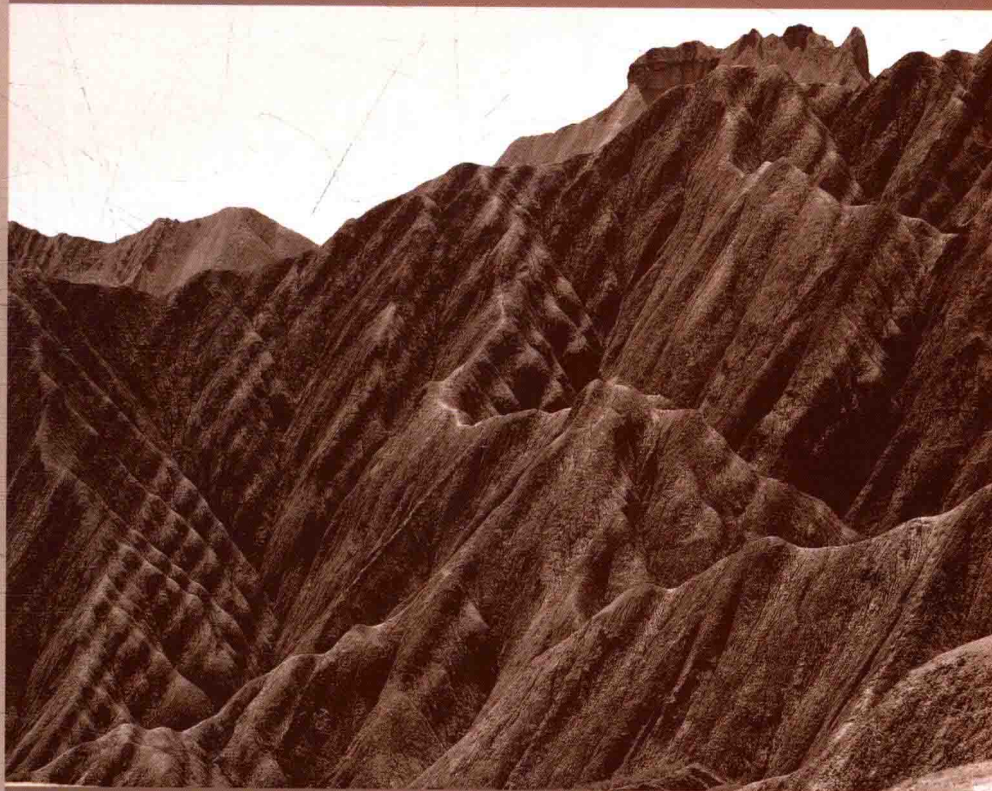


普通高等教育“十三五”规划教材

# 工程地质学

牛燕宁 主编 宋术双 副主编 梁收运 审



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 工程地质学

牛燕宁 主编 宋术双 副主编 梁收运 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了地质作用及其相关地质学基础理论与知识,地质条件及其工程影响,不同土体的工程性质,几种常见的不良地质现象,工程地质勘察等方面的内容。本书的编写力图做到体系结构严谨、合理,基本概念清楚、明确,力求知识点间的衔接和融会贯通。

本书可作为土木工程、测绘工程、采矿工程等非地质专业的高等学校教材,还可供工程地质、水文地质等相关专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程地质学/牛燕宁主编. —北京:化学工业出版社,  
2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-27453-3

I. ①工… II. ①牛… III. ①工程地质-高等学校-  
教材 IV. ①P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第145184号

---

责任编辑:刘丽菲

责任校对:宋玮

装帧设计:张辉

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18½ 字数467千字 2016年9月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:42.00元

版权所有 违者必究



# 前言

工程地质学是高等学校土木工程专业必修的一门基础课程。随着我国工程建设的发展，土木工程的工程地质问题涉及范围相当广泛，既有建筑物和构筑物的地基基础、道路和引水渠道等线性工程的选址选线、边坡工程和地下工程的围岩介质与环境，又有发育复杂的地质条件、多样的岩土体性质。工程地质学作为架构地质学与土建专业的桥梁，起到了承接与应用并重的作用。

本书的编写过程中，编者们在总结以往教学经验的基础上，参阅了多种版本的工程地质学教材和最新研究成果，力图做到体系结构严谨、合理，基本概念清楚、明确，力求知识点间的衔接和融会贯通。本书主要介绍了地质作用及其相关的地质学基础理论与知识，地质条件及其工程影响，不同土体的工程性质，几种常见的不良地质现象，工程地质勘察等方面的内容。

