



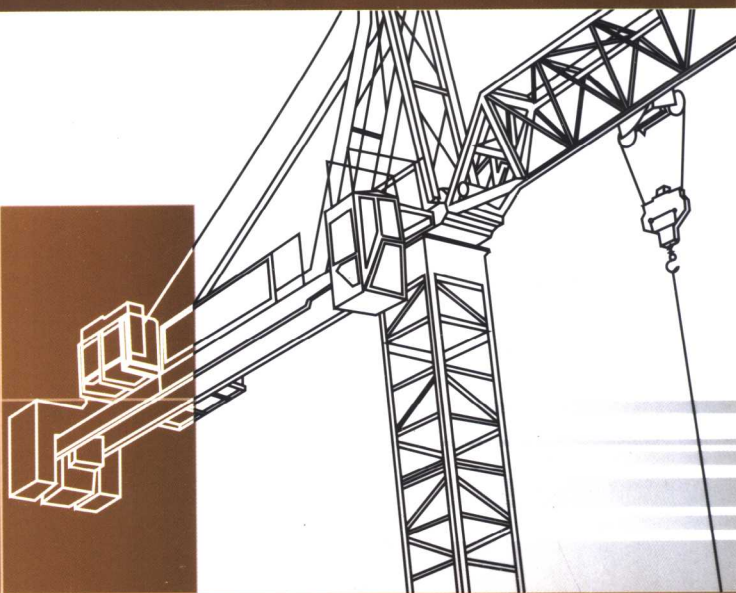
21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科

土木建筑系列

实用规划教材



工程地质

主 编 何培玲 张 婷
副主编 邓友生 孔思丽
主 审 杨 平



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

工 程 地 质

主 编	何培玲	张 婷	
副主编	邓友生	孔思丽	
参 编	谢焱石	毕忠伟	温进芳
主 审	杨 平		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

《工程地质》是土木工程专业的主要专业课程。本教材针对应用型本科的培养目标和基本要求,加强针对性,突出应用性和实用性,力求理论概念清晰,简明扼要,以工程地质的基础知识和基本原理为依据,重点介绍各类工程地质条件和问题以及工程地质分析评价方法,突出并充实与工程实践紧密相连的工程地质勘察等实用性内容,注意解决各类建设工程中与岩土介质有关的工程地质问题,使工程地质成为为实现某项工程目的服务而进行的必要的系统性工作之一,教材编写过程中最大限度地反映新技术在地质研究中的应用。

全书共7章,内容包括:绪论,矿物与岩石,第四纪地质与土的工程地质性质,地质构造,地下水,动力地质作用及其工程地质问题,工程地质勘察,岩土工程稳定性评价等。

为方便学习,每章均编有教学要求及教学提示、本章小结、思考题。

本书可作为土木工程专业及相关专业的教学用书,并可供土建工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质/何培玲,张婷主编. —北京:北京大学出版社,2006

(21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10517-7

I. 工… II. ①何… ②张… III. 工程地质—高等学校—教材 IV. P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第005883号

书 名: 工程地质

著作责任者: 何培玲 张 婷 主编

策划编辑: 吴 迪 李昱涛

责任编辑: 吴 迪

标准书号: ISBN 7-301-10517-7/TU · 0035

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

电子信箱: pup_6@163.com

排 版 者: 北京东方人华北大彩印中心 电话: 62754190

印 刷 者: 北京原创阳光印业有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 14.5印张 327千字

2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

定 价: 20.00元

《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 彭少民

副主任 (按拼音顺序排名)

陈伯望 金康宁 李 忱 李 杰

罗迎社 彭 刚 许成祥 杨 勤

俞 晓 袁海庆 周先雁

委 员 (按拼音顺序排名)

邓寿昌 付晓灵 何放龙 何培玲

李晓目 李学罡 刘 杰 刘建军

刘文生 罗 章 石建军 许 明

严 兵 张泽平 张仲先

丛书总序

我国高等教育发展迅速，全日制高等学校每年招生人数至 2004 年已达到 420 万人，毛入学率 19%，步入国际公认的高等教育“大众化”阶段。面临这大规模的扩招，教育事业的发展与改革坚持以人为本的两个主体：一是学生，一是教师。教学质量的提高是在这两个主体上的反映，教材则是两个主体的媒介，属于教学的载体。

教育部曾在第三次新建本科院校教学工作研讨会上指出：“一些高校办学定位不明，盲目追求上层次、上规格，导致人才培养规格盲目拔高，培养模式趋同。高校学生中‘升本热’、‘考硕热’、‘考博热’持续升温，应试学习倾向仍然比较普遍，导致各层次人才培养目标难于全面实现，大学生知识结构不够合理，动手能力弱，实际工作能力不强。”而作为知识传承载体的教材，在高等教育的发展过程中起着至关重要的作用，但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐，许多应用型本科院校一直沿用偏重于研究型的教材，缺乏针对性强的实用教材。

