



普通高等教育土建类教材

工程地质学

● 王贵荣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育土建类教材

工程地质学

主编 王贵荣
参编 叶万军 李 辉 李晓军
代革联 崔 莹 卢全中



机械工业出版社

全书共分四个部分：第一部分为基础地质学，简要介绍了矿物岩石、地质构造、地层学等地质基础知识；第二部分为工程岩土学，简要论述了土及岩石的物理性质、水理性质、力学性质，岩体结构特征，岩土体的分类及分级；第三部分为工程地质分析，介绍了常见工程地质问题的类型、形成条件、影响因素及防治措施，对不同建筑工程类型常见工程地质问题进行了分析；第四部分为岩土工程勘察，简要介绍岩土工程勘察分级、勘察阶段划分、常用勘察方法手段及勘察成果报告等相关知识。

本书可作为土木工程、交通工程、测绘工程、城市规划、资源勘查工程、地质工程、采矿工程等专业本科生“工程地质学”课程教材，也可作为岩土工程、地下工程、道路工程相关专业本科生、研究生自学参考教材，还可作为从事工程地质、岩土工程实际工作的工程技术人员参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

工程地质学/王贵荣主编. —北京：机械工业出版社，2009.5

普通高等教育土建类教材

ISBN 978-7-111-27080-5

I. 工… II. 王… III. 工程地质—高等学校—教材 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 071518 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：马军平 版式设计：张世琴 责任校对：樊钟英

封面设计：张 静 责任印制：洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.5 印张·381 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-27080-5

定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379720

封面无防伪标均为盗版

前 言

世界上任何建筑物都是修建在地表或地表下一定深度范围的岩土体中，作为建筑结构、建筑材料和建筑环境的工程岩土体的物理力学性质及其稳定性，会直接影响到拟建建（构）筑物的安全、稳定和正常使用。因此，在建筑物设计和施工前，必须查明建筑场地的工程地质条件，分析和论证有关的工程地质问题，对场地的稳定性、适宜性作出正确评价，为岩土体的整治、改造和工程的设计、施工提供详细、具体、可靠的地质资料。

本书是编者根据多年从事工程地质学的教学经验，在充分吸收和借鉴近年来出版的相关教材的优点、适当反映工程地质学科取得的新成果的基础上编写而成的。编写力求做到概念清晰、结构严谨、系统全面、内容精炼。全书共分四部分，第一部分为基础地质学，第二部分为工程岩土学，第三部分为工程地质分析，第四部分为岩土工程勘察。为便于学生自学和总结，每章后附有小结和思考题。由于建筑工程类型繁多，不同院校学科专业的侧重点各不相同，希望各高等院校在具体教学过程中，根据各自的学科专业特点及要求对教学内容作适当取舍。

本书由西安科技大学（王贵荣、叶万军、李晓军、代革联）、西安建筑科技大学（李辉）、长安大学（卢全中）、西安石油大学（崔莹）合编，王贵荣担任主编。编写分工如下：第1、3章由王贵荣编写，第2章及附录由叶万军编写，第4章由李辉编写，第5章由代革联编写，第6章由崔莹编写，第7章由李晓军编写，第8章由卢全中、叶万军编写。全书由王贵荣统编定稿。

在本书编写过程中，参考了已出版的教材、专著和规范的内容，在此对上述资料的作者表示衷心感谢！最后向所有支持和帮助本书编写与出版的同行、专家表示感谢！

由于编者能力和水平有限，问题在所难免，欢迎广大师生批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 地质学与工程地质学	1
1.2 工程地质学的研究内容与研究方法	2
1.3 工程地质条件与工程地质问题	3
1.4 工程地质在土木工程中的作用	5
1.5 人类工程活动与地质环境的关系	7
本章小结	8
思考题	9
第2章 地壳及其物质组成	10
2.1 地壳及地质年代	10
2.2 矿物	17
2.3 岩石	23
本章小结	34
思考题	36
第3章 地质构造	37
3.1 构造运动与地质构造	37
3.2 岩层的产状与地层接触关系	37
3.3 褶皱	41
3.4 节理	47
3.5 断层	52
3.6 活断层	58
3.7 地质图	62
本章小结	64
思考题	66
第4章 岩土体的工程地质特性	67
4.1 土的物质组成	67
4.2 土的物理、力学性质	72
4.3 土的分类与分级	83
4.4 特殊土的工程地质特征	89
4.5 岩石的物理、力学性质	97
4.6 岩体结构	101
4.7 工程岩体分类及分级	103
本章小结	107

