



国家骨干高等职业院校
优质核心课程系列教材

1H	2He	3Li	4Be	5B	6C	7N	8O	9F	10Ne	11Na	12Mg	13Al	14Si
15P	16S	17Cl	18Ar	19K	20Ca	21Sc	22Ti	23V	24Cr	25Mn	26Fe	28Ni	
29Cu	30Zn	31Ga	32Ge	33As	34Se	35Br	36Kr	37Rb	38Sr	39Y	40Zr	89Ac—103Lr	
41Nb	42Mo	43Tc	44Ru	45Rh	46Pd	47Ag	48Cd	49In	50Sn	51Sb	... 79Au		
52Te	53I	54Xe	... 57La—71Lu ...				80Hg	82Pb	86Rn	92U			

国土资源调查专业 >>>

地球化学找矿

◎ 主编 陈希泉 楼法生

地质出版社



国家骨干高等职业院校优质核心课程系列教材

地球化学找矿

主 编：陈希泉 楼法生

副主编：郭俊刚 徐有华

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书采用“基于工作过程”的编写体系,注重“做中学,学中做”的有机衔接,是为适应高职高专院校国土资源调查专业、区域地质调查与矿产普查专业“地球化学找矿”教学改革需要而编写的。

全书共分三个部分:第一部分介绍地球化学找矿基本知识;第二部分介绍土壤地球化学测量、水系沉积物地球化学测量、其他地球化学测量;第三部分介绍地球化学重要图件的制作方法和步骤,重点突出图件的实际应用。

本书可作为高职高专院校国土资源调查专业、区域地质调查与矿产普查专业和地球化学专业教学用书,也可供从事地球化学找矿的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球化学找矿 / 陈希泉, 楼法生主编. —北京:
地质出版社, 2014. 3

ISBN 978 - 7 - 116 - 08688 - 3

I. ①地… II. ①陈… ②楼… III. ①地球化学勘探
—研究 IV. ①P632

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 004627 号

责任编辑: 李凯明

责任校对: 王洪强

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324509 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010)82324340

印 刷: 北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 350 千字

印 数: 1—2000 册

版 次: 2014 年 3 月北京第 1 版

印 次: 2014 年 3 月北京第 1 次印刷

定 价: 21.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 08688 - 3

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

为了配合高等职业教育资源勘查类专业的教学改革,根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)和《江西应用技术职业学院国家骨干高等职业院校建设项目——国土资源调查专业建设方案》的要求,开展“基于工作过程”教学资源开发,为高职高专资源勘查类专业培养技能型人才提供教材支持,提高资源勘查类专业人才培养质量,江西应用技术职业学院组织编写了资源勘查类专业“工学结合”系列校本教材,本书是其中之一。

我国地球化学景观区产生地球化学次生介质不同,适用的地球化学测量方法也不同。全国13个大的景观地球化学区分析表明,土壤地球化学测量和水系沉积物地球化学测量两种方法结合能解决12个景观区地球化学找矿问题,岩石地球化学测量能解决干旱荒漠区和半荒漠区地球化学找矿问题。由于我校培养学生主要面向前者,因此本书重点介绍土壤地球化学测量和水系沉积物地球化学测量。岩石地球化学测量、气体地球化学测量等方法仅在学习情境5做了一般性阐述。

本书重点突出以“基于工作过程”能力培养,以满足高职高专资源勘查类专业地球化学找矿课程“做中学,学中做”的教学需要,使学生具有在12种景观区学会使用不同地球化学找矿方法能力。具体有以下特点:

1. 突出“以应用”为目的,以“必需、够用”为原则,适度安排了有关地球化学找矿的基础知识(学习情境2)。

2. 以“项目导向”为出发点,不同介质地球化学找矿项目形成学习情境。根据地球化学找矿项目的特征,每个学习情境由项目立项→项目设计→野外工作→样品分析→异常查证→数据处理与图件编制→报告编写→项目评审(验收)构成,内容紧贴地球化学测量规范,实现“基于工作过程”的融合。

