



普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材

# 道路工程地质

于玲 孙宝芸 主编



非外借



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材

# 道路工程地质

于玲 孙宝芸 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本教材系统介绍地质学基本知识和道路建设所需的工程地质专业知识,着重介绍道路建设中的各类工程地质问题及工程地质分析的评价方法。全书共16章,主要内容包括:绪论、地球概况、矿物与岩石、地质构造、土的形成及工程性质、地下水、地貌、岩体、风化作用、崩塌与滑坡及其治理、泥石流及防治、岩溶及工程地质问题、地震及工程防震、冻土及工程问题、工程地质勘察的主要方法、各类工程地质勘察。本教材以基本概念讲解为主,结合道桥工程实践,注重培养学生的实践应用能力,并且每章设“学习要点”和课后习题“思考与练习”,帮助学生把握理论知识重点,增强其思考能力。

本教材可供高等院校道路桥梁与渡河工程、隧道工程等相关专业的师生使用,也可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

道路工程地质 / 于玲, 孙宝芸主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018.9  
普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-6989-8

I. ①道… II. ①于… ②孙… III. ①道路工程—工程地质—高等学校—教材 IV. ①U412.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第225160号

书 名	普通高等教育土木与交通类“十三五”规划教材 <b>道路工程地质</b> DAOLU GONGCHENG DIZHI
作 者	于玲 孙宝芸 主编
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 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.25印张 305千字
版 次	2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>35.00元</b>

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

# 《道路工程地质》 编委会

主 编 于 玲 孙宝芸

副主编 赵中华 隋伟宁 张 晏

参 编 张春梅 曹 悦 刘 峰

本教材依据教育部实施的培养卓越工程师计划的教学基本要求编写而成。道路工程地质系道路桥梁与渡河工程专业一门重要的专业基础课，学习本课程的目的在于使学生了解道路工程建设中的工程地质现象和问题，以及这些现象和问题对道路、桥梁、隧道设计、施工和使用各阶段的影响；能够正确处理各种工程地质问题，合理利用自然地质条件；了解工程地质资料的获取方法，正确提出工程地质勘察任务及要求，并运用勘察资料进行工程设计及指导施工。本教材介绍工程地质基础知识、不良地质现象与工程地质问题及防治和工程地质勘察等方面的内容，共16章，包括绪论、地球概况、矿物与岩石、地质构造、土的形成及工程性质、地下水、地貌、岩体、风化作用、崩塌与滑坡及其治理、泥石流及防治、岩溶及工程地质问题、地震及工程防震、冻土及工程问题、工程地质勘察的主要方法和各类工程地质勘察等内容。第2~第16章均设有学习要点和思考与练习。

本教材有以下特色：

(1) 考虑当前本科生地质基础知识较为薄弱，教材增加了地貌知识，详细介绍地貌分类、平原地貌、山岭地貌和河谷地貌。

(2) 考虑到冻土问题在我国东北地区各类工程中较为突出，在教材第12章增加了冻土的基本知识以及冻土对道路工程的影响。

(3) 认真贯彻教育部实施的培养卓越工程师计划的基本要求，把地质现象和道路工程实践紧密结合。

本教材适合于高等学校道路桥梁与渡河工程及相关专业的本科教学，也可供相关工程技术人员参考使用。

本教材由具有多年教学经验的沈阳建筑大学教师于玲、孙宝芸担任主编，由于玲、孙宝芸和沈阳建筑大学城市建设学院教师赵中华、张春梅，沈阳建筑大学教师隋伟宁、曹悦，辽宁科技大学教师张晏，辽宁科技学院教师刘峰共同编写完成。其中，第1篇由于玲、赵中华、张晏、曹悦编写；第2篇由孙宝芸、隋伟宁、刘峰负责编写；第3篇由赵中华编写。沈阳建筑大学研究生刘杰、白中华、张攀在本教材

统稿、修改和图片编辑方面做了大量工作。教材的编写得到了沈阳建筑大学张敏江教授、才华教授和杨大勇博士的大力帮助，在此表示衷心的感谢！对于书中所引用文献和研究成果的众多作者也表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，教材中难免存在不足之处，敬请读者指正，以便我们进一步修正完善。在此，特向给予本书支持的同仁致以衷心的感谢！

