

勘查地球化学

刘英俊 邱德同等 编著

科学出版社

勘 查 地 球 化 学

刘英俊 邱德同等 编著

科 学 出 版 社

1 9 8 7

内 容 简 介

本书是一本地球化学应用方面的专著，它完整系统地概括了勘查地球化学基本知识和最新研究成果；是编著者在多年教学和科研的基础上，参阅了国内外大量的最新资料写成。

全书除绪论外，共分十九章，大体可分三大部分。第一部分（1—7章）是岩石地球化学勘查，着重对各类成因矿床的原生地球化学异常进行了详细的阐述。第二部分（8—13章）论述了土壤、水、生物、气体等介质中的次生地球化学异常及其勘查评价方法。第三部分（14—19章）介绍了现代勘查地球化学迅速发展的新领域、新分支，如卤素地球化学勘查、热压地球化学勘查、同位素地球化学勘查、油气藏地球化学勘查、海洋地球化学勘查等，分别对它们的方法原理和最新成就作了扼要叙述。本书理论结合实践，内容丰富新颖，从中可以了解到这一学科领域的发展概貌。

本书可供地质勘探、地球化学、地理、环境、土壤、海洋等方面的科技工作者及有关院校的师生参考。

勘 查 地 球 化 学

刘英俊 邱德同 等 编著

责任编辑 谢洪源

科 学 出 版 社

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年8月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1987年8月第一次印刷 印张：24 3/4

印数：精：1—950 插页：精 2
平：1—1,200 字数：574,000

统一书号：13031·3415

本社书号：4508·13-14

定价：布脊精装6.80元
平 装5.80元

前 言

勘查地球化学是地球化学应用方面的一个分支学科，是新兴的地质勘查学之一。当前它无论在勘查对象或技术方法等方面都在不断地扩大范围，它已不仅仅是圈定异常来发现各种矿床，而且也负有解决地质问题 and 环境质量评价等多种使命。在各种地质勘查方法组合中，勘查地球化学是经济效益相对较好的一种方法，同时对它的研究，也为地质学和地球化学带来了更加丰富的内容，有助于地质地球化学理论水平的提高，因而它在经济建设中的作用日趋突出。

近十余年来，勘查地球化学的发展十分迅速。为了使有关人员对这一新学科的基本内容及发展成就有一全面了解，进而促进本学科在理论上的发展和实践上的广泛应用，同时，也为了使地球化学能有基础理论和生产应用的成套参考书籍，继《地球化学》、《元素地球化学》之后，我们又在多年教授本门课程的基础上，编写了此书。

编写过程中，我们为了征求、听取有关单位的意见，曾多次印成讲义，在我校及地质、冶金系统举办的培训班试用，不断充实提高。许多兄弟单位为我们提供了宝贵的参考资料，对本书的编写给予了大力支持和帮助，特别是中国科学院地球化学研究所涂光炽教授、章振根副教授等在百忙中审阅了初稿，提出了许多宝贵意见，在此我们谨表示衷心的感谢。我们在编写过程中，始终受到徐克勤教授、郭令智教授、王德滋教授等校、系领导的关怀和鼓励，书中全部图件承徐富林同志清绘，教研室许多同志参加了讨论和定稿工作，一并志谢。

本书是集体劳动的成果。在我室以往教学讲义和共同讨论的基础上，由刘英俊、邱德同、周亚东、马东升、李兆麟、储同庆六同志分工执笔完成。各章分工编写情况如下：刘英俊编写了绪论、第三章、第七章、第十一章、第十七章；邱德同编写了第一章、第二章、第五章、第八章、第九章；周亚东编写了第十三章、第十四章、第十六章、第十八章；马东升编写了第四章、第六章、第十二章、第十九章；李兆麟编写了第十五章；储同庆编写了第十章。全部书稿由刘英俊指导编写，并最后汇总整理，修改定稿。

由于我们编写人员业务水平所限，搜集资料欠全，同时限于篇幅，我们在资料的综合整理上定有疏漏，缺点、错误在所难免，不妥之处，敬希读者批评指正。

作 者

1984年1月于南京

目 录

前言

绪论..... (1)

- 一、勘查地球化学及其任务..... (1)
- 二、勘查地球化学与其它学科的关系..... (2)
- 三、勘查地球化学的发展历史..... (3)
- 四、勘查地球化学的方法分类..... (5)
- 五、勘查地球化学面临的任务..... (7)

第一章 地球化学背景和异常..... (11)

- 一、地壳中化学元素含量分布的非均一性..... (11)
- 二、地球化学背景..... (12)
- 三、地球化学异常..... (14)
- 四、地球化学晕..... (14)
- 五、地球化学异常的参数值..... (15)
- 六、地球化学标志与指示元素..... (18)

第二章 评价岩浆岩体含矿性的地球化学准则..... (22)

