

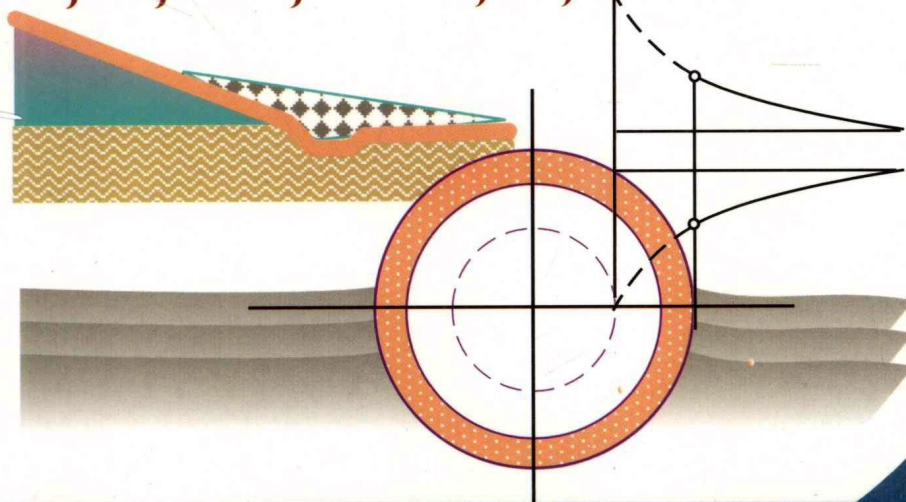
教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

水利水电工程专业系列教材

工程地质与岩土力学

孙文怀 等编

gongcheng dizhi yu yantu lixue



中央广播电视大学出版社

水利水电工程专业系列教材

工程地质与岩土力学

孙文怀 等编

中央广播电视大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质与岩土力学/孙文怀等编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2002. 3
水利水电工程专业系列教材
ISBN 7-304-02184-5

I. 工… II. 孙… III. ①工程地质—电视大学—教材
②岩土力学—电视大学—教材 IV. ①P642②TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 011988 号

版权所有, 翻印必究。

水利水电工程专业系列教材
工程地质与岩土力学
孙文怀 等编

出版·发行/中央广播电视大学出版社
经销/新华书店北京发行所
印刷/北京市德美印刷厂
开本/787×1092 1/16 印张/31.75 字数/654 千字

版本/2002 年 2 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷
印数/0001—2000

社址/北京市复兴门内大街 160 号 邮编/100031
电话/66419791 68519502 (本书如有缺页或倒装, 本社负责退换)

书号: ISBN 7-304-02184-5/TU·61
定价: 39.00 元

水利水电工程专业系列教材

课程建设委员会名单

- 顾问：陈肇和（教授 北京水利水电管理干部学院）
- 主任：刘汉东（教授 华北水利水电学院）
- 副主任：葛文辉（教授级高工 水利部建设司建设管理总站）
蒋克中（副主任 中央电大理工部）
段 虹（常务副主任 水利部试点办公室）
- 委员（按姓氏笔画排列）：
- 王 圻（副教授 中央电大）
牛文臣（教授 华北水利水电学院）
牛志新（处长 河南电大教务处）
司马寿龙（教授级高工 河南省水利厅）
刘宪亮（教授 华北水利水电学院）
孙东坡（教授 华北水利水电学院）
孙明权（教授 华北水利水电学院）
李光勉（教授级高工 水利部黄委会设计研究院）
李国庆（教授 华北水利水电学院）
陈德新（教授 华北水利水电学院）
张立中（教授 华北水利水电学院）
张庆元（副校长 河南电大）
张俊芝（副教授 南昌水利水电高等专科学校）
周克己（教授 武汉大学）
赵中极（教授 华北水利水电学院）
郭雪莽（教授 华北水利水电学院）
鲁志勇（副教授 华北水利水电学院）
董增川（教授 河海大学）
鄢小平（讲师 中央电大）
- 秘 书：董幼龙（高级工程师 华北水利水电学院）

