



高等学校教材

工程地质及水文地质

第二版

清华大学 戚筱俊 主编



高等学校教材

工程地质及水文地质

(第二版)

清华大学 戚筱俊 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

全书共十五章,主要内容有:地球的基本知识;岩石;地质构造;自然(物理)地质作用;地下水概述;地下水运动与动态;地下水的埋藏与分布;地下水资源评价;坝的工程地质研究;边坡的工程地质研究;渠道的工程地质研究;隧洞的工程地质研究;水库的工程地质研究;环境地质问题;水利水电工程地质勘察。

为了帮助学生掌握各章主要内容,每章都给出了复习参考提纲,供课外复习参考。本书最后还编写了“水利工程地质及水文地质常见名词”(汉—英对照),做为附录,供学生参考使用。

此外,配合本教材,加强实践性教学环节,还改编了《工程地质及水文地质实习、作业指导书》作为辅助教材,该教材在原教材的基础上,增补了课外作业、习题,以及野外地质教学实习的内容。

本书可作水利水电系统的农田水利工程、水工建筑、水利施工、水资源、治河及泥砂等专业的教材。也可供高等院校及中等专科(水利水电类)学校的地质类专业(工程地质及水文地质专业)以及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质及水文地质/戚筱俊主编. —2版. —北京:中国水利水电出版社, 1996

高等学校教材

ISBN 7-80124-207-6

I. 工… II. 戚… III. ①工程地质-高等学校-教材②水文地质-高等学校-教材 IV. P64

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第12197号

书 名	高等学校教材 工程地质及水文地质 (第二版)
作 者	清华大学 戚筱俊 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路6号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京市金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 15.75印张 363千字
版 次	1985年10月第一版
印 数	1997年5月第二版 1997年5月北京第五次印刷
定 价	24481—27430册 12.20元

前 言

本书是根据高等学校水利水电类专业教材编审委员会1982年5月修订的“工程地质及水文地质”课程教学大纲所规定的学时和内容编写的。1989年7月水利部教育司及教学委员会,讨论并拟定了《1990~1995年高等学校水利电力类专业教材选题和编审出版规划》。本书根据会议精神,通过地质组扩大会议讨论,决定改编和补充本教材,以适应2000年前后的教学需要。

本书可做农水、水工、施工、水资源等专业的必修课教材,也可供水利水电类及地质院校的工程地质及水文地质系(或专业)的师生及技术人员参考。

本书由清华大学戚筱俊教授主编,武汉水利电力大学黄乃安教授主审。参加编写的有:河海大学李立武(第一、二、三、四章);华北水利水电学院霍崇仁(第五、六、七、八章);长春水利电力高等专科学校金国宝(第十、十一、十五章);清华大学戚筱俊(第九、十二、十三、十四章)。全书由戚筱俊统稿。

本书在编审过程中,曾广泛征求过有关兄弟院校的意见,许多单位(如天津大学、河海大学、武汉水利电力大学、华北水利水电学院、大连理工大学、成都科技大学、河北农业大学、陕西机械学院、南昌大学、新疆八一农学院、内蒙古农牧学院、青海大学、云南工学院、郑州工学院、太原工业大学、葛洲坝水电工程学院等)的任课教师,都提出了很好的意见和建议,经过编审小组多次讨论,确定编写提纲,又经过初审和复审,多次修改后定稿出版。在此谨向上述有关老师致以诚挚的谢意。

为便于学生课外复习和自学,每章后均附有复习思考题,并按课程顺序,精选了一部分常用的地质名词(汉—英对照)词汇,作为本书附录供备用参考。此外,还增编了《实习、作业及野外地质教学实习指导书》作为辅助教材。

鉴于编者水平有限,时间仓促,教材不当之处,诚希读者批评、指正。

编 者

1996年4月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 地球的基本知识	6
第一节 地球的构造	6
第二节 地壳的物质组成	7
第三节 地质作用	8
第四节 地质历史及地层时代	9
复习思考题	12
第二章 岩石	13
第一节 造岩矿物	13
第二节 火成岩	16
第三节 沉积岩	18
第四节 变质岩	22
第五节 岩石的工程地质及水文地质评述	25
复习思考题	26
第三章 地质构造	27
第一节 地壳运动的概念	27
第二节 水平构造和倾斜构造	27
第三节 褶皱构造	29
第四节 断裂构造	31
复习思考题	35
第四章 自然地质作用	36
第一节 风化作用	36
第二节 河流地质作用	38
第三节 喀斯特(岩溶)	42
第四节 泥石流	46
第五节 地震	48
复习思考题	53
第五章 地下水概论	54
第一节 自然界中的水	54
第二节 地下水分类	61
第三节 地下水物理性质和化学成分	67
复习思考题	72