近年来，我国房地产行业已经成为国民经济的支柱产业之一，随着本世纪我国城市化的大趋势，土木建筑行业对实用型人才的需求还将持续增加。为了满足相关应用型本科院校培养应用型人才的教学需求，从 2004 年 10 月北京大学出版社第六事业部就开始策划本套丛书，并派出 10 多位编辑分赴全国近 30 个省份调研了二百多所院校的课程改革与教材建设的情况。在此基础上，规划出了涵盖“大土建”六个专业——土木工程、工程管理、建筑学、城市规划、给排水、建筑环境与设备工程的基础课程及专业主干课程的系列教材。通过 2005 年 1 月份在湖南大学的组稿会和 2005 年 4 月份在三峡大学的审纲会，在来自全国各地几十所高校的知名专家、教授的共同努力下，不但成立了本丛书的编审委员会，还规划出了首批包括土木工程、工程管理及建筑环境与设备工程等专业方向的 40 多个选题，再经过各位主编老师和参编老师的艰苦努力，并在北京大学出版社各级领导的关心和第六事业部的各位编辑辛勤劳动下，首批教材终于 2006 年春季学期前夕陆续出版发行了。

在首批教材的编写出版过程中，得到了越来越多的来自全国各地相关兄弟院校的领导和专家的大力支持。于是，在顺利运作第一批土建教材的鼓舞下，北京大学出版社联合全国七十多家开设有土木建筑相关专业的高校，于 2005 年 11 月 26 日在长沙中南林学院召开了《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》（第二批）组稿会，规划了①建筑学专业；②城市规划专业；③建筑环境与设备工程专业；④给排水工程专业；⑤土木工程专业道路、桥梁、地下、岩土、矿山课群组近 60 多个选题。至此，北京大学出版社规划的“大土木建筑系列教材”已经涵盖了“大土建”的 6 个专业，是近年来全国高等教育出版界唯一一套完全覆盖“大土建”六个专业方向的系列教材，并将于 2007 年全部出版发行。

我国高等学校土木建筑专业的教育，在国家教育部和建设部的指导下，经土木建筑专业指导委员会六年来的研讨，已经形成了宽口径“大土建”的专业发展模式，明确了土木建筑专业教育的培养目标、培养方案和毕业生基本规格，从宽口径的视角，要求毕业生能从事土木工程的设计、施工与管理工作。业务范围涉及房屋建筑、隧道与地下建筑、公路

与城市道路、铁道工程与桥梁、矿山建筑等，并且制定一整套课程教学大纲。本系列教材就是根据最新的培养方案和课程教学大纲，由一批长期在教学第一线从事教学并有多年工程经验和丰富教学经验的教师担任主编，以定位“应用型人才培养”为目标而编撰，具有以下特点：

(1) 按照宽口径土木工程专业培养方案，注重提高学生综合素质和创新能力，注重加强学生专业基础知识和优化基本理论知识结构，不刻意追求理论研究型教材深度，内容取舍少而精，向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展。

(2) 在理解土木工程相关学科的基础上，深入研究各课程之间的相互关系，各课程教材既要反映本学科发展水平，保证教材自身体系的完整性，又要尽量避免内容的重复。

(3) 培养学生，单靠专门的设计技巧训练和运用现成的方法，要取得专门实践的成功是不够的，因为这些方法随科学技术的发展经常在改变。为了了解并和这些迅速发展的方法同步，教材的编撰侧重培养学生透彻理解教材中的基本理论、基本特性和性能，又同时熟悉现行设计方法的理论依据和工程背景，以不变应万变，这是本系列教材力图涵盖的两个方面。

(4) 我国颁发的现行有关土木工程类的规范及规程，系 1999~2002 年完成的修订，内容有较大的取舍和更新，反映了我国土木工程设计与施工技术的发展。作为应用型教材，为培养学生毕业后获得注册执业资格，在内容上涉及不少相关规范条文和算例。但并不是规范条文的释义。

(5) 当代土木工程设计，越来越多地使用计算机程序或采用通用性的商业软件，有些结构特殊要求，则由工程师自行编写程序。本系列的相关工程结构课程的教材中，在阐述真实结构、简化计算模型、数学表达式之间的关系的基础上，给出了设计方法的详细步骤，这些步骤均可容易地转换成工程结构的流程图，有助于培养学生编写计算机程序。

(6) 按照科学发展观，从可持续发展的观念，根据课程特点，反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺，以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容，尽最大可能在教材中增加了这方面的信息量。同时考虑开发音像、电子、网络等多媒体教学形式，以提高教学效果和效率。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

本系列教材配套的 PPT 电子教案在出版社相关网站上提供下载。

《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 1 月

前 言

本书系《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》。

编写本书的指导思想是为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要，满足我国高等教育从精英教育向大众化教育转轨过程中社会对应用型人才的需求，采用理论、实践、应用三结合的教材编写理念，重视应用能力和创造性思维能力的培养和提高。

本教材是根据 2002 年高等学校土木工程专业指导委员会为土木工程专业教学制定的“高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲”对该门课程的教学基本要求和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)及《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—1985)进行编写的。

