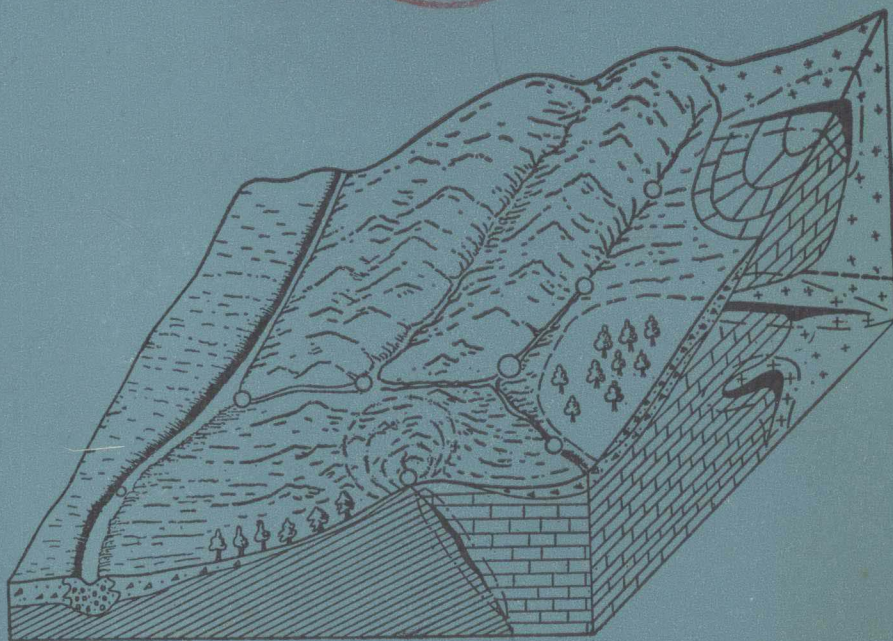


高等学校教材

地球化学找矿

阮天健 朱有光 编



地质出版社

高等学校教材

地球化学找矿

武汉地质学院

阮天健 朱有光 编

地质出版社

※

※

※

本书由黄薰德、吴郁彦主审,经地质矿产部地球化学教材编审委员会于1984年5月召开的第三次扩大会议审稿,同意作为高等学校教材出版。

※

※

※

高等学校教材
地球化学找矿
武汉地质学院

阮天健 朱有光 编

责任编辑:刘本立

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $18^{1/4}$ 字数: 435,000

1985年10月北京第一版·1985年10月北京第一次印刷

印数: 1—8,180册 定价: 3.60 元

统一书号: 13038·教222

前 言

本书是按照地质矿产部教育司地球化学教材编审委员会的安排，作为高等地质院校勘查地球化学专业地球化学找矿课程的教材而编写的。

本教材是在武汉地质学院地球化学教研室1976年所编的《地球化学探矿》（内部发行）的基础上，作了大幅度的增删而写成的。编写的依据是近年来国内外地球化学找矿方法的进展和1982年地质矿产部修订的教学大纲要求。初稿由阮天健、朱有光完成，由长春地质学院黄薰德、吴郁彦负责主审。1984年5月在成都召开的地球化学教材编委会上，本教材的主审人及南京大学刘英俊，桂林冶金地质学院刘成湛，成都地质学院陶正章、王崇云，西北大学张长年，中南矿冶学院邓衍凡及北京大学刘本立等对初稿进行了认真的审查，提出了许多宝贵的意见。编写人在此基础上进行了修改，并于1984年9月将修改稿送主审人及吴锡生同志作定稿审查。我们谨对兄弟院校同志的大力支持与关怀表示衷心的感谢。

本书全部插图由武汉地质学院肖诗宇、唐核之两同志清绘，为本书按时付印创造了条件，亦在此表示深切的谢意。

由于我们理论素养不深、实践经验不足以及编写时间短促、资料收集不够充分，书内肯定存有不少缺点甚至错误，敬请读者批评、指正。

编 者

1984年12月

目 录

绪 论	(1)
第一节 地球化学指标与地球化学异常	(2)
第二节 地球化学异常的分类	(4)
第三节 地球化学找矿的分类	(5)
第四节 地球化学找矿的特点	(6)
第五节 地球化学找矿的发展简史	(7)
第六节 地球化学找矿的发展方向	(10)
第七节 地球化学找矿的学术组织与文献	(11)
第一章 地球化学背景	(13)
第一节 地球化学背景的概念	(13)
第二节 化学元素在地壳中的丰度	(16)
第三节 各类岩浆岩中化学元素的丰度	(20)
第四节 沉积岩中化学元素的丰度	(21)
第五节 各类岩石中化学元素的丰度随时间和空间的变化	(22)
第六节 地质体中元素含量的概率分布	(23)
第七节 背景值及背景上、下限的确定	(25)
第二章 各类矿床的岩石地球化学异常	(29)
第一节 热液矿床岩石地球化学异常的形成	(30)
第二节 热液矿床岩石地球化学异常发育的地质控制因素	(32)
第三节 热液矿床岩石地球化学异常的组分特征	(35)
第四节 热液矿床岩石地球化学异常的形态特征与内部结构	(41)
第五节 热液矿床岩石地球化学异常的分带特征	(45)
第六节 分散矿化的异常特征	(58)
第七节 热液矿床的多建造晕	(59)
第八节 岩浆矿床岩石地球化学异常	(62)
第九节 沉积矿床和层控矿床岩石地球化学异常	(64)
第十节 矿物中气液包裹体及稳定同位素所体现的地球化学异常	(69)
第三章 岩浆岩体含矿性的地球化学评价	(73)
第一节 基性、超基性岩体含矿性的地球化学评价	(74)
第二节 中酸性岩体含矿性的地球化学评价	(77)
第四章 表生地球化学环境	(84)
第一节 表生地球化学作用的一般概念	(84)
第二节 风化与剥蚀	(85)
第三节 地表的溶解与沉淀	(90)

