

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

土木工程  
工程地质学

TUMU GONGCHENG GONGCHENG DIZHIXUE

张耀庭 虞海珍 陈洪江

华中科技大学出版社

D.50  
Z36

土木工程

# 工程地质学

张耀庭 虞海珍 陈洪江 编著



A0969651

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程 工程地质学/张耀庭 虞海珍 陈洪江 编著  
武汉:华中科技大学出版社, 2002年7月  
ISBN 7-5609-2588-X

- I. 土…  
II. ①张… ②虞… ③陈…  
III. 土木工程-工程地质-高等学校-教材  
IV. P64

土木工程 工程地质学

张耀庭 虞海珍 陈洪江 编著

责任编辑:钟珊

封面设计:刘 卉

责任校对:章红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:孝感日报社印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:15.25

字数:358 000

版次:2002年7月第1版

印次:2002年7月第1次印刷

印数:1—1 100

ISBN 7-5609-2588-X/P·9

定价:18.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

# 前 言

本书是为适应土木工程专业的教学需要而编写的。1998年7月教育部颁发的《普通高等学校本科专业目录》中,现行的土木一级学科涵盖了原建筑工程、道桥、市政、铁路、地下建筑、港口、矿井、隧道等多个专业,原相关专业的工程地质教材经历这次学科合并之后普遍存在着专业局限性强、知识面过窄等问题,难以适应新学科发展的需要。

本书由华中科技大学张耀庭任主编,虞海珍、陈洪江任副主编。编写分工如下:张耀庭编写绪论及第一、三、六、七章;虞海珍编写第二、四、五、十章;陈洪江编写第八、九章。

本书是在《工程地质与水文地质》(建筑工程专业本科生讲义)的基础上修改和补充而成。全书加强和突出了工程地质学知识在大土木工程专业中的应用,补充了岩体稳定性分析、土木工程中的工程地质问题、环境工程地质等内容。

在教学实践和生产实践中,我们深深地认识到:系统的、易于接受和掌握的理论对工程技术人员是有益的,而赋予工程应用与实践的背景对理论工作者为生产实践服务则是急需的,本书正是向这一方向努力。

本书内容是以普通地质学为基础,结合典型工程事例的分析介绍,利于学生了解地质发展的基本规律以及研究地质的各种手段与方法,便于学生掌握并解决工程地质实际问题的一般原则和方法。本着兼容城市建筑、道路桥梁、海港工程、地下建筑、隧道等多专业知识,便于学生拓宽知识面,达到借鉴、旁通的原则,在内容丰富、文字简明的前提下,突出重难点,注意教学的一般规律,循序渐进。本教材注重双语教学及工程地质学最新成果的介绍,并编排有代表性的复习思考题便于学生自学。

由于篇幅和教学工具等原因,本书对相近专业如水工建筑等专业的地质知识未予介绍。

在本书的写作过程中,曾得到中国地质大学唐辉明、杨裕云教授的支持和帮助,在此谨表衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中肯定存在不少缺点与错误,诚恳地欢迎读者批评和指正。

编 者

2001年5月于华工园

# 目 录

绪论 .....	(1)
第一章 岩石 .....	(5)
第一节 造岩矿物 .....	(8)
第二节 火成岩(岩浆岩) .....	(13)
第三节 沉积岩 .....	(18)
第四节 变质岩 .....	(25)
第五节 岩石的工程地质性质 .....	(30)
复习思考题 .....	(36)
第二章 土质学基础 .....	(37)
第一节 土的成因类型 .....	(37)
第二节 特殊土的工程地质性质 .....	(42)
复习思考题 .....	(48)
第三章 地质构造及地质图 .....	(49)
第一节 地壳运动 .....	(49)
第二节 水平岩层和倾斜岩层 .....	(53)
第三节 褶皱构造 .....	(55)
第四节 断裂构造 .....	(59)
第五节 地质图及其阅读 .....	(63)
复习思考题 .....	(70)
第四章 岩体结构及岩体稳定性分析 .....	(71)
第一节 岩体的结构特征 .....	(71)
第二节 岩体工程地质分类 .....	(78)
第三节 岩体的主要力学性质 .....	(81)
第四节 岩体的稳定性分析 .....	(84)
复习思考题 .....	(102)
第五章 地貌 .....	(103)
第一节 地貌概述 .....	(103)
第二节 山地地貌 .....	(106)
第三节 平原地貌 .....	(110)
复习思考题 .....	(112)
第六章 地质作用及常见的不良地质现象 .....	(113)
第一节 风化作用 .....	(114)
第二节 河流地质作用 .....	(118)
第三节 喀斯特(岩溶) .....	(123)

第四节	岩质边坡·····	(128)
第五节	地震·····	(131)
第六节	泥石流·····	(136)
第七节	风沙·····	(137)
复习思考题	·····	(141)
<b>第七章</b>	<b>地下水</b> ·····	(142)
第一节	岩石中的空隙和水·····	(142)
第二节	含水层及含水岩系·····	(147)
第三节	地下水的物理性质和化学成分·····	(148)
第四节	地下水分类·····	(153)
第五节	地下水的运动规律和涌水量计算·····	(160)
复习思考题	·····	(166)
<b>第八章</b>	<b>工程地质勘察</b> ·····	(167)
第一节	概述·····	(167)
第二节	工程地质测绘·····	(169)
第三节	工程地质勘探·····	(171)
第四节	工程地质野外试验·····	(177)
第五节	现场检验与监测·····	(188)
第六节	工程地质勘察资料的整理·····	(192)
复习思考题	·····	(196)
<b>第九章</b>	<b>各类土木工程中的工程地质</b> ·····	(197)
第一节	城市规划和建设中的工程地质·····	(197)
第二节	道路和桥梁的工程地质·····	(207)
第三节	隧道、地下硐室的工程地质·····	(219)
复习思考题	·····	(227)
<b>第十章</b>	<b>工程地质环境评价</b> ·····	(228)
第一节	工程地质环境的物质基础·····	(228)
第二节	工程地质环境评价·····	(231)
第三节	环境工程地质·····	(233)
复习思考题	·····	(236)
<b>参考文献</b>	·····	(237)