思考题	108
第5章 地下水	109
5.1 地下水的基本概念	109
5.2 地下水的类型	112
5.3 地下水的补给、径流与排泄	117
5.4 地下水对建筑工程的影响	120
本章小结	125
思考题	126
第6章 常见不良地质作用及其防治	127
6.1 岩石风化	127
6.2 河流侵蚀	132
6.3 滑坡与崩塌	136
6.4 泥石流	143
6.5 地面沉降与地裂缝	146
6.6 岩溶与土洞	150
6.7 地震	155
6.8 地质灾害危险性评估	162
本章小结	165
思考题	166
第7章 不同工程类型常见工程地质问题	167
7.1 房屋建筑工程地质问题	167
7.2 深基坑开挖工程地质问题	171
7.3 地下洞室工程地质问题	174
7.4 道路桥梁工程地质问题	182
7.5 边坡工程地质问题	187
本章小结	193
思考题	194
第8章 岩土工程勘察	195
8.1 概述	195
8.2 岩土工程勘察等级及勘察阶段划分	195
8.3 岩土工程勘察方法	200
8.4 工程地质测绘与调查	201
8.5 工程地质勘探	205

8.6 现场原位测试 209

8.7 现场监测 219

8.8 岩土工程勘察纲要 220

8.9 岩土工程勘察成果报告 221

本章小结 228

思考题 229

附录 230

实验1 主要造岩矿物的鉴别 230

思考题 232

实验2 常见岩石的鉴别 232

思考题 237

实验3 地质构造鉴别与地质图阅读 237

思考题 240

参考文献 241

第1章 绪 论

1.1 地质学与工程地质学

1.1.1 地质学

地质学是关于地球的科学。它的主要研究对象是地球的固体表层——地壳，研究内容主要有以下方面：①研究地壳的物质组成，由矿物学、岩石学、地球化学等分支学科承担；②研究地壳及地球的构造特征，即研究岩石或岩石组合的空间分布，研究这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、地球物理学等；③研究地球的历史以及栖居在地质时期的生物及其演变，研究这方面问题的有古生物学、地史学、岩相古地理学等；④地质学的研究方法手段的研究，如同位素地质学、数学地质及遥感地质学等；⑤研究应用地质学的理论和方法解决资源探寻、环境地质分析和工程灾害防治等问题。从应用方面来说，地质学对人类社会担负着重大使命，主要有两方面：一是以地质学的理论和方法为指导，寻找各种矿产资源，这是矿床学、煤田地质学、石油地质学等研究的主要内容；二是运用地质学的理论和方法研究工程地质环境，查明地质灾害的发生、发展及其分布规律，提出科学、合理的防治对策，以确保工程建设安全、经济和正常运行，这是工程地质学研究的主要内容。

1.1.2 工程地质学

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学，是为工程建设服务的，属地质学的一个分支学科。

世界上任何建（构）筑物，如房屋、厂房、铁路、公路、桥梁、隧道、机场、港口、管道及水利水电工程，都是修建在地壳表层（地表或地表下一定深度的地方）的地质环境之中，工程建筑与地质环境之间存在着相互制约、相互作用的关系。一方面表现为地质环境以一定的作用影响工程建筑的安全稳定、经济合理性和能否正常使用；另一方面，建筑物的兴建又会以各种方式反馈作用于地质环境，使自然地质条件发生变化，最终又影响到建筑物本身的安全、稳定和正常使用。工程地质学的研究对象就是工程建筑与地质环境之间的相互制约和相互作用，研究的目的是促使两者之间矛盾的转化和解决。

工程地质学为工程建设服务是通过工程地质勘察来实现的。通过勘察和分析研究，阐明建筑地区的工程地质条件，指出并评价存在的问题，为建筑物的设计、施工和使用提供所需的地质资料。

工程地质学的基本任务可概括为三方面：一是区域稳定性研究与评价，二是地基稳定性研究与评价，三是环境影响评价。其具体任务包括：

1) 研究建筑地区工程地质条件，指出有利因素和不利因素，阐明工程地质条件的特征及其变化规律。

2) 分析存在的工程地质问题,进行定性和定量评价,预测发生的可能性、发生的规模和发展趋势,作出确切结论。

3) 选择地质条件较为优越的建筑场地,并根据场址的工程地质条件合理配置各个建筑物。

4) 研究工程建筑物兴建后对地质环境的影响,预测其发展演化趋势,并提出对地质环境合理利用和保护的建议。

5) 提出改善、防治或利用有关工程地质条件,加固岩土体和防治地下水的建议方案。

工程地质学把地质学的理论、方法应用于工程实际,通过工程地质调查、勘察和研究建筑场地的地形地貌、地层岩性及其工程地质性质、地质构造、水文地质和物理地质作用等工程地质条件,预测和论证有关工程地质问题发生的可能性,并采取必要防治措施加以防治。减灾防灾是工程地质学的主要任务之一。

