



高等学校土木工程专业系列规划教材



Engineering Geology

# 工程地质

· 平台课课程群 ·

主编 刘新荣 杨忠平  
主审 李晓昭



WUHAN UNIVERSITY PRESS  
武汉大学出版社



高等学校土木工程专业系列规划教材

# 工程地质

主编 刘新荣 杨忠平  
主审 李晓昭



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

工程地质/刘新荣,杨忠平主编.—武汉:武汉大学出版社,2018.11  
高等学校土木工程专业系列规划教材  
ISBN 978-7-307-20446-1

I.工… II.①刘… ②杨… 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(2018)第 179232 号

责任编辑:方竞男      责任校对:李嘉琪      装帧设计:吴 极

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)  
(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)  
印刷:武汉图物印刷有限公司  
开本:880×1230 1/16 印张:17.25 字数:551千字  
版次:2018年11月第1版 2018年11月第1次印刷  
ISBN 978-7-307-20446-1 定价:48.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

## 主要编写及审稿人员简介



**刘新荣**，1969年生，二级教授，博士生导师，新世纪百千万人才工程国家级人选，享受国务院特殊津贴专家，教育部新世纪优秀人才，重庆市岩土工程学术技术带头人。现任重庆大学库区环境地质灾害防治国家地方联合工程研究中心常务副主任，兼任中国岩石力学与工程学会常务理事、重庆市科协常委、重庆岩石力学与工程学会理事长、中国土木工程学会地下空间专委会副主任、中国岩石力学与工程学会岩溶勘察与基础工程专委会副主任、《地下空间与工程学报》主编、《岩石力学与工程学报》和《中国地质灾害防治学报》等编委；长期从事岩土工程、隧道与地下工程和城市地下空间开发利用等领域的教学科研工作。先后承担国家973课题、国家863课题、国家支撑计划、国家自然科学基金等国家和省部级科研课题以及重大工程科研课题30余项。其中获国家科技进步二等奖2项、三等奖1项，省部级科技进步一等奖5项、二等奖8项；在国内外发表学术论文300余篇，其中被SCI收录50余篇，EI收录210余篇，出版专著3部，编写教材5部。荣获“霍英东教育基金会高校青年教师奖”“宝钢教育基金会优秀教师奖”“重庆青年科技奖”“重庆青年五四奖章”“中国岩石力学与工程青年优秀科技奖”等。《工程地质》（网络）国家精品课程负责人、《岩石力学》国家精品课程主讲教师。



**杨忠平**，1981年生，副教授，博士生导师，重庆大学土木工程学院建筑工程系副主任，高级爆破工程师，重庆市建筑行业专家库施工安全与应急专家，重庆市国土房管局项目评审专家，重庆市高级人民法院环境资源审判咨询专家（首批），中国岩石力学与工程学会青年工作委员会委员，中国岩石力学与工程学会岩溶勘察与基础工程专业委员会委员，重庆市岩石力学与工程学会理事。2008年毕业于吉林大学水文学及水资源专业，获博士学位。2010年9月特聘晋升为副教授。2013年8月至2014年8月在美国亚利桑那大学（University of Arizona）水文与水资源系任访问学者，从事地下水非均质介质渗流参数反演和污染质运移数值模拟研究。现任职于重庆大学土木工程学院岩土工程研究所，主要从事岩土工程、环境岩土（水土壤污染与修复）、水文地质等方面的教学与研究工作。主持和参与国家自然科学基金项目4项，省部级科研项目10余项，主持和参与重大工程科研项目20余项。获省部级科技进步二等奖3项，在国内外核心期刊发表学术论文50余篇（其中SCI检索8篇，EI检索18篇），所发表的论文被引用600余次。获（申请）发明专利授权5项，参编规划教材3部。



