

普通高等教育“十三五”规划教材
土木工程类系列教材

工程地质

主 编 琚晓冬
副主编 邹正盛 冯文娟

清华大学出版社



普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

工程地质

主 编 琚晓冬

副主编 邹正盛 冯文娟

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统概括了工程地质学的基本原理与方法,内容涵盖工程地质勘察、工程岩土学和工程地质分析三大学科分支的主要内容和方法体系,全书尤为重视对基础工程地质理论、方法的阐述与解释,力求将知识体系构建与认知能力提升相结合。全书参考、采用了最新的岩土工程和工程地质规范、标准,并紧密联系实际,力求反映学科前沿及新思想、新提法、新事件。

本书可作为高等院校土木工程、城市地下空间工程、交通工程、工程管理等专业的课程教材,亦可作为水利水电、采矿工程、油气储运工程等相关专业的课程参考书,还可供相关专业工程技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程地质/琚晓冬主编. —北京:清华大学出版社,2019
(普通高等教育“十三五”规划教材. 土木工程类系列教材)
ISBN 978-7-302-52587-5

I. ①工… II. ①琚… 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(2019)第 042408 号

责任编辑:秦 娜 赵从棉

封面设计:陈国熙

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.25

字 数:464千字

版 次:2019年3月第1版

印 次:2019年3月第1次印刷

定 价:49.80元

产品编号:074194-01

随着我国西部大开发战略、城镇化进程及“一带一路”倡议的不断推进实施,各类基础设施工程不断向高、广、深方向发展,由此产生的工程地质、环境地质问题日益复杂与突出。同时,当前本科教育不断向宽口径、素质教育方向发展,作为土木工程专业基础课的“工程地质”越来越受到社会与高校的重视。

本书针对高等院校土木工程专业“工程地质”或“土木工程地质”课程而编写,内容主要涉及基础地质理论及工程地质学相关基本理论、方法和技术,适用于土木工程专业“工程地质”课程的本科教学,同时也可作为该专业研究生及相关专业本科生类似课程的参考教材。

在本书的编写过程中特别注重对基础知识、理论和方法体系的阐述与解释,强调工程问题、技术、方法的地质学及力学理论背景;同时特别关注整书及局部知识系统构架的逻辑性和完整性。本书旨在为非工程地质类专业学生提供必要的地质学与工程地质学基础知识,构建解决各类工程地质问题所必需的主要理论、方法与技术体系。此外,为拓宽学生的国际视野,本书的编写参考了多本国外类似教材,列举相关国外工程案例,并将书中涉及的所有专业名词标注英文名称。

利用本书进行“工程地质”的课程学习,可以使学生了解建设中经常遇到的工程地质现象和问题,以及这些现象和问题对工程建(构)筑设计、施工和运营过程的影响,并能正确处理、合理利用自然地质条件,了解各种工程地质勘察要求和当前常见技术方法及应用,能够合理利用勘察成果解决设计和施工问题。

全书共9章,涉及两大部分内容:基础地质理论与工程地质问题、方法、技术。其中前者主要包括矿物与岩石、地层与地质构造、地貌、地质作用、地表及地下水等,涉及章节主要有第1、2、3、4、6章;后者主要涵盖岩土的工程性质、不良地质现象、土木工程地质问题、岩土工程勘察等内容,涉及章节主要有第5、7、8、9章。

本书由河南理工大学琚晓冬(后面未注明学校名称的人员均来自河南理工大学)主编,邹正盛副主编,顿志林主审。具体编写分工如下:绪论、第3章由琚晓冬编写;第2章由闫芙蓉编写;第4章的4.1节~4.3节由琚晓冬编写,4.4节及4.5节由冯文娟编写;第5章由冯文娟编写;第6章由孙辉编写;第7章的7.1节~7.5节由罗平平编写,7.6节由河南大学王浩编写;第8章由河南大学王浩编写;第9章由郑州大学李明宇与洛阳理工学院魏艳卿共同编写。全书由琚晓冬、邹正盛、冯文娟统稿。