第六章 地下水运动与动态	74
第一节 重力水运动	74
第二节 地下水动态	81
第三节 地下水均衡	84
复习思考题	86
第七章 不同含水介质中的地下水	87
第一节 松散沉积层中的地下水	87
第二节 非可溶性基岩中的地下水	90
第三节 可溶性基岩中的地下水	96
第四节 地下水泉	98
复习思考题	99
第八章 地下水资源评价	100
第一节 概述	100
第二节 地下水资源量的组成	100
第三节 地下水水质评价	109
复习思考题	117
第九章 坝的工程地质研究	118
第一节 水工建筑物的工程地质条件和工程地质问题	118
第二节 坝基的渗漏	122
第三节 坝基的渗透变形	127
第四节 坝基(肩)的抗滑稳定	129
第五节 坝基的沉降	136
第六节 河床冲刷坑问题	142
复习思考题	146
第十章 边坡的工程地质研究	147
第一节 边坡的变形与分类	147
第二节 影响边坡稳定的因素	155
第三节 边坡稳定性分析方法	157
第四节 不稳定边坡的防治措施	167
复习思考题	168
第十一章 渠道的工程地质研究	169
第一节 渠道选线的工程地质条件	169
第二节 渠道的渗漏问题	171
第三节 渠道边坡的稳定问题	174
复习思考题	177
第十二章 隧洞的工程地质研究	178
第一节 隧洞选线的工程地质条件	178
第二节 隧洞设计的工程地质问题	184

第三节 隧洞施工的工程地质问题·····	193
复习思考题·····	197
第十三章 水库的工程地质研究·····	198
第一节 水库渗漏·····	198
第二节 水库浸没·····	201
第三节 水库塌岸及边岸再造·····	203
第四节 水库淤积·····	205
第五节 水库诱发地震·····	205
第六节 地下水库·····	207
复习思考题·····	211
第十四章 环境地质问题·····	212
第一节 活断层问题·····	212
第二节 地面沉降·····	215
第三节 地裂缝·····	216
第四节 地面塌陷·····	216
第五节 海水入侵·····	217
第六节 地下水污染·····	217
第七节 洪水灾害·····	218
第八节 环境地质图·····	219
复习思考题·····	219
第十五章 工程地质及水文地质勘察·····	220
第一节 水利水电工程地质及水文地质勘察工作的目的、任务及程序·····	220
第二节 勘察的基本手段和方法·····	221
第三节 天然建筑材料的勘察·····	232
复习思考题·····	234
附录 水利工程地质及水文地质常见名词(汉—英对照)·····	235
参考文献·····	244

绪 论

一、工程地质及水文地质在水利水电工程建设中的作用和任务

工程地质学及水文地质学是从地质学发展起来的 two 门新兴学科, 工程地质学主要是研究与工程建设有关的地质问题的学科; 水文地质学主要是研究地下水的学科。这两门学科都是以地质学为基础, 而且是互相关联, 相互渗透, 并各有特色。下面分别简要介绍一下它们在水利水电工程建设方面的作用和任务。

水利水电工程是国民经济建设中的重要组成部分, 它有广泛而综合的经济、社会和环境效益。如工农业的供水、灌溉、防洪、发电、航运、林业、渔业、畜牧业、旅游业及改善环境等。

工程地质在修建水工建筑物当中的作用和任务是:

(1) 勘察建筑地区的工程地质条件, 为选点、规划、设计及施工提供工程地质资料, 作为工程的依据。

(2) 根据工程地质条件论证、评价并选定最优的建筑地点或线路方案。

(3) 预测在工程修建时及建成后的工程管理运行中, 可能发生的工程地质问题, 提出防治不良的工程地质条件的措施。

生产实践证明, 工程地质在工程建设中的作用, 已不仅仅是完成为建筑物的修建提供必要的地质资料, 而且贯穿在整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。工程地质工作质量的好坏, 直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性, 技术可能性及经济合理性。历史经验表明: 工程建筑, 特别是水工建筑, 不怕工程地质条件复杂, 也不怕工程地质问题繁多, 怕的是对工程地质条件的勘察研究不重视和不充分, 结果会给工程建筑带来严重的后果。国际大坝委员会曾在 1973 年对世界 110 个国家和地区(未包括我国在内) 已建的大坝(坝高在 15m 以上者), 约 12900 余座进行了调查。从统计资料看, 发生过失事事故的有 589 座, 其中大多数与不良的地质条件密切相关。如 1959 年 12 月 2 日法国的马尔帕赛(Malpasset) 拱坝的崩溃, 曾轰动了国际水利界。该坝 66m 高, 由于坝基左岸岩石软弱, 未经地基处理, 蓄水后发生位移达 210cm, 致使整个坝体全部崩溃, 水库拦蓄的 $3000 \times 10^4 \text{m}^3$ 水, 顿时下泄形成洪水, 以 8.33m/s 的速度倾泄, 造成下游 400 余人死亡, 损失达 6800 万美元。又如印度的纳纳克萨加(Nanaksagar) 坝, 为一高 15.9m 的土坝, 1967 年 9 月 7 日, 由于坝基发生管涌, 使坝体决口冲毁, 造成 32 个村庄的人民流离失所, 损失惨重(还有许多实例, 可详见国际大坝会议十一届文献资料)。这些实例说明, 不仅高坝大库会造成严重事故, 即使是中小型水利工程, 也会由于地质问题处理不当, 而带来生命财产的巨大损失。因此, 工程地质工作, 对于水库、大坝的安全可靠性起着重要作用。

