

高等学校教学参考书

找矿方法

长春地质学院找矿教研室

地质出版社

高等学校教学参考书

找 矿 方 法

长春地质学院找矿教研室 编

地质出版社

找 矿 方 法

长春地质学院找矿教研室 编

*

国家地质总局教育司教材室编辑

地 质 出 版 社 出 版

天 津 市 第 一 印 刷 厂 印 刷

*

1979年8月北京第一版·1979年8月天津第一次印刷

印数1—8,290册·定价2.40元

统一书号：15038·教54

前 言

据一九七七年国家地质总局教材分工会议确定；由我院编写《找矿勘探方法》，本书计划分为两册，即：《找矿方法》与《矿床勘探》。

《找矿方法》一书主要内容是阐明各类找矿方法，特别是重点介绍了地球化学找矿方法。对于矿产普查工作中有关地质理论的综合应用、有关各类找矿方法的综合应用等也用了相当篇幅进行了介绍。全书共分为十一章，前九章属各类找矿方法，后两章为矿产普查工作。

文化大革命以来，各兄弟院校的课程设置情况不甚一致，找矿勘探课程又无统一的教学大纲，因而本书在体系安排及内容要求上，难以适应各兄弟院校的需要，仅供教学中参考使用。本书也可供从事于矿产普查及地球化学找矿的野外地质技术人员学习参考。

本书在编写过程中，承蒙国家地质总局科技司、武汉地院、河北地院、中南矿冶学院等单位派出代表，进行审查，为修改与提高质量提出了许多宝贵意见。修改后，又承武汉地质学院曹添、刘瑾璇老师审阅。在此表示感谢。

由于我们水平有限，书中可能存在不少的缺点和错误，请读者批评指正。

长春地质学院找矿教研室

1978年10月

目 录

绪 言	(1)
第一章 地球化学找矿的基本概念	(3)
第一节 元素在地壳中的分布	(3)
一、元素在岩石圈中的分布量	(3)
二、元素在土壤中的分布量	(6)
三、元素含量的概率分布形式	(6)
第二节 地壳中元素的存在形式和元素的迁移	(8)
一、元素的存在形式	(8)
二、元素的迁移	(9)
第三节 地球化学异常与地球化学找矿	(11)
一、地球化学异常	(11)
二、地球化学找矿	(14)
第二章 岩石地球化学找矿	(15)
第一节 热液矿床原生晕的形成	(15)
一、成晕元素的迁移方式	(16)
二、元素在溶液中的存在形式及其活动性	(16)
三、元素的沉淀	(17)
四、影响元素迁移的因素	(17)
第二节 矿床原生晕的基本特征	(19)
一、原生晕的组份	(19)
二、指示元素的含量	(22)
三、原生晕的形态和规模	(24)
四、原生晕的分带性	(27)
第三节 岩石地球化学测量的应用	(34)
一、评价矿化带、寻找盲矿体	(34)
二、研究成矿地质条件和评价地质体的含矿性	(38)
三、用于区域地质研究	(43)
第四节 野外工作方法	(44)
一、工作前的准备	(44)
二、工作的布局	(45)
三、样品的采集与加工	(47)
第三章 土壤地球化学找矿	(48)
第一节 风化与土壤	(48)
一、风化作用	(48)
二、土壤及其形成	(49)
第二节 矿床次生晕的形成	(50)

一、成矿元素的次生分散	(50)
二、控制成矿元素次生分散的因素	(53)
第三节 矿床次生晕的基本特征	(58)
一、指示元素	(58)
二、指示元素的含量	(60)
三、次生晕的形态与规模	(63)
四、次生晕与矿体的空间关系	(67)
五、次生晕的分带性	(68)
第四节 土壤地球化学测量的应用	(69)
一、寻找被复盖的矿体, 预测矿石类型、矿化规模	(69)
二、研究地质体的含矿性, 评价区域找矿远景	(73)
三、研究铁帽组分, 评价其找矿意义	(77)
四、研究地质问题, 间接指导找矿	(79)
第五节 野外工作方法	(80)
一、工作前的准备	(80)
二、工作的布局	(81)
三、样品采集与加工	(83)
第四章 水系沉积物地球化学找矿	(85)
第一节 分散流的形成	(85)
第二节 分散流的基本特征	(86)
一、指示元素	(86)
二、指示元素的含量	(87)
三、分散流的规模及其与矿体的空间关系	(91)
四、分散流的分带性	(92)
第三节 水系沉积物地球化学测量的应用	(93)
一、区域找矿中的应用	(93)
二、区域成矿规律研究中的应用	(95)
三、地质研究中的应用	(95)
第四节 野外工作方法	(97)
一、工作前的准备	(97)
二、工作的布局	(98)
三、样品采集与加工	(98)
第五章 其它地球化学找矿	(100)
第一节 水地球化学找矿	(100)
一、天然水的组成	(100)
二、水晕的特征	(102)
三、水样采集与编录	(103)
第二节 生物地球化学找矿	(104)
一、植物对微量元素的吸收	(105)
二、微量元素在植物体内的分布	(105)
三、样品的采集	(105)
第三节 气体地球化学找矿	(106)