**编者**

2018年6月

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 工程地质学的研究内容和任务	1
1.2 工程地质学的研究方法	2
1.3 道路工程地质课程教学任务和学习目标	3
第 2 章 地球概况	5
2.1 地球构造	5
2.2 地质作用	6
思考与练习	8
第 3 章 矿物与岩石	9
3.1 造岩矿物	9
3.2 三大类岩石	14
3.3 影响岩石工程性质的因素	25
思考与练习	27
第 4 章 地质构造	28
4.1 地质年代	28
4.2 岩层产状	34
4.3 水平构造和单斜构造	35
4.4 褶皱构造	35
4.5 断裂构造	39
4.6 不整合	45
思考与练习	47
第 5 章 土的形成及工程性质	48
5.1 土按成因分类及工程地质性质	48
5.2 土的工程分类	52

5.3 特殊土的主要工程性质 .....	60
思考与练习 .....	68
<b>第 6 章 地下水 .....</b>	<b>69</b>
6.1 地下水的基本知识 .....	69
6.2 地下水的物理性质和化学成分 .....	72
6.3 地下水的分类 .....	75
6.4 地下水对道路工程的影响 .....	82
思考与练习 .....	85
<b>第 7 章 地貌 .....</b>	<b>87</b>
7.1 地貌分类 .....	87
7.2 平原地貌 .....	88
7.3 山岭地貌 .....	90
7.4 河谷地貌 .....	94
思考与练习 .....	100
<b>第 8 章 岩体 .....</b>	<b>101</b>
8.1 岩体的结构特征 .....	101
8.2 岩体稳定性分析 .....	105
8.3 岩质边坡的变形破坏分析 .....	111
思考与练习 .....	113
<b>第 9 章 风化作用 .....</b>	<b>114</b>
9.1 风化作用的类型 .....	114
9.2 岩石风化程度和风化带 .....	117
9.3 岩石风化的治理 .....	117
思考与练习 .....	118
<b>第 10 章 崩塌与滑坡及其治理 .....</b>	<b>119</b>
10.1 崩塌与岩堆 .....	119
10.2 滑坡 .....	124
思考与练习 .....	136
<b>第 11 章 泥石流及防治 .....</b>	<b>137</b>
11.1 泥石流的形成条件与分类 .....	137
11.2 泥石流的防治 .....	142
思考与练习 .....	145
<b>第 12 章 岩溶及工程地质问题 .....</b>	<b>146</b>
12.1 岩溶 .....	146
12.2 岩溶的工程地质问题与防治 .....	152
思考与练习 .....	156

<b>第 13 章 地震及工程防震</b> .....	157
13.1 地震概述 .....	157
13.2 地震的震级与地震烈度 .....	159
13.3 道路工程震害及防震原则 .....	161
思考与练习 .....	165
<b>第 14 章 冻土及工程问题</b> .....	166
14.1 冻土概论 .....	166
14.2 冻土的分类与工程性质 .....	166
14.3 冻土的工程病害与防治 .....	170
思考与练习 .....	172
<b>第 15 章 工程地质勘察的主要方法</b> .....	173
15.1 工程地质测绘 .....	173
15.2 工程地质勘探 .....	176
15.3 工程地质测试 .....	180
15.4 工程地质勘察报告 .....	186
思考与练习 .....	187
<b>第 16 章 各类工程地质勘察</b> .....	188
16.1 工程地质勘察的阶段划分 .....	188
16.2 道路工程地质勘察 .....	190
16.3 桥梁工程地质勘察 .....	193
16.4 隧道工程地质勘察 .....	195
思考与练习 .....	198
<b>参考文献</b> .....	199

### 1.1 工程地质学的研究内容和任务

工程地质学是研究工程建设活动与地质环境相互作用的有关地质问题的学科，也就是说，是一门研究与工程建设活动有关的地质问题，为工程建设活动服务的地质学科。它是地质学的分支，属于应用地质学的范畴，也是工程学与地质学交叉形成的一门新的边缘学科。

工程地质学与不同的工程建设活动相结合或为不同的工程活动服务，就形成各种不同的专门工程地质学，比如与道路工程建设活动相结合，为道路工程建设活动服务，就形成道路工程地质学。