由于编者水平有限,疏漏乃至错误在所难免,欢迎广大读者不吝指正,提出建议。

编者

2019年1月

CONTENTS

1 绪论	1
1.1 工程地质问题与工程地质学	1
1.2 工程地质条件	2
1.3 工程地质学的研究内容与方法	3
1.3.1 研究内容	3
1.3.2 研究方法	4
1.4 工程地质学的发展历史与当前研究热点	5
1.4.1 发展历史	5
1.4.2 当前研究热点	6
思考题	7
2 矿物与岩石	8
2.1 造岩矿物	8
2.1.1 矿物的形态	8
2.1.2 矿物的光学性质	10
2.1.3 矿物的力学性质	11
2.1.4 常见造岩矿物及其主要特征	12
2.2 岩浆岩	14
2.2.1 岩浆的作用及岩浆岩产状	14
2.2.2 岩浆岩的成分	17
2.2.3 岩浆岩的结构与构造	18
2.2.4 岩浆岩分类	19
2.2.5 常见岩浆岩的特征	20
2.3 沉积岩	21
2.3.1 沉积岩的形成	21
2.3.2 沉积岩的结构	22
2.3.3 沉积岩的构造	23
2.3.4 沉积岩分类及特征	25

2.4	变质岩	26
2.4.1	变质作用因素	26
2.4.2	变质作用类型	27
2.4.3	变质岩的成分、结构与构造	28
2.4.4	变质岩分类及特征	29
2.5	三大岩类的特征对比及相互演变	31
	思考题	32
3	地层与地质构造	33
3.1	地壳运动与地质作用	33
3.1.1	地球及其圈层构造	33
3.1.2	地壳运动	36
3.1.3	地质作用	41
3.2	地层与地质年代	42
3.2.1	地层与地层接触关系	42
3.2.2	地质年代	44
3.2.3	地质年代表	47
3.3	岩层及岩层产状	49
3.3.1	岩层	49
3.3.2	岩层产状	50
3.3.3	岩层露头特征	53
3.4	褶皱构造	56
3.4.1	褶皱基本形态	56
3.4.2	褶曲要素	57
3.4.3	褶曲分类	58
3.4.4	褶皱构造类型	61
3.4.5	褶皱构造的识别与工程评价	61
3.5	断裂构造	64
3.5.1	节理	64
3.5.2	断层	70
3.5.3	活断层	76
3.6	地质图	78
3.6.1	地质图分类	79
3.6.2	地质图的规格	79
3.6.3	地质图阅读	80
3.6.4	地质剖面图及综合地层柱状图的制作	84
	思考题	85

4	地貌	86
4.1	重力地貌	86
4.1.1	崩塌	87
4.1.2	滑坡	88
4.1.3	蠕动	90
4.1.4	错落	92
4.2	流水地貌	92
4.2.1	暂时性流水地貌	93
4.2.2	经常性流水地貌	95
4.3	岩溶地貌	99
4.3.1	岩溶的形成条件	100
4.3.2	地表岩溶地貌	101
4.3.3	地下岩溶地貌	103
4.4	冻土地貌	105
4.4.1	冻土	105
4.4.2	冻土地貌形态	106
4.4.3	构造土	108
4.5	黄土地貌	108
4.5.1	黄土沟谷地貌	109
4.5.2	黄土沟(谷)间地貌	109
4.5.3	黄土谷坡地貌	110
4.5.4	黄土潜蚀地貌	110
	思考题	111
5	岩土的工程性质	112
5.1	岩石的工程性质	112
5.1.1	岩石的物理性质	112
5.1.2	岩石的力学性质	114
5.1.3	岩石的水理性质	116
5.1.4	岩石工程性质的影响因素	120
5.2	岩体结构	121
5.2.1	结构面	122
5.2.2	结构体	125
5.2.3	岩体结构类型及特征	127
5.3	工程岩体分级	128
5.3.1	岩体基本质量分级因素	129
5.3.2	岩体基本质量分级	131
5.3.3	工程岩体分级方法	132

