规模较大外，其它异常的规模较小，沿断裂断续出现，单点异常增多。

（2）根据异常的连续性和规模，金牛山断裂带是异常分布的中心，依次向两边分布着二至三个异常带，这与构造和矿化中

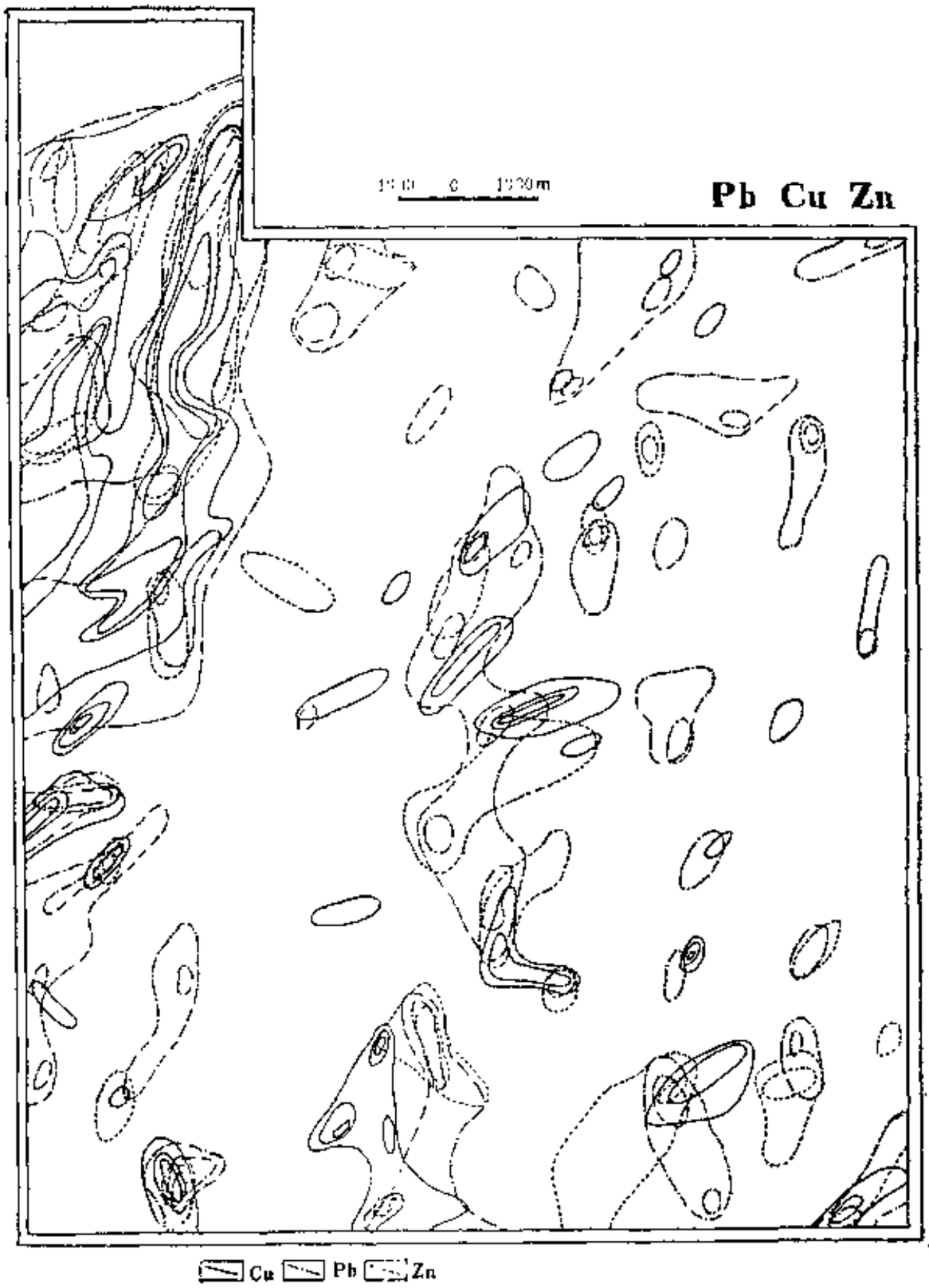


图 4—6　水道测区Pb、Cu、Zn综合异常图

心的分布特征是相吻合的。单个异常所处的构造位置，也与矿体产出特征类似。有如下六种情况，两组断裂交汇处；断裂的下盘；主断裂旁侧次一级断裂；断裂活动由压扭性变为张性的构造

结上；单条断裂的弧形转折端和成矿前或成矿期脉岩（煌斑岩脉）充填部位等。由Au、As、Pb异常可以看出，在异常连续分布的金牛山断裂带上，异常呈右旋或左旋式斜列排布。

（3）测区内异常的展布还受地层与混合花岗岩接触过渡带的控制。从图4—2可见，在地层分布的区段内仅有少量异常，多数分布在接触带的混合花岗岩一侧。这里正是混合岩化交代前锋地带，异常有从前锋带向混合花岗岩核心部位逐渐减弱的趋势。

（4）异常展布的另一个特征是元素组合齐全规模较大的异常（包括主要中、大型矿区异常）大体分布在NW330°构造带上。由南东向北西依次排列着23号、24号、13号、14号、10号、9号、8号、6号、2号和1号等已知矿和新发现的异常，该带向NW延伸还有图幅以外北西方向的下雨村等矿。与该带相邻的南部并列展布着三甲、铜锡山、唐家沟、午极等矿点。

三、异常特征参数的描述与综合分析

对每个指示元素异常进行特征参数的描述，为异常评价提供具体素材。规定Au异常长轴为异常纵向，垂直长轴方向为异常横向，其它元素以此为准。

1、单元素异常特征及浓度分带

Au异常：外带异常呈不规则带状分布，包含一条至数条断裂，连续展布；中内带异常呈透镜状或扁豆状，在同一条断裂上断续分布，从已知矿区看，与矿化单元密切吻合，异常中心集中突出，较好的反映了已知矿的范围；单点和低值异常较少，仅占异常总数的1/5；异常的纵向和横向浓度分带清晰，且单个异常等值线有南西端密集向NNE变疏的趋势，可能反映了矿化体的侧伏特征。

Ag异常：与金异常基本吻合，发育有外中内带，外带异常连续分布，包含一条至数条断裂，中内带异常断续展布在单条断裂上，异常中心分布在金异常中心的两端或两侧，在已知矿体上

与矿体相对应，单点和低值异常约占总异常数的1/5。异常的纵向和横向浓度分带清晰。

As异常：与Au、Ag异常相比，As异常数和规模大大减小，单点和低值异常增多，占总异常数的1/2，其位置主要分布在Au、Ag异常的中内带上，更好地反映了已知矿的矿化中心。浓度分带在高值异常上表现清晰。

Pb异常：与As异常基本相似，异常中心更趋集中，浓度分带仅在个别异常上表现良好，测区西部下斋和冰留旺断裂带Pb异常较发育。

Cu异常：在唐家沟、金牛山、将军石和曲家口断裂上零星分布，异常中心主要集中在已知矿上，而且异常变为NE方向。但在西部下斋冰留旺断裂带尤为发育，与断裂吻合较好，异常中心突出，浓度分带清晰。

Zn和Mo异常：在测区内分布零星，规模变小，形态呈不规则椭圆状，异常与断裂带吻合程度较差，方向性变化较大，但在已知矿体上均有显示。单点和低值异常占3/5，浓度分带不清晰。

2．异常元素组合及组分分带特征

图4—5和图4—6综合了Au、Ag、As和Cu、Pb、Zn元素的异常，两者叠加可以看出单个异常的元素组合和组分分带的特征。下面以邓格庄金矿为例进行解析：

邓格庄金矿产在金牛山主断裂中部下盘西侧次级断裂上，由四条次级断裂组成，石英脉地表出露零星分布，硅化绢英岩化蚀变较发育，氧化铁帽沿断裂带多处可见。Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn、Mo七个元素均在矿区构成较为规整的异常，而且相互吻合，异常中心（中内带）准确的指示矿体的产出位置。异常组分总体上呈现出集中趋势，仅在异常纵向上各元素的重心稍有位移，从而显出异常组分的分带特征。元素Au、As完全重合为异常内带；Au、Ag、Pb为异常中带元素；异常外带由Pb、Cu、Zn和Mo元素组成。比较各元素异常重心，以Au为准，中、外带

组分有向SW偏移的现象，尤以 Ag、Cu、Zn 突出。这与区域上金矿体向 NNE 倾伏，SSW 端扬起，多金属硫化物矿化产在矿体上部扬起端的特征相一致。

3．异常特征及参数的描述

为了更好的认识和对比分析异常各方面特征，将本区发现的异常制作成“异常地质、地球化学特征综合表”，记录和描述了编号异常的地质环境特征和异常性质及主要参数等，见表4—3。该表的制作是以样品采集时所观察到的地质特征为根据，与异常的特征参数并列，它可以客观地反映地质控矿因素与异常强度之间的关系，为综合评价提供依据。

四、已知矿原生岩异常分带特征

成晕作用是成矿过程的有机组成部分，热液携带来的成矿物质除主要部分沉淀在矿脉之中形成富集的矿石外，还有一部分成矿物质在围岩中发生扩散和渗滤作用，在矿体两侧形成原生晕。研究原生异常的成分和结构特征，不但能为找矿提供依据，同时还能加深认识成矿条件及其在空间上的变化。