教材注重以教学为主，内容少而精；突出重点、讲清难点；在阐述基本原理和概念的基础上，结合规范和工程实际，体现国内外先进的科学技术成果。

本书按 32 学时的教学内容编写，各章建议的分配学时为：绪论及第 1 章，4 学时；第 2 章，4 学时；第 3 章，6 学时；第 4 章，4 学时；第 5 章，6 学时；第 6 章，4 学时；第 7 章，4 学时。

参加本书编写的有南京工程学院何培玲(绪论)，南华大学谢焱石、毕忠伟(第 1 章)，石家庄铁道学院温进芳(第 2 章)，南京林业大学张婷(第 3 章)，南华大学谢焱石、毕忠伟(第 4 章)，贵州工业大学孔思丽(第 5 章)，武汉工业学院邓友生(第 6 章)，南京林业大学张婷(第 7 章)。全书由何培玲、张婷统稿，由南京林业大学杨平教授主审。

由于我们水平所限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，欢迎老师、学生及各界人士批评指正。

编 者

2005 年 9 月

目 录

绪论.....	1	第 3 章 地质构造.....	57
第 1 章 矿物与岩石.....	3	3.1 岩层产状.....	57
1.1 地壳与地质作用.....	3	3.1.1 水平岩层和倾斜岩层	57
1.1.1 地壳.....	3	3.1.2 岩层产状	60
1.1.2 地质作用.....	7	3.1.3 地层接触关系	62
1.2 矿物.....	9	3.2 褶皱构造.....	65
1.2.1 矿物的形态.....	10	3.2.1 褶皱要素	66
1.2.2 矿物的物理性质.....	11	3.2.2 褶皱分类	67
1.2.3 常见矿物.....	12	3.2.3 褶皱的野外识别	71
1.3 岩石.....	14	3.2.4 褶皱构造的工程地质评价	72
1.3.1 岩浆岩.....	14	3.3 断裂构造.....	73
1.3.2 沉积岩.....	17	3.3.1 节理	73
1.3.3 变质岩.....	20	3.3.2 断层	77
1.4 本章小结.....	23	3.3.3 断裂构造的工程地质评价	81
1.5 思考题.....	24	3.4 地质图.....	82
第 2 章 第四纪地质与土的 工程地质性质	25	3.4.1 地质图的种类	83
2.1 地质年代.....	25	3.4.2 地质图的比例尺、图例	84
2.1.1 相对年代与绝对年代.....	25	3.4.3 读图步骤与要求	86
2.1.2 地质年代表.....	29	3.5 本章小结.....	87
2.2 第四纪地质.....	30	3.6 思考题.....	88
2.2.1 第四纪地质一般特性.....	31	第 4 章 地下水	89
2.2.2 第四纪松散沉积物.....	32	4.1 岩石中的空隙与岩石的水理性质.....	89
2.3 土的工程地质性质.....	36	4.1.1 岩石中的空隙	89
2.3.1 土的成分与结构构造.....	36	4.1.2 岩石的水理性质	90
2.3.2 土的物理力学性质.....	38	4.1.3 地下水的物理性质与 化学成分	92
2.3.3 土的分类.....	39	4.2 地下水的类型.....	93
2.3.4 我国主要特殊土的 工程地质特征.....	42	4.2.1 含水层、隔水层与滞水层	93
2.4 本章小结.....	55	4.2.2 地下水的埋藏类型	93
2.5 思考题.....	56	4.2.3 孔隙水、裂隙水和岩溶水	96
		4.3 地下水的补给、径流与排泄.....	98
		4.3.1 地下水的循环与运动	98
		4.3.2 地下水运动的基本定律	99