5.4	风化作用	135
5.4.1	风化作用类型	135
5.4.2	岩石风化的影响因素	137
5.4.3	岩石风化评价与处置	138
5.5	土的性质与分类	139
5.5.1	土的成因及特征	139
5.5.2	土的物理力学性质	140
5.5.3	土的工程分类	142
5.6	特殊土及其工程性质	144
5.6.1	黄土	144
5.6.2	膨胀土	146
5.6.3	软土	149
5.6.4	冻土	151
5.6.5	填土	155
	思考题	156
6	地下水	157
6.1	自然界的水循环	157
6.2	岩土中的地下水	158
6.2.1	岩土空隙	158
6.2.2	地下水的存在状态	161
6.2.3	岩土的水理性质	162
6.2.4	含水层与隔水层	164
6.3	地下水的分类	165
6.3.1	按埋藏条件分类	165
6.3.2	按存储介质分类	174
6.4	地下水的物理与化学性质	178
6.4.1	地下水的物理性质	178
6.4.2	地下水的化学性质	179
6.5	地下水的地质作用	182
6.5.1	剥蚀作用	182
6.5.2	搬运作用	182
6.5.3	沉积作用	182
6.6	地下水对土木工程的影响	183
6.6.1	侵蚀混凝土	183
6.6.2	地下水位变化引起的工程地质问题	184
	思考题	185

7	不良地质现象	186
7.1	崩塌	186
7.1.1	崩塌的影响因素	187
7.1.2	崩塌成因与评价	188
7.1.3	崩塌的防治技术	189
7.2	滑坡	191
7.2.1	滑坡滑动条件与影响因素	192
7.2.2	滑坡的分类	194
7.2.3	滑坡发育过程及野外识别	195
7.2.4	滑坡稳定性评价	197
7.2.5	滑坡的防治技术	198
7.3	泥石流	202
7.3.1	泥石流的形成条件	202
7.3.2	泥石流的分类	204
7.3.3	泥石流的防治技术	206
7.4	岩溶	207
7.4.1	岩溶发育的影响因素	207
7.4.2	岩溶的分布规律	208
7.4.3	岩溶工程地质问题及防治	210
7.5	地震	212
7.5.1	地震的基本概念	212
7.5.2	地震类型	217
7.5.3	地震分布	218
7.5.4	地震效应	219
7.6	采空区	220
7.6.1	采空区岩土体变形破坏特征	221
7.6.2	采空区场地稳定性及建设适宜性评价	224
7.6.3	采空区整治措施	228
	思考题	229
8	岩土工程勘察方法与技术	230
8.1	工程地质测绘	230
8.1.1	测绘范围及内容	231
8.1.2	测绘比例与精度	232
8.1.3	测绘方法	232
8.2	岩土工程勘探	233
8.2.1	钻探工程	233
8.2.2	坑探工程	235

8.2.3	地球物理勘探	237
8.3	原位测试	243
8.3.1	载荷试验	244
8.3.2	静力触探试验	246
8.3.3	圆锥动力触探试验	247
8.3.4	十字板剪切试验	248
8.3.5	旁压试验	249
8.3.6	岩体原位应力测试	251
8.4	勘察成果整理	253
8.4.1	岩土参数的分析与选取	253
8.4.2	岩土工程分析评价	254
8.4.3	岩土工程勘察报告	255
	思考题	256
9	土木工程地质问题与分析	257
9.1	地基工程地质问题	257
9.1.1	地基的变形与破坏	258
9.1.2	地基处理技术	261
9.1.3	特殊地基工程地质问题	265
9.2	地下工程地质问题	268
9.2.1	地下工程分类	269
9.2.2	围岩的变形与破坏	270
9.2.3	地下工程特殊地质问题	276
9.2.4	隧道超前地质预报	277
9.3	路基工程地质问题	279
9.3.1	路基的类型与构造	280
9.3.2	路基主要病害与防治	281
9.3.3	复杂地带路基	284
9.3.4	特殊土地区路基	287
	思考题	292
	参考文献	293

