

G

高等学校规划教材

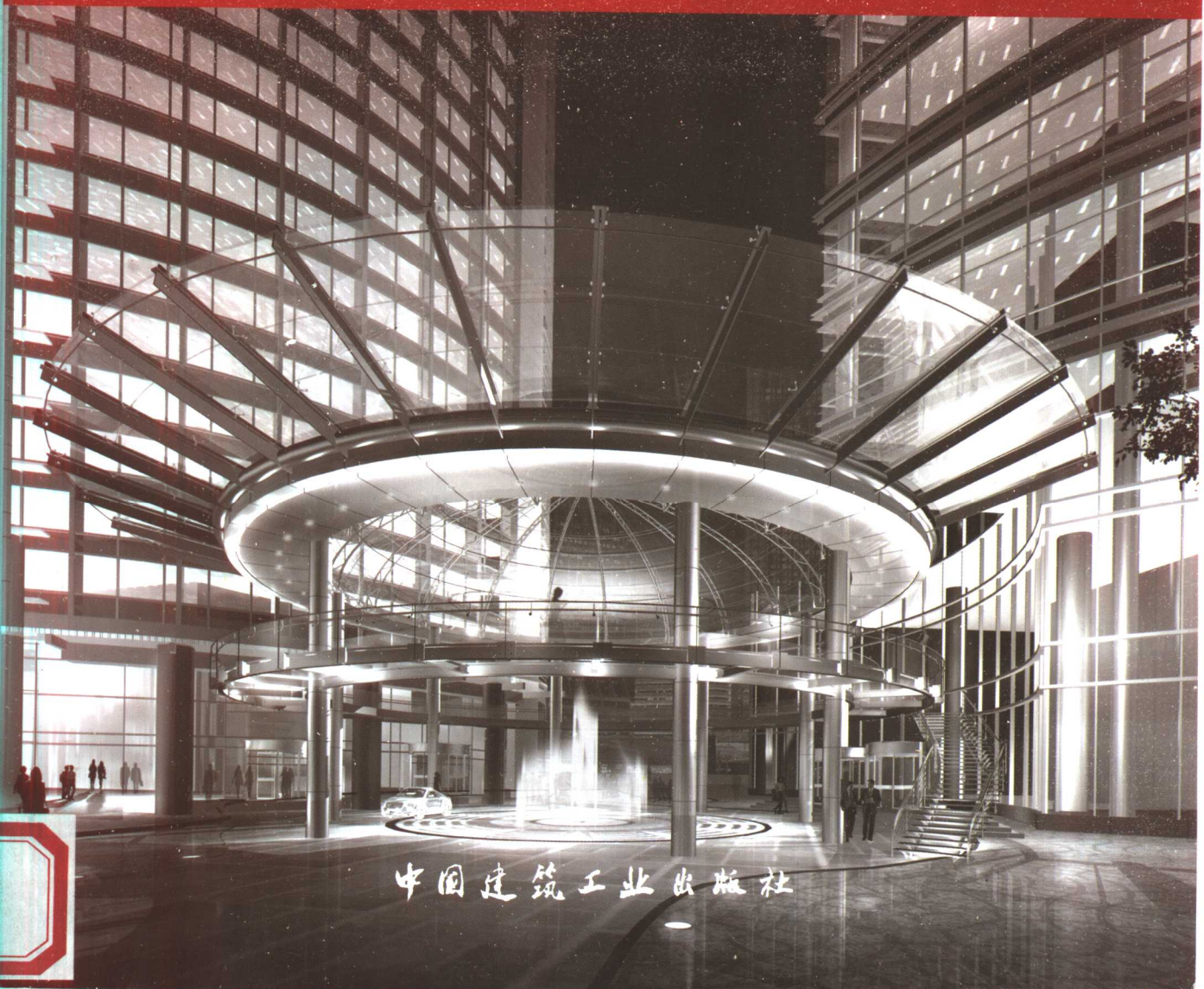
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

工程地质学

ENGINEERING GEOLOGY

张忠苗 主编

张苏民 刘汉龙 主审



中国建筑工业出版社

高等学校规划教材

工程地质学

Engineering Geology

张忠苗 主编
张苏民 主审
刘汉龙

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学/张忠苗主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007