1．原生异常的形态、规模及分带规律

图4—1为邓格庄矿区Ⅱ号矿脉Ⅱ中段穿脉地球化学剖面图。由图可见，矿脉两侧 Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn 等元素都形成高衬度异常。异常呈线形沿矿脉发育，其宽度大体同蚀变围岩宽度一致，其中Au异常宽度最大，以10×10^{-9}值圈定宽度达10m；Au、Ag异常衬度最大，分别达到 4 和 3 。此外，As、Cu、Pb、W均显示较高的异常衬度，为本区灵敏的指示元素（表4—4），其余元素异常强度较低，表明在成矿溶液中只有不高的原始衬度。

由表4—4可见，邓格庄和金青顶两矿矿石中元素组合和富集程度亦明显不同，总体上看邓格庄矿石更富集Au、As、Cu、Co、Ni、W，而金青顶矿石较富集Ag、Pb、Zn。参照表4—4的数据可以证明，这种现象与矿体元素组合的空间分带及矿体的剥

表 4—4　牟一乳金矿带矿石中成矿和伴生元素含量　　单位：10^{-6}

矿　区	样数	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn	Sn	Co	Ni	W	Mo	Mn
邓格庄	11	20	0.87	6022	836	80	77	4.2	14	11	148	20	
金青顶	10	5.3	1.76	527	3.18	254	215	2.1	7.1	3.9	6.28	23.1	993
地壳平均①		0.0036	0.07	1.7	47	16	83	2.5	18	58	1.3	1.1	

① 地壳平均取自维诺格拉多夫，1962

表 4—5　邓格庄Ⅱ号脉金矿原生晕线金属量统计表（10^{-6}·m）

位　置		Au①	Ag	As	Cu	Pb	Zn	Sn	Co	Ni	W	Mo	(Au/Ag)×1000	Pb/Mo
垂向	+30m中段	104	6.9	287	193	349	1544	1.7	3.3	2	9.4	34	15.07	10.3
	0m中段	301	3.8	2275	397	160	155	6	21	4.4	42	56	79.2	2.88
	−90m中段	104	0.9	1158	20	57	40	6.2	4.7	2	106	50	115.6	1.14
纵向	中部ZK 4	7.90	0.77	14	179	34.8	0	0.96	16.6	189.2	6.3	6.0	10.26	5.8
	南部ZK116	2.48	2.80	680	36.8	433	535	9.54	3.2	1.8	2.6	1.9	0.89	227.9

① Au的单位10^{-9}·m。

蚀深度有关，见表4—5。

表4—5是按矿床原生晕垂向和水平纵向方向统计的各元素线金属量的变化。由表可见，垂向上Au、As、Co、Ni、W、Mo属于在矿体靠中下部富集的元素，而Ag、Cu、Pb、Zn在矿体的上部呈线型增高；Au/Ag, Pb/Mo比值的反差更为明显。在水平纵向上Au、Cu、Co、Ni、W、Mo在Ⅱ号矿脉的中部矿化强度最大，而Ag、Pb、Zn、As、Sn在南端矿体有更强的异常。以上从控制间隔相对不大的空间范围内已可以看出金矿原生晕的分带规律，矿体头部晕的稳定元素组合为Ag、Pb、Zn；尾晕的稳定元素组合为Mo、Co、W、Ni。其中Au的矿化重心位于矿体的中部及靠深部部位。用Au/Ag、Pb/Mo比值指标有线性反差更大的变化规律。

2．原生异常的空间分带序列

根据表4—5的数据资料应用格里戈良法计算了邓格庄Ⅱ号矿脉的元素轴向分带序列，由下向上为：

W—Mo—Sn—(Co、Ni)—Au—Cu—Ag—Pb—Zn—As

以同样方法计算金青顶金矿元素轴向分带为：

(Co、W、Mo、Sn、Ni)—Ag—Au—Zn—Cu—Pb—As

两矿区的分带序列大同小异，主要成矿元素的分带规律明显、稳定，且与直观总结的矿石和异常分带特征一致。以上分带序列与根据国内外大量热液矿床资料总结出来的分带结构基本吻合。显示了胶东金矿成矿作用具有典型的热液矿床特征。

第五章　基岩地球化学异常综合评价方法

地球化学测量的最终目的之一是对新发现的未知异常的含矿远景进行评价，筛选出含矿最好的异常做为进一步找矿的靶区。异常评价是指根据测量中所获取到的地质和矿化信息综合得出的异常的各种参数，并参照本区矿化产出规律对异常的含矿性优劣进行分类排序。因此，异常评价结论的可靠性除取决于所获取的成矿信息的完整性外，还与对区域矿化规律的认识有关，如层控矿床的异常元素组合和强度与热液矿床不同，不能用统一的异常评价指标衡量。常规的化探异常评价往往只注意从异常本身的规模和强度进行排序，从而得出“高、大、全”的筛选经验。实践证明，单纯使用高、大、全原则往往会漏掉有价值的弱异常和隐伏矿。应用地质化探综合化的基岩地球化学测量方法有可能在扩大获取地质控矿信息的基础上进行异常综合评价。异常综合评价的思路是：

1．除异常指标外，增加矿化宏观标志和异常地段的成矿地质条件依据，根据这些资料有可能综合应用地质找矿的丰富经验和规律，提高评价结论的可靠性；同时也可以根据地质依据否定一些异常或肯定一些地表异常值不够强的隐伏矿异常；

2．在测区存在多种不同类型的矿化的情况，可以根据其产出的不同地质环境特征加以区别，并使用不同的异常指标进行评价；

3．根据异常地段的地质环境条件有可能及时地排除一些与矿化无关的岩性异常，人为因素造成的假异常或明显的分散矿化异常，使评价工作有效地集中在有意义的异常上；

4．综合评价也包含充分利用测区已有的遥感、地球物理、

重砂等勘查资料，提高评价的综合性，也就是提高了可靠性。应指出的是，物、化、遥综合评价的基础和预测的可靠性仍在于地质成矿规律的认识深度和地质解释的合理程度。因此，地质化探结合是综合评价的基础。

本章重点介绍我们总结的综合异常评价步骤和方法，并以胶东水道测区为例说明其评价效果。

一、异常综合评价的步骤和方法

目前勘查地球化学中常用的异常评价方法大体分为两类，即指标对比评价法和模型评价法。

（一）指标对比评价

这种异常评价方式即运用定性标志也使用定量指标，以对比描述评价为主。它较多地体现了地球化学工作者对自然客体的主观认识和经验，不需统一的评价标准。通常要进行如下方面的评价工作。

（1）根据已经建立的异常评价标志与指标，应对未知异常进行全面系统的评价。它包括区域地质成矿规律。各种控矿因素以及成矿热液活动保留在地表的岩石、矿物特征标志、成矿事件表征出的物理特性、地球化学异常本身的规模和强度、元素组合、分带特征及其与其它特征的吻合程度等；

（2）与区域内已知矿区异常进行定量指标的对比评价。根据在已知矿床建立的分带模式，特别是异常垂直分带结构对待评价异常进行剥蚀深度的预测，根据构造控矿规律和异常发育特征对异常深部含矿性进行推测或对异常剥蚀深度进行定量计算。

（3）经过初步筛选，对有远景的异常地段进行野外检查评价；

（4）综合上述评价结果，按Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级对异常进行分类排队，并对Ⅰ类异常提出详查意见。

指标对比评价方法是目前在化探工作中广泛被使用的常规的

异常评价方法。其基本方法思路是由已知推未知，即首先在本矿带内研究已知典型矿床的原生异常结构，建立分带模式，总结出区分矿和非矿，以及不同类矿床的定量指标，对比未知异常进行评价。近年来普遍重视增加地质控矿条件的对比，因此提高了综合评价程度，在一个矿带范围内取得了良好的找矿效果。对矿化标志明显、异常发育分带清晰的异常地段可以达到快速评价的效果。

（二）地质地球化学模型评价

地质地球化学模型评价是将成矿的地质环境和控矿因素转化成地质变量，与地球化学变量共同建立地质地球化学数学模型，应用计算机进行异常评价。该种方式是在建立区域成矿模型、矿床地质模型和矿区地球化学模型基础上，综合建立地质地球化学数学模型对未知异常进行评价。它强化了地质成矿规律和控矿因素在异常评价中的作用，而且在同一个区域内一旦模型建立之后，相对减少了不同评价者由于认识水平差异而出现的失误。由于应用模型评价把地质控矿条件的发育程度进行了定量赋值，有可能把地质变量与异常变量以一定的数学关系综合起来，形成统一的在异常之间可以相互比较的定量的评价指标。因此，应用数学模型进行异常评价有可能对未知异常按其含矿性进行高低顺序排序，使异常评价向定量化方向迈进了一步。我们在水道实验测区研究中配合区域基岩地球化学测量方法，制定了包含地质变量的数学模型异常评价方法，称为G·A系统。

1．异常评价的数学模型——G·A系统

根据测区内典型矿区成矿机制的研究，可以确认成矿过程为在有利的成矿环境和控矿因素下经过含矿溶液的活动，使成矿物质运移沉淀富集的结果。简要概括为：控矿地质作用和热液活动产物的双重踪迹。它们是可以通过野外地质观察和地球化学样品测定获取的成矿信息，也是准确评价是否成矿及矿化规模的主要依据。为了达到上述目的，就必须合理的综合考虑地质和地球化学两方面的评价依据，建立科学的评判指标。由此考虑，我们力

图将丰富而宝贵的地质经验信息和地球化学信息统一起来，作为一个有机的体系（数学模型），对异常作出合理的评价。因而提出了异常评价的数学模型——G·A系统。该系统应用三个变量描述矿化体的特征：

