

高等学校教材

(第二版)

工程地质学

河海大学 陆兆溱 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

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、地质工程、岩土工程专业的课程设置和教学要求编写的教材。全书分三篇,共十二章,主要内容:第一篇为岩土体的工程地质研究,包括岩土体结构、软岩及软土、地应力的工程地质研究;第二篇为水利电力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、喀斯特及喀斯特区的工程地质问题、地表水作用的工程地质问题;第三篇为工程地质勘察,包括工程地质勘察概论、工程地质勘察方法、水利电力工程地质勘察。

本书适用于水利电力类高等学校工程地质及水文地质专业、岩土工程专业,也可供土木建筑、矿冶、地质、煤炭、交通类高校相同专业作参考教材和勘察、设计、施工部门的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质学/陆兆溱主编. —2版. —北京:中国水利水电出版社, 2001.9
高等学校教材

ISBN 7-5084-0662-1

I. 工… II. 陆… 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(2001)第045093号

书 作 出 版	名 者 版	高等学校教材 工程地质学(第二版) 河海大学 陆兆溱 主编 中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部) 新华书店北京发行所 全国各地新华书店
发 经 行 售	行 售	
排 印 规 格	版 刷 格	中国水利水电出版社微机排版中心 水利电力出版社印刷厂 787×1092毫米 16开本 26.25印张 622千字
版 次	次	1989年6月第一版 2001年10月第二版 2001年10月北京第四次印刷
印 数	数	4171—7270册
定 价	价	32.10元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第二版前言

本教材是在原水利电力出版社《工程地质学》(1989年版)的基础上,作重大补充修改,部分章节重新编写而成。与第一版相比,作了如下的修订与补充:①本教材力求反映国内外20世纪80年代和90年代工程地质学科的新理论、新技术和新成就,对20世纪90年代和21世纪工程地质研究的热点和发展方向,例如人类工程活动带来的工程地质问题,地质灾害的监测与防治,新技术、新方法在工程地质勘察中的应用等,都在教材中作了适当的补充与介绍。②本教材叙述的工程地质分析计算,既重视地质环境和自然地质历史分析的定性分析方法,又适当介绍了近年来比较成熟、有效的定量分析方法。例如概率随机分析、多元统计、数值计算、模糊数学理论等在工程地质分析和勘察上的应用,都作了简要的介绍或讨论;但限于篇幅并考虑应用上尚不够成熟、普遍,对分形几何、混沌理论等非线性数学在工程地质上的应用暂未作介绍。③在编写中考虑到专业要求,力求简明扼要、循序渐进,注意到与岩石力学、土力学等相关课程的衔接,避免重复,并加强定量分析的深度。④本教材为拓宽专业的知识面和适应性,加强了课程内容改革的力度,除重点介绍了水利水电工程地质和岩体工程地质研究的内容、继续保持原有水利水电工程专业特色外,新增加了土体工程地质研究的内容,适当介绍了高层建筑的工程地质勘察。新编的章节有土体结构与构造的工程地质研究、软土工程地质研究、活断层鉴定及研究方法、地震工程地质研究、边坡原位监测、地下洞室围岩工程地质分类、喀斯特工程地质分析方法、钻孔压水试验、坝基岩体质量分类、高层建筑地基和桩基工程地质勘察等。⑤教材每章附有较多的大、中型水利水电工程的资料、数据及典型实例;各章并附有练习题和思考题,以加强同学独立思考和分析问题、解决问题的能力。⑥我国自20世纪90年代以来新颁布了各类工程地质勘察的中华人民共和国国家标准及各种技术规程规范,包括1999年8月1日实施的GB50287—99《水利水电工程地质勘察规范》,此次教材修订,尽可能与现行的国标及技术规程规范接轨,删去了老规程规范中陈旧的内容。

本教材可作为水利电力类高校水文地质工程地质、岩土工程和地质工程专业本科学习《工程地质原理》(72~80学时)、《工程地质勘察》(36~40学时)两门课程的教材,亦可供土木建筑、矿冶、地质、煤炭、交通类高校相同专业作为参考教材,并供有兴趣学习工程地质设计、施工、勘察部门的工程技术人员参考。

