

高等院校土建类创新规划教材 基础课系列

# 土木工程地质

陈娟浓 陈稳 编著



TUJIANLEI  
CHUANGXINGUIHUA

通过本书的学习能正确处理各种工程地质问题，并能合理利用自然地质条件；了解工程地质资料的获取方法，能正确提出工程地质勘察任务及要求，并运用勘察资料进行工程设计及指导施工。

本书在编写过程中力求理论联系实际，在内容上反映工程地质学科的新理论、新成果，反映相关学科的新规范和新规定。



清华大学出版社

高等院校土建类创新规划教材 基础课系列

# 土木工程地质

陈娟浓 陈 稳 编 著

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

“土木工程地质”是土木工程一门重要的专业基础课。本书主要为土木工程专业的教学需要而编著，其目的在于使读者了解工程建设中的工程地质现象和问题，以及这些现象和问题对工程建筑设计、施工和使用各阶段的影响。通过本书的学习，读者能正确处理各种工程地质问题，并能合理利用自然地质条件；能了解工程地质资料的获取方法，正确提出工程地质勘察任务及要求，并运用勘察资料进行工程设计及指导施工。为此，本书在编写过程中力求理论联系实际，在内容上反映工程地质学科的新理论、新成果，反映相关学科的新规范和新规定。

本书内容翔实、语言简练、思路清晰，适合作为高等院校相关专业本科生、研究生的教材，也可供从事土木工程建设的各领域相关专业的读者学习参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程地质/陈娟浓，陈稳编著. --北京：清华大学出版社，2014  
(高等院校土建类创新规划教材 基础课系列)  
ISBN 978-7-302-37315-5

I. ①土… II. ①陈… ②陈… III. ①土木工程—工程地质—高等学校—教材 IV. ①P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 159528 号

责任编辑：李春明

封面设计：杨玉兰

版式设计：北京东方人华科技有限公司

责任校对：周剑云

责任印制：沈 露

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈：010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者：清华大学印刷厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm

印 张：20.25

字 数：442 千字

版 次：2014 年 9 月第 1 版

印 次：2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：38.00 元

# 前 言

土木工程地质是研究工程地质环境与人类土木工程活动相互关系和相互作用的一门应用地质科学。土木工程地质的学习目的就是要解决与土木工程活动有关的工程地质问题，了解土木工程活动对地质环境的影响。其具体任务包括：对工程区内的各种工程地质条件进行调查、分析、评价；解决影响工程活动的各种地质问题，并论证工程区内各种不良地质现象的发生和发展，提出有效的预防和改进措施；为工程建设的规划、设计、施工、使用和维护提供所需的地质资料和数据。随着社会和人类文明的进步，工程活动对地质环境的影响也日益受到关注，工程活动的安全性显得非常重要。

