

中国地质大学（北京）国家级特色专业地质学系列教材



SYNTHETIC GEOLOGY ( 2nd Edition )

# 综合地质学 (第二版)

王根厚 王训练 余心起 主编



地质出版社



中国地质大学（北京）国家级特色专业地质学系列教材

# 综合地质学

（第二版）

王根厚 王训练 余心起 主编

地质出版社

## 内 容 提 要

本教材将地质学涵盖的基础性学科——矿物学、岩石学、地史学、构造地质学的内容进行有机结合,强调地质学的认识性、实践性和方法性,是一本综合性和方法性课程教材。全书分3篇11章,包括:地球的物质组成系统,共4章;地层历史系统,共2章;构造地质系统,共5章。

本书适用于地质类工科专业本科生专业基础课程教学,亦可供野外地质人员参考使用。

\* \* \* \* \*

综合地质学课程于2008年被评为北京市精品课程,于2009年被评为国家级精品课程。全部讲课视频已上传“爱课程网”,网址:<http://www.icourses.cn>。

### 图书在版编目(CIP)数据

综合地质学/王根厚,王训练,余心起主编.—2版.

—北京:地质出版社,2017.9

中国地质大学(北京)国家级特色专业地质学系列教材

ISBN 978-7-116-10583-6

I. ①综… II. ①王… ②王… ③余… III. ①地质学—高等学校—教材 IV. ①P5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第237755号

### Zonghe Dizhixue

责任编辑:魏智如 郑泽军

责任校对:韦海军

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 66554528(邮购部);(010) 66554583(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554582

印 刷:固安华明印业有限公司

开 本:787 mm×1092 mm<sup>1/16</sup>

印 张:15.75

字 数:385千字

印 数:1—3000册

版 次:2017年9月北京第2版

印 次:2017年9月河北第1次印刷

定 价:36.00元(含教学光盘)

书 号:ISBN 978-7-116-10583-6

(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)

# 总 序

中国古代有很丰富的地质思想。近代地质学作为研究地球及其演变规律的一门自然科学在 19 世纪中叶从西方引入我国。1909 年京师大学堂（北京大学的前身）开设地质学门（系），开创了中国地质教育的先河，距今不过百年光阴！在这一百多年的时间里，特别是中华人民共和国成立后，我国的地质事业和地质教育事业取得了突飞猛进的发展，培养了数十万名地学人才，在地球科学的基础理论和实际应用中都取得了巨大的进展。进入 21 世纪，与国际地球科学发展同步，我国地球科学的发展在基础研究领域，以研究固体地球为主转向关注地球各圈层相互作用及其演变的地球系统科学；在应用领域已由“资源开发型”逐渐拓展为“资源开发与环境保护并重型”，进而全面为经济社会的可持续发展服务。地球科学与其他学科的交叉融合不断加强，研究领域和应用范围空前拓展。全球的地球科学出现了“上天、入地、下海、登极”全方位探索；“资源、环境、灾害、工程”多功能并举；“宏观、微观、定性、定量”全面结合；“星际、地球、区域、局部”，“远古、古代、当今、未来”无所不包的新局面。这种时间与空间上的大跨度、科学与技术方面的大交叉、理论与实践的紧密相连前所未有。地质科学工作者正面临着前所未有的机遇与挑战。

地球科学的发展与进步依赖于地质教育。地质教育必须走在行业发展的前列，这是时代的要求，也是地质教育自身发展的要求。

创立于 1952 年的中国地质大学（原北京地质学院），现已发展成为以地质、资源、环境、地质工程为主要特色，理、工、文、管、经、法等专业相结合的全国重点大学。伴随共和国发展的脚步，中国地质大学已经走过了 60 多年的历程，成为我国地学人才培养的摇篮和地学研究的重要基地。走出地大校门的 8 万余名学子，秉承“艰苦朴素、求真务实”的校训，献身于祖国的地质事业和其他各个行业。中国地质大学（北京）坚持“特色加精品”的办学理念，正在向地球科学领域世界一流大学的目标迈进。