本教材由河海大学土木工程学院地质及岩土工程系陆兆溱教授主编。各章分工如下:陆兆溱负责绪论、第一、二、三、四、六、十章和第十二章第三节~第七节的编写、修订;周天福负责第五、八章和第十二章第一节、第二节的编写、修订;吴继敏负责第七、九章的编写、修订;马庆新负责第十一章的编写、修订;最后由陆兆溱统稿。全书由成都理工大学孔德坊教授、国家电力公司水电水利规划设计总院朱建业教授级高级工程师主审。在修订、编写本教材过程中,曾得到河海大学土木工程学院周志芳、刘汉龙、黄大明、吕庆安、张勤、陈志坚、孔树林等同志的关心、支持和帮助;华北水利水电学院、武汉大学工程地

质教研室周创兵、张元欣等同志提出很多宝贵修改意见；在定稿过程中，孔德坊、朱建业两位教授，对教材体系提出了不少修改意见，补充了不少新资料，部分章节文字并作了改写和补正；长江水利委员会、长江勘测技术研究所、黄河水利委员会及水利部、国家电力公司所属昆明、华东、中南、西北、成都等勘测设计研究院提供了不少实际资料及科研成果；在此向他们表示深切的谢意。本教材因修订、编写匆促，缺点和不足之处，在所难免，敬希读者指正。

编 者

2000年7月

第一版前言

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

EAA33/04

目 录

第二版前言

第一版前言

绪论..... 1

第一篇 岩土体的工程地质研究

第一章 岩土体结构的工程地质研究..... 8

第一节 岩土体结构的基本概念..... 8

第二节 结构面的主要类型及其自然特征..... 10

第三节 结构面的强度..... 20

第四节 岩体结构类型及岩体工程分类原则..... 26

第五节 土结构和构造的工程地质研究..... 28

思考题与练习题..... 32

第二章 软岩和软土的工程地质研究..... 34

第一节 软弱岩石的涵义..... 34

第二节 软弱夹层的工程地质研究..... 35

第三节 风化岩石的工程地质研究..... 44

第四节 构造岩的工程地质研究..... 56

第五节 软土的工程地质研究..... 59

思考题与练习题..... 65

第三章 地应力的工程地质研究..... 66

第一节 地应力的种类..... 66

第二节 地应力场的分布和变化规律..... 67

第三节 地应力研究的工程意义..... 73

第四节 地应力工程地质研究的内容和方法..... 74

思考题与练习题..... 76

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..... 77

第一节 基本概念..... 77

第二节 活断层的工程地质研究..... 77

第三节 地震的工程地质研究..... 88

第四节 水库地震..... 104

思考题与练习题..... 112

第五章 坝基稳定性的工程地质研究	113
第一节 概述	113
第二节 各种坝型对地质、地形条件的要求	114
第三节 坝基(肩)岩体的抗滑稳定性	117
第四节 坝基岩体质量分类	134
第五节 坝区渗漏与渗透稳定性	137
第六节 坝基处理	148
思考题与练习题	154
第六章 边坡稳定性的工程地质研究	157
第一节 概述	157
第二节 边坡的应力分布特征	159
第三节 边坡变形破坏的基本类型	161
第四节 滑坡的工程地质特征	166
第五节 影响边坡稳定性的因素	169
第六节 边坡稳定性的工程地质评价方法	173
第七节 边坡原位监测	186
第八节 防治边坡变形破坏的工程措施	188
思考题与练习题	191
第七章 地下洞室围岩稳定性的工程地质研究	192
第一节 地下洞室开挖前后的应力特征	193
第二节 洞室围岩的变形与破坏	195
第三节 影响地下洞室围岩稳定性的地质因素	200
第四节 围岩压力	207
第五节 水工隧洞围岩的承载力	213
第六节 地下洞室围岩工程地质分类	219
第七节 改善地下洞室围岩稳定性的措施	229
思考题与练习题	232
第八章 喀斯特及喀斯特地区的工程地质研究	233
第一节 基本概念及研究意义	233
第二节 喀斯特发育的基本条件和规律	233
第三节 喀斯特地区的主要工程地质问题	244
第四节 喀斯特工程地质研究方法	256
第五节 喀斯特的防渗处理	260
思考题与练习题	263
第九章 地表水作用的工程地质研究	265
第一节 河流地质作用的工程地质研究	265
第二节 泥石流	278
第三节 海(湖)岸带的动力工程地质研究	284