- 一、主要岩石类型化学成分上的差异性..... (22)
- 二、评价岩体含矿性的地球化学准则..... (23)
- 三、评价基性岩-超基性岩含矿性的地球化学方法..... (28)
- 四、评价中性岩类岩体含矿性的地球化学方法..... (32)
- 五、评价花岗岩类岩体含矿性的地球化学标志..... (37)
- 六、碱性岩含矿性的地球化学评价准则..... (42)

第三章 岩浆矿床的原生地球化学异常..... (44)

- 一、岩浆矿床的形成作用..... (44)
- 二、钨-钼-磁铁矿矿床..... (45)
- 三、铜-镍硫化物矿床..... (48)
- 四、铬铁矿矿床..... (52)
- 五、金刚石矿床..... (54)
- 六、磷灰石矿床..... (56)

第四章 伟晶岩矿床的原生地球化学异常..... (58)

- 一、稀有金属伟晶岩中微量元素的富集特征..... (58)
- 二、稀有金属伟晶岩矿床的原生地球化学异常..... (64)
- 三、伟晶岩单矿物中稀有元素含量对岩脉含矿性的指示意义..... (66)

第五章 热液矿床的原生地球化学异常..... (72)

- 一、热液矿床的原生晕..... (72)
- 二、热液矿床原生晕的控制因素..... (73)
- 三、热液矿床原生晕的分带性..... (76)

四、关于热液矿床原生晕分带原因的探讨·····	(85)
五、热液矿床原生晕的分带规律在地球化学找矿中的意义·····	(87)
六、某些类型热液矿床的地球化学异常特征及其评价·····	(93)
七、评价热液矿床原生异常的工作方法·····	(103)
第六章 沉积矿床和含矿建造的原生地球化学异常·····	(106)
一、沉积金属矿床的原生晕·····	(106)
二、沉积-改造矿床的原生晕·····	(109)
三、若干沉积矿床和沉积-改造矿床的原生晕实例·····	(111)
四、含矿建造及其时空分布规律·····	(117)
五、含矿建造的地球化学特征·····	(120)
六、含矿建造的研究应用于地球化学勘查的意义和方法·····	(125)
第七章 变质矿床的原生地球化学异常·····	(128)
一、变质作用中元素的地球化学特点·····	(128)
二、变质成矿作用和变质成因矿床·····	(133)
三、受变质矿床的原生地球化学异常·····	(135)
四、变生热液矿床的原生地球化学异常·····	(136)
五、变质-超变质混合热液矿床的原生地球化学异常·····	(142)
第八章 土壤地球化学勘查·····	(144)
一、残积土垂直剖面及其微量元素的分布特征·····	(144)
二、表生环境下化学元素的活动性·····	(147)
三、土壤中化学元素的存在形式·····	(151)
四、残积-坡积覆盖物中的次生异常·····	(153)
五、土壤地球化学勘查的工作方法·····	(157)
六、残积-坡积物中的次生异常的评价·····	(160)
七、铁帽的地球化学评价·····	(165)
第九章 水系沉积物地球化学勘查·····	(172)
一、分散流的形成·····	(172)
二、水系沉积物中的异常特征及其影响因素·····	(173)
三、工作方法·····	(177)
四、编制地球化学图件·····	(180)
五、水系沉积物中次生异常的评价·····	(185)
第十章 重砂地球化学勘查·····	(191)
一、重砂地球化学勘查的基本原理·····	(191)
二、影响重砂富集的因素·····	(191)
三、重砂取样方法·····	(192)
四、重砂地球化学勘探的研究·····	(194)
五、重砂测量成果的整理·····	(202)
六、重砂测量结果的评价·····	(203)
第十一章 水文地球化学勘查·····	(205)
一、元素在天然水中分布和迁移的特征·····	(206)
二、金属矿床水分散晕的形成及其特征·····	(210)
三、水文地球化学找矿的指示元素和评价标志·····	(213)

四、地下热水资源的水文地球化学勘查·····	(216)
五、水文地球化学勘查的工作方法·····	(219)
六、利用放射水文地球化学指示剂预报地震·····	(223)
第十二章 生物地球化学勘查·····	(224)
一、地植物学勘查·····	(224)
二、生物地球化学遥感·····	(227)
三、植物地球化学测量·····	(229)
四、影响植物中元素含量的主要非地质因素及其消除方法·····	(234)
五、生物地球化学勘查的工作方法·····	(238)
六、生物地球化学勘查的适用条件和特点·····	(242)
第十三章 气体地球化学勘查·····	(244)
一、气体地球化学异常形成的机制·····	(245)
二、汞气地球化学测量·····	(246)
三、硫化气体(SO_2 、 H_2S 等)测量·····	(254)
四、二氧化碳(CO_2)和氧气(O_2)测量·····	(255)
五、射气(He 、 Ne 、 Ar 、 Kr 、 Xe 、 Rn)测量·····	(256)
六、甲烷(CH_4)及其它烃类气体测量·····	(257)
第十四章 卤素地球化学勘查·····	(258)
一、卤素元素地球化学找矿的依据·····	(258)
二、卤素异常的形成机制及其在找矿和环境质量评价中的意义·····	(261)
三、成矿溶液中卤素元素的地球化学专属性及其找矿指示作用·····	(263)
四、卤素在地质找矿中的作用·····	(264)
五、卤素地球化学找矿的实例·····	(271)
第十五章 热压地球化学勘查·····	(276)
一、蒸发晕找矿法·····	(276)
二、热晕找矿法·····	(281)
三、热压地球化学和地球化学综合找矿法·····	(288)
四、成矿溶液浓度测定找矿法·····	(292)
五、矿物中包裹体的微量气体找矿法·····	(294)
六、重砂爆裂找矿法·····	(299)
七、应用矿物中包裹体找矿综述·····	(302)
第十六章 同位素地球化学勘查·····	(305)
一、地壳中同位素地球化学异常形成的原因·····	(305)
二、同位素地球化学勘查的途径及应用·····	(308)
三、同位素地球化学勘查的工作方法·····	(317)
第十七章 区域地球化学勘查·····	(321)
一、区域地球化学单位·····	(321)
二、区域地球化学勘查工作的比例尺和采用的方法·····	(323)
三、地球化学图的编制·····	(325)
四、区域地球化学异常的评价·····	(327)
五、配合解决区域地质调查中的一些问题·····	(330)
六、环境质量评价·····	(335)