内容提要

全书着重介绍工程地质与岩土力学的基本知识与基本理论。其内容为：工程地质条件分析；岩土体的物理力学性质；岩土体的工程分类；岩土体的变形强度特性；岩土体中的应力分布；土压力与围岩压力；地基变形与滑移稳定性分析；区域地壳稳定性分析；边坡稳定性分析；地下工程围岩稳定性分析；岩土体的渗透稳定性分析；动力条件下岩土体的特性；库区环境工程地质问题分析；水利水电工程中的地基处理；工程地质信息获取与处理等。

本书可作为中央广播电视大学、函授大学、职工大学水利水电工程专业、地质工程专业、岩土工程专业的教材。亦可作为普通高等院校有关专业的教材参考书。此外，还可作为水利水电工程、岩土工程、地质工程及土木工程类勘测、设计、施工等技术人员参考读物。

前 言

本书是根据 1999 年 7 月由中央广播电视大学会同水利部人教司及有关学科专家共同审定的《工程地质与岩土力学》课程教学大纲编写的。是中央广播电视大学开放教育“水利水电工程”专业的系列教材之一。

全书共 17 章，阐述了岩土体的物理力学性质，岩土体的工程分类，岩土体的变形强度特性，岩土体中的应力分布，工程地质条件及地基变形与转移稳定性、区域地壳稳定性、边坡稳定性、地下工程围岩稳定性、岩土体的渗透稳定性与水库环境工程地质等工程地质问题的分析评价。最后阐述了工程地质信息获取与处理及水利水电工程中的地基处理等。

本书由华北水利水电学院孙文怀主编。第 2 章由孟凡玲编写，第 1 章、第 17 章由孙文怀、孟凡玲编写，第 3 章、第 5 章由殷淑华编写，第 4 章、第 7 章由郝小红编写，第 6 章、第 8 章、第 10 章除 6.5、8.5、10.6、10.7 由崔国喜编写外，其余由李宝玉编写，第 9 章、第 13 章由崔国喜编写，第 11 章、第 12 章、第 14 章、第 15 章、第 16 章由孙文怀、李志远编写。全书由孙文怀统稿。

本教材由黄河水利委员会规划勘测设计研究院路新景教授级高工，华北水利水电学院刘汉东教授、陈淑敏副教授，中央广播电视大学孙天正教授参加审定，中央广播电视大学郭鸿参加了本书的教学设计。审定专家对本书进行了认真的审阅，并给予指导和帮助。本书有些材料与内容参考了有关院校、生产、科研及管理单位编写的教材、专著或文章，编者在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误。希望读者给予批评和指正。

编 者

2001 年 5 月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 工程地质与岩土力学的概念	(1)
1.2 工程地质条件和工程地质问题	(2)
1.3 工程地质与岩土力学的研究内容	(3)
1.4 工程地质与岩土力学在工程建设中的作用和任务	(4)
1.5 工程地质与岩土力学的发展简介	(6)
第2章 工程地质条件	(8)
2.1 岩石与地层	(8)
2.2 地质构造	(30)
2.3 地形地貌条件	(41)
2.4 岩体及岩体结构	(57)
2.5 水文地质条件	(57)
2.6 物理地质作用现象与地球物理环境	(64)
2.7 天然建筑材料	(76)
第3章 土的物理性质与工程分类	(80)
3.1 土的结构与特性	(80)
3.2 土的物理性质指标	(87)
3.3 土的物理状态指标	(91)
3.4 土的工程分类	(94)
第4章 岩石(体)的物理性质与工程分类	(101)
4.1 岩石的基本物理性质	(101)
4.2 岩石的水理性质	(103)

4.3	岩石的热学性质	(107)
4.4	岩体的工程分类	(109)
第5章	地基中的应力分布	(120)
5.1	自重应力	(120)
5.2	基底接触应力	(123)
5.3	附加应力	(127)
5.4	有效应力原理	(144)
5.5	岩体天然应力场	(148)
第6章	土的力学性质	(160)
6.1	土的变形特征	(160)
6.2	土的抗剪强度与测定方法	(165)
6.3	土的极限平衡条件	(169)
6.4	三轴剪切试验	(172)
6.5	土的压实特性	(175)
第7章	岩石(体)的力学性质	(186)
7.1	概 述	(186)
7.2	岩石变形特性	(187)
7.3	岩体结构面变形特征	(196)
7.4	岩体的变形特性	(196)
7.5	岩石的强度特征	(201)
7.6	岩体结构面的强度特征	(212)
7.7	岩体的强度特性	(215)
第8章	土压力与围岩压力	(222)
8.1	土压力的产生及计算简述	(222)
8.2	土压力的类型及影响因素	(223)
8.3	土压力的计算	(225)
8.4	挡土墙的设计	(236)
8.5	地下工程围岩压力	(241)
第9章	岩土体的渗透稳定性分析	(263)
9.1	概 述	(263)

