

普通高等教育“十三五”规划教材
土木工程类系列教材

工程地质



宋高嵩 杨 正 主 编
盖晓连 王洪枢 李 晶 副主编



清华大学出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

土木工程类系列教材

工程地质

宋高嵩 杨 正 主 编
盖晓连 王洪枢 李 晶 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材共分为7章,主要内容为工程地质和水文地质的基本知识、岩土的工程特性、不良地质现象、工程地质原位测试和勘察,以及各类地质问题对工程影响的分析、评价和对策。

本书可供普通高等学校土木工程及港口、道路等专业教师、学生使用,还可供相关专业设计和科研人员学习与参考。

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

工程地质/宋高嵩,杨正主编.--北京:清华大学出版社,2016

普通高等教育“十三五”规划教材.土木工程类系列教材

ISBN 978-7-302-42081-1

I. ①工… II. ①宋… ②杨… 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(2015)第264097号

责任编辑:秦娜

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:王静怡

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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14 字 数:342千字

版 次:2016年1月第1版 印 次:2016年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:067232-01

前 言

FOREWORD

本书主要用作普通高等学校土木工程专业工程地质课程的教材,也可适用于港口与海岸及桥隧、道路等专业的教材。由于土木工程工程地质涉及范围很广,建(构)筑物的地基、选址选线、边坡与边岸、地下工程的围岩介质与环境,以及各类工程的岩土工程等,皆与工程地质条件密切相关,加之中国国土辽阔、地质条件复杂、岩土的性质各异,工程地质这门工程技术基础课显得更为实用。与土木工程相关的工程地质勘察行业也被称为岩土工程勘察,强调岩土与工程的密切关系。可见,工程地质在设计与施工中占有相当重要的地位。本书主要介绍地质基础理论与知识、岩土的工程性质、工程地质勘察、不良地质现象及其对各类工程的影响和整治等理论和技术,并着重考虑基础工程、地下工程、建筑工程、港口、道路交通与市政建设等建设工程需要,强调地质与工程的结合以及定性与定量的综合分析。在注意学科本身的系统性时,还力求充分反映近年国内外工程地质理论和实践的发展水平。

编者在本书中着重介绍了地质基础、地质条件对工程的影响,以及处理对策的理论和知识,注意启发学生独立思考和动手的能力。本书由哈尔滨理工大学宋高嵩、杨正担任主编,盖晓连、王洪枢、李晶担任副主编。编写人员具体分工如下:第1章、第2章由宋高嵩编写;第3章、第4章及实训项目由杨正编写;第5章由盖晓连编写;第6章由王洪枢编写;第7章由李晶编写;孙义强、周健、李长安等研究生负责插图绘制工作。在编写过程中,得到许多教师及相关从业者的关心与支持,他们提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。限于编者水平,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评、指正。

编 者

2015年8月

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 地质学与工程地质学	1
1.2 工程地质学的主要任务和研究方法	1
1.3 工程地质条件和工程地质问题	2
1.3.1 工程地质条件.....	3
1.3.2 工程地质问题.....	4
本章小结.....	6
思考题.....	7
第 2 章 矿物与岩石	8
2.1 地壳与地质作用	8
2.1.1 地壳.....	8
2.1.2 地质作用	12
2.2 主要造岩矿物.....	14
2.2.1 矿物的形态	14
2.2.2 矿物的物理性质	16
2.2.3 常见的主要造岩矿物	18
2.3 岩石.....	18
2.3.1 岩浆岩	18
2.3.2 沉积岩	23
2.3.3 变质岩	27
2.3.4 三大类岩石的相互转化	31
2.3.5 三大类岩石的肉眼鉴别	31
2.4 岩石与岩体的工程地质性质.....	34
2.4.1 岩石的主要物理力学性质	34
2.4.2 岩体的工程地质性质	39
本章小结	46
思考题	46