第十八章 油气藏的地球化学勘查	(339)
一、生油岩的地球化学特征	(339)
二、评价生油岩的地球化学指标	(346)
三、油气藏勘查的地球化学方法	(353)
第十九章 海洋地球化学勘查	(359)
一、海洋的金属矿产资源和现代海洋成矿作用	(359)
二、海洋沉积物中成矿元素的丰度	(363)
三、深海铁锰沉积的地球化学特征及其地球化学异常标志	(367)
四、海洋地球化学勘查的设备和方法	(373)
参考文献	(376)

绪 论

一、勘查地球化学及其任务

勘查地球化学是一门很年轻的边缘学科，由于它是作为一种探矿方法（地球化学探矿方法）而发展起来的，因此在我国常简称为“化探”。

我们知道，地球化学主要是研究地球和地壳中化学元素的分布、分配、集中、分散、共生组合及迁移演化规律的科学；而勘查地球化学——“化探”则是应用化学元素分布、分配、共生组合及其变化规律来指导找矿等的应用科学。二者乃是基础理论和实践应用两个有机联系的部分。

近年来，勘查地球化学这门科学已发生了扩展和变化，它不仅局限于通过发现和研究“地球化学异常”来进行找矿，而且它还研究广大面积内元素含量的分布和迁移，这种全面研究不仅大大增加了地球化学探矿的找矿效率和效果，而且为农业、渔业、畜牧业、医疗卫生、环境科学、基础地质和理论地球化学等各个领域提供重要的基础资料。

这种明显的发展趋势已使地球化学探矿这一术语超出了探矿的范畴，因此勘查地球化学一词，似乎可比较确切地反映目前这一分支学科的全部内容。勘查地球化学是为了各种不同的目的，系统地在不同比例尺与规模上考查地壳中元素的分布变化，而地球化学探矿则仍是指以矿床找寻为目的，在当前它仍为勘查地球化学最重要的组成部分和研究内容。

勘查地球化学是运用地球化学的理论和方法，在地球化学勘查方面的应用科学，它是地球化学的一个基础研究领域，并已逐渐发展成为地质科学中一个重要的应用科学的分支。目前各国在勘查地球化学的研究中，广泛采用了这样的方法：即在地质与地球化学的理论指导下，在各种介质（包括岩石、土壤、水、水系沉积物、植物、气体等）中系统地采集地球化学样品，经过测试分析和数据处理，发现地球化学异常和其它地球化学标志，据此作为找矿的线索和依据，进而寻找矿床；同时用以解决一些地质等其它问题。

勘查地球化学所起的多方面的作用，正在给人类带来巨大的效益。这里须特别指出的是以下几点。

首先，随着国民经济的发展，对各种矿产资源的需求量不断增长，然而，易被发现的地表矿床的数量日益减少，大量有待找寻的矿床不是覆盖和埋藏较深，即是类型特殊、条件较为复杂而未被认识，在面临这一找矿难度较大的特点和任务面前，勘查地球化学可发挥其强大威力和无比优越性。找寻隐伏盲矿，它已证明是行之有效的重要手段；对发现新的尚未被认识的矿床类型，它所揭示出的地球化学异常特征，能为之提供最基本的重要依据。

勘查地球化学方法已作为地球物理探矿方法的有效辅助手段之一，在评价和解释地

地球物理异常时，可以排除其多解性。它在某种意义上说是一种直接的找矿方法，因而成果的推断解释，较之地球物理探矿方法简单、直接。同时它较地质钻探等投资为小。物化探综合运用，紧密结合地质方法，则更能提高找矿的效果。

