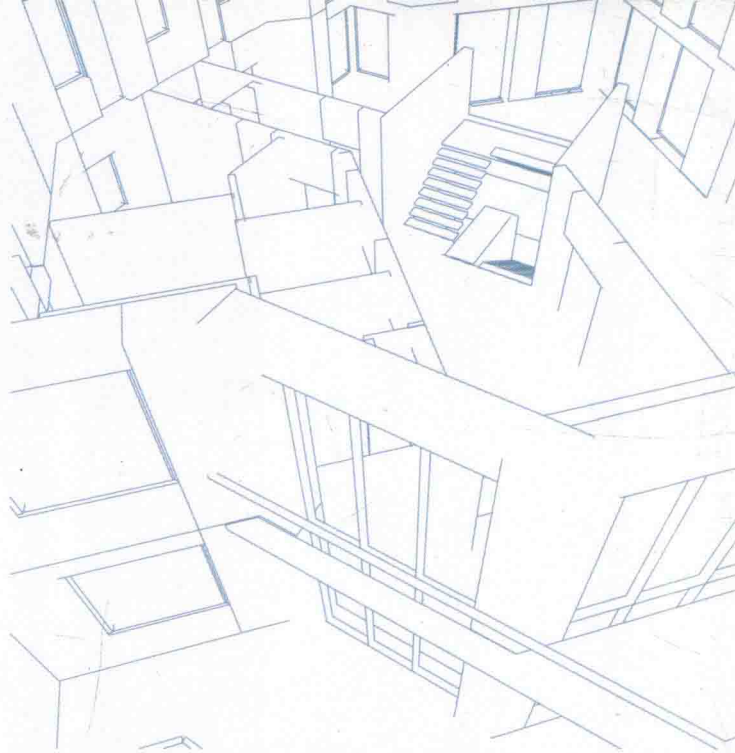


TUMU GONGCHENG



应用型本科院校
土木工程专业系列教材

YINGYONGXING BENKE YUAXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



第2版

工程地质

GONGCHENG DIZHI

主 编 ■ 张广兴 张忠苗
副主编 ■ 张乾青 管林波



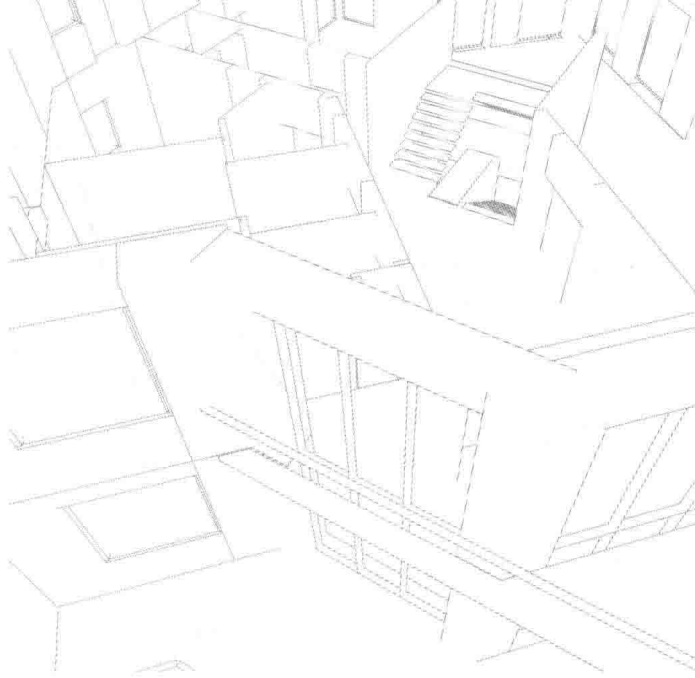
重庆大学出版社

TUMU GONGCHENG



应用型本科院校
土木工程专业系列教材

YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



第2版

工程地质

GONGCHENG DIZHI

主 编 ■ 张广兴 张忠苗
副主编 ■ 张乾青 管林波
参 编 ■ 韩同春 朱建明 胡繁强

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是按照住房和城乡建设部制定的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”和我国注册土木工程师(岩土)的考试要求,以及国家相关标准而编写的工程地质教材,主要内容包括岩石及其工程性状、地形地貌与地质构造、岩体及其工程地质问题、土体及其工程性质、地下水及其对工程的影响、不良地质作用及防灾减灾、岩土工程勘察、工程地质实验与实习等。

