

- 国家精品课程教材
- 教育部地质工程教学指导分委员会推荐教材

GONGCHENG DIZHIXUE JICHU

工程地质学基础

● 唐辉明 主编



化学工业出版社

P642/44

2008

国家精品课程教材
教育部地质工程教学指导分委员会推荐教材

工程地质学基础

唐辉明 主编



化学工业出版社

·北京·

本书以工程动力地质学为重点,系统全面地介绍工程地质学的基础知识、基本理论和基本方法,同时反映本学科最新科研成果和技术方法。体系合理,内容充实,深入浅出,实用性强。

全书共分三篇 15 章。第一篇为工程地质学基本理论,重点包括工程地质条件成因演化论、区域稳定性理论和岩体结构控制论。第二篇为工程地质问题研究,包括活断层与地震、斜坡工程、地下工程、岩溶、泥石流、地面沉降和渗透变形等。第三篇介绍工程地质技术与方法,主要包括工程地质模拟与评价、工程地质勘察、工程地质测试与试验、工程地质监测与预测和工程地质信息技术。

本书可作为地质工程、土木工程、环境工程、建筑工程等专业和有关应用地质学本科生教材,亦可供高等学校有关专业师生及从事相关专业科研人员、工程师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学基础/唐辉明主编. —北京:化学工业出版社,2008.1
国家精品课程教材 教育部地质工程教学指导分委员会推荐教材
ISBN 978-7-122-01615-7

I. 工… II. 唐… 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 (2007) 第 184855 号

责任编辑:彭喜英 杨 菁
责任校对:陶燕华

装帧设计:韩 飞

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 520 千字 2008 年 2 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: 29.80 元

版权所有 违者必究

前 言

“工程地质学基础”是“地质工程”和“土木工程（岩土）”专业的主干课程，也是环境工程、水利水电工程及应用地质学的重要必修课。

中国地质大学的前身——北京地质学院创立于1952年，并在我国首次创立水文地质工程地质系，工程地质学基础是学校创立之初就开设的主干课程之一。经过几代人的共同努力，我校工程地质学科体系从无到有，不断发展、完善。我校工程地质学基础课程一直拥有优秀的教学传统、先进的教学方法和优良的教学环境，为优秀人才的培养创造了优越的条件。该课程是中国地质大学的品牌课程之一，自20世纪50年代以来，我校的工程地质学基础（工程动力地质学）课程在全国一直占有重要地位。

本书作者们在50多年教学、科研积累的基础上，总结自己多年的教学经验，编写了本教材。本书以工程动力地质学为重点，系统全面地介绍工程地质学的基础知识、基本理论和基本方法，同时反映本学科最新科研成果和技术方法。

本教材是按80学时编写的。全书共分三篇15章。第一篇为工程地质学基本理论，重点包括工程地质条件成因演化论、区域稳定性理论和岩体结构控制论。第二篇为工程地质问题研究，包括活断层与地震、斜坡工程、地下工程、岩溶、泥石流、地面沉降和渗透变形等。第三篇介绍工程地质技术与方法，主要包括工程地质模拟与评价、工程地质勘察、工程地质测试与试验、工程地质监测与预测和工程地质信息技术。

通过本课程的学习，要求学生全面掌握内、外动力及人类活动引起的有关物理地质现象方面的基本知识，以及从工程地质角度去研究动力地质现象（问题）的基本方法，初步具备解决重大工程地质实际问题的能力，为今后从事生产实际工作和科学研究打好基础。在工程地质课程教学中，通过基本概念、基本理论、基本方法的教学，培养学生发现问题、分析问题和解决工程地质问题的能力。课程以讲授为主，辅以必要的习题、作业，配有一定的实践性教学内容，注重理论与实践相结合。考虑到授课学时的限制，第一篇可选修，第三篇可自学或选修，也可列为专题讲座。工程地质勘察有专门课程介绍。

本书由唐辉明主编，编写分工如下：绪论、第1、3、6章，唐辉明；第2、

4、5、8、12章，晏鄂川；第7、14、15章，胡新丽；第9章，王亮清；第10章，杨裕云；第11章，唐辉明、晏鄂川；第13章，刘佑荣。作者们力图做到体系严谨、合理，基本概念清楚、明确，知识内容重点突出，使本科生易于掌握，学以致用。

本书编写大纲曾征求了有关单位和专家的意见，并得到教育部地质工程教学指导分委员会专家们的指导。初稿完成后，编者进行了互审，并提出了修改意见。之后编者进行了认真修改。最后由唐辉明统一定稿。

本书作为国家精品课程“工程地质学基础”的配套教材，其相关的电子课件等教学资源可链接网页 <http://jpkc.cug.edu.cn/2007jpkc/gcdzxc>。