（1）异常的含矿性（M）。通过异常地段控矿地质条件的有利程度，以及观察到的矿化异常迹象的综合分析，对异常的含矿可能性作出统一的数学估计。

（2）矿体侧伏陡度（D）。根据异常组分分带特征，估计矿体沿走向侧伏角度的大小，作为评价弱异常的一个评价指标，以矫正因矿体陡倾造成的异常弱化。

（3）矿体剥蚀深度（E）。判别异常的剥蚀程度，同时也是综合地质环境与异常特征，推断不同元素组合含矿性的指标。

M、D、E三个指标是相互独立的，分别描述了异常的含矿性、矿体延深产状及剥蚀程度，同时三个指标也可以统一起来。评价异常时，M、D、E可以分别独立使用，也可以归纳为一个判别变量Z，得出综合判别式$Z=M\cdot D/E$，以Z值的大小来判断异常的优劣。

2．异常的含矿性（M）

异常的含矿性以变量M表示，M包含有地质变量和化探异常变量，数学表达式为：

$$M=G\times A$$

G为各种有利成矿地质条件的综合指标，A为地球化学异常变量，以与Au相关的指示元素异常平均值和异常的分带性来表征。

变量M是G与A中各变量的综合，就极端情况而言，只有A而无G时，$M=0$，即只有异常而不具成矿地质环境（实际上不可能），不成矿；同样只有G而无A，$M=0$，即只有良好的成矿地质环境而无异常（热液活动），也不成矿。G和A以乘积关系综合，表达了地质条件对异常的控制作用，以及异常既受控于成矿地质因素，又能反映地质环境的有利程度的紧密制约性。$G\cdot A$

两个变量中的任一个为零或值很小，都能否定异常。因异常的含矿性评价是地球化学找矿中的最首要的问题，所以叫作$G \cdot A$系统。

根据测区内已知矿床的有利成矿环境和控矿因素，选择了以下六个地质变量：

S：有利成矿的构造带，即沿NW330°方向展布的斜列式张性构造带；

C：混合花岗岩化交代前锋带；

T：控矿储矿断裂构造，指NNE向新华夏系断裂构造的存在；

Q：石英脉及其矿化发育特征；

R：围岩蚀变发育程度；

W：石英脉的宽度与期次。

可见，G所包含的地质因素既是相互独立的也是相互关联的，它们是成矿的必然条件，但并非是充分条件。可以分为两类，S、C、T为成矿有利环境和控矿条件，它与异常位置愈吻合对成矿愈有利；Q、R、W为矿化迹象显示，愈强烈则成矿希望愈大。如果六个方面同时存在，则表明为成矿的最佳条件。其中，把独立的变量表示为加和形式，相互联系的变量表述为乘积关系。因此，综合地质指标G可表示为：

$$G=Q\cdot(S+C+T+R)\cdot W$$

对于异常变量A，从三个方面考虑，即异常面积（Y）、异常强度（H）和异常的分带性（α）（α与矿体侧伏陡度和矿化期次有关）。

A变量的取值应与G不同，G体现的是成矿地质环境与控矿地质条件等弹性变量，A反映的是矿化强度，在评判式中表达出有无矿的可能性标度。因此，具备了所有有利条件的地段也不一定能成矿，还取决于是否有足够的成矿溶液活动，并沉淀成矿物质。理论上讲，当某一地段具备了有利成矿的地质环境，则只要有成矿溶液活动经过即会成矿。但成矿成晕的规模与强度又取决

于热液活动量的大小及持续时间，这一成矿控制因素可用异常的规模和强度来反映，即：

$$A=a\cdot H\cdot Y$$

其中，a 为分带性，是评价异常的权系数，a 的成矿地质意义是成矿物质分异程度的标度，分异越强烈越有利于成矿。根据已知矿区的异常分带，采用地质变量估值法。

H、Y 为异常强度和规模，可采用实际异常元素含量和面积的测量值，只要所取用的元素一致即可，如都取Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn 等，不需标准化，因此 $H\cdot Y\geqslant 0$。但 $H\cdot Y$ 应求出一个达到工业矿化的最低临界值，选择已知矿区中最小可采工业储量的矿体应具有的异常强度乘以稀释系数求出，假定这个值为150，则评价异常时150为工业矿体和非矿的界限，可见 $H\cdot Y$ 值越大越好。稀释系数从已知矿区的异常和矿体的对应关系中用统计法实际求得。

那么，异常的含矿性指标（M）为：

$$M=G\cdot A=[Q\cdot(S+C+T+R)\cdot W]\cdot(a\cdot H\cdot Y)$$

3．异常陡度（D）

D 是估计矿体向斜深方向侧伏角度的变量——称为侧伏陡度，也是评价弱异常含矿性的一个指标。

对于石英脉-蚀变岩型金矿来说，弱异常有两方面可能：一是异常强度较大，之所以为弱异常是因矿体侧伏产状较陡，反映在地表异常规模小；二是异常强度较小，因为本身含矿性差或矿体被剥蚀掉造成的。这里解决第一种可能，对因矿体陡侧伏造成的弱异常得到合理的评价，不致漏矿。

D 是矿体侧伏角 Φ 的函数，当侧伏角小时，形成分带结构清晰的异常，地表异常相对规模比较大；如果侧伏角 Φ 很大则情况相反。因而，前缘指示元素和尾部指示元素异常中心间距离 X 反映了矿体陡度的大小，所以 D 的大小与 X 有关。

理论上，$X=L\cos\Phi$，加入异常分带系数 T，则：

$$X=TL\cos\Phi$$

T由已知矿异常实测进行统计求得，$T=5.56$，L为X在斜向上的距离，用该异常（成矿单元）的Au异常长度代替，因此可由下式：

$$\cos\Phi = X/(TL)$$

来求矿体侧伏角度Φ。指标$D=1/X$。

4．剥蚀深度（E）

根据已知矿区地表异常的元素组合和垂向分带特征，当矿体剥蚀深时，Au、As、Ag异常吻合且强度大；当矿体剥蚀浅时，Pb、Zn、Cu异常含量较高且规模大，因而可以下式确定E值：

$$E=(K_{Au}\cdot K_{Ag}\cdot K_{As})/(K_{Pb}\cdot K_{Zn}\cdot K_{Cu}),$$

$$K=\bar{c}/c_b$$

从已知矿区异常中统计出E值的实际变化范围，并得出相对的矿体头部、中部和尾部的位置值，用于异常评价。

二、水道测区基岩地球化学异常评价

（一）区域异常评价标志和指标

区域地球化学异常的评价贯穿于整个工作的始终。成矿指示元素的异常反映了元素在区域地质作用过程中集中分散和运移沉淀的踪迹，因此，异常评价不是单纯的地球化学标志和指标的对比，而首先应分析有利于或不利于成矿的地质环境，在有利的成矿地质环境中再进行异常指标的判定。根据本区金矿成因及产出地质特征，异常的含矿性标志归纳为：有利的区域成矿条件；控矿构造多期活动的构造结部位；第二、三成矿阶段的含矿石英脉及其含Au、Ag、As等指示元素显著升高；黄铁矿标型特征；与金的成矿作用有关的围岩蚀变；异常标型指示元素的指标等。

1．异常含矿性及找矿标志

总结前述有关内容，归纳出评价异常和寻找有利成矿地段的地质地球化学标志是：

（1）根据区域成矿规律分析，胶东地区的金矿带多分布在

胶东隆起区郯庐大断裂的次级密集断裂带上，如招远—掖县矿带，蓬莱—栖霞矿带，牟平—乳山矿带和新发现的威海—文登矿带。胶东群和荆山群变质地层以绿岩建造为主，强烈混合岩化作用形成混合花岗岩岩基，燕山期断裂构造发育，成组出现，多次地质事件叠加有利于含金热液的聚集成矿。

（2）在区域成矿带中，金的矿化带主要产出在混合花岗岩的混合岩化交代前锋地段，即混合花岗岩与胶东群和荆山群变质地层的过渡交接部位，如牟平—乳山金矿带就是位于昆嵛山混合花岗岩西部边缘与变质地层渐变过渡接触的混合花岗岩一侧约12 km范围内。

（3）据已知矿床、矿点区域分布特征沿 NW330°方向斜列式展布的张扭性构造带，是控制矿带内矿化集中形成中大型矿床的区域因素之一。

（4）含金石英脉主要产出于 NNE 向新华夏系断裂中，充填此类断裂的含金脉石英成组出现，等距分布，总体走向为NE5°—15°，单条脉体为NE10°—25°，因此在平面上呈右旋或左旋斜列式摆布。金矿体的具体产出位置是主断裂产状急剧变化地段，主断裂下盘的次级断裂中，两组断裂的斜截或者压扭性断裂的张性构造结部位。

（5）含金石英脉的主要地质标志是：石英脉呈暗灰色，内中有细粒黄铁矿化或脉状、网脉状石英多金属硫化物（Cu、Pb、Zn）穿插，并常见早期乳白色脉石英的角砾。在含金石英脉体的同一断裂中，经常伴有时间上早或晚于石英脉的煌斑岩脉与之共生，但并非必然和充分条件。石英脉上下盘或上部尖灭部位其围岩中一般发育有黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化及红化等蚀变作用。

（6）地表残留的氧化铁帽是评价异常和找矿的重要标志之一，本区常见四种类型的铁帽，反映了矿化程度不同的石英脉特征。块状结构的胶状褐铁矿铁帽，是烟灰状黄铁矿矿石氧化的产物，金含量一般较高；蜂窝状铁帽，含有石英角砾，由第二阶段

