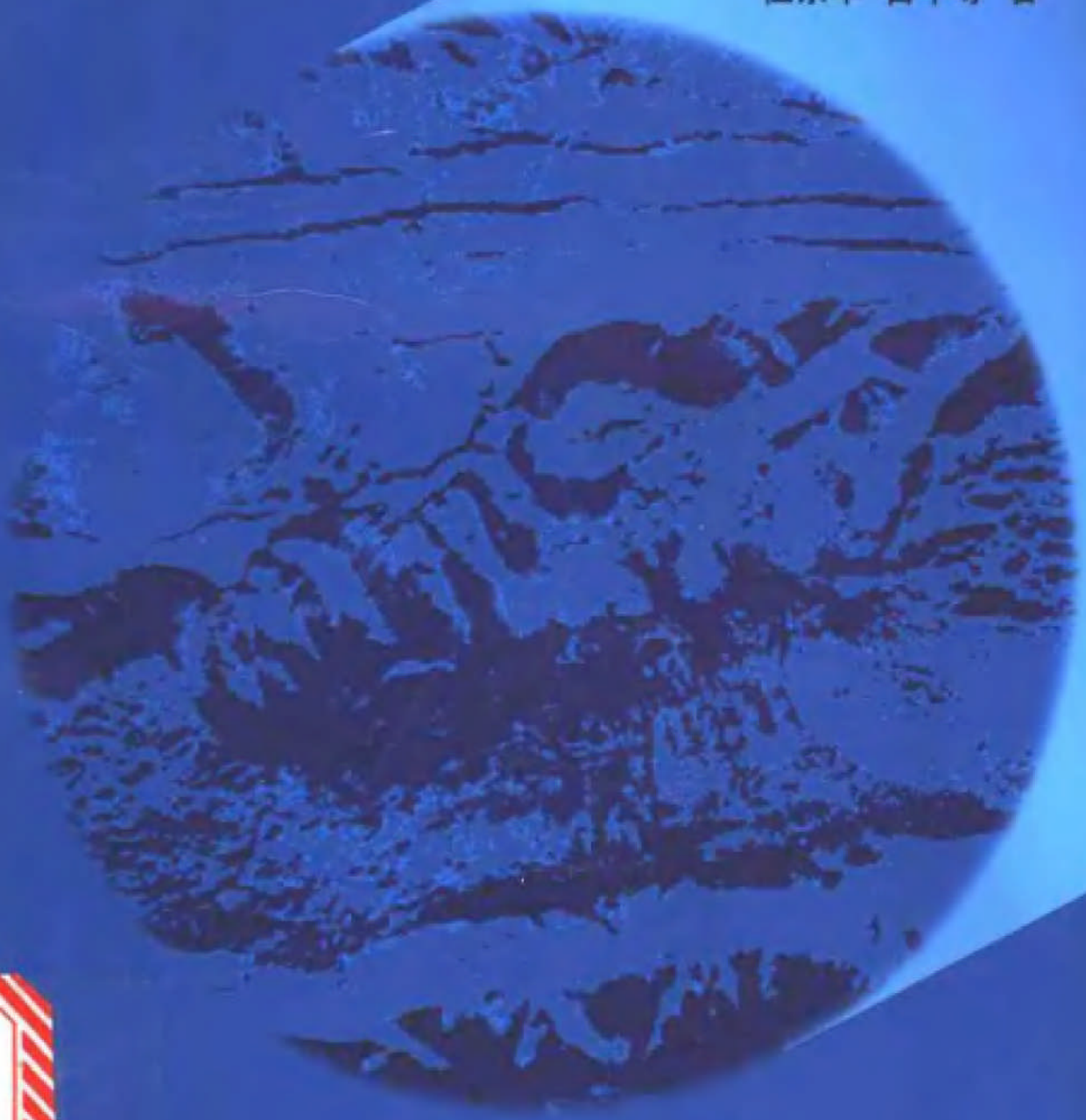
隐伏矿床的地球化学勘查

伍宗华 古平等 著



297

地质出版社

Geochemical Exploration For Hidden Ore Deposits [Bodies]

Wu Zonghua Gu Pingdeng

GEOLOGICAL PUBLISHING HOUSE
BEIJING

ISBN 7-116-03052-2

ISBN 7-116-03052-2

P·2110 定价: 25.00 元

隐伏矿床的地球化学勘查

地质出版社
·北　京·

内 容 提 要

本书是勘查地球化学找隐伏矿方面的专著。它是在较全面地概括了作者和我国勘查地球化学工作者近20年来在找隐伏矿方面所取得的大量实际资料的基础上写成的，全书共分六章：第一章绪论，概述了当前地质找矿的形势和勘查地球化学的任务，并介绍了勘查地球化学找隐伏矿的研究概况；第二章为隐伏矿床的勘查地球化学分类，它为不同隐伏矿床勘查地球化学方法技术的讨论创造了条件；第三章介绍了勘查地球化学找隐伏矿的主要方法和技术；第四章为隐伏矿信息的获取；第五章为隐伏矿信息的追索与评价；第六章为找矿例案，作者试图对各种找隐伏矿方法的理论基础、应用前提和方法技术用实例进一步加以说明，以便加深对上述各章内容的理解。

本书内容新颖、适用性较强，可供矿产勘查单位、大专院校及科研机构广大地质矿业勘查地球化学工作者参考和借鉴。

图书在版编目（CIP）数据

隐伏矿床的地球化学勘查/伍宗华等著. --北京：地质出版社，2000.6
ISBN 7-116-03052-2

Ⅰ.隐… Ⅱ.伍… Ⅲ.隐伏矿床-地球化学勘探 Ⅳ.P632

中国版本图书馆CIP数据核字（2000）第14221号

地质出版社出版发行

（100083 北京海淀区学院路29号）

责任编辑：赵俊磊 王永幸

责任校对：黄苏晔

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：11.625 字数：280000

2000年6月北京第一版·2000年6月北京第一次印刷

印数：1—800册 定价：25.00元

ISBN 7-116-03052-2
P·2110

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行处负责调换）

序

我热烈祝贺本书的出版。本书的作者是国内外知名的勘查地球化学家，有极为丰富的对隐伏矿勘查和研究的经验，尤以气体地球化学勘查见长。近40年内，他们勤勤恳恳、扎实细致地工作，重视野外观测，富于创新精神，始终敬业奋斗；第一作者积劳成疾，仍抱病著书，令我由衷感动。由于工作关系，我有幸先读书稿，受益匪浅。承蒙作者偏爱，约我为本书作序，这本非我这个情报研究人员所能为之事，然盛情难却，姑且借大作一扉，谈一点读后感和本人的一些认识，权作与读者切磋之引。

隐伏矿和难识别矿找矿是国内外矿产勘查界的当代主题。积数十年之经验，我们可以总结出以下四方面的认识：

1. 矿产勘查战略因隐伏矿找矿课题的提出，出现了一些思路有别、先后不一、交叉融合、日臻完善的战略思想，即以初期的直接找矿，到侧重点有所不同的所谓“理论找矿”和“经验找矿”，直至近些年来强调两者融合的找矿战略，我们把它称之为“信息找矿”。查各种找矿战略取得见矿实效的关键，我们清楚地看到，在其中起决定性作用的是矿产赋存的直接信息。隐伏矿找矿的本质性难度，在于设法收集和鉴别真正与矿产赋存有关的直接和间接信息，特别是科学地而不是臆断地、有依据地而不是想像地把间接信息转化成直接信息。

2. 解决隐伏矿和难识别矿找矿问题的最重要基础，是能够在矿床的各种隐蔽条件下获取到真实可信的直接信息和间接信息。因此，发展和优选使用各类野外和室内探测技术，是提高隐伏矿和难识别矿找矿效果的关键。其中，地球化学方法有它独到的优势。数十年来，国内外勘查地球化学家不断探索创新，研制了许多原理新颖的野外和室内探测方法，力求加大探测深度，发挥化探直接检测物质（矿质）聚集和空间分布的特长。本书论述较多的广义气体地球化学测量方法，正是一个方兴未艾，颇具潜力的方向。

3. 隐伏矿找矿的主要障碍，是矿床（矿体）上覆的不同时代、不同成因，以及处于不同构造和景观条件下的屏遮层（覆盖层）。它不仅给各类探测技术的直接观测增加了困难，更重要的是，它给各类观测结果凭添了极为复杂难断的影响，对地球化学方法来说尤其如此。因为对我们来说，元素（物质）在覆盖层中的迁移机制和迁移过程至今仍是一个“黑匣子”，而地表观测结果的正确解释却离不开对这些机制和过程的了解与判断。应该指出的是，“上置晕”正是针对这些情况和这种需要提出的科学概念，它是次生地球化学异常成因分类中的一大类别，指明了下伏成矿客体在覆盖层表部形成地球化学异常的基本特征。可惜的是，对上置晕形成机制、影响因素、分布特征的研究，即使在异常解释中给予了考虑，目前还仍显薄弱。因此，要克服隐伏矿找矿的主要障碍，在相应观测方法的研制和应用中，必须切实地加强应用基础研究；从某种意义上说，要提高化探找隐伏矿的效果，与其说关键在于提出或研制出某些新颖的观测技术，倒不如说关键在于对所使用技术的科学原理和应用条件求得深刻理解，以及对所获信息可靠程度和地质含义进行深入地剖析。

4. 对隐伏矿找矿的发展来说，多学科的综合应用是必由之路。之所以如此，一方面是因为地质、物探、化探和遥感等观测技术和方法各有所长，收集到的信息是相互补充的。另一方面，在隐伏矿找矿中，特别是覆盖区的工作中，对确证成矿客体的赋存位置来说，各类方法收集到的信息，基本上属于间接信息，要达到逐步缩小靶区最终找到矿床的目的，必须加强不同学科信息的复合和印证，使间接信息转化成直接信息，或指导下一步工作能尽快捕捉到直接信息。因此，隐伏矿找矿效果的提高，不仅仅在于能以收集到学科的信息，关键还在于结合测区地质-景观条件对各种信息做认真地综合研究。

本书对隐伏矿找矿的多方面问题作了系统的阐述，作者的研究思路和丰富的实例也生动地说明了以上几方面的认识。现仅就本人的体会谈一些读后感。

本书开篇介绍了隐伏矿找矿和研究的历史，对隐伏矿的赋存类型做了周到的划分，指出现有的勘查技术在哪些类型的隐伏矿上可以发挥作用，对哪些类型的隐伏矿目前还力所不及。作者在书中还多处提到，对隐伏矿探测技术的观测精度和找矿效果，不宜同露头矿找矿时一样要求。这是一种科学的态度，是在对隐伏矿找矿的客观环境和相应技术方法的实有能力做实事求是分析的基础上得出的。作者清醒地指出，覆盖区的隐伏矿找矿方法"成熟度"还差。因此，对隐伏矿化探方法的期望不应脱离实际，对其能力和效用须评价有度，且对"传统"方法和"新颖"方法皆应如此，以防像油气化探那样时起时落，大起大落。同时，如若基本赞成以上几点认识，便需认认真真地在方法原理、应用条件、观测技术、资料综合解释上下死功夫，强调科学态度。本书作者的指导思想和内容组织，基本上体现了这种思路。

用于隐伏矿找矿的化探方法，总的说来有原生晕法、生物（植物）地球化学方法、水地球化学方法、气体地球化学方法、以元素赋存形式为基础的土壤次生晕方法等几大类，作者对它们的发展状况，主要成就和代表性研究者作了系统的介绍。这里想强调三点：第一，矿床原生晕在方法原理、观测手段、规律探索和资料解释等方面，是一种成熟度较高的隐伏矿化探方法。据现代原生晕法创立者之一 C. B. 格里戈良的总结，在原苏联，该方法的找矿成功率在 80%以上。我国原地质矿产部进行了两轮原生晕找矿方法研究和推广工作，在隐伏矿找矿中取得了显著的效果，起到了很大推进作用。应该提到的是，国家冶金工业局系统的一批研究人员，长期坚持这个方向的研究和实践，在理论和方法上有所前进，找矿效果受到工业界青睐，成为研究单位走入市场的重要方法手段。可见，在隐伏矿找矿中继续发挥原生晕化探方法的优势，坚持研究和推广，忌生"喜新厌旧"之情，是我们应该注意的问题。第二，水地球化学法在原理上是一种颇具潜质的隐伏矿找矿方法，但有两个先天难题，一是水中指示元素含量水平极低，二是异常受水文地质、构造等因素制约，很难解释和追索其源体（矿床）的位置。本书作者以其锐敏的观察力和活跃的学术思想，从地电化学法得到启发，创造了水电化学地球化学方法，较好地解决了采样过程中元素的预富集和从区域观点剖析异常的问题，从方法学上对弥补传统水地球化学方法的弱点作出了重要贡献，受到国内外的重视。本书对该方法作了详细的介绍，并有大量应用实例，相信对读者了解和使用该方法有很大帮助。第三，"地气法"是近十多年来发展起来的原理新颖的隐伏矿勘查方法，是对传统气体地球化学方法的重大革新。它不仅给我们提供了一种新的观测技术，更重要的是揭示了一种元素（物质）在覆盖层中迁移的新机制。本书作者是我国最早了解和研究该方法的学者之一，在长期从事气体化探研究与测量的基础上，他们进

行了一系列颇具针对性的室内外实验研究，开发了成套的观测设备和工作方法。气溶胶迁移说反映了他们的研究成果和独到的学术观点，诚然，国内外学者在地气法所观测物质的存在形式和观测方法上各有所见，各具所长，但在捕集被地气流迁移的固相微粒这一点上还是一致的。我相信，从不同的角度去认识和改进观测手段和观测方法，重视物质迁移机制及其影响因素，切实结合景观-地质条件进行多学科资料的综合解释，"地气法"这种具有原理潜质的方法一定会化作隐伏矿勘查者手中的利剑，使掩伏区的勘查工作登上一个新台阶。

总览全书，我深切地感受到作者一系列重要而可贵的指导思想和学术作风。其一，认真地而不是敷衍地追求第一性数据资料的真实性、准确性和系统性。作者对他们主要研制的几种方法，详细地介绍了采样设备、分析方法、室内外操作规程，以及可能造成污染和干扰的因素，并探讨了具体工作条件下对观测结果精密度和准确度的可能要求。作者反复强调，对各类指标含量水平极低的观测方法来说，数据真实性至关重要，明确提出测量数据报废的标准和原则。这种认真的态度对隐伏矿化探的发展来说是极端重要的。其二，本书带有很强的实践性特色，凡作者悉心研究的方法，都列举了大量实测案例，阐明地质条件、工作部署、图表资料，使读者明悉案例的始末和结论依据，可与作者一同做深层次探讨。乍看起来，本书的一些章节不那么"理论"，但实在、扎实、求实；就我这个情报研究员来说，格外感到这种特色的珍贵，这种成果的重要。其三，作者思路开阔，极少门户之见，既强调综合研究，又发挥专业和专长优势，广纳各类知识。例如，在解释某采矿区外围的地球化学异常时，便从"地气法"与土壤地球化学法的不同原理出发，以实际资料为依据，判定了所查明异常的工业污染性质；在一些例子中充分考虑物探、地质和遥感资料的依据，得出可信的结论。我感到，作者主张走多学科综合之路不是在原则上说，而是在实践中切切实实地做着多学科信息的收集和由间接信息转化成直接信息的工作。发展和完善隐伏矿化探的路还长，而本书作者的这些思想和学风，确是我们应予以倡导和学习的。

顺便谈一点想法。矿产勘查，特别是隐伏矿和难识别矿勘查，历史地从个别和局部矿床及异常的研究扩展到了区域，甚至全球，以系统论的思想指导勘查战略，这无疑是勘查思想和战略的一大进步。但是，扩展到区域是手段，真正的目的还是快速地、准确地、低成本地把勘查靶区缩小到具体成矿客体上。处理好区域预测与局部预测的关系，在客观背景下切实加强局部预测，抓到大矿，哪怕是中、小矿，仍是矿产勘查工作的攻坚课题。在这一点上，相信本书会给读者以有益的启迪。

因学识和经历所限，为大作写序实勉为其难，以上认识和读后感，难概本书精华。好在作者很强调学术研讨，愿此冗余之叙不负作者，不误读者，我们共同奋斗，为我国的可持续发展开创隐伏矿找矿的新局面。

吴传璧

1999 年 12 月

前　言

我国是一个文明古国，又是一个人口大国，矿产资源相对不足。随着地表露头矿被勘查和利用殆尽，隐伏矿的找寻已成为我国地质科学的重点研究课题。中国地质科学研究院地球物理地球化学研究所（以下简称物化探所）气测组，近 20 年来一直致力于找隐伏矿的勘查地球化学方法技术研究。其中包括运积物覆盖区“焦家式”金矿的快速评价；水电化学方法及异常查证；气体测量在 1∶5 万区测中的应用；综合气体测量方法技术研究；湘中锑矿物化探勘查；广东三明市三水、金本等地区地气测量寻找隐伏矿的方法试验研究；地气测量对比试验；山东招掖地区非常规化探方法找寻隐伏矿的评价；新疆也里莫墩矿带隐伏地区化探方法找矿评价；浙江绍兴龙泉一带火山岩区区域地球化学特征及其与金矿关系的研究等课题。本书是物化探所气测组集体劳动的成果，也是气测组近 20 年来一系列科研成果的系统总结和归纳。承担这些项目的成员有伍宗华、金仰芬、古平等、黄宏库、殷欣平、金竹漪、尹冰川、郭英杰、刘华忠、张利芬、李莲等人。在上述项目的完成过程中曾得到原地质矿产部物化探所化探方法室、院中心实验室的大力支持。

书中引用了大量前人的研究成果和实际资料（包括已公开发表的文献和尚未公开发表的资料）。根据作者的认识，对某些图表作了些缩减或改编。需要指出的是，书中的某些讨论和认识可能与原作者的意见不完全一致，这只能代表本书作者的一种认识，并不意味着对原作者观点的否定。本书作者们在某些问题的观点上，也并不完全一致，书中也只是反映了一种观点。

应当指出，隐伏矿床地球化学勘查的理论基础和方法技术尚欠成熟。在它成熟之前，总得有一些人在曲折的道路上探索着前进，使其早日成熟。作者是想借此书达到抛砖引玉的效果，将我们近 20 年的研究资料作一些初步的整理后，供同行参考。其中某些学术观点和新研制的方法技术更显得欠成熟，如喷气分散晕的形成及其在地质找矿中的指示意义，水电化学方法、Rn-Hg 联测、壤中气 CO_2 瞬时测量和累积测量、壤中气气溶胶测量、壤中气 Hg 累积测量等方法都是气测组新近研制而成的新方法，它们的成熟度都比较低，但均已显示出有一定的找隐伏矿的前景。若将它们永远存放在资料柜里，还不如把它们介绍出来，供以后的研究者们参考。知识是人类共同的财富，哪怕是失败的教训也是一种财富。作者之所以大胆把一些尚不成熟的东西介绍出来，是想将我们多年的研究成果让读者看后，多少有所裨益。同时，也希望读者在使用我们所介绍的方法时，应注意方法的应用前提和所要解决的问题的地质情况，千万不要机械搬用。

本书书稿承蒙吴传璧研究员（俄罗斯矿产资源国际科学院院士）审阅，并提出了宝贵意见和建议，作者表示衷心感谢。王莲珍、孙晓玲参加了特殊样品的分析工作，在此也一并表示谢意。由于作者水平所限，书中必然存在这样或那样的缺点和不足，乃至错误，敬请读者指正。

目　录

第一章　绪论 …… 1
第一节　当代地质找矿所面临的形势和勘查地球化学的任务 …… 1
第二节　勘查地球化学找隐伏矿的研究简史 …… 3
第三节　国外勘查地球化学找隐伏矿的研究概况 …… 3
第四节　我国勘查地球化学找隐伏矿的研究概况 …… 4
第二章　隐伏矿床的勘查地球化学分类 …… 6
第一节　概述 …… 6
第二节　隐伏矿床勘查地球化学分类的依据和隐伏矿床类型的划分 …… 8
第三节　各类隐伏矿床的地质地球化学特征 …… 12
第三章　找寻隐伏矿床的勘查地球化学方法简介 …… 12
第一节　岩石测量 …… 12
第二节　水电化学测量 …… 21
第三节　壤中气测量 …… 30
第四节　植物测量 …… 55
第五节　偏提取测量 …… 57
第六节　壤中气气溶胶测量（地气测量） …… 59
第四章　隐伏矿信息的获取 …… 68
第一节　概述 …… 68
第二节　地球化学景观区的划分 …… 68
第三节　特殊景观区地球化学方法的选择 …… 70
第四节　特殊景观区的地球化学普查 …… 73
第五节　某些非常规化探方法的采样密度与网度 …… 84
第六节　某些非常规化探方法的分析指标和分析方法的选择 …… 84
第七节　特殊景观区某些地质找矿标志的预测追索和评价 …… 86
第八节　物化探异常查证中值得注意的问题 …… 101
第九节　综合勘查模式类比 …… 101
第五章　隐伏矿信息的追索与评价 …… 105
第一节　概述 …… 105
第二节　隐伏矿信息的追索与评价的某些认识 …… 105
第三节　隐伏矿信息的追索案例 …… 107
第四节　隐伏矿预测图的编制 …… 140
第六章　找矿例案 …… 141
第一节　胶东红布店地区的地球化学勘查与隐伏矿预测 …… 141
第二节　河南上宫地区的地球化学勘查与隐伏矿预测 …… 146
第三节　上海张堰铁铜矿区的地球化学勘查与隐伏矿预测 …… 150

第四节　山东朱桥地区砂金远景区的圈定…… 153
第五节　河北省丰宁县和顺店异常查证与隐伏矿追索…… 156
第六节　四川大发沟银金铜矿外围物化探普查及隐伏矿预测…… 160
第七节　综合气体测量找寻隐伏汞矿床以及与辰砂共生的其它隐伏矿床…… 164
参考文献…… 170
附录一　气体测量常用计量单位…… 175
1. 常用法定计量单位 …… 175
2. Rn 测量中常用法定计量单位 …… 175
3. 汞蒸气测量中常用法定计量单位 …… 176
4. 壤中气 CH_4 和 CO_2 常用法定计量单位 …… 177
附录二　饱和汞蒸气的浓度…… 177
附录三　饱和汞蒸气的蒸气压…… 177

第一章 绪 论

第一节 当代地质找矿所面临的形势和勘查地球化学的任务

近百年来，人类进行了大规模的矿产勘查和开发工作，为世界经济的发展起到了不可估量的作用。随着世界人口和经济的持续增长，人们对矿产资源的需求不断增加，而近地表矿产资源日趋枯竭，地质找矿的难度和投资风险与日俱增，导致当代地质找矿的形势发生了根本性的变化。这些变化集中表现在下列几个方面：

1）人类对矿产资源需求的不断增长与大部分矿产已探明储量不足的矛盾在上升。由于矿产开采中的资源浪费和对环境的污染以及世界各地矿产分布的不均匀性，使上述矛盾进一步加剧。主要矿产资源的紧缺和不足，已经制约着一些国家和地区的经济发展。世界范围的黄金争夺，已被对石油资源的争夺所替代。淡水资源的勘查和合理利用，正日益得到社会更密切的关注。

2）找矿的重点已由地表矿逐步向隐伏矿和难识别矿的方向发展。工业发达地区近地表矿产已被开采殆尽。未来的主要勘查目标是深埋于地下的各类隐伏矿和难识别矿。1982～1992 的 10 年间，加拿大新发现的大多数贱金属矿床的埋藏深度一般大于 200 m。据我国地矿部门的统计，1970～1980 年与 1980～1990 年相比，新发现的矿床数目却明显减少，而新发现的隐伏矿床数目却明显增加；1949～1965 年，我国新发现的隐伏矿床仅占发现矿床总数的 10%；1965～1983 年新发现的隐伏矿床的数量上升至 50%（池三川，1988[13]）。1950～1955 年间，在加拿大发现一个矿床的费用为 500 美元，而到 1971～1975 年间已上升为 2500 美元（陈光远，1987[7]）。在苏联也是如此，用于寻找新矿床的费用占整个投资的60%～65%。投资很大，而见矿不多（金兹堡，1981），说明找矿的难度也在日益加大。

3）找隐伏矿的方法技术发展缓慢，已成为地质找矿的瓶颈。找隐伏矿的愿望无疑是在人类对自然作斗争还没有科学概念的时期就已经开始萌芽。由于找隐伏矿的难度较大，时至今日，找隐伏矿的方法虽然五花八门，花样繁多，但大部分方法多具有间接性和多解性等明显不足，远不能满足大规模找隐伏矿的需求。一个大型隐伏矿床的发现，耗时少则几年、多则几十年，使找矿的周期、成本和投资风险成倍增长。这种状况严重制约了地质找矿的高速发展。

4）矿山开采技术的高速发展，对金属矿的开采不再局限于地表以下 300 m 之内了。某些金属矿床的开采深度已达 1000 m 以上。因此，对隐伏矿的勘查深度提出了新的要求。

5）我国正处于计划经济向市场经济的过渡期间，要求一切经济活动必须提高经济效益，过去那种不计成本、找矿周期过长、无效重复、国家投资、资料部门所有等方式，愈来愈不适应市场经济的需要。如何适应新的形势，是摆在我国勘查地质工作者面前的新课题。

面对上述新的找矿形势，各国矿产勘查工作者正在另辟蹊径，多方探索能获取隐伏矿信息的新理论、新方法和新技术。

矿产勘查发展的历史表明，勘查技术的重大突破，是促进地质找矿高速发展的关键。至于我国地质找矿中存在的某些问题，除一部分靠机构改革外，关键问题还在于勘探技术的重大突破。G. E. Mekelvey（1996）系统总结了勘探技术的突破导致新矿床发现的概况。Woodall 在回顾澳大利亚金矿勘查的历史时指出，1981～1985 年间两次金矿勘查高潮的出现，都归功于金矿勘查技术的重大突破。近 10 年来，我国金矿勘查巨大成就的获得，也是得益于金的地球化学勘查方法和微金分析技术的长足进展[105]。

隐伏矿在地表的矿化信息十分微弱，是常规的肉眼观察和常规的分析方法难以觉察和检测的。而近代的分析技术能检测出亿万分之几的矿质组分，是肉眼观察和镜下观察所望尘莫及的。可见勘查地球化学方法，在探测隐伏矿的微弱信息方面具有巨大的潜力，可能会执找隐伏矿之牛耳。为了提高勘查地球化学找隐伏矿和难识别矿的能力，必须加强下列方面的研究：

1. 必须加强勘查地球化学的基础研究

勘查地球化学找隐伏矿的基础理论主要是成矿和成晕的理论。这些理论的机制大多是建立在各种假说的基础上，缺乏对成矿和成晕的本质认识。对找隐伏矿至关重要的气体分散晕和气溶胶分散晕中，矿质组分的迁移、存在形式、在不同介质条件下的迁移性能、异常的形态和规模与地质因素的内在联系、对气候条件的依存关系、迁移过程中存在形式的转化、各种天然吸附剂对不同气体组分的吸附与解吸，以及在垂直向上迁移途中的各种物理化学作用等诸多问题的了解甚少，大大限制了对气体异常的解释推断和对隐伏矿预测水平的提高。近几年来，在这方面已做了一些工作，但仍然距找隐伏矿的需求相差甚远。

2. 根据找寻不同隐伏矿床的需要，必须大力发展高灵敏度、高精度和高专属性的分析方法

勘查地球化学中的分析方法，如同地质找矿工作的眼睛。勘查地球化学发展的历史，也清楚地证明勘查地球化学的发展对分析技术的依赖关系。每当微量元素的分析水平向前迈进一大步，勘查地球化学的水平就上升到一个新的台阶，人们识别微弱矿化和找寻隐伏矿的能力随之大幅度提高。因此，研制高灵敏度、高精度和高专属性的分析方法对于提高勘查地球化学方法对隐伏矿的探测深度和探测效果具有极其重要的意义。

3. 必须加强不同景观区、不同矿化类型和不同介质中各类分散晕的分散模式的研究

不同条件下，矿床分散晕的分散模式是勘查地球化学找隐伏矿的理论基础和方法指南。通过对典型矿床各类分散晕的分散模式的系统和归一化研究，有利于理顺人们的找矿思路和不同矿床之间的系统对比，指导地球化学工作者逐步预测和不断收集隐伏矿床的地球化学资料。

4. 加强岩石测量和壤中气气溶胶测量的研究

岩石测量找半出露隐伏矿的能力已被地质找矿工作者所公认，其可靠性居化探方法之首。它对隐伏矿的指示最直观，无位移，受表生条件和人为因素的干扰少。在有利的地质条件下，具有较大的探测深度。

随着找隐伏矿的需要，钻孔岩屑测量也必将得到很快的发展和更广泛的应用。

气体地球化学方法在找隐伏矿方面，具有良好的理论依据和较好的实际效果。目前它

已成为勘查地球化学的热点和新的生长点，颇受勘查地球化学工作者重视。但在基础理论和方法技术方面尚欠成熟，必须在应用中不断加强基础理论研究，改进和完善气体测量的方法技术，才有可能得到更广泛的应用，并能取得更好的找矿效果。

5. 深化地球场的研究

地球化学预测方法的发展，很大程度上取决于成矿作用地球化学的发展[3]，单变量和多变量的地球化学场的精确模拟，注意除元素含量之外的其他地球化学场特征的揭示和利用，实现各种不同地球化学场的模拟。在采用传统数据处理手段的同时，应把地理信息系统（GIS）作为一种主要工具，实现多种信息的综合。

6. 开展喷气分散晕及其找矿意义的研究

不断加深对成矿作用是一种区域地质作用的理解和应用，揭示喷气分散晕在成矿作用中的作用，应提上议事日程。

7. 在隐伏矿勘查中，同位素分馏效应具有良好的前景，应引起必要的重视。

第二节　勘查地球化学找隐伏矿的研究简史

在近代地质科学诞生之前，人类就已萌发了找隐伏矿的思想。在我国，古代文献中已有了矿物共生、元素分带和地植物找矿的概念。如在《管子》的《地数篇》中记载着："山上有铅者，下有银""上有丹砂者，下有黄金""上有磁石者，下有铜金""山上有赭者，其下有铁"；唐代颜真卿的著作中记载有："山上有葱，下必有银；山上有韭，下必有金，山上有金，下必有锡"。在古希腊与古罗马的文献中记载了 Georius Agricoda 用分析泉水和观察物遭受高含量金属组分的毒害后所出现的反常生长特征来找金属矿床（R. W. Boyle，1977）[151]；同时还记载了 15 世纪中叶一位热那亚绅士用冬青属植物作为明矾石的指示植物在意大利获得成功的案例。近代地球化学找隐伏矿的思想和方法技术在 20 世纪 30 年代产生于俄罗斯和斯堪的纳维亚各国，而迅速得到发展并取得实质性的进展则是近 20 年的事。近 20 年来，勘查地球化学的高速发展，首先归功于世界经济的持续增长对矿产需求的增长，其次是高灵敏度分析技术的长足进展为勘查地球化学找隐伏矿创造了条件。

第三节　国外勘查地球化学找隐伏矿的研究概况

1798 年，B. M. 谢维尔金（В. М. Севергин）提出了"矿物邻近性"的概念。1849 年德国 J. F. A. 布莱绍普特（J. F. A. Breithaupt）揭示了矿物共生组合的规律性，对推断铁帽和矿化露头下部可能的矿化情况提供了依据。

费尔斯曼（Ферсман，1939）等人研制成土壤测量方法。在此基础上，萨弗朗罗夫、索洛沃夫、米列尔、谢尔盖耶夫、克维亚科夫斯基、索切瓦诺夫、波里卡尔波奇金、霍克斯、韦伯、莱文森、博伊尔等人为该方法的理论和方法技术做出了卓越的贡献，为勘查地球化学找寻残坡积层覆盖下的隐伏矿床提供了一种有效的方法技术。

艾孟斯（W. H. E mmons，1936）发现了内生金属矿床周围矿物组分的分带现象。Л. Н. 奥弗钦尼柯夫和 С. В. 格里戈良（С. В. Григорян，1970）对原生晕的形成及其实用意义进行了研究。以上研究为半出露盲矿床的地球化学勘查提供了理论基础。

T. Vogt 在挪威进行的水化学测量可能是现代水化学勘查的早期研究（A. A. Levinsson，1974）[141]。20 世纪 40 年代俄罗斯开始将水化学勘查方法大规模用于找矿实践。20 世纪 60 年代后，加拿大、美国和澳大利亚等国相继开展了大规模的水化学测量。

1922 年 А. П. 基里柯夫（А. П. Кириков）[79]最早试验用 Rn 气测量找寻放射性矿。G. 劳伯梅尔（1929）试验用烃类气体找石油。А. А. 萨乌科夫（А. А. Соуков，1946）[70]和 Е. А 谢尔盖耶夫（Е. А. Сергеев，1957）首先提出，并试验用汞蒸气测量找汞矿和其他金属矿。

1966 年加拿大巴林杰公司的巴林杰（A. R. Borriger，1966）提出用大气尘埃找金属矿。

L. Malmqvist 和 Kristiansson（1984）研制成地气法找隐伏金属矿床[144～146,148]。

1973 年 Ю. С. 雷斯（Ю. С. Рыс，1973）[38,168]研制成找隐伏金属矿床的地电化学方法。此外，酶淋滤、程序热释、偏提取等方法在 20 世纪 80 年代相继诞生。这些方法在干旱地区找残坡积层覆盖下的隐伏矿、半出露盲矿和埋藏较浅的掩埋矿，均能获得较好的找矿效果。

1980 年 В. В. 布罗沃伊提出建立各级物理-地质模式的建议，并相继研制了大量地质成因模式。

1986 年美国考克斯和辛格（Cox and Singor）[35]将矿床划分出 39 个主要的矿床模式和 99 个子类。美国等西方国家正利用各种已建立的矿床模式对矿产资源进行预测，并取得了巨大成就，如美国利用斑岩铜矿的分带模式，成功地发现了卡拉马祖隐伏斑岩铜矿床。

1955 年 А. Н. 克里夫佐夫等人创建了建造学说，他们认为在地壳中不同构造单元的不同发展过程中，既形成一定的岩浆建造和沉积建造，也形成与之伴生的一定矿床类型。在矿产预测中，常以确定不同类型地质建造的含矿性，作为成矿分析的一个重要组成部分。目前，俄罗斯以建造分析为基础，进行大规模的矿产预测。

第四节　我国勘查地球化学找隐伏矿的研究概况

1924 年李四光在湖北用岩石测量方法研究侵入岩体中常量元素的组分特征（吴承烈，1987）[88]用于找铁矿，这可能是世界上最早应用岩石测量找矿的研究。

1952 年谢学锦院士在安徽月山发现了铜的指示植物海州香薷，这种植物后被列为世界上最重要的铜的区域性指示植物[142]，为我国长江中下游地区寻找残坡积层覆盖下的隐伏铜矿床提供了一种有效的指示标志。

1958～1959 年，邵跃等人[77]在甘肃白银厂、辽宁青城子等地开展了原生晕找隐伏矿的试验研究，并找到新的半出露隐伏矿体。

20 世纪 60 年代，我国岩石测量得到了较广泛的应用和发展[92]，在地质部门和冶金部门均设立了专门的岩石测量研究机构，并在多金属矿床及铜矿床原生晕的研究中取得了显著的找矿效果。如李善芳等人在安徽宝山陶找到了隐伏的铜矿体。

1964～1967 年间，李善芳等人在长江中下游地区开展了用地球化学方法对铁帽含矿性评价的研究，与此同时，李文达等人用传统的地质方法（主要研究褐铁矿的结构构造）也对铁帽的含矿性进行了研究。这些研究成果，为淋滤型隐伏矿的勘查提供了一种新手段。

1970～1980 年间，伍宗华等在我国开展了壤中气测量的研究。其中包括：壤中气汞的瞬时测量[103,104]和累积测量[106]，壤中气 CO_2 的瞬时测量和累积测量[112]，壤中气甲烷瞬时测量等方法的研制和有效性试验，并在河南上宫[151]等地，找到了新的隐伏矿体。

1993年伍宗华等[117]提出，矿床周围元素在原生分带序列中的位置与该元素的赋存状态有关，据此修正了以往一成不变的元素分带序列。

1980～1990年间刘吉敏等人[147]开展了地电化学找隐伏矿的试验。

1983年伍宗华等研制成水电化学方法，并开展了用该方法找隐伏矿的试验工作[110,155]。

1980～1990年间任天祥、高平等人开展了植物地球化学测量的有效性试验。

1990～1995年间欧阳宗圻、李惠[40,59]、邹光华[116]、吴承烈[94]等人分别进行了有色金属、金、铜矿床的地质-地球化学模式研究。

综上所述，国内外勘查地球化学找隐伏矿的发展大致经历了四个不同的发展时期：

第一发展期（1950年以前）。这时期找隐伏矿以土壤测量和水系沉积测量为主要手段，其找寻的对象主要为残坡积层覆盖下的隐伏矿和某些人工掩埋矿。人们依靠肉眼观察残坡积层中的转石和土壤中的地球化学异常，用探槽或浅井揭露矿体。这一阶段延续的时间最长，找到的矿最多。据R. W. Boyle (1977)[151]统计，迄今为止，世界各地开采的矿床80%以上是在古人开采的基础上进行的。时至今日，对于那些肉眼不易识别的矿化类型，土壤测量和水系沉积物测量仍然是找这类矿的重要手段。

第二发展期(1950～1970年)，以岩石测量和气体测量为主要手段，其主要寻找的对象，除找残坡积覆盖层下的隐伏矿外，已扩展到找淋滤型隐伏矿、分带型隐伏矿、半出露盲矿等隐伏矿类型。这一时期，勘查地球化学的探测深度明显增大，找隐伏矿的效果日趋显著。

第三发展期（1970～1990年），也可称之为综合模式找矿期。随着地、物、化、遥各种方法在找隐伏矿方面的长期研究，积累了大量矿床产出地质特征和物化探异常特征的基础上，系统总结了各类典型矿床的异常模式。由于单一方法的异常模式只是从某一个侧面反映隐伏矿床的某些特征，必然产生“间接性”和多解性的弊端。人们为了消除这些弊端，通过组合推断或循序推断，归纳出各种综合找矿模式。这是地质理论与实践相结合的产物，也是地质理论找矿和其他方法找矿之间的桥梁。人们在未知区依据找矿综合模式所指引的思路去收集资料，并与相应的模式进行拟合和矿产预测。由于数学和计算机技术在地学领域的广泛应用，使综合找矿模式沿着定量化和数字化的方向发展。奥林匹克坝巨型Cu-U-Au矿床的发现，是综合模式找矿的成功典范。

综合模式找矿，侧重于已有各种资料的综合和归纳，而且仍然是一种间接找矿为主的方法，也具有较大的不确定性和巨大的风险。随着隐伏矿埋藏深度的加大和埋藏条件的复杂化，在实际找矿中，还需依靠新方法、新技术和新理论，尽量获取与深部隐伏矿有关的信息，减少片面性，避免盲目性，为隐伏矿的预测提供新的直接指示标志和理论依据，从而更好地指导隐伏矿的寻找。

第四发展期（1990年以后）为信息找矿期。这一时期，找隐伏矿的方法空前增多，探测深度明显增大，所获信息量成倍增加，而且这些信息并非非此即彼，而是既可能是此，也可能是彼。推断解释的不确定性也随之增加。只有通过各种间接信息的相互验证，成矿环境与地球物理场或地球化学场之间的拟合，不断地去伪存真，由表及里，逐步逼近潜在矿床所反映的本质特征。但人们决不会放弃直接找矿信息的获取，某些微观或超微观信息的获得，使间接找矿为主的信息找矿期又重新返回到直接找矿为主的时期。因此，发展高灵敏度和大探测深度的勘查地球化学方法，具有特别重要的意义，并预示着一个找隐伏矿的新时期即将到来。

第二章　隐伏矿床的勘查地球化学分类

第一节　概　　述

“隐伏矿床”这一术语在地质人员中应用相当广泛，但不同专业的人员对隐伏矿各自有着不同的理解。传统的地质找矿工作者大多认为：凡是在地表用肉眼和显微镜观察不到任何矿化和蚀变的矿床称之为隐伏矿床。大多数勘查地球化学工作者则认为：用常规的化探方法在地表不能发现异常的矿床，统统称之为隐伏矿，在地表若用常规的化探方法能发现异常的矿床则不认为是隐伏矿。据此推断，残坡积层覆盖下的隐伏矿、分带型隐伏矿和淋滤型隐伏矿都不是隐伏矿床，只有掩埋矿和盲矿才够得上是隐伏矿。物探人员对隐伏矿的埋藏状况并不十分注意，他们所关心的是矿床埋藏深度的大小，埋藏深度小于 50 m 的矿床不认为是隐伏矿床。基于上述不同的认识，有时不同专业的地质人员要选一个隐伏矿床作试验，也争论不休，严重影响了找隐伏矿方法技术的交流。因此，在讨论隐伏矿的地球化学勘查之前，首先应对隐伏矿有一个明确的定义和分类，以利于统一认识和对不同类型隐伏矿床勘查方法的讨论。

国外对隐伏矿的分类也不统一，下列两种分类是较为常用的。

第一种分类是俄罗斯 П. А. 舍赫特曼（Шехтман，1979）[79]等人针对热液矿床的分类，把未出露地表的矿床统称为隐伏矿床，具体又分为下列 4 类（图 2-1）：

1）覆盖矿床：被不厚的（几米）浮土覆盖的矿床。

2）掩埋矿床：掩埋于较厚（5～10 m）岩层之下的矿床。

3）掩覆矿床：埋于较深处的矿床。其中一个亚类是以产在不整合于含矿岩层之上为特点的被很厚的已固化的或火山岩层所覆盖的矿床；另一亚类是在逆掩断层之下（地层掩覆或构造掩覆）的矿床。

4）隐伏矿或盲矿：这一名词常不涉及矿床，而涉及在已经查明的矿田（矿床）范围内进行普查的矿层和矿体。它们既可分布在直接靠近已知矿层的地方，因而具有与已知矿层同样的地质位置，也可以分布在矿床较深的层位、处于另一个地质构造层中。

另一种常用的分类是美国学者彼得斯（Peters，1976）的分类，他把隐伏矿床按成因分为以下 5 类（图 2-2）：

1）盲矿（blind orebody）：受地下构造和岩性的控制，地表没有或很少有矿化标志显示的矿体。

2）淋滤矿体（leached orebody）：矿体顶部被淋滤溶蚀掉了，在地表只保留下一顶“帽子”。

3）分带矿体（zoning orebody）：靠地表顶部，常由与成矿关系密切的脉石矿物构成，中下部由金属硫化物组成。

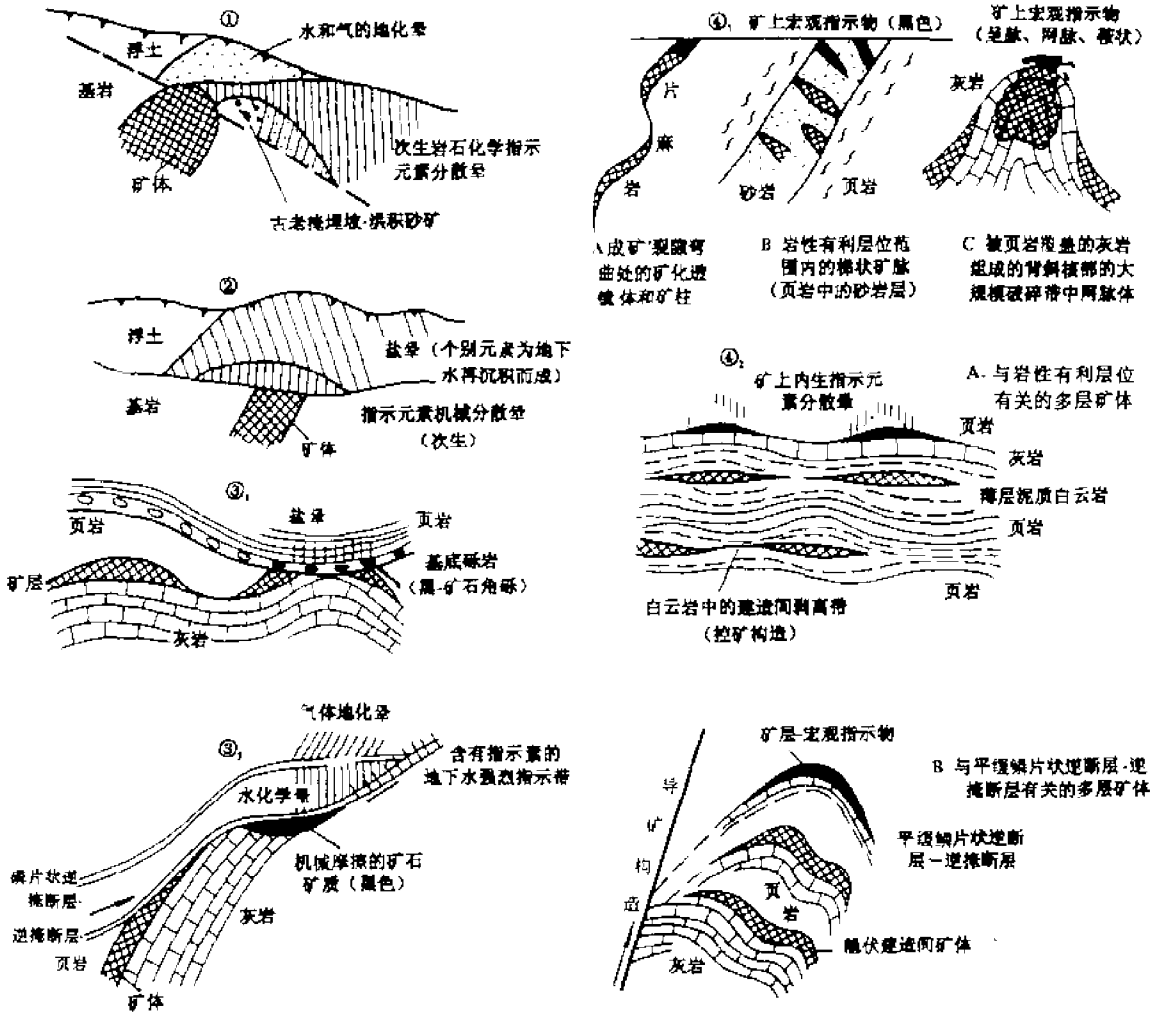


图 2-1　H. A. 舍赫特曼等人的隐伏矿床分类示意图

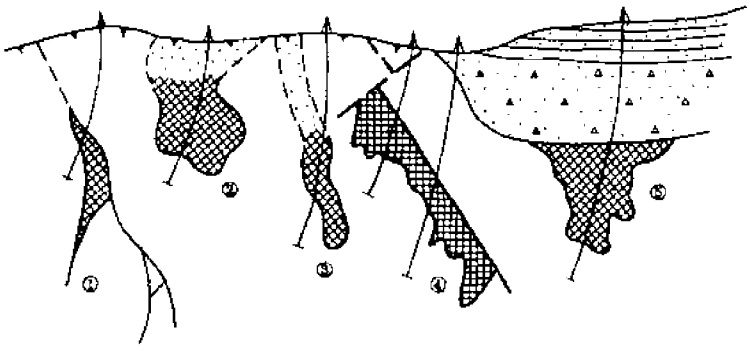


图 2-2　彼得斯的隐伏矿床分类示意图

4）削蚀矿体（truncated orebody）：主要由断层错断而深埋的矿体。

5）被隐蔽矿体（concealed orebody）：被成矿后的沉积物或熔岩所掩覆，因而在地表很难找到任何找矿标志及成矿地质信息的矿体。

第二节　隐伏矿床勘查地球化学分类的依据和隐伏矿床类型的划分

鉴于勘查地球化学找隐伏矿是利用隐伏矿的各类分散晕特征，不同分散晕类型需要选择相应的地球化学方法，因此，影响隐伏矿分散晕发育和分布的各种因素应是隐伏矿地球化学分类的主要依据。影响隐伏矿分散晕发育和分布的因素很多，某些深层次的控制因素，可能至今尚未被人们所揭示。因此，在此仅对已有地球化学方法影响较大的某些主要因素进行讨论。

就目前而言，在所有影响地球化学勘查的诸多地质因素中，影响最大、涉及面较广的应数覆盖层的成因类型和覆盖层的厚度。如残坡积覆盖或风成黄土、冰碛物、冲洪积物、风成沙等运积覆盖，必须分别采用完全不同的勘查地球化学方法，才能获得较好的找矿效果。在运积物覆盖区，运积层中没有隐伏矿的机械分散晕，对土壤测量和水系沉积物测量等方法一般说来是无效的。又如覆盖层的厚度，对勘查地球化学方法的选择也有较大的影响，如我国黑龙江、吉林等地，当残坡积层的厚度大于 2 m 时，则土壤测量的效果不好，所获资料对矿的指示意义不明显。相反，当残坡积层的厚度小于 0.5 m 时或基岩裸露区，从隐伏矿释放出来的气体，无处保存，直接向大气散发，因而，各种壤中气测量方法，也不能获得较好的找矿效果。

对勘查地球化学影响较大的另一种因素是隐伏矿产出的地质位置以及与剥蚀面之间的相互关系。剥蚀面是各类分散晕发育的重要界面，从而也直接影响地球化学方法的选择。

隐伏矿所处构造层的地质构造特征，特别是所处构造层、控矿岩体和控矿构造之间的相互关系，对原生和次生分散晕的发育和分布均有较大的影响。

对隐伏矿床各类分散晕的发育和分布影响较大的第四种因素是成矿前和成矿后与矿有关的各种断裂构造，这些构造既是矿液运移的通道，也是控制分散晕发育和分布的重要因素。特别是成矿后的各种断层，能使矿体分散晕与矿体分家，常造成有晕无矿，有矿无晕，给地球化学异常的推断解释造成极大的困难。

凡是矿体没有出露于地表的矿床，统统称之为隐伏矿床，这一点，在地学界比较容易达成共识。这一概念，对于勘探地球化学也是适用的。在这一前提下，作者根据矿体的埋藏状态，进一步将隐伏矿床划分成下列 8 种类型。

1）残坡积层覆盖下的隐伏矿床：矿体被附近的风化产物所覆盖，松散层的厚度一般在 0.5～2 m。

2）淋滤型隐伏矿床：矿体顶部被强烈淋滤溶蚀，在地表仅残留下一些耐风化的铁锰质褐铁矿，呈帽状覆盖在原生硫化矿的上面，但褐铁矿中的有用组分均不够工业品位。

3）分带型隐伏矿床：由于矿床分带的结果，在地表部分，常由与成矿关系密切的脉石矿物组成，中下部由金属硫化物构成。

4）掩埋型隐伏矿床：矿体曾剥露至地表，但由于矿床所在位置缓慢下沉，直至下沉至近代剥蚀面以下，已出露的矿体逐步被外来的冲洪物所覆盖，或被其他运积物所覆盖。

5）盲矿床：产于基岩中、矿体和矿体原生晕均未被剥露至地表的矿床。

6）半出露盲矿床：矿体尚未剥露至地表，但矿床的原生晕已剥露于地表。

7）多种构造层下的盲矿床：矿床和矿床的原生晕均被成矿后两种以上的不同构造层所覆盖，在地表岩石中无任何与隐伏矿有关的分散矿化和围岩蚀变。

8）错断隐伏矿床：主要由断层错断而深埋的矿体。

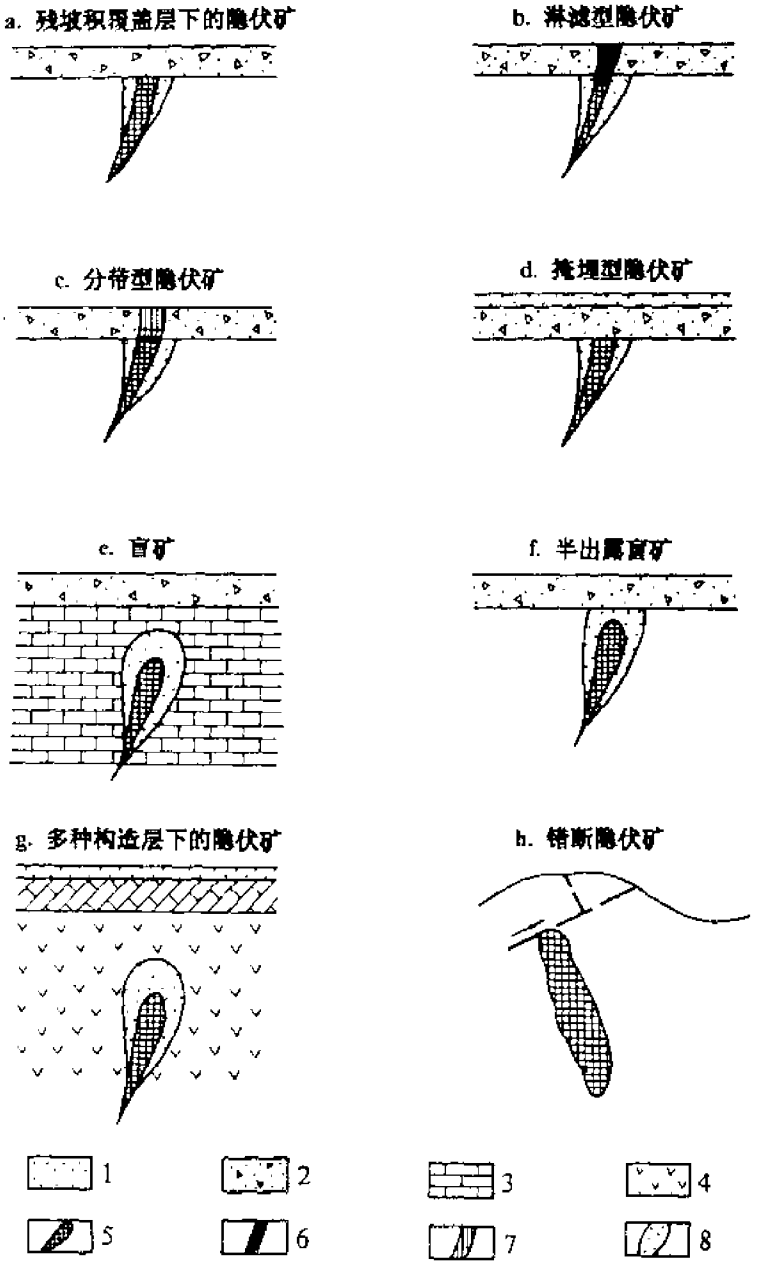


图 2-3　隐伏矿床的地球化学分类

1—运积物；2—残坡积物；3—灰岩；4—安山岩；5—矿体；6—淋滤后残留的帽状物；7—脉石矿物集合体；8—原生分散晕

第三节　各类隐伏矿床的地质地球化学特征

1. 残坡积层覆盖下的隐伏矿床

这类矿床（矿体）和矿床原生晕均曾被剥露至近代剥蚀面，后来在长期的化学风化和

物理风化过程中，逐渐被附近的风化产物——残坡积物所覆盖，在地表已见不到矿化露头和蚀变围岩，但在残坡积层中，发育有成矿元素和伴生元素的机械分散晕、气体分散晕、离子分散晕和气溶胶分散晕。

2. 淋滤型隐伏矿床

这类矿床的矿体和矿床原生晕均曾剥露至地表，由于湿热区地表的化学风化作用强烈，长期处于地表的原生硫化矿被淋滤和溶蚀殆尽，仅残留下一些耐风化淋滤的铁锰残余物。这种残余物呈“帽”状覆盖在原生硫化矿之上，被称之为“铁帽”。半干旱的热带地区，在没有矿体赋存的地方也容易形成类似的“铁帽”。人们仅凭地表褐铁矿的矿物成分和结构构造，既不能确认原生的金属硫化物是什么，也不能识别铁帽之下还有没有原生硫化矿残存。在这类矿床附近的残坡积覆盖层中，仍然发育有成矿元素和伴生元素的机械分散晕、气体分散晕、气溶胶分散晕和离子分散晕。在有利的条件下，也可以形成水化学分散晕和地植物分散晕。总之，这种隐伏矿床仅仅是地表的矿化露头不容易辨认，有用组分不够工业品位，除此之外，与地表露头矿没有什么明显的区别。在以往，勘查地球化学工作者一般不认为它是隐伏矿。

3. 分带型隐伏矿床

这类矿床的矿体未出露于地表，但矿床的原生晕已剥露至地表，在地表的矿化体中，有用组分不够工业品位，但其含量明显比周围其他无矿化的岩石高，矿化体的矿物成分，主要由与矿化关系密切的脉石矿物组成，在矿化体的周围，发育有原生分散晕、机械分散晕、气体分散晕、气溶胶分散晕。在有利的条件下还可形成水化学分散晕和植物异常。在这类矿床的评价中，所面临的问题是，矿化体的下部有没有矿体存在。

4. 掩埋型隐伏矿床

这类矿床的矿体和矿体原生晕曾被剥露于地表，后由于矿床所在地的地面缓慢下沉，直至下沉至近代剥蚀面之下，矿体和原生晕逐渐被外来的异地疏松沉积物所掩埋。在另外的两种情况下，并非是地面下沉，而是由于被风积物和人工堆积物所掩埋，这两种情况也属掩埋矿床。在掩埋矿床的上部覆盖层中，没有与矿体有关的机械分散晕和离子分散晕，只有在运积层的厚度较小，而且覆盖的时间较长时，才有可能发现与隐伏矿有关的气体分散晕和气溶胶分散晕。在干旱地区还有可能发育有离子分散晕。

5. 盲矿床

这类矿床（矿体）和矿床原生晕均未被剥露至近代剥蚀面，在矿床上方的岩石和土壤中，用常规的勘查地球化学方法不能检测到与隐伏矿有关的任何异常。但在特殊的地质和地球化学景观条件下，有可能通过植物的抽提作用、毛细作用、太阳泵效应、地气流的搬运、自然电场作用等等方式将与深部隐伏矿有关的矿质组分被搬运至地表，分别形成气体分散晕、气溶胶分散晕、离子分散晕和水化学分散晕。

6. 半出露盲矿床

这类矿床（矿体）的矿体未被剥露至地表，但矿床的原生晕已被剥露于地表，虽然在地表见不到矿体露头，但在地表岩石中，发育有矿床的原生分散晕，在其残坡积物中，发育有隐伏矿的机械分散晕、气体分散晕、离子分散晕和气溶胶分散晕等。

7. 多种构造层下的隐伏矿床

这类矿床的矿体和原生晕被后期两种以上的构造层所覆盖，在地表岩石中，无任何与

隐伏矿有关的微弱矿化与蚀变。在地表土层中，也不能发现与隐伏矿有关的机械分散晕和离子分散晕，只有在有利的地质条件下，才有可能检测到气体异常和气溶胶异常。这类矿床的埋藏深度一般较大，地质情况也比较复杂，是较难找寻的隐伏矿类型之一。即使在地表已发现与隐伏矿有关的异常，根据异常对隐伏矿床进行追索也是十分困难的。

8. 错断隐伏矿床

主要由于成矿后的断层将矿体错断而深埋于地下，地表为异地的已固化岩石所覆盖，岩石中没有与隐伏矿有关的原生晕，土壤中无机械分散晕，矿体的头尾分离，造成各类分散晕发育的部位其下部无矿体存在，地下有矿体赋存处，其地表通常无异常显示。

第三章　找寻隐伏矿床的勘查地球化学方法简介

第一节　岩石测量

一、概述

岩石测量是以基岩为采样对象，通过对测区内基岩样品的系统采集和分析，研究成矿时赋存于基岩中的不同尺度的原生晕的分散模式，用于指导地球化学勘查。

岩石测量原被认为是一种详查方法，主要用于异常查证。后来，原苏联将岩石测量用于1∶5万区测，解决地质测量中众多的地质问题。自20世纪70年代开始，我国也开始了区域岩石测量的研究。

岩石测量的应用范围在不断扩大。根据不同的工作目的，可分为：区域岩石测量、局部岩石测量和钻孔测量等类型。

区域岩石测量：是以较低的采样网度，研究与区域岩浆活动有关的喷气分散晕。其目的在于发现有找矿意义的地球化学省，大的成矿区带和含矿构造。

局部岩石测量：是在各类找矿靶区内或异常区内，按中、大比例尺进行系统的岩石测量，研究测区内潜在矿田（矿床）的原生分散晕，用于缩小靶区，追索隐伏矿床，指导工程的布置。

钻孔测量：用较密的网度，研究矿体的原生晕。主要是利用矿体原生晕的分带特征，借以发现钻孔之间或已知矿体下部的盲矿体。样品主要从钻孔岩心中或井下坑道中采集，采样点距一般为1～5 m。

岩石测量的优点是：所采样品的地质背景明确，所得的地球化学信息直接，能够与样品所代表的地质体的其他地质特征联系和对应，有利于对资料进行地质和地球化学相结合的综合研究；所得元素异常和测区内的背景分布均无空间位移；元素含量也因未遭受表生作用而产生贫化和富集的现象，元素之间保持原有的共生组合关系，有利于研究元素之间存在的共生组合规律。因此，岩石地球化学测量所揭示的空间分布特征和共生组合规律，不仅可以为解决测区内的基本地质问题提供有意义的地球化学信息，而且还可以排除由于表生作用和人为污染因素所造成的假异常，为地球化学找矿提供更为直接可靠的信息。

另一方面，由于矿化受岩石构造裂隙的控制，又未遭受表生作用的均匀化作用，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，给岩石地球化学测量的采样理论和测量的方法技术带来许多问题。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等。

岩石测量找隐伏矿的理论基础是：矿床周围发育有比矿床大若干倍的成矿元素和伴生元素的原生分散晕，根据岩石测量所探测到的原生分散晕特征，可指导隐伏矿的追索。

二、岩石测量的研究概况

在岩石测量正式诞生之前，费尔斯曼（Ферсман，1939）等人分析风化岩石中的微量元素与土壤中的异常进行对比研究。我国地质先辈李四光先生于1924年用地球化学思想研究闪长岩侵入体的含矿性（吴承烈，1987）[92]。岩石测量，作为一门学科，则是新中国成立以后的事。岩石测量比其他地球化学方法发展稍晚。40多年来，岩石测量的工作，虽然一直没有间断，也取得了一些可喜的成果，但生产的规模仍然较小。同时，也缺乏系统的总结和理论概括，更缺乏必要的交流与推广。因此，这一颇有前景的勘查地球化学方法，至今仍处于生产试验中。

岩石测量的研究在俄罗斯则是相当活跃的，奥弗钦尼柯夫和格里戈良（С. В. Григорян，1970）对原生晕的形成和实用意义进行了研究。А. А. 别乌斯（А. А. Беус）和格里戈良（1979）[3]对矿床原生晕及其在普查中的应用作了进一步的研究，并指出了原生晕最重要的特征之一是：矿质组分的垂直分带和水平分带。同时提出了表征其分带特征的分带指数的计算方法。В. А. 巴尔苏科夫对成矿和成晕的机理进行研究后指出：成矿理论的发展，是应用地球化学继续进步的基本前提。（国外地质科技，1982№5）。奥泽洛娃（1959）[164]对汞的原生晕进行了广泛的研究，并著有《汞的原生晕》一书。М. 克维亚持科夫斯基（1987）[37]著有《岩石化学找矿法》一书（张国容、邱郁文释，1984）。20世纪60年代初开始试验岩石测量用于区域地质调查，全苏地质研究所（ВСЕГЕИ）、莫斯科稀有元素矿物地球化学与结晶化学研究所〔ИМГРЕ〕等单位相继对岩石测量在区域地质调查中的应用，进行了十多年的研究。70年代末，对该方法作出了全面的总结，并在全苏进行推广。这项研究指出：不仅要研究局部异常，而且还要研究整个测区的地球化学场，研究成矿专属性，划分元素和元素组合的带入带和带出带，利用地球化学资料对地层，岩相进行划分，对构造含矿性和剥蚀水平进行评估等等。1985年С. В. 格里戈良出版了论述次生异常与原生异常对应关系的专著，为区调中所获次生晕资料的推断解释和用原生异常研究地质问题提供了丰富的资料。在数据处理方面，研究出以多元场法为代表的多种图示地球化学场的方法，并用因子分析、主成分分析、判别分析、相关分析等手段对地质体的地质化学特征进行分类和辨认，为解决区调中的地质问题提供了多种手段。1988年苏联《Недра》出版社出版了全苏地质研究所编写的《1∶5万地质测量方法参考书》第15卷《岩石测量和普查方法》，作为对新的《固体矿产化探规范》的一个补充。专门论述了用化探资料解决区调中地质问题的原理。

综上所述，岩石测量方法的应用范围虽在不断扩大，找到矿的案例也不少，但仍未形成生产规模，在我国更是如此。造成这种状况的原因，作者认为，是由于基础理论和方法技术的研究均比较薄弱所致。如原生分散模式的研究和表征，异常的圈定和分带特征的描述，都缺乏理性指导。各家所获资料无法对比，严重防碍了岩石测量方法的发展与交流。其次是应用领域也值得考虑。岩石测量的巨大潜力是找隐伏矿和研究区域地球化学场特征。若将它用于找近地表矿，它的作用远不如土壤测量和水系沉积物测量。

三、工作方法

1. 采样

岩石测量中，样品的采集对象和采样布局是岩石测量的关键问题之一，某种程度上决定着岩石测量工作的成败。戈维特（G. J. S. Govett，1983）曾指出：岩石测量的样品应是岩脉物质，裂隙充填物和似碧玉岩，而不是采集围岩岩块。W. Crone，L. T. Larson，

R. H. Carpenter 等美国学者在金矿床上作了采样物质的对比试验，试验结果表明，围岩裂隙薄膜样品中的 Au、Ag、Hg、Sb 的平均含量要比围岩碎片中高几倍到几十倍。我国谢学锦和邵跃等人[77]的试验结果也得出了相似的结论。我国中国地质大学赵伦山等老师（1993年）[136]介绍了几种不同的采样方案，并作了适当的评述。其中包括丛聚法采样、简单随机采样、规则网格法采样、分层随机采样、目标追踪采样等方法。各国地球化学勘查工作者致力于岩石测量采样方案的研究，其目的在于：提高样品的代表性，抑制矿质组分分布不均所造成的离差，提高对隐伏矿的探测深度和降低成本等。采集各种组合样，既可提高样品的代表性，抑制采样误差，改善异常的连续性，又可以减少样品的采集和分析，降低勘查成本，建议在岩石测量中，以采集组合样为宜（图 3-1）。

2. 测网选择

测网的选择，与各个勘查阶段的地质任务有关，也与采样方案和勘查对象等因素有关。作者认为，正规图幅的岩石地球化学测量，可用地形图的方里网网格（n km^2）作为采样单元，每一个单元网格内的样品数，以 1～3 个组合样为宜，样品数减少了，必须采集岩块组合样（8～10 块，在 4～5 处地方采集组成）或采裂隙薄膜组合样，以提高样品的代表性。物化探异常查证，可采用剖面法采样（见图 3-1）。点距一般以 20 m 为宜，可在 20 m 点距的范围内连续采集岩石碎片或裂隙薄膜组成组合样。对地质体的含矿性评价，可采用连续拣块法采样，并在一定线段范围内组成组合样。这种采样方法，虽不如刻槽取样，但可以明显提高样品的代表性。若研究不同时代地层中微量元素的含量变化特征，也可以采用剖面法采样。剖面的间距和点距可根据测量需要确定。钻孔岩屑测量的点距可在 1～10 m 范围内选择，并在点距的范围内连续采集钻孔岩心中的碎块组成组合样。评价断裂构造的含矿性时，可沿断裂走向随机采样，采样对象可以是断层泥或脉状充填物。在 10～20 m 范围内，采集一个组合样。一个组合样的重量约 500 g 左右。但不要把岩性截然不同的物质组成一个组合样。组合样的采集，特别要注意样品编录。如采样点附近肉眼所观察到的主要地质特征，特别是岩脉出露情况和矿化情况的记录，以利于对分析资料的推断解释。

3. 异常的圈定和浓度分带

异常的圈定和浓度分带，是岩石测量中争论最多的问题之一。首先是对异常下限的理解差异甚大。1976 年在悉尼召开的国际化探会议上，在讨论异常下限时，与会专家一致认为："异常下限是地球化学工作者根据某种分析结果所取的一个数值，据此，可以圈定能够识别出与矿化有关的异常"（原生的或次生的）。对异常下限的这一定义也是很笼统的，不易操作。我国邵跃[77]则提出："以各元素的工业边界品位为基准，往下推一个数量级，作为该元素最高异常值。并以大于最高异常值者为内带含量，然后，依次以其含量的 1/2、1/4、1/8、1/16 作为亚内带、中带和外带、亚外带 5 个级次。凡出现内带浓度的地段，经地表检查，一般均能发现与该元素有关的矿化；在内带异常内，一般均能发现具工业品位的矿化体存在"。邵跃的异常圈定准则和分带方案，提出了边界品位作为基准值。这当然是原生异常圈定与分带中的一种进步，为异常模式的类比提供了一个参照值，但并非完美无缺。首先是边界品位这一数值，是与工业水平和矿石类型等因素有关，也是在不断变化的，并没有什么明确的地球化学概念。其次是"在内带异常范围内，一般能发现具工业品位的矿化体存在"，这种推断似乎超过了岩石测量的推断范围。当有用组分的含量达到了边界品位，也不一定具有工业意义，即使是有用组分的含量和数量均达到工业开采要求，有没有工业

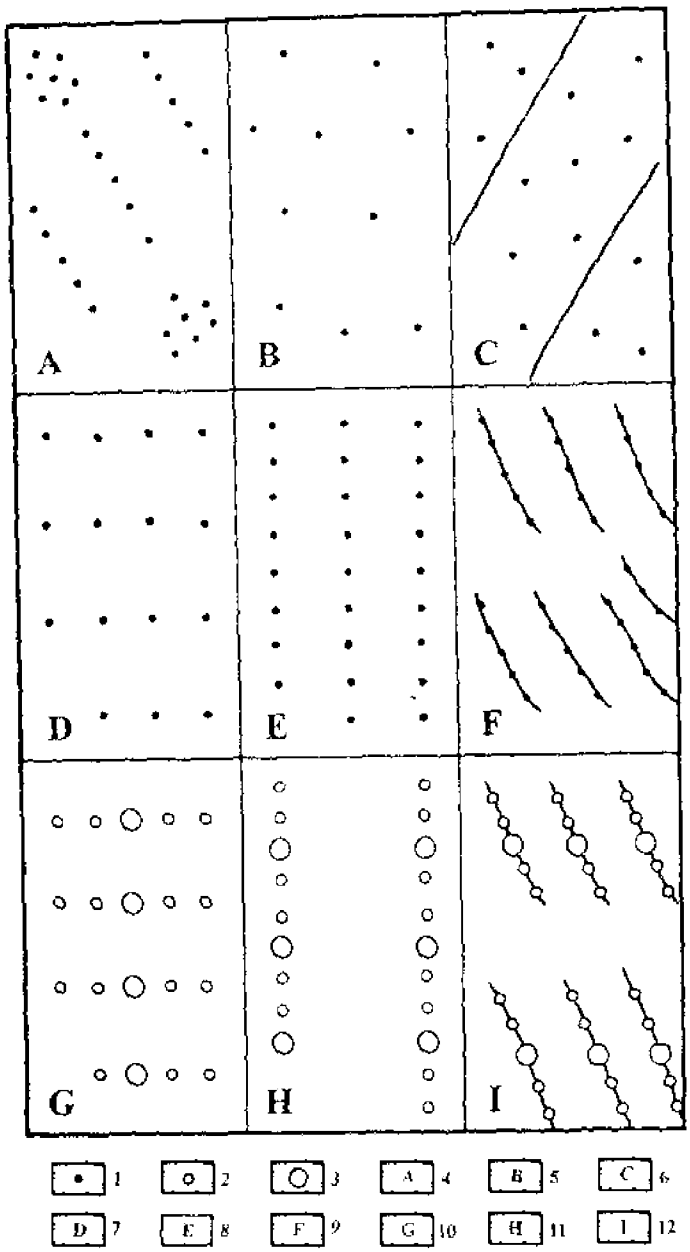


图 3-1　岩石测量采样方案示意图

1—点位；2—子样；3—组合样；4—丛聚采样；5—简单随机采样；6—分层随机采样；7—网格采样；8—剖面法采样；9—裂隙采样；10—按网格采组合样；11—按剖面采组合样；12—按裂隙采组合样

意义还要考虑该组分的可选性和可冶性以及是否有利可图等因素。看来异常的圈定和浓度分带的问题仍有待于在今后的研究中，继续改进和完善，使原生异常模式的研究提到一个新的水平。

4. 样品分析

岩石测量样品中，基物成分的差异甚大，对各种半定量分析方法的分析质量影响比较大。如硫化物矿石样品、铁帽样品、碳酸盐样品的半定量分析结果的准确度较低，必须加强质量检验。

5. 推断解释

岩石测量资料的推断解释，由于工作目的的不同，推断解释的内容各异，这里仅讨论对隐伏矿的预测。

异常特征类比，是一种摸着石头过河的办法。其类比的内容有：

(1) 主成矿元素的异常强度

异常强度可能反映了成矿物质的丰富程度。根据矿床原生晕的研究结果表明，从矿体向外，成矿元素的含量依次降低。由此可以推断，成矿元素异常含量最高的位置，可能是距隐伏矿体最近的位置。值得注意的是，只有分析质量可靠的情况下，这种对比才有意义。

(2) 异常元素组合

异常的元素组合，可能反映了一定的矿化类型。异常元素中，异常元素的归一化百分含量可以作为推断潜在矿化类型的指标。

(3) 浓度分带和组分分带特征

浓度分带和组分分带不能以一个高含量点向外推几个含量级为依据。浓度分带清楚，而且浓度梯度变化较小，表明矿化相对均匀，可能是矿化规模较大的指示。相反，相邻点位上的浓度变化甚大，且无一定方向变化的趋势，可能是细小的脉状矿化所致，表明离主矿化体的位置相对较远。组分分带清楚，不同组分的异常中心沿一定的方向变化，而且相隔的距离也比较大，指示渗滤作用强烈，成矿作用的时间相对较长，可能是有利于成矿元素富集的指示标志。

(4) 异常面积

异常面积的可对比性相对较差，如若异常下限一变，异常面积就随之在很大的范围内变化。在可对比的情况下，异常面积大，反映矿化的规模也相对较大。但对比时，首先必须排除由于岩性引起的异常，否则会误入歧途。

(5) 异常形态

线状异常多与脉状矿床有关；面状异常且具有组分分带，多与斑岩型矿化有关；环状异常多与侵入岩体、火山机构等控矿因素有关的矿化相关联。

为了提高推断解释的水平，提高对隐伏矿的预测效果，还必须对成矿地质条件，物探和遥感异常特征等信息进行类比，并用先进的成矿理论指导岩石资料的推断解释。

四、喷气分散晕的形成及其找矿意义

岩浆岩的侵入和火山喷发，同是岩浆上侵到地壳不同位置的不同表现形式。火山喷发时，有大量的气体和固体尘埃物质向大气散发。同样可以预料，岩浆上侵时也有大量的气体伴随。当岩浆熔融体到达深大断裂时，熔融体外部的压力剧减，形成沸腾，大量的气体组分，从熔融体中分离出来，沿着压力梯度减少的方向逸散，与此同时，岩浆熔融体的巨大热力，对周围岩石的强烈烘烤，使围岩中的易挥发组分转化为气体，从固相中分离出来。这些从液相和固相中分离出来的组分，呈气相存在，它们的活动能力大为增强，在侵入岩体周围形成喷气分散晕（图 3-2-1）。

喷气分散晕具有下列特征：

1) 喷气分散晕在空间上，基本围绕侵入岩体呈环状分布（图 3-2-2）。

2) 喷气分散晕中有大量的含水矿物和易挥发组分，而在邻近岩体部位，存在着无水矿物带，这表明了它们之间的成因联系。

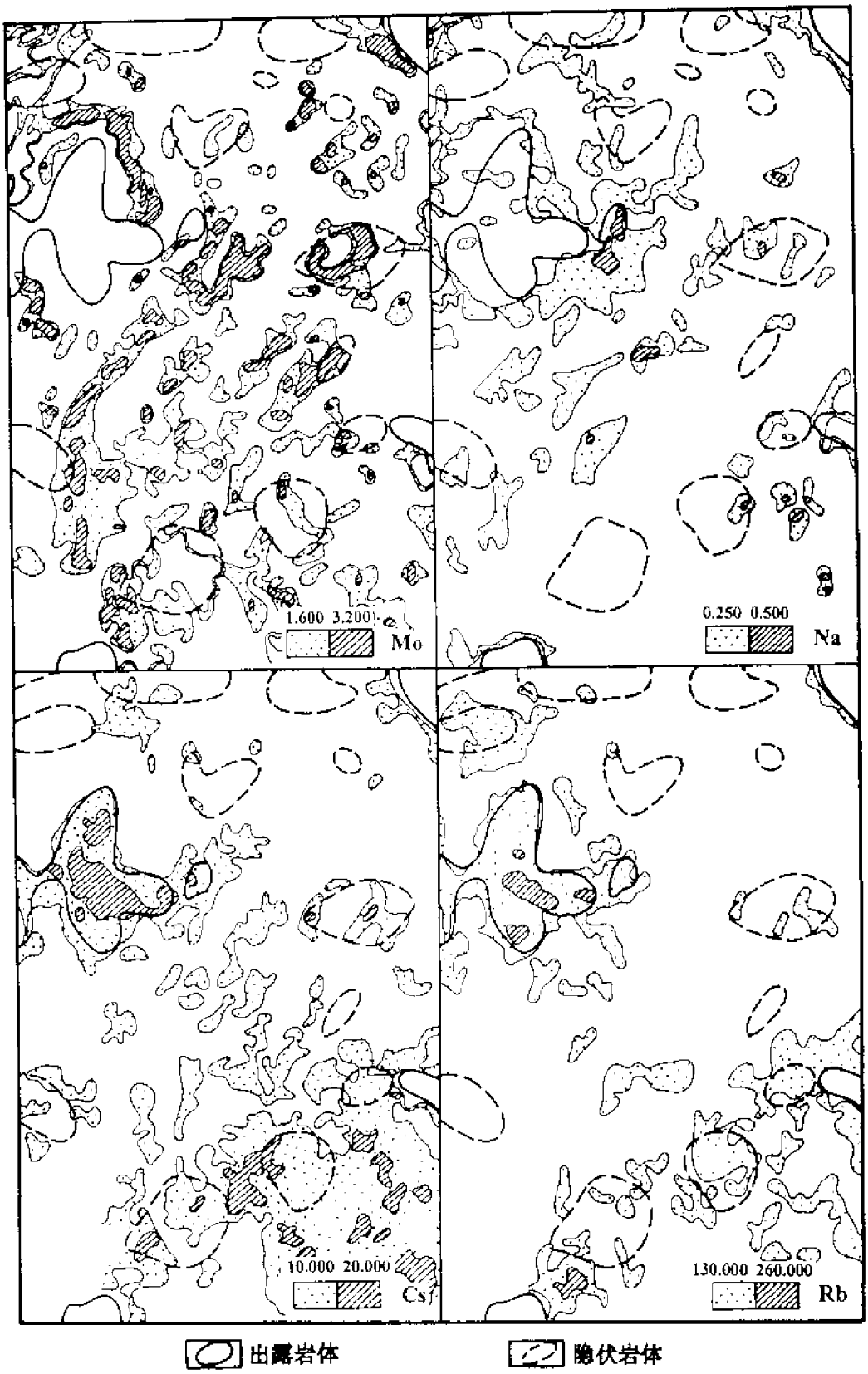


图 3-2 1　湘中地区的喷气分散晕异常图

（元素质量分数：Na 以%计，其余元素以 10^{-6} 计）

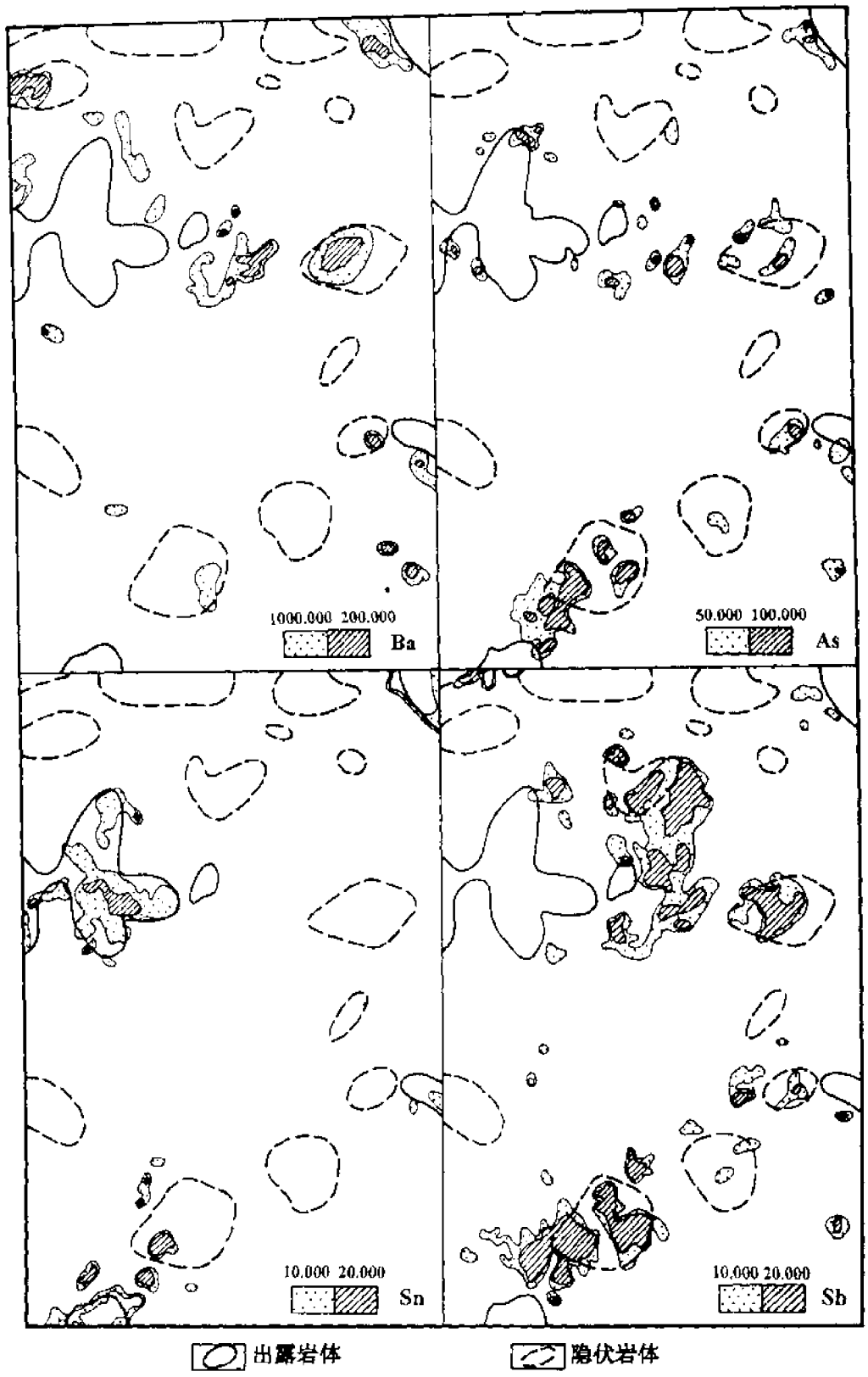


图 3-2-2　湘中地区的喷气分散晕异常图

（元素质量分数：Na 以%计，其余元素以 10^{-6}计）

3）喷气分散晕中，普遍存在着元素组分的分带现象。这种分带也是以岩体为中心，呈环状分带。靠近岩体的部位，多为热稳定性较高的组分，其金属组分多呈氧化物形式存在；远离岩体的部位，多为热稳定性较低的异常组分，多呈气态、气溶胶态或吸附态等形式存在。

4）喷气分散晕中，成晕规模最大的元素，通常是区内主要的成矿元素，反映了喷气分散晕与成矿之间的内在联系（图 3-3）。

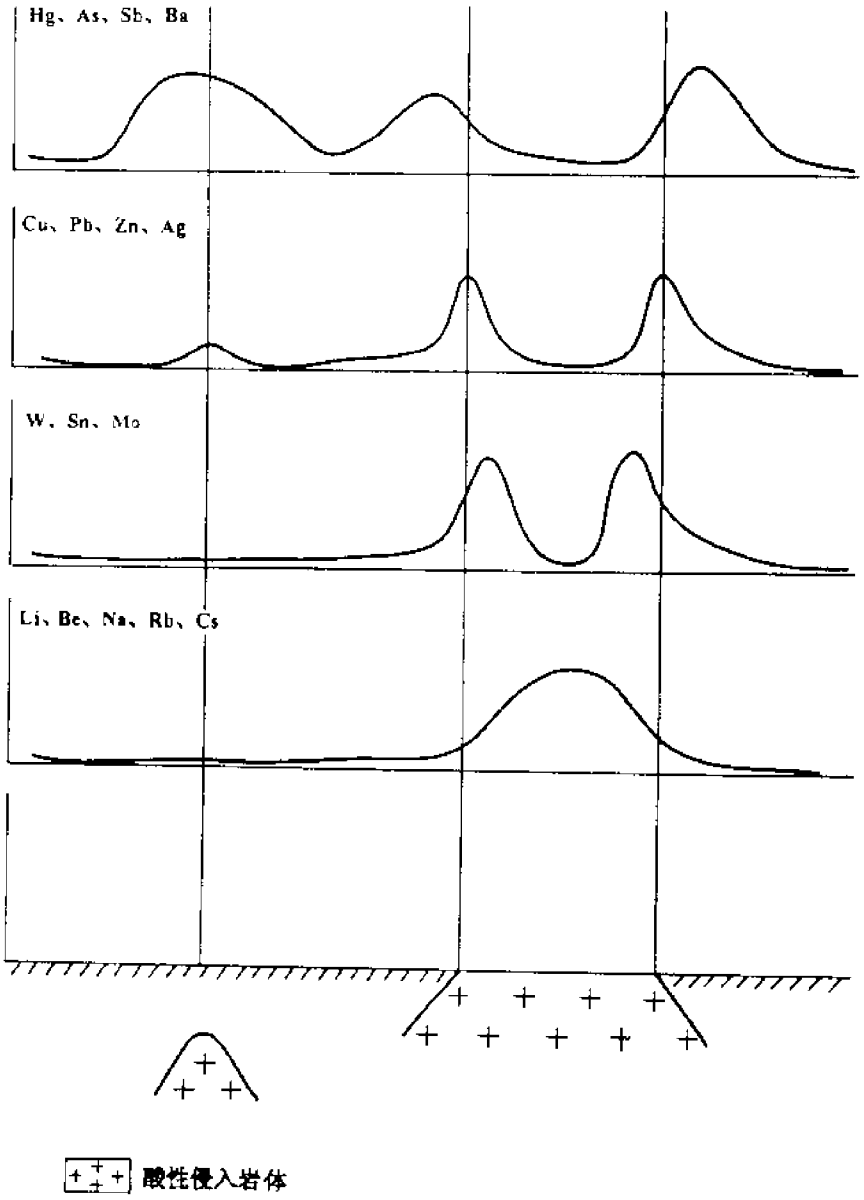


图 3-3　喷气分散晕理想模型示意图

5）喷气分散晕，一般呈区域性分布，主要受岩浆岩和深大断裂的控制。

6）一般情况下，矿床（矿体）的原生分散晕是叠加在喷气分散晕之上。同样，一个规模较大的热液矿床，也常包括在喷气分散晕之中，由此可见，喷气分散晕不仅可以指示区

内的主要成矿元素，而且，还能指明各成矿元素成矿的可能分布范围。由于喷气分散晕的分布范围大，异常的衬值高，是区域地球化学勘查的重要目标。

综上所述，喷气分散晕是所有热源体周围所具有的共同特征，大至地球的环带状圈层构造，小至一支点燃的蜡烛，所具有的环带状光环，只是由于热源体的物质成分不同，大小不同，温度各异，它们的晕圈成分和分布均有所不同罢了。如基性—超基性岩体的组分分带和酸性侵入岩体的喷气分散晕，它们分异的物理化学过程，可能是类似的，主要是由于在高温条件下，物质的热稳定性所决定的，并按热稳定的大小顺序，环绕热源体分布（图 3-3）。