第四节	最主要的风化产物	(95)
第五节	化学元素在土壤中的分布	(101)
第六节	我国的土壤分布与其中的微量元素	(103)
第七节	表生地球化学异常的分类	(107)
第五章	土壤地球化学异常	(110)
第一节	残积物中的同生碎屑异常	(110)
第二节	坡积物中的同生异常	(114)
第三节	后生异常	(118)
第四节	土壤地球化学异常中元素的存在形式与富集粒度	(122)
第五节	元素的表生地球化学性质对异常的影响	(127)
第六节	硫化矿床的氧化与铁帽评价	(128)
第六章	水系沉积物及其它运积物中的地球化学异常	(132)
第一节	水系沉积物中的地球化学异常	(132)
第二节	湖积物中的地球化学异常	(144)
第三节	冰川沉积物异常	(148)
第四节	其它运积物中的异常	(151)
第七章	水文地球化学异常	(153)
第一节	水文地球化学异常的基本概念	(153)
第二节	天然水的化学成分及水化学类型	(156)
第三节	几类主要类型矿床的水文地球化学异常的特点	(158)
第四节	水文地球化学异常的特点及其评价问题	(164)
第五节	水文地球化学找矿的工作方法	(165)
第八章	生物地球化学异常	(168)
第一节	生物地球化学异常的基本特征	(168)
第二节	生物地球化学找矿工作方法	(177)
第三节	地植物学异常	(179)
第四节	遥感地植物学异常	(183)
第九章	气体地球化学异常	(186)
第一节	气体的通性	(186)
第二节	自然界的气体	(190)
第三节	气体的迁移	(193)
第四节	气体异常的观察方法	(195)
第五节	汞气异常	(197)
第六节	氦气异常	(203)
第七节	其他气体异常	(206)
第十章	第一性化探资料的获得方法	(209)
第一节	设计工作	(209)
第二节	采样布局	(210)
第三节	样品采集方法	(214)

第四节	样品加工	(219)
第五节	样品分析与质量监控	(222)
第六节	现场踏勘和试验工作	(230)
第十一章	化探资料整理方法	(232)
第一节	原始资料及质量评定	(232)
第二节	单变量数据处理	(236)
第三节	多变量数据处理	(239)
第四节	考虑空间分布的数据处理	(245)
第五节	地球化学制图	(252)
第六节	地球化学数据处理系统	(257)
第十二章	地球化学异常的解釋与评价	(261)
第一节	异常评价的一般原则及方法	(261)
第二节	地球化学模型对异常评价的意义	(266)
第三节	成矿元素本身异常的评价	(269)
第四节	异常的验证	(271)
附录1.	地壳元素丰度表	(274)
附录2.	主要类型岩浆岩中化学元素的平均含量	(277)
附录3.	主要类型沉积岩中化学元素的平均含量	(279)
附录4.	标准正态分布函数 $F(u)$ 的数值表	(281)
附录5.	F 分布临界值 F_{α} 表	(283)
附录6.	最大累积频率绝对差的临界值表	(285)
主要参考书		(286)

绪 论

地球化学找矿, 又名地球化学探矿, 简称化探。由于近年来在理论上、方法上、技术上及效果上的迅速进展, 它已具有独立的理论基础、专有的术语和工作方法, 已经从一种单纯的直接找矿方法发展成为一门新兴的独立应用学科——勘查地球化学。只是考虑到地球化学找矿这一术语已深深扎根于专业文献及口语之中, 所以本书仍沿用之, 但赋予它以新的更广泛的含义。

地球化学找矿研究的对象, 不但包括地球化学异常本身, 而且还包括如何在给定的自然条件下经济、合理、有效地应用它去达到预定的找矿目的或其他目的。因此, 地球化学找矿是一项高度综合性的工作, 它不但必须研究异常的发育特征、形成机制、评价方法及观察技术, 还要注意与其他找矿方法的配合。对地球化学异常的研究不但涉及成矿元素, 而且还包括非成矿元素; 不但要注意成矿元素的集中部分, 还要考察它们的分散部分; 不但要研究结合在矿物晶格中的元素, 还要探索存在于矿物以外的元素; 不但研究其无机过程, 还包括有机过程, 如此等等。从勘查地球化学的角度来看, 具有经济价值的矿床, 不过是地球化学异常的一种特殊类型。