一、壤中气地球化学测量·····	(106)
二、航空气体地球化学测量·····	(109)
三、气体地球化学测量的其它应用·····	(110)
第六章 样品分析、资料整理及异常的解釋和评价 ·····	(111)
第一节 样品的分析 ·····	(111)
一、地球化学找矿对分析方法的要求·····	(111)
二、发射光谱分析·····	(112)
三、原子吸收光谱分析·····	(114)
四、化学分析·····	(115)
第二节 分析质量的检查 ·····	(117)
一、分析质量检查的一般要求和方法·····	(117)
二、评定化验成果质量时方差分析的应用·····	(118)
第三节 正态分布形式的检验 ·····	(121)
一、偏度、峰度检验法·····	(121)
二、累积频率概率格纸检验法·····	(123)
第四节 地球化学背景值及背景上限值的确定 ·····	(124)
一、长剖面法·····	(124)
二、直方图解法·····	(125)
三、概率格纸图解法·····	(127)
四、计算法·····	(130)
第五节 资料的整理 ·····	(133)
一、原始资料的整理·····	(133)
二、实际材料图的编制·····	(134)
三、综合性图件的编制·····	(136)
第六节 地球化学异常的解釋与评价 ·····	(136)
一、异常解釋与评价的任务与要求·····	(136)
二、异常解釋与评价的依据·····	(137)
三、异常解釋与评价的方法·····	(138)
第七章 统计分析在地球化学找矿中的应用 ·····	(140)
第一节 趋势分析的应用 ·····	(140)
一、方块平均趋势分析·····	(140)
二、滑动平均趋势分析·····	(143)
三、多项式函数拟合趋势面分析·····	(144)
四、趋势分析在地球化学找矿中的应用·····	(145)
第二节 回归分析的应用 ·····	(146)
一、回归分析的基本原理·····	(149)
二、回归分析的应用·····	(149)
三、回归分析应用方法实例·····	(152)
第三节 判别分析的应用 ·····	(153)
一、判别分析的基本原理·····	(153)
二、判别分析的应用方法实例·····	(155)
第四节 点群分析的应用 ·····	(161)

一、点群分析的基本原理·····	(161)
二、点群分析的应用·····	(163)
三、点群分析应用方法实例·····	(164)
第五节 因子分析的应用 ·····	(167)
一、因子分析的基本原理·····	(167)
二、电算前准备工作·····	(170)
三、电算成果整理·····	(170)
四、因子分析的应用·····	(174)
第八章 重砂找矿 ·····	(178)
第一节 重砂找矿基本原理 ·····	(178)
一、重矿物分散晕(流)的形成·····	(178)
二、重矿物分散晕(流)形成的控制因素·····	(178)
第二节 重砂测量的工作方法 ·····	(181)
一、重砂样品的采取·····	(181)
二、重砂样品的淘洗与编录·····	(188)
三、重砂样品的分析方法·····	(189)
四、重砂成果图的编制·····	(198)
五、重砂测量成果的评价与检查·····	(203)
六、重砂测量报告的编写·····	(209)
第三节 重砂找矿的应用 ·····	(209)
一、在寻找原生矿床中的应用·····	(210)
二、在寻找砂矿床中的应用·····	(211)
第四节 重砂找矿的新动向 ·····	(213)
第九章 探矿工程在矿产普查中的应用 ·····	(216)
第一节 轻型山地工程的应用 ·····	(216)
一、探槽的应用·····	(216)
二、浅井及其它轻型山地工程的应用·····	(220)
第二节 钻探工程的应用 ·····	(223)
一、岩心钻探的地质要求·····	(224)
二、岩心钻探的地质设计·····	(226)
三、岩心钻探的地质管理及编录·····	(228)
第三节 重型山地工程的应用 ·····	(233)
第十章 矿产普查工作 ·····	(237)
第一节 矿产普查基本原则 ·····	(237)
一、矿产普查基本原则·····	(237)
二、正确处理好几个关系·····	(239)
第二节 普查找矿 ·····	(240)
一、普查找矿的任务和一般工作程序·····	(240)
二、区域找矿地质条件的分析研究·····	(241)
三、区域矿产分布规律的分析研究·····	(251)
四、找矿标志的研究·····	(256)

五、矿产预测图的编制·····	(262)
六、航磁异常检查·····	(264)
七、矿点检查·····	(265)
第三节 普查评价 ·····	(268)
一、普查评价的任务与要求·····	(268)
二、矿田、矿床构造的研究·····	(268)
三、各类矿床成矿地质条件的研究·····	(271)
四、矿区地质测量·····	(275)
五、矿体的追索·····	(278)
六、矿石质量的研究·····	(286)
七、矿区工业意义的评价远景·····	(288)
第十一章 矿产普查实例 ·····	(295)
第一节 江西德兴斑岩铜矿床普查工作 ·····	(295)
一、矿田地质概况·····	(295)
二、丙矿床的发现·····	(296)
三、甲矿床远景的肯定·····	(297)
四、矿床原生晕的研究·····	(299)
五、试验研究工作·····	(302)
第二节 粤北钨矿带普查工作 ·····	(304)
一、在实践中认识“五层楼”规律·····	(305)
二、运用“五层楼”规律进行找矿工作·····	(308)
三、以地质规律为基础,运用综合找矿方法,加速普查找矿工作·····	(311)
第三节 河北邯邢地区铁矿普查工作 ·····	(313)
一、点面结合,综合找矿·····	(313)
二、典型解剖,突破低缓异常·····	(314)
三、总结规律,区分矿与非矿异常·····	(320)
四、深入研究,打穿岩体探矿·····	(321)
五、解决矛盾,扩大矿区远景·····	(321)
附表一、F分布表($\alpha = 0.05$)·····	(325)
附表二、F分布表($\alpha = 0.01$)·····	(326)
附表三、相关系数检验表·····	(327)
附表四、化探常用含量单位·····	(327)
主要参考文献·····	(328)