在进入“十二五”之际，中国地质大学（北京）制订了地质学专业系列教材的编写计划。这套涵盖了地质学专业 20 多门课程的系列教材，有的是在我校原有使用了多年的老教材的基础上进行修订，有的是重新编写。本套教材依据中国地质大学（北京）地质学专业“十二五”本科教育培养方案和课程建设体系，努力彰显学校多年办学实践形成的特色和优势，加强基础理论、基本知识与基本技能的培养，培养学生“品德优良、基

基础厚实、知识广博、专业精深”的素质。教材编写过程中参考和借鉴国内外近年来新出版的相关教材，在教材体系上力求先进，在理论知识上力求创新。参加教材编写的教师既有年愈八旬、资深望重的老教授，也有年富力强的中年骨干，还有朝气蓬勃的青年教师，体现了中国地质大学名师荟萃的学术氛围。

本套教材总计千余万字，从地质学的基础理论，到研究方法，到实际应用；从课堂理论教学，到野外实践教学，囊括了地质学专业必修的大部分课程，代表了中国地质大学成立 60 年来所取得的丰硕教学成果和部分科研成果，集中了地质大学老、中、青三代人的智慧。谨向参与教材编写的各位作者表示敬意。相信本套教材的出版将对中国地质大学（北京）乃至全国地质教育的发展起到积极的推动作用。

地球科学博大精深，祝愿新时代的青年学子，热爱地质科学，热爱地质事业，努力学习，大胆探索，揭开更多的地球科学奥秘！

中国科学院院士

赵鹏大

刘传生

莫宣学

# 前 言

当代地球科学的发展表明，人与自然之间的协调性已变得越来越重要。人类作为地球系统中的组成部分，其生存和发展与地质过程和地质事件（尤其是那些涉及岩石圈、水圈、生物圈及大气圈的地质过程）有着密切的联系，如航天事业、工程建设、地质灾害预防、矿产利用、废物（包括核废物）处置、土地利用、环境污染治理等一系列涉及人类生存环境和可持续发展的问题。这就意味着，人类生存的地球外部圈层——岩石圈的物质组成、物理化学性质、结合方式、运动状态及其动态演变不仅是地质学理论研究的重要领域，而且是人类活动所涉及的必不可少的重要因素。

地壳中的矿产分布受一定的岩性、地层及地质构造控制。一方面，成矿物质的运移和富集，需要有良好的通道和有利的储存场所，这通常与地壳中的构造有密切的关系，如石油和天然气常分布在背斜的顶部或具有圈闭条件的断裂构造中；另一方面，许多已形成的矿体，还会遭受后来地壳运动的影响而变形、错断。例如，寻找被错断的煤层是煤矿地质中最常见的问题。因此，在矿产的普查、勘探和开采工作中，正确认识区域和矿区的构造特征，是对矿产储量科学评价、合理开采不可缺少的重要工作。

地下水的活动和储集与岩石类型、地质构造同样密切相关。只有查明了基础地质特征，才能更有效地寻找地下水。许多工程建设，如水库、隧道、桥梁和大型地下工程等，其施工的难易、工程的稳定性和建设成本，都与岩性、地质构造密不可分。事先查明施工区的基础地质情况，不仅能合理选址，而且可以降低工程成本，特别是避免重大工程事故，如地面沉降、塌方、冒顶、大量涌水等的发生。

因此，有关地质工科以及其他工程建设类专业学生掌握这方面的知识和工作方法是势所必然。然而，这样一门实践性很强的自然学科，无论是高等院校，还是生产单位，一直没有一本以地质科学的野外实践和工作方法为主的系统教材。国内较为接近的教材有：普通地质学、动力地质学、地球科学概论、地质学基础等，这些教材类似于国外的 *Modern Physical Geology*（现代动力地质学）、*Physical Geology*（普通地质学）、*Earth*（地球）……这些教材主要以地质作用为主线，强调地球观的建立，其特点是突出地质学理论和概念，而缺乏系统的地质学方法介绍。1991年，原地质矿产部出版了一套《1:5万区域地质填图方法指南》，主要是针对物质组成方面（花岗岩区、沉积岩区、变质岩区）的野外填图方法，这套填图方法指南尽管强调了地质学的方法性，但不适合作为教材使用。传统的矿