象多数地学分枝一样, 地球化学找矿主要采用定性描述的方法。对于一些定量的计算公式, 要把它们看成是某种简洁的定性描述手段。但其发展趋势仍然是从定性逐渐走向定量。

地球化学找矿是一门非常年轻的边缘学科。它一方面广泛地从地质学、矿床学、地球化学、土壤学以至数学、化学等基础学科吸取养料, 同时又用自己的新发现和新资料给以回报。如数以亿计的分析数据的积累, 无疑是地球化学理论发展的一个重要源泉; 新型“隐矿物”矿床的发现及矿源层的识别, 对矿床学的发展起了推动作用; 土壤中微量元素分布的详细资料, 丰富了土壤学的内容; 等等。另一方面又大量地采用现代分析测试仪器及计算技术, 从而对这些部门的发展给以有力的推动。如专用设备的研制, 专用软件的生产等。

地球化学找矿还吸引了大批知名的地球化学家、地球物理学家、矿床学家、分析化学家及仪器制造厂家的参加。这就创造了大量直接、间接就业就学的机会, 对世界经济的发展产生了良好的作用。仅就斑岩铜矿一项而言, 据不完全统计, 在西方世界用化探方法发现的矿石总量就达 $25 \times 10^4 \text{t}$ (J. S. Webb, 1973)。我国的化探专业队伍仅地质系统已达 6000 余人, 而且仍有增长趋势。

国内外的一些学者对地球化学找矿下过各种定义, 其中比较有代表性的西方国家的定义是: “地球化学找矿是基于系统地测定天然物质的一种或数种化学性质的任何矿产勘查方法。” (H. E. Hawkes 等, 1962)。苏联学者认为, 地球化学找矿是根据基岩及覆盖层中、地下水及地表水流中、植物中和壤中、气中的含矿物质不明显的微观分散晕以发现矿床的一种找矿方法 (B. Ч. 克拉斯尼科夫, 1955)。

我们认为, 定义不妨下得宽一点, 即地球化学找矿是一种以地球化学异常作为主要研

究对象，以矿产普查为主要目的，并兼顾其它基础地质研究的系统的地球化学调查。

第一节 地球化学指标与地球化学异常

地球化学异常是靠观测地球化学指标来研究的。地球化学指标是一切能提供找矿信息或一般地质信息的、能直接或间接测定的地球化学变量。严格地说，地球化学指标应包括参数性与非参数性两大类，前者测量结果可用数字表示，而后者只能定性地用有无、大小、强弱、深浅等描述。但近年来，为了便于计算机处理，这些定性的描述也往往人为地规定一些数字（数字化），所以，两类地球化学指标，均可以用数字来表示。

地球化学异常，则是地质体中地球化学指标与周围背景有显著不同的现象。

有关地球化学异常概念的形成，有一个发展过程。

1936年，H. И. 萨弗罗诺夫（Сафронов）首先提出了矿床分散晕的概念。所谓矿床分散晕是指矿体周围或附近所存在的与成矿有关的特征元素的高含量带。

因为地球化学异常最初是在矿床周围的残坡积层中发现的。其高含量带的出现由矿体分散所造成，在空间上往往包围矿体，好象是矿体周围的晕圈。所以称为矿床分散晕。

随着地球化学找矿实践的深入，人们发现地球化学异常呈现出更多、更为复杂的现象：

1. 多数元素的地球化学异常是紧紧包围矿体的，但又有同心和偏心之分；而有的元素的地球化学异常并不包围矿体，而是远离矿体——离心的（如Hg、As等）。

2. 引起地球化学异常的原因，除矿体外，还可以由其它地质体（如不同类型的岩体，特殊的地层，特殊的构造等）引起。

3. 反映地球化学异常的指标，虽然主要是指元素的含量，但除元素的含量外，还包括元素或同位素的比值，包括介质的酸碱度（pH）、成矿、成晕的温度以及植物的种属和群落等多种性质的指标。

4. 对于各种次生异常来说，矿体附近的元素高含量带是由矿体的成矿物质分散所造成；而对于原生晕来说，高含量带的形成，主要是由元素的浓集作用造成的，矿体只是元素浓集达到工业利用的部位。

5. 从地球化学异常的表达形式来说，除需要在平面上或从三度空间的角度来描述外，有时只需在剖面上表现出来，这时就不可能用“晕”来描述。

6. 地球化学异常既可以表现为元素含量升高，也可表现为降低。

基于以上原因，地球化学的异常现象，用“矿床分散晕”或“成矿元素的高含量带”这些概念已不能科学地概括了。而用“地球化学异常”这一术语来概括和表达，才更为确切和全面。

尽管如此，当前我们也没有必要用“地球化学异常”的术语完全取代“晕”的术语。因为在有的场合下用“晕”的术语并不失其确切性，同时又较方便，因此在本教材中二者仍然是通用的。

为了发现地球化学异常，必须对各种天然物质进行系统取样，并用某种方法测定其中的一种或多种指标，根据这些指标的分布情况，才可以圈出各种规模的地球化学异常。随着化探工作的进展，被用做取样对象的天然物质越来越多，根据文献的综述，总结如下表

表 1 地球化学找矿的取样物质
(据文献综合整理)

