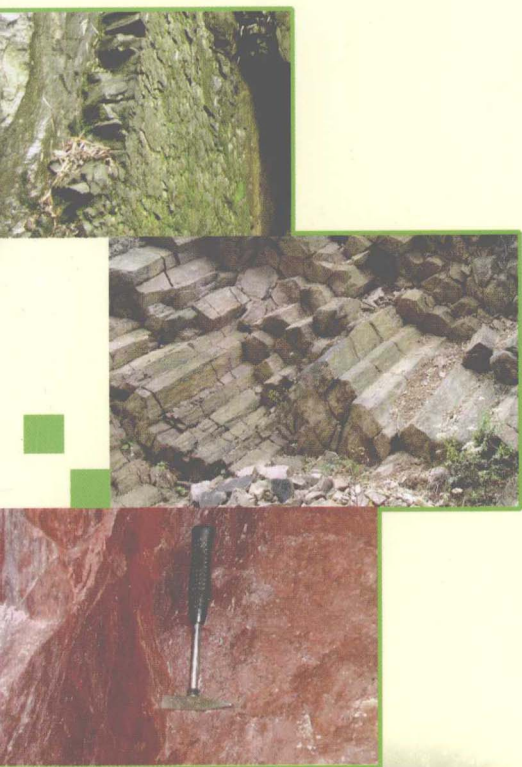


普通高等院校土木工程专业「十二五」规划系列教材

PUTONG GAODENG YUANXIAO TUMU GONGCHENG LEI
SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI

工程地质

主编 赖天文
副主编 梁庆国 刘德仁



西南交通大学出版社

普通高等院校土木工程类“十二五”规划系列教材

工 程 地 质

赖天文 主 编
梁庆国 刘德仁 副主编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

全书除绪论外共 8 章,包括矿物与岩石、地质构造、土的工程性质、地下水、地貌、常见地质灾害、几类工程中的工程地质问题、工程地质勘察等内容。文字简明、循序渐进、内容丰富、重点突出,有大量的实例图片,便于自学。

本书可作为土木工程类(工民建、城建、道桥、地下工程)、水利水电工程和测绘工程等专业的教材,也可供广大土木工程技术人员参考,亦可作为同专业的成人教育教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质 / 赖天文主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2012.1

普通高等院校土木工程类“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5643-1185-8

I. ①工… II. ①赖… 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(2011)第 081284 号

普通高等院校土木工程类“十二五”规划系列教材

工 程 地 质

赖天文 主编

*

责任编辑 张 波

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川锦祝印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 15.25

字数: 379 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1185-8

定价: 25.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

工程地质不仅是土木工程专业一门重要的技术基础课，同时又是一门实践性很强的学科，在土木工程专业的人才培养中起着很重要的作用。

1998年7月教育部颁布了新的普通高等学校专业目录，根据该目录，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。

为满足21世纪国家建设对专业人才的需求，适应专业面扩大后的土木工程专业的教学需要，根据有关专业教学大纲，在原公路工程、桥梁与隧道工程、建筑工程等专业所使用的工程地质教材的基础上，针对前土木工程专业所涉及的工程地质理论和知识，同时兼顾水利水电专业、测绘专业对工程地质知识的要求，编写了这本教材。

全书除绪论外共8章，第1章为矿物与岩石，第2章为地质构造，第3章为土的工程性质，第4章为地下水，第5章为地貌，第6章为常见地质灾害，第7章为几类工程中的工程地质问题，第8章为工程地质勘察。

本书由兰州交通大学赖天文任主编，梁庆国、刘德仁任副主编。赖天文编写绪论、第1章、第6章；梁庆国编写第4章、第5章、第7章、第8章；刘德仁编写第2章、第3章。全书最后由赖天文统稿。

本书文字简明、循序渐进、内容丰富、重点突出、图文并茂，便于自学。本书可作为土木工程类(工民建、城建、道桥、地下工程)、水利水电工程和测绘工程等专业的教材，也可供广大土木工程技术人員参考，亦可作为同专业的成人教育教材和参考书。

本书在编写过程中，得到兰州交通大学土木工程学院岩土与地下工程系的众多老师的帮助，在此表示感谢。对于书中所引用文献和研究成果的众多作者也表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011.5

目 录

0 绪 论	1
0.1 地质学与工程地质学	1
0.2 工程地质学的研究对象、任务和方法	1
0.3 工程地质学的主要内容及学习要求	4
思考题	4
1 矿物与岩石	5
1.1 地球的基本知识	5
1.2 主要造岩矿物	8
1.3 岩石	19
1.4 岩石的工程性质及工程分类	36
思考题	49
2 地质构造	50
2.1 地壳运动与地质作用	50
2.2 地质年代	53
2.3 岩层	60
2.5 断裂构造	69
2.6 地质图	81
思考题	87
3 土的工程性质	89
3.1 土的形成	89
3.2 土的工程性质	92
3.3 土的工程分类	98
3.4 特殊土的工程地质性质	100
思考题	115
4 地 下 水	116
4.1 地下水的基本知识	116
4.2 地下水的物理性质和化学成分	120
4.3 地下水的类型	122
4.4 地下水对土木工程的影响	129
思考题	133