# 绪 论

工程地质学(engineering geology)是研究与工程建筑物的规划、设计、施工和使用有关的地质问题的科学。它的早期是地质学在土木工程领域内的应用,发展至今已成为一门独立的学科,并已成为地质学的一个重要分支。作为研究人类工程活动与地质环境相互作用的一门学科,有的国家称之为“地质工程学”或“岩土工程学”,我国自解放以来一直沿用“工程地质学”这一名词。

## 一、工程地质学的发展简介

人类很早就开始了工程活动。据考证,大约在 15 000 年以前的石器时代人类就已开始在地下开矿。此外,埃及的金字塔,中国的长城、南北运河、新疆的坎儿井、四川的都江堰等,都是人类历史上著名的早期工程活动,这些举世闻名的古建筑表明,古代劳动人民不仅具有高超的建筑技巧,而且对建筑场地的工程地质环境已有相当程度的了解,具备了直观而朴素的地素——地质知识。

随着人类社会的发展,现代工程建筑物的种类已包罗万象,从工业与民用建筑、道路、桥梁、港口、水工建筑物到地下建筑等,其工程的规模已越来越大,对地质环境的要求也越来越高,促使人们更深入地认识、研究工程中的地质问题。现代工程地质学正是在越来越多的工程的成功经验与失败教训中逐渐发展和成长起来的。1912 年瑞士地质学家 A. Heim 提出的地压理论影响深远;1933 年在瑞士工作的法国人 M. Lugeon 的专著《大坝与地质》一书,最早提出了测定岩层渗透性的钻孔压水试验(Lugeon Water Pressure Test)方法;1939 年 R. F. Legget 撰写了《地质学与工程》一书;奥地利人 J. Stini 和 L. Muller 最早认识到岩体结构面的影响,并于 1951 年创办《地质与土木工程》杂志;在奥地利 Saltzberg,每年 10 月举办大型欧洲工程地质学术会议;法国人 J. A. Talbore 于 1957 年撰写了《岩石力学》专著,阐述地质学与工程的关系;C. Jaeger 于 1972 年撰写了《岩石力学与工程》;1983 年 R. F. Legget 又撰写出巨著《土木工程的地质学手册》。

前苏联在工程地质学科的发展中也起到了巨大的作用。1932 年,前苏联莫斯科地质勘探学院成立了世界上第一个工程地质教研室,Ф·Л·萨凡连斯基(1881—1946)、H·B·波波夫、T·H·卡明斯基和 B·A·洛姆塔泽等创立了比较完善的工程地质学体系,这标志着工程地质学的诞生。Ф·Л·萨凡连斯基等明确指出:“工程地质学是地质学的分支学科,它论述将地质学运用于工程建设事业的有关的问题”,其基本任务是:“……研究地质作用和岩土的物理力学性质,正是这些作用和性质决定着建筑物的建筑条件,决定着为保证天然土体稳定性而采取的工程措施的方向。”其后,H·B·波波夫强调:“工程地质学研究建筑物修建和运行的地质环境,其研究对象是地质实体”,突出了研究工程建筑在运行过程中对地质环境产生影响的重要性。

现代工程地质学在我国的发展起步较晚,20 世纪初,我国的工程地质工作仅限于对少量工程项目的勘察,没有系统的理论指导。直到新中国成立后,随着国家建设的发展,尤其是大量基础设施的兴建,一系列大型工程场址的勘察、评估及工程建设,促进了工程地质学在我

国的大发展。例如 1957 年的武汉长江大桥及大量的工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、隧道、水利水电工程等的兴建,尤其是三峡等巨型水利水电工程的勘察、规划、设计和施工,促进了我国自 60 年代以来工程地质学科的飞速发展,形成了许多新的具有指导作用的工程地质思想和理论,如:谷德振先生等提出了岩体结构的概念,为研究工程岩体变形破坏机理提供了重要的理论依据;刘国昌先生从区域工程地质条件出发,指出了区域稳定性的研究方向;胡海涛先生继承和发展了李四光先生的地质力学理论,结合大型工程的选址,坚持在活动区寻找相对稳定地块——“安全岛”的思想。我国在黄土、红粘土等特殊土体研究领域,也取得了巨大的发展。自改革开放以来,随着我国经济的高速发展,大规模基础设施的修建,如:三峡工程的动工修建,京九线等一大批铁路、高等级公路、海港码头、桥梁等的修建,以及大中城市的高层和超高层建筑如雨后春笋般拔地而起,为工程地质工作者提出了许许多多新的研究课题,极大地促进了工程地质学理论的发展和完善。近年来,我国的工程地质学的研究水平基本上与世界同步,并逐渐形成了自己的特色。今天,我国已拥有一支水平相对较高的工程地质专业队伍,并已成为工程建设中不可缺少的科技力量,这是几代地质工作者共同努力的结果。

近 20 年来,现代工程地质学研究的深度和广度已有了很大的改变,一系列与人类工程活动密切相关且造成环境破坏的工程地质问题的出现,预示着人类工程活动对地质环境的作用已达到与一定的自然地质作用相比拟的程度,如:水库诱发地震、城市地面沉降等,在一些地区这种作用甚至远远超过了一般的地质作用。环境工程地质问题的规模日趋增大,影响范围越来越广,像我国的三峡工程、喜马拉雅山水利水电计划,以及非洲中央人工湖、白令海峡大坝、加拿大中央原野工程、伊泰普水电站工程等,将会涉及或诱发出范围更广、规模更大、风险更高的环境工程地质问题。因此,环境工程地质学就研究对象和理论基础而言是工程地质学新发展的学科分支,它的新颖之点在于强调人类工程活动对环境的影响及作用。总之,现代工程地质学可分为传统的工程地质学和环境工程地质学两大分支,前者着重研究自然的工程地质环境,后者则侧重于次生地质环境,即人类工程活动影响下的地质环境问题。

