



高等学校教材

水利工程地质

(第三版)

天津大学 崔冠英 主编



高等学校教材

水利工程地质

(第三版)

天津大学 崔冠英 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

该教材共有 8 章,全面系统地讲述了:岩石的工程地质性质,地质构造与区域构造的稳定性,水流的地质作用及库坝区渗漏,岩体的工程地质特性,坝基岩体、岩质边坡、地下洞室围岩等稳定性的工程地质分析,水利水电工程的地质勘察。

全书内容丰富,选材新精,脉络清楚,表述透彻,文图并茂。该书自 1979 年出版第一版以来,一直备受各校师生的欢迎和青睐。

该书除作高校教材外,还可供在职的水利水电技术人员进修学习之用。

图书在版编目 (CIP) 数据

水利工程地质/崔冠英主编. — 3 版. — 北京:中国水利水电出版社, 1999.12

高等学校教材

ISBN 7-5084-0057-7

I. 水… II. 崔… III. 水利工程-工程地质-高等学校-教材 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 19055 号

书 名	高等学校教材 水利工程地质 (第三版)
作 者	天津大学 崔冠英 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 15 印张 350 千字 3 插页
版 次	1979 年 4 月第 1 版 1985 年 11 月第 2 版 2000 年 3 月第 3 版 2005 年 12 月第 14 次印刷
印 数	96551—101550 册
定 价	18.60 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第三版前言

本教材是根据高校水利水电工程建筑和水利水电工程施工这两个专业的本科教学大纲和教学基本要求进行编写和修订的。

本教材自第一版（1979年）、第二版（1985年）出版以来，深受广大师生和各界读者的欢迎和好评，1987年获全国高校水利水电类专业优秀教材一等奖。为全面反映水利工程地质勘察近10多年来所取得的新技术、新经验，使本教材能更好地适应培养专业人才的需要，这次我们对全书的内容又作了一次更新和修订。

在这次修订中，我们曾广泛征求了各校任课教师的意见，并在水利水电类高校教学指导委员会地质组扩大会上，先后两次认真讨论研究了修订提纲，达成共识。这次修订，一方面继续保持原有的内容体系和章节安排，仍围绕库坝区渗漏和工程稳定的地质问题展开叙述，将有关的基本理论、基本知识和基本技能讲深讲透，同时，结合专业的实际需要，对第二版的内容进行了全面的更新，包括增删、修改和调整。如：第一章增加了岩石主要物理力学性质的内容，充实了风化岩石工程地质特性的内容；第二章充实了与水利水电工程关系密切的小构造和区域构造稳定性的内容；第四章增加了新的工程岩体分级标准；第八章充实和增加了一些野外岩体（石）测试的方法，等等。为便于复习，本版各章末尾均增加了复习思考题。

这次修订工作是分别由下述人员完成的：天津大学崔冠英（绪论和第二章、第五章、第六章），天津大学朱济祥（第一章、第八章），四川大学陈历鸿和天津大学崔冠英（第三章），武汉水利电力大学孙万和（第四章、第七章）。由崔冠英担任主编，负责全书的统稿和定稿。由大连理工大学金春山和河海大学陆兆溱担任主审。部分插图及附图由天津大学杨锦贤编绘。

本教材在编写、修订和出版过程中，受到了各校任课教师和出版单位的热情帮助和大力支持，提出了许多宝贵的意见和建议，特别是两位主审人，曾参加历次编写大纲的讨论，并诚恳认真地提出了许多深刻的见解。他们的帮助对提高本书的质量有很大的裨益。对此，我们一并谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请广大师生和各界读者不吝指正，并盼函寄天津市天津大学建筑工程学院岩土工程研究所崔冠英收（邮编：300072）。谢谢。

编者

1999年1月

第一版前言

本教材是根据《1978~1981年高等学校水利类专业教材编审出版规划》组织编写的。

在编写过程中，力求运用辩证唯物主义的观点，并注意贯彻教材要精简、理论和实际相结合的原则。着重讲清工程地质的基本概念、原理和方法；紧密结合水利水电工程建设中的主要地质问题——岩体稳定和库坝渗漏安排教材体系。此外，还适当反映了本学科成就和发展方向。

本教材适用于《水利水电工程建筑专业》和《水利水电工程施工专业》，适当照顾《农田水利工程专业》，也可供水利类其它专业和工程技术人员参考。

参加本教材编写的有：天津大学崔冠英、潘品蒸；成都工学院刘耀东、陈历鸿；武汉水利电力学院阎春德；河北水利水电学院王雨良等同志。由潘品蒸和崔冠英同志主编。全书图件由天津大学杨锦贤同志等描绘。

本教材由大连工学院彭阜南、金春山同志主审，对教材进行了认真的审阅，提出了许多宝贵的意见和建议。有关兄弟院校参加了本教材编写大纲的讨论，并提供了多年的教学资料和经验。还有一些学校和单位，对本教材的编写内容提出了很好的建议。在此，一并致谢。

