

高等学校教材

水利工程地质

(第二版)

天津大学 崔冠英 潘品蒸 主编

水利电力出版社

高等学校教材

水利工程地质

(第二版)

天津大学 崔冠英 潘品蒸 主编

水利电力出版社

内 容 简 介

本教材根据高等院校水利工程系的课程设置及教学要求，系统地介绍了工程地质的基本知识。主要内容包括：岩石及其工程地质性质；地质构造；水流的地质作用及库坝区渗漏问题；岩体的工程地质特性；坝基岩质边坡及地下洞室围岩稳定的工程地质分析以及水利水电工程地质勘察方法。

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，也可供水利水电类其他专业和工程技术人员参考。

高等学校教材

水利工程地质

(第二版)

天津大学 崔冠英 潘品蒸 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.625印张 331千字 3插页

1979年4月第一版

1985年12月第二版 1985年12月北京第四次印刷

印数29241—44360册 定价3.30元

书号 15143·5883

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

前 言	
绪 论	1
一、工程地质在水利水电工程建设中的作用	
二、本课程的主要内容	
三、工程地质学的发展现状	
第一章 岩石及其工程地质性质	5
第一节 造岩矿物	6
一、矿物的物理性质	
二、矿物鉴定表	
第二节 岩浆岩(火成岩)	13
一、岩浆岩的成因类型及产状	
二、岩浆岩的物质成分	
三、岩浆岩的结构和构造	
四、岩浆岩的分类及简易鉴定方法	
五、主要岩浆岩的特征	
第三节 沉积岩	20
一、沉积岩的形成及组成成分	
二、沉积岩的结构和构造	
三、沉积岩的分类及简易鉴定方法	
四、主要沉积岩的特征	
第四节 变质岩	26
一、变质作用的因素及类型	
二、变质岩的矿物成分、结构和构造	
三、变质岩的分类及简易鉴定方法	
四、主要变质岩的特征	
第五节 岩石风化与岩石工程地质特性	30
一、岩石风化	
二、岩石的工程地质特征	
第二章 地质构造	38
第一节 地史概要	39
一、地层年代的确定	
二、地质年代单位与地层单位	
三、地质年代表	
第二节 褶皱构造	41
一、岩层的产状	
二、褶皱构造的类型及特征	
第三节 断裂构造	45
一、断裂构造的力学性质特征	
二、节理的成因分类及其特征	
三、节理的调查与统计	
四、断层的基本类型及其特征	
五、断层的野外识别标志	
第四节 地质图	55
一、地质图的基本内容	
二、地质条件在地质图上的表示方法	
三、地质剖面图和综合地层柱状图的编制	
四、地质图的阅读分析	
第五节 地震	65
一、地震震级和地震烈度	
二、我国地震地质的基本特征	
三、水库地震	
四、大地构造学说简介	
第三章 水流的地质作用及库坝区渗漏问题	78

第一节 地表水流的地质作用及松散堆积物	78
一、河流的地质作用 二、河谷地貌与坝址选择 三、松散沉积物的工程地质特征	
第二节 地下水	87
一、地下水及其分类 二、潜水 三、承压水 四、裂隙水 五、泉	
第三节 岩溶	96
一、岩溶的形态特征和研究意义 二、岩溶发育的基本条件 三、岩溶发育和分布规律 四、岩溶水	
第四节 水库及坝区渗漏的工程地质分析	104
一、库区渗漏的地质条件分析 二、坝区渗漏的地质条件分析 三、岩溶地区渗漏的条件分析 四、岩层渗透性指标及防渗措施	
第四章 岩体的工程地质特性	115
第一节 岩体的结构特征	115
一、结构面的成因类型 二、结构面的特征 三、软弱夹层 四、岩体结构类型	
第二节 结构面的图解表示法	127
一、赤平极射投影 二、极点图与极点等密度图	
第三节 岩体的力学特性	131
一、岩体的变形特征 二、岩体的流变特性 三、岩体的破坏方式与破坏机制	
第四节 岩体的天然应力状态	137
一、天然应力的组成 二、岩体天然应力分布的规律 三、影响地应力分布的因素	
第五节 岩体的工程地质分类	139
一、单指标的分类 二、多指标的综合分类	
第五章 坝基岩体稳定的工程地质分析	145
第一节 坝基(肩)岩体抗滑稳定分析	146
一、坝基岩体滑动破坏的类型 二、坝基岩体滑动的边界条件分析 三、边界条件的阻滑因素 四、坝肩岩体滑动的边界条件分析	
第二节 坝基岩体抗滑稳定计算参数的选定	152
一、抗滑稳定计算公式 二、根据试验成果对 f 、 c 值的选择确定 三、地质因素对 f 、 c 值的影响 四、抗剪强度指标的经验数据	
第三节 降低坝基岩体抗滑稳定性的作用	159
一、渗透水流对坝基岩体稳定性的影响 二、坝下游河床冲刷问题	
第四节 坝基处理	165
一、清基 二、岩层裂隙的处理 三、软弱破碎带的处理 四、梅山水库右岸坝基处理简介	
第六章 岩质边坡稳定的工程地质分析	170
第一节 边坡岩体应力分布特征	171
一、边坡形成后应力状态的变化 二、影响边坡岩体应力分布的主要因素	
第二节 边坡岩体的变形与破坏	175
一、松弛张裂 二、蠕动 三、崩塌 四、滑坡	
第三节 边坡稳定性的工程地质分析	182