思考题与练习题	292
---------------	-----

第三篇 工程地质勘察

第十章 工程地质勘察概论	293
第一节 工程地质勘察的任务	293
第二节 工程地质勘察方法及其相互关系	294
第三节 工程地质勘察各阶段的研究内容	296
思考题与练习题	299
第十一章 工程地质勘察方法	300
第一节 工程地质测绘	300
第二节 工程地质勘探	308
第三节 工程地质野外试验及长期监测工作	324
第四节 天然建筑材料的工程地质勘察	345
第五节 工程地质勘察大纲的编写和内业整理	350
思考题与练习题	360
第十二章 水利电力工程地质勘察	362
第一节 水库区的工程地质勘察	362
第二节 坝址区工程地质勘察	377
第三节 地下洞室的工程地质勘察	384
第四节 溢洪道的工程地质勘察	388
第五节 渠道的工程地质勘察	389
第六节 道路与桥梁的工程地质勘察	391
第七节 工业与民用建筑的工程地质勘察	394
思考题与练习题	407
参考文献	408

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 月在前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，地质环境是自然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地壳表层的地形、地貌、岩土、水、地层构造、矿产资源、地壳稳定性等自然因素的总称。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。其中岩土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质成分和结构构造。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。

工程岩土学在前苏联等国家称为土质学（Грунтоведение），研究与人类工程活动有关的

各类岩土的物质组成、结构构造、成因类型及物理力学性质。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(Geotechnical Engineering)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。考虑到水利电力类工程地质与水文地质专业现行教学计划设置有土质学及土力学、岩石力学课程,因此本教材第一篇重点探讨岩土结构的工程地质研究、软岩和软土的工程地质特征,而岩土的物理力学性质未编入。

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、海岩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,通过几十年来的工程实践,大多数研究者已认识到在地质机制定性分析的基础上加强定量分析的重要性。工程地质分析研究除传统的自然历史分析法(地质学方法)、室内和现场试验、原位测试方法和经验判断法外,随着计算机在工程地质工作中的应用和普及,近二三十年来,应用数学、力学方法,建立了岩土体的工程地质力学模型和数学模型,采用有限元法、边界元法及离散元法等数值方法,编制开发了各种计算机软件,为量化提供了有效的途径。在岩土体稳定分析评价和地质数据处理中,由于岩土体地基的复杂性,各种参数的随机性、模糊性和不充分性(灰色性质),概率论和数理

统计、模糊数学、灰色系统理论、分形几何等已经在工程地质分析中得到推广和应用；工程地质学科已引入系统科学的思维方法，包括系统论、控制论和信息论及其派生的新理论；随着 21 世纪信息技术的发展，地理信息系统（GIS）、遥感信息系统（RS）、计算机网络系统也将在工程地质学中得到广泛的应用；将采用工程地质数据库、专家系统和计算机制图等相结合的工程地质综合分析方法。但必须指出理论计算和数值方法并不能代替工程地质学的其他研究方法。正确模拟地质边界条件，准确合理地选择数学、力学模型和计算参数，才能使理论计算得出正确的结论；地质分析和经验判断实际上并不完全是定性分析，采用回归分析、判别分析等数理统计方法建立的经验方程和公式，亦是工程地质定量化的重要手段之一。奥地利岩石力学专家米勒（L. Müuer）说：“要将过去所得的经验，加上计算、模型试验和地质定性分析，进行综合思考”，又说：“不但要计算，要观测，而且要凭感性的经验整体思考问题”。由此可见经验判断、综合分析的重要性。

