



普通高等教育“十二五”规划教材

(高职高专适用)

工程岩土

主 编 熊文林
副主编 丁文霞
主 审 陈方晔



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

(高职高专适用)

工程岩土

主 编 熊文林

副主编 丁文霞

主 审 陈方晔



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材共分4个学习情境：公路勘测阶段岩土、公路设计阶段岩土、公路施工和运营阶段岩土、工程岩土野外综合实习。每个学习情境包含不同的单元任务，全书共有12个单元任务。书中除对工程岩土必要的概念和理论进行论述和介绍外，还着重对公路建设和运营中的各种地质病害和不良岩土问题进行了详细的论述。书中收集有大量的图片和案例。

本教材可供高等职业院校道路桥梁工程技术及相关专业使用，也可供道路、桥梁及其他土建部门的勘察、设计和施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程岩土 / 熊文林主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2011.8
普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专适用
ISBN 978-7-5084-8860-8

I. ①工… II. ①熊… III. ①岩土工程—高等职业教育—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第151311号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材(高职高专适用) 工程岩土
作 者	主编 熊文林 副主编 丁文霞 主审 陈方晔
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	184mm×260mm 16开本 15.75印张 393千字
版 次	2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	32.00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



前 言

本教材是以职业能力培养为核心、以公路建设过程中岩土知识的应用顺序为主线编写的适应道路桥梁工程技术专业高等职业教育的教材。本教材是以国家和交通部颁发的最新技术标准、规范和试验规程为依据，以职业岗位工作目标为切入点，校企合作共同开发的，充分体现了“任务引领、实践导向”的课程设计思想。

本教材具有以下特点：

(1) 按照实际工作任务选择内容。在大量行业、企业岗位工作任务调研的基础上，从实际工作任务出发，按照公路建设和运营中岩土知识的运用顺序构建了四个学习情境。

(2) 内容针对性和适用性强。本教材图文并茂，案例丰富，并附有公路勘测设计成果，难易适中，融理论、实践于一体，通过任务的完成使学生学有所用、学以致用，充分体现高等职业教育的特点。

(3) 突出了对职业能力的培养。本教材以公路建设中处理工程岩土问题的能力为主线，强调对学生野外岩土勘测能力、土工试验能力和解决不良地质、土质问题能力的培养。

本教材由湖北交通职业技术学院熊文林制定编写大纲并担任主编，湖北交通职业技术学院丁文霞、中咨（武汉）桥隧设计研究院有限公司蔡向阳参与编写，具体分工如下：熊文林编写课程导入、学习情境一、学习情境三和学习情境四；丁文霞编写学习情境二。全书的教学案例由蔡向阳执笔。全书由熊文林统稿。

本教材由湖北交通职业技术学院陈方晔担任主审。

本教材在编写过程中，参考和引用了大量有关文献资料，在此对原作者表示感谢。

限于编者的能力和水平，书中错误和不足在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2011年4月

目 录

前言

课程导入	1
学习情境一 公路勘测阶段岩土	5
单元任务一 认识矿物与岩石	5
一、地质作用	5
二、矿物	11
三、岩石	17
单元任务二 认识地质构造与地貌	26
一、地质年代	26
二、地质构造	30
三、山岭地貌	41
四、流水地貌	47
五、平原地貌	55
单元任务三 认识地下水的地质作用及常见的公路地质病害	56
一、地下水的地质作用	56
二、崩塌	63
三、滑坡	66
四、泥石流	70
五、岩溶	74
六、地震	77
单元任务四 公路工程地质勘察	82
一、工程地质勘察导入	82
二、公路工程地质勘察的目的、任务和内容	90
三、公路工程地质勘察	91
四、桥梁工程地质勘察	96
五、隧道工程地质勘察	98
学习情境二 公路设计阶段岩土	103
单元任务一 岩石的物理性质	103
一、岩石的物理性质	103
二、土的物理性质	105

单元任务二 岩土の力学性质	121
一、岩石の力学性质	121
二、土の力学性质	124
单元任务三 识读工程地质图	151
一、地质图	151
二、工程地质图	157
三、公路工程地质图	159
单元任务四 工程地质勘察报告书	159
一、工程地质勘察报告书的内容	159
二、工程地质报告书的编写	161
学习情境三 公路施工和运营阶段岩土	171
单元任务一 常见公路地质病害の防护与处理	171
一、公路水毁和路基翻浆	171
二、崩塌	179
三、滑坡	184
四、泥石流	191
五、岩溶	195
六、地震	199
七、常见公路地质病害综合治理实例	202
单元任务二 公路特殊性岩土の处治	208
一、软土	208
二、黄土	213
三、膨胀土	218
四、冻土	223
五、盐渍土	227
学习情境四 工程岩土野外综合实习	231
单元任务一 工程岩土野外综合实习导入	231
一、野外工作方法概述	231
二、野外实习目的与基本要求	233
三、野外实习步骤及注意事项	233
四、野外实习报告编写内容	234
五、野外实习成绩考核	235
单元任务二 工程岩土野外综合实习内容	235
一、实习区地质概况	235
二、地层与岩性	237
三、地质构造与地貌	239
四、水文地质特征	244
五、不良地质现象	245
参考文献	246