4.4 地下水对建筑工程的影响.....	101	6.1.2 工程地质勘察阶段	154
4.4.1 地基沉降.....	101	6.1.3 工程地质测绘	155
4.4.2 流砂.....	102	6.1.4 工程地质勘探	157
4.4.3 潜蚀.....	102	6.1.5 岩土测试	159
4.4.4 地下水的浮托作用.....	102	6.1.6 现场监测	163
4.4.5 基坑突涌.....	103	6.2 工程地质勘察报告书和图件.....	164
4.5 本章小结.....	103	6.2.1 工程地质勘察报告书	164
4.6 思考题.....	104	6.2.2 工程地质图件	165
第5章 动力地质作用及其		6.3 工业与民用建筑的工程地质勘察.....	166
工程地质问题	105	6.3.1 工业与民用建筑的主要	
5.1 风化作用.....	105	工程地质问题	166
5.1.1 风化作用的类型.....	105	6.3.2 工业与民用建筑的	
5.1.2 影响风化作用的因素.....	108	勘察要点	169
5.1.3 岩石风化的勘查评价		6.3.3 高层与超高层建筑的	
与防治.....	109	主要工程地质问题	171
5.2 河流地质作用.....	110	6.3.4 高层与超高层建筑的工程	
5.2.1 河谷要素、流水的动能.....	110	地质勘察要点	173
5.2.2 河流的侵蚀、搬运与		6.4 道路工程的工程地质勘察.....	174
沉积作用.....	111	6.4.1 道路工程地质问题	175
5.2.3 河谷的类型与阶地.....	114	6.4.2 道路工程地质勘察要点	176
5.2.4 河流侵蚀、淤积作用		6.5 桥梁工程的工程地质勘察.....	177
的防治.....	116	6.5.1 桥梁工程地质问题	178
5.3 岩溶作用.....	118	6.5.2 桥梁的工程地质勘察要点	178
5.4 滑坡、崩塌、泥石流.....	122	6.6 地下工程的工程地质勘察.....	179
5.4.1 滑坡.....	122	6.6.1 地下工程的主要工程地质	
5.4.2 崩塌.....	129	问题	179
5.4.3 泥石流.....	130	6.6.2 地下工程位置的选择	180
5.5 地震.....	135	6.6.3 地下工程地质勘察要点	181
5.5.1 地震的基本概念.....	135	6.7 本章小结.....	182
5.5.2 地震波、地震震级与		6.8 思考题.....	183
地震烈度.....	138	第7章 岩土工程稳定性评价	184
5.6 本章小结.....	151	7.1 地基稳定性评价处理.....	184
5.7 思考题.....	151	7.1.1 土基稳定性评价及处理	185
第6章 工程地质勘察	153	7.1.2 岩基稳定性评价及处理	191
6.1 工程地质勘察的任务和方法.....	153	7.2 基坑稳定性评价.....	194
6.1.1 工程地质勘察目的和		7.2.1 基坑工程的稳定性评价	195
方法简述.....	153	7.2.2 基坑支护	201
		7.2.3 基坑治水	205

7.3 地下洞室围岩稳定性评价.....	207	7.4 本章小结.....	215
7.3.1 地下洞室围岩变形破坏形式..	207	7.5 思考题.....	215
7.3.2 地下洞室围岩稳定性评价.....	211	参考文献.....	216
7.3.3 处理措施.....	214		

绪 论

中国地域广大、资源丰富。不仅有地球上最古老和最年轻的造山带、独特的盆地构造、巨大面积的花岗岩、丰富的能源矿产，还有全球面积最大的西北黄土高原、世界罕见的大别山高压-超高压变质带、全球最典型的云南早寒武世密集生物群。这些都是开展我国地质学研究的特有资源优势。

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学，属地质学范畴。把地质科学的基础知识应用到工程实践中，通过勘察手段获得各种地质数据，为各类工程建筑的规划、设计、施工提供科学依据，从而在安全、质量及功能方面保证工程建筑在安全可靠、保质保量的前提下顺利运行。

地质环境和各种建筑物之间存在一定的相互关联和制约关系，环境对建筑物的制约影响其安全稳定和正常使用，建筑物又改变了环境的初始平衡，使其发生各种变化甚至恶化。工程地质条件是与工程建筑有关的地质因素，包括地形地貌条件、岩土类型及其工程地质性质、地质构造、水文地质条件、物理(自然)地质作用与现象、天然建筑材料等。工程地质问题指工程地质条件不能完全满足在该地进行建筑的要求，以致在建筑物的稳定、经济或正常使用方面发生的问题或存在的缺陷。在地质环境与建设的矛盾关系中，工程地质条件的不利因素对工程建筑的规模和类型起着控制作用。

在人与自然和谐发展的今天，工程地质学主要在研究地质环境对人类工程活动制约的基础上，重点研究人类工程活动对地质环境的影响效应，进而评价、预测、控制并规范人类工程活动行为，提高地质环境质量，减轻灾害对人类的威胁，从而保持社会经济的可持续发展。工程地质学的蓬勃发展建立在众多工程实践的基础上，与现代科学技术的发展和相关学科交叉与渗透。未来的工程地质学，在保持人类文明和社会经济的可持续性发展方面必将做出新的贡献，在理论研究和实践应用方面必将出现新的突破。

工程地质学研究的领域很广，研究内容十分复杂，涉及的学科较多，目前已成为一门以地质学为基础的综合性科学。本书内容分为地质学基础、地下水以及工程地质三大部分。

地质学基础部分主要研究地球的组成、构造、发展历史和演变规律。地壳是地球外部由固体岩层所构成的外壳，而岩石是构成整个地壳的基本物质，目前工程建设所处的地层是岩石经过各种地质作用转化而来的，因此学习地球的地质性质、地质构造、动力地质作用及相关的工程地质知识，对于掌握《工程地质》课的理论显得尤为重要。

地下水是指埋藏在地面以下、存在于岩石和土壤的孔隙中可以流动的水体，分布广泛，水量也较稳定，是工农业和生活用水的重要水源之一。地下水环境是地质环境的一个重要组成部分，而且是参与大气圈、水圈、生物圈、岩石圈运动的最为活跃、敏感性强的一个实体。在地质环境的演化中，自然演变与人类活动的综合作用使地下水产生剧烈的环境效应。本课程中地下水部分主要介绍了岩石中的空隙与岩石的水理性质、地下水的类型、地下水的补给、径流与排泄、地下水对建筑工程的影响。