本书认真贯彻“多样性与规范性相统一、拓宽专业口径、规范内容最小化、核心内容最低标准”四项原则,编写中突出了工程地质基础理论、基本知识和基本技能的教育,兼顾通用性、实用性和时代先进性,旨在培养学生掌握工程地质的基本理论和实践技能。

本书可作为建筑工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等土木工程各专业的专业教材和技术人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质/张广兴主编.—2版.—重庆:重庆大学出版社,2017.5

应用型本科院校土木工程专业系列教材

ISBN 978-7-5689-0519-0

I.①工… II.①张… III.①工程地质—高等学校—教材 IV.①P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第090606号

应用型本科院校土木工程专业系列教材

工 程 地 质

(第2版)

主 编 张广兴 张忠苗

副主编 张乾青 管林波

责任编辑:林青山 版式设计:林青山

责任校对:邹小梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19 字数:462千 插页:16开2页,8开1页

2017年5月第2版 2017年5月第1次印刷

ISBN 978-7-5689-0519-0 定价:39.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

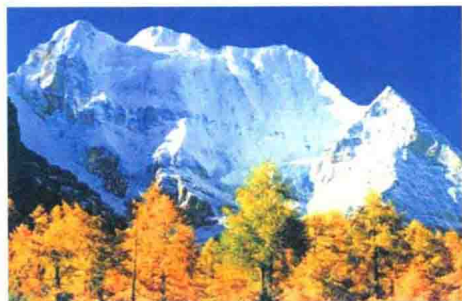
制作各类出版物及配套用书,违者必究



山地地貌图



河流地貌图



冰蚀地貌图



风蚀雅丹地貌图

彩图 A 常见地貌形态



石英



方解石



云母

彩图 B 常见造岩矿物



赤铁矿



黄铜矿

彩图 C 常见造矿矿物



花岗岩



流纹岩



玄武岩

彩图 D 常见岩浆岩



凝灰岩



页岩



细砂岩

彩图 E 常见沉积岩



片麻岩



云母片岩



大理岩

彩图 F 常见变质岩



水平岩层图



倾斜岩层图



典型褶皱图



节理图



野外断层图

彩图 G 常见野外地质构造



高岭石



蒙脱石



伊利石

彩图 H 常见黏土矿物



细粒黏性土



中砂



砾石

彩图 I 黏性土与无黏性土



滑坡



地裂缝



溶洞



崩塌



泥石流

彩图 J 常见地质灾害



静力触探 CPTU



动力触探



钻探



荷载板静力载荷试验

彩图 K 常见现场原位测试方法

前 言

工程地质是建筑工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等土木工程各专业的必修课程。工程地质与土木工程密切相关,各类工程建设的方式、规模和类型无不与建筑场地的地质环境相互作用,所以工程地质对土木工程影响很大。它不仅是一门实践性很强的学科,同时又是一门重要的技术基础课程,在土木工程专业的人才培养中起着十分重要的作用。

本书按照土木工程专业应用型技术人才应有的工程地质知识结构、注册土木工程师(岩土)以及注册结构工程师的考试大纲基本要求,在编写中突出了工程地质基本理论、基本知识和基本技能的教育,并兼顾通用性、实用性和时代先进性。全书共分9章,主要内容包括绪论、岩石及其工程性状、地形地貌与地质构造、岩体及其工程地质问题、土体及其工程性质、地下水及其对工程的影响、不良地质作用及防灾减灾、岩土工程勘察、工程地质实验与实习等。

本书强调学生对工程地质学基本概念、基本原理和基本处理方法的掌握,并融入了国际工程教育《华盛顿协议》的对毕业生的要求,树立学生正确的环境意识和可持续发展的意识。在内容上按照注册岩土工程师的要求增加了地貌、岩体力学和防灾减灾相关章节;在版式上突出了每章开始时提出带启发性的导读,做到有的放矢,事半功倍;在教学方式上针对现代多媒体电脑教学的要求制作了教学PPT;在工程地质实验环节上增加了实验指导书和相关工程地质图片。本书强调基础理论、工程实践与现场试验相结合,旨在培养学生掌握工程地质问题的分析方法和解决工程地质问题的基本能力。