绪 论

1.1 工程地质问题与工程地质学

随着人类社会的不断发展与进步,人类以地壳表层岩土体为依托开展了大量的工程建设活动。这些工程在设计、施工及运营过程中受其所在地质环境的制约和作用,而在实际工程中表现出的技术、安全问题即为工程地质问题。除此之外,人类工程活动也在一定程度上打破了原有地质环境的平衡状态,加快或改变了其正常的演化进程与方向,而这可能会以另外一种地质问题的形式重新作用于相关工程,并进一步影响其正常运营甚至安全状态。如何更好地把握工程活动与自然地质环境的关系,促进人与自然和谐共处,已成为工程建设中必须认真对待的问题之一。

工程地质问题与工程类型及其所处地质环境直接相关,工程活动所处地质环境复杂多变,不同类型工程甚至不同地域的同类工程对地质环境的要求也不尽相同,因而两者结合就产生了各种各样的工程地质问题。总体上来说,工程地质问题主要包括区域稳定性问题,地基变形及失稳问题,地下洞室、边坡稳定问题,水库渗漏问题,以及地质灾害问题五个方面。

正是由于工程实践中存在如此之多与地质直接相关的工程问题,为更好地理解 and 解决这些问题,人们将地质学的相关原理、方法与岩土力学、数学等学科结合起来,并用于指导工程实践活动,从而产生了专门研究人类工程活动有关地质问题的学科——工程地质学。从这一意义上来说工程地质学属应用地质学范畴,是地质学在工程建设领域的一个分支学科。按照研究侧重点的不同,工程地质学又可分为工程地质勘察、工程岩土学及工程地质分析三个分支。其中工程地质勘察主要探讨地质调查、勘探的方法与技术问题,以便更有效地查明工程区域内的地质状况;工程岩土学则是研究工程岩土体性质及其在自然或人类活动影响下变化规律的科学;而工程地质分析是指利用工程地质的基本原理,分析工程地质问题产生的地质条件、力学机理及发展演化规律。由此,工程地质学的研究内容也可概括为通过工程地质勘察确定相关场地工程地质条件,运用工程岩土学、工程地质分析的相关原理和方法分析、预测、评价可能存在的工程地质问题,以采取必要防治措施,确保工程建设的经济性、安全性及后期的正常使用。

1.2 工程地质条件

工程地质条件即工程所在位置的综合地质环境,它是影响人类工程建设各种地质因素的集合,并直接导致了各类工程地质问题的出现。工程地质条件的形成是地质体长期受自然地质作用(外力地质作用和内力地质作用)的结果,由于地质体初始条件及后期地质作用方式的不同,不同地域的地质条件千差万别。对任何与地质有关的工程项目,为确保其设计、施工及运营的合理与安全,在具体规划和实施之前必须查明相应的工程地质条件。主要包括如下几个方面的内容。

(1) 地形地貌。地形是指地表既成形态的具体外部特征,如地面高低起伏状况、山坡陡缓程度、沟谷宽窄及形态特征等,不涉及地形的具体形成原因、年代等内容;地貌则不仅包含地表的主要外部特征,更重要的是说明了地形的成因、过程和年代等形成特性。不同形式地貌单元的地形起伏、堆积物特性、基岩分布与性质、地质构造条件、地下水特征及地表地质作用等具有不同特征,而这些因素直接决定了线路工程选线及建(构)筑物的选址。

(2) 地层岩性。地层岩性是指工程涉及范围内岩土材料的形成特征及物理力学性质。其中形成特征主要包括岩土材料的形成原因、产出状态、结构特征、风化情况等内容;而物理力学性质则包含岩土材料的重度、孔隙性质、颗粒组成、水理性质、含水状况、力学参数等方面。工程建设的安全性、经济性及后期运营状况很大程度上取决于相关区域原始地层的基本岩性及人们所采取改性措施的有效性。

(3) 地质结构与构造。地质结构包括土体结构和岩体结构。其中土体结构指不同性质土层的组合关系、厚度及空间变化情况,而其中的软弱土层往往成为控制工程结构安全与适用性的关键因素;岩体结构则是指岩层层面、泥化夹层、断层、裂隙等结构面的形态特征、规模大小、空间分布、组合关系等情况。实际工程中岩体结构面除控制工程结构体受力变形和稳定性之外,其中的断层和裂隙还有可能成为地下水运移通道,造成隧道工程的突水、突泥,有时还会产生冻胀问题,影响施工安全及工程结构耐久性。而地质构造主要包括大型褶皱、断裂带的分布、性质、空间组合关系等,它决定了工程区域的构造格架、地貌特征及岩土体分布状况等,对工程项目实施的可行性、建设方案及施工方法等内容具有决定性意义。