第 3 章 地质构造	47
3.1 地质年代及第四纪地质特征	47
3.1.1 地质年代的确定	47
3.1.2 地层单位与地质年代表	49
3.1.3 第四纪地质特征	51
3.2 岩层产状与地层接触关系	53
3.2.1 构造运动与地质构造	53
3.2.2 岩层的产状	53
3.2.3 地层接触关系	54
3.3 褶皱构造	55
3.3.1 褶曲要素	55
3.3.2 褶曲的类型	56
3.3.3 褶皱构造	58
3.3.4 褶皱构造的野外识别	58
3.3.5 褶皱构造的工程地质评价	59
3.4 断裂构造	60
3.4.1 节理	60
3.4.2 断层	63
3.4.3 活断层	68
3.5 地质图的识读	68
3.5.1 地质图的基本知识	69
3.5.2 地质条件在地质图上的表现	69
3.5.3 阅读地质图	72
本章小结	72
思考题	73
第 4 章 土的工程性质	74
4.1 土的生成与特性	74
4.1.1 土的生成	74
4.1.2 土的结构与构造	75
4.1.3 土的工程特性	76
4.1.4 土的生成与工程特性的关系	77
4.2 土的三相组成	77
4.2.1 土的固体颗粒	77
4.2.2 土中水	81
4.2.3 土中气体	82
4.3 土的物理性质指标	82
4.3.1 土的各项基本物理性质指标	83

4.3.2	反映土的松密程度的指标	84
4.3.3	反映土中含水程度的指标	85
4.3.4	特殊条件下土的密度(重度)	85
4.4	土的物理状态指标	88
4.4.1	无黏性土的密实度	88
4.4.2	黏性土的物理状态指标	91
4.5	土的工程分类	94
4.5.1	土的工程分类原则和体系	94
4.5.2	土的工程分类	95
4.6	土的成因类型特征	97
4.6.1	残积土(Q^{el})	97
4.6.2	坡积土(Q^{dl})	98
4.6.3	洪积土(Q^{pl})	98
4.6.4	冲积土(Q^{al})	99
4.6.5	湖泊沉积物(Q^l)	100
4.6.6	海洋沉积物(Q^m)	100
4.6.7	冰积土和冰水沉积土(Q^{gl})	101
4.6.8	风积土(Q^{eol})	101
4.7	特殊土的主要工程性质	102
4.7.1	软土	102
4.7.2	黄土	104
4.7.3	膨胀土	108
4.7.4	红黏土	110
4.7.5	填土	111
4.7.6	冻土	113
	本章小结	114
	思考题	114
第5章	地下水	116
5.1	地下水概述	116
5.1.1	岩石中的空隙	116
5.1.2	岩石的水理性质	118
5.2	地下水类型及其主要特征	119
5.2.1	包气带水	120
5.2.2	潜水	120
5.2.3	承压水	122
5.2.4	孔隙水、裂隙水及岩溶水	123
5.2.5	泉	124

5.3	地下水的性质	125
5.3.1	地下水的物理性质	125
5.3.2	地下水的化学成分	125
5.4	地下水对建筑工程的影响	126
5.4.1	地基沉降	126
5.4.2	流砂	126
5.4.3	潜蚀	127
5.4.4	地下水的浮托作用	127
5.4.5	基坑突涌	128
5.5	河流地质作用	128
5.5.1	河谷要素和流水的动能	128
5.5.2	河流的侵蚀、搬运与沉积作用	129
5.5.3	河谷的类型与阶地	133
5.5.4	河流侵蚀、淤积作用的防治	135
	本章小结	136
	思考题	137
第6章	不良地质作用	138
6.1	风化作用	138
6.1.1	风化作用类型	138
6.1.2	影响岩石风化的因素	142
6.1.3	岩石风化程度和风化带	143
6.1.4	岩石风化的勘察评价与防治	144
6.2	滑坡和崩塌	144
6.2.1	滑坡的定义和构造	144
6.2.2	滑坡的分类	146
6.2.3	滑坡发育的过程	148
6.2.4	滑坡的力学分析及影响因素	148
6.2.5	滑坡的治理	150
6.2.6	崩塌	151
6.3	泥石流	153
6.3.1	泥石流的定义	153
6.3.2	泥石流的形成条件	153
6.3.3	泥石流的防治	155
6.3.4	泥石流灾害的预报方法	155
6.4	岩溶与土洞	156
6.4.1	岩溶	156
6.4.2	土洞与潜蚀	160
6.4.3	岩溶和土洞的防治	161