本书由同济大学浙江学院张广兴副教授、浙江大学张忠苗教授担任主编,山东大学张乾青

副教授、同济大学浙江学院管林波讲师担任副主编。管林波讲师参加了第3章、第5章的部分内容编写;张乾青副教授参加了第6章、第9章的部分内容编写;浙江大学韩同春副研究员参加了第4章的部分内容编写;北京航空航天大学朱建明副教授参加了第2章的部分内容编写;胡繁强工程师参加了第8章的部分内容编写。

本书在编写过程中参阅了很多相关的专业书籍资料及部分互联网上图片,谨此向本书参考和引用相关内容的作者表示诚挚的感谢!同时,感谢同济大学浙江学院对本书提供的支持!

编 者

2017年3月

目 录

1 绪 论	1
1.1 工程地质问题的提出	1
1.2 工程地质学的定义与发展	6
1.3 工程地质学的研究对象和工程地质条件	8
1.4 工程地质学的研究内容和分析方法	9
1.5 本课程的学习内容与要求	10
本章小结	11
思考题	12
2 岩石及其工程性状	13
2.1 地球的层圈构造与岩石的形成	13
2.2 矿 物	15
2.3 岩浆岩	26
2.4 沉积岩	31
2.5 变质岩及三大类岩石的相互转化	38
2.6 岩石的基本物理力学性质	44
2.7 岩石的工程性状及影响因素	53
本章小结	56
思考题	58
3 地形地貌与地质构造	59
3.1 地质作用	59
3.2 地质年代	62

3.3	地貌单元的类型与特征	66
3.4	地壳地质构造运动的类型	72
3.5	水平岩层与倾斜岩层及其在地质图上的表现	73
3.6	褶皱构造	78
3.7	节理构造与玫瑰花图	82
3.8	断 层	86
3.9	地质图的阅读与分析	89
3.10	地质构造对工程的影响	95
	本章小结	96
	思考题	97
4	岩体及其工程地质问题	98
4.1	岩体的工程分类	98
4.2	岩体结构的类型	100
4.3	岩体的力学特性	106
4.4	风化岩体性状	109
4.5	岩体中的天然应力及测量	111
4.6	地下洞室围岩设计施工中的工程地质问题	113
4.7	边坡岩体设计施工中的工程地质问题	117
4.8	岩石地基设计施工中的工程地质问题	127
	本章小结	130
	思考题	131
5	土体及其工程性质	133
5.1	土的成因与结构	133
5.2	土的工程分类	143
5.3	无黏性土与黏性土的性状	146
5.4	特殊土的工程地质特征	150
	本章小结	158
	思考题	159
6	地下水及其对工程的影响	161
6.1	地下水的分类	161
6.2	地下水的物理化学性质	165
6.3	地下水对工程的影响	172
	本章小结	180
	思考题	182
7	不良地质作用及防灾减灾	183
7.1	地震及抗震原则	183
7.2	地裂缝及其处理对策	192
7.3	崩塌、滑坡及其防治对策	194

7.4 泥石流及其防治对策	201
7.5 岩溶、土洞及其处理对策	204
7.6 采空区的处理原则	209
7.7 台风带来的地质灾害	211
7.8 地质灾害危险性评估及场地选址的工程评价	214
本章小结	218
思考题	220
8 岩土工程勘察	221
8.1 岩土工程勘察基本要求	221
8.2 工程地质测绘	226
8.3 工程地质勘探与取样	228
8.4 地下水的勘察要求与水文地质参数测定	232
8.5 室内土工试验	237
8.6 静力载荷试验	238
8.7 静力触探	241
8.8 圆锥动力触探与标贯	245
8.9 其他现场测试方法	250
8.10 现场原位监测	259
8.11 岩土工程勘察报告的内容及编写要求	266
本章小结	276
思考题	276
9 工程地质实验与实习	277
实验1 矿物及三大类岩石的室内标本鉴定	277
实验2 山地地貌及地质构造的野外认知实习	283
实验3 现场勘探试验工作的认知实习	288
实验4 不良地质作用的视频认知	289
实验5 土的渗透试验	290
参考文献	294

