

普通高等教育“十一五”规划教材

地学基础

姬亚芹 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

地学基础

姬亚芹 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对环境科学、生态学等专业本科生的知识结构和特点,系统介绍了地学的基本概念、基本理论、基本规律和基本技能。全书分为7章。第一章绪论部分主要介绍了地学的研究内容、领域和研究方法。第二章至第五章分别介绍了岩石圈(地壳)、大气圈、水圈、土壤圈四个圈层的基础知识、基本规律。为了使學生进一步掌握地学的基本技能,第六章和第七章分别介绍了地图和遥感的基础知识。本书结合地学的最新研究进展,内容新颖,图文并茂。为便于学生自学和复习,各章后面附有参考文献、思考与练习题。针对高中阶段各地区地理教学与考试内容具有较大差异的现状,书中以小字形式介绍了一些背景知识,供读者参考阅读。

本书具有较强的知识性与实用性,可作为高等院校环境、生态、农业、地理等领域的专业基础课教学用书,同时也可作为研究生或相关领域科技人员的参考书。

地学基础

姬亚芹 主编

图书在版编目(CIP)数据

地学基础/姬亚芹主编. —北京:化学工业出版社,
2008.6

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-03061-0

I. 地… II. 姬… III. 地球科学-高等学校-教材
IV. P

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第080046号

责任编辑:满悦芝

责任校对:吴静

文字编辑:尤彩霞

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数381千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定价:26.00元

版权所有 违者必究

前言

地学是一门以地球系统为研究对象的具有良好发展前景的综合性学科。其内容涉及人类生存发展的各个空间环境,涵盖了地球上的岩石圈(地壳)、大气圈、水圈、土壤圈等各个相互联系、相互制约的圈层。学科内容集成了地质学、气象学与气候学、水文学、土壤学等多个相关学科的科研成果,地学基础已成为环境科学和生态学专业必须开设和学生掌握的专业基础课程。

以适应学科发展的新趋势、新需求,支撑教学工作为目标,本书不但对地壳(岩石圈)、大气圈、水圈、土壤圈等进行了系统、全面的介绍,还融入了本领域内有关近期科研成果。同时,也对地图、遥感等基本技能进行了详细介绍,以期让读者在学习过程中掌握地学相关领域的基本知识、基本理论和基本方法,培养基本技能,又能对学科发展有前瞻性了解。

地壳一章从地壳的化学元素组成、矿物组成和岩石组成三个方面介绍地壳的组成,然后分析了典型地质灾害的成因及其特点和预防措施,最后介绍了构造运动和地壳演化简史。大气圈一章从大气的物理性状入手,先后介绍了大气的热量和温度、大气的水分、大气的运动、天气系统和城市气候。水圈一章概述了地球上的水分布、水循环、物理化学性质等基本情况之后,分别介绍了河流、海洋、湖泊、水库、地下水等水体的基本知识。土壤圈一章介绍了土壤的基本特性、形成规律和土壤类型等内容。地图一章综述了地图的基本特性、分类、投影等概况,详细介绍了高斯-克吕格投影和地形图的分幅编号,并就地形图的应用和地图要素的表示方法进行了重点介绍。遥感一章在介绍遥感物理基础之后重点介绍了遥感解译的标志、方法和程序等。

在编写过程中,李佳兴、孟鹏、周鑫、盘德立、覃晴、李然、谢双蔚、王希萌、万伟、李耀、屠腾等同学做了部分前期资料整理和编辑工作。研究生段池清同学负责编写了大气圈一章,并对书中部分插图进行了整理和清绘。在这里向他们表示感谢。

本教材得到南开大学本科教材专项资金支持。

书稿几经修改,希望尽可能使地学相关领域的新发展、编者在教学过程中得到的体会以及环境类专业对地学的科研需求等,在教材中有所体现。同时,尽可能避免一些复杂的化学概念,深入浅出,将地学领域的相关知识点和技能循序渐进地、系统地展示给读者。

由于编者水平所限,书中疏漏和不足之处,希望读者批评指正。

姬亚芹

2008年7月

目 录

第一章 绪论	1
一、研究对象和核心问题	1
二、地学在环境、生态等学科中的基础地位	2
三、地学的基本任务	2
四、研究方法	2
参考文献	3
第二章 地壳	4
第一节 地壳的组成	4
一、元素	4
二、矿物	6
三、岩石	13
第二节 地质灾害	25
一、地震	25
二、火山	29
三、滑坡和崩塌	30
四、泥石流	35
第三节 构造运动与地壳演化简史	37
一、构造运动	37
二、地壳演化简史	41
参考文献	45
思考与练习	45
第三章 大气圈	48
第一节 大气的物理性状	48
一、主要气象要素	48
二、空气状态方程	55
第二节 大气的热量和温度	57
一、太阳辐射	57
二、地面辐射和大气辐射	61
三、大气的增温和冷却	62
四、大气的温度	66
第三节 大气的水分	69
一、蒸发和凝结	70
二、大气降水	72
第四节 大气的运动	74

