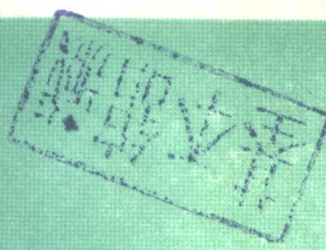


893842

高等学校教材

工程地质学



河海大学 陆兆溱 主编



水利电力出版社

高等学校教材

工程地质学

河海大学 陆兆溱 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是根据水利电力类高等学校工程地质及水文地质专业的课程
设置和教学要求编写的。全书分三篇，共十三章。主要内容：第一篇
为岩体的工程地质研究，包括岩体结构、软弱岩石、地应力的工程地
质研究；第二篇为水利电力工程建设中的工程地质问题，包括区域稳
定性、坝基、边坡、地下洞室围岩的稳定性，岩溶及岩溶区的工程地
质问题、与地表水有关的工程地质问题；第三篇为水利电力工程地质
勘察。

本书适用于水利电力类高校工程地质及水文地质专业，也可供建
工、冶金、地质、煤炭类高校相同专业的师生和勘察、设计、施工部
门的工程技术人员参考。

高等学校教材

工 程 地 质 学

河海大学 陆兆溱 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 27.25印张 619千字

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—1910册 定价4.55元

ISBN 7-120-00627-4/TV·209

前 言

工程地质学是研究人类工程建设活动与地质环境相互作用和相互影响的一门应用地质科学，它的基本任务是：调查研究工程建设地区的工程地质条件；评价、分析和预测工程区自然地质作用和工程地质作用的发生、发展规律和力学机制；研究由于工程地质条件改变而对工程建筑产生危害的工程地质问题并提出防治措施；选择优良、合理的工程建筑场地和研究自然地质环境的保护及治理。工程地质学涉及的内容甚广。考虑到水利电力类高校工程地质及水文地质专业的教学特点，本书分三篇共十三章。第一篇为岩土体工程地质研究，第二篇为水利电力建设中的工程地质问题，第三篇为水利电力工程地质勘测。第一篇本应包括论述土体工程地质研究的内容一章，由于现行教学计划，该内容已在土质学及土力学课程中作了介绍，故本教材中未编入。在教材内容的取舍上亦同时考虑了土木建筑、地质、矿冶类高校同类专业学习工程地质学的需要。

本教材由河海大学工程地质教研室陆兆溱主编。绪论、第一、二、三、六、十章，第四章第一、二、四节由陆兆溱编写；第四章第三节由黄大明编写；第五、八章，第十三章第一、二、三节由周天福编写；第七、九章，第十三章第四～八节由吕庆安编写；第十一、十二章由马庆新编写。全书由成都地质学院孔德坊教授、水利电力部水利水电规划设计院朱建业高级工程师主审。在编写过程中，曾得到教研室其他同志的大力帮助；在审阅定稿过程中，孔德坊、朱建业提出了不少宝贵的修改意见；水利电力部昆明、中南、华东等勘测设计院、长江流域规划办公室提供了不少实际资料；图件由赵崇善描绘；特向他们深致谢意。本教材缺点和不足之处在所难免，希读者指正。