绪 言

地质工作是地下情况的侦察工作，其主要任务是为社会主义建设提供所需要的矿产资源。粉碎了“四人帮”，举国上下，万众一心，正在以华国锋同志为首的党中央的领导下，为提前实现工业、农业、国防和科学技术现代化，尽早把我国建设成为一个社会主义的现代化强国而努力奋斗。为实现“四个现代化”而寻找矿产资源是我国每个地质人员的光荣职责。

建国卅年来，在党中央和毛主席的无产阶级革命路线的指引下，在地质战线广大职工的积极努力下，我国的矿产普查工作取得了很大成绩，旧中国几十年才找到十八种矿产，估算了点储量。而新中国成立后的短短几十年中对世界上已知的一百四十多种矿产，在我国都找到了，其中一百三十多种并探明了一定的储量。煤、铁、铜、石油、磷、硫等十七种主要矿产探明的储量，已居世界的前列，与此同时，找矿的理论和方法也得到相当大的发展，这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利。但是应当认识到，由于林彪、“四人帮”的干扰和破坏，我国某些主要矿产，探明的储量不足，有的分布不理想，有的采选条件差，有的甚至不能满足近期建设的需要。因此，在争取实现“四个现代化”的大好形势下，更要求我们地质部门提前一个五年计划，一个十年计划为国家提供更多、更好、可供选择的矿产地。这是一个艰巨而光荣的任务，也给矿产普查、找矿工作提出了更高的要求。

矿产普查是一项比较复杂的工作。矿床的形成是受各方面因素所控制的。出露地表的矿体陆续被发现，矿产普查工作必然要转向覆盖地区、边远地区，转向深部找盲矿。为此不仅要加强地质理论的研究，而且要总结我国找矿实践和吸收国外的有用经验，研究使用新技术、新方法，才能多快好省地进行找矿工作，适应新时期总任务的需要。《找矿方法》正是在这种形势下编写的。

目前找矿工作中所应用的方法有多种、概括起来可分为三类。

1.地质的：主要是通过矿床形成的地质条件和反映矿床存在的地质标志的观察研究进行找矿的。探矿工程的应用主要是揭露地质体（包括矿体），为进行地质观察研究创造条件，因而也属于地质类的方法。

2.地球化学的：主要是通过对矿体形成或风化破坏过程中元素的迁移与富集、分散与集中规律的研究进行找矿的。

3.地球物理的：主要是通过对矿石与围岩物理性质差异的研究进行找矿的。

在地质方法中，地质现象的观察，地质规律的研究是地质测量的内容和方法，本身应属相应地质课程的研究范围，因而在本课程的地质方法中，仅对重砂找矿及探矿工程的应用进行了讨论。物探方法另设有专门课程。因而本课中的找矿方法将着重讨论地球化学找矿方法。

无数生产实践的经验表明，找矿工作应以地质观察研究为基础，采用综合方法进行综

合找矿，即在地质观察研究基础上，因地制宜地运用地质的、地球化学的、地球物理的方法从各方面进行调查，互相补充、相互验证。这种方法是符合辩证唯物论的认识论的，是有益于找矿工作深入的。除此而外，为了更好地进行找矿，还必须掌握找矿工作中的方针政策、了解普查工作有关的基本知识，学习有关的先进经验。

因此，《找矿方法》课在内容上主要包括两部分：

1. 各找矿方法：包括地球化学找矿方法（主要是岩石地球化学找矿、土壤地球化学找矿、水系沉积物地球化学找矿等）以及重砂找矿方法和探矿工程在普查工作中的应用。

2. 矿产普查工作：包括普查工作的原则、类型（普查找矿、普查评价）、各类型普查中有关的成矿地质条件分析、找矿标志和找矿方法的应用等。

第一章 地球化学找矿的基本概念

地球化学找矿又称地球化学探矿，简称“化探”。

地球化学找矿是找矿工作的一个重要方面军，其历史不长，但在找矿工作中却显示出重要的作用。国外二十世纪三十年代才开始进行地球化学找矿，我国地球化学找矿工作随着社会主义经济建设的发展，1952年开始在生产中采用。近三十年来，在党的领导下，为社会主义经济建设找到了许多大、中型矿床，本身也得到了很大的发展。地球化学找矿不仅可以找到被土壤覆盖的矿体，而且可以寻找地下深处的盲矿体；不仅在区域地质调查及矿产普查中是“先行”兵种，能起战略侦察作用，而且在矿产普查评价及矿产勘探各阶段也有重要作用；目前不仅可直接用以找矿，而且也用于研究基础地质问题。在当前抓纲治国为提前实现四个现代化而奋斗的新形势下，地球化学找矿更显得重要。