3. 通过各种地球化学图件编制方法,构建“教-学-做”一体化的教学模式。让师生在“做中学”和“学中做”,学会编制基本地球化学图件,实现教与学相互衔接与有机融合。

本书由江西应用技术职业学院陈希泉、徐有华,江西省地质调查研究院楼法生,中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所(国家非金属矿产资源综合利用工程技术研

究中心) 郭俊刚共同编写。桂林理工大学地球科学院罗先熔教授给予编写指导, 广西地质勘查总院陈彪编写了学习情境 4 中的学习任务 3 和学习任务 4, 江西应用技术职业学院庞新龙编写了学习情境 3 中的学习任务 3, 云南国土资源职业学院参与了课程大纲的研讨。编写过程中参考了地球化学相关规范, 引用了地信网地球化学制图数据、视频和部分教材的内容。书稿完成后, 2013 年 4 月由江西应用技术职业学院组织了 7 名行业专家进行了审阅, 并提出了修改意见, 最后由陈希泉统编定稿。2013 年 6 月江西应用技术职业学院组织了校内专家组对本书进行了验收, 2013 年 8 月湖南工程技术职业学院张宏柏对书稿进行审阅, 并提出许多宝贵的修改意见, 此外, 编写过程中还得到编者所在单位的领导、同事的支持和帮助。在此, 一并表示诚挚的谢意。

编 者

2013 年 9 月

目 录

前言

学习情境1 课程引入	(1)
学习任务1 地球化学找矿概述	(1)
学习任务2 地球化学找矿的种类与特点	(2)
一、地球化学找矿的种类	(2)
二、地球化学找矿的主要特点	(3)
学习任务3 地球化学找矿任务与工作方法	(3)
一、地球化学找矿的任务	(3)
二、地球化学找矿的工作方法	(4)
学习情境2 地球化学找矿的基本知识	(6)
学习任务1 地壳中元素的分布与分配	(6)
一、元素分布与分配区别	(6)
二、地壳元素的丰度确定方法	(6)
三、地壳丰度值特征及其地球化学意义	(10)
四、元素在地壳中的分布	(13)
五、元素在土壤中的分布	(17)
六、元素含量的概率分布	(19)
学习任务2 元素的存在形式与元素分类	(20)
一、元素的存在形式	(20)
二、元素分类	(22)
学习任务3 元素的迁移	(23)
一、地球化学环境	(23)
二、元素迁移的概念	(24)
三、元素迁移的方式	(24)
四、元素迁移的影响因素	(25)
五、元素的沉淀与分散	(26)
学习任务4 地球化学背景及异常	(27)
一、地球化学背景	(27)
二、地球化学异常	(28)
三、地球化学异常的分类	(29)

学习任务5 地球化学指示元素及指标	(31)
一、地球化学指示元素	(31)
二、指示元素的选择	(31)
三、地球化学指标	(32)
学习任务6 地球化学找矿方法选择	(39)
学习情境3 土壤地球化学找矿	(45)
学习任务1 土壤地球化学找矿基本知识	(45)
一、风化作用	(45)
二、土壤及其形成	(46)
学习任务2 土壤地球化学找矿项目设计	(54)
一、设计书编写前的准备工作	(54)
二、设计书内容	(55)
三、设计书附图	(55)
四、设计书审查与提交	(56)
学习任务3 土壤地球化学测量野外工作方法	(56)
一、工具准备	(56)
二、采样布局(测区与测网)	(56)
三、野外采样定点	(57)
四、采样部位	(66)
五、样品采集	(67)
六、重复样、野外编录	(67)
七、野外样品加工及管理	(68)
八、野外工作质量检查	(68)
学习任务4 土壤地球化学测量样品分析	(74)
一、实验室样品加工及管理	(74)
二、分析测试方法	(75)
三、测试项目	(78)
学习任务5 土壤地球化学测量数据处理与图件编制	(80)
一、资料整理的意义	(80)
二、地球化学参数	(80)
三、土壤地球化学图件编制	(85)
学习任务6 土壤地球化学测量异常查证与评价	(88)
一、异常解释评价的程序	(88)
二、异常解释与评价的任务与要求	(89)
三、异常解释与评价的依据	(89)
四、异常的分类、检查和评价	(90)
学习任务7 土壤地球化学报告编写	(93)