**李晓昭**，1968年生，教授，博士生导师，创办南京大学地下空间与地质环境研究所并担任所长，兼任Sino Prober Centre地下空间方向特聘首席专家。曾任南洋理工大学（Nanyang Technological University）、瑞士联邦理工学院（Swiss Federal Institute of Technology）等客座教授。现兼任国际隧道与地下空间协会（ITA-AITES）地下与环境工作组委员、教育委员会委员、中国岩石力学与工程学会地下空间分会副理事长等，Tunneling and Underground Space Technology等国际杂志、《岩石力学与工程学报》《应用基础与工程科学学报》《太阳能学报》《地下空间与工程学报》《防灾减灾工程学报》等编委，国家基金委地学部、国家重点研发计划、国家科技合作专项等会评专家，中国地调局城市地质调查计划等咨询专家，多个重点实验室与工程中心学术委员。长期从事地下空间、工程地质与城市地下资源可持续开发研究。主持国家国际合作专项、973课题、国家国防科技重点项目、国家自然科学基金、各类人才基金、科技计划及重大工程科研课题40余项。发表论著200余篇，获发明专利、著作权、工法20余项，主编与参编规范标准3部，应邀在国内外学术大会、著名大学与研究机构作特邀报告50余次。获省部级奖3项，入选全国青年地质科技奖（2001）、教育部首批“新世纪优秀人才”（2004）、江苏省“六大人才高峰”计划、江苏省“333高层次人才工程”等。

# 高等学校土木工程专业系列规划教材

## 学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉  
周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

## 编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇  
王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒  
王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊  
龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平  
吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅  
刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华  
阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋  
李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶  
吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全  
张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元  
张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰  
胡世阳 侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光  
夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴  
黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚  
韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚  
廖莎 廖海黎 蒲小琼 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

## 出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍

## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要内容包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

### 数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动传媒”微信公众号!



## 丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以以为序。



2014年3月于同济大学四平路校区

# 前 言

本书是高等学校土木工程专业系列规划教材之一,根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》要求编写而成。

全书共分为7章,主要内容包括绪论、地质学基础、土的工程性质、岩石和岩体的工程性质、地下水及其对工程的影响、不良地质作用及防治、工程地质勘察。本书的特点体现在以下几个方面:

(1)紧密结合现行规范,除了涵盖《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的全部知识点外,还结合注册土木工程师(岩土)基础考试大纲的要求编写,可以作为备考复习资料使用。

(2)针对土木工程专业特点,注重将地质学、土力学和岩石力学的基本理论和基本原理与工程实际相结合,注重培养学生分析工程问题的能力。

(3)注重引用最新的工程案例和研究成果,配合翔实的图片资料让学生能更直观地理解知识点。

(4)提供免费的矿物岩石标本图片、地质构造动画及大量工程地质灾害视频等教学资料。

使用本书作为课堂理论教学时,建议修读学期为第四学期,建议学时为48学时,外加室内实验8学时,野外实习1周学时。

本书由重庆大学刘新荣、杨忠平担任主编。具体编写分工为:刘新荣编写第1、3章,杨忠平编写第2、5章,黄明编写第4章,黄达编写第6章,李鹏编写第7章。全书由刘新荣和杨忠平负责统稿。

南京大学李晓昭教授担任本书主审,在本书的编写过程提出了大量宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平有限,书中难免有疏漏与不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2018年5月