高等学校规划教材

ISBN 978-7-112-08897-3

I. 工... II. 张... 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 (2007) 第 000593 号

高等学校规划教材

工程地质学

Engineering Geology

张忠苗 主编

张苏民 主审

刘汉龙

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京密云红光制版公司制版

北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 30% 插页: 4 字数: 750 千字

2007 年 2 月第一版 2007 年 2 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-08897-3

(15561)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是按照教育部 2002 年颁布的高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲要求和我国注册土木工程师（岩土）的考试内容要求及国家标准《岩土工程勘察规范》、《建筑地基基础设计规范》等要求而编写的工程地质学教材。

因为我国已开始实施注册岩土工程师制度，所以本课程内容充分兼顾了教学大纲、规范和注册考试的相关内容。相对过去教材增加了地貌和岩体力学及防灾减灾相关章节。全书共分为十章，主要内容包括绪论、地球与地貌、矿物与岩石、地质构造、岩体与围岩、第四纪堆积物与土的工程性状、地下水、不良地质作用及防灾减灾、岩土工程地质勘察方法技术、不同种类的岩土工程勘察等。本书编写方式上采用了每章开始提出带启发性的在学完本章后应掌握的内容和学习中注意事项及存在问题；每节简明扼要阐述工程地质学基本概念、基本原理和基本分析方法，同时阐明勘察方法要点、工程地质实验要点，并结合工程实例分析工程地质问题的解决思路；每章结束附有习题。本书旨在培养学生掌握工程地质学的基本理论知识、实践技能及创新能力。

本书可作为高等学校土木工程和水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等的专业教材，也可作为广大注册土木工程师（岩土）资格考试相关内容的复习教材，同时也可供工程地质、水文地质、岩土工程和土建工程专业人员及科研人员参考。

本书制作有教学 PPT，有需要的可向作者索取（zjuzm@163.com）。

* * *

责任编辑：王 梅 吉万旺
责任设计：董建平
责任校对：兰曼利 关 健

前 言

工程地质与岩土工程以前是既有联系又相对独立的学科。地质专家习惯用地质眼光定性分析工程问题，宏观性较好；岩土工程专家习惯用工程眼光定量地分析地质问题，微观性较好。而现代工程建设中遇到的实际工程地质问题是既需要从宏观角度对地质形成年代、地层接触关系、地质构造稳定性等地质问题作定性分析，又需要按照工程要求对岩土体的物理力学性质、边坡稳定性、地基承载力与变形情况等作定量测试分析，最后设计出既能保证工程长久安全、又能充分发挥拟建场地的工程地质特性和岩土力学性能，做到既经济合理又施工方便的基础处理方案或作出相应的防灾减灾技术对策。因此，现代工程地质与岩土工程是密不可分的结合体。它是普通地质学、地貌学、构造地质学、水文地质学、岩石力学、土力学与基础工程、现代测试技术、岩土工程勘察等诸学科相结合并在发展中的边缘学科。所以，工程地质学是研究地质环境与人类工程活动之矛盾的一门实用性很强的学科。

实质上，我国国家标准《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)的内容要求亦是工程地质与岩土工程结合。2003年开始实施的国家注册土木工程师(岩土)以及注册结构工程师的考试大纲基本要求亦是两者的结合。现代岩土工程被认为是由土力学、岩石力学和工程地质以及相应的工程与环境学科所组成，这也是工程地质学的时代要求。

虽然目前《工程地质学》教科书、《土力学》和《岩石力学》教科书不少，但缺少真正能系统反映符合国家注册土木工程师(岩土)、岩土工程勘察规范要求和教育部最新教学大纲要求，又能解决现代工程建设实际中遇到的复杂工程地质问题的教材。这是编者编写本书的主要理由。书中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。本书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和在学完本章后应掌握的关键性的内容，做到有的放矢、事半功倍。在教学方式上本书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附有各种岩石标本的数码图片、鉴定特征和各类地质灾害的图片及各种勘察方法的图片。在与国际接轨上全书工程地质学关键词都附有中英文对照，公式符号都有索引。本书是编者20年教学、科研和工程实践相结合经验的一个总结，旨在培养学生对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。