对于本教材存在的缺点和错误，诚恳地希望读者提出宝贵意见。

编者

一九七八年七月

第二版前言

本教材是根据 1982 年高等学校水利水电类专业教材编审委员会地质编审组重新修订的水利水电工程建筑专业的水利工程地质教学大纲进行修改的。修改前广泛征求了各院校任课教师对第一版的意见。此次修改除保留了原来的体系和基本内容外，各章节均有较大的增删，力求精简扼要突出重点。同时，尽量结合我国水利水电工程实际和本专业的教学情况，吸取国内外新的科研成果内容。水利水电工程实践中的主要工程地质问题，一是渗漏，另一是岩体稳定（包括渗透稳定）。但结合本专业特点，最主要的还是后者。因此，这次修改特别充实了与岩体稳定分析有关的内容。

参加本书编写修改工作的有：天津大学潘品蒸（绪论、第二章）；华北水电学院王雨良（第一章、第八章）；成都科技大学陈历鸿（第三章）；武汉水利电力学院孙万和（第四章、第七章）；天津大学崔冠英（第五章、第六章）。本教材由崔冠英、潘品蒸担任主编，并分工负责书稿的修改工作。最后由崔冠英统一核对定稿。全书图件由天津大学杨锦贤描绘。

本教材由华东水利学院陆兆溱及大连工学院金春山负责审查。他们在讨论编写大纲和书稿过程中，提出许多宝贵意见和建议。许多兄弟院校也派有教学经验的教师参加编写大纲的讨论，提出了许多有益的建议。在此，一并致谢。

限于我们的水平，缺点错误在所难免，诚恳希望读者提出宝贵意见。

编者

1984 年 10 月

目 录

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
绪 论	1
复习思考题	5
第一章 岩石及其工程地质性质	6
概述	6
第一节 造岩矿物	7
第二节 岩浆岩	14
第三节 沉积岩	20
第四节 变质岩	25
第五节 岩石的物理力学性质指标及风化岩石	29
复习思考题	38
第二章 地质构造及区域构造稳定性	39
概述	39
第一节 地史概要	40
第二节 褶皱构造	43
第三节 构造节理	48
第四节 断层构造	54
第五节 地质图	59
第六节 活断层的工程地质研究	66
第七节 地震危险性的工程地质研究	71
第八节 区域构造稳定性的评价方法	81
复习思考题	84
第三章 水流的地质作用与库坝区渗漏的工程地质条件分析	86
概述	86
第一节 河流的地质作用与河谷地貌	86
第二节 地下水的主要类型与特征	95
第三节 岩溶及岩溶水	103
第四节 水库与坝区渗漏的工程地质条件分析	110
复习思考题	121
第四章 岩体的工程地质特性	122
概述	122
第一节 岩体的结构特征	122
第二节 岩体的主要力学特性	129

第三节	岩体的天然应力状态	135
第四节	岩体的工程分类	138
复习思考题	.....	142
第五章	坝基岩体稳定性的工程地质分析.....	143
概述	.....	143
第一节	坝基岩体的压缩变形与承载力	143
第二节	坝基(肩)岩体的抗滑稳定分析	145
第三节	坝基岩体抗滑稳定计算参数的选定	152
第四节	降低坝基岩体抗滑稳定性的作用	156
第五节	坝基处理	162
复习思考题	.....	166
第六章	岩质边坡稳定性的工程地质分析.....	167
概述	.....	167
第一节	边坡岩体应力分布的特征	168
第二节	边坡岩体变形破坏的类型与特征	171
第三节	影响边坡稳定性的因素	180
第四节	岩质边坡稳定性的评价方法	184
第五节	不稳定边坡的防治措施	192
复习思考题	.....	195
第七章	地下洞室围岩稳定性的工程地质分析.....	196
概述	.....	196
第一节	围岩应力的重分布	196
第二节	地下工程位置选择的工程地质评价	197
第三节	围岩稳定的工程地质分析	200
第四节	山岩压力与弹性抗力	204
第五节	提高围岩稳定性的措施	208
复习思考题	.....	211
第八章	水利水电工程地质勘察.....	212
概述	.....	212
第一节	工程地质测绘	213
第二节	工程地质勘探	216
第三节	工程地质试验及长期观测	222
第四节	工程地质勘察成果报告	226
复习思考题	.....	231
参考文献	.....	232
附图一	桑河水库库区工程地质图	
附图二	桑河水库桑河镇坝址区工程地质图	
附图三	桑河水库桑河镇坝址坝轴线工程地质横剖面图	
附图四	桑河水库桑河镇坝址河床工程地质纵剖面图	

绪 论

一、工程地质学及其研究目的和主要内容

工程地质学是调查、研究、解决与各种工程活动有关的地质问题的科学。它是地质学的一个分支。研究工程地质学的目的是为了查明各类工程建筑场区的地质条件；分析、预测在工程建筑物作用下，地质条件可能出现的变化；对工程建筑地区的各种地质问题进行综合评价，并提出解决不良地质问题的措施，以便保证对工程建筑物进行正确合理的选址、设计、施工和运营。水利工程地质则主要是研究水利水电工程建设中的工程地质问题。

