



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

工程地质

Civil Engineering

姜景山 主 编
徐 杨 梁化强 副主编
施 斌 主 审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

工程地质

姜景山 主 编
徐 杨 梁化强 副主编
施 斌 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质/姜景山主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 6

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. 高等学校土木工程专业应用型人才规划教材

ISBN 978-7-112-19391-2

I. ①工… II. ①姜… III. ①工程地质-高等学校-教材 IV. ①P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 087056 号

工程地质是高等学校土木工程专业本科生的一门专业基础课。本教材阐述了工程地质的基本理论、常见的工程地质问题及防治措施。

全书除绪论外共有 9 章, 分为两部分, 第一部分是基础地质知识 (第 2 章矿物和岩石, 第 3 章地层与地质构造, 第 4 章水的地质作用); 第二部分是工程地质知识 (第 5 章岩土体的工程性质, 第 6 章常见的地质灾害, 第 7 章地基工程的地质问题, 第 8 章地下工程的地质问题, 第 9 章边坡工程的地质问题, 第 10 章工程地质勘察)。本书通俗易懂、言简意赅、注重实践、内容丰富、重点突出、图文并茂, 便于教学和自学。

本书可作为高等学校土木工程专业应用型人才规划教材, 亦可作为土木工程技术人员或成人教育的参考书和教材。

* * *

责任编辑: 仕 帅 吉万旺 王 跃

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 刘梦然 · 关 健

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才规划教材

工 程 地 质

姜景山 主 编

徐 杨 梁化强 副主编

施 斌 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 354 千字

2017 年 3 月第一版 2017 年 3 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-19391-2

(28659)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材 编委会成员名单

(按姓氏笔画排序)

顾问：吕恒林 刘伟庆 吴 刚 金丰年 高玉峰

主任委员：李文虎 沈元勤

副主任委员：华 渊 宗 兰 荀 勇 姜 慧 高延伟

委 员：于清泉 王 跃 王振波 包 华 吉万旺

朱平华 张 华 张三柱 陈 蓓 宣卫红

耿 欧 郭献芳 董 云 裴星洙

出版说明

近年来,我国高等教育教学改革不断深入,高校招生人数逐年增加,对教材的实用性和质量要求越来越高,对教材的品种和数量的需求不断扩大。随着我国建设行业的大发展、大繁荣,高等学校土木工程专业教育也得到迅猛发展。江苏省作为我国土木建筑大省、教育大省,无论是开设土木工程专业的高校数量还是人才培养质量,均走在了全国前列。江苏省各高校土木工程专业教育蓬勃发展,涌现出了许多具有鲜明特色的应用型人才培养模式,为培养适应社会需求的合格土木工程专业人才发挥了引领作用。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会(以下简称江苏分会)是经中国土木工程学会教育工作委员会批准成立的,其宗旨是为了加强江苏省具有土木工程专业的高等院校之间的交流与合作,提高土木工程专业人才培养质量,促进江苏省建设事业的蓬勃发展。中国建筑工业出版社是住房和城乡建设部直属出版单位,是专门从事住房城乡建设领域的科技专著、教材、标准规范、职业资格考试用书等的专业科技出版社。作为本套教材出版的组织单位,在教材编审委员会人员组成、教材主参编确定、编写大纲审定、编写要求拟定、计划出版时间以及教材特色体现和出版后的营销宣传等方面都做了精心组织和协调,体现出了其强有力的组织协调能力。

经过反复研讨,《高等学校土木工程专业应用型人才规划教材》定位为以普通应用型本科人才培养为主的院校通用课程教材。本套教材主要体现适用性,充分考虑各学校土木工程专业课程开设特点,选择20种专业基础课、专业课组织编写相应教材。本套教材主要特点为:抓住应用型人才培养的主线;编写中采用先引入工程背景再引入知识,在教材中插入工程案例等灵活多样的方式;尽量多用图、表说明,减少篇幅;编写风格统一;体现绿色、节能、环保的理念;注重学生实践能力的培养。同时,本套教材编写过程中既考虑了江苏的地域特色,又兼顾全国,教材出版后力求能满足全国各应用型高校的教学需求。为满足多媒体教学需要,我们要求所有教材在出版时均配有多媒体教学课件。