编 者

1986年·南京

目 录

前言

绪论 1

一、工程地质学的任务 二、工程地质学的分科、研究内容及研究方法 三、工程地质学的发展历史及趋向

参考文献 6

第一篇 岩体的工程地质研究

第一章 岩体结构的工程地质研究 7

第一节 概述 7

第二节 结构面的主要类型及其自然特征 9

一、结构面的成因类型 二、结构面的分级 三、结构面的自然特征及其定量描述方法

第三节 结构面的强度 16

一、无充填结构面的抗剪强度 二、有充填结构面的抗剪强度

第四节 岩体结构类型及岩体工程分类 22

参考文献 25

第二章 软弱岩石的工程地质研究 26

第一节 软弱岩石的涵义 26

第二节 软弱夹层的工程地质研究 26

一、软弱夹层的成因与分类 二、泥化夹层的基本特性 三、泥化夹层在长期渗水作用下的演变趋势 四、特定条件下泥化夹层的抗剪强度 五、软弱夹层抗剪强度的取值问题

第三节 风化岩石的工程地质研究 36

一、影响岩体风化的因素 二、风化壳的结构 三、岩体风化程度的工程地质研究 四、岩体风化速度的工程地质研究

第四节 构造岩的工程地质研究 47

一、构造岩的分类及其特征 二、构造岩的工程地质特性

参考文献 50

第三章 地应力的工程地质研究 51

第一节 地应力的种类 51

第二节 地应力场的分布和变化规律 52

第三节 地应力研究的工程意义 59

第四节 地应力工程地质研究的内容和方法 60

参考文献 62

第二篇 水利电力工程建设中的工程地质问题

第四章 区域稳定性问题 63

第一节 基本概念	63
第二节 活断层的工程地质研究	64
一、活断层的定义 二、活断层的鉴定标志 三、活断层的工程地质研究	70
第三节 地震的工程地质研究	70
一、地震基本概念 二、地震形成机制 三、地震震级与裂度 四、地震对建筑物的影响 五、地震导致的区域性砂土液化 六、影响场地强度的地质因素 七、地震的工程地质研究要点	88
第四节 水库地震	88
一、概述 二、水库地震的特征 三、诱发水库地震的工程地质条件 四、水库地震的成因 五、水库地震工程地质研究的基本内容	96
参考文献	96
第五章 坝基的稳定性问题	97
第一节 各种坝型对工程地质条件的要求	98
一、土石坝对工程地质条件的要求 二、重力坝对工程地质条件的要求 三、拱坝对工程地质条件的要求 四、支墩坝对工程地质条件的要求	101
第二节 坝基的压缩变形和承载力	101
一、松软土坝基的压缩变形分析 二、岩石坝基的压缩变形分析 三、坝基承载力的评价	107
第三节 坝基(肩)岩体的抗滑稳定性	107
一、坝基滑动破坏类型 二、坝基岩体滑动边界条件分析 三、影响坝基抗滑稳定性的因素 四、坝基岩体抗滑稳定计算 五、拱坝坝肩岩体稳定性分析 六、坝基岩体抗剪强度指标的确定	132
第四节 坝区渗漏与渗透稳定性	132
一、坝区渗漏条件的分析 二、坝区渗漏量的计算 三、坝基的渗透稳定性	144
第五节 坝基处理	144
一、清基 二、岩体的加固 三、防渗和排水 四、改变建筑物结构型式,以适应坝基的地质条件	149
参考文献	149
第六章 边坡稳定性的工程地质研究	151
第一节 概述	151
第二节 边坡的应力分布特征	153
一、边坡应力分布的一般特征 二、影响边坡岩体应力分布的主要因素	156
第三节 边坡变形破坏的基本类型	156
一、松弛张裂 二、崩塌 三、倾倒 四、蠕变(蠕变) 五、滑坡(滑动)	162
第四节 滑坡的工程地质特征	162
一、滑坡的形态特征 二、滑坡的分类	165
第五节 影响边坡稳定性的因素	165
一、岩土类型和性质的影响 二、地质构造和岩体结构的影响 三、水的作用的影响 四、地震作用的影响 五、工程荷载的影响	169
第六节 边坡稳定性的工程地质评价方法	169
一、地质分析法 二、极限平衡理论法计算边坡的稳定性 三、图解法 四、有限单元法分析边坡的稳定性 五、工程地质类比法	184
第七节 防治边坡变形破坏的工程措施	184
一、边坡变形破坏的防治原则 二、边坡变形破坏的防治措施	187
参考文献	187

第七章 地下洞室围岩稳定问题	188
第一节 地下洞室围岩应力重分布	189
第二节 地下洞室围岩的变形与破坏	193
第三节 与地下洞室围岩稳定有关的地质因素	199
一、岩石性质 二、地质构造 三、地应力 四、地下水	
第四节 围岩压力	204
一、围岩压力的形成 二、围岩压力的确定方法	
第五节 水工隧洞围岩的承载力	210
一、外部水压力 二、围岩的弹性抗力 三、高压隧洞的围岩承载力	
第六节 围岩工程地质分类	216
一、按围岩的强度或岩体力学属性的分类 二、按围岩稳定性的综合分类 三、按岩体质量等级的围岩分类	
第七节 改善地下洞室围岩稳定条件的措施	225
一、支护与衬砌 二、喷锚结构	
第八章 岩溶及岩溶区的工程地质问题	229
第一节 基本概念及研究意义	229
第二节 岩溶发育的基本条件和规律	229
一、岩溶发育的基本条件 二、岩溶发育的规律	
第三节 岩溶区的主要工程地质问题	246
一、岩溶渗漏问题 二、岩溶地基稳定性问题 三、岩溶区地下洞室的稳定性和突然涌水问题	
第四节 岩溶防渗处理	258
一、岩溶区水库坝址的选择 二、防渗处理措施	
参考文献	261
第九章 与地表水作用有关的工程地质问题	262
第一节 河流地质作用的工程地质研究	262
一、河流动力学特征 二、河床演变的基本规律 三、河床的稳定性和坝闸下游河床再造 四、河道整治的工程措施	
第二节 泥石流	276
一、概述 二、泥石流的类型划分 三、泥石流的发生条件与形成机制 四、泥石流特征指标的确定 五、泥石流的防治	
第三节 海(湖)岸带的动力工程地质研究	282
一、概述 二、海(湖)岸带上水的动力因素 三、海(湖)岸带物质运移及冲蚀、堆积的一般规律 四、影响海(湖)岸带演化的地质因素 五、海(湖)岸带岸坡及沿岸建筑物的防护	
第三篇 工程地质勘察	
第十章 工程地质勘察概论	291
第一节 工程地质勘察的任务	291
第二节 工程地质勘察方法及其相互关系	293
第三节 工程地质勘测各阶段的研究内容	295
第十一章 工程地质勘察方法	298
第一节 工程地质测绘	298