一、作用于空气的力	74
二、大气环流	76
第五节 天气系统	79
一、气团	80
二、锋	81
三、气旋和反气旋	84
四、影响我国的几种主要天气过程	85
第六节 气候	87
一、气候的形成与变化	88
二、城市气候	90
参考文献	95
思考与练习	96
 第四章 水圈	100
第一节 水圈概述	100
一、地球上水的分布	100
二、地球上水循环	100
三、地球上水的物理性质	103
四、地球上水的化学性质	105
第二节 海洋	109
一、海洋的组成与结构	110
二、海水运动	111
三、厄尔尼诺现象与拉尼娜现象	113
第三节 河流	114
一、水系和流域	114
二、河流的水情要素	115
三、河流径流	116
四、河流泥沙	120
第四节 湖泊与水库	122
一、湖泊	122
二、水库	125
第五节 地下水	127
一、地下水的存储状态	127
二、地下水按存储条件的分类	129
三、地下水的运动	131
参考文献	132
思考与练习	132
 第五章 土壤圈	133
第一节 土壤的基本特性	133
一、土壤的概念及土壤圈的意义	133
二、土壤组成特性	134
三、土壤形态特性	138

四、土壤环境特性.....	144
第二节 土壤形成的基本规律.....	148
一、成土因素.....	149
二、主要成土过程.....	154
第三节 土壤分类及其主要类型.....	157
一、土壤分类系统.....	157
二、土壤分布规律.....	161
参考文献.....	163
思考与练习.....	164
第六章 地图	166
第一节 地图概述.....	166
一、地图的定义与基本特征.....	166
二、地图的组成要素.....	167
三、地图的分类.....	167
第二节 地图投影.....	169
一、地图投影基本理论.....	169
二、方位投影及其应用.....	172
三、圆柱投影及其应用.....	173
四、圆锥投影及其应用.....	174
第三节 我国基本比例尺地形图及其应用.....	176
一、高斯-克吕格投影	176
二、国家基本比例尺地形图的分幅和编号.....	180
三、地形图量算.....	185
四、地形图的野外应用.....	190
第四节 环境专题地图要素的表示方法.....	194
一、地图上显示点状分布要素的方法.....	195
二、地图上显示线状分布要素的方法.....	196
三、地图上显示面状分布要素的方法.....	196
参考文献.....	200
思考与练习.....	201
第七章 遥感	203
第一节 遥感基础.....	203
一、遥感概述.....	203
二、遥感的物理基础.....	207
第二节 遥感影像解译.....	214
一、解译标志.....	214
二、遥感影像的编号及符号注记.....	216
三、遥感影像目视解译.....	218
四、遥感影像计算机自动识别技术.....	220
参考文献.....	221
思考与练习.....	221

第一章 绪论

任何一门独立的学科都要关注如下 3 个基本问题：①研究什么——研究对象和核心问题；②有什么用——基本价值；③怎么研究——方法论（科学哲学、逻辑、系统论等）。地学基础虽然不是一门独立的学科，但是作为一门专业基础课，对于它的研究也需要从上述三个问题开始。

一、研究对象和核心问题

人类生活在地球上，从事生产活动，积累了大量资料，对地球上各种自然现象、自然规律以及环境问题，逐渐有所认识。随着社会发展、科技进步，人类在同自然作斗争的过程中对地球自然现象的认识越来越深入，越来越广泛。研究地球的科学也就随之发展起来。

地学是地球科学的简称。地球科学是研究地球系统并预测其未来行为的唯一科学。地球是一个复杂的物体，地球系统内存在不同圈层（子系统）之间的相互作用，物理、化学和生物三大基本过程之间的相互作用，以及人类与地球系统之间的相互作用。因此，地球科学是一个庞大的超级学科体系群，根据实际研究的不同圈层、内容特色和服务目的，传统上划分出众多的一级和二级学科分类体系。当前，地学的这些独立的学科主要包括地质学、地理学、土壤学、生物学、水文学、地貌学、天文学、气象学与气候学、地球化学、海洋学等学科及分支。可见，地球科学的内涵远远超出地理学的范畴。各个子学科的研究对象和侧重点有所不同。如地质学着重研究岩石圈，地理学侧重研究地球表层系统，生物学研究地球上的生命有机体。气象学与气候学研究地球大气圈，天文学从天体的角度研究地球及其起源。

多年来，总是有将地理学与地质学相混淆的情况出现，因此，有必要将二者的研究对象和核心问题加以论述。地质学主要研究地球的物质组成、构造运动、发展历史和演化阶段，并为人类的生存与发展提供必要的地质依据，主要是资源与环境条件的评价。地质学当前主要研究地壳，具体地说地质学是主要研究地壳的物质组成、变化、发展历史和古生物变化历史的一门科学。地理学是研究地理环境的科学，即只研究地球表层系统这一部分人类活动的的环境。所谓地球表层，实际上是指海陆表面上下具有一定厚度范围，而不包括地球高空和内部的地球表层。这个表层内存在着人类社会及各种地理要素，具有独特的地理结构和形式。地理环境可分为自然环境、经济环境和社会文化环境三类，据此将地理学分为自然地理学、经济地理学和人文地理学三大类。

20 世纪 80 年代，出现了地球系统科学这一个学科术语，1983 年首先由美国学者提出。国际环境与发展研究所和世界资源研究所在他们联合编撰的，反映世界环境和自然资源最新信息的巨型年度丛书《世界资源报告》（1987）一书中写到：“我们正在目睹一门内容广泛的新学科的诞生。这门学科能够大大加深对几十亿人居住的我们的这个行星结构和代谢功能的认识。这个学科集地质学、海洋学、生态学、气象学、化学和其他学科传统训练之大成。它有各种各样的名称：地球系统科学、全球变化学或生物地球化学等”。地球系统科学以传统地球科学的内容为基础，重点研究地球各部分之间的相互作用和相互关系，了解、描述地球系统的过去、现在，预测未来演变的趋势。地球系统各部分之间并非简单相加，而是具有非常复杂耦合关系的非线性系统。因此，必须把地球各个部分作为一个整体系统进行研究，以