本套《高等学校土木工程专业应用型人才规划教材》是中国建筑工业出版社成套出版区域特色教材的首次尝试,对行业人才培养具有非常重要的意义。今年正值我国“十三五”规划的开局之年,本套教材有幸整体入选《住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》。我们也期待能够利用本套教材策划出版的成功经验,在其他专业、其他地区组织出版体现区域特色的教材。

希望各学校积极选用本套教材,也欢迎广大读者在使用本套教材过程中提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

中国建筑工业出版社

2016年12月

前 言

工程地质是高等学校土木工程专业本科生的一门专业基础课。本课程系统地阐述了工程地质的基本理论、常见的工程地质问题及防治措施。通过本课程的学习,使学生了解工程建设中常见的工程地质现象和问题以及对工程建设的影响,能正确提出相应的防治措施;了解工程地质勘察的任务和要求,能合理利用勘察成果解决规划、设计、施工等过程中出现的问题。

本书是中国土木工程学会教育委员会江苏分会和中国建筑工业出版社共同策划的高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材。本书结合高等学校土木工程专业应用型人才培养的特点和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对该课程的基本要求编写。本着通俗易懂、言简意赅、注重实践的编写原则,在章节设计和编写内容方面力求深入浅出地介绍相关的工程地质知识,并采用新规范、新技术和新材料,反映最新的专业知识和学科发展动态,适用于应用型高等学校土木工程专业本科的教学。

本书的第1章、第2章、第5章、第7章、第10章由南京工程学院姜景山编写,第3章、第4章和第6章由金陵科技学院徐杨编写,第8章和第9章由徐州工程学院梁化强编写,全书最后由姜景山统稿。

本书编写过程中参考了大量的教材、著作、论文及其他资料,在此对相关作者表示感谢。由于参考文献较多,部分参考文献可能未在书末一一列出,在此表示歉意。

本书由南京大学施斌教授主审,施斌教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。河海大学高磊副教授也详细地审阅了本书并提出了许多宝贵的建议,在此一并表示衷心的感谢。

在本书出版过程中,得到了中国建筑工业出版社的领导和编辑老师的大力支持和帮助,特别是编辑仕帅老师为本书的最终出版做了大量认真细致的工作,在此表示衷心的感谢。

此外,教材编写过程中,南京工程学院的本科生费寒蕊和吴可帮助绘制了部分章节的插图,在此表示感谢!