课程导入

(一) 工程岩土的研究对象

工程岩土是调查、研究、解决与各类工程建筑物的设计、施工和使用有关的地质问题的一门学科。简言之，是研究人类工程活动与地质环境相互作用的一门学科，它是地质学、土质学在工程应用方面的分支。

地球体的表层地壳，是人类赖以生存的活动场所，同时也是一切工程建筑的物质基础。人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的，修建水库、公路与桥梁、民用建筑等工程活动，在很多方面受地质环境的制约，它可以影响工程建筑物的类型、工程造价、施工安全、稳定性和正常使用等。如沿河谷布线，若不分析河道形态、河水流向以及水文地质特征，就有可能造成路基水毁；山区开挖深路堑时，忽视地质条件，有可能引起大规模的崩塌或滑坡，不仅增加工程量，延长工期和提高造价，甚至危及施工安全等。

地质环境制约着人类工程活动，人类工程活动也影响着地质环境的变化，从而出现工程地质问题。如在城市中过量抽吸地下水或其他地下流体，降低了土体中的空隙液压，从而导致大规模的地面沉降（上海、天津等城市均有出现）；桥梁的修建改变了水流和泥沙的运动状态，使局部河段发生冲淤变形等。为了使所修建的建筑物能够正常发挥作用，就需对赖以生存的地质环境进行合理的利用和保护。在工程修建之前，必须根据实际需要深入地研究地质问题，对有关的工程地质条件进行深入的调查和勘探，以解决建筑过程中出现的地质问题，如表 0.1-1 所示。

(二) 工程岩土的工作任务

由于国民经济的发展和路网完善的需求，高速公路逐步进入山区。高速公路由于其线形指标高，工程艰巨，投资巨大，对自然环境的破坏也非常严重。随着环境保护理念的日益深入人心，对于山区高速公路的勘察设计、施工运营等方面的环保要求也越来越高。山区公路环境载体主要是自然环境，也是地质环境。山区一般地形地质条件复杂，地质环境脆弱，地质灾害多发，高速公路的建设不可避免地要切坡、填沟、打洞（隧道），对地质环境造成严重破坏，处理不好还会诱发和加剧各种地质灾害，增加公路建设投资，影响工期，甚至给运营阶段带来严重的安全隐患。因此山区高速公路的环保主要是地质环境的保护和地质灾害的防治。

要建设一条兼顾交通、环保、生态等方面要求的高标准的山区高速公路，应该重视和加强地质工作。地质工作应贯穿于勘察设计、施工和运营的全过程。对地质现象和规律的认识（岩土工程勘察工作）是由面到线、由线到点、由表及里、由粗到细、由宏观到微观，逐步深入的，根据不同阶段应采取不同的方法和手段。

遵从公路建设的程序，本教材在内容的选择上，把握公路建设不同阶段岩土工作重点不同的原则，将公路工程岩土内容整合为公路勘测阶段岩土、公路设计阶段岩土、公路施工和运营阶段岩土共三个部分，每个阶段的具体工作任务如表 0.1-2 所示。



表 0.1-1 工程地质条件和工程地质问题

工程地质条件：指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合		
1	岩石和土	包括岩石的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层、接触带及其物理力学性质等
2	地质构造	包括褶皱、断层、节理构造的分布和特征
3	水文地质条件	包括地下水的成因、埋藏、分布、动态变化和化学成分等
4	不良地质作用	主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、地震及河流冲刷等
5	地形地貌	地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度、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。这些因素都直接影响到建筑场地和线路的选择
6	天然建筑材料	天然建筑材料的分布、类型、品质、开采条件、储量及运输条件等
工程地质问题：已有的工程地质条件在工程建筑建设和运行期间会产生一些新的变化和发展，从而产生的一些影响工程建筑安全的问题		
1	地基稳定性问题	地基在上覆建筑物和荷载作用下产生变形和破坏，如地基不均匀沉降、地基胀缩引起上部结构破坏等
2	斜坡稳定性问题	人类工程活动尤其是道路工程需开挖和填筑人工边坡（路堑、路堤、堤坝、基坑等），斜坡稳定对防止发生地质灾害及保证地基稳定十分重要。斜坡地层岩性、地质构造特征是影响其稳定性的物质基础；风化作用、地震、地下水和地表水等对斜坡软弱结构面的作用，破坏斜坡稳定；而地形地貌和气候条件是影响其稳定的重要因素
3	洞室围岩稳定性问题	地下洞室被包围于岩土体介质（围岩）中，在洞室开挖和建设过程中破坏了地下岩体原始平衡条件，便会出现一系列不稳定现象，常遇到围岩塌方、地下水涌水等