五、矿床原生分散晕的形成及其主要特征

矿床原生晕是在成矿作用的同时形成的。其可能的机理是：含矿热液沿开放性的断裂构造，地层不整合面等通道迁移时，由于环境因素的变化，成矿溶液的平衡遭到破坏，矿质组分结晶析出，在通道中堆积成矿。含矿残余溶液继续沿通道迁移，在主通道周围的围岩中，沿构造裂隙或岩石解理等微细裂隙向外渗滤和扩散（以渗滤为主）的结果。矿床原生晕的组分，也具有分带现象（图 3-4），这种组分分带具有沉淀分带的特征。沉淀分带，是溶液中的元素及配合物按其溶解度或它们在溶液中的稳定性相反的顺序沉淀出来。因此，在原生晕中，矿质组分的沉淀，在时间上有先后，在空间上具有依序排列的特征（图 3-4、图 3-5）。Л. Н. 奥弗钦尼科夫、С. В. 格里戈良等人认为[2]：平衡的破坏是原生晕分带的主要原因之一。而喷气分散晕的分带现象，是热力分异作用所造成的。矿床原生分散晕则是以液相的渗透为主。在喷气分散晕中是以气相的逸散为主。在这两类分散晕中，金属组分的赋存状态也各不相同。在矿床分散晕中，金属组分主要呈金属硫化物存在。而在喷气分散晕中，则主要呈氧化物形式存在，其次呈氯化物“准气态”[162]等形式赋存。由于矿床原生晕通常是叠加在喷气分散晕之上，因此，矿床原生分散晕的异常强度明显偏高，更靠近矿体，呈环状包裹矿体（图 3-2），与矿床周围的热液蚀变基本一致，也可能是同一作用的不同表现形式。矿床原生晕受控矿构造的控制明显，与深大断裂的关系不如喷气分散晕那样密切。矿床原生晕的浓度分带和组分分带是以矿床（矿体）为中心，而喷气分散晕则是以岩体为中心。在隐伏矿床的预测中，准确区分喷气分散晕和矿床分散晕具有重要的实际意义。矿床原生晕的另外一些特征，虽然表现也相当明显，但还需进一步研究证明，如矿床原生分散晕中，元素的浓度分带具有指数变化的特征。组分分带明显，浓度梯度变小可以作为矿化规模较大的指示标志等等。

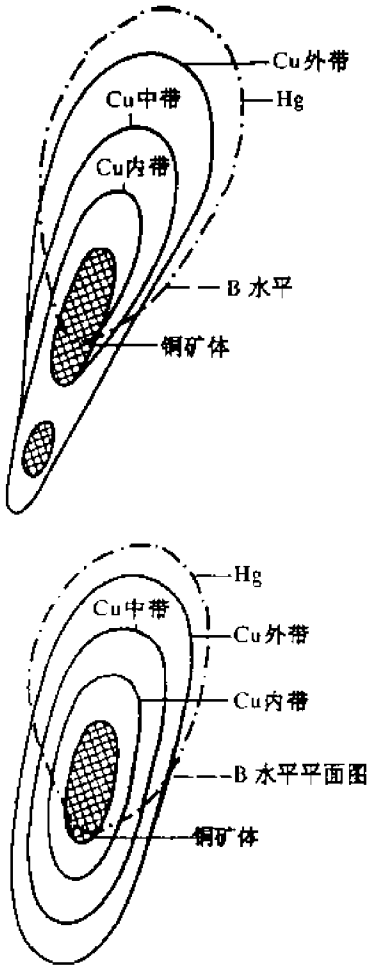


图 3-4　矿床原生晕的分带示意图

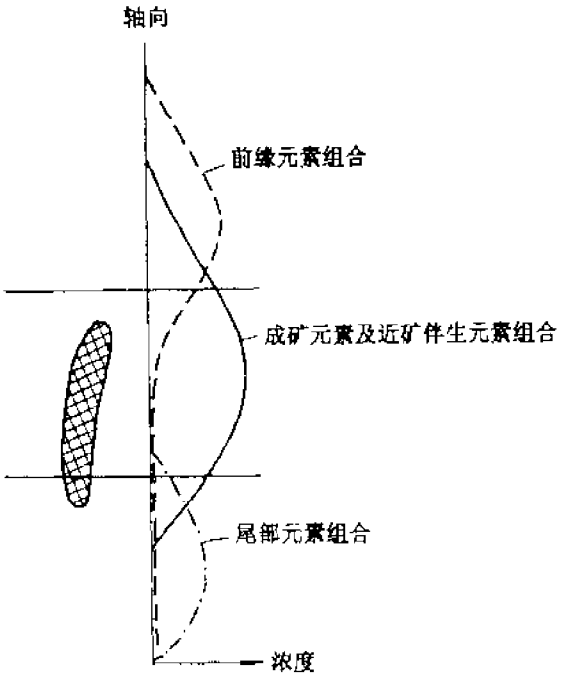


图 3-5　矿床原生晕的轴向分带示意图

第二节　水电化学测量

一、概述

水电化学方法是研究地下水中化学组分的分布规律及在电化学作用下，化学能与电能的相互转化及电化学产物的分布特征，并根据这些特征进行矿产预测的一门边缘学科。

对地球内部电化学现象的研究，起源于 19 世纪初。W.R. 福克斯（W.R.Fox，1966）在康沃尔矿山首先发现了地球内部的电化学现象。19 世纪 20 年代，A.A 彼得罗夫斯基（А. А. Битровский，1924）研究了自然电场的理论和仪器，并在阿尔泰地区进行了试验。此后，许多研究人员参与了对自然电场的研究。其中谢苗诺夫（1955）[123]的专著《自然电场法电法勘探》一书对自然电场的形成，电化学作用的特性及其在地质找矿中的应用进行了深入的研究。该书侧重于电化学场的研究，对于自然电场在地球内部物质迁移中的作用研究甚少。

20 世纪 70 年代末，俄罗斯学者对人工电场作用下的电化学作用过程及其在地质找矿中的应用进行了深入的研究。其中 Ю.С. 雷斯（Ю.С.Рысс，1983）[38]著有《地电化勘探法》，该书对在人工电场作用下的各种电化学现象及其在地质勘查中的应用作了详细的论述，但对发生在地下水中的电化学作用也很少提及。

化学作用过程与电化学作用过程的本质差别在于：在化学反应过程中，反应物之间没有空间上的分离和定向的电子运动。而在电化学反应中，有反应物的定向分带现象。在其中的一个反应带内（或负电极区），一类原子接受电子；而另一个反应带内（或正电极区），

另一类原子献出电子。在空间上分开的各带之间的电荷迁移，化学反应和电化学反应相互关联。化学作用可以产生电流，而电流又可造成化学组分的相互作用和物质转化。无论是自然电场，或是人工电场，都能引起这类电化学现象和物质的相互转化。

在地球的各个圈层中，存在着各种类型的电化学现象，其中尤以潜水面与岩石圈交替带内的电化学作用最普遍和最强烈。其他圈层的电化学现象，大多也离不开水的参与。

在地球的各个圈层中，有众多的高度分散的物质微粒，它们的粒径在 0.1～0.001 μm 之间，当它们散布在大气中，便形成气溶胶，当散布在水中，则成为胶体。这些气溶胶和胶体溶液，由于重力作用，一方面具有向下沉降的趋势，另一方面，由于扩散作用，阻碍了这种趋势的发展。这两种相反的作用，可使气溶胶和胶体在大气和溶液中保持动态平衡。胶体还有许多电化学特性，如胶体的带电特性、电泳和电渗、胶体的聚沉和胶溶作用等等。

当某种物质的粒径达到纳米级时，该物质的物理化学特性与块体相比，将发生更为显著的变化，这些变化表现为：燃点、溶点和沸点的降低，金属物质的颜色变黑，溶解度增高，表面活性增强，迁移能力增大，化学反应加快，甚至可以和气体一样，在液体中穿行，在大气中自由运动。

水电化学的研究对象，是土层中或岩石孔隙中的地下水，其中包括各类井水、一级水系中的地表水及各类上升泉泉水。地下水在地表的露头是分布不均匀的。水电化学的观测网度，严格受地下水露头的制约。因此，水电化学在矿产勘查中一般用于普查阶段或巨大靶区的进一步缩小。隐伏矿的追索，还需与其他方法配合使用。或用打钻的方式，揭露潜水面露头，以便得到必要的水电化学观测网度（和深层取样结合进行）。

水电化学测量还是一门十分年青的学科。它是从水化学，地电化学和自然电场等学科中脱颖而出的边缘学科。目前水电化学的理论基础和方法技术仍然十分薄弱，工作方法也很不完善，但已显示出找浅层掩埋矿和半出露盲矿的良好前景。这仅仅是该方法应用的开端，它在其他方面的应用潜力远未挖掘出来。预计它在监测地下水污染和污水处理、地震预报、地热勘查、研究矿床成因和电化学产物等诸多方面，将获得更广泛的应用。

深入研究存在于地球内部的各种电化学作用过程，有可能为研究大探测深度和高分辨力的勘查地球化学方法提供新的依据。

二、地下水化学成分的形成作用

1. 溶滤作用

岩石中某些组分溶于水的作用称之为“溶滤作用”。岩石在天然水中的溶解度，取决于组成这些岩石的矿物中元素的离子半径、离子价、化学键类型以及它们的物理化学特征。同时，也与水的温度、压力、离子浓度、酸碱度和氧化还原电位等因素有关。溶滤作用一般发生在地下水排泄条件良好、水交替频繁的侵蚀基准面以上的地带，喀斯特溶洞也多产于这些地带。溶滤作用形成的地下水化学成分，与岩性的关系极为密切。溶滤作用的强弱，可用岩石及相应风化土壤中某些易溶元素的比值来表示。表 3-1 是江西地区土壤中与相应岩石中元素的平均含量对比表。从表 3-1 中可以看出，元素在表生过程中的贫化与富集，不仅与元素本身的特性有关，还与岩石的类型有关。在土壤中贫化的组分，通常在地下水中富集。如若水与岩石的相互作用，参与作用的组分是带电的粒子（离子、电子、质子、胶体），则它们从不同相之间的带进与带出，便是带电粒子的带进与带出。它们的定向运动，便是电流。它可使一种符号的电荷聚集在某一种相中，而另一种符号的电荷聚集在另一种

表 3-1　江西地区基岩和水系沉积物中元素平均含量对比表

元　素	Ag	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	F	Ga
基岩	77	5.3	0.77	48	506	2.7	0.5	0.21	0.11	7.9	44	9.6	16	570	17
水系沉积物	89	11	*1.6	56	404	3.0	0.71	*5.8	0.15	10	41	*10	20	496	*18
D/R	1.16	2.08	2.08	1.17	0.8	1.11	1.42	28	1.36	1.26	0.93	1.04	125	0.82	1.06
元　素	Ge	Hf	Hg	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Sb	Sc	Se	Sn
基岩	1.2	5.5	14	32	421	0.64	17	20	405	23	158	0.43	9.8	0.06	4.1
水系沉积物	1.3	*7.5	62	41	434	0.77	17	19	380	34	*156	1.0	8.6	*0.42	5.4
D/R	1.08	1.36	4.43	1.28	1.03	1.20	1.0	0.95	0.94	1.48	0.75	2.3	0.88	7	1.32
元素	Sr	Ta	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	Zr	La	Ce	Nb	Sm	Eu
基岩	114	1.4	16	2940	0.73	3.9	64	2.4	67	191	44	77	35	6.7	1.1
水系沉积物	41	*1.3	1.6	3630	0.72	2.8	58	3.6	61	368	44	*84	*34	*6.6	*1.2
D/R	0.36	0.93	1.0	1.23	0.99	0.72	0.91	1.5	0.91	1.93	1.0	1.09	0.97	0.98	1.09
元　素	Tb	Yb	Lu	Y	SiO_2	Al_2O_3	TFe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	CO_2	
基岩	0.9	2.9	0.44	28	66.0	12.97	3.71	1.60	1.38	4.30	1.14	3.50	2.47	3.31	
水系沉积物	0.87	*2.8	*0.48	30	69.9	11.72	3.50	*1.52	0.61	0.27	0.27	2.22	*5.44	*0.14	
D/R	0.90	0.96	1.09	1.07	1.06	0.9	0.94	0.95	0.44	0.06	0.19	0.63	2.20	0.04	

注：*R*——基岩中元素质量分数平均值；*D*——水系沉积物中元素质量分数平均值；*——用部分土壤代替水系沉积物（据鄢明才，1990）。

氧化物质量分数以 10^{-2} 计，Au、Hg、Ag 等元素质量分数以 10^{-9} 计，其余元素质量分数以 10^{-6} 计。

相中。在不同相的界面上，出现双电层和接触电位差。相反，电荷在相的界面上聚集，阻碍了不同相之间的物质交换，导致物质流、热流和电流在正反方向各自保持平衡。在相的界面上已达到平衡状态的物质，一旦因物质、电荷或热量的加入，或反应物的析出加速，则不同相之间的物质、电荷和热交换随之加速，反应开始出现定向性和电荷的定向流动。

2. 浓缩和稀释作用

干旱或半干旱地区，当地下水的埋深较浅时，地下水受到强烈的蒸发，从而使水中的盐分发生浓缩作用，出现高矿化度的卤水。由于强烈的太阳泵效应，可使毛细水的运动加剧。毛细水的运动，促成了土壤的盐碱化和建筑物基础的侵蚀、道路翻浆、矿质组分的垂向迁移和微量元素的双峰状分布。由于地面的抬升、潜水面不断下降，使微量元素在垂向土壤剖面上呈多峰状分布。雨季地表水增多，地下水补给充足，潜水面上升，地下水中的盐分和微量元素含量大为稀释。潜水面深度的变化，同时，也能引起溶滤作用和电化学作用随之而相应变化。

3. 混合作用

当两种以上化学成分和 pH 不同的水溶液相混时，可以产生中和、水解、胶体聚沉和共沉淀等物理化学过程，发生化学平衡反应，并形成一些新的产物。如带正电的胶体与带负电的胶体相混时，正负电荷彼此相消，两种胶体同时聚沉。相互聚沉是电荷相反的胶体发生静电吸引的结果。天然水和污水的净化处理，大多是以相互聚沉为基础的。

新的胶体沉积物，当与适当的电解质溶液相混时，可重新恢复为胶体（胶溶作用）。这

是由于新沉淀的颗粒重新吸附了电解质溶液中的离子而带电。待获得一定的电荷后，重新恢复为胶体。这是聚沉作用的反过程。

4. 阳离子交替吸附作用

由于溶滤作用的结果，岩石颗粒的表面通常带负电，能吸附阳离子。在一定的条件下，岩石表面将原吸附的阳离子转入水中，重新从水中吸附那些吸附能大的离子。如含硫酸镁的地下水，在渗透过程中，能交换海相粘土中的钠离子。沉积物孔隙中的金属元素，不断与腐殖质吸附的 K、Na、Ca、Mg 离子交换，并在有机质中富集。根据 K. K. 格德罗伊茨（1985）的资料，阳离子的吸附能力，自大而小的顺序为：$H^+ > Fe^{3+} > Al^{3+} > Ba^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Li^+$。阳离子的吸附能随电价的增加而增加，并与该离子在水溶液中的浓度成正比。浓度较大的离子，通常容易被吸附。当温度不变，吸附剂表面上，两种离子被吸附的量与溶液中这两种离子的平衡浓度成正比关系。

即：
$$\frac{n_2}{n_1} = K\frac{c_1}{c_2}$$

式中：n_1—— 吸附剂表面吸附的某一种离子的量；

n_2—— 吸附剂表面吸附的另一种离子的量；

K—— 交换吸附平衡常数；

c_1—— 吸附平衡时，溶液中某种离子的浓度；

c_2—— 吸附平衡时，溶液中另一种离子的浓度。

由此可见，除浓度因素外，吸附能大的金属阳离子，在水中的迁移距离小，吸附能小的金属阳离子，在水中的迁移距离大。

5. 脱硫酸作用

在温度低于 80℃的还原环境中，细菌的还原作用十分广泛。当水中的 SO_4 离子与有机物共存时，因微生物的作用，将 SO_4 还原成 H_2S，从而使水中 SO_4 离子的含量减少，甚至消失，而硫化氢和重碳酸根离子的含量增高。这种地下水多处于油气田的上方，而且还富含来自油气层中的 Br 和 I 及放射性元素等。

6. 脱碳酸作用

碳酸盐在水中的溶解度，取决于水中 CO_2 的含量。当温度升高或压力减小时，水中的 CO_2 含量随之减少，HCO_3^- 与 Ca^{2+} 离子产生沉淀，使水中 HCO_3^- 的含量减少。

$$Ca^{2+} + HCO_3^- \rightleftharpoons CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

岩溶地区的溶洞内，常见到石钟乳、石柱和石笋，便是这种作用的结果。

由于重碳酸岩的分解，碱土金属的沉淀析出，能使水中的钙镁的总含量明显降低。

7. 硫化物矿床氧化带的氧化还原作用

在岩石圈上部的地下水中，存在着氧化还原电位和 pH 值的垂向梯度变化。当岩石圈上部为均匀的介质时，氧化还原电位和 pH 值的梯度呈有条不紊的稳定变化。如若高氧化还原电位和低氧化还原电位之间，有电子导体存在，便形成了一个天然电池，并且出现围绕两个电极的电化学场。在这种电化学场中，阴离子向上移动，阳离子向下移动，而在电场中，则阴离子朝下向阳极移动，阳离子朝上向阴极移动（图 3-6），并在矿体的两侧上方形成双峰状金属异常。邻近矿体，阳极反应的一些产物会向外扩散，而且逐渐被周围的氧化剂所氧化。同样，阴极反应的某些产物，也将向外扩散，在还原介质的作用下，最终被还原，地

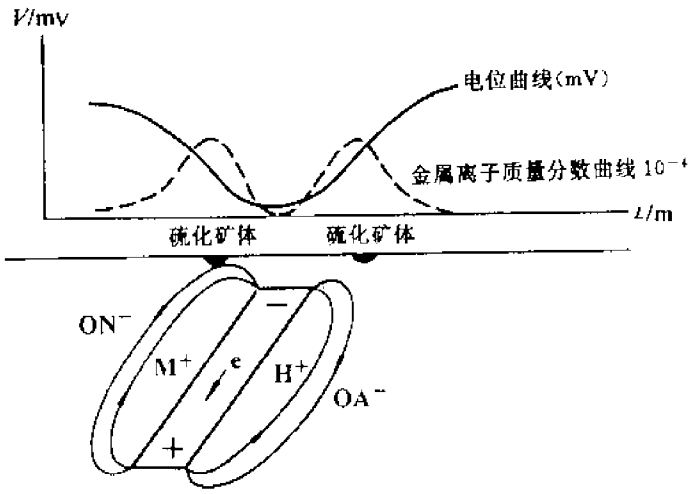


图 3-6　硫化物矿床上方的氧化还原电位和金属离子异常模式

（引自 B. W. Smecc）

下水流促进这些过程的发生，从而维持电流的流动。

由于覆盖层的电阻一般明显低于基岩，使电流的方向在基岩与覆盖层之间急剧转折。在覆盖层中，矿体边缘的电流密度大，在矿体正上方的电流密度小。在电流密度大的部位，离子浓度高；反之，离子浓度小。因此，电化学扩散作用，引起矿体侧翼具有极大值，矿体正上方具有最小值的特征（图 3-6）。

类似硫化矿床上方的氧化还原作用，在煤田和油气田上方也普遍存在，同样可以发现清晰的氧化还原电场和一些特征的电化学产物。

三、化学组分的垂向迁移

1. 地气流的垂向搬运

地球各圈层至今仍在脱气，并在不断通过各种方式和途径向大气排放气体。地球深部排放的气体，沿着各种构造裂隙汇集成地气流。地气流与近地表的水蒸气进一步汇合，便形成沙漠地区常见的上升气流。这种上升气流与强大的地面气流相比，虽微不足道，但仍表现出对地下气体组分和超细微固体物质的垂向搬运能力。

气泡流，是地气流穿过水层的主要迁移方式。气泡流的垂向搬运能力和搬运速度明显大于微细气流。这是因为气泡的表面能吸附肉眼不易见到的固体颗粒，气泡内部还能携带气溶胶组分，一起垂向迁移。在液体的浮力下，迁移速度加快。当气泡流到达潜水面时，气泡被破坏，气泡表面吸附的固相物质被解吸，并逐步被潜水面附近的土层所吸附。在潜水面附近形成金属组分的相对富集。在矿床上方金属组分在潜水面附近的富集更趋明显。气泡破坏后的气体组分，通过扩散等方式，继续向地表迁移。

2. 抽吸作用

在潜水面埋深较浅的干旱地区，由于年蒸发量明显大于降水量，毛细作用和太阳泵效应加剧，使水中的气体组分和盐分不断向上迁移。盐碱化便是这种作用的结果。新疆阜康地区，在毛细作用下，盐分可从地面沿墙体爬升达 10 余米。这是地下水中化学组分垂向迁移的宏观标志。

3. 地下水的垂向运动

当地下潜流流过不透水层时，能使地下潜流的水位不断上升，直至超过阻挡层，继续往下流动。上升泉便是地下水垂向运动的直接指示标志。如云南腾冲等地的一些上升热泉中，常发现有硫化物析出，也是地下水中化学组分垂向迁移的重要例证。

4. 自然电场的作用

B. W. Smecc 用实验资料和野外资料证明电化作用增强了离子的穿透能力，具有能穿透湖底沉积物的能力。从而也证明在块状硫化物矿床上方的运积物覆盖层中，一般发育有离子晕。B. W. Smecc 在他的模拟试验中，采用放射性同位素 Zn 作示踪元素。该试验表明：

可以在覆盖层中快速探测到 Zn^{2+} 向上覆盖层的扩散作用。Zn^{2+} 的穿透距离，可通过增加直流电位而明显增大。这种直流电位，在数值上类似于自然电位。

我们的模拟试验也得出了类似的结论。我们的模拟试验是这样设计的：在一个 40 cm×60 cm 的容器底部放置一薄层硫酸铜，其上面铺 15 cm 厚的湿土层，土层之上放瓷砖。瓷砖之间相距 1 cm，瓷砖上面再铺 5 cm 的湿土，然后在底层和顶层用石墨块作电极，并通上直流电，3 天后，在顶部土层中，能见到与瓷砖形状相似的硫酸铜方框。证明底部的硫酸铜在电场的作用下到达了顶部。同时也证明了，矿体中的离子在自然电场的长期作用下，到达隐伏矿上方的运积层中是完全可能的。

四、水中部分金属离子提取法（水电化学法）

1. 工作原理

该方法是根据在人工电场的作用下，电子导体电极与离子溶液界面之间的电化学反应原理进行工作的。当外电场加于放在水中的两个石墨电极时，水中带负电的离子和胶体朝正极移动。在离子迁移的途中，放置一种选择性吸附剂，将需要检测的成矿元素和伴生元素吸附住。随着电流的流动，所需元素在吸附剂上不断聚集。当通电一段时间后，吸附剂上的金属量足以满足分析方法的需要时，取下吸附剂，并将它密封包装，送实验室检测待测的金属组分。最后根据吸附剂中金属组分的异常特征，预测其深部是否有隐伏矿存在。在水溶液中，金属离子一般为阳离子，理应富集在电极的负极上。无数试验已经证明，在阳极上同样有金属离子聚集。这可能是带负电的胶体在水中吸附了金属离子的缘故。其详细机理尚不十分清楚，但将正负电极上的金属离子合并在一起，其测量结果更具有代表性，地质效果也较好。

在阴极上，电极反应有：水分解反应和反应电位低于水化离子放电电位的金属离子的放电。大多数金属离子与氢氧离子结合，形成难溶于水的化合物。在阳极上，电极反应的主要产物是用于制造电极材料的离子。此外，在该电极上还形成水化氢离子和氧。在某些情况下，负离子也能放电，并形成相应的气体（如卤素、硫气体等）。

2. 水中部分金属离子提取的电极装置

水中部分金属提取的电极装置必须满足下列条件：

1）不能因电极本身的电解，成为多种金属的污染源。因此，要求电极的材料是高纯度的石墨材料制成。若用金属材料制作，会造成金属材料的电解，其电解的金属量大大高于地下水中与隐伏矿有关的金属组分，将导致试验完全失败。此外，供电的导线，特别是导线与电极的连接点，绝不能与水接触，否则，其后果和金属电极相同。

2）导线中的金属材料不能直接与水接触。

3）所有随电流流动的离子必须全部通过选择吸附剂，并被吸附剂所吸附，并不再溶于水。

4）电极间的距离必须保持固定不变。

为了满足上述要求，我们设计了图 3-7 所示的电极装置。两个电极固定在电极架上，可保持两个电极间的距离一定和不容易短路。电极的外面用一多孔帽盖上，可防止电极和吸附剂直接与泥土接触。多孔帽盖可以自由拆卸。吸附剂置于石墨电极和多孔帽盖之间，可确保吸附剂不容易被玷污，同时也能确保随电流流动的金属离子必须经过吸附剂。

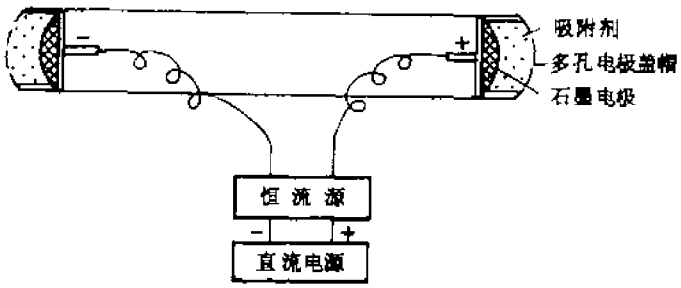


图 3-7　水中部分金属提取电极装置示意图

3. 恒流电源

IO. C. 雷斯在地电化学一书中提出，为了使不同采样点上所获资料具有较高的对比性能，必须保持电流大小一致，作者认为，电流恒定，是提高可对比性的重要因素之一。可能电压恒定更为重要，因为不同离子的氧化还原电位各不相同，只有当电极电位达到该元素所需的氧化还原电位时，才能将该元素捕集，但在同一电路内，既要稳压，又要恒流，特别是对于电池电源而言，线路的难度较大，故采用恒流电路制作试验仪器。为了控制电流大小变化对测量结果的直接影响，我们专门设计了图 3-8 所示恒流源装置。

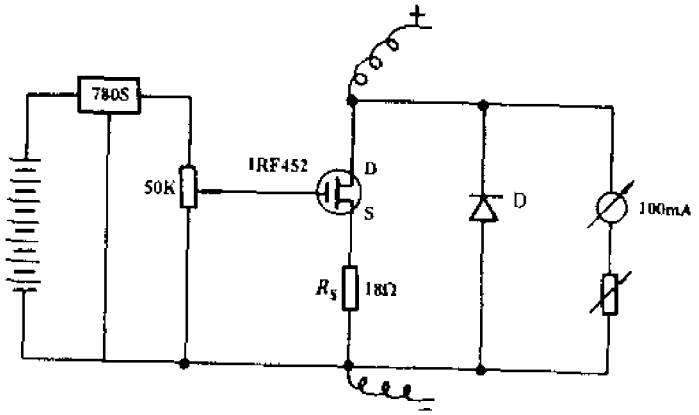


图 3-8　水电提取恒流装置示意图

该恒流电源的电压可在 35～45 V 范围内变化。IRF452 源极—漏极间的电压控制在4～20 V 之间为最佳。电压过大，热耗和热浮移随之增大；电压过小，三极管进入饱和区，不再起稳流作用了。D 为二极管，是防止电源反向时，确保 IRF452 不被破坏。工作电流的大小，可以通过 50 K 电位器调节。每一工区内的工作电流，必须保持一致，确保工区内异常

的可对比性。

4. 野外工作方法

(1) 采样位置的选择

水中部分金属提取法的采样位置应选择在上升泉露头，一级水系的地表径流，裂隙水和民用水井等地下水的露头处，不要在人为污染严重的位置采样。

(2) 采样密度

由于水电化学测量的采样位置受地下水露头的严格限制。而且，地下水露头的分布往往在不同地区是很不一样的，极不均匀。设计的采样密度过大，则无处采样，采样密度过稀，则达不到测量的目的。根据我们以往在我国北方和南方的试验情况来看，采样的密度为0.5～1个点/km^2为宜，这样的采样密度，除干旱区外，基本能保证在拟定的采样范围内，大都能采到样品，又能发现有意义的矿致异常。采样时，沿路线进行（以饮水井为主），确保在地形图的1 km^2的范围内，有0.5个采样点即可。

(3) 方法试验

根据拟寻找矿床的成矿元素和主要伴生元素，选择最有效的吸附剂，最佳工作电压和电流，尽可能减少预富集时间，并能确保所用分析方法能检测出待测的所有元素。这是方法试验所要达到的目的。

(4) 采样步骤

1) 将电池与恒流源连接好。

2) 将恒流源与采样电极连接好。

3) 将吸附剂用水浸透，多次挤压，排除泡塑孔隙内的气体，并让它吸足水，(所用水必须是采样处的水) 直接覆盖在石墨电极上。再将多孔电极盖盖上，并拧紧，防止脱落。

4) 将电极架放入水中。

5) 打开电源开关，将电流从最小调至最大，并记下最大读数，再由最大值调至所规定的数值，(一般为20 mA) 保持预富集时间约15 min。

6) 通电时间到后，将开关拨至关。将电极架从水中取出，拧开多孔电极盖帽，取下吸附剂，将水挤尽，用塑料袋包装，并用记号笔编号。

7) 回驻地后将塑料袋密封存放。

8) 将样品送实验室分析待测元素。

5. 样品分析

样品先在300℃炉温下炭化，后在600℃炉温下灰化。灰化后的样品，加入少量盐酸和双氧水，使灰分中的金属组分溶解，并稀释到一定刻度的体积，用原子吸收或原子荧光法分析待测元素。由于吸附剂中某些待测元素的本底较高，而且含量不均匀，为了防止吸附剂本底对测定结果的干扰，可采用稀盐酸加热脱附法，既不破坏吸附剂，又可降低吸附剂对测定结果的干扰。同时，应当注意的是：样品中金属组分的含量甚微，所采用的化学试剂，必须是高纯度的，而且在生产之前，必须做一定数量的空白试验，以确保测量所需的灵敏度和精密度。

水电化学样品的采集，费时费力，分析时，样品全部耗完，一般不保留副样。因此，分析时，一定要小心，并将剩余的样品溶液保存好，以便重复分析时用。

6. 异常源的追索

水电化学异常源的追索，与水化学异常源的追索相同。由于一个点所代表的面积较大，如一平方公里一个点，即使是一个点的异常，也有 1 km^2 的范围，在 1 km^2 范围内找矿已属不容易了。如若有 4～5 个点的异常，代表了 4～5 km^2 的范围，这时，要追索隐伏矿在那里，如同大海捞针，针对这一课题，作者研制了一种快速追索异常源的方法。该方法的原理是：地下水流是沿近于水平的方向流动的，而壤中气和气溶胶组分则是近于垂直的方向迁移的，这两种迁移方式的迁移方向，为我们追索异常源提供了方便。水电化学异常，通过加密采样后，把异常的中心作进一步圈定。在进一步圈定的水电化学异常的中心部位，布置壤中气气溶胶测量的十字剖面。若气溶胶剖面上的异常组分与水电化学异常的组分一致，并且异常位置也叠合在一起，则该复合异常的位置可能就是隐伏矿的赋存位置（XY），但埋藏深度尚难确定。为了进一步检验这种推断是否正确，还可以在复合异常处，采集深层土壤样或基岩样。若土壤和基岩中，也存在着与水电化学异常相同的异常组分，则异常源的位置就确定无疑了。是不是矿，还需作进一步的勘探。

五、电导率测量

1. 概述

电导率测量是研究水溶液的导电现象及其与矿产分布关系的电化学方法。当其他条件不变时，溶液中电导率的大小，取决于溶液中离子的数量、电荷和淌度。一种溶液的电导率是其中各种离子的电导率之和。因此，电导率只能估算溶液中离于的总量，而不能识别和测定离于的种类和数量。

电解质溶液的导电能力常以电阻率（ρ）的倒数——电导率（γ）来表示。对于一段规则形体的导体（例如图 3-9 中所示的充满溶液的电导池），其电导 G 为

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho}\frac{1}{l/A} = \gamma\frac{A}{l} \tag{1}$$

式中：R—— 导体的电阻；

A—— 导体的截面积；

l—— 导体的长度；

$\frac{A}{l}$—— 对于固定电导池而言是一个常数，以 Q 表示。

故(1) 式可写成 $Q = \frac{G}{\gamma}$　　或　　$\gamma = \frac{G}{Q} = \frac{1}{QR}$ (2)

将待测溶液灌满电导池，按图 3-9 电导仪原理示意图可得

$$E_m = \frac{R_m}{R_m + R_x}E \tag{3}$$

当电导池里溶液的电导率有所变化时，即 R_x 有变化，必将引起 E_m 的相应变化（因 R_x 与 R_m 串联）因此，通过测量 E_m 的大小也就能反应电导池内溶液电导率的高低。

2. 山东邹平隐伏铜矿床上方的电导率测量

邹平铜矿为一中型隐伏铜矿床，运积物覆盖厚达 100 余米，试验土壤剖面通过铜矿体，土壤样品用蒸馏水浸泡 1～2 天，清除土样残渣后，将电导仪探头放入清液中，测定其溶液的电导率大小。其测定结果，与地电化学测量结果示于图 3-10。

六、pH 测量

1. 概述

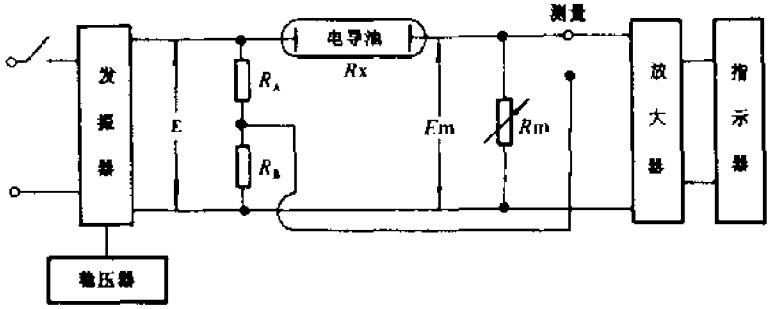


图 3-9　电导仪原理示意图

E—发振器产生的标准化器；R—电导池的等效电阻；R_m—标准电阻器；E_m—R_m 上的分流分压

地下水中氢离子的浓度通常用 pH 值表征。实际上 pH 值为氢离子浓度的负对数，即 pH $=-\lg[H^+]$，当水温在 20℃时，$[H^+]\cdot[OH^-]=10^{-7}\cdot10^{-7}=10^{-14}$。在纯水中，氢离子的浓度与氢氧根离子的浓度相等。即 $[H^+]=[OH^-]=10^{-7}$，当 $[H^+]$ 为 10^{-7}时，即 pH=7，说明水呈中性。当 pH 值小于 7，说明水呈酸性。当 pH 大于 7 时，说明水呈碱性。大部分天然水的 pH 值介于 6～8.5 之间（表 3-2）。

表 3-2　天然水中的 pH 值表

天然水类型	pH 值	备　　注
海　水	8.9	
河　水	7	据 B. M. 戈尔德施密特
大气水	6	
沼泽水	4	

与硫化物矿床有关的地下水中，通常 H 离子的浓度增大，也就是 pH 值变小。pH 值的大小是许多化学组分（如 H_2S、CO_2、重金属等）能否存在于水溶液中的指示标志。同时，也决定某些元素在水溶液中的迁移能力。

测量仪器可用 pHS-19 型酸度计或其他便携式高输入阻抗的电位差计。当要求精度不高时，也可使用 pH 试纸。

2. 山东朱桥地区地下水中 pH 测量

山东朱桥地区地下水中 pH 值的测定结果说明在工业污染不严重的薄层运积物覆盖区内，pH 值的低值异常能圈定金矿化靶区，可作为水中部分金属提取的辅助找矿手段。在老矿山和城市分布区，pH 测量有较多的干扰因素存在。

第三节　壤中气测量

一、概述

利用与矿床有关的气体进行找矿的思想，首先受启于油气田上方油气苗所散发的特殊

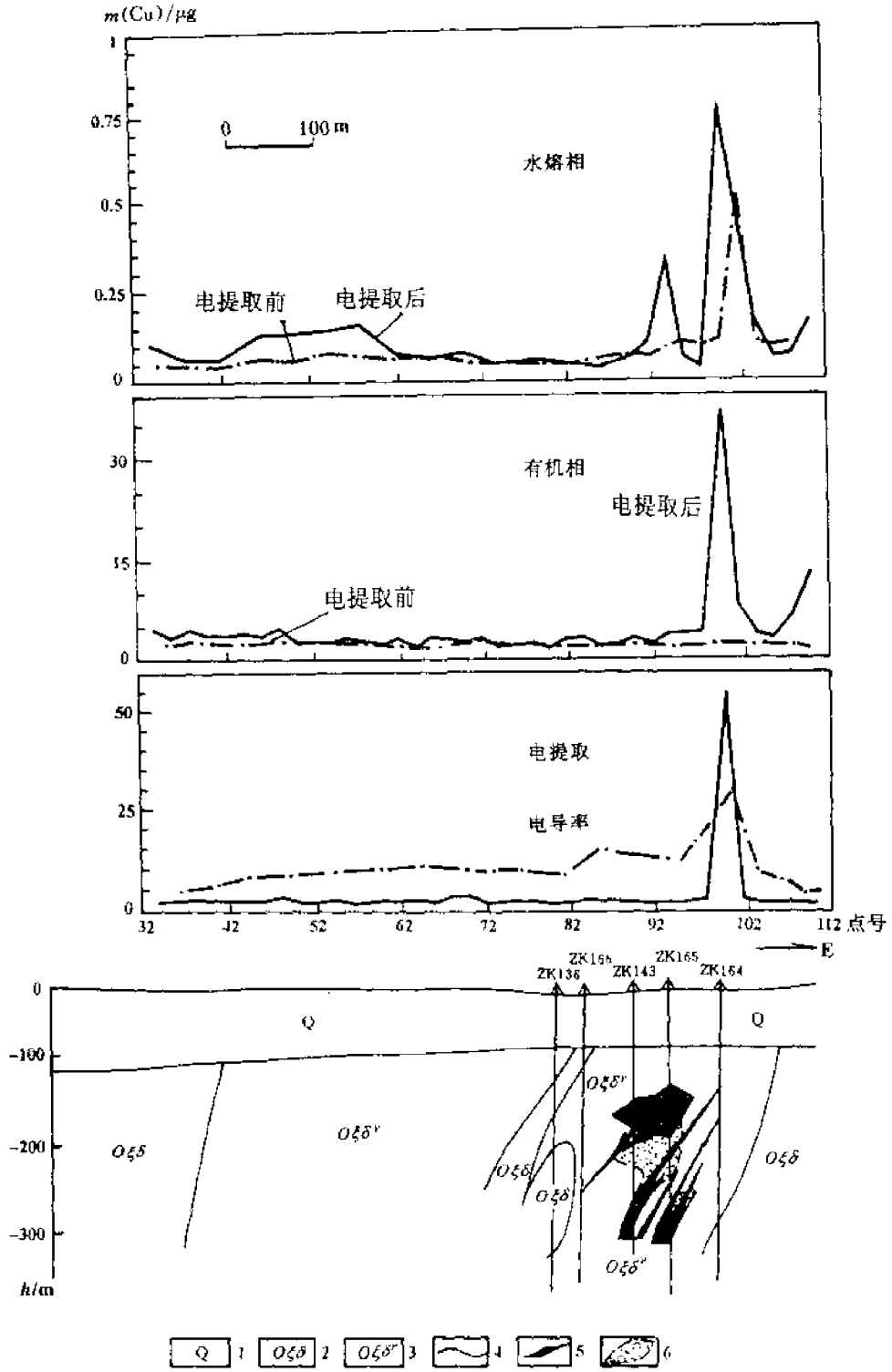


图 3-10　山东邹平铜矿 15 线地电化学综合异常剖面

（图引自原地矿部物化探研究所地电化学组）

1—第四系；2—石英正长闪长岩；3—蚀变石英正长闪长岩；4—地质界线；5—铜矿体；6—钼矿体

气味和汞矿床上方游离汞的存在。1929 年德国学者 G. 劳伯梅尔首次采用土壤吸附烃的异常探测油气藏。1922 年俄罗斯学者 A. П. 基里科夫（А. П. Кириков）[99]用壤中气氡找第四系覆盖下的铀矿床。1946 年，A. A. 萨乌科夫[70]指出，汞可作为找深部隐伏矿的地球化学标志。20 世纪 70 年代初，国际上曾掀起了以汞气测量为主的气体测量热潮。在这次热潮中，测量的气体指标有：Hg、CO_2、O_2、H_2、H_2S、COS、He、Rn、SO_2、Br、I 等。70 年代的气体测量高潮，由于干扰因素多，基础理论研究薄弱，测量精度较低，异常时隐时现，异常位置飘忽不定，在找矿工作中导致的失误较多。至 70 年代末，气体测量迅速转入低潮，除俄罗斯和美国外，其他国家基本上停止了气体测量的找矿试验。

20 世纪 80 代初，由于汞蒸气测量在找金属矿和土壤吸附烃在找油气藏方面的长足进展，重新激起找矿工作者研究气体找矿的热忱。特别是 K. Kristiansson（1984）等人[148]研制出地气法（geogas）后，使金属气体的试验工作，在许多国家重新兴起，而且，给常规的气体测量工作注入了新的活力。尽管地气测量的样品，是固体微粒而不是气体，但壤中气气溶胶异常的分布与气体异常极为相似，而且，还能检测成矿元素的异常，使气体测量从长期处于多解性和间接性的困境中解救出来，将气体测量找隐伏矿的能力提高到一个新的水平。

我国对气体测量的研究比国外起步晚，在开始阶段，各种测量方法大都是从国外引进的。射气测量，是 20 世纪 50 年代中期引入我国（吴慧山等，1995）[99]；汞蒸气测量于 20 世纪 60 年代末引入我国（伍宗华等，1974）；金属气溶胶测量于 20 世纪 80 年代末引入我国（童纯菡等，1991）[85]。尽管气体测量在我国的试验时间较短，凡是国外已开展过的气体测量方法，大都在我国也开展了试验（表 3-3），很快从模仿走向了自立研究的道路。如汞蒸气测量和壤中气气溶胶测量等方面，已经具有自己的特色，并已显示出找隐伏矿的良好前景。同时，也遇到了国外同行所面临的各种干扰因素。若要使测量精度有较大幅度的提高和提高预测隐伏矿的能力，必须一手抓基础理论研究，一手抓方法技术改进，才能彻底摆脱低水平的重复，不断提高该方法的工程化程度。

表 3-3　国外各种气体指标的研究概况

主要的气体	辅助的气体	研　究　程　度
Hg、He、H_2、CO_2	O_2、N_2、Ar、CH_4、Rn、H_2S、SO_2、NH_3	已用于地质填图和矿产普查
F、I、As、Sb	Br、Cl、COS①	做过理论验证部分在试验验证
Au、Ag、Cu、Pb、Zn	K、La、Rb、Ba	需作进一步的试验验证

①国内尚未研究的指标。

二、大气和壤中气的主要组分及与局部地质因素有关的特征组分

气体测量是研究与矿床有关的气体组分的形成及其运动规律用于矿产勘查的一门学科。这些与矿有关的气体组分的形成和运移，多在壤中气和大气中进行。因此，只有了解近地面大气和壤中气的组成及其基本特性后，才能识别与矿有关的气体分散晕，并对隐伏矿进行有效的追索。

1. 近地面大气和壤中气的主要成分

近地面大气和壤中气的主要成分基本相似（表 3-4），主要由 N_2、O_2、H_2、CO_2、Ar 等组成的气体混合物。这说明大气和壤中气之间存在着有效的交换作用和基本类同的成因。从表 3-4 可以看出，大气中的氧，明显高于壤中气，而壤中气中的 CH_4 和 CO_2 则明显高于大气，说明壤中气的次要组分可能是多源的。

表 3-4　大气和壤中气的主要组成

气体组分	大气/%	壤中气/%	大气中的金属组分/(ng·L^{-1})	壤中气/(ng·L^{-1})
N_2	78.084	78～82	He*	0.093
O_2	20.9476	9～20	Ag*	6.053
CO_2	0.0314	0.1～0.5	Cu*	0.617
H_2	0.00005	0.0001～0.0005	Hg**	0.2
Ar	0.934	0.9～1.2		
CH_4	0.602	0.6～13.4		
Rn**	0.23Bq/L	3.7～7.4 Bq/L		

引自 L. Malmqist (1984)；*引自吴慧山，1995；**为实测资料。

从地球的形成和演化来看，大气和壤中气的组成也是处于不断变化之中。目前的大气和壤中气的组成状况是地球长期演化的结果，并将继续演化下去。地球不断以各种方式向大气排放气体。如火山喷发，硫化物矿床和煤矿床的氧化，油气田上方烃类气体的逸散，疏松沉积物的固化和胶体的老化，以及人类和生物的活动等在不断向大气排放各种气体。与之相反，气体向外层空间的逸散，大气降水和气体在水中的溶解，也在不断耗费大气中的气体组分。而蒸发与降雨，人类的呼吸与植物的光合作用，促进大气中各种气体组分的平衡与循环。气体的扩散与对流，促进近地面大气的均匀分布。

2. 与局部地质因素有关的特征气体组分

大气中，气体的扩散和对流是促进地面大气较均匀分布的主要原因。而在壤中气中，这种扩散和对流，由于受土壤的阻碍并不十分强烈。因此在壤中气中，不同组分的分布远不如大气均匀，受局部地质因素和自然景观因素的影响较大，并且能在较长时间内被保存下来。这就是用壤中气测量优于大气测量的主要原因之一。

根据壤中气特征组分的成因和特征，可划分为下列类型：

1）与油气藏有关的特征组分有：正构烷烃、异构烷烃、环烷烃、汞、溴、碘等；

2）与硫化矿床有关的特征组分有：成矿元素和伴生元素的金属组分，Hg、H_2S、SO_2、CO_2、COS、NH_3、Rn 等。

3）与放射性矿化衰变有关的特征气体有：Rn、He、Ar 等；

4）与煤田有关的特征气体组分有：CH_4、Hg、CO_2、N_2 等；

5）与热田和地震活动有关的特征气体组分有：Hg、Rn、As、CO_2 等；

6）与古墓和古文化遗址有关的特征气体组分有：Hg 等。

三、气体分散晕的形成迁移与分布特征

“气体分散晕”是指分布在矿体周围，呈气态赋存于岩石、疏松沉积物、水和空气中的有一定几何形态和浓度梯度的气体地球化学异常。

气体分散晕是矿床形成和演化的产物。它往往经历了多种作用，多期演化，不同的分散和富集过程。按气体分散晕与成矿作用的关系，可分为下列几种类型：

1. 喷气分散晕

产生于热液矿床形成之前，是伴随岩浆岩的侵入而形成。主要是由于热力作用的结果。这种现象可以从火山喷发和高温热田上方散发出大量的气体等现象中加深理解，也可以通过高温高压试验进行模拟，当试验的温度和压力不断增高时，某些物质开始改变原有的相态，最后转化为原子蒸气。岩矿样品的分析中，固体样品被高能源激发成原子、分子或分子集合体。又如高温高压下的水，可以转化为 H_2 和 O_2，该体系中，既具有强的氧化能力，又具有极强的还原能力。当温度下降到一定水平时，某些气体组分，重新转化为固态，分别呈原子、分子或分子团等纳米级物质存在。这些细粒物质具有较高的活性和较大的溶解度。既容易被岩石和矿物的表面所吸附，又容易溶于热水溶液，转化为含矿热液，并进入硫化物的成矿阶段。

2. 同生气体分散晕

“同生气体分散晕”系指与矿床同时形成的气体分散晕。无论是沉积矿床还是热液矿床均可形成同生气体分散晕。

沉积矿床的初始沉积物，必然是疏松和多孔的。其中含有大量的有机质和胶体。随着沉积层厚度的加大和地温的增高，疏松沉积物被压实，胶体开始老化，有机质开始分馏，与此同时，必然有大量的 CH_4、CO_2、H_2O、N_2 等气体组分排出，在沉积矿床上方形成气体分散晕。

在热液成矿作用的过程中，仍然有大量的气体组分参与，并不断进行气液分离。残余气体散布于矿体上方的构造裂隙和岩石孔隙之中，呈气液包裹体或游离气体赋存于矿体及其围岩中，后期的热液活化，部分转入溶液。

3. 后生气体分散晕

“后生气体分散晕”形成于矿床形成之后，其可能的形成机理如下：

(1) 硫化物矿床的氧化与还原

硫化物矿床的氧化，类同于人类的“呼吸作用”(富尔索夫，1983)[163]吸入氧，呼出 CO_2、Hg、SO_2、H_2S、COS、NH_3 等气体。这种“呼吸”作用从矿床氧化时开始，至矿床被完全破坏时终止。其化学作用过程大致如下：

$$2FeS_2+6O_2 \longrightarrow 2FeSO_4+2SO_2\uparrow$$

$$2FeS_2+3O_2+2H_2O \longrightarrow 2FeSO_4+2H_2S\uparrow$$

$$ZnS+4H_2O+Hg^{2+} \longrightarrow Zn^{2+}+SO_4^{2-}+8H^++4H\ g\uparrow$$

$$CaClO_3+H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4+H_2O+CO_2\uparrow+Cl_2\uparrow$$

$$CH_4+2O_2 \longrightarrow 2H_2O+O_2\uparrow$$

(2) 放射性矿床中某些元素的衰变

放射性矿床中，某些元素的衰变是这类矿床上方出现惰性元素气体异常的主要原因。如：

$$^{235}U \longrightarrow {}^{206}Pb + 8He \uparrow$$

$$^{232}Th \longrightarrow {}^{208}Pb + 6He \uparrow$$

$$^{235}U \longrightarrow {}^{207}Pb + 7He \uparrow$$

$$^{40}K + e \longrightarrow {}^{40}Ar$$

$$^{226}Rn \longrightarrow {}^{222}P\ m + He \uparrow$$

（3）油气田和煤田上方烃类气体的逸散

在一定的构造条件下，油田和煤田中的烃类气体可以向上迁移。在上升途中，与上覆岩层中的氧、水及其他组分之间的相互作用，并在细菌的参与下，除形成烃类气体的分散晕外，还产生与油气藏、煤田有关的派生气体分散晕。

如：

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow 2H_2O + CO_2 \uparrow$$

$$CaSO_4 + 2C \rightleftharpoons CaS + 2CO_2 \uparrow$$

$$CaS + CO_2 \rightleftharpoons CaCO_3 \downarrow + H_2S \uparrow$$

如果反应的最终产物 CO_2、H_2S、$CaCO_3$ 能从体系中离去，则烃类气体的氧化和脱硫过程将继续进行。

从上述各类气体分散晕形成的可能机理可以看出：气体分散晕可以在矿床形成前、形成中和形成后形成，但主要是矿床形成后，发生在矿体及其蚀变围岩中的物理化学和生物化学作用产生的。因此，气体分散晕被认为是一种“同生后生晕”，既存在于热液矿床的周围，也赋存于沉积矿床的四周。可用于找寻埋藏较深，矿体尚未遭受氧化的隐伏盲矿床，是一种较理想的找隐伏矿的指示标志，具有广泛的应用前景。

热液矿床的同生分散晕和喷气分散晕，由于受后期各种地质作用的强烈改造，以及表生条件下物理化学条件的改变，原有气态组分，有的已经逸散，有的已经转化成固态或液态。因此，用常规的气体测量方法一般难以发现气体异常，用气溶胶测量、偏提取测量、水系沉积物测量和土壤测量等方法则是检测这类异常的有效方法。与沉积矿床有关的同生气体分散晕的分布，与沉积盆地的性质、沉积环境以及覆盖层的厚度等因素有关。断陷盆地周围的断裂构造和控矿构造裂隙是重要的导气构造。异常在矿床上方呈不连续分布，无明显的浓集中心和组分分带，对于沉积型硫化物矿床，汞异常的强度明显比热液矿床低。在油气田和煤田矿床上方，通常以 CH_4 异常发育为特征。

四、气体分散晕的空间分布特征

1. 气体分散晕的区域分布

该项试验以焦家金矿田为研究对象，以新城金矿为中心，研究 100 km^2 范围内壤中气中气体分散晕的分布特征，测量的密度为 1 个点/（1～4）km^2。这次试验进行了壤中气 Hg、Rn、CO_2 等气体指标的测量，其中某些测量结果分别示于图 3-11、图 3-12。

原以为壤中气的分布不均匀，如此稀的采样密度，不会获得任何结果。从图 3-11、3-12 可以看出，壤中气异常主要分布在焦家断裂带及其次一级的断裂构造带上。主要金矿床也大都处于壤中气异常附近。所测指标中，以壤中气汞与断裂构造的关系最密切，其次是 Rn、CO_2 与矿和断裂构造的关系均不明显。看来，气体测量在区测内探测隐伏断裂构造问题不大。

2. 矿床周围壤中气异常的分布

矿床周围，壤中气异常分布特征的研究以 Hg 为主、多采用横穿矿带的剖面法进行工

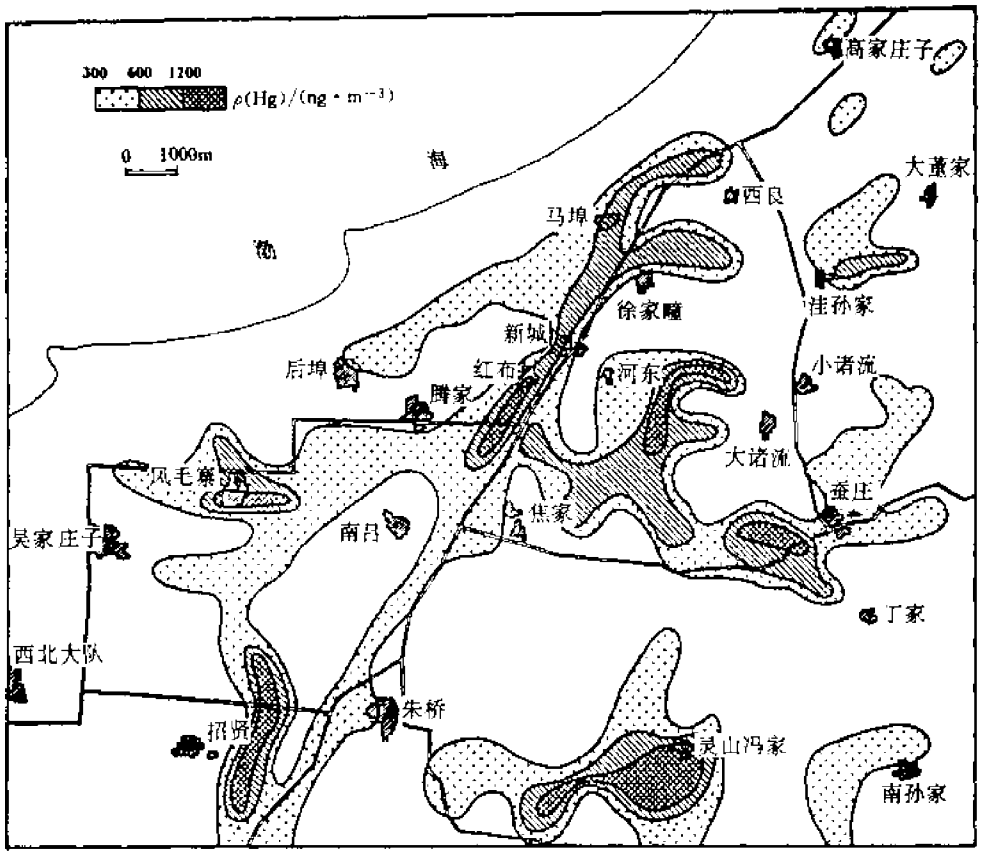


图 3-11　朱桥幅壤中气 Hg 异常图

作。剖面的线距 100～400 m 不等。点距一般为 20 m。曾分别在上海张堡铜矿、甘肃公婆泉斑岩型铜矿等矿床上方进行过试验。其试验结果分别示于图 3-13、图 3-14、图 3-15、图 3-16、图 3-17 中。从图中可以看出，壤中气异常的分布范围比土壤异常和岩石异常都小，在矿体上方呈不连续分布。对于中低温热液矿床而言，其分布的范围与矿体在地表的投影相一致。在矿体的两侧，异常的位移很小。壤中气汞异常主要反映了矿区内的主要控矿构造。

五、壤中气汞瞬时测量

1. 汞的勘查地球化学简介

（1）汞的地球化学特性

汞属亲铜元素，在元素周期表中，位于第六周期第二副族。其离子半径为 0.112 nm，与其他亲铜元素的性质很相近。在内生地球化学环境中，汞常与 Cu、Al、Zn、Au、Cd、In、Ga、Ge、Tl、Re、As、Sb、Bi、S、Se、Te 等元素在热液矿床中富集，是中低温热液矿床的重要指示标志。汞的第一电离势为 10.39eV，第二电离势为 29.06eV。电离势之高，居亲铜元素之首，因而，汞易于从各种化合物中还原成自然汞。自然汞在相当宽的氧化还原电位和酸碱介质区内是稳定的。汞在常温下，具有高的蒸气压。汞的蒸气具有强大的穿透能力，可以从矿源通过各种介质到达地表，是找寻低温硫化物隐伏矿床的重要探途元素。

当水中的氧化还原电位在 20～50 mV，明显低于 $Hg^{2+}\longrightarrow Hg^{0}$ 的氧化还原电位时，Hg^{2+} 易还原成 Hg^{0}。水体中，当 pH>7 时，在厌氧细菌的作用下，可生成甲基汞。水体中

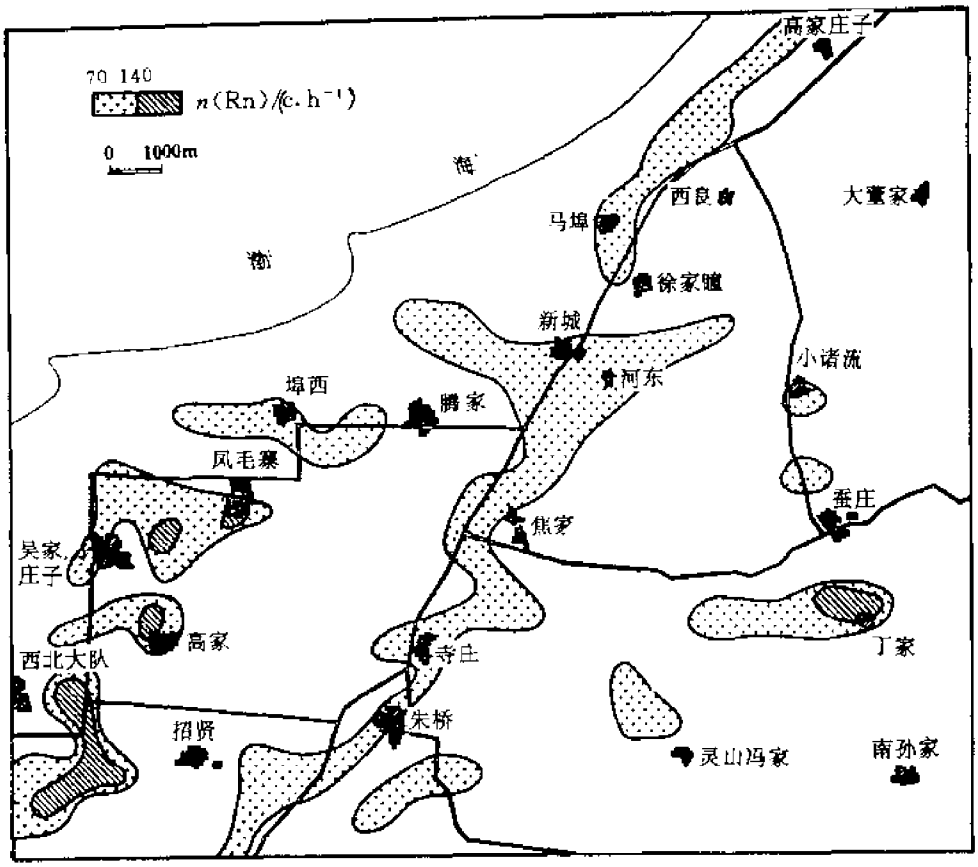


图 3-12　朱桥幅壤中气 Rn 异常图

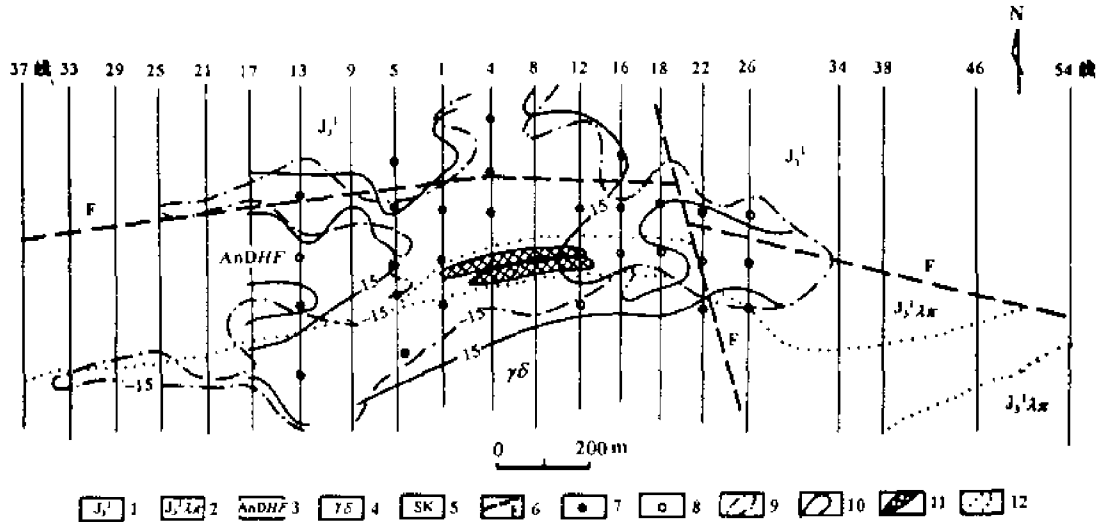


图 3-13　上海张垯铜矿区壤中气汞量重复测量图

1—上侏罗统长石石英砂岩；2—上侏罗统变质流纹斑岩；3—前泥盆系百家村组下段角岩；4—花岗闪长岩；5—夕卡岩；6—断层；7—见矿孔；8—未见矿孔；9—1979 年的测量的异常范围（ng/ m³）；10—1978 年测量的异常范围；11—矿体；12—地质界线

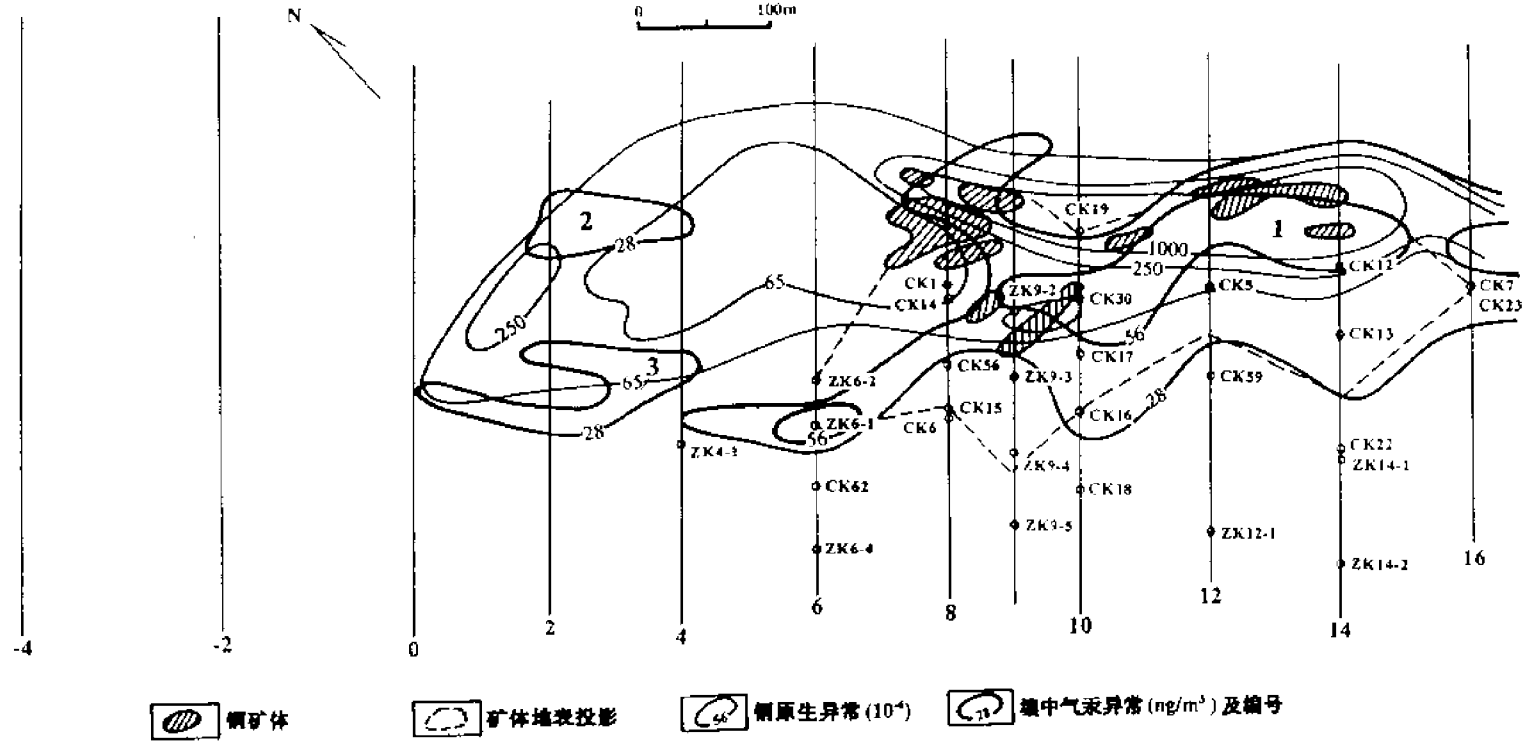


图 3-14　公婆泉铜矿一矿段壤中气汞量分布图

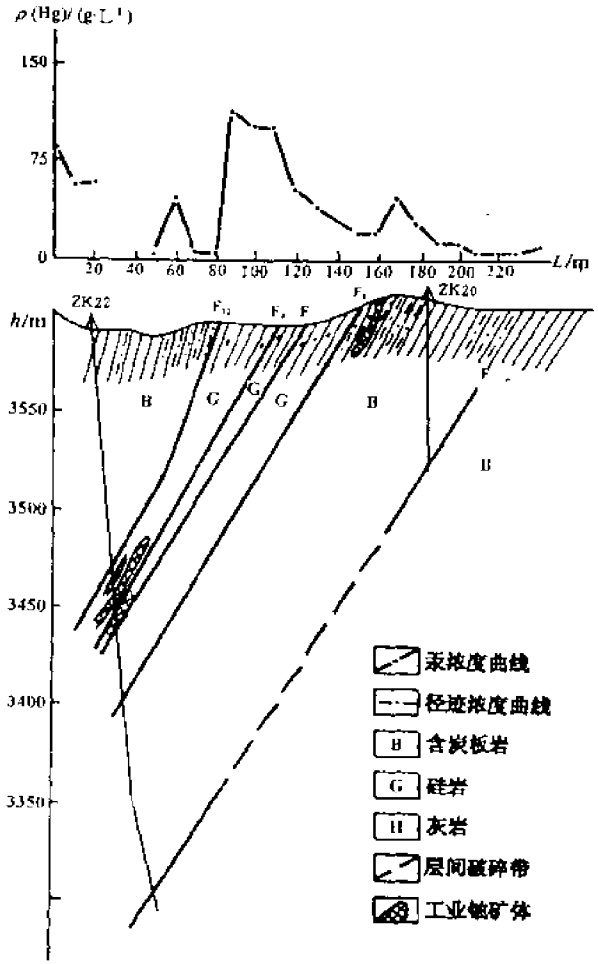


图 3-15　四川某铀矿壤中气汞量剖面图

（根据四川 405 地质队资料）

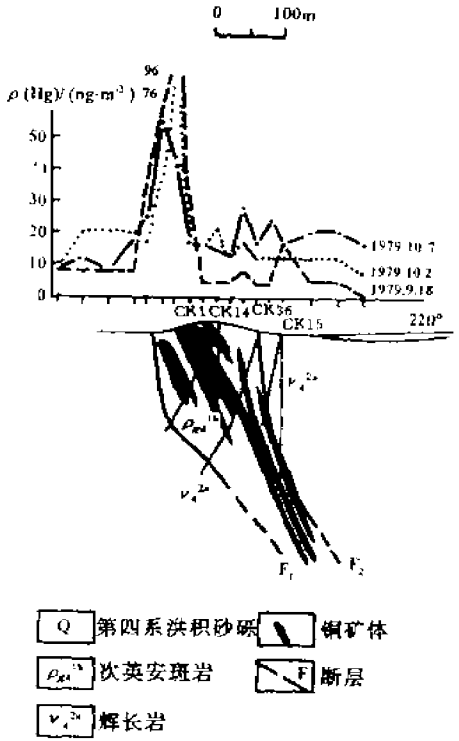


图 3-16　公婆泉铜矿 8 线壤中气汞量异常图

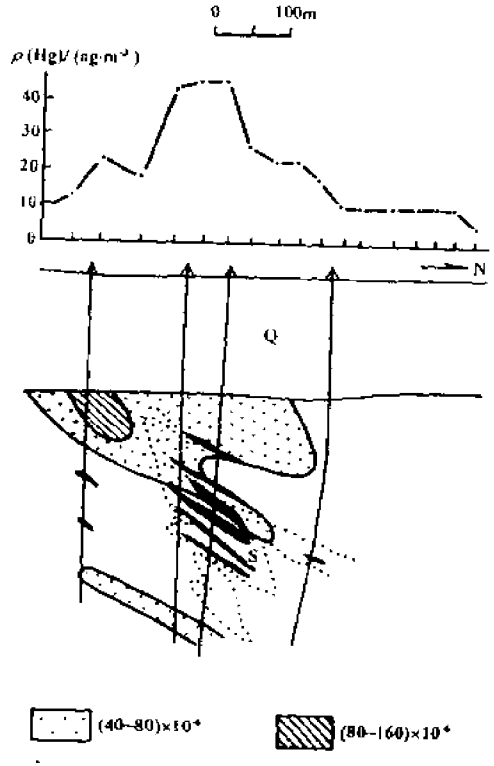


图 3-17　上海张唸铜矿区 5 线汞的地球化学剖面

的自然汞和甲基汞（廖自基，1983）[48]一方面向大气扩散，另一方面被水体中的有机质和胶体吸附沉淀。大量资料表明，即使水系底沉积物中 w(Hg)高达 $n\times1000\times10^{-6}$，而水中 w(Hg)仅 $n\times10^{-9}$甚至更低。因此，富含有机质和胶体的沉积矿床（或沉积岩中）一般汞含量较高。如石油、煤和泥质岩石中，汞的含量一般较高，这与沉积过程中，有机质和胶体对汞的吸附有关。

（2）汞的勘查地球化学发展简史

汞的特殊的地球化学特性，很早就被地球化学家所关注，早在 1946 年，苏联地球化学家 A. A. 萨乌科夫[70]曾预测汞是找寻隐伏金属矿床的重要标志。1955 年谢尔盖耶夫在海达干汞矿山上方，首次发现了壤中气汞异常（伍宗华等，1994）[118]。20 世纪 60 年代中期，由于环境监测汞污染和汞法找矿的需要，高灵敏的汞分析技术有了新的突破。基于不同原理的测汞仪相继问世，促成了 70 年代初国际上出现的测汞热潮。当时该方法的测量精度低，矿产勘查中导致的失误较多。这一测汞热潮很快就转入低潮。作者认为：导致该方法失误多的原因，主要是由于用它进行直接找矿。据我们的试验结果表明：汞异常的分布，大都与断裂构造有关，仅对汞矿床才具有直接指示意义。只有区分与汞异常有关的矿化类型，汞的赋存状态，并结合壤中气气溶胶测量的使用，才能提高对隐伏矿的预测与追索效果。

壤中气汞测量在我国始于 20 世纪 60 年代末，70 年代初，其应用的领域较多，成熟度较高的应用领域有：汞法找隐伏断层；汞法找中高温热田；汞法探测古墓；汞法预报地震和评价水系沉积物金异常等方面。

2. 矿体上方的壤中气汞异常分布

矿体上方的壤中气汞异常，呈跳跃变化，甚至出现异常不连续。壤中气汞异常与矿体中的原生汞异常近于垂直对应，这也证明与矿有关的气体的迁移是近于垂向进行的。

图 3-15 示出了四川某铀矿床与汞异常的倾斜对应关系。

图 3-16 示出了公婆泉斑岩铜矿矿体与汞异常的垂直对应关系。

图 3-17 示出了上海张堰铜矿矿体与壤中气汞异常的垂直对应关系。

从图 3-15 可以看出，壤中气异常的形态受矿体产状的影响较大，异常的位置与矿体的埋深以及和潜水面的变化等因素有关。壤中气异常的强度与该组分在矿体中的含量具有明显的正相关。异常的最大峰值多出现在矿体出露处，或控矿构造延伸至地表处。图 3-18 是矿体产状与壤中气异常的理想分布模式。图 3-19 是地下水的运动和潜水面变化对气体异常的影响。

综上所述，根据气体分散晕找隐伏矿，首先必须区分它们的成因类型和矿化类型，并根据不同类型气体分散晕对潜在隐伏矿的指示意义和影响因素，不断排除干扰，才能提高气体测量对隐伏矿的预测能力。

3. 壤中气汞量测量的应用前提

（1）拟用汞法寻找的隐伏矿床中汞的含量必须明显高于围岩

围岩与矿床之间，汞含量的差异愈大，找矿效果越好。由于潜在隐伏矿床中，汞的含量为未知数，为了便于对比研究，现将国内某些矿床中及矿床上方壤中气汞的含量列于表 3-5。

表 3-5 各类矿石中的汞含量

矿石类型	矿产地	矿床成因类型	平均 $w(Hg)/10^{-9}$	样品数/个	资料来源
钨锡矿	广东银岩	斑岩型	9	29	①
锡矿	广东锡山	石英脉型	44	21	①
	广西大厂	锡石硫化物型	20	1	③
	广西铁板哨		350	2	③
	云南来利山	锡石硫化物型	20	20	
赤铁矿	海南石录	热液改造型	250	4	③
褐铁矿	湖南分水坳	热液改造型	460	6	
	湖北黄梅马鞍山	热液改造型	235	12	
菱铁矿	湖南分水坳	热液改造型	180	11	
	湖北黄梅马鞍山	热液改造型	162	9	
	湖南界江坳	热液改造型	646	2	
	吉林大荒子	热液改造型	1010	4	③
	云南鲁奎山	热液改造型	29	1	
铜矿	上海张堰	夕卡岩型铜铁矿	42	15	
	甘肃公婆泉	斑岩型	20	14	
	湖北石头嘴	夕卡岩型	80	10	
	安徽冬瓜山	夕卡岩型	26	13	②
	江西武山	黄铁矿型	520	8	
	安徽新桥	黄铁矿型	550	15	
	江西富家坞	斑岩型	40	5	
	甘肃折腰山	变质火山岩型	120	2	③
	江苏伏牛山	夕卡岩型	170	10	
铜金矿	湖北鸡冠嘴	高温接触交代型	12	12	②
	江西银山	火山岩型	13	4	④
	江西九区	火山岩型	28	90	④
	江西西山	火山岩型	21	55	④
金矿	广东河台	蚀变岩型	14	20	
	山东上庄	蚀变岩型	29	10	
	山东灵山沟	蚀变岩型	20	8	
	山东河西	蚀变岩型	12	5	
	山东望儿山	蚀变岩型	45	3	
	山东焦家	蚀变岩型	77	6	
	山东新城	蚀变岩型	96	9	

续表

矿石类型	矿产地	矿床成因类型	平均 $w(Hg)/10^{-9}$	样品数/个	资料来源
金矿	山东河东	蚀变岩型	80	4	
	山东三山岛	蚀变岩型	23	3	⑤
	山东平度旧店	蚀变岩型	21	3	⑤
	山东东店	蚀变岩型	73	3	⑤
	北京平谷关上	蚀变岩型	29	1	⑤
	新疆哈图	蚀变岩型	139	10	
	河南上官	蚀变岩型	254	10	
	河南嵩县	石英脉蚀变岩型	473	4	⑤
	内蒙古索虎沟	蚀变岩型	322	5	⑤
	甘肃郝泉沟	蚀变岩型	756	3	⑤
	山东北截	蚀变岩型	772	3	⑤
	吉林夹皮沟	石英脉型	4945	14	⑤
	吉林海沟	石英脉型	4959	4	⑤
	甘肃某矿点	石英脉型	1901	5	⑤
	河南崤山	石英脉型	1794	4	⑤
	内蒙古红花沟	石英脉型	934	3	⑤
	浙江半丘	石英脉型	1841	4	⑤
	广西龙水	石英脉型	1685	1	⑤
	广东某矿 1	石英脉型	628	6	⑤
	广东某矿 2	石英脉型	169	3	⑤
	新疆哈图	石英脉型	309	6	
	平谷上镇	石英脉型	323	2	⑤
	蓬莱齐家庄	石英脉型	237	4	⑤
	山东招远玲珑	石英脉型	148	3	⑤
	吉林石棚沟	石英脉型	149	2	⑤
	湖南黄金洞	石英脉型	140	38	刘荫椿，1989
	广西初洞	火山岩型	544	6	⑤
	广东庞西垌	蚀变岩型金银矿	352	9	
	广西张松岭	多金属型	466	7	⑤
	四川 510 铀矿	细脉浸染型	29400	7	⑤
	陕西二台子	细脉浸染型	49034	10	⑤
	甘肃某矿点		34837	10	⑤
铅锌多金属矿	甘肃小铁山	变质火山岩型	11282	4	⑤

续表

矿石类型	矿产地	矿床成因类型	平均 $w(Hg)/10^{-9}$	样品数/个	资料来源
铅锌多金属矿	甘肃折腰山	变质火山岩型	8190	1	⑤
	广东凡口	海相碳酸岩型	60960	5	③
	江苏栖霞山	海相碳酸岩型	22960	5	③
铀　矿	四川 501 铀矿	超低温热型液	27000	15	
雄黄矿	湖南界牌峪	低温热液型	9610	10	
汞　矿	广西玉兰	低温热液型	16300	1	
	陕西公馆	低温热液型	18500	20	
煤　矿	新疆东准		3500	5	

注：①谢勇（1983），广东银岩锡矿原生晕及原生分带研究；

②徐外生等（1990），隐伏矿的地球化学找矿方法技术研究；

③全国第一届测汞经验交流会论文摘编，1984；

④赖益民（1991），江西银山多金属矿床地球物理地球化学异常模式，《矿产与勘查》；

⑤游云飞等（1989），汞在金矿床的分布及地质找矿意义，《全国金矿物探、化探、测试工作文集》汇编。

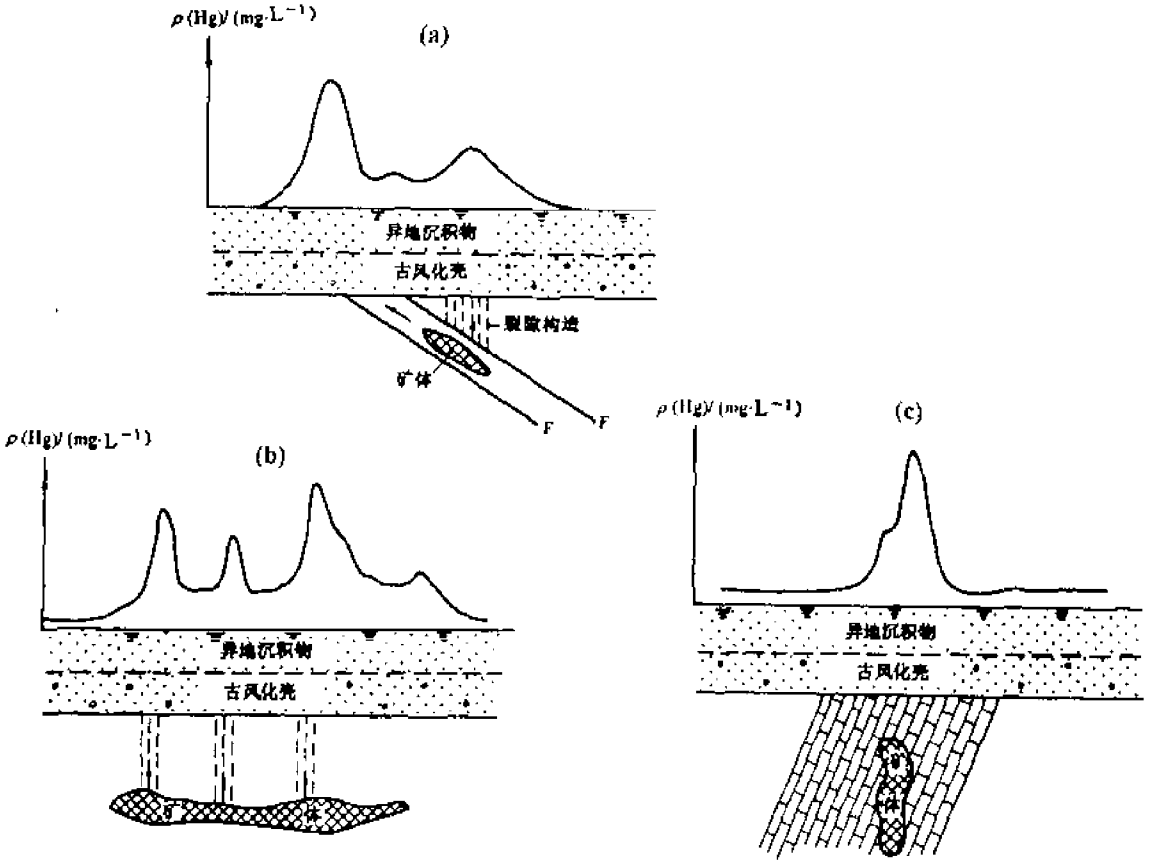


图 3-18　矿体产状与壤中气汞异常的理想分布模式

(a) 倾斜产出矿体；(b) 水平产出矿体；(c) 直立产出矿体

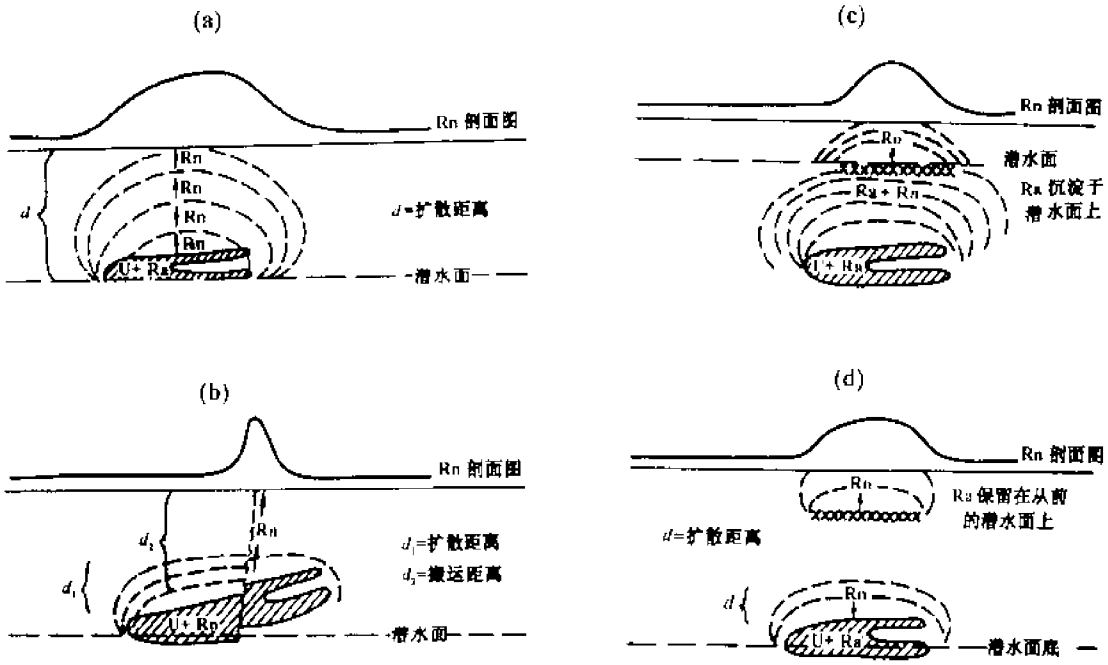


图 3-19　土壤层氡气测量的异常模型

（引自吴慧山）

从表 3-5 可以看出，各类矿床上方壤中气汞的含量差异甚大，它们的平均含量变化趋势是，汞矿床＞煤田＞石英脉型金矿床＞铅锌多金属矿＞蚀变岩型金矿＞热液型铁矿＞夕卡岩型铜矿床＞斑岩型铜矿＞钨锡矿床。