金矿化的石英黄铁矿矿石氧化而成；网脉状铁帽，常伴有方铅矿原生矿物，是含多金属硫化物或方解石脉的石英黄铁矿矿石氧化的结果，含金量也较高；块状砖红色铁帽，由含黄铁矿的硅化花岗岩风化而成，对追踪找矿意义不大。在评价铁帽时必须与原生脉体的产状联系起来，只有 NNE 向的断裂构造上分布着上述三种铁帽方可作为找矿标志，因本区多处可见的 NNW 向断裂构造中充填的不含金块状硫化铁矿也有类似的氧化铁帽。

（7）脉石英中黄铁矿的标型特征对于评价异常非常重要，不同标型特征的黄铁矿与石英脉的产出期次有直接联系，早期(第一阶段）石英脉中的黄铁矿呈黄色，晶形为立方体，粗大，稀疏浸染状分散在石英中，含金量较低；第二阶段石英脉中的黄铁矿，颜色较深，由暗黄至灰黑均有，颗粒细小，有的甚至为粉末状，含金量较高；第三阶段黄铁矿基本相同于该期第二阶段黄铁矿，但往往呈细脉状产出并伴生有多金属硫化物；该两阶段黄铁矿具有标志金矿化的意义。第四阶段黄铁矿甚微，地表难以发现。

（8）金矿化异常是第二、三阶段黄铁矿化脉体的微观反应，其异常一般沿 NNE 向断裂发育，呈条带状、长透镜状或扁豆状，中、内带异常基本圈定了矿化体的位置。

（9）根据已知矿体的矿物组合特征，不难看出，元素组合是一组能够指示赋金矿物及其伴生矿物的标型元素，它们有 Au、As、Ag、Cu、Pb、Zn 和 Mo。

（10）总结已知矿体地表异常的发育特征，中、大型矿体之上，指示元素组合齐全，组分分带特征清晰，Au、As、Mo 为内带异常，Au、Ag、Cu、Zn 为中带异常，Ag、Pb、Zn 为外带异常，异常结构往往出现以 Au、As 为中心，Ag、Cu、Pb 等向南南西偏移，且 Cu、Pb、Zn 异常规模较大的特征。小型矿化体和矿点，异常组合常不齐全，少 Ag 或 As 元素，组分分带比较紊乱。

2．异常评价指标

所谓异常评价指标是对异常进行定量评价的参数，为进一步

开展大比例尺详查或工程布置提供依据。多年来我国化探工作者为此做了大量工作。

因为建立了计算机G·A定量评价系统，加之已知开采矿区地表较难采集系统样品，异常评价指标仅从区域中择其主要方面作了归纳统计，力求简单可行。

（1）矿化异常指标：

异常：

Au平均值$>500\times10^{-9}$，衬度>60；

Ag平均值$>2\times10^{-6}$，衬度>10；

As平均值$>50\times10^{-6}$，衬度>2。

矿化石英脉：

$Au>0.5\times10^{-6}$，$Ag>1.23\times10^{-6}$，$As>39\times10^{-6}$，

$Au/Ag>0.4$，$Pb/Zn>1$；

矿化石英脉中黄铁矿：

$Au>2\times10^{-6}$，$Ag>20\times10^{-6}$，$As>1000\times10^{-6}$。

（2）矿化类型指标：若判定为矿化异常，那么Cu平均值$>100\times10^{-6}$，Pb平均值$>150\times10^{-6}$，Zn平均值$>60\times10^{-6}$，则矿脉中含有较强的多金属硫化物矿化，同时表明金的富矿可能埋藏较深。

（3）剥蚀深度指标：含矿石英脉体的异常线金属量在垂向剖面中，Ag、Pb、Zn等元素作有规律的变化，可评价矿体的相对剥蚀深度。

矿体上部：

Ag线金属量$>3\times10^{-6}\cdot m$，Pb线金属量$>150\times10^{-6}\cdot m$，Zn线金属量$>145\times10^{-6}\cdot m$，$Au/Ag<70$，$Pb/Mo>2$。矿体中下部上述元素及比值的量级与之相反。

（二）异常指标对比评价结果

测区内新发现异常共18处，根据现场异常检查和重复取样结果，这些异常都被肯定存在。根据矿化地质环境，异常特征参数同已建立的评价地质标志和异常指标对比进行异常含矿性综合评

表 5—1　测区新发现异常的综合评价表（a）

异常号	地　质　环　境	石英脉特征	黄铁矿化 铁　帽	蚀　变	民采点	面　积 (km^2)
2	位于下府断裂带中部，鹊山混合花岗岩的交代前缘带上，是有利的成矿环境。	4条石英脉NNE向斜列式分布	黄铁矿化、方铅矿和铁帽多处可见	绢英岩化 硅化	两　处	3.5
17	位于金牛山断裂带的次级断裂上，与邓格庄金矿对称分布，NNE向石英脉发育，是有利的成矿环境。	NNE向石英脉2—3条，20cm—50cm宽	黄铁矿化发育，有蜂窝状铁帽	绢英岩化 硅化	一　处	4
12 13	位于金牛山断裂的次级断裂中，是有利的成矿部位。	石英脉NNE10°—25°断续出露	浸染状黄铁矿发育，地表见有铁帽	硅化	两　处	1.5
23 24	产于曲家口断裂带上，其地质环境有利于成矿。	石英脉NNE向，地表见多金属矿化	黄铁矿化发育并见货铜矿化	绢英岩化 硅化	两　处	2.5
18	位于金牛山断裂东侧次级断裂中，成矿条件次于以上几个异常。	NNE向石英脉发育中等	黄铁矿化		一　处	0.5
11	位于金牛山断裂次级断裂中，此处大理岩发育，石英脉零星分布，成矿地质环境一般。	NE向石英脉断续分布	弱黄铁矿化	强硅化		1.5
25	位于曲家口断裂带上，前人未作任何工作，虽然石英脉不太发育，但黄铁矿化较强。	NNE向石英脉，地表露头较少。	黄铁矿化	绢英岩化		1
3	位于冰留旺断裂带南端，成矿环境较Ⅰ类异常稍差，但异常元素组合齐全。	NNE向石英脉发育，走向上不连续。	黄铁矿化	硅化	有民采点	2
7	位于唐家沟断裂北端，西侧是冰留旺断裂，属于成矿有利地段	NE向断裂中充填石英脉，规模很小。	地表见褐铁矿化			5.5
22	位于将军石断裂北端，石英脉特别发育，黄铁矿化较弱，成矿条件不利。	NE向石英脉发育连续延伸，宽度>1m	弱黄铁矿化	绢英岩化 硅化		1.5

表 5—1　测区新发现异常的综合评

异常号	元素组合	峰值						均值			
		Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Cu
2	Au Ag As Cu Pb Zn	680	>30	87.4	229	>1000	114.2	85.4	7.7	30	53
17	Au Ag Cu Pb Zn Mo	1650	8		34.7	88	160	450	1.37		34.7
12 13	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	1650	>30	77	380	400	500	789	3.1	42	125
23 24	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	3300	>30	29	285	46	170	919	4.1	16.7	164.5
18	Au As Ag Cu Pb Mo	500	>30	20.5	26	48		237.7	13.7	20.5	26
11	Au Ag Cu Pb Zn Mo	1050	1.1		380	23	31	473.3	0.92		125
25	Au Ag As Pb Zn Mo	1300	>30	21.5		140	34	653	8.2	13.9	
3	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	1100	>30	125	500	460	225	320	5.6	38.5	203.5
7	Au Ag As Pb Zn Mo	940	>30	130		540	94	102.6	15.3	70.8	
22											
备注	此外，剩余有4、16、21号异常，其中4号因为低值异常成矿条件不利，未已知矿区范围，未进行评价和检查；21号异常为NE 45°方向，脉体产在NE45°和检查。把它们都划为Ⅲ类，有待今后再作工作。										

价表(b)(含量单位为10^{-9}，Au为10^{-6})

		衬 度 ($\bar{x}/c_0$)						评 价 意 见	类别
Pb	Zn	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn		
212	51	8.5	38.5	2	2	35	1.7	民采点已见工业矿体，成矿条件有利，是有远景的地段，应开展详查工作	I
28	155	45	6.85		1.4	4.7	5.2	异常部位民采点已见工业矿体，是很有希望的靶区，应进一步开展详查工作	I
196	192	78.9	15.5	2.8	5	32.7	6.4	89年冶金三队已在异常南端钻探出工业矿体，为有找矿远景的地段	I
31.7	77.7	91.9	20.5	1.1	6.6	5.3	2.8	地质找矿环境有利，异常特征较好，为有远景的地段，可进一步详查	I
17		23.8	68	1.4	1	2.8		成矿地质环境不太有利，但异常中Au、Ag含量较高，仍有一定远景	II
11	31	47.3	4.6		5	1.8	1	地表硅化强烈，石英脉不发育，黄铁矿化较弱，有远景希望，但需进一步工作	II
85	34	65.3	41.2	1		14.1	1.1	异常中Au含量较高，地表黄铁矿化较强，石英脉延伸稳定，有一定远景	II
124	117	32	27.9	2.6	8.1	20.7	6	异常强度和组合均好，是两组断裂交汇处，但区域上成矿条件较差需进一步工作	II
146.3	68	10.2	76.4	4.7		24.4	2.3	大面积低缓异常，且不封闭，有一定远景，但需进一步工作	II
								因地表石英脉中矿化弱，未制作异常卡片，从石英脉看深部可能有远景希望	II