在本书编写过程中，得到中国地质大学（武汉）工程学院、工程地质与岩土工程系老师们的支持和帮助。谨向他们致以衷心的感谢！

书中缺点和不妥之处在所难免，恳望读者指正。

编 者

2007年9月于武昌

目 录

绪论	1
0.1 工程地质学的研究对象与任务	1
0.1.1 工程建筑对地质环境的作用	1
0.1.2 工程地质条件	2
0.1.3 工程地质问题	3
0.2 工程地质学的研究内容	3
0.3 工程地质学的研究方法及其与其它学科的关系	4
0.3.1 研究方法	4
0.3.2 工程地质学与其它学科的关系	6
0.4 工程地质学的发展	6
0.4.1 工程地质学的发展	6
0.4.2 我国工程地质学的成就	7
0.5 本课程主要内容	8
参考文献	9

第一篇 工程地质学基本理论

第1章 工程地质条件成因演化论	12
1.1 概述	12
1.2 工程地质条件形成的控制因素	12
1.2.1 大地构造	13
1.2.2 自然地理	14
1.3 中国工程地质条件分区分带的规律性	16
1.3.1 中国大地构造环境	16
1.3.2 中国自然地理环境	18
1.4 中国工程地质条件的组合类型	21
1.5 工程地质条件成因演化论	22
参考文献	22
第2章 区域稳定性理论	24
2.1 概述	24
2.2 区域稳定性基本理论	24
2.2.1 区域地壳稳定性分析原理	25
2.2.2 区域稳定性分级与分区理论	25
2.3 区域稳定性研究基本内容	26
2.3.1 区域地壳结构与组成研究	26
2.3.2 区域新构造运动与应力场研究	26
2.3.3 区域断裂现今活动性研究	26
2.3.4 区域地震活动与火山活动研究	26
2.3.5 区域重大地质灾害研究	26
2.3.6 区域稳定性评价理论与技术方法研究	27
2.4 中国区域构造晚近期活动性概述	27
2.4.1 中国构造地貌基本特征	27
2.4.2 中国晚近期主要活动断裂带	27
2.4.3 中国晚近期气候、环境的变迁	28
2.4.4 中国晚近期以来岩浆活动和地热活动	28
2.4.5 中国的地震活动与晚近构造应力场特征	29
2.4.6 中国晚近期构造活动分区概述	29
2.5 区域稳定性分区与评价	31
2.5.1 区域稳定性分级原则	31
2.5.2 区域稳定性分区	31
2.5.3 区域稳定性评价因素及指标	32
2.5.4 区域地壳稳定性评价指标	33
2.5.5 区域稳定性评价方法	38
参考文献	38

第3章 岩体结构控制论	39
3.1 概述	39
3.2 岩体结构的物质基础	39
3.2.1 岩石的成分与结构	40
3.2.2 岩石的成岩环境与岩相变化	40
3.2.3 岩石的成层条件及厚度变化	40
3.2.4 岩石组合特征及其划分依据	40
3.2.5 岩石的物理力学性质	41
3.3 岩体结构	41
3.3.1 结构面的类型及特征	41
3.3.2 岩体结构基本类型和特征	43
3.4 岩体结构的力学效应	46
3.4.1 岩体变形机制	46
3.4.2 岩体破坏机制	46
3.4.3 岩体力学性质与力学介质	47
3.4.4 岩体赋存环境因素及结构的力学效应	47
参考文献	49

第二篇 工程地质问题研究

第4章 活断层与地震	52
4.1 概述	52
4.2 活断层	52
4.2.1 活断层的概念及研究意义	53
4.2.2 活断层的基本特征	54
4.2.3 活断层参数的研究	55
4.2.4 活断层的鉴别	57
4.2.5 活断层工程地质评价	58
4.3 地震	60
4.3.1 地震地质及地震波基础	60
4.3.2 地震的震级及地震烈度	66
4.3.3 地震效应	69
4.3.4 地震的工程地质评价	74
4.4 水库诱发地震	79
4.4.1 水库诱发地震的基本特征	79
4.4.2 水库诱发地震的工程地质研究	80
参考文献	81

第5章 斜坡工程	83
5.1 概述	83
5.2 斜坡中的应力分布特征	84
5.2.1 斜坡中应力状态的变化	84
5.2.2 影响斜坡应力分布的因素	85
5.3 斜坡浅表生改造现象	86
5.3.1 斜坡浅表生结构面发育特点	86
5.3.2 斜坡浅表生改造带应力场特征	88
5.4 斜坡变形破坏基本类型	89
5.4.1 斜坡变形	89
5.4.2 斜坡破坏	91
5.4.3 崩塌	92
5.4.4 滑坡	96
5.5 斜坡稳定性影响因素	102
5.5.1 岩土类型与性质	102
5.5.2 岩体结构和地质构造	103
5.5.3 地表水和地下水	104
5.5.4 地震	107
5.5.5 人类活动	107
5.6 斜坡稳定性评价	107
5.6.1 定性评价	107
5.6.2 定量评价	112
5.6.3 斜坡变形破坏的预测预报	114
5.7 斜坡地质灾害防治	116
5.7.1 防治原则	116
5.7.2 防治措施	116
参考文献	122