本书在内容安排上以基础知识为纲，以实践内容为目，不仅让读者能够掌握工程地质学基础知识，同时还能对解决岩土工程地质问题的方法有较深入的了解。

全书共分为 12 章，各章内容都彼此紧密联系。

第 1 章为土木工程地质概论，介绍了工程地质学的研究内容和任务、工程地质学的研究方法以及工程活动与地质环境的关系。

第 2 章为矿物与岩石，介绍了矿物构造以及岩石的种类、性质及工程分类。

第 3 章为地质构造与工程建设，介绍了褶皱、节理、劈理、片理、断层、岩石和岩体等不同的地质构造与工程建设的关系。

第 4 章为地下水及其对土木工程建设的影 响，介绍了地下水的基本概况，地下水运动的基本规律，地下水的补给、排泄和径流，以及地下水对土木工程建设的影 响。

第 5 章为土的基本特征，介绍了土的形成、特点及其对工程的作用与影 响。

第 6 章为动力地质作用，介绍了风化作用、河流的地质作用、岩溶作用等动力地质的特点与影 响。

第 7 章为第四纪地层和地貌，分析了第四纪的概念及第四纪地层对工程的作用。

第 8 章为常见的地质灾害，分别对滑坡、泥石流、崩塌进行了详细论述。

第 9 章为岩土工程稳定性评价，对基坑工程的设计施工特点、支护结构以及地下洞室围岩进行了分析介绍。

第 10 章为岩土工程勘察，对岩土工程勘察的目的要求、分级、划分以及勘察方法、试验进行了介绍。

第 11 章为土木建筑中的工程地质，介绍了道路、桥梁、隧道、地下洞室以及其他工程地质问题。

第 12 章为工程地质环境，对工程地质环境的物质基础、工程地质环境评价等进行了介绍。

本书紧密结合工程实际，图文并茂，在每章后附有思考与练习题，希望在使用本书过程中有实习课时与之相配合。

本书由河北联合大学的陈娟浓、陈稳两位老师共同编著，其中第1、2、4、5、9、10、11、12章由陈娟浓老师编写，第3、6、7、8章由陈稳老师编写。参与本书编写工作的还有袁伟、刘宝成、任文营、张勇毅、郑尹、王卫军、张静、吕莎莎等，在此一并表示感谢。

本书可作为土木工程专业本科生、研究生的教材，也可供相关专业的工程技术人员参考。由于编者水平所限，不妥之处在所难免，欢迎同行和读者批评指正。

编 者

# 目 录

第 1 章 土木工程地质概论.....	1	2.3 岩石.....	24
1.1 土木工程地质的发展.....	2	2.3.1 岩浆岩.....	25
1.1.1 土木工程地质在工程 建设中的位置.....	3	2.3.2 沉积岩.....	28
1.1.2 我国土木工程地质的 发展及技术.....	3	2.3.3 变质岩.....	33
1.2 土木工程地质学的研究内容和任务.....	4	2.3.4 三大岩类的区别.....	35
1.2.1 土木工程地质学的研究内容.....	4	2.3.5 岩土体的特性.....	36
1.2.2 土木工程地质学的研究任务.....	5	2.4 岩石的性质及工程分类.....	37
1.2.3 土木工程地质学的研究方法.....	6	2.4.1 岩石的物理性质指标.....	38
1.3 土木工程地质在土木工程建设中 的作用.....	7	2.4.2 岩体的工程分类.....	42
1.3.1 土木工程的建筑材料.....	7	本章小结.....	45
1.3.2 工程地质条件.....	8	思考与练习.....	45
1.3.3 土木工程的地质问题.....	8	第 3 章 地质构造与工程建设.....	47
1.4 工程活动与地质环境.....	9	3.1 褶皱.....	48
1.4.1 地质环境对工程活动的影响.....	9	3.1.1 褶曲的形态及要素.....	48
1.4.2 工程活动对地质环境的影响.....	10	3.1.2 褶皱的形成与研究方法.....	49
本章小结.....	12	3.1.3 倾斜岩层的产状.....	51
思考与练习.....	12	3.1.4 褶皱的工程地质评价.....	52
第 2 章 矿物与岩石.....	13	3.2 节理、劈理、片理.....	53
2.1 概述.....	15	3.2.1 节理的成因、类型及特征.....	53
2.1.1 地壳.....	15	3.2.2 劈理的成因、类型及特征.....	55
2.1.2 矿物.....	16	3.2.3 片理的成因、类型及特征.....	57
2.1.3 地球内部圈层.....	17	3.3 断层.....	57
2.2 主要造岩矿物.....	18	3.3.1 断层的要素.....	58
2.2.1 矿物的形态.....	18	3.3.2 断层的分类.....	60
2.2.2 矿物的物理性质.....	19	3.3.3 断层的组合形式.....	65
2.2.3 几种重要造岩矿物的 物理性质.....	22	3.3.4 断层的标志.....	67
		3.3.5 断层的成因分析.....	71
		3.3.6 断层的观察与研究.....	77
		3.4 岩层岩体的接触关系.....	85
		3.4.1 岩石和岩体.....	85