物学、岩石学、地层学以及构造地质学等教材自成完整体系，内容繁多，仅可作为参考教材。另外，由于教学体制改革，非地质学专业大大缩减了岩石学、地层学、构造地质学的课时，上述教材又不适合单独选用，其结果造成地质野外认识实习无法与课程顺利衔接，缺陷明显。

在此情况下，开设适应地质类工科专业的综合地质学，其目的就是将上述学科有机结合，即在矿物学、岩石学、地史学以及构造地质学基础上编制一本自成体系的《综合地质学》教材，既是教学改革的需要，又弥补了教学体系改革所造成的课程衔接明显不顺的缺陷。这是我们编写本教材的初衷。

《综合地质学》最大限度地将岩石圈物质系统、构造系统、历史系统的内容有机结合，强调其实践性和方法性，而不是岩石学、地史学、构造地质学内容的删减和拼凑。通过近几年的教学实践，逐渐完善了教学体系和教学大纲。

“综合地质学”是强调地质学的认识性、实践性和方法性，主要研究地壳或岩石圈的物质组成系统、地质构造系统和地层历史系统的一门综合性和方法性课程，强调地质现象的认识和观察。教材主要为地质类非地质学专业，即地质类工科专业，如地球物理、海洋地质、石油地质、水文地质、工程地质和环境地质等专业使用。本教材体系在国内外系首创。

总之，综合地质学无论在理论方面还是生产实际方面，都有十分重要的意义，是从事水文地质、工程地质、石油工程、地震地质和其他天然灾害的减灾和防治等方面所必需的基本知识。教材分3篇11章：地球的物质组成系统，共4章；地层历史系统，共2章；构造地质系统，共5章，兼具综合性、实用性。与本课程配套的教学资源还有：《综合地质学实习指导书》1册，教学光盘2张，从而实现理论教学与野外实践教学能够顺利衔接。

本教材第一版作为“北京市高等教育精品教材立项项目”，由地质出版社2008年出版。中国地质大学（北京）开设的综合地质学课程于2008年被评为北京市精品课程，2009年被教育部评为国家级精品课程。本课程的全部讲课视频已上传“爱课程网”，网址：<http://www.icourses.cn>。

多年的教学实践证明，本教材的体系框架、内容设置及篇幅容量是合理的，教学效果良好。根据学科发展及新形势下的教学需要，现在对教材内容做出适当修订，增加了大量典型野外地质现象的实物照片和文字描述，使之可读性更强。恳请读者提出宝贵意见。

主 编

2017年6月于北京

# 目 录

## 总 序 前 言

## 第一篇 地球的物质组成系统

第一章 矿物和岩石 .....	(1)
第一节 矿物 .....	(1)
一、矿物的一般概念 .....	(1)
二、矿物的化学成分 .....	(2)
三、矿物的晶体结构 .....	(3)
四、矿物中的元素替代(类质同象)及其意义 .....	(3)
五、矿物的形态与物理性质 .....	(4)
六、矿物的分类 .....	(9)
七、主要造岩矿物简介 .....	(11)
八、常见造岩矿物及肉眼识别 .....	(18)
第二节 岩石 .....	(20)
一、岩石的成因分类 .....	(20)
二、岩石学的概念 .....	(21)
三、岩石学发展现状 .....	(22)
四、岩石学的研究方法 .....	(22)
思考题 .....	(23)
第二章 沉积岩 .....	(24)
第一节 沉积岩的形成作用 .....	(24)
一、沉积物的形成 .....	(24)
二、沉积物的搬运、分异和沉积作用 .....	(27)
三、成岩作用 .....	(28)
第二节 沉积岩中的原生构造 .....	(29)
一、侵蚀型沉积构造 .....	(29)
二、沉积型构造 .....	(30)
三、软沉积变形构造 .....	(32)
第三节 沉积岩的分类 .....	(35)
一、陆源碎屑岩 .....	(35)
二、碳酸盐岩 .....	(42)
思考题 .....	(46)