岩石	新鲜的全岩, 蚀变岩石, 岩石裂隙壁, 风化岩石, 造岩矿物及其中的包裹体, 副矿物, 斑晶与基质, 角砾与胶结物
矿石	粉碎的矿石, 精选的单矿物 (包括金属矿物及脉石矿物), 矿石中各组成矿物, 单矿物中的气液包裹体及子晶
土壤	表土, 心土, 母质层, 腐殖质, 土壤中的重矿物及结核 (钙质、锰质、铁质), 土壤的各种粒级
水系沉积物	水流中央的活动性沉积物, 河床泥炭, 河漫滩及洪积物, 砾石及其上的铁、锰质被膜, 水系沉积物中的重矿物, 轻矿物及铁、锰结核, 泉华及铁染物质, 湖塘中心及边缘的底积物, 沼泽物质, 冰渍土及冰川终碛物
其它地表疏松沉积物	风成沙, 黄土, 倒石堆, 雪原堆积物, 山麓堆积物
水体	泉水, 井水, 矿坑水, 溪水, 河水, 湖水, 雪, 冰川水, 雨水, 渗出水, 深层海水
气体	大气, 壤中气, 水中溶解的气体, 岩石中的气体, 气溶胶, 大气中的飘尘
生物体	植物的根、茎、叶、花、果实、种子、嫩枝, 褐藻, 水生苔藓及陆生苔藓, 蚁巢, 鱼肝, 蜜蜂身上的花粉, 食草动物的粪便

(表 1)。

从表 1 看出, 几乎一切能采集到的天然物质都不同程度地试验过了, 但是, 固态地质物质占压倒的优势。

表 2 为迄今试验过的地球化学指标的种类。随着分析测试手段的进步, 该表无疑也会不断加长。

表 2 地球化学指标的种类
(据文献综合整理)

化学元素的含量	造矿元素, 造岩元素, 伴生元素含量的各种分布的统计特征数
特征存在形式	水溶性形式, 可交换形式, 次生矿物形式, 硫化物形式, 硅酸盐形式
各种组合关系	简单的比值, 各种相关系数, 各种多元统计特征数, 叠加与垒乘指数等
同位素特征	$\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
物理化学参数	pH, Eh, T, P, f_{O_2} 等

假如取样对象有N种, 可供测定的指标有M种, 则单项指标就有 $N \times M$ 种可能的组合, 这就给化探工作者以很大的选择余地。目前实际应用的只是其中的少数组合, 所以, 从理论上讲, 化探方法具有巨大的潜力。因为在一定的自然条件下, 某一种组合特别适用于某种地质任务, 而在另一种情况下, 则可选用另一种组合去达到目的。这就要靠化探工作者对工作地区的自然条件及异常发育规律的深刻了解并结合技术经济因素进行合理的选择。

第二节 地球化学异常的分类

为了便于分析和综合,人们往往从不同的角度去认识事物。同样,对地球化学异常可以从不同的角度进行分类:

1. 根据异常形成的环境条件可分为内生异常和表生异常两大类。
2. 根据异常与矿体形成的相对时间关系可以分为原生异常和次生异常。

原生异常——与矿体同时形成的地球化学异常。

次生异常——矿体遭受破坏以后在表生条件下,元素再次迁移、分配而形成的地球化学异常。

在次生异常中,根据异常物质搬运形式的不同,又可分为碎屑异常和水成异常。碎屑异常与苏联文献中的机械分散晕和机械分散流相当。疏松物中的水成异常,则与苏联文献中的盐分散晕和盐分散流相当。水成异常又称化学分散晕。

3. 根据异常与其赋存介质形成的相对时间关系可以分为同生异常和后生异常。

同生异常——异常物质与其赋存介质同时形成。

后生异常——异常物质在其所赋存的介质形成之后以某种方式进入而形成的地球化学异常。

4. 根据异常所赋存的介质的不同,可分为:

岩石地球化学异常

土壤地球化学异常

水系沉积物地球化学异常

水文地球化学异常

气体地球化学异常

生物地球化学异常

} 岩石化学异常^①

以上分类原则都与异常形成的条件有关,根据矿体在地壳表层出露的条件不同,一个矿体可以只形成一种异常,也可以同时形成多种异常。如铬、金刚石矿床的盲矿体只发育岩石地球化学异常;出露于地表的钨锡矿床可形成各类岩石化学异常,出露于地表的铜、锌、硫化物矿床及放射性铀矿床,则可形成所有类型的异常。因此一种矿床可用多种途径去发现。各异常的相互关系见图1。

此外,还可根据其它一些原则进行分类。

5. 根据异常的找矿意义,可分为矿致异常,分散矿化带,非矿异常。

6. 根据异常的规模可分为地球化学省、区域地球化学异常、局部异常和点异常。

地球化学省——由化学元素在地壳中原始分布不均匀性所造成的大范围地球化学异常区,其原因一般归结为地球早期历史中的分异作用,面积可达几千至几万平方公里。

区域地球化学异常——由一定的地层、构造、岩浆岩、成矿带或表生条件所决定的较大范围地球化学异常。面积一般几十至几百平方公里。

① 在研究岩石地球化学异常、土壤地球化学异常和水系沉积物地球化学异常时,它们的取样对象都是岩石或岩石的风化产物。因此在五十年代的苏联文献中将上列三种异常统称为岩石化学异常。