(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、动态变化、化学成分及补给、径流、排泄特征等。实际工程中,地下水有时是工程活动的直接对象及原料来源,而在多数情况下却是不可忽视的致灾因素。地下水的非正常活动除了会导致诸如地面沉降、岩溶塌陷、工程冻害、潜蚀管涌、突水突泥、海水倒灌、石窟文物损坏等直接的工程与地质灾害事件外,还有可能产生由其内部盐分化学反应、溶解、结晶等化学过程造成的结构物腐蚀、风化、土地盐碱化等现象。

(5) 自然地质现象。自然地质现象是指天然形成或受人类活动影响产生的对工程建设有影响的各类自然地质事件或地质进程。它与工程区域地形、气候、岩性、构造、水、人类活动强度等因素密切相关,主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、地面塌陷、地震、河岸冲刷、岩体风化等地质现象。工程区域内存在的自然地质现象不仅会直接影响项目选址、布局、设计及施工方案等,还可能会延缓工程进度、增加建设成本甚至影响工程落成后的正常运营。

(6) 天然建筑材料。天然建筑材料是指供建(构)筑物施工过程中使用的土料和石料资

源,在大坝、路基、海堤等大型工程施工过程中需要大量土石料作为填料或混凝土骨料,从经济性方面考虑应遵循“就地取材”的原则,特别是用料量大的工程项目。因此,有时是否存在满足工程质量与数量需求的天然建材也是工程选线或选址所需重点考量的因素之一。

需要特别强调的是工程地质条件是一个综合概念,是以上六方面内容的完整组合,其任何单独的一至数个条件均不能称为工程地质条件。

1.3 工程地质学的研究内容与方法

1.3.1 研究内容

工程地质学的研究目的在于查明工程区域或建设场地的工程地质条件,分析、预测和评价自然条件与工程活动过程中可能存在或触发的工程地质问题,及其对工程的影响和危害,并提出相应的防治措施,为工程建设的规划、设计、施工和运营提供可靠的地质依据。此外,工程地质学还对工程地质条件的区域分布规律和特征进行研究,分析、预测不同地域潜在的主要工程地质问题,并提出相应指导性的应对原则和措施。由此,工程地质学应围绕工程地质条件开展如下几个方面的研究工作。

(1) 岩土体分布规律及工程性质。工程区域内相关岩土体的分布规律及对应的工程性质是最重要的工程地质条件之一。其主要研究内容涉及工程岩土体的分布范围、厚度、结构、物理力学性能等与工程设计、施工等直接有关的内容;对一些重要的永久或半永久性工程而言,对岩土体工程性质的研究还应包括其抗风化性能以及物理力学性质在长期工程力作用下的变化趋势等。

(2) 不良地质现象及防治。它是那些影响或危害人类正常生产、生活的自然地质现象的总称。通常不良地质现象主要受地球内力与外力地质作用控制,但随着人类活动范围与强度的不断增大,由人类工程活动诱发的不良地质现象日益增多,并逐渐成为最主要的地质灾害形式。工程地质学在这方面的主要研究内容为分析、预测工程区域或场地可能存在或发生的不良地质现象类型、规模大小、影响因素等问题,评价其对工程建设及后期运营的影响与危害,并提出相应的预防与治理措施。

(3) 工程地质勘察技术。主要包括勘察基础理论与勘察技术方法两个方面。当前对前者的研究已经相当成熟了,随着国家基础设施建设及城镇化的不断推进,各类新型及大型工程不断涌现,普通勘察技术方法就显得力不从心,甚至无法满足勘察作业要求,这就需要开发探测更深、速度更快、更加精准、携带方便的新探测技术。因此越来越多的科研和工程技术人员将研究焦点集中在对新勘察技术方法尤其是物理探测技术的开发和使用上,包括各种新勘察技术方法的基本原理、应用条件、配合方式,以及如何运用新技术、新设备提高工程勘察质量,对已有勘察设备进行的轻便化、自动化、精确化改造等。