	一、根据地质地貌条件分析评价边坡的稳定性 二、工程地质类比法 三、图解分析法	
	第四节 岩质边坡稳定计算原理	188
	一、滑动面为一平面时的计算 二、滑动面为折线时的计算 三、边坡稳定计算中 ϕ 、 c 值的确定	
目	第五节 不稳定边坡的防治措施	192
	一、防参与排水 二、削坡、减重和反压 三、修建支挡建筑 四、锚固措施 五、其他措施	
	第七章 地下洞室围岩稳定的工程地质分析	194
	第一节 地下洞室位置选择的工程地质评价	194
	一、地形条件 二、岩性条件 三、构造条件 四、地下水 五、地应力 六、洞室不良施工条件的工程地质预测	
	第二节 围岩稳定的工程地质分析	198
	一、围岩应力重分布的一般特征 二、围岩变形破坏的特点 三、围岩自稳时间的评价方法	
	第三节 地下洞室设计中某些参数选择的评价	204
	一、山岩压力 二、弹性抗力	
	第四节 提高围岩稳定性的原则	210
	一、尽量少扰动围岩 二、用连续支护代替传统的支护 三、确定最佳支护时间	
	第八章 水利水电工程地质勘察	212
	第一节 工程地质测绘	212
	一、路线测绘法 二、地质点测绘法 三、野外实测地质剖图的作法 四、遥感技术在工程地质测绘中的应用	
	第二节 工程地质勘探	214
	一、山地工作 二、钻探工作 三、物探工作	
	第三节 工程地质试验及长期观测	219
	一、工程地质试验 二、长期观测工作	
	第四节 工程地质勘察资料整理	220
	一、工程地质勘察报告主要内容 二、工程地质图表 三、水库坝址区地质图的阅读和分析	
	附录 中华人民共和国法定计量单位	226
	参考文献	228

绪 论

一、工程地质在水利水电工程建设中的作用

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学。它是地质学的一个重要分支，是从工程建设生产实践中发展起来的一门年轻的应用学科。它广泛应用于水利水电、港口航道、海洋工程、铁路桥梁、隧洞、矿山深井、国防工程及城市建设等各个部门。

进行大规模的工程建设，都必需进行工程地质调查勘探工作，查明工程建筑地区的工程地质基本条件，对有利的地质因素和不良的地质现象作出正确的分析，针对影响建筑物安全的主要工程地质问题进行论证，以及预测工程建成后引起新的环境工程地质问题，为工程建设的规划、选址、设计、施工与管理等各个阶段，提供可靠的工程地质资料。在水利水电工程建设中，如果对工程地质工作重视不够，或工作粗糙，留下隐患，则会产生严重的后果。据统计，近几十年来，世界上遭受严重破坏的水工建筑物，由于地质问题所造成的占较大的百分比。例如，法国的马耳帕赛拱坝，是世界上最薄的拱坝之一，由于坝基和坝肩的片麻岩体中存在细微裂隙和断层，构成软弱滑动面，1959年12月2日库水位猛涨，左岸拱座滑动破坏，库水冲毁下游市镇，死亡失踪近五百人。又如美国圣法兰西斯重力坝的破坏，是由于坝基中含粘土石膏质胶结的砂砾岩被水浸，软化溶解，引起坝基失稳而崩溃，下游两岸被冲毁、伤亡四百多人。西班牙的蒙特哈水库，建成后，库水从石灰岩溶洞中漏失，72m的大坝耸立在干枯的河谷上。意大利的瓦依昂拱坝，坝高265m，当时是世界上最高的双曲拱坝，1963年10月9日，库区左岸陡峻的石灰岩层因蓄水后失稳，产生巨大的滑坡，约 $2.4 \times 10^8 \text{m}^3$ 的岩体崩入库中，激起巨浪冲刷沿岸、死亡约2400多人，损失惨重。类似的例子还很多。在我国修建的水工建筑物，也有的工程由于对复杂的地质条件缺乏周密的调查勘探，设计方案没有充分的地质依据，就急于破土施工，结果碰到严重的地质问题，迫使停工补做勘探，修改设计方案，因而拖延工期、增加投资，造成浪费。例如，我国浙江黄坛口水电工程，在大坝施工开挖时才发现左岸坝肩是大滑坡体，使坝头无法与坝肩坚硬岩体相接，不得不重新进行补充勘探，改变原来的设计方案。由此看出，为搞好工程建设必须从国内外这些因地质问题引起工程事故的实例中，吸取经验教训，认真加强工程地质调查勘探工作。