## 二、工程地质学研究的内容及任务

工程建筑物包括工业与民用建筑、道路、桥梁、地下建筑、水工建筑物等,它们都建筑在地球表层的地壳之上或内部。地壳表层的岩、土常作为建筑物地基或环境与介质,由于它们的分布规律不一,强度和稳定性不同,加上地壳不断遭受各种自然地质作用而发生变化,这些都影响到建筑物的安全与稳定;工程建筑物的施工和使用也反过来影响到地质条件的变化,使得建筑物的安全性与稳定性更加复杂化。因此,工程地质学的研究应全面考虑上述情况,正确选取工程处理措施,以保证建筑物的正常设计、施工及使用。为此,工程地质学的任务是极其艰巨的。

### 1. 为修建建筑物选择地质条件最优的建筑场地

### 2. 阐明建筑场地的工程地质条件,并提出定性与定量的评价

所谓工程地质条件是指直接或间接与工程问题相关的地质条件,可理解为与工程建筑物有关的地质因素的综合。其内容包括:土石类型及性质、地质结构、地形地貌条件、水文地质条件、物理(或自然)地质现象和天然建筑材料等。

#### (1) 土、石类型及其工程地质性质

土和岩石(简称岩土)是建筑物的地基、建筑材料或建筑介质(如地下建筑物的围岩)。它们的类型和工程性质对建筑物的稳定性、安全性、技术上的可能性、经济上的合理性都有着极为重要的作用。作为建筑物的地基,在一般情况下,岩基的工程性质尤其是力学性能比土基好,地



基承载力较土基高,两类基础中往往存在不同类型和规模的软弱岩层或土层,如岩基中的古风化壳、凝灰岩、粘土岩、泥灰岩、千枚岩、片岩,在土基中的淤泥、泥炭、盐渍土、膨胀土、湿陷性黄土、流砂层等,在工程建设中必须进行专门的研究和处理,才能确保建筑物的安全。

在工程中针对岩土的研究,除包括其成因类型、形成年代、埋藏深度、厚度变化、延伸范围及产状要素等外,还要进行岩土的物理力学性质试验,定量地确定有关指标,因为工程设计的合理性与正确性在很大程度上取决于岩土工程性质指标和各种有关参数的正确选定。

#### (2)地质结构

地质结构包括地质构造(如褶皱及断裂构造)和岩(土)体结构。不同的地质结构往往存在着由不同的结构面所组成的结构体,它决定建筑场地地质条件的均一性。岩体软弱结构面的空间分布和岩体的工程地质性质,既是该地区地貌与水文地质条件形成和发展的重要基础,又能对威胁建筑物安全的工程地质问题有重要的控制作用。

#### (3)地形地貌条件

地形地貌条件是近代地质发展史在地壳表面的总体反映。因此,在相同的地貌单元上,工程地质条件有较多的共性,可预测地壳的稳定程度和运动的特点,又可对建筑场地的工程地质全貌有概括的了解。

#### (4)水文地质条件

地下水是降低岩、土体稳定性的重要因素,又在某些情况下对建筑物的某些部位(如基础)发生侵蚀作用,影响建筑物的安全。水文地质条件一般包括以下内容:地下水的类型;含水层与隔水层的埋藏深度、厚度、组合关系,空间分布规律及特征;岩(土)层的水理性质;地下水的运动特征(流向、流速、流量等);地下水的动态特征(水位、水温、水质随时间的变化规律);地下水的水质(水的物理、化学性质,水质评价)等。

#### (5)自然地质现象(或自然地质作用)

岩石的风化、冲沟、滑坡、崩塌、喀斯特、泥石流等自然地质现象的存在及其发展,有时会直接影响到建筑物的整体布局和设计及施工方法。在土木及水利工程中,对建筑场地及附近的各种自然地质现象及其发展趋势必须进行充分的研究,必要时采取有效措施,以防患于未然。

#### (6)天然建筑材料

工程中常用的天然建筑材料主要有:粘性土料、砂性土、砂卵砾石料、碎石、块石石料等,在大型土木及水利工程中,天然建筑材料的量、质及开采运输条件等,直接关系到场址选择、工程造价、工期长短等,因此,它也是工程地质条件评价的重要内容,有时甚至可以成为选择工程建筑物类型的决定性因素。

### 3. 解决或预测与建筑物有关的工程地质问题,并作出结论与建议

地质条件是自然客观存在的,而工程建筑的设计则是人为的。在考虑建筑物的稳定安全、经济合理的同时,工程地质条件与工程建筑物之间,即自然条件与人为设计意图之间必然存在着这样或那样的矛盾,这些矛盾就称为工程地质问题。不同的土木工程建设中存在着相同或不相同的各种地质问题。

### 4. 拟定改善和防治不良地质条件的措施

总之,工程地质学的任务是通过工程地质勘察和理论性研究,阐明建筑场地的工程地质条件,解决与建筑物有关的工程地质问题,提供设计、施工所需的地质资料,以保证建筑物的稳定、经济和正常使用。

### 三、工程地质学与其它学科的关系

工程地质学是土木工程及水利工程专业的一门专业基础课程,一般是在土力学、岩石力学、基础工程学等课程学习之前开设的,它不同于传统的地质学课程,是地质学和工程之间相互联系沟通的桥梁。普通地质学是本课程的基本内容,学生要了解地质的发生、发展规律和地质工作的方法,它与土力学、岩石力学又密切相关。它阐述土木工程活动与地质环境的相互关系,与之相近的有“环境工程地质学”、“海洋工程地质学”、“军事工程地质学”及“地震工程地质学”等课程。

与本课程密切相关的学科有:土力学及基础、岩石力学、水文地质学、基础工程学、施工及施工技术、地下水工程、各类构筑物、勘察技术、岩土试验技术、地质力学模型试验、地震工程学等。