第6章 地下工程	124
6.1 概述	124
6.2 地下开挖引起的围岩应力重分布	124
6.2.1 弹性围岩重分布应力	125
6.2.2 塑性围岩重分布应力	127
6.3 围岩的变形与破坏	128
6.3.1 脆性围岩的变形破坏	129
6.3.2 塑性围岩的变形破坏	131
6.4 地下建筑围岩稳定性评价	132
6.4.1 影响围岩稳定性的因素	132
6.4.2 围岩稳定性的定量评价	132
6.5 地下工程地质超前预报	134
6.5.1 地质超前预报分类	134
6.5.2 地质超前预报的内容	135
6.5.3 地质超前预报常用方法	136

参考文献	138		
第7章 岩溶			140
7.1 概述	140	7.4 岩溶渗漏问题评价	158
7.2 岩溶发育机理	141	7.4.1 渗漏的形式	159
7.2.1 碳酸盐岩的溶蚀机理	141	7.4.2 影响渗漏的因素	159
7.2.2 影响岩溶发育的因素	144	7.4.3 岩溶区选择库坝位址时应注意的问题	162
7.3 岩溶地基稳定性评价	152	7.4.4 岩溶渗漏的防治措施	163
7.3.1 岩溶地(坝)基变形破坏的主要形式	152	7.5 岩溶地面塌陷	165
7.3.2 土洞及地表塌陷的成因	153	7.5.1 概述	165
7.3.3 岩溶地基稳定性定性评价	154	7.5.2 岩溶地面塌陷的形成条件	168
7.3.4 岩溶地基稳定性定量评价	155	7.5.3 岩溶地面塌陷监测与预测	169
7.3.5 岩溶地(坝)基的处理措施	157	参考文献	170
第8章 泥石流			171
8.1 概述	171	8.4.2 按泥石流的物质组成分类	178
8.2 泥石流形成条件	172	8.4.3 按泥石流体性质分类	178
8.2.1 泥石流形成条件	172	8.5 泥石流的地貌作用过程	179
8.2.2 泥石流分布	174	8.5.1 泥石流侵蚀地貌	179
8.3 泥石流的基本特征	175	8.5.2 泥石流的堆积地貌	179
8.3.1 泥石流的密度	175	8.5.3 泥石流的侵蚀-堆积地貌	181
8.3.2 泥石流的结构	175	8.6 泥石流危险度区划	182
8.3.3 泥石流的流态	176	8.7 泥石流防治	184
8.3.4 泥石流的直进性	177	8.7.1 泥石流的治理措施	184
8.3.5 泥石流的脉动性	177	8.7.2 泥石流的预防措施	187
8.4 泥石流的分类	177	参考文献	189
8.4.1 按泥石流流域形态分类	177		
第9章 地面沉降			190
9.1 概述	190	9.4 地面沉降的预测	201
9.2 地面沉降的诱发因素及地质环境	190	9.4.1 预测所需要资料与预测成果	201
9.2.1 地面沉降的诱发因素	191	9.4.2 地面沉降的预测方法	201
9.2.2 地面沉降的地质环境	193	9.4.3 地面沉降预测实例	203
9.3 承压水位下降引起的地面沉降机制分析	195	9.4.4 地面沉降的量测系统	204
9.3.1 机制分析	195	9.4.5 地面沉降的测量方法	205
9.3.2 粘性土层的变形机理	198	9.5 地面沉降的控制与治理	207
9.3.3 粘性土层固结历史	198	9.5.1 对已经产生地面沉降的地区	207
9.3.4 粘性土的固结状态	199	9.5.2 可能发生地面沉降的地区	207
		参考文献	208
第10章 渗透变形			209
10.1 概述	209	10.3 渗透变形的类型及判别	214
10.2 渗透变形的条件和机理	210	10.3.1 渗透变形的类型	214
10.2.1 渗透变形的必要条件	210	10.3.2 渗透变形类型的判别	215
10.2.2 渗透变形产生的条件和机理	211	10.4 临界水力坡度的确定	216

10.4.1	公式计算法	217	10.5.3	数值模拟法预测	221
10.4.2	试验法实测临界水力坡度	217	10.6	坝基渗透稳定性评价	222
10.4.3	据土的颗粒组成和透水性确定 临界水力坡度	218	10.7	渗透变形防治	223
10.5	实际水力坡度的预测	219	10.7.1	防渗截流工程	224
10.5.1	理论公式计算	219	10.7.2	排水减压和反滤盖重工程	225
10.5.2	观测资料统计预测	220	参考文献		225