6.5 地震及其效应	161
6.5.1 地震的概念	161
6.5.2 地震的成因及其分布	162
6.5.3 地震波及其传播	163
6.5.4 地震级和地震烈度	164
6.5.5 地震对建筑物的影响	168
本章小结	170
思考题	170
第7章 工程地质勘察	172
7.1 工程地质勘察概述	172
7.1.1 工程地质勘察的目的和任务	172
7.1.2 工程地质勘察的一般要求	172
7.2 工程地质测绘	174
7.2.1 工程地质测绘的主要内容	175
7.2.2 工程地质测绘的范围和比例尺	176
7.2.3 工程地质测绘方法要点	177
7.3 工程地质勘探	178
7.3.1 工程地质勘探的任务	178
7.3.2 地球物理勘探	178
7.3.3 钻孔勘探	181
7.3.4 坑探	182
7.4 现场原位测试	183
7.4.1 静力载荷试验	185
7.4.2 单桩垂直静载荷	186
7.4.3 静力触探试验	187
7.4.4 圆锥动力触探	190
7.4.5 标准贯入试验	192
7.4.6 十字板剪切试验	194
7.4.7 现场大型直剪试验	195
7.4.8 试验指标的选取	197
7.5 现场监测	198
7.5.1 现场监测的目的和任务	198
7.5.2 建筑物的沉降观测	198
7.5.3 地下水的监测	199
7.6 工程地质勘察报告的主要内容	199
7.6.1 工程地质图的编绘	199
7.6.2 工程地质勘察报告的编写	202
本章小结	203

思考题	204
实训项目	205
实训项目 1 主要造岩矿物的认识和鉴定	205
实训项目 2 常见岩石的认识和鉴定	206
实训项目 3 阅读地质图	207
实训项目 4 环刀法测定土的密度	209
实训项目 5 测定土的含水率(烘干法)	209
实训项目 6 土的分类	210
实训项目 7 滑坡形成的原因及边坡治理措施	212
实训项目 8 特殊土地基	213
参考文献	214

绪 论

1.1 地质学与工程地质学

地质学是一门关于地球的科学,其研究对象主要是固体地球的上层,主要包括以下几方面内容。

(1) 研究组成地球的物质,矿物学、岩石学、地球化学等分支学科承担这方面的研究。

(2) 阐明地壳及地球的构造特征,即研究岩石或岩石组合的空间分布。相关的分支学科有构造地质学、区域地质学和地球物理学等。

(3) 研究地球的历史以及栖居在地质时期的生物及其演变。研究这方面问题的有古生物学、地史学和岩相古地理学等。

(4) 地质学的研究方法和手段,如同位素地质学、数学地质学及遥感地质学等。

(5) 研究、应用地质学,以解决资源探寻、环境地质分析和工程防灾问题。

从应用来说,地质学对人类社会担负着重大使命,主要包括以下两方面:一是以地质学理论和方法指导人们寻找各种矿产资源,这是矿床学、煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等学科研究的主要内容;二是运用地质学理论和方法研究地质环境,查明地质灾害发生的规律和防治对策,以确保工程建设安全、经济和正常运行。

广义地讲,工程地质学(Geotechnical Engineering)是研究地质环境及其保护和利用的科学;狭义地讲,工程地质学是研究人类工程活动与地质环境相互关系的一门科学。

1.2 工程地质学的主要任务和研究方法

工程地质学在工程建设和国防建设中的应用非常广泛,由于它在工程建设中占有重要地位,从而早在 20 世纪 30 年代就获得迅速发展而成为一门独立的学科。中国工程地质学的发展始于新中国成立初期。经过 60 多年的努力,该学科不仅能适应国内建设的需要,而且开始走向世界,建立了具有中国特色的学科体系。纵观各种规模和类型的工程,其工程地质研究的基本任务,可以归结为以下三方面。

(1) 区域稳定性研究与评价,是指由内力地质作用引起的断裂活动——地震对工程建设地区稳定性的影响;

(2) 地基稳定性研究与评价,是指地基的牢固、坚实性;

(3) 环境影响评价,是指对人类工程活动对环境造成的影响进行评估。

具体来说,工程地质学的基本任务就是依据工程地质条件进行工程选址(选线)和场地评价。

工程地质学的具体任务如下:

(1) 评价工程地质条件,阐明兴建、运行地上和地下建筑工程的有利和不利因素,选定建筑场地和适宜的建筑形式,保证规划、设计、施工、使用和维修顺利进行;

(2) 从地质条件与工程建筑相互作用的角度出发,论证和预测有关地质问题发生的可能性、规模和发展趋势;