工程地质部分由工程地质勘察及岩土工程稳定性评价两大部分内容组成。工程地质勘

察主要介绍工程地质勘察的目的、任务和方法,了解工程地质报告中应包括的主要内容。通过学习本部分内容,使学生能阅读一般的工程地质报告。此外,通过学习本书中工业与民用建筑、道路、桥梁工程以及地下工程中的工程地质勘察方法,岩土工程稳定性评价方法从各个方面分别介绍地基、基坑与地下洞室围岩稳定性评价方法与影响因素,使学生达到全面掌握《工程地质》课程的理论知识和学会应用于实践的正确方法。

本课程是一门实践性很强的课程。要求学生掌握矿物与岩石的基本性质、建立起对工程岩体的初步概念;系统掌握工程地质的基本理论和知识,能正确运用勘察数据和资料进行设计与施工;了解工程地质勘察的基本内容、方法和过程,各个工程地质数据的来源、作用以及应用条件,能对建筑物地区的工程地质进行勘察工作,能根据工程地质的勘察成果,运用自己已经学过的工程地质理论和知识,进行一般的工程地质问题分析及对不良地质现象采取处理措施;把学到的工程地质知识与专业知识和其他课程知识密切联系起来,能独立解决实际工程中的工程地质问题。

随着大规模工程建设的发展,工程地质的研究领域日益扩大,除了岩土学和工程动力地质学、专门工程地质学和区域工程地质学外,一些新的分支学科正在逐渐形成,如矿山工程地质学、海洋工程地质学等。建设环境的严峻给地质学理论研究提出了许多新的课题和更加广阔的空间;电子技术的应用使知识更新速度变快——如激光、遥感、数字系统、高分辨分析测量仪器已经逐渐应用到地质研究领域。

为了人类永久的梦想,为了更好地了解地球,为了更加方便地获取资源,保持人类的可持续发展,更是为了我们生活的地球更加清洁、安全与富有,我们有理由相信,在与地球和谐的相处中,人类会更加自觉地学习工程地质学这门科学,将之应用于实际,而工程地质学的发展也会进入一个更加光辉的时代。

第1章 矿物与岩石

教学提示：人类的衣、食、住、行等各个方面都离不开矿物。工程建设所需要的各种材料、随身佩带的宝石、日常食用的食盐、都来自于矿物；地壳中矿物的分布更是非常广泛：如沙中的金、河流及湖海中的水和冰、盐湖中的盐、花岗岩中的石英、长石和云母等都是矿物。岩石是稳定外形的一种或几种矿物的固态集合体，虽然岩石的外貌千变万化，但从成因上来讲，岩石仅包含三大类：沉积岩、岩浆岩和变质岩。

教学要求：通过本章学习，要求学生了解地壳的圈层结构、组成及动力地质作用，掌握矿物的基本概念、特性，常见矿物的识别，三大基本岩类的基本特征及其工程性质等。

土木工程与矿物岩石的关系十分密切，几乎所有的工程建设都离不开对岩石工程性质的了解，矿物岩石是人类从事工程建设的物质基础。影响岩石工程性质的主要因素是组成岩石的矿物成分及其结构、构造特征，因此掌握主要造岩矿物的工程地质性质对鉴别岩石类型以及了解其工程特性有重要意义。

1.1 地壳与地质作用

地质学是研究地球的一门学科，工程地质学是研究工程建设与地质环境相互关系的学科。以人类目前的技术水平，工程建设涉及的范围都只在地球表层：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——前苏联科拉半岛超深钻井也只有13 000 m。由此可见人类目前的工程活动都局限于地球内圈层最上的一个圈层——地壳。尽管如此，大多数的人类工程活动不可能达到地壳深处，仅仅是活动在地壳的表层。地壳表面起伏不平，有高山、丘陵、平原、湖盆地和海盆地等，这种千差万别、丰富多彩的地球外貌是在各种内外地质作用下，经过漫长的地质历史发展、演变而成的。

1.1.1 地壳

1. 地球圈层的划分

地球并不是均一的整体，通过地震波记录获得的地球物理资料揭示固体地球是由不同圈层构成的。一般的工程建设都局限于地球表层几十米以内，但是对地球各圈层的了解，有助于我们深入认识地球表层的形成与演化，从而更好地为工程建设服务。

地球的圈层包括外圈层和内圈层。地球的外圈层是指大气圈、水圈和生物圈。地球内圈层的划分相对外圈层要困难得多，了解地球的内部构造是一个非常困难的问题，关于地球内部物质与构造的判断只有依靠间接信息。最重要的间接信息是地震波在地球内部的传播速度，它不仅是划分地球内部圈层的基础，也是判断地球内部物质的密度、温度、熔点、压力等物理性质的重要依据。此外还可依靠陨石、地幔岩石学以及高温高压实验等提供的