第三章 岩浆岩 .....	(47)
第一节 岩浆及岩浆作用 .....	(47)
一、岩浆的性质 .....	(47)
二、岩浆作用 .....	(48)
第二节 岩浆岩的基本特征 .....	(50)
一、岩浆岩的产状和相 .....	(50)
二、岩浆岩的物质成分 .....	(61)
三、岩浆岩的结构和构造 .....	(64)
第三节 岩浆岩的分类和命名 .....	(73)
一、超基性岩类 .....	(74)
二、基性岩类 .....	(76)
三、中性岩类 .....	(77)
四、酸性岩类 .....	(79)
五、脉岩类 .....	(80)
六、火山碎屑岩类 .....	(80)
七、岩浆岩的命名原则 .....	(81)
第四节 侵入岩的野外工作方法 .....	(82)
一、侵入岩岩石的分类和命名 .....	(82)
二、侵入岩体的野外研究方法 .....	(84)
思考题 .....	(86)
第四章 变质岩 .....	(88)
第一节 变质作用 .....	(88)
一、影响变质作用的因素 .....	(88)
二、变质作用的方式 .....	(92)
三、变质作用的类型 .....	(95)
第二节 变质岩的一般特征 .....	(97)
一、变质岩的物质成分 .....	(97)
二、变质岩的结构构造 .....	(100)
第三节 变质岩的类型 .....	(107)
一、动力变质岩类 .....	(107)
二、区域变质岩 .....	(109)
三、混合岩类 .....	(111)
四、接触变质岩石类 .....	(112)
五、气-液变质岩类 .....	(113)
思考题 .....	(115)
第一篇附录 岩石观察和描述实例 .....	(116)

## 第二篇 地层历史系统

第五章 地层系统 .....	(119)
第一节 地层及其接触关系 .....	(119)
一、地层与地层叠覆律 .....	(119)
二、地层接触关系及其地质意义 .....	(119)
第二节 地层划分和对比 .....	(125)
一、地层划分 .....	(125)
二、地层对比 .....	(126)
思考题 .....	(130)
第六章 地层单位及地质年代 .....	(131)
第一节 岩石地层单位 .....	(131)
第二节 生物地层单位 .....	(132)
一、生物地层单位的类型 .....	(132)
二、生物演化和地质年代 .....	(133)
第三节 年代地层单位和地质年代系统 .....	(134)
一、宇、界、系、统 .....	(134)
二、阶 .....	(135)
三、亚阶 .....	(135)
四、时带 .....	(135)
五、地质年代表的建立 .....	(137)
思考题 .....	(139)

## 第三篇 构造地质系统

第七章 地质体基本产状 .....	(140)
第一节 面状构造的产状要素 .....	(140)
一、面状构造组成要素 .....	(140)
二、面状构造产状的测量和表示 .....	(141)
第二节 线状构造的产状要素 .....	(141)
第三节 水平岩层 .....	(142)
第四节 倾斜岩层 .....	(143)
一、“V”字形法则 .....	(143)
二、岩层的露头宽度 .....	(144)
三、三点法的原理及应用 .....	(144)
第五节 不同地层接触关系的出露形态 .....	(147)
一、整合接触 .....	(147)
二、不整合接触 .....	(147)
思考题 .....	(148)

第八章 极射赤平投影的原理和应用 .....	(149)
------------------------	-------

第一节 极射赤平投影的原理 .....	(149)
一、投影原理 .....	(149)
二、极射赤平投影的应用 .....	(152)
三、小结 .....	(154)
四、练习题 .....	(154)
第二节 $\beta$ 图解和 $\pi$ 图解 .....	(154)
一、 $\beta$ 图解 .....	(154)
二、 $\pi$ 图解 .....	(155)
三、练习题 .....	(155)
思考题 .....	(156)
<b>第九章 劈理、线理 .....</b>	<b>(157)</b>
第一节 劈理及其类型 .....	(157)
一、劈理及其组成要素 .....	(157)
二、劈理类型 .....	(157)
三、劈理与大构造的关系及劈理现象 .....	(159)
第二节 线理 .....	(160)
一、变形岩石中小型线理 .....	(160)
二、变形岩石中的大型线理 .....	(161)
第三节 劈理和线理研究的地质意义 .....	(163)
一、劈理研究的地质意义 .....	(163)
二、线理的研究意义 .....	(164)
思考题 .....	(165)
<b>第十章 褶皱 .....</b>	<b>(166)</b>
第一节 褶皱和褶皱要素 .....	(166)
一、褶皱的几何要素 .....	(166)
二、褶皱轴面和枢纽产状的测定 .....	(168)
三、褶皱的波长和波幅 .....	(168)
第二节 褶皱的几何形态及褶皱的描述 .....	(169)
一、褶皱的几何形态 .....	(169)
二、褶皱形态的描述 .....	(169)
三、褶皱的几何分类 .....	(172)
第三节 叠加褶皱 .....	(175)
一、轴向不一致的直立褶皱叠加 .....	(176)
二、平卧褶皱与直立褶皱叠加 .....	(177)
三、共轴叠加褶皱 .....	(177)
第四节 褶皱的组合型式 .....	(177)
一、雁行褶皱 (日耳曼式) .....	(177)
二、隔档式、隔槽式褶皱 (侏罗山式) .....	(178)
三、复背斜和复向斜 (阿尔卑斯式) .....	(179)