第二，不同比例尺的区域性地球化学勘查，可以查明大范围或局部地区内成矿元素及主要伴生元素的分布、分配、迁移富集规律、元素共生组合和存在形式等微观现象，进行区域地球化学制图和地球化学分区区划，是国家的基本图件，是勘查地球化学的一项战略任务。它不仅可以直接指导成矿预测、缩小找矿范围，减少找矿的盲目性，而且也是从事环境质量评价，进行国民经济区划等方面的重要基础资料的依据。

我国地域辽阔，大部分地区的地质研究程度尚不甚高，特别是对于边远省区的情况更是如此。开展大面积的勘查地球化学工作，不仅可以划分出成矿有利区，而且也可以为详细的地质地球化学工作打下坚实的基础。

第三，勘查地球化学在地质领域尤其是基础地质研究中的应用，也愈来愈广泛，常可用来解决许多地质上的疑难问题。例如地层特别是亚地层的划分和对比，精确地划定地质界限，深刻认识地质构造的发展历史、岩体时代和成因的划分，迅速评价岩体的成矿专属性和含矿远景，以及成矿的物质来源和矿床控矿因素的阐明等方面，勘查地球化学研究都可发挥其独到的重要作用，并能可靠地解决。

二、勘查地球化学与其它学科的关系

勘查地球化学的诞生与发展，同其它学科有着非常密切的关系，它吸收了各门学科的最新成就，武装了自己，使这门学科在理论与方法上不断地成熟，日臻完善。同时它的迅猛发展，也推动了与之相邻学科的发展，例如为地球化学、矿床学、找矿勘探学等的发展，积累了丰富的资料。

前已述及，勘查地球化学研究系采用地球化学的理论与方法。地球化学所研究的最基本内容包括：研究地球各层圈，特别是地壳中各种化学元素的分布、分配规律，研究不同区域和不同地质体以及各类岩石、矿石、矿物中化学元素含量的分布、分配规律，研究各类化学元素在地壳的不同区域和不同地质作用过程中迁移分散富集规律、共生组合规律等。地球化学所阐明的这些规律，正是勘查地球化学的理论基础。勘查地球化学的主要任务就是发现某些化学元素的地球化学异常区，这实质上就是地壳中化学元素含量的分布、分配问题，这也是由于元素在地壳不同地区 and 不同地质作用下迁移、分散、富集所造成的。所以对于勘查地球化学成果的评价的解释，一时也不能离开地球化学理论的指导。

勘查地球化学是找矿勘探的重要手段之一。有关各类矿床的成矿地质环境与控矿因素的分析研究，矿床物质组分的研究，矿床物质在空间与时间上的分布，以及矿床的成因研究，都有助于勘查地球化学制定正确的工作方案，以及对于最终成果的评价解释。另一方面，勘查地球化学发现的元素含量的分布、分配规律，迁移、富集、分散规律，共生组合规律等，亦有助于矿床学对于上述诸问题的解决。

化学与物理学既是地球化学的理论基础，自然也是勘查地球化学的理论基础，在此不必多论。应特别强调的是，勘查地球化学之所以发展得如此迅速，是因为与近代化学

的、物理的微迹分析技术的发展，有着密切的关系。在某种意义上讲，没有这些先进的分析技术，也就没有勘查地球化学。先进的化学与仪器分析技术，特别是后者，有力地促进了勘查地球化学的发展。这是因为，勘查地球化学对分析测试技术有着特殊的要求。一般说来，它比一般地质和地球化学研究所分析的样品数量要大，分析的项目要多，而且要求分析方法灵敏、精确、速度快、成本低和现场性。

数学与勘查地球化学的关系，主要是利用数学（特别是概率论和数理统计学）作为手段，处理勘查地球化学的大量数据和图件资料。在这方面广泛地采用电子计算机技术，进行程序复杂的计算，得以揭示出隐蔽在大量数据中的找矿信息和评价标志。

近年来，勘查地球化学还涉及到遥感。遥感科学尽管具有高效率、低成本和作用大的特点，但它需要地面的支援。如果没有地面的资料，缺少地面的验证，它将不可能迅速向前发展。在地面资料中，勘查地球化学的资料是非常重要的，尤其是区域性的资料。所以，可以这样说，遥感科学和勘查地球化学相互作出贡献的时间已为期不远了。

此外，勘查地球化学同其它许多科学都有间接和直接的关系，有的在《地球化学》一书中已有论及，这里不再一一叙述。

三、勘查地球化学的发展历史

一切科学均导源于人类的生产活动，作为应用性较强的勘查地球化学，其诞生与发展更是与生产的发展密切相关。

勘查地球化学的发展，在国内外具有相似的过程，它是长期同人们的找矿活动联系在一起。有关地球化学找矿的原理与人类最早应用金属的历史同样悠久。远在古代，人类就利用类似于现代的地球化学找矿原理来进行找矿。如古代人沿着溪流淘洗重砂的方法追索原生矿床产地；利用铁帽作为找矿标志，判断原生矿床；发现某些植物的生长趋向于银、金、铜、锡矿床的上覆残积土壤中，可用之来进行找矿等等。这些方面都是古代劳动人民总结的地球化学找矿思想的萌芽。限于当时的科学和生产的水平，还不可能产生如同现代的勘查地球化学的理论和方法。