表 0.1-2 工程岩土工作任务

阶段	具体任务
公路勘测阶段	全面调查、评价工程地质条件，优选出工程地质条件最好、地质灾害最少、工程建设对地质环境的不利影响最小的路线，保证设计、施工、使用顺利进行，加强筑路材料料场和弃土场的勘察
公路设计阶段	从地质条件与公路工程建筑相互作用的角度出发，论证和预测有关公路工程地质问题发生的可能性、发生的规模和发展趋势
公路施工和运营阶段	提出改善、防治或利用有关公路工程地质条件的措施、加固岩土体和防治地下水的方案，加强施工期间和运营期间的岩土工程监测

（三）工程岩土课程的教学内容及学习后应具备的能力

本课程是公路桥梁工程技术专业及相关专业的一门技术基础课，它的主要任务是在路桥工程中能从技术的角度去认识和解决有关工程岩土方面的问题；通过教学和实习、试验，得到一些基本技能的训练，学习搜集、分析和运用有关地质方面资料、图件，结合其他专业课的学习，对一般的工程岩土问题进行初步评价，并提出解决问题的建议。

本课程是一门实践性很强的学科，在教学中应运用辩证唯物主义观点，由浅入深，循序渐进，尽量采用现代化教学手段进行教学。为了增强学生的感性认识，加强实践教学，应安排适当的试验课和野外地质实习，以巩固和印证课堂所学的理论知识，提高学生实际动手能力。通过理论与实践的紧密结合，为完成路桥工程勘测、设计和施工打下工程岩土方面的坚实基础。

1. 本课程的学习任务

本课程共有四个学习情境，每个学习情境包含不同的单元任务，详见表 0.1-3。



表 0.1-3

课程学习任务

学习领域	学习情境	单元任务	学习内容	参考学时
工程岩土	一、公路勘测阶段岩土	单元任务一	认识矿物与岩石	8
		单元任务二	认识地质构造与地貌	8
		单元任务三	认识地下水的地质作用及常见的公路地质危害	10
		单元任务四	公路工程地质勘察	4
	二、公路设计阶段岩土	单元任务一	岩土的物理性质	12
		单元任务二	岩土的力学性质	14
		单元任务三	识读工程地质图	2
		单元任务四	工程地质勘察报告书	2
	三、公路施工和运营阶段岩土	单元任务一	常见公路地质病害的防护与处理	8
		单元任务二	公路特殊性岩土的处治	8
	四、工程岩土野外综合实习	单元任务一	工程岩土野外综合实习导入	一周
		单元任务二	工程岩土野外综合实习内容	
总课时数				76加一周

2. 本课程的主要内容与要求

本课程的主要内容、教学目标及核心技能要求见表 0.1-4。

表 0.1-4

课程主要内容和要求

学习情境	主要工作任务	教学目标	核心技能
一、公路勘测阶段岩土	<ol style="list-style-type: none"> 地壳物质组成与地质作用； 岩石和矿物； 地质年代和地质构造； 常见地貌类型； 地下水的地质作用； 常见公路地质病害； 工程地质勘查主要方法； 公路工程地质勘查 	<ol style="list-style-type: none"> 地质作用、风化作用、矿物与岩石的特征识别； 地质年代、岩层产状、地质构造的认识和评价； 地貌类型及特征的认识和评价； 水的地质作用的认识和评价； 公路地质病害的认识和评价； 公路沿线及构造物地质、公路料场的勘察、调查与记录 	<ol style="list-style-type: none"> 能识别和描述简单的工程地质条件； 能正确运用规范； 能根据任务要求选择合适的工作方法； 编写勘察计划并能完成勘察外业工作
二、公路设计阶段岩土	<ol style="list-style-type: none"> 岩土的物理性质； 岩土的力学性质； 识读工程地质图； 绘制公路设计中的工程地质图表 	<ol style="list-style-type: none"> 岩土的物理性质判定； 岩土的力学性质判定； 公路工程地质图识读； 编制公路工程地质勘测报告书，绘制公路工程地质图 	<ol style="list-style-type: none"> 能按相关规范要求完成岩土试验； 能识读并绘制公路工程地质图； 能按相关规范要求完成勘察资料的整理和报告书的编写工作
三、公路施工和运营阶段岩土	<ol style="list-style-type: none"> 公路水毁、滑坡、崩塌、泥石流、岩溶及地震等常见的公路地质病害的防护和处治； 黄土、膨胀性土、冻土、盐渍土和软土等主要特殊性岩土的处治 	<ol style="list-style-type: none"> 公路水毁、滑坡、崩塌、泥石流、岩溶及地震等常见公路地质病害的防护和处治； 黄土、膨胀性土、冻土、盐渍土和软土等主要特殊性岩土的处治 	<ol style="list-style-type: none"> 能识别地质病害的破坏类型并分析其病害成因机理，提出整治措施； 能分析特殊性岩土的成因机理，提出整治措施