5 地 貌..... 134

5.1 概述..... 134

5.2 山岭地貌..... 137

5.3 平原地貌..... 142

5.4 河谷地貌..... 144

4.5 黄土地貌..... 151

思考题 154

6 常见地质灾害..... 155

6.1 滑坡..... 156

6.2 崩塌..... 165

6.3 泥石流..... 170

6.4 岩溶..... 176

6.5 地震..... 181

思考题 190

7 几类工程中的工程地质问题..... 191

7.1 道路工程中的工程地质问题..... 191

7.2 地下工程中的工程地质问题..... 198

7.3 桥梁工程中的工程地质问题..... 203

7.4 水利水电工程中的工程地质问题..... 207

思考题 217

8 工程地质勘察..... 219

8.1 概述..... 219

8.2 工程地质测绘..... 221

8.3 工程地质勘探..... 223

8.4 岩土测试..... 229

8.5 工程地质勘察资料整理..... 234

思考题 235

参考文献 236

0 绪 论

地质学是研究地球的一门自然科学,它主要研究的是固体地球的组成、构造、形成和演化规律等方面,是地学的重要组成部分。工程地质学又是地质学的一个分支,它是研究与工程建设有关的地质学部分,是从生产实践中发展起来,研究工程建筑物的勘测设计、施工和使用过程中有关地质问题的科学。

0.1 地质学与工程地质学

地质学是一门关于地球的自然科学。它的研究对象主要是固体地球的上层,即岩石圈部分,包括地壳和上地幔的上部。研究内容主要有以下几个方面:①研究组成地球的物质。由矿物学、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栖居在地质时期的生物及其演变。研究这方面问题的分支学科有古生物学、地史学、岩相古地理学等。④地质学的研究方法手段,如同位素地质学、数学地质学及遥感地质学等。⑤研究应用地质学以解决资源探寻、环境地质分析和工程防灾问题。从应用方面来说,主要有两方面:一是以地质学理论和方法指导人们寻找各种矿产资源,承担这方面研究的分支学科有矿床学、煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等;二是运用地质学理论和方法研究地质环境,查明地质灾害的规律和防治对策,以确保工程建设安全、经济和正常运行。后者就是工程地质学研究的主要内容。

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科学。工程地质学是工程科学与地质科学相互渗透、交叉而形成的一门边缘学科,主要从事人类活动与地质环境相互关系的研究,是服务于工程建设的科学。广义地讲,工程地质学是研究地质环境及其保护和利用的科学;狭义地讲,则是将地质学的原理运用于解决与工程建设有关的地质问题的一门应用性很强的学科。

0.2 工程地质学的研究对象、任务和方法

工程地质学作为地质学的一门相对年轻的独立分支学科,已存在 70~80 年之久,但只是在第二次世界大战后才逐渐形成比较完善的学科体系。在中国也仅有 50 多年的历史。工程地质学具有鲜明的自然科学属性,同其他基础地质学各分支学科有着很大的差异。

0.2.1 工程地质学的研究对象

人类工程活动与地质环境间的相互关系,首先表现为地质环境对工程活动的制约作用。地球上现有的工程建筑物,都建造于地壳表层一定的地质环境中。地质环境包括地壳表层及深部

的地质条件,它们以一定的作用方式影响着工程建筑物。例如,地球内部构造活动导致的强烈地震,顷刻间可以使较大地域范围内的各种建筑物和人民生命财产遭受毁灭性的损失;地壳表面的软弱土体不适应某些工业与民用建筑荷载的要求,会导致如房屋、桥梁等工程结构物的变形、开裂甚至倒塌,需进行专门的地基处理;地质时期形成的岩溶洞穴因严重渗漏,造成水库和水电站不能正常发挥效益,甚至完全丧失功能;大规模的滑坡、崩塌,因难于治理而使铁路、公路改线等等。地质环境对人类工程活动的各种制约作用,归结起来是从安全、经济和正常使用三个方面影响工程建筑物的。

人类的各种工程活动,又会反馈作用于地质环境,使自然地质条件发生变化,影响建筑物的稳定和正常使用,甚至威胁到人类的生活和生存环境。工程建设对地质环境的作用,是通过应力变化和地下水动力特征的变化等表现出来的。建筑物自身重量对地基土体施加的荷载、滨海城市大量抽汲地下水所引起地面沉降变形、坝体所受库水的水平推力、开挖边坡和基坑造成的卸荷效应、地下洞室开挖对围岩应力的影响、地震和降雨对自然边坡和滑坡的扰动、路基和堤坝填筑作用于地基的附加应力,都会引起岩土体内的应力状况发生变化,造成岩土体变形甚至破坏。还有建筑物的施工和建成会经常引起地下水的变化给工程和环境带来危害,诸如岩土软化泥化、地基砂土液化、道路冻害、水库浸没、坝基渗透变形、隧道涌水、矿区地面塌陷等。人类不合理的工程活动不仅会直接地破坏地质环境,而且影响到工程建(构)筑物自身的安全和稳定,造成工程事故。