建国三十五年来，我国水利水电建设，取得了很大的成就：建成各类水库86000多座，总库容 $4.4 \times 10^{11} \text{m}^3$ ，其中大型水库（库容1亿 m^3 以上）有335座；水电站总装机容量已达2416万kW，年发电量已达864亿kW·h。所兴建的大、中、小型水利水电工程，分布在我国不同的各种地质条件地区，遇到各种不同的复杂的工程地质问题，其中主要的有：区域地质构造稳定性和地震活动问题；岩体中的软弱结构面与软弱夹层构成的坝基、坝肩抗滑稳定问题；构造破碎带形成的坝基压缩变形与渗漏变形问题；高边坡稳定与大跨度地下洞室的围岩稳定问题；岩溶地区的岩溶分布、发育规律及其对库区、坝基渗漏问题；不同

风化岩体的工程地质性质及其利用问题；河床深厚覆盖层的分布、结构及其渗透变形和砂层振动液化的评价问题；库区水文地质条件变化引起的坍岸、盐碱化以及水库诱发地震问题等。通过对上述主要工程地质问题的调查勘探和分析研究，经过多年来的工程实践，逐渐积累了较丰富的经验，为开创水利水电工程地质工作新局面奠定了基础。

水利水电建设要贯彻“一定要降低建设造价，选择最优方案，缩短建设周期”的方针。工程地质勘察是工程设计和施工的基础工作。实践证明，没有高质量的工程地质勘察，就不可能制定与选择最优的设计和施工方案，更谈不上降低造价和缩短工期。当前，水利水电工程地质工作存在的主要问题是：地质与水工脱节，勘探技术落后，勘察时间过长，勘探工作量很大，一搞就是上千米洞、上万米孔，而工程地质勘探、试验成果资料，又长期积压，没有充分得到利用。因此，水工技术人员加强学习工程地质基础知识，工程地质人员加强学习水工方面的知识，是克服地质与水工脱节的有力措施。水工专业人员具有扎实的工程地质知识，才能充分应用地质资料，正确分析主要地质问题，制定合理的规划和最优的设计方案。采用先进的勘探手段和新技术、更新技术装备，是提高勘探质量、减少勘探工作量、缩短工期和降低造价的重要措施。只有地质与水工在各个环节紧密结合，才能适应加快水利水电建设速度的迫切需要。

二、本课程的主要内容

如前所述，工程地质学是一门实践性很强的应用学科。卅多年来，为适应我国水利水电建设的需要，进行了大量的工程地质勘察工作，积累了丰富的生产实践经验和科学试验成果，提出了需要解决的工程地质方面的主要问题，促进了工程地质科学的迅速发展，水利水电工程地质已成为工程地质学的一个重要分支。根据本学科的研究对象和本专业培养目标与教学要求，本课程的主要内容可分为以下几个方面：

（一）研究岩石的工程地质性质

地壳表层的岩石，是水工建筑物的地基和重要的建筑材料，岩石的工程地质性质直接影响地基的稳定性和石料质量的好坏。因此，岩石性质是工程地质研究的基本内容。主要是研究与水工建筑有关岩石的矿物组成、结构构造以及主要的物理力学特性，并结合地质成因分析，阐明常见矿物岩石的简易识别方法，综合评价岩石的工程地质特性。

（二）研究地质构造与区域稳定性问题

地质构造与区域稳定性问题的研究，是工程地质研究的主要内容之一，它研究地质构造的基本形态、主要特征及其在地质图上的表示和分析方法，研究与水工建筑密切有关的断层、节理、破碎带及软弱夹层的力学特性和分布规律，研究地震活动性与区域稳定性分析等问题，这些都是直接影响建筑物地基岩体稳定和渗漏的主要地质条件，甚至成为工程选址的决定因素。

（三）研究地下水及地表水流的地质作用

研究地表水流的地质作用、河谷地貌、沉积层的主要类型及工程地质特性；阐明地下水的埋藏条件、成因类型和运动规律；研究岩溶、滑坡、崩塌、岩石风化等不良地质现象及作用过程。水流的地质作用和不良地质现象，往往直接危及水工建筑物的安全，常使工程建筑遭受破坏或严重影响工程效益。