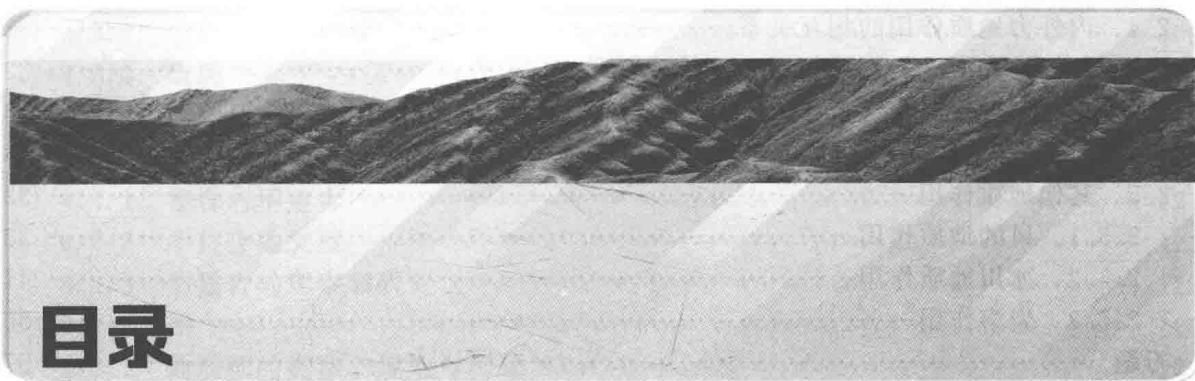
本书由兰州理工大学牛燕宁主编，兰州理工大学宋术双副主编，由兰州大学梁收运教授审。编写人员分工如下：牛燕宁绪论、第2、3、8章，宋术双第4、5、6、7章，钟秀梅第1章及参考文献，由主编统稿。

本书编写过程中得到兰州理工大学许多老师和一些勘察设计部门的关心与支持，特别感谢高芳芳、牛强两位研究生做的文字校对工作，梁收运教授在审稿过程中提出许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编者

2016年4月



# 目录

绪论	1
0.1 地质学与工程地质学	1
0.2 工程地质学的研究对象	2
0.3 工程地质学的发展概况	3
0.4 工程地质学的研究方法	4
0.5 工程地质在土木工程建设中的作用	4
0.6 本课程的主要内容及要求	5
第1章 地球	6
1.1 地球的外圈层构造	6
1.1.1 大气圈	6
1.1.2 水圈	7
1.1.3 生物圈	8
1.2 地球的内圈层构造	8
1.2.1 地球内部圈层划分	8
1.2.2 地球内部圈层的物质组成和物态	9
1.3 地球的表面形态	10
1.3.1 陆地	11
1.3.2 海底	11
习题	12
第2章 地质年代与地质作用	13
2.1 地质年代	13
2.1.1 地质年代的划分	13
2.1.2 确定地质年代的方法	15
2.1.3 地质年代单位和地质年代表	17
2.2 地质作用	18
2.2.1 地质作用的能量来源	19
2.2.2 内力地质作用	20
2.3 外力地质作用	28
2.3.1 风化作用	28
2.3.2 剥蚀作用	29
2.3.3 搬运作用	29
2.3.4 沉积作用	31
2.3.5 成岩作用	32

2.4	内外力地质作用的相互关系	33
2.4.1	地壳上升与剥蚀作用	33
2.4.2	地壳下降与沉积作用	33
2.4.3	地壳物质组成的相互转化	33
2.5	其他地质作用	33
2.5.1	风的地质作用	33
2.5.2	冰川地质作用	41
2.5.3	岩溶作用	50
	习题	57
<b>第3章</b>	<b>矿物与岩石</b>	<b>58</b>
3.1	元素	58
3.1.1	元素在地壳中的分布和克拉克值	58
3.1.2	元素在地壳中的迁移和富集	58
3.2	矿物	59
3.2.1	矿物的概念及分类	59
3.2.2	矿物的形态与性质	60
3.2.3	常见矿物及造岩矿物	61
3.3	岩石	65
3.3.1	岩浆岩	66
3.3.2	沉积岩	69
3.3.3	变质岩	75
3.3.4	三大岩类的演变	78
3.3.5	岩石肉眼鉴定的主要特征	79
3.3.6	各类岩石的划分及命名原则	81
3.4	岩石的工程性质	83
3.4.1	岩石的物理性质及水理性质	83
3.4.2	岩石的力学性质	85
3.4.3	影响岩石工程地质性质的因素	89
3.4.4	岩体的工程地质性质	90
	习题	94
<b>第4章</b>	<b>地质构造及其工程影响</b>	<b>95</b>
4.1	岩层的产状	95
4.1.1	岩层的产状要素	95
4.1.2	岩层产状的测定及表示方法	95
4.1.3	水平岩层、倾斜岩层和直立岩层	96
4.2	褶皱构造	99
4.2.1	褶皱和褶皱要素	100
4.2.2	褶皱的形态分类	102
4.2.3	褶皱构造野外观察	104
4.2.4	判断褶皱形成年代的方法	104
4.2.5	褶皱的工程地质评价	105
4.2.6	边坡、隧道和桥基设置与地质构造的关系	105
4.3	断裂构造	106

4.3.1	节理	106
4.3.2	断层	110
4.3.3	活断层	116
4.4	不整合	121
4.4.1	整合与不整合	121
4.4.2	不整合的类型	121
4.4.3	不整合的观察和研究	123
4.5	地质图	125
4.5.1	地质图的类型、规格与符号	125
4.5.2	地质条件在地质图上的表示	127
4.5.3	地质图的阅读与分析	129
	习题	130
<b>第5章</b>	<b>地下水及其工程影响</b>	<b>131</b>
5.1	地下水的赋存状态	131
5.1.1	岩土中的空隙	131
5.1.2	岩石的水理性	132
5.1.3	岩石中水的类型	133
5.2	地下水的成因、类型及流动规律	134
5.2.1	地下水的成因	134
5.2.2	地下水的类型	135
5.2.3	地下水运动的基本规律	141
5.3	地下水的物理性质与化学性质	142
5.3.1	地下水的物理性质	142
5.3.2	地下水的化学性质	144
5.4	地下水的地质作用	146
5.4.1	地下水的破坏作用	146
5.4.2	地下水的搬运作用	146
5.4.3	地下水的沉积作用	147
5.5	地下水造成的工程地质问题	148
5.5.1	地下水对边坡工程的影响	148
5.5.2	地下水对混凝土基础的腐蚀破坏	150
5.5.3	地下水对地基土的渗流破坏	152
5.5.4	地下水位变化的不良影响	155
5.5.5	岩溶区修建水库的措施与防渗处理	157
5.5.6	岩石中裂隙水对地下工程的不良影响	159
	习题	159
<b>第6章</b>	<b>不良地质现象</b>	<b>160</b>
6.1	崩塌与滑坡	160
6.1.1	崩塌	160
6.1.2	滑坡	162
6.2	泥石流	172
6.2.1	泥石流的形成条件	172
6.2.2	泥石流的特征	173