由此可见,人类的工程活动与地质环境之间处于相互作用、相互制约的矛盾之中。研究地质环境与工程建(构)筑物之间的关系,促使两者之间的矛盾缓和、解决,就是工程地质学的研究对象。

0.2.2 工程地质条件与工程地质问题

在工程地质学中对人类工程活动有影响的地质环境常用工程地质条件来描述。工程地质条件是指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。这些因素包括:① 地层岩性:是最基本的工程地质因素,包括它们的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等。② 地质构造:是工程地质工作研究的基本对象,包括褶皱、断层、节理构造的分布和特征。地质构造,特别是形成时代新、规模大的优势断裂,对地震等灾害具有控制作用,因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等具有重要意义。③ 水文地质条件:是重要的工程地质因素,包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分等。④ 物理地质现象:是指对建筑物有影响的自然地质作用与现象,主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、地震等,对评价建筑物的稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大。⑤ 地形地貌:地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度与沟谷宽窄及形态特征等;地貌则说明地形形成的原因、过程和时代。不同的地貌形态特征,对建筑场地和线路的选择都有重要影响。⑥ 天然建筑材料:工程建设中所需有关建筑材料的分布、类型、品质、开采条件、储量及运输条件等,也是工程地质条件中的一个重要因素。在不同地区、不同工程类型、不同设计阶段解决不同问题时,上述各方面的重要性并不是等同的,而是有主有次。其中岩土的工程地质性质和地质构造往往起主导作用,但在某些情况下,地形地貌或水文地质条件也可能是首要因素。工程地质条件所包括的各方面因素是相互联系、相互制约的。因此,在解决工程建设中的地质问题时,应该对各方面因素综合分析论证。

人类工程活动和自然地质作用会改变地质环境,影响工程地质条件的变化。当工程地质条件不能满足工程建筑稳定、安全的要求时,就称为存在工程地质问题。工程地质问题与工程建筑的类型和规模有着密切的关系。各类工程建筑,由于其结构类型和工作方式不同,面临着各种各样的工程地质问题。工业与民用建筑常遇到的工程地质问题是地基的变形、强度和稳定等问题;路基工程中常遇见的工程地质问题是软弱地基、边坡稳定性、路基冻胀等问题;地下工程常遇到的工程地质问题是围岩稳定、涌水、突泥、高地应力、岩爆、高地热和有害气体等问题;水利电力工程的工程地质问题则更为复杂多样,除有区域地壳稳定、坝基、边坡和地下洞室岩土体的稳定问题外,还有库坝区渗漏、水库淤积、滨库地区浸没、水库诱发地震等问题;在特殊土地区同样会遇到一些特殊的工程地质问题,如黄土的湿陷性、软土的高压缩低渗透性、膨胀土的胀缩性和强度衰减性、冻土的冻融性等。另外,还有环境工程地质问题,如大量抽取地下水、石油及天然气而造成大范围的地面沉降,采矿产生的废矿渣的不当处理等。

0.2.3 工程地质学的任务

工程地质学的任务就是为工程建设进行地质研究,提供工程规划、设计、施工所需的地质资料,解决工程上所遇到的各种地质问题,以保证建筑物的安全可靠、经济合理、运行正常,并尽可能减少地质环境的危害。

工程地质研究的基本任务,可归结为三方面:①区域稳定性研究与评价,是指由内力地质作用引起的断裂活动,地震对工程建设地区稳定性的影响;②地基稳定性研究与评价,是指地基的牢固、坚实性;③环境影响评价,是指人类工程活动对环境造成的影响。

工程地质学的具体任务是:①评价工程建设地区的工程地质条件,阐明工程建筑兴建和运行的有利和不利因素,选定建筑场地和适宜的建筑形式,保证规划、设计、施工、使用、维修顺利进行;②从地质条件与工程建筑相互作用的角度出发,预测和分析工程建设过程中及完成后工程地质条件可能产生的变化,亦即可能出现的工程地质问题及其发生的规模和发展趋势;③选择最佳工程场地,提出及建议改善、防治或利用有关工程地质条件的措施,加固岩土体和防治地下水的方案;④研究岩体、土体分类和分区及区域性特点;⑤研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用与影响。

0.2.4 工程地质学的研究方法

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。要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首先必须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,了解在历史过程中对它的影响和制约程度,这样才有可能认识它形成的原因和预测其发展趋势和变化,这就是地质分析法。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。从工程建筑物的设计和运用的要求来说光有定性的论证是不够的,还要求对一些工程地质问题进行定量预测和评价。在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,建立模型进行计算和预测,例如地基稳定性分析、地面沉降量计算、地震液化可能性计算等。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的问题进行定量预测,这就是采用类比法进行评价。采用定量分析方法论证地质问题时都需要采用试验测试方法,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、力学性质数据。通过长期观测来了解地质现象的发展速度也是常用的试验方法。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。