（四）研究岩体结构的工程地质特性

研究岩体的结构特征，阐明岩体结构面和结构体的基本性质；分析岩体的力学特性及天然应力状态；着重研究岩体的软弱结构面和软弱夹层的成因、类型与力学强度特征；评述岩体的工程地质分类等。这部分是研究岩体稳定的理论基础，是分析水工建筑物地基、边坡、洞室围岩稳定的重要内容。

（五）研究岩体的稳定和渗漏问题

岩体的稳定和渗漏问题，是水利水电工程建设中主要的工程地质问题。岩石性质、地质构造、地下水、地表水流及不良地质现象、岩体结构等，既是工程地质的基础知识，又是决定工程岩体稳定和渗漏问题的主要地质因素。分析研究各种地质条件，对岩体稳定和渗漏作出工程地质评价，如研究坝基、坝肩的岩体变形和抗滑稳定问题，岩质边坡与洞室围岩的稳定问题，以及库区坝址的渗漏问题等，都是水利水电工程地质的关键问题和重要内容。

（六）阐明水利水电工程地质勘察的基本知识

水利水电工程地质勘察是通过地质测绘、勘探、试验和长期观测等方法来获得必需的地质资料。工程地质勘察报告及其主要图件是地质工作的汇总成果，它为水工建筑规划、设计、施工、管理等各个阶段提供可靠的地质依据。因此，简要介绍了工程地质勘察手段的基本原理和方法，着重讲述工程地质图件的阅读分析方法的基本内容。

三、工程地质学的发展现状

工程地质学是一门比较年轻的独立学科，它的形成和发展与工程建设实践密切相关。随着人类工农业建设、能源利用、资源开发和环境保护等方面的迅速发展，工程地质学的重要性和作用越来越大。各类工程建筑物的规划、选址、设计和施工是工程地质学发展的直接动力，多数国家的工程地质学是在水利水电工程建设中发展起来的。1982年12月在印度新德里召开的第四届国际工程地质大会，1984年3月在成都举行的我国第二届全国工程地质大会，反映了国际和国内工程地质学的发展现状和方向。

近年来，在国外，工程地质学是有很大的发展，突出表现在环境工程地质学科系统的逐渐形成。环境工程地质问题的研究，在国际上得到普遍的重视和快速发展，它的研究目的是保护环境，指导环境的合理开发，重点是研究人类工程建设对自然地质环境的影响及其变化的预测，论证环境保护、治理和评价开发方案的可行性，是工程地质学的重要发展新方向。海洋工程地质学，也是近年来随着石油及海底矿产开采以及港口工程建设而发展起来的。建筑材料工程地质、地下工程和地震工程地质等新的分支学科，得到了迅速的发展。水利水电工程地质、铁路工程地质和矿山工程地质等传统学科，有了新的进展，更趋于完善和成熟。工程地质应用理论方面，如岩土体工程地质特性、工程地质力学、动力工程地质学、建筑材料等，研究水平得到很大的提高。

在我国，三十多年来，为适应社会主义经济建设发展的需要，在大规模的工农业建设及与各种地质灾害的斗争中，我国工程地质学逐渐形成具有自己特色的学科。为国民经济发展规划和工农业建设重点地区进行的区域工程地质和区域稳定性的研究，多年来进行了大量的、比较系统的工作，提出了我国区域工程地质学独特的学科体系。水利水电、铁路、

矿山、地下工程等专门工程地质分支学科已初步形成，并日趋完善和深入。地震工程地质、海洋工程地质、环境工程地质、爆破工程地质和军事工程地质等分支学科，也正在不同程度地形成和发展中。在工程地质学的理论方面，进行了大量有成效的探索研究工作，例如：对岩体工程地质评价的岩体工程地质力学理论；在区域稳定性研究中，以活动构造体系为基础的研究观点和方法，以深断裂和板块理论为基础的研究观点和方法；软岩和土体工程地质研究中的微观结构和物理化学观点等各方面，提出了具有中国特色的理论和观点。

人类工程活动的范围和规模，不断地日益扩大和迅速增加，对工程地质学提出许多难度更大的新课题，如大型高坝地基和高边坡的岩体稳定问题，高地应力场地区大跨度地下洞室和深矿井的围岩稳定问题，高层建筑的软岩（土）地基处理和抗震问题，以及核电站、核防护所、地下油库、海底隧道、国防工程等特殊设施的地质问题，这就促使工程地质学要不断吸收有关学科的新理论和新方法，要与工程力学、岩土力学等相关学科密切结合。工程地质必须由“定性分析”向“定量计算”研究方向发展，把地质定性分析和数学力学定量计算有机的结合起来。要加强工程地质学基础理论和边缘课题的研究，广泛应用先进的勘探技术和新的试验设备，采取有效措施提高勘察质量。同时要加强多学科、多专业、多手段的综合研究。在解决各种工程地质问题的实践过程中，不断提高理论水平、丰富实际经验，以加速工程地质学科的更大发展。