（2）必须有一定数量的原生矿存在

矿床分散晕的固、液、气三种相态处于平衡状态，原生矿石中的汞，是各种相态汞的供给源，是维持硫化物矿床的氧化还原和动态平衡所必须具备的条件。一旦原生硫化物被完全氧化或被剥蚀殆尽，汞失去供给源，固、液、气三相之间的平衡被破坏，汞的气体分散晕随之减弱，或完全消失。

（3）疏松覆盖层的厚度应在 0.5 m 以上

连续 0.5 m 以上疏松层的存在，是壤中气贮存和样品采集所必需的条件。若疏松覆盖层过薄或完全缺失，则与矿有关的气体直接从岩石裂隙向大气散发，无法采集到壤中气样品，或使测量精度降低，或异常不连续。

（4）干旱和半干旱地区有利于壤中气分散晕的形成

潜水面埋深较大，地表土层干燥，从基岩裂隙中逸散出来的气体，通过疏松层的聚集，不仅使气体异常含量增高，而且可使异常的分布相对均匀而连续，有利于提高测量的精度，相反，潜水面埋深过浅，表土层潮湿，不利于壤中气测量。

（5）天然的和人工的近期堆积物不宜进行壤中气测量

在河床中和探槽堆积物附近，不宜采壤中气样品，主要是由于壤中气未能与周围新的堆积物建立起动态平衡，使所测结果明显偏低或根本测不出异常来。

4. 工作前的准备

(1) 分析设备与所需材料

高灵敏度的测汞仪（XG-3、JM-3、HGG-3、SG-4Z），脱汞炉、微量注射器、饱和汞蒸气瓶和汞蒸气体积与浓度换算表等。

(2) 采样工具

1.3 m 长的钢钎一根（ϕ25 mm）、8 磅铁锤一把、螺纹锥形采样器一个、大气采样器（或抽气筒）一台、捕汞管 80～100 支、除尘过滤器 1～2 个、硅胶管 1～2 m（连接用）、静电滤膜 30～40 片。

(3) 捕汞管的净化和质量检查

新出厂的或和长期未使用的捕汞管，其吸附剂（金丝、活性炭、镀金石英砂等）表面吸附有大量的汞和微尘，首先应用热稀硝酸处理，再用蒸馏水冲净，在 800℃炉温（应根据吸附剂而定）下净化处理，然后，进行一致性检查，观察捕汞管是否漏汞，释汞是否完全。检测捕汞管时，使仪器处于最灵敏状态。用硅胶管将捕汞管和仪器连接好，调节载气流量为最佳状态。分别往每支捕汞管中注入一定体积的饱和汞蒸气（汞量约 1 ng 左右），观察仪器是否有读数，若有读数，说明该捕汞管有漏汞现象，需要进一步处理。将不漏汞的捕汞管在 800℃脱汞炉中（脱汞炉温度应根据捕汞管类型选择）进行脱汞测定。其测定结果，按下式计算相对误差（*RE*）。

$$RE=\frac{x_i-\bar{x}}{\bar{x}}\times 100\%$$

式中：$\bar{x}$——全部检测捕汞管的平均读数；

$\bar{x}_i$——某一检测汞管的读数。

相对误差 $RE\geqslant 10\%$ 的捕汞管为不合格，必须作进一步的处理。

有漏汞现象和 *RE* 大于 10%的捕汞管，可用稀硝酸再处理一次，并按上述方法重复检测。仍不合格者，应当退还生产厂家，不能继续留用。

捕汞管长期使用后，其吸汞和脱汞的效率将变坏，导致捕汞管的一致性变差。据统计，每支捕汞管，连续采集壤中气样品达 30 次或捕集土壤样品中的汞达 6 次以上者，也必须用稀硝酸清洗，并按上述方法进行质量检查。

(4) 踏勘与方法试验

1) 资料收集。全面收集和研究区内有关的地质、地球化学、地球物理、地形地貌、水文地质、气象、第四纪地质和可能的各种干扰因素等资料，从而选择合理的工作方法和抗干扰措施，为编写设计与测量结果的推断解释提供依据。

2) 方法试验。凡未进行过壤中气汞量测量的地区，在开展大规模生产工作之前，应在该区的已知矿床或矿点上进行方法试验，以确定在该区的地质地球化学条件下，拟寻找矿床类型的合理采样布局和最佳采样量，并尽可能取得其他方法的对比资料，为制订综合找矿方案提供依据。

5. 采样布局

壤中气测量的采样网度和采样密度，应根据地质任务、成矿条件和工作程度合理选择，为了寻找新的成矿远景区的壤中气测量，可选用 1∶5 万到 1∶10 万的比例尺。石油和天然气的普查可选用 1∶10 万或 1∶20 万的比例尺。为了圈定成矿有利地段和确定矿体赋存部位，查明矿化带的分布和规模，可选用 1∶5000 到 1∶2000 的比例尺，各种比例尺的测网

规格列于表 3-6 供参考。

表 3-6　各种比例尺的测网选择

比例尺	矩形测网/m	正方形测网/m	自由测网/（点·km^{-2}）
1∶20 万	2000×500～1000	1000～2000	0.25～1
1∶10 万	1000×250～500	500～100	1～4
1∶5 万	100×100～250	250～500	4～16
1∶2.5 万	250×50～100	100～250	
1∶1 万	100×20～50	50～100	
1∶5000	50×5～25	25～50	
1∶2000	20×5～10	10～20	

矩形测网，适用于寻找细长的地质体，其优点是：当脉状地质体的大致延伸方向为已知的情况下，用较少的工作量，能准确圈定拟寻找地质体的位置和延伸方向；正方形测网适用于找寻等轴状地质体和情况不明的对象；自由测网适用于水网复杂或地形复杂通行不便的地区。

6. 样品的采集与存放

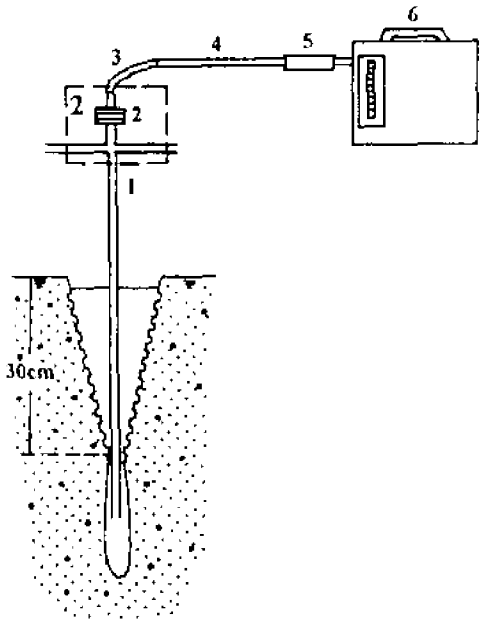


图 3-20　壤中气汞测量采样示意图

1—螺纹锥形采样器；2—双层静电滤膜过滤器；3、5—硅胶管接头；4—捕汞管；6—大气采样器

当今世界上，最灵敏的测汞仪，由于仪器的灵敏度和抗干扰能力等问题，均不能直接检测壤中气中的汞，必须通过金汞齐等方法进行预富集和除干扰。壤中气汞瞬时测量的采样步骤是：在预定的点位上，清除 5～10 cm 的表土层，用钢钎在清除表土处打一个 0.4～0.6 m 深的小孔。拔出钢钎后，立即用螺纹采样器旋入孔内 0.2～0.35 m 深处，用硅胶管依序将螺纹采样器、除尘器、金丝捕汞管和大气泵（或气筒）连接好（图 3-20），并按方法试验选择的最佳采样量（一般为 2～3 L）抽取壤中气样品。

壤中气汞测量的采样质量涉及到整个工作的成败，应注意下列事项：

1）采样的位置应选择在土层较厚，无碎石堆积和新近人工堆积物的地方；

2）拧采样器时，不能左右摇摆，确保采样孔与大气不连通；

3）要经常检查螺纹采样器和硅胶管是否漏气和被玷污；

4）采样流量以 1L/min 为宜，并注意观察流量的实际读数和流量的稳定性；

5）在干旱和半干旱地区工作时，必须经常观察滤膜上的尘土量，尘土过多，要及时更换滤膜；

6）采好样的捕汞管，要依序妥善存放，不能存放在汞源和烟尘多的地方。如用烧煤取

暖的房子、厨房等地不宜存放捕汞管。所采样品要求在24 h内进行检测，以防捕汞管吸收周围环境中的汞，对测定结果造成严重干扰。如有特殊原因（停电、仪器出事故等）样品需放1～2 d时，捕汞管需要密封存放，并留一些空白捕汞管作为监控用；

7）每天留下2～3支空白捕汞管，用子监控环境的汞量变化，并在相同的条件下进行测定。如若发现空白捕汞管沾污严重，应及时查明原因，沾污原因尚未排除之前，应停止生产，以免造成浪费。

7. 样品分析和分析质量检查

（1）样品分析

将预富集好的壤中气汞样品，在800 C的炉中脱汞30 s，并以0.5L/min的大气为载气。将脱附的汞蒸气抽至测汞仪的吸收室，进行原子吸收测定。

用0.25 mL的注射器，分别抽取0.05 mL、0.1 mL、0.15 mL、0.2 mL、0.25 mL的饱和蒸气注入净化好的捕汞管中（载气流量0.5L/min），然后依序进行脱汞测定，记下相应的吸光度读数。查饱和汞蒸气和汞浓度的关系表，将饱和汞蒸气换算成汞浓度，将汞浓度和吸光度读数制作标准曲线（图3-21）。最后，将所有样品的吸光度读数按标定曲线换算成汞浓度。

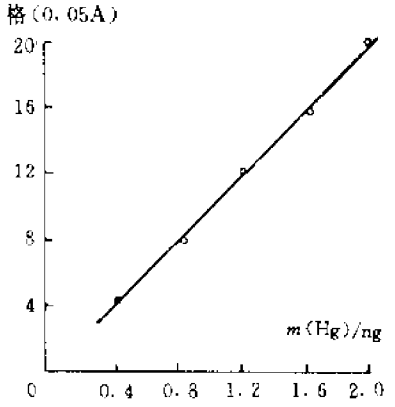


图3-21 XG-3型测汞仪标准曲线

（2）测量质量评价

1）报出率：系指能报出分析结果的样品数占总样品数的百分率。报出率大于≥90%为合格。

2）相对误差和合格率：壤中气测量具有下列特点：所采样品仅能进行一次测定，进行重复检测时，必须重新采样。与矿化有关的汞气分散晕的分布，是极不均匀的，容易造成较大的采样误差。加上气象因素的影响，壤中气测量质量的评定，通常分两个阶段进行。

第一阶段：每天进行10%的重复抽查，测定结果用相对误差（RE）来评价，$RE\leqslant 30\%$为合格

$$RE=\frac{|c_1-c_2|}{c_1+c_2}\times 100\%$$

所有重复检查的样品要求合格率必须≥80%，达不到该指标者，必须查明原因，并进行重复测量。

第二阶段：检查异常地段是否重现。特别是对单测线上的异常地段，必须进行重复检查。根据基本观测与检查测量的结果对比，如若异常的形态和位置基本一致。同时，有50%的异常点重复出现，则认为测量的质量合格，否则，要进行第三次测量，如再次证明基本测量有问题，则此次检查期内的全部工作量应予以报废处理。

六、壤中气汞累积测量

该方法是基于壤中气汞瞬时测量受气象等因素的影响和测量精度不高而研制的，主要用于详查测量。

1. 吸附剂

由5%的KI和0.5%的I溶液浸泡在泡塑或滤纸上而成。将KI、I溶液涂在泡塑上，遇

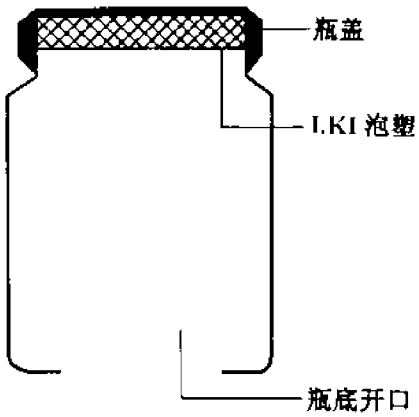


图 3-22　壤中气汞累积测量装置示意图

水不再溶解，也不易升华。若涂在滤纸上，则遇水后容易溶失，并发现碘有升华现象。但在吸附汞后，泡塑上的汞解吸时，稍困难，而且耗费的试剂也较多。滤纸上吸附的汞，解吸较容易，耗费试剂也少。

2. 捕集器架

由 250 mL 的塑料瓶制作而成，首先把瓶底打一个 ϕ1.5 cm 的洞，将吸附剂制作成瓶盖大小，并置于瓶盖的底部，再将瓶盖和吸附剂拧到瓶上即成累积汞测量捕集器（图 3-22）。

采样时，将瓶底朝下，放下挖好的小坑中，上方用土掩埋，埋放 1 周后，把取样瓶收回，将吸附剂送实验室分析 Hg。

分析吸附剂中的汞时，先用 15%的 $SnCl_2$ 溶液浸泡吸附剂，后用还原抽气法测定汞的含量。该方法预富集的汞量多，测量的重现性明显改善。图 3-23 是在油气田上方，壤中气汞瞬时测量和累积测量的对比结果。

七、壤中气 Rn 测量

1. 概述

（1）氡的勘查地球化学简介

Rn 的原子序数为 86，在化学周期表中，位于第六周期零族，属惰性气体族，同族的元素有 He、Ne、Ar、Kr、Xe、Rn。Rn 是镭的衰变产物，具有三种天然同位素，都是放射性气体，简称射气，易溶于水，其中以^{222}Rn 为主，半衰期为 3.8 d，在 1 个月内即可与 Ra 达到放射性平衡。^{222}Rn 衰变后的短寿子体有^{219}Po、^{214}Pb、^{214}Bi 及^{210}Po 等。Rn 容易被表面积大的固体物质吸附，形成放射性薄膜，并能放出 α、β 和 γ 射线。这些短寿命子体，经过三个多小时后，可与^{222}Rn 达到平衡。

^{210}Po是 Rn 以后的数代子体，常呈现胶状体沉淀或被吸附于土壤颗粒和孔隙壁表面等处，不易流失，在土层中形成稳定的分布。测量^{210}Po 的分布可间接推测其母体元素 Rn 分布情况。

用放射性方法测到的射线，主要是由 Rn 及其子体产生的，在放射性测量中占有重要地位。

当岩石中存在有利的构造裂隙和岩石孔隙时，Rn 可渗透迁移至数十米远的距离。当地下水呈现垂向运动时，或 Ra 随地气流迁移时，U、Ra、Th、Rn 等组分可被直接搬运至地表，并在地表土层中形成明显的 Rn 气晕。因此，Rn 可以用于找埋深数百米的铀矿床，以及与之共生的其他矿床和地下水，地热田、隐伏断裂构造等。

镭在 Rn 法找隐伏矿中，起着关键性的作用。Rn 的半衰期为 3.8 d，不利于作长距离的迁移，主要靠 Ra 的迁移才能加大隐伏矿的探测深度，镭容易从矿物和岩石中溶滤出来。Ra 在矿化水中更为富集，能被粘土、有机质以及铁锰沉积物所吸附。因此，许多矿泉水、Fe、Mn 质胶体沉积物和油田水中，通常有 Ra 的富集和 Rn 的异常。

（2）Rn 的勘查地球化学发展简史

1900 年德国人 F. 多恩（F. Dorn）在镭的制品中发现了^{222}Rn，人们根据 Rn 和 Ra 以及

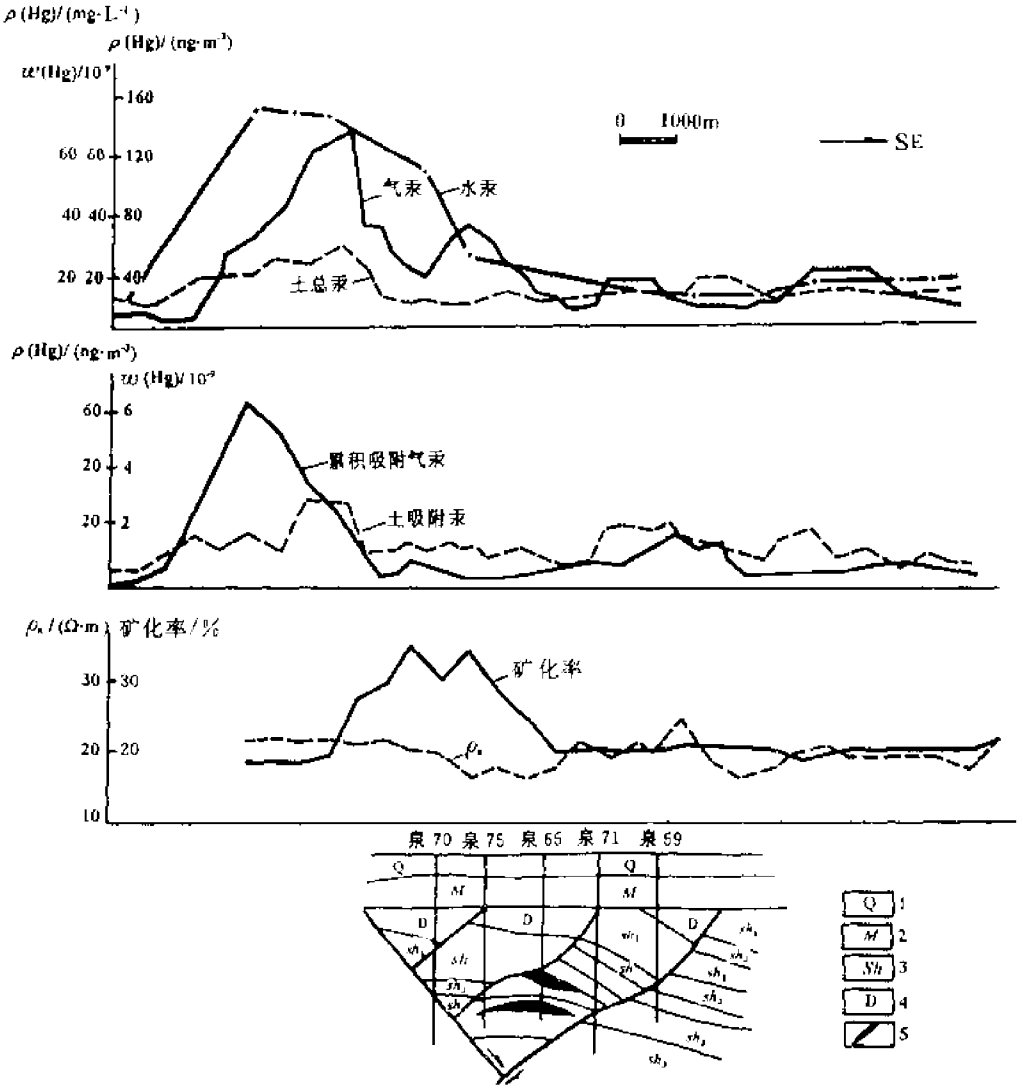


图 3-23 琥珀营油气田汞量测量综合剖面图

1—第四系平原组；2— 第三系明化镇组；3—第三系沙河街组 1～3 段；4 —第三系东营组；5—油气层

与 U、Ra 的衰变关系，将它用于找矿。1922 年俄罗斯学者 А.П. 基里科夫（А. П. Кириков）在中亚细亚用 Rn 找第四系覆盖下的铀矿体获得成功。我国用 Rn 法找矿始于 20 世纪 50 年代中期，主要用于小面积的铀矿勘查。最近 20 年来，Rn 气测量已广泛用于地震预报、环境监测、油气勘查、水资源勘查、金属矿勘查、地质填图和隐伏断裂勘查等各个方面。

壤中气 Rn 测量的方法较多，可分为瞬时测量和累积测量两大类。累积测量又可分为 α 径迹蚀刻法，活性炭吸附法，^{210}Po 法、α 卡法、氡管法、α 杯法和热释光法等。累积测量方法可抑制气象因素的影响，测量精度较高。瞬时测量具有快速和简便等优点，成本低廉，适用于快速普查。

（3）壤中气 Rn 测量的应用前提

1）拟用 Rn 法勘查的地质体中，U、Ra 的含量越高，与围岩中 Ra、U 的含量差异越大，

其找矿效果越好。Ra 和 U 于岩浆作用的热液阶段富集。因此，各类铀矿床是壤中气 Rn 的主要寻找对象。Ra、U 常与低温热液矿床共生。因此，找这类低温热液矿床也能获得较好的找矿效果。含有机质和泥质较高的沉积矿床。如煤、石油也具有较好的应用前景。

2）潜水面的埋深在 5～10 m 左右的地区找矿效果最佳。潜水面过浅，Rn 没有贮存的空间，从潜水面直接向大气扩散，对测量不利。潜水面埋深过大，Rn 的半衰期短，不利于作长距离的扩散迁移。Rn 的母体 Ra 等组分也不易迁移至地表。因此，也对测 Rn 不利。

3）覆盖层的厚度在 0.6 m 左右和气候干燥的地区，有利于壤中气 Rn 测量。

（4）壤中气 Rn 测量的工作方法

1）壤中气 Rn 测量的设备与材料：FD-3017R_A 测 Rn 仪一台，R_A 捕集片 100～200 片，螺纹锥形采样器一个，静电滤尘过滤器一个，钢钎一根，大锤一把，Ra 标准源一个，硅胶管和干燥剂若干。

2）操作程序

①打孔：用钢钎、大锤在选定的采样位置打一个 50～60 cm 深的小孔，用螺纹采样器拧紧，将大气与壤中气屏蔽开，以防大气直接抽入样品中。

②抽取壤中气：用气筒抽取 1 L 左右的壤中气，清洗气筒和管道后并排出。把 Ra 收集片的光面朝下，放入样品盒内，再抽壤中气 1.5 L，将气筒向右转一个角度，使活塞的位置固定，并关闭阀门，使气筒内的样品气体与外界空气隔绝，启动负高压按钮。使捕集片加上负高压，开始捕捉带正电的 Rn 衰变子体 Ra。收集时间为 2 min。时间到，仪器发生蜂鸣声。

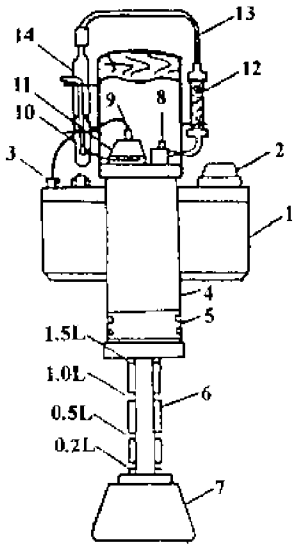


图 3-24　FD-3017 测氡仪标定装置图

1—操作台；2—探测器；3—高压输出；4—抽筒；5—活塞；6—导向定向滑杆；7—脚踏；8—进气三通阀门；9—高压输入；10—样片盒；11—收集片；12—干燥器；13—橡皮管；14—液体镭

3）测量：负高压发出报警信号后，立即取出 Ra 收集片，将收集片的光面朝上，放入操作台的测量盒内（这过程必须在 15 s 内完成）启动计数器电路，经 2 min 计数，测量 Rn 的脉冲数。

4）标定方法：FD-3017 仪器上的读数，是两分钟内，仪器探测器所接收到的脉冲数，其脉冲数与 Rn 的浓度成正比，在某些情况下，直接用单位时间内的脉冲数来表征 Rn 的含量。为了对比 Rn 的真实浓度，还必须对仪器进行标定。标定步骤如下（图 3-24）：

①将操作台的电源拨至开的位置。检查电池电压及其他检测讯号。甄别阀置于“微”上，测量开关置于“测”上，高压时间置于 2 min 上。并将高压输出端与抽气筒上的输入同轴电缆连接好。

②将阀门拨至“排气”位置，提抽气筒，将空气抽入筒内，然后再往下排气，清洗管道和气筒空腔。

③按图 3-24 将液体与干燥器，抽气筒连通。

④打开气筒上的样品盒（10）放入“干净”的 Rn 收集片（光面朝下）。

⑤脱气：将气筒的阀门（8）转向“吸”。打开 Rn 源瓶封闭夹，记下时间，开始慢慢拉气筒到顶部。此时，内腔体积为 1.5 L，气泡消失后，将阀门（8）拨至“关”位置。

⑥预富集：启动负高压，筒内^{210}Po在负高压的作用下向收集片聚集，经2 min后，蜂鸣器发出讯号，并切断高压电源。

⑦蜂鸣器响后，立即打开样品盒，取出收集片，并放入探测器的样品盒内（光面朝上）。

⑧测量：样片放入探测器的样品盒后，仪器开始自动计数。经2 min后，自动停止计数，并发生报警讯号。记下该时间的脉冲数（$N_{s,2}$）。标定时，可重复进行2～3次，按其平均值作为标定读数。

⑨标定系数的计算

$$J=\frac{Q_{标}(1-e^{-\lambda_{Rn}t'})k}{V_1 n_{s,2}},\frac{Bq/L}{c/min}$$

式中：$Q_{标}$ —— 液体标准源Ra的活度(Bq)；

λ_{Rn} —— Rn的衰变常数(h^{-1})；

t —— 液体镭源累积时间(h)；

k —— 脱气效率修正系数，当脱气体积为1.5 L时，其测量结果的脱气效率为90%～92%；

V_1 —— 抽气筒的体积，为1.5 L；

$N_{s,2}$ —— 2 min内^{210}Po测量计数。

八、壤中气CO_2测量

1. 概述

CO_2与有色金属、贵金属、油气藏以及地热储等有着极为密切关系。引起这种关系的原因，是由于金属矿床形成时，矿物组分中有CO_2的存在，或是形成独立的碳酸盐矿物，或是呈包裹体存在于与成矿作用有关的蚀变岩石和矿物中。硫化物矿床形成后，随着剥蚀作用的加剧，矿床不断接近地表，矿体遭受氧化。由于氧化作用，在硫化矿床周围形成酸性环境，使碳酸盐矿物分解，随之CO_2的浓度增加，其可能机理可归纳如下：

$$4FeS_2+15O_2+8H_2O\longrightarrow 2Fe_2O_3+8H_2SO_4$$

$$MeCO_3+H_2SO_4\longrightarrow MeSO_4+H_2O+CO_2\uparrow$$

J. S. Vevoll根据上式计算，1 t黄铁矿完全氧化，可产生1.6 t硫酸，如果这些硫酸与矿床周围足够的碳酸盐矿物作用，可使$35\times10^4m^3$的壤中气增高0.53%的CO_2。随着硫化物矿床的缓慢氧化，伴随有大量的CO_2产生，可使矿床周围壤中气中CO_2的浓度明显增高。因此，断裂带上方的CO_2异常，可作为硫化物矿床的间接指标。

在油气田和煤田中，含有各种烃类气体和硫化气体，当这些气体沿构造裂隙从深部向地表迁移时，一方面与通道沿途的介质相互作用，形成气成蚀变。另一方面，随着趋近地表、氧化电位增高，使硫化气体和烃类气体氧化，形成相应的派生气体。如：

$$CH_4+2O_2\longrightarrow 2H_2O+CO_2\uparrow$$

因此，CO_2异常，也可作为油气田和煤田的指示标志。

近些年来，国外有关资料介绍了热释CO_2和ΔC寻找隐伏金属矿和油气藏的实例。俄罗斯圣彼得堡矿业学院的B. II. 波罗维茨基提出了一种称之为气体体积法的找矿方法，即测定土壤样品中的CO_2，并换算成$CaCO_3$的含量，用此换算值作图，圈定异常，可以把覆盖层下的隐伏矿带追索出来。美国地球化学调查有限公司介绍用ΔC找石油获得了巨大的

成功。

在国内用 ΔC 找石油，用 CO_2 找金属矿，仍然在生产试验中。

2. 壤中气 CO_2 瞬时测量

(1) 所需仪器和材料

CXH-305 型远红外 CO_2 测定仪 1 台，螺纹锥形采样器 1 个、静电滤尘器 1～2 个、硅胶管 1～2 m，碱石灰若干、钢钎 1 根、大锤 1 把。

(2) 野外操作

用钢钎、大锤在预定采样位置打一个 0.4～0.6 m 深的小孔洞，将螺纹采样器拧入孔中，用硅胶管将螺纹采样器，除尘器连接好，将仪器的气路置于定零位置，待仪器指针复零后，将仪器进口与采样器连接好，打开测量开关，指针缓慢上升，约 1.5～2 min 左右，指针达最大值，此后指针又往零方向移动，读数不断减小。测量时，选用最大读数作为有效值。在每一测点上，仪器的最大读数，与该点壤中气中 CO_2 的含量成正比。通常用最大读数值的对比替代 CO_2 的含量对比。为了求得 CO_2 的真实浓度值，还需对仪器进行标定。

3. 壤中气 CO_2 累积测量

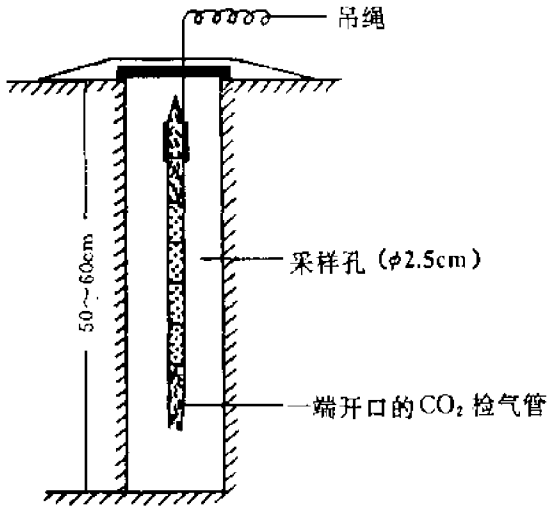


图 3-25　壤中气 CO_2 累积测量野外作业示意图

该方法的工作原理是基于百里酚酞与 CO_2 作用，能使百里酚酞的颜色由蓝变白。将百里酚酞染在白色活性氧化铝上，此时，白色氧化铝表面呈蓝色。将染有百里酚酞的氧化铝密封于玻璃管中。使用时，将 CO_2 检气管的一端开启，并将开启的一端朝下，悬挂在新打的深约 50 cm 的小洞中，要严防 CO_2 检气管的进气口被泥土堵塞。最后将小洞的顶部掩埋好，以防大气中 CO_2 直接进入检气管。在洞内放置 4 h 左右，CO_2 检气管就有明显的读数，在洞内放置 24 h 后，读数更明显。异常更为清晰（图 3-25）。

二氧化碳检气管由北京劳卫所研制。由北京北苑中学校办工厂生产。这种检气管原主要用于柴油机尾气中 CO_2 的检测。作者改进了它的进气方式，并进行重新标定后，用于壤中气 CO_2 累积测量。CO_2 检气管中原有的浓度读数，对于壤中气 CO_2 的检测是不适用的，必须重新进行标定，才能检测出壤中气 CO_2 的真实含量（图 3-26）。

这种测量方法，在干旱地区效果较好，在多雨的潮湿地区，受水分的干扰较严重，应予以充分的注意。

九、壤中气甲烷测量

1. 概述

烃类气体是石油和煤的主要组分之一，它们是由碳和氢组成的稳定化合物，可分为饱和烃（C_nH_{2n+2}）和非饱和烃（C_nH_{2n}）及芳香烃三类，它们广泛分布于石油，煤田及与之有关的沉积岩中，是找石油和煤的直接指标。

甲烷是油田和煤田中含量最高的烃类气体。它具有迁移能力强、扩散系数高、吸附能

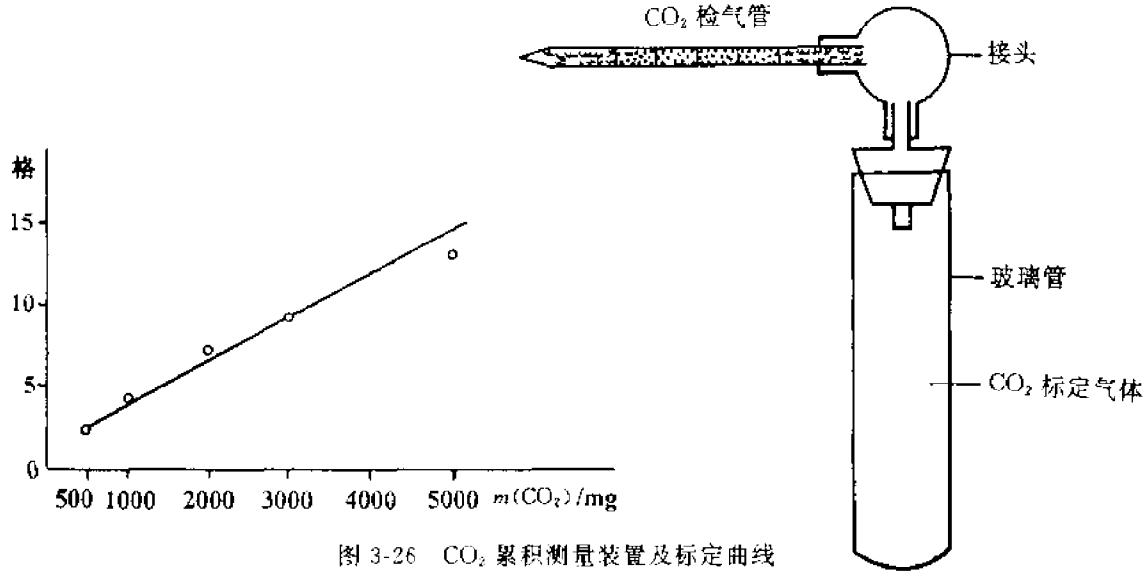


图 3-26 CO_2 累积测量装置及标定曲线

力低、在水中的溶解度小等特点[22]，最适合于壤中气测量。

2. 壤中气甲烷测量的工作方法

（1）需要的设备与材料

GP_{236}甲烷测量仪 1 台（或其他远红外烃类测量仪器）螺纹锥形采样器一个，静电滤尘器 1～2 个，硅胶管 1～2 m，钢钎 1 根、大锤 1 把。

（2）操作程序

在取样点位置上钢钎、大锤打一个 40～50 cm 深的小洞，将螺纹采样器拧入孔内，用硅胶管将采样器、仪器进气口连接好，打开仪器开关，检查电池电压，将量程拨至最灵敏挡，预热 5 min 后，开始抽气，随着抽气，仪器的指针慢慢上升，约 2 min 后，读数达最大值，然后缓慢下降。记下最大读数值。读值的大小与壤中气中甲烷的浓度成正比。在某些情况下，以此读数作为甲烷含量的对比值，要了解甲烷的确切含量，还需对仪器进行标定。

我们所用的仪器是由日本制造的，原主要用于燃气仓库防火，我们根据试验，这种仪器的灵敏度足以满足油气田和煤田上方壤中气测量的需要。我们稍加改装后曾在辽河油田（图 3-27），内蒙古红花沟金矿等地进行了试验。油田上的试验结果示于图 3-28。与此同时，还进行土壤吸附烃的测量，试验结果表明，甲烷主要沿断裂带分布，与土壤吸附气乙烷的分布（图 3-29）具有明显的相关性。

十、壤中气多组分联测

在岩石测量和土壤测量中，一个样品通常能提供多种元素异常的信息，为化探资料的推断解释提供了很多有利的条件。在壤中气测量中，往往是单一指标。若想多测几种指标，既费时又费力，很难如愿。为了减少壤中气测量中的多解性，总想一次能多测几种气体指标，对于壤中气的推断解释也是有益的。我们曾研制过 Rn-Hg 联测，Rn-Hg-CO_2 联测；Rn-Hg-CO_2-CH_4 联测等方法，这些方法主要是利用它们的不同物理化学特征，逐一将它们从混

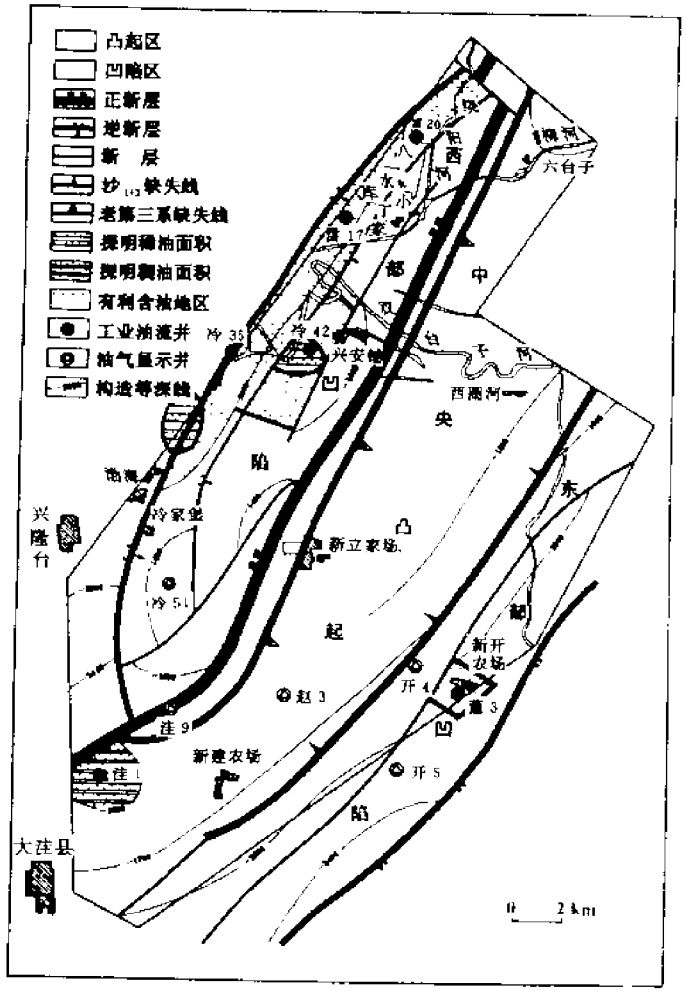


图 3-27 辽河油田下第三系底部构造图

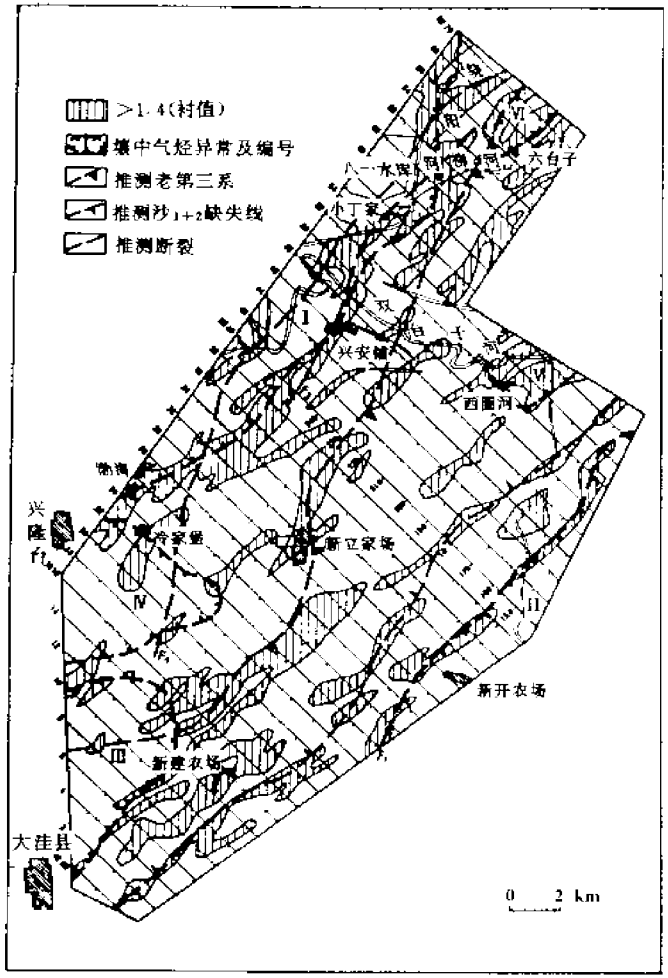


图 3-28 辽河油田壤中气烃异常分布图

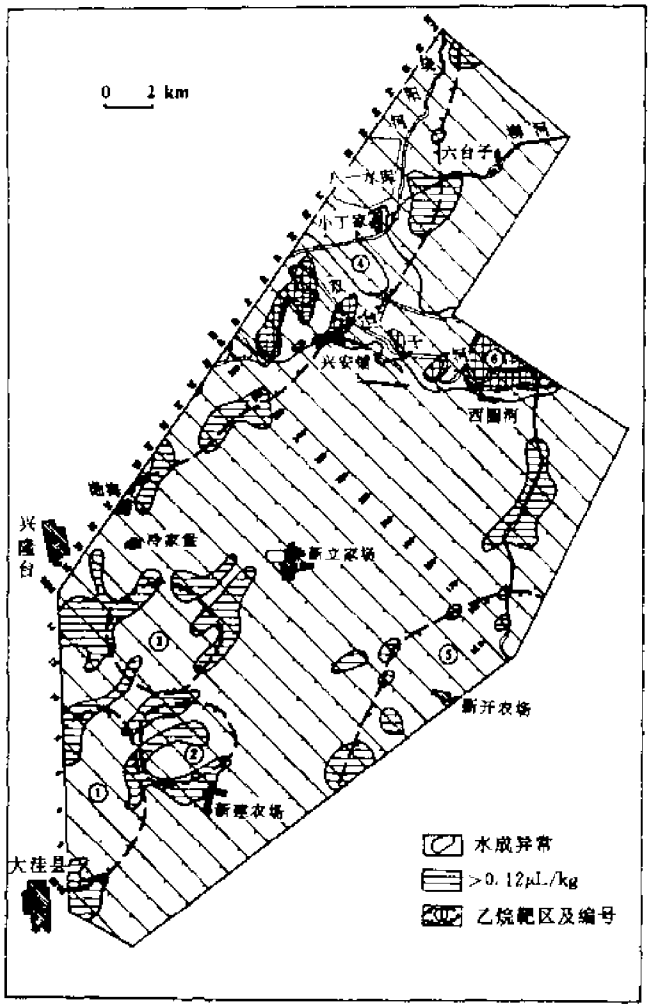


图 3-29 辽河油田乙烷异常分布图

合气体中分离测定并和单一的测量结果进行过系统对比。其中 Rn-Hg-CO_2 联测成熟度较高，曾进行过较多的生产试验，Rn-Hg-CO_2-CH_4 联测也进行过室内试验，证明基本是可行的，仍有待于进一步试验研究，提高其工程化程度。

第四节 植物测量

一、概述

所有活着的植物都对它们所处化学的物理的及生物的环境以某种方式作出反应。这种反应通常以不同的方式表现出来。例如在温暖潮湿以及富于营养的环境中的植物，可比生长在严酷与贫瘠环境中的同种植物生长得茂盛得多。当条件太严酷时，植物根本就不发育，在同一地区的另一些植物，可以更能忍受较严酷的环境，甚至偏好较严酷的环境。由于这种自然淘汰过程，使植物的分布逐步调整到与环境的局部变化相一致。在植物的发育过程中，有许多重要因素直接或间接与它们所处的地质环境有关。植物的根系统，起一种采样机制的作用，从地表以下大体积的湿土中收集水溶液，这些溶液中的无机盐类，可以沉积

在植物的某些器官内，除刺激或阻止植物的生长外，可使植物灰分中无机盐类的含量增高。植物内部循环系统的细节是相当复杂的，植物灰分中，无机盐类的增高与地质循环中无机类的含量也不是简单的正相关。但富含金属的营养液可使植物灰分中金属的含量发生明显的变化或使植物的生态发生特征性变化。植物的根类，能提取矿物中的可溶部分，甚至可使原生硅酸盐矿物解体，使之容易被吸收，被称之为根的“溶解效应”。无机组分进入植物是有选择性的，营养元素通常可以自由进入植物的系统，以满足营养的需要为止。那些毒性元素则不让其进入植物的生长器官，以不同的方式沉淀于根系中。不同种植物，从土壤中吸收不同量的无机物。每一种植物有它自己的特殊习性，这是植物地球化学测量中必须注意的问题。

二、研究概况

用植物进行找矿的思想，首先受启于某些矿床上方生长着特殊的植物种属和某些特异的生态特征，而且这些特殊的植物种属和它们的生态特征（多属描述性的）和矿床之间不一定有必然的联系，即使有某些专属性的指示植物，往往具有地区的局限性，缺乏普遍指示意义。H. E. Hawkes(1962)[142]曾搜集了某些元素专属性强的指示植物的名单。遗憾的是，所列举的植物中，只有极少数种属，曾在找矿中真正起过作用。主要是由于文献记载中的大多数植物大都是在废矿堆附近的酸化土壤中发现的，只有很少是在未受干扰的地区发现的，并在找矿中有一定指示意义的植物（表 3-7）。

表 3-7　探矿指示植物

元素	科	适用范围	俗　名	产　地
沥青	藜科	地方性		里　海
—	藜科			里　海
硼	百科	地方性	洋　葱	加利福尼亚
—	兰雪		补血草	苏　联
铜	石竹	通用性		苏　联
	薄荷	地方性	香　薷	中　国
	苔藓	通用性	铜　苔	瑞典与加拿大
石膏	荞麦	地方性	紫　花	美国西部
铁	桦	地方性	桦	德　国
铅	草	地方性	湖须草	田　纳　西
磷	牵牛花	地方性	旋　花	西　班　牙
硒	唇科	通用性	毒野豌豆	美国西部
	豆科	通用性	毒野豌豆	美国西部
	向日葵	通用性	木紫苑	美国西部

摘引自 H.E. 霍克斯，1962。

至于植物受毒性组分的毒害，所表现出的生态特征，显得更为复杂。由于植物的生长受多种因素的影响，如水分，肥料、虫害等等，到底是哪一种因素起决定性作用，很难定论，而且植物对某些有害组分，常产生适应性，使某些生态特征逐渐消失。因此，目前地

球化学家至今也尚未搞清哪些植物种属的哪些生态特征，对什么矿种具有普遍的指示意义，实际工作中，要确定一种植物的指示意义是十分困难的。

随着微量元素分析技术的发展，植物测量的重点逐渐由生态特征转移至植物灰分中矿质组分的测量方面，由于无障植物的灰分中，矿质组分含量的测定，比较精确，不受人们主观意志的影响，可对比程度相对较高。因此，近代植物测量，主要是测量植物灰分中矿质组分含量或多光谱测量（遥测植物叶片对不同波段光谱的反射和吸收特征）。H. E. Hawkes (1962)[142]在他著的《矿产勘查的地球化学》一书中，介绍了许多植物灰分中的金属含量与该植物所处土壤中的金属含量有明显的正相关。池三川 (1988)[13]在他编著的《隐伏矿床的寻找》一书中，介绍了国内外一些地球化学家，用植物测量找到矿的案例，其中包括英国伦敦大学教授柯尔，在赞比亚热带雨林中，发现斑状乾草原这一现象，后经其他方法配合，很快就找到了隐伏的斑岩铜矿床。美国肯耐（Canney）在科里拉多高原和津巴布韦，利用原始森林因元素中毒而呈现的低矮灌木丛和斑块状草原为标志，配合其他手段，找到了隐伏的铀矿和铜铝矿床，沃伦（Warren）和迪蓝维尔特（Delavault，1950）测定木贼属中的金和银用于圈定岩石中的富含金的矿化带。他还介绍了柯霍托诺夫、塔里鲍夫等人在乌兹别克，测定植物灰分中的 Au 找隐伏金矿床的案例。其中也提到我国地质找矿工作者，用大蒜作指示植物找 Ag、Au 和用海州香薷作为找铜的指示植物。江苏冶金地质所董铃翔等人，在浙江狮子坑矿区，利用郎八草（大羽羊齿类植物）灰分中 Cr、Ni、Co、Cu 等元素的异常所圈出的范围，与超基性岩体的分布范围极为吻合等案例。物探所任天祥、高平等人也曾用植物灰分中的金属异常进行了找隐伏矿的试验。中科院遥感研究所曾与新疆石油管理局配合，用遥感方法遥测植物和土壤中的烃类异常（彭希龄等，1993）[60]用于找石油，该方法被称之为“机载遥感油气探测”，其原理是基于油气田上方普遍存在烃类渗漏和因渗漏引起种种蚀变和特殊的植物生态特征。利用机载仪器从高空采集渗漏烃和由它引起的各种特征的光谱信息。将所获取的资料，通过电脑一系列处理流程，提取与油气平面分布有关的单信息图。试验区面积 3720 km^2，按信息斑块的密集程度分为 18 个信息团。其中有 7 个与已知油田、含油地区有一定的关系，总的符合率达 38.9%，但这些异常无一定的形态，只是一种模糊的大体的对应关系，并不存在特定的模式。严格说来，符合的可信度并不高，而且与土壤酸解烃异常的范围互不相关，与地面的油坑、柏油马路也毫无相关之处，这就使人们对该方法理论的机制与工艺流程是否正确，产生了新的争议，只有进一步弄清了机载遥感异常的本质，才能有效地加以应用。作者在所介绍的找隐伏矿的诸多方法中，惟有植物测量，既没有亲身实践的经历，阅读的文献也相对较少，但总觉得植物测量的成熟度仍然较低，植物根系所达到的范围最多是地表以下 200 m，对隐伏矿的探测深度受到明显的限制。植物样品的采集加工和分析比土壤岩石测量复杂得多。在国内很难找出一个案例，是其他测量方法无法解决，最后是靠植物测量解决问题的。作者认为，除大片森林覆盖区有一定的实用意义外，其他地区何必杀鸡用牛刀呢？

第五节　偏提取测量

一、概述

偏提取测量是近代勘查地球化学的热门研究课题之一。它具有极其广泛的研究领域，其

目的在于通过特殊的样品采集、样品加工和样品分析等手段，提取人们所需的信息，以便研究样品介质中元素的赋存状态，强化地球化学异常，用于加大对隐伏矿的探测深度。偏提取测量的采样介质，大都为表生环境的次生介质，如土壤、铁锰氧化物、有机配合物、碳酸盐等。这些次生产物，具有较大的表面积，对气态和液态中的各种金属离子，具有较强的吸附能力。隐伏矿上方的次生介质，在毛细作用、自然电场、地下水和地气流的垂向搬运营力的作用下，将隐伏矿中的那些活泼金属组分带入这些次生介质中，并以各种不稳定形式结合到这些次生介质中去。人们采用各种物理的和化学的方法，对这些不稳定的化合物（衍生物）进行萃取，强化某些组分的萃取能力，用于研究地球化学样品中与隐伏矿有关的组分等等。

偏提取技术在农业，冶金、环境监测等领域的应用，已相当广泛。在地质勘查领域，偏提取方法的应用也在日益扩大，在我国勘查地球化学中，偏提取技术的应用，可追索到20世纪60年代初，如用中性柠檬酸盐提取水系沉积物中易溶的金属组分。用于追索水系沉积物的异常源。该方法曾在地质系统广为推广应用，并取得了较好的地质效果。只是因为测量精度低，有关部门不相信这类数据，在生产中未能继续广泛使用。

20世纪70年代，各种热释法，在我国研究得比较多，其中包括土壤热释汞、土壤热释氡、土壤热释烃、土壤热释 ΔC 和岩屑热释法等，至20世纪80年代，各种电选择性提取方法较为流行，其中包括地电提取、水电提取、土壤电提取等方法，20世纪80年代末至90年代初，由子各国对运积物覆盖区地球化学找矿方法的重视，偏提取技术再次成为勘查地球化学研究的热点。美国地调所Clark（1994）将微生物技术引入偏提取，研制成酶淋滤法：即利用葡萄糖酶淋滤，浸出与非晶质氧化膜结合的金属元素。澳大利亚的Man（1995）采用一种或几种弱的提取剂，提取样品中的活泼金属组分，用于矿产勘查。俄罗斯人研制出多种选择性提取法，如热电磁法、地电化学法等等。诸如裂隙采样，不同粒级样品的筛分和选择性吸附等方法都应属于偏提取的不同分支。

勘查地球化学工作者，基于不同思路已研制出多种多样的偏提取方法技术，迄今为止，偏提取的方法虽多，但存在问题也不少。许多偏提取方法的思路都不错，有些方法找矿效果也不错，但仍不能在生产中广泛使用。如“冷提取”方法，在水系沉积物异常源的追索和评价中，它既能及时指导野外工作，又能缩短找矿周期，也有不少找矿实例。在地质部门曾开过多次推广会。就是这样一种实用性较强的方法技术，近些年来，也很少有人过问它的近况了。作者曾调查过这项科研成果的应用情况。调查的结果表明，未能继续推广使用的主要原因，在于这项成果的工程化程度较差，分析测试条件控制不严，分析误差较大，所获资料无保存价值。由于不能作为正式成果上交，得不到经费上的支持，劳动部门也不予以统计工作量。偏提取方法中，最成熟的这种方法的命运尚且如此，其他方法的处境可想而知了。正因为大部分偏提取方法的测量精度较低，各种方法的测试条件缺乏系统的研究和严格的规定，所测资料重现性欠佳。有时某些组分的部分含量，大大高于该组分的总量。理论上指望能提取某种组分，实际上提取的是那些组分，也缺乏必要的检验。机理不明、测量精度不高，严格限制了它在找隐伏矿中的应用。回想起来，许多科研成果未能及时转化为生产力，问题的症结就在这里。

二、研究概况

在所有偏提取测量方法中，循序提取法的应用也较普遍，该方法是利用几种具有不同

溶解能力的溶剂循序提取样品介质中具有不同结合能力的金属组分。后一种溶剂的提取能力一般大于前者。但具体溶剂的选择，必须根据样品所处的景观地球化学环境和样品的组分特征进行选择。最主要的还是要根据试验结果来确定。所萃取的组分也必须经过精确的检验。尽管如此，前人还是对不同组分的存在形式总结出下列（表 3-8）不同溶剂提取的方案（仅供参考）。

表 3-8　组分赋存状态及其提取方法

组分赋存状态	建议提取方法（最佳溶剂）
简着在固体表现，但结合能力很弱	水
固着在固体表面，但可以被其他金属非金属离子交换（吸附态，准气态）	中性盐溶液
与碳酸盐紧密结合	弱酸
与有机质，铁锰氧化物结合的金属离子	焦磷酸盐溶液
紧密结合在硅酸盐硫化物和其他矿物残渣中部分	氢氟酸或氢氧化钠溶液

从冷提取方法未能被生产部门广为应用的经历中可以看出，一项科研成果能否被转化为生产力，不仅取决于它的先进性，而且还取决于它的工程化程度。在生产中还需不断改进和完善，才能适应生产的需要。另一个值得注意的问题是，在推广一种不十分完善的方法时，对该方法的介绍要恰如其分。其不足之处暂时还得不到彻底改善之前，也必须采取一定的措施使优点得到发挥，缺点受到限制，让它生存下来。如各种壤中气测量的测量精度也都比较低。若把它们看成是一种纯分析方法，用分析方法的准确度和精密度要求它们，则这些方法根本无法生存。偏提取测量，也存在同样的问题，把它看成是一种纯分析方法，与其他高精度的分析方法相比，它无异是一种噪声发生器，保存这类数据无任何意义。不同地区之间所获资料也无法对比。若把它看成是一种地球化学勘查方法，质量检验的方法也作适当的改变，则它们在找矿中的作用不次于壤中气测量。至于劳保部门不认为偏提取是正式工作，显然是认识上的片面性所致。

第六节　壤中气气溶胶测量（地气测量）

一、概述

壤中气气溶胶测量是研究土壤介质中与矿床有关的气溶胶组分的分布和运移特征，用于地质勘查的一门新兴学科。气溶胶测量与壤中气测量较为相似，所不同之处，在于前者是测量土壤空隙中的气体，后者是测量赋存于壤中气中的固体微粒。

较早研究用气溶胶进行找矿的有加拿大的巴林杰公司。该公司于 20 世纪 70 年代曾秘密研究气溶胶找矿方法达 10 余年之久，先后研制成空中和地面微迹系统。这两种系统均是收集空气或地面大气中的微尘（>30μm）物质，用等离子发射光谱分析微尘中 20 余种金属和非金属组分。由于大气流的运动变化无常，致使异常飘忽不定，不容易重复出现，给异常源的追索，造成了极大的困难，致使该方法未能在生产中推广应用。

1982 年，瑞典 K. Kristiansson 和 L. Mal mqvist[144]等人开展了地气法（geogas）找隐伏

矿的研究，提出了地气流对地下物质组分垂向搬运的假说。他们通过大量的试验研究，证明了地气流的普遍存在和地气流对矿质组分的搬运[146]，还研究了地气流的物质组成和迁移方式。瑞典人和加拿大人所研究的都是采用气体中的固体微粒用于找矿。他们之间的主要区别是：瑞典人采集的物质是nm级的固体微粒，加拿大人采集的>30μm的微尘，第二个不同点，瑞典人是从壤中气中采样，而加拿大人则是从大气中采样。

20世纪90年代初，俄罗斯人对地气法的研究也十分活跃。А. Г. Глухов (1995)[159] А. С. Лухан等人率先研制成金属动态捕集器（静电捕获法），圣彼德堡矿业学院的普吉科夫(Ф. Ф. Путиков)[166]教授研究了地气微细流对金属组分垂向迁移的机理。与此同时，俄罗斯地球化学家С. В. 格里戈良（1992）在地气法的基础上研制成“离子找矿法”。该法使用一个罐头瓶，在瓶内装有纯的硝酸，在瓶口封上一张半透膜，将瓶口朝下，为了不使硝酸从瓶口流出，半透膜的高度高子硝酸溶液的高度。将上述取样瓶固定在一个三角架上，离地面高度250 mm。经24 h后，收回采样器，分析硝酸中的金属含量。据说，用该方法圈出的异常范围很窄，可准确地确定隐伏矿的位置，但对元素迁移的机理尚不十分清楚。

自20世纪80年代末90年代初“地气法”被引入我国（童纯菡，1992）目前关于地气法的研究，仍在不断升温，地气样品的预富集方法也多种多样。总的来说，研究的水平还比较低，测量的精度不能令人满意，基础理论薄弱等等。尽管如此，该方法仍已显示出找隐伏矿的良好前景，与常规的气体测量方法相比，气体测量所具有的“间接性”和“多解性”等弊端，在很大程度上得到了改善，“地气法”基本上继承了常规化探方法直接找矿的优点。虽然对与隐伏矿有关的元素的迁移机理尚不很清楚，但不影响人们利用这种业已存在的经验规律进行找矿。至于与隐伏矿有关的金属组分的垂向迁移和赋存状态，有待以后的生产实践中不断充实和完善吧！

二、已知隐伏矿床上方的壤中气气溶胶异常特征

1）在我们试验过的隐伏矿床上方的壤中气气溶胶中，均发现有成矿元素的清晰异常（图3-30），在大多数情况下有壤中气Hg异常相伴随。

2）在运积物覆盖的隐伏矿上方的土层中，也出现有成矿元素和主要伴生元素的气溶胶异常（图3-31）；在地下水中，有时也能发现与气溶胶异常元素相似的异常；在半出露隐伏矿上，在地表有岩石异常和土壤异常的地方，同时出现有壤中气气溶胶异常（图3-32）。

3）壤中气气溶胶异常的形态和壤中气异常类似，沿水平方向的位移小，沿垂直方向的迁移可达数百米。

4）瑞典人称之为地气测量，我们则称之为壤中气气溶胶测量。主要是由子所研究的对象具有明显的粒子性质，而不是气体，仅仅是赋存于气体之中，由于粒子的粒径小，类同如气溶胶（比气溶胶粒径更小），在空气中具有自由穿行的能力。如采用动态预富集时，使用不同孔径的滤膜可使异常的强度明显增强或减弱。而气体组分，对滤膜孔径变化的反应一般不明显。我们对少数样品作X光电能谱分析时，发现滤膜上的物质多呈固体微粒。

5）壤中气气溶胶内的金属组分可呈单质、配合物和硫化物等形式存在（伍宗华，1995）[113]。

6）在壤中气气溶胶异常处，一般有偏提取异常出现。相反，在有气体异常处，不一定有壤中气气溶胶异常出现（伍宗华，1995）。

7）原生矿石中的元素组合特征，在壤中气气溶胶中未能完整保存。在原生条件下的活

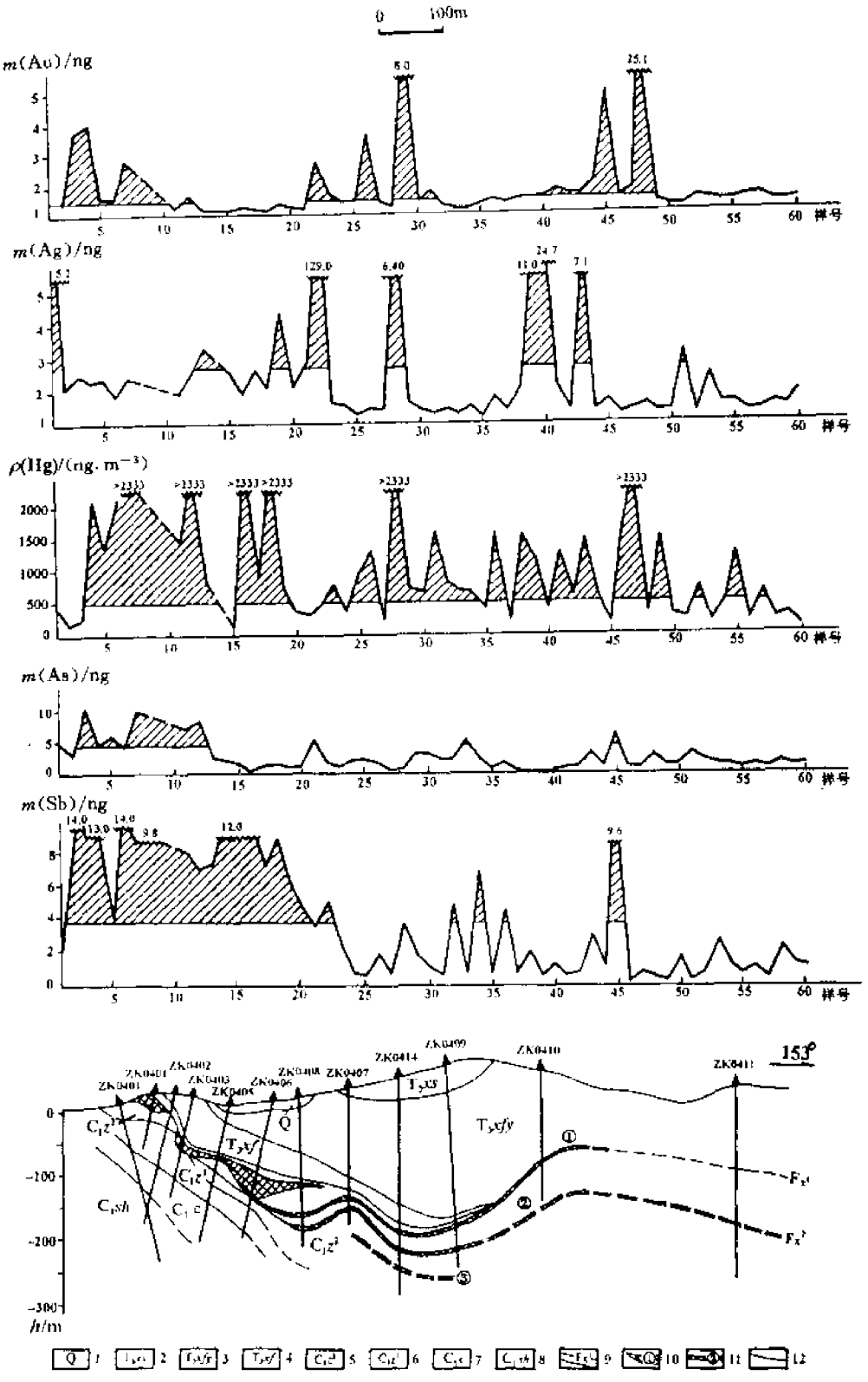


图 3-30 广东省长坑—富湾 4 线地气综合异常剖面图

（地质剖面图引自广东省地质局 757 地质队）

1- 第四系；2—上三叠统小坪组松柏段；3—上三叠统小坪组凌云段；4—上三叠统小坪组风网段；5—下石炭统梓门桥组上段；6—下石炭统梓门桥组下段；7—下石炭统测水组；8—下石炭统石磴子组；9—断裂破碎蚀变带；10—金矿体及编号；11—银矿床及编号；12—地质界线

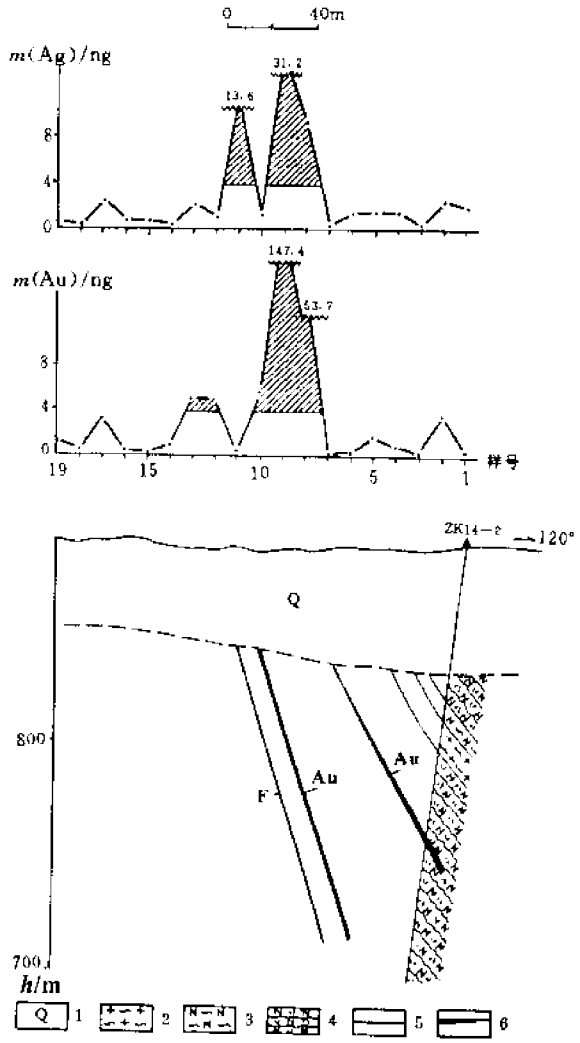


图 3-31 内蒙古红花沟金矿 14 号脉 1 线壤中气 Au、Ag 剖面图

1--第四系；2—混合花岗岩；3— 斜长角闪岩；4— 斜长角闪长片麻岩；5—断层；6—破碎带

性组分和表生条件下的惰性组分似乎在壤中气气溶胶中得到了加强。如 Hg、As、Sb 等在原生条件下活泼的组分，多分布在背斜的核部。而且原生异常也比较发育，并与 Cr、Co、Ni 等组分的异常同时发育。这种 Hg、As、Sb 与 Cr、Co、Ni 的共生组合，在热液矿床中是不常见的。

8）不仅是隐伏矿床的矿质组分可以垂向迁移至地表，不同岩石类型所具有的特征组分同样可以垂向迁移至地表（伍宗华，1995）[119]。

9）气象因素，土壤湿度和筛取不同粒级的样品对测量结果的影响较大，要想提高测量精度，必须抑制上述因素的影响。

三、气溶胶分散晕形成的可能机理

喷气分散晕是壤中气气溶胶分散晕的主要来源之一（详见喷气分散晕的形成）。美国斯坦福大学的地质学家，在观察火山岩中的气泡时，发现气泡中含有比围岩高若干倍的金属元素，证明火山活动的初期岩浆中，金属气体的存在。Н. А. Озерова 在对火山气样品的分析中，发现其中 As、Se 的含量比大气中高 2～3 个数量级，铜的含量高 1.5～2 倍。同样说明，在喷气分散晕形成阶段，金属气体的存在。当金属气体冷凝时，可形成大量的纳米级的金属微粒。在硫化矿床后生气体分散晕形成过程中，同样可形成许多金属微粒。这些金属微粒，在地气流的搬运下，在矿体周围可形成气溶胶分散晕。这种气溶胶分散晕的形成机理，既说明了气溶胶金属组分的粒子性质，又说明了异常组分近于垂向迁移的特性。气溶胶的迁移能力，明显小于气体，也说明了有气溶胶异常的地方，通常有气体异常，相反，在有气体异常的地方，不一定有气溶胶异常。当地气流通过水层时，转化呈气泡流形式迁移，气泡流到达潜水面时，气泡流被损坏。气泡表面的吸附物被解吸。因而，在隐伏矿上方的水井中，也能发现与壤中气气溶胶异常组分相同的异常。值得说明的是，我们对气溶胶分散晕形成机理的研究尚少，主要是根据已测得的壤中气气溶胶异常特征为基础，提出了上述假说，这一假说，虽能解释气溶胶分散晕的一些特征，但仍有许多矛盾之处，有待进一步研究。

四、样品的采集与分析

不同作者根据矿质组分在地气流中不同赋存状态的假说，分别研制出相应的采样方法，

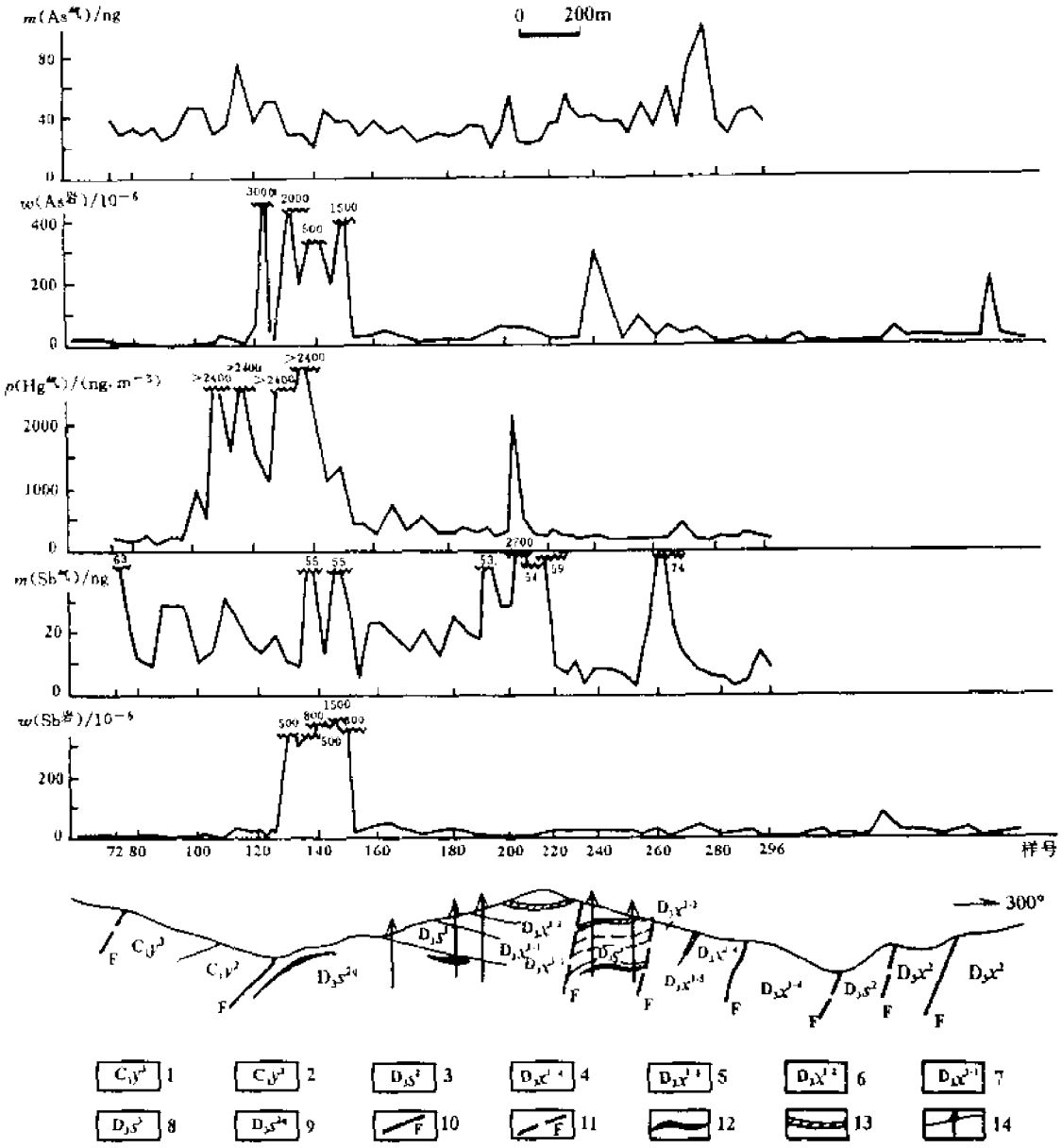


图 3-32　湖南省冷水江市锡矿山地区 23 线综合测量剖面

（地质剖面引自：湖南锡矿山矿务局地测处）

1—石炭系下统岩关阶刘家塘段；2—石炭系下统岩关阶孟公坳段；3　泥盆系上统锡矿山组砂岩；4—泥盆系上统锡矿山组马牯脑灰岩；5—泥盆系上统锡矿山组泥塘里铁矿层；6—泥盆上统锡矿山组兔子塘灰岩；7—泥盆系上统锡矿山组长龙界页岩；8　泥盆系上统佘田桥组老江冲组泥灰岩段；9—泥盆系上统佘田桥组硅化灰岩；10—实测断裂；11—推断断裂；12—锑矿体；13—铁矿层；14—钻孔

以地气流垂向迁移为基础，所研制的采样方法列于表 3-9。

上述矿质组分赋存状态的假说中，以固相微粒说占绝对优势，坚持这种假说的主要依据是，“金属气体”分散晕的大部分组分，在常温条件下，只能呈固态存在；采集的样品中，大都是固体微粒。关于离子态赋存的假说也是以大量的实际资料为依据的，作者认为这两

表 3-9　矿质组分在地气流中的赋存状态及其采样分析方法

矿质组分在地气流中赋存状态的假说		采样与分析方法	代表作者
固相微粒	微尘级金属有机化合物	旋风除尘器，尼龙丝吸附等方法采样，等离子发射光谱分析	A. Barrin ger
	固相分子集合体	薄膜吸附法采样，质子萤光光谱分析	K. Kristiansson
	细粒级分子集合体	薄膜吸附采样；中子活化法分析	童纯菌
	固体微粒	静电吸附法采样，无火焰原子吸收分析	A. Г. Сухов
	纳米级分子集合体	筛分法采样，无火焰原子吸收分析	伍宗华
蒸气态	离子态	液体吸附剂，原子吸附法	С. В. Григорян
	金属气体	液体溶剂	М. А. Карасик
离子态	呈盐类和配合物形式存在	循序提取	Т. Т. （赵）
	活动态	地电化学学法	Ю. С. Рысс

种假说不是矛盾的，这是由于金属组分的迁移，具有接力竞赛的特征。微粒金属组分，具有较高的活性。在表生条件下，容易转化为离子态，形成表生条件下比较稳定的化合物状态。以汞为例，从烟囱废气中排出的汞，无疑是汞的蒸气，当气态汞散落到地面，并被土壤吸附后，汞不再是游离汞，很快被转化为氯化汞和氧化汞，汞在表生条件下的化学性质不十分活泼，那些在表生条件下活泼的金属组分，从单质迅速转化为离子态是可想而知的。而且离子态也有几种垂向迁移的机制，也可以被固体微粒吸附迁移。由于金属在还原条件下易呈单质，在表生条件下则易呈离子，人们常把离子视为单质的子体或衍生物。由于离子在表生条件下，容易受表生作用的影响，特别容易受地下水动力学作用的影响，产生较大的位移，表生富集与贫化等变化。使异常与隐伏矿的关系更加复杂化，给推断解释和隐伏矿的追索造成许多困难。这就是人们乐意从壤中气中，直接收集固体微粒的初衷。这样可减少表生条件下多种因素的影响，使异常与隐伏矿的关系更加紧密。根据隐伏矿信息对隐伏矿的追索，可以少走弯路。

五、气溶胶样品筛分捕集法简介

基于地气流中矿质组分是呈固体微粒赋存，人们自然会想起困扰金矿化探达数十年之久的“颗粒效应”。由于地气流的搬运能力弱，通道不畅通，仅能垂向搬运那些质量和体积均小的固体微粒。这一点已被大量的试验证明，并在采样中，注意排除粗大的土壤颗粒进入样品。为了提高测量精度和采样效率，仅仅剔除粗颗粒是不够的。人们从烟尘和风成砂的颗粒试验中得知，金属组分并非赋存在最粗的颗粒中，也不是富集在最小的颗粒中，而是富集在某一粒级范围内的颗粒中。而且不同元素富集的粒级均有所不同[127]。样品中，元素的共生组合也发生了新的变化。为了满足生产试验的需要，我们研制了一种固体微粒筛分捕集器（图 3-33）。筛分捕集器的原理和两种不同网目的筛子截取两种网目之间的颗粒一样。所不同的是：将筛子改成了滤膜，两滤膜之间为选择性吸附剂。选择不同孔径的两种滤膜，就能截取这两种滤膜孔径之间的颗粒。另一个区别就是，气体只能从滤膜通过，不通过滤膜就达不到筛分的目的。

国内有人曾采用本人在汞蒸气测量时所研制的双层滤膜过滤器作为筛分不同粒级的捕集器，这种装置不能达到截取两种滤膜之间的颗粒的目的，仅仅是截取了滤膜最小孔径以

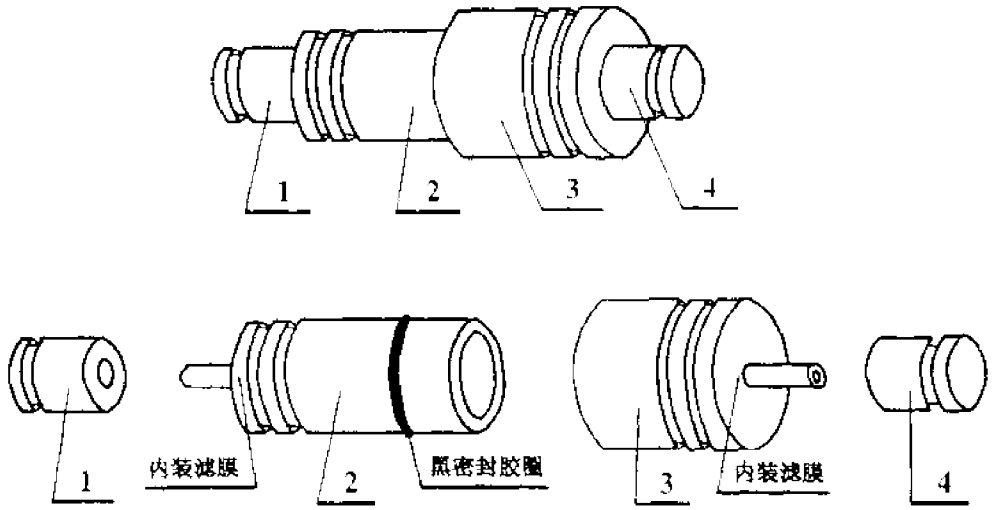


图 3-33　壤中气气溶胶筛分采样装置图

下的颗粒。因为不同孔径的滤膜被置于过滤器之间，吸附剂被放在过滤器之后的气路中。实际上，只有小孔径的滤膜发挥了作用，大孔径的滤膜根本没有发挥作用，两滤膜孔径之间的颗粒处于两滤膜之间，不可能达到吸附剂的位置。而且这种双层滤膜过滤器是螺纹接口的，有时密封不好，不容易发现漏气现象。筛分捕集器的优点是：滤膜和吸附剂都在室内清洁的环境下安装好，不容易被沾污。采样效率成倍提高，测量的重现性可以得到改善。可选择性地截取所需的样品粒级，为生产试验提供了方便。吸附剂为固态，并不大幅度提高样品的本底。野外携带也较为方便。在一天内可采集将近 100 个样品。这种捕集器操作简便，能保证不漏气和具有密封存放等优点。在任何工作环境下工作，不容易被沾污和不会产生尘土堵塞等现象，也不需在野外更换滤膜。可以和壤中气 Rn-Hg 进行联测，有利于研究壤中气与气溶胶分散晕之间的相关关系。一次测量可获得多种与隐伏矿有关的信息，为综合测量创造了条件。更为可贵的是，壤中气测量和壤中气气溶胶联测，有利于排除在壤中气气溶胶测量中地表人为污染的干扰，又能克服壤中气测量所具有的间接性和多解性的弊端。

第七节　地电化学测量

一、概述

随着自然电场勘查方法和硫化物矿床氧化带研究的深入，人们逐步认识到电场对金属离子的迁移现象。在这种现象的启示下，开始进行人工电场找隐伏矿的试验研究。这项试验最先在原苏联获得成功。Ю. С. 雷斯著的《地电化学勘探法》一书，集中反映了原苏联在这一领域的研究成果。此后，俄罗斯圣彼得堡矿业学院的地球物理学家 Ф. Ф. 普吉可夫教授应用“场论”和“微细气流迁移理论”对矿床周围离子的形成和离子在电场作用下的迁移

机制进行了深入的讨论。20 世纪 90 年代初，地电化学找矿的方法技术得到了长足的进展，它已发展成为具有多个学科分支兼具物化探特点的综合找矿方法，如部分提取法、吸附提取法、气体地电化学离子法、土壤电导率测量法、氧化还原电位法和时量曲线法等等。在俄罗斯，该方法在找油气田、地热储和各类金属隐伏矿床方面，均取得了较明显的地质效果。20 世纪 80 年代初，该方法被引入我国，以后相继被引入欧美等西方国家。

地电化学找隐伏矿的地球化学原理是：基于隐伏矿床周围离子分散晕和气体分散晕的存在。金属离子和气体组分在电场和气泵的作用下，被各种类型的离子接收器所浓集。然后根据接收器中，接收剂的分析结果对隐伏矿进行预测。由于土壤中有大量带电胶体的存在，带负电的胶体，能吸附金属阳离子。吸附了金属离子的带负电的胶体，在电场作用下，向阳极聚集，通过了与阳极的电化学反应，沉淀在阳极离子接收器中，因此，阳极离子接收器中，同样有金属离于的存在。作者通过地电化学和水电化学试验，证明这种现象的普遍存在。这种现象是以往地电化学工作者很少注意的问题之一。

地电化学找隐伏矿的效果虽被广大找矿工作者所公认，但对离子分散晕在垂直剖面上的分布特征，离子分散晕与矿床之间的动态平衡，离于垂直迁移的动力学机制，迁移途径和不同介质中迁移形式的转化以及离子分散晕分布的影响因素等诸多方面，尚存在有较多的争议。特别是在隐伏矿床上方运积层中，离子分散晕的动力学机制至今仍无定论。坚持人工电场作用论者认为：电场对离子的迁移能力是无可争辩的，在强大电力的作用下，离子可以进行较大距离的迁移，并主张大幅度提高直流电源的电压和电流，增大正负电极间的距离，以提高对隐伏矿的探测深度。其次是当供电到一段时间后，金属离子的时量曲线出现突然性的增高现象，这被认为是电场将矿体附近高浓度的金属离子驱赶至离子接收器的结果。作者认为，隐伏矿上方运积层中的金属离子分散晕是在长期的地质年代里，在使矿质组分垂向迁移的各种营力作用的结果。它们早已存在于近地表的各类介质中，人工电场主要是浓集了电极附近与介质结合能力较弱的部分金属离子和电活性物质。其主要根据是：

1）根据离子的淌度计算，金属离子在电场作用下，在非水溶液介质中，在较短的时间内，不可能进行长距离的迁移；

2）壤中气气溶胶测量和偏提取等测量方法在许多隐伏矿上方的运积层中，均能发现成矿元素和伴生元素的异常；

3）地电化学的异常狭窄，且多与构造裂隙有关，与电力线的分布关系不明显；

4）地电化学的时量曲线突变，可能与潜水面附近金属离子的富集有关，并不反映隐伏矿床的埋深；

5）作者于 1988 年在野外一矿区的试验中，供电电极的距离从 2～400 m 范围内变化，发现异常的位置无明显的变化，同样说明异常的分布与人工电场电力线的分布关系不明显。

以上事实说明，隐伏矿上方运积层中的金属离子异常是早已存在的，而不是人工电场的驱赶所致。

二、地电化学在我国的应用概况

自然电场法电法勘探于 20 世纪 50 年代末引入我国，70 年代末相继将电化学方法用于土壤（电化学方法及其在土壤研究中的应用，于天仁、张效年，1984）和水化学分散晕（水电化学方法找运积物覆盖区的金矿床，伍宗华、金仰芬 1986）的研究。20 世纪 70 年代

末至 80 年代初，由邱郁文、吴传璧（1977）、郑康乐（1982）付良魁（1982），崔林沛（1980）首先介绍了国外地电化学找矿法的发展概况，接着由金泽善（1986）罗先熔（1989）、李江（1989）、费锡铨、刘吉敏等人用电提取离子法进行了找隐伏金属矿的试验，并分别取得了较好的地质效果。地电化学找隐伏矿的试验研究在我国已有近 20 年的历史，从专门的地电化学测量仪器和各种类型的离子接收器以及该方法在矿产勘查中的应用均进行了广泛的研究，特别是氧化还原电位法的误差处理和在石油勘查的应用，取得了突破性的进展，但基础理论的研究仍显得薄弱，如离子分散晕的形成机制，时量曲线突变的地质原因，测量单位的归一化和科学化等方面很少有人进行专门的研究，推断解释方法的研究也涉及较少。试验研究的重点集中在该方法找隐伏矿的效果和改善离子接收器的性能等方面。如不加强深入研究，将会长期处于模仿和低水平的重复状态。如地电化学的测量单位多种多样，有采用绝对重量单位的，有采用质量百分数的，也有采用单位时间内提取的离子质量数的。众所周知，地电化学的测量结果，与供电电源的电压、电流有关，也与离子接收器的性能和表土层的电阻率大小等诸多因素有关。若测量的结果不考虑这些因素，不同测量条件的测量结果难以进行类比，各家所获资料更无对比可言。尽管化探方法是相对测量，只要能发现与隐伏矿有关的异常，就能达到找矿的目的，但毕竟不如物探方法的测量结果那样，可在较大的范围内进行对比，有利于综合研究和推广交流。