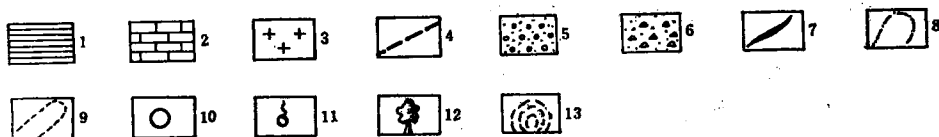
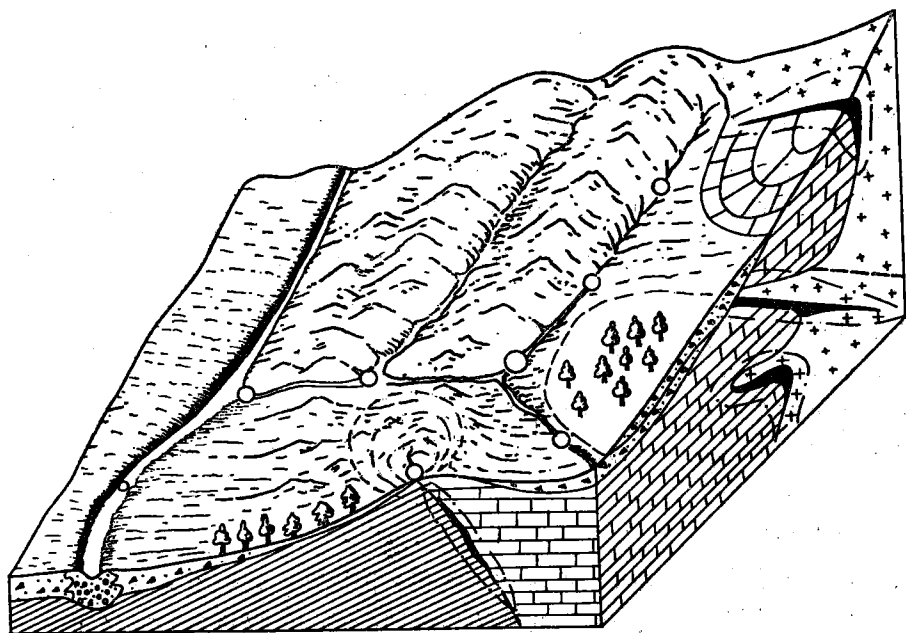


图 1 各种地球化学异常相互关系的示意图

1—页岩；2—灰岩；3—花岗岩；4—断层；5—冲积层；6—残坡积层；7—矿体；8—岩石地球化学异常；9—土壤地球化学异常；10—水系沉积物地球化学异常；11—水文地球化学异常；12—生物地球化学异常；13—气体地球化学异常

7. 根据异常出露的情况，分为出露异常和埋藏异常，根据含量变化的特点分为：正异常、负异常等等。

正异常和负异常在苏联文献中称为带入晕和带出晕。目前以研究正异常或带入晕为主。随着测试水平的提高，负异常或带出晕将越来越被人们所认识和利用。

还有一对术语，即所谓真异常与假异常，也需要作一些说明。

在地球化学找矿事业发展的初期，其主要任务是找矿，一般认为由地质作用造成的异常（包括由次生富集作用形成的次生异常）称为真异常，而由人为因素造成的异常（包括人类生产活动所造成的环境污染）称为假异常。当地球化学找矿已发展成为勘查地球化学的今天，其学科任务已不局限于找矿，因此人们认为真异常应是指天然或人为因素造成的客观存在的异常，而假异常是指由分析、加工和数据整理过程中的过失而造成的，客观不存在的异常。

第三节 地球化学找矿的分类

由于地球化学找矿发展很快，参加的人员来自不同专业，再加上许多简称、俗名，所

以分类命名存在着混乱现象。如以基岩取样为基础的方法，就有如下一些名称：岩石地球化学找矿，岩石金属量测量，原生晕找矿法，地球化学岩石测量，岩石取样，岩石分析，基岩光谱等等。其中，岩石地球化学找矿这一名称概括了一切有关内容，是所有各种名称中比较科学的。其它名称，除地球化学岩石测量外，都只反映了部分内容，岩石金属量测量，则不能包括非金属元素。原生晕找矿法，不能包括区域性的工作，岩石取样及岩石分析等则只是工作方法的一个片断，至于基岩光谱，则更是一些俗称，所以本教材选用如下的分类方案：

岩石地球化学找矿（亦称原生晕找矿）。

土壤地球化学找矿（亦称次生晕找矿）。

水系沉积物地球化学找矿（亦称分散流找矿）。

水文地球化学找矿（水化学找矿）。

气体地球化学找矿。

生物地球化学找矿。

由于新方法、新技术迅速引入，不时有一些新名词出现，如航空化探，海洋化探，同位素化探，构造化探等等。这些方法以其独特的名词命名，但仍离不开取样的介质，所以一般并不会引起误解，只是目前还没有一个包罗一切的命名系统。这正是一门迅速发展的新学科的特征之一。

根据工作的面积大小与详细程度，化探方法可以划分出区域化探和矿区化探：

区域化探	{	地球化学踏勘
		地球化学普查
矿区化探	{	地球化学详查
		地球化学精查

必须指出，上述划分也是很含混的，只是在相对意义上才成立，所以实际工作中不必拘泥于名称。

各种地球化学找矿方法和发展是极不平衡的，其中以水系沉积物及土壤取样为基础的方法最为成熟，应用规模最大，其次为岩石地球化学方法。水文地球化学方法及生物地球化学方法虽然应用与研究很早，但始终处于试验阶段。气体地球化学方法的研究较晚，但近年来发展很快，已在寻找深埋的固体矿产与能源方面，初显成效。