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。在前苏联，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，在新中国成立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。新中国成立后，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 400~500 m，甚至达 800 m；大坝的高度已超过 300 m，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 20 世纪 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 150 m 以上的高坝,绝大多数是 20 世纪 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 190 m,装机容量 1400 万 kW;苏联努列克土石坝,高 300 m,罗贡土石坝,高 325 m;苏联英古里拱坝,高 272 m;意大利瓦伊昂拱坝,高 262 m;瑞士大狄克桑斯重力坝,高 285 m;加拿大马尼克五级连拱坝,高 214 m 等。从 20 世纪 50 年代以来,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 66.5 m,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 93 m (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,理论蕴藏总量 (未包括台湾省) 达 6.76 亿 kW,可开发容量约 3.78 亿 kW,相应年发电量 19200 亿 kW·h,居世界首位。但 1949 年全国装机容量仅 36 万 kW,年发电量为 12 亿 kW·h。近 50 年以来,我国依靠自己的力量,从建设第 1 座坝高 102 m、总库容 220 亿 m³、装机容量 66.25 万 kW 的新安江水电站开始,建设了一大批大中型水电站,特别是改革开放以来,我国水电建设有了更大的发展。据初步统计,全国已建和在建的大、中型水电站有 220 座,其中 100 kW 以上大型电站就有 20 座。20 世纪 80 年代建成的有贵州乌江渡 (63 万 kW)、吉林白山 (90 万 kW)、青海龙羊峡 (128 万 kW)、湖南东江 (50 万 kW)、广西大化 (40 万 kW) 和万里长江第一坝——葛洲坝 (271.5 万 kW) 等大型水电站。20 世纪 90 年代以来,我国水电建设进入了一个快速发展时期,相继投产的有被誉为“五朵金花”的岩滩 (121 万 kW)、漫湾 (125 万 kW)、广州抽水蓄能

(一期 120 万 kW)、隔河岩 (120 万 kW)、水口 (140 万 kW) 5 座水电站; 由于引进了新的机制, 施工期大大缩短, 造价得到控制, 质量不断提高, 主体工程开工后, 分别仅用了四、五年就投产发电; 此外, 湖南五强溪 (120 万 kW)、青海李家峡 (160 万 kW)、四川二滩 (330 万 kW)、天生桥一级 (120 万 kW)、天生桥二级 (132 万 kW) 等大型水电站也先后投产发电。截止 1999 年底, 全国水电装机容量已达 7297 万 kW, 年发电量 2129 亿 kW·h, 均居世界第二位。正在建设的三峡枢纽是世界上最大的水利枢纽, 装机容量为 1820 万 kW, 也是世界上最大的水电工程。我国已形成了金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、长江上游、南盘江红水河、澜沧江、黄河上游、黄河中游北干流、湘西、闽浙赣、东北十二个大水电基地, 在今后中西部水电资源的全面开发, 解决全国的防洪防旱、调水供水、灌溉通航等水利水电工程的勘察、设计、施工中, 将带来一系列复杂的工程地质问题。南水北调、引黄灌晋等跨流域大型水利工程将提上日程; 长江三角洲、珠江三角洲、京津唐、中西部等工业基地的建设, 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、跨海和跨江大桥、地下储气和高压蓄能工程、深埋长隧道工程、松软含水地层地下铁道等的建设, 也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, 工程地质勘察和综合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的地基稳定研究。我国已建成了不同类型的高坝, 如二滩双曲拱坝高 240 m, 天生桥一级混凝土面板堆石坝高 178 m, 江垭碾压混凝土重力坝高 131 m 等, 均处于世界领先地位, 今后拟建的小湾水电站双曲薄拱坝, 坝高 292 m, 金沙江溪洛渡水电站双曲薄拱坝, 坝高 295 m, 锦屏一级水电站拱坝, 坝高 300 m; 瀑布沟土石坝, 坝高 195 m, 龙滩水电站碾压混凝土重力坝, 坝高 192 m; 坝基稳定、拱坝坝肩稳定问题, 将是今后一个重大课题。随着城市建设的发展, 40 层以上超高层建筑将不断出现, 基底压力可达 700~800 kPa 以上, 桩基和人工地基的稳定问题, 亦将是一个重要课题。