我国从 1949 年以来, 已建成坝高 15m 以上的大坝水库 12000 余座。由于党和政府非常重视工程地质工作, 因此, 直接由于地质问题而产生的垮坝事故极为罕见。然而由于对工程地质条件研究不够, 或对工程地质问题处理不当, 而造成的水库或坝基漏水, 水库淤积

及边岸滑塌、隧洞坍方等工程事故还是屡见不鲜。如北京的十三陵水库，坝基和库区存在着深厚的渗透性较强的古河道冲积层，建坝初期未作垂直防渗处理，致使水库多年不能正常蓄水，60年代作了坝基防渗墙处理，坝基不漏了，但水库区古河道仍在渗漏，渗漏问题仍未解决，直到1991年为了兴建抽水蓄能电站，在库区又作了一道防渗墙，才彻底解决了漏水问题。又如黄河三门峡水库的库区，处于黄土分布区，黄土浸水后极易崩解、湿陷，造成严重的水库塌岸和淤积问题。50年代初期我国缺少经验，该工程系委托国外设计，1957年动工，1960年9月建成蓄水。由于设计对黄土地区可能产生的工程地质问题估计的错误，水库蓄水后黄土边岸形成大面积的塌岸，再加上黄河水含砂量本来就很高，因此水库蓄水后不到两年，至1962年3月，就淤积了泥沙 $14.9 \times 10^8 \text{t}$ 。库区尾部潼关一带河床淤积高达5m以上，形成库尾三角洲。此外，淤积还沿河向上游延伸，导致支流渭河河床也因淤积抬高，河水外溢，两岸大片土地被淹没和浸没。地下水位上升，使不少房屋倒塌，土地盐碱化和沼泽化达30万亩，威胁关中平原，直至西安市。因此，不得不对三门峡水库进行改建，增加了两个泄水洞，在混凝土重力坝坝身打开了8个导流用的底孔闸门，排泄泥沙，水库也改为低水头运行，发电装机容量120万kW改为25万kW，经济损失巨大。还有一些水利水电工程，由于实行边勘测、边设计、边施工的“三边政策”，急于求成，对建筑地区的工程地质条件尚未查清，就急于开工(上马)，后来在设计及施工中，发现了严重的工程地质问题，又被迫停工(下马)，甚至还有多次上马又下马，下马又上马，最后还是下马的工程。由此而造成的经济损失也是相当可观的，这些经验教训应该认真总结和引以为戒。

水文地质工作的主要任务是调查研究：

- (1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动以及循环转化的规律。
- (2) 地下水的物理、化学性质、成分，以及水质的变化规律。
- (3) 解决合理的开发、利用、管理地下水资源，以及有效地消除地下水的危害等实际问题。

水文地质工作，不仅要配合上述工程地质工作，提供有关水文地质条件方面的资料，而且在农田灌溉、抗旱、防涝、治碱，以及环境保护工作等方面，起着先决和主导作用。

据有关部门估算，我国的水资源总量为 $27210 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中地下水资源为 $7718 \times 10^8 \text{m}^3$ （约占1/4强）。但水资源的分布是极不均匀的，如干旱少雨的北方地区，土地资源十分丰富，而水资源十分贫乏。水土资源的组合也极不均衡，尤以海河、辽河、淮河流域最为突出。这三个流域的耕地面积占全国耕地总数的33.2%，而水资源却只占全国水资源总数的7.4%，每亩耕地平均占有水资源量，只有全国平均数的14%~33%，因而缺水十分严重，所以有的地区仍然是“十年九旱，靠天吃饭”。又如我国南方地区，虽然降雨量和地表径流量比较丰沛，但分布也极不均匀，特别是云、桂、黔等省，石灰岩广泛分布，喀斯特(岩溶)十分发育。“一场大雨千算涝，天晴三日万山焦”；“修塘不蓄水，筑坝不拦洪”，大量的地表水漏至地下，因而地表水缺水现象也很严重。农田灌溉是“旬日不雨，即成旱象”，“米如珍珠水如油”。这些民间谚语都说明，在我国无论是北方地区，还是南方地区，水利工程建设不仅需要开发利用地表水，而且需要开采、利用地下水资源。这就要进行大量的水文地质工作。