3.4.2 岩层岩体接触关系的 若干类型 .....	86	<b>第 5 章 土的基本特征</b> .....	127
3.5 软岩、弱面与夹层 .....	87	5.1 土的组成及其结构与构造 .....	129
3.5.1 软岩的概念及分类 .....	87	5.1.1 土的固体颗粒 .....	129
3.5.2 软岩的物理性质及结构 特征 .....	88	5.1.2 土中的水 .....	129
3.5.3 影响软岩工程的地质条件 .....	92	5.1.3 土中气体 .....	131
3.5.4 泥化夹层及弱面 .....	92	5.1.4 土的结构和构造 .....	132
本章小结 .....	93	5.2 土的物理性质指标 .....	134
思考与练习 .....	93	5.2.1 土的三相图 .....	134
<b>第 4 章 地下水及其对土木工程     建设的影响</b> .....	95	5.2.2 指标的定义 .....	136
4.1 概述 .....	96	5.2.3 指标间的相互换算 .....	137
4.2 地下水的物理性质与化学性质 .....	97	5.3 土的物理状态指标 .....	139
4.3 地下水的类型与工程地质 .....	98	5.3.1 土的物理力学基本指标 .....	139
4.3.1 地下水的分类 .....	98	5.3.2 无黏性土的密实度 .....	141
4.3.2 水文地质勘察概述 .....	100	5.3.3 黏性土的稠度 .....	141
4.3.3 工程水文地质勘察要 查明的主要问题 .....	103	5.3.4 土的击实原理 .....	142
4.3.4 地下水资源评价方法简介 .....	105	5.4 地基土(岩)的工程分类 .....	142
4.3.5 地下水对工程建筑的影响 .....	106	5.4.1 岩石 .....	143
4.4 地下水运动的基本规律 .....	107	5.4.2 碎石土 .....	144
4.4.1 渗透理论 .....	107	5.4.3 砂土 .....	145
4.4.2 达西定律 .....	108	5.4.4 粉土 .....	146
4.4.3 流网及其工程应用 .....	109	5.4.5 黏性土 .....	146
4.5 地下水的补给、排泄和径流 .....	112	5.4.6 人工填土 .....	146
4.5.1 地下水的补给 .....	112	5.4.7 特殊土 .....	147
4.5.2 地下水的排泄 .....	117	5.4.8 细粒土按塑性图分类 .....	147
4.5.3 地下水的径流 .....	119	本章小结 .....	148
4.6 地下水对土木工程建设的影响 .....	120	思考与习题 .....	149
4.6.1 地下水的侵蚀作用 .....	120	<b>第 6 章 动力地质作用</b> .....	151
4.6.2 渗流对工程的影响 .....	122	6.1 风化作用 .....	152
4.6.3 地下水位变化的影响 .....	125	6.1.1 风化的类型 .....	152
本章小结 .....	126	6.1.2 影响风化作用的因素 .....	155
思考与习题 .....	126	6.1.3 岩石风化的防治 .....	156
		6.2 河流的地质作用 .....	156
		6.2.1 河流侵蚀作用 .....	156
		6.2.2 搬运作用 .....	157