三、地电化学的应用前提

1）拟寻找的隐伏矿床必须有离子分散晕和气体分散晕存在；

2）人工电场的电力线必须达到离子分散晕所分布的范围。因此，接地电阻过大或过小的地区不利于地电化学测量；

3)地表金属污染严重的地区，如金属冶炼厂和老矿山周围以及城市周围的污水浇灌区，不利于地电化学测量；

4）盐碱化严重地区和新鲜运积物覆盖较厚地区不利于地电化学测量。

四、地电化学的优缺点

该方法的优点：

1）与其他偏提方法相比，它不受样品量的限制，能在较大范围内萃取所需的信息，因此信息量较大，测量精度相对较高；

2）电场的条件相对容易控制，所提取的电活性物质，可对比性较好；

3）有利于和其他物探方法的结合，为资料的推断解释和隐伏矿的追索提供了较为有利的条件。

该方法的缺点：

1）所需设备相对笨重，不利于长距离搬运和交通不便地区工作；

2）与化探方法比较成本较高，采样费时费力。

第四章　隐伏矿信息的获取

第一节　概　　述

找隐伏矿和找地表矿的最大区别，在于首先必须获取隐伏矿的信息，找地表矿可以通过老乡报矿和地质观察等方式就能发现矿体，而各类隐伏矿在地表是见不到矿体露头的，只能在地表获取隐伏矿的有关信息。然后，再作进一步的追索和勘探。获取不到隐伏矿可能存在的真实信息，要去找隐伏矿，如同盲人骑瞎马，其结果是可想而知的。

获取隐伏矿信息的途径有：区域地球化学预测；遥感图像预测；地球物理预测；地质建造预测；特殊景观区的非常规地球化学普查和地质找矿模式类比等。其中隐伏矿床的区域地球化学预测，是获取隐伏矿信息的重要渠道之一。

成矿作用是一种区域性的地质现象。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。在类似区域的地质条件下，矿床具有成带、成组发育的规律，“就矿找矿”“顺藤摸瓜”等方法就是对成矿作用区域性规律的灵活应用。隐伏矿的区域地球化学预测，在找隐伏矿的过程中，具有重要的意义。它的实际意义可从1∶20万水系沉积物测量资料对找矿实际作用的中得到理解。无论是地质方法，还是地球物理或地球化学方法，许多重大成就都是从区域到局部的系统测量取得的。这是由成矿作用的区域性所决定的。隐伏矿床的区域地球化学预测，也无疑应从区域着手。这样既能在大范围内优选靶区，又有利于对成矿区带作整体对比和四维研究。区域成矿预测已引起世界各国的重视。如俄罗斯的建造分析法，西方国家的矿床模式预测法，均在广泛地开展区域性的矿产预测。

我国大部分地区已开展1∶20万地质测量，重磁测量和水系沉积物测量，已发现了数以万计的各类异常和找矿靶区，为隐伏矿床的区域地球化学预测提供了丰富的基础资料。在少数特殊景观区内，找隐伏矿的地球化学信息量不够，再补做一些非常规的地球化学工作，便可全面开展隐伏矿床中、大比例尺的区域地球化学预测工作了。我国即将从1∶20万的区域化探扫面转入1∶5万的区域地球化学普查，为使这项工作的顺利开展，隐伏矿的区域地球化学预测，具有更为重要的现实意义。我国在1∶5万的水系沉积物加密测量中，有些单位，由于不重视区域预测，不重视1∶20万的水系沉积物测量资料的应用，单凭拍脑袋确定加密测量图幅，结果一无所获，连一个比较好的异常也没有发现。

中、大比例尺地球化学预测的主要任务是：制定预测区内的区域矿物-地球化学准则，圈出有成矿远景的大型含矿构造和大、中型矿床的靶区。

第二节　地球化学景观区的划分

众所周知，各种勘查地球化学成果，大多是一系列所测元素的数据，以及以这些数据

为基础所勾绘的元素异常图。这些数据是景观地球化学因素和地质因素的函数，而且还受样品加工和分析测试等因素的影响。表 4-1 列出了我国部分铜矿床水系沉积物铜异常的特征参数。从表中可以看出，各个矿区的异常平均值、异常面积和矿床规模之间，毫无相关关系。

表 4-1　我国部分铜矿床水系沉积物 Cu 异常特征参数表

矿区名称	景观类型	Cu 元素含量变化范围	$w_{平均值}$ /10^{-6}	异常面积 km^2	矿床规模	备　注
安徽铜官山—狮子山 Cu 矿田	湿润低山丘陵	54～771	174	84	中—大型	
安徽新桥—凤凰山 Cu 矿田	湿润低山丘陵	45～614	103	132	中—大型	
安徽铜官山—凤凰山 Cu 矿田	湿润低山丘陵	(25～771)	(125)	(720)	中—大型	用经验法圈定
江西城门 Cu 矿田	湿润低山丘陵	38～1234	180	40	大型	湖沉积覆盖
江西武山 Cu 矿田	湿润低山丘陵	190～1250	1273	60	大型	有运积物覆盖
湖北封山洞 Cu 矿田	湿润低山丘陵	38～1926	380	76	中型	
江西天排山 Cu 矿田	湿润低山丘陵	31～784	180	72	大型	
云南老厂—卡房 SnCu 矿田	湿润中山	299～6064	1660	100	大型	
湖南宝山 Cu 多金属矿田	湿润低山丘陵	60～875	267	88	中型	
河北寿王坟 Cu 矿田	湿润低山	38～454	114	64	中型	
江西德兴 CuAu 矿田	湿润中低山	34～1615	230	108	大型	
河北小寺沟 CuMo 矿田	湿润低山	21～491	91	92	中型	
吉林小西南岔 CuAu 矿田	湿润低山丘陵	41～902	157	96	大型	
吉林红旗岭 CuNi 矿田	湿润低山丘陵	22～370	54	96	大型	
吉林赫柏松 CuNi 矿田	湿润低山丘陵	23～41	29	156	中型	
福建紫金 CuAu 矿田	湿润中低山	10～175	28	100	大型	
广东大宝山 Cu 矿田	湿润低山丘陵	317～1667	704	88	大型	
江西铁砂街 Cu 矿田	湿润中低山	28～470	62	84	中型	
四川拉拉厂 Cu 矿田	湿润中低山	53～213	96	20	中型	越级进入高级水系
云南罗马厂 Cu 矿田	湿润中低山	44～210	126	96	中型	
江西枫林 Cu 矿田	湿润低山丘陵	27～617	161	36	中小型	
内蒙古布敦花 Cu 矿田	半荒漠区	17～2227	168	80	中型	
内蒙古同兴—地下 Cu 矿田	半荒漠区	22～75	42	72	中型	
新疆喀拉通克 CuNi 矿田	干旱荒漠	42～166	62	64	大型	隐伏矿
新疆阿舍勒 CuZn 矿田	干旱荒漠	38～88	47	92	大型	半隐伏矿
甘肃白银厂 Cu 多金属矿田	干旱荒漠	45～273	88	116	大型	部分异常与污染有关
云南落雪—困民 Cu 矿田	中高山区	217～1143	585	56	大型	砂岩型
四川铜厂顶 Cu 矿田	峡谷区	83～2950	327	112	中型	
西藏玉龙 Cu 矿田	高山峡谷区	36～6459 (25～6549)	1103 (162)	44 (400)	特大型	括号内数值为经验法确定

续表

矿区名称	景观类型	Cu 元素含量变化范围	$W_{平均值}$ /10^{-6}	异常面积 km^2	矿床规模	备　注
西藏驱总 Cu 矿田	高山峡谷区	23～993 (25～993)	134 (133)	80 (80)	中型	同上
西藏多霞松多～马拉松多 Cu 矿田	高山峡谷区	26～237 (25～367)	64 (57)	108 (128)	大型	同上
西藏玉龙—马拉松多矿带	高山峡谷区	(25～6549)	(72)	(>1700)	特大型	同上
黑龙江多宝山 Cu 矿田	森林沼泽	42～232	67	100	中型	

若将景观因素和矿化类型一起加以考虑，则异常的特征参数值与矿床规模的相关关系便大为改善。说明大多数的地球化学方法，都在一定程度上受景观地球化学因素的影响。在制定任何地球化学方法和评价准则时，也必须考虑景观因素的影响。想规定一个统一的异常下限和统一的异常分级是不切合实际情况的。为了帮助读者在划分地球化学景观时参考，现将我国的景观地球化学分区示于图 4-1。在隐伏矿床的区域预测中，若选择在类似的景观区和成矿区内进行，各种干扰因素自然也得到抑制，可对比性将大为提高。这样既有利于隐伏矿床的地球化学异常模式类比，也有利于成矿地球化学省和弱小异常的识别。在进行景观分区时，首先应根据遥感资料和地形地质图将不同成因的疏松覆盖层的分布和厚度分别标出。当研究这些地区的化探资料时，应当考虑在这些地区将会出现什么样的问题和所获资料的可靠程度。在特殊的景观地球化学区内，由于常规化探方法所能获取的隐伏矿信息太少，还必须补充做一些非常规的化探工作，以利于隐伏矿的预测。

第三节　特殊景观区地球化学方法的选择

为了在特殊景观区内，获取尽可能多的隐伏矿信息，既能覆盖整个预测区，又能使所获资料具有较高的可对比性，因此，必须选择最佳的勘查地球化学方法，才能达到事半功倍的功效。下面将以隐伏矿床预测为目的，在某些特殊景观区内，不同勘查地球化学方法的优缺点列表如下（表 4-2A—表 4-2G）。

表 4-2A　水系沉积物测量和土壤测量

优　点	缺　点
1. 水系沉积物和土壤中的次生分散晕，由于表生作用的结果，它们的分布范围比相应的原生晕宽； 2. 异常组分在样品中的分布比较均匀，用较稀的测网进行勘查，便可取得较好的找矿效果和较好的重现性； 3. 在选择取样点时，不带主观性； 4. 样品的采集和加工省时省力； 5. 本方法可发现残坡积层下的隐伏矿，淋滤型隐伏矿，分带型隐伏矿和半出露隐伏矿的异常	1. 在水系不发育和残坡积层厚度超过 5m 的地区找矿效果欠佳。在运积物覆盖区基本无效。在污染严重地区无法开展工作； 2. 异常中心与异常源有较大的位移； 3. 元素的共生组合关系，常有较大的次生变化； 4. 表生作用可造成某些元素的富集和贫化； 5. 元素的赋存状态不明

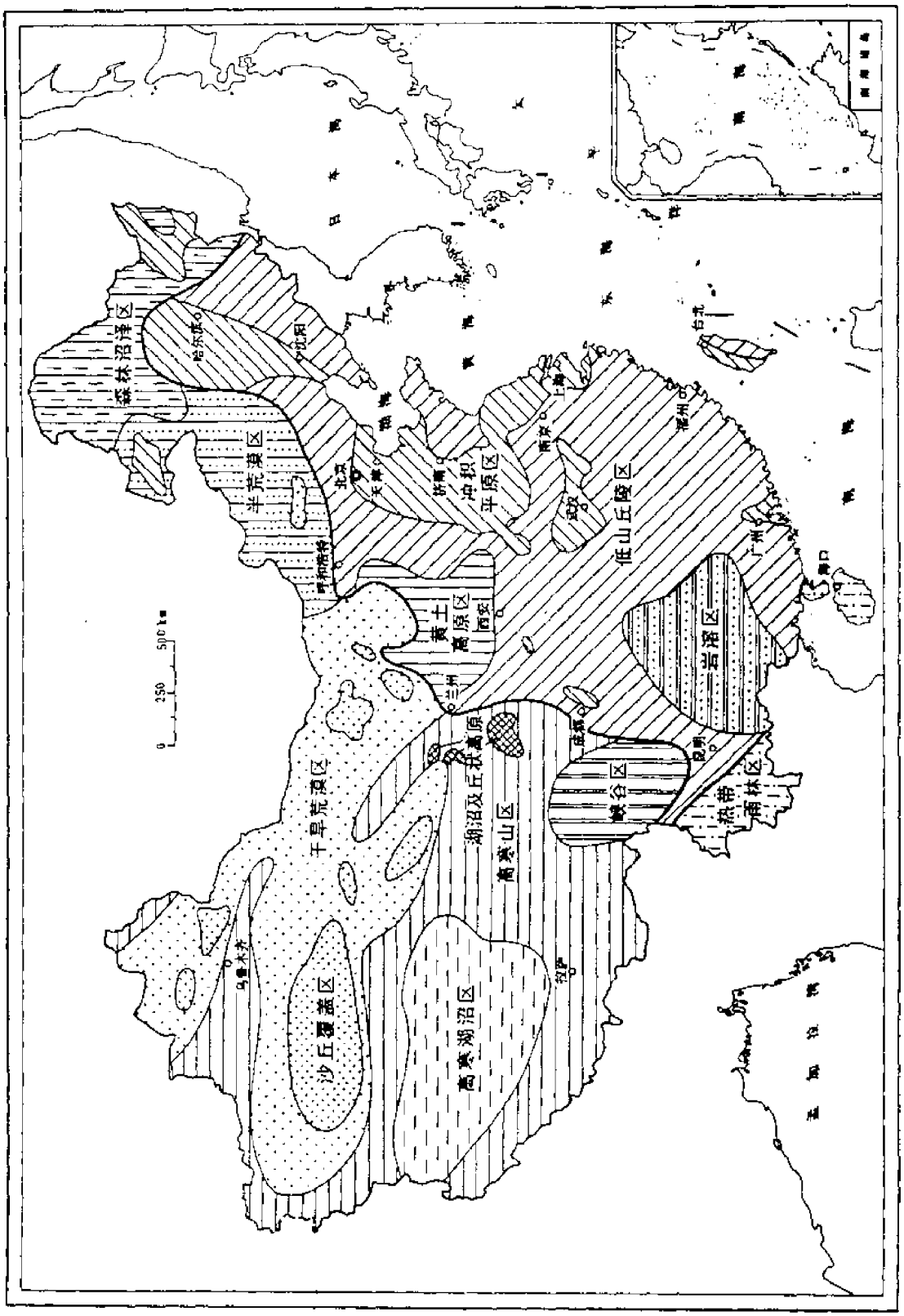


图 4-1　中国地球化学景观分区图

表 4-2B　岩石地球化学测量

优　　点	缺　　点
1. 所有的岩石地球化学异常都与地质情况有明显的对应关系，无位移； 2. 可以确定异常元素在岩石（矿石）中的存在形式和晕中的矿物成分，因此，可以对矿化的成因得出有根据的结论	1. 原生晕的分布范围比次生晕小，异常形态复杂分布不均匀，容易造成异常不连续，甚至有可能漏失有意义的异常； 2. 预测隐伏矿的灵敏度不及次生晕方法高； 3. 必须采用较密的测网，样品的采集和加工费时费力，成本较高； 4. 由于疏松沉积物的覆盖，有时在测网规定的范围内采不到基岩样品，其使用范围受到限制

表 4-2C　水电化学测量

优　　点	缺　　点
1. 能发现薄层运积物覆盖下的隐伏矿，探测深度明显优于土壤测量； 2. 能抑制地表矿化和地表轻微污染的干扰； 3. 能对地表矿化的含矿远景进行评价	1. 采样位置和密度受地下水露头的限制； 2. 异常的范围一般较大。异常的指示意义不十分明确，并且不易追索到异常源

表 4-2D　壤中气测量

优　　点	缺　　点
1. 根据异常与隐伏矿的对应关系，有利于追索异常源； 2. 探测深度较大，其异常组分能穿过不同类型的覆盖层； 3. 该方法对不同类型的隐伏矿均能提供一定的信息，特别是对控矿构造，能提供较多的有用信息； 4. 对汞矿、放射性矿和油气藏具有直接的指示意义； 5. 在野外能及时取得测量结果，有利于指导野外施工和缩短找矿周期	1. 异常受构造裂隙的影响，分布不均匀，而且还受气象等因素的影响，所以异常重现性不能令人满意； 2. 金属元素在常温下大多不呈气体，在常温下呈气体的指标，与矿床的关系不密切，因此气体测量的指标，多具有间接性和多解性。目前所测指标大多与构造活动有关

表 4-2E　偏提取测量

优　　点	缺　　点
1. 在干旱地区，对各类隐伏矿床均有一定的探测深度，但明显不如气体测量和壤中气气溶胶测量。 2. 有助于对异常指标赋存状态的研究，且对隐伏矿的追索也有一定的指导作用	1. 异常具有间接性和多解性； 2. 引起异常的地质原因不容易追索清楚； 3. 异常的重现性不能令人满意，分析质量欠佳； 4. 地电化学测量等方法成本较高

表 4-2F　壤中气气溶胶测量

优　　点	缺　　点
1. 可直接检测隐伏的成矿元素异常，继承了化探直接找矿的优点； 2. 探测深度仅次于气体测量方法，对于各种类型的隐伏矿均有一定的探测能力； 3. 使长期处于间接性和多解性困扰中的气体测量注入了新的活力，两者结合使用，如虎添翼，提高了它们在找隐伏矿中的实用性	该方法的理论基础和方法技术，尚处在研究中，其成熟度还不够高，特别是异常的重现性不能令人满意，限制了它在生产中的广泛应用

表 4-2G　植物测量

优　　点	缺　　点
1. 对薄层运积物覆盖下的隐伏矿床有一定的探测能力； 2. 对厚层残坡积覆盖下的隐伏矿也具有一定的探测能力； 3. 对大片森林覆盖区，交通不便，定位较难，该方法有一定的应用前景	1. 它是比土壤次生分散晕更次一级的分散晕，它的影响因素更多，给异常的推断解释带来了一定的困难； 2. 样品采集、加工和分析都比较费时费力成本相对较高

第四节　特殊景观区的地球化学普查

在特殊景观区，常规的地球化学方法不能覆盖全区，即使覆盖了全区，也不能有效地获取隐伏矿床的信息。为了弥补常规化探方法所获隐伏矿信息量不足的缺陷，采用某些非常规的化探方法，以获取隐伏矿的更多的信息，满足隐伏矿预测的需要。

一、已知矿区外围，地表严重污染地区的水电化学测量

1. 新化锡矿山外围地区的水电化学测量

(1) 概述

锡矿山地区是世界著名的锑都，它已有 100 余年的开采历史，古代和近代土法开采和土法冶炼甚剧。古采坑和废矿渣漫山遍野，随处可见，选矿尾砂的浊流，长达数十公里，随河水四处分散，在周围几十平方公里的范围内造成了严重的污染。不仅河水不能饮用，连地下水也发出酸臭味。水系沉积物测量的结果，在锡矿山周围，圈出了一个 600 多 km^2 的 Sb 异常。Sb 的含量高达 $n \cdot 1000\times10^{-6}$ (图 4-2)。土壤测量也将遇到同样的问题，矿区附近用矿渣铺路长达 100 多 km，矿区附近的民用建筑和工业设施遍布，很难找到一片不受污染的地方。随便在庄稼地里采一个土壤样品，其中 Sb 和 Hg 的含量都很高，w (Sb) 在 $n \cdot 100\times10^{-6}$以上。

锡矿山外围的找矿工作已有数十年的历史，前人在锡矿山外围开展过 1∶20 万水系沉积物测量；1∶20 万重磁测量；1∶1 万土壤测量和汞蒸气测量等项工作，这些工作虽然获得了大量有意义的资料，但找矿效果甚微。据锡矿山主管部门的介绍，在锡矿山外围近 30

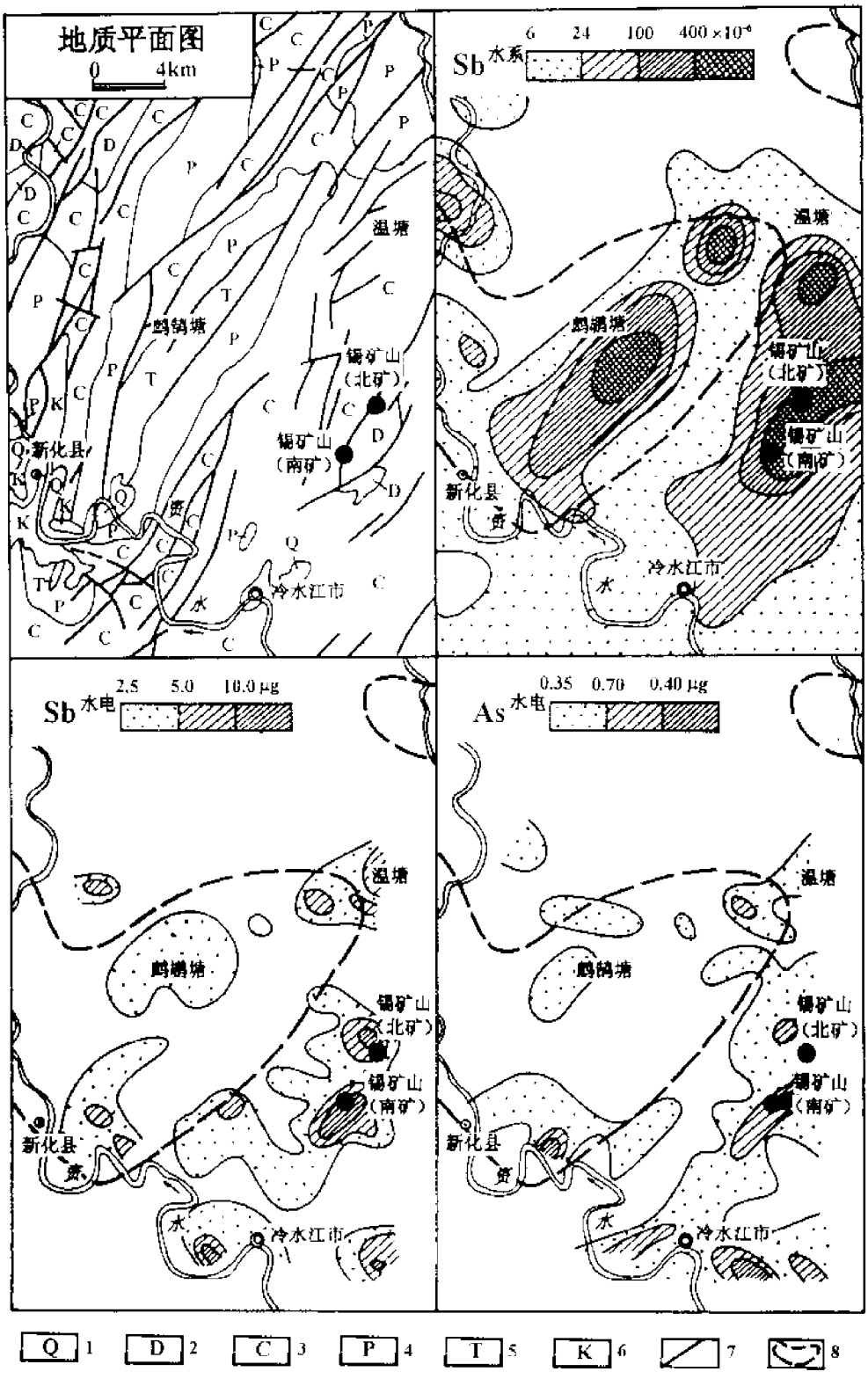


图 4-2 湖南锡矿山地区水电化学异常图

1—第四系；2—泥盆系；3—石炭系；4—二叠系；5—三叠系；6—白垩系；7—断层；8—隐伏岩体

年的普查勘探中，未找到过一处新矿体。近十年来，锡矿山开采规模不断扩大，矿山保有Sb储量仅够数年开采之用。锑矿资源日趋枯竭。Sb矿勘查又一直未能取得新的突破。因此，锡矿山外围的找矿问题，成了全国闻名的老大难矿山之一。原地质矿产部为延长该矿山的寿命，确保我国锑产量的稳定增长，自1996年起，决定在锡矿山外围开展Sb矿综合勘查。水电化学测量就是这项综合勘查计划的一部分。

（2）地质概况

湘中地区是世界上最大的锑矿产地之一。其中锡矿山锑的储量接近国外已探明锑储量的总和。锡矿山式锑矿主要产于D_3s地层中。特别集中于D_3s岩段之下的硅化岩中。硅化岩呈似层状，是主要的近矿标志。背斜与断裂构造的复合部位是锑矿控矿的重要因素。据湖南物化探队的重磁资料推断，在隐伏矿的下方，一般有规模较大的隐伏岩体赋存。隐伏岩体的埋深一般在3～4 km。当岩体出露地表时，其岩体内部或邻近岩体的部位一般无锑矿化和Sb异常。当隐伏岩体埋深较浅时，在岩体上方的地表有Sb、Au矿化显示。矿化类型主要为脉型。在锡矿山锑矿范围内，有清晰的Au异常存在。在地表出露岩体的外围，具有明显的水平分带现象。紧靠岩体部分为W、Mo、Sn异常，其次为Cu、Pb、Zn异常，岩体外围便是Hg、As、Sb异常。这种分带特征，指示区内有系列矿床存在。区内含Sb矿层位大都被后期的石炭系沉积岩层所覆盖。地表一般见不到矿化与围岩蚀变。区内二叠纪的煤层发育，其中含Sb较高。

（3）水中部分金属电提取测量（水电化学测量）

采样密度为1个点/1～4km^2，共采水电化学样品167个。工作电压DC45V，工作电流80mA，预富集时间20min。重复采样率3%，分析元素为Sb，As。其测量结果示于图4-2。Sb的异常下限为2.5μg/20min，异常含量按2.5～5.0～10μg/20min勾绘等量线，As的异常下限为0.35μg/20min，异常含量按0.35～0.7～1.4μg/20min勾绘等量线（图4-2），区内水电化学Sb异常呈环状分布，异常形状和浓集中心的分布范围与该区1∶20万水系沉积物测量的中带Sb异常基本相似。但它们的内部结显著不同，受污染干扰地区的Sb异常受到明显的抑制，未受干扰地区的异常得到明显加强。如冷水江东西两侧的Sb异常，从锡矿山已知矿区的大片水系沉积物异常中分离出来。表明该水电化学异常未受锡矿山尾砂污染的影响，其找矿意义更加突出。除已知矿区有明显的水电化学异常对应外，在其外围发现了五个异常区，其中包括新化县鹧鸪塘异常，坪烟异常区（温塘异常）和冷水江东西两侧的异常。这些异常已由土壤Sb异常和壤中气气溶胶Sb异常所证实，异常区内可能有一定规模的原生Sb矿化存在。温塘异常可能由隐伏矿引起。As异常的形态与Sb异常相似，但异常规模比Sb异常大。从水电化学异常的形态看来，该区的Sb异常明显受NE和NW向的断裂构造控制。

2. 大尹格庄金矿床外围的水电化学测量

（1）试验区地质概况

试验区位于招远十里堡至大尹格庄的招平含金断裂带上，呈SN方向展布。该断裂分布在胶东群变质岩系与燕山期花岗岩的接触带附近。成矿后期，东西向的断裂发育，并伴随有多金属硫化物矿化叠加。蚀变带一般宽为29～54m，最宽达85m，蚀变类型以绢英岩化为主，多发育在花岗岩一侧主断裂面之下的碎裂-糜棱岩中。蚀变程度和规模严格受断裂破碎带控制。断裂带、蚀变带和矿化带三者之间具有明显的共消长关系。

大尹格庄金矿是试验区内惟一的大型金矿床，属半出露盲矿床。矿体头部在地表之下200～300m，但其控矿构造在地表的出露位置上，有Au异常存在。该矿床有大小隐伏金矿体30个，其中以1号和2号矿为主矿体。矿体呈蛇曲脉状。总体走向为NE20°，倾向SE，倾角18°～53°，平均品位为1.17g/t左右。矿体在地表的投影范围内，既无土壤Au异常，也无岩石Au异常显示（图4-3）。与之相反，在其邻近地区，Au异常较多，但大部分金异常在地表未发现金矿体。测区内最强的后疃Au异常，也未能圈出Au矿体。由此可以看出，区内已知金矿床的正上方无Au异常，在有Au异常的地方，其下部均未找到金矿体。因此，本区极需研制出一种能识别深部隐伏矿的方法技术。水中部分金属电提取测量（水电化学测量）便是该区选择的试验方法之一。

（2）水中部分金属电提取测量（水电化学测量）

电提取采样装置如图2-2、图2-3所示。预富集时间30分钟。采样网度2～3个点/km^2。试验区面积约45km^2，共采集水电化学样品145个，分析了正、负电极上吸附剂中的Au、Ag、Cu、Pb等元素。过去的试验和这次的试验都已证明，不仅在阴极的吸附剂上有金属阳离子，在阳极的吸附剂上也有金属组分存在。两个电极上Au的总量异常示于图4-3。从图4-3可以看出，水电化学Au异常与岩石金异常的空间分布有明显的位移，有的原生金异常附近无水电化学异常。在大尹格庄金矿区，水电化学Au异常处在金矿体的前缘，异常对隐伏矿的指示明显优于岩石测量的异常（见图4-3）。岩石Au异常均与地表Au矿化有关。而水电化学异常不完全受地表矿化的影响，说明水电化学方法可以找寻半出露盲矿床。在基岩出露区，可用于评价矿化露头的含矿远景，可以排除地表轻度污染的干扰。此外，除大尹格庄大型Au矿床有对应的水电化学异常外，在测区西部的董家和测区东部的柳家至十字道一带有规模巨大的水电化学Au异常存在。当时推断这些异常由隐伏矿所引起，但没有继续进行工作。近几年地质队的工作结果表明，在异常区内十字道村附近的运积层下，找到了原生金矿化。在董家村附近，也找到了原生Au矿化。推断这些金矿化是隐伏矿床的重要找矿标志。

（3）问题与讨论

1）该实例说明：水电化学方法找半出露盲矿是有效的。而且能排除某些地表分散矿化和污染的干扰。

2）未知区内，规模较大的Au异常，值得进一步查证。已发现的原生金矿化，可能是潜在隐伏金矿床的重要找矿标志。

二、运积物覆盖区的地球化学普查

1. 浙江绍兴地区的壤中气Rn、Hg测量

绍兴地区为广厚的运积物覆盖，该区曾开展过1∶20万水系沉积物测量。其测量结果在绍兴市及其周围发现有一个面积达数百平方公里的Au、Cu、Ag、Hg、Pb、Zn、As等元素的异常（图4-4），其异常强度和规模超过该图幅的任何已知矿的异常。我国一位化探专家曾推断该异常由隐伏矿所引起。其矿量：Au不小于20 t、铜不小于30×10^4 t矿石量。了解该区地质情况的地质专家则认为：化探异常区为广厚的运积物覆盖，即使深部有隐伏矿，其异常也不能到达地表。由此断定，该异常是由污染所引起。绍兴地区古代迷信活动甚行，每年的7月15总要焚烧大量用锡箔纸制作的迷信用品。这些迷信制品中，含有大量的Au、Ag、Cu、Hg、Pb、Zn、As等元素。绍兴市区及郊区人口密集，污染特别严重。由

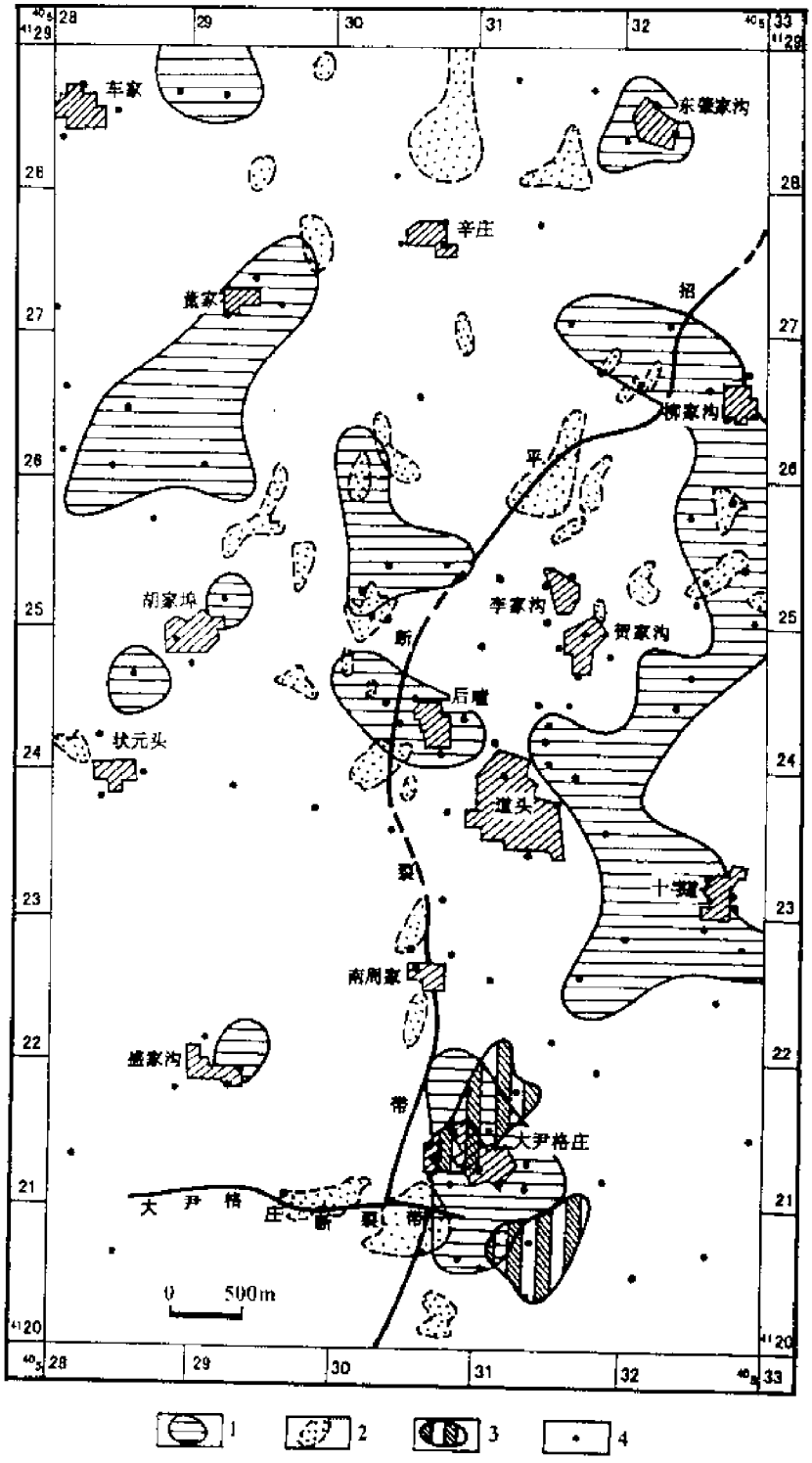


图 4-3 招远辛庄—大尹格庄地段水电化学与岩石 Au 异常分布图

1—水电化学 Au 总量异常>4.0 (ng)；2—岩石 Au 异常>4.0 (10^{-9})；3—矿体在地表的投影；4—水电化学采样点位

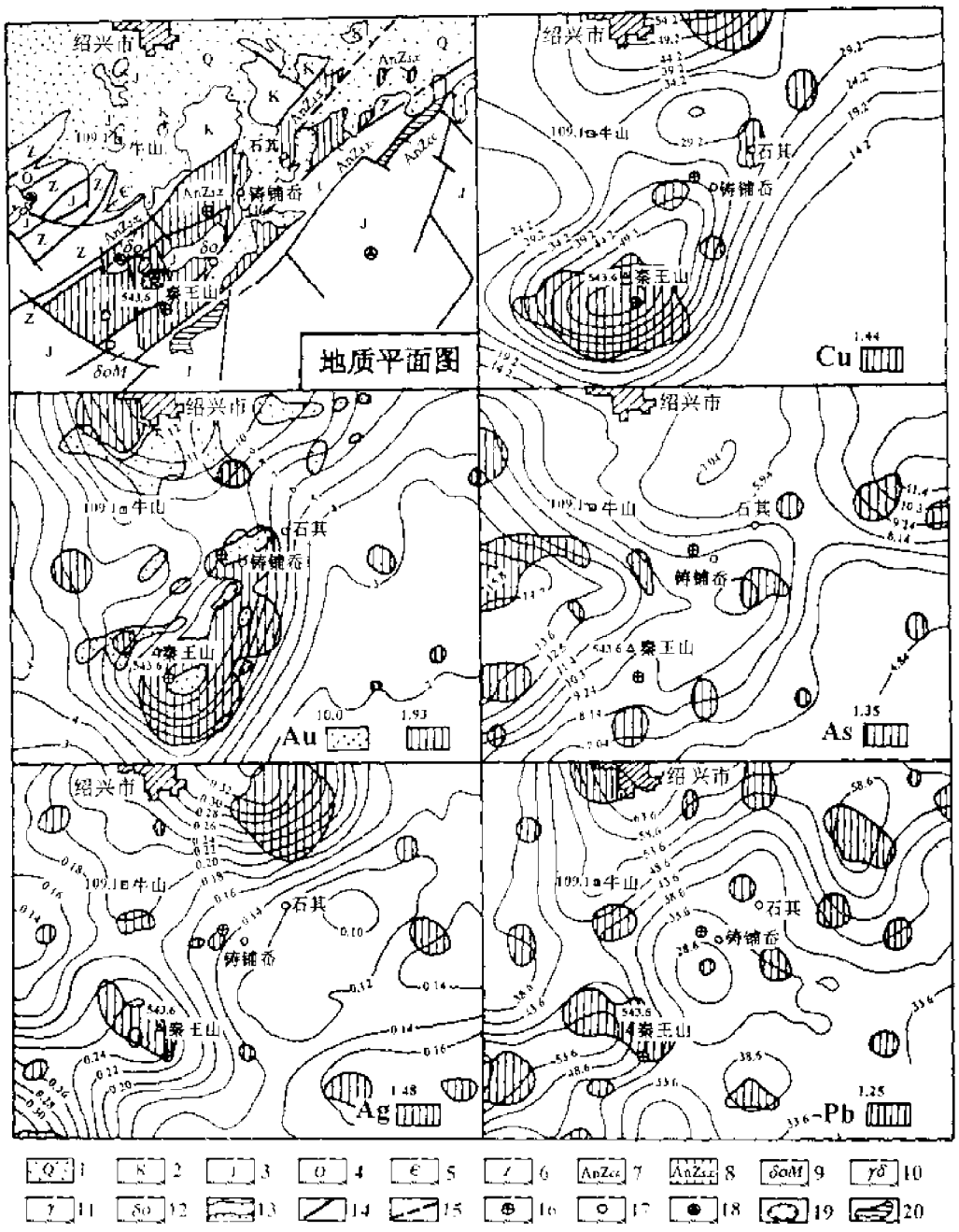


图 4-4　平水幅地质 Au、Ag、Cu、As、Pb 地球化学图

（元素质量分数：Au 以 10^{-9}计，其余元素以 10^{-6}计）

1－第四系；2－白垩系；3－侏罗系；4－奥陶系；5－寒武系；6－震旦系；7－前震旦系陈蔡群；8－前震旦系仅溪坞群；9－混合石英闪长岩；10－花岗闪长岩；11—花岗岩；12—石英闪长岩；13－地质界线，不整合地质界线；14—断裂；15－推测断裂；16—金矿；17—铜矿；18—多金属矿；19—火山通道；20—水库；21－浙江物探队用常规方法圈定；22—RESMA 方法圈定

于年年积累造成了该异常。持污染观点者也面临一系列不易解释的难题是：绍兴市上游人烟比较稀少的地区，甚至是山区，为何也出现上述元素的异常。城市污染物怎么会沿水系往上游分散呢？广大地球化学工作者在上述争论中，无所适从，也无从下手。作者当时对该异常的兴趣也比较大，决心对该异常做一些工作。首先想在主要异常分布区，做一些壤中气汞和氡量测量工作。根据以往的经验，若是由污染引起的异常，一般不会出现壤中气汞的异常。其测量的结果示于图 4-5。从图 4-5 可以看出，Rn、Hg 都有异常出现，而且 Rn、Hg 异常的分布有一定的相关性。但和原有 Au 异常的分布和形态完全不同。此后，采用深层取样，对这些 Rn、Hg 异常进行检验。检验的结果表明：凡是有 Rn、Hg 异常出现的地方，深层土样中也有 Au、Cu、Hg 等元素的异常出现。在没有 Rn、Hg 异常出现的地方，深部土层中 Au、Hg 等元素也无异常显示。说明大部分表土层中的金异常与深部隐伏矿无关，异常不是原地的，主要是外地搬运来的。后经进一步追索证明：异常组分主要来自绍兴上游的铜矿和金属矿开采区。这类异常形成的可能机理是：铜矿和金矿石中的金属组分，呈悬浮胶状物迁移至绍兴地区时，水中的钠离子聚增，使胶体发生聚沉。把胶体携带的金属组分沉淀在绍兴城的周围。由此可见，在城市周围由于污水灌溉和电解质的作用，使胶体聚沉而出现金属组分的异常应具有普遍性。此后，在浙江的金华、杭州等城市的周围，同样，发现有金属组分的异常出现，只是在含量上有所不同。说明上述电化学现象是城市周围的固有特征。我国黄浦江入海处，具有黄浦江流域最高的重金属含量，进一步说明了 Na 离子浓度高，能使此金属胶体聚沉的电化学作用过程。

2. 山东朱桥冲洪积覆盖区的地球化学普查

试验区为低山平原区，95%以上的地表为第四系覆盖，其中约一半是海砂、海泥、冲积物等异地沉积物（运积物覆盖）。松散层厚度一般在 1.5～10m 之间变化。总的趋势是，东南部低山区覆盖较薄。西北部近海区覆盖层较厚。区内年蒸发量为 2133mm，年降水量为 654mm，蒸发量大于降水量，地表径流很少。区域性裂隙-潜水径流埋藏较深，一般在地表以下 4～5m，总体流向是从东南至西北。裂隙-潜水的形成，水位变化和涌水量的大小，与大气水的渗透作用关系密切，呈明显的季节变化。从补给区到排汇区路程较短，一般为数公里。水质以 HCO_3-Cl-Ca-Na 型为主。pH 为 6～7，矿化度小。

第四系下覆基岩主要为黑云母花岗岩（γ_5^1），其次为胶东群变质岩和似斑状花岗闪长岩（γ_5^3）。胶东群变质岩呈漂浮体或捕虏体零散分布在黑云母花岗岩之上。似斑状花岗闪长岩呈岩株状侵入在黑云母花岗岩之中（图 4-6）。

区内 NE-SW 向延伸的断裂破碎带十分发育。其中包括著名的焦家断裂带。该断裂带中，有焦家、新城等大型金矿床产出。金矿体多赋存在断裂构造主裂面的下盘。矿体形态，矿化强度，矿石结构严格受蚀变岩的制约。

围岩蚀变主要为绢云母化、硅化、黄铁矿化、绿泥石化和碳酸盐化。矿体形态多呈透镜状。金属矿物 95%以上为黄铁矿，呈浸染状分布，是 Au 的主要携带矿物，可作为 Au 富集的指示标志。试验区正处在我国东部沿海重力梯度带的形态产生急剧变化的部位上。这与不同方向的断裂对均匀重力场的破坏有关。区内地磁和航磁呈现出低缓或负的磁异常。这可能与岩体侵入时，使围岩产生退磁现象有关。如磁性强的磁铁矿在热液作用下，转变成磁性较弱的磁赤铁矿或无磁性的赤铁矿。辉石、角闪石、黑云母等磁性较强的矿物，在热液作用下，被蚀变成磁性较弱或无磁性的绿泥石、绢云母等。而新的酸性侵入岩体，由于

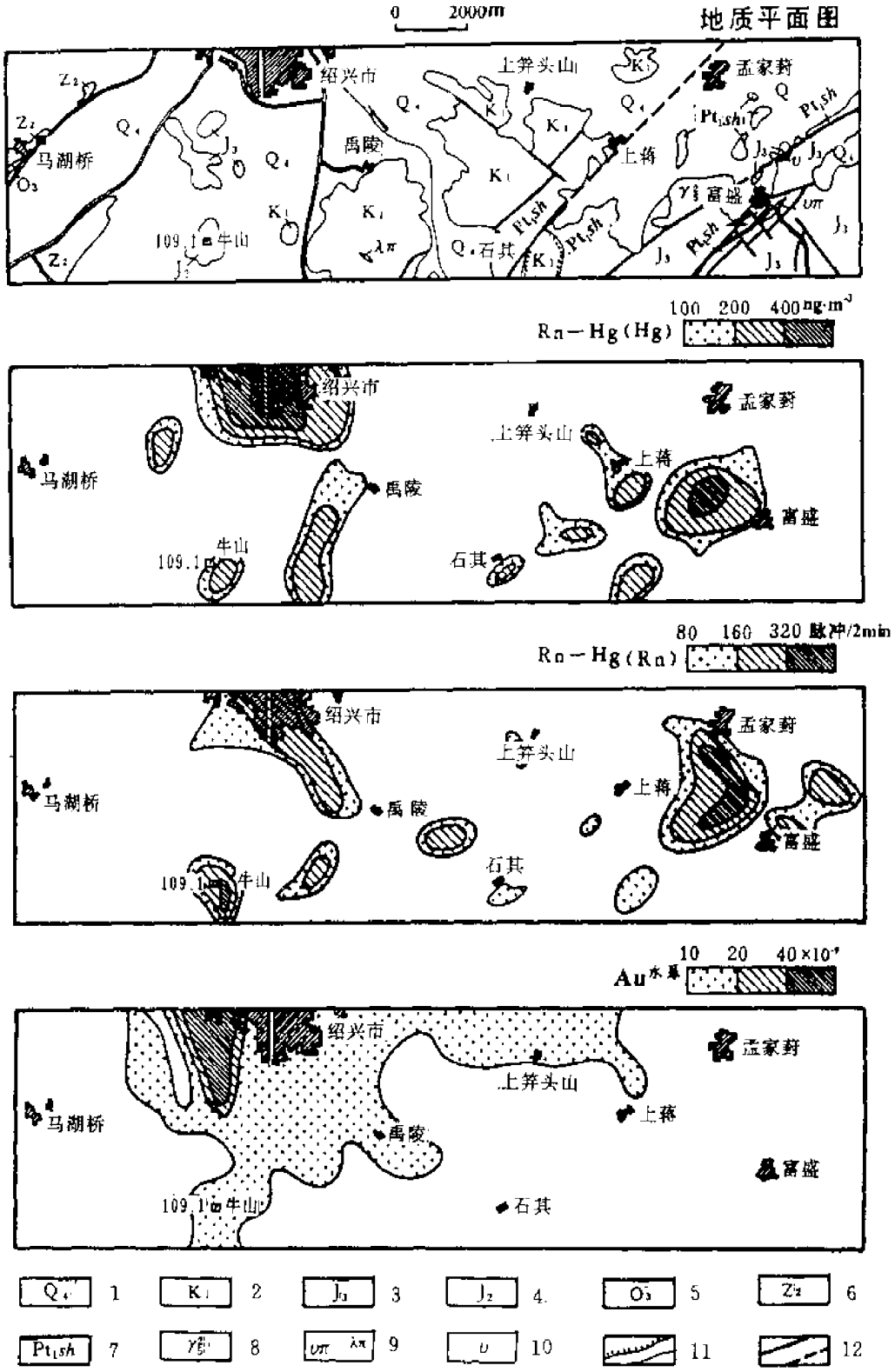


图 4-5 绍兴南部 Hg、Rn、Au 地球化学图

1—第四系全新统；2—白垩系下统；3—侏罗系上统；4—侏罗系中统；5—奥陶系上统；6—震旦系中统；7—前震旦系双溪坞群；8—花岗岩；9—霏细斑岩、流纹斑岩；10—石英斑岩；11—地质界线、不整合地质界线；12—断裂、推测断裂

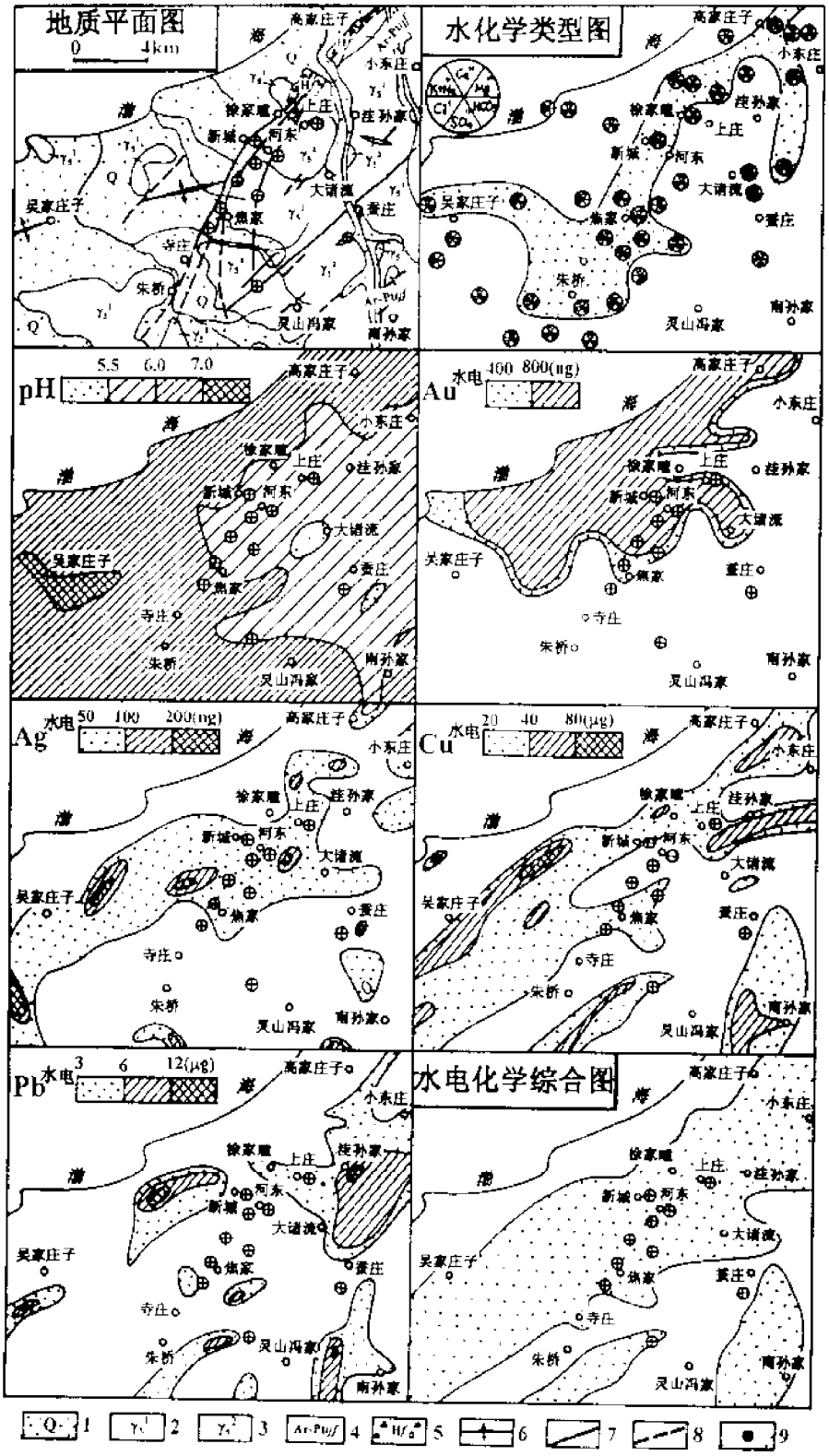


图 4-6 山东朱桥幅水中金属电提取异常图

1 第四系；2－黑云母花岗岩；3—似斑状花岗闪长岩；4－胶东群变质岩；5—角砾岩；6—背斜轴；7—实测断层；8—推测断层；9—金矿床

同化了围岩中的部分基性物质，形成了暗色矿物较多的半球状边缘相，具有较强的磁性。因此，在岩体的入侵部位，则呈现出低缓的磁异常。已知矿床上方均有明显的激电异常反映，这与矿体中和破碎带中的细脉浸染状黄铁矿化有关。但胶东群变质岩中的石墨化，能引起更强的激电异常，因此沿含矿断裂均有断续的激电异常分布，对金矿床无特征的指示意义。

试验区内三种岩石类型中的某些元素的平均含量分别用不同分析方法进行了测定，其测定结果示于表 4-3。从表 4-3 可以看出，大多数元素（化合物）在三种岩石中的含量无显著差异。但 Bi 在黑云母花岗岩中明显偏高。

表 4-3　测区内三种岩类中元素（化合物）的平均含量

岩性 / 元素	黑云母花岗岩	似斑状花岗闪长岩	胶东群变质岩	测定方法单位
Au	1.46	3.75	2.25	化学光谱如/10^{-9}
Hg	4.4	4.35	3.61	原子吸收/10^{-9}
As	0.29	0.40	0.5	原子荧光/10^{-9}
Sb	0.15	0.11	0.17	同上
Bi	0.41	0.07	0.03	同上
Cu	11	17.5	25	光谱/10^{-6}
Pb	24.5	21	22	同上
Zn	10	22.5	15	同上
Mn	196	201	220	同上
Ni	4	8	8	同上
B	2	1.5	2	同上
Ag	<0.05	<0.05	<0.05	同上
Na_2O	3.41	3.94	3.46	X 荧光/%
MgO	0.19	0.41	0.2	同上
Al_2O_3	12.05	12.49	12.89	同上
SiO_2	65.83	66.46	66.45	同上
K_2O	4.35	3.77	4.4	同上
CaO	1.60	2.10	1.19	同上
Fe_2O_3	1.21	1.49	1.51	同上
S	0.009	0.014	0.017	同上
样品数	39	11	8	同上

土壤垂直剖面中 Au 的分布，在东南低山区与正常残坡积层中的分布相同。在水系沉积物测量中，能发现与原生矿化有关的异常。在运积物覆盖区内，多数情况下，地表有 Au 异常，基岩中无金矿化。反之，基岩中有金矿化，运积物中无金属异常。说明土壤测量和水系沉积物测量在运积物覆盖区内是无效的。

鉴于上述情况，在本区开展了水中部分金属电提取测量、pH 测量、水化学类型测量、

壤中气 Rn、Hg 测量等方法试验。它们的试验结果分别示于图 4-6、图 4-7。

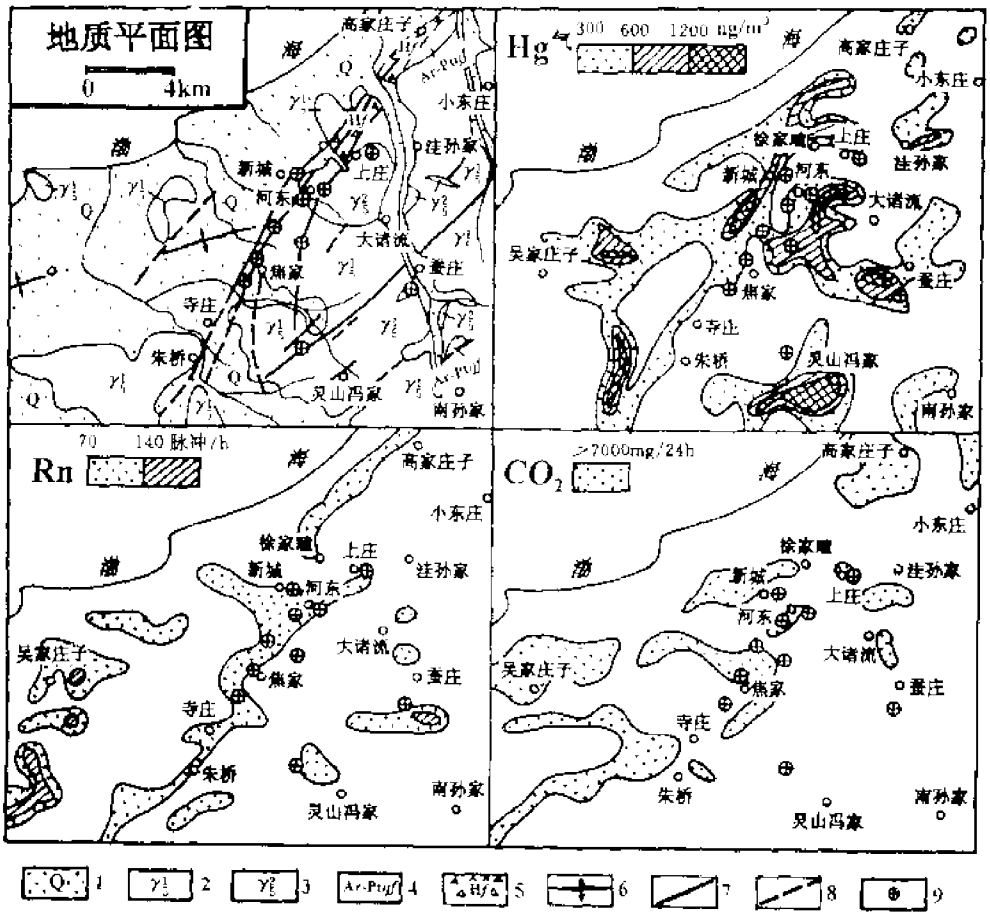


图 4-7 山东朱桥幔壤中气 Hg、Rn、CO_2 异常图

1—第四系；2—黑云母花岗岩；3—似斑状花岗闪长岩；4—胶东群变质岩；5—角砾岩；6—背斜轴；7—实测断层；8—推测断层；9—金矿床

水中金属电提取测量，所用的采样装置如图 3-3 所示。电源电压 6V。两电极间的距离为 1m。预富集时间 10 d。采样密度为 0.2～0.4 个点/km^2。水中部分金属电提取的 Au 异常主要分布在已知金矿床（矿点）的下流方向。Ag、Cu 异常沿焦家断裂带分布。Pb 异常沿焦家断裂带断续分布。大于 800ng 的水电化学 Au 异常范围，是砂金的远景区。水电化学 Au 异常的突出部份，如小东庄、注孙家、大诸流、吴家庄子东南等地可能有原生金赋存。Cu 和 Ag 的异常也进一步表明，吴家庄子和小东庄附近可能有一新的含金破碎带。pH 值的低值区几乎包括了已有金矿床和金矿化点，说明和 pH 测量在本区用于圈定金矿化靶区是有效的。壤中气 Hg 异常对区内断裂带的反映较为明显，其次是壤中气 Rn 对焦家隐伏断裂也有明显的反映。壤中气 CO_2 异常对断裂带的反映不如 Hg 和 Rn 明显。但和金矿化的关系似乎比 Hg 和 Rn 更密切。通过上述方法的综合测量，可以得出下列结论：

1）>800ng 所圈定的水电化学 Au 异常范围是有利的砂金靶区；

2）高家庄子、小东庄、大诸流、西良（注孙家附近）、吴家庄子等地可能有原生金赋存；

3）根据水电化学 Cu、Ag 异常和壤中气 Hg、Rn 异常的分布特征，在区内可用于追索

隐伏断裂带。pH 测量可用于圈定金矿远景靶区。

第五节　某些非常规化探方法的采样密度与网度

中、大比例尺隐伏矿普查的采样密度与网度不仅取决于隐伏矿预测的比例尺，而且还取决于特定的地质情况、勘查的地质对象和所选择的工作方法。如所选择的方法是水电化学测量，其采样的对象是地下水露头和一级水系的地表水，它们的分布严格受地质条件的限制。采样过密无处可采样，若采样的介质是比较均匀的水系沉积物，采样密度过大，并不能获得更多的关于隐伏矿的信息。相反，若采样介质为不均匀的岩石，采样密度过稀，异常点之间缺乏必要的联系，仅出现一些孤立的点异常，测量结果达不到普查的目的。采样的密度和勘查对象的关系也极为密切。又如勘查的对象是 Au、As、Sb、Hg 的隐伏矿时，因为这些成矿元素的喷气晕和矿床分散晕均较发育。晕比矿体的范围大数百倍至数千倍，采样的网度可适当放稀。Cu、Ni、Co 和金刚石等矿床，它们的成矿元素和伴生元素的原生晕和次生晕均不发育，采样的密度必须加大。

由于许多非常规化探方法，目前还没有国家规范，在 1/5 万隐伏矿预测中，我们推荐表 4-4 所列的采样密度和网度，在许多情况下，还需根据特定的地质任务，做适当的加密或放稀。为了提高样品的代表性和降低分析费用，建议岩石测量和综合气体测量在规定的网格内取 4～5 个子样构成一个组合样。一个岩石组合样的重量为 200～300g 左右。岩石组合样，最好从岩石裂隙中采集 Fe、Mn 沉积物。它可提高探测的灵敏度，改善异常的连续性。

表 4-4　1/5 万隐伏矿预测中非常规化探方法的采样密度和网度

测量方法	采样密度（个样/km^2）	采样网度/km
岩石测量	1～3	正常区　0.3×0.3 异常区　0.2×0.3
水电化学测量	0.5～1	正常区　1×1 异常区　1×2
综合气体测量	5～10	正常区　0.5×0.5 异常区　0.25×0.5
偏提取测量	5～10	正常区　0.5×0.5 异常区　0.25×0.5
壤中气气溶胶测量	5～10	正常区　0.5×0.5 异常区　0.25×0.5

第六节　某些非常规化探方法的分析指标和分析方法的选择

在进行非常规化探方法工作时，分析项目的选择，也需要根据测区内需解决的地质问题和拟寻找的矿化类型进行筛选。

若预测区内基性超基性岩类发育，与之有关的矿床通常有：玄武岩中的自然铜；细碧角斑岩中的含铜黄铁矿矿床；金伯利岩中的金刚石矿床；基性侵入岩中的铜镍硫化物矿床和钒钛磁铁矿矿床；超基性岩中的铬铂矿床。与这些矿床有关的指示元素有：Cu、Pb、Au、Cr、Co、Ni、Se、Fe、V、Ti、Pt 等。

若测区内酸性火成岩类发育，与之有关的矿床有：凝灰岩及凝灰质砂岩中的铁矿床；岩体各种围岩中的汞、锑、砷矿床和铜铅锌矿床；花岗斑岩中的 Cu、Mo 矿床；花岗岩及其围岩中的黑钨矿　锡石石英脉矿床；花岗伟晶岩和花岗岩中的稀有金属矿床。与这些矿床有关的指示元素有：Fe、Mn、Cu、Au、Hg、Sb、As、Pb、Zn、Ag、W、Mo、Bi、Ni、Nb、Ta、Be、Y、Zr 等元素。

若测区内为沉积岩，主要寻找与表生作用有关的矿床，其中包括：红色岩系中的盐矿床、含铜砂岩矿床；近代砂矿床；白云岩及红色砂页岩中的铜钴、镍矿床；白云岩中的铅锌矿床；紫色页岩中的鲕状赤铁矿床；石灰岩中和页岩中的磷灰岩矿床等。与这些矿床有关的指示元素有：Li、B、Br、Cu、V、U、P、CH_4、W、Sn、Au、Zr、Ti、Nb、Ta、Ni、Cr、Co、Pt、Fe、Mn 等。

若测区内主要为变质岩分布，与变质作用有关的矿床有：千枚岩中的磁铁矿；变质岩中的金矿床；绿色片岩及片麻岩中的铁金铜矿床。与这些矿床有关的指示元素为：Fe、Au、Cu、Ag 等元素。

在自然界，矿床的类型和矿物的共生组合会比上述列举的要复杂得多，指示元素的选择也还需根据具体情况作适当的增减。

关于各种元素的分析方法，也需根据各个单位的具体情况合理选择。但无论选择什么样的分析方法，要求分析的结果应能满足下列要求：

1）要求有足够的精密度和准确度，确保分析结果的正确和重现。在检出限三倍以上的数据其精确度要求<35%，精密度要求<25%；

2）分析方法的检出限要求接近或低于克拉克值；

3）成本相对低廉。

为了满足上述要求，将某些指示元素的检出限，准确度和精密度要求列于表 4-5。

表 4-5　1/5 万隐伏预测某些分析指标的基本要求

测定元素	检出限 $w_B/10^{-6}$	准确度/%	精密度/%	建议选用方法
Y	5	在检出限三倍以内	在检出限三倍以内	
Zr	5			
Nb	5		<40	X 射线光谱法
Ba	50			
Sr	30	<55		
Te				
Zn	5			
Cu	1			
Ag	0.5			原子吸收法
Pb	5			
Cr	10	<55	<40	
Li	10			
Ni	5			
Au	0.003			

续表

测定元素	检出限 $w_B/10^{-6}$	准确度/%	精密度/%	建议选用方法
Hg As Sb Se	0.005 0.5 0.03 0.05	<55	<40	原子荧光法
U	1			激光荧光法
Mo W	0.3 0.3	<55	<40	极谱法

第七节　特殊景观区某些地质找矿标志的预测追索和评价

一、隐伏岩体的预测

地质找矿标志是人类对自然规律的经验总结和归纳，并且经受了长期找矿实践的检验和筛选，是传统地质找矿工作者理论和实践的结晶。这些找矿标志在已往的地质找矿中，曾起过不可估量的作用。在近代科学技术高度发达的今天，地质找矿理论也在不断翻新。但这些古老的找矿标志，仍然是最直观和最为重要的找矿标志。这些重要的找矿标志或是没有出露地表，或是曾出露至地表，又被后期不同构造层的岩石、疏松沉积物所覆盖，在地表看不到这些重要的找矿标志。人们必须使用近代科学技术对这些找矿标志进行预测，追索和定量评价，进一步量化这些找矿标志在找矿中的指示意义。

在经典的地质理论中，岩体是内生矿床之源。并把它比之为“岩浆树”，指明不同的岩浆演化阶段，分别与特定的矿床类型有关。因此，岩体历来是极其重要的找矿标志，是某些矿床类型成矿的必要条件。近代各种成矿理论，对一切矿质组分来源于岩浆的经典理论提出了挑战，如20世纪70年代以来，层控理论、矿源层及后期改造成矿的理论的兴起，大洋脊热卤水成矿观点的建立，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浅成低温热液成矿和三元成矿理论等等，都加深了对成矿过程的认识。每一种成矿理论的提出和矿床成因模型的建立，都标志着一个时期找矿经验的总结和对矿床成矿规律认识的深入，并能导致一批新矿床的发现。但这些成矿理论的发展，都涉及到岩体在成矿过程中的作用。尽管不同成矿理论对岩体在成矿过程中的作用有不同的提法，但岩体与矿床的空间关系是不以人们的主观意志为转移的，是客观存在的事实。如我国某些Pb、Zn多金属矿床与岩体的分布，都清楚表明了它们在空间分布上与岩体有密切关系（图4-8）。又如Cr铁矿离不开超基性岩体，铜镍矿床离不开基性岩体，铜钼矿床一般也离不开酸性斑岩体。不管它们之间的成因关系如何，其空间分布便是一种极其重要的找矿标志。

在实际找矿中，并非所有的岩体都出露在地表，特别是运积物覆盖区，即使岩体曾经出露于地表，也多被以后的运积物所覆盖。在这种情况下，只有先预测岩体的存在，才能利用岩体作为矿体的指示标志。

岩体是一种规模较大的热源体。在它的周围一般具有特征的组分分带，在这些分带的组分中，通常有反映岩体特征的组分和大量的矿质组分，以及有相当数量的易挥发组分。这些特征组分不仅分布于岩体内部，而且经过热力的驱赶和渗滤扩散等作用，被迁移至远离岩体的围岩中。这就为隐伏岩体的预测提供了地球化学前提。基性和超基性岩体周围，其

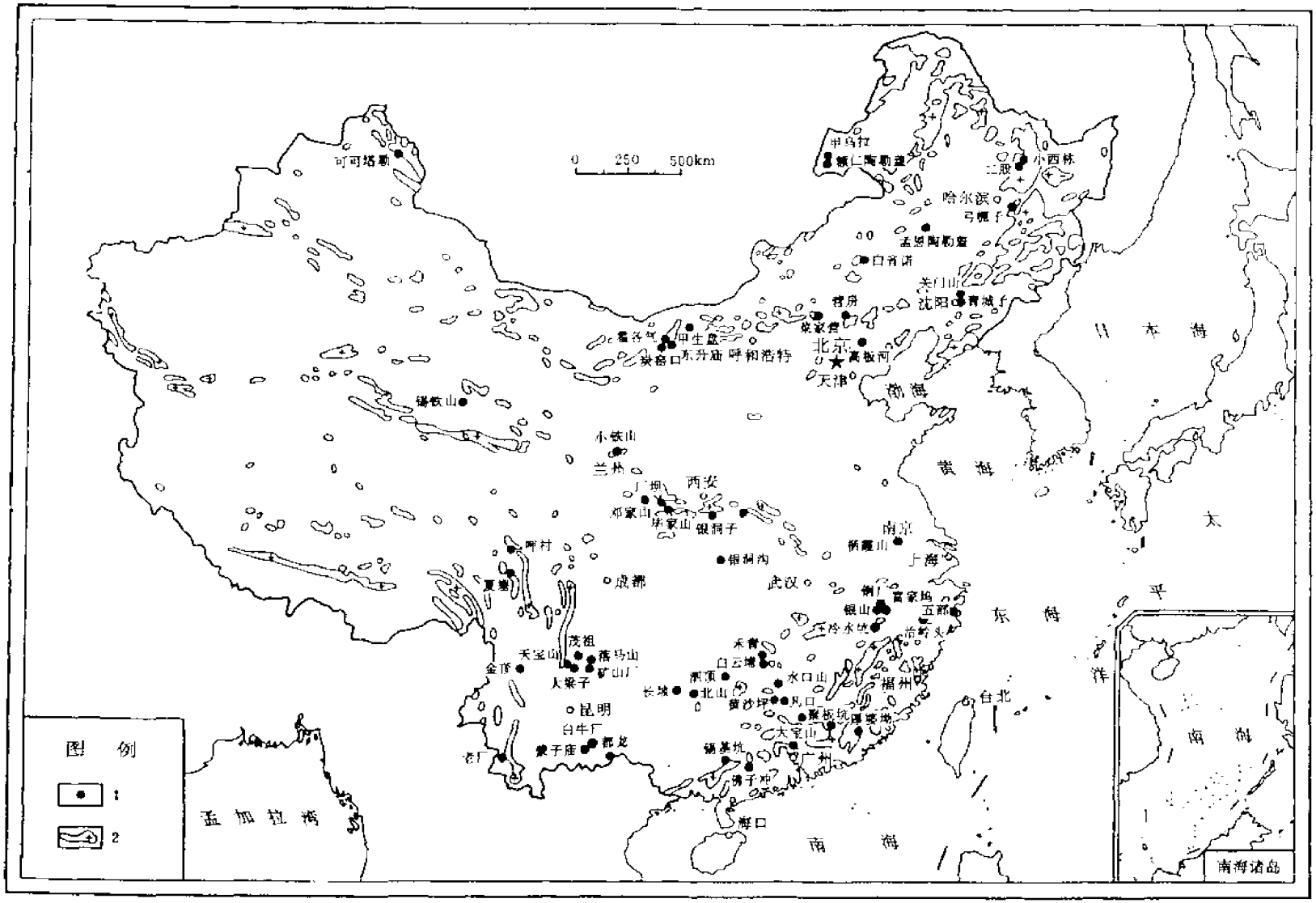


图 4-8 中国主要铅锌多金属矿床分布图

1- 铅锌多金属矿床；2- 各类侵入岩体

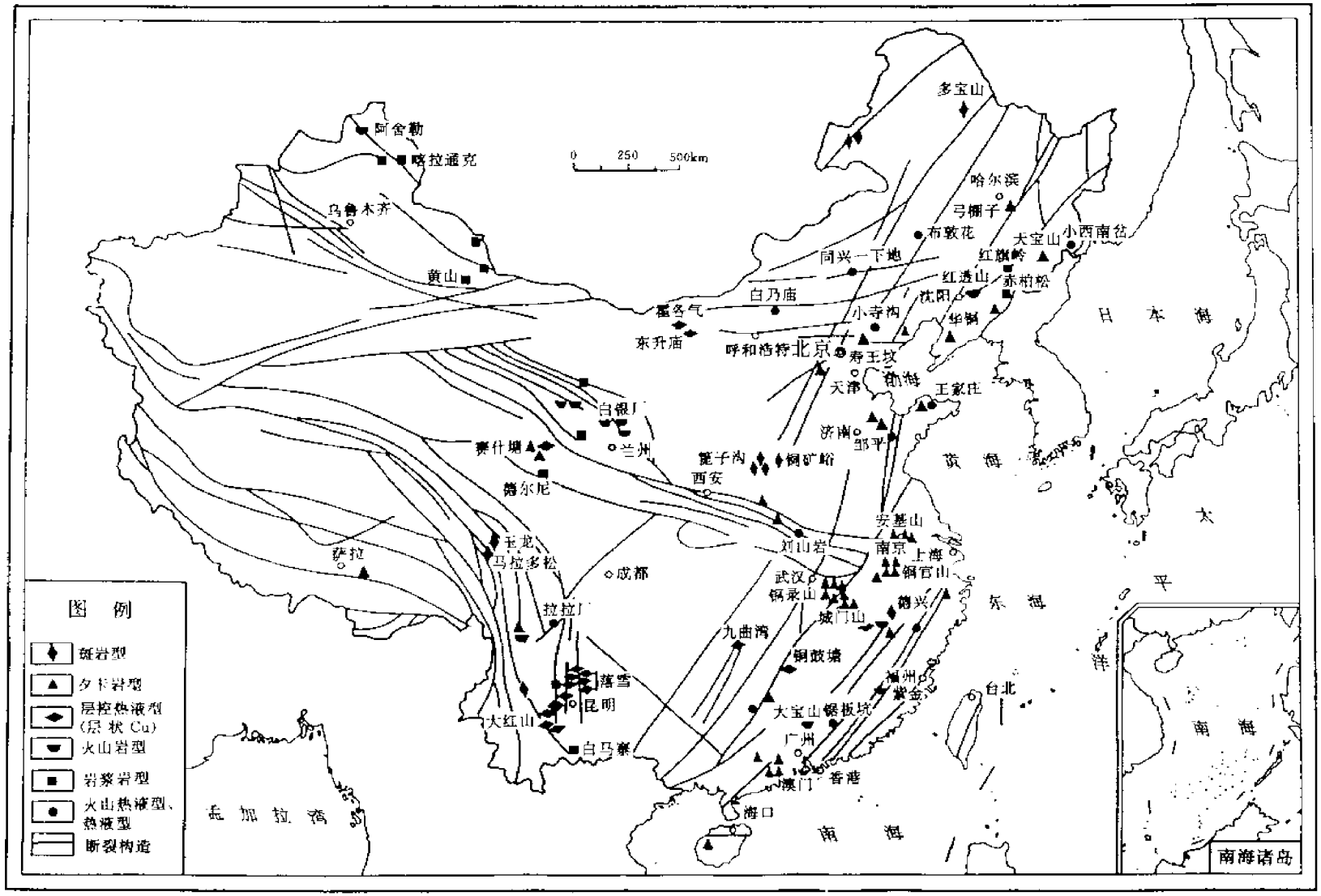


图 4-9 中国大中型铜矿断裂分布图

[注：矿产资料据中华人民共和国矿产图集(1973)补充，构造图据任纪舜(1983)]

喷气分散晕中一般有 Cr、Co、Ni、Cu 等组分的异常。对于中酸性侵入岩体，其喷气分散晕中通常有 Zr、Li、Pb、Mo、Nb、W、Sn、Se、Y、Rn 等组分的异常。碱性侵入岩，其喷气分散晕中一般具有 Ce、Th、Y 等组分的异常。

根据地表上述特征组分异常的存在，便可推断其深部可能有相应隐伏岩体的存在。在运积物覆盖区，可采用壤中气气溶胶测量方法进行类似的预测，也可以利用重磁资料直接对隐伏岩体进行预测，或对地球化学的推断进行检验。

二、隐伏断裂的追索与含矿性评价

深大断裂是控制岩浆入侵的通道，其两侧的次一级断裂，既是矿液运移的通道，又是矿体赋存的空间。因此，有较多的热液金属矿床多沿断裂带分布。一些断裂带构成了成矿带，找矿工作者沿着断裂追索，如同顺藤摸瓜，减少了许多盲目性和投资风险。我国四川物探队的同志在总结他们的找矿经验时，编成了两句顺口溜：沿着断裂走，围着异常转。图 4-9 是我国大、中型铜矿床和断裂构造的分布图，从图中可以看出：铜矿床和断裂构造的关系是十分密切的。一旦断裂构造被地表疏松沉积物所覆盖，沿断裂构造找矿的难度便增大。有时为了找矿的需要，把含矿断裂作矿体一样进行追索。如我国山东的焦家含金断裂带，由于地表第四纪运积物的覆盖，地质队被迫以 60m×120m 的矩形测网用钻探对该断裂带进行追索。类似的例子还有山东三山岛含金断裂带的追索。地质队也采用了类似的测网对该断裂的延伸方向进行了追索。由于该隐伏断裂带的地表为海水，地质队不得不用填海的方式修筑机台。然而，即使用钻探方法追索，由于是一孔之见，仍然决定不了哪是主干断裂？哪是次一级断裂？一旦判断失误，容易招致错误的导向，将造成惨重的损失。

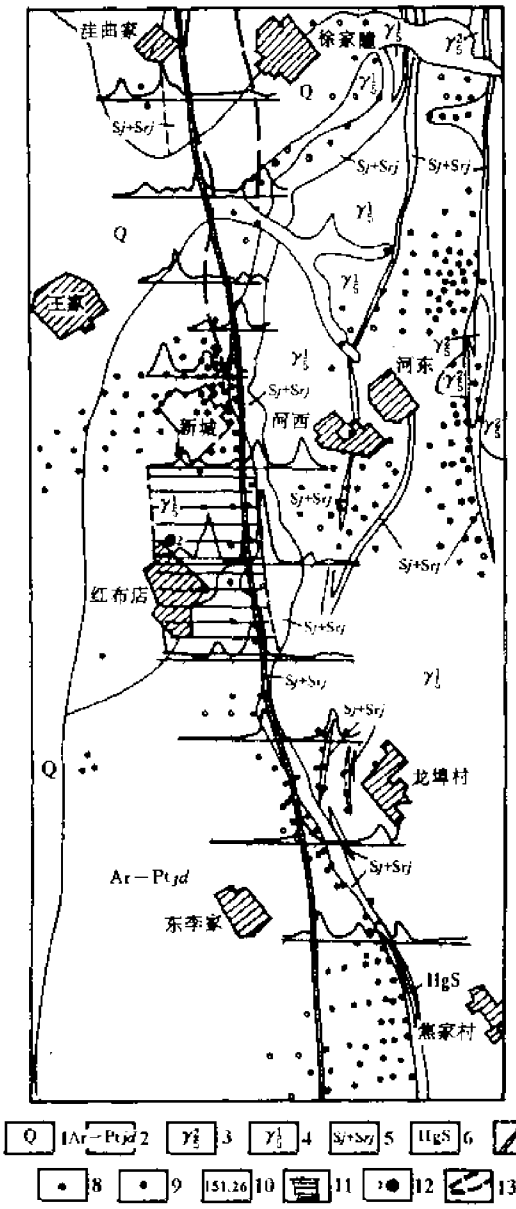


图 4-10　山东掖县焦家金矿带壤中气汞量测量平剖图
（地质资料引自山东地质六队）
1—第四系亚砂土；2—胶东群斜长角闪岩；3—中生代似斑状花岗闪长岩；4—中生代黑云母花岗岩；5—蚀变碎裂岩带；6—矿体（Au 品位>2g/t）；7—公路；8—见矿钻孔；9—未见矿钻孔；10—烟潍公路里程数；11—详查区；12—建议验证孔位及编号；13—推断断裂带

针对上述问题，作者在胶东地区研制了一种追索隐伏断裂的壤中气汞量测量法。用该

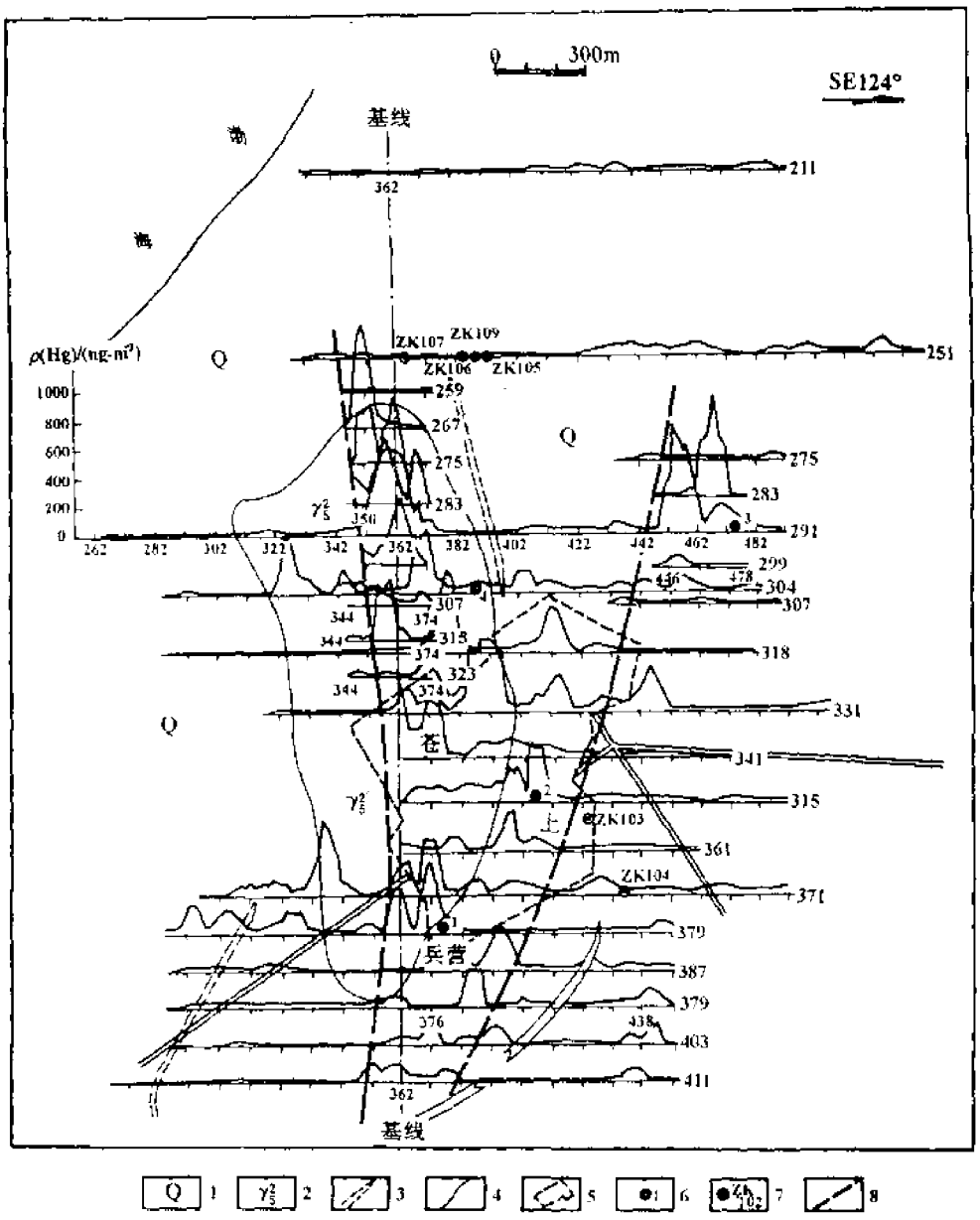


图 4-11　山东掖县苍上壤中气汞量测量平剖图

（地质资料引自山东省地质六队）

1—第四纪海砂；2—似斑状花岗闪长岩体；3—硅化带；4—海岸线界线；5—村庄界线；6—建议验证钻孔及编号；7—未见矿钻孔；8—推断断裂带

方法在焦家断裂带的隐伏地段追索了 20 多公里，在三山岛断裂带的隐伏地段也追索了 10 多公里。隐伏断裂的追索，主要采用壤中气剖面法进行。剖面长 1.5km，点距 20m。测量的结果完全经受了工程的检验和有关地质部门的认可。图 4-10 是沿焦家断裂追索的壤中气汞平剖图。图 4-11 是沿三山岛断裂追索的壤中气汞平剖图。该方法还被大量用于工程地质勘查和地震预报。图 4-12 是浙江某含金断裂带上方 CO_2 地球化学平剖图。