1949年后，我国对淮河、黄河、海河、黑龙江、辽河、珠江及长江等江河，进行了综

合治理和流域性的开发利用，兴建了一大批大、中、小型水利工程，据统计；全国已建成的水库库容在 $10 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上的水库达 86400 座，万亩以上的灌区达 6000 处，初步控制了洪水灾害，并发展了灌溉、水电、航运、水产、旅游等事业。此外，在开采地下水方面，为寻找地下水资源，开展了全国性的水文地质普查工作，并用汇泉、打井、截潜流等多种型式开采地下水资源，如农用机井已达 230 万眼，井灌面积达 1.1 亿亩。这些成绩在我国历史上是空前的，对我国的社会主义建设事业起了巨大的作用。然而，必须看到，已有的成绩还远远满足不了“四化”建设的近期需要和远景规划。为了根本改善我国水资源的供需矛盾，任重而道远。水利工程技术人员和工程、水文地质的勘察人员，仍在长江、黄河的中上游，在大渡河、澜沧江、乌江、红水河、珠江、海南的万泉河，以及长江的主要支流（湘、资、沅、澧水）等水资源比较丰富的地区，为进一步发展我国的水利水电建设，继续再做贡献。此外，我国还将在长江第一坝（葛洲坝水利枢纽工程）胜利完成后，继续兴建长江三峡等巨型水利水电工程；并将逐步实施“南水北调”工程等宏伟规划。为实现这些宏伟的规划和工程，就需要以工程及水文地质勘察、研究为先导和开路先锋，工程地质及水文地质将面临着许多更加繁重和更加困难的课程和任务。为振兴中华，为实现祖国社会主义的四个现代化，为完成党中央提出的国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标，同时也为我国的水利水电建设事业以及工程、水文地质科学的进一步发展，展现了无限广阔的前景。

二、本课程的主要内容及教学要求

本课程是水利水电工程系有关专业的一门技术基础课，根据水利部的“教学大纲”，本课程的基本教学要求是通过三个教学环节：讲课、实习实验课及作业和地质教学实习，掌握工程地质及水文地质的基本知识；学会分析水工建筑物的工程地质条件和问题的基本方法；能阅读和分析水工建筑中常用的地质图件和资料，为今后学习农水及水工等专业课打下基础。

本教材主要是为讲课及课外复习服务，实习、实验、作业及地质教学实习内容，详见《工程地质及水文地质实习、作业、指导书》。本教材是原教材（1985 年版本）的修订本，各章主要内容如下：

第一章 地球的基本知识，主要介绍地球的形态、表面特征，地球的分层构造，主要物质组成，各种内力及外力地质作用，地质历史及中国地质年代的划分表，为学习本课程打下地质学基础。

第二章 岩石，是地壳的基本物质，通过造岩矿物的引入和肉眼鉴定（结合岩矿标本实物学习）。进一步认识与区别三大类岩石：火成岩、沉积岩及变质岩的特征和肉眼鉴定方法，一般了解各类岩石的主要工程地质性质。

第三章 地质构造，应用地壳运动的理论，阐述当今地球表层（地壳）仍然是在不断地运动和发展着，各种典型的地质构造（水平、倾斜、褶皱、断裂、不整合等）的形成、产状、类型，以及它们的识别方法和在地质图上的表示方法，地质图的阅读分析及作业主要在实习课中结合地质模型或图片进行。

第四章 自然（物理）地质作用，主要介绍与水利水电工程密切相关的几种自然地质作用，如风化、河流地质、喀斯特（岩溶）、滑坡及崩塌、泥石流及地震等，说明它们的成因、

类型、发育规律、影响因素、对工程建设的关系，以及防治措施等。

第五章 地下水概述，主要阐述自然界水的循环规律，地下水的生成和类型，岩石的水理性质，含水层及隔水层，地下水的埋藏和贮存规律，地下水的物理性质及化学成分，以及水质分析和评价标准(饮用和灌溉用水等)。

第六章 地下水运动与动态，介绍线性及非线性的渗透定律，地下水完整井稳定流运动方程及其应用，地下水动态的概念，地下水均衡概念及潜水均衡方程及应用。

第七章 地下水的埋藏与分布，结合我国区域地质特点，介绍不同地貌单元中地下水埋藏条件及分布规律。包括：山区、河谷区，山前及平原区、滨河地区，以及黄土、喀斯特等地区中地下水贮存情况和主要特征。