任何一种找矿方法，都有一个应用条件问题，例如在地质地球化学研究程度很高的地区，通常的水系沉积物方法就不会再发挥很大作用，必须代之以新的方法，所以化探方法必须不断改进。以适应更难的找矿任务。象我国这样一个幅员辽阔的国家，不但地质及矿产、地形及气候等自然条件千差万别，而且研究程度也相差极其悬殊，因此各种方法都有用武之地，而照搬一定的方法则是有害的。在实际找矿工作中，化探方法还必需与其他找矿方法如物探、地质的方法综合应用，才能提高地质效果，这是建国以来找矿工作的一条基本经验。

第四节 地球化学找矿的特点

一般的地质学，矿物学找矿方法，要求矿床有可见的标志。所谓可见，包括肉眼和显

显微镜下可见。所以必须要求矿物的粒度在光学显微镜的分辨能力以上。而地球化学方法是依靠分析测试手段探测其微观标志,所以不论有无矿物,均能检出。在这个意义上来说,化探是矿物学方法的延伸。它对于寻找那些不形成独立矿物的稀散元素和近年来陆续发现的低品位细分散的金属矿床,更是不可缺少的手段。

地球化学找矿不仅适用于良好的露头条件,而且几乎在各种覆盖条件下,只要应用适当,都可以达到找矿效果。因此,它比传统的地质矿物学方法有更广的适用性。

快速、经济是化探方法的根本特点。在广大的发展中国家及边远地区,利用化探方法,可以迅速查明资源远景,提供矿产勘查的后备基地。如我国的青海、黑龙江等省的人烟稀少地区,就有快速发现大型矿床的例子。在地质研究程度较高的地区,则可以用来开展深部找矿,如鄂东地区,已知矿床密集,地质勘探工作程度很高,也有用化探方法找到深部矿体的例子。在一些发达的资本主义国家,地球化学找矿工作与环境地球化学调查相结合,成为常规国家基础制图内容之一。地球化学找矿方法不仅速度快,而且成本低,据苏联报道,一比五万地质测量的成本是493.33卢布/km²。一比五万分散流,岩石地球化学方法的成本是20.7卢布/km²。

与物探方法相比,地球化学找矿的直接性特点就很突出,因为物探方法是根据矿体与围岩的物理性质的差异来找矿的,所以它是一种间接的方法,而地球化学异常是由物质本身(成矿元素)而不是由物性差别引起的。当然,通过伴生元素来指示矿体,带有间接性的一面,但在解释时,又可以直接应用地质成矿规律。在特殊情况下,例如对于细脉浸染型矿床,矿体就是直接用化学分析数据来圈定的。

化探方法也有其局限性,它的应用一方面受自然条件的影响很大,并不是任何地区都能顺利地收到效果;另一方面又受到分析技术的灵敏度与精确度的限制,不是任何矿种都能发现。例如对于贵金属,有很长一段时间由于分析灵敏度不高,而限制了化探的应用,利用比较易于分析的伴生元素,如As、Cu等,虽然可行,但经验证明总不如直接分析成矿元素可靠。

一般说来,凡属空间几何性质的问题,如矿体的形状、产状、埋深、倾向、倾角、厚度、延深等等,是物探方法的擅长。用化探方法解决这类问题,目前成功的例子相对较少。虽然,随着化探本身研究工作的进展,能解决的问题的范围会有所扩大,但是根据具体情况,发挥各种方法的特长,避免各种方法短处,互相配合,才是多快好省地进行找矿的正确途径。

第五节 地球化学找矿的发展简史

地球化学找矿虽然是最年轻的地学分支之一,但就其思想萌芽和初步实践来说,却有着悠久的历史。可以说从人类第一次使用金属起,就已有了地球化学找矿的实践。最早的文字记载,可追索到两千年以前,如《管子·地数篇》中记述“山上有赭者,其下有铁;山上有铅者,其下有银;山上有丹砂者,其下有銍金;山上有磁石者,其下有铜金,此山之见荣者也。”又云,“凡天下名山五千三百七十一,出铜之山四百六十七,出铁之山三千六百有五。”由此可见早在春秋时代的人们不但已经摸索出了某些矿物和元素的共生关系,分带规律,而且明确地用于指导找矿,进而对矿产的区域分布也有所调查与总结。

在国外,已知早期有关地球化学找矿记述的古典文献,出现于中世纪。霍克斯(H. E. Hawkes)及莱文森(A. A. Levenson)都曾经成段地引用过十六世纪中叶出版的拉丁文著作来说明某些地球化学方法的原理早已得到很好的阐述。有人推测(R. W. Boyle)利用植物来帮助找矿,可能在八世纪就为人们所知。1546年在巴塞尔出版的一部叫做“论金属”(De Re Metallia)的著作中,就有对水化学找矿的详细描述,并分出了六类水质:盐质,碱质,硫质,硫酸质,铝质,沥青质(A. A. 莱文森)。

二十世纪以来,地球化学找矿的文献迅速增加。我国学者李四光、舒文博于1924年在河南武安红山测制了花岗闪长岩内的 SiO_2 Al_2O_3 的等量线图,用以研究含铁矿的远景。可以说是我国现代地球化学找矿的先驱性工作。