由于编者水平有限,加上编写时间比较仓促,书中不当之处在所难免,恳请大家批评指正,以便在修订时及时更正,编者将不胜感激。

编 者

2016年5月

目 录

第1章 绪论 1

本章要点及学习目标 1

1.1 工程地质学的主要研究内容 1

1.1.1 地质学及主要研究内容 1

1.1.2 工程地质学及主要研究内容 1

1.2 工程地质在土木工程中的作用 3

1.3 工程地质课程的主要内容和 学习要求 4

本章小结 5

思考与练习题 5

第2章 矿物和岩石 6

本章要点及学习目标 6

2.1 地球概况 6

2.1.1 地球的形状和大小 6

2.1.2 地球的圈层构造 6

2.2 主要造岩矿物 8

2.2.1 矿物的物理性质 8

2.2.2 主要造岩矿物及鉴定特征 12

2.3 岩浆岩 14

2.3.1 岩浆岩的形成过程 14

2.3.2 岩浆岩的地质特性 15

2.3.3 岩浆岩的分类及主要岩浆岩的 鉴定特征 17

2.4 沉积岩 19

2.4.1 沉积岩的形成过程 19

2.4.2 沉积岩的地质特性 21

2.4.3 沉积岩的分类及主要沉积岩的 鉴定特征 23

2.5 变质岩 25

2.5.1 变质岩的概况 25

2.5.2 变质作用的因素 25

2.5.3 变质作用的类型 26

2.5.4 变质岩的地质特性 26

2.5.5 变质岩的分类及主要变质岩的 鉴定特征 27

本章小结 29

思考与练习题 30

第3章 地层与地质构造 31

本章要点及学习目标 31

3.1 地壳运动及地质作用 31

3.1.1 地壳运动 31

3.1.2 地质作用 32

3.2 岩层及岩层产状 33

3.2.1 岩层 33

3.2.2 岩层产状 34

3.3 褶皱构造及类型 35

3.3.1 褶皱构造 35

3.3.2 褶皱构造的类型 37

3.3.3 褶皱构造的野外识别 38

3.4 断裂构造 38

3.4.1 节理 39

3.4.2 断层 41

3.5 地质年代 45

3.5.1 绝对年代法 45

3.5.2 相对年代法 46

3.5.3 地质年代表 48

3.6 地质图 51

3.6.1 地质图的种类 51

3.6.2 地质图的阅读 51

3.6.3 地质图的制作 53

本章小结 55

思考与练习题 56

第4章 水的地质作用 57

本章要点及学习目标 57

4.1 地表水的地质作用	57	6.1.3 滑坡的分类	119
4.1.1 概述	57	6.1.4 滑坡的防治措施	120
4.1.2 暂时流水的地质作用	58	6.2 泥石流	122
4.1.3 河流的地质作用	62	6.2.1 泥石流及分布	122
4.1.4 地表水对土木工程的影响	68	6.2.2 泥石流的形成条件	124
4.2 地下水的地质作用	70	6.2.3 泥石流的分类	125
4.2.1 地下水的基本知识	71	6.2.4 泥石流的防治措施	126
4.2.2 地下水的基本类型	74	6.3 崩塌及岩堆	128
4.2.3 地下水对土木工程的影响	81	6.3.1 崩塌	128
本章小结	85	6.3.2 岩堆	131
思考与练习题	86	6.4 岩溶	133
第5章 岩土体的工程性质	87	6.4.1 岩溶及形态特征	133
本章要点及学习目标	87	6.4.2 岩溶的形成条件及发育规律	135
5.1 风化作用	87	6.4.3 岩溶地区工程地质问题及防治措施	137
5.1.1 风化作用的概念	87	6.5 地震	139
5.1.2 风化作用的类型	87	6.5.1 地震概述	139
5.1.3 风化作用的影响因素	89	6.5.2 地震震级与地震烈度	141
5.1.4 风化程度的分级	89	6.5.3 地震对土木工程的影响	144
5.1.5 岩石风化的防治措施	90	6.6 地面沉降	146
5.2 岩土的工程性质	91	6.6.1 地面沉降概述	146
5.2.1 物理性质	91	6.6.2 地面沉降的形成条件	147
5.2.2 水理性质	93	6.6.3 地面沉降的监测	148
5.2.3 力学性质	96	6.6.4 地面沉降的防治	148
5.3 岩土的工程分类	99	本章小结	149
5.3.1 岩石的工程分类	99	思考及练习题	150
5.3.2 土体的工程分类	100	第7章 地基工程的地质问题	151
5.4 特殊土的工程性质	101	本章要点及学习目标	151
5.4.1 软土	101	7.1 地基工程的主要地质问题	151
5.4.2 膨胀土	104	7.1.1 地基的概念	151
5.4.3 黄土	106	7.1.2 地基的有害变形	152
5.4.4 冻土	109	7.1.3 地基的剪切破坏	152
5.4.5 盐渍土	111	7.1.4 特殊地基的工程地质问题	154
本章小结	113	7.2 地基承载力	155
思考与练习题	114	7.2.1 地基承载力的概念	155
第6章 常见的地质灾害	115	7.2.2 地基承载力的确定方法	155
本章要点及学习目标	115	7.3 地基工程地质问题的主要防治措施	164
6.1 滑坡	115	7.3.1 合理选择基础类型	164
6.1.1 滑坡及形态特征	115	7.3.2 采取必要的地基处理措施	166
6.1.2 滑坡的形成条件及影响因素	117		

