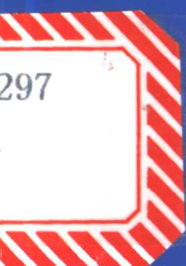
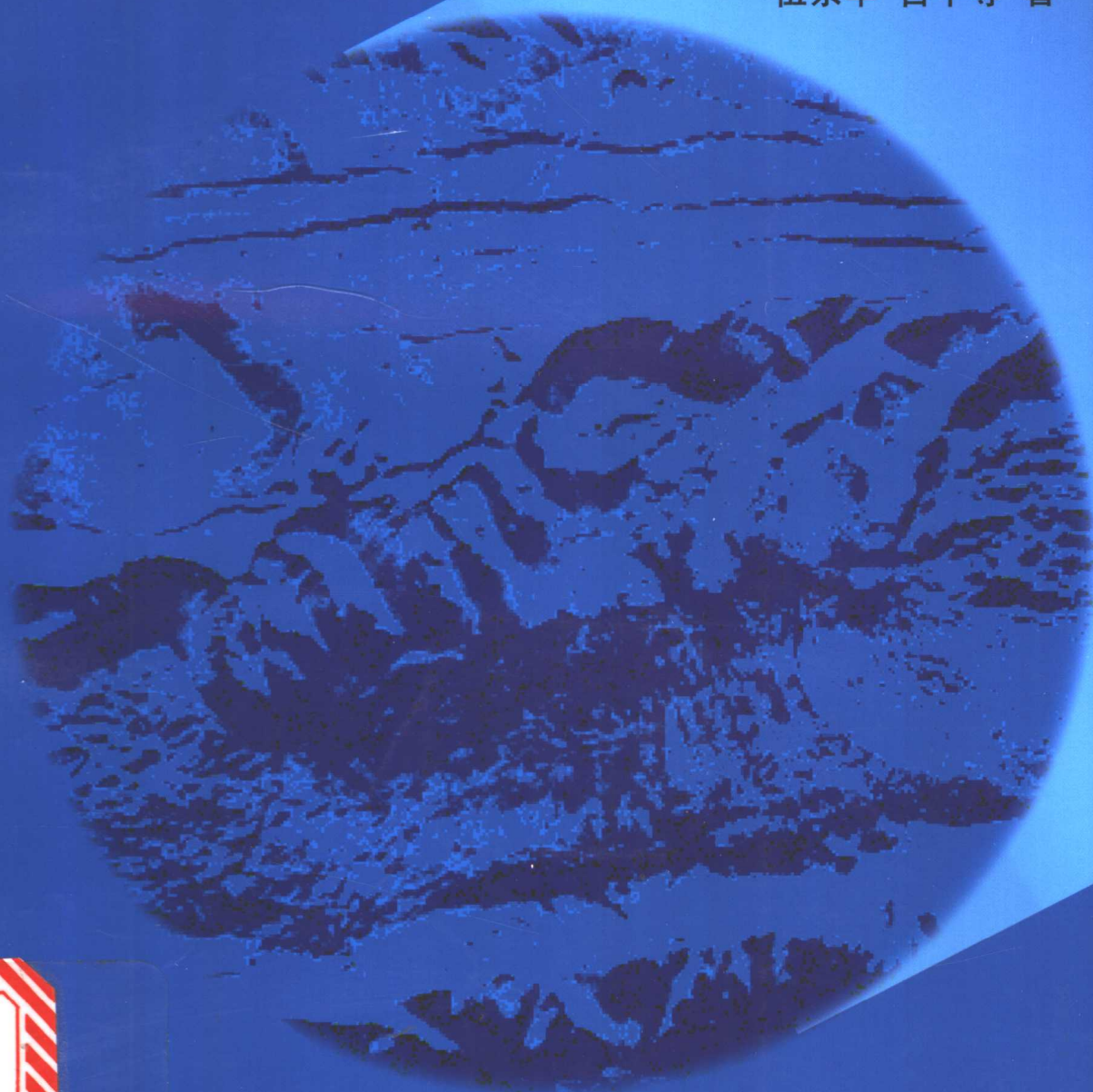