本书以土木工程及水利工程所需的基本的工程地质知识为出发点,在普通地质学部分介绍了矿物、岩石、地质构造、土质学、第四纪地貌、水文地质等内容;在工程地质部分介绍了土木工程地质特征、岩石的工程地质性质、岩土结构类型及其工程地质特征等内容;在工程地质勘察部分,介绍了常见的工程地质勘察方法、特殊工程地质条件勘察等内容;在工程地质环境评价及特殊问题处理中,介绍了工程地质环境评价、岩土工程的稳定性、不良地质现象及防治等内容。

### 四、课程特点及学习方法

工程地质学是地质学与工程相结合的产物,随着工程建筑规模的扩大,对地质条件的要求也越来越高,促使人们更深刻地了解、认识自然,掌握自然规律,以便合理地解决工程中出现的地质问题。工程地质学课程是门实践性很强的技术基础课程,在重视课堂理论教学的同时,还要注重课堂实验及野外地质实习等教学环节,理论联系实际,以更好地巩固课堂理论教学的学习效果,开拓学生的视野。教学中可适当引入电化教学、多媒体教学等,通过现代化教学手段拓宽学生的知识面,增强学生对地质的感性认识,提高教学效果。

总之,土木工程师深入了解工程地质学的基本理论、基础知识是十分必要的,这是土木工程师解决工程地质问题的先决条件。

# 第一章 岩石

地球是一个扁球体(旋转椭球体),人造卫星精密测量发现,南半球比理想椭球体表面略偏低,南极向内凹约 30 m,北半球向外凸出约 10 m(见图 1-1)。1975 年第二届国际大地测量和地球物理学会(IUGG)决议采用据人造卫星观测及卫星轨道变化推算的地球形状数据见表 1-1。

表 1-1 地球形状参数

参数项目	数据	参数项目	数据
赤道半径( $a$ )	6 378.140 km	子午线周长	40 008.08 km
两极半径( $c$ )	6 356.779 km	表面积	$5.100 7 \times 10^8 \text{ km}^2$
平均半径( $(a^2c)^{1/3}$ )	6 371.012 km	体积	$1.083 2 \times 10^{12} \text{ km}^3$
扁率( $d = (a - c)/c$ )	1/298.275	地球质量( $m$ )	$(5.974 2 \pm 0.000 6) \times 10^{24} \text{ kg}$
赤道周长	40 075.24 km	万有引力常数( $G$ )	$(6.672 \pm 0.004) \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

地球具有圈层构造,其固体部分可分为地壳、地幔和地核三个主要圈层;外部有水圈、大气圈和生物圈,如图 1-2 所示。

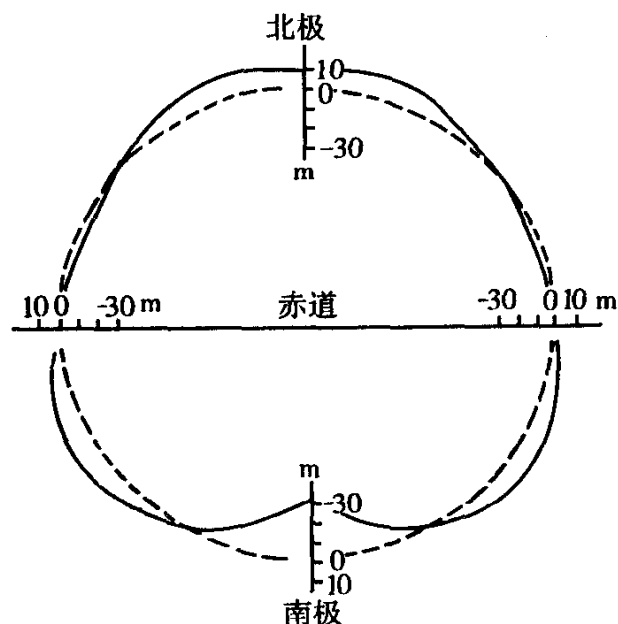


图 1-1 大地水准面和扁球面图  
实线:(比例尺已夸大)大地水准面  
虚线:地球的理想扁球面

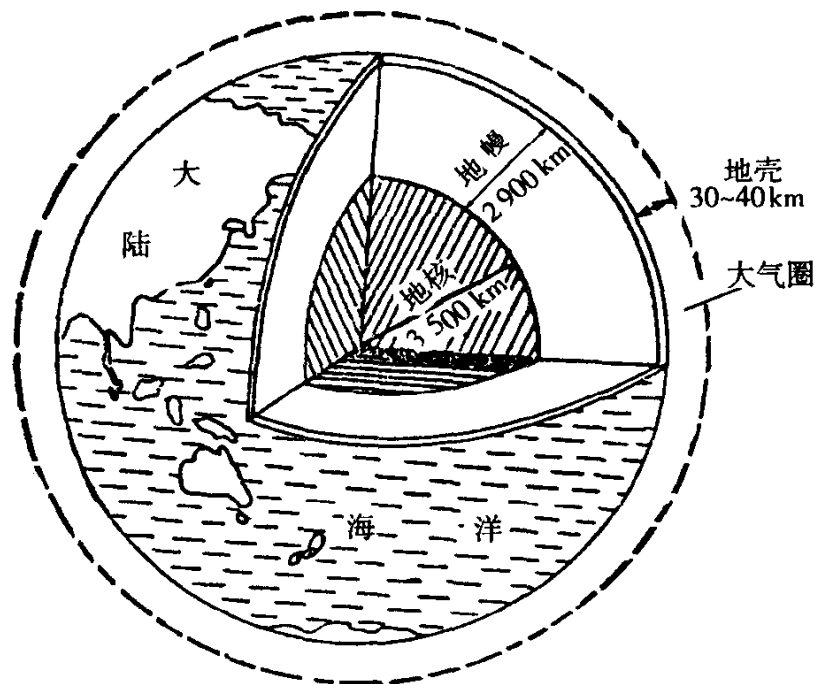


图 1-2 地球构造与剖面图

## 1. 外部圈层构造

### (1) 大气圈

大气圈(atmosphere)是地球最外面的一个圈层,它位于星际空间和地面之间,由包围在固体地球表面的各种气体构成,在地面以下的土壤和一定深度的岩石中(一般不超过 3 km),也含有少量的空气。大气的总质量为  $5.6 \times 10^{16} \text{ kg}$ ,它主要集中在 100 km 高度以下的范围内,其中的一半以上又集中在 10 km 以下的空间,其上界可达 1 800 km 或更高。大气圈的主要成分是氮