第一节 元素在地壳中的分布

一、元素在岩石圈中的分布量

元素在地壳中分布的研究，是地球化学的一项基本任务，也是地球化学找矿工作的基础。

通常，地壳岩石圈中元素的分布量用“克拉克值”表示，有些国家里则称为“丰度”，指的是元素在地壳岩石圈中的平均含量。含量表示方法有的用百分比表示，有的用克/吨(g/T)、伽玛/克(r/g)表示，(1g/T = 1r/g 相当于 1ppm = 0.0001%)。岩石圈中元素的克拉克值及各类岩石中的平均含量见表1-1。

克拉克值反映了岩石圈中的平均化学成份，提供了衡量各组成部分元素分配的尺度，如各类地质体、岩石或矿物中某元素的平均含量若高于其克拉克值，表明该元素有相对集中，反之则说明相对分散。因而常用地质体中某元素平均含量与克拉克值的比值（称为浓度克拉克值）表示元素的集散状况。浓度克拉克值大于1，说明该元素在地质体中相对集中，反之则分散。浓度克拉克值的概念，对研究元素的分散、集中与迁移，进行地球化学找矿工作是有意义的。

各矿产都是元素集中的结果。但是不同的矿产集中的程度很不相同。各种矿产最低可采品位与其克拉克值的比值称为该元素的“浓集系数”，常用以反映元素在矿床中集中程度。不同元素的“浓集系数”相差很大，说明其集中的程度很不相同。如Fe在矿床中仅富集六倍，而Sb、Bi、B等则富集达万倍以上（见表1-2）。“浓集系数”大的元素，在矿床中集中程度高，含量增高的幅度大，有利于用以追踪矿床。过去地球化学找矿研究的多是“浓集系数”较大的元素，其原因也在此。

各种类型岩石中微量元素的研究，不仅可了解岩石中各元素较之在岩石圈中富集或分

某些元素的克拉克值及在各类岩石中的平均含量 (%)