本书主要由国家重点学科浙江大学岩土工程研究所张忠苗教授主编，张忠苗教授、张广兴讲师主要编写并统稿。屠毓敏副教授参加第7章编写，韩同春副研究员参加第5章编写，北京航空航天大学朱建明副教授参加第4章编写，辛公峰博士参加第6章编写，张世民讲师参加第10章编写。此外，陈云敏教授、丁浩江教授、王立忠教授、陈仁朋教授、叶兴永教授级高工、王奎华教授、夏唐代教授、周新民博士、宋仁乾硕士、施雪飞、张宇、张功奖、施茂飞、骆剑敏、陈建平及研究生邹健、喻君、竺松等都提出了宝贵意见。本书承蒙国家勘察大师中国地质学会工程地质专业委员会副主任委员张苏民教授和国家重

点学科河海大学岩土工程研究所所长刘汉龙教授主审。由于工程地质学学科不断发展，新问题层出不穷，新方法不断出现，所以应该让学生掌握必需的基本知识。因此，本书在编写过程中主要参考并依据了《工程地质教学大纲》、《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）、《注册岩土工程师考试大纲要求》、《工程地质手册》、《公路工程地质勘察规范》（JTJ 064—98）、《港口工程地质勘察规范》（JTJ 240—97）。同时也参考了相关普通地质学、工程地质学与岩土工程的专业书籍（详见参考文献），谨向书中引用内容的作者表示深深的谢意。

由于编者水平和能力的限制及时间匆忙，本书中定有许多不当之处。编者将以感激的心情诚恳接受旨在改进本书的所有读者的批评和建议。

编 者

2006年10月

目 录

第 1 章 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	4
1.3 岩土工程师的职责	5
1.4 工程地质学的研究对象	5
1.5 工程地质条件	5
1.6 工程地质学的研究内容和任务	7
1.7 工程地质学的分析方法	8
1.8 工程地质学的发展	8
1.9 工程地质学的教学要求	10
1.10 本课程对学生的学习要求	11
思考题	12
第 2 章 地球与地貌	13
2.1 概述	13
2.2 地球在宇宙中的位置	14
2.3 地球的形状和性质	16
2.4 地球的层圈构造	19
2.5 地质作用	23
2.6 地质年代	25
2.7 地貌单元	31
2.8 剥蚀地貌	34
2.9 山麓斜坡堆积地貌	36
2.10 河流地貌	38
2.11 湖积与海岸地貌	44
2.12 冰川地貌	47
2.13 风成地貌	51
思考题	52
第 3 章 矿物与岩石	54
3.1 概述	54
3.2 岩石的形成	54
3.3 矿物	55
3.4 岩浆岩	67
3.5 沉积岩	72

3.6 变质岩	80
3.7 三大类岩石的相互转化	88
3.8 风化岩与残积土	88
3.9 三大类岩石的鉴定(实验课)	91
3.10 岩石的物理力学性质	96
3.11 岩石的工程性状	103
思考题	105
第4章 地质构造	106
4.1 概述	106
4.2 地壳构造运动的类型	106
4.3 水平岩层及其在地质图上的表现	109
4.4 倾斜岩层及其在地质图上的表现	110
4.5 褶皱构造	116
4.6 节理构造与玫瑰花图	121
4.7 断层	126
4.8 识读地质图	130
思考题	140
第5章 岩体与围岩	141
5.1 概述	141
5.2 岩体的工程分类	142
5.3 结构体与结构面	144
5.4 软弱夹层的工程影响	148
5.5 岩体结构的类型	149
5.6 岩体的力学特性	151
5.7 岩体中的天然应力及测量	156
5.8 边坡稳定性评价与边坡加固设计	160
5.9 地下洞室围岩稳定性评价	170
5.10 岩石地基工程稳定性评价	185
思考题	188
第6章 第四纪堆积物与土的工程性状	190
6.1 概述	190
6.2 土的工程分类	190
6.3 第四纪土的地质成因及特征	193
6.4 土的三相关系	195
6.5 土的三相比例指标	207
6.6 无黏性土的性质	211
6.7 黏性土的性质	214
6.8 土的力学性质	217
6.9 特殊土的工程地质特征	225