三、隐伏火山机构的预测

火山机构是火山热液型矿床的主要找矿标志，对于火山岩分布区的找矿具有重要的意

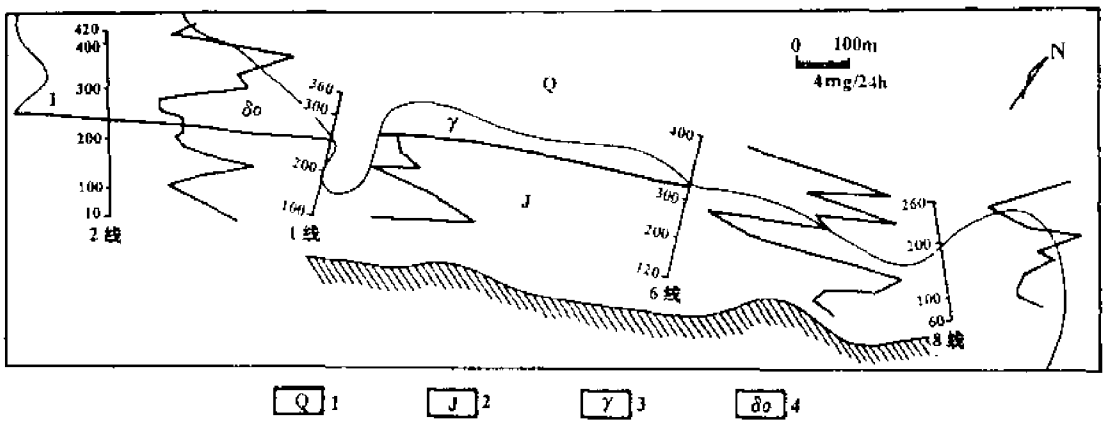


图 4-12 浙江某含金断裂带上方 CO_2 地球化学平剖图

1—第四系；2—凝灰岩；3—花岗岩；4—石英闪长岩

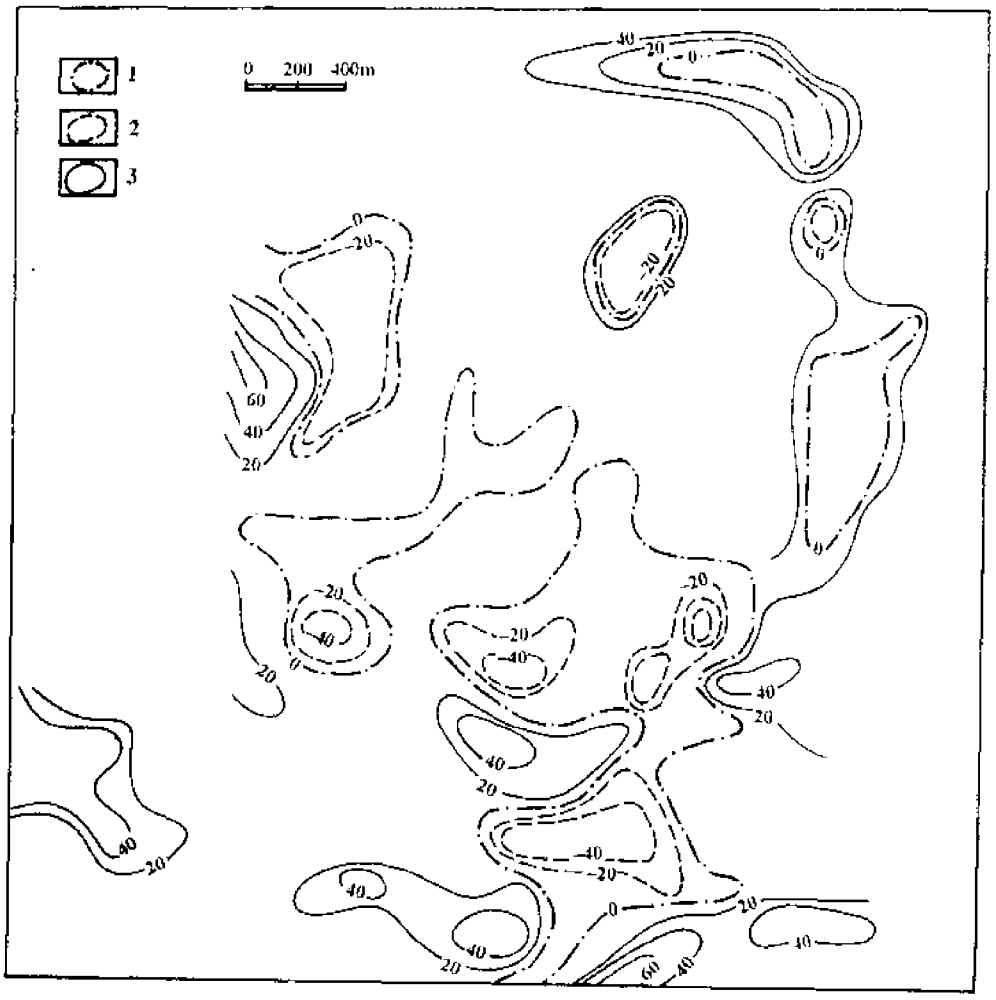


图 4-13 某火山机构上方地磁测量的环带状磁异常

(引自田昌烈)

1—0 值线；2—负磁异常等值线；3—正磁异常等值线（单位 nT）

义。火山机构是一种特殊的构造类型，在遥感图像、地磁异常和地球化学异常图中均有一系列的特征可以识别。图 4-13 是某火山机构上方地磁测量的环带状磁异常。图 4-14 是火山机构周围气体测量的环状和放射状汞气异常。

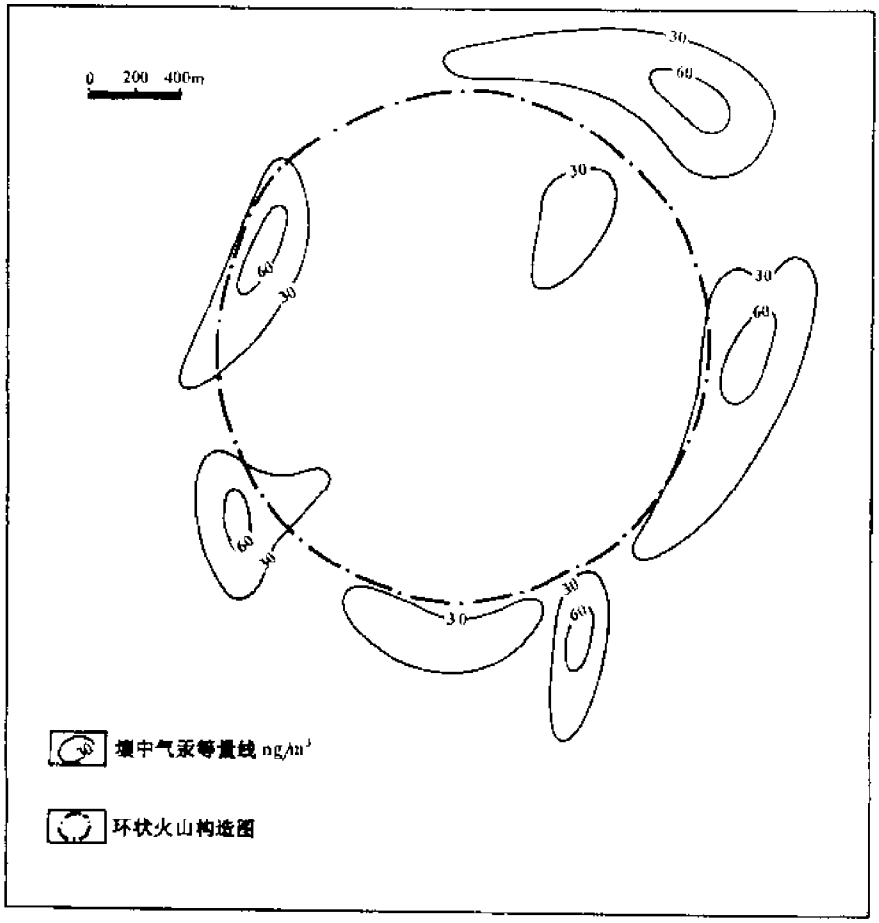


图 4-14　某火山机构上方壤中气异常分布图

四、区域丰度值的类比和岩体含矿性评价

区域丰度值的类比是识别成矿地球化学省的重要途径之一。在一个成矿省中，主要成矿元素的丰度值比一般地区的丰度值要高若干倍，甚至达一个数量级以上。由于地球化学省的范围较大，可能包括了不同的地球化学景观和不同单位的工区，给测量结果带来各种各样的系统误差，同时也给丰度值的对比造成极大困难。为了便于对比，现将我国水系沉积物中 39 种指标的丰度值，按不同景观区列于表 4-6，以供参考。

表 4-6　不同景观区水系沉积物 39 种元素背景值

元　素	不　同　景　观　区				
	湿润低山丘陵	半干旱低山丘陵	高寒山区	干旱荒漠	森林沼泽
Ag	92.622	92.765	83.461	62.497	98.095
As	11.093	8.984	14.463	9.942	8.432
Au	1.632	1.836	1.409	1.25	0.95
B	56.971	45.277	59.448	30.813	23.937

续表

元素	不同景观区				
	湿润低山丘陵	半干旱低山丘陵	高寒山区	干旱荒漠	森林沼泽
Ba	423.737	607.326	395.027	601.403	580.568
Be	2.238	2.149	2.393	1.895	2.459
Bi	0.473	0.305	0.39	0.25	0.289
Cd	0.234	0.153	0.156	0.115	0.11
Co	12.911	13.753	11.727	9.698	11.184
Cr	59.428	69.968	62.134	43.413	58.816
Cu	22.16	23.378	21.857	18.976	18.012
F	205.634	518.473	474.992	462.991	477.687
Fe_2O_3	4.604	4.669	4.427	3.806	4.79
Hg	75.396	39.136	30.511	15.715	38.52
La	43.496	41.889	35.462	30.073	41.565
Li	34.525	32.191	37.938	24.12	32.028
Mn	715.279	735.715	644.906	555.569	752.12
Mo	1.137	0.918	0.678	0.785	1.339
Nb	20.341	16.846	15.771	12.185	15.582
Ni	25.746	28.518	27.045	18.053	18.576
P	517.322	705.32	572.619	533.014	996.458
Pb	33.67	24.084	25.695	18.078	22.561
Sb	1.176	0.65	1.001	0.659	0.438
Sn	4.677	3.015	3.277	1.887	2.782
Sr	71.086	198.439	121.904	255.429	206.495
Th	14.731	11.051	12.128	8.466	10.69
Ti	4850.46	4487.701	3634.319	2942.078	4519.357
U	3.243	2.226	2.414	1.852	3.305
V	87.135	89.016	75.443	65.524	80.759
W	3.017	1.684	2.151	1.317	1.728
Y	27.571	24.885	23.169	20.893	25.084
Zn	78.691	71.365	69.795	53.519	81.867
Zr	344.059	301.293	246.297	170.104	269.142
SiO_2	67.285	62.686	66.866	63.728	60.169
Al_2O_3	13.012	13.32	12.047	10.778	15.116
K_2O	2.244	2.424	2.516	2.322	2.105
Na_2O	0.526	1.74	1.155	2.152	1.738
CaO	0.846	2.402	1.573	5.326	1.349
MgO	0.956	1.739	1.182	1.752	1.314

注：元素质量分数：Ag、Au、Hg以10^{-9}计，其它元素以10^{-6}计，氧化物以%计。

前面已经谈及岩体与矿床成因之间的紧密联系，以及在找矿中的重要指示意义。但并非所有的岩体都含矿，为了减少失误，岩体含矿性评价是矿产勘查中常使用的方法，也是进一步部署工作的依据，但不能作为一种决定性的定量评价标志。其原因在于岩体含矿性评价的指导思想和工作方法尚不成熟。正因如此，不同作者所获得的数据可对比性较差，但已有的经验表明，含矿岩体和不含矿岩体之间，主要成矿元素的几何平均值（或众数值）和标准差，是有明显差异的。用常规的化探方法，就能将它们加以区分，也就是说，确实存在着可以识别的地球化学差异，只需用比较统一的工作方法，提高数据的可对比性，含矿岩体和不含矿岩体的差异一般不会被掩盖。

五、铁帽、夕卡岩露头及其它矿化露头含矿性的评价

铁帽、夕卡岩露头和其它矿化露头，都是地质找矿的重要标志，但它们的找矿意义是相对而言的，不可能一个不漏地对它们进行详细评价。为了优选最好的目标进行详细评价，首先必须对它们的含矿性优劣进行筛选和评序。地球化学在对这些标志的评价中，担负着两方面的任务：其一是这些标志与什么类型的矿化有关；其二是它们的下部有没有矿体存在。

矿床学研究的成果指出：不同矿床类型有不同的矿物共生组合。从地球化学的观点来讲，不同矿床类型，应有不同的元素组合。反过来，根据不同的元素组合，便可推断可能的矿化类型（图 4-15）。

关于第二项任务，又包括两项内容，即有用组分的矿化规模和富集程度，也就是说，它的矿量够不够矿床规模和够不够边界品位。

为了完成上述两项任务，通常在研究对象内按一定的网格采组合样，样品数量 15～20 个，样品需用定量分析方法对区内主成矿元素进行测定，并统计样品中成矿元素和伴生元素的众数值（或几何平均值）和标准离差。以这两种参数为基础，用簇群分析等分类方法对它们进行分类，也可以用三角图解法，对它们的矿化类型和剥蚀程度进行预测。最后将计算和分类结果标入预测图中，再观察这些找矿标志和区域物化探异常之间的相关关系。其中应特别注意该找矿标志和遥感图像异常、物化探异常之间的关系。若该找矿标志的外围有一个规模较大的化探异常，或与遥感的环形构造、线性构造相吻合，则表明其下部有隐伏矿的可能性较大。

六、与隐伏矿有关的物化探异常的识别

物化探异常是隐伏矿信息的重要供给源。但物化探异常数量一般较多，且具有多解性。为了提高投资效益和找矿效果，必须首先对这些物化探异常进行筛选和评价。

近些年来，我国由于大力开展区域性的物化探工作，发现了数以万计的异常（表 4-7）。

表 4-7　1981～1995 我国物化探异常的见矿率

五年计划	发现异常数	检查异常数	验证异常数	见矿数	见矿率[①]/%
“八五”期间	23772	5357	1524	993	14.4
“七五”期间	27038	9435	2078	1325	11.5
“六五”期间	22176	10854	2077	906	7.0

①见矿数＝见矿数/（检查数＋验证数）×100%（引自崔林沛 1997）。

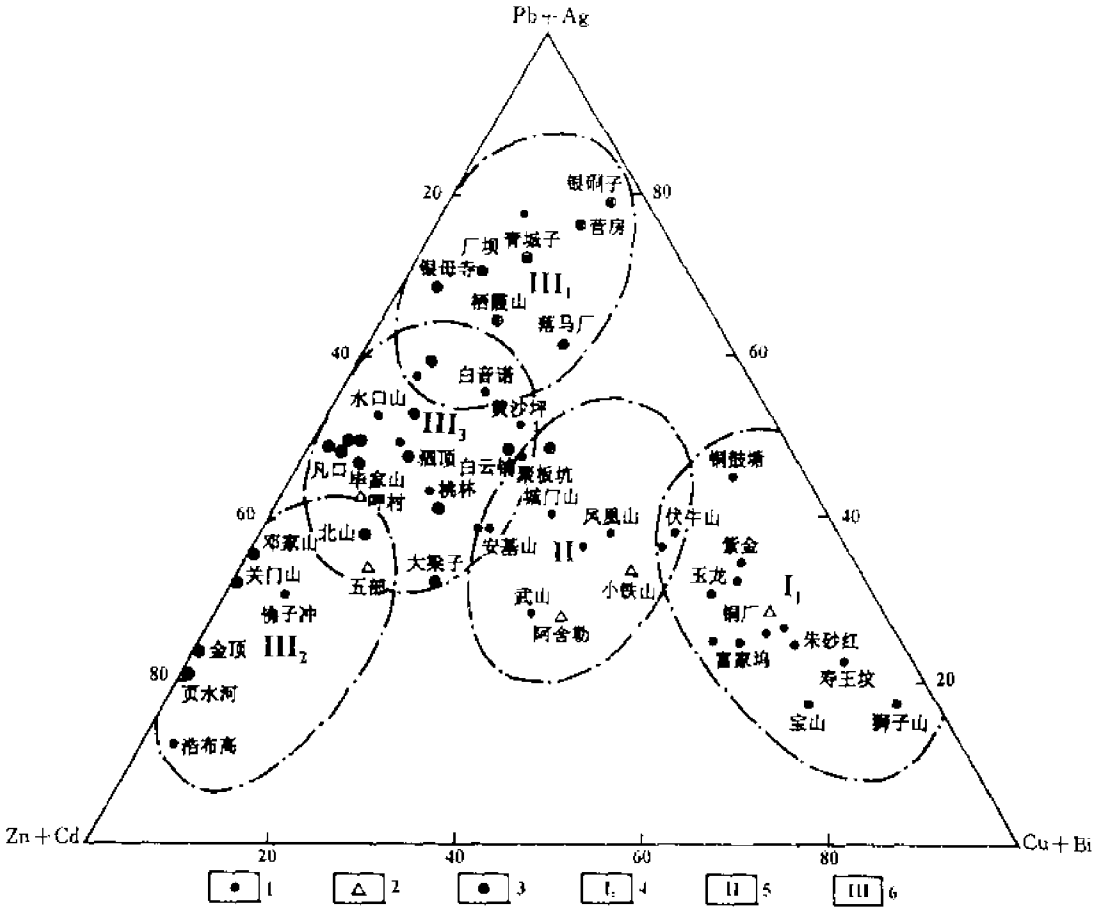


图 4-15　根据区化异常识别多金属矿化类型的三角形图解

1—与花岗岩类有关的多金属矿床；2—火山岩型多金属矿床；3—碳酸岩型、泥岩-细碎屑岩型、砂砾岩型多金属矿床；4—铜矿床；5—铜多金属矿床；6—铅锌多金属矿床

为普查找矿和矿产预测提供了大量有价值的找矿信息。自“六五”以来，通过各类物化探异常的查证，已发现大、中、小型矿床 817 处（物化探筛选和查证，1997，地质矿产部地调局）。许多巨大的隐伏矿是在对物化探异常的查证过程中发现的（表 4-8），如江苏梅山铁矿，安徽药园山铜矿等，都是在查证物化探异常的过程中发现的。

表 4-8　1981～1995 我国物探化探异常的见矿概况

五年计划	工作方法	发现异常数	检查异常数	验证异常数	见矿数	见矿率/%
“八五”期间（1991～1995）	物　探	3902	1665	450	237	11.2
	化　探	19870	3692	1074	756	15.9
“七五”期间（1986～1988 年）	物　探	3438	1867	449	226	7.0
	化　探	11728	3726	626	463	10.6
“六五”期间（1981～1985 年）	物　探	10894	6183	1463	463	6.1
	化　探	11282	4671	614	443	8.4

注：缺 1989～1990 两年方法数据。（引自崔林沛，1997）

表 4-9 列出了我国“八五”期间物化探异常的见矿概况。

在国外也有许多隐伏矿是根据物化探方法提供的信息发现的。如奥林匹克坝巨型铜铁矿床，是根据磁异常发现的；澳大利亚欧纳斯特铜矿，也是在检查航磁异常时发现的。上述实例和列举的数据足以说明，物化探异常是提供隐伏矿信息的重要途径。

表 4-9 1981～1995 我国物探、化探查明矿产地概况

五年计划	工作方法	合 计	能源矿产	黑色金属矿产	有色金属矿产	贵金属矿 产	稀有稀土矿产	非金属矿 产
“八五”期间	物 探	30		2	15	9	1	3
	化 探	261			46	214	1	
	综 合	22			8	13		1
	总 计	313		2	69	236	2	4
“七五”期间	物 探	47	14	5	18	6		4
	化 探	204			30	165	9	
	综 合	58		2	22	34		
	总 计	309	14	7	70	205	9	4
“六五”期间	物 探	76	14	20	22	4	1	15
	化 探	114		1	63	42	2	6
	综 合	5			3	2		
	总 计	195	14	21	88	48	3	21

（引自崔林沛，1997）

物化探异常的查证，是整个地质矿产普查的一个阶段。在发现矿产的工作中，起着关键性的作用，实践也证明，物化探异常的查证是发现新矿床的一条捷径。工作失误会造成矿产的漏失，或延时发现。

1. 与隐伏矿有关的水系沉积物异常和重砂异常的识别

在水系沉积物异常和重砂异常中有时会遇到异常找不到异常源，这种情况在残坡积层厚度较大的地区是常碰到的现象。主要因为水系沉积物中的矿质组分是由残坡积物再次分散后造成，而不是由矿体直接剥蚀和搬运的结果。原生矿体被深埋在残坡积层的下部。因此，人们往往找不到原生矿体。另外一种情况是，水系沉积物中的异常含量很高，但异常主要赋存在河床中，至河床两侧异常立即消失，也找不到异常源。上述情况，可用冷提取和壤中气汞量测量等方法重新进行检查。若冷提取的异常含量达总量的 50%以上时，则该水系异常可能是水成的（包括重砂异常在内）。然后在水系异常的峰值地段作壤中气汞量测量的十字剖面。若在十字剖面上出现壤中气汞异常，则异常的位置可能是原生矿赋存的位置，然后，用深层取样或挖竖井进行查证。

2. 与隐伏矿有关的残坡积土壤异常的识别

在次生富集比较严重的地区，特别是灰岩发育地区，有时在地表能发现成矿元素的强异常。当进行深层取样或取下伏基岩样品时，异常反而变弱，甚至消失。在冶炼厂周围和矿山污染严重地区也经常会出现类似的情况。一遇到上述情况，人们往往容易把上述两种情况统统归之为地表污染所致。这种推断，在污染不严重的碳酸盐岩地区可能引起失误，因

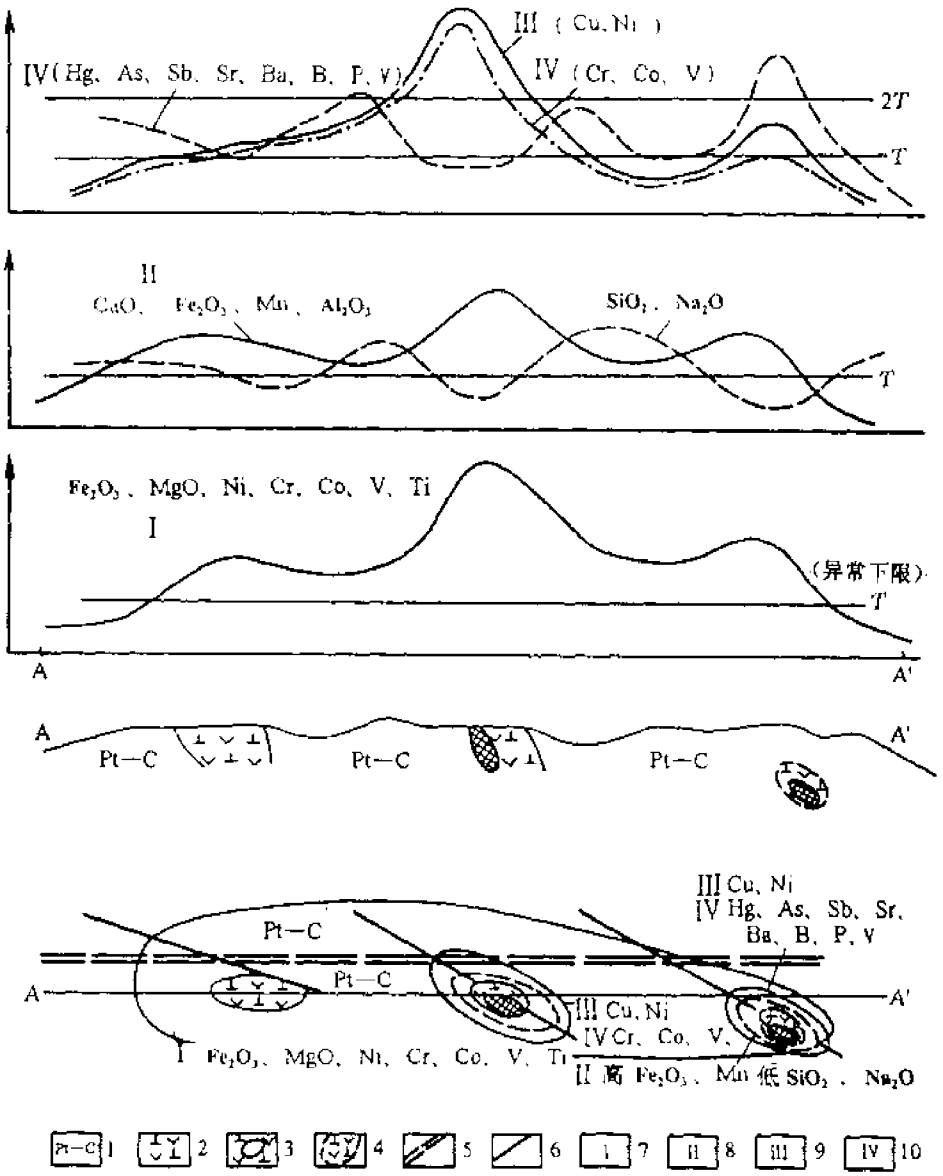


图 4-16　与基性—超基性岩有关的铜镍矿田（床）区域地球化学找矿模式

1—元古宇—古生界；2—基性—超基性岩；3—含矿岩体；4—隐伏含矿岩体；5—深大断裂；6—次级断裂；7—与基性—超基性岩有关的元素异常组合；8—成矿地球化学环境指标；9—成矿元素异常组合；10—伴生元素异常组合

为半出露隐伏矿的上方也可能出现上述情况。在基岩中矿化主要呈细脉状不均匀地分布，由于表生作用的结果，矿质组分在土层中富集，并变得比较均匀。当采集基岩样品时，因矿化分布不均匀，或因矿质组分被淋失，导致基岩样品中异常变弱或消失。然而，这种细分散的脉状矿化，是隐伏矿的重要指示标志。其上方异常并不是地表污染所造成的。为了进一步证实这种分散矿化与隐伏矿的关系，可在其异常范围内开展壤中气汞量测量。若有壤中气汞异常出现，可能是控矿构造的位置，据此再进行深层取样，若异常含量增高，表明其下部可能有隐伏矿赋存。

3. 与隐伏矿有关的岩石异常的识别

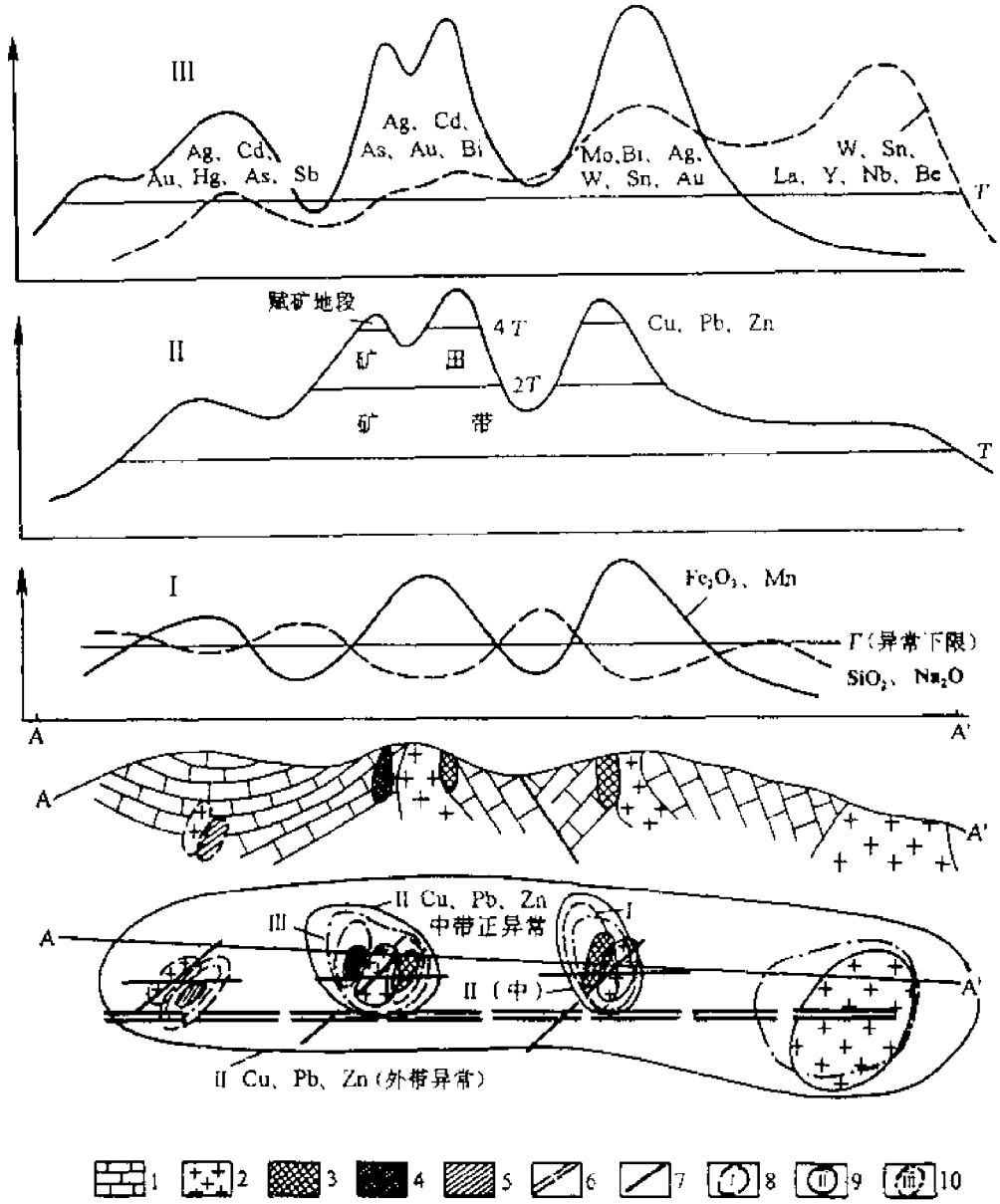


图 4-17 与中酸性侵入岩有关的铜多金属矿田（床）区域地球化学找矿模式

1—碳酸盐岩地层；2—中酸性侵入岩；3—铜矿；4—铅锌多金属矿；5—隐伏矿；6—深大断裂；7—次级断裂；8—成矿地球化学环境指标；9—成矿元素；10—伴生元素

岩石测量中，在地表发现有零星的点异常，当采用裂隙采样方法后，前缘元素的异常明显增强，异常的连续性也大为改善，但成矿元素仅出现中等强度的异常，没有任何一个元素能达到工业品位，而地表围岩蚀变也较强。在这种情况下，首先要找到控矿构造和主要矿化地段。要同时解决这两项任务，可使用壤中气气溶胶测量，根据气溶胶异常的情况，来识别主成矿元素和控矿构造的产状。若壤中气气溶胶异常不仅在控矿构造的上方出现，而且在其倾斜方向有更强的异常出现，则可预测其深部有隐伏矿存在的可能性较大。

4. 与钻孔岩屑异常有关的隐伏矿的识别

在钻孔岩屑测量中，于已知矿尾部发现有强的前缘晕元素异常时，是已知矿下部可能

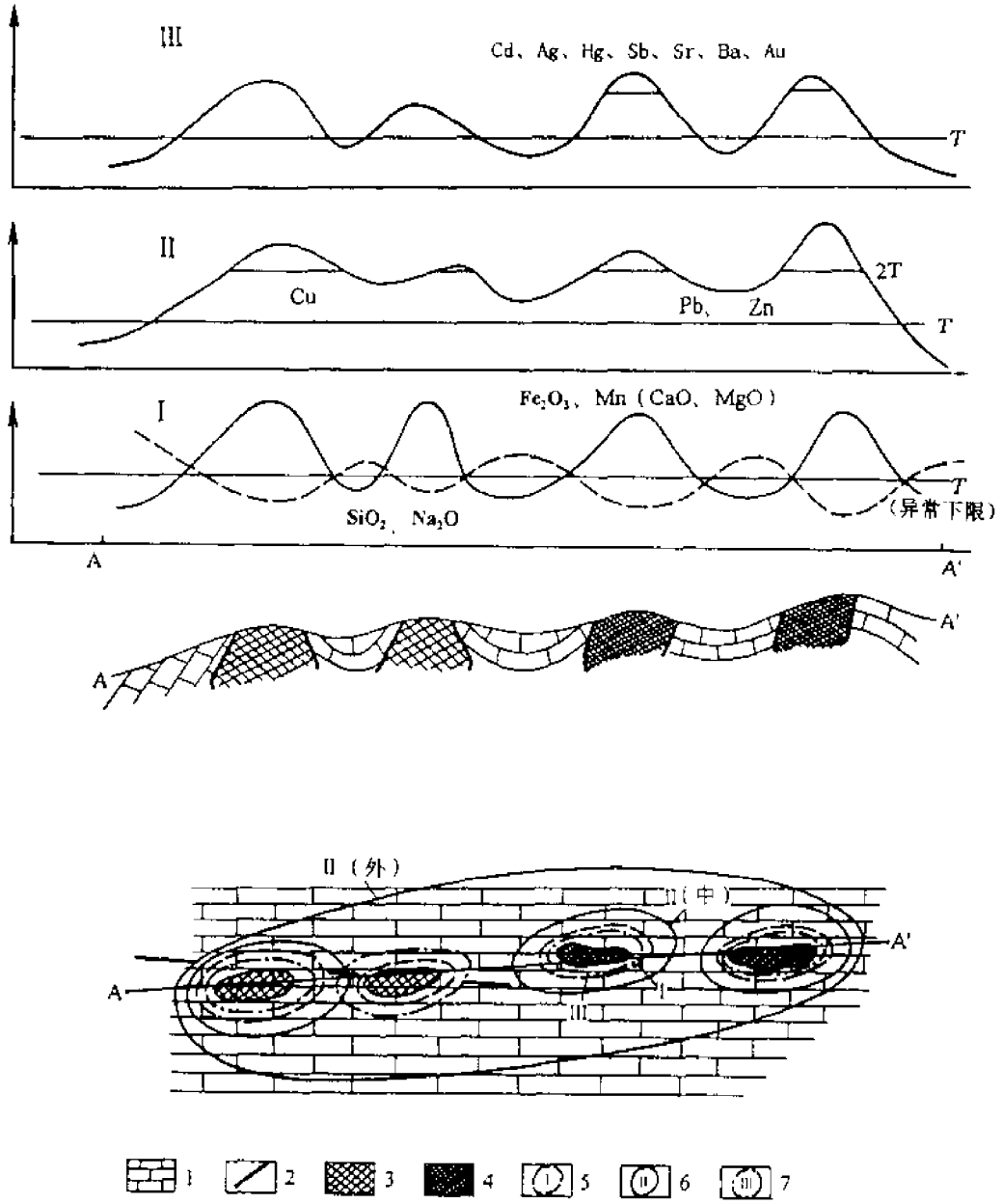


图 4-18　层控型铜多金属矿田区域地球化学找矿模式

1—赋矿层位；2—断裂构造；3—铜矿床；4—铅锌多金属矿床；5—成矿地球化学环境指标；6—成矿元素异常组合；7—伴生元素异常组合

有新的隐伏矿存在的重要标志。可进一步根据这类矿的原生晕分带特征和异常浓度梯度变化特征，预测其隐伏矿的可能埋深。

5. 与水电化学有关的隐伏矿的识别

在水电化学测量中，当发现在上升泉水中有成矿元素的“高、大、全”异常时，需进一步了解其周围有无已知矿和污染源。当污染因素被排除后，可穿过水电化学异常中心作壤中气气溶胶测量的十字剖面。若在气溶胶剖面中也发现有与水电化学异常相同的成矿元素异常，可在气溶胶异常的位置采深层土样或基岩样；如若土壤样品和岩石样品中也出现

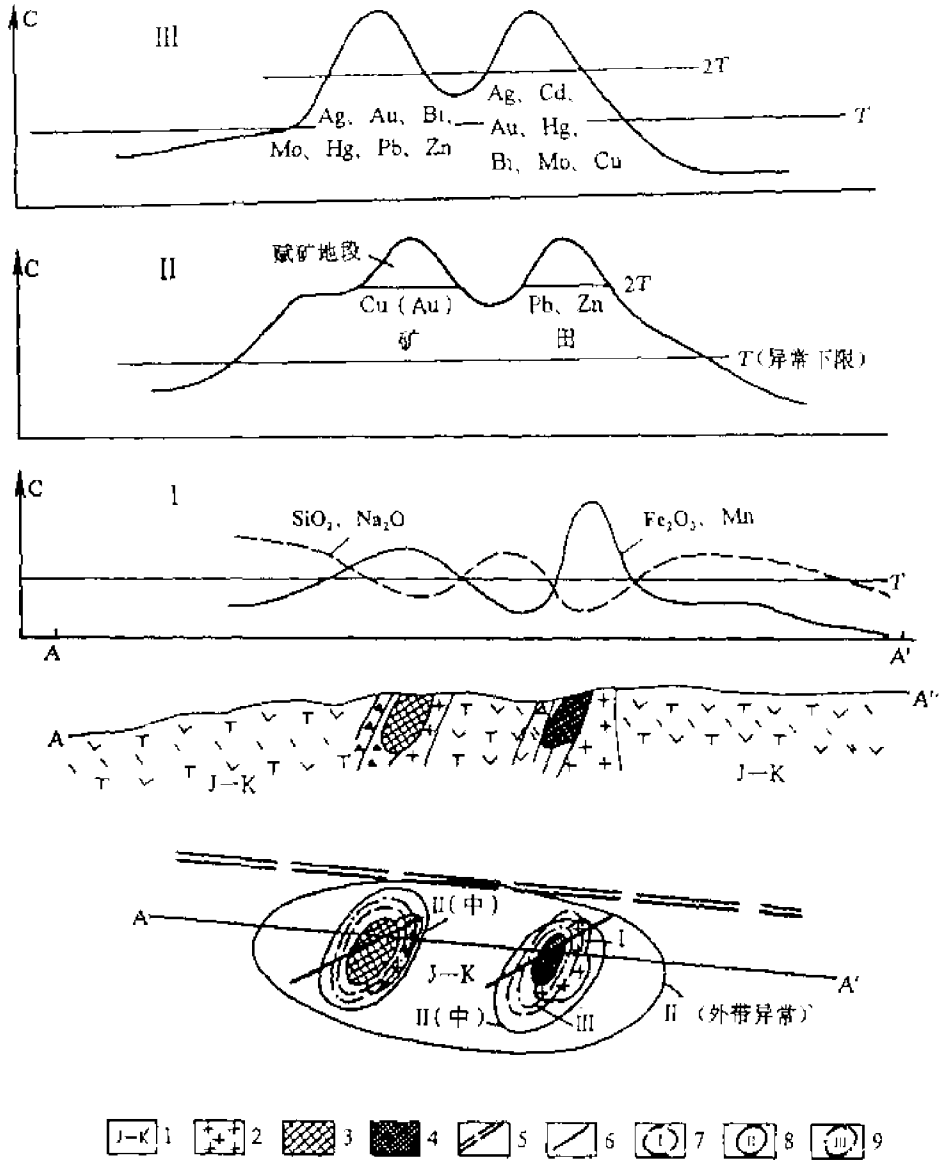


图 4-19　火山岩型铜多金属矿田（床）区域地球化学找矿模式

1—火山岩；2—侵入体；3—铜矿；4—多金属矿；5—深大断裂；6—次级断裂；7—成矿地球化学环境指标；8—成矿元素异常组合；9—伴生元素异常组合

成矿元素的异常，则可预测其深部有隐伏矿存在的可能性较大。

6. 与物探异常有关的隐伏矿的识别

由于物探方法本身是一种间接找矿方法，其本身就决定了它的异常具有间接性和多解性。各种物探方法，在排除非矿异常的干扰方面也都作了许多工作，但大都比较繁杂，而且效果也欠佳。作者曾用壤中气气溶胶方法对各类物探异常进行甄别，似乎效果不错。其工作方法是通过物探异常中心作十字剖面，然后根据异常的元素组合和异常形态特征预测矿化类型和隐伏矿矿化体的产状（见隐伏矿信息追索例案）。若壤中气气溶胶剖面上无任何元素的异常显示，则该物探异常为非矿异常的可能性较大。

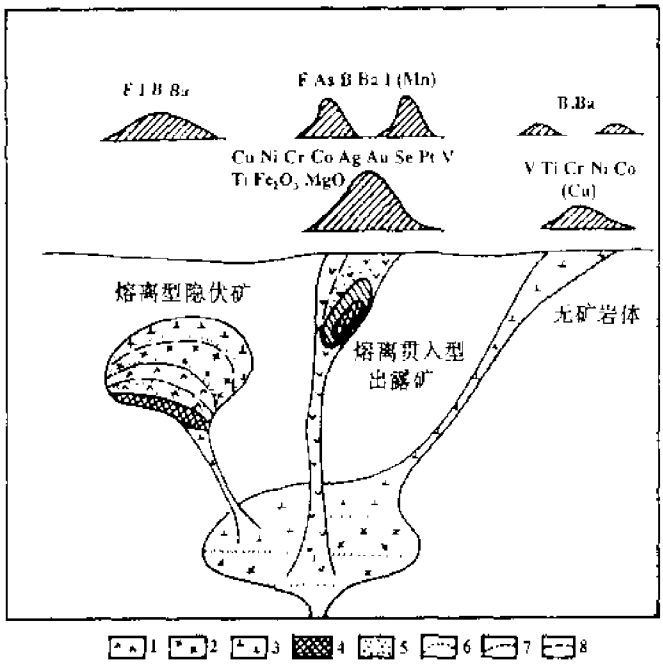


图 4-20　铜镍矿田地质地球化学勘查概念模型

（引自吴承烈，1998）

1—苏长岩相、辉长（石）橄榄岩相；2—辉长岩相；3　闪长岩相；4—块状矿体；5—浸染状矿体；6—岩相界限；7—Cu、Ni、Co、Ag（Cr、As）高浓度带异常；8—Cu、Ni、Co、Ag（Cr、As）低浓度带异常

第八节　物化探异常查证中值得注意的问题

1）以区域地质为基础，重视解剖典型矿床，逐步建立特定矿床类型的综合勘查模型。

2）以发现异常的方法为主，采用综合方法对异常进行查证，防止机械式的搭配或使用方法越多越好的错误观念指导工作。应根据异常特定的地质条件，选择最佳的方法组合进行综合查证。不要搞单打一，或用地质方法去查证物化探异常，或用化探方法查证物探异常。

3）对异常查证应实行动态管理，随时根据异常查证过程中所获得的新认识，及时修正自己的施工计划，避免不必要的损失。

4）在异常查证中，注意借助施工钻孔开展井中物探和钻孔岩心地球化学测量。

5）尽可能使用新方法新技术。异常查证是检验各种新方法有效性的最好场所，也是推动找隐伏矿方法技术取得突破的关键阶段。

第九节　综合勘查模式类比

矿床模式研究被人们推崇为近 30 年来地质勘查领域的重大进展。它标志着吹响了向隐伏矿进军的号角。把矿床模式研究比之为给矿床录像，按照模式找矿如同按相片找人，易如探囊取物。按勘查模式找矿，从理论上讲确有许多优点，然而，它在我国实际找矿中的

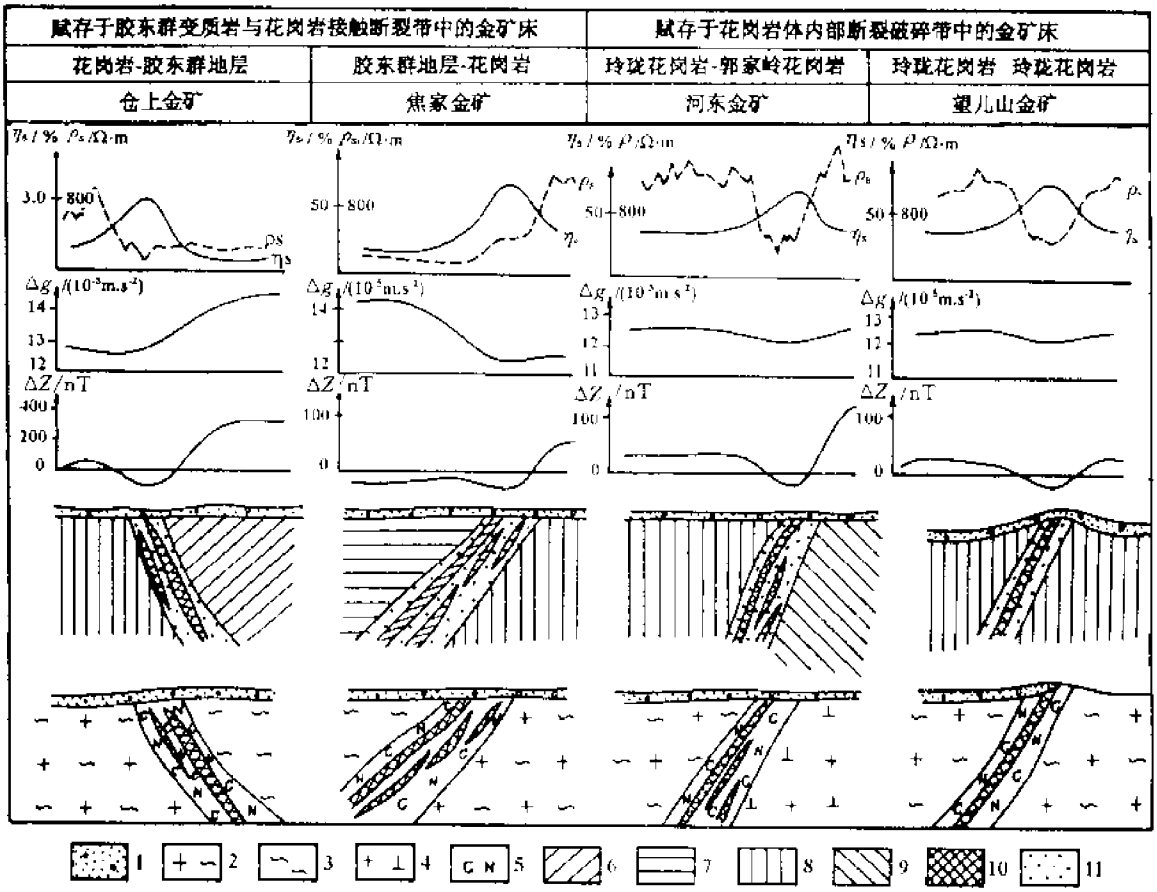


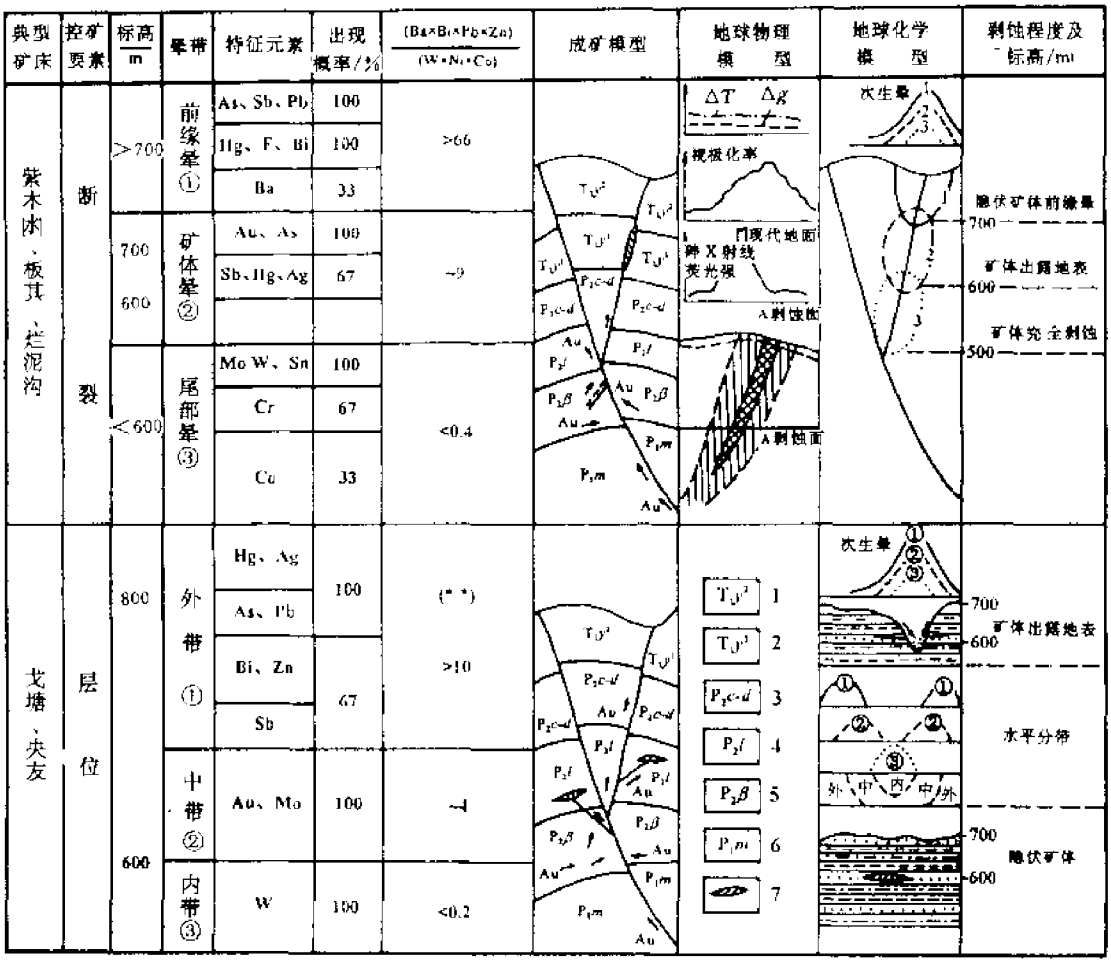
图 4-21 胶东蚀变岩型金矿床地质—地球物理模型

(引自邹光华，1996)

1—第四系；2—玲珑花岗岩；3—胶东群变质岩；4—郭家岭斑状花岗闪长岩；5—蚀变破碎带；6—弱极化、中等磁性、高密度、低阻体；7—弱极化、弱磁性、高密度、低阻体；8～9—弱极化、稍弱磁性、低密度、高阻体；10—高极化、中等密度、中等密度、微磁性、中高阻体；11—中等极化、微磁性、低密度、稍低阻体

应用，却是另一番景象，如同阳春白雪，和者甚寡。造成这种状况的原因，作者认为，主要是由于矿床模式的研究在我国刚刚兴起，而且大都局限在研究部门和大专院校。在已有的研究模式中，或是矿床成因类型的翻版，或是物化探异常的翻版，缺乏针对同类矿床的高度综合归纳，尚未从实用方面去提高认识。另一方面，在找矿工作者手中，缺乏适应不同勘查阶段不同勘查目标的模型系统。如，我国有数以万计的水系沉积物异常需要评价，但很少见到以水系沉积资料为基础建立起来的勘查地球化学模型。要求所有找矿工作者，都由自己建立不同矿床类型的勘查模型是不可能的。下面列出我国已公开发表的几种矿床类型的地球化学勘查模型，供读者参考（图 4-16～图 4-22）。

尽管利用模式类比在我国找到矿的例子也不少，如四川地矿局物探队等单位，他们首先发现“高、大、全”的异常评价准则在他们的测区范围内失灵。“高、大、全”的异常绝大部分是由基性火山岩所引起。相反，在丘状草原区内，一些异常规模小、异常强度弱的异常大都找到了矿。在类似的景观区范围内统一作图，并对相似的异常进行查证，见矿率均很高。又如，他们发现在一个稀有元素异常中，其异常的元素组合与一个已知的稀有元



水平分带	由远及近	Hg－Ag	As－Pb	Bi	Zn	Sb	Au	Mo	W
	距金矿体中心距离/m	85~370	85~205	101~170	102~205	0~206	0~170	40~102	0~100

图 4-22　贵州微细粒浸染型金矿床地质—地球物理·地球化学异常模型

（引自邹光华，1996）

1—下三叠统夜郎组二段；2—夜郎组一段；3—中二叠统长兴组—大隆组；4—中二叠统龙潭组；5—中二叠统玄武岩；6—下二叠统茅口组；7—金矿体

（**）为$\frac{Ag\times100}{W}$

素矿床相似，异常附近也有类似的岩体，推断该异常可能与稀土矿床有关。后经异常检查，地表就见到了规模较大的矿化体。经进一步勘查，该异常为一大型稀有元素矿床所引起。由此可见，他们只利用了异常元素组合相似这一特点，就把这一个大型稀土矿床找出来了。同时，也说明一种矿床模式被找矿工作者真正掌握，才能转化为生产力。

上述列举的矿床模式或矿床模型，都是基于人们现有资料与已有知识建立起来的，它是一种经验性的，肯定是不完善的。由于人们认识地质客体的局限，勘查方法与测试手段的不足，再加上建立模型中所依据矿床数仍然太少，占有的资料不全，缺乏全面的认识与提炼。因此，我们不能过分地依赖或盲目地搬用已有的矿床模式与矿床模型。既要重视矿

床模型对矿产勘查的指导作用，又不要束缚自己的找矿思路；既要搞清各种方法的基本原理和应用条件，又要了解各种找矿标志的地质意义和可靠程度，结合具体地质条件，正确运用模型指导找矿。

第五章　隐伏矿信息的追索与评价

第一节　概　　述

隐伏矿信息的追索与评价，是隐伏矿勘查过程中一个特殊的阶段。它是矿产普查和矿产勘探的接口。这一阶段的主要任务是：查明各类隐伏矿信息与隐伏矿的直接联系，了解隐伏矿的空间位置和潜在经济价值。隐伏矿信息的追索与评价，与前期的异常追索与评价的主要区别是，前期的异常追索与评价是解决引起异常的地质原因，查明异常源的平面位置，为下一步工作的布置提供依据。这时，对异常的地质原因已有一个初步的推断，但尚未得到最终证实。隐伏矿信息的追索，是在前期异常追索与评价的基础上进行的。继续对这些信息（包括异常）追索的目的在于指导工程的布置，查明隐伏矿的空间位置和潜在经济价值。

有时在地表虽然发现了与隐伏矿有关的信息，但不一定能识别出来，即使被识别出来了，由隐伏矿信息转化为隐伏矿，还有一段极艰辛的路程。这一阶段的投资成倍增加，甚至高于普查阶段的投资总和。另一方面，该阶段工作的好坏，决定着整个勘查计划的成败和勘查工作者的前途与命运。追索成功，自然会获得胜利后的诸多喜悦；追索失败，将会带来许多意想不到的种种苦果。

第二节　隐伏矿信息的追索与评价的某些认识

在隐伏矿信息的追索与评价中，为了达到减少失误和逐步逼近隐伏矿的目的，在追索工作中对信息运用的某些认识供参考：

1. 与隐伏矿直接有关系的信息优于间接信息

如成矿元素的异常优于伴生元素的异常；岩石异常优于土壤异常；土壤异常优于水系沉积物异常；水系沉积物异常优于水化学异常等等。每一种间接异常信息，向直接异常信息跨进一步，就相当于向隐伏矿逼近一小步，并且表明追索工作是在朝正确的方向前进。

2. 信息增强优于信息减弱

各种与隐伏矿床有关的分散晕，都有离矿越近信息越增强的规律。因此，在追索过程中，信息增强意味着在向隐伏矿逼近，指明其追索方向是正确的。相反，信息减弱表明已偏离潜在隐伏矿的方向。

3. 综合信息优于单一信息

如物化探综合异常优于物探或化探的单一异常；多元素异常优于单元素异常。主要是由于综合信息提高了信息的置信度，有利于排除某些因素的干扰。

4. 总体信息优于局部信息

如对整个异常的圈定，优于个别异常点的信息；异常平均含量优于峰值含量；累积测量信息优于瞬时测量信息；组合样品信息优于拣块样信息等等。

5. 实际资料优于理论推断

如从理论上推断，某地区对成矿不利，但实际上该地区存在着明显的异常，异常是对理论推断的置疑。相反，从理论上推断某区对成矿有利，但物化探方法并未发现异常，一定程度上也是对理论推断的置疑。

6. 矿床信息优于任何异常信息

如矿床的规模优于异常规模；矿床的品位优于异常含量。

7. 宏观信息优于微观信息

宏观找矿标志优于微观找矿标志，如铁帽，矿化露头优于化探异常。

8. 定量信息优于半定量或目估信息

如矿石的品位，其定量分析的结果优于半定量的分析结果。

9. 近期信息优于老信息

近期信息的置信度比老信息的置信度要高，而且与近期所获资料的可对比性也要高些。

10. 经过反复检验的信息优于未经检验的信息

11. 综合勘查模型拟合的信息优于多参数异常信息

12. 多参数异常叠合的信息，优于互不相关的单参数异常信息

13. 已知矿带中的异常或已知矿外围的异常优于新区的相应异常

上述隐伏矿追索与评价的认识是作者在以往的工作中得出的，既缺乏理论指导，更缺乏群众性的实践检验。其中不完善，甚至是错误之处在所难免。作者在实际工作中也考虑到某些认识，在表面上看来似乎合理，在实工作中就会遇到难题。如，岩石异常优于土壤异常，土壤异常优于水系沉积物异常，水系沉积物异常优于水化学异常，水化学异常优于气体异常这一认识，在实际工作中往往朝相反的方向进行。如在异常查证中，常用气体测量去查证水系沉积物异常，用水电化学测量去评价基岩异常的含矿远景等等。此外，在许多情况下，有了土壤异常不再需要转化为岩石异常。特别是气体异常和气溶胶异常，在许多情况下，不可能转化为岩石异常。类似上述列举的情况，足以说明隐伏矿追索的理论和方法技术，是隐伏矿勘探的瓶颈。它是地、物、化、遥各兵种正在攻克的桥头堡。迄今，这个桥头堡尚未完全攻克下来。其原因在于：

（1）成矿过程的长期性、复杂性和人们对成矿过程认识上的局限性阻碍了人们对成矿过程的认识

人们不可能直接观察成矿过程，只能从矿床周围观察与矿床有关的各种找矿标志和地质异常。当没有矿体存在的情况下，也可能有这样的标志和那样的异常。这些标志和异常与隐伏矿没有必然的联系。当用这些标志和异常对隐伏矿进行追索时，同样具有较大的局限性和风险性。

（2）矿床形成时的特性，往往大于其共性

地质条件千差万别变化无穷，任何一个矿床，都是在特定的条件下形成的。世界上没有一个矿床是完全相同的。根据某些矿床特征总结出来的成矿规律和找矿模式并非绝对真理，还需要根据具体情况，作出新的判断。我们不信奉“不可知论”。相反，我们坚信人们的认识能力是无限的，没有不可认识的事物，只是暂时还没有被人们所认识。对与隐伏矿

有关信息的认识也不例外，虽然难度较大，对它的基本特征暂时尚未完全掌握，但人们通过长期的找矿实践和借助技术进步，终将能逐步掌握它，将把隐伏矿有关的信息，从大量干扰信息中分辨出来。尽管目前找寻隐伏矿的方法技术远未达到完善的程度，但只要人们做出锲而不舍的努力，终将会有所前进，不断取得新的进展。鉴于目前的情况，对隐伏矿的预测和追索要求达到100%的准确是不可能的。只要充分利用近代最先进的科学技术，最大限度地获取深部隐伏矿的信息，采用有效的数据处理方法，多层次的区分矿与非矿信息，正确运用和不断完善评价准则，总结有效的微观找矿标志，提高对隐伏矿的识别率和追索隐伏矿的成功率，则是完全可能的。

第三节　隐伏矿信息的追索案例

一、内蒙古红花沟金矿外围壤中气气溶胶异常的追索

1. 试验区地质概况

红花沟金矿位于内蒙古赤峰县红花沟镇，地处华北地台北缘老府—初头朗大断裂南侧。区内出露地层为太古宇建平群上部混合片麻岩、混合花岗岩、斜长角闪片麻岩、斜长片麻岩等岩性。矿区东侧零星分布有上侏罗统白音高志组酸性凝灰岩、中性及中酸性熔岩、凝灰质砂页岩。西南侧有燕山早期花岗岩侵入（图5-1）。矿区内侵入岩很少，但脉岩发育，闪

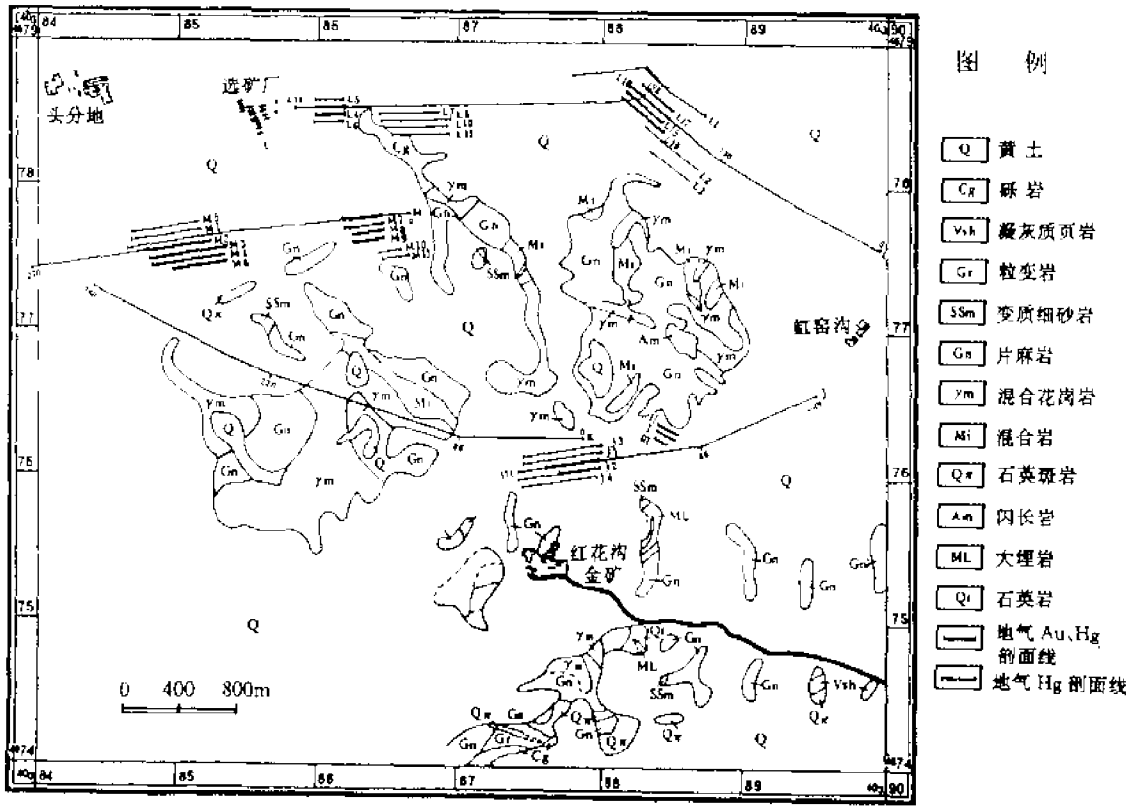


图5-1　内蒙古红花沟金矿地气测量工作布置图

（地质资料引自内蒙古自治区赤峰市郊区红花沟金矿）

1—黄土；2—砾岩；3—凝灰质页岩；4—粒变岩；5—变质细砂岩；6—片麻岩；7—混合花岗岩；8—混合岩；9—石英斑岩；10—闪石岩；11—大理岩；12—石英岩；13—地气Au、Hg剖面线；14—地气Hg剖面线

长玢岩、煌斑岩带与金矿脉伴生，产状一致，矿床明显受断裂构造控制。NNW 向压扭性断裂和 SN 向断裂是区内主要控矿断裂。

矿区内已发现矿脉 50 余条。矿脉呈平行或雁行式排列分布。主要由含金石英脉，含金黄铁矿石英脉及蚀变带组成。形状不规则，多呈断块状、透镜状、扁豆状。单体长一般不超过 5～6m，宽 0.1～0.4m。金属矿物以黄铁矿为主，次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿。脉石矿物主要为石英，其次为绢云母、方解石等。围岩蚀变主要为绢云母化，其次为绿泥石化、硅化、碳酸盐化、黄铁矿化等。地表 80%～90%为风成黄土覆盖。风成黄土覆盖厚度在 n～100m 之间。1∶20 万水系沉积物测量，在区内有明显的 Au 异常反映。Au 含量在 4～10ng/g，最大峰值为 30ng/g，平均衬值为 4.9，异常的浓度梯度变化明显，异常面积约 30km^2，揭示了本区具有较好的找 Au 前景。区内由于黄土覆盖，仅在冲沟内才切割到基岩，水系沉积物异常的强度和异常面积受其影响较大。

2. 综合气体测量

综合气体测量工作，以壤中气汞量测量先行。对有意义的汞异常，再用壤中气气溶胶测量圈定 Au 的富集地段。在出现气溶胶 Au 异常的地段再做 CO_2、CH_4、Rn 等壤中气测量。凡被证实为以 Au 为主的多组分异常后，再对该异常作进一步的查证工作。

本区综合气体测量工作的布置示于图 5-1。由于控矿构造为 NNW 和 SN 向，测线多为 EW 向，剖面长度 2～5km，点距 20m。布置长剖面的目的，是想了解黄土覆盖区断裂发育情况。4 条长剖面的测量结果，发现多处汞异常，对其中 6 处强的汞异常作了壤中气汞的面积性工作，线距 50m，点距 10m。面积性汞蒸气测量结果，以 400ng/m^3 圈定异常，按400～800～1200ng/m^3 进行浓度分带（图 5-2A）。本区的壤中气汞异常，具有异常强度大，连续性好，浓度分带清晰等特点。异常呈 SN 向分布，且未封闭。汞的内带异常，呈相互平行的条带状分布。这些异常特征反映了异常与区内主要控矿断裂的关系密切。在强的汞异常地段，又进行了壤中气气溶胶 Au 测量。Au 的测量结果示于图 5-2B。Au 按 2ng 圈定异常，按 2～4～8ng 划分浓度带。Au 异常以外带异常为主，内带异常不发育，Au 的峰值异常高达 44.7ng。据查证，峰值异常地段为民采金矿点。Au 异常亦多呈条带状分布，部分 Au、Hg 异常有较好的对应关系。

3. 异常查证结果

在众多的 Au、Hg 异常中，选择了 M 线 21～25 点间的内带 Au 异常进行钻探查证。该异常内，同时还有 Hg、Rn、CO_2 和 CH_4 的异常出现（图 5-3），是一处以 Au 为主的多组分异常。在平面上 Au、Hg 异常呈带状分布，汞异常比 Au 异常范围大，两者有较好的对应关系。该异常正处于已知金矿带的延伸方向，推断该异常与金矿化有关。矿上的找矿工作者结合地质条件分析，同意对该异常布钻查证。钻探查证的结果示于图 5-3。孔深 286m，黄土覆盖厚 26m。对验证钻孔进行了岩屑测量，沿钻孔岩心按点距 5m，共采集了 54 个样品。样品经物探所中心实验室用原子吸收分析法分析了 Au、Ag 和 Cu。原子荧光法分析了 As、Sb、Bi。塞曼测汞仪分析了岩屑样品中的汞。钻孔岩心测量的结果，在孔深 25～100m 之间见到有强的 Au 异常（表 5-1、图 5-3）。其中 16 号样品 Au 为 1000ng/g，伴生有 Ag（5600ng/g）、Cu（816μg/g）、As（325μg/g）、Sb（19.5μg/g）、Bi（1.6μg/g）、Hg（31.3ng/g）等组分异常，钻孔岩屑异常的特征表明，壤中气气溶胶异常是由金矿化所引起的推断是正确的。钻孔可能仅穿过了金矿化体的前缘异常。金矿体可能还赋存在较深的部位。

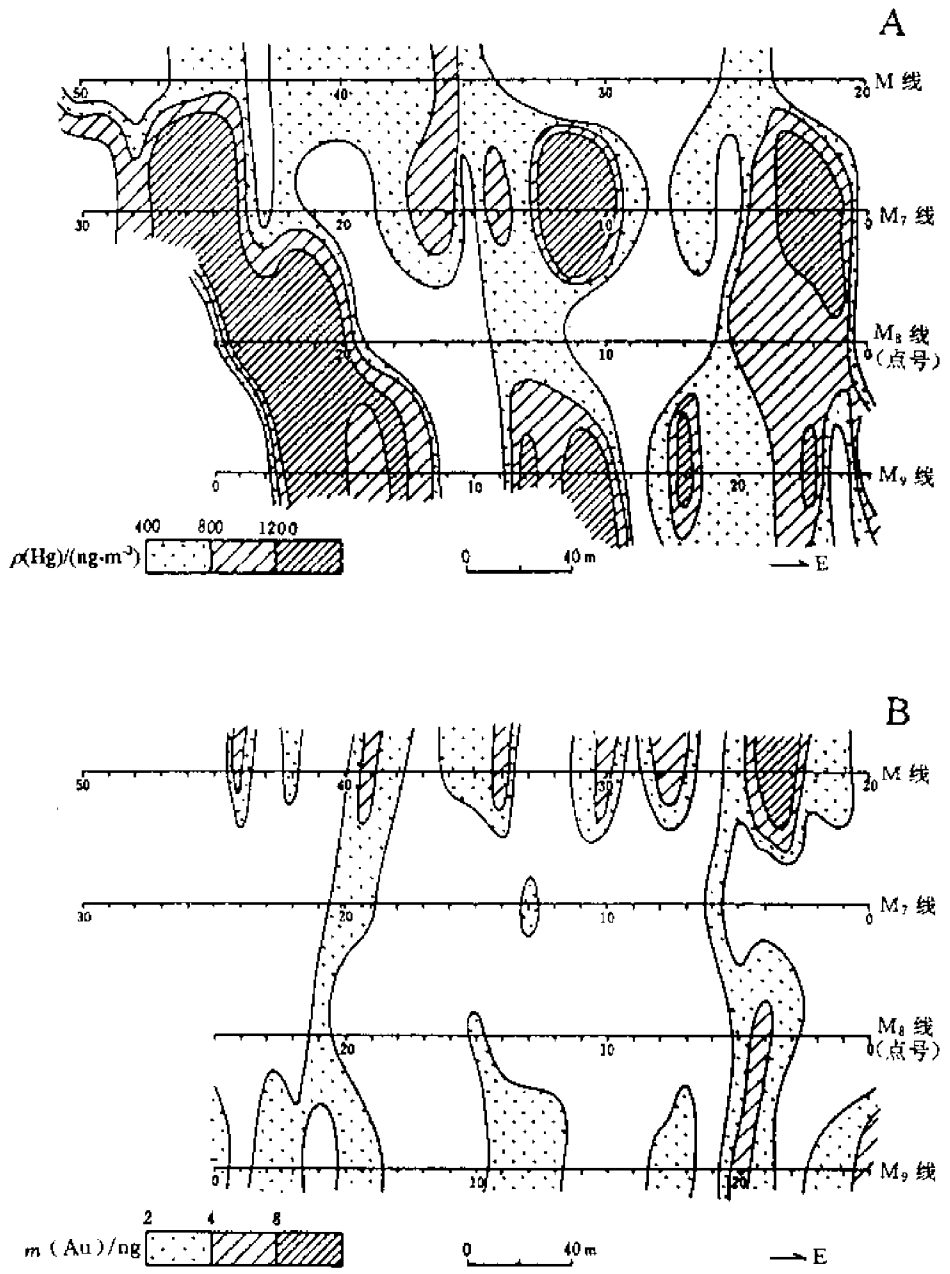


图 5-2　内蒙古红花沟金矿 M 一号壤中气 Hg、Au 地球化学图

该案例体现了就矿找矿；已知矿带上的异常优于新区的同类异常；综合异常优于单一异常；成矿元素异常优于伴生元素异常；岩石异常优于气体异常等准则的具体应用。同时也说明了根据隐伏矿的各类信息，对隐伏矿进行追索的艰辛。在查证“高、大、全”的岩石异常和水系沉积物异常时，它们的见矿率一般仅 $n\%$，对于“弱、小”异常的见矿率将更低。何况是运积物覆盖达数十米的地区，要找寻矿体长仅几米，宽仅 $n\times10$cm 的隐伏矿体，其难度可想而知。由于隐伏矿的追索要花费大的投资，找矿工作者更需谨慎从事，方法技术上更需精益求精。

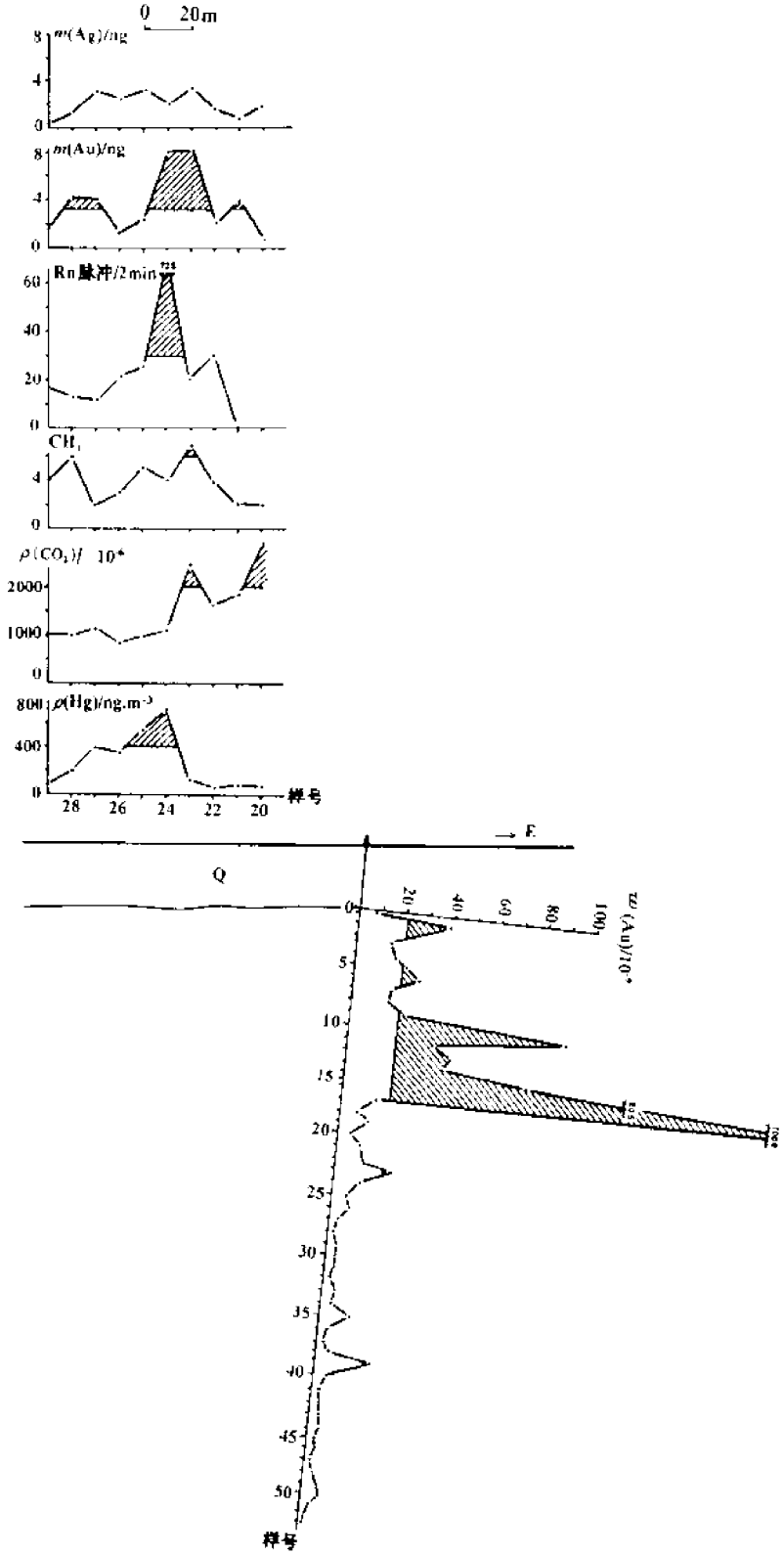


图 5-3 内蒙古红花沟金矿 M_1 线壤中气异常查证钻孔岩屑金含量曲线图

二、内蒙古柴胡栏子金矿外围壤中气汞异常的追索与评价

1. 试验区地质概况

柴胡栏子金矿位于红花沟金矿 NW 约 12km 处，该矿为产于太古宙变质岩系中的断裂蚀变岩型金矿。地表出露地层主要为太古宙变质岩系和侏罗系火山碎屑岩。区内岩浆活动强烈，主要为燕山期花岗岩。断裂构造发育，其 NNW 向压扭性断裂和 SN 向断裂为主要控矿断裂。区内正在开采的Ⅰ号和Ⅱ号矿体均产于太古宙变质岩系中。

表 5-1　查证孔中 70～106m 间岩心中微量元素含量

岩样号	深度/m	Au	Ag	Cu	As	Sb	Bi	Hg
9	70.2	22.3	223	162	36.5	2.00	0.08	8.8
10	75	91.4	346	259	66.0	3.20	0.25	10.1
11	80.4	35.2	208	271	60.0	2.70	0.16	12.6
12	85.9	42.6	190	224	49.0	2.30	0.26	8.0
13	89.6	40.3	235	246	70.0	2.70	0.11	10.1
14	94.1	76.2	620	572	152	9.10	0.21	21.8
15	96.2	205	483	482	142	9.5	0.40	16.8
16	100	1000	5600	816	335	19.5	1.60	31.1
17	105.9	13.9	69	118	18.6	0.59	0.05	2.9

注：Au、Ag、Hg 以 ng/g 计，其余元素以 μg/g 计。

地表以第四系风成黄土覆盖为主。黄土厚在 n～160m 之间，在试验区内，黄土层呈不连续分布，局部地区基岩裸露。这项试验工作的目的，是为矿山扩大金资源的储备。由于地表见不到任何矿化露头，又无任何隐伏矿的信息，只有根据就矿找矿的准则，布置一些壤中气汞量测量的长剖面。试图通过壤中气长剖面，找寻与已知矿带呈雁行排列的新矿带。首先对该矿区 11 线、15 线进行了壤中气汞测量。测量点距为 20m，剖面均通过Ⅰ号和Ⅱ号已知金矿带。壤中气汞测量结果在两个已知金矿带上，均出现有明显的汞异常。在 15 线的 NE 方向（已知Ⅱ号金矿带的 NE 侧）出现了一个新的汞异常。当时推断该异常，是由与已知矿带呈雁行排列的新断裂带所引起。拟用壤中气气溶胶测量对其含矿性做进一步的评价。

2. 壤中气气溶胶测量

在壤中气汞测量的剖面性工作中，很顺利地找到了靶区。由于是单一汞异常，不能对该断裂的含矿性作出评价。决定在 15 线再做壤中气气溶胶测量，气溶胶测量的结果，在Ⅱ号矿带的 NE 侧，大致在汞异常的地段，同样出现有气溶胶 Au 异常（图 5-4）。此时，这一已知矿带旁的汞异常，已证明是以 Au 为主的综合异常。同时也指明，该断裂也可能是新的含金蚀变带，建议矿上用山地工程对该异常进行查证。由于异常处黄土较薄，估计用浅井就能揭露出基岩。

3. 浅井查证结果

据该金矿地质科告知，15 线的壤中气气溶胶 Au 异常，经浅井查证，见到厚约 40cm 的含金石英脉。该石英脉金的品位为 4.8g/t。同样在 11 线剖面上的壤中气气溶胶 Au 异常，用坑探进行了查证，结果也见到了 10 余米宽的含金蚀变破碎带，其中 Au 的平均含量为

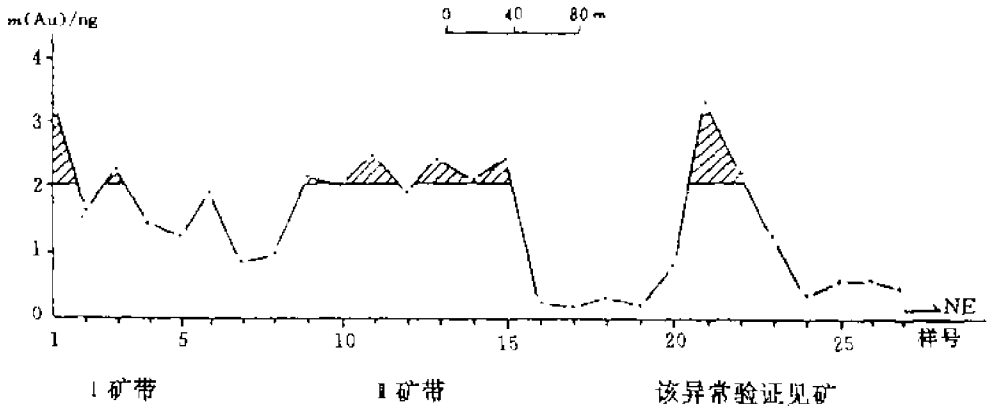


图 5-4 内蒙古柴胡栏子金矿 15 线壤中气 Au 剖面

2.8g/t，此后，未做进一步的追索工作。

三、内蒙古布敦花铜矿外围物探异常含矿性评价

1. 地质概况

布敦花铜矿田，位于大兴安岭隆起带西南延伸中段。该矿区包括北部孔雀山，南部金鸡岭。赋矿围岩为下二叠系大石寨组及中侏罗统万宝组的变质砂岩、凝灰岩角砾岩等。EW 向断裂为控矿和导矿构造。NW 向张性、张扭性断裂为良好的容矿构造。矿体形态和产状明显受构造控制。矿石矿物有斜方砷铁矿、毒砂、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、辉铅铋矿、方铅矿等；脉石矿物以石英为主。近矿围岩蚀变有绢云母化、硅化和绿泥石化。地表多为第四系腐殖土等残坡积物及洪积物所覆盖，厚度在 1～20m 之间。

1994 年地质矿产部将布敦花矿区外围列为地质普查找矿的重点靶区之一。主要工作以重、磁、电、综合物探方法为主，结合进行化探和地质成矿研究，在原有重磁及激电异常区内，提供寻找大型铜矿远景区。物探任务由我所瞬变电磁组承担，物探异常的含矿性评价由物探所气测组承担。

2. 物探异常含矿性评价

化探工作是在物探工作的基础上，先选择 26 线和 46 线作壤中气气溶胶测量的有效性试验。

壤中气气溶胶测量按物探测线布置，点距 20m，共完成测点 146 个。分析指标为 Cu、Au、Hg。26 线的测量结果示于图 5-5。

铜的含量范围为 44～3000ng，平均为 151.8ng，最大衬值为 20。Au 的含量范围在 0.8～120ng 之间，平均值为 1.88ng，最大衬值为 60。Cu、Au 分别用 300ng 和 4ng 圈定异常。从图 5-5 可以看出，Cu、Au 异常的衬值大，异常清晰，Cu 异常比较集中，出现在剖面的东、西两端。Au 异常比较零散，Au 的最大峰值出现在剖面的西端，东端 Au 异常呈锯齿状，强度相对较弱。Cu、Au 异常有较好的对应关系。

在测点 80～115 之间的 Cu 异常与瞬变电磁异常有很好的对应关系，正处于 TEM 反演视电阻率的低值区，推断该 Cu、Au 异常由脉状铜矿化体所引起。规模较大的铜矿化体，可能赋存在化探 100 号点（物探 2000 号点）的下方（在物探 2200～2300 点之间）。根据物探

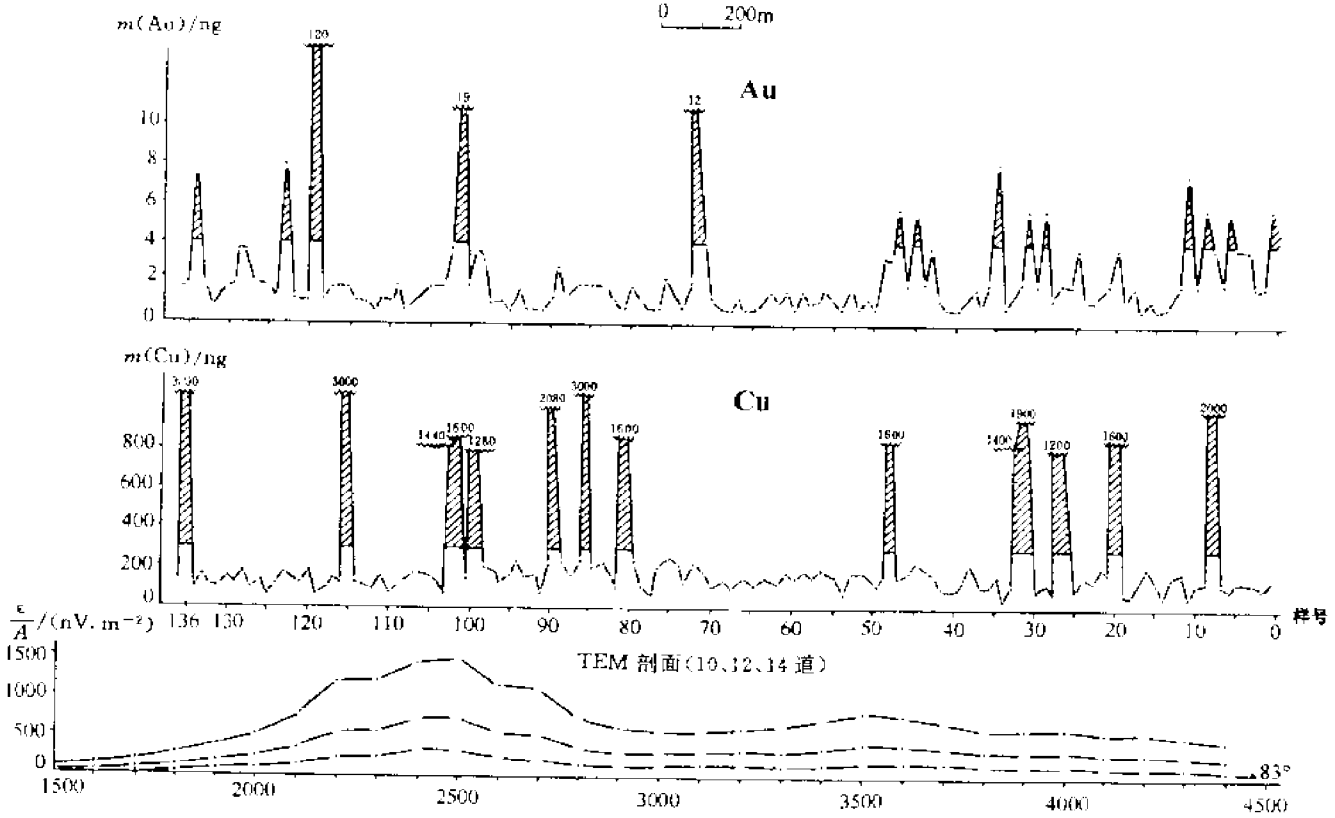


图 5-5　内蒙古布敦花铜矿 26 线物、化探剖面图

异常布钻ZK9401查证，在孔深430～530m处见PbZn矿体。物探推断该异常为层状铜矿化体所引起。水平层状的矿体也能引起这种形态的气溶胶异常，但不可能有这么大的一个层状铜矿体，最后推断该异常为脉状铜金矿化体所引起。层状地质体可能是炭质板岩。指出TEM异常可能与炭质板岩有关。并从大量的转石中采集了标本，建议做物性测定。据ZK9401孔的钻探资料表明，厚层状的炭质板岩呈层状分布，多金属矿化呈脉状体分布，证明化探的推断是正确的。

用化探方法评价物探异常的含矿性，早就有人提出，并在区分矿致异常与非矿异常方面获得了较广泛的应用。但由于以往常规的化探方法仅能发现近地表矿化，对于深部隐伏矿和运积层下的隐伏矿也发现不了异常，因此，对物探异常含矿性的评价，化探方法也起不了多大作用。近年来，由于壤中气气溶胶测量方法已获得初步成功，为物探异常含矿性的评价提供了一种有效的新手段，在很大程度上弥补了物探方法的间接性和多解性的弊端。可充分发挥物探方法探测深度大，定位准确和化探直接找矿等优点。二者结合使用，可使物探方法找隐伏矿的能力提高到一个新的水平。

四、广东高要蟠龙运积物覆盖区水系沉积物异常源的追索与评价

1. 试验区概况

试验区位于长坑—富湾大型金银矿区的西北部，在地貌上属低山丘陵区。山丘与平原相间，侵蚀残山区呈丘状，相对标高30～50m，山丘上为耕地，10%为荒地。耕地之间荆棘丛生，通行极为不便。平原区为广厚的运积物覆盖，河浜沟渠纵横交错。区内出露地层主要为上三叠统（T_3）的含煤碎屑岩建造和下石炭统（C_1）的硅泥质碳酸盐建造。测区东部有一条硅质破碎带，呈NW向展布。

