

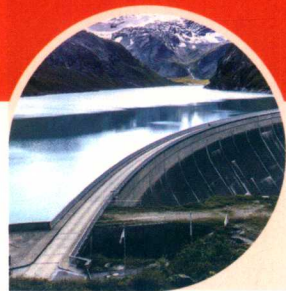


国家高等教育“十三五”规划教材
国家应用型大学实用教材
“互联网+”校企合作重点推广教材

工程地质

主编 李淑一 魏琦 谢思明

GONGCHENG DIZHI



〔含微课〕



航空工业出版社

国家高等教育“十三五”规划教材

国家应用型大学实用教材

“互联网+”校企合作重点推广教材

工程地质

主编 李淑一 魏琦 谢思明

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书系统地介绍了工程地质学的基本理论、地质作用以及土木工程中地质问题的评价等。本书共分为八章，具体内容包括矿物与岩石、地质年代与第四纪地质、地质构造、岩土的工程性质与分类、地下水及其工程影响、地表地质作用、地质灾害以及岩土工程勘察等。

本书可作为普通高等院校土木工程、水利工程、采矿工程以及交通工程等专业的教材，也可供工程地质相关技术人员参阅。

图书在版编目（C I P）数据

工程地质 / 李淑一，魏琦，谢思明主编. -- 北京：
航空工业出版社，2019.2
ISBN 978-7-5165-1846-5

I. ①工… II. ①李… ②魏… ③谢… 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(2019)第 029607 号

工程地质

Gongcheng Dizhi

航空工业出版社出版发行

（北京市朝阳区北苑 2 号院 100012）

发行部电话：010-84936597 010-84936343

北京市科星印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2019 年 2 月第 1 版

2019 年 2 月第 1 次印刷

开本：787×1092

1/16

印张：18

字数：416 千字

印数：1—3000

定价：49.80 元

前言 QIANYAN

近年来,我国公路、铁路、城市轨道交通等基础设施以及城市建筑的建设进入高速发展阶段。这些基础设施和建筑都修建在地表或地表以下一定深度范围的岩土体中,在设计 and 施工之前,必须考察建设地区或建筑场地的工程地质条件,预测和评价可能发生的工程地质问题及其对建筑物或地质环境的影响,并提出防治措施,以保证工程建设的正常进行。

工程地质学作为各类土木工程相关专业的技术基础课程,对培养现代土木工程专业人才具有重要意义。因此,我们广泛调研相关企业,并结合学校的教学情况编写了本书。

具体来说,本书具有以下几个特色。

1. 校企合作,工学结合。本书在编写过程中,通过学校教师和企业专家的合作,将理论知识和实践有机结合,使内容贴近企业工作实际,有助于学生工作后更快适应工作岗位。

2. 语言精练,理实一体。本书在编写过程中,坚持“少而精”的原则,力求叙述简明、重点突出;同时注重培养学生理论与实践相结合的工程意识,并适当反映了近年来国内外工程地质理论和实践的发展水平。

3. 最新标准,内容前沿。在编写本书过程中,我们查阅了最新的国家和行业标准,保证了内容的严谨性;同时密切关注行业动态,将最新的技术和理论提炼并融入到书中,保证教材内容紧贴时代需求。

4. 形式活泼,图文并茂。为了激发学生的学习兴趣,本书安排了很多趣味小体例,如知识库、提示、注意等,并配有大量紧扣教材、精心绘制的地质结构图,有助于学生认识工程地质的相关结构。

5. 资源丰富,随堂微课。为有效丰富教师的教学手段,提高学生的学习效率,本书配备了大量的微课视频,学生可以随时随地扫描二维码进行观看,巩固知识,加深理解。

本书由李淑一、魏琦、谢思明担任主编,谢姗担任副主编。其中魏琦负责编写绪论、第一章和第二章,李淑一负责编写第三章至第五章,谢思明负责编写第六章和第七章,谢姗负责编写第八章,最后由李淑一统稿。