间接信息推断地球内部的物质成分。图 1.1 给出了地震波在地球内部不同深度处的传播速度。波速的突变面称为波速不连续面或界面。

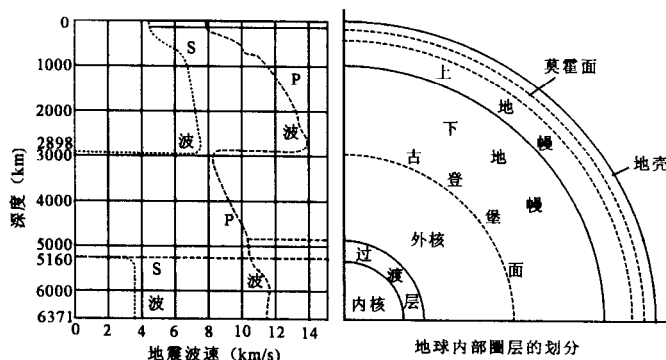


图 1.1 地震波在地球内部不同深度处的传播速度

从图上可以看出，在 33 km 和 2 900 km 处存在两个一级界面。第一个界面叫莫霍洛维奇面，简称莫霍面或 M 面，它是南斯拉夫学者 A·莫霍洛维奇于 1909 年首先发现的。在此界面附近，地震纵波波速 V_p 由 7.6 km/s 突然增至 8.1 km/s。第二个界面是美国学者古登堡(B.Gutenberg)于 1914 年发现的，称为古登堡面。在此界面处，S 波(横波)消失，P 波(纵波)速度突然由 13.64 km/s 下降到 8.1 km/s。这两个界面把地球内部分为三个主要圈层：地壳、地幔和地核。

大气圈 大气圈是地球的最外圈层，其上界可达 1800 km 或更高的空间。自地表到 10~17 km 的高空为对流层，所有的风、云、雨等天气现象均发生在这一层，它对地球上生物生长、发育和地貌的变化具有极大的影响。大气圈的主要成分是 N_2 (78%) 和 O_2 (21%)，其次是 Ar (0.93%)、 CO_2 (0.03%) 和水蒸气等。大气圈提供生物需要的 CO_2 和 O_2 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。约在 4 亿多年前，高空的臭氧层形成，遮挡了对生物有害的大量紫外线，为陆生植物的生长创造了有利条件。

水圈 水圈由地球表层分布于海洋和陆地上的水和冰所构成。水的总体积约为 14 亿 km^3 ，其中海洋水占总体积的 98%，陆地水只占 1.9%。可见，水在地表分布是很不均匀的，主要集中在海洋。水圈中各部分水的成分和物理性质有所不同，其成分除作为主体的水外，尚含有各种盐类。例如，海水含盐度高，平均为 35%，以氯化物(如 $NaCl$ 、 $MgCl_2$ 等)为主，陆地水含盐度低，平均小于 1%，以碳酸盐[如 $Ca(HCO_3)_2$]为主。水受太阳热的影响，可不停地循环。由于水的循环，形成了外力地质作用的动力，它们在运动过程中可不断产生动能，促进各种地质地貌的发育，并对土和岩石的工程性质产生极为重要的影响。

生物圈 地球生物存在于水圈、大气圈下层和地壳表层的范围之中。生物富集的化学元素主要是 H、O、C、N、Ca、K、Si、Mg、P、S、Al 等。生物圈的质量很小，有人估计相当于大气圈的 1/300，水圈的 1/7 000 或上部岩石圈的 1/1 000 000。但是，生物圈对于改变地球的地理环境却起着重要的作用。生物所生产的物质是人类的重要财富。

地壳 地壳是莫霍面以上部分，由固体岩石组成，厚度变化很大。大洋地壳较薄，仅有 5~10 km；大陆地壳的平均厚度是 35 km，在造山带和西藏高原处，其厚度达 50~70 km；整个地壳平均厚度为 16 km。地壳分上、下两层，上层为花岗岩层，又称硅铝层，是富含硅的岩浆岩；

下层为玄武岩层, 又称硅镁层, 是富含铁、镁的岩浆岩, 如大洋地壳广泛分布的玄武岩物质。地壳与地球半径相比仅 1/400, 是地球表层极薄的一层硬壳, 只有地球体积的 0.8%。

地幔 地幔是介于莫霍面与古登堡面之间的部分, 厚度约 2 800 km。根据地震波的变化情况, 以地下 1 000 km 激增带为界面, 又可把地幔分为上、下两层。上地幔从莫霍面至地下 1 000 km, 厚度 900 km, 主要是由超基性岩组成, 平均密度为 3.5 g/cm^3 , 温度达 $1\,200^\circ\text{C} \sim 2\,000^\circ\text{C}$, 压力达 0.4 GPa。下地幔从地下 1 000 km 至古登堡面, 厚度 1 900 km, 主要成分为硅酸盐、金属氧化物和硫化物, 铁、镍含量增加, 平均密度为 5.1 g/cm^3 , 温度达 $2\,000^\circ\text{C} \sim 2\,700^\circ\text{C}$, 压力达 150 GPa。

地核 自古登堡面至地心部分称为地核。地核又分内核、过渡层和外核, 厚度 3 471 km。地核主要是由含铁、镍量很高且成分很复杂的液体和固体物质组成, 密度约 13.0 g/cm^3 , 温度达 $3\,500^\circ\text{C} \sim 4\,000^\circ\text{C}$, 中心压力达 360 GPa。