进行评价与检查；16号是已知矿体的邻近异常，成矿环境有利，并有民采点，属于断裂中，石英脉比较发育，但黄铁矿化弱，异常各指示元素含量低，也未进行评价

价，并分类排队，结果见表5—1。

（三）异常地段与典型矿区对比评价

为探索快速异常评价方法，对新发现的18处异常全部进行野外现场检查，重复取样。异常检查中重点对异常地段的地质控矿条件、宏观矿化特征，以及民采点坑硐等进行观察研究，多数情况绘制了地质草图或剖面图。依据这些资料和取样分析结果，对异常地段与已知矿区进行较全面的地质地球化学特征的对比，对异常的含矿性进行评价，并尽可能提出下一步详查工作的建议。现以1、6号异常为例说明评价工作方法：

1．地质概况

1、6号异常分布于下齐断裂带和冰留旺断裂带上（见图4—2），两个异常中心相隔2.5km，近似平行排列，为NNE向展布（见图5—1），与牟平—乳山成矿带已知矿异常的展布方向一致。根据野外现场检查，确认异常存在。引起异常的原因是产于NNE向断裂中的含黄铁矿石英脉体。

1、6号异常区位于鹊山混合花岗岩体的东部边缘与太古宙胶东群变质地层的接触过渡部位，区内变质岩和混合花岗岩穿插产出，变质岩主要是太古宙胶东群的黑云斜长片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩，夹有数层斜长角闪岩；混合花岗岩以黑云斜长花岗岩为主，包裹有条带状或肠状混合岩和变质岩的残留体。混合花岗岩与变质地层无明确界线而呈渐变过渡关系。

区内分布有三组断裂构造，NE向和NNE向断裂较发育，多为SE倾，倾角75°左右，NW向断裂仅在个别地段产出，呈张性正断层性质，并切割了上述两组断裂。含黄铁矿石英脉均产在NNE向断裂中，呈NNE向右旋斜列式展布。在石英脉体边部常见有煌斑岩脉与之共生，地表露头中褐铁矿化和蜂窝状铁帽较发育，并见有一处古老采硐。

2．下齐金矿化带的黄铁矿石英脉特征

下齐金矿化带是根据1号异常的范围圈定，南北长5 km，东西宽2km，面积10km²。所处地理位置是牟平县高陵镇南槐树庄一

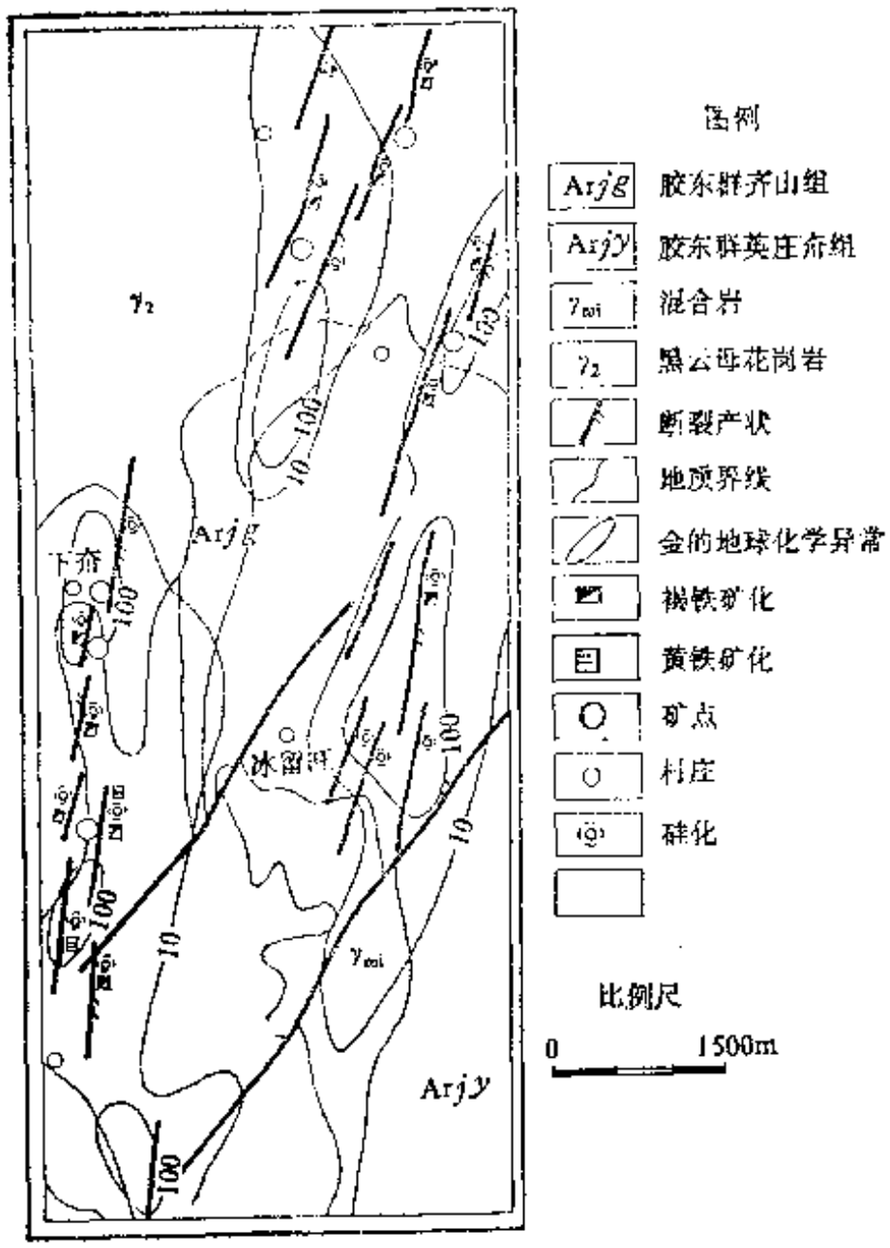


图 5—1　下亦—冰留旺地区地质简图

下亦—岘上一带，其北为 2 号异常，以东为 6 号异常区。通过异常检查，发现了八条NNE向展布的黄铁矿化石英脉(见图 5—1)。其中以Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅶ和Ⅷ号石英脉的出露连续性、宽度以及含黄铁矿化等成矿条件和标志较佳。

Ⅱ号脉：位于岘上东南，地表出露分为两段，全长 600m，宽度约1m，近南北走向，东倾，倾角70°，与Ⅴ号脉可能是同一条脉，被NE向断裂切割错动。地表铁帽发育，可见新鲜细粒浸染状黄铁矿化，捡块样 Au 含量为0.3 g/t—1.47 g/t。

Ⅴ号脉：位于岘上东北，由三个脉体呈线状相连而成，均为单脉。由南向北脉体地表出露长度分别为400m、200m、200m，走向近南北，脉宽约1.0m，其中间部位产状为90°∠70°，从地表脉体中和蜂窝状氧化铁帽可见，黄铁矿化十分发育，推断金矿化向深部有成矿的可能。

Ⅳ号脉：位于岘上东部，由三段脉体呈线状展布相连而成，地表出露总长约300m，脉宽1m—0.5m，走向NE 10°。脉体两端为复脉，相距5m由2—4条脉平行排列组成，中部为单脉。南端脉体产状为280°∠80°，北端脉体产状为100°∠65°，该脉富含黄铁矿，多已褐铁矿化，形成蜂窝状和胶状两种铁帽，铁帽中偶见次生孔雀石，表明有黄铜矿等多金属硫化物存在。地表脉体中捡块样金的含量为0.75 g/t—2.1 g/t，是矿化带内最有远景的脉体之一。

Ⅶ号脉：位于下乔东南，地表出露长度约700m，而且连续出现，由三条紧密排列的黄铁矿化石英脉组成复脉，共同的走向为NNE 10°，主脉宽2.5m—1m，产状为100°∠80°，侧脉宽约1 m，连续性较差。地表黄铁矿化普遍较强，沿脉氧化铁帽断续出现。脉体南北两端均有民采矿点，其北端民采点在地表50m以下见到了厚度近于1m的富金矿体，Au品位很高。可见，该脉是矿化带最有远景的脉体之一。

Ⅷ号脉：位于下乔北至槐树庄东南，地表连续出露总长为750m，走向NE15°非常稳定，脉体中部产状285°∠70°，脉宽＜1m，向NNE方向侧伏，脉南端为扬起端，逐渐尖灭。地表脉中黄铁矿化较弱，金的含量均在1 g/t以下，推测金矿体埋藏较深。

3．下乔金矿化带的综合评价

（1）矿化带成矿地质环境与控矿因素的分析。根据前述的下乔金矿化带所处的区域构造位置、成矿地质环境及控矿因素的显示，可以推测和预测该矿化带成矿远景。

Ⅰ．矿化带分布在鹊山混合花岗岩体与胶东群变质地层的交代接触带且靠近混合花岗岩一侧，符合混合岩化交代前锋地带有

利于金成矿的区域成矿规律。

Ⅱ．矿化带南东150°方向穿过胶东群变质地层即是牟平—乳山金成矿带上的已知中大型矿床：直格庄金矿、邓格庄金矿、金牛山金矿和金青顶金矿；其NW330°方向向西有下雨村矿点（已经乡镇开采），在它东北约两公里处有2号异常（下潘家），同产在一个矿化断裂带上；它以东2.5 km是冰留旺金矿化远景区（6号异常），三个异常区均分布在NW330°张性构造斜列式排列带与NNE新华夏断裂构造的交汇部位，从已知矿床的分布看，是区域上有利成矿的地段。

Ⅲ．黄铁矿化石英脉均产出在NNE向的新华夏断裂构造中，在平面上有右旋或左旋斜列式排布的特征，脉体的北端侧伏，南端扬起，呈透镜状或扁豆状线性连结，表明矿化体是产出在有利