要完成工程地质学的具体任务,必须进行详细的工程地质勘察工作,以取得有关建筑场地的工程地质条件的基本资料,并进行工程地质论证。

0.3 工程地质学的主要内容及学习要求

本书着重介绍土木工程专业所涉及的工程地质学基本理论和基本知识,其主要内容包括:矿物与岩石、土的类型及特殊土、地质构造、地下水、地貌、常见地质灾害、工程中常见的地质问题、工程地质勘察等。不同的专业方向可根据需要选择有关章节学习。

工程地质学是土木工程、水利水电工程以及测绘工程等专业的一门专业基础课。课程特点是内容广、概念多、实践性强,学习中要注意弄清概念,掌握分析方法,避免死记硬背,理论联系实际,重在工程运用。

为了学好这门课程,应结合课堂教学学好有关矿物、岩石的实验课程,掌握常见矿物和岩石的肉眼鉴定方法;结合已有的地质图或工程进行具体分析,培养学生阅读地质图和分析地质条件的能力;安排短期的野外地质实习,以帮助学生了解岩土类别的野外鉴别方法、地质构造、地貌及常见地质灾害的野外识别,提高学生分析工程地质条件、处理工程地质问题的实践能力。积极采用多种教学方法,如标本、模型、图片等,配合有关地质科教片、幻灯片、多媒体等直观教学手段,增加学生的感性认识,帮助学生尽快建立起地质学的有关概念,提高学生对工程地质学的重视程度和学习兴趣。

作为一名本科生,在学习本课程后,应达到以下基本要求:

- (1) 能阅读一般地质资料,根据地质资料在野外能辨认常见的岩石和土,了解其主要的工程性质;
- (2) 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;
- (3) 重点掌握工程地质的基本理论和方法,根据工程地质勘察资料,在土木工程设计、施工和运营中能对一般的工程地质问题进行分析;
- (4) 一般地了解取得工程地质资料的工作方法、手段及成果要求,能把学到的工程地质学知识和专业知识紧密结合起来,应用于实际的工程设计与施工。

思考题

1. 工程地质学的定义是什么?
2. 工程地质学的研究对象是什么?
3. 什么是工程地质条件,有哪些要素?
4. 工程地质学的任务是什么?怎样实现工程地质学的任务?

1 矿物与岩石

1.1 地球的基本知识

地球是我们人类共同的家园。我们所从事的一切生产活动无不发生于地球；我们赖以生存、发展的各种资源和能源，也绝大部分取自于地球；我们所有的工程建筑也都修筑于地球的浅表层。例如，世界上最深的矿山——南非兰德矿山，深度为 3 600 m；世界上最深的钻井——俄罗斯科拉半岛超深钻井也只有 13 000 m。人类有关固体地球，特别是地球表层的认识和所能达到的深度是极其有限的，但对于我们的生存和生产生活却是至关重要的，因此，了解地球的基本物质组成、结构及性质具有十分重要的意义。

1.1.1 地球的形状和大小

地球是宇宙中绕着太阳旋转的椭圆形球体，根据卫星轨道分析发现，地球并不是标准的旋转椭球体，其外形呈梨形（图 1.1），赤道半径约 6 370 km，两极半径为 6 357 km。北极突出约 10 km，南极凹进约 30 km，中纬度在北半球凹进、在南半球凸出。地球表面形态是高低不平的，而且差距较大，大致可以划分为大陆和海洋两部分，海洋占地球表面的 70.8%。大陆平均高出海平面 0.86 km，海底平均低于海平面 3.8 km。其他有关地球的基本参数如表 1.1。

表 1.1 地球基本参数

参数项目	数值	单位	参数项目	数值	单位
地球平均半径	6 371	km	地球的平均密度	5.517	g/cm ³
赤道周长	40 075.24	km	大陆最高山峰（珠穆朗玛峰）	8 844.43	m
子午线周长	40 008.08	km	大陆平均高度	825	m
地球面积	$51\,000 \times 10^4$	km ²	海洋最深海沟（马里亚纳海沟）	-11 034	m
地球的体积	$10\,830 \times 10^8$	km ³	海洋平均深度	3 800	m
地球的质量	5.976×10^{27}	g	大陆和海洋的平均高度*	-2 488	m

注：*即全球表面无起伏，将被 2 448 m 厚的海水所覆盖。

1.1.2 地球的圈层结构

地球是一个由不同状态与不同物质的同心圈层所组成的球体，各圈层之间具有明显的物理化学性质和物质运动状态的差异。这些圈层可分成内部圈层与外部圈层，即内三圈与外三圈。其中外三圈包括大气、水圈和生物圈，内三圈包括地壳、地幔和地核。地球各圈层的质量及其所占地球总质量的比例见表 1.2。