一、工程地质测绘的作用及特点	二、工程地质测绘准备工作和一般要求	三、工程地质测绘的主要内容	四、工程地质测绘范围、比例尺、精度	五、航片、卫片在工程地质测绘中的应用	
第二节	工程地质勘探				307
一、物探适用条件及其在工程地质勘察中的应用	二、钻探	三、山地勘探	四、勘探工程布置的一般原则		
第三节	工程地质野外试验及长期监测工作				326
一、野外测试的内容及意义	二、触探试验	三、十字板剪力试验	四、岩体抗剪强度、弹性模量试验	五、野外简易岩体强度试验	六、钻孔压水试验
七、灌浆试验	八、地质力学模型试验	九、工程地质长期监测			
第四节	工程地质勘察大纲的编写和内业整理				349
一、编写工程地质勘察大纲	二、勘测工作的优化研究	三、地质数据与岩土物理力学性质的数理统计	四、工程地质图	五、工程地质报告书	六、地质立体结构模型
第十二章	天然建筑材料的工程地质勘察				361
第一节	天然建筑材料产地选择原则及各设计阶段勘察要求				361
一、建筑材料产地选择原则	二、各设计阶段的勘察				
第二节	天然建筑材料的质量技术要求				362
一、砂料	二、卵石石料	三、块石料	四、土料	五、人工砂	
第三节	储量计算				365
一、计算范围的确定	二、储量计算方法				
第十三章	水利电力工程地质勘察				367
第一节	各设计阶段工程地质勘察的要求				367
一、规划阶段的工程地质勘察要求	二、可行性研究阶段的工程地质勘察	三、初步设计阶段的工程地质勘察	四、技施设计阶段的工程地质勘察和施工地质工作		
第二节	水库区的工程地质勘察				372
一、水库渗漏的工程地质勘察	二、水库浸没的地质条件	三、水库浸没的工程地质勘察	四、库岸稳定性的工程地质勘察	五、水库淤积的工程地质勘察	
第三节	坝址工程地质勘察				389
一、规划阶段坝址工程地质勘察	二、可行性研究阶段的坝址工程地质勘察	三、技施设计阶段的坝址工程地质勘察和施工地质工作			
第四节	地下洞室的工程地质勘察				401
一、地下洞室工程地质勘察要点	二、地下洞室的施工地质工作				
第五节	溢洪道的工程地质勘察				405
一、溢洪道的工程地质问题	二、溢洪道的工程地质勘察				
第六节	渠道的工程地质勘察				407
一、渠道的工程地质问题	二、渠道的工程地质勘察				
第七节	道路与桥梁的工程地质勘察				410
一、道路的工程地质勘察要点	二、桥梁建筑的工程地质勘察				
第八节	工业与民用建筑物的工程地质勘察				412
一、地基的强度	二、地基的变形	三、高层建筑物的工程地质问题	四、火力发电厂厂区工程地质勘察要点	五、变电所(站)址工程地质勘察	六、高压输电线路的工程地质勘察
参考文献					428

绪 论

一、工程地质学的任务

工程地质学是研究人类工程建设活动与自然地质环境相互作用和相互影响的一门地质科学，它以地学学科的理论为基础，应用数学、力学的知识与成就和工程学科的技术与方法来解决与工程规划、设计、施工和运营有关的地质问题。

地质环境对工程建设场地的选择和建筑物结构类型及施工方法的确定起着决定性的影响。水利水电工程坝址、坝型及其他水工建筑物类型的选择；铁路、桥梁、隧道的选线和施工；软土地基上修建高层建筑地基基础方案的确定等等，无一不与工程建设地区的地质环境有着密切的关系。例如，在坚硬岩基上，常可采用重力坝或重力拱坝方案；在河流两岸岩性坚硬均一，弹性模量高，则可采用拱坝方案；但在坚硬岩基上如当地建筑土石料来源丰富，亦可采用土石坝方案。在软岩或松软土基上，则常采用柔性的土石坝。在淤泥质软基上修建高层建筑，则常采用桩基或人工加固地基，或者采用对不均匀沉降适应性较大的箱式基础及在建筑结构上采用工程加固措施等。地质环境不良，一方面可能因需要采取地基处理措施而提高工程的造价，另一方面可能会影响工程建筑的稳定、安全和正常使用。世界上大坝破坏和失事的事例中，至少有一半是由地质条件不良而引起的。据国际工程地质协会1979年9月在苏联第比利斯举行的水工建设工程地质国际讨论会发表的论文，在世界上所有大坝的破坏事例中，30%起因于地基岩石，28%归结于内部侵蚀和管涌，34%是洪水漫坝造成的，其余8%破坏原因未确定。显然，前两者都与地质条件有关。洪水漫坝造成土坝或混凝土坝的破坏，地质虽然不是一个主要因素，但在非常洪水并且地质条件不良的情况下，地质条件就会发生作用。在美国收集的大坝破坏和事故的资料表明，约60%的事故在某些方面都与地质条件有关。

对“地质环境”这个术语，目下仍存在着不同的理解。显然，地质环境是环境的组成部分之一，与岩石圈、水圈以及大气圈、生物圈都有关系。环境的概念起源于人类的生存与活动，因此，地质环境也与人类的生存与活动有关。这样，地质环境广泛的涵义可理解为人类生存与活动进程中的地壳表部，特别与岩石圈的上部和水圈有紧密联系。在工程地质学中对人类工程活动的地质环境常用工程地质条件来描述。工程地质条件是一个综合性概念，可理解为与工程建筑有关的地质条件的总称。一般认为，它包括工程建设地区的岩土工程地质性质、地形地貌、地质构造、水文地质条件、物理地质现象、地质物理环境（地应力及地热等）、天然建筑材料等七个方面的因素。在不同地区、不同工程类型、不同设计阶段解决不同问题时，上述各方面的重要性并不是等同的，而是有主有次。其中岩石的工程地质性质和地质构造往往起主导作用。但在某些情况下，地形地貌或水文地质条件也可能是首要因素。工程地质条件所包括的各方面因素是相互联系、相互制约的。因此，在解决工程建设中的地质问题时，应该对各方面因素综合分析论证。