9.2	岩土体的渗透性	(264)
9.3	渗透破坏的形式	(269)
9.4	渗透变形产生的条件	(270)
9.5	坝基渗透稳定性分析	(273)
9.6	渗透变形的防治措施	(276)
第 10 章	地基变形与滑移稳定性分析	(279)
10.1	基本概念	(279)
10.2	地基最终沉降量计算	(280)
10.3	地基变形与时间的关系 (渗透固结理论)	(285)
10.4	建筑物地基容许变形值	(292)
10.5	地基承载力	(293)
10.6	软弱地基的变形问题	(314)
10.7	坝基岩体的稳定性问题	(314)
第 11 章	边坡稳定性分析	(329)
11.1	概 述	(329)
11.2	边坡的变形与破坏	(330)
11.3	影响边坡稳定性的因素	(335)
11.4	边坡稳定性分析与评价	(339)
11.5	不稳定边坡的防治措施	(351)
第 12 章	地下工程围岩稳定性分析	(354)
12.1	基本概念	(354)
12.2	地下洞室开挖引起的围岩应力重分布	(355)
12.3	地下洞室围岩的变形破坏	(358)
12.4	地下工程岩体稳定性的影响因素	(364)
12.5	水工隧洞围岩的承载力	(366)
12.6	围岩稳定性的定量评价	(372)
12.7	改善地下工程岩体稳定性条件的措施	(377)
第 13 章	动力条件下的岩土体稳定性分析	(380)
13.1	概 述	(380)
13.2	砂土地基的液化	(380)
13.3	动荷载作用下的岩土力学特征	(385)

第 14 章	区域地壳稳定性分析	(393)
14.1	概 述	(393)
14.2	区域地壳稳定性研究的内容	(394)
14.3	区域地壳稳定性的研究方法	(414)
14.4	区域稳定性的分级分区评价	(416)
第 15 章	水库环境工程地质问题分析	(420)
15.1	概 述	(420)
15.2	水库渗漏的工程地质分析	(420)
15.3	水库浸没的工程地质条件分析	(424)
15.4	库岸稳定性分析	(426)
15.5	水库淤积的工程地质分析	(435)
第 16 章	水利工程中的地基处理	(437)
16.1	土坝软基排水固结处理	(437)
16.2	水利工程中截渗墙防渗处理	(440)
16.3	高压固结灌浆	(443)
第 17 章	工程地质信息获取与处理	(456)
17.1	概 述	(456)
17.2	工程地质信息获取的方法与手段	(457)
17.3	工程地质信息处理	(490)
参考文献		(495)

第1章 绪 论

1.1 工程地质与岩土力学的概念

工程地质与岩土力学是工程地质学、岩石（体）力学与土力学三门课程的总称。这三门课程既是相对独立的科学又是相互密切联系、从不同角度研究地壳表层岩土性态的学科。

工程地质学是调查、研究、解决与各种工程活动有关的地质问题的科学。它是地质学的分支学科，也是工程与技术科学的分支学科。是工程科学与地质科学相互渗透、交叉而形成一门边缘科学。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。工程地质学主要是研究人类工程活动与地质环境之间的相互关系及工程与地质环境的相互耦合与协调，是服务于工程建设的应用学科。

岩石力学是研究岩石的力学性态的理论和应用的科学，是探讨岩石对其周围物理环境中力场反应的学科。具体而言，岩石力学是研究岩石在荷载作用下的应力、变形和破坏规律以及工程稳定性等问题，它是固体力学的一个分支。工程所作用的地壳表层的岩体是一个复杂的地质体，含有节理、裂隙、断层等不连续结构面，它赋存于一定的地质环境之中，并随着地质环境的变化和地质作用的持续，仍在不断地变化着。由于岩石力学中许多研究对象是岩体，所以岩石力学也称为岩体力学。