(N<sub>2</sub>)、氧(O<sub>2</sub>)、氩(Ar)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)及水蒸气等,它提供生物需要的CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>等,在适宜于生命活动的温度、湿度条件下,保护生物免受宇宙射线和陨石的伤害。大约4亿年前,高空中臭氧层的形成,遮挡了对生物有害的大量紫外线的侵入,为陆生植物的生长创造了有利条件。

### (2)水圈

水圈(hydrosphere)由地球表层连续的水体组成,包括海洋、河流、湖泊、沼泽和地下水等。水圈的存在是地球与太阳系其它行星的主要区别之一。据估计,水圈的质量为 $1.5 \times 10^{21}$  kg,仅占地球质量的0.024%,但体积较大,可达 $15 \times 10^8$  km<sup>3</sup>。约97%的水量集中在海洋里,其次为极地的冰盖和高山上的冰川,约占总水量的1.9%,其余为地下水和分布在陆地上的河流、湖泊、沼泽等各种水体(见表1-2)。

表 1-2 地球上水量估计

水的类型	水量( $\times 10^4$ km <sup>3</sup> )	占总量百分比(%)
海洋水	133 800	96.538
陆地水	4 797.17	3.461
(冰川)	(2 406.41)	(1.736)
(地下水)	(2 370.00)	(1.71)
(湖沼水)	(18.79)	(0.013 5)
(土壤水)	(1.65)	(0.001 2)
(河水)	(0.21)	(0.000 2)
(生物水)	(0.11)	(0.000 1)
大气水	1.29	0.001
总计	138 598.46	100.00

据 1977 年国际水文学会资料。

地表水体因不断获得太阳辐射能而不停地运动着。每年以雪、雨等形式降落至大陆上的水约为 $10.1 \times 10^4$  km<sup>3</sup>,其中约60%~80%的水以蒸发和叶面蒸腾的形式重返大气圈,余下的(约 $3.8 \times 10^4$  km<sup>3</sup>)则渗入地下或以各种形式留在陆地表面。地面水体(河流、冰川等)和地下水都具有向低处流动的特点,它们不断接受大气降水的补给或其它水体的补充,又不断经湖泊和海洋进入大气圈。大气圈中的水蒸气上升至一定高度后,会冷凝成云,有些会被风吹向陆地,并可以雪、雨、雹、霜等形式回到地表,补给地面水及地下水,构成规模巨大的水圈循环(见图1-3)。

河流、冰川、地下水等在其流动过程中,会不断侵蚀、溶解地表岩石,并把被破坏的物质带到海洋、湖泊及其它低洼地带,然后沉积下来并可形成新的岩石。水作为最活跃的营养力,促进各地质地貌的发育与形成,促进了地表化学元素的迁移和富集,水圈的存在对生命的起源,生物界的演化、发展都曾起到了十分重要的作用。

### (3)生物圈

生物圈(biosphere)是由生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层。生物主要生活和分布在陆地的表面和水体的上层。在地表以下土壤和岩石的裂隙内(一般深度小于100 m),某些深海海底(海深400 m以内)及大气中(7~8 km高度以内)都发现有生物存在的迹象。据估计,生物圈中的生物和有机体总量约为 $11.4 \times 10^{15}$  kg,约占地壳总质量的 $1/10^5$ 。生物的数量虽少,却在促成地壳演变的地质作用中起着主要作用,如生物的新陈代谢活动可促使某些分散的