第一章 岩石及其工程地质性质

概 述

地球外层由岩石组成的硬壳称为地壳，它是各种工程建筑的场所，人类生存和活动的地方。因此，首先了解地球内部构造，特别是地壳的组成、结构及其性质等，具有重要的意义。

关于地球内部构造，目前人们能够直接获得资料 and 进行观察的深度是很有限的，通过钻探能直接研究的深度仅10km，主要是采取地球物理学的方法，研究大量天然地震波传播方向和速度的数据，发现地震波（纵波和横波）在地球内部传播的速度在横向和纵向都有变化，主要是在纵向上的不均匀性，而且在一定深度才能反映出来这种现象，说明地球内部的物质呈同心圈层构造。

地震波在地球内部传播速度随深度而有明显的变化，其中有两处波速变化最明显的分界面，反映在该界面上下地球物质的成分和物态有改变。第一界面深度很不一致，在大陆区较深，最深可达60km以上，而大洋区最浅，不足5km，这个不连续面称为莫霍面。第二界面在地表下约2900km深处，称为古登堡面。根据这两个界面一般把地球划分为地壳、地幔和地核三大圈层。近年来，根据大量地球物理资料，进一步分为更多的次一级圈层（图1-1）。

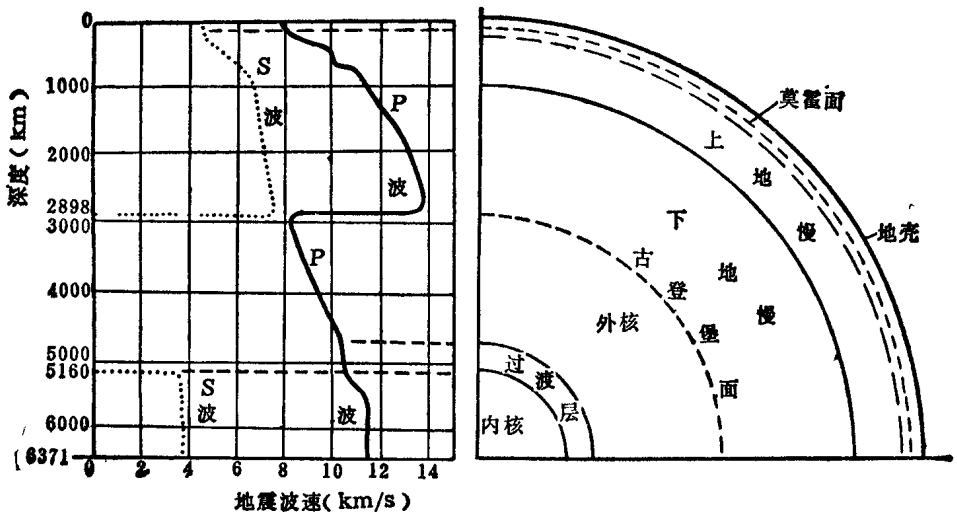


图 1-1 地球内部结构及地震波速分布

地核 地球最内部的核心，是自古登堡面以下至地心部分称为地核。地核分内核、过渡层和外核，厚度3471km。地核主要是由含铁、镍量很高，成分很复杂的液体和固体相变物质组成，密度约 13.0g/cm^3 ，温度达 $3500\sim 4000^\circ\text{C}$ ，中心压力达 360GPa （即360万个大气压）。

地幔 地幔是介于地壳和地核之间的部分，上界面为莫霍面，下界面为古登堡面，厚度约2800km。根据地震波的变化情况，以1000km激增带为界面，又可把地幔分上、下两层。

上地幔深度在1000km以上，厚度900多km，主要是由超基性岩组成，平均密度 $3.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，温度达 $1200\sim 2000^\circ\text{C}$ ，压力达 0.4GPa （即4000个大气压）。

下地幔从1000km到2900km深度，厚度1900km，主要成分为硅酸盐、金属氧化物和硫化物，铁、镍量增加，平均密度为 $5.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，温度达 $2000\sim 2700^\circ\text{C}$ ，压力达 150GPa （即150万个大气压）。

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至10km，大陆地壳的平均厚度是35km，在造山带和西藏高原处，其厚度达50至70km，整个地壳平均厚度为16km。地壳分上、下两层，上层为花岗岩质，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，富含铁、镁质，大洋地壳广泛分布玄武岩物质。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%。