在编写过程中,我们参考了大量有价值的文献和资料,在此对文献作者和资料提供者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限和时间紧迫,本书难免有欠缺和不妥之处,热忱欢迎广大读者不吝赐教,以备改正。另外,本书配有丰富的教学资源包,读者可登录北京金企鹅联合出版中心的网站(www.bjjqe.com)下载。

编者

2019年1月

目录 MULU

绪论	1
一、地质学与工程地质学	1
二、工程地质学的研究内容与方法	2
三、我国工程地质学的发展概况	3
四、本课程的学习内容与基本要求	4
第一章 矿物与岩石	6
第一节 概述	6
一、地壳	6
二、地幔	7
三、地核	7
第二节 造岩矿物	8
一、矿物	8
二、常见的造岩矿物	11
第三节 岩石的工程性质与分类	14
一、岩石的工程性质	14
二、岩石的工程分类	23
第四节 三大岩石	24
一、岩浆岩	24
二、沉积岩	32
三、变质岩	39
本章小结	45
思考与练习	45
第二章 地质年代与第四纪地质	47
第一节 地质年代	47
一、绝对地质年代的概念与确定方法	47
二、相对地质年代的概念与确定方法	48
三、地质年代表	51
第二节 地貌概述	53
一、地貌的概念	53
二、地貌单元的分类	54



第三节 第四纪地质概述	58
一、第四纪的概念与特征	58
二、第四纪地层划分	59
本章小结	60
思考与练习	61
第三章 地质构造	62
第一节 岩层	62
一、岩层基本概念	62
二、岩层产状	62
第二节 褶皱构造	65
一、褶曲	65
二、褶皱构造的成因和识别	68
三、褶皱构造的工程地质评价	69
第三节 断裂构造	70
一、节理	70
二、断层	74
本章小结	82
思考与练习	82
第四章 岩土的工程性质与分类	84
第一节 岩体的工程性质与分类	84
一、岩体的工程性质	84
二、岩体的工程分类	91
第二节 土的工程性质与分类	94
一、土的形成与结构	94
二、土的三相组成	102
三、土的工程性质	106
四、土的工程分类	118
第三节 特殊土的工程特性	122
一、软土	122
二、黄土	124
三、膨胀土	125
四、冻土	127
五、红黏土	128
本章小结	129
思考与练习	129

第五章 地下水及其工程影响	131
第一节 地下水概述	131
一、地下水的基本概念	131
二、岩土的水理性质	132
第二节 地下水的类型	133
一、包气带水	134
二、潜水	135
三、承压水	137
四、孔隙水	140
五、裂隙水	140
六、岩溶水	141
七、泉	142
第三节 地下水的性质	143
一、地下水的物理性质	143
二、地下水的化学性质	144
第四节 地下水的运动规律	147
一、达西定律	147
二、非线性渗透定律	150
第五节 地下水对工程的影响	150
一、地下水位变化的影响	150
二、地下水的渗透破坏	153
三、地下水压力的影响	157
四、地下水的腐蚀作用	159
本章小结	161
思考与练习	161
第六章 地表地质作用	162
第一节 外力地质作用和内力地质作用	162
一、外力地质作用	162
二、内力地质作用	163
第二节 风化作用	166
一、风化作用的类型	166
二、风化作用的影响因素	168
三、岩石风化程度和风化带	169
四、岩石风化的治理	171
第三节 地面流水的地质作用	171
一、暂时性流水的地质作用	172
二、河流的地质作用	173