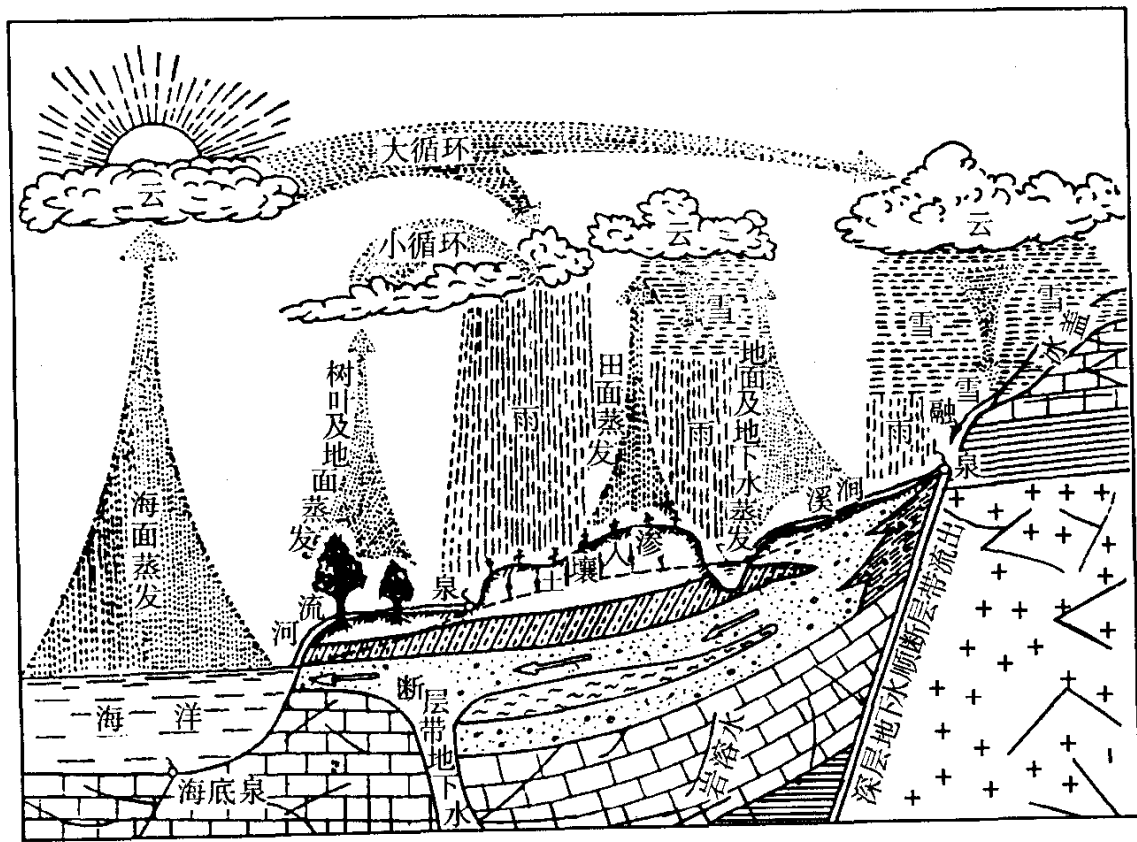


图 1-3 水圈的循环示意图

元素或成分富集,并可在适当的条件下沉积下来形成各种有用的矿产(如铁、磷、煤、石油等),生物还可对岩石进行风化和破坏,是改造地球表面地貌的主要动力之一。

## 2. 内部圈层构造

地球的内部圈层构造的划分、埋深及其物理性质等主要是根据地震波波速的研究得来的。据实测,地内有两个明显的波速不连续面(界面),第一个界面位于 5~60 km 深处,大陆部分平均深 33 km,最深可达 60 km 以上;大洋区较浅,平均为 11~12 km,有些地区小于 5 km,最浅处不足 0.5 km(圭亚那以东的大西洋洋底,1982 年报导)。在此界面附近,纵波由 7.6 km/s 增至 8.1 km/s,横波由 4.2 km/s 变为 4.6 km/s,该界面是南斯拉夫学者 A·莫霍洛维奇(A. Mohorovičić)于 1909 年发现的,故称为“莫霍洛维奇不连续面”(Mohorovičić discontinuity),简称“莫霍面”(Moho 面或 M 面)。另一界面位于 2 885 km 深处,是美国学者 B·古登堡(B. Gutenberg)于 1914 年发现的,命名为“古登堡不连续面”(Gutenberg discontinuity),界面附近纵波由 13.64 km/s 变为 7.98 km/s,横波由 7.23 km/s 突然消失。据此将地球内部分为地壳、地幔和地核三个主要圈层。

地壳(crust)是指地表至莫霍面之间厚度变化的岩石圈部分,是由各种岩石及土层组成的。地幔(mantle)是指莫霍面至古登堡面之间约 35~2 885 km 的圈层部分,分为上、下两层:上地幔深度约 35~1 000 km,主要由橄榄岩质的超基性岩石组成,这层岩石较软,有较大的塑性,是高温熔融岩浆的发源地,也称为软流层;下地幔深度约为 1 000~2 885 km,一般认为它的化学成分与上地幔相似,可能比上地幔含有更多的铁,致使密度增加。地核(core)是地球内自古登堡面至地心的部分,据推测地核可分为三层:由 2 885~4 170 km 是地核的外层,称为外核,可能是液态的,主要是铁、镍的混合物,还有少量的 Si 及 S 等轻元素组成;4 170~5 155 km 是过渡带,它已向固态物质过渡;5 155 km 至地心是地球的内核,为固态物质,组成物质的化学成分应与铁陨石相似。

地壳是当前地质学的主要研究对象,构成地壳的岩石和土的性质与特点是工程地质学最

基本的基础知识。岩石(rock)是天然产出的、具有一定结构构造的矿物集合体。自然界中的岩石根据其成因可以分为岩浆岩(火成岩)、沉积岩和变质岩三大类。由于岩石是由矿物组成的,因此,为了识别岩石首先必须认识和鉴别常见的造岩矿物。

## 第一节 造岩矿物

矿物是在地壳中由于各种地质作用而形成的、具有一定化学成分和物理性质的自然元素或自然化合物。各种化学元素在地壳中的含量差异很大,美国学者 F·W·克拉克(F. W. Clark)于 1889 年首次发表了元素的重量百分比的数据,为纪念克拉克的功绩,国际上把某种元素在地壳中的平均含量称为该元素的“克拉克值”(clarke),如表 1-3 所列。

表 1-3 地壳主要元素的平均含量(%)

元素	平均含量	元素	平均含量
氧(O)	49.52	钠(Na)	2.64
硅(Si)	25.75	钾(K)	2.4
铝(Al)	7.51	镁(Mg)	1.94
铁(Fe)	4.70	氢(H)	0.88
钙(Ca)	3.29	其它	1.37

由表 1-3 可以看出,地壳中最多的元素是 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等九种。所有元素中除了少数以自然元素产出外,如金刚石(C)、金(Au)等,绝大多数均以各种化合物的形式出现,如石英( $\text{SiO}_2$ )、方解石( $\text{CaCO}_3$ )等。这些元素和化合物,即所谓的矿物,它们不仅有一定的化学成分,而且也有其相对固定的物理、力学及化学性质。目前,自然界中已发现的矿物约有 3 000 多种,但其主要造岩矿物只有 100 多种,最常见的组成岩石的矿物仅几十种(大部分是硅酸盐类矿物)。这些组成岩石的矿物,通常称之为造岩矿物(rock forming minerals)。

### 一、矿物的特征

由于矿物具有一定的化学成分,组成矿物的原子又往往按一定方式的结晶格架排列,因此,大多数矿物都有一定的形态和物理、力学及化学性质,这是工程中肉眼鉴别矿物时的重要依据。

#### (一)矿物的形态

自然界中的矿物,除少量为液态(如汞等)和气态(如天然气等)之外,绝大多数矿物是固态。固态矿物按其内部结构特点可分为结晶质(crystalline)矿物和非结晶质(amorphous)矿物。结晶质矿物内部质点(原子、离子、分子)呈有规律的排列,具有格架构造,如岩盐内部的  $\text{Na}^+$  离子和  $\text{Cl}^-$  离子按一定间隔重复出现并组成立方体网格状,这种网格称为晶体格架(图 1-4)。不同结晶质矿物的晶体格架各有其特点。非晶质又称为玻璃质,组成矿物的质点是不规则排列的,即不具备格架结构,如蛋白石( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )等。大部分固体矿物是结晶质的。