学习任务 8 土壤地球化学评审书	(94)
学习情境 4 水系沉积物地球化学找矿	(97)
学习任务 1 水系沉积物地球化学测量基本知识	(97)
一、分散流的形成	(97)
二、分散流指示元素几何特征	(98)
学习任务 2 水系沉积物地球化学测量项目设计书编写	(100)
学习任务 3 水系沉积物地球化学野外工作方法	(101)
一、湿润半湿润中低山丘陵景观区	(101)
二、特殊景观区区域化探工作方法	(106)
三、野外工作质量检查	(114)
学习任务 4 水系沉积物地球化学测量样品分析	(114)
学习任务 5 水系沉积物地球化学测量数据处理与图件编制	(114)
一、资料整理的意义	(114)
二、地球化学参数	(114)
三、水系沉积物地球化学图件编制	(114)
学习任务 6 水系沉积物地球化学测量异常查证与评价	(115)
一、异常解释与推断	(115)
二、异常分类	(115)
三、异常筛选	(115)
四、异常查证工作建议	(116)
五、异常查证	(116)
学习任务 7 水系沉积物地球化学测量报告编写	(116)
学习任务 8 水系沉积物地球化学评审书	(118)
学习情境 5 其他地球化学测量	(120)
学习任务 1 岩石地球化学测量	(120)
一、原生晕的形成及特点	(120)
二、方法的应用条件和对象	(124)
三、野外工作方法	(125)
学习任务 2 气体地球化学测量	(126)
一、气体地球化学找矿的基本原理	(126)
二、气体地球化学找矿的应用	(126)
学习任务 3 生物地球化学测量	(127)
一、生物地球化学找矿的基本原理	(127)
二、生物地球化学找矿的应用	(127)
学习任务 4 水文地球化学测量	(128)
一、水文地球化学找矿的基本原理	(128)
二、水文地球化学找矿的应用	(128)

学习情境 6 地球化学找矿图件绘制	(131)
学习任务 1 地球化学数据统计基本知识	(131)
一、一元回归分析	(131)
二、判别分析	(134)
三、聚类分析	(139)
学习任务 2 地球化学图件的基本知识	(147)
一、地球化学图件基本概念	(147)
二、地球化学图的种类	(148)
三、图件编制要求	(148)
四、地球化学勘查图图式要求	(149)
五、地球化学勘查图图例	(154)
学习任务 3 原始(点位)数据图	(155)
一、原始点位数据图	(155)
二、MapGIS6.7 制作原始数据图步骤——以铜元素为例(附表 6)	(155)
学习任务 4 直方图	(162)
一、直方图	(162)
二、MapGIS6.7 制作直方图步骤——以铜元素为例(附表 6)	(162)
学习任务 5 MapGIS 数据网格化处理	(165)
一、数据网格化处理	(165)
二、MapGIS6.7 数据网格化处理步骤——以铜元素为例(附表 6)	(168)
学习任务 6 地球化学平面图	(170)
一、地球化学平面图定义	(170)
二、MapGIS6.7 制作地球化学平面图方法——以铜元素为例(附表 6)	(170)
学习任务 7 单元素异常图	(175)
一、单元素异常图	(175)
二、MapGIS6.7 制作单元素异常图方法——以铜元素为例(附表 6)	(175)
学习任务 8 组合异常图及综合异常图	(178)
一、组合异常图	(178)
二、MapGIS6.7 制作组合异常图方法——以铜铅元素为例(附表 6)	(178)
学习任务 9 剖面图	(181)
一、地球化学剖面图	(181)
二、MapGIS6.7 制作地球化学异常剖面图方法——以铜元素为例(附表 6)	(181)
学习任务 10 其他地球化学图件	(187)
一、地球化学插图	(187)
二、地球化学解释推断图	(189)
主要参考文献	(193)
附表 1 地球化学土壤测量操作细则	(194)

附表 2	水系沉积物测量操作细则	(195)
附表 3	地球化学调查岩石测量操作细则表	(196)
附表 4	生物地球化学测量操作细则	(197)
附表 5	水文地球化学测量操作细则	(198)
附表 6	某地区土壤地球化学分析结果	(199)
附图 1	地球化学制图底图	(219)