表 1.2 地球各圈层质量及其占地球总质量的比例

圈层名称	质量 (t)	占地球总质量的比例 (%)	圈层名称	质量 (t)	占地球总质量的比例 (%)
大气圈	5×10^{15}	0.000 09	地壳	5×10^{19}	0.8
水圈	1.41×10^{18}	0.024	地幔	4.05×10^{21}	67.8
生物圈	大气圈质量的 1/300		地核	1.88×10^{21}	31.5

1.1.2.1 地球的内部圈层

地球并不是均匀的球体，地球物理学家研究大量地震波传播速度和方向的数据后发现，地球内部有两个波速变化最明显的界面（莫霍面与古登堡面）反映了该深度上下的地球物质在成分或形态上有明显改变。根据这两个界面把地球由地表向内依次划分为三个同心圆状的圈层，即地壳、地幔和地核，如图 1.2 所示。地球内部各圈层的物质运动及不同圈层之间的相互作用，是产生各种地质现象的内动力的源泉。

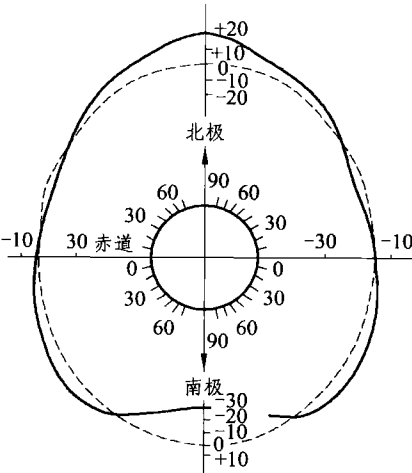


图 1.1 地球的形状

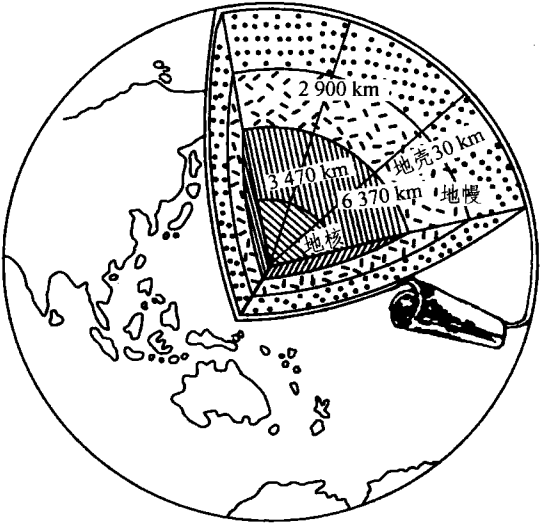


图 1.2 地球的圈层结构

地壳 地壳是固体地球最外面的一层硬壳，由硅酸盐类固体岩石组成，下界是莫霍面。地壳的厚度变化很大，大陆地壳平均厚度约 37 km，其中高山、高原区地壳厚度大，如青藏高原地壳最厚可达 70 km 以上，而海洋平均厚度仅 7 km 多。地壳的主要成分是硅铝层（花岗岩层）和硅镁层（玄武岩层）。

地幔 地幔是莫霍面以下介于地壳和地核之间的过渡层，厚度 2 900 km 以上，占地球体积的 83%。一般以 1 000 km 为界，把地幔分为上地幔和下地幔，其中，上地幔的地震波数值和在橄榄岩中实验所得的数值相似，所以也称橄榄岩层，又称榴辉岩层，呈熔融状态，可能是岩浆的发源地；下地幔由中等密度（密度一般在 5 g/cm³ 以上）的铁、镁的硅酸盐组成，化学成分目前认为仍然相当于镁铁的硅酸盐矿物，与上地幔没有太大的差别。

地核 地核以古登堡面与地幔分界，厚度 3 471 km，体积占地球的 16.2%。主要由比重较大的铁、镍组成，又称铁镍核心。据推测，地核物质非常致密，密度 9.7~13 g/cm³，压力可达 (3.0~3.6) × 10¹¹ Pa；温度为 3 000 °C，最高可能达 5 000 °C 或稍高。地核还可进一步划分为外

核和内核，外核与内核之间存在一个很薄的过渡层。其中外核厚度为 1 742 km，平均密度 10.4 g/cm^3 ，为液体圈；内核厚度约 1 200 km，平均密度为 12.9 g/cm^3 ，为固体圈。过渡层厚度只有 515 km，为液态向固体过渡的部分。

1.1.2.2 地球的外部圈层

地球的外部圈层分别为大气圈、水圈和生物圈。

大气圈 大气圈是包围着地球的气体，主要成分氮占 78.09%，氧占 20.95%，其他是氩（0.93%）、二氧化碳（0.03%）、水汽、稀有气体和尘埃等，约占 1%。大气圈的厚度在几万公里以上，由于受地心引力的吸引，以地球表面的大气圈最稠密，它提供生物需要的 CO_2 和 O_2 ，对地貌形态变化起着极大的影响，向外逐渐稀薄，过渡为宇宙气体，所以大气圈没有明确的上界。