土力学是研究地壳表层土体在受力后的变化特征，包括土的压缩性、渗透性、变形、强度等特征的一门学科。

岩石力学与土力学是更深入解决工程地质问题的必备知识。

人类工程活动与地质环境间的相互关系，首先表现为地质环境对工程活动的制约作用。地球上所有的工程建筑物，都建造于地壳表层一定的地质环境中。地质环境包括地壳表层以及深部的地质条件，它们以一定的作用方式影响工程建筑物。例如，地球内部构造活动导致的强烈地震，顷刻间可使较大地域内的各种建筑物遭受毁灭性的破坏，人类生命财产遭受巨大的损失；地壳表面的软弱土体不适应于某些工业与民用建筑物荷载的要求，需进行专门的地基处理；地质时期内形成的岩溶洞穴因严重渗漏，造成水库和水电站不能正常发挥效益，甚至完全丧失功能；大规模的崩塌、滑坡，因难于治理而使铁路改线等等。各种制约作用，归结起来是从安全、经济和正常使用三个方面影响工程建筑物的。因此，从事工程建设的工程师必须要很好地研究建筑场址的地质环境，尤其是对工程建筑物有严重制约作用的地质作用和现象一定要进行详细、深入地研究，并用岩土力学知识及其它相关知识解决工程地质问题。

人类的各種工程活動，又會反饋作用於地質環境，使自然地質條件發生變化，影響建築物的穩定和正常使用，甚至威脅到人類的生活和生存環境。例如，濱海城市大量抽汲地下水所引起的地面沉降，造成海水入侵、市政交通設施破壞和喪失效用、地下水質惡化等；大型水庫的興建，使河流上、下游大範圍內水文和水文地質條件發生變化，引起庫岸再造、庫周浸沒、庫區淤積、誘發地震等問題，甚至使生態環境惡化。從事工程建設的工程師應充分預計到一項工程的興建，尤其是重大工程興建對地質環境的影響，以便採取相應的對策。

由此可見，人類的工程活動與地質環境之間，處於相互聯繫、又相互制約的矛盾之中。應用包括岩土力學知識在內的多種科學知識，研究地質環境與人類工程活動之間的關係，促使兩者之間的矛盾轉化和解決，就成了工程地質與岩土力學的基本任務。

1.2 工程地質條件和工程地質問題

掌握工程地質與岩土力學的目的是為了查明各類工程建築場區的工程地質條件；分析、預測在工程建築物作用下，工程地質條件可能出現的變化；對工程建築地區的各种工程地質問題進行綜合評價，並提出解決不良工程地質問題的措施，以便保證對工程建築物進行正確的選址、設計、施工和運營。

工程地質條件指的是與工程建設有關的地質因素的綜合，或是工程建築物場地地質環境的各項因素。這些因素包括岩土類型及其工程性質、地質構造、地形地貌、岩體結構、水文地質、物理地質作用與現象、地球物理環境以及天然建築材料等方面。它是一個綜合概念，其中的某一項因素不能概括為工程地質條件，而只是工程地質條件的某一因素。工程地質條件直接影響到工程建築物的安全、經濟和正常使用。所以興建任何類型的建築物，首先就要查明建築場地的工程地質條件。由於不同地區的地質環境不盡相同，因此對工程建築物有影響的地質因素主次也不同，工程師應對當地的工程地質條件進行具體分析，明確主次，並進一步指出對工程建築物有利的和不利的方面。工程地質條件是在自然地質歷史發展演化過程中形成的，因此必須採用自然歷史分析方法去研究它。