思考题	239
第7章 地下水	241
7.1 概述	241
7.2 地下水的分类	242
7.3 达西定律和渗流	250
7.4 抽水、压水试验及水文地质参数的测试	255
7.5 地下水的物理化学性质	262
7.6 地下水对土木工程的影响	270
思考题	283
第8章 不良地质作用及防灾减灾	285
8.1 概述	285
8.2 地震与海啸及抗震设计	285
8.3 活动性断裂与地裂缝及处理对策	303
8.4 地面沉降及处理对策	307
8.5 崩塌及防治对策	309
8.6 岩溶及处理对策	312
8.7 滑坡及防治对策	318
8.8 泥石流及防治对策	331
8.9 采空区及处理对策	337
8.10 台风及暴雨带来的地质灾害及处理对策	340
8.11 地质灾害危险性评估及场地选址的工程评价	342
思考题	352
第9章 岩土工程勘察方法技术	354
9.1 概述	354
9.2 岩土工程勘察基本要求	354
9.3 工程地质测绘	360
9.4 工程地质勘探与取样	363
9.5 室内土工试验分析	368
9.6 现场原位测试概述	368
9.7 静力载荷试验	369
9.8 静力触探	373
9.9 动力触探与标准贯入试验	377
9.10 十字板剪切试验	383
9.11 扁铲侧胀试验	387
9.12 旁压试验	389
9.13 地球物理勘探	391
9.14 波速测试及地脉动	394
9.15 现场直剪试验	398
9.16 岩体原位应力测试	400

9.17 现场监测	400
9.18 岩土工程勘察的数据整理与分析	402
9.19 岩土工程勘察报告编写	403
9.20 岩土工程勘察预决算	412
思考题	413
第 10 章 不同类型的岩土工程勘察	414
10.1 概述	414
10.2 不良地质问题的岩土工程勘察	414
10.3 特殊土的岩土工程勘察	423
10.4 房屋建筑与构筑物的岩土工程勘察	439
10.5 桩基础的岩土工程勘察	439
10.6 动力机器基础的岩土工程勘察	440
10.7 交通路基和桥涵岩土工程勘察	442
10.8 岸边工程岩土工程勘察	445
10.9 管道和架空线路岩土工程勘察	447
10.10 边坡工程岩土工程勘察	450
10.11 地下隧洞岩土工程勘察	451
10.12 废弃物处理工程岩土工程勘察	454
10.13 水利水电工程岩土工程勘察	455
思考题	458
参考文献	459
公式索引	461

Engineering Geology Catalog

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Derivation of engineering geological problem	1
1.2 Definition of engineering geology	4
1.3 Duty of geotechnical engineer	5
1.4 Research objects of engineering geology	5
1.5 Engineering geological condition	5
1.6 Research content and task of engineering geology	7
1.7 Analysis method of engineering geology	8
1.8 Development of engineering geology	8
1.9 Teaching requirements of engineering geology	10
1.10 Studying requirements of students	11
Chapter 2 Earth and Landform	13
2.1 Introduction	13
2.2 Earth location in cosmos	14
2.3 The configuration and property of the earth	16
2.4 The stratum and sphere conformation of the earth	19
2.5 Geological process	23
2.6 Geological age	25
2.7 Geomorphic unit	31
2.8 Denudational landform	34
2.9 Landforms of piedmont and slope accumulation	36
2.10 Fluvial landform	38
2.11 Lake and coastal landform	44
2.12 Glacial landform	47
2.13 Aeolian landform	51
Chapter 3 Mineral and Rock	54
3.1 Introduction	54
3.2 Rock formation	54
3.3 Mineral	55
3.4 Magmatic rock	67
3.5 Sedimentary rock	72
3.6 Metamorphic rock	80
3.7 Conversion among three main kinds of rocks	88