表 1-1

元素	克拉克值	超基性岩	基性岩	中性岩	酸性岩 〔富钙〕	酸性岩 〔贫钙〕	砂岩	页岩	碳酸盐岩
Ag	7×10^{-6}	6×10^{-6}	1.1×10^{-5}	$n \times 10^{-5}$	5.1×10^{-6}	3.7×10^{-6}	$n \times 10^{-6}$	7×10^{-6}	$n \times 10^{-6}$
Al	8.2	2.0	7.8	8.8	8.2	7.2	2.5	8.0	0.4
As	1.8×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	1.4×10^{-4}	1.9×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1×10^{-4}	1.3×10^{-3}	1×10^{-4}
Au	4×10^{-7}	6×10^{-7}	4×10^{-7}	$n \times 10^{-7}$	4×10^{-7}	4×10^{-7}	$n \times 10^{-1}$	$n \times 10^{-7}$	$n \times 10^{-7}$
B	1×10^{-3}	3×10^{-4}	5×10^{-4}	9×10^{-4}	9×10^{-4}	1×10^{-3}	3.5×10^{-3}	1×10^{-2}	2×10^{-3}
Ba	4.3×10^{-2}	4×10^{-5}	3.3×10^{-2}	1.6×10^{-1}	4.2×10^{-2}	8.4×10^{-2}	$n \times 10^{-3}$	5.8×10^{-2}	1×10^{-3}
Be	2.8×10^{-4}	$n \times 10^{-5}$	1×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	3×10^{-4}	$n \times 10^{-5}$	3×10^{-4}	$n \times 10^{-5}$
Bi	1.7×10^{-5}	—	7×10^{-7}	—	—	1×10^{-6}	—	—	—
Br	2.5×10^{-4}	1×10^{-4}	3.6×10^{-4}	2.7×10^{-4}	4.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1×10^{-4}	4×10^{-4}	6.2×10^{-4}
Ca	4.15	2.5	7.6	1.8	2.5	5.1×10^{-1}	3.9	2.2	30.2
Cd	2×10^{-5}	$n \times 10^{-5}$	2.2×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.3×10^{-5}	$n \times 10^{-6}$	3×10^{-5}	3.5×10^{-6}
Cl	1.3×10^{-2}	8.5×10^{-3}	6×10^{-3}	5.2×10^{-2}	1.3×10^{-2}	2.0×10^{-2}	1×10^{-3}	1.8×10^{-2}	1.5×10^{-3}
Co	2.5×10^{-3}	1.5×10^{-2}	4.8×10^{-3}	1×10^{-4}	7×10^{-4}	1×10^{-4}	3×10^{-5}	1.9×10^{-3}	1×10^{-5}
Cr	1×10^{-2}	1.6×10^{-1}	1.7×10^{-2}	2×10^{-4}	2.2×10^{-3}	4.1×10^{-4}	3.5×10^{-3}	9×10^{-3}	1.1×10^{-3}
Cu	5.5×10^{-3}	1×10^{-3}	8.7×10^{-3}	5×10^{-4}	3×10^{-3}	1×10^{-3}	$n \times 10^{-4}$	4.5×10^{-3}	4×10^{-4}
F	6.3×10^{-2}	1×10^{-2}	4×10^{-2}	1.2×10^{-1}	5.2×10^{-2}	8.5×10^{-2}	2.7×10^{-2}	7.4×10^{-2}	3.3×10^{-2}
Fe	0.63	9.43	8.65	3.67	2.96	1.42	9.8×10^{-1}	4.72	3.8×10^{-1}
Ga	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-4}	1.7×10^{-3}	3×10^{-3}	1.7×10^{-3}	1.7×10^{-3}	1.2×10^{-3}	1.9×10^{-3}	4×10^{-4}
Ge	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1×10^{-4}	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	8×10^{-5}	1.6×10^{-4}	2×10^{-5}
Hf	3×10^{-4}	6×10^{-5}	2×10^{-4}	11×10^{-4}	2.3×10^{-4}	2.9×10^{-4}	3.9×10^{-4}	2.8×10^{-4}	3×10^{-5}
Hg	8×10^{-6}	$n \times 10^{-6}$	9×10^{-6}	1.1×10^{-3}	8×10^{-6}	8×10^{-6}	3×10^{-6}	4×10^{-5}	4×10^{-6}
I	5×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	1.7×10^{-4}	2.2×10^{-4}	1.2×10^{-4}
In	1×10^{-5}	1×10^{-6}	2.2×10^{-5}	$n \times 10^{-6}$	$n \times 10^{-6}$	2.6×10^{-5}	$n \times 10^{-6}$	1×10^{-5}	$n \times 10^{-6}$
K	2.09	4×10^{-3}	8.3×10^{-1}	4.8	2.52	4.2	1.07	2.60	2.7×10^{-1}
Li	2×10^{-3}	$n \times 10^{-5}$	1.7×10^{-3}	2.8×10^{-3}	2.4×10^{-3}	4×10^{-3}	1.5×10^{-3}	6.8×10^{-3}	5×10^{-4}
Mg	2.33	20.4	4.6	5.8×10^{-1}	9.4×10^{-1}	1.6×10^{-1}	7×10^{-1}	1.50	4.7
Mn	9.5×10^{-2}	1.62×10^{-1}	1.5×10^{-1}	8.5×10^{-2}	5.4×10^{-2}	3.9×10^{-2}	$n \times 10^{-3}$	8.5×10^{-2}	1.1×10^{-1}
Mo	1.5×10^{-4}	3×10^{-5}	1.5×10^{-4}	6×10^{-5}	1×10^{-4}	1.3×10^{-4}	2×10^{-5}	2.6×10^{-4}	4×10^{-5}
Na	2.36	4.2×10^{-1}	1.8	4.04	2.84	2.58	3.3×10^{-1}	9.6×10^{-1}	4×10^{-2}
Nb	2×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.9×10^{-3}	3.5×10^{-3}	2×10^{-3}	2.1×10^{-3}	$n \times 10^{-6}$	1.1×10^{-3}	3×10^{-5}
Ni	7.5×10^{-3}	2×10^{-1}	1.3×10^{-2}	4×10^{-4}	1.5×10^{-3}	4.5×10^{-4}	2×10^{-4}	6.8×10^{-3}	2×10^{-3}
P	1.05×10^{-1}	2.0×10^{-2}	1.1×10^{-1}	8×10^{-2}	9.2×10^{-2}	6×10^{-2}	1.7×10^{-2}	7×10^{-2}	4×10^{-2}
Pb	1.25×10^{-3}	1×10^{-4}	6×10^{-4}	1.2×10^{-3}	1.5×10^{-3}	1.9×10^{-3}	7×10^{-4}	2×10^{-3}	9×10^{-4}
Rb	9×10^{-3}	2×10^{-5}	3×10^{-4}	1.1×10^{-2}	1.1×10^{-2}	1.7×10^{-2}	6×10^{-3}	1.4×10^{-2}	3×10^{-4}
S	2.6×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	2.4×10^{-2}	2.4×10^{-1}	1.2×10^{-1}
Sb	2×10^{-5}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	$n \times 10^{-5}$	2×10^{-5}	2×10^{-5}	$n \times 10^{-6}$	1.5×10^{-4}	2×10^{-5}
Si	28.1	20.5	23.0	29.1	31.4	34.7	36.8	7.3	2.4
Sn	2×10^{-4}	5×10^{-5}	1.5×10^{-4}	$n \times 10^{-4}$	1.5×10^{-4}	3×10^{-4}	$n \times 10^{-5}$	6×10^{-4}	$n \times 10^{-5}$
Sr	3.75×10^{-2}	1×10^{-4}	4.65×10^{-2}	2×10^{-2}	4.4×10^{-2}	1×10^{-2}	2×10^{-3}	3×10^{-2}	6.1×10^{-2}
Ta	2×10^{-4}	1×10^{-4}	1.1×10^{-4}	2.1×10^{-4}	3.6×10^{-4}	4.2×10^{-4}	$n \times 10^{-6}$	8×10^{-5}	$n \times 10^{-6}$
Th	9.6×10^{-4}	4×10^{-7}	4×10^{-4}	1.3×10^{-3}	8.5×10^{-4}	1.7×10^{-3}	1.7×10^{-4}	1.2×10^{-3}	1.7×10^{-4}
Ti	5.7×10^{-1}	3×10^{-2}	1.38	3.5×10^{-1}	3.4×10^{-1}	1.2×10^{-1}	1.5×10^{-1}	4.6×10^{-1}	4×10^{-2}
U	2.7×10^{-4}	1×10^{-7}	1×10^{-4}	3×10^{-4}	3×10^{-4}	3×10^{-4}	4.5×10^{-5}	3.7×10^{-4}	2.2×10^{-4}
V	1.35×10^{-2}	4×10^{-3}	2.5×10^{-2}	3×10^{-3}	8.8×10^{-3}	4.4×10^{-3}	2×10^{-3}	1.3×10^{-2}	2×10^{-3}
W	1.5×10^{-4}	7.7×10^{-5}	7×10^{-5}	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	2.2×10^{-4}	1.6×10^{-4}	1.8×10^{-4}	6×10^{-5}
Y	3.3×10^{-3}	$n \times 10^{-5}$	2.1×10^{-3}	2×10^{-3}	3.5×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}	2.6×10^{-3}	9×10^{-3}
Zn	7×10^{-3}	5×10^{-3}	1.05×10^{-2}	1.3×10^{-2}	6×10^{-3}	3.9×10^{-3}	1.6×10^{-3}	9.5×10^{-3}	2×10^{-3}
Zr	1.65×10^{-2}	4.5×10^{-3}	1.4×10^{-2}	5×10^{-2}	1.4×10^{-2}	1.75×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.6×10^{-2}	1.9×10^{-3}