6.2.3	泥石流的分类 .....	173
6.2.4	泥石流的工程地质评价 .....	176
6.2.5	泥石流的防治 .....	176
6.3	岩溶与土洞 .....	177
6.3.1	岩溶的形成条件 .....	177
6.3.2	岩溶的发育条件 .....	179
6.3.3	岩溶的分布规律 .....	179
6.3.4	岩溶场地的勘察 .....	180
6.3.5	土洞的形成 .....	180
6.3.6	岩溶地区工程地质问题 .....	183
6.3.7	岩溶区常用防治措施 .....	185
6.4	地震 .....	186
6.4.1	地震的基本知识 .....	186
6.4.2	地震的成因类型及特点 .....	189
6.4.3	地震破坏作用 .....	189
6.4.4	地震工程地质研究 .....	190
6.4.5	地震导致的区域性砂土液化 .....	193
	习题 .....	204
<b>第7章</b>	<b>特殊土的工程地质特性</b> .....	<b>205</b>
7.1	土的工程地质性质 .....	205
7.1.1	土的粒度成分 .....	205
7.1.2	土的矿物成分 .....	207
7.1.3	土的结构和构造 .....	207
7.1.4	土的物理力学性质 .....	209
7.2	软土 .....	209
7.2.1	软土的成因及形态特征 .....	210
7.2.2	软土的工程性质 .....	212
7.2.3	软土地基勘察及评价 .....	213
7.2.4	软土地基设计中常用处理措施 .....	214
7.3	黄土 .....	216
7.3.1	黄土成因及分布 .....	217
7.3.2	黄土的岩性特征 .....	219
7.3.3	湿陷性黄土地貌与分区 .....	221
7.3.4	湿陷性黄土的工程性质 .....	223
7.3.5	湿陷性黄土地基的地基处理措施 .....	228
7.4	冻土 .....	235
7.4.1	冻土的结构与分布 .....	235
7.4.2	冻土的分类 .....	237
7.4.3	冻土的力学性质 .....	239
7.4.4	冻土的工程勘察 .....	241
7.4.5	建筑物冻害的防治措施 .....	241
7.4.6	多年冻土地区特殊地质问题 .....	242
7.4.7	多年冻土地区选址原则 .....	245



7.5	膨胀土 .....	245
7.5.1	膨胀土的分布、成因及分类 .....	245
7.5.2	膨胀土的特征和识别 .....	247
7.5.3	影响膨胀土胀缩变形的因素和胀缩指标 .....	248
7.5.4	膨胀土的勘察试验方法和工程评价 .....	249
7.5.5	膨胀土地基的工程措施 .....	250
7.6	红黏土 .....	253
7.6.1	红黏土的形成和分布 .....	253
7.6.2	红黏土的物理力学特性 .....	253
7.6.3	红黏土的勘察和工程评价 .....	254
7.6.4	红黏土地基工程处理措施 .....	255
7.7	盐渍土 .....	257
7.7.1	盐渍土的主要特点 .....	257
7.7.2	盐渍土的分布 .....	257
7.7.3	盐渍土的成因 .....	258
7.7.4	盐渍土的分类 .....	259
7.7.5	盐渍土的工程地质特性 .....	260
	习题 .....	261
<b>第8章</b>	<b>工程地质勘察</b> .....	<b>262</b>
8.1	工程地质勘察的目的、任务和基本方法 .....	262
8.1.1	工程地质勘察的目的和任务与勘察阶段的划分 .....	262
8.1.2	工程地质勘察的基本方法 .....	263
8.2	工程地质调查与测绘 .....	265
8.2.1	工程地质调查与测绘的范围、比例尺和精度 .....	265
8.2.2	工程地质测绘的内容 .....	266
8.2.3	工程地质测绘方法 .....	268
8.3	工程地质勘探 .....	269
8.3.1	工程地质物探 .....	269
8.3.2	钻探 .....	271
8.3.3	坑探 .....	272
8.3.4	勘探的布置 .....	273
8.4	工程地质试验及现场监测 .....	274
8.4.1	野外试验 .....	274
8.4.2	现场监测 .....	278
8.5	工程地质勘察资料的整理 .....	281
8.5.1	岩土参数的统计 .....	281
8.5.2	工程地质勘察报告 .....	282
	习题 .....	283
	参考文献 .....	285



# 绪 论

## 0.1 地质学与工程地质学

地质学一词是在 1779 年由瑞士人索修尔提出的,意指“地球的科学”。地质学是关于地球的物质组成、内部构造、外部特征、各层圈之间的相互作用和演变历史的知识体系,是研究地球及其演变的一门自然科学。