第三篇 工程地质技术与方法

第 11 章	工程地质模拟与评价	228	11.4.1	分区分类分级类比法	231
11.1	概述	228	11.4.2	标准对比法	232
11.2	工程地质模型与模拟	228	11.4.3	图解分析法	232
11.2.1	工程地质模拟的工作步骤	228	11.4.4	数值计算法	233
11.2.2	关于工程地质模型	229	11.5	工程地质数值模拟与物理模拟	233
11.3	工程地质评价	230	11.5.1	工程地质数值模拟的主要方法	233
11.3.1	评价的基本原则	230	11.5.2	工程地质物理模拟的设计	234
11.3.2	评价的对象	230	11.5.3	工程地质模拟的应用	236
11.3.3	评价的内容	230	参考文献		237
11.3.4	评价结果	231			
11.4	工程地质评价基本方法	231			
第 12 章	工程地质勘察	239	12.4	工程地质勘探与取样	245
12.1	概述	239	12.4.1	工程地质勘探	245
12.2	工程地质勘察基本技术要求	239	12.4.2	勘探布置的一般原则	251
12.2.1	工程地质勘察的分级	239	12.4.3	岩土试样采取	252
12.2.2	工程地质勘察阶段	241	12.5	工程地质勘察成果整理	254
12.2.3	工程地质勘察任务设计	241	12.5.1	岩土参数的分析和选定	254
12.3	工程地质测绘	242	12.5.2	工程地质勘察报告	254
12.3.1	工程地质测绘的研究内容	242	参考文献		256
12.3.2	工程地质测绘范围、比例尺和精度	244			
第 13 章	工程地质测试与试验	257	13.3.5	十字板剪切试验	270
13.1	概述	257	13.3.6	岩体变形试验	271
13.2	地应力测试	258	13.3.7	岩体强度试验	274
13.2.1	应力解除法	258	13.3.8	岩体声波测试	276
13.2.2	水压致裂法	260	13.4	地下水测试	278
13.3	岩土体物理力学性质测试	262	13.4.1	抽水试验	279
13.3.1	土体载荷试验	262	13.4.2	钻孔注水试验	280
13.3.2	静力触探试验	264	13.4.3	渗水试验	281
13.3.3	动力触探试验	266	参考文献		281
13.3.4	旁压试验	267			
第 14 章	工程地质监测与预测	283	14.2	工程地质监测技术	284
14.1	概述	283			

14.2.1	监测主要内容及技术	284	14.4.1	力学分析法	291
14.2.2	监测方法	288	14.4.2	数理统计分析法	291
14.3	工程地质监测系统设计	289	14.4.3	非线性预测法	292
14.3.1	监测系统设计原则	289	14.4.4	经验判断法	293
14.3.2	监测系统的主要设计方法	289	参考文献		293
14.4	工程地质预测	291			
第 15 章 工程地质信息技术					
15.1	概述	294	15.3	遥感技术	303
15.2	地理信息系统技术	295	15.3.1	遥感解译原理与标志	304
15.2.1	地理信息系统简介	295	15.3.2	工程地质遥感解译内容	304
15.2.2	工程地质数据的特点	296	15.3.3	工程地质遥感工作的程序	307
15.2.3	地理信息系统的开发工具	296	15.3.4	遥感技术在工程地质工作中的应用	307
15.2.4	地理信息系统在工程地质中的应用	297	参考文献		309
15.2.5	工程地质 GIS 的开发	299			

绪 论

0.1 工程地质学的研究对象与任务

工程地质学 (engineering geology) 是地质学的分支学科, 它研究与工程建设有关的地质问题、为工程建设服务, 属于应用地质学的范畴。各种工程建筑的规划、设计、施工和运行只有通过工程地质研究, 才能使工程建筑与地质环境相互协调, 既保证工程建筑安全可靠、经济合理、运行正常, 又保证地质环境不会因工程的兴建而恶化。

地球上一切工程建筑物都建造于地壳表层一定的地质环境中。地质环境以一定的作用, 影响建筑物的安全、经济和正常使用; 而建筑物的兴建又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。二者处于既相互联系, 又相互制约的矛盾之中。工程地质学研究地质环境与工程建筑物之间的关系, 促使二者之间的矛盾转化和解决。这一整套研究的核心是工程建筑与地质环境二者之间的相互制约和相互作用, 这就是工程地质学的研究对象。

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, 指出并评价存在的工程地质问题, 为建筑物的设计、施工和使用提供所需的地质资料。工程地质学的主要任务是: ①阐明建筑地区的工程地质条件, 并指出对建筑物有利的和不利的因素; ②论证建筑物所存在的工程地质问题, 进行定性和定量的评价, 作出确切的结论; ③选择地质条件优良的建筑场址, 并根据场址的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根据建筑场址的具体地质条件, 提出有关建筑物类型、规模、结构和施工方法的合理建议, 以及保证建筑物正常使用所应注意的地质要求; ⑥为拟定防治和改善不良地质作用的措施方案提供地质依据。