所谓工程地质问题，即与工程活动有关的地质问题，包括以下两个方面。

一是自然环境地质因素对工程活动的制约和影响而产生的问题。这种环境地质因素通常称为工程地质条件，它们是自然历史发展演变的产物，主要有：地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、物理地质现象（滑坡、崩塌、泥石流、风化、侵蚀、岩溶、地震等）及天然建筑材料等六个方面。

二是由工程活动而引起环境地质条件的变化，从而形成不利于工程建设的、新的地质作用，通常称为工程地质作用。主要有：建筑物荷载引起地基岩土体的沉陷变形和剪切滑动；人工开挖造成边坡或地下洞室岩土体的变形和失稳破坏；水库诱发地震、渗漏、坍岸和浸没；砂土振动液化；以及潜蚀、流砂等。

这些工程地质问题都可关系到建筑物的安全稳定和经济效益，所以都是工程地质学的主要研究内容。除此以外，工程地质勘察、试验及计算方法等，也都是工程地质学的主要研究内容。

随着工程地质学的研究深入和发展，目前已形成了一些独立的分支科学，主要有：

(1) 工程岩土学。它专门研究土和岩石的工程地质性质及其形成和变化规律，并探讨改善不良性质的途径。它是工程地质学的基础部分。

(2) 工程动力地质学。或称工程地质分析学，主要研究各种工程地质问题产生的环境地质条件、力学机制和发展演化规律，以便采取合理的防治措施。

(3) 工程地质勘察。也称专门工程地质学，主要内容是研究查明建筑地区的工程地质条件的手段和方法，论证可能发生的工程地质问题，并正确作出合理的分析与评价，以便提供设计和施工所需的地质资料。

(4) 区域工程地质学。主要研究区域性工程地质条件的特征和规律，进行工程地质分区，并编制工程地质区划图等。

(5) 环境工程地质学。主要研究人类工程经济活动与地质环境之间的相互作用和相互影响，从而更科学合理开发、利用和保护地质环境，它是一门新兴的学科。传统的工程地质学是以工程为主体，以保证工程安全稳定、经济合理为目的的；而环境工程地质学则是以环境为主体，以优化开发、利用和保护地质环境为目的的。

此外，与工程地质学关系密切的学科主要有：

矿物学、岩石学、构造地质学、地史学、地貌学、水文地质学等一系列地质学科的知识，以及材料力学、测量学等，都是进行工程地质工作和研究工程地质问题所必须具备的基础知识。

岩石力学、土力学是专门研究岩、土的力学性质、计算理论和试验方法的学科，它们是对工程地质条件进行定量评价计算所不可缺少的基础理论知识。

二、工程地质学的任务和在工程建设中的意义

水利水电工程建设是人类利用自然、改造自然为经济建设服务的活动，为此，必须首先了解自然。环境地质条件是与水利水电工程关系最密切、最重要的自然条件。任何工程都必须首先详细查明建筑地区的工程地质条件和可能出现的工程地质作用，然后结合其特征才能做出正确的规划、设计和施工，才能保证工程的安全可靠和经济合理。许多事例说明：凡是重视工程地质工作，事先了解和掌握了环境地质条件的规律性，则修建的工程将会是成功的；反之，忽视工程地质工作，则必然要出现这样或那样的问题，甚或导致整个工程发生灾难性的毁坏。例如，近代震惊世界的两起最大的水利工程事故，都是因地质问题造成的。一是法国马耳帕赛（Malpasst）坝，当时是世界上最高的薄拱坝之一，高 66.5 m，1954 年建成。1959 年 12 月 2 日因左岸坝肩岩体向下滑移，导致突然崩溃。洪水冲毁下游村镇，死亡 300 多人。另一是意大利的瓦依昂（Vaiont）水库，坝高 265 m，当时是世界上最高的双曲拱坝。1963 年 10 月 9 日坝前左岸山体突然发生特大滑坡，约 2.4 亿 m^3 的岩体迅速滑入峡谷水库中，将库水涌高 200 多米，漫过坝顶，泻向下游，使朗格伦镇夷为平地，共死亡 2400 多人，水电站工作人员也全部遇难。此外，美国的圣·弗兰西斯（St. Francis）拱形重力坝，由于坝基砾岩为粘土质胶结并含有石膏夹层，被渗透水流浸湿、软化、溶解，导致坝体沉陷、开裂、滑移崩溃，伤亡 400 多人。再有，历时 32 年（1882~1914 年）凿成的巴拿马运河，耗资 4 亿多美元，建成后第二年在分水岭地段发生了大规模岩崩，堵塞了运河。处理此事故又用了五年的时间，加挖了 5400 万 m^3 土石方，相当于此段开挖总量的 40% 以上。仅停航 5 年，损失就达 10 亿美元。

类似上述的事例，在世界上是很多的。据国际工程地质协会 1979 年在前苏联举行的水工建设工程地质国际讨论会发表的论文，在世界上所有大坝的破坏事例中，30% 起因于地基岩体，28% 是由于侵蚀和管涌，34% 是洪水漫坝。前两项都属于地质因素，可见地质条件对水工建筑物的重要性。