1.2 工程地质学的研究内容与研究方法

1.2.1 工程地质学的研究内容

工程地质学的任务决定了它的研究内容,它们都已形成了各自的分支学科,归纳起来主要有以下方面:一是岩土工程性质的研究,研究其性质的形成及其在自然或人类活动影响下的变化,由工程岩土学承担;二是工程动力地质作用的研究,即研究工程活动的主要工程地质问题,以及这些问题产生的工程地质条件、力学机制及其发展演化规律,以便正确评价和有效防治它们的不良影响,由工程地质分析原理来承担;三是工程地质勘察理论与方法研究,即探讨调查研究方法,以便有效查明有关工程活动的地质因素,由工程地质学的另外一个分支学科——岩土工程勘察来承担;四是区域工程地质研究,研究工程地质条件、工程地质问题的区域性分布规律和特点,主要由区域工程地质学承担。除此之外,随着生产的发展和研究的深入,一些新的分支学科,如环境工程地质、海洋工程地质等已初步形成。

1.2.2 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,所以其研究方法是包括地质分析法、实验和测试方法、计算方法和模拟方法等方法的密切结合,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。

1) 地质分析法,即自然历史分析法。它是运用地质学的理论,查明工程地质条件和地质现象的空间分布以及它在工程建筑物作用下的发展变化,用自然历史的观点分析研究其产生过程和发展趋势,进行定性的判断。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) 模拟方法,可分为物理模拟(也称工程地质力学模拟)和数值模拟。它们是在通过地质研究,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的基础上,结合建筑物的实际作用,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。

3) 实验和测试方法,包括测定岩、土体特性参数的实验,对地应力的量级和方向的测

试,对地质作用随时间延续而发展的监测。通过室内或野外现场试验,取得所需要的岩土的物理性质、水理性质、力学性质数据。长期观测地质现象的发展速度也是常用的实验方法之一。

4) 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。

计算机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进行自动存储、检索和处理,使计算过程变得简单。

1.3 工程地质条件与工程地质问题

1.3.1 工程地质条件

工程地质条件是指与工程建筑有关的地质要素的综合,包括地形地貌、岩土类型及其工程地质性质、地质结构与地应力、水文地质条件、物理地质作用以及天然建筑材料等六个要素。工程地质条件是一个综合概念,在提到工程地质条件一词时,实际上是指上述六个要素的总体,而不是指任何单一要素。单独一两个要素不能称之为工程地质条件,而只能按本身应有的术语称之。

工程地质条件是客观存在的,是自然地质历史的产物。一个地区的工程地质条件反映了该地区地质发展过程及其后生变化,即内外动力地质作用的性质和强度。工程地质条件的形成受大地构造、地形地貌、气候、水文、植被等自然因素的控制。

由于各地的自然因素和地质发展过程不同,其工程地质条件随之不同,表现为其六个要素的组合情况不同,以及要素的性质、主次关系的差异。工程地质条件各要素之间既是相互联系,又是相互制约的,这是因为它们受着同一地质发展历史的控制,形成一定的组合模式。例如,平原区必然是碎屑物质的堆积场所,土层较厚,基岩出露较少,地质结构比较简单,物理地质作用也不很发育,地下水以孔隙水为主,天然建筑材料土料丰富、石料缺乏。不同的模式对建筑的适宜性相差甚远,存在的工程地质问题也不相同。

人类的工程经济活动会引起工程地质条件的变化,但这毕竟是次要的、局部的,而且与原有工程地质条件融合为一个整体,对后来的建筑成为新的影响因素。

由上述可知,认识工程地质条件必须从基础地质入手,了解地区的地质发展历史、各要素的特征及其组合的规律性,这对于解决实际问题是大有助益的。工程地质条件是在自然地质历史发展演化过程中客观形成的,因此必须依据地质学的基本理论采用自然历史分析方法去研究它。

工程地质条件的优劣在于其各个要素是否对工程有利。首先是岩土类型及其性质的好坏。坚硬完整的岩石,如花岗岩、厚层石英砂岩、花岗片麻岩等,强度高,性质良好;页岩、粘土岩、碳质岩及泥质胶结的砂砾岩,以及遇水膨胀、易溶解的岩类,软弱易变,性质不良,断层岩和构造破碎岩更软弱,这类岩石都是不利于地基稳定的,是岩体研究中的重点。松软土中的特殊土,如黄土、膨胀土、淤泥等也是不利因素,需要特别注意。岩土性质的优劣对建筑物的安全、稳定及经济具有重要意义,大型建筑物一般要建在性质优良的岩土上,软弱不良的岩土体工程事故不断、地质灾害多发,常需避开。

地形地貌条件对建筑场地的选择,特别是对线性建筑(如铁路、公路、运河、渠道等)线路方案的选择意义最为重大。如能合理利用地形地貌条件,不但能大量节省挖方、填方量,节约大量投资,而且对建筑物群体的合理布局、结构形式、规模以及施工条件等也有直接影响。例如,施工场地是否足够宽阔、材料运输道路是否方便等都决定于地形地貌条件。