由此可见, 工程地质是工程建设的基础工作。工程地质工程师只有和工程设计与施工工程师密切协作, 才能完成上述各项任务。

0.1.1 工程建筑对地质环境的作用

工程建筑的类型很多, 如工业民用建筑、铁路、公路、水运建筑、水利水电建筑、矿山建筑、海港工程和近海石油开采工程以及国防工程等。每一类型建筑又由一系列建筑物群体组成, 如高楼大厦、工业厂房、道路、桥梁、隧道、地铁、运河、海港、堤坝、电站、矿井、巷道、油库、飞机场等。这些建筑物有的位于地面上, 有的埋于地下, 都脱离不开地壳, 无不与地质环境息息相关。它们的型式不同、规模各异, 对地质环境的适应性以及对地质环境的作用也均不一样。随着科学技术的发展, 工程建筑物向着高、深、大、精变化, 与地质环境的相互作用也愈来愈强烈, 愈来愈复杂。

工程建筑对地质环境的作用, 主要是通过应力变化和地下水动力特征变化而表现出来的。建筑物自身重量对地基岩土体施加的载荷、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,使岩土体产生变形甚至破坏。一定量值的变形是允许的,过量的变形甚至破坏就会使建筑物失稳。建筑物的施工和建成经常引起地下水的变化,从而给工程和环境带来危害,如产生岩土软化、泥化、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。

显然,工程建筑物对地质环境作用的性质和强度,取决于建筑物的类型、规模和结构,同时也取决于场地的工程地质条件,而工程地质条件往往起决定性的作用。

0.1.2 工程地质条件

工程地质条件(engineering geological condition)是指与工程建筑有关的地质因素的综合。地质因素包括岩土类型及其工程性质、地质结构、地貌、水文地质、工程动力地质作用和天然建筑材料等方面,它是一个综合概念。其中的某一因素不能概括为工程地质条件,而只是工程地质条件的某一方面。兴建任何一类建筑物,首要的任务就是要查明和认识建筑场区的工程地质条件。由于不同地域的地质环境不同,因此工程地质条件不同,对工程建筑物有影响的地质因素的主次也不相同。

工程地质条件是在自然地质历史发展演化过程中形成的,它反映地质发展过程及后生变化,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、地形地势、气候、水文、植被等自然因素的控制。各地的自然因素不同、地质发展过程不同,其工程地质条件也就不同。工程地质条件各要素之间是相互联系、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,物理地质现象也不很发育,地下水以孔隙水为主,天然建筑材料土料丰富、石料缺乏。不同的组合模式对建筑的适宜性相差甚远,存在的工程地质问题也不一致。

由上述可知,认识工程地质条件必须从基础地质入手,了解研究地区的地质发展历史,各要素的特征及其组合的规律性。

工程地质条件的优劣取决于其各个要素是否对工程有利。首先是岩土类型及其性质。坚硬完整的岩石如花岗岩、厚层石英砂岩等,强度高,性质良好;页岩、粘土岩、碳质岩及泥质胶结的砂砾岩和遇水膨胀、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,这类岩石都不利于地基稳定。岩土性质的优劣对建筑物的安全、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体上,软弱不良的岩土体常导致工程事故不断、地质灾害多发。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、运河渠道等的线路方案选择意义重大。如能合理利用地形地貌条件,不但能大量节省挖填方量,节约大量投资,而且对建筑物群体的合理布局、结构型式、规模以及施工条件等也有直接影响。

地质结构包含了地质构造、岩体结构、土体结构及地应力等,含义较广。它是一项具有控制性意义的要素,对岩体尤为重要。地质构造控制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,常给建筑带来较大危害。在选择建筑物场地时,必须注意断层的规模、产状及其活动性。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各不相同。结构面愈发育,特别是含有软弱结构面的岩体,其工程性质愈差。

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,容许承载力降低,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。地质灾害的发生多与地下水的参与有关,甚至起主导

作用。

物理地质现象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、泥石流的发生常给工程和环境带来灾难。通常只考虑工程本身的坚固性是不行的，必须充分注意其周围存在哪些物理地质现象，对工程的安全有何影响，并研究其发生、发展的规律，及时采取防治措施。

天然建筑材料是指供建筑用的土料和石料。天然建筑材料的有无，对工程造价有较大的影响，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。

0.1.3 工程地质问题

工程地质问题 (engineering geological problem) 是指工程地质条件与建筑物之间所存在的矛盾。

优良的工程地质条件能适应建筑物的安全、经济和正常使用的要求，其矛盾不会激化到对建筑物造成危害；然而工程地质条件往往有一定的缺陷，而对建筑物产生严重的，甚至是灾难性的危害。所以，一定要将矛盾的两个方面联系起来进行分析。由于工程建筑的类型、结构型式和规模不同，对地质环境的要求不同，所以工程地质问题复杂多样。例如，工业与民用建筑的主要工程地质问题是地基承载力和沉降问题，地下硐室的主要工程地质问题是围岩稳定性和突水涌水问题；露天采矿场的主要工程地质问题是采坑边坡稳定性问题；水利水电工程中，土石坝最需注意的是坝基渗透变形和渗漏问题，混凝土重力坝是坝基抗滑稳定问题，拱坝则是坝肩抗滑稳定问题。工程地质问题的分析、评价，是工程地质工程师的重点任务。