水圈 水圈主要是呈液态及部分呈固态出现的。它包括海洋、江河、湖泊、冰川、地下水等，形成一个连续而不规则的圈层。其中海水占 97.2%，陆地水（包括江河、湖泊、冰川、地下水）只占 2.8%；而在陆地水中冰川占水圈总质量的 2.2%，所以其他陆地水所占比重是很微小的。水在运动的过程中与地表岩石相互作用，作为一种最活跃的地质营力促进各种地质现象的发育。

生物圈 生物圈是地球表面有生物存在并受生物活动影响的圈层，是地球上生物（包括动植物和微生物）生存和活动的范围，从 3 km 深的地壳深处和深海底至 10 km 的高空均有生物存在，它渗透在水圈、大气圈下层和地壳表层的范围之中。生物通过新陈代谢方式，形成一系列生物地质作用，从而改变地表的物质成分和结构，是改造地表的主要动力之一。

1.1.3 地壳的化学成分

地壳是由岩石组成的，岩石是由矿物组成的，矿物则是由各种化合物或化学元素组成的。组成地壳的最主要的元素是氧、硅、铝，其次是铁、钙、钠、钾、镁、钛、氢。这十种元素共占地壳元素总重量的 99%，其中硅、氧、铝三种元素就占了地壳元素重量的 83% 左右。大多数元素以化合物状态存在，少数以单一元素状态存在。不同学者得出的地壳中主要元素的平均质量百分含量如表 1.3 所示。可见，虽然不同化学元素占地壳质量百分比的数值略有差异，但整体分布规律是一致的，即其中的 O、Si、Al 为分布最多的三种元素。

表 1.3 地壳中主要元素的平均质量百分含量（%）

化学元素	据克拉克和华盛顿 (1924)	据菲尔曼斯 (1933—1939)	据诺维格拉多夫 (1962)	据泰勒 (1964)	据夏邦栋 (1995)	据 A. Ф. 亚库绍娃等 (1995)
O	49.52	49.13	47.00	46.40	46.95	46.50
Si	25.75	26.00	29.00	28.15	27.88	25.70
Al	7.51	7.45	8.05	8.23	8.13	7.56
Fe	4.70	4.20	4.65	4.63	5.17	6.24
Ca	3.29	3.25	2.96	4.15	3.65	5.79
Na	2.64	2.40	2.50	2.36	2.78	1.81
K	2.40	2.35	2.50	2.09	2.68	1.34
Mg	1.94	2.25	1.87	2.33	2.06	3.23
H	0.88	1.00	—	—	0.14	0.16
Ti	0.58	0.61	0.45	0.57	0.62	0.52
P	0.12	0.12	0.093	0.105	—	—
C	0.087	0.35	0.023	0.02	—	0.46
Mn	0.08	0.10	0.10	0.095	—	0.12

1.2 主要造岩矿物

矿物是天然产出的,具有一定的化学成分和物理性质的物质,是组成地壳的基本物质单位。有的矿物是由一种元素组成的,如自然金、自然铜、金刚石等;有的矿物是由两种或两种以上的元素组成的,如岩盐、方解石、石膏等。各种矿物都有一定的化学成分和物理性质,例如石英是由硅和氧组成的透明或半透明的矿物,硬度较大,常呈柱状、锥状晶体;食盐是由氯和钠组成的,它是无色透明的四方颗粒。也有些矿物,化学成分相同,由于内部原子排列不相同,形成了性质完全不同的矿物。例如金刚石和石墨,化学成分都是碳,但两者的性质截然相反:金刚石是最硬的透明的矿物,石墨则是非常软的不透明的矿物。因而为了区别不同的矿物,就必须了解矿物的类型、形态及其物理力学性质。

组成地壳的岩石按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。岩石是矿物的集合体,要认识岩石必须首先认识矿物。自然界中已发现的矿物种类有 3 800 多种(不包括亚种),在岩石中经常见到,明显影响岩石性质,对鉴定和区别岩石种类起重要作用的矿物称为主要造岩矿物。自然界的主要造岩矿物大约有 20 多种。

1.2.1 矿物的分类

固体矿物按其内部构造可分为结晶质矿物和非晶质矿物。

1. 结晶质矿物

结晶质矿物是指不仅具有一定的化学成分,而且组成矿物的质点(原子、分子和离子)在三维空间呈有规律的周期性重复排列,形成稳定的空间结晶格子构造。结晶质矿物在生长过程中,若无外界条件限制,则可以生成被若干天然平面所包围的固定的几何形态,使其表现出规则的几何外形,这就是矿物固有的形态特征。矿物的这种具有规则外形的特征成为鉴定矿物的重要方法。

具有一定的结晶构造和一定的几何外形的固体称为晶体。如岩盐,具有由钠离子和氯离子在三维空间作等距离排列的格子构造,其外表形态为立方体(图 1.3)。

在结晶质矿物中,还可根据肉眼能否分辨晶体颗粒的边界而分为显晶质和隐晶质两类。若矿物晶粒可通过肉眼或放大镜辨别,则为显晶质矿物;若矿物颗粒非常细小,用肉眼或放大镜都不能分辨,需在显微镜下才能辨别的为隐晶质矿物。