1

绪 论

1.1 工程地质问题的提出

为什么要学习工程地质学？如何学习工程地质学？工程中会遇到什么地质问题？如何解决工程中遇到的地质问题？本书将介绍工程地质学的内容、研究方法和相应问题的处理措施。

► 1.1.1 典型工程地质事故分析

工程地质事故层出不穷,涉及人类生活的方方面面,下面介绍几个典型的事故。

1) 山体崩塌事故

图 1.1 是 2004 年 12 月浙江甬台温高速公路某地段大面积山体崩塌的情况。山体为方斗岩,此次山体崩塌形成了约长 65 m、高 20 m、宽 40 m,总方量超过 1.5 万 m^3 的锥形堆积体,崩塌物中岩石最大块径达 15 m 以上,单体方量达 800 m^3 以上,崩塌后的边坡形成了高 30~40 m 的陡直临空面,致使温州大桥白鹭屿至乐成镇一段的高速公路双向车道全部瘫痪,经过 32 d 的清障工作才恢复通车。山体崩塌往往发生在雨季或台风季节,但事故发生前温州已



图 1.1 浙江甬台温高速公路大面积山体崩塌事故

多日未降雨。分析认为,事故发生的主要原因是路堑边坡高陡,此处方斗岩存在三组不良结构面组合,尤其是缓倾外倾结构面的存在导致边坡不稳定,不稳定边坡在长期雨水渗透和行车震动等作用下造成此次崩塌。同时,由于陡直临空面的形成,仍有可能再次发生崩塌。应对办法是先对发生事故的南侧山体采用挖土机将崩塌体挖除并进行边坡削坡整治,同时进行锚杆注浆加固。

2) 泥石流灾害

2004 年 8 月,台风登陆后经过浙江乐清市,带来 12 级以上大风和特大暴雨,8 h 降雨量达 730 mm,引发特大山洪,导致温州乐清市某村庄的一座山岭塌方,造成了特大泥石流灾害(见图 1.2)。几万立方米的巨石在雨水的夹带下沿溪而下,把沿溪而建的 20 多间民房全部夷为平地,原来宽一两米的小溪,被泥石流冲刷成一条宽 20 多米的乱石滩,几百块重达数吨的巨石横卧在乱石滩上。此次泥石流灾害共造成 39 人死亡,8 人失踪。所以在建筑物规划设计前,要先进行不良地质条件的岩土工程勘察与评价以避免此类事故的发生。

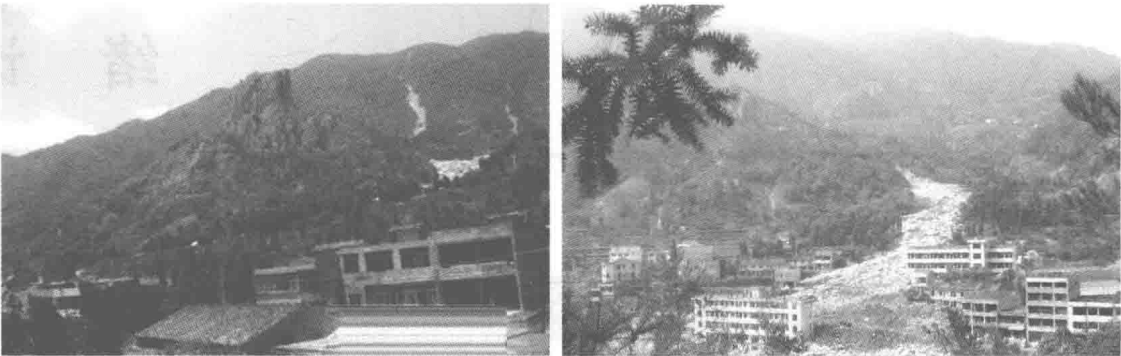


图 1.2 温州乐清市某村庄山岭塌方引起泥石流灾害

3) 地震诱发的地质灾害

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,在四川省汶川县(震中位于北纬 31°、东经 103.4°,震源深度为 14 km)发生里氏 8.0 级地震,这次地震是中华人民共和国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震(见图 1.3)。汶川地震导致映秀镇 92% 的房屋倒塌,北川县城 80% 的房屋倒塌,共造成 69 227 人遇难,17 923 人失踪,造成了连接青藏高原东部山脉和四川盆