制定全球各种变化研究的整体性规划和提出对策建议。

二、地学在环境、生态等学科中的基础地位

地学基础是教育部高等学校环境科学类专业教学指导委员会确定的环境科学和生态学专业基础课。其基本任务是为环境科学、生态学和地理学等相关专业提供地学的基础知识、基础理论和基本技能。

三、地学的基本任务

地学的基本任务主要包括：研究各自然地理要素（气候、地貌、水文、土壤、生物等）的特征、形成机制和发展规律。研究各自然地理要素之间的相互关系，彼此之间物质循环和能量转化的动态过程，从整体上阐明它的变化发展规律。研究自然地理环境的空间分异规律，进行自然地理分区和土地类型划分，阐明各级自然区和各种土地类型的特征和开发、利用方向。研究各种地学手段（地图、遥感、计量地理学）在环境问题研究中的应用。

由于地学基础课程在环境以及生态等相关学科领域的基础地位，地学的丰富内涵、广阔的研究领域、庞杂的学科体系，以及日益缩短的课时要求，本书不可能将地学的全部内容囊括进来，而是结合多年来编者的教学经验、环境学及生态学等相关学科的地学需求进行了取舍和综合。本书的任务就是较全面地介绍地球科学中的地壳、大气圈、水圈、土壤圈、遥感和地图等方面的基本知识、一般原理和基本手段等，以便使读者了解地学的基本内容，掌握地学的基本技能和研究方法，为学习环境科学、生态学及其他有关学科奠定专业基础。

四、研究方法

研究方法即对研究对象怎么研究——方法论（科学哲学、逻辑、系统论等）。根据地学的特点，通常采用下列研究方法。

1. 野外考察与定位观测

地学所研究的领域已经非常广泛，地理环境是气候、地形、生物、母质、土地利用方式以及人类生产生活等多种因素综合作用的结果，它在这些因素的作用下发生，并随着时间的发展而有不同的变化规律。绝大多数地学现象和问题是不能在实验室内重现的。因此，地学领域相关问题的研究除了搜集和研究前人的资料外，必须进行野外考察与定位观测，积累大量感性资料，以获取研究区域环境系统的组成、结构、功能等方面的一手资料和必要的环境样品，再结合室内化验分析与试验模拟资料，运用综合比较研究方法和相关分析研究方法等，进行分析对比、归纳总结，才能从宏观和微观层面上掌握环境巨系统中的能量流动、物质循环过程，尤其有利于分析污染的成因、时空分布规律以及自然现象和灾害等的影响因素和形成机制机理等。这是地学最基本的研究方法。通过“实践-认识-再实践-再认识”循环往复的形式，得出反映客观事物本质规律的结论。

2. 实验室分析

地球环境巨系统是一个复杂的综合体，人们可以借助现代分析测试手段，在实验室进行样品的物理学和化学方面的分析，如利用偏光显微镜、电子显微镜、化学分析等方法研究矿物、岩石和土壤等的化学组成、物理性质，以获取大量定量实验室数据，为揭示环境问题的发生、发展、演变，及时空分布特征和防控技术的应用与验证、模型的研究提供基础数据支持。

3. 模拟试验和比拟法

由于环境系统非常复杂，为了使研究简化，科研人员已经开始应用模拟试验和比拟的方法开展地球环境问题的相关研究，即在实验室内模仿自然界演化过程进行研究，如在风蚀研

究中就大量使用风洞模拟试验。虽然由于自然界的复杂性不能在实验室内模拟出完全相同的条件,但是随着科学的发展,借助模拟试验的结果来分析实际问题的方法将越来越多地被采用,它是一种重要的研究方法。

4. 遥感技术/地理信息系统技术的应用

借助现代遥感技术监测区域人类活动与环境相互作用的过程,是现代环境监测发展的新趋势。通过多时相、多光谱、多种遥感信息影像的综合应用研究,开发图形图像处理的新技术、新软件、计算机自动识别与制图技术、影像人工解译系统及其标志,构建遥感影像识别的地物光谱特征数据库,提高遥感影像空间分辨率,扩大遥感技术在环境领域的应用范围,使其成为对环境问题发生、发展及演变进行定量化监测的有用手段。

地理信息系统作为地理空间数据处理、分析系统,已经广泛应用并受到越来越多的环境工作者的青睐。通过地理信息系统的开发利用,获取研究区域定量资料,是环境问题研究的重要手段。

将遥感技术、地理信息系统技术等相关技术有机结合,监测研究区域环境现状、分析动态变化规律、预测发展趋势、分析人类活动与环境相互作用的过程等,是现代环境监测和预测分析的发展趋势。

5. 数理统计/计量分析手段的应用

包括环境问题在内的多学科问题涉及多要素、多指标、多变量,需要应用多元数理统计/计量分析等手段来研究各因变量与自变量之间的内在关系,并建立相应的模型,从而为科学辨识和正确处理环境问题奠定基础。马克思就曾表达过这样一种看法,即“一门科学只有在成功地运用数学时,才算达到了真正完善的地步”。“没有数学,我们无法看透哲学的深度;没有哲学,人们也无法看透数学的深度;而若没有两者,人们就什么也看不透。”西方学者凯尔文更进一步说,“如果你能测度你的研究对象,并以数字表示之,那么谓之有所知。如果你不能用数字描述研究对象,那你的知识就是粗浅而片面的,或许你正要开始了解你的研究对象,但无论研究对象为何物,你的认识尚未升华到科学状态”。因此,地学的各项研究也离不开各种数学方法,目前,在环境科学专业中已经开设了与数学、统计学等相关的课程。这些课程的开设为日后的工作将打下扎实的数学基础,成为科学发展的基石。