7.3.3 合理设计与施工	167
本章小结	167
思考与练习题	168
第8章 地下工程的地质问题	169
本章要点及学习目标	169
8.1 岩体及地应力	169
8.1.1 岩体及岩体结构的概念	169
8.1.2 地应力的概念	169
8.2 地下洞室变形与破坏	170
8.2.1 洞室围岩的变形	170
8.2.2 围岩的破坏	172
8.3 地下洞室特殊地质问题	174
8.3.1 洞室涌水	174
8.3.2 有害气体	175
8.3.3 地温	175
8.3.4 岩爆	175
8.3.5 腐蚀	175
8.4 围岩分类及稳定性分析	176
8.4.1 围岩的概念	176
8.4.2 围岩分类	176
8.4.3 地下洞室围岩稳定性的分析方法	182
8.5 地下工程的地质问题	184
8.5.1 地下工程的主要地质问题	184
8.5.2 地下工程地质问题的主要防治措施	186
本章小结	188
思考与练习题	189
第9章 边坡工程的地质问题	190
本章要点及学习目标	190
9.1 边坡变形破坏的类型	190
9.1.1 概述	190
9.1.2 边坡的破坏类型	191
9.2 影响边坡稳定性的因素	193
9.2.1 边坡的结构特性	194
9.2.2 水的作用	194
9.2.3 人类活动的影响	194

9.2.4 气候条件	195
9.2.5 风化作用及植被影响	195
9.3 边坡稳定性分析方法	195
9.3.1 工程地质类比法	195
9.3.2 理论分析与数值模拟方法	195
9.3.3 模型试验与现场监测及预警	198
9.4 边坡工程的防治措施	199
9.4.1 总体原则	199
9.4.2 防治措施	199
9.4.3 工程实例	201
本章小结	204
思考与练习题	204
第10章 工程地质勘察	205
本章要点及学习目标	205
10.1 工程地质勘察的任务、等级和阶段的划分	205
10.1.1 工程地质勘察的任务	205
10.1.2 工程地质勘察的等级	206
10.1.3 工程地质勘察的阶段	206
10.2 工程地质调查测绘	208
10.2.1 工程地质调查测绘的内容	208
10.2.2 工程地质调查测绘的比例尺	209
10.2.3 工程地质调查测绘的方法	209
10.2.4 工程地质调查测绘的精度	210
10.3 工程地质勘探	210
10.3.1 钻探	210
10.3.2 井探、槽探和洞探	212
10.3.3 地球物理勘探	212
10.4 试验测试及长期观测	214
10.4.1 现场测试	214
10.4.2 室内试验	214
10.4.3 长期观测	215
10.5 勘察成果的整理	216
10.5.1 工程地质勘察报告	216
10.5.2 工程地质图件	216
本章小结	218
思考与练习题	219
主要参考文献	220

第 1 章 绪 论

本章要点及学习目标

本章要点：

- (1) 了解地质学与工程地质学的概念。
- (2) 掌握工程地质条件与工程地质问题的概念。
- (3) 掌握工程地质学的主要研究目的和研究内容。

学习目标：

- (1) 了解地质学与工程地质学之间的关系。
- (2) 掌握地质环境与工程建设之间的相互关系。
- (3) 掌握工程地质学在土木工程建设中的作用。

1.1 工程地质学的主要研究内容

1.1.1 地质学及主要研究内容

地质学是一门研究地球的自然科学，主要研究固体地球表层的组成、构造、形成和演化等方面的内容。

- (1) 研究组成地球的物质。有矿物学、岩石学、地球化学等分支学科。
- (2) 研究地壳与地球的构造特征。研究岩石或岩石组合的空间分布，分支学科有区域地质学、构造地质学、地球物理学等。
- (3) 研究地球的历史及生物的演化。分支学科有地史学、古生物学等。
- (4) 研究分析地质学的方法及手段。如同位素地质学、遥感地质学、数学地质学等。
- (5) 研究应用地质学。为工程建设、资源探寻、环境地质分析服务。