(3) 提出改善、防治或利用有关工程地质条件的措施,以及加固岩土体和防治地下水的方案;

(4) 研究岩体、土体的分类和分区及其区域性特点;

(5) 研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用和影响。

运用工程地质学在工程规划、设计以及解决各类工程建筑物的具体问题时,必须展开详细的工程地质勘察工作。工程地质勘察的目的是取得有关建筑场地工程地质条件的基本资料并进行工程地质论证。

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法应是地质分析法与力学分析法、工程类比法与试验法等的密切结合,即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。要查明建筑区工程地质条件的形成和发展,以及它在工程建筑物作用下的发展变化,首先必须以地质学和自然历史的观点分析、研究周围其他自然因素和条件,并了解这些自然因素和条件在历史过程中对它的影响和制约程度,这样才有可能认识它形成的原因,预测其发展变化趋势。这就是地质分析法,它是工程地质学的基本研究方法,也是进一步定量分析、评价的基础。对工程建筑物的设计和运用要求来说,只有定性的论证是不够的,还应对一些工程地质问题进行定量预测和评价,即在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,建立模型进行计算和预测,如地基稳定性分析、地面沉降量计算、地震液化可能性计算等。当地质条件十分复杂时,还应根据条件类似地区已有的资料对研究区的问题进行定量预测,即采用类比法进行评价。采用定量分析方法论证地质问题时,须采用试验测试方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要岩土的物理性质、水理性质及力学性质数据。对地质现象的发展速度进行长期观测也是常用的试验方法。综合应用上述定性分析与定量分析方法,才能取得可靠的结论对可能发生的工程地质问题制定出合理的防治对策。

1.3 工程地质条件和工程地质问题

为了保证地基稳定可靠,必须全面研究地基及其周围地质环境的有关工程条件,以及当建筑物建成后某些地质条件可能诱发的工程地质问题。

1.3.1 工程地质条件

工程地质条件是指与人类活动有关的各种地质要素的综合,是一个综合概念,主要包括以下六个方面。

1. 地形地貌

地形地貌对建筑场地和线路的选择有直接影响。

(1) 地形是地表起伏和地物的总称,地形起伏的大势一般称为地势。中国地形剖面图如图 1-1 所示。

(2) 地貌是地球表面的各种面貌,由不同的地质条件造就,是各种内、外力作用的结果。根据成因,地貌可分为喀斯特地貌、冰川地貌、风蚀地貌、丹霞地貌等,如图 1-2 所示。

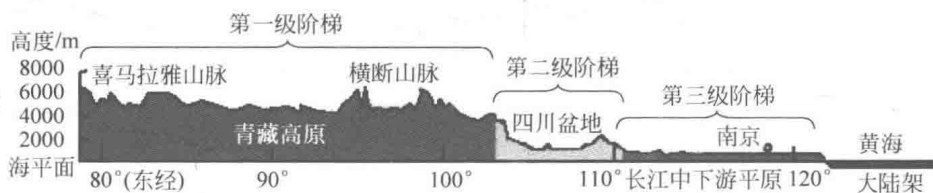


图 1-1 中国地形剖面图(沿北纬 32°)



图 1-2 几种常见的地貌

(a) 丹霞地貌; (b) 喀斯特地貌; (c) 冰川地貌

2. 地层岩性

地层岩性是最基本的工程地质因素,包括地层的成因、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。岩性的优劣关系到工程的安全经济。

3. 地质构造

地质构造也是工程地质工作研究的基本对象,包括褶皱、断层、裂隙构造的分布和特征。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。几种典型的地质构造如图 1-3 所示。

按照成因,裂隙又可以分为构造裂隙和非构造裂隙;根据两侧岩块的位移方向,断层又可分为正断层、逆断层和平推断层。

4. 水文地质条件

水文地质条件是重要的工程地质因素,包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分等,直接影响岩土的稳定性的。