但是现代地球化学找矿的真正开始,是以快速、灵敏的微迹元素分析技术的应用为标志的。目前公认地球化学找矿创立于苏联。在1932年左右,有一批苏联的物探人员,为了解决物探异常的矿与非矿问题,在地质地球化学原理的指导下,系统采集地表的土壤样品,用光谱分析测定其中的成矿金属,最初是Sn,后来扩大到Cu、Pb、Zn、Ni、W等,他们把这一方法叫做金属量测量。不久,北欧诸国,特别是瑞典也开展了类似工作,但重点是在生物地球化学方面。

三十年代出版的地球化学找矿方面的开创性著作,是由苏联学者H. И. 萨弗朗诺夫, E. A. 谢尔盖也夫完成的。他们提出了矿床分散晕的概念,并进行了科学的分类。A. И. 索洛夫夫, C. И. 米列尔等人总结了在干旱地区大规模应用金属量测量的经验,编制了苏联的化探规范。一批苏联的地球化学家,如B. И. 维尔纳茨基及其学生 A. E. 费尔斯曼, A. И. 维诺格拉多夫等对地球化学找矿的理论基础的奠定作出了突出的贡献。挪威的著名地球化学家V. M. 戈尔德施密特(Goldschmidt)在三十年代不但用光谱分析方法系统地研究了微量元素的分布,而且还提出了控制这些元素分布的基本规律。这些基本规律对找矿工作有着重要的指导意义。还有美国的 F. W. 克拉克(Clark)芬兰的K. 兰卡玛,挪威的T. 伏格特,对化学元素的分布作了大量基础性的研究。在本教材中,我们将不时提到这些科学家的成果。此外,澳大利亚的L. H. 阿伦斯,苏联的 A. K. 鲁沙诺夫,系统地总结了地质样品的光谱分析方法;美国的 E. B. 山德尔(Sandell)发表了微迹元素比色分析的专著。总之,以上各方面的工作,为现代地球化学找矿的创立准备了理论上与技术上的条件。

第二次世界大战使各国政府认识到科学技术在争取战争胜利及战后经济恢复中起的重要作用。原子能及尖端技术的发展以及战略矿产储备的需要,促成了全球性矿产资源勘查工作空前的活跃。地球化学找矿就在这样的形势下应运迅速发展起来。所以地球化学找矿在大多数西方国家是在1945年以后开展起来的。

加拿大的化探工作,最早由英属哥伦比亚大学的 H. V. 华伦从生物地球化学找矿开始。虽然在已知矿体上证实了有异常存在,但大多数人对这一方法不感兴趣。从1950年开始,加拿大地质调查所开始了对地球化学找矿的系统研究。早期的工作是用双硫脲比色测定贱金属,他们制定的冷提取方法,在训练有素的人手里是得力的工具,可以在现场直接做出决定。但由生手来做,就会产生许多错误,曾一度损害了化探的声誉。后来有了真正成功的例子,才挽回了影响(A. A. 莱文森)。加拿大的化探工作,由于特别注意研究他们特有的自然条件,如冰川、永冻土、湖泊等,发挥了技术装备的优势,如直升飞机取样

等,才取得了显著的效果。但大学中的研究人员,不时发出经费不足的抱怨。主要工作在私人探矿公司中进行,化探占他们的总投资12—13%左右。

化探在美国开始于1947年,最初是由H. E. 霍克斯发起的。他在战后从地质调查所申请到一笔费用,就邀集了植物营养学家哈夫(Huff)等人从制定快速比色法入手,研究了在各种自然条件下岩石、土壤、植物中的异常特征。

1950年起,一些大的探矿公司也相继应用了化探方法,在阿巴拉契山脉及西北部太平洋沿岸取得了成功。后来发展到全国性的扫面,动用的人力物力及装备的先进是举世瞩目的。

英国的经济地质学家J. S. 韦伯(Webb)到美国、加拿大考察了化探的应用,回国后于1954年在伦敦大学帝国理工学院筹建了一个应用地球化学研究组,从事人材培养及方法研究。从这个组毕业的博士已达100余名,他们活跃在西方各国的政府部门、高等院校、私人公司及国际学术组织中。在区域化探及计算机技术的应用方面,这一研究组的贡献最显著。

澳大利亚的化探工作,其规模及效果也是很大的。法国,还有北欧诸国也都用先进的仪器装备了化探工作。

总之,现在没有一个设有地质调查机构的国家不进行化探工作的。对于一些技术力量薄弱及资金比较拮据的发展中国家,联合国的开发计划署(UNDP)历年来在那里执行了一系列的矿产资源勘查计划,其中包括地球化学勘查规划。在巴拿马、马来西亚、阿根廷等地发现了许多大型矿床(Claud Lipeltier, 1980),总值达260亿美元。并不时召开讲习会,推广这种方法。尼泊尔也在联合国资助下进行了全国化探扫面。