学习情境 1 课程引入

【情境描述】主要是介绍地球化学找矿的概念及其与地球化学之间的相互关系；地球化学找矿的特点和类型、工作方法以及发展历史和发展方向。

【学习目标】要求理解地球化学找矿涵义，初步认识根据天然物质的不同对地球化学找矿方法的分类。掌握不同地球化学找矿方法的研究对象，理解地球化学找矿方法特点。了解地球化学找矿任务，初步理解地球化学找矿总体工作方法。

学习任务 1 地球化学找矿概述

地球科学是研究地球这个极其复杂的物质体系的学科总称，基于不同的认识角度产生了不同的分支学科。地球化学正是从地球的化学组成、化学作用和化学演化，即通过物质的化学运动形式来研究地球的。从学科角度讲，地球化学是由地质学与化学类基础科学相互结合、相互渗透而产生的一门边缘学科。

人类赖以生存的地球，从化学观点看，是由 92 种化学元素和 354 种核素组成的。由于不稳定核素衰变产生的能量推动了地球的物质运动：岩石熔融、岩浆喷溢、火山活动，进而造成了全球规模的地质作用。这种地质作用不断地改变着地球的外观和结构，同时也造就了 92 种元素及其同位素进行化合、分异、迁移，为采用化学方法来研究地球、认识地球提供了客观条件。

地球化学的整体研究思路是“见微而知著”，即试图通过对微观的化学作用的研究来获知宏观的地质作用信息。为此，地球化学主要的研究内容就可归结为：①地球和地质体中元素及其同位素的组成；②元素的共生组合和赋存形式；③元素的迁移；④元素的迁移历史与地球的演化。

对地球、地壳或某一地质体，都可以从上述几个基本途径研究其形成和演化历史。因此，地球化学可定义为：是一门研究地壳和地球的化学成分以及元素在其中的分布、分配、集中、分散、共生组合、迁移规律、演化历史的学科。

随着地球化学研究领域的扩大和深入，也逐渐细划出了相应子学科：①以海洋为研究对象的海洋地球化学；②以环境为研究对象的环境地球化学；③以地下水为研究对象的地下水地球化学；④以探矿为目的的勘查地球化学等。

而勘查地球化学是地球化学中最活跃的学科之一，由于勘查地球化学主要以找矿为目的，因此，称之为地球化学找矿，简称为化探。对于地球化学找矿的定义，国内外学者有各种不同的表述，其中比较有代表性的定义是：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）；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、植物中和土壤中、气体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)。

本书采用的定义为: 地球化学找矿是系统测量天然物质 (如岩石、土壤、水系沉积物、地表水、地下水、植物和空气等) 中一种或几种地球化学指标 (如元素和同位素的成分、含量、pH 值、 E_h 值、温度等), 研究其分布、分配和变化的规律, 以发现与矿产有关的地球化学异常来找矿的一门学科。

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有效地应用它去达到预定的找矿目的或其他目的。从地球化学找矿的角度来看, 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。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, 它一方面以地质学、矿床学、地球化学、土壤学, 以及数学、化学等为基础, 另一方面又用自己的新发现和新资料服务于这些基础学科。

学习任务 2 地球化学找矿的种类与特点

地球化学找矿随着主要研究对象的不同, 其调查、研究、评价的手段和方法也有所差异。随着人类对地球系统的深入认识和理解, 成矿的多因素表征已成定论, 这也造就了地球化学找矿方法和类型的细化。

一、地球化学找矿的种类

根据研究的天然物质的不同, 地球化学找矿可分为:

- ◎ 岩石地球化学找矿: 以基岩为勘查对象 (包括基岩中的裂隙充填物);
- ◎ 土壤地球化学找矿: 以土壤 (包括残坡积物、冲积物、洪积物、冰碛物和塌积物等) 为勘查对象;
- ◎ 水系沉积物地球化学找矿: 以河流和溪沟底沉积物为勘查对象;
- ◎ 水文地球化学找矿: 以地表水和地下水为研究对象;
- ◎ 气体地球化学找矿: 主要以自然界存在的各种气体 (如稀有气体、 CO_2 , CH_4 等) 为研究对象。