地质学的服务对象主要包括矿产、能源、环境和灾害四个方面。根据地质学研究内容的不同,又可以分为以下几种分支学科,这些分支学科大体可分为两类:一类是探讨基本事实和原理的基础学科;一类是这些基础学科与生产或其他学科结合而形成的学科。

**基础学科**——是从事任何地质工作必不可少的学科,包括研究地壳物质组成的结晶学、矿物学、岩石学、地球化学等,研究地壳的构造及地表形态的构造地质学、大地构造学、地貌学等,研究地壳演化历史的古生物学、地史学、地层学、第四纪地质学等。

**边缘学科**——是地质学与其他学科相结合而产生的学科,如数学地质学、地球物理学、遥感地质学、实验岩石学等。

**应用学科**——是运用基础学科的理论来研究资源的开发或工农业生产中的地质问题的学科,前者如矿床学、石油地质学、煤田地质学、水文地质学等,后者如工程地质学、环境地质学、农业地质学等。

**综合性学科**——主要是运用上述学科进行地区性或全球性地质问题综合研究的学科,如区域地质学、海洋地质学、板块构造学等。

人类的工程活动都是在一定地质环境中进行的,两者之间具有密切的联系,并且相互影响,相互制约。工程活动的地质环境,亦称为工程地质条件,一般认为它应包括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。

工程地质学是研究与人类工程建筑等活动有关的地质问题的科学,是地质学的一个分支学科。其研究目的是查明建设地区或建筑场地的工程地质条件,预测和评价可能发生的工程地质问题及对建筑物或地质环境的影响,提出防治措施,以保证工程建设的正常进行。

由于工程地质条件有明显的区域性分布规律,因而工程地质问题也有区域性分布的特点,研究这些规律和特点的分支学科称为区域工程地质学。

工程地质学主要研究建设地区和建筑场地中的岩体、土体的空间分布规律和工程地质性质,控制这些性质的岩石和土的成分和结构以及在自然条件和工程作用下这些性质的变化趋向,制定岩石和土的工程地质分类。由于各类工程建筑物的结构、作用、所在空间范围内的环境不同,所以可能发生的地质作用和工程地质问题也不同。据此,工程地质学往往分为水利水电工程地质学、道路工程地质学、采矿工程地质学、海港和海洋工程地质学、土木工程地质学和城市工程地质学等。

根据侧重点的不同,工程地质学又可分为工程地质分析、工程岩土学和工程地质勘察三个分支。工程地质分析是指利用工程地质基本原理,分析工程地质问题产生的地质条件、力学机理及其发展演化的规律,以便正确评价其不利影响并进行有效防治;工程岩土学是研究岩土的性质和它在自然或人类活动影响下变化的科学;工程地质分析学和工程岩土学是工程地质学的理论基础。工程勘察是将这些理论运用于解决实际工程问题,保证与工程活动的规划、设计、施工、使用和维护等有关的工程地质问题均能得到查明和有效处理。

工程地质学的研究方法有以下三种:运用地质学理论和方法查明工程地质条件和地质现象空间分布、发展趋向的地质学方法;测定岩、土体物理、化学特性,测试地应力等的实验、测试方法;利用测试数据,定量分析评价工程地质问题的计算方法;利用相似材料和各种数理方法,再现和预测地质作用的发生、发展过程的模拟方法。随着计算机技术应用的普及和发展,工程地质专家系统也在逐步建立。

工程地质学与土力学、岩石力学、水文地质学、基础工程学、施工技术、地下工程、勘察技术、岩土试验技术、地质力学模型试验及地震工程学等许多其他区学科都有密切关联。

## 0.2 工程地质学的研究对象

工程地质学的目的在于查明建设地区或建筑场地的工程地质条件,分析、预测和评价可能存在和发生的工程地质问题,及其对建筑物和地质环境的影响和危害,提出防治不良地质现象的措施,为保证工程建设的合理规划,建筑物的正确设计、顺利施工和正常使用提供可靠的地质科学依据。

工程地质条件是各种对工程建筑有影响的地质因素的总称,也称为工程地质环境,主要包括如下几方面的内容。

(1) **地形地貌** 地形是指地表高低起伏状况,山坡陡缓程度与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。平原区、丘陵区 and 山岳地区的地形起伏、土层厚薄和基岩出露情况、地下水埋藏特征和地表地质作用现象都具有不同的特征,这些因素都直接影响到建筑场地和线路的选择。

(2) **地层岩性** 地层岩性是最基本的工程地质因素,包括它们的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等。

(3) **地质构造** 地质构造也是工程地质工作研究的基本对象,包括褶皱、断层、节理的分布和特征。地质构造,特别是形成时代新、规模大的活动断裂,对地震等灾害具有控制作用,因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等研究具有重要意义。

(4) **水文地质条件** 水文地质条件是重要的工程地质因素,包括地下水的成因、埋藏、分布、季节变化和化学成分等。

(5) **自然地质现象** 自然地质现象是现代地表地质作用的反映,与工程区地形、气候、岩性、构造、地下水和地表水作用密切相关,主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、风沙移动、河流冲刷、沉积和风化等,对评价建筑物的稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大。