工程地質問題指的是工程地質條件與工程建築物之間所存在的矛盾或問題。能夠適應建築物要求的工程地質條件稱之為優良的工程地質條件，它對建築物的安全、經濟和正常使用方面不會造成消極影響或損害。不能夠適應建築物要求的工程地質條件，就是工程地質問題。工程地質條件是自然界客觀存在的，它能否適應工程建設的需要，則一定要聯繫到工程建築物的類型、結構和規模。不同類型、結構和規模的工程建築物，由於工作方式和對地質體的負荷不同，對地質環境的要求是不同的。相同工程地質條件的場地建築不同類型、結構和規模的建築物，其所存在的工程地質問題是不同的。因此，一定要將工程地質條件和建築物這矛盾着的兩個方面聯繫起來進行分析。工程地質問題是複雜多樣的，不同類型的工程其所存在的工程地質問題也不相同。例如，工業與民用建築的主要工程地質問題是地基承載力和變形問題；地下洞室的主要工程地質問題是圍岩穩定性問題；露天採礦場的主要工程地質

问题是采坑边坡的稳定性问题。而水利水电建设中的工程地质问题更为复杂多样。例如,坝基渗漏和渗透稳定性是土石坝主要的工程地质问题;坝基抗滑稳定和坝肩抗滑稳定则分别是重力坝和拱坝的主要工程地质问题;还有区域地壳稳定性、水库渗漏、库周浸没、库岸再造以及船闸边坡稳定和渠系工程的渗漏和稳定问题等等。工程地质问题的分析、评价,是工程地质与岩土力学的核心任务。对每一项工程的主要工程地质问题,必须作出定性或定量评价的确切结论及解决的方法与措施。

上述各种工程地质问题都关系到建筑物的安全稳定和经济效益,所以都是工程地质与岩土力学的主要研究内容。此外,工程地质信息的获取即勘察、试验、监测及计算方法等,也都是工程地质与岩土力学的主要研究内容。

1.3 工程地质与岩土力学的研究内容

工程地质与岩土力学研究的内容是多方面的,工程地质与岩土力学是从不同角度研究岩土性态的学科。

1) 工程地质学的研究内容

(1) 岩土工程地质性质的研究

建造于地壳表层的任何类型的建筑物,总是离不开岩土体的,作为建筑物地基或环境的岩土体,其成因类型和性质对建筑物的意义重大,是人类工程活动与地质环境相互联系和制约的基本要素。无论是分析工程地质条件,或是评价工程地质问题,首先要对岩土的工程性质进行研究。主要研究岩土的分布规律和成因类型,它的工程性质和形成、变化规律,各项参数的测试技术和方法以及对其不良性质进行改善、补强等方面的内容。它是工程地质学的基础部分。

(2) 工程动力地质作用与地质灾害的研究

作为工程地质条件要素之一的工程动力地质作用,包括地球的内力和外力成因的,还有人类工程、经济活动所产生的各种作用,往往制约着建筑物的稳定性、造价和正常使用。主要研究各种工程地质问题产生的环境地质条件、力学机制和发展演化规律,以便采取合理的防治措施和对策等,如滑坡、泥石流等的形成条件和发育过程,动力学特性,预测预报方法和防治措施。

(3) 工程地质勘察理论和技术方法的研究

主要内容是研究查明建筑地区的工程地质条件的手段和方法,论证可能发生的工程地质问题,并正确作出合理的分析与评价,以便提供设计和施工所需的地质资料。工程地质学服务于工程建设的具体工作就是要进行工程地质勘察。工程地质勘察的主要目的,就是为工程建筑物的规划、设计、施工和使用,提供所需的地质资料和各项数据。由于不同类型、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不同,因而勘察方法的选择、勘察方案的布置以及工作量使用等也都不尽相同。为了做好勘察工作,就要在查明建

筑场区工程地质条件的基础上,对可能产生的主要工程地质问题进行确切的分析、评价。

(4) 区域工程地质的研究

主要研究区域性工程地质条件的特征和规律,进行工程地质分区,并编制工程地质区划图等。不同地域的自然地质条件不同,因而工程地质条件和工程地质问题也有明显的区域性分布规律和特点。为了国土资源开发利用和工程建设布局的优化,就必须研究不同地域工程地质条件的形成和分布规律,进行区划。我国国土面积广大,自然地质条件复杂,因此,开展这方面的研究更显重要。