续表

学习情境	主要工作任务	教学目标	核心技能
四、工程岩土野外综合实习	<ol style="list-style-type: none">1. 工程岩土野外综合实习导入;2. 工程岩土野外综合实习内容	<ol style="list-style-type: none">1. 借助简单的地质工具鉴定常见岩石、矿物和土;2. 使用地质罗盘仪测定岩层产状;3. 地质素描和野外地质勘察记录;4. 编制工程岩土野外综合实习报告	<ol style="list-style-type: none">1. 借助地质工具,能在野外对公路沿线的地层岩性等工程地质条件进行调查;2. 能按规范要求编制公路勘测设计中的地质情况说明和相关图件

学习情境一 公路勘测阶段岩土

学习目标

- (1) 认识和评价常见的矿物和岩石。
- (2) 认识和评价地质构造和地貌。
- (3) 认识和评价水的地质作用和常见公路地质病害。
- (4) 熟悉公路工程地质勘查的程序、内容和方法。

任务描述

通过大量的图片、相关的多媒体资源、矿物和岩石标本和教师的讲解，学生能够认识常见的矿物、岩石、地质构造、地貌、地表水和地下水，以及崩塌、滑坡等常见公路地质病害，并对其进行评价。

学习引导

本学习情境沿着以下脉络进行：认识常见矿物和岩石并进行评价→认识地质构造和地貌并进行评价→认识水的地质作用和常见公路地质病害并进行评价→在认识岩土现象的基础上，学会公路岩土勘察和评价。

单元任务一 认识矿物与岩石

一、地质作用

(一) 地球概述

1. 地球的形状和大小

从卫星上看，地球是一个蓝色的球体，形状为“梨状体”，其南极内凹、北极外凸。地球的赤道半径为 6378.16km，极半径为 6356.755km，扁平率为 1/298.251，表面积为 $5.1 \times 10^9 \text{ km}^2$ ，体积为 $1.0820 \times 10^{12} \text{ km}^3$ ，质量约为 $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，如图 1.1-1 所示。

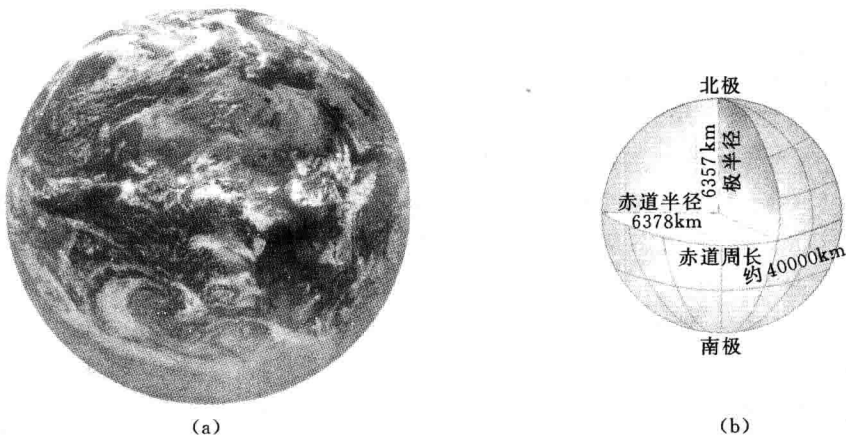


图 1.1-1 地球的形状和大小

(a) 地球的形状；(b) 地球的半径和赤道周长

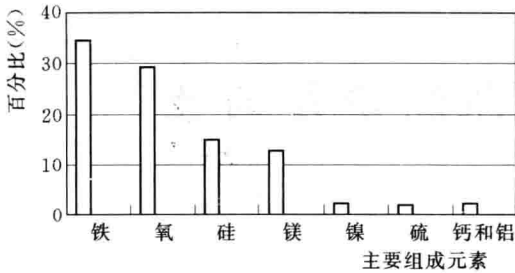


图 1.1-2 地球主要组成元素的百分比

2. 地球的物质组成

组成整个地球的物质，按质量计算，各元素的含量为：铁 34.6%，氧 29.5%，硅 15.2%，镁 12.7%，镍 2.4%，硫 1.9%，钙和铝 2.2%，其他所有元素共占 1.5%，如图 1.1-2 所示。