组成地壳的化学元素，根据分析资料，其中最主要的元素有下列10种，按重量百分比计算，占地壳总重量的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				

其余是磷(P)、锰(Mn)、氮(N)、硫(S)、钡(Ba)、氯(Cl)等近百种元素，仅占0.04%。

地壳中的化学元素，不是孤立静止地存在，它们随着自然环境的改变而不断地变化。这些元素在一定的地质条件下聚集成各种化合物或单质产出，形成矿物。矿物的自然集合体又构成岩石。地壳主要由各种类型岩石所组成，按岩石的成因可分为岩浆岩(火成岩)、沉积岩和变质岩三大类。从地表分布三大类岩石来看，沉积岩分布最广，约占陆地表面面积的75%，岩浆岩和变质岩约占25%。从地表往下，沉积岩所占比例逐渐缩小，到地表以下16~20km，沉积岩仅占5%，岩浆岩和变质岩占95%。由于岩石的形成条件、矿物成分、结构和构造等因素的差异，具有不同的物理力学性质，它直接关系到建筑物的地基稳定和石料质量的好坏。因此，在水利工程建筑中，有必要对组成地壳的主要矿物和常见岩石，以及它们的工程地质性质等方面进行研究。

第一节 造岩矿物

地壳中的化学元素，少数是以自然单质的形式存在，如金刚石(C)、硫磺(S)、石墨(C)等，而绝大多数是由两种或多种元素组成化合物的形式存在，如石英(SiO_2)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)及黄铁矿(FeS_2)等。这些由地质作用形成的具有一定物理性质与化学成分的自然单质和化合物，称为矿物。由一种矿物或多种矿物或岩屑组成的自然集合体，称为岩石，它是各种地质作用的产物，是构成地壳的物质基础。

矿物在自然界中绝大多数呈固体状态存在，只有极少数呈液态（如石油）和气态（如天然气）存在。

目前人们已发现的矿物约有3000多种，而组成岩石的主要矿物约30多种，这些组成岩石的主要矿物，称为造岩矿物，如石英、长石、云母等。

一、矿物的物理性质

固体矿物按其组成元素质点（原子或离子）的有无规则排列，可分为结晶质矿物和非晶质矿物，如石盐（ NaCl ）中钠离子 Na^+ 和氯离子 Cl^- 呈立方形交替排列，形成结晶格子构造，其外形如图1-2所示。这种结晶质矿物，因为内部质点有规律的排列，所以在适宜的生长条件下，外表呈现由一些天然平面（晶面）所包围而成的几何形态，叫做晶体。但是，在岩石中大多数矿物结晶时，受到许多条件和因素的控制，形成不规则的形态，但只要其内部质点是有规律的排列，仍不失其结晶的实质。因此，在结晶质矿物中，习惯上还根据肉眼能否分辨而分为显晶质和隐晶质两类。

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。

1. 形态 矿物的成分、构造和生成环境，决定了矿物的晶体有一定规则的几何外形。这种晶体外表形态，是鉴定矿物的重要特征之一。矿物的晶形众多，但就其发育的规律，可按晶体在三度空间生长的程度，分为下列几种晶体形态：