物理地质现象或称自然地质现象是指由内外动力地质作用在地壳表层引起的一系列地质现象,例如滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、地震、岩体风化、冲沟等现象;而由于人类工程活动所产生的地质条件的变化,引起的地质现象,则称为工程地质作用或现象。这些现象对工程建筑物的稳定、安全、经济和正常使用影响很大。因此,常列为工程地质条件的一个重要因素。实际上,当物理地质现象造成大规模的或区域性的岩土体失稳或破坏而对工程建筑物造成严重的威胁时,工程地区的物理地质现象已不仅属于“条件”,而应作为工程地质问题来研究。

人类工程活动和自然地质作用会改变地质环境,影响工程地质条件的变化。当工程地质条件不能满足工程建筑上稳定、安全的要求时,亦即工程地质条件与工程建筑之间存在矛盾时,就称为存在工程地质问题。工程地质问题与工程建筑的类型和规模有着密切的关系。各类工程建筑,由于其结构类型和工作方式不同,存在着各种各样的工程地质问题。工业与民用建筑常遇到的工程地质问题是地基的变形、强度和稳定问题;铁路、道路工程常遇到的有路基边坡、隧洞围岩和桥墩桥台的稳定问题、道路的冻胀问题;地下建筑工程常遇到的是围岩稳定、涌水及影响建筑施工的高地应力、高地热和有害气体问题、岩爆问题;海港工程常遇到的有码头地基、岸坡的稳定、海浪侵蚀及回淤问题;矿山工程常遇到露天矿边帮及地下巷道的稳定及涌水、采矿引起地面塌陷问题;而水利电力工程的工程地质问题则更为复杂多样,除与其他工程相类似的区域地壳稳定、坝基、边坡和地下洞室岩土体的稳定问题外,还有库坝区渗漏、水库库岸稳定、水库淤积、滨库地区浸没、水库诱发地震等问题;在特种土地区如红土、黄土、淤泥、膨胀土等同样会遇到特殊的工程地质问题。由于大量抽取地下水、石油及天然气而造成大范围地面沉降,放射性能源的应用而存在核废料的储存,采矿而产生的废矿渣的处理等则属于环境工程地质问题。

综上所述,工程地质学的基本任务有:

- (1) 评价工程建设地区的工程地质条件。
- (2) 预测和分析工程建设过程中及完成后工程地质条件可能产生的变化,亦即可能出现的工程地质问题。
- (3) 选择最佳工程场地和克服不良现象应采取的工程措施,包括环境的保护与利用和地基处理等问题。
- (4) 提供工程规划、设计、施工所需的工程地质资料。

二、工程地质学的分科、研究内容及研究方法

工程地质学可分为工程岩土学、工程动力地质学(工程地质问题分析)、工程地质勘测和区域工程地质学四门分支学科:

1. 工程岩土学

工程岩土学是研究岩体和土体的工程地质性质及其形成和变化规律以及改善这些性质的科学。岩土的工程地质性质包括岩土物理力学性质和与水渗透有关的性质,它们主要取决于岩土的物理成分和结构构造。因此,工程岩土学研究岩土的工程地质性质除采用专门的试验方法(取样试验和原位试验)外,还必须采用地质学的自然历史分析法,研究在漫长地质历史中,在内、外动力地质作用下形成的岩土地质特征,并预测其变化和发展。

工程岩土学在苏联等国家称为土质学，重点是研究土的物质组成、结构构造、成因类型及工程地质性质。在美洲、西欧、澳洲等国家则将其研究内容包括在岩土工程学中或者分散在土力学和岩石力学中讨论；岩石力学奥地利学派（地质力学学派）则主张工程地质与岩石力学密切结合来研究岩体的工程地质性状。考虑到水利水电类工程地质及水文地质专业现行教学计划设置有土质学及土力学课程，因此在本教材第一篇重点探讨岩体的工程地质特征，而土体的工程地质特征部分即未编入。

2. 工程动力地质学

工程动力地质学或称为工程地质问题分析，主要研究各种工程地质问题产生的地质条件、力学机制和发展演化规律；结合工程规划、设计、施工的要求进行正确评价，并提出防治措施。工程动力地质学实质上是结合工程建筑的特点来研究自然地质作用和工程地质作用，并由此产生的工程地质问题。前已提到过物理地质现象是工程地质条件之一，当与工程建设结合评价时，便构成工程地质问题。本教材第二篇主要讨论水利电力建设中经常遇到的工程地质问题，并对于滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、地震、河流侵蚀、海岸剥蚀等物理地质作用的发生、发展规律及工程地质评价亦作了论述。