苏联不但是现代化探的发源地,而且在应用规模、找矿效果及基础研究方面,处于领先地位。最初的化探工作在物探队中进行,1955年起,苏联地质部规定,所有的地质调查机构都必须进行化探工作。据报导,苏联在1953—1977年间,用化探方法找到了100个工业矿床、100个工业矿体、800多个远景矿点。一些本来从事基础地球化学研究的机构和个人,也都转向研究化探原理和方法的方向上来。他们提出的基岩地球化学找矿及气体地球化学找矿方面的文章使西方的一些应用地球化学家因太晚读到而遗憾。

我国的化探工作,开始于五十年代初。当时建国伊始,百废待兴,矿产资源的勘探也是当务之急。1951年谢学锦、徐邦樑等在安庆月山进行了早期化探实验,用简易的化学方法研究了土壤、水系沉积物中的铜异常。并在这次实验中,发现了铜矿指示植物——海州香薷(俗称铜草),这是重要的铜矿指示植物之一。

1953年初,在新成立的地质部地矿司内设立了化探室。同年,在苏联专家的指导下及苏联光谱仪的引进,在地质部所属的物探队首先开展了金属量测量。我国于1954年起开展了1:20万金属量测量,是世界上最早几个进行全国性区域化探工作的国家之一。其规模仅次于苏联。当时由于缺乏经验及方法技术上的不足,并且是作为地质测量的一种附属方法加以应用,因此工作的效果远没有充分显示出来。1956年冶金工业部成立了冶金地球物理总队的化探组,也进行了一系列的地球化学找矿工作。1957年,地质部成立了物探研究所,其中设置了化探研究室。1962年冶金工业部在北京矿山研究院地质研究所中成立了欧阳宗圻领导的化探研究室。1960年,在原北京地质学院设立地球化学专业和由已故曹添教授领导的地球化学及地球化学探矿教研室,开始系统培养这方面的专门人才。

我国于五十年代后期,谢学锦、邵跃等对原生晕的三度空间几何模式和组分分带特征的研究,当时和苏联同处于世界上领先地位。迄今为止,已在近百个不同类型矿床,包括铅锌多金属矿、矽卡岩铜矿、斑岩铜矿、铜镍矿、汞矿、金矿、铁矿等,进行了这种研究,大大提高了地球化学异常的解释推断水平。

七十年代以来,通过二十多年的经验和人才积累,在大量找矿成功实例的证明下,在国际地球化学找矿大发展的形势影响下,我国的地球化学找矿事业进入了一个蓬勃发展的时期。现在,我国地质矿产部、冶金工业部、核工业部所属的几乎所有地质机构,从区域调查到生产矿山,都开展了各种类型的地球化学找矿工作,发现了大量远景地区、矿床及矿体。1978年提出了“区域化探全国扫面”计划,并着手对区域化探的野外工作方法、分析方法、质量监控、电子计算机技术的应用、地球化学数据成图及解释推断方面,进行全面革新与研究;冶金系统也有计划地开展了成矿区带化探工作;各研究所及院校都在进行有关专题研究;所有这些都推动着全国地球化学找矿工作前进。

1980年,我国勘查地球化学家的代表首次参加了国际勘查地球化学学术讨论会(在联邦德国汉诺威举行的第八届国际勘查地球化学学术讨论会),引起了国外学者对中国化探的重视。中国化探正打破长期隔绝状态,使其多年来取得的成就逐步为世界所了解。

当前,我国各地、各部门的地球化学找矿大队、分队,各系统的勘查地球化学科学研究单位,正在不断研究和推广新方法、新技术,向地球化学找矿的广度和深度进军;我国的地球化学找矿教学部门,每年输送数以百计的、具有坚实基本训练的新鲜血液到化探队伍中去;我国的仪器制造系统提供了不断改进的新型分析测试设备;我国的情报部门及时介绍与交流国内外的新动向、新经验、新资料。凡此种种,说明了我国地球化学找矿事业,必定会在实现四个现代化的进军中作出应有的贡献。

第六节 地球化学找矿的发展方向

在找矿难度越来越大的今天,今后在矿区化探方面,主要是加强厚层覆盖(包括外来疏松沉积物及成矿后年青地层的覆盖)地区的找矿和加强深部找矿的研究。因此探测深度较大的岩石地球化学找矿法、气体地球化学找矿法和水文地球化学找矿法将会得到进一步的发展。在矿种方面,除继续应用于有色金属、稀有金属和贵金属的找矿外,将进一步扩展到黑色金属、非金属和能源(油气田、煤田和地热田)的勘查。在矿床类型方面,除热液矿床外,应更多的研究岩浆矿床、沉积矿床、层控矿床和变质矿床的地球化学异常特征;建立各类矿床地球化学异常发育的理想模型或模式;提高地球化学方法在上述矿床中的找矿效果。因此,扩大测试项目,运用更多的地球化学指标,无疑会得到更广泛的试验。

区域化探在今后二十年内将继续占有突出的地位。查明尽可能多的化学元素,按大地构造单元、地层、岩浆岩体的分布,是人类认识地球的基本需要,对于找矿来说,也具有战略意义。新的全球构造学说与遥测图象解释,将与区域化探相结合,使地球物质的迁移演化及分布分配特点得到深入全面的阐明。人类的矿业活动只涉及地壳的一小部分,而地壳内化学元素的集中与分散,只有把它们放在整个地球的化学演化的背景上才能深刻认识。区域化探的基本资料又是国民经济长远规划的依据。这类基础工作,只有国家的支持