



普通高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部2002年全国高等学校优秀教材一等奖
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

工程地质

(第4版)

G C D Z

孙家齐 陈新民 主编



WUTP

武汉理工大学出版社



普通高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部2002年全国高等学校优秀教材一等奖
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

工程地质

(第4版)

主 编 孙家齐 陈新民
主 审 罗国煜

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内 容 提 要】

本书系统地介绍了工程地质学基本原理和勘察、测试技术,包括岩土的物质组成及其工程特性与工程地质分类;地质构造及工程地质评价;地下水、河流、海岸带、岩溶、边坡、风化等地质作用的基本规律与灾害防治,以及工程地质勘察、现场原位测试、工程地质报告和图件的编制。

本书可作为高等学校土木工程专业的教材,亦可供工程地质、水文地质专业技术人员及土木工程设计和科研人员阅读参考。

【主编简介】

孙家齐 女,1942年出生,南京工业大学教授。1963年大学本科毕业于南京大学地质系,1966年研究生毕业于南京大学地质系构造地质专业。长期从事野外地质调查、科研与教学工作。先后参加陕西秦岭花岗岩与成矿、新疆东天山构造演化与成矿等部级和国家级研究项目并获奖,近年主要研究方向为地质灾害防治。

E-mail:jqsun@njacei.edu.cn

图书在版编目(CIP)数据

工程地质/孙家齐,陈新民主编. —4版. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.3 重印
ISBN 978-7-5629-3635-0

I. ① 工… II. ① 孙… ② 陈… III. ① 工程地质 IV. ① P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 248322 号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全

责任编辑:田道全

责任校对:万三宝

装帧设计:杨 涛

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:荆州市今印印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:12.5

彩 插:2

字 数:405 千字

版 次:2011 年 12 月第 4 版

印 次:2012 年 3 月第 2 次印刷 总第 28 次印刷

印 数:183001—193000 册

定 价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

普通高等学校土木工程专业新编系列教材编审委员会

(第 4 届)

学术顾问:

吕西林 李 杰 罗福午 李少甫 甘绍熺 包世华 毛鹤琴
辛克贵 刘立新 李必瑜 彭少民 何铭新 吴培明 胡敏良

主任委员:

李国强 朱宏亮 田 高

副主任委员:

刘伟庆 邹超英 白国良 徐礼华 雷宏刚 贾连光 朱彦鹏
张永兴 张俊平 刘殿忠 缪 昇 王 岚 周学军 赵明华

委员:(以姓氏笔画为序)

王 林 王 燕 王月明 王天稳 王社良 王泽云 袁海庆
邓铁军 王新武 王毅红 吴炎海 卢文胜 白晓红 蒋沧如
叶献国 孙 俊 孙 强 刘长滨 李书进 李启令 曾志兴
李怀建 刘剑飞 孙家齐 过静珺 李碧雄 张立人 窦立军
陈水生 邵旭东 陈伯望 宋固全 张国强 张科强 戴国欣
吴雪茹 吴辉琴 何培玲 周 云 俞 晓 饶云刚 魏瑞演
姜玉松 段兵廷 柳炳康 赵瑞斌 徐 伟 秦建平 袁广林

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德民

前 言

(第4版)

2010年春,武汉理工大学出版社启动“普通高等学校土木工程专业新编系列教材”第4版修订计划,又一次为我们提供了提高教材质量的极好机遇。本次修订首先认真学习、领会教指委对《工程地质》课程的新要求以及落实的知识点,同时也仔细地考虑各位审读专家的宝贵意见。本次修订主要做了以下工作:

1. 增补以下内容:(1)第2章新增:2.3 岩石的主要物理性质和力学性质;(2)第4章改写与新增:4.5 地震与活动性断裂;(3)第6章新增:6.6 地面塌陷及处理对策;6.7 地面沉降及监测防治;(4)第7章新增:7.2.2 土分类常用的指标;7.2.4.7 填土;7.2.4.8 污染土;(5)第8章新增:8.4.4 旁压试验;8.4.5 扁铲侧胀试验;8.4.6 波速测试;(6)第9章更名为:“各类工程的勘察要求与评价”,新增:9.5 特殊土。