3. 工程地质勘察

工程地质勘察是运用地质学、岩土力学、工程地质学的理论，按照科学的勘察程序与方法，利用有效的测试仪器和技术，调查工程地质条件，评价存在的工程地质问题，为工程的规划、设计、施工和运营提供地质资料。本教材第三篇主要讨论这方面的内容，重点是结合水利水电工程地质勘察。

4. 区域工程地质学

区域工程地质学研究区域性工程地质条件形成的特点和规律，预报这些条件在人类活动影响下的变化，评价区域稳定性，阐述工程地质分区和编制区域工程地质图的原则，为国民经济建设规划及环境的开发、利用和保护提供依据。我国小比例尺的区域工程地质图曾由谷德振、刘国昌等编制过，大、中比例尺的区域工程地质图、城市环境及山区环境工程地质图正在陆续编制中。

从上述工程地质学的研究内容来看，工程地质学是属于应用地质科学的范畴，与许多学科有密切的联系，其中与岩石力学、土力学和水文地质学的关系特别密切。工程地质学的基础理论课有动力地质学、矿物学、岩石学、构造地质学、地史及古生物学、地貌学及第四纪地质学等，并与应用地球物理、遥感遥测学、基础工程学等工程技术学科有密切联系。因此，可以认为工程地质学是一门介于地质学与土木建筑、水利工程学之间的一门边缘科学。

工程地质学的研究方法除自然历史分析法（地质学方法）外，近20年来，应用数学、力学方法，建立了岩土体的工程地质力学模型，提出了各种计算程序，线性和非线性有限元法、边界元法等也在工程地质、岩体力学中得到广泛的应用。但必须指出，理论计算并不能代替工程地质学的其他研究方法；理论计算只是工程地质分析的一种手段，模型试验及实验室研究则是另一种手段。此外，还有很重要的现场试验及原位测试方法和地质分析及经验判断方法。这些方法紧密结合在一起，才是工程地质学研究方法的全部。

三、工程地质学的发展历史及趋向

工程地质学是一门比较年轻的科学,是随着大规模的工程建设的发展才逐渐形成的一门独立的学科。在欧、美、澳洲、日本等国家中,早先常将工程地质学或地质工程学作为土木建设事业中进行地质调查和研究的一个分科,属于岩土工程学的范畴。在苏联,形成独立的工程地质学科时间较早,早期的著作如Ф.П.萨瓦林斯基(Саваренский)的《工程地质学》(1939年)、И.В.波波夫(Попов)的《工程地质学》(1951年)、В.А.普里克隆斯基(Приклонский)的《土质学》(1949年)等,将工程地质学作为地质学的一个分科,但偏重于地质背景和区域稳定性分析,主要是利用地质学方法分析动力地质现象,一般性的论述和定性分析多于具体的定量分析,地质条件的论述与工程建筑的设计、施工和运营结合得不紧密。中国的工程地质学,在解放前只是处于萌芽状态,一些地质学家如丁文江、李学清、林文英等人,先后曾结合建筑材料、长江三峡、滇缅、川滇公路、宝成铁路等进行了地质调查。1946年在中央地质调查所曾设有工程地质室,但仅有三四个工作人员,未承担生产实践任务。较早的工程地质著作是孙鼎著《工程地质学》(1946年商务印书馆出版),仅是从建筑材料、煤及矿产的开采角度介绍了地质基础知识,并作为大学土木系学习地质学的一门课程。解放后,随着我国1953年开始的大规模经济建设,工程地质学才蓬勃地发展。1952年在北京、长春新建了两个地质学院及南京大学设立了水文地质工程地质专业;铁道、水利电力、冶金、城建等部门都先后设立了工程地质勘察的专门机构,在工程实践中逐渐形成了一支强大的工程地质勘察技术力量。

近20多年来,与其他地质学科一样,国内外工程地质学的研究领域日益扩大,工程地质学有了飞速的发展。工程建设的规模日益扩大,突出地表现为向海洋和地球深部进军,深埋隧洞、深采巷道和海底隧道不断出现。矿产的开采深度已超过千米;露天矿山边坡高度已达400~500m,甚至达800m;大坝的高度已超过300m,人造水库的库岸总长度已超过地球赤道的长度;高层建筑最高已达100层以上。海洋石油、天然气及矿产开采和海岸、近海工程建设,使海洋土层的沉积环境、地质特征、物理力学性质及海底地貌、地质构造的研究越来越受到重视。人类工程建设活动对自然地质环境的影响,环境保护、治理和开发利用的需要,促使工程地质学者为环境问题的研究挑起了重担。因此,工程地质的分支学科,除了形成较早的水利水电工程地质学、铁路工程地质学、区域工程地质学继续发展外,又逐渐形成了海洋工程地质、矿山工程地质、城市建设及建筑材料工程地质、环境工程地质、地震工程地质、地下建筑工程地质等新的分支学科。

与工程地质学科关系密切的国际学术组织有国际大坝委员会、国际土力学与基础工程学会(ISSMFE,成立于30年代)、国际岩石力学学会(ISRM,成立于1962年)、地科联所属国际工程地质协会(IAEG,成立于1964年)等。近20多年来都定期召开大会或分专题广泛开展了岩土工程与工程地质的学术讨论与交流,促进了各学科之间相互渗透和工程地质科学的进一步发展。1983年由国际土力学与基础工程学会、国际岩石力学学会、国际工程地质协会在比利时联合召开了一次年会,成立了这三个学术组织的常设协调秘书处,它标志着工程地质学、岩石力学和土力学与基础工程这三门学科将进入共同协作、相互渗透的新阶段。工程地质学发展的总趋向是:在工程设计、施工、运营各阶段,工程地质将与