2. 水系沉积物异常特征

本测区内，水系沉积物Au异常广泛分布，Au的峰值含量w（Au）为54.3×10^{-9}，该异常的元素组合和所处地质位置与长坑—富湾特大型银金矿相似。原推断该水系沉积物异常与规模较大的隐伏矿有关。由于异常区多为水稻田，不容易找到异常源，原推断测区东部的硅质破碎带，是主要的异常源。从地形上看来，这种推断不完全合理，由它引起的异常不可能分散到比它高得多的地方去。接着把目光转向那些小山丘上去。由于山丘上的覆盖层太厚，进行1∶5000土壤测量的结果，也未追索到水系沉积物的异常源。异常源在哪里？是我们这次试验的主要任务。

3. 壤中气汞异常和气溶胶异常特征

根据壤中气汞量测量和壤中气气溶胶测量结果，剔除高值点后，统计了该区Au、Ag、As、Sb的地球化学参数（表5-2）。

根据这些元素的异常下限值（T）圈出了试验区Au、Ag、As、Sb的异常（图5-6）。

从图5-6可以看出：

1）试验区发育有Au、Ag、As、Sb的壤中气气溶胶异常，峰值分别为Au 21.2ng、Ag 189ng、As 54ng、Sb 35ng。

2）壤中气Hg和气溶胶的Au、Ag、As、Sb异常均呈NE向展布，与区内硅化破碎带的方向基本一致。

3）壤中气气溶胶中的Au、Ag异常具有一定的分带性。测区东部靠近硅化破碎带的部位，以Au异常为主，异常连续长达2km，异常最宽处大于60m，该Au异常伴随有强的Sb、

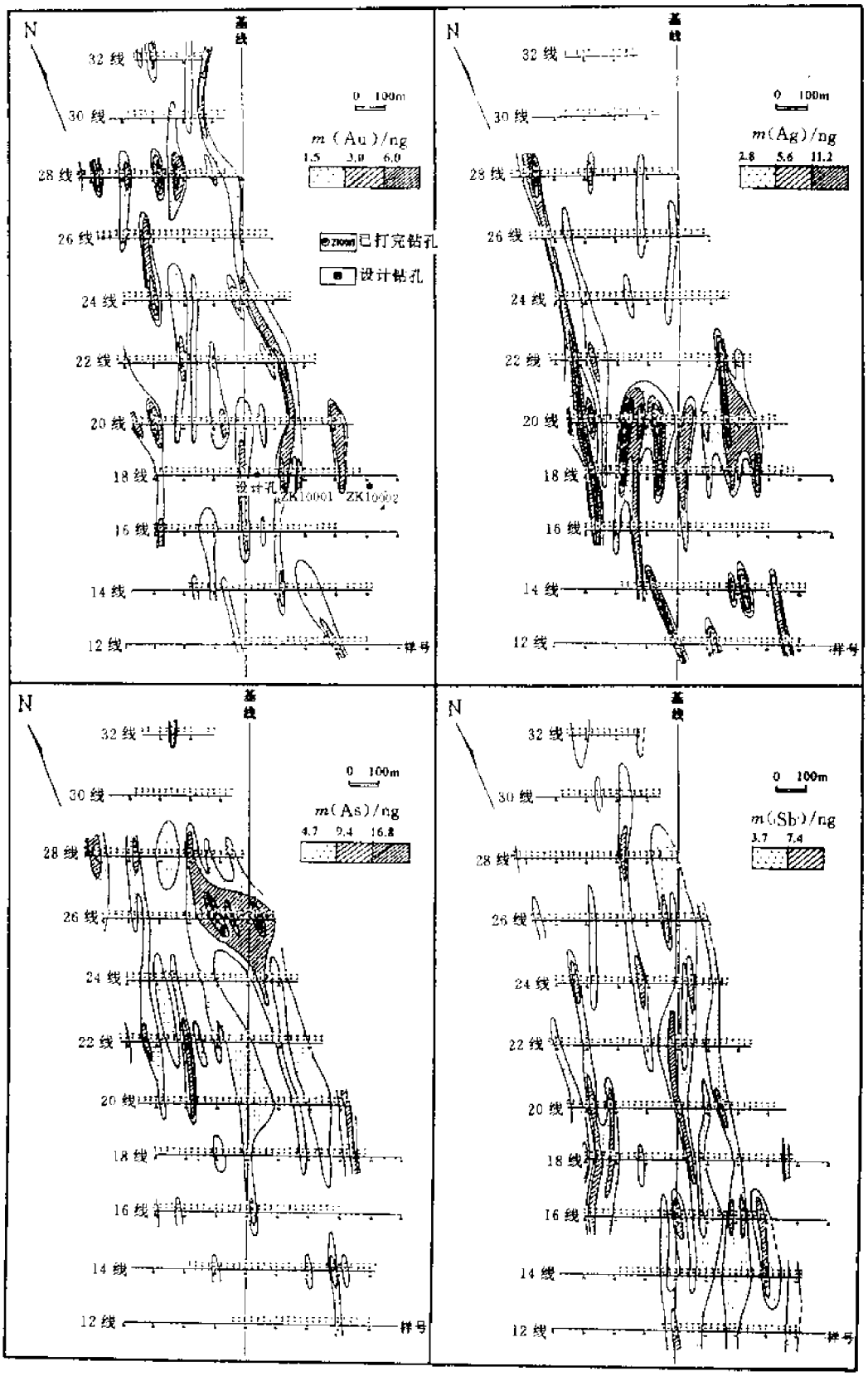


图 5-6 广东蟠龙地区地气 Au、Ag、As、Sb 异常图

表 5-2 蟠龙地区 Hg、Au、Ag、As、Sb 地球化学参数

元 素	样品数 (n)	算术平均值 (x)	离差 (δx)	异常下限值 (T)	异常值范围 (R)	异常平均值 (A)	异常衬度 (A_c)
ρ(Hg)/(ng·m^{-3})	495	238.1	116.1	500	512～>2333	1006.1	2.0
m (Au) /ng	263	0.93	0.43	1.5	1.5～21.2	3.7	2.5
m (Ag) /ng	239	1.50	0.79	2.8	2.8～189	17.9	6.7
m (As) /ng	220	2.49	1.35	4.7	4.8～54	9.4	2.0
m (Sb) /ng	24	2.10	0.96	3.7	3.8～35	6.7	1.8

Hg 异常，局部有 Ag、As 异常出现。试验区中西部，以 Ag 异常为主。Ag 异常长达 1km 多，异常最宽处达 60 余 m。银异常带伴随有强而连续的 Hg、Au、As、Sb 异常。

根据气溶胶 Au 异常与硅化破碎带的分布较为一致，该区又处于高 Fe_2O_3、MnO 和低 SiO_2 的地球化学环境，与已知矿的地球化学特征相符。1∶5 万土壤测量也在该区圈出了较强的 Au、Ag 异常〔Au 的峰值 m (Au) 达 40×10^{-9}，m (Ag) 的峰值 13.5000×10^{-9}〕。推断该硅化蚀变带以含 Au 为主，Ag 为辅的金矿化破碎蚀变带，是区内水系沉积物异常的主要供给源之一。试验区内，山区的 Ag 异常带，可能也是一条矿化蚀变带，是以含 Ag 为主，Au 为辅。是地形较高处水系沉积物异常的供给源（图 5-7）。这两处原生矿化带的发现，对本区水系沉积物异常的来源得到了圆满的解释，并具有较好的找矿前景。

4. 异常查证结果

根据化探异常结果，结合区内地质情况，经与 757 队协商，在硅化破碎带处布置 ZK1001 孔和 ZK1002 孔对硅化带的含矿性进行评价。

钻探结果，在上三叠统（T_3）与下石炭系（C_1）的不整合面内，见到了 m(Ag)达 666×10^{-9}以上的矿化体，Au、As、Sb 也有强的异常显示（图 5-8），但均不够工业品位。说明壤中气气溶胶异常，虽对矿化类型有直接指示意义，但与常规的化探方法一样，异常对矿化和矿体，同样没有明显的识别标志，这是气溶胶异常评价中，值得特别注意的问题。

五、砂金矿源的追索

我国东北地区盛产砂金。不少地区的砂金储量已达大型规模，而在砂金矿的上游地段，一直未能找到过原生金矿体。黑龙江的二道沟和五道沟就属于这种类型的砂金矿。由于长期找不到原生金矿源，对砂金矿的成因提出了各种各样的假说，同时，也得出了水系沉积物测量在我国东北地区无效的结论。因为东北地区，地形比较平缓，残坡积层的厚度一般在 2m 以上。造成有矿的地区，地表不一定能发现异常，有水系沉积物异常的地方，其上游地区不一定能找到矿。针对这种现象，传统的地质找矿工作者用淘砂法，而勘查地球化学工作者用水系沉积物测量法分别对砂金矿源进行了长达 10 余年之久的研究。各家所得结论各异和对结论的解释都很难令人满意。作者与黑龙江物探队合作，对五道沟的三处砂金矿源用壤中气汞量测量方法进行了追索。追索的结果，不仅在五道沟砂金矿上方找到了规模较大的含金破碎带，而且在嘉阴河谷等地，也找到了与砂金有关的原生金矿化。当时采用的工作方法是，沿水系平行的山脊作壤中气汞量测量剖面。原拟通过砂金产区作十字剖面，由于区内沼泽遍布不易通行，未能实现。沿山丘高地做壤中气汞量测量，一般能行走，并且不易迷失方向，采样点的位置也容易找寻。在发现有壤中气异常的地方，用洛阳铲采深

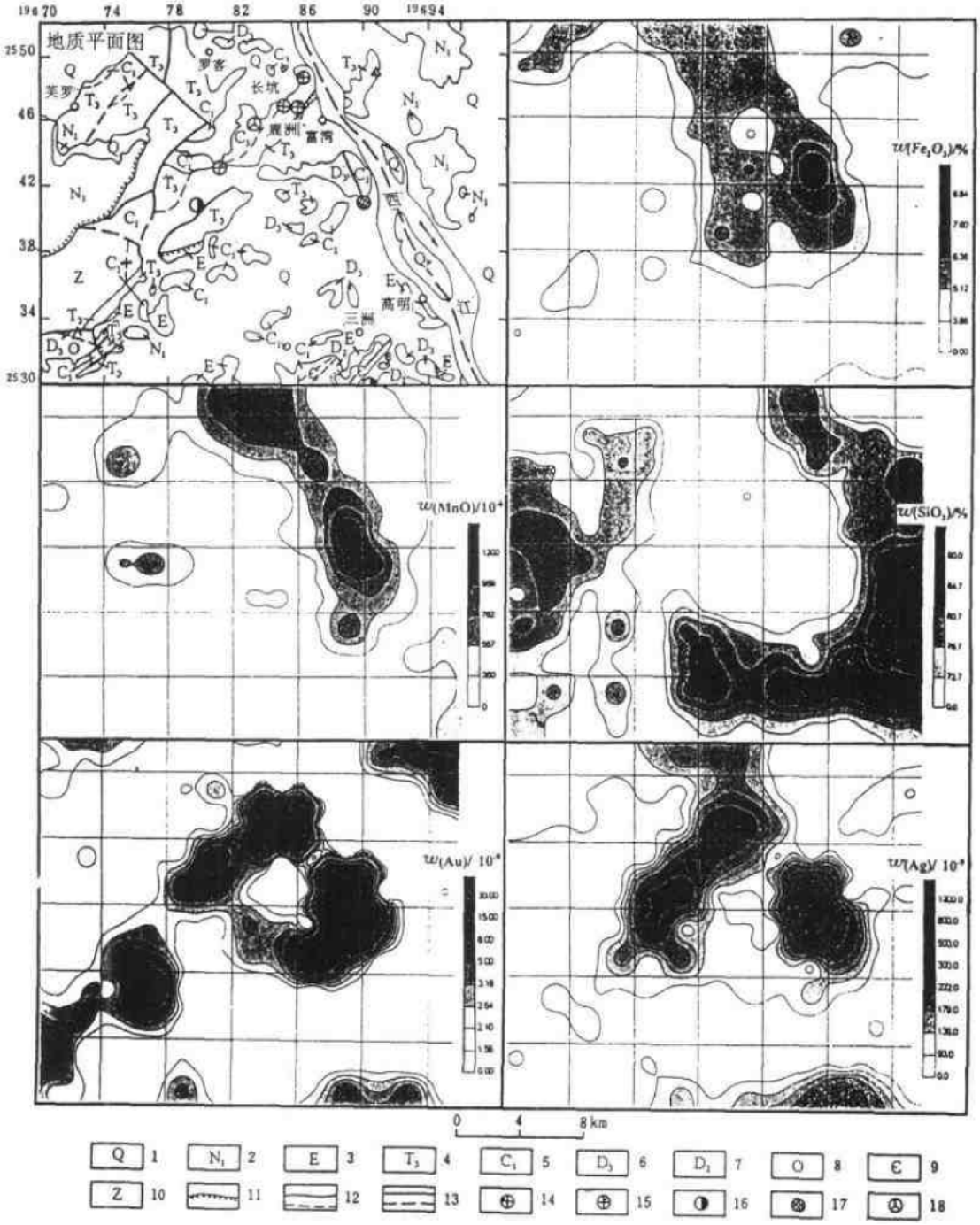


图 5-7　广东长坑—富湾金银矿 1：20 万水系沉积物地球化学异常图

（杜海燕，1997）

1—第四系；2—新第三系；3—老第三系；4—三叠系上统；5—石炭系下统；6—泥盆系上统；7—泥盆系中统；8　奥陶系；9—寒武系；10—震旦系；11—实测、推测沉积不整合界线；12—实测、推测地质界线；13—实测、推测断裂；14—金矿；15—银矿；16—铅锌矿；17—锰铅矿；18—铅锌银矿

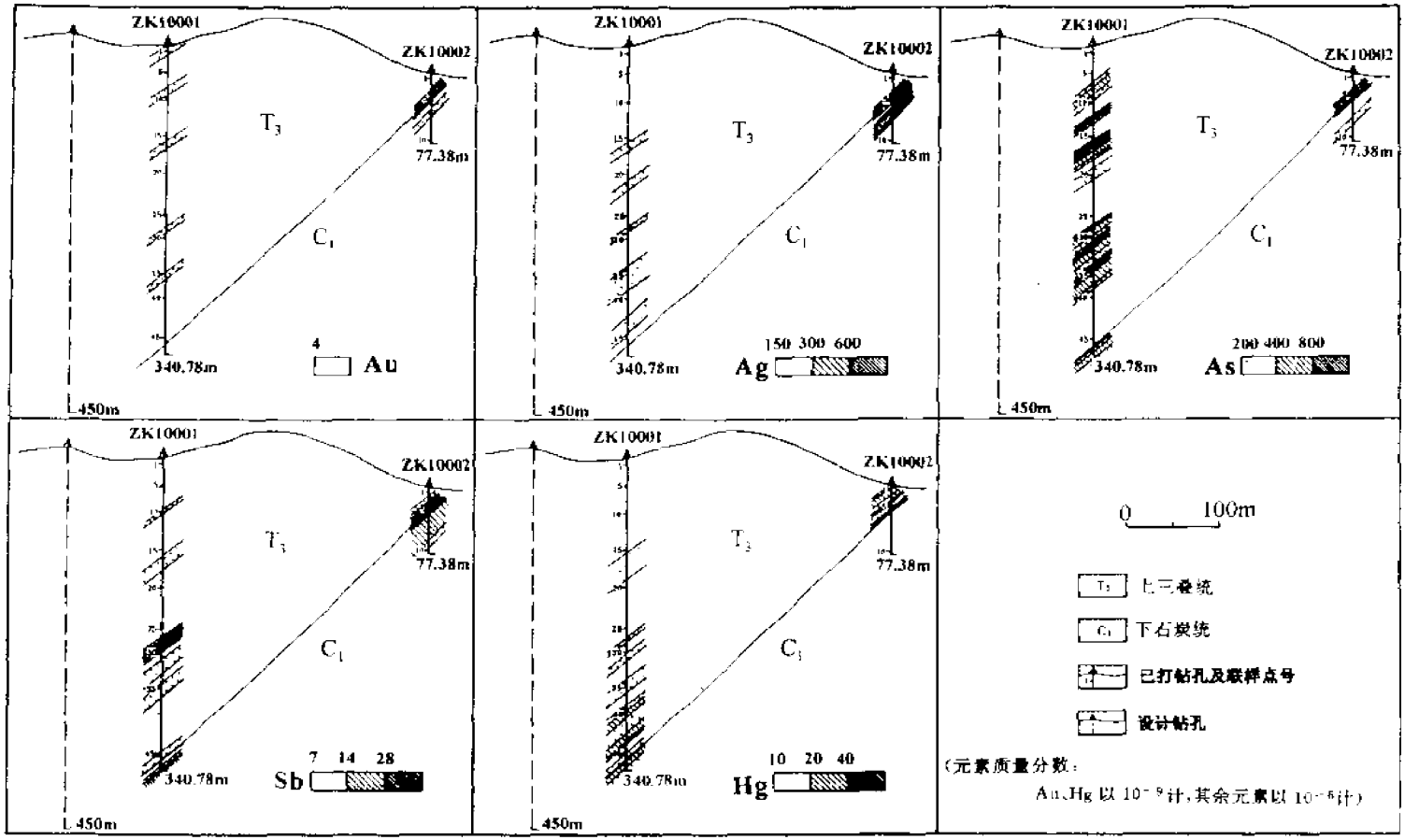


图 5-8 广东省高要蟠龙地区 ZK1001、ZK1002 孔岩屑地球化学异常图

(元素质量分数：Au、Hg 以 10^{-9} 计，其余元素以 10^{-6} 计)

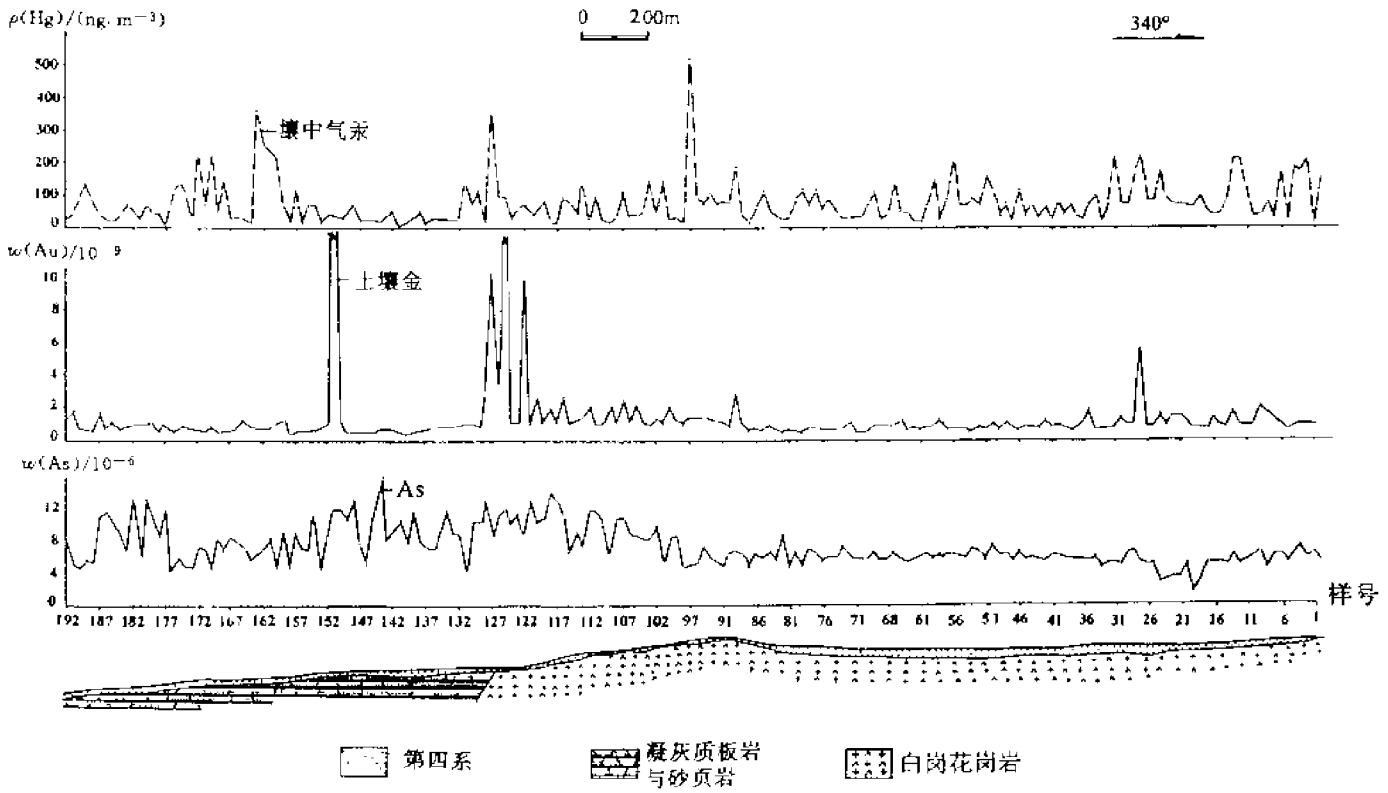


图 5-9 五道沟工区三线地球化学剖面图

层样。在深层样品中，若发现有 Au 的异常，异常强度增大，则该处可能就是原生金的赋存地。图 5-9 是五道沟三线地球化学剖面图。

事实证明，并非砂金矿没有原生金矿源，而是不好找寻。水系中的砂金，是通过残坡积物的再次分散迁移所致，而不是直接从原生金矿化体中搬运而来。据四川物探队介绍，四川有一处砂金矿，处于河漫滩中，面积仅数十平方米，年年淘金年年有，可是附近从未发现过原生金矿化。在东北不少砂金矿也有类似的情况，淘洗过的河砂，过几年后，又有砂金可淘。湖南益阳等地一些盛产狗头金的地方，也不容易找到原生金。甚至在一条不到 100m 长的冲沟中，见到砂金的晶形完好，在冲沟范围内也找不到原生金等等。上述问题可能是属于同一问题，都可能涉及到狗头金和砂金的成因问题。传统的砂金成因理论，机械成因占绝对统治地位。上述地质现象对传统的砂金成因理论，提出了新的挑战。传统的地质理论认为，Au 的化学性质极不活泼，在常温下不可能呈离子金迁移。据此，否定了砂金和狗头金的化学成因。水电化学测量结果充分表明，Au 在表生条件下并非惰性，而且具有较强的迁移能力。迁移的形式既可以呈离子态，也可以吸附在胶体上迁移，在电场作用下产生聚集。说明砂金可能是电化学作用的产物。这一点也可从砂金的分布加以说明。砂金主要分布在潜水面以下约 30cm 处。这里的还原电位，有利于 Au 离子转化为自然金。砂金的层状分布不是水动力作用的结果，而是由于氧化还原电位的梯度变化所造成。

六、水电化学异常源的追索

水电化学测量由于受地下水露头的限制，采样密度不可能太大。采样密度稀，每个点所代表的面积就大。若用 1 个点/km^2 的测网。即使是 2～3 个点的异常，其异常面积就有 2～3km^2。异常面积大，是问题的一个方面；另一方面，地表不是疏松沉积物覆盖，就是基岩覆盖，地表与矿化有关的标志也很难发现。基于上述两方面的问题，使得水电化学异常源的追索，成了水电化学方法应用的最大障碍，而且，也限制了靶区的进一步缩小。这就造成了水化学和水电化学方法，通常能发现一大片的异常。从宏观的角度看来，似乎有较好的找矿前景。当发现异常后，矿到底在什么地方？用什么方法可以把矿找出来？这些问题一直困扰着勘查地球化学工作者。如水电化学方法在运积物覆盖区能发现靶区，确有许多优点，由于上述问题尚未解决好，限制了它在生产中的广泛应用。

作者考虑到在水化学分散晕的形成中，矿质组分是呈水平方向迁移，气体分散晕和气溶胶分散晕是呈近于垂直方向迁移，它们的交会部位正是隐伏矿的平面位置。根据这种推理，在山东焦家地区进行了试验，获得了初步的成功。最近将该方法用于湖南锡矿山地区陈家院水电化学异常的追索，也获得了成功。现以陈家院水电化学异常源的追索为例，说明这种方法的应用效果。

该水电化学 Sb 异常，位于冷水江市东侧，资江南岸，是 1997 年用 0.5～1 个点/km^2 的网度测量结果圈定的。异常具有明显的浓集中心，尽管工作时雨量较多，地下水中的微量元素浓度被稀释，但其极大值仍然达 17.2μg，可与锡矿山锑矿区的异常强度相类比。地表出露 C_1d 地层。可见到一些煤层和硅化岩石。水电化学 Sb 异常，被包括在 1∶20 万水系沉积物测量的中带 Sb 异常范围内。其区域地球化学特征也与锡矿山锑矿田类似。为了查明该水电化学 Sb 异常的找矿前景，在水电化学 Sb 异常值(17.2μg)最大的 28 号泉西约 40m 处，布置了壤中气汞量测量、壤中气气溶胶测量和土壤地球化学测量。测量结果示于图 5-10。从该图可以看出：

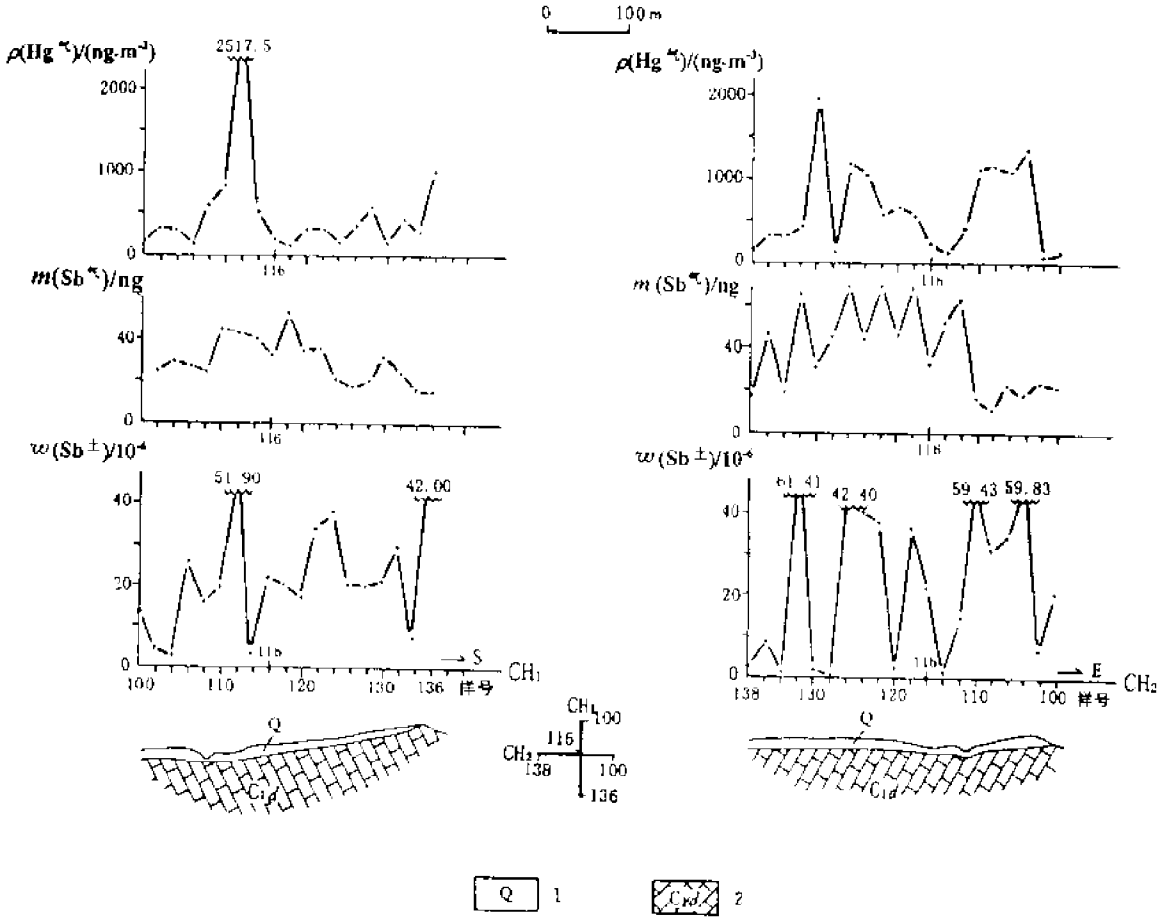


图 5-10　锡矿山陈家院水电化学锑异常区综合测量图

1—第四系；2—石炭系下统大塘阶灰岩

1）各种测量方法均有明显的 Hg、Sb 异常显示，其中 Hg 气异常的最大值为 2517.5ng/m³。壤中气气溶胶 Sb 异常的强度大。CH_1 线 Sb 异常的平均值达 81.2ng，CH_2 线 Sb 异常的平均值达 96.9ng。而土壤 Sb 异常较弱，异常最大值 $w(Sb)$ 为 61.4×10^{-6}（与锡矿山外围地区比较为强异常），异常平均值 $w(Sb)$ 为 43.7×10^{-6}。

2）CH_2 线的壤中气气溶胶异常规模和强度均比 CH_1 线大，说明矿化可能呈东西向展布（这和水电化学异常的分布是一致的）。

综上所述，该区无论从区域地球化学异常特征，还是从水电化学 Sb 异常，地气 Sb 异常和土壤 Sb 异常特征来看，均表明该区具有找隐伏锑矿的良好前景。同时，也再次证明了我们提出的追索水电化学异常源的方法是正确的，可供今后水化学异常和水电化学异常源的追索和评价时参考。

七、污染异常与隐伏矿异常的识别

1. 概述

随着工农业生产的飞速发展，由于工农业生产污染所引起的异常日趋增多。如湖北大冶、甘肃白银厂、贵州铜仁万山、湖南锡矿山等矿山和冶炼厂周围几十平方公里范围内的不同介质中，分别形成 Cu、Pb、Zn、Hg 等金属组分的严重污染。各种常规的地球化学测

量方法，均有可能出现与污染有关的“高、大、全”的异常。在这些地区与隐伏矿有关的异常，被淹没在大片的污染之中。在城市周围由于污水排灌，以及城市周围电介质增高，河水中携带的金属离子，由于胶体聚沉作用，使水中的金属离子沉淀下来，在城市周围形成规模巨大的重金属异常。如浙江的杭州、绍兴、金华、上海吴淞口等地在水系沉积物测量中，均已发现有大规模的金属异常环绕。在老矿山的周围，地表矿已开采完毕，被废弃的贫矿石和冶炼炉渣漫山遍野。如白银厂、万山、锡矿山等地，很难找到一片不受其污染的地方。

上述各种人为因素所造成的“异常”，都是在人工的特殊环境下形成的，与天然的地球化学场有着本质的区别。根据地球化学的原理，不同物理化学环境，有着不同的元素组合、不同的存在形式和分散晕的不同发育特征。这些理论原认为仅适用于天然地球化学环境，经对比研究后，发现在人工环境下也有许多特征可供识别。冶炼厂的矿石经过人工分异，在冶炼炉中又经过了热力分异。烟囱中的烟尘，一般仅散落在地表，埋藏深度不如隐伏矿大，由于埋藏浅，氧和 pH 的垂向浓度梯度变化小，缺乏像硫化矿床氧化带那种氧化还原条件，不可能和隐伏矿一样形成气体分散晕，并保持动态平衡。

任何硫化矿石，一经火法冶炼，硫化物荡然无存，多被转化为其他形式存在。此外，元素的共生组合也产生了相应的变化。如 Hg、As、Sb 等易挥发组分在烟道气中得到了增强，Cr、Co、Ni 等难挥发组分，则相应被减弱。而反映地球化学环境的常量组分异常，则基本消失。又如与古墓有关的汞污染，由于古人是用游离汞或辰砂作防腐剂，这种污染中，基本不存在其他亲铜元素的污染，也很少存在 HgS 的赋存状态。人们根据人工污染源的这些特征，把污染的影响抑制到最小限度是可能的。另一方面，隐伏矿床的异常还有它自己的特征，根据两者之间的差别，人们完全可以把与隐伏矿有关的信息从污染中区分开来。

2. 甘肃白银铜冶炼厂周围地区水系沉积物异常与污染异常的识别

甘肃白银厂为多金属矿田，是开采多年的老矿山，给水系沉积物测量造成一定的干扰是不奇怪的。问题就在于在已知矿的下游，许多金属元素形成另一个异常中心。图 5-11 中的异常与矿化毫无关系，但常被误认为有新的隐伏矿赋存。我们针对该异常进行了一些研究，初步认为，下游部分的异常，与烟囱排气有关。主要根据是：

1）下游异常的分布，与地面监测到的烟道气中汞的分布基本一致。

2）上游微量元素的异常，处于高 Fe_2O_3、MnO、Na_2O、CaO 和低 SiO_2 的地球化学环境中，而在下游异常范围内，则无上述常量组分的异常存在。

3）该水系沉积物异常被分成两个不连续的异常中心，可能指示了不同的异常源。

4）下游异常范围的土壤样品中，Hg 的热释结果表明，汞既不呈硫化物存在，也不呈 Fe、Mn 氧化物的形式存在，而是呈吸附态和氯化汞的形式存在。与上游土壤样品中汞的赋存状态有着明显的差别。

鉴于白银小铁山多金属矿下游方向的水系沉积物异常具有上述特征，我们推断下游的异常与白银厂冶炼厂烟囱排放的烟尘有关，与隐伏矿无关。这一推断得到了有关部门的认可。

3. 湖南锡矿山鹧鸪塘水系沉积物异常的分解

湖南锡矿山地区的水系沉积物测量结果，在锡矿山锑矿床，禾青铅锌矿床和鹧鸪塘等三处出现有强的 Sb 异常（图 5-12）。这三处强异常中，有二处是已知矿而且都是大型矿，人

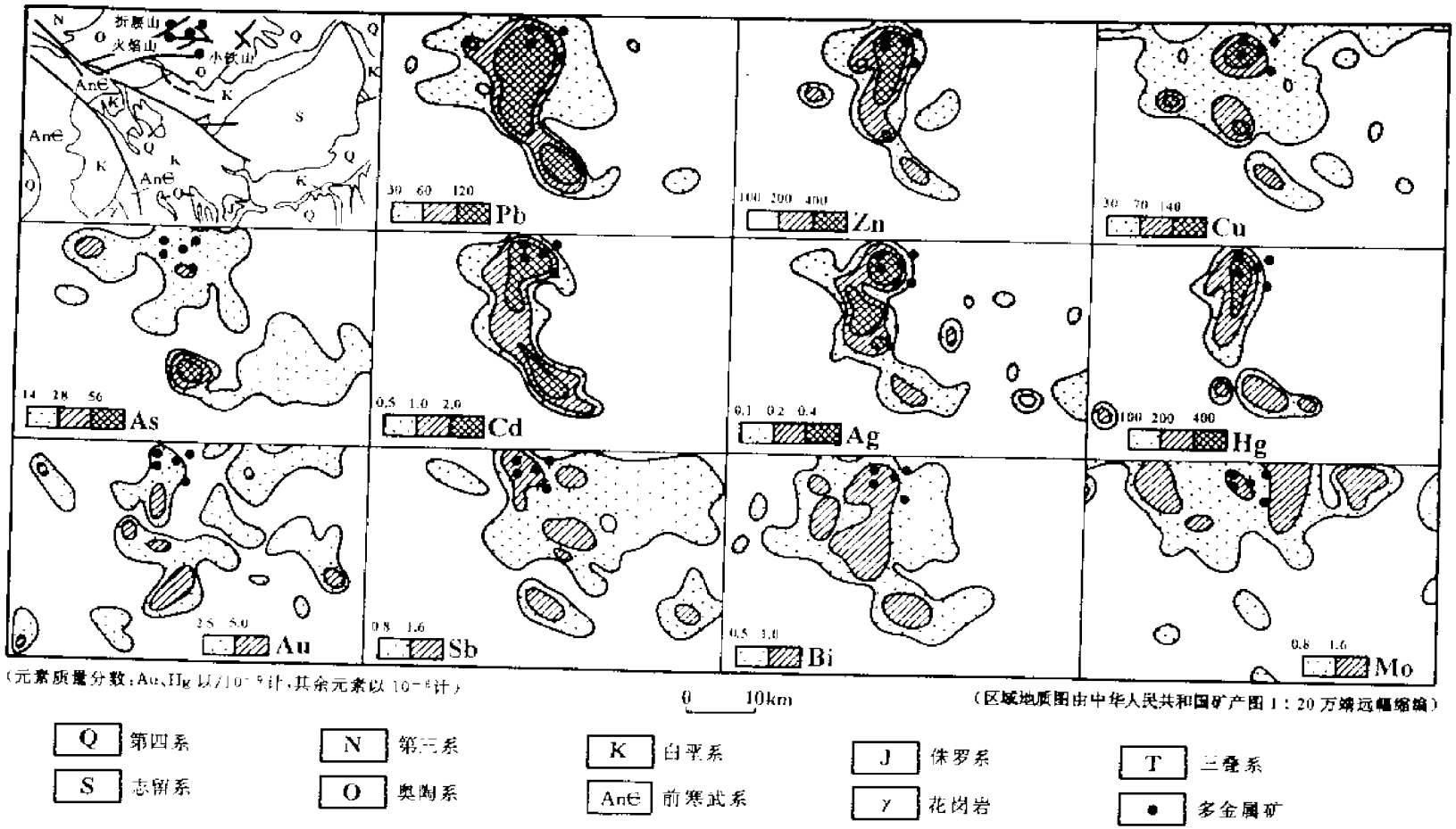


图 5-11　甘肃小铁山多金属矿床区域地球化学异常图

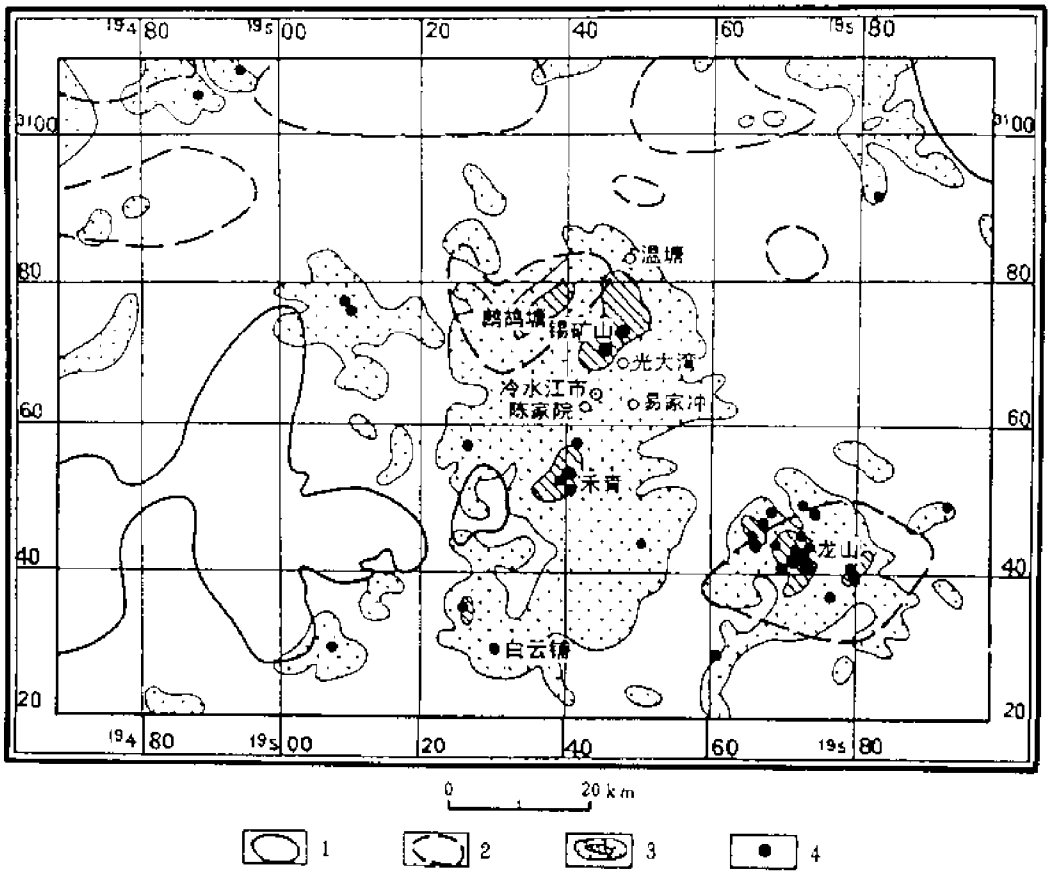


图 5-12　湘中地区水系沉积物 Sb 异常图

1—出露岩体；2—隐伏岩体；3—Sb>6、>100×10^{-6}；4—Sb 矿床（点）

们自然会想到第三处强异常——鹤鸽塘异常也可能是矿致异常。湖南物探队对该异常进行了多次检查，在异常范围内的河床阶地上，发现有选矿厂的尾砂沉积层，由此推断该异常是由污染所引起。锡矿山北矿选矿厂的尾砂每年数以百吨计，由河道经该区排放。并且该区地形突然平坦，河床变宽，有利于泥砂沉积。最有利的证据是：尾砂沉积层中 Sb 的含量接近于边界品位。我们研究了水系沉积物异常内的每个原始采样点的地形地质情况。有些异常点的标高特别大，是任何洪水所不能到达的地方。这些点的异常虽弱，但毕竟还是有异常。这些资料使我们对该异常完全是由污染所引起产生了怀疑，决定再次对该异常进行检查。异常检查的方案是：通过主要异常区作综合地球化学剖面，其中包括土壤测量，壤中气汞量测量，壤中气气溶胶测量，岩石测量和地质观察等方法。

该异常位于锡矿山锑矿西部鹤鸽塘向斜的东翼桃江—城步大断裂和邵阳—新化断裂交会处的 NW 侧，出露地层为 T_1、P_2。该区处于高 Fe_2O_3、CaO 低 SiO_2、Na_2O、K_2O 的地球化学环境，与锡矿山锑矿区较为相似。据重磁资料推断，异常区正处于一个大型酸性隐伏岩体的上方。壤中气汞量测量和气溶胶测量的结果，发现有强的 Hg、Sb 异常（图 5-13）。Hg 异常往北有增强的趋势。地表地质观察也见到基岩中有星散状黄铁矿化。水电化学方法在该区圈出了 Sb 的异常。土壤测量在二叠系硅质岩地段，亦发现有 Sb、Hg 异常。岩石测量发现有两个 Sb 的高含量点（最高 Sb 含量 w（Sb）达 700×10^{-6}）。据这次重复检查的结

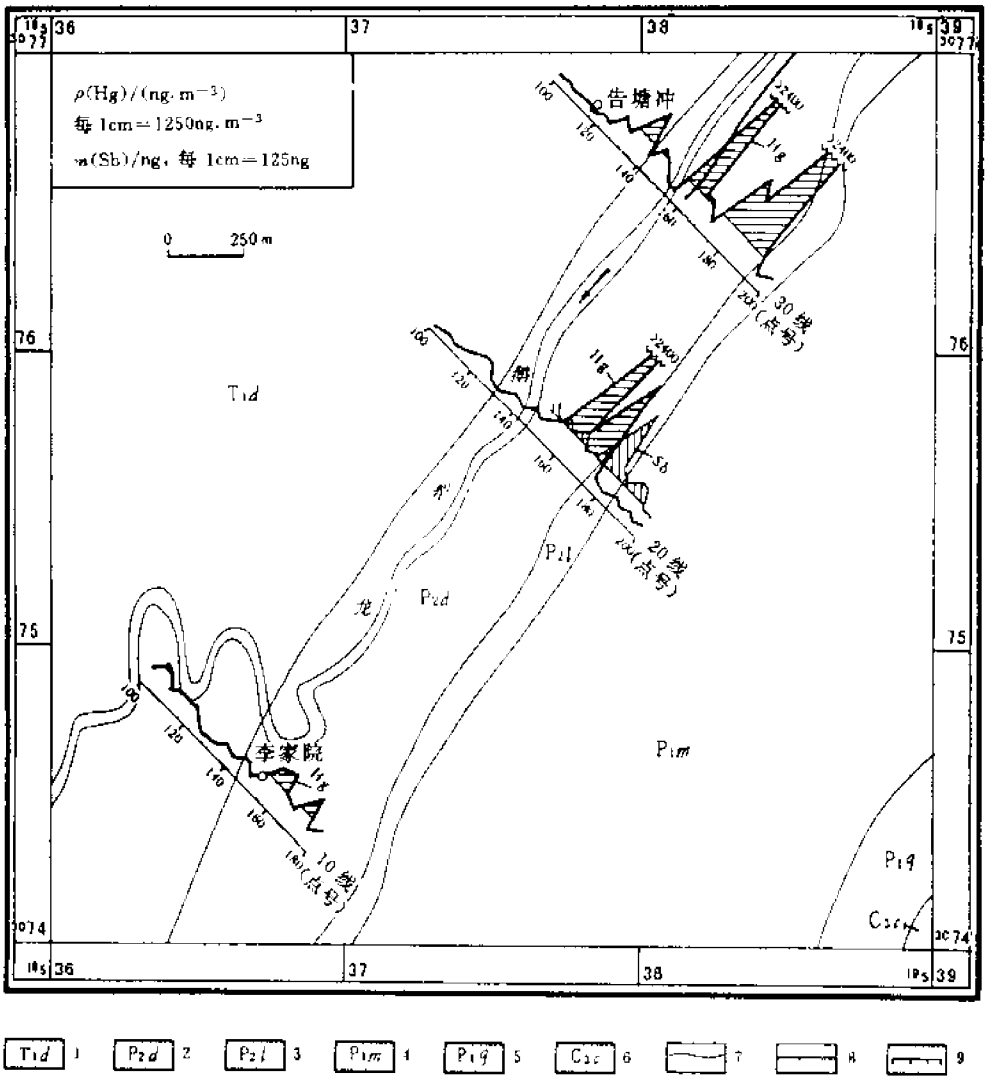


图 5-13 湖南省新化县鹤鸪塘地区地气 Hg、Sb 异常平剖图

（地质资料引自：湖南省地质局物化探勘查院）

1—三叠系下统大冶组；2—二叠系上统大隆回组；3—二叠系上统龙潭组；4—二叠系下统茅口组；5—二叠系下统栖霞组；6—石炭系上统船山组；7—地质界线；8—断裂；9—综合测量剖面线

果表明，河床分布区的异常由污染所引起，标高较高地区的大部分异常是与隐伏 Sb 矿化有关。尽管区内不具备“背斜加一刀”的锡矿山式的地质找矿模式，其找矿前景也是值得注意。由此可见，通过上述方法，明确地将鹤鸪塘异常分解成两部分，对该异常的认识提高到了一个新的水平。

八、淋滤型隐伏矿露头的评价

尽管地球化学勘查工作者，一般不认为淋滤型隐伏矿是隐伏矿，对淋滤型矿化露头也存在一系列的问题，有待地质工作者去解决。最早对这些问题研究得比较详细的是俄罗斯地质学家斯米尔诺夫。他对淋滤矿床的铁帽露头进行了专门的研究，并著有《硫化矿床氧化带》一书。该书从研究褐铁矿的结构构造入手，辨认原生硫化矿的物质成分，评价铁帽的含矿性。在 20 世纪 60 年代初，我国地质学家李文达对我国长江中下游的大量铁帽也进

行过类似的研究。与此同时，李善芳教授和作者对长江中下游的铁帽，开展了成矿元素和伴生元素的研究，研究的结果表明，尽管铁帽中原生硫化矿物荡然无存，根本无法辨认。但硫化物被氧化时，形成了大量的铁锰胶体物质，它们对各类成矿元素和伴生元素均有较强的捕获能力。因此，在褐铁矿中常保存有大量的成矿元素和伴生元素。根据铁帽中成矿元素和伴生元素的特征，推断铁帽原生的矿化类型，要比传统的方法可靠得多，并且容易掌握。作者对褐铁矿的结构构造特征可以说是一无所知，仅根据铁帽中的成矿元素和伴生元素进行分类，就能将绝大部分铁帽的矿化类型进行识别。后来，物探所林存山等人，用上述分析数据进行了聚类分析和判别分析，在60多个铁帽露头中（包括将近一半是已知的）无一判断错误，证明根据铁帽中成矿元素和伴生元素的含量和组合特征，区别原有矿化类型，是一种最为适用的方法。目前生产部门仅分析铜、铅、锌等成矿元素就能达到判断原有矿化类型的目的。

关于铁帽下部有无原生硫化矿残存的问题，在斯米尔诺夫的研究中，也未提出很明显的方法。直到目前，也无十分成熟的方法可循。作者于20世纪70年代初，对这一问题也进行了初步的研究。主要是根据硫化矿床氧化带中的气体分散晕与固相组分保持动态平衡的原理进行工作的。一旦原生硫化矿被完全剥蚀或被完全氧化，则固、液、气三相之间的平衡遭到破坏，气体分散晕就失去了补给源，气体异常逐渐减弱，甚至完全消失。根据这一原理，在铁帽上方进行壤中气测量，就能判断原生硫化矿的氧化程度。铁帽下部原生硫化矿若保存较多时，由于矿体在较大的O_2浓度和pH梯度范围内变化，氧化还原作用和氧化还原电位，都能保持正常，在地表就能检测到气体分散晕，指示原生硫化矿未被剥蚀殆尽或尚未被完全氧化。图5-14是甘肃公婆泉一铁帽上的试验结果。由于原生矿仅残存很少一部分，地表的汞异常就很弱；地下原生矿多的则地表汞异常的强度大。在河南上宫金矿也遇到了类似的情况。在Ⅰ、Ⅰ号矿化带上地表铁帽规模大，但原生矿的埋藏量小，地表的汞异常弱。在第Ⅱ号矿化带上，原生硫化矿的埋藏量大，则地表壤中气汞异常的强度也大。

九、根据钻孔岩屑异常追索隐伏矿

河西金矿为新城金矿和焦家金矿的姊妹矿，产于焦家断裂的次一级断裂中。为了解该矿区原生晕的分布规律，选择该矿区100线进行了钻孔岩屑测量。在开展钻孔岩屑测量时，该矿区正在勘探中。当时的结论是，钻钻见矿，矿矿不连，矿床规模大不了。

对100线剖面的钻孔（不包括补充勘探孔）均进行了采样，采样点距5～10m（视岩性均匀程度而定），连续拣块。每个样品由若干小块组成。样品测定了Au（化学光谱法），Hg（金汞齐原子吸收法），As、Sb、Bi（原子荧光法），Na_2O、MgO、CaO、K_2O、Fe_2O_3、SiO_2、Al_2O_3、S（X射线荧光法），Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Ni、B、Mn、Sn、W（光谱半定量）等23个指标，其中选择了11～17种指标成图。Au、Hg、Ag、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Mo、Mn、Fe_2O_3、S、K_2O、Na_2O、MgO等元素的异常示于图5-15。

在该剖面中，共圈出6条Au异常内带。其中除3条内带异常由已知金矿体所引起外，还在ZK416及ZK443孔－100m标高以上出现了三条Au的内带异常，其Au含量w(Au)高达1000×10^{-9}，具有浓度分带，并相应有Cu的内带异常，As、Ag的中带异常，Ag、S、Sb和Bi的外带异常出现。根据焦家地区六个矿床原生晕研究的结果表明，这种多元素组合异常，是金矿体赋存的指示。据此曾向山东地质六队提出，上述地段是否有漏划矿体，

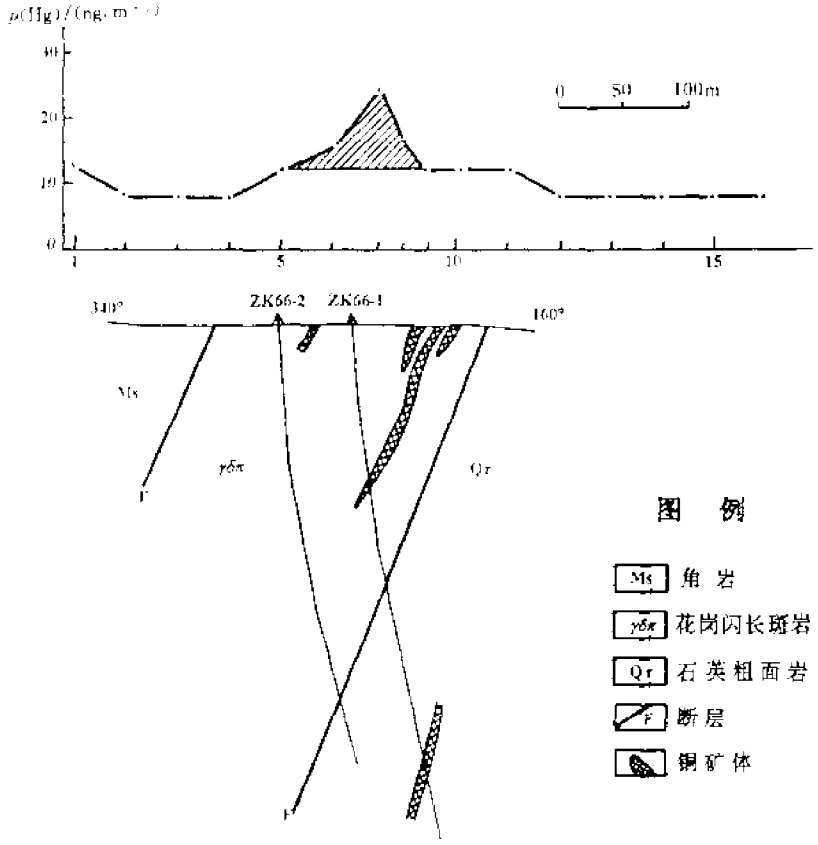


图 5-14 公婆泉铜矿 66 线壤中气汞量图

值得进一步查证。并且还提出，在已知矿顶部的花岗闪长岩脉分布区，发育有 Hg、Ag、As、Sb 的异常。这是一些硫化矿床的前缘元素，深部可能有隐伏矿存在。最后指出，河西金矿的原生晕与焦家新城等矿床极为相似，可能该矿床具有较大的规模，值得注意。1985 年后，地质六队对该矿进行了补充勘探，证明原有勘探过程中确有漏划矿体。该矿床的规模已由小型扩大为大型。在上海张堡铁铜矿床的原生晕研究中有类似的情况，也发现有漏划矿体。值得指出的是，钻孔岩屑测量可以指明漏划矿体，追索盲矿体。至于该例案中漏失了那些矿段，以及河西金矿由小型变大型金矿床，纯碎是地质六队的功绩，与作者无关，不要因此而引起不必要的误会。

十、分带型隐伏矿露头评价

在分带型隐伏矿露头的评价中，有两方面的问题需要进一步查明。其一是，地表出露的脉石矿物露头是矿体的头部，还是矿体的尾部？也就是说，露头之下还有没有矿体存在。第二问题是，该露头是那一种矿化类型的指示标志？其含矿前景如何？为了完成第一项勘查任务，首先将地表异常的特征与已知矿的组分分带模式进行类比，若发现未知区的元素异常组合和已知模式的前缘异常相似，则下部有隐伏矿的可能性比较大。若与已知矿的尾部异常相似，则其下部有隐伏矿的可能性比较小。若附近既无已知矿的异常模式可供类比，

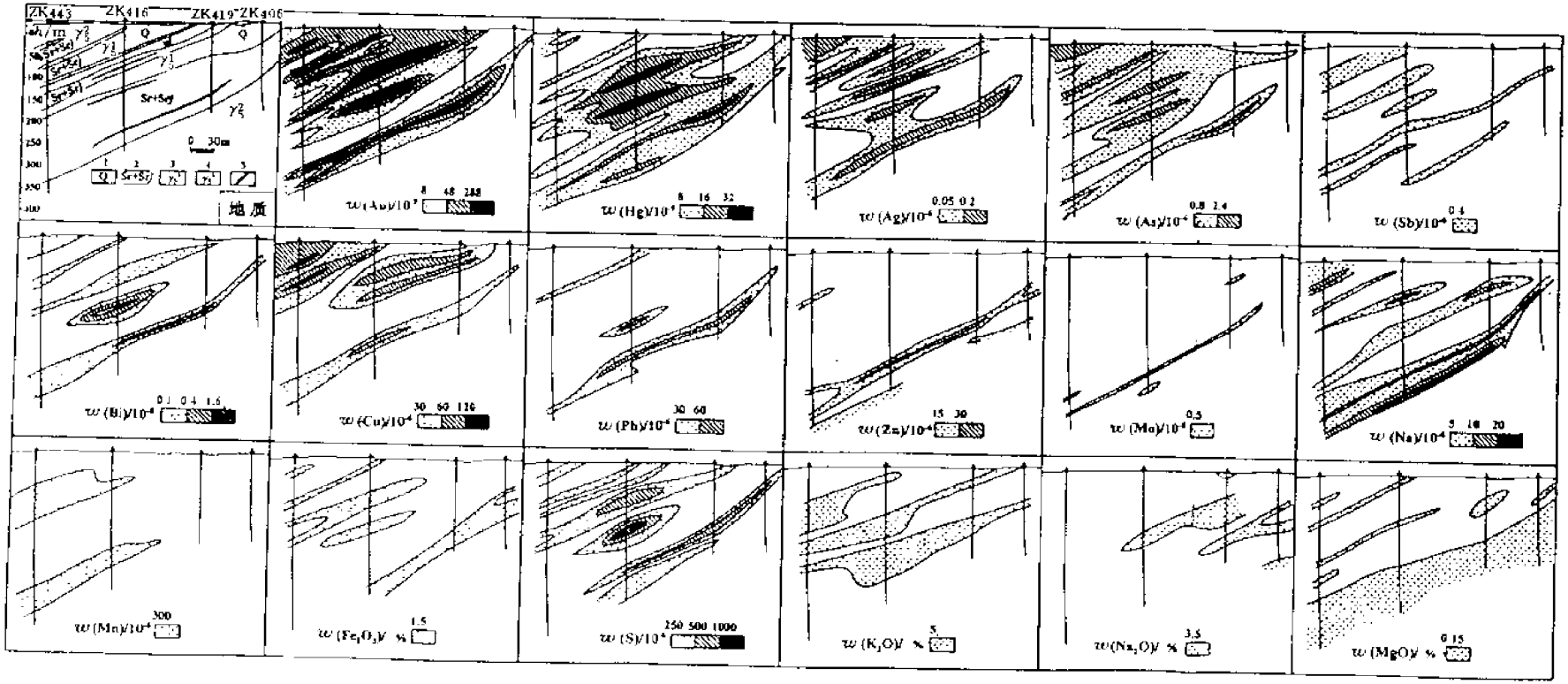


图 5-15　河西金矿 100 线地球化学图

1—第四系；2—绢英岩化花岗岩、绢英岩化花岗质碎裂岩；3　似斑状花岗闪长岩；4—黑云母花岗岩；5—金矿体

又不知道该矿露头是什么矿化类型，可采用常规热液硫化矿床的组分分带规律对矿化露头进行评价。作者在评价浙江平水江含金破碎带的含矿性时就遇到过上述情况。我们在离平水江含金破碎带最近的何山金矿，于地表和深部采集了少量矿石和围岩样品，试图了解前缘异常和尾部异常的元素组合特征，并与平水江矿化带的异常进行类比。分析结果表明，何山金矿的前缘晕中，Hg 和 As 的含量比矿体尾部高 10 倍以上。因为何山金矿地表风化较强烈，Hg 和 As 可能有强烈的表生富集。深部的含 Au 石英脉，变宽、变白，Au 的品位逐渐降低。当与平水江矿化带的异常进行类比时，发现在平水江断裂带上，主要异常地段 Hg、As、W、Mo 的含量都很高，与硫化矿床的元素组合和组分分带大相径庭。平水江断裂带的矿化类型为火山热液型金矿化，W 和 Mo 赋存于钨铝铅矿中。再次说明，元素的组分分带与元素的存在形式有关，钨只有呈黑钨矿，钼呈辉钼矿赋存时，才是高温指示元素。上述赋存状态不是高温指示元素，说明平水江金异常的剥蚀深度不大，其深部可能有隐伏矿赋存。

十一、土壤吸附烃异常的追索与评价

1. 概述

类似的情况自从 G. 劳伯梅尔（1929）利用土壤吸附烃总量异常找油气藏以来，该方法一直沿用至今，它在我国的应用也有 40 余年的历史。如今的土壤吸附烃测量，在采样方法和样品的分析等方面虽已发生了翻天复地的变化，但它在找油的效果上，一直不能令人满意。长期以来，人们对油气田上方烃类气体的逸散过程虽不十分清楚，但油气田上方烃类气体异常的存在，已被大量的模拟试验和越来越多的实测资料所证实。

作者由于长期从事气体测量的找矿工作，自然便想到油气藏应是气体测量的有利找寻对象，并于 20 世纪 80 年代中期，着手进行各种气体测量的找油试验研究，同时也进行了较大规模的生产试验。在这些试验中，以土壤吸附烃测量为主，其中还进行了壤中气汞、壤中气氡、壤中气甲烷、土壤热释汞、水中汞测量等方法的找油试验工作，试验的结果表明，上述试验的各种方法中，以土壤吸附烃的测量精度较高，所获异常具有较好的重现性。但各种油气指示标志的异常，并非书本上所描述的和人们通常所认为的那样，“油气化探异常与油气藏垂直对应”“油气化探异常呈环状包围油气田”“油气田的规模与油气化探异常呈正相关”等等。上述不完整的认识，使人们在油气异常的追索与评价中，已导致了无数的失误。尽管在我国也有少数根据油气异常找到油气藏的案例。总的来说，根据化探异常见油的概率仍然是相当低的，说明油气化探中有较多的干扰因素。在各种油气化探方法中，均有其自身的干扰因素。下面仅讨论土壤吸附烃测量的主要干扰因素。

2. 土壤吸附烃测量的主要干扰因素

1）土壤吸附烃异常可以由多种异常源引起，有工业意义的油气藏可以引起土壤吸附烃异常，没有工业意义的含油地层，已被开采完的油藏，已被后期岩浆构造活动破坏了的油气藏，均可引起土壤吸附烃异常煤田和油页岩同样可以形成土壤吸附烃的异常。图 5-16 是煤田和油页岩引起的土壤吸附烃异常。煤田和油页岩中的烃类组分，呈碎物或烃类气体溶于水后，在地下水的渗透区和河水浇灌区内，可形成大面积的异常。图 5-16 示出，油气指标异常多沿耕地分布。

2）与油气藏有关的气态烃类组分，能溶于水，特别是河水和地下水呈酸性时，烃的熔解度增大，可在河床的两侧形成大面积的土壤吸附烃异常（图 5-17）。有时在沼泽地区周围

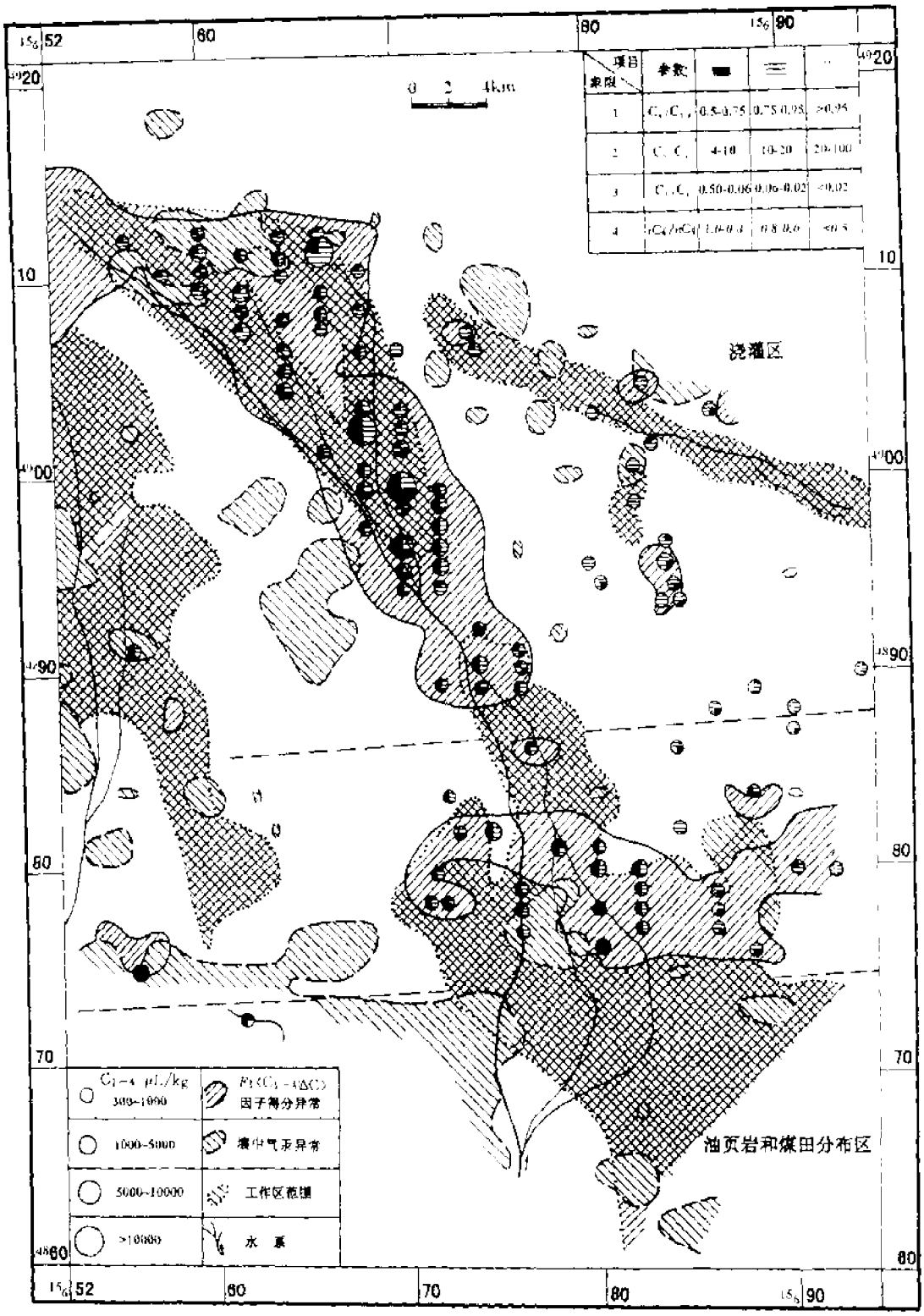


图 5-16 吉木萨尔地区地球化学综合异常图

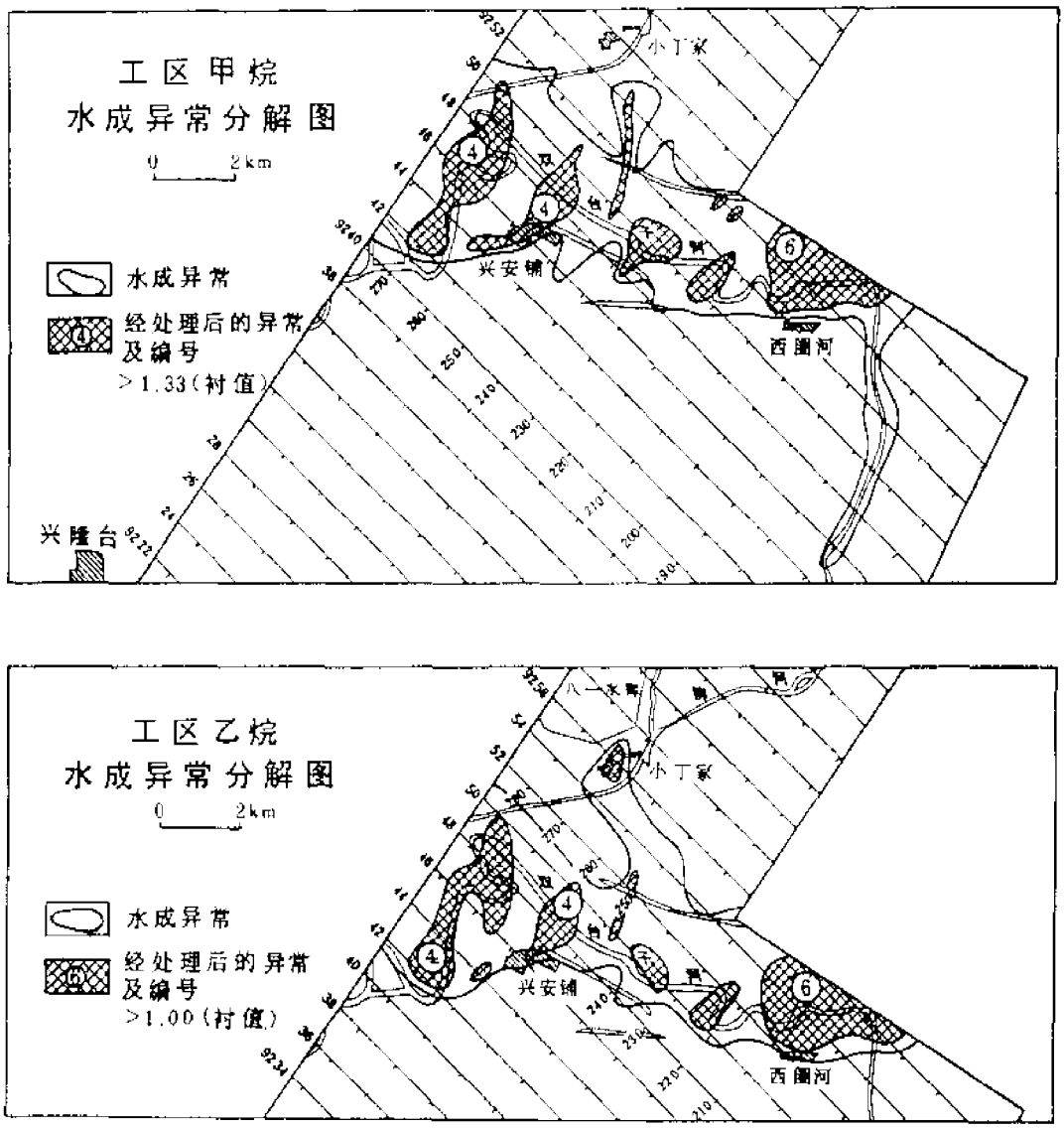


图 5-17 辽河工区烃类水成异常图

形成环绕沼泽的土壤吸附烃异常。

3）当油藏的埋藏深度较大，上方覆盖层较厚，原有储油圈闭构造保存完好时，这种油气藏上方的烃类异常通常较弱，甚至油藏正上方没有异常显示。图 5-18 是甘河子地区地球化学异常分布图，在台 22 产油区附近，除紫外荧光外，在产油区附近，所测油气指标均无异常显示。相反，当油气藏的埋深较浅，油田上方的覆盖层较薄，储油的圈闭构造曾遭到过强烈的破坏，这种工业意义有限的油田上方，则往往具有较强的土壤吸附烃异常。图 5-19 是阜康东和甘河子西两推断断裂上方的化探异常分布图。该异常区除有油气显示外，未发现有工业意义的油气藏。该区的油气异常强度和规模明显大于台 22 产油区。

4）某些断裂构造圈闭的油气藏上方的土壤吸附烃和其他油气指标的异常，有较大的位移。当油藏的埋深较大，断裂构造的产状较平缓时，其位移的距离可达数公里。图 5-20 是新疆东准油气化探 I 工区地球化学综合异常模型图。图 5-21 是新疆东准油气化探 I —8801

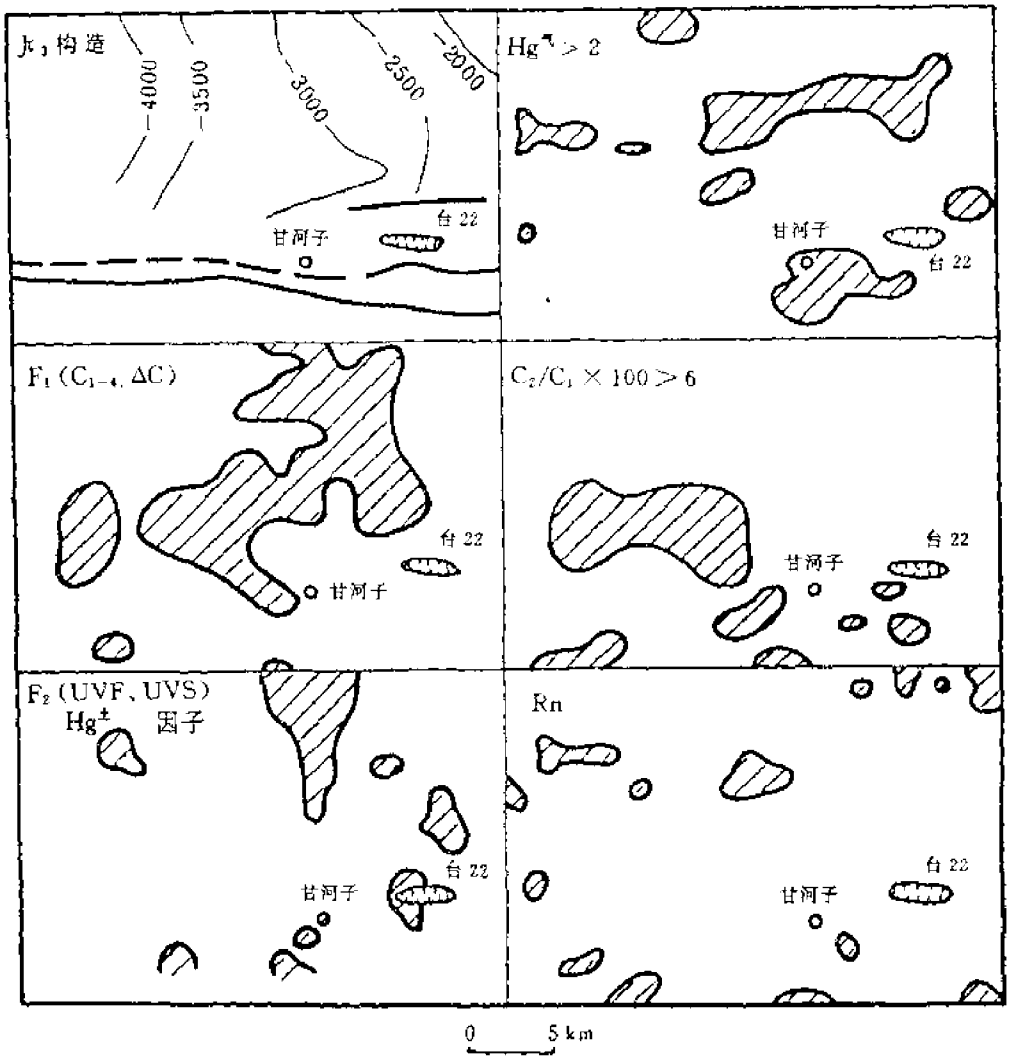


图 5-18 甘河子地区地球化学异常分布图

线地球化学综合剖面图，表明了各类油气指标异常的位移情况。

5）古异常的干扰。油气藏的形成通常需要经过有机质的降解分馏，油气流的迁移与聚集过程。油气藏形成后，也有它自身的消亡过程。由于在上述过程中，土壤和岩石表面吸附的烃类气体和超细微的固态烃类组分，随着岩石的土壤化和胶体物质的老化，上述烃类组分被进一步固定在老化的胶体和细小土壤孔隙中。这种赋存状态的烃，活动能力减小，不容易被壤中气测量等方法所检测到，因此，也不再形成壤中气测量的烃类异常。当样品经酸解或热解时，样品中的烃重新释放出来，可造成土壤吸附烃测量等方法的干扰。这种赋存在固相介质中的烃类组分可长期存在，故称之为“古异常”。

3. 土壤吸附烃异常的筛选与远景靶区的圈定

（1）土壤吸附烃异常的筛选

1）烃类组分特征和碳同位素研究。国内外油气化探工作者，为了区分烃类组分的成因类型对烃类气体的组成和烃的碳同位素特征进行了大量的工作，Bernard 等（1976）曾用 $C_1/$

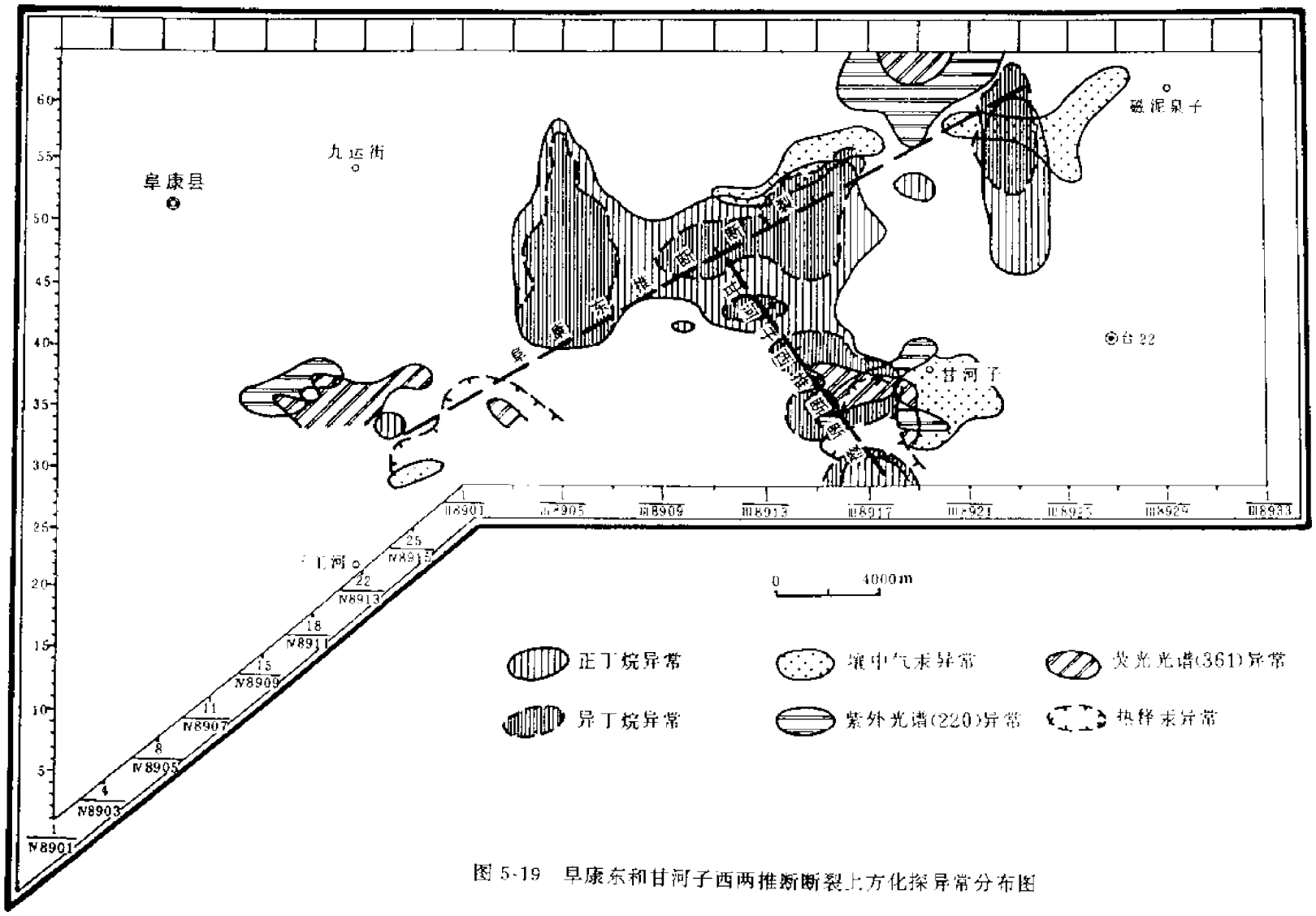


图 5-19　阜康东和甘河子西两推断断裂上方化探异常分布图

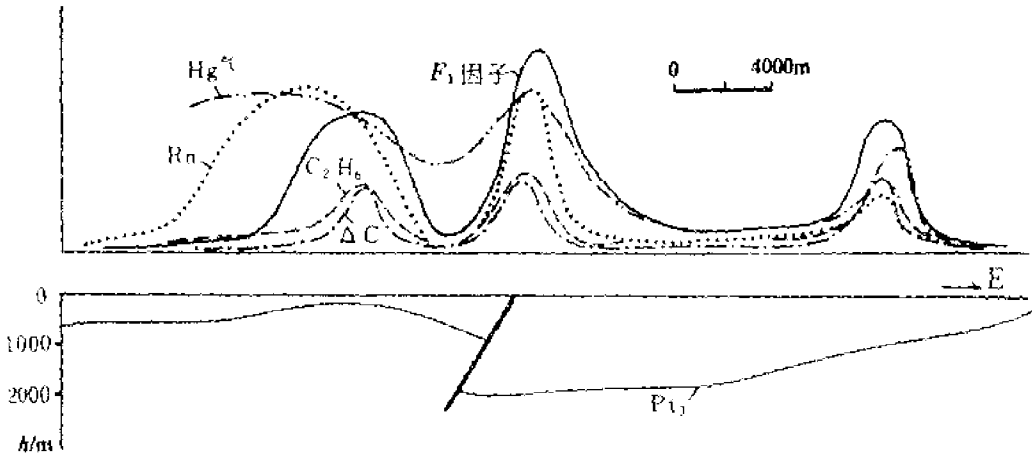


图 5-20 新疆东准油气化探 I 工区地球化学综合异常模型图

(C_2+C_3) 的浓度比和 $\delta^{13}C_1$ 的大小用于区分烃类气体的来源，他统计了大量的资料后指出：由于细菌作用形成的烃类气体 $C_1/(C_2+C_3)$ 在 1000 以上，$\delta^{13}C_1$ (PDB) 介于 −52‰～90‰；由有机质热解而成的烃类气体 $C_1/(C_2+C_3)$ 在 0～50 之间，$\delta^{13}C_1$ (PDB) 低于 −60‰。Fuex (1977) 和 Stochi (1979) 也提出过类似的准则。我国油气化探工作者，通过我国不同地区的试验资料、提出了表 5-3 所列举的识别准则。

表 5-3 不同类型烃类气体的组成特征统计表

指标		$C_1/\Sigma C_n\times100$	C_1/C_2	$C_3/C_1\times1000$	$\delta^{13}C_1$ (PDB) /‰
判别准则	生物成因烃	≈100			−52～−90
	热解成因烃	5～100	1～100	2～100	−28～−52
	干气	100～85	100～20	2～20	
	油和气	45～75	20～10	20～60	
	油	5～50	10～4	60～100	

上述不同作者所提出的识别烃类成因的准则中，都是基于近地表生物成因烃类气体的组成以甲烷为主，热解成因的烃类气体中重烃和 $\delta^{13}C_1$ 的比例增高。

2) 壤中气测量。由于壤中气测量主要是测量土壤空隙中可以自由运动的气体组分，那些呈吸附、吸留和固结态的烃类组分是壤中气测量不易检测到的。因此，测量壤中气烃和其他与油气藏有关的壤中气组分，可以抑制古异常和水成异常的干扰。K-V 指纹法是常用的壤中气测量方法之一，该方法于 20 世纪 80 年代由美国科罗拉多矿业学院的 R. W. Klusman 和 K. J. Verhes 研制而成。它是采用活性炭吸附丝吸附土壤空隙中的气体组分。样品使用色谱质谱联测，分析多种烃类气体。分析资料用似源组构对比法，即地表烃

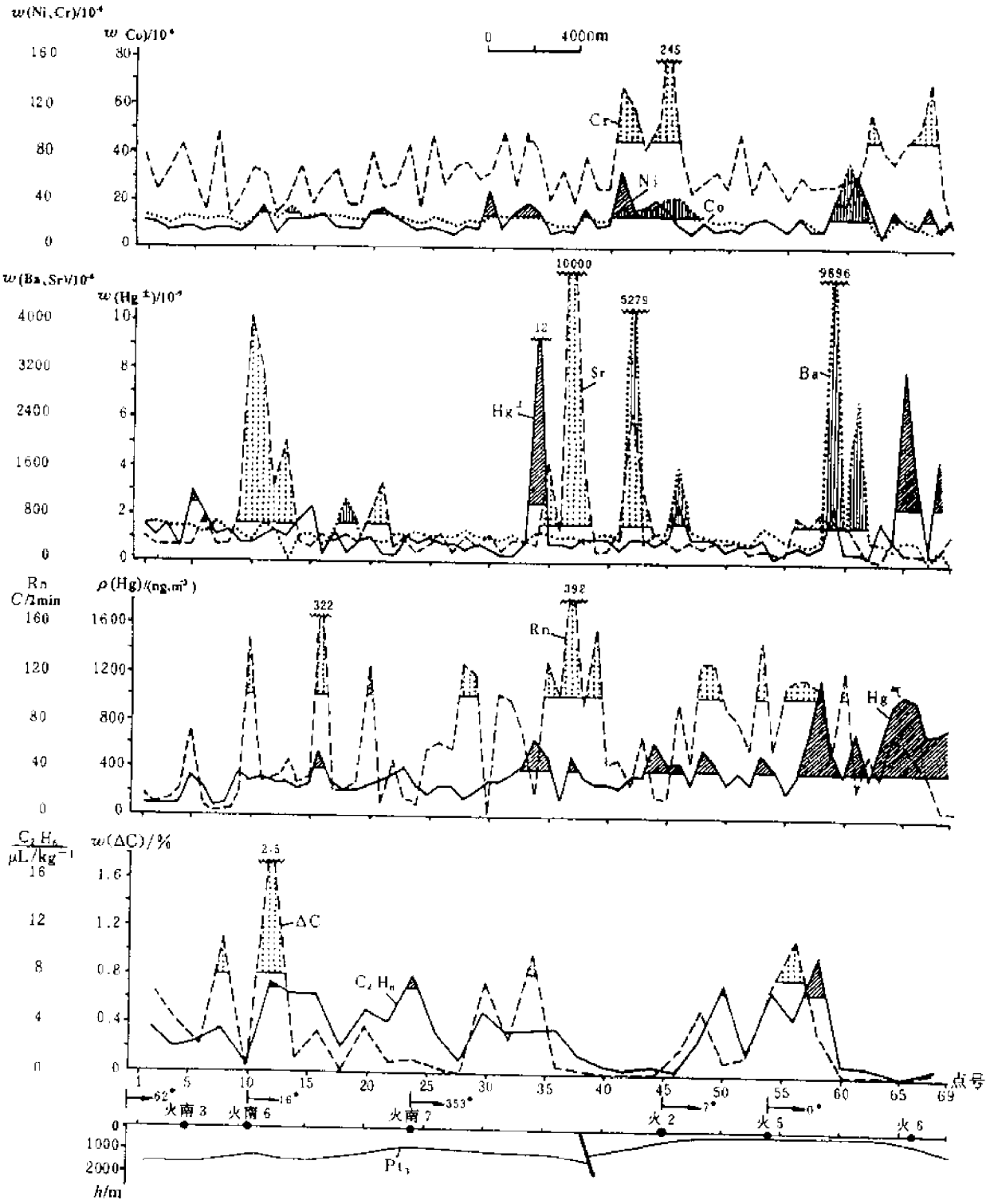


图 5-21　新疆东准油气化探 I —8801 线地球化学综合剖面图

与储层组分的相似性比较，用以判别烃类气体的成因类型。这种方法既具有烃类气体组成研究的特点，又具有壤中气测量的优点，颇受油气化探工作者重视。但因样品采样和分析成本都相对较高，限制了它的广泛推广应用。