2. 在原有实习内容的基础上,补充编写了“工程地质课程实习指导书”。

3. 删除第1版前言对“工程地质”学时分配的建议。建议参照执行教指委推荐学时。

为了搞好本次修订工作,武汉理工大学出版社专门聘请了土木类有关专家对教材进行审读,提出许多宝贵意见,这些专家是:郑州大学刘忠玉教授、中南大学徐林荣教授、河南工业大学师旭超副教授、河海大学张发明副教授、东华理工学院易萍华副教授。在此特向上述专家们致以诚挚的感谢!

本次修订工作还得到许多同行、同事们的支持与帮助,在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,书中难免有疏漏或错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

2011年12月

目 录

1 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 土木工程对地基的基本要求	(2)
1.4 工程地质条件和工程地质问题	(3)
习题	(4)
2 地壳的物质组成	(5)
2.1 矿物	(6)
2.1.1 矿物的形态	(6)
2.1.2 矿物的物理性质	(7)
2.1.3 常见矿物	(8)
2.2 岩石	(9)
2.2.1 火成岩	(10)
2.2.2 沉积岩	(12)
2.2.3 变质岩	(15)
2.3 岩石的主要物理性质和力学性质	(18)
2.3.1 岩石的主要物理性质	(18)
2.3.2 岩石主要的力学性质	(19)
2.3.3 影响岩石物理力学性质的因素	(19)
习题	(21)
3 地质年代与第四纪地质概述	(22)
3.1 地质年代	(22)
3.1.1 相对年代与绝对年代	(22)
3.1.2 地质年代表	(23)
3.1.3 地方性岩石地层单位	(24)
3.1.4 我国地史概况	(25)
3.2 第四纪地质概述	(25)
3.2.1 第四纪地质概况	(25)
3.2.2 第四纪沉积物——不同地质成因的土层	(27)
习题	(30)
4 地质构造	(31)
4.1 岩层产状与地层接触关系	(31)
4.1.1 构造运动与地质构造	(31)
4.1.2 岩层的产状	(31)
4.1.3 岩层露头线特征	(32)
4.1.4 地层接触关系	(32)
4.2 褶皱	(33)
4.2.1 褶皱要素	(34)
4.2.2 褶皱的类型	(34)
4.2.3 褶皱构造的工程地质评价	(34)
4.3 节理	(35)
4.3.1 节理的类型	(35)
4.3.2 节理的观测与统计	(36)

4.4	断层	(37)
4.4.1	断层要素	(37)
4.4.2	断层的类型	(37)
4.4.3	断层存在的标志	(40)
4.4.4	断裂构造的工程地质评价	(42)
4.5	地震与活动性断裂	(42)
4.5.1	地震	(42)
4.5.2	活动性断裂	(46)
	习题	(49)
5	地下水	(50)
5.1	地下水的基本概念	(50)
5.1.1	岩石的空隙	(50)
5.1.2	含水层与隔水层	(51)
5.1.3	地下水的物理化学性质	(51)
5.2	地下水的类型	(52)
5.2.1	上层滞水、潜水、承压水	(52)
5.2.2	孔隙水、裂隙水、岩溶水	(55)
5.3	地下水的补给、径流与排泄	(56)
5.3.1	地下水的补给	(56)
5.3.2	地下水的排泄	(56)
5.3.3	地下水的径流	(57)
5.3.4	地下水运动的基本定律	(57)
5.3.5	地下水与工程	(58)
	习题	(61)
6	地表地质作用	(62)
6.1	风化作用	(62)
6.1.1	基本概念	(62)
6.1.2	风化作用的类型	(62)
6.1.3	影响风化作用的因素	(64)
6.1.4	岩石风化的勘察评价与防治	(64)
6.2	河流的侵蚀、搬运与沉积作用	(66)
6.2.1	河流的侵蚀、搬运与沉积	(66)
6.2.2	河流地貌	(69)
6.2.3	河流侵蚀、淤积作用的防治	(72)
6.3	岩溶(喀斯特)作用	(74)
6.3.1	基本概念与研究意义	(74)
6.3.2	岩溶作用的基本条件	(75)
6.3.3	岩溶地貌	(76)
6.3.4	岩溶区的主要工程地质问题	(77)
6.4	斜坡与边坡地质作用	(79)
6.4.1	崩塌	(79)
6.4.2	泥石流	(80)
6.4.3	滑坡及其工程地质勘测	(81)
6.4.4	斜坡稳定性评价	(84)
6.4.5	斜坡变形破坏的防治	(86)
6.5	海岸带的地质作用	(87)
6.5.1	海岸带的水动力特征	(88)