# 目 录

1 绪论 .....	(1)	2.5.4 平原地貌 .....	(69)
1.1 人类工程活动与地质环境的相互 关系 .....	(2)	2.5.5 河谷地貌 .....	(70)
1.2 工程地质学的定义、研究对象和 任务 .....	(3)	2.5.6 湖积地貌和海积地貌 .....	(73)
1.3 工程地质条件和工程地质问题 .....	(4)	2.5.7 冰川地貌 .....	(75)
1.3.1 工程地质条件 .....	(4)	2.5.8 风成地貌 .....	(79)
1.3.2 工程地质问题 .....	(5)	知识归纳 .....	(81)
1.4 工程地质学的研究内容与分支 学科 .....	(5)	独立思考 .....	(82)
1.5 工程地质学的分析方法 .....	(7)	参考文献 .....	(82)
1.6 工程地质学的发展简述 .....	(8)	3 土的工程性质 .....	(83)
1.7 工程地质学的学习方法和要求 .....	(9)	3.1 概述 .....	(84)
知识归纳 .....	(10)	3.2 土的地质成因 .....	(84)
独立思考 .....	(10)	3.3 土的物质组成及结构、构造 .....	(86)
参考文献 .....	(10)	3.3.1 土的矿物成分 .....	(86)
2 地质学基地 .....	(11)	3.3.2 土中的水基本类型与特征 .....	(88)
2.1 矿物 .....	(12)	3.3.3 土中的气体 .....	(90)
2.1.1 矿物的概念 .....	(12)	3.3.4 土的粒度成分 .....	(90)
2.1.2 矿物的分类 .....	(12)	3.3.5 土的结构和构造 .....	(92)
2.1.3 矿物的形态及主要物理性质 .....	(13)	3.4 土的工程分类 .....	(94)
2.1.4 常见矿物及其主要特征 .....	(16)	3.4.1 按堆积年代分类 .....	(94)
2.1.5 矿物的肉眼鉴定 .....	(18)	3.4.2 按地质成因分类 .....	(94)
2.2 岩石 .....	(18)	3.4.3 按颗粒级配或塑性指数分类 .....	(94)
2.2.1 岩浆岩 .....	(19)	3.4.4 按有机质含量分类 .....	(95)
2.2.2 沉积岩 .....	(23)	3.5 土的物理性质 .....	(96)
2.2.3 变质岩 .....	(27)	3.5.1 土的基本物理性质 .....	(96)
2.2.4 三大类岩石的特征对比 .....	(31)	3.5.2 细粒土的物理性质 .....	(99)
2.3 地质作用与地质年代 .....	(32)	3.5.3 土的透水性和毛细性 .....	(102)
2.3.1 地质作用 .....	(32)	3.6 土的力学性质 .....	(104)
2.3.2 地质年代 .....	(33)	3.6.1 土的压缩性 .....	(104)
2.4 地质构造 .....	(37)	3.6.2 土的抗剪性 .....	(107)
2.4.1 水平构造 .....	(37)	3.6.3 土的击实性 .....	(110)
2.4.2 倾斜构造 .....	(38)	3.7 一般土的工程地质特征 .....	(111)
2.4.3 褶皱构造 .....	(43)	3.7.1 砾类土 .....	(112)
2.4.4 断裂构造 .....	(47)	3.7.2 砂类土 .....	(112)
2.4.5 识读地质图 .....	(56)	3.7.3 细粒土 .....	(113)
2.5 地貌 .....	(62)	3.8 特殊土的工程地质特征 .....	(113)
2.5.1 地貌的形成和发展 .....	(62)	3.8.1 软土 .....	(113)
2.5.2 地貌的分级与分类 .....	(63)	3.8.2 黄土 .....	(115)
2.5.3 山岭地貌 .....	(64)	3.8.3 膨胀土 .....	(118)
		3.8.4 红黏土 .....	(120)
		3.8.5 冻土 .....	(121)
		3.8.6 填土 .....	(122)