矿物形状是指固态矿物单个晶体的形态或矿物晶体聚集在一起的集合体的形态。矿物具有一定的化学成分和结晶构造,在适宜的条件下,可形成具有一定外形的几何多面体,称为晶体(crystal)。完好晶体的自然表面称为晶面(crystal face)。晶体的形态称为晶形(crystal form)。各种矿物都有其独特的晶形,它是鉴别矿物的重要依据之一。

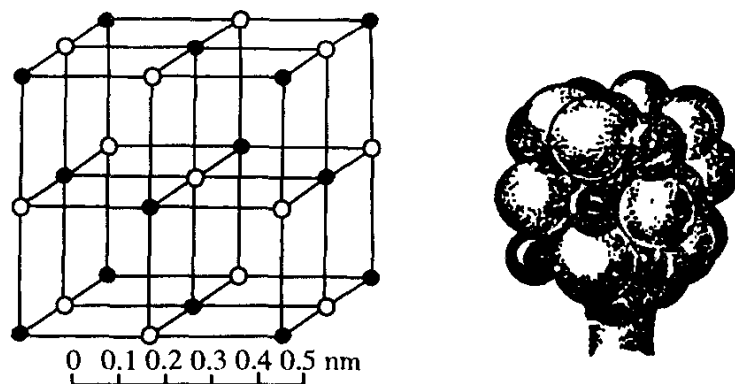


图 1-4 岩盐的结晶构造和晶体

### 1. 晶体的单体形态

- ①一向延长型,晶体沿一向发育成柱状(如角闪石、石英)或针状(如电气石)的晶形。
- ②两向延长型,晶体呈板状或片状的晶形,如石膏、云母、绿泥石等。
- ③三向延长型,晶体呈粒状,如呈立方形的黄铁矿、磁铁矿等。

### 2. 矿物集合体形态

结晶矿物在自然界以单体出现很少,而非晶质矿物则根本没有规则的单体形态,所以常按集合体的形态来识别矿物。常见矿物集合体形态有以下几种。

①晶簇:自然界的矿物多以各种形式组合出现,当同种矿物的两个晶体以一定对称规律连生在一起时,则形成双晶;若干个晶体在共同的基座上丛生在一起称为晶簇(druse),如石英晶簇,见图 1-5。