1.1.2 工程地质学及主要研究内容

1.1.2.1 工程地质学

工程地质学是地质学的一个分支，是研究与工程建设有关的地质问题的学科。工程地质学从生产实践中发展起来，已成为一门独立的学科。

地壳表层是进行工程建设活动的场所，因此，地壳表层的地质环境必然对土木工程的安全性和经济性等方面带来影响。

2014 年 5 月 2 日阿富汗东北部巴达赫尚省的一处偏远山区发生山体滑坡，共造成近 2700 人死亡，原因是连续多日降雨造成自然地质环境恶化，从而引发重大地质灾害，见

图 1-1。



图 1-1 地质环境恶化引发的山体滑坡

同时,工程建设活动反过来又会影响地质环境,甚至引发地质灾害。因此,地质环境与工程建设活动之间既相互作用又相互制约。

2015年12月20日深圳光明新区恒泰裕工业园发生山体滑坡,滑坡覆盖面积约38万 m^2 ,淤泥渣土厚度达数米至数十米不等,造成33栋建筑物被掩埋或受损,70多人死亡或失踪,是一起典型的由不当的人类工程活动所造成的地质灾害,见图1-2。

1.1.2.2 工程地质条件

影响工程建设的地质因素有很多,如地形地貌、地质构造、水文地质条件、物理地质现象、岩土类型及工程性质、地理物质环境、天然建筑材料等,这些因素都会对工程建设活动带来一定的影响。如软土地区修建建筑,若地基不经处理很可能产生地基剪切破坏、沉降或不均匀沉降过大等问题,从而造成建筑物的破坏。把与工程建设有关的地质因素的综合称之为工程地质条件。

1.1.2.3 工程地质问题

工程地质问题是指工程地质条件与建筑物之间存在的矛盾或问题。由于工程地质条件复杂多变,加上建筑的类型、规模、结构形式等不尽相同,对工程地质条件的要求也不一样,因此,工程地质问题是复杂多样的。

1.1.2.4 工程地质学的研究目的及主要研究内容

工程地质学的研究目的在于:

- (1) 查明建筑场地的工程地质条件。
- (2) 分析和预测可能存在或发生的工程地质问题及其对工程建设的影响。
- (3) 选择最佳的建筑场地。
- (4) 提出防治不良地质作用的工程措施。
- (5) 为工程建设的规划、设计、施工和运营提供可靠地质依据。

工程地质学的主要研究内容有:

- (1) 岩土体的分布及工程性质研究。
- (2) 不良地质现象及防治研究。



图 1-2 人为因素引起的山体滑坡
(a) 滑坡现场；(b) 滑坡前后影像对比

- (3) 工程地质勘察技术研究。
- (4) 区域工程地质研究。

1.2 工程地质在土木工程中的作用

各种土木工程（如房建、水利、矿山、公路、铁路、机场等工程）都是修建在地表或地下的工程建筑。这些工程在规划、设计、施工和运营阶段都离不开工程地质工作。大量工程实践表明，在工程建设过程中进行详细的工程地质勘察，就能保证工程在施工和运营阶段的安全。反之，不重视工程地质工作，就会给工程建设带来隐患，轻者修改设计、增加投资、延长工期，重者会使建筑物损害，甚至导致人员伤亡。

湖北远安县盐池河磷矿，在生产过程中对崩塌的重视和了解程度不足，导致在 1980 年 6 月 3 日发生了重大崩塌灾害，标高 839m 的鹰嘴崖部分山体从 700m 标高处俯冲到 500m 标高的谷地，岩体崩塌量达 100 万 m³，最大岩块有 2700 多吨重，顷刻之间，盐池