3.8.7 盐渍土 .....	(124)	5 地下水及其对工程的影响 .....	(158)
3.8.8 污染土 .....	(125)	5.1 概述 .....	(159)
知识归纳 .....	(126)	5.2 地下水的基本概念 .....	(159)
独立思考 .....	(126)	5.2.1 岩土的空隙性 .....	(159)
参考文献 .....	(126)	5.2.2 水在岩土中存在的形式 .....	(160)
<b>4 岩石和岩体的工程性质</b> .....	(127)	5.2.3 含水层与含水岩系 .....	(160)
4.1 概述 .....	(128)	5.3 地下水物理性质和化学成分 .....	(161)
4.2 岩石的物理性质 .....	(128)	5.3.1 物理性质 .....	(161)
4.2.1 岩石的结构和构造 .....	(128)	5.3.2 化学成分和性质 .....	(161)
4.2.2 岩石的基本物理性质 .....	(128)	5.4 地下水分类 .....	(163)
4.2.3 岩石的水理性质 .....	(129)	5.4.1 上层滞水 .....	(164)
4.3 岩石的力学性质 .....	(130)	5.4.2 潜水 .....	(164)
4.3.1 单向无侧限岩石抗压试验的应力 与应变关系 .....	(131)	5.4.3 承压水 .....	(166)
4.3.2 单向无侧限岩石的极限抗压 强度 .....	(132)	5.5 地下水运动与动态 .....	(168)
4.3.3 岩石在三向压力作用下的应力-应 变关系 .....	(132)	5.5.1 地下水运动的基本规律 .....	(168)
4.3.4 抗剪强度 .....	(133)	5.5.2 地下水的动态 .....	(171)
4.3.5 岩石的抗拉强度 .....	(133)	5.6 地下水的补给、排泄与径流 .....	(173)
4.3.6 岩石的物理力学参数及强度相互 关系 .....	(134)	5.6.1 地下水的补给 .....	(173)
4.4 岩体的结构特征 .....	(134)	5.6.2 地下水的排泄 .....	(173)
4.4.1 结构体 .....	(134)	5.6.3 地下水的径流 .....	(174)
4.4.2 结构面 .....	(135)	5.7 不同含水介质中的地下水 .....	(175)
4.4.3 岩体的工程地质特性 .....	(138)	5.7.1 孔隙水 .....	(175)
4.5 岩体的力学性质 .....	(139)	5.7.2 裂隙水 .....	(177)
4.5.1 Hoek-Brown 准则 .....	(139)	5.7.3 岩溶水 .....	(177)
4.5.2 岩体的变形特征 .....	(141)	5.8 地下水的不良工程地质作用 .....	(178)
4.5.3 岩体的流变特性 .....	(142)	5.8.1 地基沉降 .....	(178)
4.5.4 岩体的强度特性 .....	(143)	5.8.2 流砂 .....	(179)
4.5.5 岩体的破坏方式 .....	(144)	5.8.3 潜蚀 .....	(179)
4.5.6 岩体的水力学性质 .....	(145)	5.8.4 地下水的浮托作用 .....	(180)
4.5.7 结构面对岩石强度的影响 .....	(146)	5.8.5 基坑突涌 .....	(180)
4.6 岩体的工程分类 .....	(148)	5.8.6 地下水的腐蚀性评价 .....	(181)
4.6.1 岩体按坚硬程度的分类 .....	(148)	知识归纳 .....	(182)
4.6.2 岩体按完整程度的分类 .....	(149)	独立思考 .....	(183)
4.6.3 岩体按基本质量等级的分类 .....	(149)	参考文献 .....	(184)
4.7 岩体的工程地质特性与稳定性 分析 .....	(151)	<b>6 不良地质作用及防治</b> .....	(185)
4.7.1 岩体的稳定性分析 .....	(151)	6.1 地震 .....	(186)
4.7.2 结构岩体稳定性的赤平投影 分析法 .....	(152)	6.1.1 地震的基本概念 .....	(186)
知识归纳 .....	(156)	6.1.2 地震破坏方式 .....	(190)
独立思考 .....	(157)	6.1.3 地震的类型 .....	(191)
参考文献 .....	(157)	6.1.4 活断层与地震 .....	(192)
		6.1.5 汶川地震 .....	(193)
		6.1.6 地震与海啸 .....	(198)
		6.2 岩溶与土洞 .....	(199)
		6.2.1 岩溶 .....	(200)
		6.2.2 土洞 .....	(203)
		6.2.3 岩溶与土洞的工程地质问题 .....	(205)