地质结构和地应力包含了地质构造、岩体结构、土体结构及地应力等方面,含义较广,是一项具有控制性意义的要素,对岩体尤为重要。地质构造确定了一个地区的构造格架、地貌特征和岩土分布。断层,尤其是活断层,对工程建筑的危害最大,也是工程人员最为担心的。在选择建筑物场地时,必须注意断层的规模、产状及其活动情况。土体结构主要是指不同土层的组合关系、厚度及其空间变化。岩体结构除岩层构造外,更主要的是各种结构面的类型、特征和分布规律。不同结构类型的岩体,其力学性质和变形破坏的力学机制是不同的。结构面越发育,特别是含有软弱结构面的岩体,其性质越差。岩体的地应力状态对建筑物的施工和稳定性影响不容忽视。

水文地质条件是决定工程地质条件优劣的重要因素。地下水位较高一般对工程不利,地基土含水量大,粘性土处于塑态甚至流态,允许承载力降低,道路易发生冻害,水库常造成浸没,隧洞及基坑开挖需进行排水。滑坡、地下建筑事故、水库渗漏、坝基渗透变形以及许多地质灾害的发生都与地下水的参与有关,甚至起到主导作用。

物理地质作用是指对建筑物有影响的自然地质作用与现象。地壳表层经常受到内动力地质作用和外动力地质作用的影响,这对建筑物的安全造成很大威胁,所造成的破坏往往是大规模的,甚至是区域性的。例如,地震的破坏性很大;滑坡、泥石流、冲沟的发生也给工程和环境造成无穷的灾难。在这些物理地质现象面前,只考虑工程本身的坚固性是不行的,必须充分注意其周围有哪些物理地质现象存在,对工程的安全有何影响,如何防治。只要注意研究其发生发展的规律,及时采取措施,可怕的物理地质现象是可以克服的。

天然建筑材料是指供建筑用的土料和石料。土坝、路堤需用大量土料,海堤、石桥、堆石坝等需用大量石料,拌合混凝土需用砂、砾石作为骨料。为了节省运输费用,应该遵循“就地取材”的原则,用料量大的工程尤其应该如此。所以天然建筑材料的有无,对工程的造价有较大的影响,其类型、质量、数量以及开采运输条件,往往成为选择场地,拟定工程结构类型的重要条件。

上面从六个要素的单独分析说明工程地质条件的优劣,在实际工作中要从整体着眼,结合建筑物的特点,对存在的工程地质问题加以综合分析论证。

工程地质条件直接影响到工程建筑物的安全、经济和正常运行。所以,任何类型的工程建设,进行勘察时必须查明建筑场地的工程地质条件,并把它作为岩土工程勘察的基本任务。

1.3.2 工程地质问题

工程地质问题是指工程建筑物与岩土体之间相互作用所产生的、对建筑物本身的顺利施工和正常运行或对周围环境可能产生影响的矛盾或问题。在岩土工程施工以及工程建筑物建成使用过程中,工程部位的岩土体和地下水与建筑物发生作用,导致出现工程地质问题。由于建筑物的类型、结构和规模不同,其工作条件和工程作用力的大小、方向各异,与地质环境相互作用的特点也不同,因此所产生的工程地质问题也不同,这就造成工程地质问题的复

杂性和多样性。

工程地质问题是工程地质条件与工程建筑物之间相互作用所产生的问题,因此,提到工程地质问题时,必须结合具体的建筑类型、建筑规模来考虑。例如,工业与民用建筑常遇到的工程地质问题主要是地基稳定性问题,包括地基强度和地基变形两个方面;当其建于地下则有围岩(土)稳定性问题,建于山坡上则有斜坡稳定性问题。高层建筑物可能遇到的工程地质问题较多,包括深基开挖和支护、施工降水、坑底回弹隆起及坑外地面位移等问题。道路工程遇到的主要工程地质问题是路基稳定性问题、边坡稳定性问题、道路冻害问题、桥墩台地基稳定性问题等。隧道及地下工程遇到的工程地质问题主要是围岩稳定性问题和涌水问题。水利水电工程可能遇到的工程地质问题有:水库渗漏问题、库岸稳定性问题、水库浸没问题、水库淤积问题、水库诱发地震问题、坝基抗滑稳定问题、坝基渗漏问题、坝基渗透稳定性问题、坝肩稳定性问题、船闸高边坡稳定性问题、输水隧洞围岩稳定性问题等,除此之外,还有洞脸边坡稳定、地面变形和施工涌水等问题。工程地质问题除与工程类型有关外,还与一定的岩土体类型和工程性质有关,如黄土的湿陷性问题、软土的强度问题、岩石的风化问题、岩溶塌陷问题、构造裂隙的破坏问题等。

工程地质问题分析就是分析工程建筑与工程地质条件之间相互制约、相互作用的机制与过程、影响因素、边界条件,作出定性评价,并在此基础上进一步利用各种参数和计算公式进行计算,作出定量评价,明确作用的强度或工程地质问题的严重程度,发生发展的进程,预测出施工过程中和建成以后这种作用会产生的影响,作出评价和结论,提供设计和施工参考,共同制定防治措施方案,以便保证建筑物的安全与消除对周围环境的危害。