现代的勘查地球化学方法，产生于二十世纪三十年代初，这时微迹元素分析（例如发射光谱分析）已经开始作为肉眼观察的补充方法而在地质找矿工作中占有地位。这门科学在四十、五十年代有所发展，而真正、迅速地发展则是近一、二十年的事。

应该指出的是，近代地质勘探工作中新的技术方法获得了迅猛的发展，这些新的技术方法中最基本的是属于应用地球物理和勘查地球化学的方法。世界上一些主要国家的矿物原料基地发展的新成就，几乎没有不是与矿床的先进地球物理和地球化学找矿勘探方法以及各种相应的技术装备的研究有着密切的关系。预计在本世纪末，在所有的找矿方法中，如果单从经济效益来看，勘查地球化学很可能会独占鳌头而执地质找矿之牛耳。

（一）国外勘查地球化学发展概况

国外勘查地球化学是从本世纪三十年代正式提出和开始的，当时从戈尔德施密特、维尔纳茨基与费尔斯曼在理论地球化学领域内的经典性研究工作中得到启示，在斯堪的

• • •

那集亚和苏联各自独立地进行了成功的实验工作,首先将土壤与植物的光谱分析运用于找矿。在苏联最初采用土壤地球化学方法找锡矿,以后扩大到找铜、铅、锌、镍、钨和其它金属矿床。自三十年代起到五十年代初,苏联的勘查地球化学方法主要是土壤测量,取得了明显的成效。

世界其它各国,多数是在四十年代特别是二次大战之后,才对勘查地球化学引起注意。当时随着湿法化学分析以及光谱分析方法的不断改进,美国、加拿大与日本的地球化学家继续制定了更为经济更为有效的地球化学探矿方法。1947年美国地质调查所进行了土壤地球化学实验工作,使用的是快速简便的化学比色分析方法。1950年这项研究又传入英国,其后又扩展到西欧的其它国家,方法与美国相似。与此同时,在非洲及远东也开展起来了。另外在澳大利亚、印度以及许多其它国家也开始进行实验研究。目前,凡是有地质机构的国家和地区,在地质找矿与普查工作中,几乎都要利用勘查地球化学方法。

当前,国外勘查地球化学无论在探查矿种或技术方法方面,都在不断地扩大范围,找矿效果日益受到各国的重视,已成为国外目前地质勘探工作中一种重要的手段,据统计,在地质勘探中应用勘查地球化学的至少有三十多个国家,一些发展中国家现均正在积极引进和应用地球化学勘探。

经过近半个世纪的发展,国外勘查地球化学主要形成了苏联和欧美国家两个中心。总的看来,苏联的勘查地球化学在工作量方面占世界首位,各种化探方法的研究和应用都有较大进展,在方法的基础理论研究的水平上处于领先地位,而在化探样品的分析技术和化探数据的处理、成图及储存自动化方面,则西方国家较为先进。

近十余年来,勘查地球化学工作是非常活跃的,国际性勘查地球化学的学术活动也十分频繁,成立了“国际勘查地球化学家协会”,每隔二年召开一次国际勘查地球化学学术讨论会(1983年在芬兰赫尔辛基召开的是第十次),每次讨论会的次年都要出版一本论文集。该协会还定期出版《地球化学勘查杂志》(*Journal of Geochemical Exploration*)。有关勘查地球化学的专著和文献数目也逐年增多。

目前在国外开展的勘查地球化学方法中,土壤地球化学测量与植物测量无疑是最先进的,水系沉积物地球化学测量是在五十年代才在生产中使用,但现在它的规模与应用范围正在迅速扩大。与它们相比,系统采集与分析未被风化的岩石地球化学测量方法,除苏联外则大多仍处于早期实验阶段。

当代勘查地球化学的飞跃发展,已使人们充分认识到它的强大威力和无法估计的潜在力量,它已得到了全世界的普遍承认和重视。

(二) 中国勘查地球化学发展简史

勘查地球化学的思想在我国古代就有萌芽,并早已应用于矿产的寻找和开发。但是作为一种现代探矿方法(地球化学探矿方法),成为地质科学中一个重要的应用学科分支,在我国则是从五十年代初才开始发展起来的。

我国勘查地球化学的发展,大致可以划分为下列三个时期¹⁾:

1) 参见戴学锦、戴阳宗昕, 1982年资料。

第一发展时期(1951—1957)在这个时期,地质部和冶金工业部先后成立了专门的化探组织,首次在安徽月山、辽宁青城子、山西中条山等地进行成功的化探试验工作。在安徽的试验中曾发现了铜矿的指示植物海州香薷,这种植物已被列为世界上重要的通用指示植物之一。

于五十年代中叶开始了全国性的地球化学普查,当时在世界上还只有苏联和中国执行这样大规模的区域化探计划。各省的区测队都把地球化学土壤测量(当时称为金属量测量)纳入其区域地质填图计划之中。与此同时,在全国各地成立的物探队也开始将土壤测量方法用于详查及半详查,与磁法测量、电法测量配合使用。