工程地质问题分析一方面要了解工程意图，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；另一方面要充分分析工程地质条件，深入了解哪些因素是有利的，哪些是不利的，充分认识客观情况。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。

由于工程地质问题而导致的建筑事故不乏其例。

例 1 美国加利福尼亚州圣弗朗西斯坝为一高 70m 的混凝土坝，修成蓄水后两年，于 1928 年被冲垮。原因是坝基部分存在泥质胶结，并含有石膏脉的砾岩，遇水受溶蚀崩解，成为坝基岩体的软弱部位。如果做好地质工作，查清隐患，工程地质问题是能够予以妥善处理的。

例 2 意大利瓦依昂水库总库容 1.69 亿立方米，坝高 265.5m，为混凝土双曲拱坝。水库左岸为潜在滑移区，施工中已发现岸坡不稳定，并做过一些稳定性研究工作，发现有蠕变现象，蓄水后又出现了局部崩塌，滑坡征兆明显。但研究人员认识不足，而且作了错误的判断，未能及时采取有效对策和措施。水库蓄水三年后的 1963 年 10 月，左岸 2.7 亿~3.0 亿立方米岩体突然下滑，巨大的滑体速度极快，冲力极大，落入水库激起的涌浪，超过坝顶 100m，水流溢过坝面一泻而下，冲毁了下游的 5 个村镇，死亡近 3000 人，酿成了震惊世界的地质灾害。水库被滑坡体填满，成为石库，水库完全失效报废，举世最高的混凝土拱坝则屹立无恙。究其原因还是由于工程地质工作没有做好。

0.2 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，归纳起来主要概括为几个方面。

(1) 岩土工程性质的研究 地球上任何建筑物均离不开岩土，无论是分析工程地质条

件,还是评价工程地质问题,首先要对岩土的工程性质进行研究。研究内容包括岩土的工程地质性质及其形成变化规律,各项参数的测试技术和方法,岩土体的类型和分布规律,以及对其不良性质进行改善等。有关这方面的研究,是由工程地质学的分支学科工程岩土学来进行的。

(2) 工程动力地质作用的研究 地壳表层由于受到各种自然营力,包括地球内力和外力作用,还有人类的工程-经济活动,影响建筑物的稳定和正常使用。这种对工程建筑有影响的地质作用,即工程动力地质作用。习惯上将由于自然营力引起的各种地质现象叫做物理地质现象,由于人类工程-经济活动引起的地质现象叫做工程地质现象。研究工程动力地质作用(现象)的形成机制、规模、分布、发展演化的规律,所产生的有关工程地质问题,对它们进行定性和定量的评价,以及有效地进行防治、改造,是工程地质学的另一分支学科工程动力地质学的研究内容。

(3) 工程地质勘察理论和技术方法的研究 为了查明建筑场区的工程地质条件,论证工程地质问题,正确地作出工程地质评价,以提供建筑物设计、施工和使用所需的地质资料,就需进行工程地质勘察。不同类型、结构和规模的建筑物,对工程地质条件的要求以及所产生的工程地质问题各不相同,因而勘察方法的选择、工作的布置原则以及工作量的使用也不相同。为了保证各类建筑物的安全和正常使用,首先必须详细而深入地研究可能产生的工程地质问题,在此基础上安排勘察工作。应制订适用于不同类型工程建筑的各种勘察规范或工作手册,作为勘察工作的指南,以保证工程地质勘察的质量和精度。有关这方面的研究,是由专门工程地质学这一分支学科来进行的。

(4) 区域工程地质的研究 不同地域由于自然地质条件不同,因而工程地质条件各异。认识并掌握广大地域工程地质条件的形成和分布规律,预测这些条件在人类工程-经济活动影响下的变化规律,并按工程地质条件进行区划,做出工程地质区划图,就是区域工程地质研究的内容。区域工程地质学即为这方面研究的分支学科。

可见,工程地质学是一门应用性很强的学科。它在工程建设中的地位十分重要,服务对象非常广泛,所研究的内容十分丰富。

0.3 工程地质学的研究方法及其与其它学科的关系

0.3.1 研究方法

工程地质学的研究方法是与它的研究内容相适应的,主要有自然历史分析法、数学力学分析法、模型模拟试验法和工程地质类比法等。

0.3.1.1 自然历史分析法

自然历史分析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,是在自然地质历史过程中形成的,而且随着所处条件的变化,还在不断地发展演化着。所以对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。只有这样,才能真正查明所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,要从形态研究入手,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。从空间分布和时间序列上揭示其内在