第八章 地下水资源评价，主要介绍地下水资源的基本组成(补给量、消耗量、贮存量)的概念，以及它们的估算方法，应用潜水均衡理论进行地下水资源评价。此外，还简要介绍了地下水水质评价的原则和规程(灌溉、饮用水，及对混凝土的侵蚀性方面)。

第九章 坝的工程地质研究，主要阐述建坝需要掌握的工程地质条件资料(包括：土石类型及其工程性质，地质结构、地形地貌，水文地质条件，自然地质现象，天然建筑材料六个基本条件)。进一步介绍坝的设计和施工中经常出现的各种地质问题(包括：坝基(肩)的渗漏及渗透变形问题，抗滑稳定问题，坝基沉降问题及坝下游的冲刷问题等)。

第十章 边坡的工程地质研究，主要介绍在水工建筑中研究边坡问题的重要性及必要性，分析自然边坡及人工边坡的类型，影响边坡稳定的各种因素(包括岩土性质，岩体结构、岩体风化，地形地貌、地震，地应力、地下水活动，以及人为活动等多种因素，边坡稳定分析方法及防治不稳定边坡的基本措施。

第十一章 渠道的工程地质研究，渠道包括渠系建筑物在水利水电工程中的应用和作用，渠道选线应注意的工程地质问题，渠道设计、施工及运行应用中经常出现的地质问题(渗漏及边坡失稳问题)以及处理的基本方法。

第十二章 隧洞的工程地质研究，隧洞在水利水电工程中的应用和作用，隧洞选线(址)的工程地质条件分析，隧洞设计中经常遇到的工程地质问题(围岩地应力、岩体抗力、外水压力问题)，隧洞施工中应注意的工程地质问题(围岩变形，破坏，岩爆，涌水，毒气，高温等)，以及TBM法和盾构法施工经验介绍。

第十三章 水库的工程地质研究，主要阐述：水库的渗漏、浸没、边岸再造、淤积问题，水库诱发地震及地下水库等问题。

第十四章 环境地质问题，主要阐述当今环境问题的重要性，水利水电工程建设中应注意的环境地质问题(包括：区域地质构造稳定性—活断层及问题，超量开采地下水引起的环境地质问题，如地面沉降，地裂缝，地面塌陷，海水入侵等。还有地下水污染，洪水灾害，以及环境地质图的研究现状等)。

第十五章 水利水电工程地质勘察，主要介绍：勘察的目的与任务，勘察设计阶段的划分和勘察程序，工程地质测绘、勘探、试验及长期观测工作的基本内容，分析阅读典型工程地质图及水文地质图(主要在实习课中进行——详见《实习、作业指导书》)。

以上教学内容可概括为三个组成部分：

1) 地质学基础部分(第一、二、三、四章)；

2) 水文地质部分(第五、六、七、八章);

3) 工程地质部分(第九、十、十一、十二、十三、十四、十五章)。

这三个部分是相互关联和逐步联系专业实际的,在教与学过程中应运用辩证唯物主义观点和方法,理论联系实际,地质联系工程,由浅入深,循序渐进。本课程是一门实践性比较强的技术基础课,除讲课听课外,还要进行地质实习及实验课,课外做一定作业和看教学录像,才能不断巩固所学内容,此外,在暑期还要进行野外地质实习,以扩大地质实际知识,增强工程地质及水文地质勘察概念。

第一章 地球的基本知识

第一节 地球的构造

地球可近似地看作为一个旋转椭球体，但实际上它更接近为一个梨形，故称地球梨状体。它的平均半径约为 6370km。以地表面为界，地球可分为外圈层和内圈层，两者各有不同的圈层构造，如图 1-1 所示。