（1）一向延长形：晶体沿一个方向发育，成柱状、针状、纤维状、放射状，如石英、角闪石和辉石（图1-3）、绿帘石等。

（2）二向延长形：晶体沿两个方向发育，成片状、板状、鳞片状，如云母、石膏（图1-4）、绿泥石等。

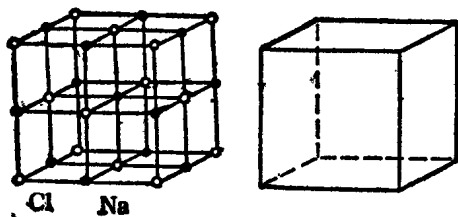


图 1-2 石盐的晶体构造

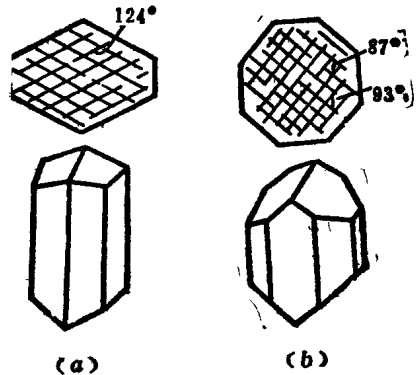


图 1-3 角闪石与辉石的晶体及横断面

（3）三向延长形：晶体在空间的三个方向上发育，成粒状、球状，如石盐（图1-2）、黄铁矿、石榴子石等。

在自然界中生长较好的单晶是很少见的，常见到的多是同类矿物集聚在一起而呈集体状态产出。它们的形态有：

(1) 晶簇 在一个共同的基底面上, 许多相同的晶体丛生在一起, 这个晶体群称为晶簇。如石英晶簇(图1-5)、方解石晶簇等。

(2) 纤维状 由很多针状矿物或柱状矿物, 平行排列而成。如石棉、纤维状石膏。

(3) 钟乳状 是由溶液或胶体在空穴表面失去水分而凝固成各种形状的集合体, 常见的有葡萄状、肾状等。

(4) 土状 集合体疏松如土, 是由岩石或矿物风化而成。如高岭石、蒙脱石等。

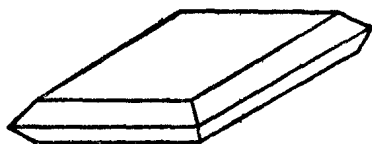


图 1-4 石膏晶体的形状

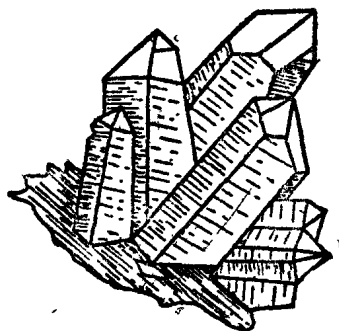


图 1-5 石英晶簇

2. 颜色 矿物的颜色取决于化学成分和内部结晶构造, 是矿物最明显标志之一。可分自色和他色两种, 自色是矿物本身的固有颜色, 如黄铜矿呈金黄色。他色是矿物中含有杂质而呈现的颜色, 如石英是无色透明晶体, 但因混入不同的杂质就可能使石英呈现出紫色、烟色等。也有些矿物由于氧化或风化而引起颜色的变化, 因此在观察矿物时, 应以新鲜面为标准, 确定它的颜色。通常在鉴定岩石中的矿物时, 可分浅色矿物如石英、长石、白云母、方解石、蛋白石、石膏等; 深色矿物如角闪石、辉石、绿泥石等。

3. 条痕 矿物粉末的颜色, 称为条痕。通常指矿物在无釉瓷板(条痕板)上刻划后留下的色痕。矿物粉末颜色是比较固定的, 也是鉴定矿物的一种重要标志。

4. 光泽 矿物表面反光的性质, 称为光泽。根据矿物表面反光程度的强弱用类比的方法可分为: 金属光泽、半金属光泽、非金属光泽(如金刚光泽、玻璃光泽、珍珠光泽、丝绸光泽、油脂光泽等)。

5. 透明度 矿物透光的能力不同, 表现出不同明暗程度, 这种性质称为透明度。根据矿物的透明度可分为透明的(如无色不含杂质的水晶、冰洲石)、半透明的(如石膏)、不透明的(如石墨、磁铁矿)等。

6. 硬度 是指矿物对外界的刻划及摩擦的抵抗能力, 表现矿物软硬程度的标志。

通常选用十种矿物的硬度分为十级作为标准, 用来对其他矿物进行互相刻划比较, 以确定矿物相对的硬度, 这十种矿物依次排列, 见表1-1。

在野外工作时, 常用一些随身携带的小工具鉴定矿物的硬度, 如铁刀刃为3~3.5; 玻璃为5~5.5; 钢刀刃为6~6.5。

7. 解理和断口 矿物受敲击后, 常沿一定方向裂开成光滑平面, 这种特性称为解理, 裂开的光滑平面称为解理面。根据解理面方向的数目, 分为一组解理(如云母)、二组解

表 1-1

矿 物 硬 度 表

硬 度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
矿 物	沿 石	石 膏	方 解 石	黄 石	磷 灰 石	长 石	石 英	黄 玉	刚 玉	金 刚 石

理（如长石）、三组解理（如方解石，图 1-6）及多组解理等。根据解理面发育的完善程度，解理又可分为：极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理等。若矿物受敲击后，裂开面无一定方向呈各种凹凸不平的形状，如锯齿状、贝壳状（图 1-7）等，则称为断口。