第五节 褶皱的形成机制 .....	(180)
一、同沉积褶皱 .....	(180)
二、底辟构造和盐丘 .....	(180)
三、褶皱动力成因机制分类 .....	(181)
四、褶皱形成中的压扁作用 .....	(187)
五、影响褶皱形成的主要因素 .....	(189)
六、褶皱构造的研究内容及方法 .....	(191)
思考题 .....	(193)
<b>第十一章 断裂构造 .....</b>	<b>(194)</b>
<b>第一节 节理 .....</b>	<b>(194)</b>
一、节理的分类 .....	(194)
二、节理的形成机制 .....	(196)
三、节理组和节理系 .....	(198)
四、节理的分期与配套 .....	(199)
五、节理野外研究方法 .....	(200)
<b>第二节 断层 .....</b>	<b>(201)</b>
一、断层的几何要素 .....	(202)
二、位移 .....	(202)
三、断层分类 .....	(203)
四、断层效应 .....	(205)
五、断层形成机制 .....	(209)
六、断层的野外识别 .....	(210)
七、断层的其他识别方法 .....	(213)
八、断层两盘相对运动方向的确定 .....	(219)
九、构造断裂年代确定方法 .....	(220)
十、区域断裂构造简介 .....	(221)
思考题 .....	(234)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(236)</b>

# 第一篇 地球的物质组成系统

## 第一章 矿物和岩石

### 第一节 矿物

地球的大陆岩石圈，尤其是岩石圈的表壳，是人类生存环境的基本组成之一。它的物质组成及性质与我们的生命活动息息相关。我们知道，整个岩石圈是由各种各样的岩石组成的，而组成这些岩石的基本单元就是矿物，其中尤以硅酸盐类为主的矿物构成了地球表面的绝大多数岩石。

#### 一、矿物的一般概念

矿物 (minerals) 是岩石的基本组成单元，它是天然产出的、具有一定化学成分和内部结构的无机固体物质。自然界中的绝大多数矿物都是晶体。宏观上来说，晶体就是具有一定几何外形的多面体形的固体物质，它们由特定的面、棱及顶点组成，如六棱柱状的绿柱石晶体、菱形十二面体的石榴子石、六方双锥状的石英晶体 (图 1-1)。其实，人工合成晶体与天然矿物没有本质上的差别，如人造金刚石与天然钻石在内部组成与结构上完全一样。但是，作为矿物的定义，必须指出其天然属性，以免与工业类合成晶体相混淆。这就像宝石市场上天然宝石与合成宝石在价格上有着巨大的差别一样。

矿物的另一个属性就是无机固体。自然界中伴随着岩石的形成，不但有无机的矿物形成，而且还有一些有机的固体和液体物质形成。例如，石油和煤炭，它们都是与地表或者近地表的有机体有关的地球物



绿柱石，哥伦比亚



石榴子石晶体，巴西



石英晶体，巴西

图 1-1 矿物晶体

质，基本上与地表动植物在死后的埋藏过程中遗体的碳氢化合物变质降解过程有关。在矿物的定义中不包括这些有机物质，不论其是固态的，还是液态的。严格来说，这些有机物质不具备明确的内部结构，因此不能称其为矿物，而只作为能源矿产被人类开发利用。