地球中的铁和镍等大部分物质以固体状态存在于地核中。组成地壳和地幔的物质，大部分是氧和硅，其次为铝、铁、镁。在地球

的水圈中，以氧和氢为主。生物圈则主要为碳、氢、氧和氮。大气圈、水圈和生物圈中所有元素的质量和地球的总质量相比，不及千分之一。

地球中的元素大部分以混合物或单质的形式（矿物）聚集在岩石中。当元素或化合物相对集中到能够具有经济价值并可被人类所利用时，这些物质就称为矿产。

3. 地球的圈层构造

按组成地球物质的形态不同，可将地球划分为内圈层和外圈层。

(1) 地球内圈层。地球的内部分为三个圈层，从外到内分别是地壳、地幔和地核，如图 1.1-3 所示。

地壳——地球内圈层最外部的一层薄壳，约占地球体积的 0.5%，平均厚度为 33km，主要由固体岩石组成。组成地壳的物质主要是地球中比较轻的硅、镁、铝等物质。地壳最薄处约 1.6km（在海底海沟沟底处），海底部分厚约 6~10km。

地幔——地壳与地幔的分界面称为莫霍面，自莫霍面以下至深度约 2900km 的范围，约占地球体积的 83.3%，主要由含铁、锰较多的硅酸盐组成。上下地幔之间主要由橄榄质超基性岩石组成，是高温熔融的岩浆发源地，也称软流层。

地核——地幔以下为地核，被分为外地核、过渡层和内地核三层。地表以下 2900~

4642km 的范围为外地核，主要由熔融状态的铁、镍混合物及少量 Si、S 等轻元素组成。内地核厚约 1216km，成分是铁、镍等重金属，物质呈固体状态。位于外、内核之间的过渡层厚约 515km，物质状态从液态过渡到固态。地核的总质量约占整个地球质量的 31.5%，体积占 16.2%。

(2) 地球外圈层。地球外圈层分为大气圈、水圈和生物圈。

大气圈——其中氮气约占空气总容积的 78%，氧气约占 21%。地球的大气圈按距离地球表面由近至远被依次划分为对流层（厚约 16~18km）、平流层（约 50km 高空）、中间层（约 85km 高空）、热层（约 500~800km 高空）和散逸层。风霜雨雪、云雾冰雹等变化多端的大气现象都发生在对流层内。

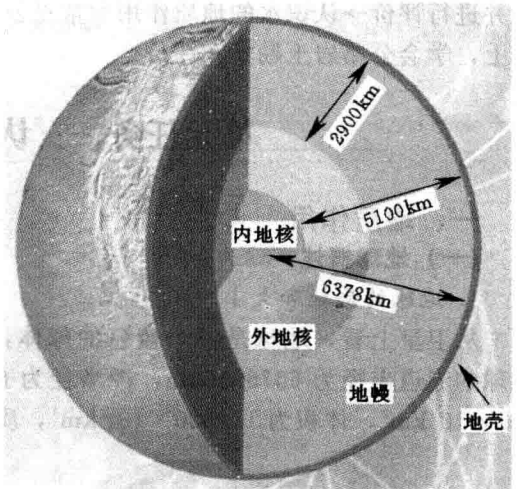


图 1.1-3 地球内部构造示意图



水圈——地球的水是由地球诞生初期弥漫在大气层中的水蒸气慢慢凝结形成的，总水量约 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。水圈主要由海洋构成，海洋的面积约占地球表面积的 71%，海洋水约占地球总水量的 97.3%。陆地水以冰川水为主，分布在高山和两极地区，其余的陆地水分布在湖泊、江河、沼泽和地壳岩石体的空隙中。

生物圈——地球上动物、植物和微生物所存在和活动的范围称为生物圈。

(二) 地质作用

地壳只是地球内圈层最外面的一层极薄的薄壳。在地球形成至今的漫长地质演变历史中，随着地球的转动和内、外圈层物质的运动，地表的形态、地壳的物质以及地层的形态都在不断发生变化，这种变化一直发生，永不静止。地质作用是指导致地壳物质成份及地表形状、岩层结构、构造发生变化的一切自然作用，按力的来源不同分两种：内力地质作用和外力地质作用（见表 1.1-1）。由地质作用引起的现象，称为地质现象。