第四节 其他地面水的地质作用	178
一、海洋的地质作用	178
二、湖泊和沼泽的地质作用	181
三、冰川的地质作用	182
第五节 岩溶作用	183
一、岩溶的形成条件	184
二、岩溶的主要形态	185
三、岩溶的影响因素	187
四、岩溶的工程地质问题	188
本章小结	190
思考与练习	190
第七章 地质灾害	191
第一节 滑坡及其防治	191
一、滑坡的概念与形态特征	191
二、滑坡的形成条件及其影响因素	193
三、滑坡的分类与发育过程	195
四、滑坡的识别与防治	199
第二节 崩塌及其防治	202
一、崩塌的概念与分类	202
二、崩塌的形成条件	203
三、崩塌的防治	205
第三节 泥石流及其防治	207
一、泥石流的概念与形成条件	207
二、泥石流的分类	209
三、泥石流的防治	210
第四节 地震及防震原则	211
一、地震概述	211
二、地震的特点和分类	216
三、地震效应	217
四、建筑抗震设防	218
本章小结	221
思考与练习	221
第八章 岩土工程勘察	222
第一节 岩土工程勘察概述	222
一、岩土工程勘察的任务	222
二、岩土工程勘察的分级和阶段划分	223

第二节 工程地质测绘	226
一、工程地质测绘的比例尺和精度	226
二、工程地质测绘的范围和内容	227
三、工程地质测绘的方法	229
第三节 工程地质勘探	231
一、勘探的任务	231
二、勘探的方法	231
第四节 工程地质测试	236
一、室内试验	236
二、原位测试	236
第五节 岩土工程勘察报告	265
一、岩土工程勘察报告概述	265
二、岩土工程勘察报告实例	266
本章小结	275
思考与练习	276

绪 论

一、地质学与工程地质学

地球是人类赖以生存和活动的星球,是人类各种矿产资源和建筑材料的主要产地。目前世界上 95% 的能源和 75%~80% 的工业原料取自矿产资源,地质环境的变化直接影响生物及人类的生长及生存,也会影响国民经济和社会的发展。

人类的生产、生活既取决于地质环境条件,同时也对地质环境条件产生影响。例如,修建房屋会引起地基土压密沉降,桥梁会使局部河段冲刷淤积发生变化,在城市过量抽吸地下水会导致大规模的地面沉降。由于不合理的开发利用,我国局部地区环境污染严重,地下水资源大量流失,边坡泥石流等地质灾害事故频繁发生。每年我国由于滑坡、泥石流、地面塌陷和崩塌等造成的突发性地质灾害的损失达数十亿元,并引起大量人员伤亡。保护地质环境、防治地质灾害已成为人类当前刻不容缓的重要任务。



1. 地质学

要对地球进行合理开发、科学利用,就要认识、研究地球。地质学(Geology)一词是由瑞士人索修尔(Saussure H.B.de)于 1779 年提出的,意指“地球的科学”,地质学就是研究地球的科学。

地球的半径有 6 300 多千米,现在世界上最深的钻井(苏联的科拉 SG3 超深钻井)也才 12 262 m,这与地球半径相比是微不足道的。因此,人类还只能直接观察地球表面,地下深处的情况只能靠资料间接推测。所以,就目前来讲,地质学研究的对象主要是地球的固体表层,主要包括以下几方面内容。

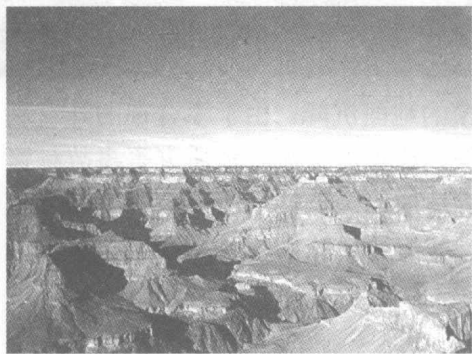
- ① 研究组成地球的物质。矿物学、岩石学、地球化学等分支学科承担这方面的研究。
- ② 阐明地壳及地球的构造特征,即研究岩石或岩石组合的空间分布。这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、地球物理学等。
- ③ 研究地球的历史,以及生存在地质时期的生物及其演变。研究这方面问题的有古生物学、地史学、岩相古地理学等。
- ④ 研究地质学的研究方法手段。这方面的分支学科有同位素地质学、数学地质学及遥感地质学等。