6. 推理法

地球表层系统的各种作用和表现形式都有其发生发展的一般条件、规律和特性所在。因此,可以利用在地球上所观察到的各种外在的表现形式和现象以及变化规律来推断过去及其变化规律,进行推理论证。推理的基本方法包括演绎和归纳两种。演绎是由一般原理推出关于特殊情况下的结论。归纳是由一系列具体的事实概括出一般原理。在地学研究中,归纳推理法相对演绎推理法更为基本。当然,一些地学现象和环境问题不是简单重复,而是向前发展的,因此需要辩证地对待所获取的资料,才能正确推理。

参考文献

- [1] 陈静生,汪晋三. 地学基础. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [2] 赵焯. 环境地学. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [3] 陈效述. 自然地理学原理. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 宋春青, 邱维理, 张振青. 地质学基础. 第四版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [5] 伍光和, 田连恕, 胡双熙, 王乃昂. 自然地理学. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2000.

第二章 地壳

地壳包括硅铝层（花岗岩层）和硅镁层（玄武岩层），地壳虽薄，但却是同地球外部各个圈层——土壤圈、大气圈、水圈、生物圈关系最为密切，反映地球内外力地质作用最明显的地方，也是人类和其他生物立地的基础。同时，地壳是自然地理学的研究对象。因此，认识地壳的物质组成，地壳的运动、变化、现象以及它们对地理环境的影响，对于研究自然地理环境、全面理解地理环境各个要素之间的相互作用和相互联系是十分重要的。地球是一个特殊的物理化学系统，它有别于太阳系其他行星，不但有生物圈和生命的长期作用，有液态水圈和氮-氧形成的大气圈，还有岩石圈的板块运动，从而决定了地球系统特有的物质运动与元素行为特征。

第一节 地壳的组成

地壳的组成物质可以从元素、矿物、岩石三个层次来说明。在地壳中各种元素形成矿物，各种矿物组成岩石，岩石构成地壳。可见，元素、矿物、岩石三者既相互联系，又有区别。

一、元素

（一）丰度和克拉克值

化学元素在任何宇宙或地球化学系统中（如地壳、大气圈、水圈、土壤圈等）的平均含量，称为丰度。元素在地壳中的丰度很早就有人研究，美国化学家克拉克（F. W. Clarke, 1847~1931）经过 40 年的努力工作，获得了大量岩石样品的化学成分数据，并于 1924 年和华盛顿（H. S. Washington, 1867~1934）共同发表了第一份地壳元素丰度资料，确定了地壳 50 种元素的含量，后经许多学者丰富补充，形成了地壳中元素丰度的基本资料，在科学研究中被广泛引用。为了表彰克拉克的贡献，通常把化学元素在地壳中的平均质量百分比称克拉克值。

在地壳中已经发现九十多种元素，这些元素的总特征如下：①地壳中元素的含量极不均匀，部分克拉克值较大的元素依次为 O (46.60%)、Si (27.72%)、Al (8.13%)、Fe (5.00%)、Ca (3.63%)、Na (2.83%)、K (2.59%)、Mg (2.09%)、Ti (0.44%)、H (0.14%)、P (0.12%)、Mn (0.10%)、S (0.05%)、C (0.03%) 等，其中含量大于 1% 的大量元素的总含量大于 98%，其余 80 多种元素的克拉克值之和不到 2%，且含量最高的元素氧 (46.60%) 是含量最低的元素氢的 1017 倍；②在不同地区、不同深度上，地壳元素的分布也极不均匀，通常，地壳上部以氧、硅、铝为主，钙、钠、钾也较多，而下部，虽仍以氧、硅为主，但其他元素的含量减少，镁和铁相应增多。

目前对于各个圈层元素丰度的研究是地球化学、环境科学等领域研究的热点和重点，也是一项基础性任务，通常作为研究工作的参考系统，如克拉克值经常被用来作为沉积物污染评价和元素富集因子研究的参考系统。

(二) 元素自然组合规律

元素是组成地壳的物质基础，元素克拉克值在一定程度上影响着元素的许多地球化学过程，如元素在地质作用下通过自然组合而富集形成矿产，以供人类开发利用，带来经济效益。元素的自然组合受一定的规律支配，主要有元素的地球化学亲和性和矿物晶体形成或变化过程的类质同象和同质多象规律。

1. 元素的地球化学亲和性及其分类

元素的地球化学亲和性是指在自然体系中元素形成阳离子的能力和所显示出的有选择地与某种阴离子结合的特性，是控制元素在自然界相互结合的最基本规律。元素的亲和性是制约各种地质作用中元素地球化学行为的基本属性。同类元素之间往往表现出紧密共生和共同迁移的特点。在元素周期表的基础上，结合元素自然组合的基本规律以及各种地球化学行为特征，人们对化学元素进行了元素地球化学分类。它是对元素自然组合的最基本的划分。其分类方案很多，比较有代表性的分类有戈尔德施密特 (V. M. Goldschmidt) 分类和查瓦里斯基分类。其中，戈尔德施密特分类自 1923 年提出以来一直为地学界广泛引用，是国际公认较好的分类，该分类将元素分为亲氧元素、亲铜元素、亲铁元素、亲气元素和亲生物元素五类，见图 2-1。