另外还有生物地球化学找矿、海洋地球化学找矿、稳定同位素地球化学找矿等。

在上述各种找矿方法中, 前三种找矿方法技术比较成熟, 由于岩石地球化学找矿在地球化学扫面应用较少, 本书不详细介绍, 重点介绍土壤地球化学和水系沉积物地球化学找矿两种方法。近年来, 其余几种方法发展迅速, 特别是气体地球化学找矿发展较快, 并取得了实质性的进展, 其应用领域主要集中在油气勘探。

随着科学技术及研究手段的发展, 同位素地球化学异常、矿物包裹体地球化学异常、构造地球化学异常、海洋地球化学异常以及大气地球化学异常也相继引起了人们的重视。新的地球化学找矿方法和手段正逐渐产生与发展。

二、地球化学找矿的主要特点

在矿产勘查史上,风险最小、可靠性最大的是探究矿化露头的找矿方式,而在地表矿化露头大部分已被发现的状况之下,寻找隐伏矿体的期望也就变得越来越重要和越来越迫切,要满足这一愿望需借助于遥测的方式,也就是物探、化探、遥感等具有一定探测深度的工具。对全球找矿成功几率的统计表明,地球化学找矿是一种探究表生矿、深部矿和隐伏矿的有效手段。

地球化学找矿的主要特点,概括起来有如下几点:

1. 对象的微观化

目前,地质勘探的主要类型大致可分为以下几种:

- ◎ 地质找矿: 主要通过对矿床形成的地质条件和矿床存在的地质标志的研究来进行找矿;
- ◎ 地球物理找矿: 主要是通过对矿石与围岩物理性质差异的研究来进行找矿;
- ◎ 遥感找矿: 主要是通过各地质体或现象所表现的差异来进行找矿;
- ◎ 地球化学找矿: 主要是通过对矿体形成或表生破坏过程中,元素的分布与分配、分散与集中、共生组合与迁移演化规律的研究来进行找矿。

通过元素的地球化学研究,特别是微量元素的地球化学研究进行找矿是地球化学找矿的最根本特点。

2. 分析测试技术是基础

地球化学找矿的研究对象是元素,具体说应是元素的含量,要获得元素的含量必须借助于现代分析测试技术,特别是在地表矿日益稀少、找矿过程中异常与本底的差异也变得越来越小的情况下,分析测试技术的重要性更加明显。

3. 利于寻找隐伏矿床

地质找矿中观察研究成矿地质条件和矿体存在的标志,往往受露头的限制。而地球化学找矿则不受露头的限制,无论在基岩出露或松散层掩盖的地区均可采用地球化学找矿手段寻找地下深处的盲矿体,特别是气体地球化学找矿方法的发展,为寻找更深处地球化学异常提供了有力支持。

4. 准确率高、速度快、成本低

地球化学找矿具有准确率高、速度快、成本低的特点,这也是世界各国广泛采用地球化学找矿手段的重要原因之一。国内外都以地球化学找矿方法进行大区域(包括边远地区)扫面,即所谓“区域化探扫面”。通过这一基础性工作可以加快矿产资源的远景评价,为规划和部署进一步找矿工作提供依据。

学习任务3 地球化学找矿任务与工作方法

一、地球化学找矿的任务

地球化学找矿的任务,概括起来有如下几方面:

1. 评价区域成矿远景, 寻找成矿远景地段或区块

地球化学找矿通过研究元素在区域空间的分布特征和时间上的演化规律来评价区域含矿远景, 寻找含矿远景地段。同时划分地球化学成矿区, 提出地球化学找矿标志。

2. 寻找矿床(矿体), 追索矿区外围

通过研究矿床(矿体)附近岩石、土壤、植物、气体等介质中成矿元素的分布与分配, 总结矿体形成、保存、消失过程中元素的分散与集中、共生组合与迁移演化规律, 提出异常评价的地球化学标志和指标。

3. 研究地质问题, 间接指导找矿

地质体及天然产物中元素的分布、分配等信息, 不仅可标识矿体的存在和变化, 而且也反映地质体的地球化学特征及有关地质作用(包括成矿作用)的成因联系。研究有关地质作用产物中元素的特征, 总结有关的地球化学标志和指标, 有利于研究地质问题, 间接指导找矿。