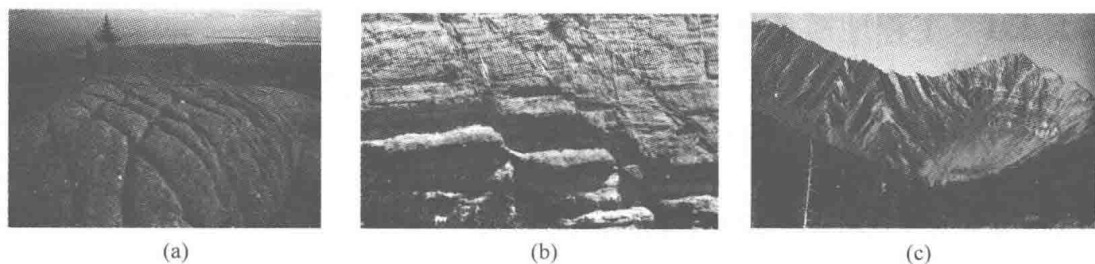


图 1-3 地质构造
(a) 裂隙构造; (b) 断层; (c) 褶皱

5. 不良地质作用

不良地质作用是现代地表地质作用的反映,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、河流侵蚀、荒漠化与地陷等,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。常见的不良地质作用如图 1-4 所示。

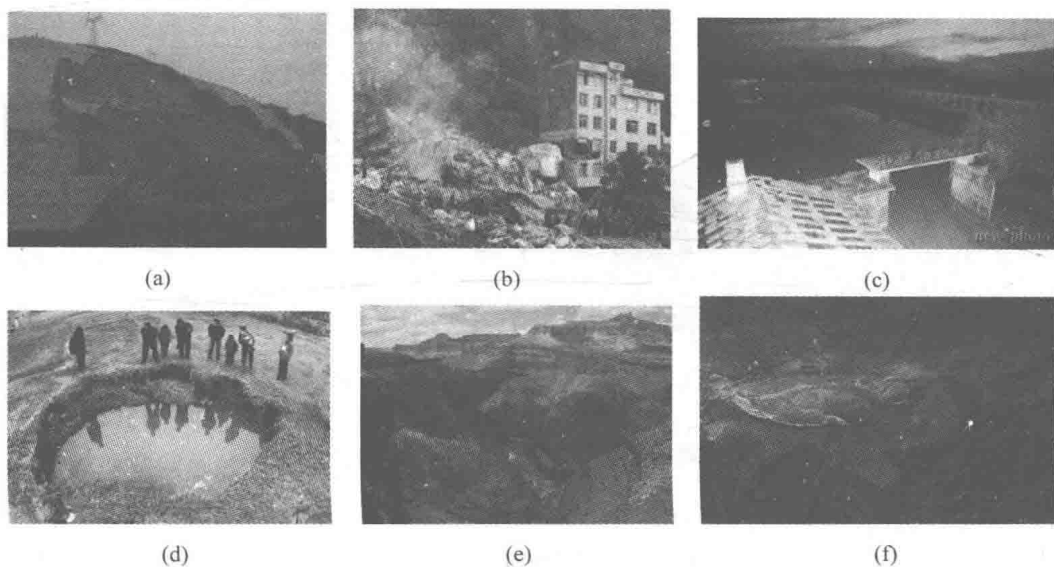


图 1-4 几种常见的不良地质作用
(a) 滑坡; (b) 崩塌; (c) 泥石流; (d) 地陷; (e) 河流侵蚀; (f) 荒漠化

6. 天然建筑材料

天然建筑材料包括土料、砂砾石、石料等,应就地取材,因地制宜。

1.3.2 工程地质问题

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,对工程建筑安全造成影响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。就土木工程而言,主要的工程地质问题包括地基稳定性问题、斜坡稳定性问题、洞室围岩稳定性问题以及区域

稳定性问题,现分述如下。

1. 地基稳定性问题

地基稳定性问题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。此外,岩溶、土洞等不良地质作用和现象都会影响地基稳定。例如,上海“莲花河畔景苑”在建楼房因地基稳定性问题整体倒塌,如图 1-5 所示。铁路、公路等工程建筑则会遇到路基稳定性问题。