2. 地壳

地壳的表面形态 地球表面明显地分为海洋和大陆两部分, 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 3.9 km。地壳表面起伏不平, 有高山、丘陵、平原、湖盆地和海盆地等。世界上最高的山峰为珠穆朗玛峰, 高 $8\,844.43 \text{ m}^{[1]}$; 最深的海沟为马里亚纳海沟, 深 11 022 m, 两者高差在 19 km 以上。

大陆上典型的地形单元为线状延伸的山脉和面状展布的平原、高原等。海拔高于 500 m, 地形起伏大于 200 m 的地区称为山地, 一般海拔 500 m~1 000 m 者为低山, 1 000 m~3 500 m 者为中山, 大于 3 500 m 者为高山。除个别孤立的火山外, 绝大多数山地呈线状延展, 称为山脉。山脉主要是地壳运动使地表隆起的结果, 是地壳活动性较大的地带, 现代活动性较强, 具有全球意义的山脉有两条: 一是安第斯山脉-科迪勒拉山系, 一是阿尔卑斯山脉-喜马拉雅山脉-横断山脉。平原是较大的平坦地区, 一般海拔小于 600 m, 地形起伏小于 50 m。大面积平坦地形的出现表示这一地区内部是比较稳定的。高原是海拔高于 600 m, 表面较平坦或有一定起伏的广阔地区, 它是近期地壳大面积整体隆起上升的结果。大陆上有一些宏伟的线状低地, 这些地带是地球表面的巨型裂隙, 地壳在这些地方被拉张而裂开, 称为裂谷或大陆裂谷系。最著名的东非大裂谷为一系列的湖泊和峡谷, 全长约 6 500 km。丘陵为有一定起伏的低矮地区, 一般海拔在 500 m 以下, 相对高差在 50 m~200 m 之间, 其特点介于山地和平原之间。四周是高原或山地, 中央低平的地区称为盆地, 大陆上有些盆地很低, 高程在海平面以下, 这样的盆地称为洼地, 如我国吐鲁番盆地中的艾丁湖, 水面在海平面以下 150 m, 称为克鲁沁洼地。

大量海洋考察证实, 海底与大陆一样具有广阔的平原、高峻的山脉和深陡的裂谷, 而且比大陆更为雄伟壮观, 如图 1.2 所示。



图 1.2 海底地形示意图

^[1] 据中国国家测绘局 2005 年 10 月公布数据, 珠穆朗玛峰峰顶岩石面高程为 8844.43 m, 测量精度 $\pm 0.21 \text{ m}$, 峰顶冰雪深度 3.50 m。

海底的山脉泛称海岭,其中那些现在经常有地震、正在活动的海岭称为洋脊或洋中脊。海底的长条形洼地,泛称海槽,其中较深且边坡较陡者称海沟。大洋盆地是海底的主体,约占海底面积的45%,由洋脊两侧向外展布,一般深4 000 m~5 000 m。大洋盆地比较平坦,有一些低缓起伏,分深海丘陵和深海平原两种单元。海洋中的岛屿有的是微型的大陆,如日本列岛;有的是被海水淹没的大陆露出水面的部分,如海南岛及许多大陆架上的岛屿;然而为数众多的还是大洋盆地中的火山岛,它们是大洋中的火山露出水面的部分。大洋中还有许多比较孤立的水下山丘,称为海山。海洋边部的浅海,是被海水覆盖的大陆,这一部分海底称为大陆边缘。大陆边缘占海洋总面积的15.3%,包括大陆架、大陆坡和大陆基。大陆架是围绕大陆分布的浅水台地,平均坡度仅 $0^{\circ} 07'$,平均宽度50 km~70 km。大陆架以外较陡的斜坡称大陆坡,其平均坡度为 4.3° ,平均宽度28 km。大陆坡与大洋盆地的过度地带称大陆基或大陆麓。

地壳的组成 地壳是地球最表面的构造层,也是目前人类能够直接观察的唯一内部圈层,它只占地球体积的0.8%。地壳主要是由岩石组成,如图1.3所示,岩石是自然形成的矿物集合体,它构成了地壳及其以下的固体部分。根据其性质可分大陆地壳和大洋地壳,如图1.4所示。

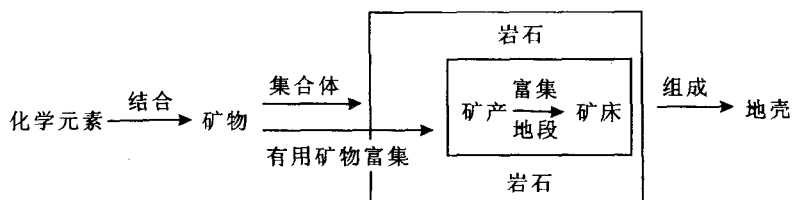


图 1.3 地壳的组成

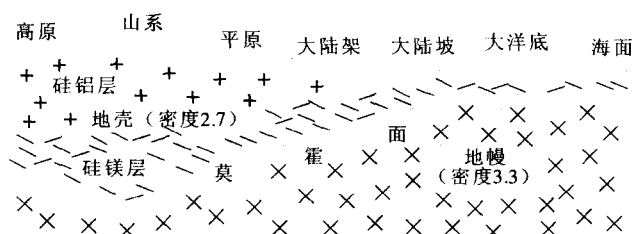


图 1.4 地壳结构图(据李四光图修编)