3）氧化-还原电位测量。油气藏附近，氧的浓度较小。深成还原条件下形成的烃类气体，当沿各种裂隙和孔隙向地表逸散时，随着氧浓度的增大，烃类气体随之开始氧化，在油气田上方形成与硫化矿床氧化带相似的氧化-还原电场。美国皮尔逊教授（S. T. Pirson，1984）曾对这种现象进行过深入的研究，并把这种现象称之为“烟囱效应”。油田上方的氧化还原电场，反映了油田上方正在进行的烃类气体的氧化还原状况，而不是反映局部烃类气体的氧化还原状况。由于这种电场所反映的总体效应和及时性，使氧化-还原电位法的异常与油气藏的空间关系比壤中气测量和土壤吸附烃测量更为密切。但该方法本身也存在着多种干扰因素，如山形地场，过滤电场，硫化矿床和煤田的氧化-还原电场等等。

（2）远景靶区的圈定

下面以辽宁某工区为例，说明油气化探异常的筛选和远景靶区的圈定。

1）工区的地质构造位置和含油气地层的分布。本区位于辽河断陷中央凸起区的南端。基底为太古宇变质岩系，上部覆盖层为老第三系东营组，新第三系馆陶组和第四系松散层。老第三系砂二段和砂三段是区内的主要含油层。区内 NE-SW 向断裂发育，与凸起近于平行分布。图 5-22 是工区内老第三系底部构造图，从中可看出含油地层，断裂构造，已知油气藏和见油井的分布。中央凸起区含油地层缺失，盖层厚度小（1000m）对成油和储油均属不利。东西两侧凹陷区，含油地层分布范围广，厚度大，又有断裂组合圈闭的储油构造，因此，中央凸起与两侧凹陷的斜坡区是油气藏的远景靶区。已知油田大都分布在这些地区。第三系底部构造为油气异常的推断解释和远景靶区的圈定提出了一个明确的框架。

2）根据烃类异常的分布和组分特征确定烃类异常的成因类型和可能的油气类型。全区共圈出壤中气甲烷异常近 100 处，但多沿断裂带分布。根据 $\delta^{13}C_1$（PDB）同位素测定结果多在−50‰～−80‰之间，并且与已知油藏无明显的相关关系，推断本区普遍存在有生物成因的甲烷气体，不能作为油气藏的直接指示标志。全区共圈出土壤吸附烃 C_2H_4 异常 50 余处，C_3H_6 异常 20 余处，C_4H_{10} 异常 10 余处，iC_4H_{10} 和 nC_4H_{10} 异常各 10 处，土壤吸附烃异常之间具有明显的相关性，乙稀异常与烃类异常的相关性较差。烃类异常主要分布在凸起区的西部。根据异常区内 $\delta^{13}C_1$（PDB）同位素的测定结果在−20‰～−50‰之间，属热解成因的烃类气体，丁烷异构比（iC_4/nC_4）在 1 左右，特征指数（C_4+C_5/C_3）为 0.28～1.43，均指明凸起区的西部对油气的形成是较为有利的。沿双台子河有数处较大的土壤吸附烃异常。后用衬值法和土壤热释汞法，证明这些异常是水成异常，应当予以剔除。在这次所测油气指标的异常中，以氧化-还原电位异常与已知油田的符合率最高（图 5-23），异常的数量也相对较少（共 12 处）。因此，在远景靶区的圈定中，以地质构造和已知油气藏的分布为基础，以氧化－还原电位异常为主，重烃异常为辅，结合区内断裂构造的分布特征，全区共圈出六处油气远景靶区（图 5-24）。其中 I 号靶区尚未封闭，区内又有较多的沼泽地，可能也有水成异常的影响，但考虑区内含油层的分布广而厚，生成的油气沿构造裂隙向上迁移时，受到了 F_4 和 F_3 等断层的多次阻隔，具有较好的生油和储油条件，更为重要的是区内已有数处见油井，完全可以肯定该区的含油前景。

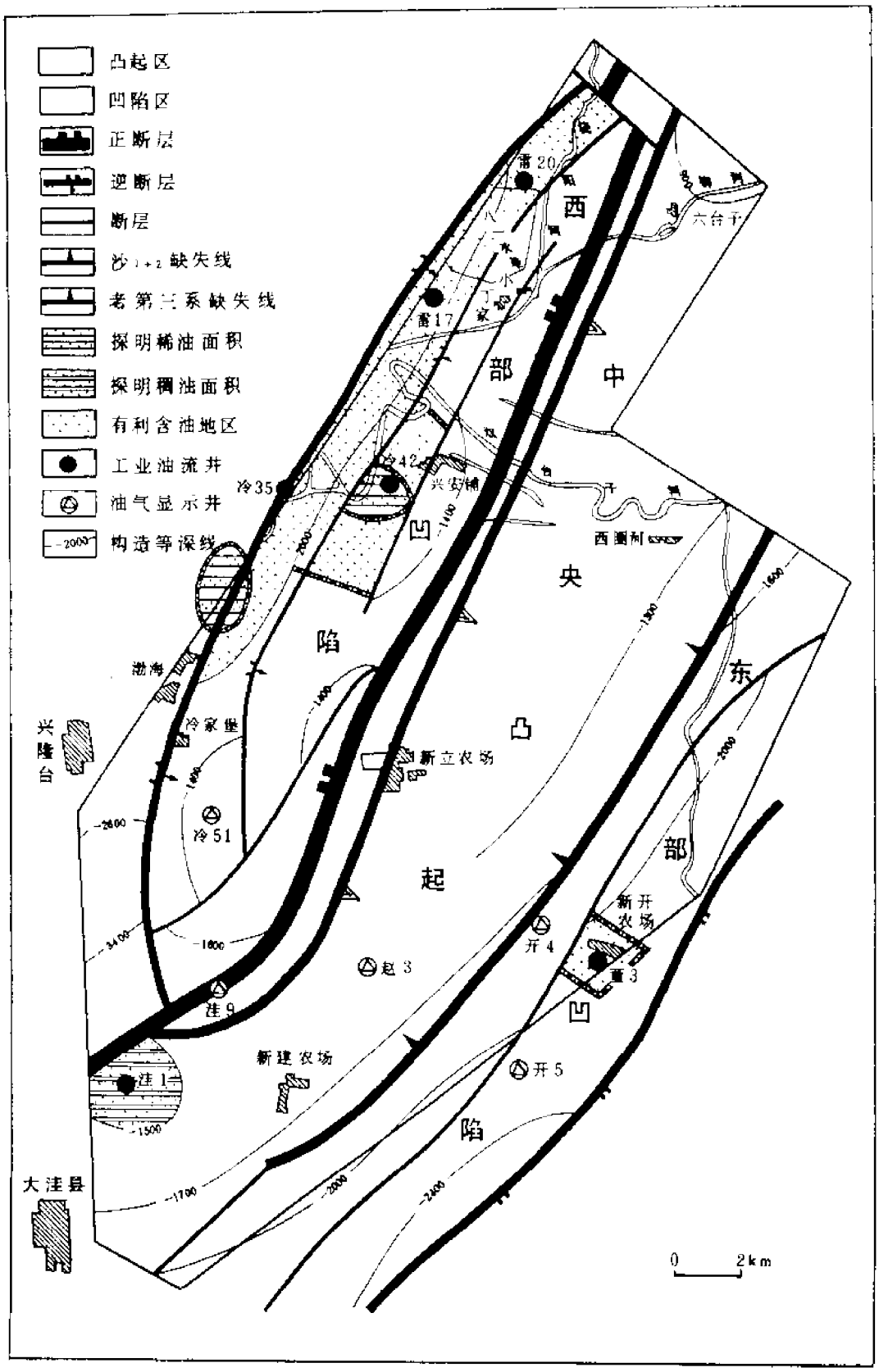


图 5-22　工区老第三系底部构造图

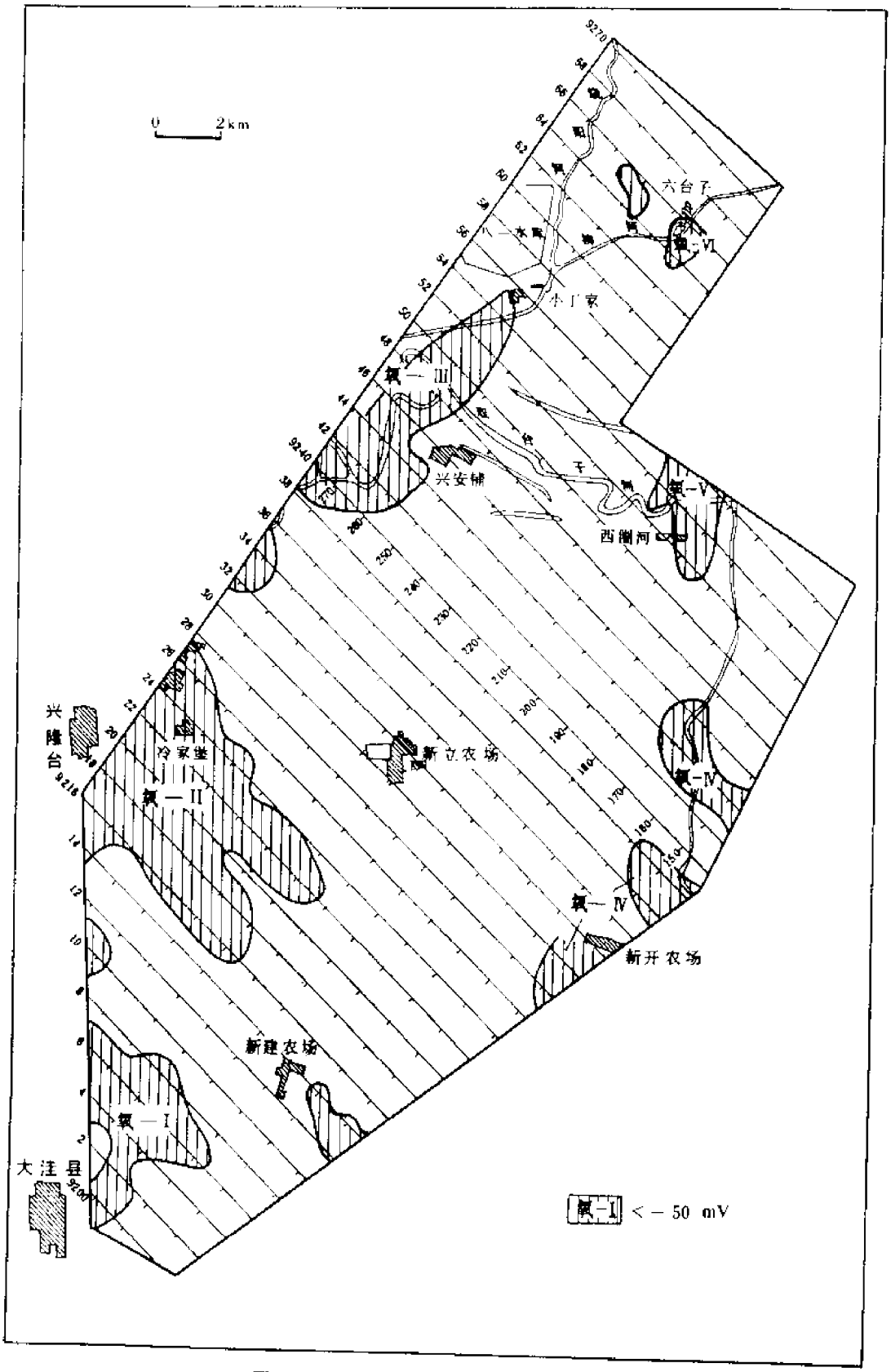


图 5-23 工区氧化还原电位异常分布图

（引自朱建华）

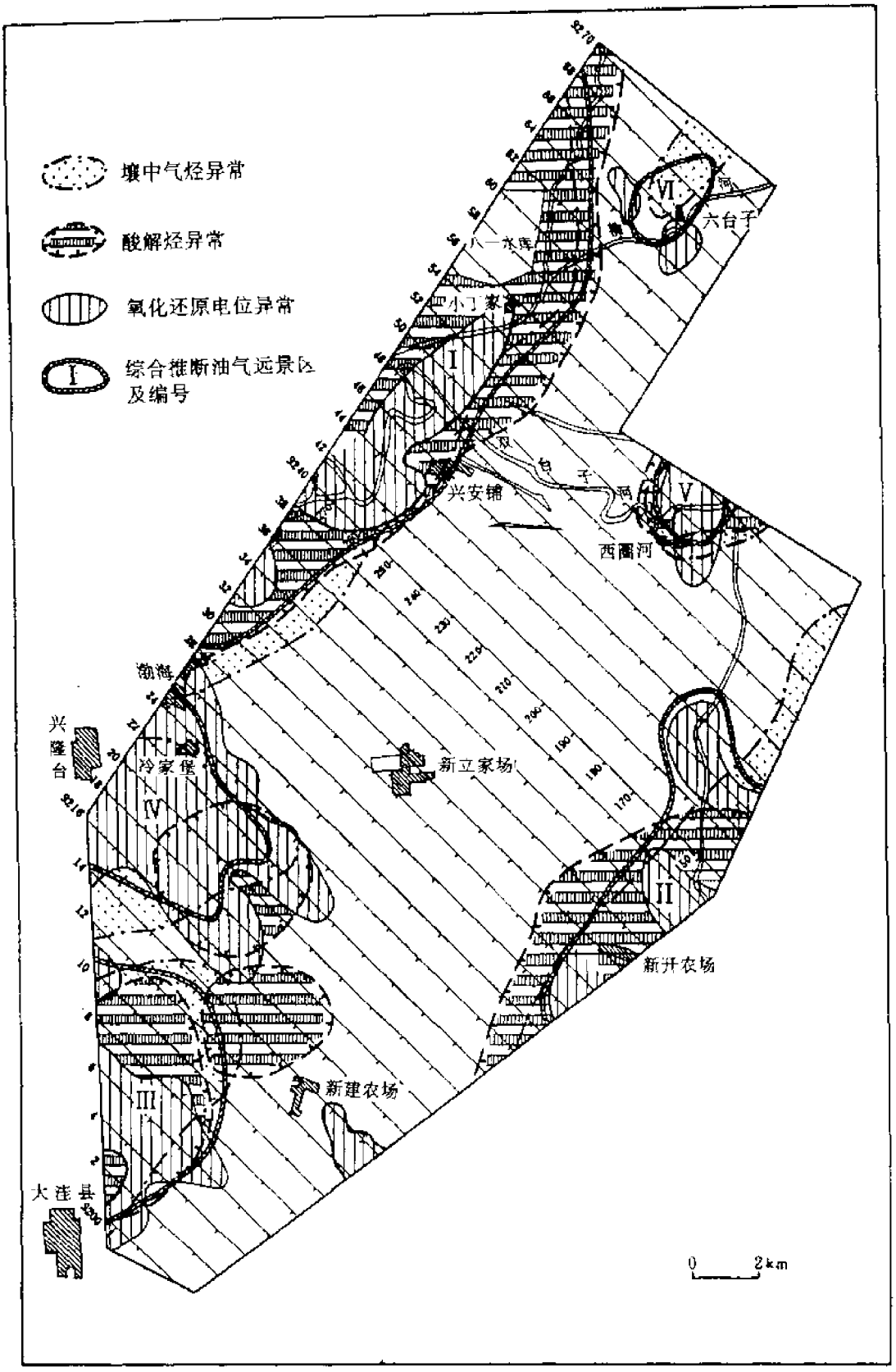


图 5-24 工区物化探异常综合推断图

第四节　隐伏矿预测图的编制

编制矿产预测图的目的是要指明隐伏矿可能赋存的地质位置和地理位置，标明主要的控矿构造和找矿标志，确定进一步找矿的范围。对已发现的异常或矿化作进一步追索和评价的方案。并参考相邻地区的地质构造情况，编制推断剖面图。把地质、地球物理、地球化学和其他研究方法紧密地综合在一起，只有充分而合理地利用所有有关隐伏矿的信息，才能确保隐伏矿预测的可靠性。预测图件要求详细反映本地区各种矿化类型的成矿理论模式，控矿因素影响的地带。

由于各种控矿因素和找矿标志多种多样，不少控矿因素和找矿标志尚在争议之中，建议矿产预测图中应包括下列内容：

1）基岩地质图：图中应突出侵入岩体（或隐伏岩体），含矿地层，控矿构造，矿床，矿点、蚀变带，铁帽及其他矿化露头的分布。

2）遥感图像异常标志，如环形构造与线性构造的组合等。

3）地球物理异常位置及与隐伏矿标志有关的地球物理场特征。

4）与隐伏矿有关的矿物学标志，指示植物标志，地层、岩相标志。

5）地球化学异常位置

上述与隐伏矿有关信息的选择准则与隐伏矿信息的追索与评价准则类同，主要把那些与隐伏矿有直接指示意义的信息标入预测图中，也可以通过数学方法进行量化处理，以等量线的方式表示。

第六章　找矿例案

在有关文献记载中有不少矿产的发现归功于什么方法，甚至归功于什么个人，这种提法对于地表露头矿而言，还有一定的可能性。对于隐伏矿而言，几乎总是多种方法综合使用的。整个找矿过程，像接力赛跑一样，每一种方法仅仅是完成了某一阶段某一方面的任务，因而，把功绩归于某一种方法和某某个人是不符合实际情况的。因此，本书在找矿例案的编写中，不强调该矿床的发现者和发现方法，我们挑选这些例案作详细讨论，试图通过这些例案说明，在特定的景观条件下，在一个正常的勘查程序中，综合利用各种地球化学方法的优越性。虽然这些例案所代表的地区，其气候与工作条件迥然不同，但在各地所用的勘查程序都有共同性。但愿通过这些例案，对在不同地区从事找矿工作的同行们有所帮助。需要进一步说明的是，在本书所挑选的例案中，作者完全没有参与工作的注明了主要负责人，没有注明负责人的例案，也并非由作者负责，更不是由作者两人所完成。

第一节　胶东红布店地区的地球化学勘查与隐伏矿预测

一、红布店地区概况

红布地区为低山平原区，95%左右的地面被第四系冲洪积物所覆盖，地面多为庄稼地。松散覆盖层厚度一般在 1.5～n×10m 之间变化，总的趋势是东南部低山区覆盖层较薄，西北部近海区覆盖层较厚。区内年蒸发量 2123mm，年降水量 654mm，蒸发量大于降水量。区内水系不发育，非雨季期间，无地表径流。区域性裂隙潜水径流埋藏较深，一般在地表以下 4～5m，总体流向是从东南至西北。裂隙潜水径流的形成，水位的变化和涌水量的大小，与大气水的渗透作用密切相关，呈明显的季节变化。从补给区到排泄区，路程较短，一般为数公里。水质以 HCO_3-Cl-Ca-Na 型为主，局部为咸水，pH 值 6～7。矿化度较小。

红布店的地质位置处于我国著名的焦家含金断裂带上。区内 NE-SW 向延伸的断裂破碎带十分发育。焦家、上庄、新城、河西、河东、龙埠、洼孙家、望儿山等金矿床，均产于这些破碎带中，是我国金矿床密集产区之一，该区具有良好的找矿前景。

二、勘查方法选择

该区的找金前景虽好，由于运积物的覆盖，给常规的找矿方法带来了极大的困难。传统的地质找矿工作者，不得不用 120m×60m 的测网，对焦家主要含金断裂带用钻探方法进行追索。后改用麻花钻对破碎带进行追索。这种方法不仅效率低，有时还因最大钻进深度仅 1.5m，采不到风化基岩样。区内土壤垂直剖面中，金含量的测量资料表明，只有风化基岩样品，才能获取与隐伏矿有关的信息。疏松沉积土层中任何层位取样，都是无用的（图 6-1）。

用钻探方法对隐伏断裂的追索，其可靠程度远不如对矿体的追索，由于受钻孔岩心观察的局限性，常使追索工作引入歧途，如以往对新城以北焦家断裂的追索中曾遭受了严重

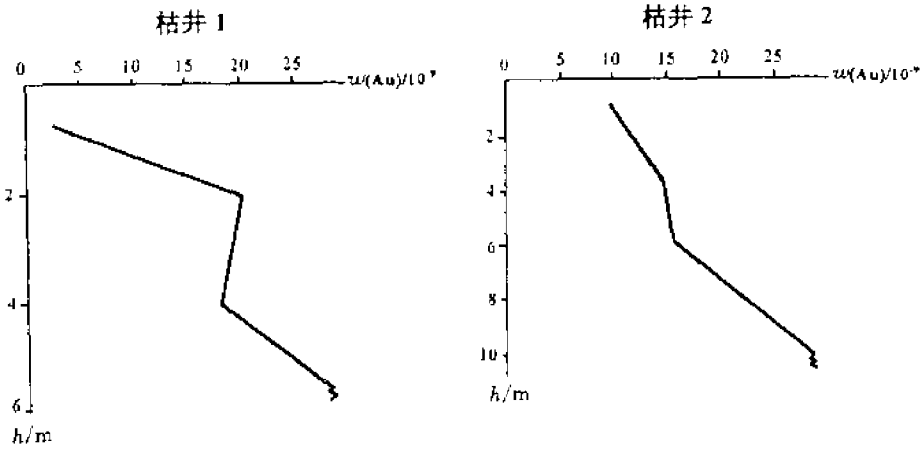


图 6-1　土壤垂直剖面中金含量变化曲线

的挫折，误将焦家断裂追至徐家疃，花了大量的钻探工作量，未能获得理想的找矿效果，损失可谓惨重。

朱桥及红布店地区的地球化学找矿工作，开始是进行区域性普查。然后，逐步进行详查工作。1983～1984 年间在朱桥幅（300 多 km^2）范围内开展水化学、水电化学、Rn、Hg、CO_2、pH 等测量方法（图 6-2）。用这些方法圈出了不少远景区，其中包括红布店、苍上、高家庄、西良、小东庄－桥头村、台上、大庄家、大诸流、城子、大官庄等地。指出这些地方的运积层下可能有原生金矿体存在，建议用壤中气汞量测量和深层取样等方法进一步缩小靶区范围。

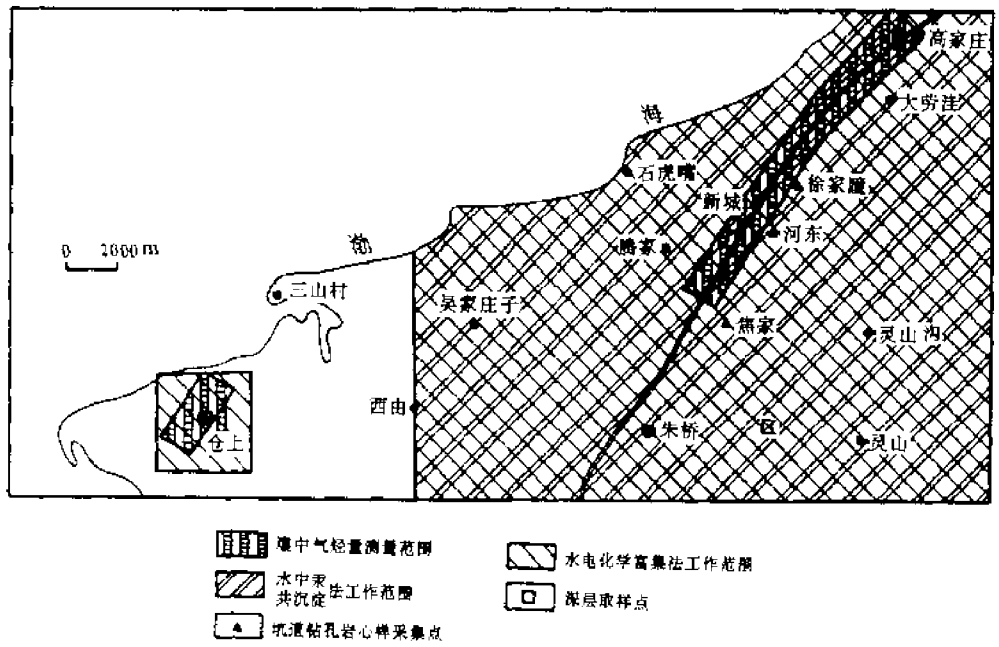
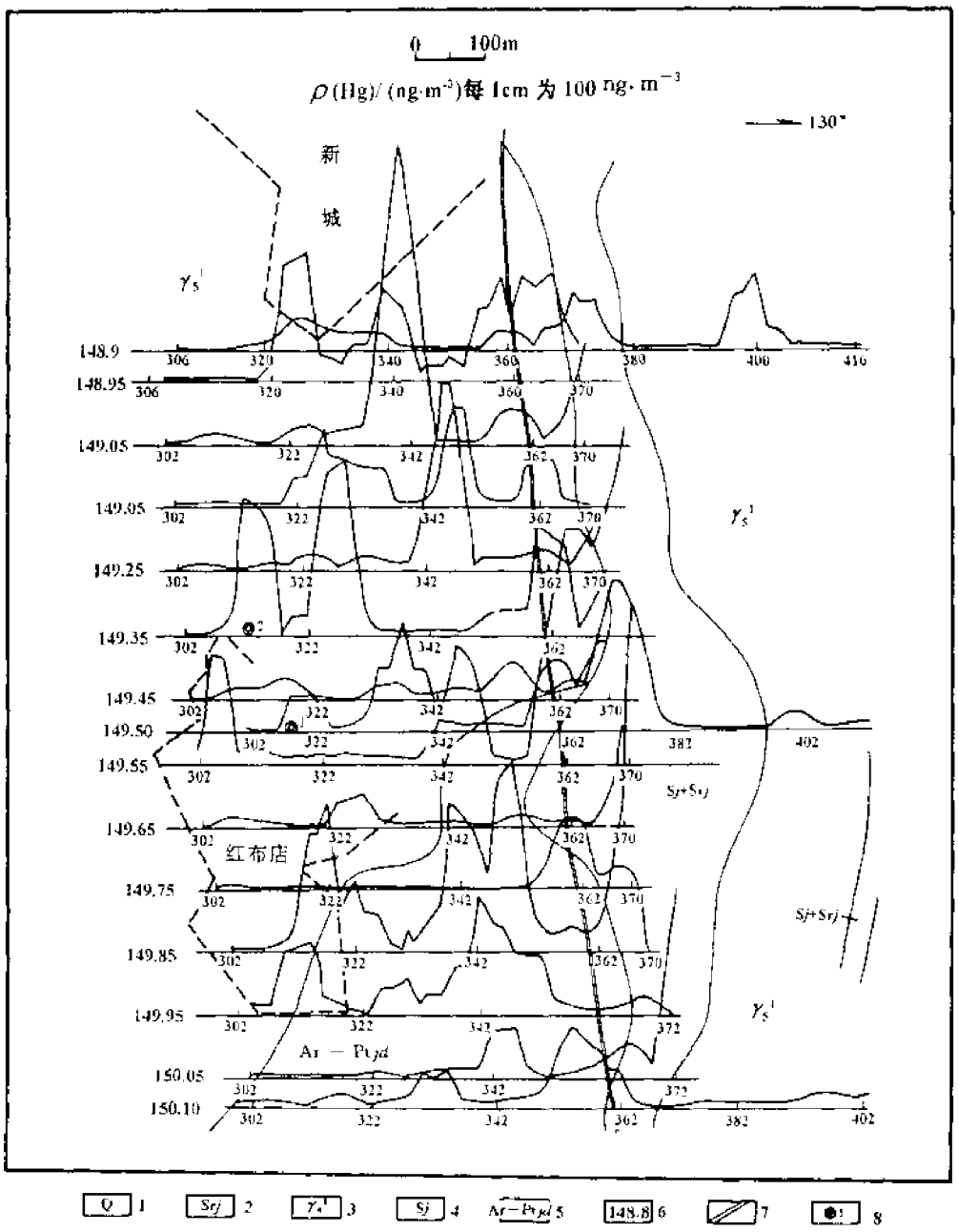


图 6-2　胶东西部金矿区工作布置略图



Q 1 Srj 2 γ_5^1 3 Sj 4 Ar—Ptjd 5 148.8 6 7 8

图 6-3 红布店壤中气汞量平剖图

（地质资料引自山东省地质六队）

1—第四系亚砂土；2—绢英岩化花岗质碎裂岩；3—中生代黑云母花岗岩；4—蚀变碎裂岩带绢英岩质碎裂岩；5—胶东群斜长岩角闪岩；6—烟潍公路里程数；7—公路；8—建议验证钻孔位置及编号

作者参与了红布店、苍上、高家庄、西良等地隐伏矿信息的追索工作。

隐伏矿信息的追索工作，以壤中气汞量测量进行面积性工作，以深层取样对壤中气汞异常进行查证。

上述地区隐伏矿信息的追索结果，发现了红布店、苍上和高家庄三地区，具有较好的含金远景，并曾向地矿部和有关部门建议作进一步的查证工作。

后经山东地质六队进一步详查的结果，红布店和苍上已探明为一中型以上金矿床，高家庄远景区迄今尚未作进一步的查证工作。

下面以红布店为例，介绍浅层运积物覆盖区，靶区范围的缩小和隐伏矿预测的方法。

红布店在地理位置上，处于焦家金矿床和新城金矿床之间，在地质上完全具备焦家式金矿类似的地质条件。地球化学勘查的结果，该区处于NE向和近EW向壤中气汞异常的交汇部位。同时，还发现有极强的水电化学Au异常，故被选为详查靶区。

壤中气汞量测量详查以烟潍公路为基线，线距100m，点距20m，北起烟潍公路149号路碑，南至150号路碑。测线方向EW向，测线主要分布在外接触带，东至蚀变碎裂岩带，西至无明显的汞异常出现为止，共布置测线15条，面积约为1km²。

壤中气汞量测量的结果示于图6-3。从该图可以看出，所有剖面在蚀变破碎带附近，都出现有清晰的壤中气汞异常。在破碎带的倾斜方向，也有不连续的壤中气汞异常出现。这种异常特征，符合该区单倾斜金矿体的壤中气汞异常模式（图6-4、图3-18）。

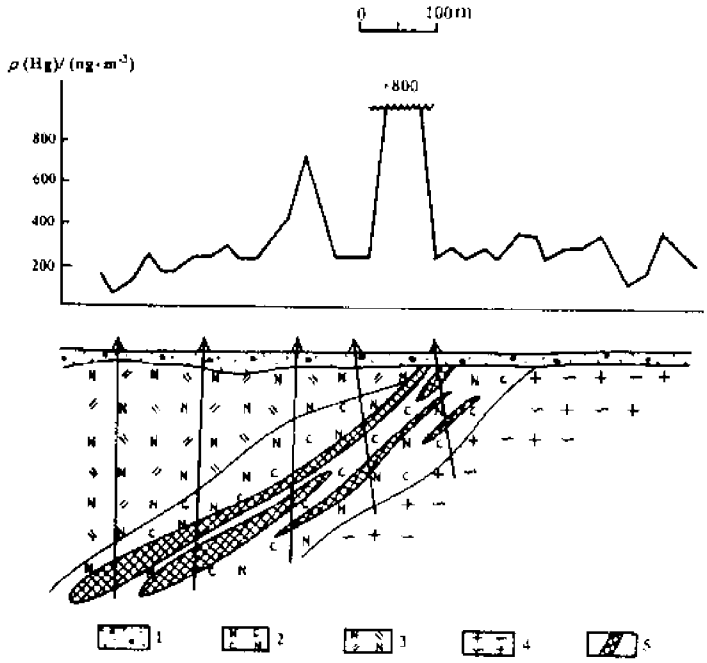


图6-4 山东焦家金矿904线壤中气汞量曲线

（地质剖面据山东地质六队）

1—第四系；2—蚀变带；3—胶东群斜长角闪岩；4—花岗岩；5 金矿体

在壤中气汞异常地段，进行了深层取样，采样深度5～10m，一般均能采到风化基岩样，约有30%的采样点未能达到风化基岩层位，通常不采样。

深层取样的分析结果表明，在汞异常处都有相应的Au异常出现（图6-5）。进一步证明，壤中气汞异常与原生金矿化有关，同时也证明了深层样品中的Au异常不是砂金异常。若是砂金异常绝对不可能有壤中气汞异常出现。在红布店地段的破碎蚀变带中，共采集40个风化基岩样品。金的平均含量w(Au)为13×10^{-9}，胶东群斜长角闪岩中金的平均含量为w(Au)10×10^{-9}。破碎带中金的含量仅比焦家和新城两地低，明显高于苍上和高家庄等地蚀变岩石中的金含量。与焦家、新城等金矿床原生晕Au的中带含量相当，峰值金含量高达w

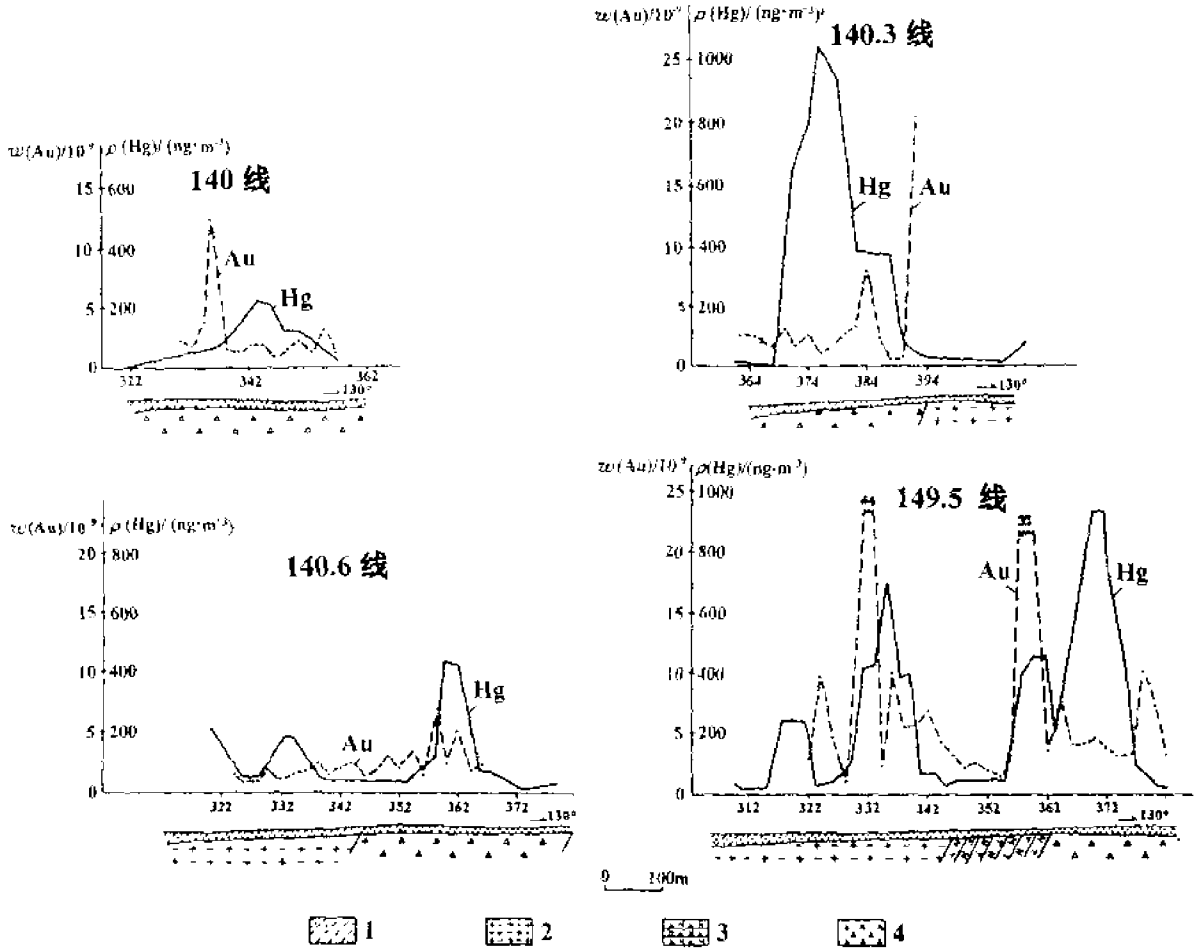


图 6-5　140、140.3、140.6、149.5 线壤中气汞异常检查剖面图

1—第四系砂土；2—中生代黑云母花岗岩；3—胶东群斜长角闪岩；4—蚀变碎裂岩带

（Au）为 140×10^{-9}，相当于区内金矿床原生晕的内带金含量。这种内带金含量是原生金矿化活动和接近于金矿体的指示标志。

从普查阶段所获取的资料，对该区可以进行下列推断：

1）该区有较强的金矿化活动。蚀变岩中有接近于内带金的高含量显示。由于金异常不连续，金的高异常点较少，原生金矿体的埋深可能较大，矿体没有出露至地表，必须用钻探方法才能对隐伏矿作进一步的追索。

2）该区的地质条件与焦家、新城金矿等地较为类似，异常的元素组合也极为相似。推断区内的金矿化也可能与焦家式金矿化相似，属于蚀变岩型金矿化。根据“焦家式”金矿床的地质模式进一步推断，区内若有隐伏矿，其金矿体应赋存于蚀变破碎带中，并且多处于主裂面的下盘。矿体的形态、矿化强度、矿石结构等受构造蚀变带的控制。经统计，区内蚀变破碎带的产状为 SW45°∠38°。根据单倾斜矿体壤中气汞的异常模式和焦家 904 线（图 6-4）壤中气汞剖面的类比，可以推断，最高峰值异常处可能是含矿构造在地表的出露位置。第二峰值位置可能是隐伏矿的赋存部位。这样就可以计算出隐伏矿的可能埋藏深度应在 400～500m 之间。

根据上述推断，提出了红布店地区的找矿地质地球化学剖面预测图（图 6-6）。

勘查的结果表明，解释推断基本正确。后据地质六队有关地质人员告知，金矿体赋存在与焦家主干断裂平行的次一级断裂中，地理位置基本推断正确。

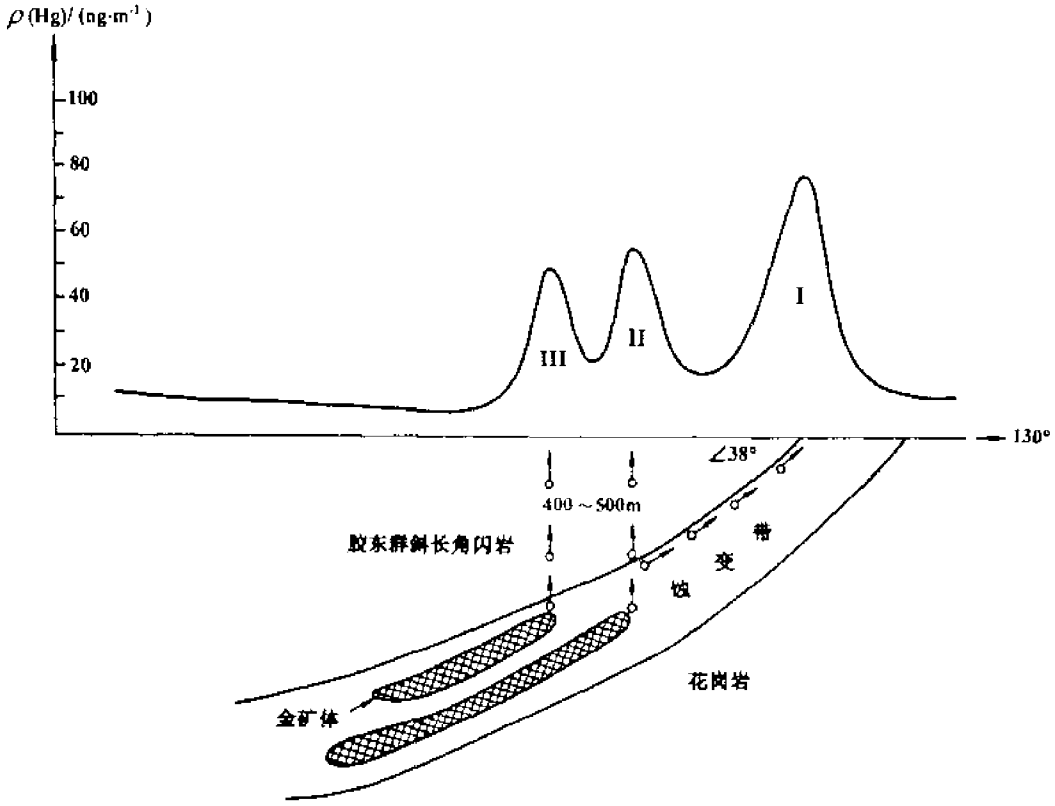


图 6-6　红布店地区隐伏金矿预测图

本例案试图说明，在薄层运积物覆盖区，用水电化学方法进行区域性普查，圈定远景靶区。在靶区范围内，用大比例尺的壤中气汞量测量和深层取样，对汞异常地段进行查证，是一套行之有效的方法。这套方法不仅适用于追索原生金矿化，而且对于追索隐伏断裂和圈定砂金远景区也是行之有效的。特别是近些年来，壤中气气溶胶测量方法初获成功，汞蒸气异常再也不需用深层取样方法，转化为成矿元素的异常了。直接用壤中气汞和气溶胶联测方法，就能发现金的富集地段，使薄层运积物覆盖区的找矿方法更加完善，这样可达到降低成本和缩短找矿周期之目的。这一例案也说明，对于平行分布的断裂含矿构造，用化探方法对隐伏矿进行追索时，具有较大的难度，必要时要借助于物探方法进行识别。这种平行分布的断裂构造，在金矿区经常会遇到，布置查证工程时，要慎之又慎，才能减少失误。

第二节　河南上宫地区的地球化学勘查与隐伏矿预测

一、上宫地区的地质概况

上宫位于秦岭东西向复杂构造带的比亚带南缘与新华夏太行一级隆起的交接部位。出

露地层主要为太古宇的太华群和中元古界的熊耳群。前者为变质岩系，混合岩化强烈，出露面积约 578km²；后者主要为一套巨厚的安山岩及流纹岩为主的火山岩，出露面积为 300km²。在构造上为一残缺不全的背斜，太华群组成背斜的核部，熊耳群分布在两翼。区内断裂构造发育，主要为 NW、NE 和 NEE 向三组。金矿化的分布主要与 NE 向的一组断裂有关。

1978～1979 年，河南地调一队在 1∶5 万水系沉积物测量中发现了上宫金异常。该异常以 Au 为主，伴生有 Ag、Pb、Zn、As、Mn、Mo 和 Ba 等元素的异常（图 6-7）。

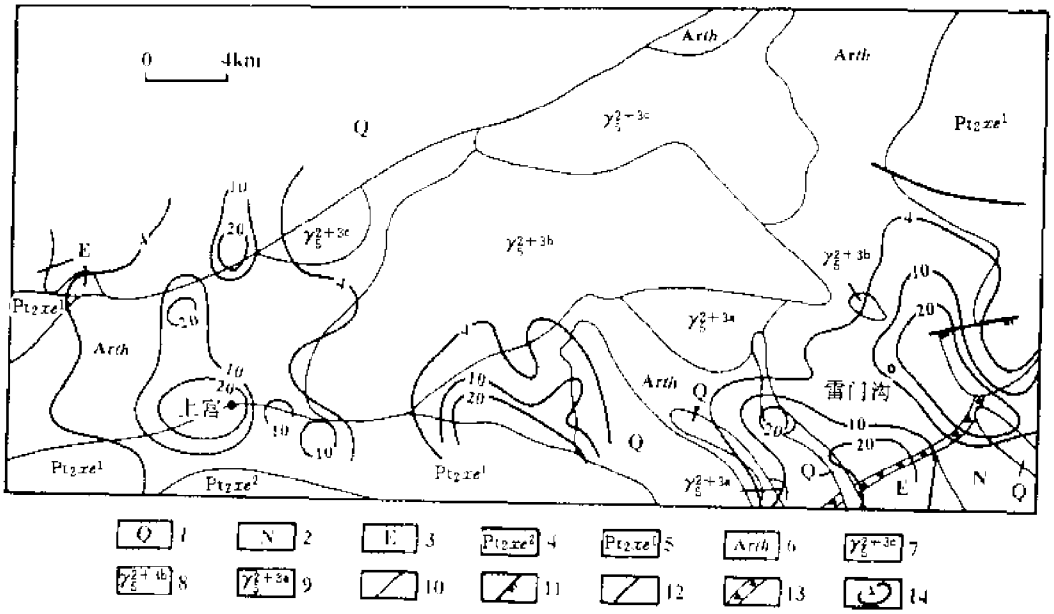


图 6-7 河南上宫金矿地质及水系沉积物金异常分布图

（地质图据河南地调一队）

1—第四系砂砾石及亚粘土；2—新第三系砂砾石及红色砂质粘土；3—老第三系砂质粘土局部夹砂岩；4—中熊耳群流纹斑岩夹安山岩；5—下熊耳群安山岩夹流纹斑岩局部见透镜状砾岩；6—太华群以解闪斜长岩及黑云母斜长片麻岩为主夹斜闪岩；7—黑云母斑状花岗岩；8—巨斑状黑云母角闪花岗岩；9—斑状黑云母角闪花岗岩；10—地质界线；11—压扭性断裂；12—性质不明断裂；13—构造破碎带；14—水系沉积物中金属矿（10^{-9}）

1982 年该队在水系金异常范围内，开展了 1∶1 万土壤金属量测量，测定了金及其它伴生元素。土壤金异常的分布与 NE 向断层一致（图 6-8）。该断层已追索到长大于 30km，宽 40～50m。断层走向 NE40°～50°，倾向 NW，倾角 60°～80°。断裂带在地表呈不连续的角砾岩、碎裂岩、糜棱岩和碎裂状安山岩等产出。区内岩浆活动频繁，从超基性至酸性各类岩浆岩均有产出，其中以燕山期酸性岩浆活动最为强烈，沿背斜轴大规模侵入，出露面积约 300km²。水系沉积物异常多分布在花岗岩与太华群片麻岩的接触带附近。

二、壤中气汞量测量与异常查证

1976 年物探所气测组与河南地质一队合作在上宫开展壤中气汞量测量工作。第一条壤中气汞量测量试验剖面是在 39 线上进行的。在该剖面上，所测得的汞含量呈锯齿状跳跃式变化，但可明显划分出三个异常段。其中Ⅰ、Ⅱ号壤中气汞异常与两条已知的金矿化带相一致，但在测线的南东端，发现了一个规模与强度比已知矿带异常更大的Ⅲ号异常（图 6-

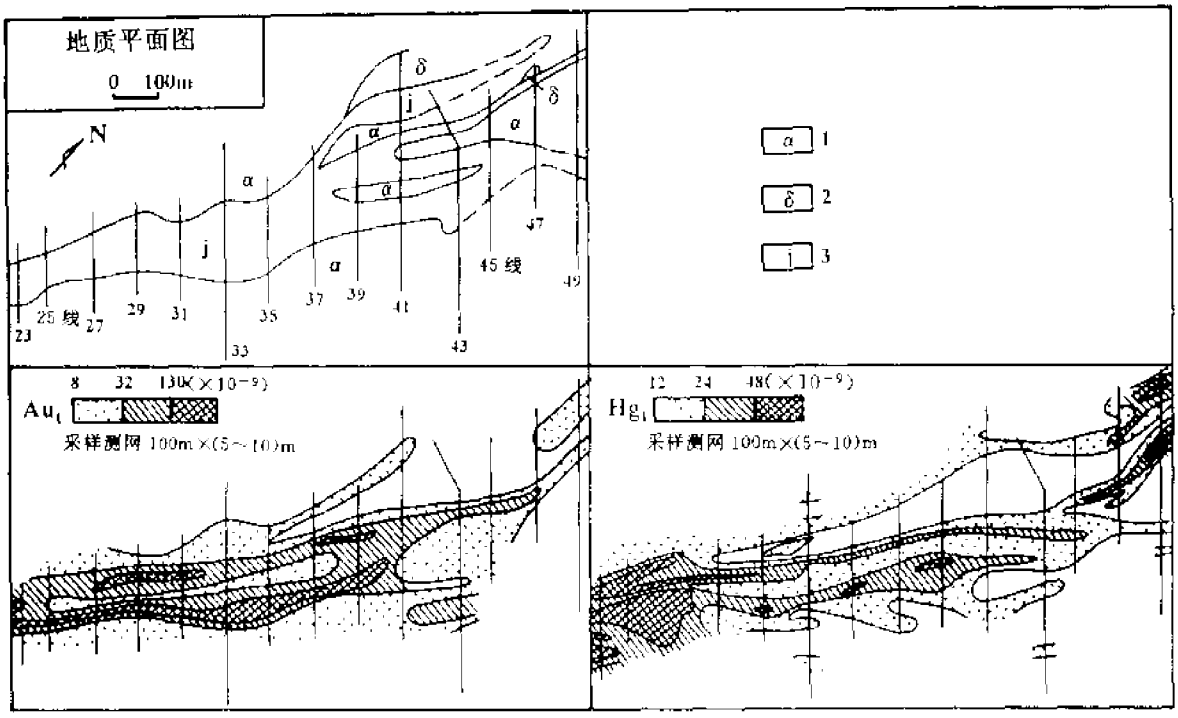


图 6-8 河南上宫金矿区 Au、Hg 异常图

1—熊耳群安山岩、杏仁状安山岩；2—闪长岩；3 构造角砾岩

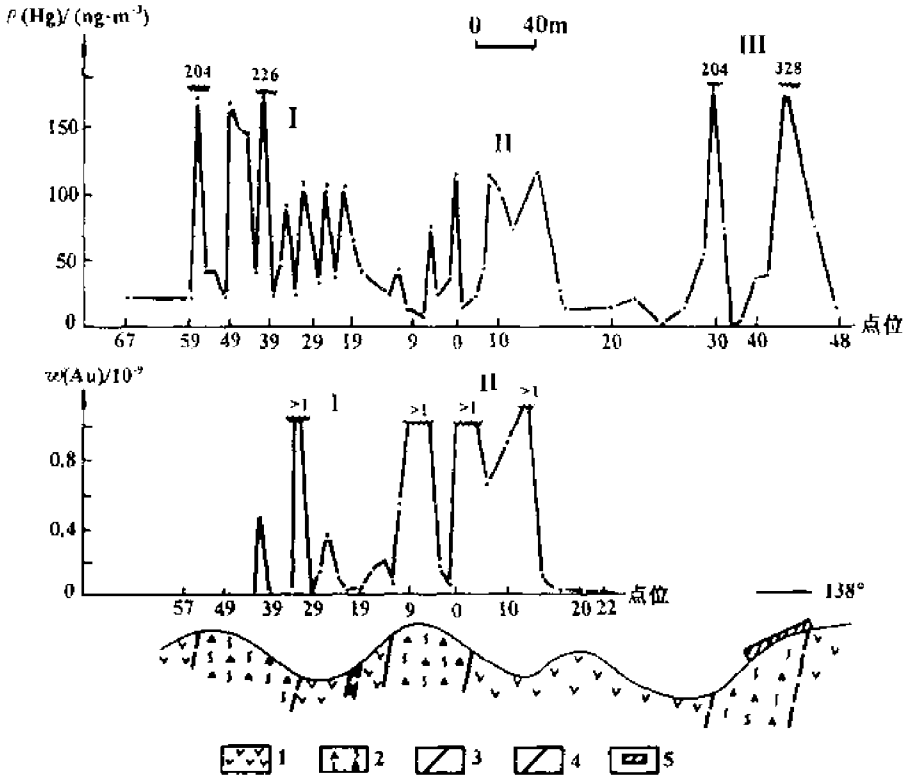


图 6-9 河南上宫金矿 39 线壤中气汞量测量首次发现第Ⅱ汞异常带

（土壤 Au 引自河南地调一队）

1—安山岩；2—构造角砾岩；3—断层；4—推断断层；5—建议槽探查证位置

9)。Ⅱ号异常的地表为塌积物和洪积物。土壤测量未到达这里。此后，按300m×20～80m的测网，连续作了7条壤中气汞量测量剖面。各条剖面在Ⅱ号异常的延伸位置均出现了清晰的壤中气汞异常，进一步证明Ⅱ号汞异常带的存在（图6-10）。根据试验结果建议对该异常进行槽探揭露，槽探结果表明，该异常与未知的第Ⅲ含金破碎带有关。破碎带宽50余米，覆盖层厚1～3m。从探槽中拣块分析，个别样品含金可达117g/t，后经进一步勘探证明，第Ⅲ含金破碎带的金储量大于第Ⅰ、Ⅱ含金破碎带之和，达中型以上规模。

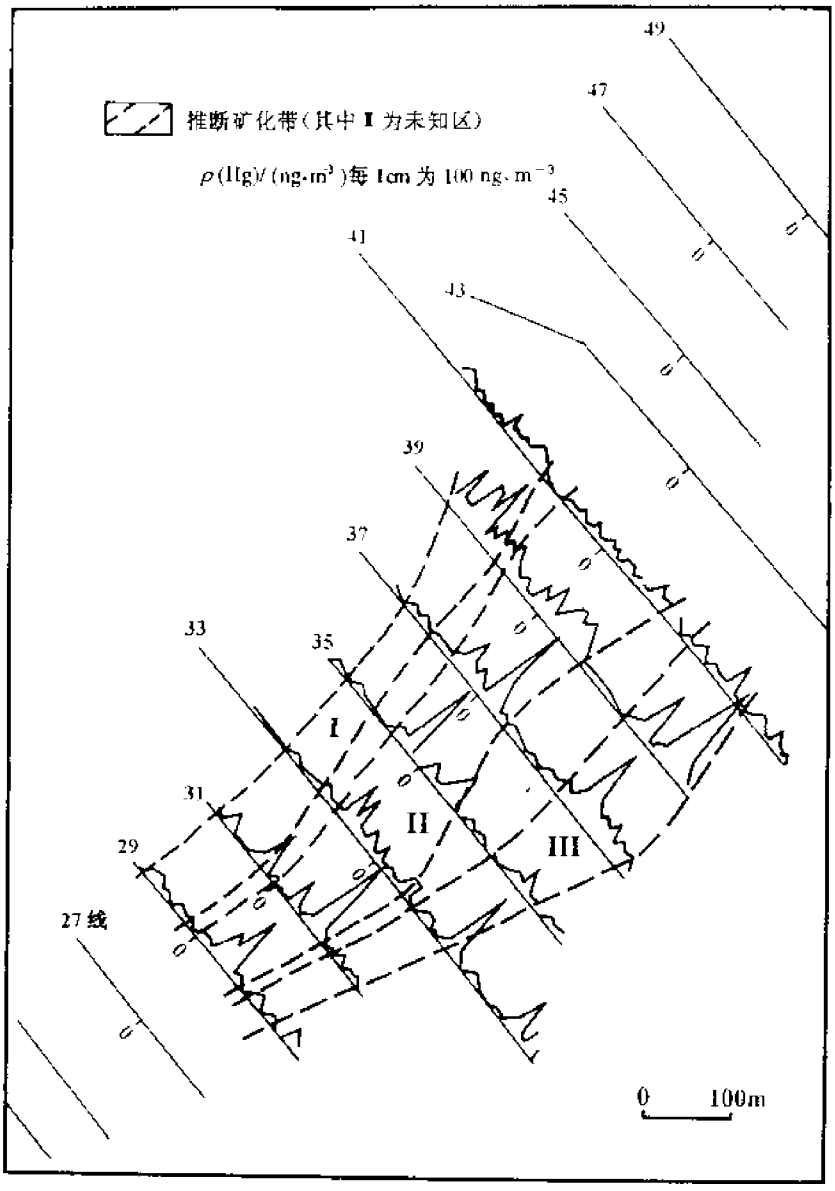


图6-10　河南七宫金矿壤中气汞量测量平剖图

本案例说明：

1）即使在山区，由于局部运积物的覆盖，也能给异常源的追索造成较大困难，容易造成矿体漏失或延时发现。

2）用岩石测量方法查证水系沉积物异常时，由于岩石中矿质组分分布极不均匀，采样

误差较大。硫化物含量较多的岩石容易被风化和淋失。地表出露较好的大多为耐风化和矿化较弱的岩石。当采用岩石测量时，异常不连续。本区的岩石测量结果，连矿化带的分布也反映不出来。挑选强矿化地段更是困难，并有可能导致错误的结论。

3)用壤中气汞量测量剖面法对水系沉积物金异常进行检查，能快速追索到主要异常源，并能排除局部运积物覆盖层的影响。

4) 本案例仅说明用壤中气汞量测量查证水系沉积物金异常是一种快速有效的方法，并非提议用壤中气汞量测量去普查金矿床，更不意味着用壤中气汞量测量去查证各种类型的水系沉积物异常。在金异常范围内的断裂构造，一般是原生金的赋存地。若直接用壤中气汞量测量去找金，众多与断裂构造有关的壤中气汞异常，会把人们引入歧途。国内许多汞法找金工作者的经验证明，成功与失败的关键就在于此。

5) 用壤中气汞量测量查证水系沉积物金异常时，若未能发现与之相关的壤中气汞异常时，首先需要查证金异常是否有位移或是否真实存在。若证明水系沉积物金异常确实存在，还需要查证该水系沉积物金异常是否属重砂金异常或次生富集有关的金异常。若查明水系沉积物金异常与原生金矿化有关，但无壤中气汞异常存在或异常很弱，表明该矿化体剥蚀强烈，下部赋存的矿量有限（本区Ⅰ、Ⅱ矿化带就存在这种情况）。

6) 用壤中气汞量测量剖面法查证水系沉积物金异常时，以线距 100～200m，点距 20～30m 为宜，测网过稀有可能漏失矿体，测网过密也不能获得更多的有用信息。

7) 在有利的地质条件下，在汞异常地段，用连续拣块岩石测量就能发现原生金矿化地段。

第三节　上海张垮铁铜矿区的地球化学勘查与隐伏矿预测

一、概述

区内为广厚的第四系冲积物所覆盖，运积物的厚度在 140～180m 之间变化，地形平坦，绝对标高 3～4m，潜水面埋深在 0.5～2m 之间。地表水渠，河滨纵横交错。整个矿床处于侵蚀基准面以下。

该矿床为查证航磁异常时发现，经钻探见到了磁铁矿和含铜夕卡岩。当勘探到中等强度的磁异常范围时，什么矿也没有了，见到的是花岗闪长岩。此时，钻探失去了目标。据该区钻探的结果表明，区内工业意义较大的是铜，其矿石类型主要是含铜夕卡岩。因此，再也不能用磁异常指导夕卡岩铜矿的勘探了。苦于区内疏散运积层覆盖太厚，无适用的普查方法可供选择。恰在此时，物探所气测组想选择一处隐伏矿床进行壤中气汞量测量试验，两家不谋而合，决定在该区进行试验。与此同时，还进行了钻孔岩屑测量、土壤测量、泥浆金属量测量等多种方法的试验。1998 年又进行了壤中气气溶胶测量。试验结果表明，除土壤测量一无所获外，其它试验方法均获得了一些有意义的资料。壤中气汞量测量，在矿床上方发现有清晰的异常，并且不同年份的测量结果能重复出现，异常范围与已知矿的范围基本一致，对一些与已知矿不相符的地区，进行了隐伏矿预测，并取得了较好的地质效果。钻孔岩屑测量是为了了解汞的原生晕分布特征与壤中气汞异常的对应关系，为壤中气汞异常的推断解释提供有意义的资料。测量结果表明，原生汞异常与壤中气汞异常基本垂直对应，在矿体的尾部，一般没有壤中气汞异常和原生汞异常。以后在其它夕卡岩型铜矿床中

多次证实，汞的原生晕和壤中气汞的分散晕在夕卡岩铜矿体的前缘发育，在矿体的尾部不发育，甚至缺失（图 6-11）。钻孔泥浆测量与多处土壤垂直剖面测量得出了类似的结果。所检测的绝大部分元素，在地表以下 0.5～5m 范围内富集。这一深度范围正是本区潜水面的变化范围，可能是地气流垂向搬运的结果，它的找矿意义，未作进一步的研究。

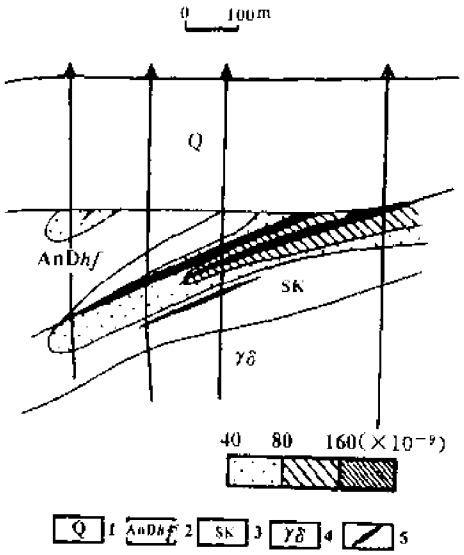


图 6-11 上海张堰铜矿 555～562 孔剖面汞原生异常分布图

1—冲积物；2—前泥盆黑云母斜长角岩；3—夕卡岩；4—花岗闪长岩；5—铜矿体

二、矿区地质概况

经钻探查明，在区内巨厚的运积物之下分布的地层为前泥盆系角岩、白云质大理岩、侏罗系长石石英砂岩。矿体赋存于花岗闪长岩与上述岩层的接触带上，走向近东西，倾向北，倾角 30°～60°，矿带东西长约 600m，南北宽约 250m，埋深在地表以下 200～500m 之间。部分硫化矿体的头部曾被侵蚀到侵蚀基准面之上，少量硫化矿被氧化呈褐铁矿。矿体中主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿，次要金属矿物有方铅矿、闪锌矿等。近矿围岩蚀变有夕卡岩化、绿泥石化、绢云母化、钾化和碳酸盐化等。矿区内主要断层为 F_5 和 F_6。由于矿床规模刚刚接近于中型，矿体的覆盖巨厚，埋深大，水文地质条件也比较复杂。因此，该矿至今尚未开采，地表污

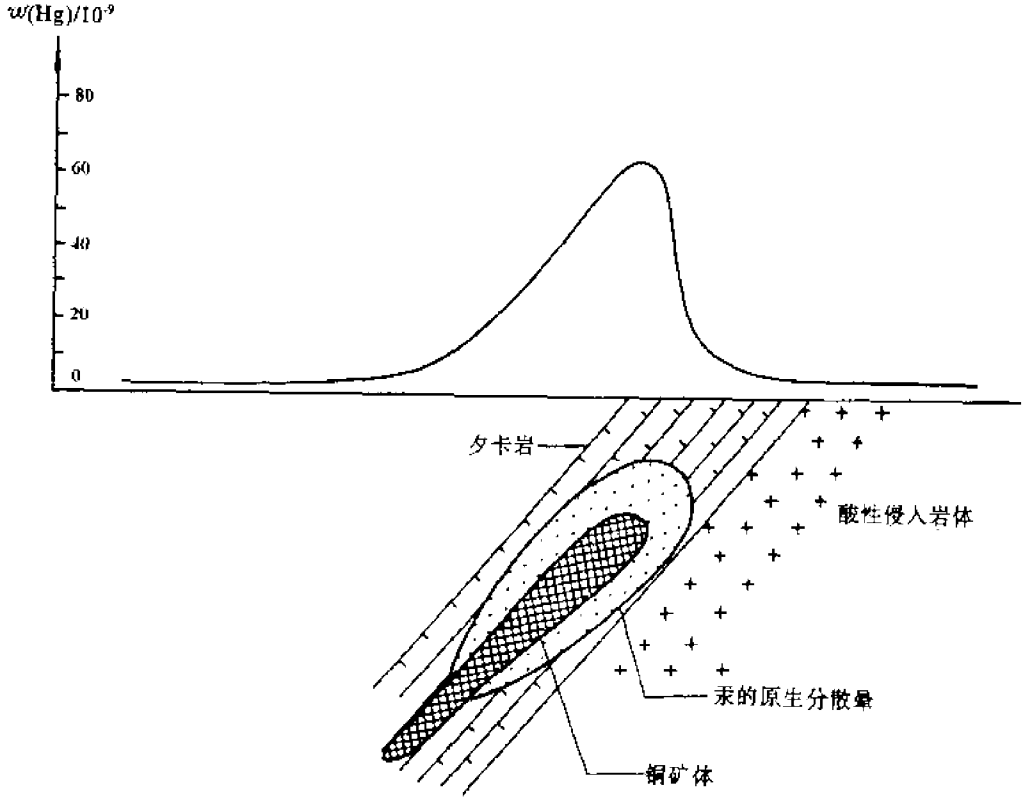


图 6-12 夕卡岩型铜矿床汞的原生晕分布模型

染并不十分严重，是物化探方法试验的良好场地。

三、壤中气汞异常特征及隐伏矿预测

夕卡岩铜矿床的成矿温度，随矿化类型和矿体赋存部位不同差异较大，但一般的成矿温度在350℃以上，这种温度对许多汞的化合物是不稳定的。因此，在大多夕卡型铜矿床中，汞呈帽状分布。汞的分散晕在矿体的前缘发育，在矿体的尾部则不发育（图6-12）。

与上述夕卡岩型铜矿的异常模式相反，在四号测线北端，矿体的尾部出现了较强的壤中气汞异常，当时推断其深部可能还有新的隐伏矿体存在，经与队上研究，在该测线新发现的汞异常上布置了CK401钻孔，对壤中气汞异常进行查证（图6-13）。钻探结果表明，在孔深500m处见矿三层，总厚约6m，从而证明了F_6为成矿后的断裂，F_6以北的壤中气汞异常可能与铜矿化有关。1998年在该区进行壤中气气溶胶测量的结果，在该地段也发现有清晰的铜异常（图6-14）。

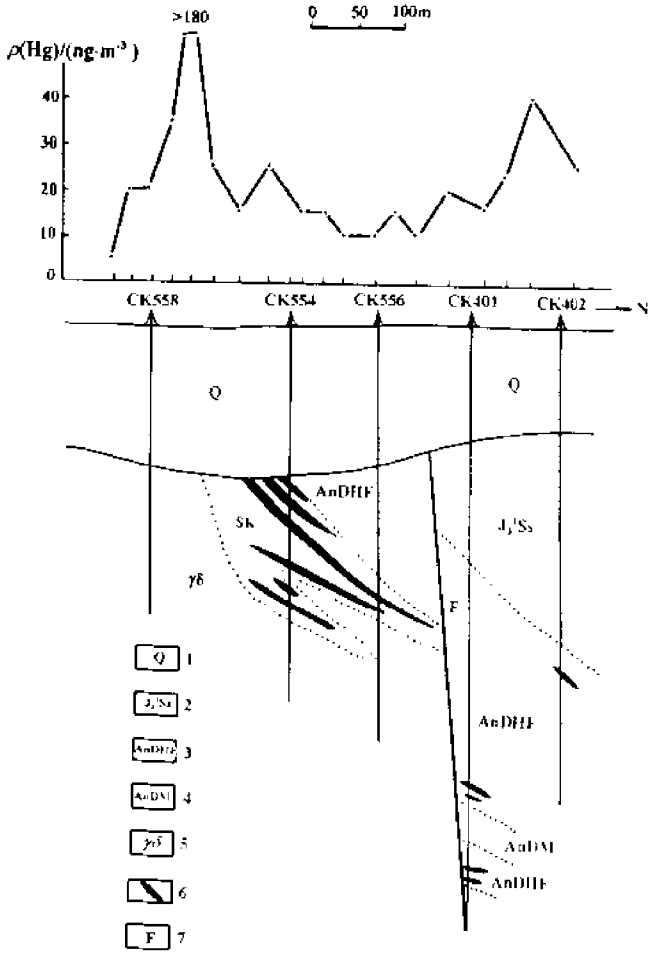


图6-13 上海张垯铜矿4线壤中气汞剖面

1—冲积物；2—侏罗系石英长石砂岩；3—前泥盆系角闪斜长角岩；4—前泥盆大理岩；5 花岗闪长岩；6 铜矿体；7 断层

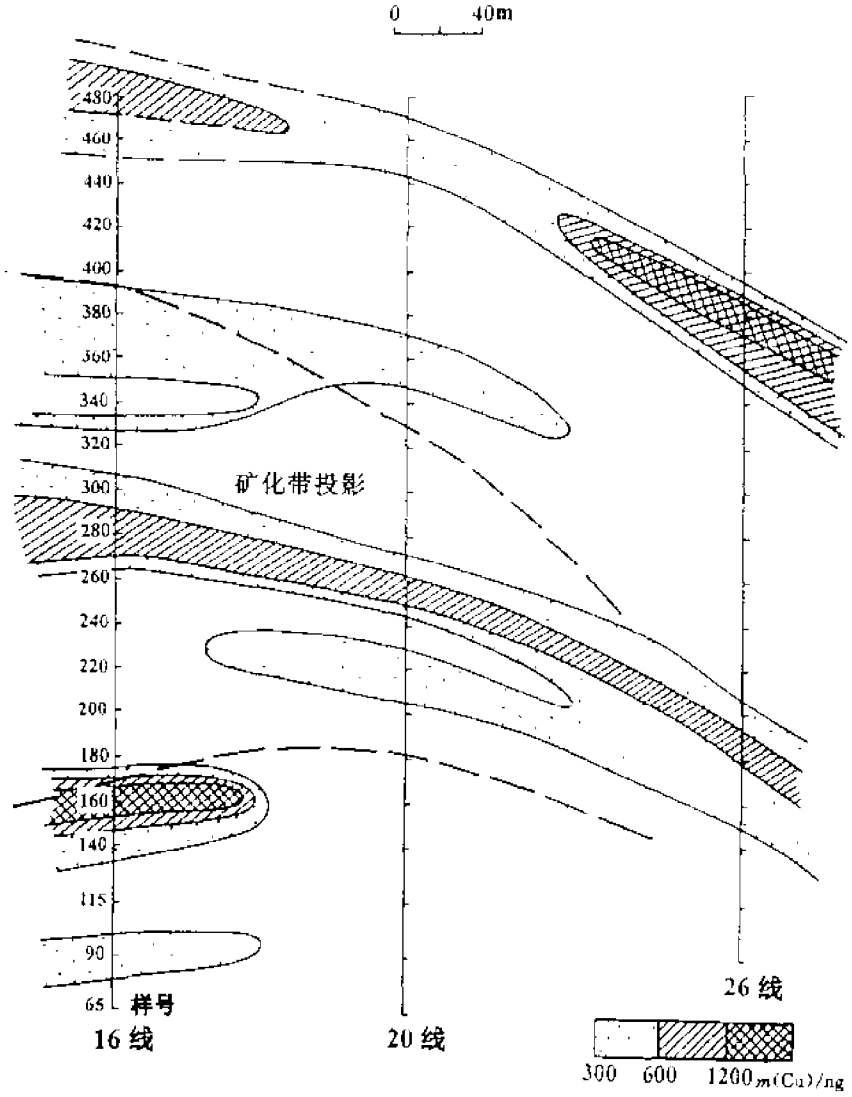


图 6-14 上海张堡铁铜矿床“金属气体”主动预富集 Cu 异常图

第四节 山东朱桥地区砂金远景区的圈定

一、水电化学测量

砂金是人类最早开发和利用的矿产之一，它具有易识别，易开采和易分选等特点。它的开发和淘选方法，老百姓都能掌握。一般采用竖井开采，用淘选法分选，混汞法纯化。这些古老的技术，在经济不发达地区迄今使用还相当广泛。近代科学技术的进步使砂金的开采方法，有了较大的进展。但在砂金的勘查方面仍然相当落后，特别是对砂金远景区的圈定，迄今还没有比较先进的方法。前些年，英国人曾研制出一种叫“金矛”的探金仪，其效果也不很理想，特别是对近代河床砂金矿，“金矛”无用武之地，仅对残坡积区内的砂金矿还有一定的探测效果。物探所区测组等单位曾用水系沉积物测量方法用于圈定砂金远景区。基于砂金含量和水系沉积物中的金含量不总是正相关的，特别是那些河漫滩已被改造

成庄稼地的地区，其适用性更低。

作者在水电化方法的研制和生产性试验中，获得了一项意外的收获，即砂金矿的外围有一个规模巨大的 Au 的分散晕。人们可以根据水电化学异常的浓集中心，圈定砂金的富集地段。

二、水电化学异常查证

下面以朱桥地区为例，说明水电化学方法圈定砂金远景区的有效性和实用意义。

朱桥地区不仅盛产原生金，还蕴藏有丰富的砂金。砂金的赋存地除近代河床以外，还有大量的砂金赋存在河堤之外的庄稼地和居民住宅区内，给砂金矿床的勘查增添了不少麻烦。但这些庄稼地内，有密集分布的灌溉水井，居民区内也有较多的饮水井，为开展水电化学测量，提供了非常有利的条件。

图 6-15 是朱桥地区水电化学测量的 Au 异常图。图中以 m (Au) 800×10^{-9}圈定的等量线，被确定为砂金的远景区。该远景区的正确性，有下列事实为依据：

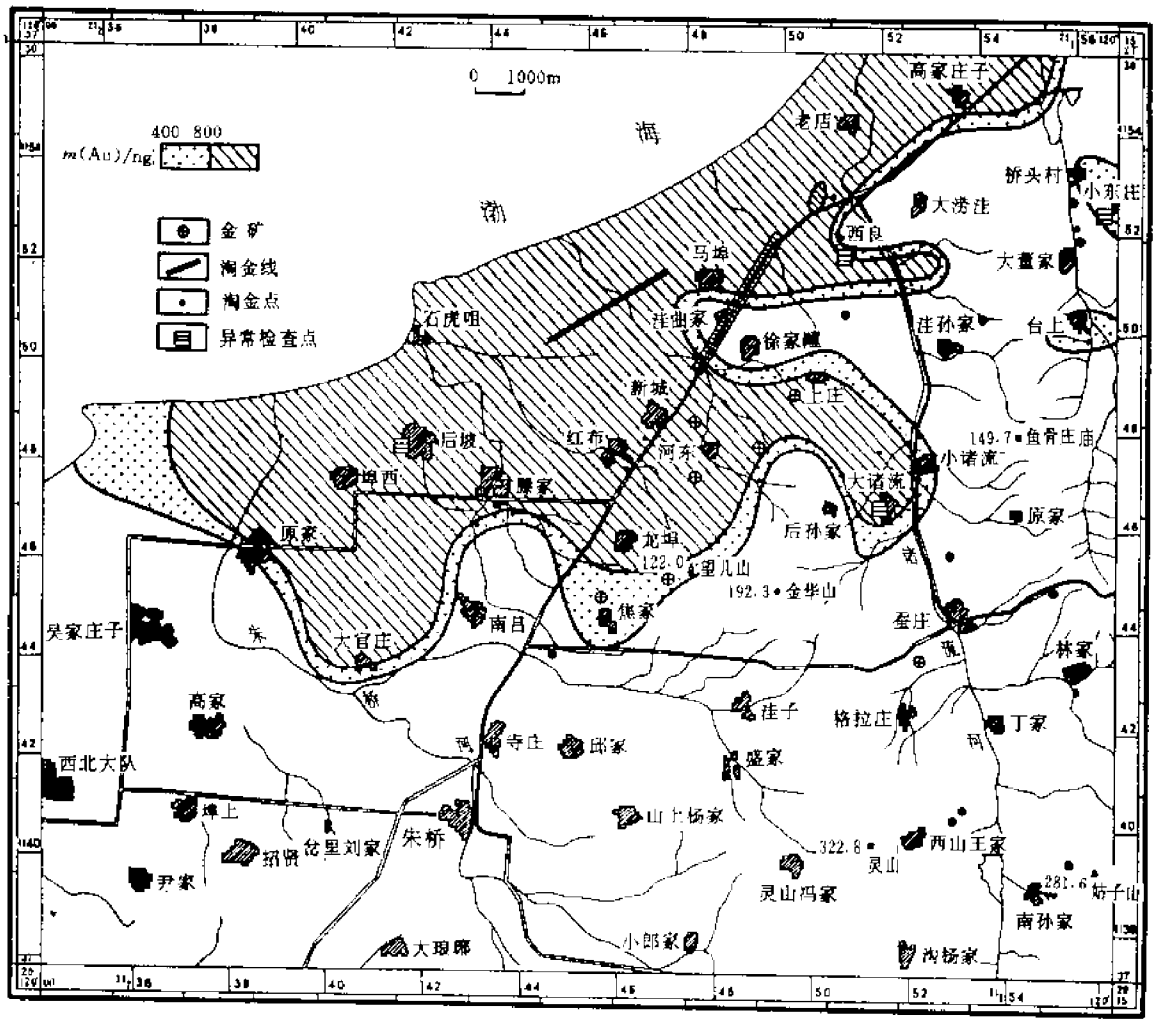


图 6-15　朱桥幅水电化学 Au 异常图

1）区内淘砂金者，无一例外地都在圈定的范围内进行；

2）区内外已探明的砂金矿，无一不包括在所圈定的远景区范围内；

3）在圈定的范围之外，也有人曾进行过淘金和砂金勘查，都没有发现砂金矿的存在。特别值得一提的是，区内一大型原生金矿—三山岛金矿床的部分矿体被剥蚀，估计其附近有大量的砂金赋存，但水电化学在该矿床周围尚未圈出大范围的异常。砂金勘探的结果也证明该矿床周围未发现有砂金矿赋存。

为适应残坡积覆盖区的砂金勘查，作者还研制了一种类似“金矛”的壤中气螺纹采样器，将多层电极探头镶嵌在螺纹采样器的锥体上，当螺纹采样器沿小洞拧进时，一遇到自然 Au，立即发出蜂鸣声。螺纹采样器是壤中气测量和壤中气气溶胶测量必不可少的工具。在进行壤中气测量和壤中气气溶胶测量时，同时可以检测是否有砂金的存在。

在砂金矿的周围，不仅有金的水电化学异常存在，而且还有 Ag、Cu 等多种组分的异常存在（图 6-16、图 6-17）。砂金矿周围有水电化学分散晕存在的提法，以前很少有人提及，我们在大尹格庄金矿区外围也作过类似的试验，在砂金区的周围也存在着 Au 和其它伴生元素的分散晕。这种现象的发现，为砂金矿床的勘查和开采方法的研究提供了新的有用信息。同时，也为砂金和狗头金的化学成因提供了新的证据。

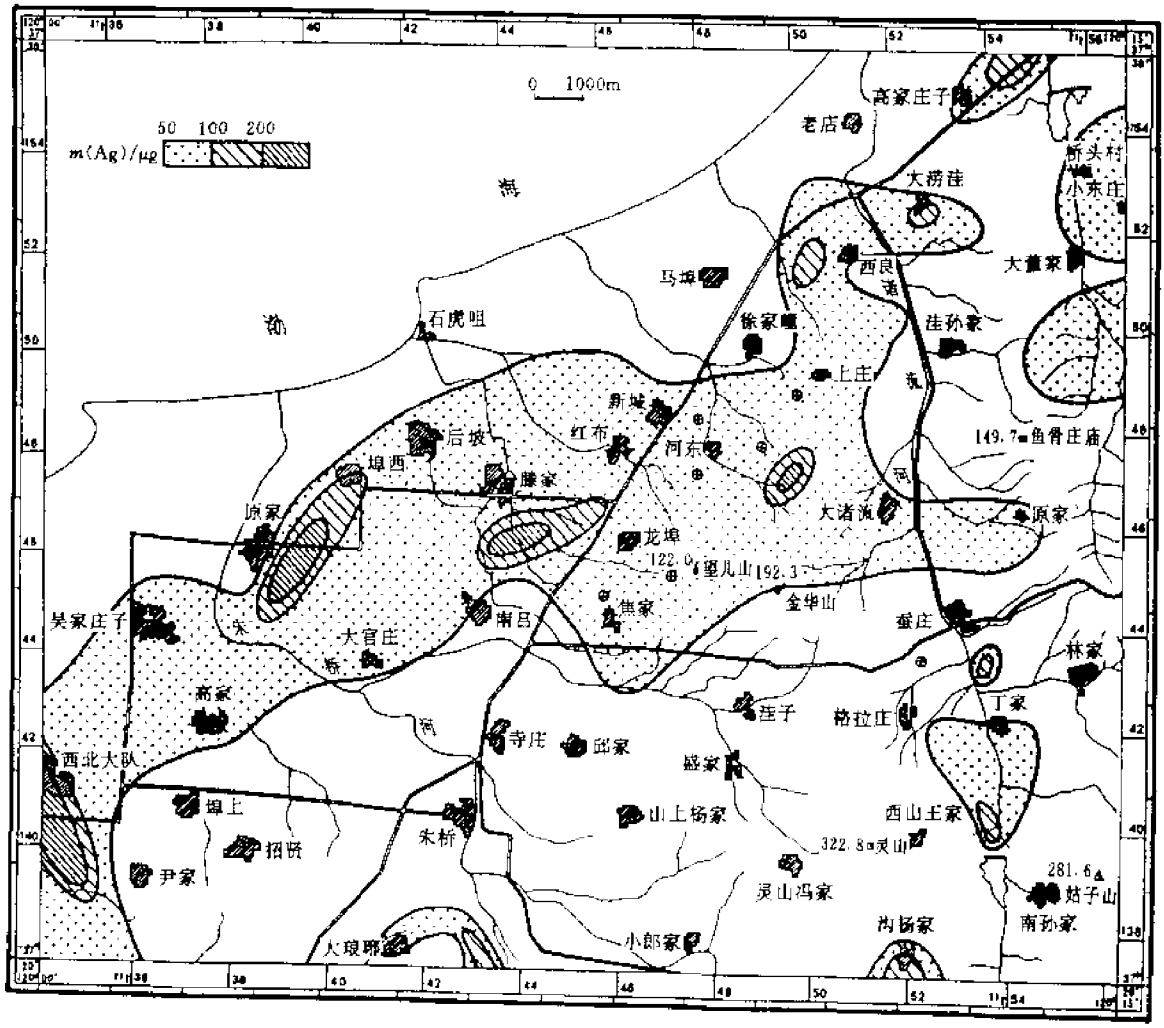


图 6-16　朱桥幅水电化学 Ag 异常图

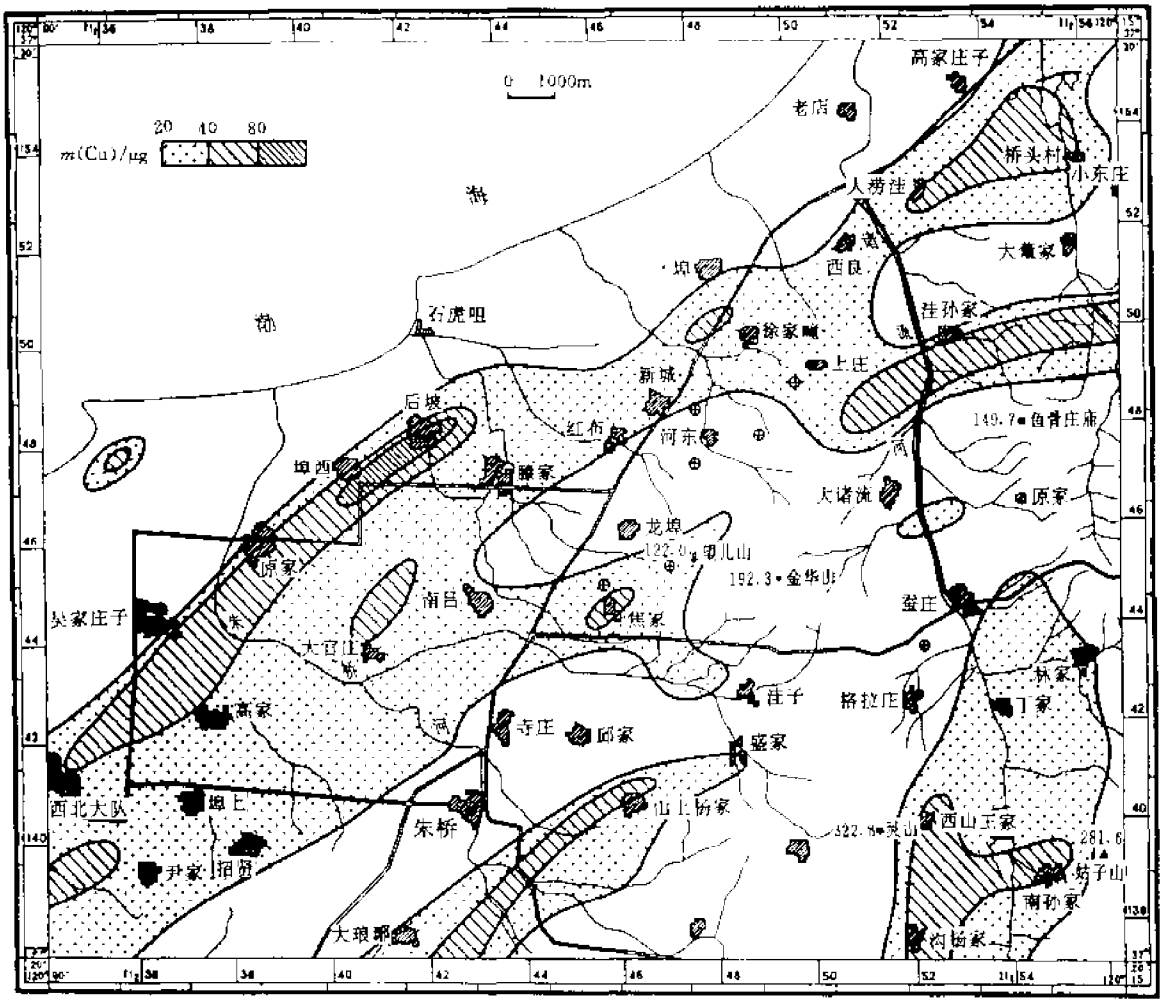


图 6-17 朱桥幅水电化学 Cu 异常图

在该区同时还进行了常规的水化学测量，试验结果表明，水化学测量不仅未能测出明显的金异常，其它伴生元素的异常也杂乱无章。根据这次试验的结果表明水电化学测量比常规水化学测量具有明显的优越性，特别是可直接指示金的富集地段，若用常规的水化学测量，不采用预富集方法是不可能达到这一目的的。