然而，作为与生命活动密切相关的化石在沉积岩中普遍出现，例如石灰岩中保留的珊瑚礁化石、鱼化石及各种植物的叶子等，它们究竟是不是矿物呢？其实，这些化石与真正的生命有机体相比，早已不具备有机物的任何属性了，它们在本质上是由一些无机物质（矿物）构成的，如方解石等。因此，化石与岩石一样，是矿物的集合体。

就矿物的本质而言，天然产出的固体、具有一定的化学成分和特定的内部结构是其最重要的三个属性。

## 二、矿物的化学成分

矿物是地球物质中通过物理手段可分离的最基本的组成单元，但并不意味着它是不可再分的。如同其他的宇宙物质一样，矿物的最基本的组成单元就是化学元素的原子或离子。这些原子或离子按一定的空间结构通过各种化学键相互联结起来，就构成了矿物的晶体。目前，在天然产出的矿物当中，已发现的化学元素有 86 种之多（表 1-1），其中只有 8 种元素（表 1-2）组成了大陆地壳的 98% 以上。亦即这 8 种元素基本上构成了几乎地壳中所有的矿物，一般称其为造岩元素。

表 1-1 元素地球化学分类

	I A															VII A		
1	H	II A										III A	IV A	V A	VI A	VII A	He	
2	Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B			I B	II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
稀土元素																		
	Th	U		Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	

（据 G. Faure, 1998; V. M. Goldschmidt et al. 1926, 有修改）

从上述 8 种元素在地壳中所占的体积比例来看，整个地壳基本上由氧原子所充填（占地壳的 93.77%），而其他元素的原子只是充填于氧原子所留下的孔隙之间。也可以看出这些元素所组成的化合物——矿物，以硅酸盐和铝硅酸盐占绝大多数。

除了 8 种主要的元素构成了大陆地壳中的绝大多数矿物外，其他元素要么以微量元素或者叫分散元素（ $1 \times 10^{-6}$  级）进入到主要的地壳组成矿物中去，如 Rb, Sr, In 等；要么形成一些地壳中含量较少的独立矿物（一般少于地壳组成矿物的 1%），如锆石、独居石等。俄国人门捷列夫（Mendeleev, 1834~1907）发明了元素周期表，系统地说明了化学元素的原子结构与其各种物理化学性质之间的关系，但对于复杂的地球物质而言，要切实地了解元素的分配状况，这还远远不够。瑞士人戈尔德施密特（V. M. Goldschmidt, 1888~1947）根据构成矿物的离子大小和电荷提出了元素的地球化学分类。亲石元素，极易与 O

结合生成氧化物和含氧盐矿物（主要为硅酸盐矿物），形成大部分的造岩矿物，这些元素有时也称造岩元素或者亲氧元素。亲铜元素，容易与S结合形成硫化物矿物，往往形成硫化物金属矿产资源，这部分元素有时也称造矿元素或亲硫元素。亲铁元素，既可以与O结合形成氧化物或者含氧盐矿物，也可以与S结合形成硫化物。亲气元素，具有易挥发性或易形成易挥发化合物，主要集中于大气圈中。

表 1-2 大陆地壳中含量最多的 8 种元素

元素	质量分数/% <sup>①</sup>	离子半径/ $10^{-10}$ m <sup>②</sup>	体积分数/% <sup>③</sup>
O	45.50	1.40	93.8
Si	26.80	0.42	0.9
Al	8.40	0.51	0.5
Fe	7.06	0.64	0.4
Ca	5.30	0.99	1.0
Mg	3.20	0.66	0.3
Na	2.30	0.97	1.3
K	0.90	1.33	1.8

① 选自 G. Faure, 1998; ② 选自 G. R. Thompson and J. Turk, 1993; ③ 选自 B. Mason and C. B. Moore, 1982。