6.2.4 岩溶与土洞的灾害防治 .....	(206)	参考文献 .....	(234)
6.3 滑坡 .....	(207)	7 工程地质勘察 .....	(235)
6.3.1 基本概念 .....	(207)	7.1 工程地质勘察方法 .....	(236)
6.3.2 分类 .....	(209)	7.1.1 岩土工程勘察等级与阶段 划分 .....	(236)
6.3.3 影响因素及发育过程 .....	(211)	7.1.2 工程地质测绘 .....	(238)
6.3.4 野外识别 .....	(213)	7.1.3 勘探与取样 .....	(240)
6.3.5 稳定性计算 .....	(213)	7.1.4 原位测试技术 .....	(244)
6.3.6 防治 .....	(215)	7.1.5 室内试验概述 .....	(250)
6.4 危岩和崩塌 .....	(217)	7.1.6 现场检验与监测 .....	(250)
6.4.1 基本概念 .....	(217)	7.1.7 工程地质勘察资料的整理 .....	(251)
6.4.2 类型及形成条件 .....	(218)	7.2 工业与民用建筑工程地质勘察 .....	(252)
6.4.3 危岩稳定性计算 .....	(221)	7.2.1 岩土工程勘察的主要内容 .....	(252)
6.4.4 防治 .....	(223)	7.2.2 勘察阶段的划分及各阶段的勘察 要点 .....	(252)
6.5 泥石流 .....	(224)	7.2.3 岩土工程勘察报告 .....	(255)
6.5.1 基本概念 .....	(224)	7.3 公路和桥梁工程地质勘察 .....	(255)
6.5.2 类型 .....	(224)	7.3.1 公路工程地质勘察 .....	(255)
6.5.3 形成条件 .....	(225)	7.3.2 桥梁工程地质勘察 .....	(258)
6.5.4 流量及流速计算 .....	(226)	7.4 隧道和地下硐室工程地质勘察 .....	(259)
6.5.5 防治 .....	(227)	7.4.1 隧道和地下硐室工程地质 概述 .....	(259)
6.6 采空区 .....	(228)	7.4.2 隧道及地下硐室岩土工程 勘察 .....	(259)
6.6.1 采空区地表变形 .....	(228)	7.5 边坡岩土工程勘察 .....	(261)
6.6.2 采空区突涌水灾害 .....	(229)	7.5.1 边坡岩土工程勘察的主要 内容 .....	(261)
6.6.3 影响采空区地表变形的因素 .....	(229)	7.5.2 各阶段勘察要求 .....	(261)
6.6.4 采空区地面建筑适宜性和处理 措施 .....	(230)	7.5.3 勘探点的布置及勘察测试 .....	(261)
6.7 地面沉降 .....	(231)	知识归纳 .....	(262)
6.7.1 地面沉降及其危害 .....	(231)	独立思考 .....	(263)
6.7.2 地面沉降的原因 .....	(231)	参考文献 .....	(263)
6.7.3 地面沉降的监测方法 .....	(231)		
6.7.4 地面沉降的防治 .....	(232)		
知识归纳 .....	(232)		
独立思考 .....	(234)		



数字资源目录

# 1

# 绪 论

## 课前导读

---

### ▣ 内容提要

本章主要内容包括工程地质学的定义、研究对象和任务，工程地质条件，工程地质问题，工程地质研究内容和分析方法。

### ▣ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握工程地质学的定义，工程地质条件与工程地质问题的含义；了解工程地质研究对象与任务，工程地质学的分析方法、发展历史。

## 1.1 人类工程活动与地质环境的相互关系



地质环境是人类环境中极为重要的组成部分,主要是指与人的生存发展有着紧密联系的地质背景、地质作用及其发生空间的总和,又称为地质环境系统。人类工程活动均是在一定的地质环境中进行的。两者之间势必以某种特定的方式相互关联和相互制约。

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。这种制约作用既可以表现为以一定作用影响工程建筑物的稳定性和正常使用,也可表现为以一定作用影响工程活动的安全,还可以表现为由于地质条件不良而提高工程造价,因地质环境的具体特点和人类工程活动方式和规模而异。

例如,在活动断层和强烈地震区,如果建筑场地选择不当或建筑物类型、结构设计不合理,就会因断层活动及伴随产生的强烈地震导致建筑物损毁,如图 1-1 所示。地表工程开挖时,若无视地质条件的特点或对边坡稳定性判断失误,则会引起大规模的崩塌或滑坡,严重危及工程活动及施工者的安全。在复杂的岩土体中开挖地下洞室,洞室自稳能力及支衬结构、施工方法、施工的正常工作条件及施工人员的安全,都受周围地质环境制约,如图 1-2 所示。在石灰岩区修建水工建筑物,如未能查明溶蚀洞穴的分布规律和采取适当措施,轻则造成水库漏水,重则造成水库不能蓄水,影响其正常使用。由于某些不良工程地质条件,工程造价提高,主要表现在:其一,由于建筑场地选择不当,为保证建筑物安全,必须对威胁建筑物的地质因素采取某种处理措施,或采用更为复杂的建筑物结构。例如,在淤泥质软弱地基上修建高层建筑,由于没有可靠的天然地基,或者是采用人工改良地基,或者是采用更为复杂的箱形基础,以保证建筑物不致因强烈不均匀沉陷而毁坏,工程建筑物的造价因之而提高是显而易见的。其二,选择了当地不能提供充分天然建筑材料的建筑物形式。例如在天然产出的砂砾石很少的地区修建混凝土坝,本来可以选用混凝土方量小的轻型结构,却选用了大体积的重力坝,如不从远地运来天然砂砾作为骨料,就必须制造人工骨料,建筑物造价将大大提高。各种制约作用,综合起来是从安全、经济和正常使用三个方面影响工程建筑物的。因而,工程地质工程师必须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、深入的研究。