工程地质学包括工程岩土学、工程地质分析、工程地质勘察三个基本部分。工程岩土学的任务是研究岩土的工程地质性质以及这些性质的形成和它们在自然或人类活动影响下的变化。工程地质分析的任务是：研究工程活动中的工程地质问题，研究这些问题形成的地质条件、工程活动与地质条件之间的作用规律，进而正确评价和有效防治不良影响。工程地质勘察的任务是调查工程活动涉及的地质因素，并运用技术方法为工程提供详尽的地质资料。

为了生存和发展，人类在地球表面（即地壳上）从事着各种各样的工程建设活动。工程建设活动是在一定的地质环境中进行的，两者之间有着密切的关系，并且相互影响、相互制约。建设工程的地质环境称为工程地质条件，是土和岩石的工程性质、地质构造、地貌、水文地质、地质作用、自然地质现象和天然建筑材料等几个方面的总和。地质条件影响着工程建设活动的安全和建筑物的正常使用。例如，在开挖高边坡时，若忽略地质条件，可能引起大规模的崩塌和滑坡。工程建设活动也会以各种方式影响地质条件，甚至使自然地质环境发生恶化。例如，在地表进行工程建设，可能引起地基岩土体的压密沉降；桥梁可使局部河段冲刷淤积发生变化；在城市过量抽取地下水，可能导致大规模的地面沉降。

工程地质学的具体任务是吧地质科学应用于工程实践，通过查明并评价工程活动地区的工程地质条件，阐明对工程活动有利的和不利的因素；论证建筑物可能遇到的主要工程地质问题，进行定性和定量评价，作出确切结论；选择工程地质条件良好的建筑场址，并根据场址的工程地质条件具体情况提出合理的建筑类型、结构形式、规模的建议；预测建筑物建成后对地质环境的影响及其发展演化趋势，提出对地质环境合理利用和保护的对策和措施；提供改善和防治不良地质作用的方案、

措施所需的地质依据。

由此可见,工程地质学的任务是多方面的。研究人类工程活动与地质环境之间的相互制约关系,以便做到既能使工程活动安全、经济、稳定,又能合理开发和保护地质环境,这是工程地质学的基本任务。而在大规模地改造自然环境的工程中,如何按地质规律办事,有效地顺应和改造地质环境,则是工程地质学面临的主要任务。

## 1.2 工程地质学的研究方法

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法多种多样,主要包括定性分析法、定量分析法、试验分析法、模拟分析法等,这四种研究方法各有特点,应互为补充、综合应用。而自然历史分析法是最重要和最根本的研究方法,是其他研究方法的基础。将地质分析法与力学分析法、工程类比法与试验法等密切结合使用,即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。常用方法叙述如下。

### 1. 自然历史分析法

自然历史分析法是地质学方法,是工程地质学最基本的一种研究方法。工程地质学所研究的对象——地质体和各种地质现象,是自然地质在历史过程中形成的,而且随着所处条件的变化,还在不断地发展演化。所以对一个动力地质作用或建筑场地进行工程地质研究时,首先就要做好基础地质工作,查明各项自然地质条件和各种地质现象以及它们之间的关系,预测其发展演化的趋势及结果。只有这样,才能真正查明研究地区的工程地质条件,并作为进一步研究工程地质问题的基础。例如,对斜坡变形与破坏问题进行研究时,要从研究形态入手,确定斜坡变形与破坏的类型、规模及边界条件,分析斜坡变形、破坏的机制及各项影响、控制因素,以展现其空间分布格局,进而分析其形成、发展演化过程和发育阶段。但是,仅有地质学的方法,是不能完全满足工程地质评价要求的,因为它终究属于定性研究的范畴,并没有数量的概念。所以要深入研究某一工程地质问题时,还必须采用定量研究的方法。

### 2. 数学力学分析法

数学力学分析属于定量研究的范畴,是在自然历史分析的基础上开展的,是对某工程地质问题或工程动力地质现象,经自然历史分析之后,根据所确定的边界条件和计算参数,运用理论公式或经验公式进行定量计算。例如在斜坡稳定性计算中通常采用的刚体极限平衡理论法,就是在假定斜坡岩土体为刚体的前提下,将各种作用力以滑动力和抗滑力的形式集中作用于可能的滑移破坏面上,求出该面上的边坡稳定系数,作为定量评价的依据。为了搞清边界条件以及合理地选用各项计算参数,就需要进行工程地质勘探、试验,有时则要耗费巨大的资金和人力。所以除大型或重要的建筑物外,一般建筑物往往采用经验数据类比进行计算。