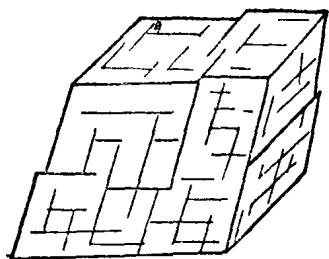


图 1-6 方解石的三组解理

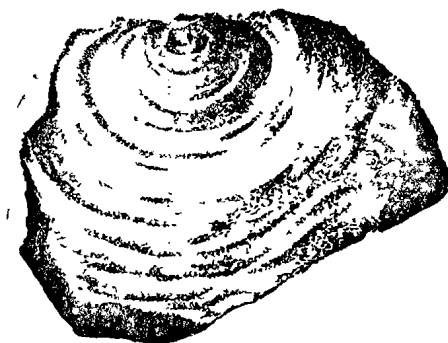


图 1-7 贝壳断口

8. 其他性质 除上述的矿物性质外，还有一些矿物具有独特的性质，这些性质同样是鉴定矿物的可靠依据，如比重、磁性、弹性、脆性等等。

矿物的一些简单化学性质，对于鉴定某些矿物也是十分重要的。如方解石滴上稀盐酸能剧烈起泡，白云石滴上浓盐酸或热酸可以起泡，其他矿物不具备这种性质，常以此作为鉴定它们的依据。

二、矿物鉴定表

正确地识别和鉴定矿物，对于岩石命名，研究它的性质，是一项不可缺少而且是非常重要的工作。鉴定矿物的方法很多，而且随着现代科学技术的发展，还在不断的完善和创新。总的来说是借助于各种仪器，采用物理学和化学的方法，通过对矿物的化学成分、晶体形态、构造及物理特性的测定，以达到鉴定矿物的目的。这些方法有：差热分析法、光谱分析法和偏、反光显微镜鉴定法等。

但是，一般在野外常因无条件采用高度精密仪器和良好的实验室设备鉴定矿物，而多数是采用肉眼鉴定法，此法简便易行。它主要是凭借肉眼和一些简单工具（如小刀、钢针、放大镜、条痕板等）来区别矿物的物理性质特征，从而对矿物进行粗略的鉴定。为了便于系统地鉴定常见矿物，根据矿物的鉴定特征，列出常见矿物简易鉴定表（表 1-2），以供参考。

表 1-2 主 要 造 岩 矿 物 鉴 定 表

次序	矿物名称	形状	颜色	光泽、透明度	解理、断口	硬度	比重	物理、化学及工程特性	分布
1	石英 SiO_2	完整晶形为六棱柱或双锥体, 但呈粒状居多	无色, 乳白色, 含杂质时呈紫红色	玻璃光泽, 断口呈油脂光泽; 透明	贝壳状断口	7	2.6	化学性质稳定, 不溶于水, 抗风化能力和抗腐蚀性强, 性质坚硬。含石英颗粒越多的岩石, 岩性越坚硬	呈单晶、晶簇及脉状产出或产于岩浆岩、沉积岩和变质岩中, 特别是酸性岩浆岩中最
2	正长石 KAlSi_3O_8	柱状或板状	肉红、浅玫瑰或近于白色	玻璃光泽, 半透明或不透明	两完全解理	6	2.5~2.7	较易风化, 风化后光泽变暗, 硬度降低, 完全风化后形成高岭石、方解石等次生矿物。长石含量较多的岩石, 性质软弱, 易风化	分布于花岗岩、正长岩、伟晶岩等岩浆岩和片麻岩中最多
3	斜长石 $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$	外形为板状	白色或灰白色	玻璃光泽, 半透明或不透明	两完全解理斜交, 断口平坦	6	2.5~2.7	特性同正长石	含 Na 多者只产于酸性或中性岩浆岩中; 含 Ca 多者只产于中性或基性岩浆岩中
4	角闪石 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{22} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	长柱状或纤维状, 断面六边形	深绿暗黑色	玻璃光泽, 不透明	两组解理交角 56°	5.5~6	3.2	受水热作用后, 可变成绿泥石或蛇纹石。 含角闪石多的岩石, 易于风化, 岩石强度降低	多产于中性岩浆岩中, 如闪长岩、安山岩, 也可单独组成超基性的角闪岩
5	辉石 $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$	短柱状, 断面呈八边形, 在岩石中常呈粒状	深黑、紫黑、紫黑色及绿黑色	玻璃光泽, 半透明或不透明	具有两组或中等解理, 两组解理交角呈 87°和 93°	5~6	3.4~3.6	受水热作用后, 可变成绿泥石或蛇纹石, 辉石性脆, 亦易风化	多产于基性岩浆岩和变质岩中, 如辉长岩、玄武岩, 也单独组成超基性辉岩
6	黑云母 $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{OH})_2 \cdot \text{AlSi}_2\text{O}_6$	薄片状	黑色	珍珠光泽, 透明	一组极完全解理	2.5~3	2.3	具有弹性, 但含铁质较多时, 易风化。风化后失去弹性, 而呈疏松状态。当岩石中含云母较多, 且成定向排列时, 则沿层状方向易产生滑动, 影响岩体稳定	广泛分布在岩浆岩和变质岩中