表 5—2　含矿评价指标对比　　单位(10^{-5})

已知矿区与异常		石英脉评价指标					
		Au	Ag	As	Au/Ag	Pb/Zn	AuAgAs
已知矿区总结		>0.5	>1.5	>40	>0.4	>1.5	>25
1号异常	五号脉	0.621	3.35	75.2	0.185	10.9	80.8
	七号脉	0.501	4.46	142	0.112	4.3	317

已知矿区与异常		黄铁矿评价指标				
		Au	Ag	As	As/(Co+Ni)	Cu+Pb+Zn
已知矿区总结		>2	>20	>1000	>10	>1000
1号异常	五号脉					
	七号脉	5.4	200	930	68.3	4000

容矿的断裂构造中的张性构造结部位。

Ⅳ．石英脉体有第二、三成矿阶段的产物，一般呈暗灰色，非常常见到与煌斑岩脉紧密共生，表征含石英脉的断裂发生过多期活动，有利于深循环含矿溶液的活动和聚集。

Ⅴ．石英脉体中的黄铁矿化强烈，而且发育结晶程度不好的细粒或近似粉末状暗色黄铁矿，呈稠密浸染或斑杂块状构造，在脉体扬起端还可见黄铜矿（孔雀石化）和方铅矿等硫化物。从地表氧化铁帽看，多呈蜂窝状或胶状，这些特征都表明石英脉所属的矿化阶段是区域上的两个主要成矿阶段，同时也是最直接的找

表 5—3　1、6号异常与已知矿区异常特征

异常号及矿区	异常点数	规模	元素组合	组分分带	异常			
					Au	Ag	As	Cu
19 金青顶	7	5 km^2	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	Au Mo Cu 内带 Au As Mo Zn中带 As Ag Pb 外带	2800	2.7	100	53
9 邓格庄	10	3.6 km^2	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	Au As 内带 Au Ag Pb 中带 Cu Pb Zn Mo外带	>10000	4.2	53	66
10、14 金牛山	12	2 km^2	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	Au As Zn 内带 Au Ag As Cu Pb 中带 Ag Cu Pb 外带	>10000	>30	780	280
1 下　斋	15	8 km^2	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	Au Ag 内带 Au As Cu Zn中带 As Cu Pb Mo 外带	300	>30	400	810
6 冰留旺	11	5.5 km^2	Au Ag As Cu Pb Zn Mo	Au As Ag Zn Cu Pb Mo 中内带 Ag Cu Pb Mo 外带	9500	>30	400	810

矿评价标志。

Ⅵ．石英脉体边部的围岩中广泛发育着较强的绢英岩化、硅化等蚀变岩石，与邓格庄金矿和金青顶金矿对比是属于矿体上部的蚀变岩特征。

Ⅶ．矿化带内已有民采点两处，均采到了工业品位的矿石。

（2）地球化学异常特征参数指标的评价。在第四章表4—3中已对1号异常的特征参数作了归纳，不再赘述。这里将主要的评价标志与指标通过表格形式和已知矿床进行对比分析，见表5—3。

由表5—1可见，1、6号未知异常与已知矿区异常特征对

参数对比评价(单位 10^{-6}，Au 为 10^{-9})

峰值		异常均值						衬度 ($\bar{x}/c_0$)					
Pb	Zn	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Cu	Pb	Zn
800	140	981	2.7	34.5	42.3	139.3	160.7	98	18.3	1.8	1.7	23.2	1.8
120	50	2515	1.99	28.5	37.6	29.8	30.6	251.5	9.93	1.5	1.5	5	1.0
540	58	8488	5.6	168.8	86.7	100.5	33.1	848.8	27.8	11.3	3.5	16.7	1.1
1200	700	62.5	6.5	69.2	235.4	204	162.4	6	32.5	4.6	9.4	34	5.4
1200	110	917	9.5	69.2	235.4	204	52	91.7	47.5	4.6	9.4	34	1.7

比，元素组合和组分分带基本相同或相似，显示出矿致异常的特点；其异常规模均大于已知矿区；各指示元素的特征参数如异常峰值、均值和衬度，除下斋矿化带（1号异常）Au偏低以外，其它元素均高于已知矿区；尤其应特别注意的是上部矿体指示元素Cu、Pb、Zn呈现出较高的均值和衬度，表明产在矿体扬起端的多金属硫化物十分发育，暗示金矿体应在向NNE侧伏的深部。

综合上述评价意见，1号异常区是有利的成矿地段，不但异常特征参数相同或优于已知矿区，而且地球化学找矿评价指标（以Ⅴ、Ⅶ号脉体为例）均满足或超过从已知矿区总结的判别数值（见表5—2），其中在石英脉中Ag含量较高，造成Au/Ag比值偏小，反映了矿体剥蚀较浅或上部矿体的特征。

4．冰留旺异常区的评价

冰留旺区位于牟平县高陵镇东南冰留旺村至上潘家以东，南北长6 km，宽2 km，面积约12km²。6号异常中心分布在相对较高的山区，第四系残坡积物和植被覆盖发育，露头较少，以往地质工作薄弱，经野外勘查该处正处在鹊山混合花岗岩体与胶东群变质地层的过渡接触带上，出露岩石主要为胶东群黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩和孤岛状分布的混合花岗岩。断裂构造以NE向为主，充填石英脉的断裂仍是较晚的新华夏系构造，但走向角度稍大，一般为NE 10°—30°，倾向SE，倾角70°—76°，见图5—1。

（1）黄铁矿化石英脉的特征：由图5—1可见，区内共发现黄铁矿化石英脉七条，多数脉为NE 10°—30°走向，倾向南东，仅Ⅵ号脉NW 350°走向。石英脉成组出现，近似等距分布。其中Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ号脉是区内延伸较长，黄铁矿化较好，处在异常中心的主要石英脉，脉的主体部位均为单脉，仅在尖灭端出现分支现象，一般脉宽小于1m，但两边的绢英岩化硅化蚀变岩达2m以上，最宽者可达5m。石英脉除见有浸染状或团块状细粒黄铁矿外，有较多的方铅矿和黄铜矿，黄铁矿化石英脉在地表经氧化形成蜂窝状或胶状铁帽，沿脉体断续分布，脉旁多产出有煌斑

岩脉与之共生。

Ⅱ号石英脉：位于6号异常北部的中心，乌梅沟以东，走向NE25°，由单脉构成，地表出露长度200m，宽度大于30cm，黄铁矿化强烈，地表捡块样品金含量达0.98g/t，是一条很有远景的脉体。

Ⅲ号脉：位于6号异常南部中心的东缘，地表出露长度约450m，厚度40cm，NE23°延伸，所见露头均为氧化铁帽，仅脉体南端有原生脉出露，其中有浸染状黄铁矿矿化。

Ⅳ、Ⅴ号脉：位于冰留旺村以东，并行排列产出在6号异常南部中心位置上，地表连续出露分别长为750m、600m，但宽度都在60cm以下，NE21°延伸，南东倾，倾角67°—86°，脉中黄铁矿化发育，呈稠密浸染状或团块状，其南端可见黄铜矿和方铅矿，风化后的铁帽为蜂窝状或胶块状。脉体中常见有Ⅱ、Ⅲ阶段的含矿石英脉，及其包含的第Ⅰ阶段的石英脉角砾，伴生厚度大于3m的煌斑岩脉，表明断裂构造曾多次活动。地表捡块样品中有4个点大于1g/t，最高者达3.5g/t，是该区最有希望的两条脉。在冰留旺东北山上见有古采坑。

（2）冰留旺矿化远景区的综合评价：关于该区成矿地质环境的分析，与下齐矿化带基本相同，不再一一叙述。其不同点是该区地质位置更靠近变质地层，地形上为相对高山区，可能矿体埋藏更深。

关于6号异常特征参数的对比分析见表5—3。总之，1号异常所在的下齐金矿化带和6号异常所在的冰留旺矿化区，从成矿地质环境和异常特征参数指标对比判定，都是有成矿远景的地段。

（四）G·A系统异常计算机排序

1．地质变量赋值

鉴于地质变量对于异常评价的贡献具有模糊性特征，而且所选取的变量均为有控矿作用的地质条件或有利因素的可观察标志，所以把地质变量取值看作是连续性的，其取值范围规定在0

与1之间，即$G_i \in [0,1]$。以下列语言描述并取对应的值：极好（1.0），很好（0.9），好（0.8），较好（0.7），中上（0.6），中等（0.5），中下（0.4），较差（0.3），差（0.2），很差（0.1），无（0.0），在不同地质变量中依据各自的属性分别进行分级赋值。但应特别指出，某些相互关联的地质变量是不能赋于0值的。

2．应用数学模型对新发现异常的定量评价结果

根据异常的野外检查，经过初步筛选，把那些异常点数少、元素重合性不好的8处异常予以删除。其它包括已知矿床在内的17处异常，应用G·A系统进行了计算，其结果见表5—4。从中可以看出：

（1）据综合判别量Z值和含矿性判别量M值的大小，4个已知矿床的异常排序几乎完全相同，均在前五位之内，表明所选用的地质变量和地球化学异常变量基本代表成矿地质模型和地球化学模型的主要参数，由此建立的数学模型G·A系统对异常的评价是有效的。

（2）在未知异常中，根据目前已经民采、修公路挖掘或深部钻探验证的情况看，17号异常的Z值和M值可作为区分含矿与非矿的临界值。大于该临界值的尚有1、6、12—13和18号异常，11号异常则一小一大，也应是有希望的找矿靶区。在大于临界值的异常中，1号和6号异常排序分别为第5和第7，排在未知异常的前列，是有远景的找矿靶区，这与本章第二节中应用地质地球化学定性标志和定量指标的评价结果完全一致。