6.5.2	海岸地貌·····	(89)
6.5.3	沿岸建筑物的防护措施·····	(90)
6.6	地面塌陷及处理对策·····	(92)
6.6.1	地面塌陷及危害·····	(92)
6.6.2	矿山采空区和地面塌陷·····	(93)
6.6.3	岩溶地面塌陷·····	(94)
6.7	地面沉降及监测防治·····	(95)
6.7.1	地面沉降及危害·····	(95)
6.7.2	因超采地下水引起的地面沉降的特点和发生原因·····	(95)
6.7.3	因超采地下水引起的地面沉降的监测·····	(95)
6.7.4	地面沉降的防治·····	(96)
	习题·····	(97)
7	岩土工程地质分级与分类·····	(98)
7.1	工程岩体分级·····	(98)
7.1.1	分级的目的·····	(98)
7.1.2	影响岩体工程性质的主要因素·····	(98)
7.1.3	工程岩体分级的代表性方案·····	(99)
7.1.4	工程岩体分级标准(GB 50218—94)·····	(100)
7.2	土的工程分类·····	(103)
7.2.1	概述·····	(103)
7.2.2	土分类常用的指标·····	(103)
7.2.3	土的工程分类方案简介·····	(104)
7.2.4	我国主要特殊土的基本特性·····	(107)
	习题·····	(115)
8	工程勘察技术与方法·····	(116)
8.1	工程勘察阶段与勘察分级·····	(116)
8.1.1	工程勘察阶段·····	(116)
8.1.2	工程勘察分级·····	(117)
8.2	工程地质测绘·····	(118)
8.2.1	工程地质测绘的主要内容·····	(118)
8.2.2	工程地质测绘的比例尺·····	(119)
8.2.3	工程地质测绘方法要点·····	(119)
8.3	勘探与取样·····	(119)
8.3.1	物探·····	(119)
8.3.2	钻探·····	(121)
8.3.3	岩土取样·····	(122)
8.3.4	井探、槽探和洞探·····	(122)
8.4	原位测试·····	(123)
8.4.1	静力载荷试验·····	(123)
8.4.2	静力触探试验·····	(125)
8.4.3	标准贯入试验·····	(130)
8.4.4	旁压试验·····	(133)
8.4.5	扁铲侧胀试验·····	(134)
8.4.6	波速测试·····	(138)
8.4.7	室内岩土测试及试验指标的选取·····	(139)
8.5	现场监测·····	(140)
8.5.1	现场监测的目的与任务·····	(140)