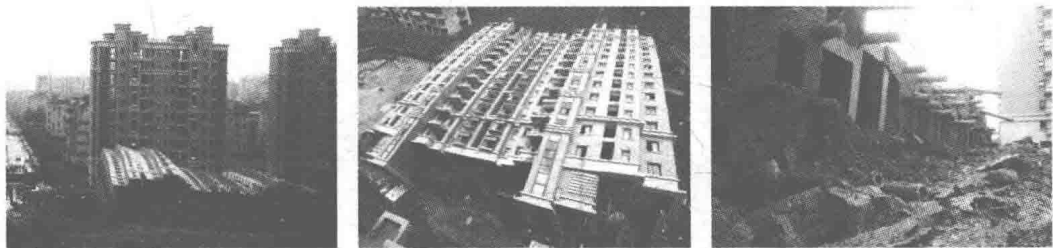


图 1-5 上海“莲花河畔景苑”在建楼房整体倒塌

2. 斜坡稳定性问题

自然界的天然斜坡是长期地表地质作用达到相对协调、平衡的产物,人类工程活动尤其是道路工程须开挖和填筑人工边坡(路堑、路堤、堤坝、基坑等),斜坡稳定对防止地质灾害发生及保证地基稳定十分重要。斜坡地层岩性和地质构造特征是影响其稳定性的物质基础,风化作用、地应力、地震、地表水和地下水等对斜坡软弱结构面的作用往往会破坏斜坡稳定,而地形地貌和气候条件是影响其稳定性的重要因素。图 1-6 为铁路岩石崩塌滑坡事故的图片。

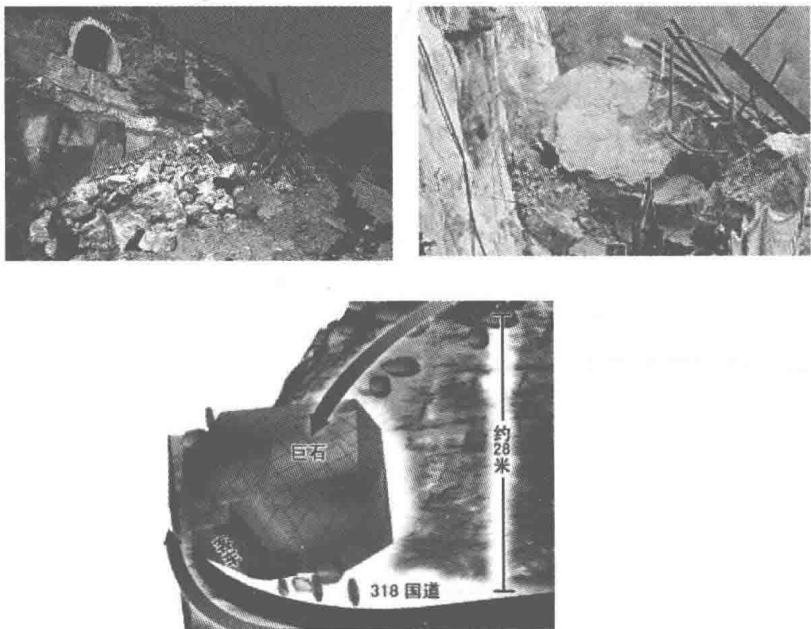


图 1-6 宜万铁路巴东隧道口岩石崩塌事故

3. 洞室围岩稳定性问题

地下洞室被包围于岩土体介质(围岩)中,如在洞室开挖和建设过程中破坏了地下岩体原始平衡条件,便会出现一系列不稳定现象,常见的有围岩塌方(见图 1-7)、地下水涌水等。一般在工程建设规划和选址时,要进行区域稳定性评价,研究地质体在地质历史中的受力状况和变形过程,做好山体稳定性评价,研究岩体结构特性,预测岩体变形破坏规律,进行岩体稳定性评价以及考虑建筑物和岩体围岩稳定所必需的工作。