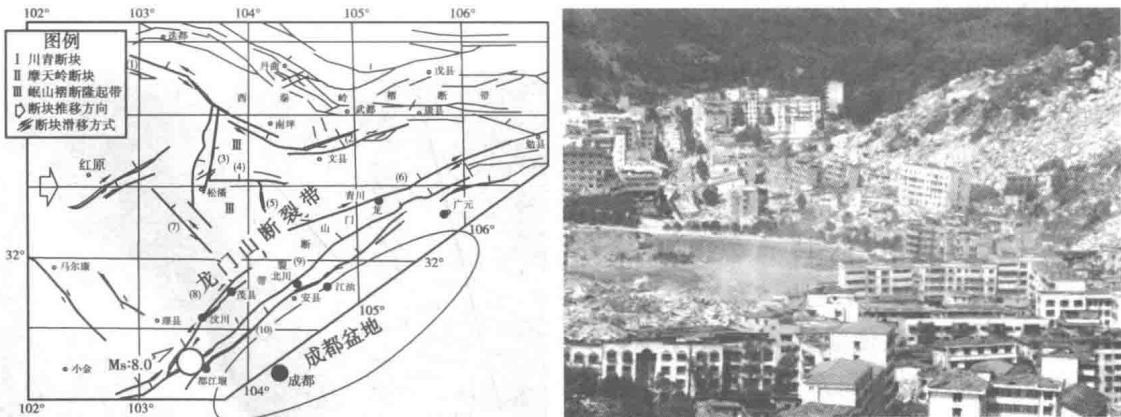


图 1.3 四川汶川 8.0 级地震灾害

地之间长大约 275 km 的断层,同时地震还触发了大量的次生地质灾害。此次地震是印度洋板块向亚欧板块俯冲,造成青藏高原快速隆升,在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压,构造应力能量的长期积累,最终在龙门山北川—映秀地区突然释放而发生。

4) 建筑物地基事故

比萨斜塔是意大利比萨大教堂的一座钟楼,塔高 55 m 共 8 层。斜塔在 1173 年 9 月 8 日破土动工,建到第 4 层时出现倾斜,1178 年被迫停工,1272 年重新开工,1278 年又停工,1360 年再次复工,直到 1370 年全塔竣工,建塔前后历时近两百年,可谓世界建筑史上一奇。

斜塔呈圆柱形,塔身 1 至 6 层由优质大理石砌成,塔顶 7 至 8 层由轻石料和砖砌成,全塔总荷重为 145 MN,地基承受接触压力高达 500 kPa,斜塔自北向南倾斜,倾角约 5.5° ,塔顶离开竖向中心线的水平距离 5 m 多,倾斜已达极危险状态(见图 1.4),所以 2003 年对其进行了加固处理。

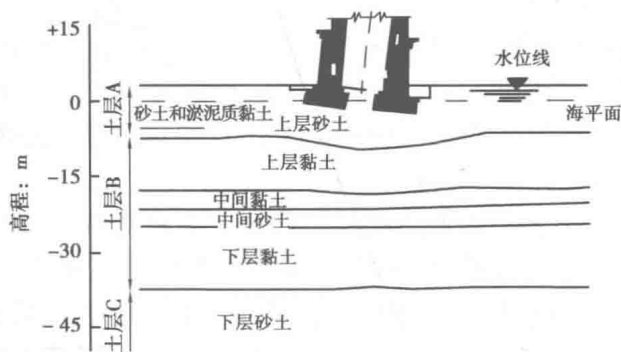


图 1.4 比萨斜塔

经过后来的分析发现,造成比萨塔倾斜的主要原因是塔身基础面积较小,其基础的集中荷载大于淤泥质黏土和砂土地基的承载力,且地基略有不均,所以形成塔身偏心荷载,导致塔身倾斜,而地基的后期塑性变形则使倾斜不断加剧。其实,比萨斜塔旁边还建造有主教堂(始建于 1063 年,到 1092 年建成)和洗礼堂(始建于 1153 年,到 13 世纪末建成),地质条件相似。由于主教堂和洗礼堂基础底面积大,总高度相对较低,对地基的单位面积荷载相对较小,因此主教堂和洗礼堂虽有沉降,但沉降基本均匀,一直正常使用。