的规律；预测其在人类工程-经济活动下的变化，为深入进行斜坡稳定性工程地质评价奠定基础。

又如研究坝基抗滑稳定性问题时，首先必须查明坝基岩体的地层岩性特点、地质结构及地下水活动条件，尤其要注意研究软弱泥化夹层的存在和岩体中其它各种破裂结构面的分布及其组合关系，找出可能的滑移面和切割面以及它们与工程作用力的关系，研究滑移面的工程地质习性，以作为进一步研究坝基抗滑稳定的基础。

然而，仅有地质学的方法是不能完全满足工程地质评价的要求的，因为它终究属于定性研究的范畴。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。数学力学分析法、模型模拟试验法即定量研究的方法。

0.3.1.2 数学力学分析法

数学力学分析法是在自然历史分析的基础上开展的。对某一工程地质问题或工程动力地质现象，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，求出该面上的稳定性系数，作为定量评价的依据。为了搞清边界条件和合理地选用各项计算参数，就需要进行工程地质勘探、试验，有时需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。

由于自然地质条件比较复杂，在计算时常需要把条件适当简化，并将空间问题简化为平面问题来处理。一般的情况是，先建立地质模型，随后抽象为力学、数学模型，代入各项计算参数进行计算。当前由于现代计算技术的发展，各种数学、力学计算模型愈来愈多地运用于工程地质领域中。

0.3.1.3 模型模拟试验法

模型模拟试验法在工程地质研究中也常被采用，它可以帮助我们探索自然地质作用的规律，揭示工程动力地质作用或工程地质问题产生的力学机制、发展演化的全过程，以便我们作出正确的工程地质评价。有些自然规律或建筑物与地质环境相互作用的关系可以用简单的数学表达式来表示；而有些数学表达式则十分复杂而难解，甚至因不易发现其作用的规律而无法用数学表达式来表示，此时，模型模拟试验就十分有效。

进行模型模拟试验必须要有理论作指导，除了工程力学、岩体力学、土力学、水力学、地下水动力学等理论外，还必须遵循量纲原理和相似原理。

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，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。若用电网络法进行这种试验，则属于模拟试验，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，而本质则根本不同。

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、斜坡稳定性、地基稳定性、水工建筑物抗滑稳定性以及地下洞室围岩稳定性等试验。常用的模拟试验有光测弹性和光测塑性模拟试验以及模拟地下水渗流的电网络模拟试验等。

0.3.1.4 工程地质类比法

工程地质类比法是另一种常用的工程地质研究方法，可用于定性评价，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大致相同的拟建的同类建筑物中去。显然，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都应大致相同或近似。它往往受研究者的经验所限制。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。在斜坡稳定性评价中, 目前常用的“标准边坡数据法”即属此法。

上述四种研究方法各有特点, 应互为补充, 综合应用。其中自然历史分析法是最重要和最根本的研究方法, 是其它研究方法的基础。

0.3.2 工程地质学与其它学科的关系

由上述可知, 工程地质学所涉及的知识范围是很广泛的, 它必须有许多学科的知识作为理论基础。

地质学的分支学科, 如动力地质学、矿物学、岩石学、构造地质学、地史学、第四纪地质学、地貌学和水文地质学等, 都与工程地质学关系密切。工程地质研究没有上述各学科的知识, 是无法进行的。在工程地质研究中, 各地质学分支学科的理论和方法常为之应用。但是, 工程地质学是为工程建设服务的, 其研究目的性非常明确, 所以在研究的目的和方法上与地质学的其它分支学科有所不同。例如, 动力地质作用是动力地质学和工程地质学研究的对象, 但前者主要是定性研究其形态、分布、产生条件等, 而后者不但要进行定性的研究, 而且还要更深入地研究其形成机制, 定量地研究其发生、发展演化的规律和对工程建筑物的影响程度以及有效的防治措施等。

为定量评价工程地质问题, 工程地质学需要以数学和力学知识作为它的基础。所以, 高等数学、应用数学、工程力学、弹性力学、土力学和岩体力学等都与工程地质学有着十分密切的关系。工程地质学中的大量计算问题, 实际上也是土力学和岩体力学中所研究的课题。在广义的工程地质概念中, 多将土力学和岩体力学包含进去。土力学和岩体力学从力学的观点研究土体和岩体工程地质问题, 属于力学分支学科。

工程地质学还以物理学、普通化学、物理化学和胶体化学等基础学科作为自己的基础。此外, 工程地质学还与工程建筑学、环境学、生态学及其它应用技术学科有密切的联系。

0.4 工程地质学的发展

0.4.1 工程地质学的发展

中国古代许多巨大的工程建设, 初步具有一些工程地质的知识和经验。例如, 公元前 250 年修建的四川都江堰分水灌溉工程, 地形的利用十分巧妙, 并能按照河流侵蚀堆积的规律制定“深淘滩、低作堰”的治理法则, 又使用当时最先进的技术方法, 针对岩体结构特征, 开凿出了宝瓶口输水渠段, 引岷江水灌溉川西平原, 造福人民。公元前 200 多年在广西兴安县修建的灵渠, 沟通了湘江和漓江, 是连接长江和珠江的跨流域工程, 2000 多年以来航运不断, 这一工程在地质地貌的利用方面符合工程地质原理。长城选择了山脊分水岭, 利用坚硬岩石作为地基, 既雄伟又稳固。大运河线路选择别具匠心, 把江河湖泊和平原洼地连接起来, 减少挖方量, 水体沟通, 成为贯穿南北的大动脉。古代许多桥梁、宫殿、庙宇、楼阁、院塔的修建, 更是考虑到地震和地下水的问题, 选定了良好的地基, 进行了合适的加固处理, 采用了各种坚固美观的石料, 使这些建筑物坚实稳定, 历经千百年而依然屹立。