工程地质问题的分析、评价是岩土工程勘察的核心任务和中心环节,每一项工程进行岩土工程勘察时,对主要的工程地质问题必须作出确切的评价结论。对工程地质问题的分析、研究和论证,其关键是对工程地质条件的深入了解和认识,同时又要密切结合工程建筑的自身特点予以论证。工程地质问题分析要“吃透两头”:一头是“工程意图”,即工程设计人员对建筑物的结构和规模的构想,以便了解工程的要求;另一头是工程地质条件,哪些因素是有利的,哪些是不利的,深刻认识客观情况。工程地质问题分析还能够起到指导勘察的作用,为合理选用勘察手段、布置勘察工作量提供依据。

1.4 工程地质在土木工程中的作用

1.4.1 地基与基础

1. 建筑场地

建筑场地是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地,大体相当于厂区、居民点和自然村的区域范围的建筑物所在地。从工程勘察角度分析,场地的概念不仅代表着所划定的土地范围,还应涉及建筑物所处的工程地质环境与岩土体的稳定问题。

2. 地基与基础

(1) 基础 建筑物的地下部分称为基础,又称下部结构。如图 1-1 所示,基础承受整个建筑物的重力并将它传递给地基。因此,基础具有“承上传下”的作用。

(2) 地基 承受建筑物全部重力的那部分岩土层称为建筑物的地基。地基一般包括持

力层和下卧层。直接与基础接触的岩土层叫持力层，持力层下部的岩土层叫下卧层。

持力层的性质、埋藏条件和承载力大小等对基础类型、基础埋深、地基加固和施工方法的选择与确定有很大影响。岩土工程勘察中，在对场地地层结构及岩土物理、力学性质作详细了解的基础上，选择承载力高、变形小的岩土层作为持力层。显然，建筑物基础埋置深度取决于持力层的埋藏深度。当持力层位于地下较浅处时选择浅基础；作为持力层的岩土层埋藏于较深处时，常选择深基础或桩基；当持力层深度过大时，常对上部软土层加固后作为地基使用。

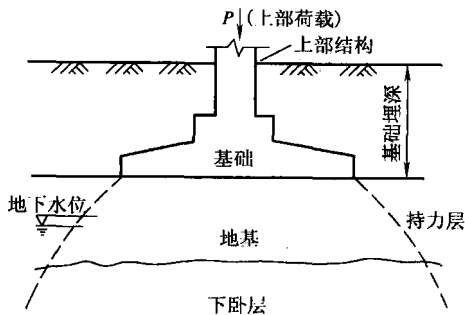


图 1-1 地基及基础示意图

一方面，地基的岩土组成、厚度、性质（物理及力学性质）、承载能力、产状、分布、均匀程度等情况是保证地基稳定性的基本条件。另一方面，组成地基的岩土体存在于一定的地质环境之中，建筑场地的地形、地质条件及地下水、物理地质作用等往往会影响地基承载力和地基稳定性。

基础和地基共同保证建筑物的坚固、耐久和安全，而地基在其中往往起着主导作用。牢固稳定的地基是建筑物安全与正常运行的保证。地基可分为以下两类：

1) 天然地基。未经加固处理、直接支承基础的地基称为天然地基。若地基土层主要由淤泥、淤泥质土、松散的砂土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层所构成，则称这种地基为软弱地基。

2) 人工地基。若地基承载力和变形都不能满足设计要求时，需对地基进行人工加固处理，经过人工加工处理的地基称为人工地基。

1.4.2 地基承载力

地基是否具有支承建筑物的能力，常用地基承载力来表达。地基承载力是指地基所能承受由建筑物基础传递来的荷载的能力。要确保建筑物地基稳定和满足建筑物使用要求，地基与基础设计必须满足两个基本条件：

- 1) 具有足够的地基强度，保持地基受负荷后不致因地基失稳而发生破坏。
- 2) 地基不能产生超过建筑物对地基要求的允许变形值，保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。

良好的地基一般具有较高的强度和较低的压缩性。岩土工程勘察报告中要提供建筑场地岩土层的地基承载力值。

1.4.3 工程地质在土木工程中的作用

在进行工程建设时，无论是总体布局阶段，还是个体建筑物设计、施工阶段，都应进行相应的岩土工程勘察工作。总体规划布局阶段应进行区域性工程地质条件和地质环境的评价；场地选择阶段应进行不同建筑场地工程地质条件的对比，选择最佳的工程地质条件场址方案；在选定场地进行个体工程设计和施工阶段，应进行工程地质条件的定量分析和评价，从而提出适合地质条件和环境协调的建筑物类型、结构和施工方法等方面的建议，拟定改善