6.2.3 河流的沉积作用 .....	158	8.2.1 滑坡的种类 .....	201
6.3 岩溶作用 .....	159	8.2.2 滑坡的主要组成要素 .....	202
6.3.1 岩溶发育的条件 .....	160	8.2.3 滑坡的产生 .....	202
6.3.2 岩溶发育的规律 .....	161	8.2.4 影响滑坡活动的因素 .....	203
6.3.3 岩溶发育的基准面 .....	164	8.2.5 滑坡活动的时间规律 .....	204
6.3.4 岩溶环境系统 .....	165	8.2.6 滑坡的前兆与应对 .....	205
6.3.5 岩溶地质的应对措施 .....	167	8.3 泥石流 .....	207
本章小结 .....	169	8.3.1 泥石流形成条件 .....	208
思考与练习 .....	169	8.3.2 泥石流的分类及其特征 .....	210
<b>第 7 章 第四纪地层和地貌</b> .....	<b>171</b>	8.3.3 泥石流的防治 .....	211
7.1 第四纪的概念及第四纪地层划分 .....	172	8.4 崩塌 .....	213
7.1.1 第四纪的概念 .....	173	8.4.1 概述 .....	213
7.1.2 第四纪的划分 .....	173	8.4.2 崩塌的类型 .....	214
7.1.3 第四纪的特征 .....	174	8.4.3 崩塌的诱因 .....	214
7.1.4 第四纪与人类 .....	175	8.4.4 崩塌发生的时间规律 .....	215
7.2 第四纪沉积物及其特征 .....	176	8.4.5 崩塌形成的堆积地貌 .....	215
7.2.1 第四纪沉积物基本概述 .....	176	8.4.6 崩塌体的识别方法 .....	216
7.2.2 第四纪主要的沉积物及 特征 .....	177	8.4.7 防治崩塌的工程措施 .....	217
7.3 第四纪与环境 .....	181	8.4.8 崩塌灾情实例 .....	217
7.4 海洋地质 .....	183	本章小结 .....	218
7.4.1 海洋概况 .....	183	思考与练习 .....	219
7.4.2 海水的地质作用 .....	184	<b>第 9 章 岩土工程稳定性评价</b> .....	<b>221</b>
7.5 地貌学简论 .....	188	9.1 基坑工程的设计、施工特点 .....	222
7.5.1 地貌的定义 .....	189	9.1.1 基坑工程的特点 .....	222
7.5.2 地貌的成因 .....	189	9.1.2 支护体系的要求 .....	223
7.5.3 常见地貌单元的分类 .....	190	9.2 基坑工程设计要求及条件 .....	223
本章小结 .....	196	9.2.1 基坑工程设计与施工的 总体要求 .....	223
思考与练习 .....	196	9.2.2 基坑支护结构的类型及 适用条件 .....	224
<b>第 8 章 常见的地质灾害</b> .....	<b>197</b>	9.3 作用于支护结构上的荷载及土 压力计算 .....	226
8.1 概述 .....	198	9.3.1 排桩、地下连续墙支护 结构 .....	227
8.1.1 灾害的基本含义 .....	199		
8.1.2 不同的地质灾害 .....	199		
8.2 滑坡 .....	200		



9.3.2	水泥土桩墙支护结构 .....	232	11.1.1	道路和桥梁的工程地质 .....	277
9.3.3	基坑稳定性分析 .....	236	11.1.2	隧道工程地质勘察 .....	281
9.4	地下洞室围岩稳定性评价 .....	237	11.1.3	地下洞室地质问题 .....	285
9.4.1	地下洞室概述 .....	238	11.2	不同工程类型常见工程地质问题 .....	286
9.4.2	围岩的破坏 .....	239	11.2.1	房屋建筑工程地质问题及 处理方法 .....	287
9.4.3	处理措施 .....	240	11.2.2	深基坑开挖工程地质 问题 .....	290
	本章小结 .....	241	11.2.3	其他工程地质问题 .....	291
	思考与练习 .....	241		本章小结 .....	304
<b>第 10 章</b>	<b>岩土工程勘察</b> .....	<b>243</b>		思考与练习 .....	<b>304</b>
10.1	概述 .....	245	<b>第 12 章</b>	<b>工程地质环境</b> .....	<b>305</b>
10.1.1	岩土工程勘察的目的、 要求 .....	245	12.1	概述 .....	306
10.1.2	岩土工程勘察分级 .....	245	12.1.1	基本概念 .....	306
10.1.3	岩土工程勘察阶段的划分 .....	246	12.1.2	环境工程地质学的特点 .....	307
10.2	岩土工程勘察方法 .....	247	12.2	人类活动与地质环境的关系 .....	308
10.2.1	工程地质测绘 .....	247	12.2.1	工业与民用建筑 .....	308
10.2.2	勘探与取样 .....	249	12.2.2	水利工程 .....	310
10.2.3	岩土工程试验 .....	255	12.2.3	道路工程 .....	312
10.3	岩土工程勘察报告实例 .....	257	12.3	工程地质环境评价 .....	314
	本章小结 .....	274		本章小结 .....	315
	思考与练习 .....	274		思考与练习 .....	315
<b>第 11 章</b>	<b>土木建筑中的工程地质</b> .....	<b>275</b>		<b>参考文献</b> .....	<b>316</b>
11.1	城市规划和建设中的工程地质 .....	276			



# 第 1 章

## 土木工程地质概论

### 学习目标

- 掌握土木工程的内容和任务。
- 掌握工程活动与地质环境的关系。

### 本章导读

本章通过详细介绍土木工程地质学的研究内容和任务以及土木工程地质学的研究方法，让读者能够快速入门；接下来对土木工程地质在土木工程建设中的作用以及工程活动与地质环境进行介绍，让读者掌握土木工程地质的基本概论。