隐伏矿床的地球化学勘查

伍宗华 古平等 著



地质出版社

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 N. 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 王永奉

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蔽层（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。本书作者以其敏锐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。

吴传登

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。中国地质科学研究所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 CO₂ 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 河南上官地区的地球化学勘查与隐伏矿预测.....	146
第三节 上海张埭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以下几个方面:

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的发展。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。据我国地质部门的统计,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 and 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” “山有丹砂者, 下有黄金” “山有磁石者, 下有铜金” “山有赭者, 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 Agricola 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 (B. M. 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. Emmons, 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. И. 基里柯夫 (А. И. Кириков)^[99] 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. Borrieger, 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. Рысс, 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 B. B. 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 Singer)^[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 CO₂ 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^[140]、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 И. 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容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。

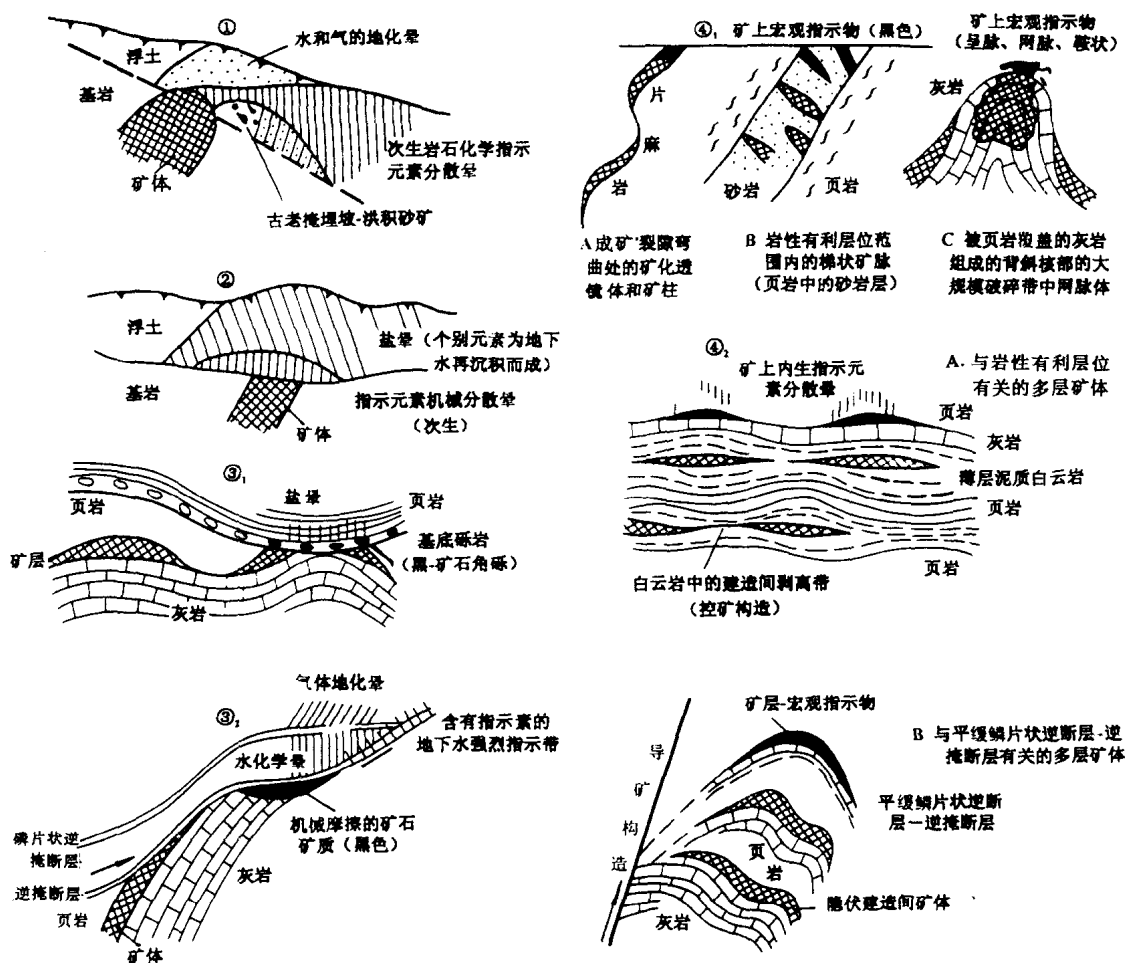


图 2-1 II. A. 舍赫特曼等人的隐伏矿床分类示意图

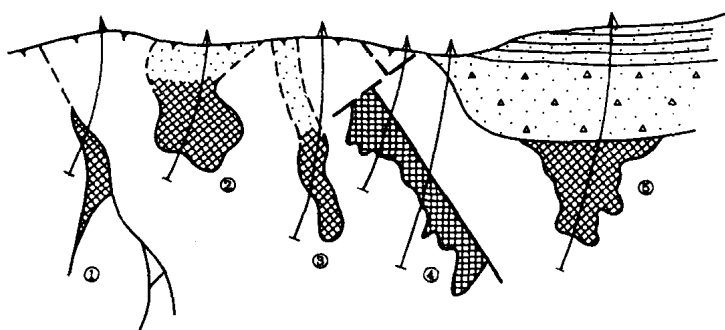


图 2-2 彼得斯的隐伏矿床分类示意图

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。

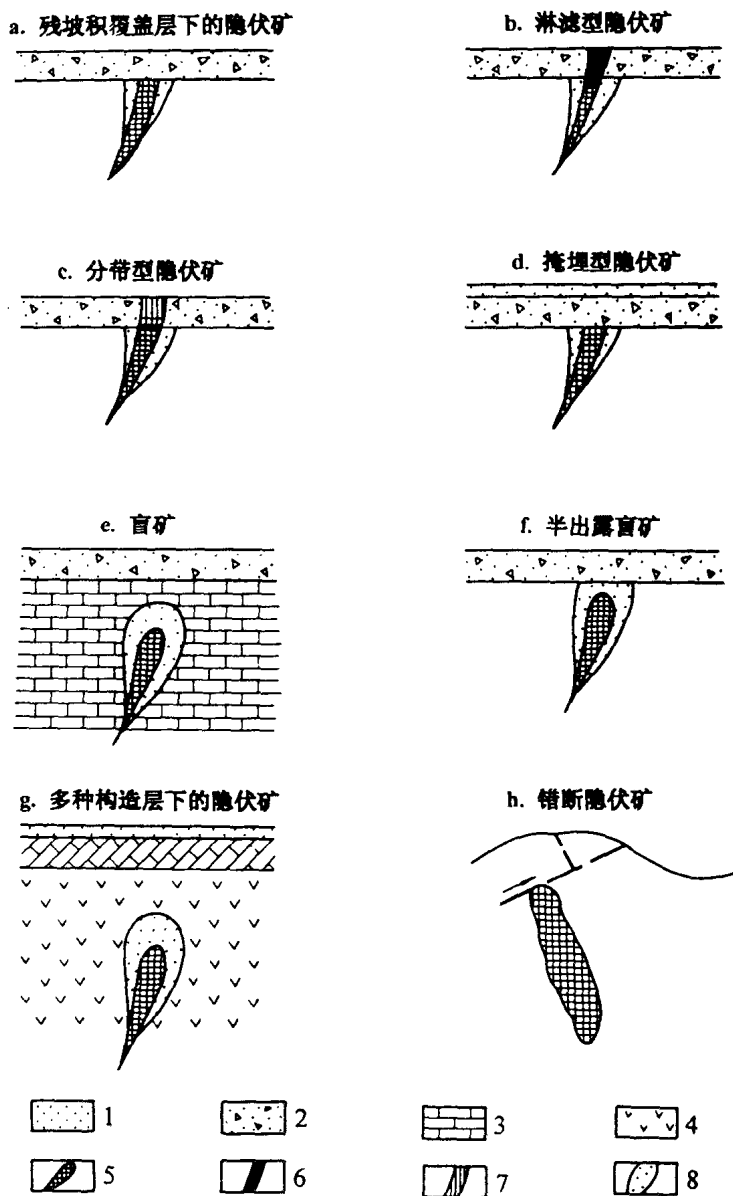


图 2-3 隐伏矿床的地球化学分类

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