⑤ 解决资源探寻、环境地质分析和工程防灾等问题。从应用方面来说,地质学有两大作用:一是以地质学理论和方法指导人们寻找各种矿产资源,这也是矿床学、煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等研究的主要内容;二是运用地质学理论和方法研究工程地质环境,查明地质灾害的规律并制定防治对策,以确保工程建设安全、经济、正常地运行,这就是工程地质学研究的主要内容。

2. 工程地质学

作为地质学的一个应用分支,工程地质学是研究人类工程活动与地质环境相互作用的—门学科。它把地质科学应用于工程实践,通过工程地质调查及理论性的综合研究,对工程建设地区的工程地质条件进行评价,解决与工程建筑有关的工程地质问题,预测并论证工程区内物理地质现象的发生和发展,提出改善与防治措施,为工程建筑的规划、设计、施工、使用和维护提供所需的地质资料和数据。

工程地质学包括工程岩土学、工程地质原理、工程地质勘察三个基本部分,它们都已形成了不同的分支学科。工程岩土学的任务是研究土和石的工程地质性质和这些性质的形成过程,研究这些性质在自然或人类活动影响下的变化;工程地质原理的任务是研究工程



活动的主要工程问题,研究这些问题产生的条件、力学机制及其发展演化规律,以便正确评价和有效地防治它们的不良影响;工程地质勘察的任务是探讨进行地质调查和研究的方法,以便有效地查明有关工程活动的地质因素。

由于工程地质条件有明显的区域性分布规律,因而工程地质问题也有区域性分布的特点,研究这些规律和特点的分支学科称为区域工程地质学。

二、工程地质学的研究内容与方法

人类的工程实践活动都是在一定的工程地质条件下进行的,研究人类工程实践活动与工程地质条件之间的关系,解决工程建设中遇到的各类工程地质问题,保证工程建筑安全、经济、稳定是工程地质学的基本研究内容。

工程地质学在工程规划、设计以及在解决各类工程建筑物的具体问题时必须开展详细的工程地质勘察工作,目的是取得有关建筑场地工程地质条件的基本资料,方便进行工程地质论证。因此,工程地质勘察是工程地质学重要的研究手段。

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法应是地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等密切结合,即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。

地质分析法是工程地质学基本研究方法,也是进一步定量分析评价的基础。地质分析法以查明建筑区工程地质条件的形成和发展,以及它在工程建筑物作用下的发展变化为目的,以地质学和自然历史的观点分析研究周围其他自然因素和条件,了解在历史过程中这

些因素和条件被影响和制约的程度,认识它们形成的原因和预测它们的发展趋势和变化。

在定性分析的基础上,某些工程地质问题还需建立模型进行定量预测和评价,如地基稳定性分析、地面沉降量计算、地震液化可能性计算等。采用定量分析方法论证地质问题时,需要采用实验、测试以及长期观测等方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要的岩土的物理性质、水理性质、力学性质等数据资料。当地质条件十分复杂时,还可根据条件类似地区已有资料对研究区域的工程地质问题进行定量预测,这就是工程类比法。

综合应用上述定性分析和定量分析方法,才能取得可靠的结论,对可能发生的工程地质问题制定出合理的防治对策。



三、我国工程地质学的发展概况

工程地质学是在地质学基础上随着工程建设需要而发展起来的。我国工程地质学的创立与发展,大体上经历了以下四个阶段。

1. 萌生阶段(20世纪50年代以前)

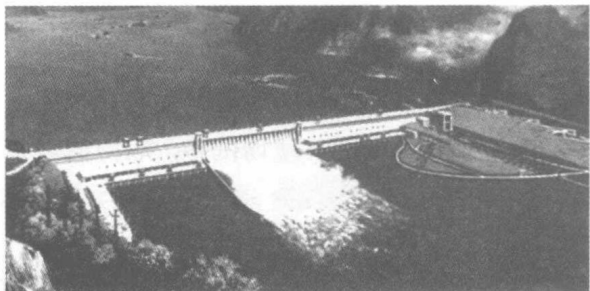
中国地质学家把自己的知识应用于工程活动,始于20世纪20年代所进行的建筑材料的地质调查;其后,于1933年对北方大港港址进行了地质勘察,对甘新、滇缅、川滇公路和宝天线铁路进行了地质调查;1937年,对长江三峡和四川龙溪河坝址进行了地质调查。20世纪40年代中后期,在水利工程方面,地质学家曾对岷江、大渡河、溺江、台湾大甲溪、黄河和其他水系进行了一些概略的考察工作。这些都是工程地质学在我国萌生的体现。