## 项目案例导入

2005年5月9日23时,山西省吉县吉昌镇桥南村水洞沟209国道右侧发生一起大型黄土崩塌地质灾害。此次灾害造成24人被掩埋,209国道吉县—乡宁段完全中断。崩塌体长约220m,宽15~30m,顶部标高943m左右,底部标高863m,崩塌体高度约80m,体积约600 000m<sup>3</sup>。

灾害发生后,国土资源部地质环境司、山西省国土资源厅有关领导带领技术人员于2005年5月10日先后到达现场,经实地初步调查和听取中共临汾市委、临汾市人民政府和现场抢险指挥部的情况介绍后,对本次黄土崩塌地质灾害的特征、成因和抢险工作提出了初步建议。

## 案例分析

据现场调查,崩塌体岩性上部为第四系中更新统(Q<sub>3</sub>)黄土状粉土,厚度35m左右,结构松散,遇水具湿陷性;中下部为第四系中更新统(Q<sub>2</sub>)粉质黏土,土质较均匀,厚度45m左右。

黄土体柱状节理发育,易于降水渗流冲蚀,长期的溶蚀作用发育多处落水洞,直径达数米,破坏了黄土山体的整体稳定性。

这类土体一旦受到扰动或产生塌落,其崩积物结构变得非常松散,在受到开挖扰动时临空面极易发生塌落破坏,孕育新的灾害。

在抢险施工过程中,为了避免二次灾害,确保抢险人员的安全,提高附近村民的防灾意识,必须做好灾害的动态监测工作。

- (1) 对后山崩塌体的动态、新的宏观变形进行巡查。
- (2) 对崩塌堆积体后缘裂缝进行监测,及时判断堆积体的稳定性。
- (3) 对施工断面的土体稳定性和施工安全适时判断,为高效、安全施工提供依据。
- (4) 具体落实监测责任制、监测手段、监测人员和施工人员的联络方式,施工人员遇险安全撤离路线等防灾预案。

## 1.1 土木工程地质的发展

土木工程地质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。各种工程建设的规划、设计、施工和运行只有通过土木工程地质研究,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。

### 1.1.1 土木工程地质在工程建设中的位置

土木工程地质是20世纪才建立和发展起来的一门地质科学。土木工程地质专业在工程建设中具有十分重要的位置。

土木工程地质工作的质量,对工程方案的决策和工程建设的顺利进行至关重要。由于地质问题引起的工程事故时有发生,轻则修改设计,延误工期;严重时造成工程失事,给人民生命财产带来重大损失。近年来,土木工程地质勘察质量有下滑现象,土木工程地质分析不够深入,有的甚至出现土木工程地质评价的结论性错误。

土木工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学。它的研究对象是地质环境与工程建筑二者相互制约、相互作用的关系,以及由此而产生的地质问题,包括对工程建筑有影响的工程地质问题,以及对地质环境有影响的环境地质问题。它的任务是为各类工程建筑的规划、设计、施工提供地质依据,以便从地质上保证工程建筑的安全可靠、经济合理、使用方便、运行顺利。

20世纪初,为了适应兴建各种工厂、水坝、铁路、运河等工程建设的需要,地质学家开始介入解决工程建设中与地质有关的工程问题,不断进行着艰苦的工程实践和开拓性的理论探索,首次出版了“工程地质学”专著,土木工程地质学开始成为地球科学的一个独立分支学科,土木工程地质勘察则成为工程建设中不可缺少的一个重要组成部分。

### 1.1.2 我国土木工程地质的发展及技术

我国的土木工程地质事业在新中国成立前基本上是空白的,新中国成立后才有了长足的进步和发展。20世纪50年代初开始引进苏联工程地质学理论和方法,走过了我们自己的工程实践和理论创新的辉煌历程,形成了有自己特色的土木工程地质学体系。