4. 查明区域元素分布, 扩大服务领域

查明区域中元素的分布状况, 不仅可以指导找矿, 而且可以为发展农业、畜牧业, 防治地方病和环境污染, 以及相关地质学科提供基础性资料。

二、地球化学找矿的工作方法

1. 地质观察与样品采集

元素的迁移和变化与地质体是紧密相关的, 因此, 常规的地质工作方法在地球化学找矿中同样起着重要的作用。工作区域的地质条件、岩石及矿化和蚀变的特征、矿物的共生组合及生成顺序等, 对找矿区域的选择、工作方法的确定、异常的解释评价都是重要的基础资料。采集样品在地球化学找矿中是一项重要的基础工作, 一切成果都来自对所采样品的研究。采样的目的性、方法的正确性和样品的代表性在野外采样时应特别注意。

2. 数据的统计分析

如何处理和利用大量的分析测试数据是地球化学找矿方法中必须面对的问题。有效获取分析测试数据所反映的内在规律, 从而获取矿藏信息, 是地球化学工作者的基本技能。目前采用的主要手段是统计分析。自20世纪60年代统计分析方法开始引入地球化学分析测试数据的评价以来, 随着计算机技术的发展, 统计分析手段越来越全面和丰富; 但同时应注意, 依据单一的统计方法来评价分析测试有时会导致信息的丢失, 要充分认识到数理统计的自身局限性。

3. 地球化学指标的研究

地球化学指标是地质作用及其产物的地球化学特征的反映。只有通过地球化学指标的建立, 才能研究与表征元素的分布与异常的特征, 才能进行异常的解释评价。通过一系列地球化学指标的总结来发现异常、解释评价异常是地球化学找矿的根本方法。目前常用的地球化学指标有参数性的和非参数性的。

4. 地球化学图表的编制

地球化学图表不仅可反映元素的分布、分配特征, 而且也能体现元素的分散集中、迁

移演化的规律。因此,通过编制地球化学图表来研究矿区和区域地球化学的基本特征和规律,也是地球化学找矿的基本工作方法。

随着科学技术的发展,多学科融合的现象越来越突出,特别是找矿难度的日益加大,强调多学科的协同分析就显得尤为重要。譬如,遥感与地球化学找矿的结合、地理信息系统与地球化学找矿的结合均是近年来发展的热点,也取得了显著效果。

复习思考题

1. 地球化学找矿有何特点? 其与其他学科有何关系?
2. 地球化学找矿的方法有哪些?

学习情境 2 地球化学找矿的基本知识

【情境描述】 主要介绍元素在地壳中的分布、分配状况；元素在地壳中的赋存状态及其共生组合规律；元素在地壳中的迁移规律以及元素的分布、分配、存在形式和迁移的现实意义。

【学习目标】 正确区分地壳中元素的分布与分配关系，了解地壳元素的丰度确定方法、特征及其意义。掌握地壳元素在由岩浆岩、沉积岩和变质岩三大岩类岩石组成，元素在各类岩石中和土壤中的分配规律。掌握独立矿物、类质同象、胶体吸附、有机质等元素的存在形式，理解戈尔德施密特对元素分类依据及分类。掌握元素迁移概念，理解元素迁移方式、影响因素、元素的沉淀与分散。掌握地球化学背景、地球化学异常概念，理解根据地球化学异常的成因及赋存介质的地球化学异常分类。掌握地球化学指示元素概念及指示元素选择。初步认识全国划分 13 个大的景观区，并掌握不同景观区地球化学方法的选择。

学习任务 1 地壳中元素的分布与分配

一、元素分布与分配区别

对于地球化学找矿而言，人们更关心的是地壳中元素的分布、分配状况。分布是指元素在地质体中的整体含量（分布量），而分配是指元素在地质体内各部分或各区段的含量（分配量）。二者既有联系又有区别，是一个相对的概念。其区分如下：研究对象的总体用分布，而研究各个分体用分配。若以地球为总体，其平均含量为分布，而地球各圈层为分体，其平均含量为分配；若以岩浆岩为总体，其平均含量为分布，各类岩浆岩中的平均含量为分配。显然，要了解元素的分布与分配状况必须获知地壳中每个元素的含量。在地球化学中常采用丰度值来表示元素含量，故通常将元素在宇宙体或地球化学系统中的平均含量称为丰度。元素在地壳中的丰度，又称克拉克值。