第二发展时期(1957—1966)这个时期的特点是生产单位成立了化探研究机构,院校设置了有关专业,不断培训扩大队伍,有力地推动化探事业的发展。地球化学土壤测量与岩石测量在地质找矿中的应用已开始见到实效,化探研究工作得到大大加强,多金属及铜矿床原生晕的研究取得显著成果。

正当研究单位集中注意力于矿床原生晕研究之时,各省物探队和一些地质队仍大力开展地球化学土壤测量工作,并开始认识到化探最能发挥作用是在区域调查阶段。为改善区域化探的方法技术,迫切需要在中国广大山区使用更为快速有效的水系沉积物测量以取代金属量测量,而且六十年代初期在四川和浙江试点,充分显示出其优越性,但对其推广则由于“文革”的发生而受到阻遏。

第三发展时期(1972迄今)这一时期发展的高潮开始于七十年代初,各系统相继举办了训练班和经验交流会,从大量的找矿例案肯定了化探在地质工作中的重要地位,从而进入迅速发展时期,并开始加强区域化探的研究工作。

为了使化探工作现代化和在地质找矿中发挥更大作用,从1978年起在全国执行了一项新的“区域化探全国扫面”计划,围绕这项计划进行了许多研究工作,使化探方法技术发生了深刻的变革。中国的汞蒸气测量在七十年代也进行了大量试验,并成功地找到了一些新矿床。

这一时期化探作为一种有效的找矿方法,作为地质工作中不可缺少的组成部分已获得普遍的承认。1980年在中国地质学会下正式成立了勘查地球化学专业委员会,并决定每二年举行一次全国性的学术讨论会,预料这个专业委员会的活动必将进一步加速中国勘查地球化学的发展。

当前中国化探工作者主要的努力方向在于对中国化探工作进行全局性的长远的战略布署,使化探方法技术全面现代化,使勘查地球化学这一学科在我国的地质找矿事业和其它领域中,日益发挥重要的作用。

四、勘查地球化学的方法分类

现有的各种勘查地球化学方法,主要是根据采样对象和地球化学异常所赋存介质类型的不同来划分的。例如岩石地球化学勘查,土壤地球化学勘查,水系沉积物地球化学勘查,湖积物、水化学勘查,生物地球化学勘查,气体地球化学勘查等等。各种勘查方法又因在不同地质、地理条件下,以及为了不同目的而选用的具体采样物质的变化而发展成若干方法的变种。

近年来，国内外都发展了一些较完善的勘查地球化学工作程序，它们的基本思路是以高效率的地球化学方法在大面积内进行广泛的侦察，舍弃大片没有希望的地区，缩小找矿靶区，然后用效率较低，但能较精确地圈定矿化范围的方法在已经大大缩小的靶区范围内工作。这种作法可以用尽可能少的人力、物力和时间，找到有经济价值的矿床。

例如我国目前提出的一个比较合理的工作程序，包括这样四个阶段：1) 区域性扫描；2) 异常检查；3) 异常详查；4) 钻探验证。在不同工作阶段，要根据地质、地理条件及每一阶段的工作目的来选用最合适的勘查地球化学方法。

国外在地球化学勘查中，近年也比较强调和注意合理的工作程序，通过实践下列程序被认为是比较合理的：

- 1) 景观的地球化学研究和实验工作；
- 2) 水系河底沉积物测量；
- 3) 查明矿化远景范围的河底沉积物详细找矿；
- 4) 为了确定异常来源的土壤或风化壳的取样；
- 5) 为了揭示矿床或与其有关的原生分散晕研究的基岩取样。

这样的勘查地球化学程序决定相应的地球化学样品数的分布。例如，在加拿大地盾，因坚持上述程序，其年地球化学样的分布比例如下：土壤——57%，河底沉积物——23%，岩石——14%，水、植物及其它——6%。

可见，不同的勘查地球化学方法，主要应根据各国的具体情况，如地质、地形、气候、勘查精度、矿种项目等条件因素来选择使用，可分别显示它们在地质普查中的重要作用。

许多国家通过土壤和水流沉积物的多元素地球化学测量来查明区域地球化学规律与成矿关系，圈定地球化学省，获得很有意义和有价值的资料，成为目前地质普查中一项重要内容，不少国家由于进行了大面积区域地球化学测量，因此发现了一些矿床或勘探基地。

湖泊沉积物找矿目的的研究，在一些多湖泊的国家已经发展成标准的区域地球化学方法。取样借助于直升飞机，沉积物中各种化学元素的分布研究，可确定地球化学异常地段。北欧、北美和亚洲一些冰川沉积物详细的矿物和地球化学研究，也导致那里在近期发现了各种巨大矿床。