建筑物损毁图



崩塌与滑坡  
视频

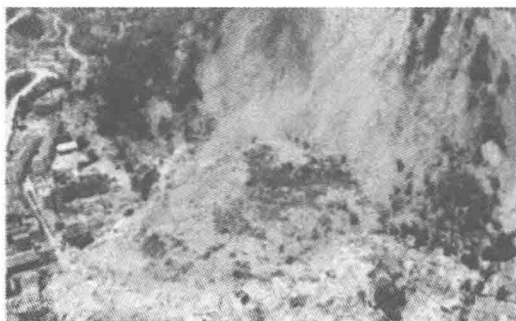


图 1-1 2008 年汶川地震震害图



图 1-2 某隧道塌方

人类的各种工程活动又以各种方式反馈在地质环境中,使自然地质条件发生变化,影响建筑物的稳定性和正常使用。由于人类工程活动规模愈来愈大,对地壳表层岩、土体的改造作用已达到不可忽视的程度,对地质环境的影响早已超出局部场地的范围而波及广大区域,甚至威胁人类的生活和生存环境。例如,大量抽汲地下水或其他地下流体,

降低了土体中的空隙液压,引起大范围地面沉降或塌陷,使得沉降区内已有建筑物的正常工作条件受到严重影响,如图 1-3 所示。又如修建高坝大水库,导致大区域的水文动态和水文地质条件因之而改变,使河流上、下游大范围内水文和水文地质条件发生恶化,引起库岸再造、库周浸没、库区淤积、诱发地震等问题,甚至使生态环境恶化,如图 1-4 所示。



图 1-3 地面塌陷

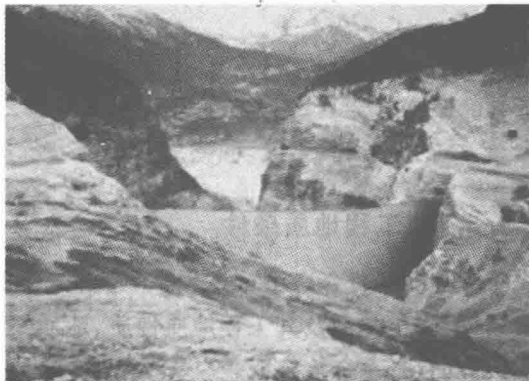


图 1-4 意大利瓦伊昂水库溃坝后景象

可见,人类工程活动与地质环境之间处于相互联系又相互制约的矛盾之中。如果不能根据具体地质环境和工程活动方式预见两者之间相互制约的基本形式,不但不能合理开发(或利用)地质环境以致影响工程活动的安全性与经济性,甚至还会使广大区域的地质环境恶化,致使大范围的大量已有建筑受到不良影响。

## 1.2 工程地质学的定义、研究对象和任务 >>>

工程地质学(engineering geology),广义上是指研究地质环境及其保护和利用的科学;狭义上是指将地质学的原理运用于解决与工程建设有关的地质问题的一门学科,具体来说是指研究人类工程活动与地质环境之间的相互制约关系,以便科学评价、合理利用、有效改造和妥善保护地质环境的科学。它是地质学与工程学相结合的边缘学科,也是地质学的一个分支学科。工程地质学通过工程地质勘察,研究建筑场地的岩土类型及性质、地质结构与构造、地形地貌、水文地质、不良地质现象和天然建筑材料等工程地质条件,预测和论证工程地质问题发生的可能性并采取必要的防治措施,以确保建筑物的安全、稳定和正常使用。工程地质工作是各类土木工程设计和施工的基础,是岩土工程的重要组成部分。工程地质学的特点是始终与工程实践紧密联系。

工程地质学的研究对象是工程地质条件与人类的工程建筑活动的矛盾。所以,研究地质环境(工程地质条件)与人类地质活动之间的相互关系,促使两者之间矛盾的转化和解决,以便合理开发和有效保护地质环境,防治可能发生的地质灾害,就是工程地质学的基本任务。

工程建设必须遵循地质勘察—设计—施工—监理的原则。任何建筑工程和工程建设的任何阶段都必须进行相应的工程地质研究与调查,并对其进行深入、细致的论证和阐明,作为工程地质工作的首要任务,是工程地质工作的基础。具体地说,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和不利因素,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,得出确切的结论;