(6) **天然建筑材料** 工程建设中所需的岩土建筑材料的分布、类型、品质、开采条件、储量及运输条件等,也是工程地质条件中的一个重要因素。

工程地质学要分析和预测在自然条件和工程建筑活动中可能发生各种地质作用和工程地质问题,例如:地震、滑坡、泥石流、诱发地震、地基沉陷、人工边坡和地下硐室围岩的变形和破坏、开采地下水引起的大面积地面沉降、地下采矿引起的地表塌陷等地质环境问题及其发生的条件、过程、规模和机制,评价它们对工程建设和地质环境造成的危害程度,研究防治不良地质作用的有效措施。

工程地质学还要研究工程地质条件的区域分布特征和规律,预测其在自然条件下和工程建设活动中的变化和可能发生的不良地质作用,评价其对工程建设的适宜性。

### 0.3 工程地质学的发展概况

人类的工程活动已有悠久的历史。早在 15000 年以前的石器时代,人类已开始在地地下开矿。2000 年前,埃及人已能应用砖砌沉井穿过砂层。埃及的金字塔、中国的长城、南北运河、新疆坎儿井等都是著名的人类早期的工程活动。

美国于 1831—1833 年开始修建第一条铁路,法国于 1857—1870 年打通穿越阿尔卑斯山萨尼峰的 11km 长隧道。英吉利海峡隧道和日本青函隧道的建成使人类隧道开凿达到了一个新水平。随着人类工程活动的进行,促使人们不断去思考地质问题的实质,使工程地质学这门学科得到逐步充实和发展。

1912 年瑞土地质学家 A. Heim 提出了地压理论;1933 年在瑞士工作的法国人 M. Lugeon 写了《大坝与地质》一书,并最早提出测定岩层渗透性的钻孔压水试验;1939 年 R. F. Legget 写出《地质学与工程》一书;奥地利人 J. Stini 和 L. Muller 最早认识到岩体结构面的影响,并于 1951 年创办《地质与土木工程》杂志;在奥地利 Saltzberg 每年 10 月举办大型欧洲工程地质学术会议;法国人 J. A. Talbore 于 1957 年写出《岩石力学》专著,阐述了地质学与工程的关系;C. Jaeger 于 1972 年写《岩石力学与工程》专著;1983 年 R. F. Legget 又出巨著《土木工程的地质学手册》。

我国学者陶振宇于 1976 年写出《水工建设中的岩石力学问题》,同年谷德振出版《岩体工程地质力学基础》一书;陈宗基对岩土流变学进行了深入研究,并创办武汉岩土力学研究所;石根华写的《Theory of Block》(块体理论)推动了岩体稳定的力学分析。

我国的工程地质学建国后发展迅速。1950 年国务院成立了地质工作计划委员会,下设工程地质局,重点负责水利工程和新建铁路工程地质的规划工作。1952 年成立地质部,下设水文地质、工程地质局,领导全国的水文地质、工程地质工作。

随着经济建设的不断发展,于 1952 年首先在北京地质学院和长春地质学院开设了水文地质及工程地质专业,随后又相继在各有关高校设立了工程地质专业。水文地质及工程地质的科学研究机构也在各个部门相应建立,并不断得到发展。

近年来,工程地质学得到很大的发展,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,是工程地质学发展的新方向。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,也得到了迅速的发展。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,更趋于完善和成熟。在工程地质应用理论方面,如岩土体工程地质特性、工程地质学、动力工程地质学、建筑材料等,研究水平有很大的提高。

经历了大规模的工农业建设及和各种地质灾害,我国的工程地质学逐渐形成了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。在工程地质学的理论方面,研究者们进行了大量卓有成效的探索性研究工作。例如:针对岩体工程地质评价的岩体工程地质力学理论;在区域稳定性研究方面,以活动构造体系为基础的研究观点和方法,以及以深断裂和板块理论为基础的研究观点和方法;在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,提出了具有我国特色的理论和观点。

人类工程活动的范围和规模在日益扩大,对工程地质学提出了许多难度很大的新课题,

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探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,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。这些都促使工程地质学要不断地吸收有关学科的新理论和新方法,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地结合起来。同时要加强多学科、多专业、多手段的综合研究。

## 0.4 工程地质学的研究方法

工程地质学的主要研究方法包括地质学方法、实验和测试方法、计算方法和模拟方法。

(1) **地质学方法** 地质学方法即自然历史分析法,是运用地质学理论,查明工程地质条件和地质现象的空间分布,分析研究其产生过程和发展趋势,进行定性的判断。地质学方法所得结果虽然是定性的,但因为它往往具有区域性或趋势性规律,所以对工程活动的规划选点、可行性研究或者工程活动的战略布局,具有重要的指导意义。它是工程地质研究的基本方法,也是其他研究方法的基础。

(2) **实验和测试方法** 实验和测试方法,包括测定岩、土体特性参数的实验,对地应力的方向和量级的测试,以及对地质作用随时间延续而发展的监测,其结果可为工程设计或防护措施的制订提供必要的参数和定量数据。由于对地质过程的研究已经不再局限于传统的定性分析和评价,因此,实验和测试对工程地质问题的解决越来越重要,其成果的准确性对评价结果具有至关重要的影响,不管计算模型和方法多么正确,只要参数不正确,得到的结果就不可能反映实际情况。