2. 创立与发展阶段(20世纪50年代到70年代末)

在这个阶段,中国工程地质学逐步形成了以区域稳定性、地基稳定性、边坡稳定性和地下工程围岩稳定性为研究内容,以工程岩土体变形破坏机理为核心的工程地质评价与预测的研究框架;建立了地质力学与地区历史相结合,工程地质学与土力学、岩体力学、地震力学相结合的分析研究方法;广泛应用并发展了钻探技术、物探技术、钻孔电视、声波测试、原位大型力学试验、土层静力动力触探、模型试验以及计算机等技术和设备;从地质成因及其演化过程认识工程岩体(地质体)的结构及其赋存环境,从工程岩体结构的力学特性及其对工程作用的响应分析工程岩体变形破坏机理,进而评价与预测工程作用下岩体的稳定性;创立与发展了以工程岩体结构和工程建设与地质环境相互作用为研究核心的中国工程地质理论、方法与技术体系。

3. 活跃发展阶段(20世纪80年代至90年代)

中国工程地质学在这一阶段取得了重要的突破与进展。地质理论从区域背景、成因演化、物质成分的综合分析和勘测评价与地质推理,发展到工程岩体稳定性控制、地基与上



层建筑相互作用的工程地质过程研究,深化了对工程岩体变形破坏机理的认识,从描述、理解、评价,向预测、预报延伸,并向过程控制方向发展。

监测、探测、物理模拟、原位测试技术的进步和计算机技术的广泛应用与发展,数值分析与数值模拟的兴起,加速了

工程地质过程的综合集成分析和定量化进程。工程地质学与岩体力学、工程技术相融合,将工程建设前期的工程地质条件评价延伸到工程后效研究,从预测、预报发展到施工监控和岩土体加固技术。基于数字遥感技术、区域地质构造及地质环境要素分析,开拓了环境工程地质、地质灾害及其防治研究的新方向。软岩、膨胀岩、可溶岩、风化岩、断层岩、胀缩土、红黏土、盐渍土、黄土、冻土、沼泽土和软土等特殊岩土的工程地质特性、评价和改良取得了一系列新的进展。

4. 创新发展阶段(20世纪90年代至今)

随着我国工程建设的大规模开展,工程地质学在实际应用中得到了飞速发展。高坝水库(如三峡大坝)建设、高速公路建设、跨海大桥建设、山区铁路(如青藏铁路)与高速铁路建设、引水工程(如南水北调)建设、超高层建设、海洋开发等大项目既为工程地质工作者提供了实践的平台,又对工程地质工作者提出了新问题、新挑战,同时也促进了工程地质勘察技术的创新与提高,促进了工程地质理论的完善。

在此阶段,工程地质学科与相关学科也进一步互相渗透与交叉融合。例如,岩土体三维激光扫描技术、卫星遥感图像技术、最新原位测试技术等不断得到发展创新,使得工程地质研究从定性阶段向定量阶段逐渐跨越。可以说我国目前可对任何重大的项目进行详细的工程地质勘察评价,这说明我国的工程地质事业取得了长足发展。当然,仍有很多新课题有待于年轻一代去不断研究和探索。



知识库

地质学在18世纪开始成为一门独立的学科。

17世纪以前,许多国家成功地建成了至今仍享有盛名的建筑物,但人们在建筑实践对地质环境的考虑,完全依赖于建筑者个人的感性认识。17世纪以后,由于产业革命和建设事业的发展,出现并逐渐积累了关于地质环境对建筑物影响的文献资料。第一次世界大战结束后,整个世界进入大规模建设时期。1929年,奥地利的太沙基出版了世界上第一部《工程地质学》。1932年,在莫斯科地质勘探学院出现了工程地质教研室,专门培养工程地质专业人才,并奠定了工程地质学的理论基础。