（3）D值显示出了异常所反映的矿化体沿走向向斜深倾伏的角度（陡度）。已知邓格庄和金青顶金矿实测的倾伏角度分别是43°和62°，对比表5—4看出，计算值与实测值基本吻合，说明D值的计算是正确的，由此可以定性的推测新发现矿化体的侧伏陡度。

（4）E值的大小相对的反映出了矿化体可能被剥蚀的深浅程度，表5—4所列各异常数据不但与地表观察到的地质特征大体

表 5—4 G·A 系统对异常评价的结果表

异常号		1	17	23、24	12、13	6	10、14	9、15	19、20	5	11	21	18
Z	值	17986	6788①	1647	17157	6990	255015	22788	45543	42107	6060	310	6842
	排序	5	9	11	6	7	1	4	2	3	10	12	8
M	值	40866	8909①	3919	37846	12489	332870	24578	72239	55338	11558	1956	9831
	排序	4	10	12	5	7	1	6	2	3	8	11	9
D	值	0.5	2.0	1.0	2.0	0.6	1.0	2.0	0.8	1.0	1.0	0.67	10
	陡度	大	小	中	小	大	中	小	大	中	中	大	特小
E	值	1.14	2.39	2.38	4.41	1.07	2.38	2.16	1.32	1.31	1.65	19.2	1.51
	剥蚀	浅	中深	中深	较深	浅	中深	中	浅	浅	浅	很深	浅
备 注		民采见矿	民采见矿		钻探见矿		已知矿	已知矿	已知矿	已知矿			修公路见矿

① 6788、8909 可分别作为 *Z* 和 *M* 的矿与非矿临界值。

相吻合，而且也与区域资料分析的测区内东部剥蚀深而西部剥蚀浅的结论相一致，为异常的深部评价提供了依据。

上述对异常的评价结果，应从两方面进行分析，Z和M值是阐明了异常矿化程度的好与差，主要受地表出露矿体规模和好坏的影响，如金牛山金矿露头好，则排序在最前列，金青顶和邓格庄金矿虽然地下规模大，但地表露头较差，则排序在金牛山之后。弥补这一缺陷的是E值，它表征了矿体可能被剥蚀的程度，从表5—4中看出，金牛山金矿虽然Z和M值大，可能已被剥蚀到中深程度，金青顶和邓格庄则剥蚀到中浅程度。那么，对深部矿化的评价就会有较大的差别，同样，下齐、冰留旺的Z和M值为中等，但E值却表明剥蚀较浅，其深部矿化应有较大的远景。

G·A系统经过初步试用，对异常评价的效果基本是好的，但尚存在着某些问题，如各地质变量和异常变量在计算中所作的贡献应如何控制，需要进一步实验，不断予以完善。

结论和几点认识

1．主要结论

（1）本书介绍的用于中大比例尺的基岩地球化学测量方法是地质化探综合化的区域地球化学调查方法，它在配合 1:5 万区调或单独进行区域矿产预测中能够发挥综合信息优势，在解决基础地质问题和找矿两个方面取得预期的效果。

（2）目标追踪采样法是一种网格布样和丛聚采样相结合的取样方法。使用该法有可能区分测区不同的地质事件，包括成矿作用，达到强化异常，增大地质信息和合理放稀网度的目的，突破了常规化探混合母体取样的诸多不利。野外采样效率优于同比例尺常规方法。

（3）包括汇集宏观和微观信息的地质地球化学填图，是基岩地球化学测量配合 1:5 万区调研究基础地质问题的新的探索。扩大使用岩性指示元素研究测区背景场，可以根据微观信息了解地质作用的性质和条件，加深对基础地质问题的认识。在水道测区对老变质地层的划分、接触关系的判断、花岗岩的成因、区域金成矿的来源和演化等问题的解决都提供了有说服力的证据。测区内区域基础地质问题的深入研究，也有助于地质控矿规律的总结和提高综合异常评价的可靠性。

（4）以建立区域成矿地质地球化学模型和异常评价指标为主要目的的典型矿床研究，是中大比例尺矿产预测的关键课题。其中矿化体中矿石和原生异常三度空间分带结构模式的建立，是区域异常定量评价和预测盲矿的最重要的依据。牟平—乳山矿带石英脉-蚀变岩型金矿的四级控矿要素和矿石、原生异常分带模型以及矿化体侧伏规律是对本区金矿成矿认识的深化，对异常评价和区域预测有重要意义。

（5）勘查地球化学信息提取技术需要不断地开拓和探索，本节提出了在地球化学测量的取样、指示元素开发、样品加工分选、测定和数据处理等各个技术环节上，加强扩大、挖掘、保存和合成信息技术方法研究的思路和技术方案。区域基岩地球化学异常特征不仅反映区域矿化的分布和性质，还包含着地质演化历史信息。

（6）我们研制的 G·A 系统是一种充分考虑地质控矿因素的异常评价计算机模型，使用异常的含矿性M、矿化体侧伏陡度D和剥蚀深度E三个指标描述基岩异常有利于科学定量地预测矿化的规模和条件，它显示了地质化探综合化异常评价的优势，为地质控矿因素定量化和解决化探弱异常评价问题开拓了新的途径。

（7）以 1:5 万比例尺，使用目标追踪采样法的基岩地球化学测量，以相对放稀的采样网度（异常场 3—4 样/km^2）达到强化异常又不漏掉矿化的效果。在水道测区 304 km^2的范围内圈出了 25 处异常，分属于 16 个成矿单元；测区内七处已知矿床均有异常显示，经过后期不同单位探采工作已有四处异常揭露出工业金矿体。

2．几点认识

（1）中大比例尺的矿产预测应当在深入研究区域基本地质特征，查明区带成矿控矿规律的基础上进行。进入 90 年代以后，为了适应找隐伏矿和突破新类型的需要，我国新的一轮矿产普查必须综合应用现代地质成矿理论和勘查技术方法，在认识区域成矿控矿条件的深度和找矿效果方面达到新的水平。

（2）中大比例尺的矿产勘查是多种方法高度综合、技术密集型的系统工程。当前除应加强多种方法的应用以外，应特别强调地质学科内部的综合化，即地质与化探的紧密结合，以及新理论、新技术方法的应用。现代地球化学和勘查地球化学理论和方法在矿产勘查和预测中的应用具有巨大的开发潜力，重视直接的找矿评价标志、宏观和微观信息综合化、元素的迁移富集与地质时空结构紧密结合，并配以对矿化体物理场的定量反演等技术措

施，可能是预测隐伏矿的一种途径。

（3）新的一轮矿产普查应充分利用1:20万水系沉积物化探扫面和1:20万、1:5万地质区调成果，以筛选评价化探异常为核心。为了加速1:20万化探异常的筛选评价进程，放大比例尺的水系沉积物和土壤测量的必要性不大；合理的程序是围绕1:20万化探异常带，在基岩出露比较好或只有浅覆盖发育区，开展1:5万基岩地球化学测量。经过野外现场的快速异常检查，对矿化标志明显的异常可以直接布署工程验证；对产状复杂的异常，地质成矿条件又比较有利时安排更大比例尺的综合方法的详查和深部成矿预测。

（4）当今勘查地球化学在技术上应在新的起点新的水平上迈向新的高度。总体目标应是识别复杂产状的矿化，定量化预测和快速评价。方法的改进方向是：

a．提高采样技术，增加测量的信息量。深入研究目标追踪采样法，明确区分样品的地质代表性，采用多母体抽样技术，以期达到能识别地质事件和矿化类型的目的。使采样环节能尽可能“抓取”到需要的信息，这是一切化探工作成败的关键。

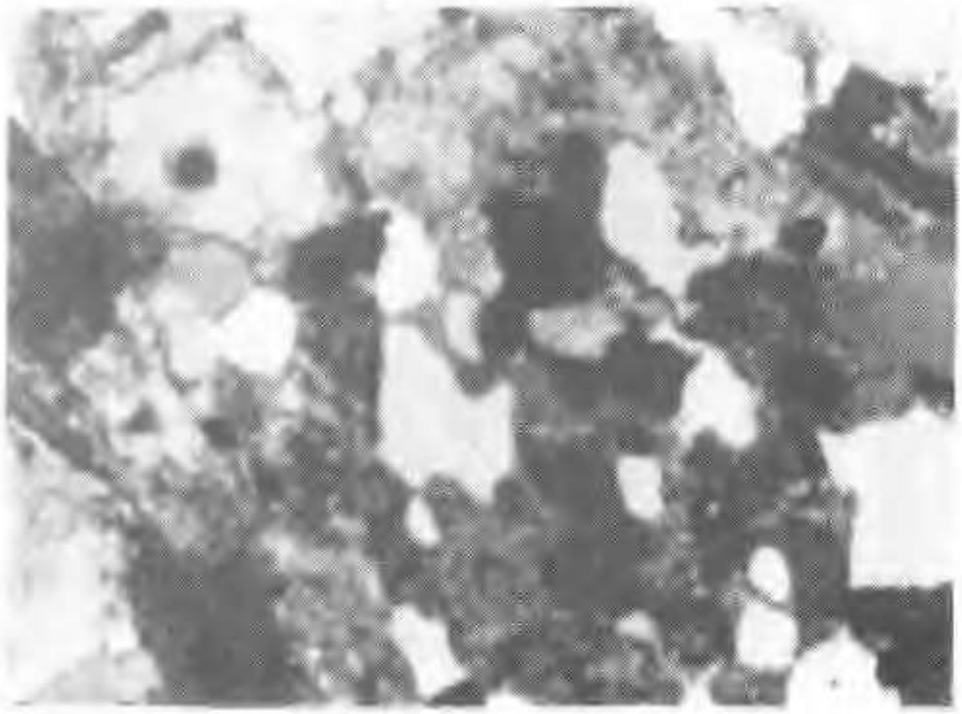
b．开发有效的指示元素，以使样品中包含的信息得到“显影”，即被提取出来。这里包括成矿指示元素，以及指示地质事件和作用环境条件的元素或其它指标，如元素的赋存状态等。同时也应改进分析测试方法的灵敏度和精度。

c．提高化探资料整理和数据处理的质量，首先要加强数据处理方案中的地质思维，要为解决地质或化探找矿课题的需要选择统计处理的方法，同时也应加强对数据处理结果的地质含义的解释和分析，避免不确定性和多解性。