(4) 区域工程地质研究。不同地域因自然地质环境不同,主要工程地质条件及工程地质问题也存在明显差异。在自然地质分区或行政区域划分的基础上开展工程地质条件的区域分布规律研究,针对不同地域所反映的主要工程地质条件和工程地质问题制定区域性的工程勘察、设计及施工原则和规范,对于降低工程成本、提高效率和安全性具有重要作用。此外,区域工程地质的研究还可为城镇发展规划及独立工程的建设活动等提供地质依据和参考。

1.3.2 研究方法

从上述工程地质学的研究目的和内容来看,其重点在于运用地质学原理结合岩土力学、数学等学科方法对工程区域可能存在的各类工程地质问题进行分析、预测和评价。因此工程地质学的研究方法也就主要表现为对工程地质问题的定性或定量分析方法、预测评价体系等方面的内容。主要包括地质分析法、工程类比法、实验与试验法、原位测试与监测法、数学力学计算法、模拟方法等。

(1) 地质分析法。地质分析法是基于地质学理论对工程场地地质条件、地质现象的存在状态、空间分布、基本性质等进行分析,并根据自然地质演变规律对其产生过程、演变趋势、发展速度进行判断。显然该方法所得结果是定性的,对具体工程问题并不能给出确定结论,但其对区域性、趋势性规律的分析 and 预测却可为工程活动规划提供重要参考。需要注意的是自然地质的演变和发展并非历史的简单重复,地质环境、影响因素的改变都有可能导致完全不同的演化进程。对地质问题演变的预测不能简单、机械地套用已知规律,而必须用辩证观点作指导,综合各方面信息,具体问题具体分析。

(2) 工程类比法。工程类比是将拟建工程与已建工程条件类似的项目进行对比分析,通过总结、分析已建项目所遇工程问题、采取的处置措施及工程效果等,为拟建工程的规划、勘察、设计直至施工提供合理化建议与指导。这种方法在工程勘察及建设初期,特别是在工程资料缺乏的情况下,是一种相对行之有效的方法。

(3) 实验与试验法。对岩土体工程性质的研究有两种方法:室内实验与现场试验。室内实验是指在实验室进行的岩土试样物理力学参数的测定工作,具有测试速度快、成本低的优点,但也存在样本体积小、易受扰动影响、代表性差等缺点;现场试验则是针对岩土体的直接工程特性开展的原位测试与研究,具有受扰动影响小、代表性好的优点,但试验测试周期长、成本高。两种方法均以工程岩土体物理和力学性质作为主要测试和研究内容,在成果内容上具有一定的重复性,而事实上两者却是相互补充、互为印证的关系。实际工程中,通常根据工程重要程度、场地状况等因素确定不同程度和比例的室内与原位试验。

(4) 原位测试与监测法。原位测试方法主要是指现场对工程岩土体开展的各项物理探测与地应力测试工作,其中物理探测主要是通过测定诸如波速、导电率、磁场变化等参数对现场岩土体结构特征、工程性质等进行初步评价;地应力测试则是对工程地质体所处地质力学环境进行探测、跟踪,研究工程岩体的力学状态及其随工程进展或时间的发展、演变规律,这对于高边坡和地下硐室等工程而言具有特别重要的意义。原位监测主要是利用现场监测设备对工程岩土体或结构体的变形、温度、水分等物理量进行跟踪、定位、记录,从而得到这些物理量当前的分布状态及随时间的演变规律,为进一步的分析与评价提供参考。需要注意的是,上述实验、测试及监测成果往往并不足以对有关工程地质问题进行直接评判,而是需要将这些成果作为已知条件结合以下数学力学的计算与模拟方法进行分析和评判。

(5) 数学力学计算法。这种方法主要是利用前人总结、推导的有关经验或理论公式,结合具体工程条件(包括工程结构、地质环境、岩土特性等)进行计算,对具体工程问题或工程条件作出定量评价。其中,数学方法侧重于对室内实验与现场试验测试结果进行的分析与总结,有时也可根据现场监测信息运用经验数学模型对工程地质体演化趋势作出判断;而