(5) 环境工程地质的研究

主要研究人类工程经济活动与地质环境之间的相互作用和相互影响,从而更科学合理地开发、利用和保护地质环境,它是一门新兴的分支学科。传统的工程地质学是以工程为主体,以保证工程安全稳定、经济合理为目的;而环境工程地质学则是以环境为主体,以优化开发、利用和保护地质环境为目的。这是现代工程地质学研究的热点。由于人类工程、经济活动对地质环境的反馈作用日趋广泛和深刻,使地质环境恶化,甚至地质灾害频发,严重威胁着人类的生存和生活。为了合理开发利用和保护地质环境,要建立起地质环境与人类活动之间的理论模式关系,科学地预测由于人类活动对地质环境的负影响以及它的区域性变化。尤其在大型水利水电工程、城市建设和矿产开发等方面要大力开展环境工程地质研究。

2) 岩石力学的研究内容

主要是岩石的破坏、断裂、蠕变以及岩石内应力、应变理论,地表岩石地基的变形和稳定问题,人工和天然岩石边坡的稳定问题,地下洞室围岩的稳定、变形和加固问题等。

3) 土力学的研究内容

主要是土的物理性质、工程分类、土中的应力分布、土的变形、强度和稳定性以及与此有关的工程问题。

1.4 工程地质与岩土力学在工程建设中的作用和任务

生产实践证明,工程地质与岩土力学在工程建设中的作用,已不仅仅是完成为建筑物的修建提供必要的地质资料,而且必须应用岩土力学知识分析、计算、评价作为建筑物地基(土体或岩体)变形、强度及稳定性等,工程地质分析与岩土力学计算必须贯穿在整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。工程地质分析与岩土力学计算工作质量的好坏,直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性、技术可能性及经济合理性。历史经验表明:工程建筑,特别是水工建筑,不怕工程地质条件复杂,也不怕工程地质问题繁多,怕的是对工程地质条件的勘察研究不重视和不充分,工程地质分析不清楚,岩土力学计算不完善、不精确,工程处理措施跟不上,结果给工程建筑带来严重的后果。国际大坝委员会曾在1973年对世界110个国家和地区(未包括我国在内)已建的大坝(坝高在15m以上者),约12900余座进行了调查。从统计资料看,发生过失事事故的有589座,其中大多数与不良

的地质条件且未经合理处理密切相关。如, 1959 年 12 月 2 日法国的马尔帕赛 (Malpasset) 拱坝的崩溃, 曾轰动了国际水利界。该坝 66m 高, 由于坝基左岸岩石软弱, 未经地基处理, 蓄水后发生位移达 210cm, 致使整个坝体全部崩溃, 水库拦蓄的 $3\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 水, 顿时下泄形成洪水, 以 8.33 m/s 的速度倾泻, 造成下游 400 余人死亡, 损失达 6 800 万美元。印度的纳纳克萨加 (Nanaksagar) 坝, 为一高 15.9 m 的土坝, 1967 年 9 月 7 日, 由于坝基发生管涌, 使坝体决口冲毁, 造成 32 个村庄的人民流离失所, 损失惨重。意大利的瓦依昂 (Vaiont) 水库, 坝高 265 m, 当时是世界上最高的双曲拱坝。1963 年 10 月 9 日坝前左岸山体突然发生特大滑坡, 2.4 亿 m^3 的岩体迅速滑入峡谷水库中, 将库水涌高 200 多米, 漫过坝顶, 泻向下游, 使朗格伦镇夷为平地, 共死亡 2 400 多人, 水电站工作人员也全部遇难。美国的圣·弗兰西斯 (St. Francis) 拱形重力坝, 由于坝基砾岩为粘土质胶结并含有石膏夹层, 被渗透水流浸湿、软化、溶解, 导致坝体沉陷、开裂、滑移崩溃, 伤亡 400 多人。再有, 历时 32 年 (1882 ~ 1914 年) 凿成的巴拿马运河, 耗资 4 亿多美元, 建成后第二年在分水岭地段发生了大规模岩崩, 堵塞了运河。处理此事故又用了 5 年的时间, 加挖了 5400 万 m^3 土石方, 相当于此段开挖总量的 40 % 以上。仅停航 5 年, 损失就达 10 亿美元 (还有许多实例, 可详见国际大坝会议十一届文献资料)。这些实例说明, 不仅高坝大型水库会造成严重事故, 即使是中小型水利工程, 也会由于地质问题处理不当, 而带来生命财产的巨大损失。因此, 工程地质与岩土力学计算工作, 对于水库、大坝的安全性起着重要作用。