2. 非晶质矿物

非晶质矿物的内部质点在三维空间的排列没有一定的规律性,杂乱无章,故其外表就为不规则的几何形态,如蛋白石、褐铁矿等。非晶质矿物又可分为玻璃质和胶体质两类。

造岩矿物大多数是结晶质的,有的非晶质矿物随时间增长可转化为结晶质矿物。

1.2.2 矿物的形态

矿物的形态主要受本身的内部结构和形成时外在环境的制约,可分为矿物单体形态和矿物集合体形态。

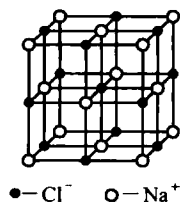


图 1.3 岩盐的晶格构造

1.2.2.1 矿物的单体形态

常见的单晶体矿物形态有：

- (1) 片状、鳞片状，如绿泥石、白云母等，见图 1.4；
- (2) 板状，如斜长石、板状石膏等；
- (3) 柱状，如长柱状的角闪石和短柱状的辉石等；
- (4) 立方体状，如岩盐、方铅矿、黄铁矿等，见图 1.5；

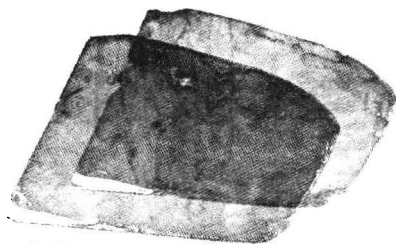


图 1.4 白云母

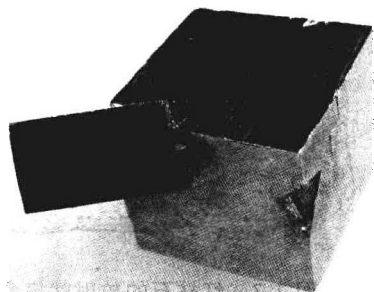


图 1.5 黄铁矿

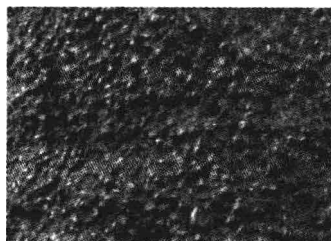
- (5) 菱面体状，如方解石等；
 - (6) 菱形十二面体状，如石榴子石等。
- 另外，还有多面体状和针状等形态。

1.2.2.2 矿物集合体形态

自然界的矿物很少呈单体形态出现，绝大多数呈集合体形态，常见的集合体形态有：

(1) 粒状、块状、土状 矿物晶体在空间三维方向上接近等长的他形集合体。当颗粒边界较明显时称粒状，如橄榄石；若肉眼不易分辨颗粒边界，致密者称为块状，如石英、蛋白石等；疏松的块状可称土状，如高岭石等。

(2) 鲕状、豆状、葡萄状、肾状 矿物集合体呈同心构造的球形。像鱼卵大小的称鲕状，如鲕状赤铁矿，见图 1.6 (a)；近似黄豆大小的称豆状，如豆状赤铁矿，见图 1.6 (b)；不规则的球形体可称为葡萄状或肾状，如肾状赤铁矿，见图 1.6 (c)。



(a) 鲕状赤铁矿



(b) 豆状赤铁矿



(c) 肾状赤铁矿

图 1.6 赤铁矿的形态

(3) 纤维状和放射状 由针状或柱状矿物集合而成，如红柱石的放射状集合体 (图 1.7)。

(4) 钟乳状 由溶液失水凝聚而成，往往具有同心层状构造，如方解石的钟乳集合体 (图 1.8)。

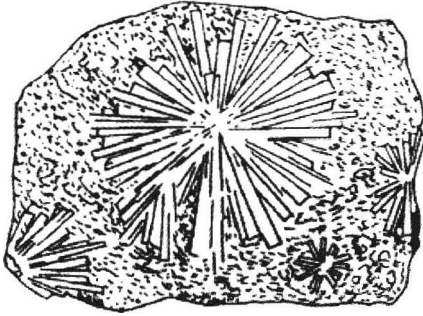


图 1.7 红柱石的放射状集合体



图 1.8 方解石的钟乳状集合体

1.2.3 矿物的光学性质

矿物的光学性质是指矿物对自然光的吸收、反射和折射等所表现出来的各种特征，主要包括颜色、条痕、光泽和透明度等特征。

1. 颜色

矿物的颜色是由矿物的化学成分和内部结构决定的，矿物五彩缤纷的颜色是其明显的鉴定特征。很多矿物的名称就是因其具有特殊的颜色而得名的，如孔雀石（翠绿色）、黄铜矿（铜黄色）、赤铁矿（红色，又名红铁矿）等。同一矿物可以表现出不同的颜色，其颜色的变化通常是由于矿物中掺杂了对矿物基本特征没有影响的少量的化学杂质而造成的。当纯净矿物为浅色或无色时，颜色变种现象就比较普遍。例如，石英矿物，纯净时无色，当石英中掺有不同的杂质时会呈现出不同的颜色，如粉色、金黄色、烟棕色、紫色和常见的乳白色等。很明显，石英并不能仅依据它自身的颜色来鉴别。