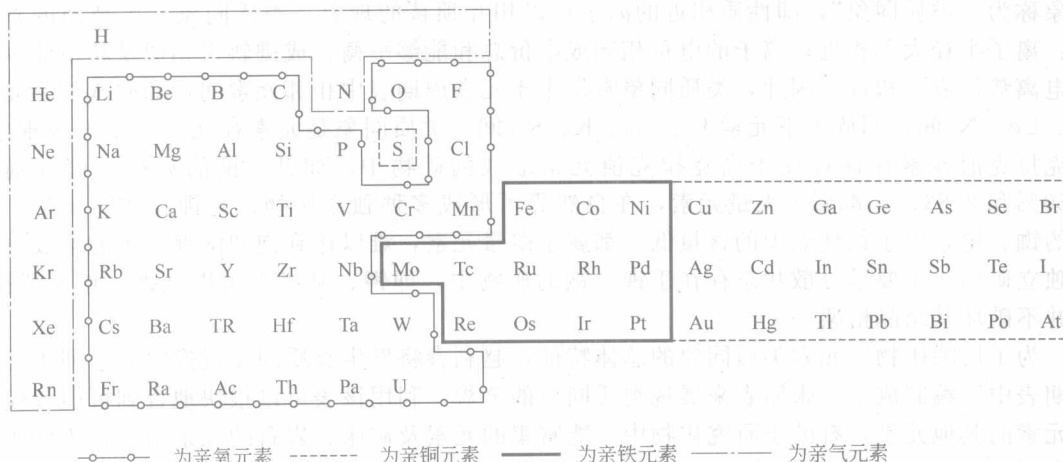


图 2-1 戈尔德施密特元素地球化学分类

亲氧元素 (oxyphile element or lithophile element): 离子的最外层电子具有 8 个电子稳定结构，与氧的亲合力强，能与氧以离子键性结合的元素，易熔于硅酸盐熔体，包括 Li、Be、B、C、O、F、Na、Mg、Al、Si、P、Cl、K、Ca、Mn、Ti、Cr、V、Ba 和 I 等，其中的金属元素很容易与 O、F、Cl 化合。它们的原子结构呈惰性气体型，因而在自然迁移过程中表现较稳定。亲氧元素是地壳岩石的重要组成元素，故亲氧元素又称亲石元素。

亲铜元素 (sulfophile element or chalcophile element): 离子的最外层电子具有 18 个电子的铜型结构，与硫的亲合力强，能与铜以共价键性结合，易熔于硫化铁熔体，包括 S、Cu、Zn、Ag、Hg、Pb、Sb、Cd、As 等，易与硫化合而成硫化物、硫酸盐等，常和铜的硫化物共生，又称亲硫元素或造矿元素。

亲铁元素 (siderophile element): 离子的最外层电子具有 8~18 个电子的过渡结构，与氧和硫的亲合力均弱，不能形成阳离子，只能以自然金属形式存在，它们常与金属铁共生，以金属键性相互结合，易熔于熔铁，包括 Fe、Co、Ni、Ru、Rh、Pd、Re、Os、Ir、Pt、Au 等，它们居于亲石元素和亲铜元素间的过渡位置，既能和氧结合，又能与硫结合。

亲气元素: 原子最外电子层具有 8 个电子，具有挥发性或倾向形成易挥发化合物，主要

集中在大气圈，包括 H、He、N、Ne、Ar、Kr、Xe、Rn 等。它们具有稳定的电子层结构，多数以单原子分子状态存在。

亲生物元素：包括 C、N、H、O、P、S、Cl、I、B、Ca、Mg、K、Na、V、Mn、Fe、Cu、Si 等。

元素的亲和性不是绝对的，不少元素具有双重亲和性，不同类型的亲和性之间有一定的过渡性。同时，元素亲和性经常被用来解释颗粒物上载带元素的来源分析，如亲铜和亲铁元素在较高温度下（如燃烧冶炼）易熔化乃至气化，一旦排放进入大气，立即在大气悬浮颗粒上核化（如凝华），致使大气颗粒物中这些元素增加，导致大气悬浮颗粒物中亲铜、亲铁元素的含量受局地工业活动影响较大。在自然条件下，如沙尘天气期间，颗粒物上载带的亲铜元素与亲氧元素相比增加很少，导致沙尘主要携带丰富的亲氧元素和 Fe 元素迁移。即外来沙尘对空气中亲氧元素及 Fe 元素影响最大，对亲铜元素基本无影响，这与它们的物理化学性质相一致。

2. 类质同象规律

某些物质在一定的外界条件下结晶时，晶体中的部分构造位置随机地被介质中的其他质点所占据，结果只引起晶格常数的微小变化，晶体构造类型和化学键类型等保持不变，这一现象称为“类质同象”，即性质相近的离子可以相互顶替的现象。类质同象发生替换的条件是：离子半径大小相近；离子的电价相同或电价总和能够平衡；成键轨道相似及轨道能（可用电离势代表）相近。因此，类质同象常发生于元素周期表中相邻元素间，如同族相邻元素 Fe、Co、Ni 间，同族上下元素 Li、Na、K、Rb 间。类质同象是元素存在的一个普遍现象。低克拉克值元素往往存在于高克拉克值元素形成的矿物中。如钾、钠的克拉克值分别为 2.59% 和 2.83%，都属于大量元素，在自然界可形成多种独立矿物；与钾、钠同属第一主族的铷、铯，由于在地壳中的含量低，都属于微量元素，难以达到饱和浓度，不能形成自己的独立矿物，主要呈分散状态存在于钾、钠的矿物中，即钾、钠经常可以被铷、铯所置换，但并不破坏其结晶格架。

为了反映矿物中元素类质同象的总体特征，赵利青将发生类质同象置换的元素列于元素周期表中，编制成了一张简表来展现类质同象的全貌，利用该表可以很快地查到可能替代某一元素的其他元素，有助于研究矿物中可能富集的元素及矿床、岩石的元素组合，指导矿产综合评价。