我国从 1949 年以来, 已建成坝高 15m 以上的大坝水库 12 000 余座。由于党和政府非常重视工程地质工作, 因此, 直接由于地质问题而产生的垮坝事故极为罕见。然而由于对工程地质条件研究不够, 或对工程地质问题处理不当, 而造成的水库或坝基漏水, 水库淤积及边坡滑塌、隧洞坍方等工程事故还是屡见不鲜。如, 北京的十三陵水库, 坝基和库区存在着深厚的渗透性较强的古河道冲积层, 建坝初期未作垂直防渗处理, 致使水库多年不能正常蓄水, 20 世纪 60 年代作了坝基防渗墙处理, 坝基不漏了, 但水库区古河道仍在渗漏, 渗漏问题仍未解决, 直到 1991 年为了兴建抽水蓄能电站, 在库区又作了一道防渗墙, 才彻底解决了漏水问题。又如黄河三门峡水库的库区, 处于黄土分布区, 黄土浸水后极易崩解、湿陷, 造成严重的水库塌岸和淤积问题。20 世纪 50 年代初期我国缺少经验, 该工程系委托国外设计, 1957 年动工, 1960 年 9 月建成蓄水。由于设计对黄土地区可能产生的工程地质问题估计的错误, 水库蓄水后黄土边坡形成大面积的塌岸, 再加上黄河水含砂量本来就很高, 因此水库蓄水后不到两年, 至 1962 年 3 月, 就淤积了泥沙 $14.9 \times 10^8 \text{ t}$ 。库区尾部潼关一带河床淤积高达 5m 以上, 形成库尾三角洲。此外, 淤积还沿河向上游延伸, 导致支流渭河河床也因淤积抬高, 河水外溢, 两岸大片土地被淹没和浸没。地下水位上升, 使不少房屋倒塌, 土地盐碱化和沼泽化达 30 万亩, 威胁关中平原, 乃至西安市。因此, 不得不对三门峡水库进行改建, 增加了两个泄水洞, 在混凝土重力坝坝身打开了 8 个导流用的底孔闸门, 排泄泥沙, 水库也改为低水头运行, 发电装机容量 120 万 kW 改为 25 万 kW, 经济损失巨大。四川陈食水库, 因坝基岩体受到渗透水流的潜蚀冲刷, 形成空洞, 造成 15.9m 高的砌石连拱坝坍塌毁

坏。浙江黄坛口水电站在大坝施工开挖后,才发现左岸坝肩是个大滑坡体,岩石松碎,坝头不能与坚硬完整的岩石相接,不得不停工进行补充勘探,修改设计,才保证了大坝的安全。此外,尚有江西上犹江、四川狮子滩及长江葛洲坝水电站坝基泥化夹层问题,湖南拓溪水电站及云南漫湾水电站坝址区滑坡问题等,都延误了工期,造成了较大的经济损失。虽然失败使我们遭受了重大的损失,但也取得了宝贵的经验,提高了对工程地质分析与岩土力学计算工作重要性的认识,同时也促进了工程地质与岩土力学的发展。

忽视工程地质分析与岩土力学计算工作可能造成重大损失甚至灾难,但重视工程地质分析与岩土力学计算工作,则可能将不利的、复杂的地质条件妥善处理或避开,从而保证建筑物的安全稳定,甚至可巧妙地使其转化为有利因素以节约投资。例如,云南丘北六郎洞水电站,湖南辰溪县内湾水库等均成功地拦截地下暗河,利用溶洞建成水库并发电;三峡库区长江左岸新滩镇1985年发生大滑坡,全镇房屋均被推入江中,但事前进行了长期监测工作,且预报较准,全镇1371人无一伤亡。四川雅砻江二滩水电站,拱坝坝高245m,对坝基岩体进行了详细勘察和深入研究,提出了最优的建基面方案,与初步设计相比基坑开挖深度减少7.56m,可节约投资6000多万元,并可缩短工期11个月。长江三峡工程也有类似情况,由于利用了一部分弱风化岩体作为坝基,结果使建基面平均提高约2m多,节省石方开挖50万 m^3 ,混凝土约43万 m^3 。