(3) **计算方法** 计算方法包括应用统计数学方法对测试数据进行统计分析,利用理论或经验公式对已测得的有关数据进行计算,以定量地评价工程地质问题。

(4) **模拟方法** 模拟方法可以分为物理模拟(也称工程地质力学模拟)和数值模拟。通过地质研究,深入认识地质原型,查明各种边界条件,并通过实验研究获得有关参数,结合工程的实际情况,正确地抽象出工程地质模型,利用相似材料或各种数学方法,再现和预测地质作用的发生和发展过程。基于正确的岩土力学模型和参量的物理和数值模拟分析,可以在短时间内重现和预测地质问题发生和发展的全过程,经与地质原型和现象观测的对比,如能达到拟合,即可验证概念模型,使之上升为对系统全面的理性认识,成为理论模式。物理模拟多用来获取特征点的物理量,数值模拟则可获得全场的物理量,并可方便地用来模拟不同情况下,工程场地变形和破坏发生的过程及演化规律,两者配合使用可以得到更好的效果。

计算机技术在工程地质学领域中的应用,不仅使过去难以完成的复杂计算成为可能,而且能够对数据资料自动存储、检索和处理,甚至能够将专家们的智慧存储在计算机中以备咨询和处理疑难问题。

## 0.5 工程地质在土木工程中的作用

各种土木工程,如铁路、公路、桥梁、隧道、房屋、机场、港口、管道及水利等工程,都修建在地表或地下,建设场地工程地质条件的优劣直接影响到工程的设计方案类型、施工工期的长短和工程总投资的大小。国家规定任何工程建设必须在进行相应的地质工作、掌握必要的地质资料的基础上,才能进行工程设计和施工工作。

大量工程实践经验证明,重视工程地质工作可以使设计、施工顺利进行,工程建筑的安全运营就有保证。相反,忽视工程地质工作,则会给工程带来不同程度的影响,轻则修改设

计方案、增加投资、延误工期,重则使建筑物完全不能使用,甚至突然破坏,酿成灾害。例如:南京某6层住宅楼,施工前未做地质勘察,而是借用住宅北侧相隔仅20余米远已经建成的住宅楼的地质资料,结果在建成钢筋混凝土筏板基础后,发生整块板基断裂。事故发生后,停工补做勘察,发现板基断裂一侧地基中存在软弱淤泥层。经考古查明曾有一条铁路从此通过,路基坚实,但路基两侧排水沟因常年积水,沟底形成淤泥。板基横跨路基与排水沟,因土质软硬悬殊而断裂。

工程技术人员只有具有扎实的工程地质知识,才能充分应用地质资料,正确分析主要工程地质问题,制定合理的规划和最优的设计方案,保证工程经济合理、施工顺利和运营安全。

## 0.6 本课程的主要内容及要求

根据本学科的研究对象与教学要求,本课程的主要内容可以分为以下几个方面。

(1) **地质年代与地质作用** 地壳上不同时期的岩石和地层,在形成过程中的时间(年龄)和顺序称为地质年代。正确地了解地质年代及其作用,才构成对地质事件及地球、地壳演变时代的完整认识。

(2) **地质构造及其工程影响** 地球上物质的运动导致地貌的变化叫做地质构造。学习地质构造及其工程影响包括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,与建筑物密切有关的断层、节理、破碎带及软弱夹层的力学特性和分布规律,地震活动性与区域稳定性等问题。以上都是直接影响建筑物地基岩体稳定的主要地质条件,甚至成为工程选址的决定因素。

(3) **地表水及地下水的地质作用** 学习地表水及地下水的地质作用主要包括水流的地质作用、河谷地貌、沉积层的主要类型及工程地质特性;地下水的埋藏条件、成因类型和运动规律;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,往往直接危及建筑物的安全,常使工程建筑遭受破坏或影响工程效益。

(4) **岩石及岩体的工程地质特性** 学习岩石及岩体的工程地质特性主要包括岩体的结构特征,阐明岩体结构面和结构体的基本性质;分析岩石及岩体的力学特性及天然应力状态;岩体的软弱结构面和软弱夹层的成因、类型与力学强度特性;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,是分析建筑物地基、边坡、洞室围岩稳定的重要内容。

(5) **各种工程地质问题** 岩体(地基岩体、斜坡岩体、周围岩体)稳定、渗透稳定、渗漏、岩溶、泥石流及地应力等问题是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、地表水及岩体结构等,既是工程地质稳定的基础知识,又是决定工程地质问题的主要地质因素。分析研究各种地质条件,对岩体稳定和渗漏等工程地质问题做出合理评价。

学生学习本课程后,应达到如下基本要求。

① 掌握与土建工程有关的常见岩土体、地质构造、物理地质现象等基本地质知识。

② 熟悉地基承载力等岩土工程设计参数。

③ 初步学会对土建工程的工程地质条件及工程地质问题的评价和分析方法。

④ 了解工程地质、岩土工程的勘察原则和方法,熟悉各勘察方法的应用条件,主要学会阅读和分析勘察成果的方法。



# 第 1 章 地 球

地球是太阳系八大行星之一，按离太阳由近及远的次序排为第三颗，也是太阳系中直径、质量和密度最大的类地行星<sup>①</sup>。地球已有 44 亿~46 亿岁，有一颗天然卫星月球围绕着地球以 30 天的周期旋转，而地球以近 24 小时的周期自转并且以一年的周期绕太阳公转，地球自转与公转运动的结合使其产生了地球上的昼夜交替和四季变化。