表 1.1-1 地质作用的类型

<p>内力地质作用：由地球内部的能源，如旋转能、重力能、放射性元素衰变产生的热能以及化学能、结晶能等引起的地壳岩石发生变形、变位（如弯曲、错断等）的机械运动，包括地壳运动、岩浆作用、变质作用、地震共四种作用方式</p>				
1	地壳运动	水平运动	指地壳或岩石圈块体沿水平方向移动，使岩层产生褶皱、断裂，如我国横断山脉、喜马拉雅山、天山山脉、祁连山等均为褶皱山系	
		垂直运动	指地壳或岩石圈相邻块体或同一块体的不同部分作差异性上升或下降，使某些地区上升形成山岳、高原，另一些地区下降，形成湖、海、盆地	
2	岩浆作用	地壳内部的岩浆，在地壳运动的影响下，向外部压力减小的方向移动，上升侵入地壳或喷出地面，冷却凝固成为岩石的全过程		
3	变质作用	由于地壳运动、岩浆作用等引起物理和化学条件发生变化，促使岩石在固体状态下改变其成分、结构和构造的作用		
4	地震	由于地壳运动引起地球内部能量的长期积累，达到一定的限度而突然释放时，导致地壳一定范围的快速震动（右图为 2008 年汶川大地震震后照片）		



续表

<p>外力地质作用：由地球外部的能源，如来自太阳的热能、太阳和月球的引力能等引起的地壳岩石发生变化的物理化学作用，包括风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用、成岩作用共五种作用方式</p>			
1	风化作用	<p>是在温度变化、气体、水及生物等因素的综合影响下，促使组成地壳表层岩石发生破碎、分解的一种破坏作用。风化作用比较复杂，对岩石的工程性质影响较大</p>	
2	剥蚀作用	<p>是将岩石风化破坏的产物从原地剥离下来的作用。它包括除风化作用以外所有的破坏作用，如河流、大气降水、地下水、海洋、湖泊以及风等的破坏</p>	
3	搬运作用	<p>指岩石经风化、剥蚀破坏后的产物，被流水、风、冰川等介质搬运到其他地方的作用</p>	
4	沉积作用	<p>指被搬运的物质，由于搬运介质的搬运能力减弱，搬运介质的物理化学条件发生变化，或由于生物的作用，从搬运介质中分离出来，形成沉积物的过程</p>	
5	成岩作用	<p>指沉积下来的各种松散堆积物，在一定条件下，由于压力增大、温度升高以及受到某些化学溶液的影响，发生压密、胶结及重结晶等物理化学变化，使之固结成为坚硬岩石的作用</p>	

(三) 风化作用

1. 风化作用概述

风化作用是指地壳表层的岩石，在太阳辐射、大气、水和生物等风化营力的作用下，发生物理和化学变化，使岩石崩解破碎以至逐渐分解的作用。风化作用在地表最显著，随着深度的增加，其影响就逐渐减弱以致消失。

岩石遭受风化作用的时间愈长，破坏得就愈严重。风化作用使坚硬致密的岩石松散破坏，改变了岩石原有的矿物组成和化学成分，使其强度和稳定性大为降低，对工程建筑条件起着不良的影响，如滑坡、崩塌、碎落、岩堆



图 1.1-4 风化作用



及泥石流等不良地质现象，大部分都是在风化作用的基础上逐渐形成和发展起来的。

不同的岩石风化速度并不一样。有的岩石风化过程进行得很缓慢，其风化特征只有经过长期暴露地表以后才能显示出来；有的岩石则相反，如泥岩、页岩及某些片岩等，当基坑开挖后不久，很快就风化破碎，所以在施工中必须采取相应的工程防护措施。

2. 风化作用类型

根据岩石风化的自然因素和性质，将风化作用分为物理风化（机械风化）、化学风化和生物风化三种类型，如表 1.1-2、表 1.1-3、表 1.1-4 所示。

表 1.1-2 物理风化作用

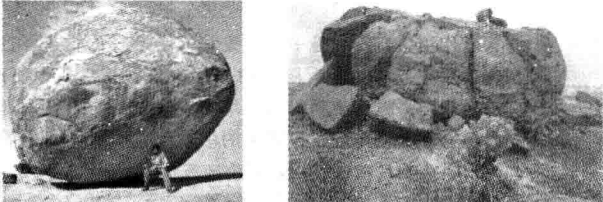
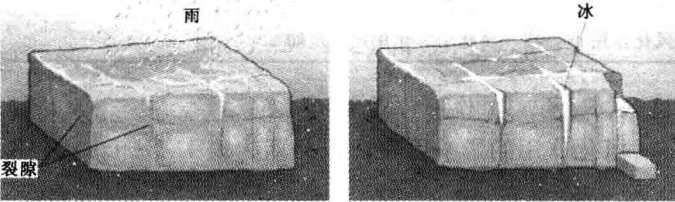