无论是区域地球化学研究，还是对发育在不同岩石类型中矿床的找寻，都常较广泛地应用岩石地球化学方法，它可以查明产出深度很大（数百米至一公里）的矿床和盲矿体。除了揭示金属成矿元素的分散晕外，某些成岩元素的行为也可从中得到重要显示。例如斑岩铜矿的围岩与未经热液交代的同类岩石对比，很为特征的是钠和钙含量的减少和铁、镁、钾含量的增高。除微量元素外，岩石和矿体中成岩元素含量差异的确定，近年被视为勘查地球化学的新方向。矿化剂元素，目前仅次于汞，因而受到较大的重视，这些元素最多的是氟，它已发展成为地球化学勘查专门的氟测量方法。其次为硫测量方法。

地表水和地下水的水文地球化学研究的实用可能性，对找寻铀、铅、铜和其它金属矿床已是无疑的。实践表明，当勘查铀矿时，镭、氡和氡在地下水中具有信息意义，而且还可成功地预报地震等。

应用植物中的化学成分进行找矿是个复杂的课题,但生物地球化学方法在近十余年来仍广泛地得到应用。尽管它只用于有限的范围,可是当其它化探方法无效果时,它则很可能成功。在一些岩石地球化学异常被掩盖或半掩盖的风积土、冰积物分布地区,生物地球化学方法的应用可给以帮助。

必须指出的是,由于水化学和生物地球化学这两个方法在环境科学研究中的地位殊为重要,因此估计二者可能会在不久的将来有更大的发展。

航空方法在某些国家较广泛地应用于各种金属矿床的找寻,表明大气圈的航空地球化学研究,可以应用于勘查的目的。研究工作在朝着两个方向进行:一是研究大气圈中汞蒸气、卤素、碳酸、硫和氮的含量;二是研究大气中无机或有机成因的粒子。近年来,后者所谓的航空微尘测量发展迅速,看来很有发展前途。获得的结果能很快地得到关于大区域范围的地质特征和其中有关异常的信息。

对其它勘查地球化学方法,如同位素方法、海洋化探方法等,近年均正在积极进行研究,并在不同程度上分别取得了一定的效果。因技术上的原因,故应用尚不够广泛。

目前在对矿床进行普查和勘探工作时,明显地表现出各种勘查地球化学方法同物探方法和传统的地质方法综合应用的趋向,它们的紧密配合,可取得相辅相成的良好结果。

五、勘查地球化学面临的任务

勘查地球化学犹如整个地球化学学科一样,尚是一门较年青的分支科学,虽然它在近些年来发展得十分迅速,但无论从理论基础还是从工作方法方面,至今都还未达到完善的地步,仍然存在着一系列尚未完成任务¹⁾。

(一) 必须加强勘查地球化学技术的基础理论研究

勘查地球化学的发展,虽已有数十年的历史,但较长时期仅限于应用,有关基础理论研究比较薄弱。因而迄今尚未能形成化探技术的理论体系,多年没有重大的理论突破,对成矿成晕的机制未得到很好解决,缺乏评价元素迁移、富集贫化的必要理论基础,大大障碍了对异常解释评价水平的提高。

各种勘查地球化学方法的主要依据是形成于各类介质中的地球化学异常,而后者则是化学元素在各地质圈中迁移的结果。为了对各种勘查地球化学方法有本质的认识,必须深入研究其理论基础——化学元素的迁移。其中包括详细阐明元素在不同介质条件下迁移的性能、异常的形态规模与地质气候的依存关系,化学元素在原生异常和次生异常中的存在形式,地质作用过程中元素的沉淀条件,气液经过各种岩石时的扩散渗滤作用,各种天然吸着剂对不同元素的吸附与解吸作用,各种元素及其化合物在不同温度、压力条件下和自然溶剂作用下的可溶性问题等。阐明化学元素在任何自然条件下的行为性状,是勘查地球化学理论研究的中心课题,在这方面已做了一些工作,但现在离解决这一课题尚远。

矿床是有工业价值的地球化学异常,随着化探基础理论研究的深入,自然也将有助

1) 刘英俊, 1981。

于成矿理论水平的提高和许多矿床地质问题的解决。

(二) 必须和地质背景分析更紧密结合

由于勘查地球化学基础理论发展的历史原因,它常被作为一种纯技术方法来孤立地进行应用,因而相当长时间内存在着与地质相脱离的倾向,这种状况严重地影响了其找矿效果。

勘查地球化学作为地质勘查的一个组成部分,与地质的紧密结合的必要性是十分明显的,例如用它进行找矿必须以地质资料为基础(其中既包括区域地质矿产调查研究的资料,也包括物探和遥感地质等资料),通过深入的地质背景分析和成矿预测研究来进行布署,才能收到事半功倍的效果。由于矿体都是成群成带出现,除老矿区已知矿床深部和侧翼的找矿外,在矿区外围及成矿带上找矿,一般最易取得成效。因此,勘查地球化学工作应从成矿区(带)或含矿盆地着眼,把矿床作为地质构造区(带)和盆地演化的一个组成部分来考察。