（5）地质矿产勘查预测是在现代地质成矿理论指导下使用综合技术方法的高科技项目。随着现代科学技术的不断发展和找矿难度的加大，地质探矿事业的技术改造势在必行。

主要参考文献

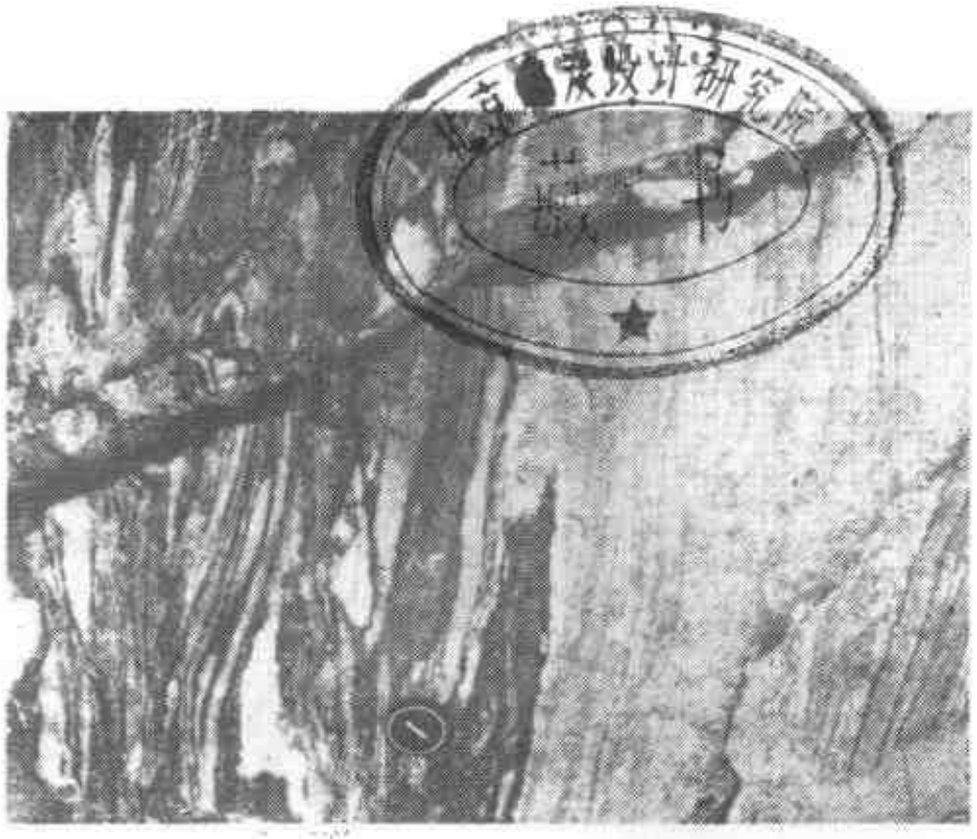
1. 安家桐等,"山东牟平—乳山地区金矿控矿条件研究",《中国金矿主要类型区域成矿条件文集》5.胶东地区,地质出版社,1988.12。
2. 陈毓川,"有计划有步骤地开展中大比例尺成矿预测工作,深化新的一轮固体矿产普查工作",《成矿预测论文集》,地质出版社,1991年。
3. 丁鹏飞,"1:5万比例尺成矿预测综合信息方法",《成矿预测论文集》,地质出版社,1991年。
4. 董申葆、沈其韩,《中国变质地质图编制与研究论文集(Ⅰ、Ⅱ)》,地质出版社,1987。
5. 李惠,《石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式》,科学出版社,1991年。
6. 欧阳宗圻、李惠、刘汉忠,《典型有色金属矿床地球化学异常模式》,科学出版社,1991年。
7. 阮天健、朱有光编,《地球化学找矿》,地质出版社,1985年。
8. 吴承烈,"关于1:5万区调中的勘查地球化学工作",《中国地质》,1984年,第三期。
9. 谢学锦,《区域化探》,地质出版社,1979年。
10. 於崇文、骆庭川等,《南岭地区区域地球化学》,地质出版社,1987年。
11. 於崇文、沈镛立等,《广东一六地区区域地球化学研究》,地质出版社,1987年。
12. 於崇文、唐元骏等,《云南个旧锡、多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系》,中国地质大学出版社,1988年。
13. 张本仁主编,勘查地球物理勘查地球化学文集,第二集,《金属矿床勘查地球化学研究专集》,地质出版社,1988年。
14. 张本仁等,《豫西卢氏—灵宝地区区域地球化学研究》,地质出版社,1986年。
15. 赵伦山,吴悦斌,沈镛立,"华乳金矿带成矿地球化学及胶东金矿的成因",《矿床地质矿床地球化学研究新进展》,兰州大学出版社,1990年。
16. 赵伦山、吴悦斌,沈镛立等,"区域基岩地球化学测量效果",《第四届勘查地球化学学术讨论会论文选编》,中国地质大学出版社,1991年。
17. 赵伦山、张本仁,《地球化学》,地质出版社,1988年。
18. 朱训,"促进我国矿业发展的若干建议",《中国地质》,1992年,第一期。
19. 巴尔苏科夫,В.Л.、格里戈良,С.В.、奥夫钦尼科夫Л.Н.,吴传璧等译,《金属矿床地球化学普查方法》,冶金工业出版社,1988年。
20. 戈维特,G.J.S.主编,《矿产勘查的岩石地球化学》,勘查地球化学手册,第三卷,冶金工业出版社,1988年。
21. 斯梅斯洛夫,A.A.等,阎立本译,《地球化学预测与找矿》,地质出版社,1985年。



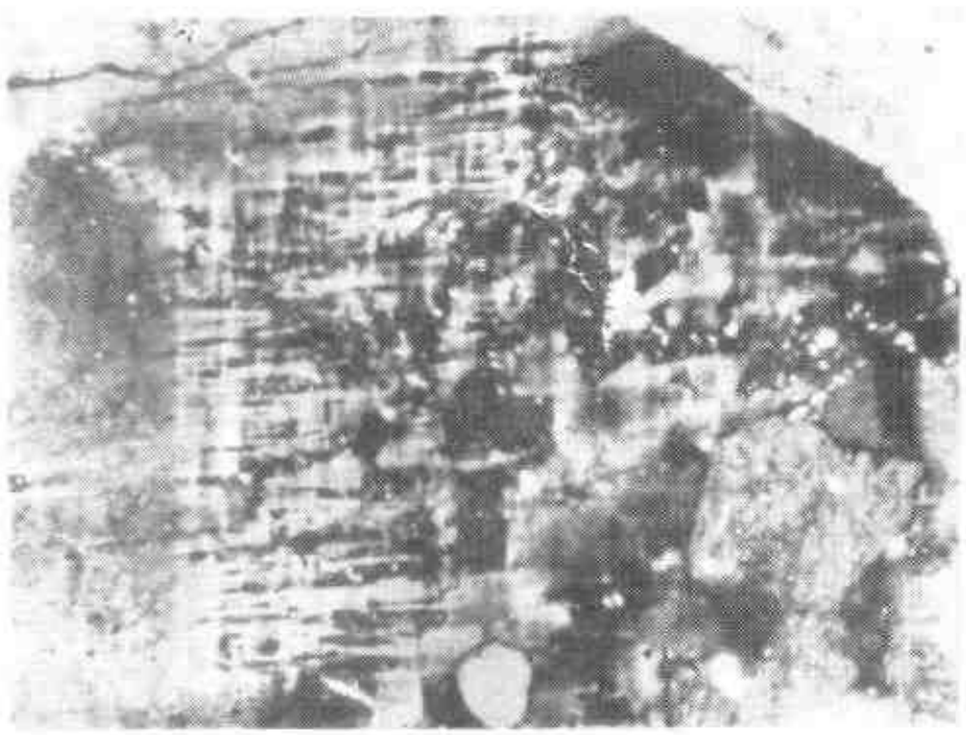
图版 I —1　禄格庄组底部变质砂岩
变余砂状构造（正交偏光×85）



图版 I —2　禄格庄组底部变质砂岩
锆石碎裂至磨圆状，具压裂纹（×250）



图版Ⅱ—1　昆嵛山花岗岩混合岩化交代现象斜长角闪岩原岩被钾长石交代



图版Ⅱ—2　昆嵛山花岗岩交代不完全结构

交代残余斜长石具有同方向聚片双晶和同消光位（正交偏光×100）

[General Information]
书名=基岩地球化学测量方法——以胶东牟平-乳山金矿带水道测区为例
作者=
页数=136
SS号=0
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
正文
封底