(2) 高边坡岩土体稳定分析。库坝区自然与人工开挖边坡还需预测和研究施工期、运行期的边坡的滑动机制、滑动失稳时间和速度问题。

(3) 巨型地下洞室围岩稳定分析。随着西部大开发和大型水电站的建设, 将遇到大直径洞群、深埋长隧道的勘察、设计、施工问题。开发城市地下空间是实现可持续发展城市化的重要途径, 向地下要土地、要空间是全世界城市发展的必然趋势。随着地下铁道、地下公路隧道、地下商业街、地下供水、供热、存贮工程等的建设, 将带来一系列地下深埋工程和深基础工程的岩土工程地质问题。

(4) 海洋工程地质问题的研究。我国海岸带的建设和海洋开发工程将提出软土、海洋地质构造、海底活断层和地震、水下滑坡、海洋石油钻井平台工程等一系列海洋地质工程和环境工程地质课题。

(5) 工程建设与环境保护、资源开发利用相结合。水利水电建设将更加注重生态环境问题, 水电站对国土资源的影响, 对人类生存环境的影响, 将成为我们需要认真研究的课题; 要预测各种类型的地质灾害 (滑坡、崩塌、泥石流等)。因此, 环境工程地质问题和城市岩土工程问题的研究, 将成为重要的课题。

(6) 区域构造稳定性研究。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研究。

(9) 深厚覆盖层上建坝、松软含水地层上地基、边坡、地下洞室的稳定研究。

(10) 喀斯特发育规律、喀斯特渗漏及防渗处理的研究;喀斯特地区地下洞室的涌水、涌泥(砂)、高外水压力问题的研究。

(11) 综合勘测手段、遥感技术、工程物探和钻探新技术,原位测试技术的应用研究,以提高勘察的精度、速度和定量化程度。

(12) 开展地质力学模型试验。

第一篇 岩土体的工程地质研究

第一章 岩土体结构的工程地质研究

第一节 岩土体结构的基本概念

任何工程建设,包括水利电力工程、铁路、公路、矿山开发、工业与民用建筑、港口及航道工程等,都是建筑在地表或地壳浅部,以岩土体作为地基或作为修建环境。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。由于工程建筑所处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,因此所遇的工程地质问题往往是多种多样的。但概括起来,主要是两大问题,一是岩土体的稳定问题,二是地表水和地下水对工程地基的危害问题。在水利水电工程中,前一类常遇到的有区域稳定性问题,坝基、边坡和地下建筑围岩的稳定问题;后一类常遇到的有坝基或库区的渗漏问题,坝基的潜蚀液化问题,基坑和地下工程的涌水、突泥问题,由岩溶(喀斯特)引起的地面塌陷问题,河流侵蚀、库区坍岸和海浪冲蚀问题等。

岩体与土体,简称岩土,既存在多方面的共性和密切的联系,又存在明显的区别,主要以它们组成的物质成分间有无坚固的联结而区分。土体可理解为由分散土组成的土层。而岩体的涵义比较广。如前苏联的学者认为岩体是处于与工程建筑物相互作用下的任意一种岩土层(不取决于其内部结构),或把岩体理解为一定地质结构范围内的地质体,甚至用一个术语 ГРВНТ 来表示岩土。石中有土,土中有石,有时很难确切区分岩石和土。从动力地质学观点来说,土在深部的高温高压环境下经过成岩作用能够固结为岩石,而岩石经过风化作用和外动力的沉积和搬运后,又可成为分散的土。某些岩石如我国新老第三纪的红色岩系,开挖后很快风化成土;固结较差的粘土岩、页岩以及变质岩中的云母片岩、绿泥石片岩等,其颗粒间联系弱、强度低、弹模小,属半坚硬岩石,有时很难确切区分它们是属于岩石还是土;同类岩石,如凝灰岩、构造岩等,由于物质成分、胶结程度不同,有的熔结或坚强胶结,有的疏松,其工程地质性质也有很大的差别,其过渡类型也很难区分为岩石或土。岩体完整的工程地质定义可理解为:岩体是一种地质体,是自然历史的形成物,位于一定的地质环境中,经历了地壳形成和形变两个历史阶段,具有自身固有的成分、结构、状态和工程地质性质。岩土体按规模不同,可以由一套岩石综合体及其组合构成的复杂地质体,也可以是具有相同岩石成分、相同裂隙特性的简单地质体。在工程地质调查中具有相同成分、结构、状态和工程地质性质的岩体,则称为工程地质单元。因此,岩土体的工程地质性质,除与物质成分有关外,还直接依赖于它的成因历史和地质结构特征。研究岩土体的工程地质性质时,必须从研究岩土的地质成因及结构特征着手,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,并提出改善这些性质的方法和措施。