②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,提出利用和保护地质环境的对策和措施,根据所选定地点的工程地质条件和存在的工程地质问题,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施工和使用所应注意的地质要求;

③为拟定改善和防治不良地质作用的措施方案提供地质依据;

④提供工程规划、设计和施工所需要的定性和定量的工程地质评价。

工程师只有与工程规划、设计和施工工程师密切配合、协同工作,才能圆满地完成上述各项任务。

由上述任务可见,明确工程地质条件和工程地质问题的含义及其相互关系十分重要。

## 1.3 工程地质条件和工程地质问题



### 1.3.1 工程地质条件

工程地质条件(engineering geological conditions)是与人类活动有关的各种地质要素的综合,包括地形地貌条件、岩土类型及其工程地质性质、地质结构与构造、水文地质条件、不良地质作用以及天然建筑材料等六大方面,是一个综合概念。

工程地质条件是长期地质历史发展演化的结果。工程地质条件的形成受大地构造、地形地貌、水文、气候等自然因素的控制。各地的自然因素不同、地质发展过程不同,其工程地质条件也不同,同一区域的工程地质条件各要素之间则是相互联系、相互制约的,受同一地质发展历史的控制,形成一定的组合模式。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。

#### 1.3.1.1 地形地貌

地形是指地表高低起伏状况、山坡陡缓程度与沟谷宽窄及形态特征等。地貌则说明地形形成的原因、过程和时代。平原区、丘陵区和山岳地区的地形起伏、土层薄厚和基岩出露情况、地下水埋藏和地表地质作用现象都具有不同的特征,这些因素都直接影响建筑场地和线路的选择。地形地貌条件对建筑场地选择,特别是对线性建筑如铁路、公路,运河渠道等路线方案选择意义重大。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、结构形式、规模以及施工条件等有直接影响。

#### 1.3.1.2 岩土类型及性质

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。在工程中针对岩土的研究,除了要了解其成因类型、形成时代、埋藏深度、厚度变化、延伸范围、风化特征及产状要素外,还要进行岩土的物理力学性质试验,定量地确定有关指标,因为工程设计的合理性在很大程度上取决于岩土参数的准确性。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。

#### 1.3.1.3 地质结构与构造

地质结构与构造包括地质构造、土体结构与岩体结构。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,可能会给建筑带来很大危害,在选择建筑场地时必须注意断层的规模、产状及其活动情况。土体结构主要是指土层的组合关系,亦即由层面所分隔的各层土的类型、厚度及其空间变化,特别要注意地基中强度低的软弱土层,它对地基承载力和建筑物的沉降起着决定性作用。岩体结构是指结构面形态及其组合关系,尤其是层面、泥化夹层、不整合面、断层带、层间错动、节理面等结构面的性质、产状、规模和组合关系。岩体结构面的空间分布,对建筑物的安全稳定性有重要影响。形成时代新、规模大的活动性断裂,对地震等灾害具有控制作用。

#### 1.3.1.4 水文地质条件

水文地质条件包括地下水的成因、埋藏、分布、动态变化、补径排条件和化学成分等。地下水是降低岩土体稳定性的主要因素之一。较高的地下水位一般对工程不利,地基土含水量大,地基承载力降低,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。工程建设中经常要考虑水文地质条件,如在计算地基沉降量时要考虑地下水位的变化,在分析基础抗浮设计、基坑涌水、流砂等工程地质问题时,地下水位的变化是首先要考虑的因素。在溶岩地区,地下水的溶蚀造成地基中的洞穴,给基础设计带来困难。地下水的水质对混凝土材料还可能产生一定的腐蚀作用。因此,工程建设过程中需要做水质分析。

#### 1.3.1.5 不良地质作用

不良地质作用是指对工程建设有影响的自然地质作用。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,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。其主要包括岩溶、滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地震等灾害引起的对建筑物构成威胁和危害的不良地质现象。它还会影响建筑物的整体布局、设计和施工方法。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不良地质现象存在,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,不良地质作用就是可以避免的。

#### 1.3.1.6 天然建筑材料

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、拟订工程结构类型的重要条件。而不同地质条件下的建筑材料适合不同的工程需要,所以必须厘清天然建筑材料的地质成因、岩性和物理力学指标。