注：克拉克值据泰勒 (1964)；各类岩石中元素平均含量据涂里千和费德波 (1961)；表中的横划 (—) 表示无此项元素含量。

某些元素的“浓集系数”表

表 1-2

元 素	克拉克值(%)	最低可采品位%	浓集系数	元 素	克拉克值(%)	最低可采品位%	浓集系数
Ag	1×10^{-5}	0.02	2000	K	2.6	30	12
Al	8.8	25	~3	Li	6.5×10^{-3}	0.5	80
As	5×10^{-4}	2	4000	Mg	2.1	13	~6
Au、Pt	5×10^{-7}	0.0003	6000	Mn	9×10^{-2}	10	110
B	3×10^{-4}	5	17000	Mo	3×10^{-4}	0.04	130
Ba	5×10^{-2}	~30	600	Na	2.64	39	15
Be	6×10^{-4}	0.4	670	Ni	8×10^{-3}	0.6	70
Bi	2×10^{-5}	0.5	25000	Pb	1.6×10^{-3}	1	600
Ca	3.6	40	11	Sb	4×10^{-5}	1	25000
Co	3×10^{-3}	0.1	30	Si	27.6	~46	1.5
Cr	2×10^{-2}	~8	400	Sn	4×10^{-3}	0.15	40
Cu	1×10^{-2}	0.5	50	Ti	6×10^{-1}	10	~7
Fe	5.1	30	~6	V	1.5×10^{-2}	0.5	30
Hg	7×10^{-6}	0.1	14000	Zn	5×10^{-3}	3	600

散，而且还可了解各种岩类之间元素富集分散的趋势。以岩浆岩为例，由表 1-1 可看出含量的变化趋势可分为四种类型：

1. 在超基性岩中富集：如 Cr、Ni、Co、Pt 族元素等，随着岩石酸性程度增高而含量逐渐降低。这些元素只在超基性岩中富集形成岩浆矿床。

2. 在基性岩中富集：如 Cu、Mn、V、Ti、Sc 等元素在基性岩中富集，在超基性岩、中性岩、酸性岩中含量都较低。

3. 在酸性岩中富集：元素的含量随着岩石酸性程度增高而增加，属于这类的元素有 Li、Be、Rb、Cs、Tl、Sr、Ba、Y、TR、U、Th、Ta 及 W、Sn、Pb 等。这些元素的矿床与中酸性侵入体、伟晶岩及其热液活动有关。

4. 富集倾向不明：有的元素含量变化趋势不明显，属于这一类的有 Au、As、Ge、Sb 等。

上述情况反映了岩浆分异作用中成矿元素集中分散的总趋势。但是值得说明的，集中和分散是相对的。各类型岩石对比地壳岩石圈而言都有富集的元素，但是对比矿体而言，这些元素则又属于分散。即使在同类型的岩体中，元素的集散情况也不相同（见表 1-3）。

花岗岩中某些元素含量变化表

表 1-3

	花岗岩中的平均含量 (%)	最低含量 (%)	最高含量 (%)	$\frac{\text{最高含量}}{\text{最低含量}}$
Pb	0.002	0.00067	0.003	4.5
Zn	0.006	0.0019	0.014	7.5
Ni	0.0008	0.00024	0.002	8.0
Co	0.0005	0.0001	0.0015	15

由上所述，元素的分布是不均匀的，根据元素在地壳岩石圈中的平均含量或在各种类型岩石中的平均含量，研究分散与集中，也可以在不同程度上说明一些地球化学有关问题，但是对于具体地区的成矿研究和找矿来说，则需要研究元素分散或富集的具体含量标

志。研究的方法将在有关章节中讨论。

二、元素在土壤中的分布量

各元素在土壤中的分布量，如同在岩石圈中一样变化很大（见表1-4）。将土壤元素的含量和岩石圈中克拉克值对比，可以看出从岩石风化到土壤形成这一过程中，各元素的集散情况很不一样。根据风化和成壤过程中集散情况，可将元素分为三类：

1. 在风化成壤过程中明显集中的元素。这类元素主要是些在表生带能形成稳定矿物的元素，其土壤浓度克拉克值大于1.2，如Sn、As、Cd、Be、Cr、Ga、Zr、Li、Ag、Mo等；