物理风化作用：只改变岩石的完整性或改变已碎裂的岩石颗粒大小和形状，而未能产生新矿物的风化作用	
剥离作用	<p>在昼夜温差较大的地区，由于温度的波动变化，导致基岩在反复的胀缩循环中产生碎裂的一种风化作用</p> 
冰劈作用	<p>岩石中存在的细微裂隙，当水分进入后在低温时形成冰楔体，沿裂缝两侧挤压岩石或与岩石中的某些物质反应形成结晶膨胀体挤压岩石，使岩石中原有的裂缝加宽、增长，为更多水分进入岩体内部创造了条件，逐步使岩石风化崩解</p> 
膨胀崩解作用	<p>上覆岩石不断被风化剥蚀，原来处于地层深处的岩体距地表愈来愈近，上覆重力愈来愈小，在重力卸荷作用下，岩体会产生明显上弹（膨胀），严重时就会产生卸荷裂隙</p> 

表 1.1-3 化学风化作用

化学风化作用：一切改变岩石中原有矿物成分的风化作用。水引起的矿物溶解、再结晶、水化、水解以及大气引起的氧化、碳酸化、硫酸化等，均会使原有的岩石矿物成分发生改变，并产生新矿物，都属于化学风化作用	
氧化作用	<p>空气和水中的游离氧使地表及其附近的矿物氧化，改变其化学成分，并形成新的矿物。</p> <p>(1) 硫化物的氧化： $\text{FeS}_2 + 14\text{H}_2\text{O} + 15\text{O}_2 \longrightarrow 2(\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) + 8\text{H}_2\text{SO}_4$</p> <p>(2) 磁铁矿氧化成赤铁矿： $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \longrightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3$</p>
溶解作用	<p>自然界中的 O_2、CO_2 和一些酸、碱物质，具有较强的溶解能力，能溶解大多数矿物。</p> <p>(1) 石灰岩和白云岩与 CO_2、水的作用： $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ (重碳酸钙)}$</p> <p>(2) 含硫酸的水的作用： $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>(3) 含碱质水的作用： $\text{FeSO}_4 + \text{K}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{FeCO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$</p>



续表

水解作用	<p>(1) 水解作用：弱酸强碱盐或强酸弱碱盐遇水解离或带不同电荷的离子。这些离子与水中的 H^+ 和 OH^- 发生反应形成含 OH^- 的新矿物，矿物和岩石因此遭到破坏，如：</p> $4KAlSi_3O_8 + 6H_2O \longrightarrow Al_4Si_4O_{10}(OH)_4 + 8SiO_2 + 4KOH$ <p style="text-align: center;">(钠长石) (高岭石) (石英)</p> <p>(2) 水化作用：有些矿物质能吸收一定量的水参加到矿物晶格中，形成含水分子的矿物，如：</p> $CaSO_4 + 2H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (石膏)
------	---

表 1.1-4 生物风化作用

生物风化作用：生物新陈代谢的产物或生物活动对岩石造成的物理或化学破坏作用	
生物物理风化作用	<p>根劈作用：岩石裂缝中往往充填入一定量的尘土，这样一来树木就可在其中生存，随着树木的成长，其根系也不断壮大，并挤压岩石裂缝，使其扩大、增密，为风化向岩石内部发展创造了条件。生长在岩石裂隙中的植物根系的膨大对岩石的劈裂作用，是生物的机械作用，属物理风化的范畴</p> 
生物化学风化作用	<p>新陈代谢作用：生物生长中的新陈代谢物、腐蚀物、分泌物对岩石的破坏作用及微生物对岩石的风化作用，属化学风化作用的范畴</p>