大陆地壳覆盖地球表面的45%,主要表现为大陆、大陆边缘海以及较小的浅海。地壳的化学组成以硅铝质为特点,可分为两大类岩石:一类是地壳上部的相对未变形的沉积岩或火山岩堆积,另一类是已经变形变质的沉积岩、火成岩和变质岩带。后者构成地球表面的山脉或在地壳深部,前者多在地壳表层的盆地及其边缘。地壳可以承受强烈的板块构造运动,所以目前能寻找到38亿年前的地壳。

大洋地壳极薄,其上海水深度平均为4.5 km。大洋地壳从上到下由下列三部分组成:

- ①海洋沉积物层,平均厚度约为300 m,但其厚度可以从零(特别是洋中脊附近)变化到几千米(大陆附近), $V_p=2$, $d=1.93\sim 2.3$;
- ②镁铁质火成岩,以玄武岩和辉长岩为主,其厚度为 1.7 ± 0.8 km, $V_p=4\sim 6$, $d=2.55$;
- ③海洋层,主要是地幔顶部水化作用形成的蛇纹石,其厚

度为 4.8 ± 1.4 km, $V_p=6.7$, $d=2.95$ 。洋壳的厚度、年龄随距洋中脊的距离加大而变厚、变老。但洋壳的年龄远远低于陆壳,多晚于中生代。

1.1.2 地质作用

1. 概述

自然辩证法告诉人们:“运动是物质存在的方式”。地球自形成以来,已有 4 600 Ma 以上的历史,在漫长的地质历史中,它每时每刻都处在不停地运动之中。地球的演化包括了地表形态的不断改观和地球内部结构及物质成分的不断变化。地下深处高温高压的岩浆在向上运移的过程中,将深处的物质带到地球表层,使地球表层的物质成分发生变化;同时,由于岩浆热的作用,不断熔化围岩,被熔化的物质加入到岩浆中,从而使岩浆本身的成分也发生了改变。有时岩浆直接喷出地表形成火山,很快改变了地表的形态和物质组成;强烈的地震产生山崩、地裂及其他许多地质现象;在北大西洋的北海,浅海沉积物的厚度超过万米,只有该区地壳不断下沉才能产生如此厚的沉积物堆积;河流上游往往形成深沟峡谷,而下游地段开阔,有大量的砾石和泥沙堆积;河水的长期剥蚀作用使地表物质不断迁移着;在可溶性岩石地区,由于地下水不断地溶蚀着岩石,从而使岩石呈现出千姿百态的壮丽岩溶地貌景观。

许多自然现象都有力地证明地球是在不断演化、发展的。由自然动力引起地球和地壳物质组成、内部结构和地表形态不断变化和发展的作用,称之为地质作用(如图 1.5 所示)。地质作用一方面不断地破坏地壳中已有的矿物、岩石、地质构造和地表形态,另一方面又不断地形成新的矿物、岩石,地质构造和地表形态。

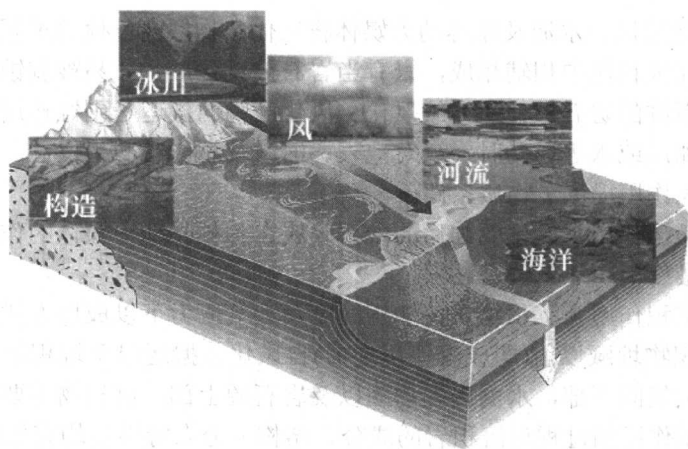


图 1.5 动力地质作用示意图

产生动力地质作用的能量来自两个方面。一是来源于地球本身,主要有地球自转产生的旋转能、重力作用产生的重力能、放射性元素蜕变产生的热能,此外尚有结晶能和化学能,上述能源系统称为内能;二是来源于地球以外的能源,主要有太阳辐射能和日月引力能,此外尚有恒星及行星的辐射、宇宙射线等,这些来自地球以外的能源统称为外能。

内能引起的地质作用往往遍及岩石圈甚至整个地球。由内能引起整个岩石圈甚至整个地球的物质成分、内部结构、地表形态发生变化的作用称为内动力地质作用。它包括构造