地球是目前人类所知宇宙中唯一存在生命的天体。它快速的自转与富含镍铁熔岩的地核共同形成了一个巨大的磁气圈。在太阳风的吹拂下，磁气圈的形状被扭曲成水滴状。它与大气一同担当了阻止来自太阳和其他天体有害射线的任务。

## 1.1 地球的外圈层构造

地球是由不同物质、不同状态的圈层组成的球体。每个圈层都有自己特殊的物理、化学性质和物质运动特征，它们对地质作用的发生、发展各有不同程度的、直接的或间接的影响。地球以地表为界分为外部圈层和内部圈层。

地表以上空间中的圈层称外圈层，包括大气圈、水圈和生物圈。这三个圈层包围在地球的外部，构成连续、完整的外部圈层构造。

### 1.1.1 大气圈

大气圈是由包围着地球的大气组成的圈层，是地球的最外圈，厚度超过几万公里，由于地心引力作用，大气圈由下至上气体逐渐稀薄。大气圈的成分主要有氮气（78%）、氧气（21%）、氩气（0.9%）、CO<sub>2</sub>、水蒸气以及其他气体。大气圈由下至上在物理及化学性质上均出现明显的变化，从而显示出大气圈内部的次级分层。根据温度变化和密度状况可把大气圈自下而上分为对流层、平流层、中间层、热成层和外逸层（图 1-1）。

对流层是大气层底部大气发生对流的层位，其厚度在低纬度地区平均为 17~18km，中纬度地区平均为 10~12km，高纬度地区平均为 8~9km。整个大气圈约 3/4 的质量和全部的水汽都集中在对流层。对流层的化学成分主要为 N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub>。气温从地面开始，随着高度增加而降低，平均每上升 100m，气温约下降 0.65℃。由于上部冷空气密度大，下部热空气密度小，空气产生强烈的对流运动和水平运动。地球上风、云、雨、雪等天气现象都是因为对流层的缘故，因此对流层是天气变化最复杂的层次。对流层上冷下暖的温度结构主要是由于对流层热源是地面热辐射（吸收太阳能后再辐射）造成，对流的发生，使大气成分不断进行上下部分的混合，因此才比较均一。

平流层是对流层之上大气仅出现水平流动的层位。顶界伸展到 50~55km 的高度。平流层的温度由下至上随高度的增加而升高，而且由于顶部存在大量臭氧，可直接吸收太阳紫外

<sup>①</sup> 类地行星是以硅酸盐石作为主要成分的行星。

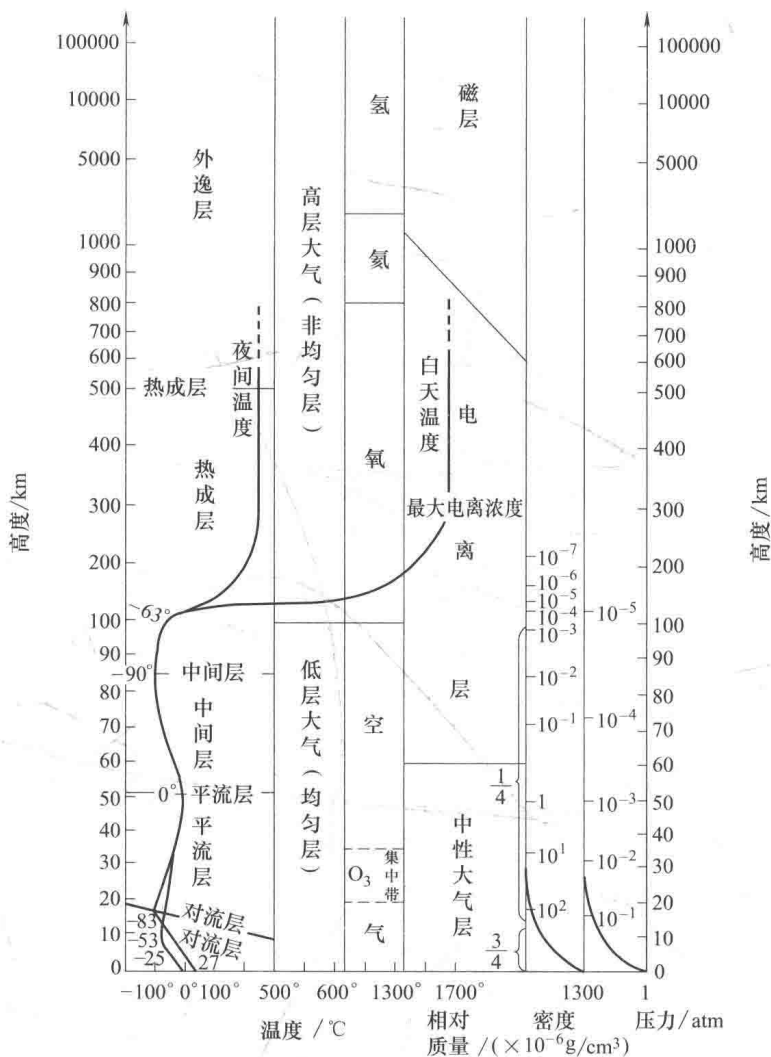


图 1-1 地球大气层结构

辐射，所以平流层顶部的温度高达  $270\sim 290\text{K}$ ，和地面温度接近。上暖下冷的温度结构抑制了对流的发生，空气稀薄，水汽、尘粒含量少，因而没有了多变的天气现象，气候稳定。