四、本课程的学习内容与基本要求

工程地质学课程一般应在前文提到的基础学科后开设。工程地质学还与许多学科有密

切联系,如土力学、岩石力学、水文地质学、基础工程学、施工技术、地下工程、勘察技术、岩土试验技术、地质力学模型试验及地震工程学等。对工程地质专业学生来说,这些课程一般也在工程地质学前开设;但对非工程地质专业学生来说,工程地质学常常是开设的第一门地质课程,有时甚至是唯一的一门地质课程。

本课程是一门专业技术基础课,课程内容十分丰富,涉及面也很广。本书着重介绍土木工程等相关专业所涉及的工程地质学的基本理论和基础知识,其主要内容包括矿物与岩石、地质年代与第四纪地址、地质构造、岩土的工程性质与分类、地下水及其工程影响、地表地质作用、地质灾害以及岩土工程勘察等。学完本课程的学生应掌握以下知识和技能。

① 能阅读一般地质资料,根据地质资料在野外辨认常见的岩石,了解其主要的工程性质;能辨认基本的地质构造及明显的不良地质现象,了解其对工程建筑的影响。

② 系统掌握工程地质的基本理论和方法,根据工程地质勘察数据和资料,进行一般的工程地质问题分析并提出处理措施。

③ 把学到的地质及工程地质学知识和其他课程知识紧密结合起来,进行实际的工程设计与施工。

第一章

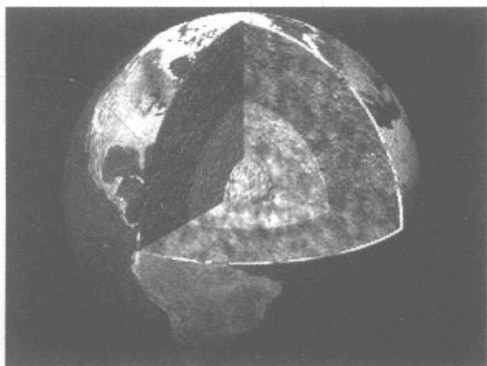
矿物与岩石

第一节 概述

地球的形状和地表形态既是其内部物质状态及其运动的结果，又受到地球表层的水和大气的运动以及生物生命活动的影响。经卫星测定，地球是一个“梨状体”，其南极内凹、北极外凸。资料记载的地球有关数据有：赤道半径为 6 378.16 km，平均半径为 6 371.229 km，极半径为 6 356.76 km，扁平率为 1/298.25，体积为 1.082×10^{12} km³，质量约为 5.98×10^{21} t。

到目前为止，关于地球内部的认识主要来自对地震波的研究。当地震发生时，地下岩石受到强烈冲击，产生弹性震动，并以波的形式向四周传播，这种弹性波称为地震波。地震波有纵波（P 波）和横波（S 波）之分。纵波的传播速度较快，可以通过固体、液体和气体传播；横波的传播速度较慢，只能通过固体传播。纵波和横波的传播速度，都随着所通过物质性质的不同而变化。

地球内部有两个明显的不连续面，一个在地面（指大陆部分）下平均 33 km 处，在这个不连续面下，纵波和横波的传播速度都明显增加，这个不连续面称为莫霍界面；另一个在地面下平均 2 900 km 处，在这里纵波的传播速度突然下降，横波完全消失，这个面称为古登堡界面。以莫霍界面和古登堡界面为界，可以将地球内部分为地壳、地幔和地核三个圈层，统称为内圈层。