5) 高速公路路基及桥梁事故

图 1.5 为 2004 年福建罗长高速公路亭江长柄高架桥发生的路基特大坍塌,左幅长 70 余米的路基断裂后,从中央分隔带直立整体侧向滑移,横向推移影响距离约 100 m,坍塌深度约 10 m,形成一个巨大的 U 形断裂,未坍塌的高速公路右幅发生纵向裂缝,并有扩大趋势。该路段地基处于沿海山区沟壑地形海相沉积的复杂地质状况地段,在地表水和短时间集中暴雨渗入路基后,地基和填土路基强度降低,在高路堤的重力作用下,导致地基失稳,产生整体滑移。该软土路基工程设计中没有采用桩基础及边坡加固是一大欠缺。图 1.6 为浙江某桥梁溶洞桩基塌陷事故。

6) 建筑物桩基础事故

温州某商厦位于温州车站大道,该工程原设计为 9 层,共布桩 186 根 X 形预制桩,施工时增加 3 层,共 12 层,增补 5 根钻孔桩,框架结构,标准层的平面面积为 569.5 m^2 ,有地下室一层。



图 1.5 福建罗长高速公路路基坍塌



图 1.6 浙江某桥梁溶洞桩基塌陷

该建筑采用桩筏基础,筏板厚 2 m,基础平面尺寸为 33.2 m×17.8 m,基础埋深 5 m。于 1995 年打桩,采用 X 形预制桩,260 t 压桩机施工。桩截面尺寸为 500 mm×500 mm 且为 X 形截面,桩侧土为高含水量、高灵敏度的淤泥和淤泥质土,桩端设计为粉质黏土。最初压桩施工以压桩力主控,桩长为辅控,设计桩长为 37 m,实际桩长由于压桩力控制不一定达到设计桩长。1996 年商厦竣工时运行正常。2003 年 12 月 21 日突然发生沉降,沉降速率最大为 7 mm/d,累计沉降最大达 131 mm,且发生倾斜达 8.6‰(见图 1.7)。

经过分析,事故的原因主要为:一是建筑物使用期间,二次装修增加了上部荷载,且荷载分布不均匀;二是设计时布桩选型和布置不合理,楼房的重心与基础反力中心有一定量的偏离,结构选型不合理,抗侧向刚度弱,设计安全度低,加层后布桩亦不合理;三是在桩基实际施工时由压桩力控制桩端可能未达到持力层,预制桩打桩挤土严重,使桩成为摩擦桩,在外因作用下因侧阻软化造成刺入破坏;四是黎明立交桥、车站大道的汽车震动使土体产生振动蠕变而引发沉降,同时,较大的振动荷载导致了桩侧摩阻力和桩端阻力的下降。本工程后来通过静压锚杆桩加固,最后控制了房屋基础沉降并交付使用。