河上筑起一座高达 38m 的堤坝, 气浪将磷矿的五层大楼冲撞到对岸山坡上击碎, 共造成 307 人死亡, 见图 1-3。



图 1-3 湖北远安县盐池河崩塌

1.3 工程地质课程的主要内容和学习要求

工程地质课程是土木工程专业的一门专业基础课, 是应用工程地质的基本理论和知识解决工程建设中各种地质问题的一门学科。

本课程主要由两部分组成, 即基础地质部分 (第 2~4 章) 和工程地质部分 (第 5~10 章), 共 9 章, 如图 1-4 所示。

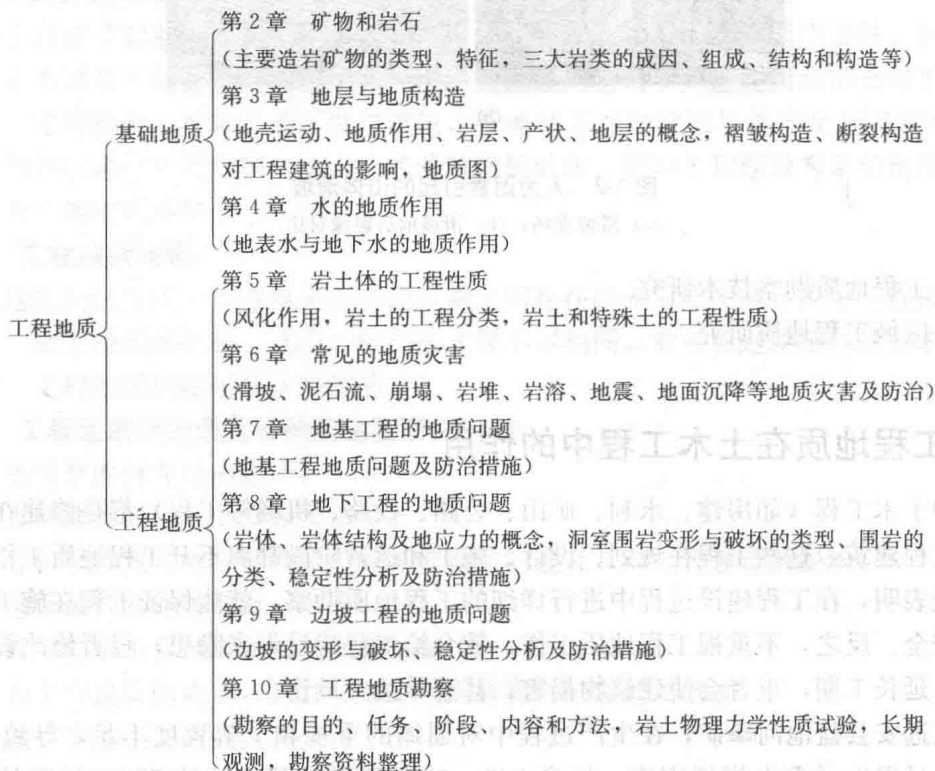


图 1-4 工程地质课程的主要内容

作为土木工程专业的本科生，经过本课程的学习后应达到以下要求：

- (1) 掌握工程地质的基本理论和知识，能正确应用工程勘察资料进行施工和设计。
- (2) 了解常见地质灾害的形成条件，掌握常见地质灾害的防治措施。
- (3) 熟悉土木工程中常见的地质问题，掌握工程建设过程中常见地质问题的防治措施。
- (4) 了解工程地质勘察的内容、方法和成果要求，能对一般工程开展地质勘察工作。

本章小结

(1) 工程地质学是地质学的一个重要分支学科，主要研究与工程建设有关的地质问题，是一门应用性很强的学科。

(2) 工程建设与地质环境之间既相互作用又相互制约，地质环境各项因素的综合组成了工程地质条件，工程地质条件与工程建设之间的矛盾和问题产生了工程地质问题。

(3) 任何土木工程都是修建于地表或地下的工程建筑，工程建设过程中都应开展并重视工程地质工作，保证工程建筑的安全，避免工程地质问题给建筑带来的安全隐患。

思考与练习题

1-1 工程地质学与地质学之间的相互关系是怎样的？

1-2 工程活动与地质环境之间的相互关系是怎样的？

1-3 什么是工程地质条件？什么是工程地质问题？

1-4 工程地质学的主要研究内容是什么？

1-5 工程地质学在土木工程中的作用是什么？

1-6 工程地质课程学习的基本要求是什么？

第 2 章 矿物和岩石

本章要点及学习目标

本章要点：

- (1) 理解矿物的形态、光学性质和力学性质。
- (2) 掌握主要造岩矿物的鉴定特征。
- (3) 掌握三大岩石的成因、产状、成分、结构和构造等。
- (4) 掌握三大岩石的识别与分类。