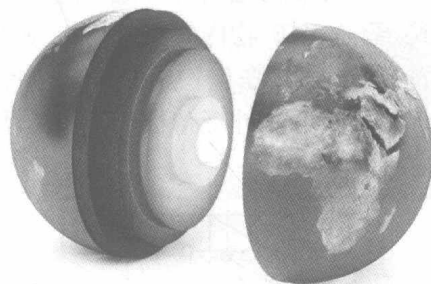
一、地壳

地壳是指地表到莫霍界面的部分。整个地壳平均厚度约为 17 km。其中，大陆地壳厚度较大，平均约为 33 km；高山、高原地区地壳更厚，最高可达 70 km；平原、盆地地壳相对较薄；大洋地壳则远比大陆地壳薄，厚度只有几千米。组成地壳的化学成分有 100 多种，其中含量最多的几种如表 1-1 所示。

表 1-1 地壳主要化学成分表

元素符号	元素名称	含量 (%)
O	氧	49.13
Si	硅	26.00
Al	铝	7.45
Fe	铁	4.20
Ca	钙	3.45
Na	钠	2.40
Mg	镁	2.35
K	钾	2.35
H	氢	1.00

表 1-1 中的元素占地壳重量的 98%以上。硅、铝主要分布在地壳上部，即硅铝层，其厚度不一，大陆上厚，海洋底薄，太平洋底大部分缺失；硅、镁成分主要分布在地壳下部，即硅镁层，其中铁的成分有所增加，铝的成分有所减少。



二、地幔

地幔是指莫霍界面到古登堡界面的部分。随着深度的增加，铁、镁成分增加。根据地震波的特性，以地下 1 000 km 为界，地幔分为上地幔和下地幔。在上地幔上部存在一个软流层，岩石处于高温熔融状态，它是岩浆可能的发源地之一。

知识库

软流层以上部分全部由岩石组成，故称为岩石圈，即地壳和软流层以上的上地幔顶部合称为岩石圈。

三、地核

地核是指古登堡界面以下的部分。根据地震波传播的特性，以地下 5 000 km 为界，地核分为内核和外核。外核是液体，内核是固体，以铁、镍为主。

第二节 造岩矿物

一、矿物

1. 矿物的概念

地壳中的化学元素,除极少数呈单质存在之外,绝大多数的元素都以化合物的形态存在。这些存在于地壳中的具有一定化学成分和物理性质的自然元素或化合物,称为矿物。其中,构成岩石的矿物称为造岩矿物,如常见的石英(SiO_2)、正长石(KAlSi_3O_8)、方解石(CaCO_3)等。

造岩矿物绝大部分是结晶质。结晶质的基本特点是组成矿物的元素质点(离子、原子或分子)在矿物内部按一定的规律排列,形成稳定的结晶格子构造,如图 1-1 所示为食盐的晶格构造。在生长过程中如条件适宜,结晶质能生成具有一定几何外形的晶体,如图 1-2 所示。矿物的外形特征和许多物理性质,都是矿物的化学成分和内部构造的反映。

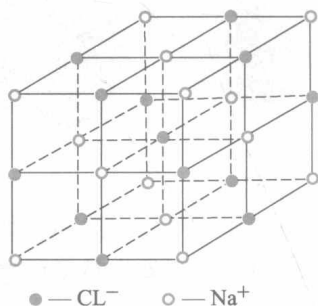
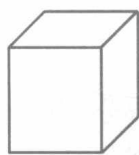


图 1-1 食盐的晶格构造



(a) 食盐晶体



(b) 石英晶体



(c) 金刚石晶体

图 1-2 矿物晶体

自然界的矿物不断地在各种地质过程中形成,同时又经受着各种地质作用而在不断地发生变化,在一定的物理和化学条件下才显得相对稳定。当外界条件改变到一定程度后,矿物原来的成分、内部构造和性质就会发生变化,形成新的次生矿物。

2. 矿物的性质

不同的矿物具有不同的化学成分和内部构造,因此它们具有各不相同的物理、力学和其他性质。

1) 物理性质

矿物的物理性质有颜色、条痕色、透明度、光泽和密度等。



扫一扫

矿物与岩石的区别