在我国大中型水利水电工程建设中，十分重视工程地质勘察工作，所以尚未发生过因地质问题而引起重大的溃坝事故。但也有多起因忽视地质工作或限于某种原因未查明不良地质条件而造成各种隐患和事故的情况，个别小型水库因忽视地质工作也有垮坝事故发生。例如，四川陈食水库，因坝基岩体受到渗透水流的潜蚀冲刷，形成空洞，造成 15.9 m 高的砌石连拱坝坍塌毁坏。浙江黄坛口水电站在大坝施工开挖后，才发现左岸坝肩是个大滑坡体，岩石松碎，坝头不能与坚硬完整的岩石相接，不得不停工进行补充勘探，修改设计，才保证了大坝的安全。安徽佛子岭水库，为一混凝土连拱坝，坝高 75.9 m，长 510 m，1954 年建成，是治理淮河水患的第一座大型工程。由于清基不彻底，坝基下有缓倾角软弱岩层，断层节理及风化严重的岩石（全、强风化）未被清除，致使坝基发生不均匀沉陷变形，坝体发生多条裂缝。后虽经两次大规模加固补强处理，但 1996 年仍被定为“病坝”，仍需彻

底处理。梅山水库是治淮工程中的第二座大型水利工程，与佛子岭工程相似，也是由于对右岸坝肩风化严重的花岗岩清除得不彻底，防渗工作做得不严格，结果发生渗漏，右坝肩岩体发生轻微滑动，导致连拱坝拱垛发生位移，拱圈发生裂缝。广东新丰江水电站因发生6.1级水库诱发地震，致使大坝发生裂缝。此外，尚有江西上犹江、四川狮子滩及长江葛洲坝水电站坝基泥化夹层问题，湖南柘溪水电站及云南漫湾水电站坝址区滑坡问题等，都延误了工期，造成了较大的经济损失。

虽然失败的教训使我们遭受了重大的损失，但也取得了宝贵的经验，提高了对工程地质工作重要性的认识，同时也促进了工程地质学的发展。

忽视工程地质工作可能造成重大损失甚至灾难，但重视工程地质工作，则可能将不利的、复杂的地质条件妥善处理或避开，从而保证建筑物的安全稳定，甚至可巧妙地使其转化为有利因素以节约投资。例如，云南丘北六郎洞水电站，湖南辰溪县内湾水库等均成功地拦截地下暗河，利用溶洞建成水库并发电；三峡库区长江左岸新滩镇1985年发生大滑坡，全镇房屋均被推入江中，但事前进行了长期监测工作，且预报较准，全镇1371人无一伤亡。正在施工的四川雅砻江二滩水电站，拱坝坝高245m，曾对坝基岩体进行了详细勘察和深入研究，提出了最优的建基面方案，与初步设计相比基坑开挖深度减少7.56m，结果可节约投资6000多万元，并可缩短工期11个月。长江三峡工程也有类似情况，由于利用了一部分弱风化岩体作为坝基，结果建基面平均提高约2m多，节省石方开挖50万 m^3 ，节省混凝土约43万 m^3 。

综上所述，工程地质学在水利水电工程建设中的主要任务是：

(1) 选择工程地质条件最优良的建筑地址。在规划设计阶段，大型工程的选址、选线，工程地质条件是一个重要因素，工程地质条件良好的地址，可以节省投资，缩短工期，并保证安全施工和运营。

(2) 查明建筑地区的工程地质条件和可能发生的不良工程地质作用。工程建筑地址的选定不完全决定于地质条件，而首先考虑的是整体经济建设的发展和需要。即便是根据地质条件选择的地址，也不会是完美无缺的，总会有这样那样的工程地质问题。不良的工程地质条件并不可怕，怕的是没有查明或认识不足，不够重视。早在50年代我国在总结水利水电工程建设经验教训的基础上，就曾提出过：“没有足够的工程地质勘察资料，就不能进行设计；没有设计，就不能施工”的规定。只要查明并给以足够的重视，绝大多数工程地质问题都是可以通过工程措施得到妥善解决的。

(3) 据选定地址的工程地质条件，提出枢纽布置、建筑物结构类型、施工方法及运营使用中应注意的事项。

(4) 提出改善和防治不良地质条件的方案措施。

三、我国水利水电工程地质的成就与发展

工程地质学是随着人类工程建设的发展而逐渐形成的。人类的工程活动，早在公元前就开始了，万里长城与埃及的金字塔都是古代伟大工程的代表。我国的水利建设也起源很早，在公元前485年就修建了京杭大运河，公元前250年修建了都江堰分水灌溉工程等。古代的劳动人民在工程建设中虽然积累了一定的工程地质知识，但是直到本世纪20年代以后，工程地质学才形成为一门独立的科学。