3.8	Weathered rock and residual soil	88
3.9	Identification of three main kinds of rocks (for experiment)	91
3.10	Physical mechanical properties of rocks	96
3.11	Engineering behaviors of rocks	103
Chapter 4	Geological Structure	106
4.1	Introduction	106
4.2	Types of crustal tectonic movement	106
4.3	Horizontal stratum and its demonstration on the geological map	109
4.4	Tilted stratum and its demonstration on the geological map	110
4.5	Fold structure	116
4.6	Joint structure and rose map	121
4.7	Fault	126
4.8	Geological map recognition	130
Chapter 5	Rock mass and Wall rock	141
5.1	Introduction	141
5.2	Engineering classification of rock mass	142
5.3	Structure and structural plane	144
5.4	Engineering fluence of weak interlayer	148
5.5	Types of rock mass structure	149
5.6	Mechanical behaviors of rock mass	151
5.7	Natural stress and its measure in rock mass	156
5.8	Slope stability criterion and reinforcement design	160
5.9	Stability criterion of underground cavity and wall rock	170
5.10	Stability criterion of rock foundation engineering	185
Chapter 6	Engineering behaviors of Quaternary deposits and soils	190
6.1	Introduction	190
6.2	Engineering classification of soils	190
6.3	Formation and characteristics of quaternary deposits	193
6.4	Three phase relations of soils	195
6.5	Three phase ratio indices of soils	207
6.6	Properties of noncohesive soil	211
6.7	Properties of clayey soil	214
6.8	Mechanical properties of soils	217
6.9	Engineering geological characteristics of special soils	225
Chapter 7	Groundwater	241
7.1	Introduction	241
7.2	Classification of groundwater	242
7.3	Darcy law and seepage flow	250
7.4	Pumping, pump-in test and testing of hydrologic geological parameters	255

7.5	Physical chemical properties of groundwater	262
7.6	The influence of groundwater on civil engineering	270
Chapter 8	Disaster prevention and Disaster mitigation of Poorgeologic process	285
8.1	Introduction	285
8.2	Earthquake, tsunami and earthquake-resistance design	285
8.3	Treatment of active rupture and ground fracturing	303
8.4	Ground settlement and treatment countermeasures	307
8.5	Collapse and preventive countermeasures	309
8.6	Karst and treatment countermeasures	312
8.7	Landslide and treatment countermeasures	318
8.8	Debris flow and preventive countermeasures	331
8.9	Gob and treatment countermeasures	337
8.10	Geological catastrophe caused by typhoon and rainstorm and treatment	340
8.11	Risk assessment of geological catastrophe and engineering evaluation of site selection	342
Chapter 9	The method and technology of geological investigation in geotechnical engineering	354
9.1	Introduction	354
9.2	Basic requirements of geotechnical engineering investigation	354
9.3	Engineering geological mapping	360
9.4	Engineering geological exploration and sampling	363
9.5	Laboratory soil test and analysis	368
9.6	The summary of in-situ tests	368
9.7	Static load test	369
9.8	Cone penetration test	373
9.9	Dynamic and standard penetration test	377
9.10	Vane shear test	383
9.11	Dilatometer test	387
9.12	Pressuremeter test	389
9.13	Geophysical prospecting	391
9.14	Wave velocity and microtremor test	394
9.15	In-situ direct shear test	398
9.16	In-situ stress test of rock mass	400
9.17	Field monitoring	400
9.18	Data reduction and analysis of geotechnical engineering investigation	402
9.19	Report compiling of geotechnical engineering investigation	403
9.20	Budget and final accounts of geotechnical engineering investigation	412
Chapter 10	Geotechnical engineering investigation of various engineerings	414
10.1	Introduction	414

10.2	Geotechnical engineering investigation of unfavorable geological problems	414
10.3	Geotechnical engineering investigation of special soils	423
10.4	Geotechnical engineering investigation of building construction and structure	439
10.5	Geotechnical engineering investigation of pile foundation	439
10.6	Geotechnical engineering investigation of dynamic machinery foundation	440
10.7	Geotechnical engineering investigation of roadbed	442
10.8	Geotechnical engineering investigation of bankside project	445
10.9	Geotechnical engineering investigation of pipelines and overhead lines	447
10.10	Geotechnical engineering investigation of slope engineering	450
10.11	Geotechnical engineering investigation of underground tunnel	451
10.12	Geotechnical engineering investigation of waste disposal engineering	454
10.13	Geotechnical engineering investigation of water conservancy and hydropower engineering	455
Reference	459
Index	461