3. 同质多象规律

同质多象与类质同象相反，指成分相同的物质，在不同的外界条件下，形成构造和性质完全不同的晶体的现象。如金刚石和石墨都由碳组成，但它们的结晶构造和物理性质完全不同。

二、矿物

（一）矿物的概念

矿物是化学元素在各种地质作用下形成的具有相对固定化学成分和物理性质的自然均质体，是组成矿石和岩石的基本单位。可见，矿物是各种地质作用形成的天然产物，人类加工形成的物质，如食糖虽然具有矿物的某些性质，但不能在自然条件下形成就不是矿物；矿物具有一定的化学成分，如金刚石成分为单质碳；矿物具有较稳定的物理性质，如方铅矿呈钢灰色、金属光泽、不透明、条痕为黑色、较软。矿物是构成矿石和岩石的物质基础，人类的衣、食、住、行等各个方面都离不开矿物。如建造房屋所需要的各种材料、随身佩带的宝石、日常食用的食盐、点豆腐用的石膏等都来自于矿物。

目前人们所能直接观察到的矿物基本上都产自地球的岩石圈中。近年来矿物学的研究由

地壳扩大到地幔，推测将会发现一些地幔矿物。人们通过对陨石和月岩中矿物的研究，发现陨石、月岩中的矿物种类和地壳中的矿物基本一致。

(二) 矿物的分类

矿物的分类方法很多，目前常用的是同时考虑矿物的化学组成特点和晶体结构特点的晶体化学分类法。这种方法首先根据化学组成的基本类型，将矿物分为自然元素矿物、硫化物矿物、卤化物矿物、氧化物及氢氧化物矿物、含氧盐矿物等五大类，如表 2-1。再根据阴离子的种类把五大类分为若干类，如含氧盐矿物可以分为碳酸盐矿物、硫酸盐矿物、硝酸盐矿物、铬酸盐矿物、硅酸盐矿物、硼酸盐矿物、碘酸盐矿物等。

表 2-1 矿物分类简表

大 类	特 征 及 其 他
自然元素	以单质形式产出，如金、硫黄、石墨等
硫化物	多具有金属光泽，深条痕，不透明，硬度低，相对密度大，如黄铁矿
氧化物及氢氧化物	如石英
卤化物	大多硬度低，相对密度小，无色透明或浅色，如萤石
含氧盐	碳酸盐、硫酸盐、硝酸盐、铬酸盐、硅酸盐、硼酸盐、碘酸盐等，如橄榄石

以上这些矿物中硅酸盐矿物种数最多，占整个矿物种类的 24%，占地壳总质量的 75%；其他含氧盐类共占三分之一，质量占 17%。

(三) 矿物的命名

① 以化学成分命名：如钨锰铁矿 $(\text{Mn}, \text{Fe}) \text{WO}_4$ ，硫黄 (S)。

② 以物理性质命名：如重晶石 (相对密度大)，方解石 (具菱面体解理)，孔雀石 (孔雀绿色)，天青石 (天青色)，蛇纹石 (颜色斑驳如蛇皮)。

③ 以形态特点命名：如石榴子石 (四角三八面体或菱形十二面体，状似石榴子)，十字石 (双晶呈十字形)。

④ 结合两种特点命名：a. 成分及性质，如赤铁矿条痕樱红色，黄铁矿铜黄色，辉锑矿金属光泽，磁铁矿强磁性；b. 形态及性质，如红柱石红色柱状晶体，绿柱石绿色柱状晶体。

⑤ 以矿物发现地地名命名：如香花石 (发现于我国香花岭)，高岭石 (我国江西高岭地方产者最著名)。

⑥ 以矿物发现人名字命名：如章氏硼镁石 (英文名 Hungchsaoite，可译为鸿钊石，为纪念我国地质学家章鸿钊而命名)。

⑦ 对于呈现金属光泽的或者是可以从中提炼金属的矿物：往往称之为××矿，如黄铜矿、方铅矿等。

⑧ 对于非金属光泽的矿物，往往称之为××石，如方解石、重晶石等。

⑨ 对于宝石类矿物，常称之为×玉，如刚玉、碧玉。

⑩ 对于地表次生矿物，常称之为×华，如钴华、钨华。

⑪ 对于易溶于水的，常称之为×矾，如明矾、胆矾。

⑫ 对于呈粉末状的集合体，常称之为×土，如高岭土。

⑬ 由外文翻译成中国名称的，如托帕石等。

但以矿物特征即以①~④的方法命名的居多，这有助于熟悉该矿物的成分和性质。

(四) 矿物集合体的形态

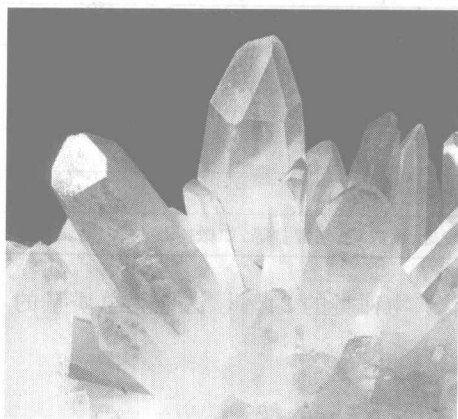
在一定地质条件下，许多矿物往往生长在一起，称为矿物集合体，常见的矿物集合体形态有以下几种。