力学方法则通常是在工程力学及弹塑性理论推导的基础上结合工程经验对工程地质问题作出评价。

(6) 模拟方法。模拟方法可分为物理模拟(物理模型试验)和数值模拟两种。在充分掌握工程岩土体结构特征、物理力学参数以及边界条件的基础上,物理模拟方法运用相似材料建立等比缩小的物理模型,并按照相似原理施加边界条件,通过加、卸载系统模拟地质作用或工程进程,再现并预测工程地质体受力、变形及稳定状态;而数值模拟则是在计算机内建立虚拟实体模型,运用数值计算方法(如有限元、有限差分、离散元等)对工程地质体进行模拟分析。由于物理模拟方法采用真实材料进行研究,其变形、破坏的力学机制更接近于实际工程地质材料,具有相对较好的可信度,但试验周期较长、成本高;数值模拟则不存在试验周期与成本的压力,但却受制于人们对工程地质体力学性质以及地质边界条件认识的不足,大大降低了模拟结果的可信度。在实际研究过程中,两种模拟方法通常配合使用,相互印证、互为补充,利用物理模拟方法分析、预测工程地质体的受力、变形过程,而数值模拟则用于分析、探讨不同工况、影响因素条件下工程地质问题的变化方式和规律。

工程地质学的研究方法众多,既包含定性分析又有定量研究,同时这些研究方法的基本理论和适用范围各不相同,各方法间可相互补充、互为印证。在实际工程地质问题研究过程中,应根据具体条件与研究目标选择适宜的研究方法。

1.4 工程地质学的发展历史与当前研究热点

1.4.1 发展历史

早在远古时期人们就懂得利用良好的自然地质条件进行工程建设,并于随后出现了如埃及金字塔、中国万里长城等伟大的建筑,但此时人们对于建造过程中地质环境、条件影响的认识仅存在于建造者个人的感性认知之中。工业革命后,随着工程建造数量的激增以及地质学研究的不断兴起和完善,人们开始有意识地将地质学知识应用于工程实践,并开始逐渐积累有关地质环境对建筑影响的文献资料。

第一次世界大战结束后,整个世界开始进入大规模的建设时期。1929年,美籍奥地利科学家太沙基出版了世界上第一部《工程地质学》著作;1932年,苏联在莫斯科地质勘探学院成立了由萨瓦连斯基领导的世界第一个工程地质教研室,专门培养工程地质人才,并奠定了工程地质学的理论基础,1937年萨瓦连斯基的《工程地质学》出版。第二次世界大战后,得益于长期较为稳定的和平发展环境,各类工程建设发展迅速,工程地质学也在这一阶段得到长足发展,成为地球科学的一个独立分支学科。20世纪50年代以来工程地质学逐渐吸收了土力学、岩石力学和计算数学中的某些理论和方法,完善发展了本身的内容和体系,其内涵和外延都焕然一新,从而步入了现代科学技术行列。

在工程地质学的发展过程中伴随着一系列重大的工程事故,每次事故都促使人们不断提高并完善对工程地质学的认知。其中标志性事件主要有:1928年美国加利福尼亚的圣弗朗西斯(St. Francis)重力拱坝溃坝事件开始使地质学家向工程地质领域进军;而在1959—1963年期间,欧洲连续发生了西班牙维格德特拉(Vega de Tera)支墩拱坝、法国马尔帕塞特(Malpasset)拱坝失事以及意大利瓦伊昂(Vajont)水库大滑坡,人们意识到工程地质

学亟待完善和提高。于是在 1968 年召开的第 23 届国际地质大会上成立了“国际地质学会工程地质分会”，此后改名“国际工程地质协会”，以便各国学者更好地交流、总结，促进工程地质学科的发展。