3. 影响风化作用的因素

风化作用的影响因素可以概括为表 1.1-5。

表 1.1-5 风化作用的影响因素

影响因素	描 述
岩石的矿物成分	<p>岩石风化的本质是岩石中各种矿物成分的改变。岩石抗风化能力的强弱与它所含矿物成分和数量有密切的关系，按风化的难易程度分：稳定性矿物，如白云母、石英、石榴子石等；较稳定性矿物，如辉石、角闪石、黑云母、正长石等；不稳定性矿物，如斜长石、橄榄石等。岩石中的不稳定性矿物含量越高，抗风化能力越低；</p> <p>相对而言，岩石成分均一的较难风化；成分复杂、矿物种类多的较易风化</p>
岩性	<p>岩性包括岩石的结构与构造、矿物颗粒大小与形状、孔隙率、吸水率、坚固性等物理力学性质。致密程度、坚硬程度越高，岩层厚度越大越难风化（等粒结构、块状结构）；疏松多孔容易风化</p>
地质构造	<p>地质构造对岩体的结构性有很大的影响，岩体的结构面愈发育、裂隙愈大、充填情况愈差、渗透性愈好就愈易风化</p>
气候状况	<p>气温高、雨量充足、湿度大、植物生长茂盛的我国南方地区以化学风化为主；温差大、雨量少、干燥、植被差、风力作用强烈的我国北方地区以物理风化为主</p>
地貌	<p>地貌对岩石风化的影响和水、风、温差、地势以及基岩埋藏条件等多重因素有关，如地势起伏高度：高山区以物理风化为主，低山丘陵及平原区以化学风化为主；山坡朝向：朝阳面以化学风化为主，背阳面以物理风化为主</p>
地下水	<p>地下水对岩石的风化影响则主要体现为溶解岩石和再结晶</p>
其他因素	<p>人类活动形成的环境污染等也会成为影响化学风化的重要因素</p>

4. 风化作用与工程活动的关系

了解风化作用、认识风化现象、分析岩石的风化程度，对工程建设具有重要的



意义。

(1) 不宜将建筑物设置在风化严重的岩层上，如果不能完全避开风化岩层，应注意加强工程防护。如隧道穿过易风化的岩层，在隧道施工开挖后，要及时支护，防止岩石继续风化失稳增加山体压力，引起坍塌。

(2) 风化岩层中的路堑边坡不宜太陡，同时还要采取防护措施。

(3) 风化的岩石不宜用作建筑材料。

因此，从工程建筑的角度来研究岩石的风化特性、分布规律，对选择建筑物的合理位置，如隧道的进山口位置、路堑边坡坡度、隧道的支护方法及衬砌厚度、大型建筑物的地基承载力和开挖深度，以及合理地选择施工方法等有着重要的意义。

(四) 地质循环

将内力地质作用和外力地质作用现象划分为构造运动、风化剥蚀、搬运沉积三种类型，这三种类型的地质作用在地壳上构成了一个巧妙的循环过程（见图 1.1-5）。

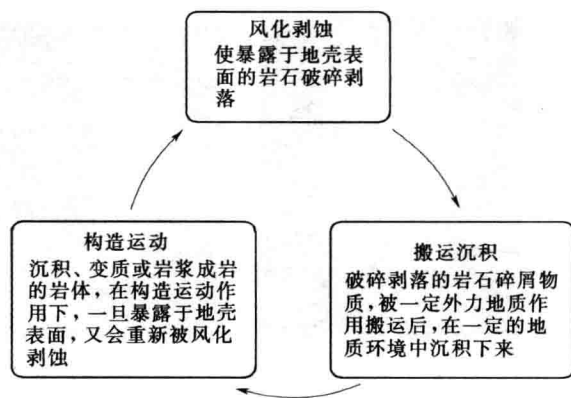


图 1.1-5 地质作用循环过程示意图

二、矿物

(一) 矿物的概念

矿物是自然界中的化学元素在一定的物理化学条件下形成的单质或化合物。矿物都是天然的，它们具有一定的化学成分，原子的排列也有一定的规则。

矿物是组成岩石的基本单位，自然界中已发现的矿物有 3000 多种，其中构成岩石的矿物有 30 余种，称此类矿物为造岩矿物。

地壳中的矿物除少数呈液态（如水银、水）和气态（如 CO_2 和 H_2S 等）外，绝大多数都呈固态。一般来说，那些具有玻璃样光泽的矿物，称之为某某石，如金刚石、方解石；具有金属光泽或能从中提炼出金属的矿物，则称之为某某矿，如黄铁矿、方铅矿；把玉石类矿物称之为某某玉，如刚玉、硬玉；把硫酸盐矿物称为某某矾，如胆矾、铅矾；把地表上松散的矿物称为某某华，如神华、钨华。

形成了的矿物在不同环境中还会受到破坏或变成新的矿物，如阳光、风、水以及地质变化使矿物受到高温高压等，都可以使某些矿物分解，分解后的物质又可能在另外的环境中与其他物质再次形成新矿物。因此，自然界中的矿物按其成因可分为三大类型：

(1) 原生矿物：岩浆熔融体经冷凝结晶所形成的矿物，如石英、长石等。

(2) 次生矿物：原生矿物遭化学风化后形成的新矿物，如正长石经水解后形成高岭石。

(3) 变质矿物：在变质过程中形成的矿物，如变质结晶片岩中的蓝晶石等。

(二) 矿物的物理性质

1. 形状

在液态或气态物质中的离子或原子互相结合形成晶体的过程称为结晶。晶体内部质点