根据矿物颜色产生的原因，可分为自色、他色和假色三种。

（1）自色：矿物自身所固有的颜色。自色产生的原因，主要与矿物成分中某些有色离子的存在有关。如 Fe^{3+} 使赤铁矿呈樱红色， Fe^{2+} 使普通角闪石、绿泥石呈暗绿色等。

（2）他色：矿物因含外来带色杂质而引起的颜色。如石英的异常色彩等。

（3）假色：由某些物理化学因素引起的呈色现象。如黄铁矿表面因氧化引起的锈色（蓝紫混杂的斑驳色彩）。

需要强调的是，矿物颜色的鉴别是指矿物新鲜表面上的颜色。

2. 条痕

矿物的条痕指矿物在白色粗糙瓷板上刻划时遗留在瓷板的矿物粉末颜色。对某一矿物来说，条痕的颜色是唯一的，如赤铁矿颜色很多，有红色、钢灰色、铁黑色等多种颜色，但条痕总是樱红色，因而条痕成为鉴定矿物的一个很重要的特征。但大多数浅色矿物的条痕是无色或浅色的，条痕对浅色矿物鉴别的意义不大。某些深色矿物的条痕与颜色相同，这些矿物的条痕对鉴别矿物意义也不大。只有矿物的条痕与其颜色不同的某些深色矿物才是有用的鉴别矿物的特征。

例如，角闪石呈黑绿色，条痕为淡绿色；辉石为黑色，条痕为浅绿色；黄铁矿为铜黄色，条痕为黑色等。

3. 光泽

矿物的光泽是指矿物新鲜表面对光的反射能力。根据反射光由强到弱的次序可分为：

(1) 金属光泽 反射强烈，类似小刀、金、银的反光，例如自然铜、方铅矿、黄铁矿等。

(2) 半金属光泽 反光较强，但较金属光泽稍弱，有点类似没有磨光的金属器皿的反光，如辰砂、黑钨矿、赤铁矿等。

(3) 非金属光泽 矿物表面的反光能力较弱，是大多数非金属矿物如石英、滑石等所固有的光泽。常见的非金属光泽有：

① 金刚光泽 是非金属矿物具有的最强光泽，光耀夺目，像金刚石状光亮，如金刚石、锡石、浅色闪锌矿等。

② 玻璃光泽 反光较弱，像玻璃表面的光泽，自然界多数矿物是玻璃光泽，如水晶、正长石、冰洲石等。

③ 油脂光泽 在不平坦的断口上所呈现的像板油那样的光亮，如石英的断口上的光泽。

④ 珍珠光泽 片状矿物集合体或片状解理发育时所呈现的光泽，像珍珠一样反光，如云母解理面上的光泽。

⑤ 丝绸光泽 纤维状矿物集合体表面像丝绸一样反光，如石膏、绢云母等。

⑥ 土状光泽 矿物表面粗糙，光泽暗淡，像土块一样，如高岭石等。

4. 透明度

矿物的透明度是指矿物能够透光的能力。根据矿物透过光线的能力，可分为三级：透明的、半透明的和不透明的。例如：纯净的石英单晶体和纯净方解石组成的冰洲石为透明矿物；多数造岩矿物为半透明矿物，如一般石英集合体、滑石等；金属矿物则为不透明矿物，如黄铁矿、方铅矿、磁铁矿等。

颜色、条痕、光泽和透明度都是矿物的光学性质，是由于矿物对光线的吸收、折射和反射所引起的，它们之间存在着一定的联系（表 1.4）。例如，颜色和透明度以及光泽和透明度之间都有相互消长的关系。矿物的颜色越深，说明它对光线的吸收能力越强，光线也就越不容易透过矿物，透明度也就越差。同理，矿物的光泽越强，说明投射于矿物表面的光线大部分被反射了，于是通过折射而进入矿物内部的光线也就越少，透明度也就越差。

表 1.4 矿物颜色、条痕、光泽和透明度的关系简表

颜色	无色	浅色	彩色	黑色或金属色（部分硅酸盐矿物除外）
条痕	白色或无色	浅色或无色	浅色或彩色	黑色或金属色
光泽	玻璃	金刚	半金属	金属
透明度	透明		半透明	不透明

1.2.4 矿物的力学性质

矿物的力学性质是指矿物在外力（敲打、刻划、拉压等）作用下表现出来的各种物理性质。包括硬度、解理（劈开）和断口等。其中硬度和解理在矿物鉴定方面最有意义。

1. 硬度

矿物的硬度是指矿物抵抗外力摩擦和刻划的能力，通常是指矿物的相对软硬的程度。在矿