二、地壳元素的丰度确定方法

获取地壳中元素含量的研究要首推美国化学家和矿物学家克拉克（F. W. Clarke, 1847 ~ 1931 年）。1889 年他发表了地壳平均成分的计算成果，他根据 880 个完全可靠的岩石分析样品，计算出的 10 种化学元素的平均含量，于 1924 年与华盛顿一起公布的成果包含 50 种元素。克拉克用了 40 多年的时间献身于地壳成分的测定，做出了应有的科学贡

献。前苏联地球化学家费尔费曼 1923 年建议用“克拉克值”表示地壳中化学元素的平均含量。

克拉克在计算地壳的平均化学成分时采用广义的地壳概念，即地壳包括岩石圈、水圈和大气圈。其所得丰度值是这三者质量分数加权平均法求得的平均值，岩石圈、水圈和大气圈的质量分数分别为 93%、7.0% 和 0.03%。某元素的克拉克值可用下式来计算：

$$\text{克拉克值} = [\text{某一元素在地壳中的总质量} / \text{地壳总质量}] \times 100\%$$

水圈主要采用的海洋数据，是直接引用迪特玛尔（W. Dittmar, 1884）的资料。大气圈的化学成分引用了洪菲里（W. J. Humphrey, 1920）的资料。克拉克主要完成岩石圈平均化学成分的计算。克拉克计算岩石圈的平均化学成分时，选用了 5159 个火成岩岩石化学成分全分析资料和 676 个沉积岩组合化学全分析资料，火成岩和沉积岩的质量比值为 95:5。计算地壳元素丰度的有效深度为 16km，这是因为当时所知的世界最高山峰和最深海沟的高差约为 16km。自从克拉克发表了他计算的地壳元素丰度值后，维诺格拉多夫（1962）、泰勒（1964）、黎彤（1976）等学者又采用相近或不同的方式计算了地壳的丰度值（表 2-1）。比较各种计算数据，可以看出尽管各家采用的计算方案不同，但所得的地壳主要元素丰度值还是比较接近的。

表 2-1 地壳元素丰度值 ($w_B/10^{-6}$)

原子序数	元素符号	克拉克和华盛顿 (1924)	费尔斯曼 (1933 ~ 1939)	戈尔德施密特 (1937)	维诺格拉多夫		泰勒 (1964)	马逊 (1966)	魏德波尔 (1967)	黎彤 (1976)
					(1949)	(1962)				
1	H	8800	10000	—	1500	—	—	1400	700	1400
2	He	—	0.01	—	—	—	—	—	0.003	0.3×10^{-5}
3	Li	40	50	65	65	32	20	20	30	21
4	Be	10	4	6	6	3.8	2.8	2.8	2	1.3
5	B	10	50	10	3	12	10	10	9	13
6	C	870	3500	320	1000	230	200	200	320	2800
7	N	300	400	—	100	19	20	20	20	18
8	O	495200	491300	466000	472000	470000	464000	466000	472500	460000
9	F	270	800	800	270	660	625	625	720	450
10	Ne	—	0.005	—	—	—	—	—	—	7×10^{-5}
11	Na	26400	24000	28300	26400	25000	236000	28300	24500	23000
12	Mg	19400	23500	20900	21000	18700	23300	20900	13900	28000
13	Al	75100	74500	81300	88000	80500	82300	81300	78300	83000
14	Si	257500	260000	277200	276000	295000	281500	277200	305400	290000
15	P	1200	1200	1200	800	930	1050	1050	810	1200
16	S	480	1000	520	500	470	260	260	310	400
17	Cl	1900	2000	480	450	170	130	130	320	280
18	Ar	—	4	—	—	—	—	—	0.04	0.04
19	K	24000	23500	25900	26000	25000	20900	25900	28200	17000