第五节 河北省丰宁县和顺店异常查证与隐伏矿追索

一、概况

和顺店村位于河北省丰宁县北部与内蒙古交界处。1987 年河北物探队在上黄旗幅进行 1∶20 万水系沉积物测量时，发现了和顺店异常。该异常为 Pb、Ag、Zn、As、Mo、Sb、Mn、Bi 等元素的多组分异常（图 6-18），异常面积约 100km^2，Pb 的峰值含量 w（Pb）$>1000\times10^{-6}$，异常范围尚未圈定，往北延伸至内蒙古境内。该异常的浓集中心部分达 30km^2。

1989 年河北物探队，根据和顺店异常的异常含量高，异常规模大和元素组合全的特征，对该异常进行了Ⅱ级查证。查证的方法有：水系沉积物加密测量（40km^2 范围内）和岩石剖

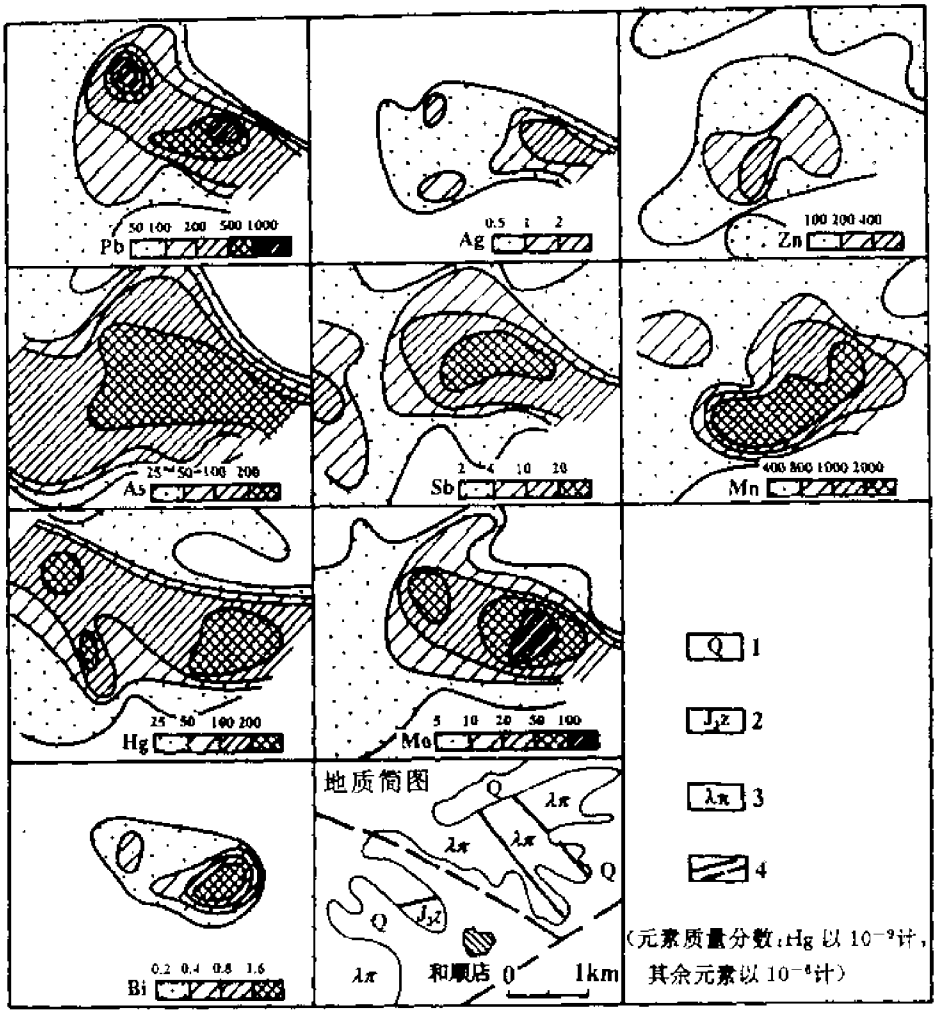


图 6-18　和顺店 1∶20 万水系沉积物地球化学异常图

（据张华，1997）

1—第四系；2—火山碎屑凝灰岩；3—石英斑岩；4—断层

（元素质量分数：Hg 以 10^{-9}，其它元素以 10^{-6}计）

面测量。初次查证的结果表明，该异常确实存在，引起异常的原因可能与隐伏矿有关，但在地表未见到原生矿化。从Ⅱ级异常查证的结果来看，该异常有良好的找矿前景，由于异常区内第四系冲洪积物覆盖较厚，整个异常的范围和形态尚未圈定，也未找到新的突破口，查证工作未能继续进行。

1992 年，在地质矿产部科技司和河北省地矿局的支持下，地质矿产部物化探研究所与河北物探队合作，由张华，姚志强负责，再次选择和顺店异常作为查证对象。这次查证所用方法为：基岩裂隙测量、激电测量、电阻率测量、岩石剖面测量和土壤重矿物测量等方法。

岩石测量结果，在测区的中部，圈出了一个 Pb、Ag、Zn、Hg、Mo、As、Sb 的异常。Hg、Mo 异常分布在 Pb、Zn、Ag 异常的北东部，As、Sb 异常分布在两者之间。基岩裸露区内，普遍见到星散状和细脉状黄铁矿化、赤铁矿化和锰矿化，但仍未见到 Pb、Zn、Ag 的原生矿化。在土壤重砂中，见到有铌铅矿、辰砂和褐铁矿等重矿物。

根据化探测量结果，河北物探队在化探异常区内，布置了激电和电阻率测量。根据电法测量结果，于1994年冬，在高极化率异常中心，布置了ZK002孔，对激电异常进行查证。ZK002孔中，仅见到了浸染状黄铁矿化，和两层几十厘米厚的铅锌矿细脉，对异常未能作出合理的解释。对隐伏矿的追索也未能获得进一步的信息。

根据我国区域化探异常分布模式的研究结果表明，一个中型以上的多金属矿床，其周围必然有一个数十至数百 km^2 的多元素异常，和顺店异常经多次查证，既不是人工污染，也

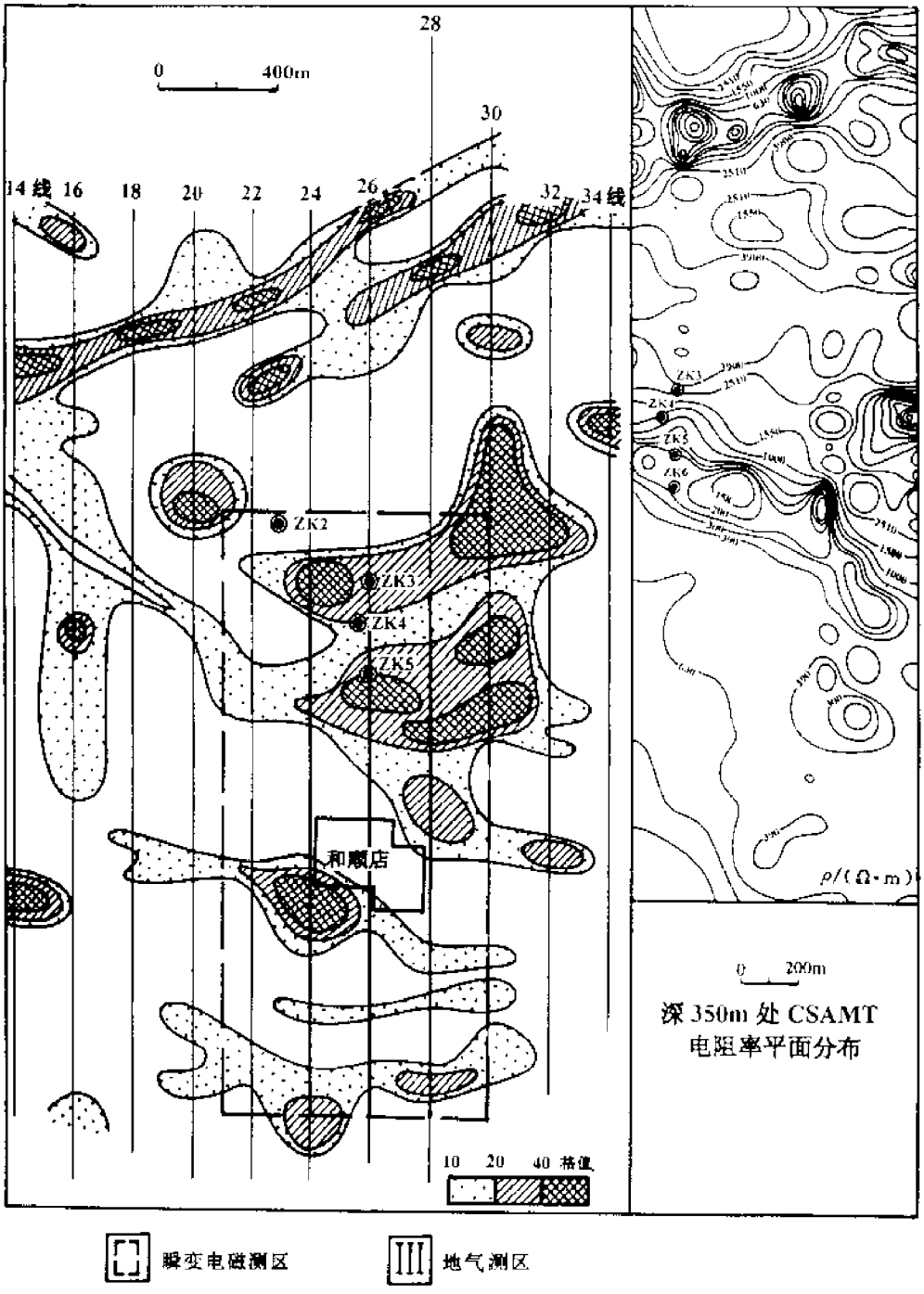


图 6-19 和顺店壤中气汞和 CSAMT（右上角）异常图

（引自任天祥，1998）

与景观因素无关。异常的元素组合，是属于热液矿床顶部的异常特征，矿体无剥蚀殆尽的可能，同时该异常的特征与区域内已知 Ag、Pb、Zn 隐伏矿的异常模式十分吻合。参与异常查证的同志一致认为，该异常与有一定规模的隐伏银铅锌矿有关。究竟隐伏矿在何方？仍然缺乏可靠的信息。

二、隐伏矿的追索

从地表情况看来，区内出露岩石为石英斑岩，围岩为火山岩碎屑凝灰岩。在地貌上为低山丘陵区与盆地的交界处。山区基岩裸露。坡地碎石堆积较厚。盆地内普遍为冲洪积和风成砂等运积物覆盖。需要进一步获取隐伏矿的信息，必须强化矿田构造的研究，特别是侵入接触构造及其控矿作用的研究。无奈区内运积物覆盖的面积较大，基岩出露区，黄铁矿化普遍，仅靠已有地面化探资料和电法资料指导隐伏矿的追索，显然是不够用了。常规的物化探方法又不能进一步获取隐伏矿的信息。该异常评价到这时，如食鸡肋，食之乏味，弃之可惜。如若将该异常舍弃，异常强度如此高，异常规模如此大，元素组合如此全，这种异常竟然找不到矿，化探异常对矿的指示意义何在！化探异常评价的准则何在！由于具体工作的同志与部、省局有关领导仍然坚持认为该异常与隐伏矿有关的可能性较大，有必要继续对隐伏矿进行追索。为了将隐伏矿的追索引向深入，必须向运积物覆盖区挺进，克服只能在基岩出露区工作的困境。在这种地质条件下，要确定潜在隐伏矿的赋存部位，还须借助于探测深度大，受地表覆盖层影响小的物化探方法。

基于上述认识，化探选择了壤中气汞量测量和壤中气气溶胶（地气法）测量。物探选择了瞬变电磁法（TEM）和可控源音频大地电磁法(SCAMT)对该异常进行新一轮的追索工作。

新选择的物化探方法，均采用剖面法。剖面均通过异常区内的不同景观，基本覆盖了主要异常区和有远景的运积物覆盖区，瞬变电磁法布置在 21 线、23 线、26 线和 30 线。剖面间距为 300m，点距 100m。壤中气汞量测量以 200m×100m 的测网工作了 9km²。壤中气气溶胶测量在 24、26 和 28 线上工作。

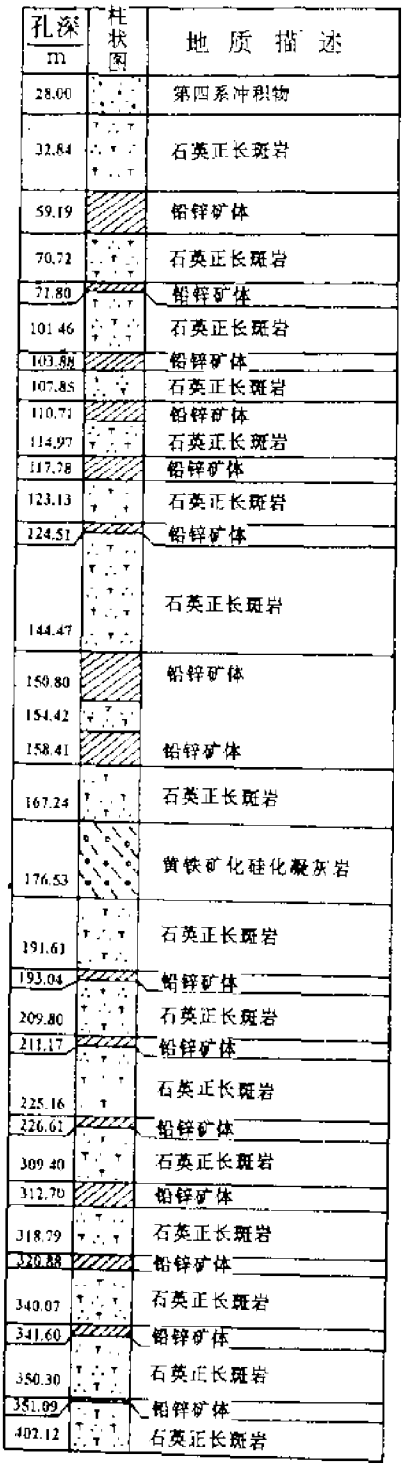


图 6-20 和顺店矿区 ZK07 钻孔柱状图

（引自任天祥，1998）

壤中气汞量测量的结果（图 6-19）对异常区内的控矿构造有良好的显示。主要控矿构造为北西南东向，次一级的控矿构造为北东向。这两组断裂的交叉部位，可能是赋矿的有利部位。和顺店村北，汞异常显示出北西和北东向两组更次一级的构造交会部位，处于山体与盆地的交界处，也具有较好的控矿作用。24～32 线北

西向构造北侧的汞异常，可能与矿化富集有关。该异常的面积约 0.6km²，浓集中心明显。在和顺店村南，有两条近于平行的条带状汞异常，其规模比村北的异常小，可能与北西向断裂近于平行的雁行式断裂有关，其含矿性也值得进一步注意。

可控源音频大地电磁法在 350m 深度的电阻率分布图（图 6-19）清楚地显示出两条北西南东向的低阻异常带。异常的分布范围和形态与壤中气汞异常基本一致。两异常带之间的高阻带与地表出露的石英斑岩体的分布相吻合。其两侧的低阻带，为石英斑岩体与凝灰岩的接触带。可能是矿化蚀变构造带，低阻地质体主要分布在 28 线以东。

地面瞬变电磁测量和壤中气气溶胶测量均未能获得有关隐伏矿的更多信息。但瞬变电磁测井的资料表明，从西北至东南，从地表向深部，矿化可能有变好的趋势。

三、钻探查证结果

根据第二轮地面物化探查证的结果，布置了 ZK4 孔（在 ZK3 孔南 85m 处），孔深 540m。钻孔岩心观察结果表明，整个钻孔处在矿化破碎带中。岩性为石英斑岩的断裂碎屑岩，个别地段可见到 1～2m 厚的火山碎屑凝灰岩。岩石拣块分析结果，全孔普遍有铅锌矿化，但品位较低，Zn＞0.5%，厚约 270m。Zn＞2%者，厚约 50m，Pb＞0.35%，厚约 40m，Mo＞0.02%，厚约 120m。钻孔未能穿过矿化体。钻探查证的结果与物化探推断的结果基本相符。钻探结果进一步证明，矿化体朝南东方向延伸，朝深部矿化有增强的趋势，为隐伏矿的进一步追索指明了方向。后来在综合异常区内布置了 ZK7 孔，见矿 38m（图 6-20）。

四、启示

通过这一例案说明，异常查证工作是十分复杂的系统工程，需要坚持反复实践，不断加深认识。针对特定的地质环境和所获得的最新资料，要不断完善和修改自己的施工计划，灵活运用地物化各种新方法新技术，为隐伏矿的追索提供可靠的信息。其次是再一次说明，有集中必有分散，有分散必有集中（富集）这一矛盾对立统一的辩证关系，是对有分散就不可能有集中这一理论的否定。国内仍有许多“高、大、全”的水系沉积异常，至今仍未取得找矿方面的突破，如浙江的铜岩山和湖南的多处大的金异常均值得进一步注意，不能说所有的大异常都有矿。首先必须区分岩性异常和次生富集所引起的异常；其次是要排除污染所引起的异常；第三种值得注意的因素是，一个大的异常区内，往往包括了多种类型的地貌组合和多种成因的异常类型，只有全面掌握，根据不同异常类型，查明它们所处的地质背景，分别采用不同的方法技术，逐步进行筛选，不要在情况不明的情况下盲目布钻。盲目布钻的结果，必然导致失误多。由于失误等种种原因，查证工作被迫中途停止，导致隐伏矿的漏失和整个勘探计划的失败。

第六节　四川大发沟银金铜矿外围物化探普查及隐伏矿预测

一、地质概况

大发沟位于田湾银、金、铜矿区的南部，地处扬子地台西缘陆内造山带北段的磨西断裂中。该断裂带构造活动频繁，东侧有晋宁期黄草花岗岩，西侧有燕山期花岗岩，为成矿提供了热源。该断裂的两侧常见有与之平行的次级小断裂，并发育有数百米宽的挤压破碎带和糜棱岩带。大发沟处于田湾“入字”型断裂所夹持的地块内。工作区内的地层主要为

泥盆系。岩性为青灰色薄层泥质条带和白色硅化白云岩，其中含 Au、Ag、Cu 的丰度较高。区内主要发育有 4 条 NW　SE 向的平行断裂，矿体和矿化点沿断裂呈串珠状分布，已发现金矿体两个。该区及其外围的成矿远景较好，正在勘探中。

该区由于地形较差，灌木密集，第四系覆盖层一般在 2m 以上，地质观察较为困难，故四川地矿局决定以物化探为主进行普查。

该地区的综合普查工作由四川地矿局应用地球物理研究所负责。金属气溶胶测量工作，由地矿部物化探研究所气测组提供气溶胶的捕集器，捕集剂和气溶胶样品的分析。四川应用地球物理研究所承担了气溶胶样品的采集工作。工区内的物探工作和异常查证工作全由四川应用物理研究所完成。

二、地质测量和激电测量

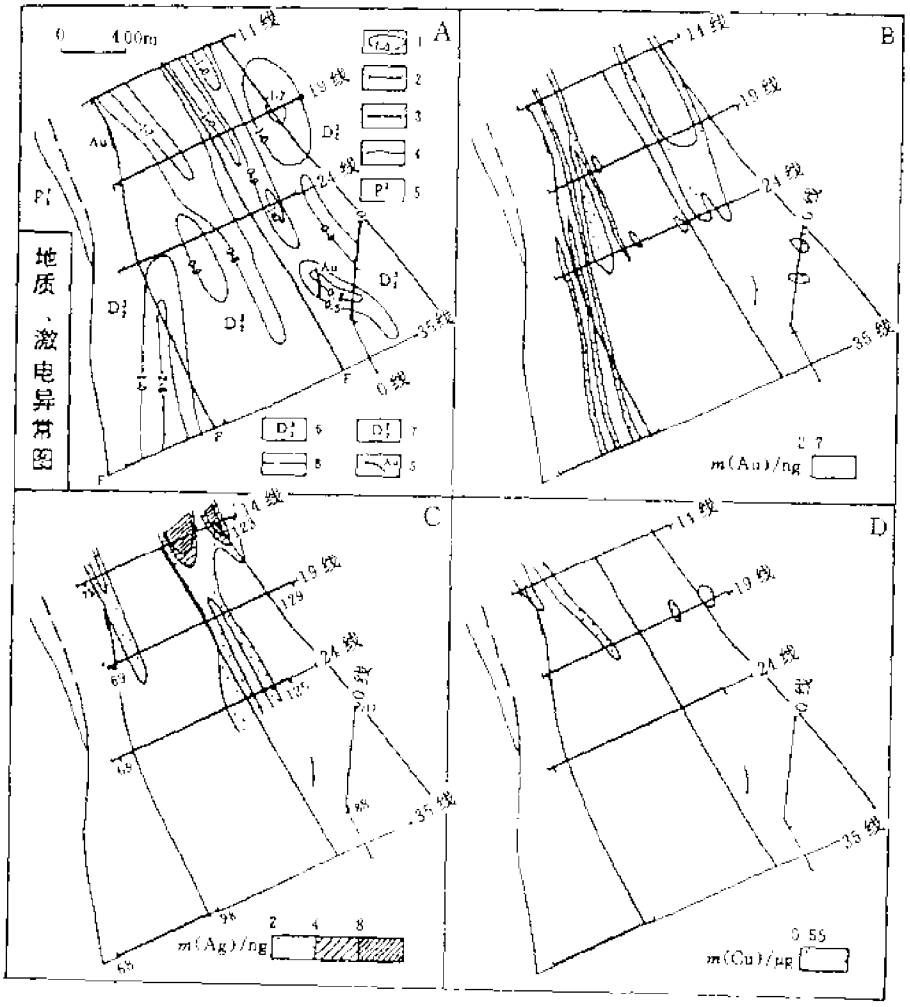


图 6-21　四川田湾大发沟金银铜矿区激电、壤中气 Au、Ag、Cu 异常图

1　物探激电异常；2－物探激电剖面线及编号；3　壤中气测量剖面；4－地质界线；5—下二叠统中段灰岩、石英岩、大理岩；6　中泥盆统下段、白云岩、灰岩、糜棱岩；7—中泥盆统中段白云岩、糜棱岩、大理岩化灰岩；8－断裂；9　Au 矿体

地质测量和激电测量结果示于图 6-21。从图 6-21A 可以看出，由于地表第四系残坡积层较厚，未能圈出矿化蚀变带的分布，仅对地层的分布进行了初略的圈定。激电测量圈出了多处与断裂构造近于平行的南北向分布的条带状异常，但无法识别矿化类型和最佳矿化地段，逐一用山地工程对异常进行查证难度较大。四川应用地球物理研究所在此基础上，与物化探所气测组合作，在该区进行了壤中气气溶胶测量。

三、壤中气气溶胶测量

在测区内作了四条壤中气气溶胶测量剖面，线距 500～1000m，点距 20～40m，样品分析了 Au、Ag、Cu、Pb 等元素。分析资料的统计整理结果列于表 6-1。从表中可以看出，Au、Ag、Cu 具有变化范围大反映了局部地段强烈的矿化和明显的浓集中心，是有利于成矿的指示标志。

表 6-1　大发沟壤中气气溶胶 Au、Ag、Cu、Pb 特征参数

指标＼参数	max	min	$\bar{x}$	δx	T	n	备　注
m(Au)/ng	9.4	<0.2	0.93	0.86	2.7	112	max 为最大值； min 为最小值； $\bar{x}$ 为平均值； δx 为离差； T 为异常下限； n 为样品数；
m(Ag)/ng	44.8	<0.1	0.53	0.52	2.0	117	
m(Cu)/μg	11.4	<0.02	0.17	0.18	0.55	139	
m(Pb)/μg	6.23	<0.02	0.04	0.03	0.10	118	

图 6-21B、C、D 示出了壤中气气溶胶 Au、Ag、Cu 的异常分布。Au 按 2.7ng 圈定异常，无明显的浓度分带。Au 异常主要分布在测区的西部，沿 F_2 断裂近于平行分布。Au 异常的南端，与激电异常基本吻合。Au 异常的北端与另一激电异常吻合。北部规模较大的金异常分布区也有规模较小的激电异常显示，多分布于 F_3 和 F_4 断裂之间。东南部地区，无明显的 Au 异常出现。Ag 用 2ng 圈定异常，按 2～4～8ng 划分浓度分带。最好的 Ag 异常分布在测区的东北部，该 Ag 异常长达 1000m，宽约 40m，呈 NW-SE 向分布。在 Ag 异常范围内同时有 Au 和 Pb 的异常出现，并与区内最强的激电异常相吻合。Ag 异常具有明显的浓度分带，浓度梯度变化大，Ag 的内带异常含量在 14.6～64.8ng 之间变化，衬值在 7.3～32.4 之间变化，推断该异常是由田湾 Ag、Au 矿的南延部分。铜按 0.05μg 圈定异常，仅在测区北部圈出了两条细小的条带状异常。Cu 的最高含量为 11.4μg。铜异常的强度弱，规模小，测区南部无铜异常显示。

四、异常推断与异常查证

1. 异常推断

1）激电和壤中气气溶胶异常均为窄长的条带状异常，推断区内主要为脉状矿化；

2）壤中气气溶胶的成矿元素异常主要为 Ag、Au。伴生元素异常有 Cu、Pb。推断区内的矿化主要为含 Ag、Au 的脉状矿化体；

3）F_2 和 F_4 之间的 Ag 异常，强度较大，具有明显的浓度分带，异常的规模也相对较大，推断是以 Ag 为主，Au 为辅的矿化类型，Cu、Pb 不一定具有工业意义，仅仅是一种伴生组分。

4）与 F_2 平行的 Au 异常，推断为与 F_2 有关的含金脉状地质体。该异常无明显的浓度

分带，异常规模呈狭窄的条带状，浓度梯度变化大，推断该金矿化地质体的规模不容乐观。矿化较好的地段应在该异常的南段，激电异常变宽的部位。该激电异常带内，可能赋存有三条近于平行的金矿化地质体。

5) F_3 和 F_4 之间的 Ag、Au 异常，可能是田湾银金矿床的南延部分。该矿延续至此有矿化变弱和尖灭的趋势，但控矿构造仍然存在，继续往南是否有较好的矿体存在，有待于进一步往南追索。但至少可以说明，在测区范围内，赋存有较大规模银矿体的可能性较小。

2. 异常查证

这次查证工作主要是在与 F_2 平行的金异常带内进行。该异常北起董家岗，南至里海子穿越 14 线、24 线和 35 线，长 1400m。24 线异常地段见含金石英脉，Au 品位为 12g/t。14 线异常地段用坑道验证，见矿长 2.5m（图 6-22、图 6-23）。19 线异常地段见有民采坑，经采样分析 Au 为 1.2g/t，Ag 为 134.2g/t，Cu 为 0.09%。查证结果与原来的推断基本相符，惟有矿床规模的远景评价，化探与物探的差异较大，化探根据测区的异常特征估计，该矿床的规模不可能很大。而物探则认为可达大型规模。由于该矿正在勘查中，哪一种估价更接近实际情况，有待勘探结果的检验。

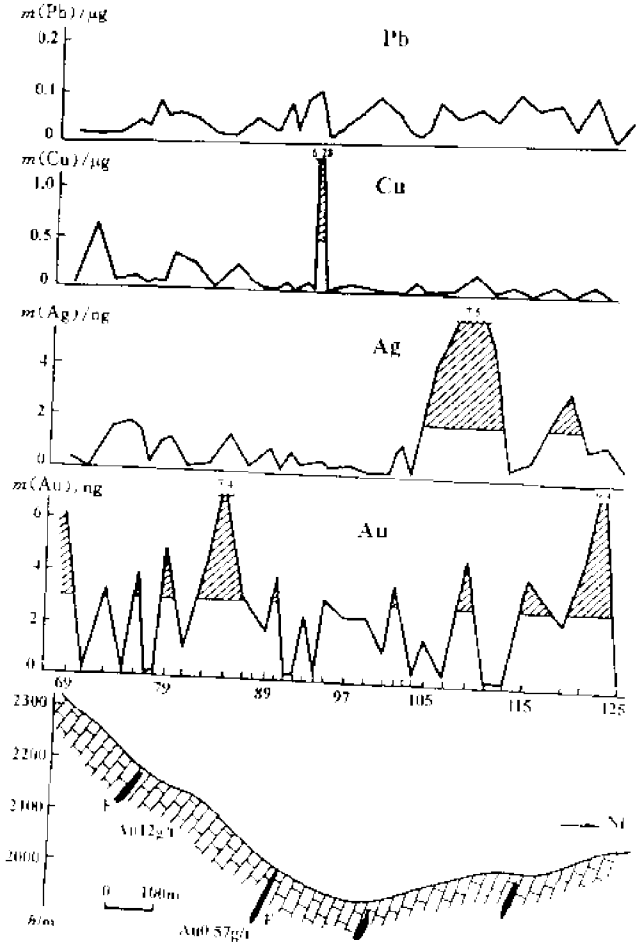


图 6-22　大发沟金银铜矿 24 线壤中气地球化学剖面

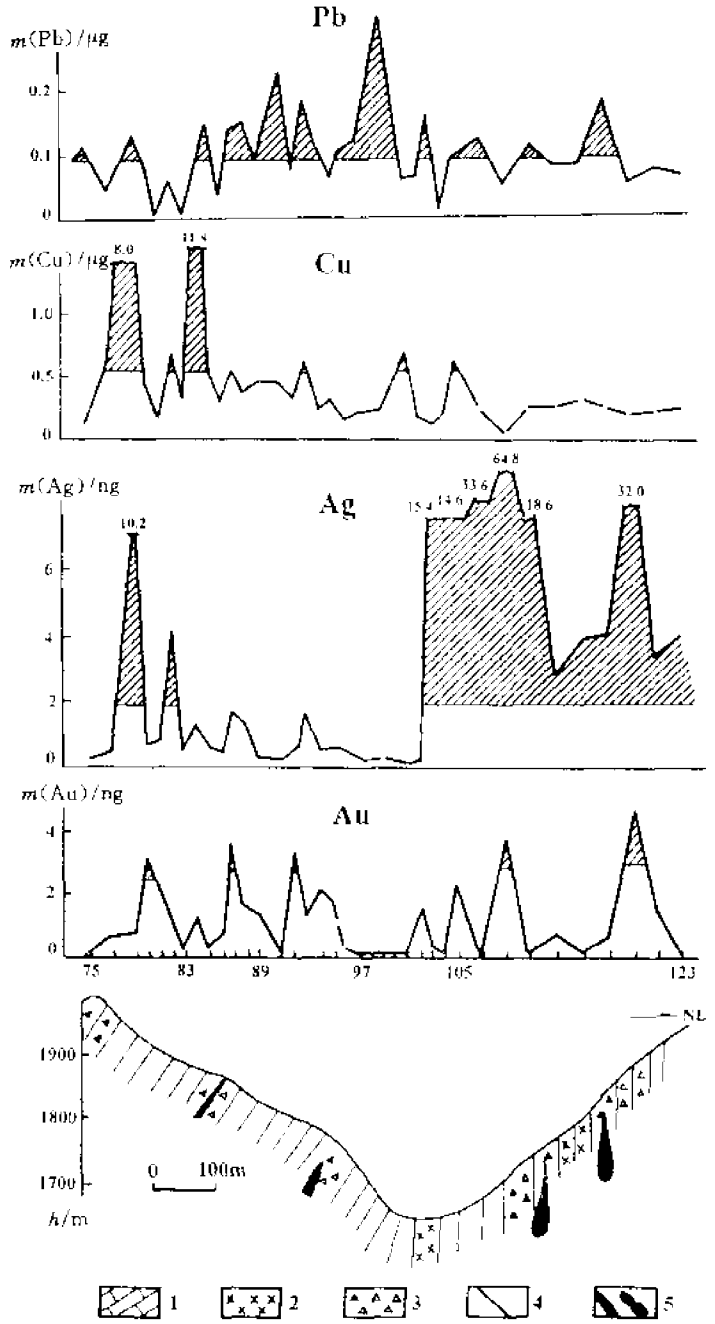


图 6-23　大发沟金银铜矿 14 线壤中气地球化学图

1　白云岩；2　糜棱岩；3—斜长岩；4—断层；5—实测及推断矿

第七节　综合气体测量找寻隐伏汞矿床以及与辰砂共生的其它隐伏矿床

一、概述

凡是能形成汞的独立矿物的矿床，按矿床学的观点其成矿溶液中汞的浓度必然较大，成矿的温度一般较低，而且矿床附近一般不存在较大的侵入岩体。按勘查地球化学的观点，这

类矿床的喷气分散晕发育，在矿床周围可形成数十至数百平方公里的水系沉积物异常和辰砂等重砂矿物异常。在我国水系沉积物测量的资料中已充分证明了这一点。如在浙江、湘西、贵州、陕西、河北、辽宁、青海和新疆等地，均发现有与上述矿化类型有关的规模巨大的汞异常。找这类矿床有利的一面是在区域普查中，容易发现它们的异常，不利的一面是在巨大的汞异常中不容易发现矿床。因此，如何快速有效地缩小靶区，便成了找寻这些矿床的焦点。特别是第三系和第四系火山岩分布区的水系沉积物汞异常，其异常强度和异常规模不亚于任何一个汞矿床，甚至比汞矿床周围的汞异常更为可观。作者在云南和浙江等地的火山岩分布区，曾经发现过这种规模和强度均大得惊人的水系沉积物（或土壤）汞异常。其中某些异常经过多次查证，一直未能发现任何矿化。人们把水系沉积物测量中的这种现象比之为只开花不结果。并且把这种规模和强度巨大的汞异常，比之为一种个头大，颜色鲜艳好看而不好吃的大个儿苹果。这类矿床除发育有规模巨大的喷气分散晕和矿床原生汞晕之外，还有众多的其它干扰因素，是造成上述现象的重要原因之一。这些干扰因素中包括有下列几个主要的类型：

1）与辰砂共生的矿床多种多样，与汞伴生的矿床更多。在我国与辰砂共生的矿床有汞锑矿（如河南上宫金矿），汞锑金矿（湖南龙山金矿），汞铀矿（四川512矿），微细型金矿（湖南石峡金矿），砷汞矿（湖南石门雄黄矿），火山热液型萤石矿等等，在许多情况下，辰砂虽不具工业意义，仍然可以形成规模巨大的汞分散晕。与汞伴生的矿床有油气藏，各种类型的金矿、铅锌多金属矿、热液型铁矿、各种类型的菱铁矿等等，几乎所有热液型金属矿床和非金属矿床周围多发育有汞的分散晕。在各类侵入岩体的周围，也常发育有汞的喷气分散晕。

2）地热田周围和断裂构造上方均发育有汞的异常，如云南腾冲热田和西藏羊八井热田周围的土壤汞异常达数十平方公里。

3）工农业生产的污染可形成巨大的土壤和水系沉积物汞异常，如我国浙江绍兴地区，由于绍兴上游地区的采矿活动，在绍兴市周围形成数百平方公里的水系沉积物和塘积物的汞异常。又如甘肃白银厂、湖南新化锡矿山冶炼厂、北京化工二厂的卤碱车间，它们所散发的汞蒸气，在顺风方向可达数公里至数十公里，并且在其烟尘散落区的土壤中也形成强大的土壤汞异常。

4）地震活动地区，在地震前夕，由于地应力的聚变，可形成受地震活动制约的土壤汞和水中汞的异常。

5）汞的气体分散晕沿构造裂隙迁移，被近地表的土层吸附后可形成土壤汞异常（如同油气藏上方的土壤汞异常）。这类汞异常与矿体的赋存位置有较大的位移，在推断解释中，很容易被忽略，常能导致错误的结论。

二、找矿靶区的缩小与隐伏矿预测

1. 异常范围缩小的地球化学原理

辰砂质地坚硬、性脆、耐化学风化，不耐物理风化，容易形成机械分散晕。处于机械分散晕中的辰砂，由于缺乏形成气体分散晕所需的氧化还原条件和气体保存条件，通常不容易形成汞的气体分散晕。仅能在原生矿体附近形成汞的气体分散晕。基于上述原因，汞的气体分散晕范围通常是在矿体的上方发育，在矿体的外围则不发育。这样便可以利用气体分散晕的范围小来缩小机械分散晕大所引起的弊端，以达到快速缩小异常范围和追索隐

伏矿的双重目的。

2. 陕西公馆汞矿南翼和北翼矿区汞异常范围的缩小与隐伏矿预测

公馆汞矿周围的辰砂异常范围达数百平方公里，土壤汞异常数十平方公里。公馆汞矿的南翼矿带，是经古人大规模开采的人工掩埋矿，地表矿体已被开采殆尽，采矿硐口大都已倒塌，或被废矿石所掩埋，已清理出的古人开采遗址达千余处。在地表已找不到任何大小的残留矿体。这种大规模采矿活动，更加促进了机械分散晕的发育。作者在该区曾进行过土壤测量和壤中气汞量测量的对比试验，发现汞矿带以下直到河谷地区，均有土壤汞异常出现，土壤汞异常的峰值地段与原生汞矿化毫无关系。试验的结果完全否定了在本区进行土壤汞测量的可能性。壤中气汞量测量则收到了比预料更好的效果。壤中气汞异常范围小，与矿体有很密切的对应关系，完全排除了废矿堆等因素的干扰（图 6-24），可以充分肯定壤中气汞量测量对原生汞矿化的直接指示意义。试验工作时，南翼矿带求得的汞储量已达大型规模，但该矿带的东西延伸方向正在勘探中，为了快速评价该矿带东西部地区的含矿前景，沿该矿带作了系统的剖面测量，其测量结果示于图 6-25。从图 6-25 可以看出，异常几乎是沿原生矿带分布，异常仅局限在不到 $1km^2$ 的范围内，比辰砂异常范围缩小了数百倍，而且所需的时间不到 1 个月。从异常的规模和强度来看，矿带的东端异常明显变窄，异常强度显著变弱。当时推断该矿化带的东端有尖灭的趋势，找隐伏矿前景明显变差。在该区矿带的西端处于背斜的倾覆端，异常变宽，强度较大，指明矿带有变宽，而且可能有一些受次一级构造控制的矿体出现，以后的勘探结果完全证实了上述推断。在矿带西段求得了可观的汞储量，矿带东段停止了勘探。

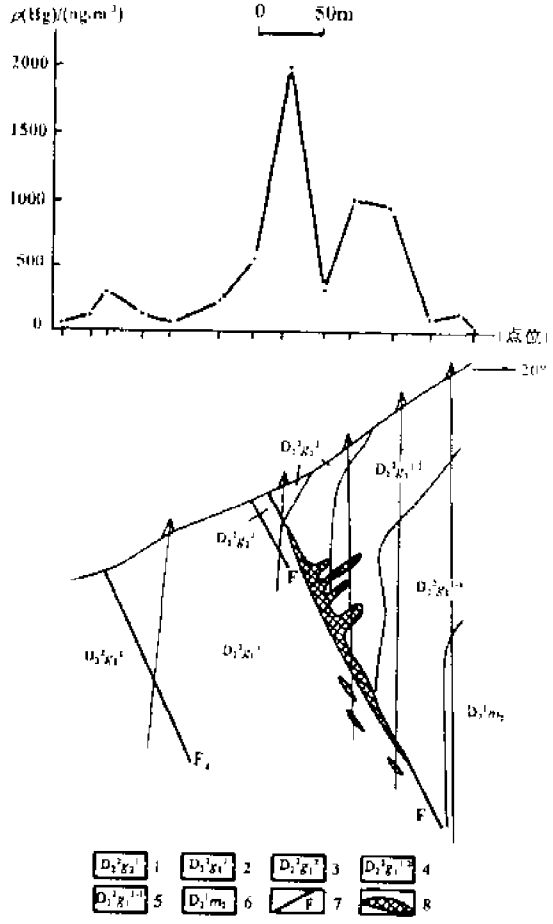
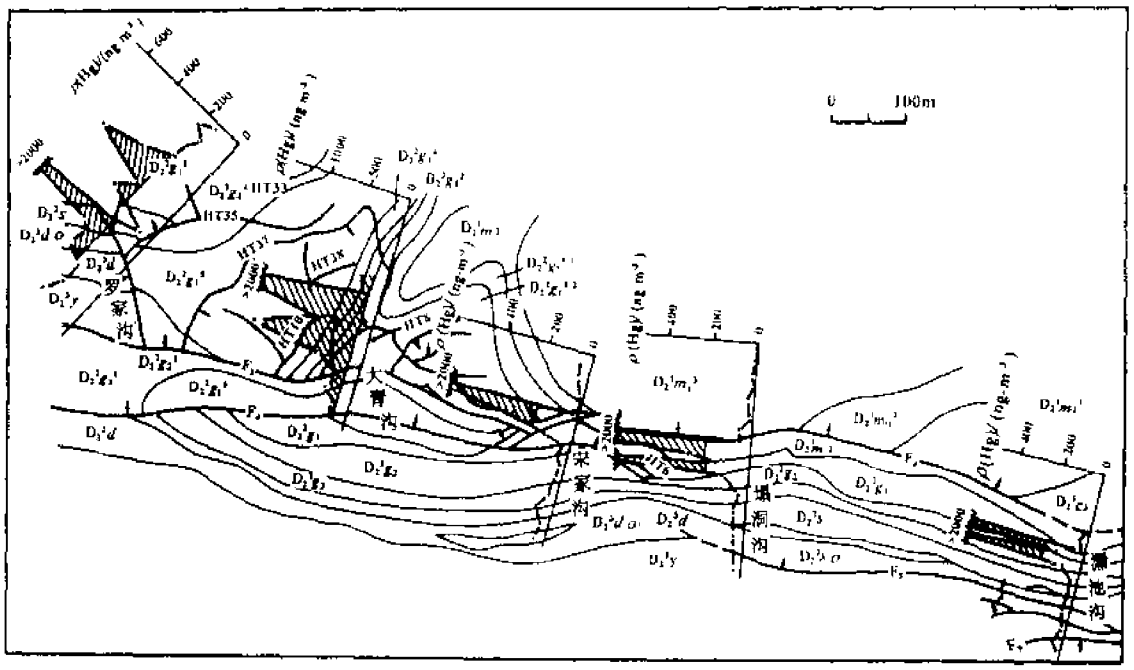


图 6-24 陕西公馆汞矿 8 线壤中气汞量剖面

（地质剖面据陕西地质一队）

1—中泥盆粘土质白云岩；2—中泥盆中厚层白云岩；3—中泥盆巨厚层白云岩；4—中泥盆薄层状白云岩；5—中泥盆深灰色白云岩，千枚岩；6—中泥盆千枚岩；7—断层；8—汞矿体

公馆北翼汞矿带，在我们进行试验工作时该矿尚未进行大规模的勘探，也没有求到工业储量，仍处于普查阶段。在区内进行了 $0.5km^2$ 的面积性生产试验工作。因测区内地形恶劣，无法进行南北向的剖面工作，故采用路线测量方式，测点基本分布均匀，在可通行的情况下，测量路线沿南北向的断裂布置，点距 5～20m。其测量结果示于图 6-26，从图 6-26 可以看出异常并非完全沿 F_7 断裂分布，与 NE-SW 向的断裂构造似乎更密切。特别是在金刚岭厚层残坡积物覆盖区，发现了异常强度和规模均较大的异常区，当时建议对该异常用探槽查证，同时还指出 HT26～HT46 地段具有较好的找



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

图 6-25 陕西公馆汞矿南翼壤中气汞平剖图

（地质图据陕西地质一队）

1—灰岩，千枚岩夹白云岩；2—紫红色千枚岩、粉砂岩、石英岩夹白云岩；3—中泥盆中厚层白云岩；4—生物灰岩及白云岩；5—中厚层白云岩；6—粘土质白云岩、千枚岩；7—中泥盆含砂白云岩、粘土质白云岩；8—含砂粘土质白云岩；9—含粘土质白云岩，灰白色白云岩；10—中泥盆中厚层白云岩；11—巨厚层白云岩；12—含粘土质白云岩；13—薄层状白云岩；14—深灰色白云岩、千枚岩；15—千枚岩；16—石英砂岩夹蠕石岩砾岩；17—千枚岩夹白云岩透镜体；18—石英砂岩夹砂砾岩；19—千枚岩、粉砂岩、石英砂岩、砂砾岩；20—推断及实测断层；21—实测及推断地质界线；22—矿化带；23—壤中气汞量测量剖面

矿前景，可能与该背斜倾覆端的构造体系有关。后经详查勘探证明，北翼的汞储量也达到大型规模，同时也证明根据壤中气汞异常对隐伏矿的预测是基本正确的。

上述实例是一种特殊情况，首先它是一个汞矿，汞异常对原生矿有直接指示意义，而且已经求得了较大的工业储量，这些条件为就矿找矿和从已知矿向外辐射创造了前提。若是一个未开展过地质工作的完全新的汞异常区，情况就复杂多了，首先是成因类型和矿化类型的识别，然后是原生矿的可能赋存位置。即使是像公馆汞矿南翼和北翼所圈定的壤中气汞异常范围，也并不意味着对数百平方公里的辰砂异常作出了全面的评价。在辰砂异常的其它范围内可能还有汞矿床和其它矿床存在。本案例说明靶区范围的缩小，也是一项复杂的系统工程，仍需同行们继续进行全方位的研究，重新唤起人们对量大面广的汞异常的兴趣，发挥这类异常在找矿中的作用。

3. 矿化类型的识别与隐伏矿预测

找矿靶区的缩小，不仅是异常范围的缩小，而且还应包括异常的成因类型和矿化类型的识别，后者有时比异常范围的缩小更为重要，如第三系和第四系火山岩分布区的巨大汞

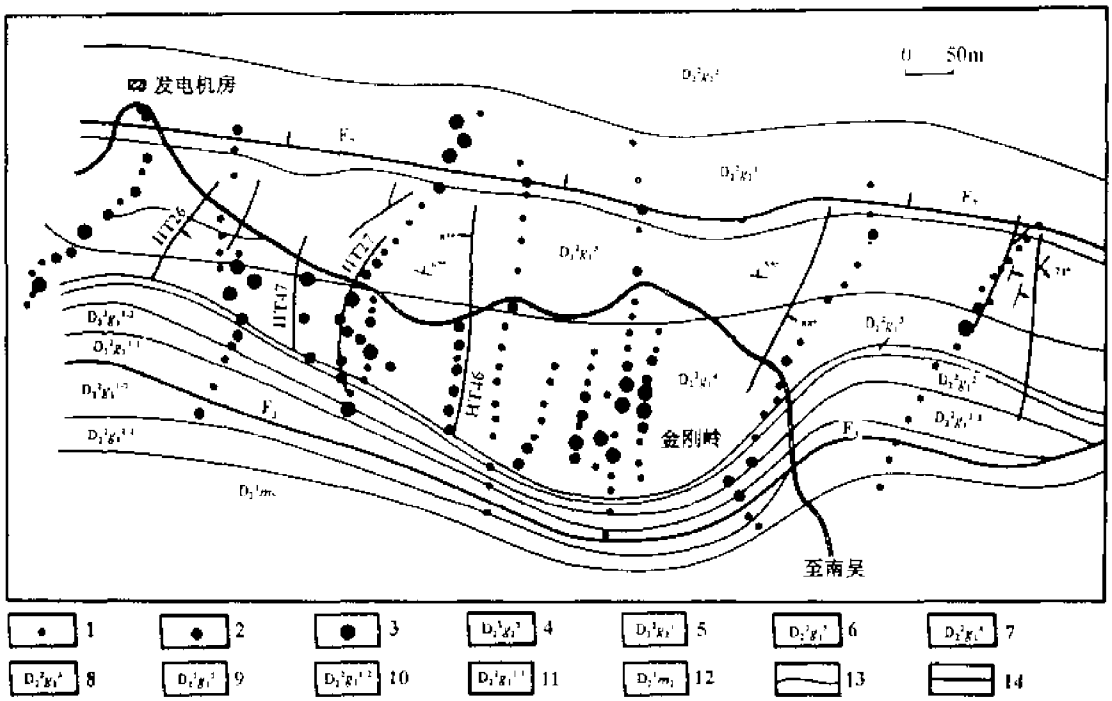


图 6-26 陕西公馆汞矿北黄壤中气汞量平面图

1—ρ(Hg)<200ng/m³；2—ρ(Hg)200～400ng/m³；3—ρ(Hg)>400ng/m³；4—灰白色中厚层状白云岩含砂白云岩夹黄灰色粘土质白云岩；5—黄灰色含砂粘土质白云岩灰白色白云岩；6—深灰色薄至中厚层状白云岩；7—灰白色厚至巨厚层状白云岩；8—灰黄色粘土质白云岩；9—灰白色厚至巨厚层状结晶白云岩；10—深灰色厚至中厚层状白云岩；11—深灰色白云岩、深色千枚岩、灰黄色粉砂质千枚岩夹白云岩透镜体；12—灰黄色粉砂质千枚岩夹白云岩透镜体；13—地质界线；14—断层

异常，若不首先对它们进行定性评价，不分青红皂白，就圈定它们的浓集中心，到头来是劳民伤财，白费气力。由于在类似的大的汞异常评价中，屡受挫折，人们逐渐对这些异常失去了兴趣，一律置之不理。那些真正与隐伏矿有关的汞异常，也很难引起人们的再度重视了。因此，矿化类型的识别也应予以足够的重视。作者在此推荐综合气体测量识别矿化类型的有效方法。下面以湖南新化锡矿山汞锑异常的筛选为例，说明综合气体测量在识别异常成因类型和矿化类型中的作用。

新化锡矿山是一个汞锑砷共生的矿床，它已有 100 余年的开采历史，采矿活动对周围的污染极为严重，在矿区范围内很难找到一处不受污染的地方，也很难找到一个 Hg、As、Sb 含量与正常区相当的样品。矿区周围的水系沉积物 Sb 异常达数百平方公里，土壤汞异常的范围也相当巨大。要想在锡矿山外围用勘查地球化学方法找矿，首先必须识别污染引起的异常，其次是与赤铁矿化有关的汞异常。气体测量可排除表土层污染的干扰（注意避开那些古老的大废矿堆）。壤中气气溶胶测量，可查明主要的成矿元素异常，可排除无经济价值的矿化类型。壤中气和壤中气气溶胶测量联测可达到识别矿化类型和排除多种干扰因素的目的。图 6-27 是新化锡矿山 37 线壤中气汞与壤中气气溶胶联测（或称综合气体测量）的结果，从该剖面南东延伸方向，在远离已知矿的地段，又出现了新的 Hg、Sb 异常，其异常强度和异常规模，均可与已知矿类比。为了证实该异常的可靠性，在 37 线剖面的两侧进行了加密测量，同时还进行了岩石测量。加密测量和岩石测量的结果，在原异常的相应地段

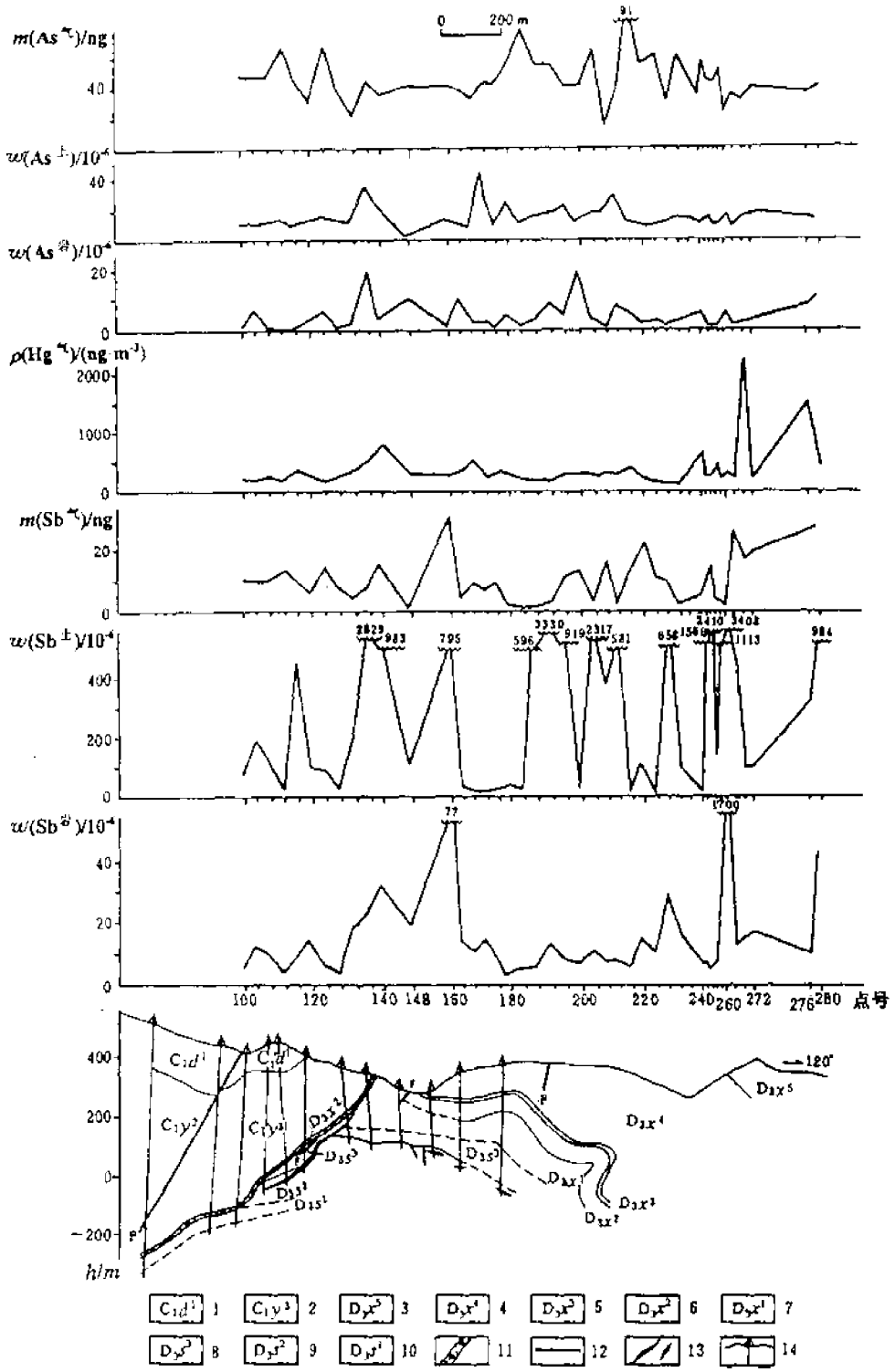


图 6-27　湖南省冷水江市锡矿山地区 37 线综合测量剖面

（地质剖面引自：湖南锡矿山矿务局地测处）

1—石炭系下统大塘阶石磴子段；2—石炭系下统岩关阶刘家塘段；3—泥盆系上统锡矿山组欧家冲段砂岩；4—泥盆系上统锡矿山组马牯脑段灰岩；5—泥盆系上统锡矿山组泥塘里段铁矿层；6—泥盆系上统锡矿山组兔子塘段灰岩；7—泥盆系上统锡矿山组长龙界段灰岩；8—泥盆系上统佘田桥组老江中泥灰岩段；9—泥盆系上统佘田桥组七里江灰岩段；10—泥盆系上统佘田桥组龙口冲段；11—破碎带；12—断裂；13—锑矿体；14—钻孔

均出现有强的 Hg、Sb 异常，证明该地段可能是较有前景的隐伏矿赋存地。由于经费原因，未作进一步的查证工作。从图 6-27 可以看出，严重污染的已知矿地段仅在已知矿上方才出现有明显的壤中气汞异常和气溶胶 As、Sb 异常，说明综合气体测量在识别矿化类型和区分干扰异常方面是比较理想的。

参 考 文 献

〔1〕B.B. 阿里斯托夫、Л.Л. 利亚霍夫，1982，隐伏矿床的普查问题，《国外地质科技》，№5，p. 70～86。

〔2〕B.Л. 巴尔苏科夫、С.В. 格里戈良、Л.Н. 奥夫钦尼科夫，吴传璧等译，1988，《金属矿床地球化学普查方法》，北京：冶金工业出版社。

〔3〕A.A. 别乌斯、С.В. 格里戈良，地科院情报所译，1979，矿床原生地球化学晕及其在普查中的应用，《化探资料选编二》，p. 1～72。

〔4〕波卡洛夫主编，秦国兴译，1981，《矿床预测和评价原理》上册，北京：地质出版社。

〔5〕常印佛等，1990，《长江中下游铜铁成矿带》，北京：地质出版社，p. 379。

〔6〕陈大康，1976，PAN～CDS 共沉淀化学光谱撤料法测定天然水中微量金属元素，《湖南地质科技》，No. 1。

〔7〕陈光远编著，1987，《成因矿物学与找矿矿物学》，重庆出版社。

〔8〕陈国达，1983，构造地球化学刍议，《构造地球化学文集》。

〔9〕陈文鉴等，1989，浅谈阿舍勒黄铁矿型多金属矿的垂直分带，《新疆地质》，V.17，№1。

〔10〕陈玉明译，1989，捷克研究用金属射气找矿，《地质科技动态》，№15，p. 30～31。

〔11〕陈毓川、朱裕生等，1993，《中国矿床成矿模式》，北京：地质出版社，p. 367。

〔12〕程裕淇等，1979，初论矿床的成矿序列问题，《中国地质科学院院报》，V.1，№1，p. 32～57。

〔13〕池三川编著，1988，《隐伏矿床的寻找》，北京：地质出版社，p. 117。

〔14〕寸丰，陈纪明，1995，《中国典型金矿床》，北京：地质出版社。

〔15〕地质矿产部地质调查局，1997，《矿产勘查标准丛书地球物理地球化学标准汇编》。

〔16〕地质矿产部地质调查局，1997，《物化探异常的筛选和查证》。

〔17〕地质矿产部科技司，1993，《地理信息系统及其在地学领域中的应用》译文集。

〔18〕地质矿产部科技司，1996，应用地理信息系统的设计和实况。

〔19〕地质矿产部情报研究所，1987，《1∶5 万区域地质调查中的地球化学方法及其作用》，p. 39。

〔20〕丁鹏飞，1991，1∶5 万比例尺成矿预测综合信息法，《成矿预测文集》，北京：地质出版社。

〔21〕杜建国，1994，深部物质运动的气体地球化学特征，《地球科学进展》，№3，p. 48～51。

〔22〕付晓泰等，1997，天然气组分的溶解特征及其意义，《地球化学》，V.26，№3，p. 60～61。

〔23〕С.В. 格里戈良等编，1983，吴传璧，邱郁文译，1985，《苏联固体矿产化探规范》，北京，地质矿产部情报研究所，p. 296。

〔24〕古平等，1987，河台金矿化探找金效果，《地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所所刊》，第 2 号，p. 21～26。

〔25〕古平等，1990，某些热液金矿床地球化学特征及原生分带研究，《地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所所刊》，第 4 号，p. 1～34。

〔26〕古平等、余学东，新疆哈图金矿床地球化学模式与金异常评价方法，《地球化学探矿实例》第四辑，北京：地质出版社，p. 128～142。

〔27〕郭文魁等，1987，《1∶400 万中国内生金属成矿图》说明书，北京：地质出版社。

〔28〕杭州大学分析化学教研室编，1980，化学分析手册第三分册《电化学分析与光谱分析》，北京：化学工业出版社，p. 1045。

〔29〕胡国尧，1991，岩浆型 Cu-Ni 硫化物矿床地质概念模型，《地球科学》，V.16，№3，p. 250～255。

〔30〕季克俭等，1989，《热液矿床的矿源和热源及矿床分布规律》，北京：地质出版社。

〔31〕姜泽春，1993，纳米科学与地学，《地质地球化学》，№2，p. 21～25。

〔32〕姜泽春，1996，金的气相迁移探索，《地质地球化学》，№2，p. 23～26。

〔33〕金仰芬、伍宗华，1991，汞量测量在金矿勘查中的应用，《地球化学探矿实例》第四辑，北京：地质出版社，p. 143～151。

〔34〕金仰芬、伍宗华，1991，壤中气 Rn-Hg 联测方法与应用，《物探与化探》，V. 15，№5，p. 385～392。

〔35〕考克斯，宋伯庆译，1990，《矿床模式》，北京：地质出版社。

〔36〕A. H. 克里夫佐夫等，1987，斑岩铜矿床的理想模式，《国外地质科技》，№5，p. 18～27。

〔37〕M. 克维亚特科夫斯基，张国容、邱郁文译，1987，《岩石化学找矿法》，北京：地质出版社，p. 185。

〔38〕IO. 雷斯，1953，张肇元、崔林沛译，1986，《地电化学勘探法》，北京：地质出版社。

〔39〕李惠，1991，《石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式》，北京：科学出版社，p. 70。

〔40〕李惠等，1998，《大型、特大型金矿自矿预测的原生叠加晕模型》，北京：冶金工业出版社，p. 125。

〔41〕李九玲等，1994，化合物 KAuS 中金呈负价态，《科学通报》，V. 39，№22，p. 2050～2054。

〔42〕李九玲等，金在硫化物矿物中呈负价态存在及其形成机理初探，《地质学报》，V. 69，№1，p. 67～77。

〔43〕李善芳，1972，长江中下游地区寻找夕卡岩铜矿的地球化学方法研究的某些结果，《物探与化探》，№1，p. 46～57。

〔44〕李善芳，1988，地气法简介，《国外地质勘探技术》，№2～3，p. 170。

〔45〕李善芳，1989，地球化学勘查工作进展，《物探与化探》，V. 13，№5，p. 333～343。

〔46〕李应桂，徐外生等，1990，新疆喀拉通克铜镍矿床地球化学异常模式的研究，《地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所所刊》，第 4 号，p. 35～50。

〔47〕李有禹，1997，湘西北镍钼多金属矿床的地球化学特征，《地球化学》，V. 26，№3，p. 80～89。

〔48〕廖自基，1983，《环境中微量金属的污染危害与迁移转化》，北京：科技出版社，p. 325。

〔49〕林存山，1986，美国化探概况，《国外地质勘探技术》，№4，p. 36～38，31。

〔50〕林存山，1986，美国化探概况，《国外地质勘探技术》，№5，p. 43～46。

〔51〕刘崇民，徐外生，1994，隐伏矿的地球化学异常模式及其应用，《地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所所刊》，第 5 号，p. 160～186。

〔52〕刘崇喜等，1991，《油气化探与应用》，合肥：中国科技大学出版社，178p。

〔53〕刘建琪等，1992，《电子能谱学引论》，北京：国防工业出版社，639p。

〔54〕刘世宏等，1988，《X 射线光电子能谱分析》，北京：科学出版社，400p。

〔55〕刘迅，1988，矿田构造地球化学，《地质与勘探》，№9，p. 53～55。

〔56〕刘英俊等，1984，《元素地球化学》，北京：科学出版社，p. 70。

〔57〕莫根生，1981，壤中气汞量测量方法仪器及效果，《物探与化探》，V. 5，№10，p. 221～234。

〔58〕南京大学地质系编，1979，《地球化学》，北京：科学出版社，p. 514。

〔59〕欧阳宗圻、李惠、刘汉忠，1990，《典型有色金属矿床地球化学异常模式》，北京：科学出版社，p. 178。

〔60〕彭希龄、盛志伟著，1993，《准噶尔盆地东部烃类微渗漏研究》，北京：海洋出版社，p. 450。

〔61〕切克瓦伊译著，1988，网脉型金-硫化物-石英矿化的矿物—地球化学普查模式，《国外地质科技》，№10。

〔62〕B. K. 琼斯，1994，应用金属分带现象在斑岩铜矿系统中勘查金，《国外地质科技》，№3，p. 31～36。

〔63〕翟裕生、1981，《侵入接触构造及其控矿作用矿田构造与成矿》，北京：地质出版社。

〔64〕翟裕生主编，1984，《矿田构造学概论》，北京：地质出版社。

〔65〕任天祥、赵云，1984，内蒙古干旱地区化探方法研究，《物探与化探》，V. 8，№5，p. 284～295。

〔66〕任天祥、伍宗华、关荣生，1997，《区域化探异常筛选与查证方法技术》，北京：地质出版社，p. 138。

〔67〕任天祥，1993，华北地台北缘找寻隐伏铅锌矿床的水地球化学方法研究，《物探与化探》，V. 17，№6，p. 475～476。

〔68〕任天祥等，1995，纳米科学与隐伏矿床——一种找寻隐伏矿的新方法新技术，《科学学报》，№8，p. 18～19。

〔69〕阮天健，朱有光，1985，《地球化学找矿》，北京：地质出版社，p. 286。

〔70〕A. A. 萨乌科夫，谢学锦译，1955，《汞的地球化学》，北京：科学出版社，p. 193。

〔71〕A. A. 斯梅尔斯洛夫，阎本立译，1985，《地球化学预测与找矿》，北京：地质出版社。

〔72〕A. H. 苏尔坦霍贾耶夫，蔡祖煌译，1983，《放射性气体在研究地质过程中的作用》，北京：地震出版社，p. 124。

〔73〕杉山雄一等，1989，用 Rn 和 CO_2 进行地球化学探测的适用性及其主要问题，《国外铀金地质》，№3，p. 68～

72。

〔74〕邵跃，1984，矿床元素分带的研究及其地球化学找矿中的作用，《地质与勘探》，№2，p.47～54。

〔75〕邵跃等，1985，运用地球化学方法寻找铁矿床的研究，《勘查地球物理地球化学文集》第四辑，北京：地质出版社。

〔76〕邵跃、羌荣生，1992，岩石地球化学测量方法找盲矿的一次成功尝试，《有色金属矿产与勘查》，V.1，№6。

〔77〕邵跃，1997，《热液矿床岩石测量（原生晕法找矿）》，北京：地质出版社，p.143。

〔78〕邵震，1981，介绍一种油气地球化学新方法，《油气化探》，№1。

〔79〕舍赫特曼编著，石本立译，1982，《热液矿床详细构造预测图》，北京：地质出版社。

〔80〕沈阳地质矿产研究所编，1985，《中国金矿成矿规律的初步研究》，北京：地质出版社。

〔81〕沈阳地质矿产研究所编，1988，《中国金矿主要类型区域成矿条件文集5.胶东地区》，北京：地质出版社，p.209。

〔82〕施俊法等编译，1997，《金属气相迁移新机制——金属矿床气体地球化学测量新技术》，北京：中国地质矿产信息研究院，p.98。

〔83〕盛继孟、伍宗华、陈履安，1992，《汞矿石分析》，北京：地质出版社，p.182。

〔84〕孙殿卿，1987，《隐伏矿床预测》，北京：地质出版社。

〔85〕童纯菡等，1991，某金矿床地气异常初步研究及其地质意义，《成都地质学院学报》，V.18，№3，p.116～121。

〔86〕童纯菡等，1992，地气测量研究及在东季金矿床的试验，《物探与化探》，V.16，№6，p.445～451。

〔87〕涂光炽，1983，与找矿有关的几个问题，《地质与勘探》，№4，p.7～15。

〔88〕王学求等，1995，地气动态提取的研制及在找寻隐伏矿上的初步试验，《物探与化探》，V.19，№3，p.161～171。

〔89〕王仲等主编，1996，《隐伏有色金属矿床综合找矿模型》，北京：地质出版社，p.210。

〔90〕吴昌荣，1984，应用碘作为找盲矿指示元素的探讨，《地质与勘探》，№7，p.55～60。

〔91〕吴承烈，1978，斑岩铜钼矿地球化学异常特征与评价的初步研究，《物探与化探》，V.2，№3，p.1～15。

〔92〕吴承烈，1987，地质系统勘查地球化学研究工作的回顾与展望，《庆祝建所三十周年纪念专刊》，p.27～31。

〔93〕吴承烈，1993，建立矿产地球化学模型—模式系统，《物探与化探》，V.17，№3，p.161～165。

〔94〕吴承烈、徐外生、刘崇民，1998，《中国主要类型铜矿床勘查地球化学模型》，北京：地质出版社，p.245。

〔95〕吴传璧，1993，地气法—种寻找隐伏矿床的新技术，《国外地质科技》，№4，p.62～69。

〔96〕吴传璧，1997，地气法在我国的研究现状及前景，《国外地质勘探技术》，№1，p.16～19。

〔97〕吴传璧，1997，离子晕法及其方法学意义，《地质与勘探》，№5，p.35～40。

〔98〕吴传璧、施俊发，1998，上覆晕与物质的"类气相垂向迁移"，《地学前缘》，V.5，№1～2，p.185～194。

〔99〕吴慧山，1995，《Rn气测量与应用》，北京：原子能出版社。

〔100〕毋瑞身等，1985，《中国金矿成矿规律的初步研究》，北京：地质出版社。

〔101〕伍宗华，1967，冷提取在区域化探中的应用，《全国冷提取第三次推广会论文汇编》。

〔102〕伍宗华、金仰芬，1979，运积物覆盖区矿床上方壤中气汞异常特征，《物探与化探》，V.3，№6，p.40～44。

〔103〕伍宗华、金仰芬，1981，运积物覆盖区壤中气汞量测量，《物化探研究报导》，№10，p.279～313。

〔104〕伍宗华、金仰芬，1983，提高壤中气汞量测量精度的新进展，《地质论评》，V.29，№1，p.81～86。

〔105〕伍宗华，1985，我国金矿化探的一些新进展，《地质科技通讯》，№1，p.3。

〔106〕伍宗华、金仰芬，1986，某些非背斜圈闭型油气田上方的汞异常特征，《物探与化探》，V.10，№4，p.252～261。

〔107〕伍宗华、金仰芬，1986，水电化学方法找寻运积物覆盖区的金矿床，《第三届勘查地球化学学术讨论会论文选编》，北京：冶金出版社，p.77～81。

〔108〕伍宗华，1987，汞量测量对寻找各类型矿床中的应用，《地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所所刊》，第3号，p.165～195。

〔109〕伍宗华，1987，气体地球化学方法的应用，《当代地质科学动向》，p.279～281。

〔110〕伍宗华、金仰芬，1987，水电化学方法寻找运积物覆盖区的金矿床，《物探与化探》，V.11，№4，p.251～256。

〔111〕伍宗华、金仰芬，1987，汞蒸气测量在勘查中的应用及其发展趋势，《庆祝建所三十周年纪念专刊》，p.103

105。

[112] 伍宗华、金仰芬，1988，壤中气CO_2现场累积测定方法的初步研究，《物探与化探》，V.12，№1，p.28～32。

[113] 伍宗华、金仰芬，1988，运积物覆盖区焦家式金矿地球化学快速评价方法研究，《中国金矿主要类型区域成矿条件文集 5．胶东地区》，北京：地质出版社，p.178～209。

[114] 伍宗华、金仰芬，1990，浙东南火山岩区区域物化探特征及与成矿关系的研究，《中国金矿研究文集》，北京：地质出版社。

[115] 伍宗华、金仰芬，1991，地电化学和水电化学在金矿勘查中的应用，《地球化学探矿实例》第四辑，北京：地质出版社，p.163～170。

[116] 伍宗华、金仰芬，1993，壤中气 Rn-Hg 联测在工程地质勘查中的应用，《第四届勘查地球化学学术讨论会论文摘要》，北京：地质出版社。

[117] 伍宗华、金仰芬，1993，元素分带及其在地质找矿中应用的几个问题，《物探与化探》，V.17，№1，p.7～13。

[118] 伍宗华、金仰芬、古平等编著，1994，《汞的勘查地球化学》，北京：地质出版社，p. 189。

[119] 伍宗华、金仰芬，1995，地气测量在叶县—邓县－南漳地学剖面中的应用，《岩石学报》，V.11，№3，p.333～342。

[120] 伍宗华，1996，管窥俄罗斯的地球化学勘查，《中国矿业报》，1月6日第四版。

[121] 伍宗华、金仰芬，1996，山东邹平铜矿床上方地气流的组分特征及赋存状态的研究，《物探与化探》，V.20，№1，p.14～22。

[122] 伍宗华、金仰芬，1996，地气测量的原理及其在地质勘查中的应用，《物探与化探》V.20，№4，p.259～264。

[123] 谢苗诺夫、傅良魁等译，1958，《自然电场法电法勘探》，北京：地质出版社，p. 203。

[124] 谢学锦、陈洪才，1961，原生晕方法在普查勘探中的应用，《地质学报》，№4，p.261～272。

[125] 谢学锦、邵　跃，1965，地球化学岩石测量方法与推断解释方法，《物化探研究报导》，№5。

[126] 熊昭春著，1992，《泡塑吸附技术研究及其在化学分析中的应用》，北京：地质出版社，p. 203。

[127] 徐应成等，1997，华能南京电厂不同粒径粉煤灰中微量元素分布及其富集规律，《地质地球化学》，V.26，№3，p.73～78。

[128] 徐外生等，1980，黑龙江某铜矿床的原生异常特征及评价标志，《物探与化探》，V.4，№2，p.41～44。

[129] 徐外生等，1980，江西某铜矿床原生晕及其形成的探讨，《物探与化探》，V.4，№3，p.46～54。

[130] 徐外生、刘崇民、庞庆恒，1991，深部隐伏多金属矿床的地球化学异常，《物探与化探》，V.15，№4，p.300～306。

[131] 鄢明才等，1997，《中国东部地壳与岩石圈的化学组成》，北京：科学出版社，p. 292。

[132] 于崇文、沈镛立等，1987，《广东一六地区区域地球化学研究》，北京：地质出版社。

[133] 于崇文，1988，《云南个旧锡多金属矿成矿区内生成矿作用的动力学体系》，武汉：中国地质大学出版社。

[134] 云南林学院主编，1979，《气象学》北京：农业出版社。

[135] 章崇真，1987，浅谈成矿系列和矿床组合模式，《中国地质报》。

[136] 赵伦山、吴悦斌、沈镛立著，1993，《基岩地球化学测量方法》，北京：地质出版社，p. 135。

[137] 中华人民共和国地质矿产部《区域地质调查工作要求》（试行），1：50000，1983。

[138] 中国矿床编委会，1989，《中国矿床》，北京：地质出版社。

[139] 周永章，1995，元素迁移的分维结构，级序路径及共轭地球化学异常存在的理论依据，《地球化学》，V.24，№1，p.69～75。

[140] 邹光华等著，1996，《中国主要类型金矿床找矿模型》，北京：地质出版社。

[141] A. A. Levinsson, 1971. Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltd., Calgary, p. 612.

[142] H. E. Hawkes, J. S. Webb, 1962. Geochemistry in mineral exploration. New York and Evanston: Harper and Row, p. 415

[143] Jin Yangfen, Wu Zonghua, 1993, Mercury in Water an Optimal Warning index of an earthquake. The 15th International Geochemical Exploration Symposium, 1～6, September, Beijing, China.

[144] K. Kristiansson, I. Malmqvist, 1982. Evidence for nondiffusive transport of Rn in the ground and a new physical model for the transport. Geophysics, V.27, №10, p.1444～1452。

〔145〕 K. Kristiansson, L. Malmqvist, and W. Persson. 1990. Geogas prospecting: A new tool in the search for concealed mineralizations. Endeavour, new Series, №1, p. 28～33.

〔146〕 K. Kristiansson, L. Malmqvist, 1987. Trace elements in geogas and their relation to bedrock composition. Geoexploration, №24, p. 517～534.

〔147〕 Li Shanfang, Wu Zonghua, Liu Jimin, 1993. Nonconventional geochemical exploration of gold deposits in Xinjiang and Henan Provinces, China. International Geology Review, V. 30, p. 1030～1036.

〔148〕 L. Malmqvist, K. Kristiansson, 1984. Experimental evidence for an ascending microflow of geogas in the ground. Earth and Planetary Science Letters, V. 70, p. 407～416.

〔149〕 L. Malmqvist et al., 1987. New methods for mineral prospecting using PIXE and complementary techniques. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B22, p. 386～393.

〔150〕 R. W. Boyle, 1971, The geochemistry of gold and its deposits. Geological Survey of Canada.

〔151〕 R. W. Boyle, 1977, Geochemistry overview. "Exploration 77".

〔152〕 R. W. Boyle, 1981. Geochemical method for the discovering of blind mineral deposits. Geological Survey of Canada.

〔153〕 R. W. Klusman. 1993. Soil gas and methods for natural resource exploration. New York: John Wily and sons.

〔154〕 Wu Zonghua and Jin Yangfen. 1981. A mercury vapor survey in an area of thick transported overburden near shanghai. J. Geochem Explor., 15: p. 77～92.

〔155〕 Wu Zonghua and Jin Yangfen. 1989. Gold concentration from well water by the hydroelectrical extraction method. J. Geochem. Explor., 33: p. 247～254.

〔156〕 Wu Zonghua, Jin Yangfen, 1993. Application of Hg Vapour survey Shangdong Province Au deposit. The 16th International Geochemical Exploration Symposium, 1～6, September, Beijing, China.

〔157〕 Wu Zonghua, Jin Yangfen, 1993. Hg vapour geochemistry in karst cave exploration. The 16th International Geochemical Exploration Symposium, 1—6, september, Beijing, China.

〔158〕 А. А. Беус, С. В. Григорян, 1975. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М: Недра.

〔159〕 А. Г. Глухов, А. А. Волов, 1995. Применение атмогеохимической съемки при поисках перекрытых золоторудных объектов. Отечественная геология, 12: с. 33～39.

〔160〕 В. З. Фурсов, 1975. Поиски рудных месторождений. 《Разведка и Охрана Недр》, №3, с. 13～16.

〔161〕 В. З. Фурсов, 1977. Поиски рудных месторождений по газовым ореолам рассеяния ртути. Совет. геол., №4, с. 55～65.

〔162〕 В. З. Фурсов. 1977. Ртуть—индикатар при геохимических поисках рудных месторождений. М.: Недра. 143с.

〔163〕 В. З. Фурсов, 1983. Газортутный метод поисков месторождении полезных ископаемых. Изд. Наука. 205с.

〔164〕 Н. А. Озерова, 1959. О применении ореолов рассеяния ртути для поисков свинцово—цинковых месторождении. 《Геохимия》, №. 7, с. 638～645.

〔165〕 Н. А. Озерова, 1962. Первичные ореолы рассеяния ртути. Труды ИГЕМ. вып. 72, 128с.

〔166〕 Ф. Ф. Путиков, 1993. Геоэлектрохимические методы поисков и разведки, 114с.

〔167〕 Ф. Ф. Путиков, А. С. Духанин, 1994. О возможном механизме формирования "струйных" ореолов рассеяния. Доклады РАН., №2, с. 219～221.

〔168〕 Ю. С. Рысс, А. В. Антропова, И. С. Гольдберг, 1977. Использование геоэлектрохимических методов для глубинных поисков, оценки рудопроявлений и разведки месторождений. 《Советская Геология》, № 6, с. 139.

附录一　气体测量常用计量单位[1]

1. 常用法定计量单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	备　注
长　度	l（L）	米	m	1 埃（Å）$=10^{-10}$ m$=0.1$ nm 1 海里（nmile）$=1852$ m 1 英尺（12 英寸）$=0.3048$ m 1 市尺（10 市寸）$=1/3$ m 1 英寸$=0.0254$ m
质　量	m	千克（公斤）	kg	1 吨（t）$=10^3$ kg 1 原子质量单位（u）$=1.66\times10^{-27}$ kg 1［米制］克拉$=2\times10^{-4}$ kg 1 市斤$=0.5$ kg 1 磅$=0.4536$ kg 1 盎司（常衡）$=28.3495$ g 1 英吨（2240 磅）$=1016.0470$ kg 因为常用的法定计量单位的词头有： m（毫）$=10^{-3}$，μ（微）$=10^{-6}$， n（纳）$=10^{-9}$，p（皮）$=10^{-12}$， 所以工作中可选用合适的单位 mg、μg、ng、pg 等。
面　积	A，(S)	平方米	m^2	1 靶恩（b）$=10^{-28}m^2$　是适用于原子物理学的 SI 导出单位
压　力 压　强 应　力	p	帕（斯卡）	Pa	1 巴（bar）$=10^5$Pa 1 标准大气压（atm）$=101325$Pa 1 毫米汞柱（mm Hg）$=133.322$Pa 1 工程大气压（at）$=9.80665\times10^4$Pa
功 能　量 热	W，(A) E，Q	焦　耳	J	1 电子伏特（eV）$\approx1.6021892\times10^{-19}$J 1 卡［路里］（cal）$=4.1868$J 1 尔格（erg）$=10^{-7}$J

2. Rn 测量中常用法定计量单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	备　注
（放射性）活度	A	贝可（勒尔）	Bq	1 贝可(Bq)＝放射性核素每秒变一次(s^{-1}) 1 居里(Ci)$=3.7\times10^{10}$贝可(Bq)　(Ci 为旧单位) 1 贝可(Bq)$=2.7\times10^{-11}$居里(Ci)
照射量	X	库(仑)每千克	C/kg	1 伦琴(R)$=2.58\times10^{-4}$库仑每千克(C/kg)　(R 为旧单位) 1 库仑/千克(C/kg)$=3.88\times10^3$ 伦琴(R)
照射量率	$\dot{X}$	库仑每千克秒	C/(kg·s)	1 伦琴/秒(R/s)$=2.58\times10^{-4}$库仑/千克·秒(C/kg·s) 1 微伦琴/小时(μR/h)$=1\times10^{-6}$伦琴/小时(R/h)＝1 伽马(Γ) 1 伽马(Γ)$=7.17\times10^{-14}$库仑/千克·秒(C/kg·s)

[1] 以上气体测量中某些常用单位不是法定计量单位，应改用法定单位。

续表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	备　　注
能注量	Ψ	焦耳每平方米	J/m^2	能注量(Ψ)=入射粒子能量总合(dE)/截面积(dS)=$\frac{d(\sum_n E_i)}{dS}$
能注量率	φ	焦耳每平方米每秒	$J/(m^2 \cdot s)$	能注量率(φ)=$\frac{d\Psi}{dt}=\frac{d^2E}{dt}$
放射性气体的活度浓度	c_A	贝可(勒尔)每升	Bq/L	1 埃曼(eman)=10^{-10}居里/升(Ci/L)=3.7 贝可/升(Bq/L)
放射性元素的质量分数	$w(K)$ $w(U)$[①] $w(Th)$ $w(eU)$[②]	百分之… 百万分之… 百万分之… 百万分之…	% 10^{-6} 10^{-6} 10^{-6}	应指出：过去常用的表述"放射性元素的含量为 n%K、n×ppmU、n×ppmeU、n×ppmTh"等应予废除。这是因为：①述语"含量"含意广泛，不能作为物理量名称，此处应改为"质量分数"；②单位中不应含有物质的符号及其状态，这些信息应置于"量"的主符号后的括号中。
α射线的径迹密度	J	α射线径迹数每平方毫米	$1/mm^2$	
计数率	n、I、	脉冲数每秒，脉冲数每分	c/s c/min	c 代表 counts(计数) 过去使用 cps 及 cpm，现废除。

①当确知是铀系(或钍系)元素，且该系列达到放射性平衡时，起始元素铀(或钍)的质量分数的量符号为 $w(U)$或 $w(Th)$。②当放射性元素是什么及平衡状态不明时，据放射性测量折算出的"等效铀质量分数"(mass fraction of equivalent U)(或称为"当量铀质量分数")的符号为 $w(eU)$；且将 $w(eU)=10^{-6}$作为泛指放射性元素的质量分数单位，称之为"放射性元素含量单位"，符号为 U。

3. 汞蒸气测量中常用法定计量单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	备　　注
土壤吸附汞的质量分数	$w(Hg)$	百分之… 百万分之… 十亿分之… 万亿分之…	% μg/g 或 10^{-6} ng/g　10^{-9} pg/g　10^{-12}	
壤中气和大气汞质量浓度	$\rho(Hg)$	克每立方米(或升)	$g/m^3(L)$ $\mu g/m^3(L)$ $ng/m^3(L)$ $pg/m^3(L)$ $fg/m^3(L)$ $ag/m^3(L)$	
土壤热释汞温度	t	摄氏度	℃	
土壤热释汞质量分数	$w(Hg)$	百分之… 百万分之… 十亿分之…	% μg/g ng/g	

4. 壤中气 CH_4 和 CO_2 常用法定计量单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	备　注
壤中气 CO_2 的质量浓度	$\rho(CO_2)$	克(毫克)每立方米	g/m^3, mg/m^3	
ΔC 的质量分数	w(ΔC, 土样中)	克每千克	g/kg	
壤中气 CH_4 的质量浓度	$\rho(CH_4)$	克(毫克)每立方米	g/m^3, mg/m^3	
土壤酸解烃的质量体积	V_m(酸解烃, 土壤样)	微升每千克	μL/kg	

附录二　饱和汞蒸气的浓度

t / ℃	质量浓度/(ng·mL^{-1})	t / ℃	质量浓度/(ng·mL^{-1})	t / ℃	质量浓度/(ng·mL^{-1})
−20	0.24	10	5.52	28	25.19
−15	0.42	11	6.08	29	27.25
−10	0.74	12	6.63	30	29.46
−5	1.28	13	7.25	31	31.83
−4	1.40	14	7.91	32	34.37
−3	1.58	15	8.63	33	37.10
−2	1.74	16	9.41	34	40.03
−1	1.92	17	10.25	35	43.17
0	2.19	18	11.15	36	46.60
1	2.42	19	12.12	37	50.20
2	2.67	20	13.18	38	54.00
3	2.92	21	14.31	39	58.20
4	3.20	22	15.54	40	62.60
5	3.52	23	16.87	41	67.30
6	3.86	24	18.30	42	72.30
7	4.24	25	19.85	43	77.60
8	4.64	26	21.50	44	83.20
9	5.09	27	23.28	45	89.20

(据汞蒸气测量规范,1992)

附录三　饱和汞蒸气的蒸气压

温度/℃	饱和蒸气压/Pa	温度/℃	饱和蒸气压/Pa
−30	637.27916×10⁻⁶	190	1656.259206
−20	2413.1282×10⁻⁶	200	2301.737414
−10	8079.3132×10⁻⁶	210	3162.797806
−0	24664.57×10⁻⁶	220	4281.036826
+0	0.02466457	230	5731.379456
10	0.06532778	240	7580.022310
20	0.160119722	250	9915.823750
30	0.370235194	260	12838.37531
40	0.810464438	270	16461.26734
50	1.68918974	280	20914.22214
60	3.36504728	290	26340.42754
70	6.4327865	300	32903.86960
80	11.8389936	310	40781.86658
90	21.0915404	320	50173.06826
100	36.3835738	330	61293.45628
110	60.9548184	340	74380.3438
120	99.4182154	350	89684.37618
130	158.119892	360	107488.1961
140	245.97909	370	128077.1125
150	374.234854	380	151773.7648
160	558.485858	390	178904.7918
170	816.997216	400	209848.8280
180	1172.700312		