②粒状:三向发育如橄榄石粒状集合体。

③鳞片状:两向发育的细小鳞片状集合体组成,如辉钨矿、石墨等。

④纤维状:如蛇纹石。

⑤放射状:如阳起石、菊花石等。

⑥结核状:集合体成球状或瘤状,它是晶质或胶体围绕某一核心逐渐向外沉淀而成,其断面上常出现同心圆状或放射状条纹,如鲕状赤铁矿、黄铁矿结核、玛瑙等。

⑦钟乳状:溶液或胶体因失去水分凝聚而成,常具同心层状或壳层状构造,如方解石钟乳、孔雀石钟乳等。

⑧土状:集合体疏松如土,为岩石风化形成,如高岭土、蒙脱土等。

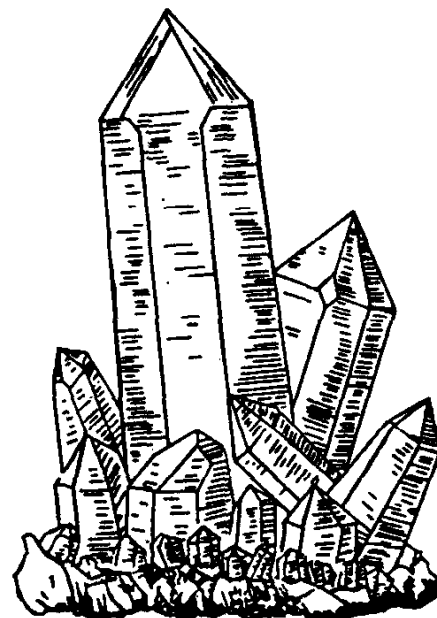


图 1-5 矿物晶形及晶簇

## (二) 矿物的物理性质

各种矿物都有一定的物理性质,这是由其矿物组分的结构特点所决定的。矿物的主要物理性质有光学性质、力学性质以及磁性、压电性等等,这些性质是肉眼鉴定矿物的主要依据。

### 1. 光学性质

矿物的光学性质是由矿物对可见光的吸收、反射和透射等的程度不同所致,与矿物的化学成分和晶体结构密切相关。

#### (1) 透明度

透明度(transparency)是指光线透过矿物的程度,它与矿物吸收可见光的能力有关,可分

为透明、半透明和不透明三个等级,如水晶、冰洲石为透明,闪锌矿、辰砂为半透明,黄铁矿为不透明等。

## (2) 光泽

光泽(luster)是矿物表面对可见光的反射、折射或吸收能力的反映。依据反射的强弱可分为:金属光泽、半金属光泽、金刚光泽和玻璃光泽 4 级。

①金属光泽是金属矿物新鲜面所具有的最强光泽,如方铅矿、黄铁矿等具有的光泽。

②半金属光泽类似金属光泽,但较暗淡,如铬铁矿、硬锰矿、赤铁矿等具有的光泽。

③金刚光泽是非金属矿物具有的最强光泽,光耀夺目,如金刚石等具有的光泽。

④玻璃光泽类似于玻璃表面的光泽,如水晶晶面的光泽。

另外,由于矿物表面性质(如面积大小、平滑程度、风化程度)、透明度及集合体组合方式,形态不同也会造成一些特殊的非金属光泽。常见的有如下几种。

①油脂光泽,某些矿物如石英,其断口不平,光线散射呈油脂样的光泽。

②珍珠光泽,光线在矿物解理面上经多次折射和反射所呈现像珍珠一样的光泽,如云母等具有极完全片状解理的浅色矿物常具有这种光泽。

③丝绢光泽,由于光的反射互相干扰,形成丝绢般的光泽,多见于呈纤维状或细鳞片状集合体的浅色透明矿物,如纤维石膏、石棉等具有的光泽。

④蜡状光泽,致密矿物表面所呈现的光泽,如蛇纹石、滑石等具有的光泽。

⑤土状光泽,疏松等粒状矿物表面暗淡如土,如高岭土等具有的光泽。

## (3) 颜色

矿物的颜色(color)是指其在自然光下所呈现的颜色,是矿物对不同波长可见光波的吸收程度的反映。自色是矿物本身所固有的颜色,如方铅矿呈灰色、磁铁矿呈黑色等;他色是矿物由于外来带色杂质的机械混入所呈现的颜色,如纯石英是无色透明的,含杂质时可呈紫色、褐色或烟灰色等;假色是矿物内部的裂隙或表面的氧化薄膜对光的折射、散射所引起的,如方解石解理面上常出现彩虹,斑铜矿表面常出现斑驳的蓝色和紫色。自色比较固定,一般来说,含铁、锰多的矿物,如黑云母、普通角闪石、普通辉石等,颜色较深,多呈灰绿、褐绿、黑绿及黑色;含硅、铝、钙等成分多的矿物,如石英、长石、方解石等,颜色较浅,多呈白、灰白、淡红、淡黄等浅色。他色不固定,随所含杂质而异,对鉴定矿物没有很大的意义。

## (4) 条痕

条痕(streak)是矿物粉末的颜色,通常是用矿物在无釉瓷板上刻划、摩擦,用于颜色的观察。矿物的条痕往往是比较固定的,如块状赤铁矿呈铁黑色、土状者多为暗红色,但两者的条痕均为砖红色。褐铁矿的条痕常为棕褐色或黄色。透明矿物的粉末因可见光已全反射而呈白色或无色。不透明的金属矿物的条痕色则比较固定,它代表了矿物的自身颜色,故可作为鉴别矿物的标志,但条痕对浅色矿物的辨别意义不大。

## 2. 力学性质

矿物的力学性质包括解理、断口、硬度等,它是矿物受外力作用后的反应,与矿物的晶体构造等有关。

### (1) 解理

解理(cleavage)是指矿物受外力后沿晶体格架的一定方向开裂的现象。矿物开裂的平面称为解理面。不同矿物的解理面可能有一个方向的,也可能有两个或三个方向的,分别称为一组解理、两组解理和三组解理。根据解理面发育的完善程度,可将解理分为 5 级。



①极完全解理:矿物受外力作用,极易沿解理面分裂,解理面平整光滑,如云母即有一组极完全解理。

②完全解理:矿物受外力作用,易于沿解理面裂开,解理面较平滑,如方解石即具有三组完全解理。

③中等解理:矿物受外力作用,常沿解理面裂开,不易分裂,解理面清楚,但不平滑且常不连续,矿物碎块上既可看到解理又可看到断口,如长石、角闪石、辉石等有两组中等解理,解理面不连续。

④不完全解理:矿物受外力作用,较难沿解理面分裂,破碎后很难找到解理面,大部分为不平整断口,如磷灰石、橄榄石等。

⑤极不完全解理:实际上是矿物破碎后无解理,即断口。

## (2)断口

断口(fracture)是矿物受外力打击后形成凹凸不平的不规则的断裂面。常见断口有以下几种。

①贝壳状断口:断口呈不规则椭圆形曲面,曲面上常有不规则的同心圆,形似贝壳,如石英断口。

②锯齿、参差状断口:延展性强的矿物破碎后表现出的断口形状,如黄铁矿、自然铜。

③纤维状及鳞片状断口:如蛇纹石,断口面呈纤维丝状或交错的细片状。

④土状断口:泥土或砂粒状断口,如高岭土、铝矾土等。

## (3)硬度

硬度(hardness)是矿物新鲜面抵抗外部机械作用(如刻划、压入或研磨等)的能力。在鉴定矿物时常用相对硬度,当两种矿物相互刻划,硬度低的会被损伤。德国矿物学家摩氏(F. Mohs)选取自然界常见的十种矿物作为硬度标准,将硬度分为十个等级,此即摩氏硬度。

1° 滑石	2° 石膏	3° 方解石	4° 萤石	5° 磷灰石
6° 正长石	7° 石英	8° 黄玉	9° 刚玉	10° 金刚石

在野外工作中,常用随身携带的物品近似地确定矿物的相对硬度:软铅笔(1°);指甲(2°~2.5°);小刀、铁钉(3°~4°);玻璃棱(5°~5.5°);钢刀刃(6°~7°)。还可用其它已知硬度的矿物相互刻划来鉴定。

## 3. 矿物的其它特性

①磁性:磁性是指矿物能被磁铁吸引的性质,如磁铁矿等具有磁性。

②电性:电性包括导电性与荷电性。导电性指矿物对电流有传导能力,如金属、黄铁矿、方铅矿、石墨等是电的良导体;云母、石棉是电的不良导体,可用作绝缘材料;半导体材料如锗等被广泛用于电子工业中。荷电性是指矿物在外界能量的作用下,如摩擦、加热、加压等影响下发生带电的现象,如电气石、异极矿等在受热时一端带正电、另一端带负电。

③放射性:含铀(U)、钍(Th)、镭(Ra)等放射性元素矿物,因蜕变放出 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线的性质称为放射性。利用矿物的放射性,可计算矿物及地层的绝对年龄。

④发光性:矿物在外加能量如紫外光和X射线等照射下,能发射可见光的性质称为发光性,如萤石在暗处发磷光,石铈矿在紫外光照射下发出荧光。

此外,部分矿物还具有可燃性(如煤、自然硫等)、味感(如岩盐等)、嗅味(如毒砂以锤击之有臭蒜味)、韧性(如软玉很难压碎)、挠性(如绿泥石、滑石等)、弹性(如云母等)、延展性(如自然金、自然银、自然铜等),有些矿物遇盐酸或硝酸起泡(如方解石等碳酸盐类矿物)等较特殊的