数学力学分析法在计算空间问题、非均一、非线性的复杂课题时更显出它的优越性。随着计算机技术的发展,各种数学、力学计算模型越来越多地运用于工程地质领域,弹性力学和弹塑性力学理论的有限单元法也日益广泛地应用于斜坡稳定

性、坝基抗滑稳定性、地面沉降及水库诱发地震危险性等的分析计算中。

### 3. 模型模拟试验法

在工程地质研究中，模型模拟试验法也常被采用。它也属于定量研究的范畴。它可以帮助人们探索自然地质作用的规律，揭示某一工程动力地质作用或工程地质问题产生的力学机制及发生发展演化的全过程，以便工程人员作出正确的工程地质评价。

模型试验与模拟试验的区别在于，试验所依据的基础规律是否与实际作用的基础规律一致。例如，用渗流槽进行坝基渗漏试验属于模型试验的方法，因为试验所依据的是达西定律，与实际控制坝基渗漏的基础规律相同。但若用电网络法进行这种试验，则属于模拟试验的方法，因为试验是以电学中的欧姆定律为依据的。欧姆定律与达西定律形式上虽然相似，但本质上则根本不同。

在工程地质中常见的模型试验有：地表流水和地下水渗流作用，斜坡稳定、地基稳定、水工建筑物抗滑稳定以及地下洞室围岩等工程岩土体稳定性的试验。常用的模拟试验有：光测弹性和光测塑性模拟试验，模拟地下水渗流的电网络模拟试验等。

### 4. 工程地质类比法

工程地质类比法在工程地质研究中也是一种常用的方法，可以用于定性评价，也可作半定量评价。它是将已建建筑物工程地质问题的评价经验运用到自然地质条件与其大致相同的拟建的同类建筑物中去。这种方法的基础是相似性，即自然地质条件、建筑物的工作方式、所预测的工程地质问题性质都应大致相同或近似。它往往受研究者的经验限制。由于自然地质条件等不可能完全相同，类比时又往往把条件加以简化，所以这种方法是较为粗略的，一般适用于小型工程或初步评价。

## 1.3 道路工程地质课程教学任务和学习目标

我国地域辽阔，自然条件复杂，公路工程常要穿越不同的地质地貌单元，公路沿线的地质环境和条件差异大且变化复杂，建设中常会遇到各种各样的自然条件和地质问题。因此，作为道路工程专业技术人员，必须具备一定的工程地质知识，才能正确处理道路建设与自然地质条件的相互关系，才能胜任工作。

道路工程地质研究人员应以严肃认真的科学态度，综合运用地质学理论及各种新技术、新方法、新理论，相互核对、相互验证，客观地反映各种地质现象，正确、全面地评价工程地质条件，为线路选择和各种建筑物的工程设计提供可靠的地质依据。

道路工程地质课程是公路与城市道路、桥梁工程和隧道工程等专业的一门专业基础课。课程结合我国自然地质条件和公路、桥梁与隧道工程的特点，为学习专业和开展有关问题的科学研究提供必要的工程地质学基础知识；同时，通过一些基本技能的训练，培养学生搜集、分析和运用有关地质资料，对一般的工程地质问题进行评价的能力。学习本课程最重要的是要学会具体问题具体分析。

本课程学习目标有以下三点：

(1) 能读懂一般地质资料，并根据地质资料在野外辨认常见的岩石和松散沉积

物，了解其主要的工程性质；辨认基本的地质构造及明显的不良地质现象，了解其对工程建筑的影响。

(2) 系统掌握工程地质的基本理论和方法，根据工程地质勘察数据和资料，进行一般的工程地质问题分析，并提出处理措施。

(3) 把学到的工程地质学知识与专业知识紧密结合起来，进行实际工程设计与施工。

学习要点：地球的内、外圈层构造，地质作用的概念及内容。

## 2.1 地球构造

地球是由不同状态不同物质的同心圈层组成的球体，以地表为界，分为外部圈层和内部圈层。外部圈层包括大气圈、水圈和生物圈；内部圈层包括地壳、地幔和地核，如图 2.1 所示。