和防治不良地质作用 and 环境保护的工程措施等。

为了做好上述各阶段岩土工程勘察工作，必须通过工程地质测绘与调查、勘探与取样、室内实验与原位测试、观测与监测、理论分析等手段获得必要的工程地质资料，并结合具体工程的要求进行研究、分析和判断，以查明工程地质条件，分析论证工程地质问题，提出相关建议。鉴于工程地质工作对工程建设的重要作用，国家规定任何工程建设必须在进行相应的工程地质工作、提供必要的地质资料的基础上，才能进行工程设计和施工工作。工程实践经验表明，岩土工程勘察工作做得好，设计和施工就能顺利进行，工程设施的安全使用就有保证。反过来，若忽视场地与地基的岩土工程勘察，就可能对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，重则出现建筑物部分或完全不能使用，甚至突然破坏，酿成事故。

对于每一项工程建设来说，在岩土工程勘察中所掌握的工程地质条件，都是在工程兴建前的初始地质条件。很多情况下，在建筑物的施工和使用过程中，即在人类土木工程建设活动的影响下，初始条件将会发生很大的变化，如地基土的压密、土的结构和性质的改变、地下水位的上升或下降、新的地质作用的产生等。由人类工程活动所引起的工程地质和水文地质条件的变化，在工程地质学中用工程地质作用这一专门的术语来表示。反过来讲，工程地质作用也势必对建筑物施加影响，而有些影响则是很不利的。因此，预测工程地质作用的发展趋势及可能危害的程度，提出控制和克服其不良影响的有效措施，也是工程地质学的主要任务之一。

1.5 人类工程活动与地质环境的关系

人类工程活动都是在一定的地质环境中进行的，两者之间必然产生特定方式的相互关联，表现为人类工程活动与地质环境之间的相互制约、相互作用的关系。

1.5.1 地质环境影响人类工程活动

地质环境对人类工程活动的影响是多方面的，主要表现在工程地质条件各个要素的优劣及其是否对工程活动有利。一方面表现为地质环境以一定的作用影响工程建筑物的稳定和正常使用；另一方面表现为地质环境以一定的作用影响工程活动的安全；还表现为由于某些工程地质条件不具备而提高工程造价，造成经济的不合理性。

地质环境影响工程造价可以通过两种方式：一种情况是由于建筑场地选择不当，为了在复杂条件下保证建筑物的安全，要么对威胁建筑物的地质因素采取某些处理措施，要么就必须采用更复杂的建筑物结构。从当今的科学技术水平来看，工程上可以说没有什么困难是不能克服的，经过工程技术处理，地质上的缺点和弱点总是可以改善的，只要舍得花钱，建筑物的安全总是可以得到保证的，这里就有个经济效益问题，不能不予考虑。在工程建设上，这叫经济合理性。另一种情况是选择了当地不能提供充分天然建筑材料的建筑物形式。

例如，某地兴建一个工厂，由于前期岩土工程勘察工作不够充分，把厂址放在洪积扇地下水溢出带上。这种地带的工程地质特征是地下水位高，地基土体位于地下水位以下，土体结构表现为粘性土层较多，有时甚至夹有淤泥层。在饱水状态下这类土层呈现塑流状态，性质软弱，承载力很低。修建过程中地基排水和处理工作量很大，造价较高。建成后主要建筑

物生产厂房地基沉降量过大,超过允许沉降值,以致机器不能正常运转,不得不采用昂贵的电动硅化法加固地基。其他方面也出现了一系列事故,做了很多处理,但仍不能保证持续的生产,损失很大。

工程地质工作的最大意义就在于既保证建筑物的安全,又能尽可能利用有利的地质因素,避开不利因素,减少昂贵的处理措施,降低工程投资,取得最大效益。

1.5.2 人类工程活动对地质环境的作用

人类工程活动与地质环境的相互作用表现出双向效应,即人类工程活动又会以各种方式反馈作用于地质环境,引起自然地质环境发生变化。一方面反馈影响到建筑物本身的安全、稳定和正常使用;另一方面恶化周围环境,造成对人类生活与生产活动的危害。

人类工程活动对地质环境的作用,是通过应力变化和地下水动力特征的变化表现出来的。建筑物自身重力对地基岩土体施加的荷载、坝体所受库水的水平推力、开挖边坡和基坑形成的卸荷效应、地下洞室开挖对围岩应力的影响,都会引起岩土体内的应力状况发生变化,造成变形甚至破坏,一定量值的变形是允许的,过量的变形以至破坏就要使建筑物失稳。建筑物的施工和建成经常引起地下水的变化而给工程和环境带来危害,诸如岩土软化、地基砂土液化、道路冻害、水库浸没、坝基渗透变形、隧道涌水、矿区地面塌陷等。