第1章 绪 论

当你拿到本书时，你已进入土木工程专业基础课学习。工程地质学是土木工程专业的必修课程。

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？本书将向你介绍工程地质的内容、研究方法和相应问题的处理措施。下面先让我们来看看工程地质问题的事故及分析。

1.1.1 典型工程地质事故分析 (analysis of representative geological accidents)

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. 建筑物地基事故 (building foundation accident)

图 1-1 是建于 1941 年的加拿大特朗斯康谷仓 (Transcona Grain Elevator) 地基破坏情况。该谷仓由 65 个圆筒仓组成，高 31m，宽 23m，其下为筏形基础，由于事前不了解基础下埋藏有厚达 16m 的软黏土层。建成后初次贮存谷物，使基底平均压力 (320kPa) 超过了地基的极限承载力。结果谷仓西侧突然陷入土中 8.8m，东侧则抬高 1.5m，仓身倾斜 27°。这是地基发生整体滑动、建筑物丧失了稳定性的典型例子。该谷仓的整体性很强，筒仓完好无损。事后在下面做了 70 多个支承于基岩上的混凝土墩，使用 388 个 50t 千斤顶以及支撑系统，才把仓体逐渐纠正过来，但其位置比原来降低了 4m。

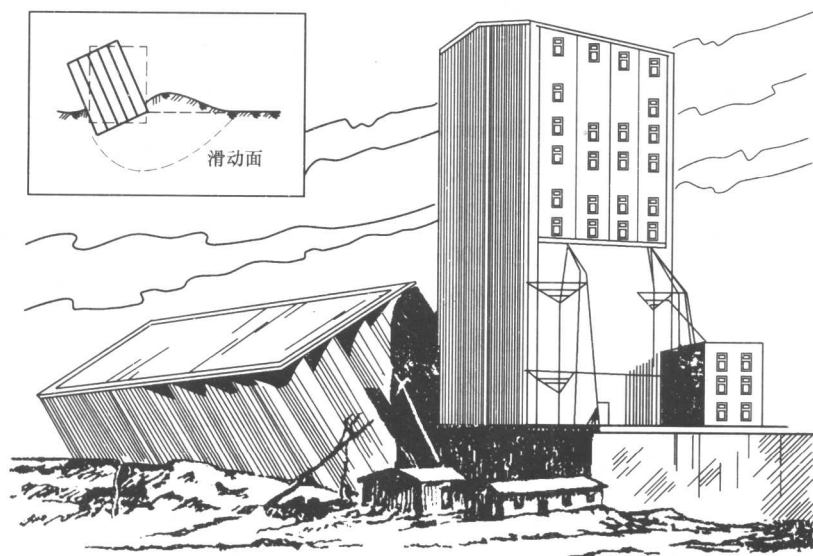


图 1-1 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

2. 地震的破坏 (earthquake damage)

1989年10月17日下午5:05, 美国加州旧金山湾地区发生了一次里氏7.1级地震, 导致62人死亡, 3000多人受伤, 14000人无家可归。如图1-2所示, 旧金山湾大桥的部分和奥克兰 Nimitz 公路一段长约1.2的双层公路倒塌, 加上许多商业建筑、住宅楼、交通系统、生命线工程及大坝等工程建(构)筑物的破坏, 其直接经济损失达60亿~100亿美元。由于地震震中位于人口密集的旧金山和奥克地区, 故80%的人员伤亡、70%的经济损失都发生在距震中80km的区域内。

该次地震的震源深度为18km。主破裂发生在地下约17.7km的深处。在7~10s内, 破裂向西北和东南扩展了约41.83km, 向上部扩展约12.2km, 终止于地表之下4.8~7.8 km处。地震形成的右旋位错为1.55m, 垂直位错1.08m, 主震历时约15s, 其中由断层破裂引起的强震动历时约7~8s。

这次地震的一种异乎寻常的现象是, 并不存在可以辨认的原始地面断层位错, 取而代之的是一条沿圣安德列斯断层地表痕迹的宽达4.8km并具有无数地面裂缝的条带, 显示出应变分布在一个广阔的地带。覆盖众多裂缝的地震位移大到足以破坏房屋和道路; 许多位移还显示出滑坡的迹象。Loma Prieta地震说明, 地震时地震断层并不一定贯通至地表而形成明显的破裂带, 但其形成的形变带却有着相当的宽度。