20世纪60年代,在土木工程地质实践中积累了大量资料和一定的实际经验后,学科进入独立发展阶段,各建设部门制定了自己的勘察规范,以山区工程建设为主,对工程地质提出更高的要求,岩土测试技术提高,定量评价有所发展。到了以经济建设为中心和改革开放的年代,各方面的建设蓬勃发展,土木工程地质在已往的基础上取得了重大发展。勘察质量提高,新的勘察规范制定,使得土木工程地质向着工程领域拓展,同时涵盖了勘测、工程处理的系列工作。新型、巨型土木工程向工程地质勘察提出了新的要求。科学研究工作取得丰硕成果,创立了自己的新的理论,引入了科学的新理论、新方法,学术活动频繁。

如今,土木工程地质专业学科的内涵已经远远超出了传统土木工程地质定性描述和定性评价的范畴,发展成为集多种勘探手段去获取基础性地质资料,并对这些资料进行归类汇总、整理分析、定性评价、定量评价、地质预测、工程措施的建议等既特殊又复杂的综合性专业。任何一个成熟的设计师,都会清楚地意识到土木工程地质专业在工程设计中的重要位置。无数重大工程成败的实例足以证明土木工程地质专业在工程建设中的权威性。

## 1.2 土木工程地质学的研究内容和任务

土木工程地质学为工程建设服务是通过土木工程地质勘察来实现的。通过勘察和分析研究,阐明建筑地区的土木工程地质条件,指出并评价存在的土木工程地质问题,为建筑物的设计、施工和使用提供所需的地质材料。其研究内容和工作任务都是围绕土木工程地质而展开的。

### 1.2.1 土木工程地质学的研究内容

土木工程地质学的主要研究内容可以分为以下几个部分。

#### 1. 岩土工程性质的研究

对于任何建筑物,首先要对岩土的工程性质进行研究。研究内容包括岩土的土木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。

#### 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,影响了建筑物的稳定和正常使用。研究工程动力地质作用的形成机制、规模、分布、发展演化的规律,工程动力地质作用所产生的有关土木工程地质问题,对它们进行定性和定量评价,以及有效地进行防治、改造,是土木工程地质学的分支——工程动力地质学的研究内容。

#### 3. 土木工程地质勘察理论和技术方法的研究

为了查明建筑物场区的土木工程地质条件,论证土木工程地质问题,正确地做出土木工程地质评价,以提供建筑物设计、施工和使用所需的地质资料,就需进行土木工程地质勘察。不同类型、结构和规模的建筑物,对土木工程地质条件的要求以及所产生的土木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。为了保证各个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土木工程地质问题,并在此基础上安排勘察工作。应制定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,以保证土木工程地质勘察的质量和精度。

#### 4. 地域土木工程地质研究

不同地域由于自然地质条件不同,因而土木工程地质条件各异。认识并掌握广大地域土木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土木工程地质条件进行区划,做出土木工程地质区划图。

### 【案例分析 1-1】

2000年4月9日,在西藏著名的江南波密地区,本正是一派美丽的田园风光:复苏的大地到处盛开着杜鹃、茶花和野生的虎头兰;在川藏线318国道的著名天险离通麦小镇20 km的易贡茶场,劳作一天的人们踏着夕阳的余晖,早早地回到家中休息或生火做饭;在夕阳照耀下的山坡上,牛羊一边吃着路边的小草,一边迈着缓慢的步伐赶在回家的路上;易贡湖面上倒映着金黄色雪山的倒影……