人类工程活动可恶化地质环境,诱发地质灾害,对人类生命财产造成危害或潜在威胁。地质灾害类型繁多,主要有地震、地裂缝、崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、沙漠化、地面沉降、地面塌陷、黄土湿陷、水库诱发地震、突水突泥、煤和瓦斯突出等。

由此可见,人类工程活动与地质环境两者相互作用、相互制约。一项工程建筑在兴建之前必须研究能否适应它所处的地质环境,又要分析在它兴建之后会如何作用于地质环境,会引起哪些变化,预测它们对建筑物自身的稳定性造成的危害,对此作出评价,并研究采取怎样的措施才能消除这种危害;还要预测它们对建筑周围环境造成的危害,也要作出评价,并制定保护环境的对策。工程地质研究的目的在于合理开发利用地质环境,有效治理、保护地质环境。

本章小结

(1) 地质学是一门关于地球的科学,它的研究对象主要是地球的固体表层地壳。工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学,是地质学的重要分支学科,包括工程岩土学、工程地质分析原理、岩土工程勘察、区域工程地质学四个基本部分。

(2) 工程地质研究的主要任务是评价工程地质条件、论证和预测有关工程地质问题,提出及建议改善、防治或利用有关工程地质条件的措施,研究岩土体分类和分区及区域性特点,研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用与影响。工程地质学为工程建设服务是通过岩土工程勘察来实现的。

(3) 工程地质学的研究方法是包括地质分析法、实验和测试方法、计算方法和模拟方法等方法的密切结合,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。

(4) 工程地质条件是指与工程建筑有关的地质要素的综合,包括地形地貌、岩土类型及其工程地质性质、地质结构与地应力、水文地质条件、物理地质作用以及天然建筑材料等六个要素。工程地质问题是指工程建筑物与岩土体之间相互作用所产生的对建筑本身的顺利

施工和正常运行或对周围环境可能产生影响的矛盾或问题。

(5) 工程地质问题的分析、评价是岩土工程勘察的核心任务和中心环节，每一项工程进行岩土工程勘察时，对主要的工程地质问题必须作出确切的评价结论。对工程地质问题的分析、研究和论证，其关键是对工程地质条件的深入了解和认识，同时又要密切结合工程建筑的自身特点予以论证。

(6) 基础是建筑物的地下部分，又称下部结构。地基是承受建筑物全部重力的那部分岩土层。地基一般包括持力层和下卧层，直接与基础接触的岩土层叫持力层，持力层下部的岩土层叫下卧层。地基是否具有支承建筑物的能力，常用地基承载力来表达，包括强度和变形两个方面。

(7) 人类工程活动与地质环境之间存在着相互作用、相互制约的关系。一方面表现为地质环境以一定的作用影响工程建筑物的稳定和正常使用，影响工程活动的安全，或造成工程造价提高；另一方面，人类工程活动又会以各种方式反馈作用于地质环境，引起自然地质环境发生变化，影响到建筑物本身的安全、稳定和正常使用，或造成地质环境的恶化。

思考题

1. 简述工程地质学与地质学的相互关系。
2. 工程地质学的主要任务与研究方法包括哪些方面？
3. 什么是工程地质条件，它包括哪些要素？什么是工程地质问题，常见工程地质问题有哪些？
4. 解释地基、基础、持力层、下卧层、地基承载力的概念？
5. 简述工程地质问题分析论证的基本思路。
6. 简述人类工程活动与地质环境之间的关系。

第2章 地壳及其物质组成

2.1 地壳及地质年代

2.1.1 地球的圈层结构

地球是一个由不同状态与不同物质的同心圈层所组成的球体。这些圈层可以分成内部圈层与外部圈层，即内三圈与外三圈。其中外三圈由大气圈、水圈和生物圈组成，内三圈由地壳、地幔、地核组成（图2-1）。

1. 地壳

固体地球的外部层圈称为地壳。它的密度为 $2.7 \sim 2.9 \text{g/cm}^3$ ，由地表所见的各种岩石组成。位于大陆的大陆地壳（陆壳）厚度较大，平均约 $33 \sim 35 \text{km}$ ，高山区可达 $70 \sim 80 \text{km}$ ；位于大洋底部的大洋地壳（洋壳）厚度较小，平均 $7 \sim 8 \text{km}$ 。

2. 地幔

地壳以下至大约 2900km 深处为地幔。它的密度为 $3.32 \sim 4.64 \text{g/cm}^3$ ，由富含 Fe、Mg 的硅酸盐物质组成。目前，一般以 1000km 为界，把地幔分为上地幔和下地幔。地震纵波和横波都能在地幔通过，因此一般认为地幔呈固态。

3. 地核

地幔以下直到地心的部分称为地核。地核的密度为 $11 \sim 16 \text{g/cm}^3$ ，由含 Fe、Ni 的物质组成。

在地幔顶部（约 $50 \sim 250 \text{km}$ ）存在一个地震波速度减低带，该带约有 5% 的物质为熔融状态，易于发生塑性流动，称为软流圈。软流圈以上的物质均为固态，称为岩石圈。岩石圈具有较强的刚性，分裂成许多块体，称为板块。板块驮在软流圈上随之运动，这就是板块运动，也是构造运动发生的根源。