岩土力学、岩土工程更密切的结合；在研究不同类型建筑物的工程地质条件和选择工程设计、施工中所需要的地质参数时，将与数学、力学、应用地球物理及遥感遥测技术等相结合；在进行工程环境的综合评价及研究地质环境的保护、利用和开发时，将与水文地质学相结合。

大型水利水电工程建设开始较早。国际大坝委员会 1951 年就设立了岩石力学分会，1957 年又建立了地下工程委员会。但当时高坝不多，没有引起对岩石力学与工程地质的足够重视。据统计，世界上超过 150m 以上的高坝，绝大多数是 60 年代后兴建的。其中著名的高坝有巴西、巴拉圭的伊泰普双支墩坝，高 190m，装机容量 1400 万 kW；苏联努列克土石坝，高 300m，罗贡土石坝，高 325m；苏联英古里拱坝，高 272m；意大利瓦伊昂拱坝，高 262m；瑞士大狄克桑斯重力坝，高 285m；加拿大马尼克五级连拱坝，高 214m 等。近 20 多年来，国际上出现了多起由于地质原因而引起大坝破坏事故：1959 年法国玛尔帕塞坝，高 66.5m，因左岸坝肩岩体受挤压破裂而导致坝体突然崩溃，死亡 325 人；1963 年 10 月 9 日意大利瓦伊昂水库因库区大滑坡引起 200 多 m 高的涌浪越坝而过，造成下游朗加镇全毁，死亡近 3000 人；1963 年 12 月 14 日美国鲍德温山 (Baldwin Hills) 水库因库、坝区断层的沉陷与挤压，引起水库失事；1976 年 6 月 5 日美国提堂 (Teton) 坝，高 93m (碾压土坝)，因细粒土料的管涌，从坝心墙进入坝基张开裂隙，而引起土坝溃决。这些事例引起了工程学术界的极大的震惊，因而对工程地质、岩石力学的研究日益受到重视。

我国水能资源极为丰富，占世界首位。从解放以来，建设了一大批大型及中小型电站。到 1983 年装机容量已达 2300 万 kW，但仅占全国总蕴藏量的 5%。为了实现本世纪末全国工农业年产总值翻两番的宏伟目标，在长江中上游、黄河中上游、珠江水系、湖南水系、雅砻江、大渡河、乌江、澜沧江、浙赣闽等地区将修建一大批大型水电站 (约 3000 万 kW 以上)；南水北调、引黄灌晋等跨流域的大型水利工程将提上日程；长江三角洲、珠江三角洲、京津唐、大西北工业基地的建设、南海、渤海石油的开发；新型的、技术难度大的工程建筑物，如核电站、抽水蓄能电站、工业污物地下存放工程、海底隧道、跨海大桥、地下储气和高压蓄能工程、雅砻江和金沙江大河湾引水发电的深埋长隧洞工程、松软含水地层上上海地下铁道、冀东铁矿等的建设，将带来一系列复杂的工程地质问题。为了降低工程造价，缩短建设周期，选择最优方案，以便快速、优质地完成工程的前期工作，工程地质勘察和研究在国民经济建设中的地位将日益受到重视。

我国今后工程地质学需要研究的课题和发展方向主要有：

(1) 复杂地基上高坝和高层建筑物的稳定问题研究。高坝高度如拟建的二滩水电站，双曲拱坝高度达 245m；在可行性设计阶段的澜沧江小湾水电站，如采用混凝土拱坝，坝高可达 300m 左右。因此，拱坝坝肩的稳定分析，今后将是一个重要课题。随着城市建设的发展，40 层以上的超高层建筑将不断出现，基底压力可达 0.7~0.8MPa 以上，桩基和人工地基的稳定问题亦将是一个重要课题。

(2) 高边坡岩土体的稳定分析。水工边坡还需要预测和研究在施工期、水库蓄水过程中和建成后的水库库岸边坡的滑动机制、时间和速度等问题。

(3) 巨型地下洞室围岩稳定分析。我国已建的地下厂房最大跨度已达 31m (刘家峡

水电站), 边墙高60m, 今后将进行大跨度、高边墙和深埋的地下洞室稳定的课题研究。

(4) 研究岩体稳定分析中边界条件, 包括各种类型岩土体结构面的定性、定量分析和计算参数的正确选取方法。

(5) 工程建设与环境保护、资源开发利用相结合, 研究环境工程地质问题, 预测各种类型的地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流等)。