学习目标：

- (1) 掌握主要造岩矿物的性质及鉴别方法。
- (2) 掌握三大岩类的鉴定方法。

2.1 地球概况

2.1.1 地球的形状和大小

地球是一个不规则的椭球体，赤道半径（6378km）比极地半径（6357km）略大，表面也参差起伏。地球总表面积约为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，陆地面积约占 29.2%，海洋面积约占 70.8%。

2.1.2 地球的圈层构造

地球由内部圈层（地壳、地幔和地核）和外部圈层（大气圈、水圈和生物圈）两部分组成，如图 2-1 所示。

2.1.2.1 内部圈层

地球是由不同物质、不同状态的圈层组成的，从地表到地心根据莫霍面和古登堡面可将地球分为地壳、地幔和地核三个内部圈层。

1. 地壳

地壳是指莫霍面以上地球表面的一层薄壳，平均厚度约为 33km，陆壳较厚，约 15~80km，洋壳较薄，约 2~11km。地壳主要由镁铁质岩浆岩（玄武岩和辉长岩）组成，平均密度约为 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 。人类工程活动主要在地壳表层进行，深度一般不超过 1~2km，最深的石油和科研钻井深度截止 2011 年已超过了 12km。

地壳是由岩石组成的，岩石是由矿物组成的，而矿物是由各种化学元素或化合物组成的。地壳中的化学元素主要由氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、钛、氢等元素组成，约占元素总质量的 99.96%，而氧、硅、铝三种元素就占了 82.96%，如表 2-1 所示。地壳

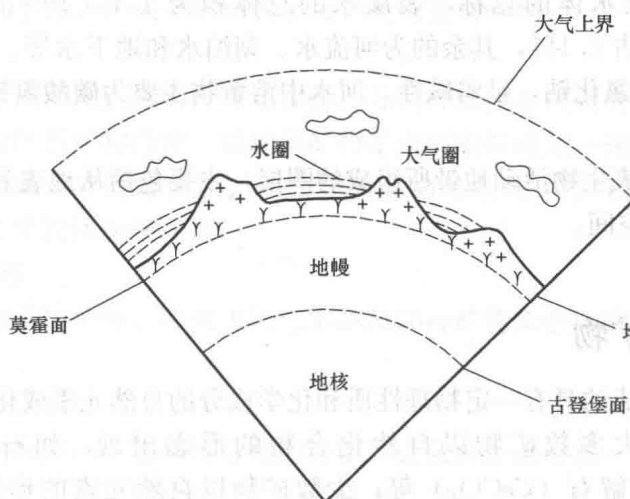


图 2-1 地球的圈层构造

中的化学元素多以化合物的形式出现，少数以单质元素存在。

地壳中主要元素的质量百分比

表 2-1

元素	质量百分比(%)	元素	质量百分比(%)
氧(O)	46.95	钠(Na)	2.78
硅(Si)	27.88	钾(K)	2.58
铝(Al)	8.13	镁(Mg)	2.06
铁(Fe)	5.17	钛(Ti)	0.62
钙(Ca)	3.65	氢(H)	0.14

2. 地幔

地幔是地壳与地核之间的中间层，深度约为地下 33~2900km，地壳和地幔的分界面称为莫霍面。地幔主要由富含铁、镁的硅酸盐物质组成，平均密度约为 $3.3\sim 4.6\text{g/cm}^3$ 。

3. 地核

地核是指地幔以下直到地心的部分，半径约为 3489km，密度约为 $11\sim 16\text{g/cm}^3$ 。地核由液态外核和固态内核组成，物质成分主要是铁和镍，其中外核主要由液态铁组成，含约 10% 的镍及 15% 的硅、硫、氧、钾、氢等元素，内核由固体铁镍合金组成。