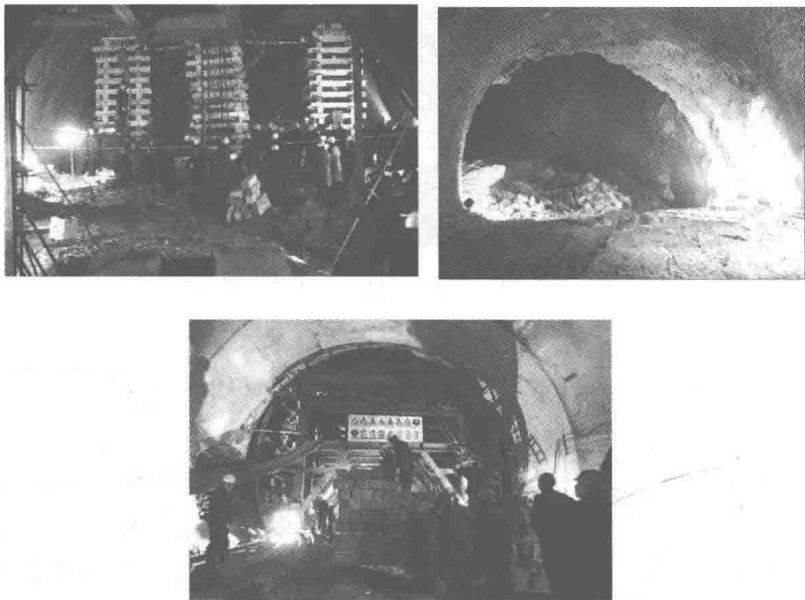


图 1-7 2011 年 4 月 20 日甘肃兰新铁路隧道塌方

4. 区域稳定性问题

自 1976 年唐山地震以来,地震、震陷和液化以及活断层对工程稳定性的影响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,区域稳定性问题是首先须进行论证的问题。图 1-8 为全球地震分布图。

土木工程专业学生学习本课程的基本要求如下:

- (1) 系统学习和掌握工程地质基础知识和理论;
- (2) 了解工程地质勘察的基本内容和工作方法;能正确提出勘察任务及要求,并运用勘察数据和资料进行设计与施工;
- (3) 依据工程地质勘察成果进行一般的工程地质问题分析并采取处理措施。

本章小结

工程地质学是研究地质学应用问题的重要分支学科,防灾是工程地质学的根本任务。

地基岩土的性质是保证地基稳定的基本条件。而建筑场地的地形性质、地下水、物理性质作用等地质环境因素往往对地基稳定性产生重要影响。

工程地质勘察是工程地质学的重要研究方法和技术手段,其目的是查明场地基本工程地质条件,并进行工程地质论证。

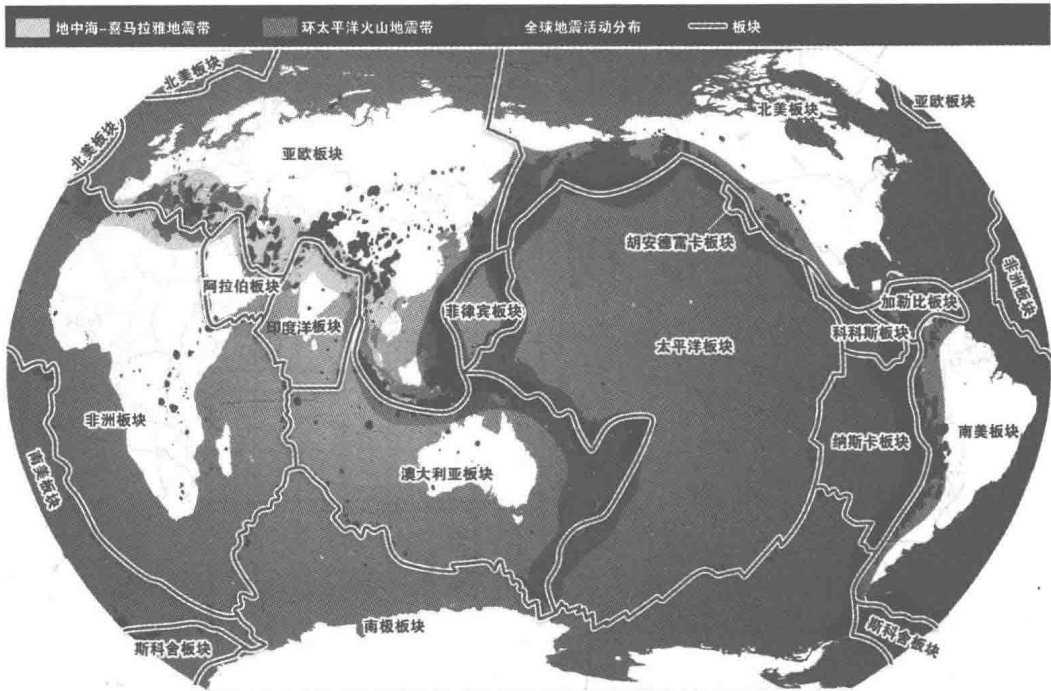


图 1-8 全球地震分布图

思考题

1. 试说明工程地质学与地质学之间的关系。
2. 试说明工程地质学的主要任务和研究方法。
3. 什么是工程地质条件和工程地质问题？它们具体包括哪些因素和内容？
4. 简述工程地质学的学习方法和要求。