我国地域辽阔，水能资源十分丰富，理论蕴藏量达 6.8 亿 kW，但已开发的仅有 10% 左右。据 1993 年以前的统计，我国已建成的蓄水在 1 亿 m³ 以上的大型水库共 235 座，水电装机容量已超过 2416.5 万 kW。1993 年以后又相继建成或正在施工的有漫湾、观音阁、隔河崖、龙羊峡、李家峡、三峡、二滩、小浪底、万家寨、大朝山等大型水利水电工程。在进行这些工程建设中曾遇到各种各样的工程地质问题，如坝基泥化夹层，风化槽带，断层破碎带、活断层及水库诱发地震，岩溶渗漏及边坡、洞室岩体稳定问题等。为解决这些问题，进行了大量深入研究工作，并获得了丰富的研究成果和防治经验。此外，在工程地质勘察方法、试验方法及数值计算等方面，也取得了显著的进步和发展。

随着国民经济发展和对电力、供水的需要，以及对水患的根治，我国水利水电事业仍将有重大发展。水电开发程度将由现在的 10% 左右提高到 20% 以上，装机容量将增加 3500 万~4000 万 kW。正在勘察设计的金沙江溪落渡水电站混凝土拱坝最大坝高达 295 m，装机容量 640 万 kW；澜沧江小湾水电站拱坝坝高 292 m，装机容量 320 万 kW；雅砻江锦屏引水式电站，最大水位落差达 300 m，装机容量 320 万 kW，引水隧洞长约 17 km，最大埋深达 2500 m 以上；跨流域的引黄济晋和南水北调大型工程，前者已将竣工，后者也在勘察设计准备施工中。由于工程规模越大，对工程地质条件的要求就越严格，涉及的工程地质问题也越多、越复杂，因此，对工程地质勘察、研究和工程设计、施工等工作，也将提出更高的要求 and 肩负更重的使命，工程地质学也必将向更高水平和更深层次发展。

虽然工程地质学在我国已取得了显著成绩，但在以往的发展中也出现过一些问题，其中最突出的是地质勘察与工程设计、施工脱节，偏重于现状和局部，对大的地质环境研究不够。产生的原因，主要是认为工程地质工作重点是查明工程地质条件，偏重于定性分析研究，缺少定量评价，对如何处理不良地质问题，则认为是工程设计、施工人员的事，地质人员对此关注不够，也缺乏这方面的知识；而工程技术人员对工程建设的成败往往决定于地质因素的认识不足，同时也缺乏工程地质方面的知识，不能充分利用地质资料，根据地质条件作出既安全又经济的设计。因此常常造成大量的工程地质勘察资料不能被充分地利用，或是设计所需要的资料、数据又往往缺乏，不敷使用。

因此，从 70 年代以来，我国重视了开展坝基岩体、边坡岩体、洞室围岩、区域构造稳定（地应力、活断裂、地震）等问题的评价、计算和预测预报的研究工作。80 年代以来，工程地质勘察体制开始向岩土工程体制发展，即不仅要查明地质条件，而且要研究岩土体的整治、改造和利用的问题。它是工程地质学与土力学、岩石力学、地基基础工程紧密结合的产物。近年，我国一些工程地质学者为解决上述脱节问题，又提出了建立“地质工程”的观点，即认为地质工程是认识与解决工程建设及建筑物使用过程中与地质有关的工程问题的一门科学；是面向工程全过程，正确认识与处理地质环境条件与人类工程活动之间的矛盾的一个学科，它是工程地质、岩土工程与土木、水利水电等工程相互结合、互相渗透的交叉学科。正在进行的三峡库区链子崖危岩整治工程是地质工程的具体实践之一。显然，随着这一学科的建立与发展，将会有效地克服地质与工程脱节，使工程地质学向更广阔的知识领域和更高的技术层次发展。

四、本课程的特点和学习要求

综上所述可以看出，作为一名水利水电、港口等工程建筑的工程师，在工作中必须具

备一定的工程地质知识，既要能阅读和利用工程地质勘测成果资料，又要能认识、分析和处理有关的地质问题，只有这样才能作出正确的设计和施工方案。正如我国著名的水利水电工程专家、中国科学院和工程院两院院士潘家铮所说：“不懂设计的地质师不可能成为一位优秀的工程地质师，正如不懂工程地质的设计师不可能成为一位优秀的设计师一样。”这是从大量生产实践经验和工程事故中总结出来的重要认识。如果缺少必要的工程地质知识，则必然会对某些工程的地质问题有疏漏，甚至作出错误的设计或施工方案。

由于水利水电工程建设与施工这两个专业的学生没有学过地质学的技术基础课（如矿物岩石学、构造地质学等），所以本课程需要结合必要的地质基础知识讲授。掌握一些必要的地质学的基本理论、原理和知识，是学好工程地质的重要保证。

本课程是一门实践性很强的课程，所以除课堂教学外，室内试验、野外教学实习及电化教学（幻灯、录像）等是本课程的重要教学环节。尤其是野外教学实习，在本课程中占有特殊重要的地位，与其说是野外教学实习，不如称其为“现场教学”更为恰当。因为它不只是印证、巩固、加深课堂教学内容的问题，而是还有相当多的内容是课堂无法讲授或学生在课堂上无法掌握的知识和内容，而这些知识又是必须由教师在野外现场讲解、引导、观察、分析和实际操作才能学到手的。野外教学实习是培养学生独立观察、思考、分析和实际操作能力的一个重要环节。如果缺少和削弱了这个重要的实践性教学环节，那么，水利工程地质教学是不完整的。所以在教与学的过程中，以及在制定教学计划、教学大纲时，对野外教学实习均应给予足够的重视。