在国际上, 工程地质学作为地质学的分支学科, 独立形成为一门学科, 仅有 70 多年的历史, 因而它颇为年轻。

20 世纪 30 年代初, 前苏联开展了大规模的国民经济建设, 促进了地质学与建筑工程科学的相互渗透, 工程地质学作为一门独立学科由此而萌生。1932 年在莫斯科地质勘探学院成立了由 Ф·П·萨瓦连斯基领导的工程地质教研室, 培养工程地质专业人才, 并奠定了工

程地质学的理论基础。与此同时,在欧美国家中,工程地质工作也有所开展,但它是附属于土木建筑工程中的,并未形成独立完整的科学体系。他们主要从事一般地质构造和地质作用与工程建设关系的研究。有关岩土工程地质性质和力学问题的研究则是由土力学和岩体力学来进行的。

工程地质学经过不断的发展,学科体系逐渐完善,已形成为有多个分支学科的综合性的学科。

在中国,丁文江先生于20世纪20年代进行过天然建筑材料的地质调查。尔后,李学清先生曾先后作过长江三峡和四川龙溪河坝址地质调查。30年代开展了川滇、滇缅、宝天、甘新线等公路和铁路建设的地质调查。林文英先生发表的《公路地质学之初步研究》、《中国公路地质概论》初步反映了这方面的工作经验。40年代中后期,水利工程地质调查有所开展,进行了岷江、大渡河、黄河及其它江河的规划考察,并对广东翁江、台湾大甲溪电站进行了工程地质调查。1946年在南京地质调查所成立了工程地质研究室。大学地质系只为土木工程专业学生讲授工程地质学,内容上基本为普通地质学加上少量与工程有关的地质知识。当时还有一部分人从土工方向出发,应用土力学和地基基础的知识,为房屋、铁路、水利等建筑工程进行勘测、地基基础设计与施工的工作。

中国的工程地质学是在解放以后才发展起来的,经历了从无到有、从小到大、从所知甚少到内容丰富多彩,独具特色,达到国际先进的过程。发展的动力在于国家的大规模经济建设。五十多年来,我国各项工程建设得以顺利进行,与工程地质工作密不可分。

解放初期,大量工厂、矿山、铁路、水利建设,根据前苏联经验,需要进行地质勘察,很多老地质学者投入了这方面的工作。1952年地质部成立,设立水文地质工程地质局。水利水电、铁道、建筑、冶金、机械等部门也相继设立了工程地质处或勘测队。

1952年成立的北京地质学院和长春地质学院设有水文地质工程地质专业,1956年成立的成都地质学院也设立水文地质工程地质专业。南京大学地质系、同济大学等高等学校也培养工程地质人才。

科研机构相继成立,1956年地质部设立了水文地质工程地质研究所,中国科学院地质研究所也设立了水文地质工程地质研究室,许多工程部门的科学研究院也相继设立了工程地质研究室或土工组。

生产、教学、科研相结合,团结一致,推动着中国工程地质事业的发展。1979年在苏州召开了首届全国工程地质大会,成立了中国地质学会工程地质专业委员会。后来又成立了国际工程地质学会中国国家小组,对工程地质的发展起了重要的推动作用。

0.4.2 我国工程地质学的成就

我国广大的工程地质工作者艰苦奋斗,努力攻关,为工程地质学的发展作出了巨大的贡献,同时也在实践中积累了丰富的经验,取得了大量的成果,创造了具有中国特色的工程地质学。

解放后,在一系列国家重要工程建设中,工程地质均发挥了重要作用。诸如治理淮河和海河的系列工程;长江、黄河、珠江、黑龙江四大流域的水利水电开发;宝成、成昆、襄渝、湘黔、兰新等铁道干线的建设;武汉长江大桥、南京长江大桥和黄河大桥的修建;鞍钢、武钢、攀钢、金川、白银等矿山开采,以及石油、煤炭基地的建设;港口和海岸工程、国防及尖端技术工程建设,以及攀枝花、嘉峪关、白银、三门峡、金昌、大庆等新兴城市和大量城市的扩建、改建等。

改革开放以来,工程建设的规模和数量不断扩大,工程地质的作用更为明显,如龙羊峡、乌江渡、鲁布格、天生桥、五强溪、二滩、三峡等水利水电工程;秦山、大亚湾核电