中间层是位于平流层之上， $80\sim 85\text{km}$  的高度处以下的层位。那里空气稀薄，臭氧含量微少，吸收太阳辐射较少，温度随着高度的增加而下降，到达顶部时，温度已低至  $160\sim 190\text{K}$ 。虽也存在对流，但并不能形成对流层那样的天气现象。

热成层是  $85\sim 500\text{km}$  的层位。热成层温度向上递增很快，特别是在  $100\text{km}$  之上，白天温度可在  $1000^\circ\text{C}$  以上。热成层的成分主要是原子态的氧和电离化的氧，它们均能强烈地吸收太阳的紫外辐射，故升温较快。

热成层位于中间层之上至约  $500\text{km}$  处的层位。热成层气温随向上递增，可达  $330\sim 340\text{K}$ ，此层的主要成分是原子态的氧和电离化的氧，他们能快速吸收太阳的辐射，因此升温快速，故称热成层。此层的空气密度很小，空气稀薄，中性原子在太阳紫外线和宇宙射线的作用下，分解成为离子和电子，形成了电离层。电离层的存在是无线电波能绕地球曲面进行传播的重要条件。

外逸层是  $500\text{km}$  以上的大气层位。这里受地球引力较小，大气更加稀薄，主要成分是电离化的氧、氮、氢，它们能强烈吸收太阳紫外辐射，所以此层温度极高。



## 1.1.2 水圈

水圈是由地球表层水体构成的一个圈层。水圈的水体主要存在于海洋中，其次是江河、湖泊、冰川以及地下岩土和大气中，约 98% 的质量呈液态，2% 的质量呈固态。水圈中的水体不断进行着大小循环和运动，是外力地质作用的主要动力，不断改变着地球的面貌。

水具有很强的溶解能力，可溶解大多数物质。盐度是水中溶解物质质量的多少。水圈中的水体按盐度可以分为三类（表 1-1），江河、湖泊、地下水一般为淡水，海洋中的水体为咸水。

表 1-1 水圈中水体分类

类别	淡水	半咸水	咸水
盐度	<0.03%	0.03%~2.4695%	>2.4695%

海洋水体通过蒸发变为气态，上升到大气中，又在大气重新凝结成水珠降落至陆地，最终在重力作用下流回海洋，这是水圈中最大的循环，此外还在陆地范围内或海洋范围内进行着小循环（图 1-2）。

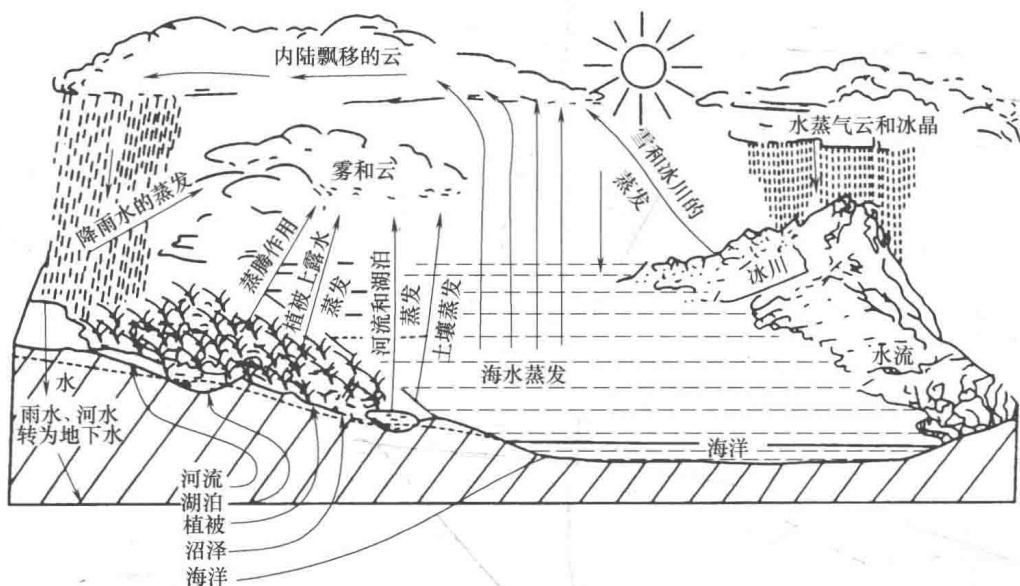


图 1-2 地球水圈中水的循环

## 1.1.3 生物圈

生物圈是地表生物及其生命活动地区构成的连续圈层，是地表有机体包括微生物及其自下而上环境的总称。至今，地球上发现的生物有 200 多万种，它们的存在及活动同地壳的发展和变化相互影响。生物圈是地球上最大的生态系统，生物活动主要集中在地表，也有少量分布在高空和深海，他们相互依存、相互配合，共同促进了生态系统健康发展，也保持了生物圈的平衡。

生物圈的组成成分包括了从低级到高级，从植物到动物的全部生物。主要包括原核生物界（没有细胞核的单细胞生物）、原生生物界（有细胞核的单细胞生物）、真菌界（低等的真核生物）、植物界（能进行光合作用、营自养生活的生物）和动物界五大类。

# 1.2 地球的内圈层构造

## 1.2.1 地球内部圈层划分

根据地震波速的变化特征，可将地球内部分为若干个圈层（图 1-3）。