(6) 区域地壳稳定性研究。编制经济开发地区的大比例尺区域工程地质图, 开展地震工程地质和预测水库诱发地震研究。

(7) 研究地质物理环境(高地应力、高地热、地下水等)对岩土体力学性质及岩土工程施工的影响, 岩土体的工程地质分类综合评价。

(8) 不均匀各向异性裂隙岩体中地下水渗流的研究。

(9) 深厚覆盖层上建坝、松软含水地层上地下洞室、边坡、地基稳定的研究。

(10) 研究岩溶(喀斯特)地区岩溶发育规律及防渗处理问题。

(11) 综合勘测手段和原位测试技术的应用研究。要提高勘察速度和定量化, 必须应用水文地质工程地质物探、遥感遥测技术及现场原位测试及轻便仪器。

(12) 开展地质力学模型试验研究。

参 考 文 献

- [1] 谷德振, 中国工程地质学的发展, 水文地质工程地质, 1982年第4期, 地质出版社。
- [2] 王思敬, 国际工程地质学的进展, 第四届国际工程地质大会综述, 水文地质工程地质, 1983年第3期, 地质出版社。

第一篇 岩体的工程地质研究

第一章 岩体结构的工程地质研究

第一节 概 述

任何工程建设,包括水利工程、铁路、公路、矿山开发、工业与民用建筑、港口码头工程等,都是建筑在地表或地壳浅部,以岩土体作为地基或者作为修建环境。因此,工程地质学在研究工程建筑物与地质环境相互作用、相互影响而产生的一系列工程地质问题时,首先涉及的是岩体和土体的工程地质性质。由于工程建筑所跨地区的自然条件和地质环境不同,有的是山区,有的是平原或滨海地区,有的是地质构造活动区,有的是稳定的地块,使工程地质条件复杂化,加上各类工程建筑物的设计和施工具有不同的特点,不同的要求,因此所遇到的工程地质问题往往是多种多样的。但概括起来主要是二大问题,一是地质体或岩体、土体的稳定问题;二是地下水渗流的危害问题。在水利工程中,前一类常遇到的有区域稳定性问题,坝基边坡和地下洞室围岩的稳定性问题等;后一类常遇到的有坝基或库区的渗漏问题、基坑及地下工程的涌水问题等。

前已述及,工程地质条件是与工程建筑有关的地质条件的总称。在查明工程地质条件过程中,岩土工程地质性质的研究是涉及面最广泛也是最重要的一个方面。岩土的工程地质性质是一个涵义比较广泛的术语,它主要包括表征岩土在外力作用下表现的力学性质及与水的渗透有关的性质,如渗透性、吸水性、软化性等;还包括在漫长地质历史中,在内、外动力地质作用下形成的地质特征。而岩土的地质特征,如岩土的物质成分、组织结构、成因类型和岩性岩相变化特征等,又是影响岩土物理力学性质和水理性质的决定因素。

岩体与土体,简称岩土,既存在多方面的共性和密切的联系,又存在明显的不同。它们主要以组成的物质成分颗粒间有无存在坚固联结而区别。但从动力地质学的观点来说,土在经过成岩作用和在地壳深部的高温高压环境中能够固结为岩石,而岩石在经过地壳风化作用和外动力的搬运和沉积后,又可成为土。某些岩土例如我国新老第三纪的红色岩系、固结较差的粘土岩、页岩以及变质岩中的云母片岩、绿泥片岩等,其颗粒间联系弱,强度低,弹模量小,属半坚硬岩石,有时很难确切区分它们是属于岩石还是属于土;同一种类型岩石,例如火山岩中某些凝灰岩以及构造岩等,由于物质成分、胶结程度不同;有的坚硬胶结或熔结,有的疏松,其工程地质性质也有很大的差别,其过渡类型,也很难确切区分为岩石或土。因此,不论是岩体或土体,在研究其工程地质性质及其形成和变化规律时,常从工程地质的观点来研究岩土的地质特征着手,进而探讨岩土在外力作用

下的变形和破坏规律以及与水有关的性质,并提出如何改善这些性质的方法和措施。

土的工程地质性质,已在土质学和土力学有关学科中作了较为详细的叙述。岩石的物理力学性质的部分内容已在岩石力学课程中作过介绍。本章主要讨论岩体的地质特征及其对工程地质性质的影响。

岩体是地质体的一部分,是自然历史的形成物,它位于一定的地质环境中。岩体是经历了地壳形成和形变二个历史阶段。因此,研究岩体时,不仅要研究岩体的现状,还要研究它的历史。要从分析和追溯岩体的形成过程中,结合当前的自然条件以及建筑物建成后对它的改造,预测岩土工程地质的变化趋向和速度。

岩体是非均质的、各向异性的不连续体。在一些文献中常把岩体称为裂隙岩体。在岩体中力学强度较低的部位或岩性相对软弱的夹层,构成岩体的不连续面,亦称为结构面。结构面实际上是地质发展历史中,在岩体中形成具有一定方向、一定规模、一定形态和特性的地质界面。这些地质界面,可以是无任何充填的岩块间的刚性接触面,如劈理面、节理面、层面、片理面等;亦可以是具有充填物的裂隙面或明显存在上、下两个层面的软弱夹层;还可以是具有一定厚度(有的称宽度)的构造破碎带、接触破碎带、古风化壳等等。由一系列结构面依其自己的产状,彼此组合将岩体切割成形态不一、大小不等和成分各异的地块或岩块,统称为结构体。无论从实际存在出发,还是从形态来概括,岩体就是由结构面、结构体两个基本单元所组成的。岩体中的软弱结构面,常常成为影响岩体稳定的控制面。岩体的变形和破坏机制,主要受软弱结构面及其组合形式的控制。在不连续面附近往往导致应力集中;不同特性的地质界面的存在,导致弹性波在岩体传播过程中波速明显降低、波幅显著衰减的结果。图1-1是在一定围压条件下,新鲜完整的花岗岩块、裂隙发育的花岗岩体试件和断层破碎带试件的应力-应变示意图。