2. 在风化成壤过程中明显分散的元素。属于这一类的是土壤浓度克拉克值小于0.8的元素，如I、Hg、Na、Mg、Co、Ca、Cu、Ni、K、Ge、Fe、Zn、V、P等。可以看出这类元素除了易溶的碱金属外，主要是些亲硫元素。

3. 在风化成壤过程中集散情况不很显著的元素，其土壤浓度克拉克值为1左右（0.8~1.2），如Pb、Ti、Al、Mn、B、Si、Ba等。

表 1-4

元 素	克拉克值(%)	土壤中含量(%)	土壤中含量与克拉克值之比	元 素	克拉克值(%)	土壤中含量(%)	土壤中含量与克拉克值之比
Ag	7×10^{-6}	(1×10^{-5})	1.43	K	2.09	1.36	0.65
Al	0.20	7.13	0.87	Li	2×10^{-3}	3×10^{-3}	1.50
As	1.8×10^{-4}	5×10^4	2.77	Mg	2.33	0.60	0.26
B	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1.00	Mn	9.5×10^{-2}	8.5×10^{-2}	0.90
Ba	4.3×10^{-2}	5×10^{-2}	1.16	Mo	1.5×10^{-4}	2×10^{-4}	1.33
Be	2.8×10^{-4}	6×10^{-4}	2.14	Na	2.36	0.63	0.27
Ca	4.15	1.37	0.33	Ni	7.5×10^{-3}	4×10^{-3}	0.53
Cd	2×10^{-5}	(5×10^{-5})	2.50	P	1.05×10^{-1}	8×10^{-2}	0.76
Co	2.5×10^{-3}	8×10^4	0.32	Pb	1.25×10^{-3}	1×10^{-3}	0.80
Cr	1×10^{-2}	2×10^{-2}	2.00	Si	28.10	33.00	1.17
Cu	5.5×10^{-3}	2×10^{-3}	0.36	Sn	2×10^{-4}	1×10^{-3}	5.00
Fe	5.63	3.80	0.68	Ti	5.7×10^{-1}	4.6×10^{-1}	0.81
Ga	1.5×10^{-3}	3×10^{-3}	2.00	V	1.35×10^{-2}	1×10^{-2}	0.74
Ge	1.5×10^{-4}	(1×10^{-4})	0.66	Zn	7×10^{-3}	5×10^{-3}	0.71
Hg	8.3×10^{-6}	1×10^{-6}	0.11	Zr	1.65×10^{-2}	3×10^{-2}	1.81
I	5×10^{-5}	(5×10^{-6})	0.10				

需要说明的，表1-4所列元素在土壤中的含量皆为平均值，土壤浓度克拉克值系根据土壤中平均含量值计算结果。各处土壤中元素的含量也有一定变化（见图1-1）。土壤是岩石风化的产物，不同原岩元素富集的特点不同，成壤后富含的元素也不一样。基性—超基性岩的土壤中富含Ni、Cr、Co、Cu等；中酸性岩则富含W、Sn、Be、Mo、Pb、Li、Na、Th、TR等。即使同类型岩石所形成的土壤，其中元素的分布如同在各类岩石中一样也是不均匀的。因而如同基岩一样，研究具体地区土壤中元素的富集情况，也应具体确定元素含量标志。

三、元素含量的概率分布形式

各元素在岩石、土壤中的含量是有变化的，即使在未受矿化、蚀变等作用影响的地

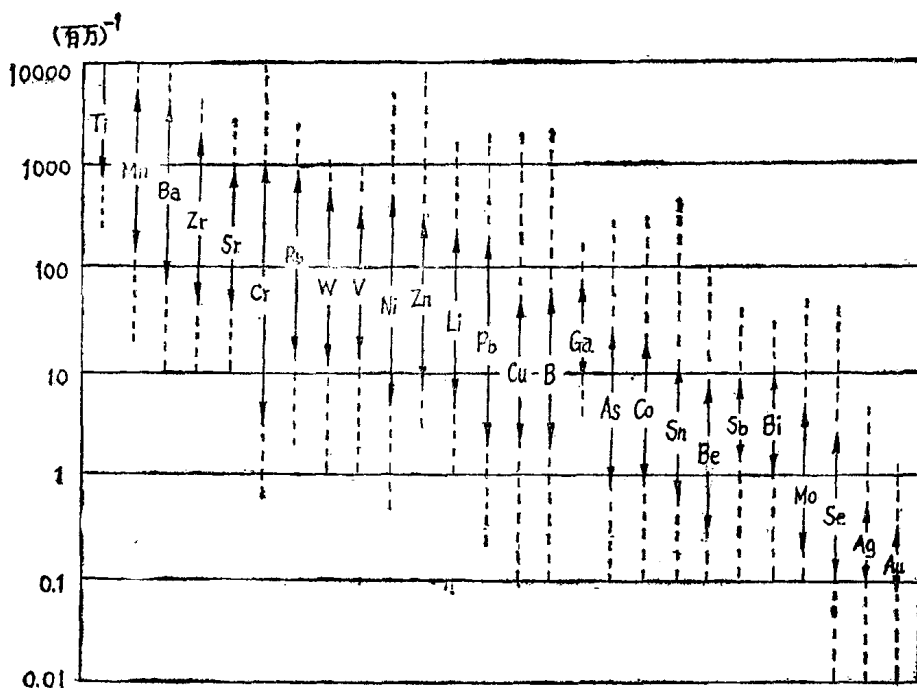


图 1-1 土壤中微量元素含量分布图

区，也不都是同一数值，而有一定的波动和变化。因此要全面表示地质体中元素含量特征，除了研究各元素的平均含量外，还必须反映元素含量在地质体中的波动变化，利用数理统计的概率分布能较好的解决上述问题。如正态分布理论公式将随机变量（如元素含量）出现的频率表为 μ 及 σ 的函数：