一、地球的外圈层构造

地球的外圈层可分为大气圈、水圈和生物圈。包围地球外部的空气形成大气圈，其厚度在几万公里以上，但占大气总质量 3/4

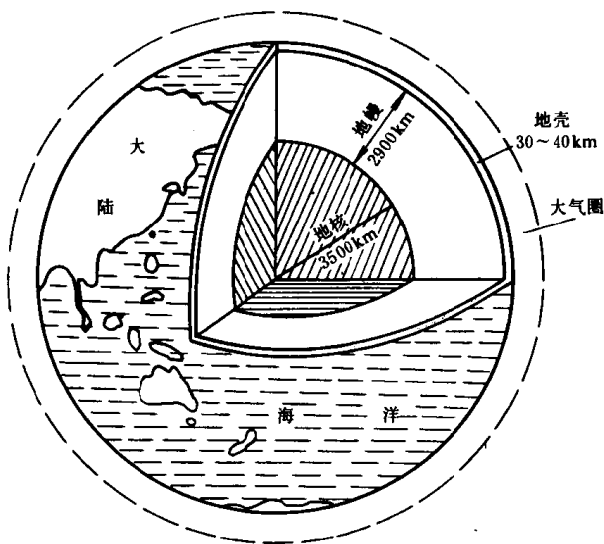


图 1-1 地球的构造示意图

是集中在地表以上 10km 的高度范围以内。水圈是地球表层的水体，大部分汇聚在海洋里，部分分布于河流、湖泊、沼泽、冰川，以及地球表层的岩石和土层的空隙中，极少部分存在于生物体和大气中。地表水、地下水和大气中的水，在太阳辐射热的影响下，不断地循环和相互转换。生物圈是地球上生物生存和活动的范围，在地球表面的大气圈、水圈及地表岩石和土层中，都可有大量的生物，包括动物、植物和微生物。生物圈是人类赖以生存和发展的环境，而生物圈与水圈、大气圈、岩石圈(地壳的表层岩土)又是相互依存和互相关联的，它们与人类的活动，特别是工程建筑活动密切相关。

二、地球的内圈层构造

地球的内部圈层构造，从地表到地心可分为地壳、地幔和地核三部分。地核位于深约 2898km 的古登堡(Gutenberg, B)面以下直到地心，主要由比重较大的铁、硅、镍熔融体组成。地核和地壳之间称为地幔，其体积占地球总体积的约 83%，它的上部与地壳的分界线称为莫霍(Mohorovicic, A)面，地幔主要由铬、铁、镍、二氧化硅等物质组成，密度也较地壳岩石为大。

地壳是地球表层很薄的一层坚硬固体外壳，它的平均厚度约为 16km，仅占地球半径的 1/400，而且各地差异也很大，陆地上较厚，平均为 35km，最厚的地方如帕米尔——喜马拉雅山脉地区可达 75km；而海洋地区较薄，平均只有 6km，最薄的地方如南美洲海岸外的大西洋中的某些地方，厚仅 1.6km。我国不同地区的地壳厚度的差异也很大，如北京为 46km、广州为 31km、拉萨为 71km、兰州为 53km、南京为 32km。

三、地球的表面形态

、地球的表面是高低不平的，而且差距较大，大致可划分为大陆和海洋两部分。大陆的平均海拔高度为 800 多 m，按高程和起伏状况，大陆表面可分为山地、丘陵、平原、高原和盆地等地貌形态，按其绝对高度和地形起伏的相对高度大小来划分和命名，如表 1-1 所列。

表 1-1 按地势划分的地貌类型

名 称	高 山	中 山	低 山	丘 陵	高 原	平 原
绝对高度(m)	>3500	1000~3500	500~1000	<500	>600	较低
相对高度(m)	>200~1000	200~1000	200~1000	<200	表面平坦，起伏较小的平坦地形或高地	

海洋的面积约占地壳的 71%，其平均深度约为 3700 多 m。海洋地形的半数为表面平坦无明显起伏的大洋盆地。海底的山脉称为海岭，而海底长条形的洼地，则称为海沟，一般深度大于 6km，可谓地球表面最低洼地区。

除上述地表形态外，地球表面还可因不同的成因，而形成多种形态，如冲沟、河谷、溶洞、沙丘等等。地表外貌各种形态的总称，称为地形或地貌，建筑地区的地形地貌特征，是影响建筑工程稳定与安全的重要条件之一。

第二节 地壳的物质组成

和其他所有物质一样，地壳也是由各种化学元素组成的，但各种元素在地壳中的含量差异很大。在国际上，把各种元素在地壳中的平均含量，称为克拉克值(F、W、Clark 是美国分析化学专家)，如表 1-2 所列。

表 1-2 地壳主要元素的平均含量*(%)

氧(O)	49.52	钠(Na)	2.64
硅(Si)	25.75	钾(K)	2.40
铝(Al)	7.51	镁(Mg)	1.94
铁(Fe)	4.70	氢(H)	0.88
钙(Ca)	3.29	其他	1.37

* 据克拉克(F. W. Clark)。

由表 1-2 可以看出，地壳中的化学元素，主要是氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、氢等九种，尤以氧和硅为最多。所有元素除了少数如金刚石(C)、金(Au)等以自然元素产出外，绝大多数均以各种化合物出现，如石英(SiO_2)、方解石(CaCO_3)等。在地壳中，由于各种地质作用而形成的，具有一定化学成份和物理性质的自然元素或自然化合物，如上述的石英、方解石等，均统称为矿物。目前，自然界中已发现的矿物大约有 3000 多种，它们不仅有一定的化学成分，而且有其固定的物理性质。