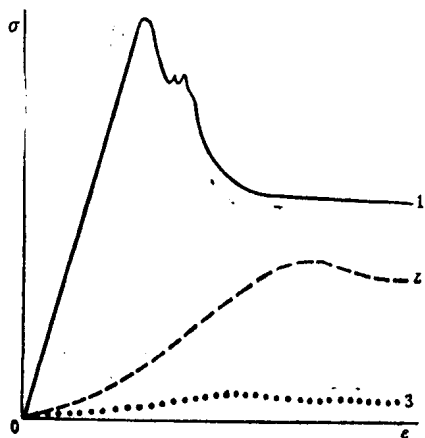


图 1-1 一定围压状态下岩块、岩体、断层破碎带试件的应力-应变示意图
1—花岗岩块; 2—裂隙发育的花岗岩体试件; 3—花岗岩体中断层破碎带试件

裂隙发育的花岗岩体试件和断裂破碎带试件的应力-应变示意图。从图1-1中可以看出,岩体的完整性亦即裂隙对其变形、破坏的影响是不容忽视的。岩块和岩体的强度、变形特征有很大差别,其内在结构有着本质的差异。岩体还具有以下的特点:岩体为一种多介质的裂隙体,主要由固相和液相两相介质所组成,裂隙水压力将改变岩体的变形与强度特征。岩体是一种流变体,在应力作用下,微观与宏观结构的滑移、位错、形变随时间而变化。岩体本身还存在着复杂的天然应力场。不仅存在着自重应力,而且还存在着构造应力。例如,由于构造运动和风化剥蚀作用引起的地应力,地球内应力引起的封闭应力等。

要明确岩块和岩体的区别,重视结构面或不连续面和岩体结构自然特征的研究,这是近二三十年来,通过无数工程实例成败的总结才认识到的。岩石是一个泛称的名词,涵义

比较笼统, 岩块或称岩石材料、石料, 其变形和强度性质取决于岩块本身的矿物成分和岩性, 而岩体的变形强度性质取决于结构面和岩体结构的工程地质特性。这也是国际上岩石力学奥地利学派(地质力学学派)的基本观点之一。L.米勒(Müller)在总结岩体力学性质时提到: 岩体力学特性, 尤其是它的强度, 主要取决于单元岩块之间接触面上的强度; 对于岩体变形, 主要或者说90~95%的变形产生于节理, 而不是单元岩块的变形; 岩体是由固体和液体两相介质所组成, 其中液相的压力作用, 能够改变岩体的强度和变形特性。这个观点对岩体工程地质分析是十分重要的, 也大大促进了工程地质与岩石力学、岩体工程更密切地联系。

第二节 结构面的主要类型及其自然特征

由于各个地区岩体形成的历史不同, 所经历的构造变形就有差异, 即使在同一构造变动过程中, 由于所处的部位不同, 组成物质成分的差异, 其褶皱、断裂的发展也不一致。岩体的生成、发展和演化历史的不同, 使结构面的特性和空间组合以及结构体的性质和形态千变万化, 岩体的结构特性也就不同。所以要正确认识结构面的力学效应, 首先要对结构面的成因及其自然特性进行研究。

一、结构面的成因类型

按地质成因, 可以分为原生结构面、构造结构面及次生结构面三种。

(一) 原生结构面

原生结构面是成岩过程中形成的地质界面。自然界三种基本成因的岩类: 沉积岩、火成岩和变质岩, 由于物质来源、动力条件、生成环境和形成方式都极不相同, 因而它们的原生结构面各具有不同的特点。

1. 沉积结构面

沉积结构面是在沉积和成岩过程中所形成的物质分界面, 包括反映沉积间歇性的层面和层理, 也包括显示沉积间断的不整合面和假整合面, 还包括由于岩性变化所形成的原生软弱夹层等。一般延展性很强, 其产状随岩层变位而变化, 其特性随岩石性质、岩层厚度、水文地质条件以及风化条件而有所不同。但陆相及滨海相沉积岩层往往易尖灭而形成透镜体、扁豆体, 使原生层面呈波浪起伏。工程实践中, 最具有实际意义的是原生软弱夹层。例如坚硬石灰岩中夹薄层的泥灰岩、页岩等, 坚硬的砂、砾岩中夹薄层的页岩、粘土岩等, 在后期构造运动和地下水作用下易次生泥化。沉积间断面, 它可以是造山运动的标志即不整合面; 也可以是显示升降运动的假整合面。它们有一个共同的特点, 即在沉积历史中都经历了一段漫长的风化剥蚀过程, 所以不但是起伏不平, 而且有古风化的残积物, 是一个形态多变的软弱带。沿这些结构面经常有地下水的赋存和运行, 它往往起了相对阻水层的作用, 因此它的存在不仅构成地下水的富集, 而且导致自身的泥化, 对岩体稳定是十分不利的。

2. 火成结构面

火成结构面是岩浆侵入、喷溢、冷凝过程中所形成的结构面, 包括大型岩浆岩体边缘