2.1.2.2 外部圈层

1. 大气圈

大气圈主要由氮、氧、氩、二氧化碳、水蒸气等成分组成，其中氮占 78%，氧占 21%，二氧化碳占 0.03%，水蒸气占 0~2%。地表处大气的密度为 1.2kg/m^3 。

由地面至地面以上 15km 高度的范围为对流层；对流层顶至地面以上 50km 高度的范围为平流层，平流层中含有大量的臭氧，臭氧可以有效地过滤掉太阳光中的紫外线；从平流层顶到地面以上 80~85km 高度的范围为中间层；再向上至 500km 高度范围为外逸层。

2. 水圈

水圈是地球表层水体的总称,表层水的总体积为 $1.4 \times 10^{18} \text{ m}^3$, 其中海水约占 97.3%, 两极固态水占 2.1%, 其余的为河流水、湖泊水和地下水等。海水中溶解的盐类约占 0.35%, 主要为氯化钠, 呈弱碱性。河水中溶解物主要为碳酸氢钙, 呈弱酸性。

3. 生物圈

生物圈是指由地表生物活动地带所组成的圈层, 主要包括从地表到地上 200m 空域以及水下 200m 的水域空间。

2.2 主要造岩矿物

矿物是指天然生成的具有一定物理性质和化学成分的自然元素或化合物, 是组成地壳的基本物质单位。大多数矿物以自然化合物的形态出现, 如石英 (SiO_2)、石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、方解石 (CaCO_3) 等; 少数矿物以自然元素的形态出现, 如天然硫 (S)、石墨 (C)、金 (Au) 等。

自然界中已发现的矿物约有 3000 种, 其中能够构成岩石的矿物称为造岩矿物。在岩石中经常出现、明显影响岩石性质、对鉴别岩石种类起重要作用的矿物称为主要造岩矿物, 有 20 余种。

岩石是矿物或火山玻璃组成的天然集合体。矿物在地壳中按一定的规律共生、组合在一起形成一种或几种矿物或火山玻璃组成的天然集合体。主要由一种矿物组成的集合体称为单矿岩, 如石英岩由石英组成, 石灰岩由方解石组成; 由多种矿物组成的集合体称为多矿岩或复矿岩, 如花岗岩由石英、正长石组成; 按照岩石形成的成因可将岩石分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

2.2.1 矿物的物理性质

矿物的物理性质如形态、颜色、光泽、透明度、条痕、硬度、解理等, 都是肉眼鉴定矿物的重要依据。

2.2.1.1 矿物的分类

造岩矿物大多呈固态, 极个别的呈液态, 如自然汞 (Hg) 等。而固态的矿物中多数呈结晶质, 只有少数为非晶质。

1. 结晶质矿物

结晶质矿物是指内部质点 (原子、分子或离子) 在三维空间呈有规律的周期性排列并形成空间结晶格子构造的矿物, 如岩盐的立方晶体格架, 如图 2-2 所示。结晶质矿物只有在晶体生长速度较慢、周围有自由空间的条件下, 才能形成固定的有规则的几何外形, 这是矿物的固有形态特征, 这种晶体称为自形晶体或单晶体, 如金刚石、石英等。在自然界中, 由于受晶体生长速度和周围自由空间的限制, 自形晶体较少见到, 多数形成了不规则的几何外形,

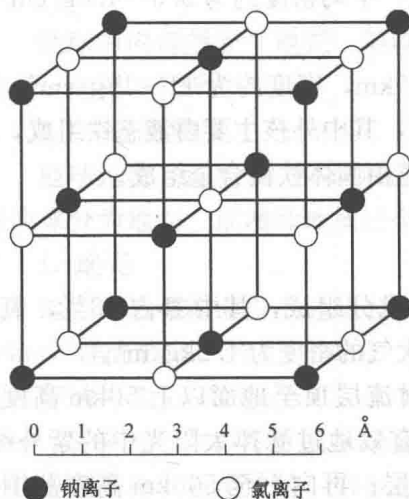


图 2-2 岩盐的立方晶体格架