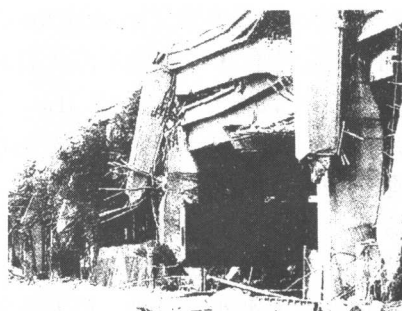
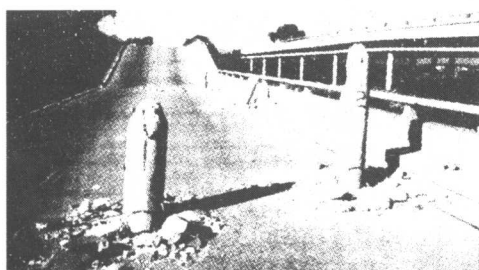


图1-2 美国1989年Loma Prieta地震中高速公路桥倒塌破坏

3. 大坝溃坝 (dam-break)

Malpasset 双曲拱坝位于法国南部 Rayran 河上, 坝高66m, 水库总库容5100万 m^3 , 如图1-3所示。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95.2m。此时坝址下游20m、高程80m处有水自岩石中流出。因下了一场大雨, 到12月2日晨, 库水位猛增到100m。当日下午, 工程师们到大坝视察, 因未发现大坝有任何异常, 决定下午6点开闸放水, 以降低库水位。开闸后未发现任何振动现象, 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点离开大坝。21点20分, 大坝突然溃决, 当时库水位为100.12m。据坝下游1.5km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20km/h, 下游12km处 Frejus 城镇部分被毁, 死亡421人, 财产损失达300亿法郎。

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 从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。

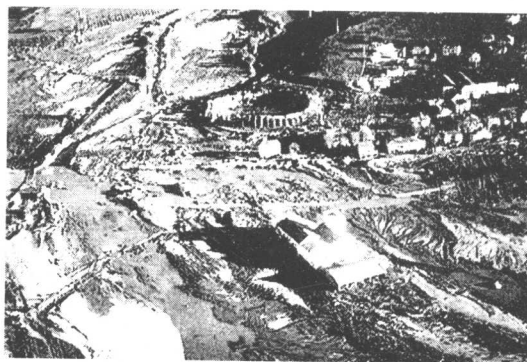


图 1-3 Malpasset 双曲拱坝溃坝破坏

4. 地质灾害 (geological disasters)

发生在 1972 年 7 月的香港宝城大厦滑坡 (图 1-4), 数万立方米残积土从山坡上下滑, 巨大的冲击力正好通过一幢高层住宅——宝城大厦, 顷刻之间, 宝城大厦被冲毁倒塌。因香港地区人口稠密, 市区建筑密集, 楼间净距太小, 宝城大厦倒塌时, 砸毁相邻一幢大楼一角约五层住宅。宝城大厦居住着金城银行等银行界人士, 因大厦冲毁时为清晨 7 点钟, 人们都还在睡梦中, 当场死亡 120 人。



图 1-4 香港宝城大厦滑坡

这起重大的伤亡事故引起西方世界极大的震惊。山坡上残积土本身强度较低, 加之雨水入渗使其强度大大降低, 使得土体滑动力超过土的强度, 于是山坡土体发生滑动。

1.1.2 工程地质问题 (engineering geological problems)

由上面这些实例可见, 工程地质问题 (engineering geological problems) 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, 促使矛盾转化并解决, 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, 概括起来主要有以下五个方面:

1. 区域稳定性问题 (regional stability)

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、现今构造活动、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, 越来越引起土木工程界的注意。区域稳定性问题对于大型水电工程、地下工程以及建筑群密布的城市地区的影响, 已成为首先论证的问题。

2. 地基沉降变形问题 (the problem of foundation settlement)

地基在上部结构的荷载作用下所产生的大小不同的沉降变形问题。过量的或不均匀的