复 习 思 考 题

1. 什么是工程地质学？其研究目的和主要内容是什么？
2. 为什么要学工程地质？
3. 工程地质在水利水电工程建设中的主要任务是什么？
4. 怎样学好工程地质？

第一章 岩石及其工程地质性质

概 述

地球是宇宙中沿一定轨道运转的椭球体，它的外层被大气和水所包围。固体的表层是由岩石组成的硬壳——地壳，它是各种工程建筑的场所，是人类生存和活动的地方。因此，了解地壳的物质组成、结构及性质具有重要的意义。

根据地震波在地球内部传播的速度随深度的变化，可知地球内部存在两处最明显的分界面，分别是位于 30~40 km 深处的莫霍面和约 2900 km 深处的古登堡面。它们将地球内部物质分成明显的同心圈层构造。如图 1-1 所示。

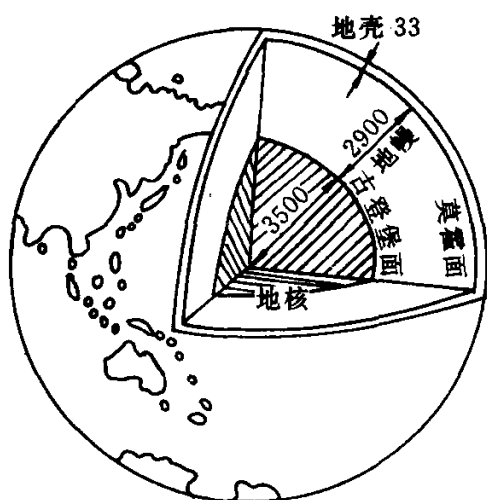


图 1-1 地球的内部构造
(厚度单位: km)

地核: 自古登堡面以下至地心部分称为地核。厚度约为 3470 km，主要由比重较大的铁镍物质组成。

地幔: 是莫霍面以下，古登堡面以上的部分。厚度约为 2900 km。根据地震波速的变化，以 650 km 深度为界，可分为上地幔和下地幔两个次级圈层。上地幔由含 Fe、Mg 多的硅酸盐矿物组成，与超基性岩相类似。在深度 60~250 km 处，是熔融状态物质，故也称软流层，一般认为是岩浆的发源地。下地幔的物质中 FeO 和 MgO 的含量可能更高。

地壳: 是莫霍面以上地球的固体表层部分，厚度变化很大。大陆地壳是大陆及大陆架部分的地壳，它具有上部为硅铝层、下部为硅镁层的双层结构。陆壳的平均厚度为 33 km，但各地厚度相差很大，高山和高原地区地壳通常较厚，平原地区较薄。大洋地壳简称洋壳，其厚度较薄，平均仅 5~6 km，一般缺硅铝层。

组成地壳的化学元素有百余种，但各元素的含量极不均匀，其中最主要的是下列 10 种，它们占地壳总质量的 99.96%。

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

其余的是磷、锰、氮、硫、钡、氯等近百种元素。

地壳中的化学元素常随环境的改变而不断地变化。元素在一定地质条件下形成矿物，矿物的自然集合体则是岩石。组成地壳的岩石按成因可分为岩浆岩（火成岩）、沉积岩和变质岩三大类。它们在地壳中的分布并不均匀。从各类岩石在地壳表面的分布面积看，沉积岩约占陆地面积的 75%，变质岩和岩浆岩占 25%。从地表往下，沉积岩所占比例逐渐减小。

若按质量百分比计算，沉积岩仅占地壳质量的5%，变质岩占6%，而岩浆岩占89%。不同成因的岩石的形成条件、物质成分、结构和构造各不相同，故它们的物理力学性质也不一样。这些都关系到工程建设的规划、设计和施工。

第一节 造岩矿物

地壳中的矿物，是指在各种地质作用中所形成的天然单质元素或化合物。它们具有一定的化学成分和内部结构，从而有一定的形态、物理性质和化学性质。绝大多数矿物为固态，只有极少数呈液态（自然汞）和气态（如火山喷气中的 CO_2 、 SO_2 等）。已发现的矿物有3000多种，但组成岩石的主要矿物仅30余种，这些组成岩石的主要矿物称为造岩矿物，如石英、方解石及正长石等。

一、矿物的形态

矿物的形态是指矿物单体及同种矿物集合体的形态而言的。矿物形态受内部结构和生成时的环境制约。

（一）矿物单体形态

1. 结晶质和非结晶质矿物

造岩矿物绝大部分是结晶质，其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重复排列，形成稳定的结晶格子构造（图1-2）。具有结晶格子构造的物质叫做结晶质。结晶质在生长过程中，若无外界条件限制、干扰，则可生成被若干天然平面所包围的固定几何形态。这种有固定几何形态的晶质称为晶体，如石盐呈立方体，水晶呈六方柱和六方锥等（图1-3）。在结晶质矿物中，还可根据肉眼能否分辨而分为显晶质和隐晶质两类。