### 1.3.2 工程地质问题

工程地质问题是指工程地质条件与工程建筑物之间所存在的矛盾或问题。工程地质条件是自然界客观存在的,它能否适应工程建设的需要,则一定要联系工程建筑物的类型、结构和规模确定。优良的工程地质条件能适应建筑物的要求,对它的安全、经济和正常使用方面不会造成影响和损害。但是,工程地质条件往往有一定的缺陷,对建筑物产生某种影响,甚至造成灾难性的后果。因此,一定要将工程地质条件和建筑物这相互矛盾的两个方面联系起来进行分析。不同类型、结构和规模的工程建筑物,由于工作方式和对地质体的负荷不同,对地质环境的要求也是不同。所以,工程地质问题是复杂多样的。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变形问题;地下硐室的主要工程地质问题是围岩稳定性问题;露天采矿场的主要地质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;坝基抗滑稳定性和坝座抗滑稳定性则分别是重力坝和拱坝的主要地质问题;水库渗漏、库周浸没、库岸再造以及船闸边坡稳定性和渠系工程的渗漏和稳定性问题。

工程地质问题的分析、评价,是工程地质勘察工作的核心任务。对每一项工程的主要工程地质问题,必须作出定性或定量的确切结论。

近数十年来,国内外一些工程建设项目由于未查清建筑场区的工程地质条件,对工程地质问题分析、评价不够确切或结论有误,以致造成不良影响或严重后果,应引起注意。

## 1.4 工程地质学的研究内容与分支学科 >>>

工程地质学研究的内容是多方面的,完整的工程地质学科体系应从如下几个方面进行研究,由此也就形成了它的分支学科。

①岩土工程地质性质的研究。建造于地壳表层的任何类型建筑物,总是离不开岩土体,作为建筑物地基或环境的岩土体,其成因类型和性质对工程建筑意义重大,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。岩土的分布规律和成因类型,工程性质的形成和变化规律,各项参数的测试技术和方法以及对其不良性质进行改善等方面的内容,是由“工程岩土学”这一分支学科来进行的。

②工程动力地质作用的研究。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。研究工程动力地质作用(现象)的分布、规模、形成机制、发展演化规律及其所产生的不良地质问题,对其进行分析、评价并提出有效的防治对策和措施等,是由“工程动力地质学”这一分支学科来进行的。

③工程地质勘察理论和技术方法的研究。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。为了保证工程地质勘察的质量和精度,应该制定适用于不同类型工程建筑的地质勘察规范和手册,作为工程地质勘察的指导性文件。当前,我国有关部门已经编制出或正在编制国家标准的各类建筑工程的勘察范围或规程,并重视新颖的工程地质勘察理论和技术方法的推广。有关这方面研究,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。“区域工程地质学”即为这方面研究的分支学科。

⑤环境工程地质的研究。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、城市建设和矿业开发等方面要大力开展环境工程地质研究。所以,“环境工程地质学”已成为工程地质学的新兴分支学科。

工程地质学所涉及的知识范围十分广泛,它必须以其他多学科的知识作为自己的理论基础和方法、手段。因此,它与地质学的各分支学科以及其他多学科都存在着联系。

地质学的分支学科包括动力地质学、矿物学、岩石学、构造地质学、地层学、第四纪地质学、地貌学和水文地质学等,这些都是工程地质学的地质基础学科。没有上述地质学科的知识,是不可能进行工程地质研究的。例如,研究岩土工程地质性质时,就必须具备矿物学和岩石学的知识。研究各种工程动力地质作用和现象,更需要多种地质分支学科的理论和方法作为基础。

为确切地研究一些不良地质现象的形成机制和定量评价工程地质问题,工程地质学要以数学、物理学、化学、力学等学科知识作为基础。尤其是工程力学、弹塑性力学、结构力学、土力学和岩体力学等,与工程地质学的关系十分密切。工程地质学中的大量计算问题,实际上也就是土力学和岩体力学课题;土力学和岩体力学是进行工程地质问题定量评估的“左右手”。因此,在广义的工程地质学概念中,甚至将土力学也包含在内。

此外,工程地质学还与工程应用技术科学、环境科学、工程科学等有关。如水利水电建筑学、工业与民用建筑学、气象学、水文及水测验学、电子计算机技术、地球物理勘测学、钻探学等与之联系均较密切。