### 2.1.1 地球的外部圈层

#### 1. 大气圈

大气圈是地球的最外层，其上界仍不清楚，但通过极光，人们认为上界至少在 1200km 以上，总质量达  $5.1 \times 10^{15}$  t，占地球总质量的 0.00009%。大气的主要成分氮占 78%；氧占 21%；其他是二氧化碳、水汽、惰性气体、尘埃等，占 1%。

大气圈是地球的重要组成部分，为生物提供必要的生存条件，避免了宇宙射线的危害、温度的剧烈变化、水分的散失。风、雨、雪、冰雹等天气现象都发生在大气圈中，成为地质作用的重要因素。大气圈的污染会直接影响到人类的生存和发展。

#### 2. 水圈

地球表面包括海洋、江河、湖泊、冰川和地下水等各种形态的水所形成的一个连续圈层称为水圈。水圈的质量为  $1.41 \times 10^{18}$  t，占地球总质量的 0.024%。水圈中，海水占 97.2%，陆地水占 2.8%，其中陆地水又以冰川为重要形式。

水孕育了生命，没有水也就没了生命。太阳的辐射使水产生不断的循环运动，成为地质作用的又一重要因素，是塑造地球面貌的重要动力。水是重要的资源，水的污染问题同样关系到人类的生存和发展。

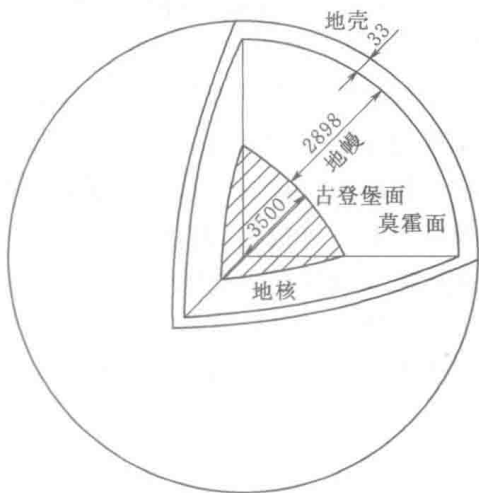


图 2.1 地球的内部构造 (单位: km)

### 3. 生物圈

生物圈是指动物、植物和微生物等存在及其活动影响的圈层。目前世界上已知的动物有 200 万种左右,植物有 34 万种左右,微生物大约 3.7 万种。生物圈总质量仅为大气圈的 1/300。生物圈的分布包括大气圈下层、岩石圈上层和整个水圈,厚度可达几万米,但受生物生存条件的影响,主要集中在地表以上 100m、水面以下 100m 的范围内。

生物圈是地球演化过程中形成的特殊圈层。尤其人类的出现,对地球产生了特殊的作用。地球的外部圈层相互渗透,相互影响,对地球产生了外动力的地质作用。

## 2.1.2 地球的内部圈层

地表以下的地球内部圈层主要是通过对地震波的传播规律进行划分的,第一个界面是由南斯拉夫地震学家莫霍·洛维奇首先发现的,称为莫霍面。第二个界面是由美国的古登堡发现的,称为古登堡面。两个界面将地球内部分为地壳、地幔和地核。

(1) 地壳。地球由地表到莫霍面的部分称为地壳。地壳厚度大致为地球半径的 1/400,大陆部分平均厚度为 37km,海洋部分平均厚度为 7km,总平均厚度为 33km;体积只有地球总体积的 0.8%;密度为  $2.7\sim 2.9\text{g}/\text{cm}^3$ ,占地球总质量的 1.5%。地壳主要由硅、铝和氧化物等组成,呈固体岩石状态。

(2) 地幔。莫霍面与古登堡面之间的部分称为地幔,厚 2800km 左右,占地球总体积的 83%。地幔平均密度为  $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ ,占地球总质量的 65%。地幔的上部固体岩石和地壳合称为岩石圈。岩石圈的下面一定厚度内,具有较大的塑性,表现为熔融状态,所以被称为软流圈。地幔上层是熔融状态物质,可能是岩浆的发源地;下地幔主要由铁镁氧化物和硫化物组成。

(3) 地核。从古登堡面到球心部分称作地核,半径为 3471km,体积占地球总体积的 16.2%,平均密度超过  $10\text{g}/\text{cm}^3$ ,主要化学成分是铁、镍,所以又称铁镍核心。