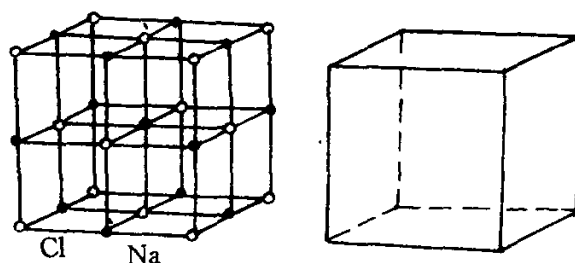


图 1-2 石盐的晶体构造

非晶质矿物内部质点排列没有一定的规律性，所以外表就不具有固定的几何形态，例如蛋白石（ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）、褐铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）等。非晶质可分玻璃质和胶质两类。

2. 矿物的结晶习性

尽管矿物的晶体多种多样，但归纳起来，根据晶体在三度空间的发育程度不同，可分为以下三类。

（1）一向延长：晶体沿一个方向延伸，成柱状、棒状、针状、纤维状等，如角闪石和辉石（图1-3）、石棉、纤维石膏、文石等。

（2）二向延长：晶体沿两个方向发育，成板状、片状、鳞片状等。如板状石膏（图1-3）、云母、绿泥石等。

（3）三向延长：晶体在三度空间发育，成等轴状、粒状等。如石盐（图1-2）、黄铁矿、石榴子石等（图1-3）。

（二）矿物集合体形态

同种矿物多个单体聚集在一起的整体就是矿物集合体。矿物集合体的形态取决于单体的形态和它们的集合方式。

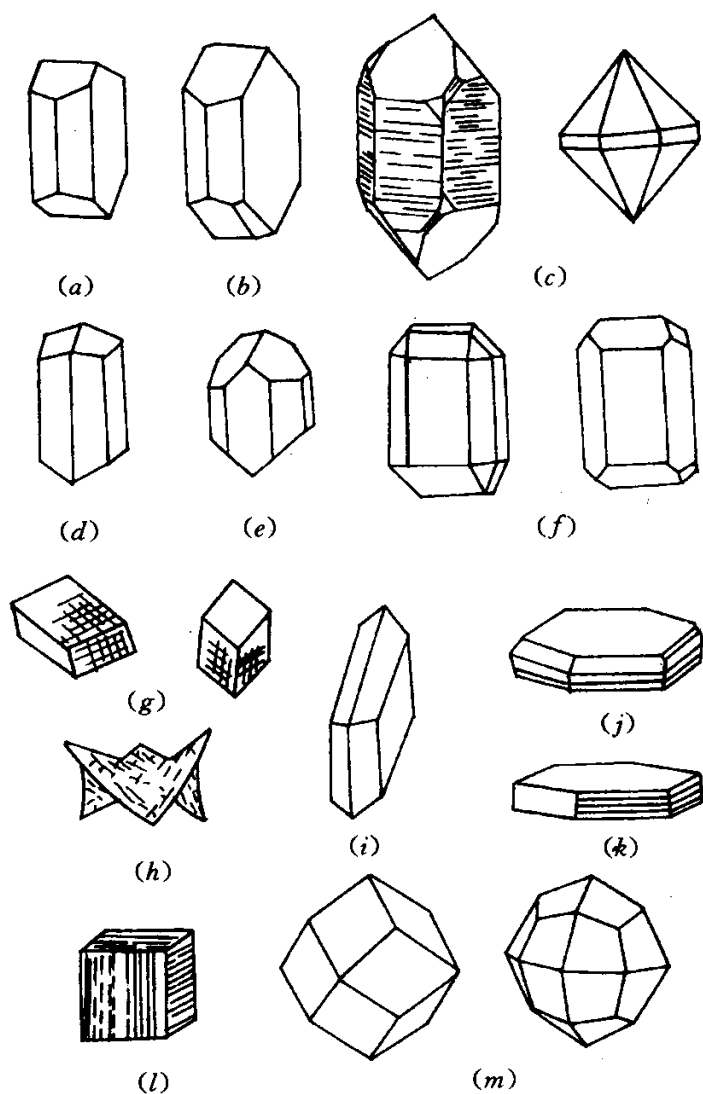


图 1-3 常见矿物晶体的形态

(a) 正长石; (b) 斜长石; (c) 石英; (d) 角闪石; (e) 辉石; (f) 橄榄石; (g) 方解石; (h) 白云石; (i) 石膏; (j) 绿泥石; (k) 云母; (l) 黄铁矿; (m) 石榴子石

显晶集合体形态有粒状、片状、板状、纤维状、针状、柱状、放射状、晶簇状等。其中晶簇状(图 1-4)是由一组具有共同基底的单晶成簇状集合而成。

隐晶和胶态集合体可以由溶液直接结晶或由胶体生成。主要形态有致密块状、土状、结核体、鲕状、豆状、分泌体、钟乳状集合体等。其中结核体是围绕某一中心自内向外逐渐生长而成,钟乳状集合体通常是由真溶液蒸发或胶体凝聚,逐层堆积而成,可成葡萄状、肾状、石钟乳状等。