岩体是非均质的、各向异性和裂隙性的不连续体。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,如节理面、层面、劈理面、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;还可以具有一定厚度的断层、构造破碎带、接触破碎带、古风化壳等。由一系列结构面具有自己的产状,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。岩体就是由结构面、结构体两个基本单元所组成。岩体结构是指结构面和结构体的自然、地质特征及其组合状况,是工程地质学中常用的术语。结构(Structure)和构造(texture)这两个术语,在不同学科中有不同的涵义,各国在应用上亦比较混乱,有人还用组构(fabric)这个广义术语,将结构、构造特征合并在这个术语中。工程地质学对结构、构造的理解:结构是指岩土组成单元(矿物颗粒、集粒、玻璃质等)的大小、形状、表面特征、数量关系,而特别重视相互间的联结特征;构造是指岩土结构单元的空间相对位置和分布标志的总和。显然,前述的岩体结构是一个广义的术语。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、破坏机制以及物理力学性质主要受裂隙、软弱结构面及其组合形式的控制,例如实际上不透水的厚层泥岩、花岗岩等岩石组成的岩体,常因裂隙性表现为完全透水,其渗透系数可达 10 m/d 以上,有的裂隙玄武岩渗透系数可达 100 m/d ,裂隙灰岩为 $10\sim 20\text{ m/d}$ 。强透水性的砂土层因存在粘土夹层在整体上可能只有很低的透水性。在不连续面附近往往导致应力集中;不同地质界面的存在,导致弹性波速明显降低、波幅显著衰减的结果。图1-1为花岗岩块、裂隙发育花岗岩体和断层破碎带试件的应力—应变图。从图1-1看出裂隙对岩体破坏、变形的影响非常显著,岩块和岩体的变形、强度特性有很大的差别。岩体还具有以下特点:岩体为一种多介质的裂隙体,主要由固相和液相两种介质所组成,其中液相(水)的压力作用,与岩体的物理化学反应、溶解岩石将降低岩体的强度和稳定性。岩体(特别是软弱岩体)还具有蠕变性,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。岩体本身还存在复杂的天然应力场,不仅存在着自重应力,而且还存在着由于构造运动和风化剥蚀作用引起的构造应力、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、地质特征的研究,这是近数十年来,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.

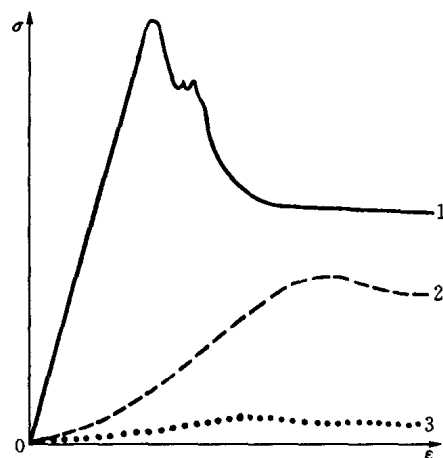


图 1-1 一定围压状态下岩块、岩体、断层破碎带试件的应力—应变示意图
1—花岗岩块;2—裂隙发育的花岗岩体试件;
3—花岗岩体中断层破碎带试件