矿物的天然集合体称为岩石。岩石是直接构成地壳的主要组分，它可以是由一种单一的矿物组成(如由方解石组成的石灰岩)，但大多数岩石都是由两种以上的矿物组成的。自

自然界中的岩石种类十分繁多，根据成因，可将岩石分为火成岩，沉积岩和变质岩三大类。

地壳即是由各种岩石及土组成的。岩土性质的好坏，无论是作为地上建筑物的地基，地下建筑物本身的结构，或者是作为天然建筑材料，对建筑物的安全、稳定与经济技术均有着重要影响。在农田水利工程建设中，无论是修建大坝、水库，还是兴建各种排灌工程，对组成地壳的各种岩石和土进行勘察和研究，是十分必要的。

第三节 地 质 作 用

地壳自形成以来，其物质组成、内部结构及表面形态，一直都在进行演变和发展，促使地壳演变和发展的各种作用，统称为地质作用。引起地质作用的能量来源，有的来自地球内部，称为内动力地质作用；有的来自地球外部，称为外动力地质作用。

一、内动力地质作用

内动力地质作用是指地球自转、重力和放射性元素蜕变等能量，在地壳深处产生的动力对地球内部及地表的地质作用。根据内动力作用方式的不同，可以分为以下四种类型：

(1) 构造运动：使地壳发生变形、变位的动力作用，如地壳的垂直升降运动及水平运动，也称地壳运动。

(2) 地震作用：是由地球内动力而引起地壳岩石圈的快速颤动或波动，也称地动。

(3) 岩浆及火山作用：地球的放射性元素蜕变，产生巨大的能量，在地球内部可使原岩熔成高温及高压的岩浆，由地下深处侵入地壳上部冷凝成岩，甚至喷出地表而形成火山及熔岩。

(4) 变质作用：指地壳中先成的岩石，受构造运动、地震、岩浆活动等内动力作用，而使原有岩石的成分、结构、构造发生变质的地质作用。

二、外动力地质作用

外动力地质作用，是指来自地壳以外的能量，如太阳辐射能、重力能或日、月及天体引力等的影响下产生的动力，在地壳表层所进行的各种地质作用。

(1) 风化作用：是地壳表层岩石在太阳辐射、水、气体和生物等因素的共同作用下，使其物理性状和化学成分发生变化，并遭受破坏的作用。

(2) 剥蚀作用：是地壳表层岩石，受风力、地面流水、地下水、湖泊、海洋或冰川等动力作用，而遭受破坏，并被剥离原地的作用，如风的吹蚀作用、河流的侵蚀作用、地下水的潜蚀作用、冰川的刨蚀作用等等。

(3) 搬运作用：指风化、剥蚀后的岩石碎屑、胶体、分子或离子等不同状态的物质，被各种外动力和流水、风、冰川、地下水、海浪等以不同方式，迁移或搬运到他处的过程。

(4) 沉积作用：被搬运的物质，由于搬运介质的物理及化学条件的改变，而呈有规律的堆积现象。

(5) 固结成岩作用：也称石化作用，是使松散沉积物变为坚硬岩石的作用，包括胶结作用、压实作用与结晶作用。

上述各种内、外动力地质作用长期反复地进行，使地壳的组成物质和地壳的外表形态，产生不断的变化，即一方面不断使地壳形成新的矿物和岩石、地质构造及地表形态，另一

方面又不断地破坏原有的矿物、岩石、地质构造和地表形态。上述各种地质作用往往是反复交替地进行，从而促使地壳不断地变化和发展，地壳和地球永远是运动着的物体。

第四节 地质历史及地层时代

地球的发展历史称为地史。为了研究地史，首先要确定研究地区地层的新老层序及其地质时代。

一、地质时代的概念

地质时代是指一个地层单位的形成时代或年代，它包括绝对年代和相对年代两种。

绝对年代又称同位素年代，是根据岩石中放射性元素蜕变产物的含量计算出来的。岩石形成后所经历的以“年”为单位计的实际年代，如寒武纪的下限为 600Ma，延续时间为 100Ma。地球的形成已有 4600Ma(46 亿年)以上的历史，目前已发现的地壳中的最老地层的绝对年龄约 3800Ma(38 亿年)左右。