### 三、矿物的晶体结构

在生活中人们习惯于将有一定几何外形的自然矿物或者合成矿物称为晶体，但晶体的准确厘定应该在其内部的结构上。晶体结构指组成晶体的质点（原子、离子或离子团）在三维空间中有规律或者周期性的重复排列（C. Klein, 1994）。如图 1-2 所示，食盐（NaCl）矿物晶体中，Na<sup>+</sup>（红球）和 Cl<sup>-</sup>（绿球）在空间中呈现出有规律的排列，我们注意到 Cl<sup>-</sup> 从任一位置开始，在其前后、左右或者上下三个方向上以等间隔的方式排列成线，在这三个方向上一系列的线又组合成面；Na<sup>+</sup> 也做类似的排列组合。在食盐晶体结构中，每个 Na<sup>+</sup> 周围有 8 个 Cl<sup>-</sup>，同样，每个 Cl<sup>-</sup> 周围有 8 个 Na<sup>+</sup>。一般把晶体中每个原子或离子周围与之最为邻近的原子或离子的数目称为该原子或离子的配位数。配位数的多少一般取决于晶体中正负离子的相对半径的差值。在食盐的晶体中，Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 的配位数都是 8。配位数也反映了晶体中原子或离子堆积的紧密程度。由此，我们可以看出，晶体与非晶体的根本区别，是其内部的组成质点在三维空间的周期性重复结构。

### 四、矿物中的元素替代（类质同象）及其意义

自然界中有些矿物的成分并非是完全固定不变的，而是在一定的范围内有所变化，但其前提是不引起矿物内部结构发生本质性的改变。例如橄榄石的成分就介于 Fe<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>] 和 Mg<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>] 之间变化，其中的 Fe<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 可以在橄榄石的矿物晶体中完全取代对方的位置，而保持橄榄石的内部结构没有大的改变。与此类似，矿物晶体中某些原子、离子或者分子被与其相似的质点所取代，而保证晶体结构变化不大的现象称为类质同象。矿物中能否发生类质同象，主要决定于离子的半径、电价和电负性。

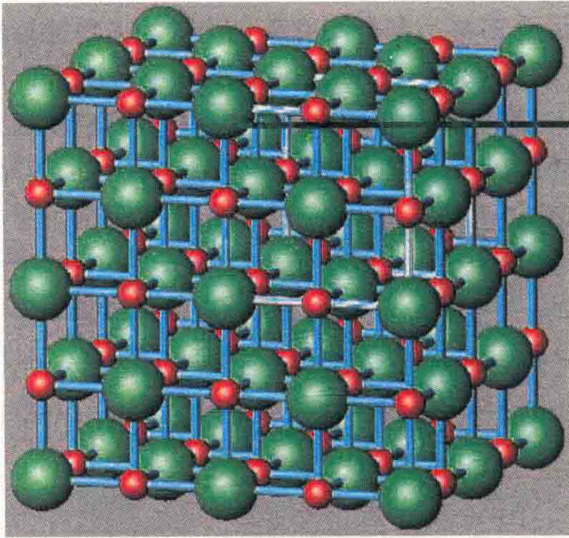


图 1-2 食盐 (NaCl) 的晶体结构  
绿色球为  $\text{Cl}^-$ ; 红色球为  $\text{Na}^+$

V. M. Goldschmidt (1937) 总结了四条离子类质同象的规律：①当两个离子的半径相差小于 15% 时，可以较大幅度地相互取代；②类质同象必须保持矿物的电价平衡，即自然界中的矿物的电性是中性的，不同电价的离子取代必须有其他的离子来平衡电价，如角闪石类矿物中， $\text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$ ，其中的  $\text{Na}^+$  就是平衡了  $\text{Al}^{3+}$  与  $\text{Si}^{4+}$  之间的电价差；③具有较高离子势的离子在矿物晶体中优先与负离子结合形成较强的化学键；④化学键类型不同，电负性相差悬殊的离子不能形成类质同象。此外，类质同象的发生还与温度压力等因素有关。矿物中类质同象的出现表明，地壳中的一些微量元素正是以这样的方式与主要元素相互替代

进入到矿物晶体中，而没有作为独立的矿物出现，如闪锌矿中的 Cd、In、Ga 等。此外，类质同象的出现可影响到矿物的物理性质和化学性质。

## 五、矿物的形态与物理性质

岩石乃至大陆壳的物理性质直接取决于其组成矿物的物理性质和岩石的结构特征。此外，肉眼认识岩石首先是从认识矿物开始的，而对矿物的肉眼识别特征是指凭借肉眼（或借助放大镜）和小刀等简单工具，能够直接观察到的矿物特征，主要包括矿物的形态、力学性质和光学性质。