① 粒状集合体 由各向发育程度大致相等的晶粒组成。粒状集合体大多是从岩浆或溶液中结晶形成的，当岩浆冷却或溶液达到过饱和时，会出现许多结晶中心。围绕这些结晶中心生长的晶体，结晶到一定程度便开始争夺剩余空间，结果形成外形不规则的粒状集合体。

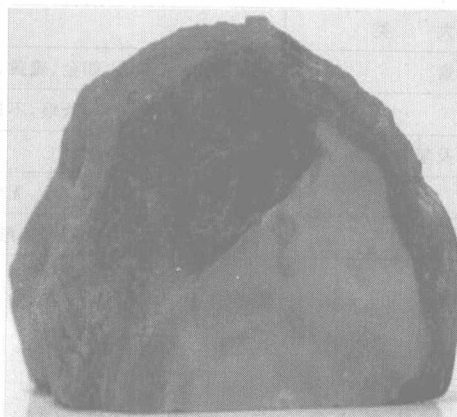
② 致密块状集合体 致密均匀，肉眼不能分辨晶粒之间的界限。

③ 片状、鳞片状、柱状、针状、纤维状、放射状集合体 由许多片状、鳞片状、柱状矿物晶体组成。

④ 晶簇 在岩石空隙或孔洞壁上许多晶形完好的晶体发育在同一基底上，另一端自由发育而形成的矿物集合体形态，称晶簇，如石英晶簇 [图 2-2(a)]。生长晶簇的空间叫晶洞。



(a) 石英晶簇



(b) 玛瑙

图 2-2 矿物集合体形态示意图

⑤ 杏仁体和晶腺 矿物溶液或胶体进入岩石的气孔或空洞时，往往从洞壁向中心层层凝聚，最后把孔洞充填所形成的矿物集合体。其外形极不规则，与孔洞形状密切相关。杏仁体直径小于 2cm，晶腺直径大于 2cm。晶腺内部具有同心圆状的生长纹饰，如玛瑙 [图 2-2(b)]。

⑥ 结核、鲕状体 矿物溶液或胶体常围绕某一中心生长，使集合体由中心向周围扩大，最后形成球状、瘤状等形态，称为结核。小于 2mm 形同鱼子的结核称鲕状体。

⑦ 肾状、钟乳状和葡萄状集合体 某些含矿物质的溶液或胶体，因失去水分而逐渐凝聚形成的肾状、钟乳状和葡萄状集合体，如溶洞中的钟乳石、石笋就常具有这种形态。

⑧ 土状集合体 疏松粉末状的矿物集合体，一般无光泽，通常是由风化作用产生的矿物，如高岭石。

(五) 矿物的物理性质

矿物的物理性质是固定的，它决定于矿物的化学成分和晶体结构。矿物的物理性质包括颜色、条痕、光泽、透明度、硬度、解理、断口、相对密度、韧性等，是鉴定矿物的重要标志。

1. 颜色

颜色是矿物的重要光学性质之一。不少矿物有它的特殊颜色，如孔雀石的特殊绿色、蓝铜矿的特殊蓝色。矿物的颜色有自色、他色、假色之分。自色是指矿物本身固有的化学组成中含有某些色素离子而呈现的颜色。元素周期表中的过渡金属离子对某些波段的光线特别敏感，通常为色素离子。自色大体上固定不变，较稳定。它色是因矿物中混入了某些杂质而表现出来的颜色，与矿物本身的化学成分无关。如纯净的水晶是无色透明的，若有不同杂质混

人就呈现不同颜色，如烟水晶（含有机质）、紫水晶（含锰）。假色是因为某些物理的和化学的原因而引起的颜色，如矿物表面形成的氧化膜而引起的矿物颜色。

2. 条痕

条痕是矿物粉末的颜色，一般指矿物在白色无釉瓷板上划擦时留下的粉末的颜色。矿物条痕的颜色可以与矿物颜色一致，也可以不一致。如自然金，二者都是金黄色；赤铁矿条痕为樱红色，而颜色却为赤红、铁黑等色。矿物的条痕比矿物颜色稳定得多，它可以消除假色、减弱他色、显示自色，是鉴定矿物的重要标志之一。如果欲鉴定的矿物，不能直接画出条痕，则可用小刀刮下粉末放在瓷板上或者白纸上进行观察。

3. 矿物的透明度

矿物的透明度指光线透过矿物多少的程度，可将矿物按照透明度分为透明矿物（矿物碎片边缘能清晰透见它物，如石英）、半透明矿物（矿物碎片边缘可模糊透见它物，如闪锌矿）和不透明矿物（矿物碎片边缘不能透见它物，如磁铁矿）。矿物的透明度受矿物中的杂质、包裹体、气泡、裂隙和集合体形态等的影响。自然界没有绝对透明或绝对不透明的矿物。矿物的透明度与矿物的大小厚薄有关。大多数矿物标本表面看是不透明的，但碎成小块却是透明的，不能认为它是不透明的。

4. 光泽

矿物新鲜面对光线的反射程度称为光泽。矿物光泽的强弱决定于矿物对可见光的反射率。反射强，光泽强；反之则弱。矿物光泽一般可分为金属光泽、非金属光泽和半金属光泽，非金属光泽又细分为金刚光泽和玻璃光泽。光泽是鉴定矿物的依据之一，也是评价宝石的重要标志。