相对年代是表示地层相对新老关系的时代顺序，如某地区地层的相对时代为奥陶纪，则说明其形成时期晚于寒武纪，而早于志留纪。

地质时期的时间划分单位，即地质年代单位(或称地质时间单位)，按级别从大到小可以划分为宙、代、纪、世、期……，宙是国际地质年代中延续时间最长的第一级地质年代单位。根据生物化石的出现情况，整个地质时期可以分为生物化石稀少的隐生宙和生物化石大量出现的显生宙；宙内再划分为代，整个地质年代可以分为太古代、元古代、古生代、中生代及新生代共五个代，它们标志着生物演化的几个主要发展阶段。代内又划分为纪；纪内再分则为世、期等。宙、代、纪、世是国际通用地质时间单位，适用于全世界；期的划分和名称，则仅适用于一个生物地理区，其下尚可再分为时，均为区域性年代单位。与上述地质年代单位分别对应的国际性地层空间划分单位是宇、界、系、统，区域性地层单位是阶和带。如古生代形成的地层称为古生界，寒武纪形成的地层称为寒武系等。

按地质年代早晚顺序排列，地质时期的相对年代和同位素年代值的划分，可见表1-3。

二、地层年代的确定方法

地层是在地壳发展过程中形成的、具一定层位的一层或一组岩层，其具有时代的新老概念。地层的上下或新老关系称为地层层序。要研究地层层序，就要确定地层时代。

(一) 地层绝对年代的确定

根据岩石中放射性元素蜕变产物的含量，通过计算可求得地层的绝对年代，如铀铅法、钾氩法、铷锶法等。以铀铅法为例，岩石中的放射性元素铀，在自然条件下按一定速度蜕变，最后形成铅和氦两种终结元素。若用专门的仪器测定出岩石放射性元素和终结元素的含量，可按式(1-1) 计算岩层的绝对年代

$$N_0 = N_t e^{\lambda t} \quad (1-1)$$

式中 N_0 ——放射性物质形成时原子的原始数量；

N_t ——放射性物质经过时间 t 后，未蜕变的原子数量；

λ ——放射性物质的蜕变常数(单位时间内，有多少原子发生蜕变)；

e ——自然对数的基数($e=2.71828182\cdots$)。

表 1-3

地质年代表*

地质时代、地层单位及其代号			同位素年龄(兆年)		构造运动	生物开始繁殖时期			
代(界)	纪(系)	世(统)	时代间距	距今年龄		植 物	动 物		
新 生 代 K _z	第四纪 Q		全新世 Q ₄	2	0.01	喜马拉雅运动	← 古人类出现		
	第三纪 R	晚第三纪 N	更新世 Q ₁ Q ₂ Q ₃						
			上新世 N ₂	3	2				
			中新世 N ₁	20	5				
		早第三纪 E	渐新世 E ₃	15	25				
			始新世 E ₂	20	40				
			古新世 E ₁	10	60				
中 生 代 M _z	白垩纪 K		晚白垩世 K ₂	70	70	燕山运动	← 被子植物		
	侏罗纪 J	早白垩世 K ₁							
		晚侏罗世 J ₃	55	140					
		中侏罗世 J ₂							
	早侏罗世 J ₁								
	三叠纪 T	晚三叠世 T ₃	35	195					
		中三叠世 T ₂							
早三叠世 T ₁									
古 生 代 P _z	晚古生代 P _{z2}	二叠纪 P		晚二叠世 P ₂	50	230	海西运动	← 裸子植物	← 爬行动物
		石炭纪 C	早二叠世 P ₁		280				
			晚石炭世 C ₃	70					
	泥盆纪 D	中石炭世 C ₂	50		350				
		早石炭世 C ₁							
	早古生代 P _{z1}	志留纪 S	晚泥盆世 D ₃	40	400				
			中泥盆世 D ₂						
			早泥盆世 D ₁						
		奥陶纪 O	晚志留世 S ₃	60	440				
			中志留世 S ₂						
寒武纪 C	早志留世 S ₁	100	500						
	晚奥陶世 O ₃								
	中奥陶世 O ₂								
元 古 代 Pt	震旦纪 Z	早奥陶世 O ₁	100	500					
		晚寒武世 C ₃		吕梁运动	600				
		中寒武世 C ₂			800				
		早寒武世 C ₁			1000 (900)				
					1800 (1600)				
太古代 Ar			2600			原核生物出现 (绿藻)	硬壳动物出现 裸露动物出现 多细胞动物出现		
			3800		真核生物出现 (菌类及藻类)				
			4600		生物现象开始出现				

* 录自 宋春青、张振春编著,地质学基础,人民教育出版社,1982年修订本。并据1984年2月20日中国地质报,最新地质年代表(姬再良译自 W. B. 哈兰, A. V. 考克斯等著,地质年代表)略有修改。

表中只列出地质时代单位。地层单位则把代、纪、世改为界、系、统,同时把早、中、晚或早、晚改为下、中、上或下、上。如早寒武世、中寒武世、晚寒武世所形成的地层则称为下寒武统、中寒武统、上寒武统,余类推。更新世可以分为早更新世 Q₁,中更新世 Q₂,晚更新世 Q₃。