2.1.2 地质作用

在地质历史发展过程中，由自然动力引起的地球和地壳组成、内部结构及地表形态不断变化和发展的自然作用，称为地质作用。

地质作用的能量来源一是由地球内部放射性元素蜕变产生内热；二是来自太阳辐射热以及地球旋转力和重力；另外，潮汐作用及生物活动也是地质作用的能量来源。只要引起地质作用的动力存在，地质作用就不会停止。地质作用实质上是组成地球的物质以及由其传递的能量发生运动的过程。

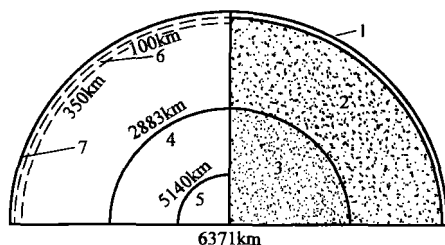


图 2-1 地球内部层圈

1—地壳 2—地幔 3—地核 4—液态外部地核
5—固态内部地核 6—软流圈 7—岩石圈

地质作用常常引发灾害。按地质灾害成因的不同,工程地质学把地质作用划分为物理地质作用(即自然地质作用)和工程地质作用(即人为地质作用)两大类。物理地质作用按其动力来源,可分为内力地质作用与外力地质作用。

1. 物理地质作用

(1) 内力地质作用 内力地质作用简称为内力作用,是由地球转动能、重力能和放射性元素蜕变的热能等所引起,主要是在地壳或地幔中进行。内力地质作用包括构造运动、岩浆作用、变质作用和地震等。

1) 构造运动。它是地壳的机械运动,是内力地质作用的一种重要形式,也是改变地壳面貌的主导作用。当发生水平方向运动时,常使岩层受到挤压而产生褶皱,或是使岩层拉张而破裂;垂直方向的构造运动使地壳发生上升或下降。青藏高原最近数百万年以来的隆升是垂直运动的表现。构造运动又称为地壳运动。发生在晚第三纪末和第四纪的构造运动,称为新构造运动。

2) 岩浆作用。岩浆是地壳深处的一种富含挥发性物质的高温高压的粘稠硅酸盐熔融体。岩浆沿地壳软弱破裂地带上升,造成火山喷发形成火山岩或是在地下深处冷凝形成侵入岩的过程统称为岩浆作用。岩浆作用有两种方式:喷出作用和侵入作用。由岩浆作用所形成的岩石叫岩浆岩。

3) 变质作用。已经形成地壳的各种岩石,在高温、高压并有化学物质参与下发生成分、结构、构造变化的地质作用称为变质作用。变质作用分为三种类型:接触变质作用、动力变质作用和区域变质作用。由变质作用形成的岩石叫变质岩。

4) 地震。地震是地下深处的岩层由于突然破裂、塌陷以及火山爆发等而产生的地壳快速振动的作用和现象。绝大多数地震是由地壳运动造成的,称构造地震,另外还有火山地震、塌陷地震及诱发地震等。

(2) 外力地质作用 由地球范围以外的能源所引起的地质作用称为外力地质作用。它的能源主要是来自太阳辐射能以及太阳和月球的引力等。其作用方式有风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩。外力地质作用的总趋势是削高补低,使地面趋于平坦。

1) 风化作用。在常温常压下,暴露于地表的岩石,在温度变化以及水、二氧化碳、氧气及生物等因素的长期作用下,发生化学分解和机械破碎的过程叫风化作用。按风化作用的因素不同,可分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。

2) 剥蚀作用。将风化产物从岩石上剥离下来,同时也对未风化的岩石进行破坏,不断改变着岩石面貌,这种作用称为剥蚀作用。剥蚀作用可分为风的吹蚀作用、流水的侵蚀作用、地下水的潜蚀作用、冰川的刨蚀作用、海水和湖水的冲蚀作用等。

3) 搬运作用。风化剥蚀的产物,在地质营力作用下,离开母岩区,经过长距离搬运,到达沉积区的过程叫搬运作用。其地质营力主要是风和地表流水,次为冰川、地下水、湖水和海水。搬运方式可分为三种:拖曳搬运、悬浮搬运和溶解搬运。

4) 沉积作用。被搬运的物质,经过一定距离后,由于搬运介质的动能减弱、搬运介质的物理化学条件发生变化,或在生物的作用下,被搬运的物质从搬运介质中分离出来,形成沉积物的过程,叫沉积作用。沉积作用的方式有三种:机械沉积作用、化学沉积作用和生物沉积作用。

5) 成岩作用。使松散沉积物转变为沉积岩的过程,称成岩作用。成岩作用可分为胶结