① 金属光泽 矿物表面反光极强，如同光亮的金属器皿表面所呈现的光泽。某些不透明矿物均具有金属光泽，条痕为黑色或者金属色，如自然铜、方铅矿、磁铁矿等。

② 半金属光泽 呈弱金属状光亮，暗淡不刺目，半透明，条痕以深彩为主，如辰砂、黑色闪锌矿等。

③ 金刚光泽 呈金刚石状光亮，反射较强，光泽闪亮耀眼，半透明或透明，条痕为浅彩色、无色或白色，如金刚石、白钨矿、浅色闪锌矿等。

④ 玻璃光泽 呈玻璃状光亮，反射较弱，像普通玻璃表面那样的光泽，透明，条痕为无色或白色，如水晶、正长石、方解石等。大约70%的矿物具有此种光泽。

如果矿物表面不平，或带有细小孔隙，或不是单体而是集合体，则其表面所反射出来的光量因经受多次折射、反射而增加了散射的光量，从而造成下列特殊光泽。

① 丝绢光泽 透明矿物，平行纤维状矿物由于反射光相互干扰产生的表面丝绢光亮，如纤维状石膏、石棉等。

② 珍珠光泽 透明矿物，在片状集合体的矿物极完全的解理面上具珍珠状光亮，如白云母、片状石膏等。

③ 油脂光泽 透明矿物，解理不发育，在不平坦的断口上具油脂状光亮（微带暗淡阴影），如石英等。

④ 土状光泽 粉末状和土状集合体的矿物，表面暗淡无光，如高岭石等。

5. 硬度

矿物的硬度是指矿物抵抗外力的刻画、压入、研磨等的能力，可以用摩氏硬度计、小刀或指甲等来确定矿物的硬度。

早在1822年，德国的摩氏（Friedrich mohs）就提出用10种标准矿物来衡量矿物的硬度，并制成摩氏硬度计。据此将硬度分为10级，按照它们的软硬程度依次划分为：滑石、石膏、方解石、萤石、磷灰石、正长石、石英、黄玉、刚玉、金刚石。摩氏硬度计各级之间硬度的差异是不均等的，只表示硬度的相对大小。

利用摩氏硬度计测定矿物硬度简单方便。将预测矿物和硬度计中某一矿物相互刻划，如某一矿物能划动方解石，说明其硬度大于方解石，但又能被萤石所划动，说明其硬度小于萤

石，则该矿物的硬度为3~4之间，可定成3.5。瓷砖技术标准中就有摩氏硬度，中国瓷砖摩氏硬度标准为 ≥ 6 。

在野外可以利用指甲（摩氏硬度为2~2.5）、铜钥匙（3）、小刀（5~5.5）和钢锉（6~7）等来代替硬度计测试硬度。

测定矿物的硬度要在新鲜面进行，否则结果不可靠。矿物的硬度比较固定，因此它是矿物的重要鉴定标志。某些矿物的硬度的细微变化常与形成条件有关，因此根据硬度可以探讨矿物的成因。矿物的硬度在工业技术上有重要意义，如高硬度的金刚石广泛用作研磨、切割、抛光等的重要工具，低硬度的石墨是重要的固体润滑剂。

6. 矿物的解理

矿物晶体在外力作用下沿着一定结晶方向破裂，并产生光滑平面的性质称为解理，这些平面称为解理面。根据晶体在外力的作用下裂成光滑的解理面的难易程度，可以把解理分成下列五级。

① 极完全解理 矿物极易裂成薄片。解理面光滑、平整，此类矿物一般无断口，如云母。

② 完全解理 矿物极易裂成平滑小块或薄板。解理面光滑，此类矿物不易见到断口，如方解石。

③ 中等解理 解理面不太光滑且一般不能一劈到底，在矿物碎块上既可看到解理，又可看到断口，如普通辉石。

④ 不完全解理 矿物不易裂出明显的解理面。解理面不平整，容易出现断口，如磷灰石。

⑤ 极不完全解理（即无解理） 矿物极难出现解理面。在碎块上常出现断口，如石英。

7. 断口

矿物受力后不是按一定方向发生破裂，而产生各种凹凸不平的破裂面的性质，叫断口。断口常具有一定的形态，因此也是鉴定矿物的特征之一。矿物断口的形状主要有贝壳状、锯齿状、参差状、平坦状等几种。

8. 矿物的相对密度

矿物的相对密度是指矿物与4℃时同体积水的质量之比。矿物比重的数值实际上等于矿物的相对密度。矿物相对密度的变化幅度很大，可由小于1（如琥珀）~23（如铂族矿物），大多数矿物相对密度在2.5~4之间，一些重金属矿物常在5~8之间。

9. 矿物的延展性和脆性

矿物受力后，容易锤击成薄片和拉引成细丝的性质称为延展性。矿物受力极易破碎，不能弯曲称为脆性。大部分矿物具有脆性，延展性是金属矿物的一种特性，如自然金、自然银、自然铜等自然金属矿物都具有良好的延展性。当用小刀刻划矿物时，矿物表面被刻之处立即留下光亮的沟痕，则矿物具有延展性；若矿物表面出现粉末或碎粒，则矿物具有脆性。

10. 矿物的磁性

矿物的磁性是指矿物可被磁铁吸引或矿物本身能够吸引铁屑等物体的性质。最早的指南针就是利用天然磁铁矿制成的。矿物的磁性主要由于矿物成分中含有铁、钴、镍、钛等元素。一般用普通马蹄磁铁来测试矿物的磁性。利用磁性不仅可以用来鉴定和分选矿物，同时还是磁法探矿的依据。

11. 矿物的发光性

一些矿物在外加能量的激发下能发射可见光的性质称为发光性。矿物在外加能量停止后仍然继续发光，此缓慢衰退的发光称为磷光。在外加能量消失后即停止发光，这种发光称为荧光。具荧光性矿物只要在外加能量的连续作用下，就能连续发射某种可见光。如含有稀土