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

式中 π 及 e （自然对数的底）为常数，分别等于3.14159及2.71828。 σ 及 μ 是参数，分别代表母体的均方差及数学期望。

这函数的图形呈一钟形曲线（如图1-2），其具体形态和极值的位置，受 μ 及 σ 的控制。在地球化学找矿实际工作中， μ 常表示样品中元素含量的均值（包括算术平均值或几何平均值）； σ 常表示样品中元素含量的离散程度。

正态分布的钟形曲线，其主要特征如下：

1. 频率分布曲线呈单峰，当 $x = \mu$ 时达到峰值

$P(x) = P_0 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ ，峰值的大小与 σ 成反比；

2. 对应于 $x = \mu$ 的直线两侧曲线是对称的；

3. 当 x 趋向正负 ∞ 时，曲线以 x 轴为渐近线，频率趋近于零；

4. $x = \mu \pm \sigma$ 时， $P(x) = P_0 \cdot e^{-\frac{1}{2}} = 0.607P_0$ 即在极大值的0.607倍处作一平行于 x 轴的横线，它与曲线的交点对应的 x 值与 μ 的距离即为 σ 。 σ 值愈大，曲线则愈平缓。

5. 含量的众值、中位值与平均值相等。

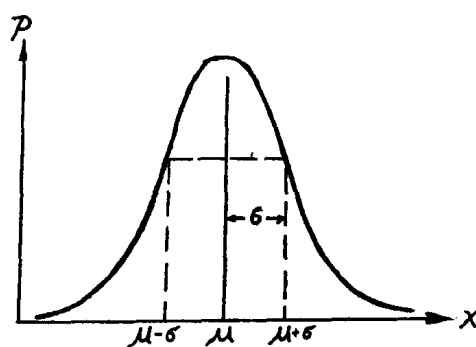


图 1-2 正态分布（密度）曲线图

地质体中元素含量的概率分布形式主要是正态分布，即元素在地质体中各种含量频率的变化显示正态分布特点；其次是对数正态分布，即以地质体中各种含量的对数值作随机变量，其频率的变化显示正态分布特点。至于其他分布形式少见。

从现有研究成果看，不同的分布形式具有不同的地球化学意义。不同的条件下具有不同的分布形式：

1. 矿物、岩石中的常量元素大多服从正态分布；微量元素大多服从对数正态分布。

2. 当元素近似均匀地分散在各种矿物中时，元素在岩石中呈正态分布；当元素集中在某种矿物中时，元素在岩石中则呈对数正态分布。

3. 单一地球化学作用下，元素多呈对数正态分布；多次地球化学作用综合产物中元素分布形式趋向于正态分布。如新鲜花岗岩中亲硫元素呈对数正态分布，而在多次表生作用所形成的土壤中则呈正态分布。

需要说明的分布特点方面的差别、既可以是上述分布形式的不同，同时也可以分布形式相同，而参数（ μ 、 σ ）不同，特别是由于成矿作用叠加，成矿有关元素的加入，使元素分布形式复杂化。某种元素具体分布形式，可用数学方法检验确定。总之，元素在各种地质作用中分布均匀是相对的，分布不均匀是绝对的。各元素在地质体中含量的变化是有规律的，特别是微量元素的这种变化规律正是我们在地球化学找矿中所要重点研究的。

第二节 地壳中元素的存在形式和元素的迁移

元素的存在形式是指元素在一定条件下与周围原子结合的方式和物理化学状态。任何存在形式都是物质运动（元素的迁移）在各历史阶段的表现。元素的迁移除了元素在空间上发生位移外，同时并伴随着存在形式的变化。元素存在形式和元素迁移的研究对地球化学找矿有重要意义。

一、元素的存在形式

地壳中（岩石及土壤中）元素存在的形式是多种多样的，主要有以下几种：

（一）独立矿物

独立矿物是元素在宏观的集中状态下的主要存在形式。各种地球化学作用下元素都大量地以独立矿物的形式存在，如与岩浆作用有关的造岩矿物、付矿物；蚀变矿化作用有关的蚀变矿物、矿石矿物；与风化作用有关的次生矿物等。常量元素可形成“造岩矿物”，微量元素除在岩石中可形成付矿物外，有的由于成矿作用或风化作用，也可形成独立矿物。

（二）类质同像

类质同像是微量元素重要的存在形式，Ga、In、Ge、Tl、Cd、Se、Ra、Rb、Re、Hf等元素类质同像是主要的存在形式。元素以类质同像混入的寄主矿物，可以是造岩矿物（包括付矿物）也可以是矿石矿物。主要造岩矿物中云母、斜长石、钾长石、角闪石等及付矿物中的榍石、锆石、钛铁矿、磁铁矿等都可成为寄主矿物，特别是黑云母中可以类质同像混入Li、Cs、Cu、Zn、Nb、Ta、Sn、W等多种元素。在成矿有关的硫化物中，黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿等都可以是重要的寄主矿物，如闪锌矿中以