二、矿物的物理性质

由于成分和结构的不同,每种矿物都有自己特有的物理性质。所以矿物物理性质是鉴别矿物的主要依据。

1. 颜色

颜色是矿物对不同波长可见光吸收程度不同的反映。它是矿物最明显、最直观的物理性质。据成色原因可分为自色和它色等。自色是矿物本身固有的成分、结构所决定的颜色,具有鉴定意义,例如黄铁矿的浅铜黄色。它色则是某些透明矿物混有不同杂质或其它原因引起。

2. 条痕

条痕是矿物粉末的颜色,一般是指矿物在白色无釉瓷板(条痕板)上划擦时所留下的粉末的颜色。某些矿物的条痕与矿物的颜色是不同的,如黄铁矿的颜色为浅黄铜色,而条痕为绿黑色。条痕比矿物的颜色更为固定,但只适用于一些深色矿物,对浅色矿物无鉴定意义。

3. 透明度

透明度是指矿物透过可见光波的能力。肉眼鉴定矿物时,一般可分成透明、半透明、不透明三级。这种划分无严格界限,鉴定时以矿物的边缘较薄处为准。

4. 光泽

光泽是矿物表面的反光能力。根据矿物表面反光程度的强弱,用类比方法常分为四个等级:金属光泽;半金属光泽;金刚光泽及玻璃光泽。另外,由于矿物表面不平、内部裂纹等,可形成某种独特的光泽,如丝绢光泽、油脂光泽、蜡状光泽、珍珠光泽、土状光泽等。矿物遭受风化后,光泽强度就会有不同程度的

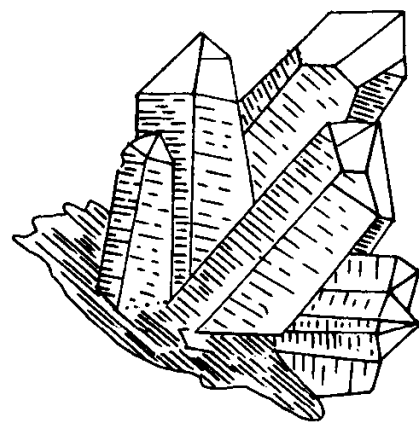


图 1-4 石英晶簇

降低，如玻璃光泽变为油脂光泽等。

5. 解理和断口

矿物在外力作用（敲打或挤压）下，严格沿着一定方向破裂或成光滑平面的性质称为解理。这些平面叫解理面。根据解理产生的难易程度，可将矿物的解理分成五个等级，即极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理、极不完全解理。不同种类的矿物，其解理发育程度不同，有些矿物无解理，有些矿物有一组或数组程度不同的解理。如云母有一组解理，长石有二组解理，方解石则有三组解理（图 1-5）。如果矿物受外力作用，无固定方向破裂并呈各种凹凸不平的断面，如贝壳状（图 1-6）、锯齿状等，则叫做断口。

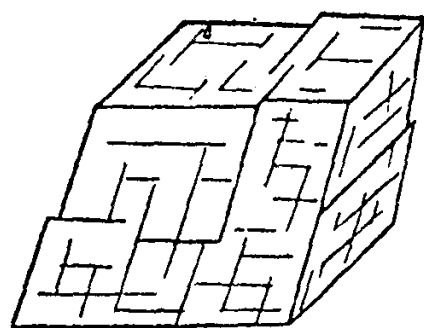


图 1-5 方解石的三组解理



图 1-6 贝壳断口

6. 硬度

硬度指矿物抵抗外力的刻划、压入或研磨等机械作用的能力。在鉴定矿物时常用一些矿物互相刻划比较来测定其相对硬度，一般用 10 种矿物分为 10 个相对等级作为标准，见表 1-1 所示。实际工作中还可以用常见的物品来大致测定矿物的相对硬度，如指甲硬度为 2~2.5 度，玻璃约为 5.5~6 度，小刀为 5~5.5 度，钢刀为 6~7 度。

表 1-1 矿物硬度表

硬 度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
矿 物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石

7. 其他性质

如相对密度、磁性、弹性、挠性、脆性等对于鉴定某些矿物有时也是十分重要的。利用与稀盐酸反应的程度，对于鉴定方解石、白云石等矿物是有效的手段之一。

三、造岩矿物简易鉴定方法

正确地识别和鉴定矿物，对于岩石命名、鉴定和研究岩石的性质，是一项不可缺少而且是非常重要的工作。准确的鉴定方法需借助各种仪器或化学分析，最常用的为偏光显微镜、电子显微镜等。但对于一般常见矿物，用简易鉴定方法或称肉眼鉴定方法即可进行初步鉴定。所谓简易鉴定方法，即借助一些简单的工具，如小刀、放大镜、条痕板等对矿物进行直接观察测试。为了便于鉴定，表 1-2 列出了常见造岩矿物鉴定特征。表中除列有鉴定特征外，还有一些其他特征，可供学习和鉴定时应用。