我国工程地质学的发展始于 20 世纪 50 年代自苏联引进工程地质学的相关理论和方法。地质部于 50 年代初成立了水文地质工程地质局和相应的研究机构，在地质院校中设置水文地质工程地质专业，以培养专门人才；随后城建、冶金、水电、铁路等部门也相继成立了勘察和研究机构，并在高校设置有关专业。为更好促进工程地质学科的发展，加强学术交流，1979 年成立了中国地质学会工程地质专业委员会，并召开全国工程地质大会；1989 年成立了全国地质灾害研究会，并创办专门学报开展学术交流活动。经过半个多世纪的发展及大量实践和理论创新，我国的工程地质学得到了突飞猛进的发展，取得了显著的成就，并积累了大量经验，在一定程度上形成了具有中国特色的工程地质学体系。

1.4.2 当前研究热点

工程地质学是一门实践性极强的学科，随着社会的进步、人们思想观念的更新以及当前国家新发展战略的实施，工程地质学在我国的研究趋势与热点也在不断地更新、调整，对其学习和研究只有紧跟社会与国家发展步伐并不断开拓、创新才能保持学科旺盛的生命力。目前我国工程地质学的研究趋向主要有以下几个方面：环境工程地质学，海洋、城市、交通工程地质学，地质改造技术、地质信息技术等。

人类工程活动与地质环境从来都是相互影响、相互作用的矛盾的两个主体，在人类工程活动过程中，地质环境或地质条件决定了工程项目的规划、设计、施工甚至后期的运营状态；同时，人类的工程活动也有意或无意地改变了原来的地质平衡，个别情况下导致地质环境急速蜕化，影响工程本身甚至周边较大范围内人员与设施安全。20 世纪 80 年代尤其是近期以来，人类活动的环境效应日益得到重视，工程活动过程中的人地协调理念不断深入人心，由此产生了以合理开发、利用、保护地质环境为目的的工程地质学新分支——环境工程地质学。

21 世纪是海洋的世纪，在本世纪中人类大部分的经济活动将围绕海洋展开。在海洋、海底资源的深入开发利用以及“21 世纪海上丝绸之路”倡议相关国家的沿岸港口、海底隧道等工程建设活动全面实施背景下，海洋工程地质学将成为今后一段时期内非常重要的一个学科研究方向。与大洋开发相对应的是我国陆上“丝绸之路经济带”倡议和“西部大开发”战略的实施和推进，随之而来的则是西部及中亚地区大规模的交通、土建类基础设施建设，特殊的地貌和地质构造条件使得这些地区的工程建设面临着冻土冻岩、地质灾害等各类工程地质问题，开展相关问题的学习和研究无疑具有十分重要的现实意义。此外，随着我国城镇化的不断推进，城市人口的持续增长，城镇增建扩容及交通压力不断显现，对城市工程地质问题的研究有助于合理规划城镇扩展方向，有助于解决城市地铁、轻轨、综合管廊等设施的安全施工问题。

当前人类工程的规模、体积越来越大，形体结构越来越复杂，天然地质体已不能满足人们对工程安全和耐久性的需求。借助于人工改良方法提高地质体的某些物理力学性能使之满足工程需求的技术手段称为地质改造技术。简单、高效、快捷的地质改造新技术研究无疑将是今后工程地质学另一个热门研究方向。随着人们对工程项目经济性、安全性要求的不断

断提高,对地质信息的高效运用愈发重要,在计算机和信息技术的带动下地质信息技术应运而生。地质信息技术可理解为以信息科学为基础,以计算机技术为手段,以基础地质调查、矿产地质勘察以及工程地质勘察等的信息获取、管理、处理、解释和应用为内容,以实现地质资源、地质环境和地质灾害勘察和管理为目标的知识、经验、措施和技能。地质信息技术是在借鉴和引进遥感技术、数据库技术、计算机辅助设计技术和地理信息系统技术的基础上发展起来的。随着各类信息技术的引进和应用,地质信息技术正在向集数据、分析、评价、预测等数项功能为一体的方向发展。

思考题

1. 什么是工程地质学?它包含哪些分支?各分支的研究重点是什么?
2. 什么是工程地质条件?它包含哪些内容?结合自己所在地,思考其工程地质条件。
3. 通过查阅资料,参观实验室,与教师、同学讨论等方式,深入了解工程地质学各研究方法。
4. 结合国家及当地实际,思考工程地质学在本地区的应用范围。