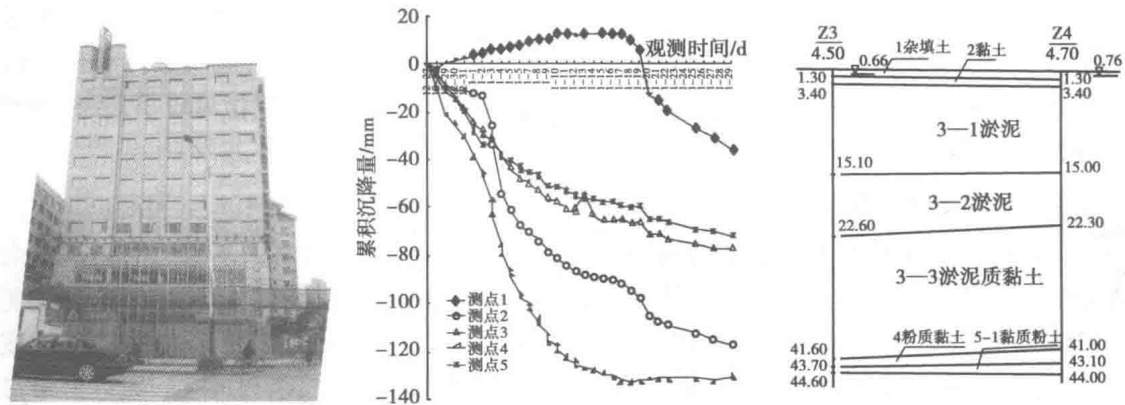


图 1.7 温州某商厦及事故时沉降实测值

7) 大坝溃坝

Malpasset 双曲拱坝位于法国南部 Rayran 河上,坝高 66 m,水库总库容 $5.1 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。Malpasset 拱坝于 1954 年末建成并蓄水,库水位上升缓慢,至 1959 年 11 月中旬,库水位才达到 95.2 m。此时坝址下游 20 m、高程 80 m 处有水自岩石中流出。因一场大雨,到 12 月 2 日晨,库

水位猛增到 100 m。当日下午,工程师们到大坝视察,因未发现大坝有任何异常,决定 18:00 开闸放水,以降低库水位。开闸后未发现任何震动现象,管理人员晚间对大坝进行了反复巡视,亦未见任何异常现象,于近 21:00 离开大坝。21:20 大坝突然溃决,当时库水位为 100.12 m。据坝下游 1.5 km 这一灾难的少数目击者叙述,他们首先感到大坝剧烈颤动,随之听到类似动物吼叫的突发巨响,感到强烈空气波的冲击,接着看到巨大的水墙顺河谷奔腾而下,电力供应中断。洪水出峡谷后流速仍达 20 km/h,下游 12 km 处 Frejus 城镇部分被毁,死亡 421 人,财产损失达 300 亿法郎(见图 1.8)。



图 1.8 Malpasset 双曲拱坝溃坝破坏

Malpasset 拱坝失事至今已 50 多年,对其失事的原因至今尚未取得完全一致的认识。但绝大多数专家都认为,坝基内过大的孔隙水压力是造成失事的主要原因。

西德 Aachen 大学 Wittke 教授在 1984 年秋考察了 Malpasset 拱坝遗址后,随即开展了对该坝失事原因的研究。Wittke 根据岩体渗流的增量荷载理论,用有限元方法分析坝与坝基在水压力、自重及渗流荷载作用下的变形和应力。结果表明,拱坝坝踵处岩体在垂直片理方向产生拉应力,该处片理产生张裂缝。库水进入裂缝并将裂缝劈开至下部断层处,在裂缝内形成全水头压力,使左坝肩至断层的岩块失稳,导致了大坝溃决。

► 1.1.2 工程地质问题

由上面这些实例可见,工程地质问题是指与人类工程活动有关的地质问题。如建筑物所处地质环境的区域构造稳定问题、地基岩体稳定问题、地下洞室围岩稳定问题、边坡岩体稳定问题、水库渗漏问题、淤积问题、边岸再造及坝下游冲刷问题,以及与上述问题相联系的建筑场地的规划、设计和施工条件等方面的问题。它们都会影响建筑物修建的技术可行性、经济合理性和安全可靠。工程地质问题是工程建筑与工程地质条件(地质环境)相互作用、相互制约而引起的,而研究两者之间的相互制约关系,促使矛盾转化和解决,既保证工程安全、经济、正常使用,又合理开发和利用地质环境,就成了工程地质学的基本任务。

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,工程地质问题概括起来主要有以下 5 个方面:

(1) 地质灾害问题

包括崩塌、滑坡、泥石流、采空区等带来的地质灾害问题。

(2) 区域稳定性问题

区域稳定性研究主要涉及影响稳定性的各种因素和标志分析,包括区域地质环境、地壳结构、构造活动、地应力场、地震活动、液化以及活断层等对工程稳定性的影响。区域稳定性问题越来越引起土木工程界的注意,对于大型水电工程、地下工程以及建筑群密布的城市地区的影响,已成为需要首先论证的问题。

(3) 地基沉降变形问题

地基在上部结构的荷载作用下将产生大小不同的沉降变形。若产生过量的或不均匀的沉