区域的和矿区的深入地质研究,是勘查地球化学研究的前提,有关的地质资料乃是勘查地球化学工作布署的依据。对国土各个地区进行综合性预测评价以及按矿种进行专门的预测工作,进而合理地规划安排勘查地球化学的项目和工作量,乃是十分必要的。

(三) 必须加强对地球化学异常的评价和验证

勘查地球化学工作的有效性,在很大程度上取决于对所发现的异常的研究、评价和验证。世界上每年通过勘查地球化学工作发现有数以万计的地球化学异常,都是在圈定异常阶段便中止了,而没有紧接着对异常作详细的研究、评价和验证。特别是验证工作,只是其中很微小的一部分,发现圈定的异常和评价、验证之间的矛盾,目前表现得相当突出,这种状况是勘查地球化学之所以未能取得应有的更好效果的重要原因之一。

无论是苏联还是西方国家,都作出了这样的估计,对以前化探工作的资料,只要整理消化一下,还可以发现大量的异常和上千个有工业价值的矿床,并且还能发现几千个远景区。因此,迫切的任务是要确立判别矿异常和非矿异常的准则与标志,对异常进行快速的评价,尽快地对有远景的异常进行验证。

(四) 应广泛地开展各类典型矿床地球化学异常的深入研究和总结

在各类成因和不同矿种的矿床地球化学异常研究中,目前仍以内生矿床为多,表生和变质矿床的有关资料相对较少;而在内生矿床中则长期偏重于气成-热液和热液矿床的研究,岩浆矿床和伟晶矿床则研究不够;矿种上以有色金属和放射性矿床最多,对黑色金属矿床的研究很少,非金属矿床只是近年才开始研究的。很显然,应对研究资料甚少的矿床类型和建造,加快进行补充研究,以便了解这些矿床的地球化学异常的特征,从而有利于对这些矿床开展勘查地球化学工作。

与此同时,十分必要的是对各类典型矿床(包括正在勘探的和现有生产矿山在内)

的地球化学异常进行研究总结,充分利用已有勘探工程所获取的地球化学资料,有效地进行综合整理,尽快建立起系统的各类矿床的原生和次生地球化学异常的模式和找矿评价标志,并逐步建立各种地球化学勘查的数学模型,以作为对找寻同类矿床的指导。

(五) 加强对各种勘查地球化学方法的研究和应用

目前,勘查地球化学方法的发展很不平衡,如前所述,应用最广泛的仍是水系沉积物勘查和土壤地球化学勘查,一般来说其它方法应用还不普及。很显然,现代勘查地球化学面临的任务,除对应用尚不够广的已有方法进行研究、试验和扩大使用外,尤为重要的是要注意开辟新领域,加强对各种新方法的研究和应用。

因原生晕方法是化探中可靠性最大的一种方法,它对盲矿体的指示最为直接、效果显著,同时有助于许多地质问题的解决,故应普遍推广。无论是从详细普查和研究已知矿点开始还是到矿床的勘探开发阶段,都可用原生晕方法来研究。预期随着寻找盲矿体的迫切需要,原生晕方法必将得到很快发展。

水化学勘查也有很大的潜力,特别是在勘查深部矿床时作用很大,但解释资料比较复杂,有很多影响因素,故应进一步加强研究。气体地球化学勘查有良好的理论根据和实际效果,目前受到很大重视,有可能得到更为广泛的应用,因而应研制各种轻便的测气仪器,以便使用,同时应大力发展航空方法。不同景观条件下生物地球化学的实验研究在生产实践中是很重要的,应加快适用条件的研究,以不断扩大运用。

新的勘查地球化学方法中,目前已出现的稳定同位素方法,矿物中包裹体研究的热晕-蒸发晕方法、重砂地球化学方法、微量元素地球化学方法等等,它们都有其独特的特点和效果,均需加强实验、总结和推广,对所存在的有关问题,应进一步研究解决。在勘查地球化学新方法的研究中,特别必须不断吸收基础科学新成就于勘查地球化学中的应用,这方面将有极其广阔的发展前景。

还须指出,勘查地球化学用于找矿的指示剂(包括指示元素和指示化合物)研究,是十分迫切需要的。目前应用于勘查地球化学中的指示剂数目尚较少,急待大大地补充。

(六) 必须不断地改善装备和加强现代分析测定方法的研究

勘查地球化学与一般地质工作所不同的特点之一是要大量的分析数据,许多勘查地球化学任务的完成,都要求一系列分析技术的解决。尽管在这方面近年来有很大进步,但总的来说,尚远远不能满足日益发展的工作需要。目前由于区域性地球化学填图的开展及地球化学探矿工作的深入,对分析灵敏度、准确度与精密度的要求都在提高,应不断研制使用各种高效率、高度自动化的现代分析设备。为了保证大规模操作中的分析质量,并使取得的数据可以在全国或全球范围内对比,必须制订各种利用地球化学标准样品的分析质量监控方案。

对于勘查地球化学数据资料的处理方面,电子计算机技术的推广应用尚须进一步加强。加快研究各种勘查地球化学资料的自动化处理系统,也是所面临的迫切任务之一。