综上所述,工程地质与岩土力学在工程建设中的主要任务是:

1) 选择工程地质条件最优良的建筑地址

在规划设计阶段,大型工程的选址、选线,工程地质条件是一个重要因素。工程地质条件良好的地址,可以节省投资,缩短工期,并保证安全施工和运营。

2) 最大限度地获取工程地质信息,查明建筑地区的工程地质条件,预测、评价可能产生的工程地质问题

工程建筑地址的选定不完全决定于地质条件,而首先考虑的是整体经济建设的发展和需要。即使是根据地质条件选择的地址,也不会是完美无缺的,总会有这样那样的工程地质问题。不良的工程地质条件并不可怕,怕的是没有查明或认识不足,不够重视。早在20世纪50年代我国在总结水利水电工程建设经验教训的基础上,就曾提出过:“没有足够的工程地质勘察资料,就不能进行设计;没有设计,就不能施工”的规定。只要查明并给予足够的重视,绝大多数工程地质问题都是可以通过工程措施得到妥善解决的。

3) 据选定场址的工程地质条件,经必要的岩土力学分析计算,提出枢纽布置、建筑物结构类型、施工方法及运营使用中应注意的事项。

4) 提出改善和防治不良地质条件,解决工程地质问题的方案措施。

1.5 工程地质与岩土力学的发展简介

工程地质与岩土力学是随着人类工程建设的发展而逐渐形成的。人类的工程活动,早在

公元前就开始了,我国的万里长城、都江堰分水灌溉工程、京杭大运河以及埃及的金字塔都是古代伟大工程的代表。许多古代桥梁、宫殿、庙宇、楼阁、院塔的修建,还考虑到了地震和地下水的问题,选定了良好的基础,进行了合理的地基处理,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。隋朝所修赵州石拱桥,把桥台砌筑在密实粗砂层上,基底压力达 $500 \sim 600 \text{ kPa}$, 1300 年来沉降量很小。公元 989 年建造开封开宝寺木塔时,预见塔基土质不均匀,会引起不均匀沉降,施工时特意做成倾斜,在沉降稳定之后自动修正。古代的劳动人民在工程建设中虽然积累了一定的工程地质与岩土力学知识,但是直到 20 世纪 20 年代以后,工程地质与岩土力学才得以快速发展。20 世纪 20 年代产生了工程地质学科,1925 年美国土力学家太沙基发表土力学专著,使土力学形成一门独立的学科,岩石力学是一门新兴的学科,在 20 世纪 50 年代才开始发展起来。

近年来,世界各国高坝(坝高大于 200 m)、高层建筑、高速公路等巨型工程的兴建和多次强烈的地震破坏,为工程地质与岩土力学的研究提出了许多课题。对区域地壳稳定性的研究,滑坡、泥石流、地裂缝、喀斯特地表塌陷、地面沉降及水库诱发地震等地质灾害的研究得以重视,并取得了较大的进展,产生了大批专著及研究成果。研究土的本构关系及非线性应力-应变特征,产生了塑性土力学,研究岩土在动荷载作用下的反应,产生了岩土动力学。在测试仪器方面,除常规的试验设备外,还研制了动态固结仪、大型振动三轴仪、流变仪等,为岩土力学的研究提供了良好的条件。实验、测试技术日新月异,利用计算机进行数值仿真计算、实时、动态、自动化监控建筑物的稳定性,使工程地质与岩土力学的研究更加活跃。总之,工程地质与岩土力学的应用,已深入到各行各业的工程中。以解决工程实际问题为目的工程地质与岩土力学的发展之路。

思考题

1. 什么是工程地质与岩土力学?工程地质与岩土力学研究的主要内容是什么?
2. 什么是工程地质条件?工程地质条件主要包括哪些因素?
3. 什么是工程地质问题?水利水电工程建设中的工程地质问题主要包括哪些方面?
4. 工程地质与岩土力学在工程建设中作用和任务是什么?