20点刚过,落下山坡的太阳刚收回最后的光芒,这时在易贡湖北面“扎木弄沟”4200~5200 m的山体上,发出了雷鸣般的响声及地裂般的轰鸣声。崩滑的山体以近40 m/s的速度倾泻而下,时间长达3 min之久,像地震,像火山,高速纷飞下的巨石使湖面溅起达几十米高的水柱,一团巨大的粉尘冲天而起,滑坡过后的易贡湖面出口和易贡藏布江的入口堆积起一道前宽有3 km,面积达 $8.67 \text{ km}^2$ ,60~100 m高的大坝,事后预算约有3亿多 $\text{m}^3$ 的石块。这在世界上也属罕见的大滑坡。崩滑石块形成的大坝使易贡藏布江断水达两个多月,积水量达30亿 $\text{m}^3$ ,易贡湖面陡升了60 m,茶场和湖边村庄土地及3370  $\text{hm}^2$ 森林全部淹在水下。6月10日晚上19时,被堵塞了62天的易贡湖的堆积的大坝发生溃决,几十米高的洪水持续几天,狂泻的洪水使易贡藏布江、帕隆藏布江及雅鲁藏布江的水位猛涨,连20 km外的通麦镇也积水1 m多。4天后大坝形成的洪水才放完,造成易贡藏布江、帕隆藏布江及雅鲁藏布江大峡谷地区的桥梁全部冲毁,318国道的咽喉“通麦大桥”被冲毁,使川藏线中断达4月之久,也波及雅鲁藏布江下游的印度地区。据“法新社”报道:布拉马普特拉河沿岸7个帮受灾,250万人无家可归,公路、铁路交通中断。

溃决后的洪水改变了三条江流的河谷形态,又由于波密境内的地质灾害很有名,而这些灾害的复活又在雨季之中,使得318国道川藏线更加难行了。

## 1.2.2 土木工程地质学的研究任务

土木工程地质学的主要研究任务包括以下几个方面。

- (1) 阐明建筑地区的土木工程地质条件,并指出对建筑物有利、有弊的因素。
- (2) 论证建筑物所存在的土木工程地质问题,进行定性和定量评价,得出正确的结论。
- (3) 选择地质条件优良的建筑场地,并根据场地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) 根据建筑场地的具体地质条件,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) 为拟订防治和改善不良地质作用的措施、方案提供地质依据。

## 1.2.3 土木工程地质学的研究方法

土木工程地质学的研究方法主要有自然历史分析法、数学力学分析法、模型模拟试验法和土木工程地质类比法。

### 1. 自然历史分析法

自然历史分析法是土木工程地质学最基本的一种研究方法。土木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，而且随着所处环境的变化，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土木工程地质研究时，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土木工程地质条件，并作为进一步研究土木工程地质问题的基础。

### 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。对某一土木工程地质问题或土木工程地质现象，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。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处理。一般的情况是，先建立地质模型，然后再抽象为力学、数学模型，代入各项计算参数进行计算。

### 3. 模型模拟试验法

模型模拟试验法在土木工程地质研究中可以帮助我们探索自然地质作用的规律，揭示土木工程动力地质作用或土木工程地质问题产生的力学机制、发展演化的全过程，以便我们做出正确的土木工程地质评价。

进行模型模拟试验必须要有理论作为指导，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。

### 4. 土木工程地质类比法

土木工程地质类比法可用于定性评价，也可做半定量评价。它是将已建建筑物土木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，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、所预测的土木工程地质问题都应大致相同或近似。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，又往往把条件加以简化，所以这种方法较为粗略，其一般适用于小型工程或初步评价。

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，是其他研究方法的基础。

### 【案例分析 1-2】

2004年12月3日3时40分,贵州省纳雍县鬃岭镇左家营村岩脚寨(组)后山发生危岩体崩塌,崩塌体冲击了山下土坡和岩脚寨(组)部分住户,形成特大型地质灾害。据统计,共有19户村民受灾,12栋房屋被毁,7栋房屋受损。

发生崩塌的危岩体后缘高约2200m,前缘高约2160m,相对高差约40m。危岩体东西长约35m,南北宽约3m,垂直厚度约40m,体积约4000m<sup>3</sup>。崩塌堆积体前缘高程约1850.000m,崩塌体分东、西两支由北向南崩落堆积,前后最大落差350m,造成危害的西支最大水平冲击距离约500m。