### （一）矿物的形态

矿物的形态包括矿物单体和集合体形态。所谓单体是指矿物的单个晶体，所谓集合体是指同种矿物多个单体聚集在一起形成的整体。

#### 1. 矿物的单体形态

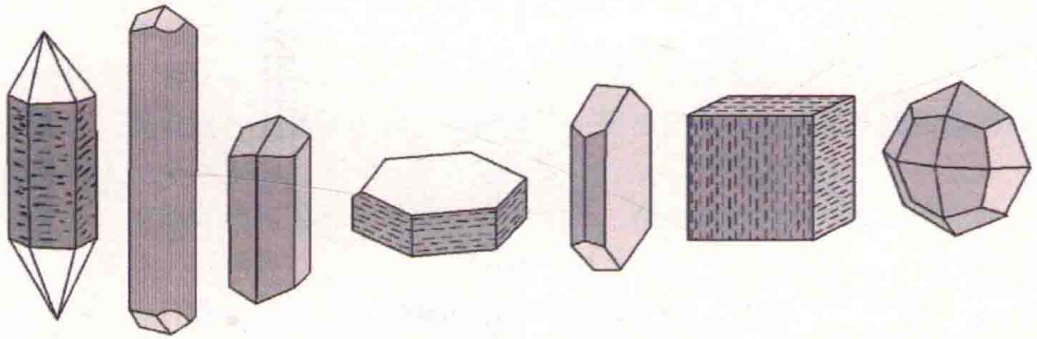
矿物单体形态的研究包括晶体的形态和晶体习性等方面。

##### （1）晶体的形态

晶体常生长成某种规则的集合多面体形状（图 1-3），多面体外表面的规则面称为晶面，相邻晶面相交的线称为晶棱，晶棱的相交点称为角顶。理想晶体中晶面、晶棱及角顶的分布是有规律的。

晶体形态按发育程度可分为三种类型：①自形，晶体完全被晶面所包围，如图 1-4 中的石榴子石晶体；②半自形，晶体的个别晶面发育，而有些晶面不发育，致使晶体的几何多面体不完整，如图 1-1 中的石英晶体，花岗岩中的黑云母、角闪石等；③他形，晶体上几乎没有任何完整的晶面发育，晶体的形态也呈不规则状，如花岗岩中的石英。





石英晶体 辉锑矿晶体 角闪石晶体 云母晶体 长石晶体 黄铁矿晶体 石榴子石晶体

图 1-3 几种矿物的晶体形态



图 1-4 石榴子石的颜色与晶体习性

左图—产自巴西的浅黄色菱形十二面体的锰铝榴石；

右图—产自加拿大的黄色钙铝榴石，四角三八面体与菱形十二面体的聚晶

## (2) 晶体的习性

矿物晶体在一定条件常常趋向于形成的某一习惯性形态，称为晶体的习性，简称晶习。

根据单晶体在三维空间发育的相对比例，可将矿物的晶习分为三类（图 1-5）：①三向等长：晶体在三维空间发育程度基本相等，即  $a \approx b \approx c$ （图 1-5a），晶体呈粒状，如石榴子石、黄铁矿等。②二向延长：晶体沿两个方向特别发育，而另一方向不太发育，即  $a \approx b \geq c$ （图 1-5b），晶体呈板状或片状，如重晶石、云母等。③一向伸长：晶体只沿一个方向特别发育，而另两个方向均不发育，即  $a \approx b \leq c$ （图 1-5c），晶体呈柱状、针状或纤维状，如红柱石、软锰矿、纤维石膏等。以上是三种基本的晶体习性，在它们之间还存在一些过渡类型，如短柱状、厚板状等。在描述晶体习性时，要灵活掌握。

## 2. 矿物的集合体形态

矿物的集合体形态取决于矿物单体的形态和它们的集合方式。根据集合体中矿物颗粒的大小（或可辨度）可分为三种类型：①肉眼可以辨认出单体的，称显晶集合体；②显微镜下才能辨认出单体的，称隐晶集合体；③在显微镜下不能辨认出单体的，称胶态集合体。