## 2.2 地质作用

作用于地球的自然力使地球的物质组成、内部构造和地表形态发生变化的作用,称为地质作用。引起地质作用的自然力称为地质营力。根据产生地质营力的能量的不同来源,地质作用分为内力地质作用和外力地质作用。内力地质作用是由地球内部的能量引起的,主要有地内热能、重力能、地球旋转能、化学能和结晶能等。外力地质作用是由地球以外的能量引起的,主要有太阳辐射能、潮汐能和生物能等。

### 2.2.1 外动力地质作用

主要由地球以外的能量(包括太阳辐射能、日月引力能、地球本身的重力能等)所引起的,并且作用在地壳表面的地质作用,称为外动力地质作用。按其作用

方式,可分为以下 5 种类型:

(1) 风化作用。在温度、水溶液、大气和生物等因素的作用下,使岩石在原地遭到破坏的作用。

(2) 剥蚀作用。地面流水、地下水等各种外动力在运动过程中对地壳表层造成破坏并将风化物剥离原地的作用。

(3) 搬运作用。剥蚀下来的物质被各种外动力迁移至他处的作用。

(4) 沉积作用。被各种外动力搬运的物质在适当环境下发生沉积,形成松散沉积物的作用。

(5) 硬结成岩作用。松散沉积物固结成岩石的作用。

外力地质作用一方面通过风化和剥蚀作用不断地破坏出露地表的岩石,另一方面又把地表高处剥蚀下来的风化产物通过流水等介质,搬运到低洼的地方使之沉积下来形成新的岩石。外力作用总的趋势是切削地壳表面隆起的部分,填平地壳表面低洼的部分,不断地使地壳的面貌发生变化。在地表主要形成戈壁、沙漠、泥石流、滑坡、冲积平原等。

### 2.2.2 内动力地质作用

主要由地球内部的能量(其中以旋转能、重力能、放射性元素衰变产生的热能为主)引起的,且作用在整个岩石圈的地质作用,称为内动力地质作用。根据动力和作用方式,内动力地质作用可分为以下 4 种:

(1) 构造运动。构造运动分为水平运动和垂直运动。水平运动常常使岩石沿水平方向拉伸、挤压和位移,形成褶皱和断裂,在大的构造上形成山系、地堑和裂谷。所以,水平运动也被称作造山运动。垂直运动又称为升降运动,它可形成规模不等的隆起和凹陷,引起海侵、海退,导致海陆的变化。

(2) 地震作用。是地壳快速的震动的现象,是地壳运动的一种特殊表现形式,地壳运动和岩浆作用都能引起地震。

(3) 岩浆作用。岩浆的形成、迁移直至凝固结成岩石的全部作用过程。

(4) 变质作用。原有岩石基本在固态下,受内力的作用而变成一种新岩石的过程。

内力地质作用总的趋势是形成地壳表层的基本构造和地壳表面大型的高低起伏。

按照地质作用的形式,地质作用可进一步划分,见表 2.1。

表 2.1 地质作用分类

地质作用的形式	地质作用的类型	举 例
外力地质作用	风化作用	物理风化作用 化学风化作用 生物风化作用
	剥蚀作用	风的吹蚀作用 河流的侵蚀作用 地下水的侵蚀作用 湖泊、海洋的侵蚀作用 冰川的刨蚀作用

续表

地质作用的形式	地质作用的类型	举 例
外动力地质作用	搬运作用	风的搬运作用 河流的搬运作用 地下水的搬运作用 湖泊、海洋的搬运作用 冰川的搬运作用
	沉积作用	风的沉积作用 河流的沉积作用 地下水的沉积作用 湖泊、海洋的沉积作用 冰川的沉积作用
	硬结成岩作用	胶结作用 压实作用 结晶作用
内动力地质作用	构造运动	水平运动 垂直运动（升降运动）
	岩浆作用	喷出作用（火山作用） 侵入作用
	变质作用	碎裂变质作用 接触变质作用 气-液变质作用 区域变质作用
	地震作用	构造地震 火山地震 陷落地震

内、外力地质作用紧密关联、相互影响、互相制约，始终处于对立统一的发展之中，影响着地质、地貌的形态。

### 思考与练习

1. 试说明地球的圈层构造。
2. 什么是地质作用？地质作用的分类和作用形式有哪些？