通过观察危岩崩塌灾害现场,此次山崩灾害的地质环境具有以下特征。

- (1) 崩塌发生的部位是整个山体陡崖带的组成部分,其东、西两侧还存在危险岩体。
- (2) 崩塌部位后山在地形上是一“圈椅状”汇水区,该区域中间冲沟正对崩塌部位。
- (3) 两侧危岩,特别是东侧危岩顶部已开裂达20cm,裂缝中树木较为茂盛,根部生长在裂缝中。
- (4) 组成危岩体的地层为三叠纪灰岩、泥灰岩和粉质砂岩,彼此软硬相间。
- (5) 岩层产状为向山内缓倾,沿陡崖面发育一组结构面切割岩层,形成易于崩塌的地质结构。此次崩塌断面下部两侧为新鲜岩面,中、上部均为旧裂缝,并被泥土充填,两壁存在溶蚀现象。
- (6) 在新崩塌及两侧危岩体后山未发现新生裂缝,但存在浅表层的土体滑塌,厚1~2m。
- (7) 崩塌堆积体冲击过程中遇到高程1913.400m的小山丘阻挡,迫使其分为东、西两支,并缓解了其冲击力,否则造成的灾害更大。

## 1.3 土木工程地质在土木工程建设中的作用

土木工程地质学的产生源于土木工程的需要,单纯的力学计算不能解决实际问题,土木工程从一开始就和土木工程地质学结下了不解之缘。

### 1.3.1 土木工程的建筑材料

土木工程中常用的天然建筑材料主要有黏性土料、砂性土、砂卵砾石料、碎石、块石石料等。在大型土木及水利工程中,天然建筑材料的质量及开采运输条件等,直接关系到场址选择、工程造价、工期长短等,因此它也是工程地质条件评价的重要内容,有时甚至可以成为选择工程建筑物类型的决定性因素。已有的工程地质条件在工程建设和运行期间会产生一些新的变化和发展,构成威胁影响工程建筑安全的地质问题称为工程地质问题。由于工程地质条件复杂多变,不同类型的工程对工程地质条件的要求又不尽相同,所以工程地质问题是多种多样的。

土木工程地质学通过采用物探、钻探、洞探等手段,由粗而细,由浅而深,构造出工



程地质模型,明确哪些地段条件简单,哪些地段条件复杂,哪些地段可能冒顶,哪些地段可能突水。识别断层的存在、软夹层的空间分布,搞清结构面的优势方向、地下水的赋存和运动规律,可为保证土木工程建设的合理规划以及建筑物的正确设计、顺利施工和正常使用,提供可靠的地质科学依据。

例如,地基对工程建筑的影响。任何建筑物都建造在土层或岩石上,承受着建筑物的荷载。一定范围内原有状态发生改变的土层或岩层称为地基。地基在静、动荷载作用下要发生变形,变形过大会影响建筑物的安全,致使建筑物不能正常使用。因此,地基与工程建筑物的关系更为直接,更为具体地受建筑场地的工程地质条件所制约。地基的好坏不仅直接影响建筑物的安危,而且一旦出现事故,处理也比较难。

因此,在设计每一座建筑物之前,必须进行场地与地基的岩土工程勘察,充分了解建筑场地与地基的工程地质条件,论证和评价场地以及地基的稳定性和适宜性,稳固不良地质现象,软弱地基处理与加固等。

### 1.3.2 工程地质条件

工程地质条件即工程活动的地质环境,可理解为工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。一般来说,它主要包括岩土(岩石和土)的类型及其工程性质、地表地质作用等。

岩土的类型及其工程性质(地层岩性)是最基本的工程地质因素,包括它们的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等。地质构造是工程地质工作研究的基本对象,包括褶皱、断层、地质构造的分布和特征。地质构造,特别是形成时代新、规模大的优势断裂,对地震等灾害具有控制作用,因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等具有重要意义。地下水是降低岩、土体稳定性的重要因素,又在某些情况下对建筑物的某些部位(如基础)产生侵蚀作用,影响建筑物的安全。地下水重要因素包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和水质等。

地表地质作用与建筑区地形、气候、岩性、构造、地下水和地表水作用密切相关,主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、风沙移动、河流冲刷与沉积等,对评价建筑物的稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大。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。平原地区、丘陵地区和山岳地区的地形起伏、土层厚薄和基岩出露情况、地下水埋藏特征与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到建筑场地和线路的选择。

### 1.3.3 土木工程的地质问题

就土木工程而言,主要的工程地质问题包括以下四类。

(1) 地基稳定性问题。这是工业与民用建筑工程常遇到的主要工程地质问题,它包括强度和变形两个方面。铁路、公路等工程建筑则会遇到路基稳定性问题。