8.5.2	建筑物的沉降观测	(141)
8.5.3	地下水的监测	(141)
8.6	建筑地基评价	(141)
8.6.1	地基承载力与地基变形	(142)
8.6.2	建筑场地的抗震评价	(143)
	习题	(144)
9	各类工程的勘察要求与评价	(145)
9.1	高层建筑	(145)
9.1.1	高层建筑的特点	(145)
9.1.2	高层建筑工程勘察的基本要求	(146)
9.2	公路	(146)
9.2.1	选线的工程地质论证	(147)
9.2.2	路基的主要工程地质问题	(148)
9.2.3	公路工程勘察的基本内容	(148)
9.3	桥梁	(149)
9.3.1	桥梁工程主要工程地质问题	(150)
9.3.2	桥梁工程勘察要点	(150)
9.4	地下洞室	(151)
9.4.1	地下洞室的主要工程地质问题	(151)
9.4.2	地下洞室工程勘察要点	(152)
9.5	特殊土	(152)
9.5.1	湿陷性土	(152)
9.5.2	红黏土	(155)
9.5.3	软土	(157)
9.5.4	膨胀岩土	(158)
9.5.5	多年冻土	(161)
9.5.6	盐渍岩土	(162)
9.5.7	填土	(163)
9.5.8	混合土	(164)
9.5.9	风化岩和残积土	(165)
	习题	(166)
附录		(167)
附录 1	工程地质课程实习指导书	(167)
实习 1	矿物、岩石的识别,认识古生物化石	(167)
实习 2	认识地层、观察地质构造与测量岩层产状	(167)
实习 3	观察风化作用、河流与海浪地质作用现象	(169)
实习 4	认识土体的宏观特征和土的野外鉴别	(171)
实习 5	工程地质勘察报告的阅读	(173)
附录 2		(174)
附录 2.1	认识古生物化石	(174)
附录 2.2	南京市区主要地层简介	(175)
附录 2.3	岩层产状要素测量	(176)
附录 2.4	某校学生浴室工程地质勘察报告书	(178)
部分习题参考答案		(186)
参考文献		(187)

1 绪 论

本章提要

工程地质学是将地质学的原理运用于解决工程地基稳定性问题的一门学问。工程地质学通过工程地质调查、勘察和研究建筑场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体工程特性、水文地质和地表地质作用现象等工程地质条件,预测和论证有关工程地质问题发生的可能性并采取必要防治措施,以确保建筑物的安全、稳定和正常运行。

1.1 地质学与工程地质学

地质学是一门关于地球的科学。它研究的对象主要是固体地球的上层,主要有以下方面内容:① 研究组成地球的物质。由矿物学、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。这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、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、岩相古地理学等。④ 地质学的研究方法手段,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。从应用方面来说,地质学对人类社会担负着重大使命,主要有两方面: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。这就是工程地质学研究的主要内容。工程地质学是地质学的重要分支学科,是把地质学原理应用于工程实际的一门学问,防灾是工程地质学的主要任务。

1.2 工程地质学的主要任务和研究方法

工程地质学在经济建设和国防建设中应用非常广泛,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成为一门独立的学科。我国工程地质学的发展始于新中国成立初期。经过 50 多年的努力,建立了具有我国特色的学科体系,不仅能适应国内建设的需要并开始走向世界。纵观各种规模、各种类型的工程,其工程地质研究的基本任务,可归结为三方面: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,是指人类工程活动对环境造成的影响。

工程地质学的具体任务是:① 评价工程地质条件,阐明地上和地下建筑工程兴建和运行的有利和不利因素,选定建筑场地和适宜的建筑型式,保证规划、设计、施工、使用、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,论证和预测有关工程地质问题发生的可能性、发生的规模和发展趋势;③ 提出及建议改善、防治或利用有关工程地质条件的措施,加固岩土体和防治地下水的方案;④ 研究岩体、土体分类和分区及区域性特点;⑤ 研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用与影响。

工程地质学在工程规划、设计以及在解决各类工程建筑物的具体问题时必须开展详细的工程地质勘察和岩土工程勘察工作,为了叙述方便通称为工程勘察工作。工程地质勘察的目的是为了取得有关建筑场地工程地质条件的基本资料 and 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、工程类比法与实验法等密切结合,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它自然因素和条件,了解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和预测其发展趋势和变化。这就是地质分析法,它是工程地质学基本研究方法,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的要求来说光有定性的论证是不够的,还要求对一些工程地质问题进行定量预测和评价。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,例如地基稳定性分析,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,还可根据条件类似地区已有资料对研究区的问题进行定量预测,这就是采用类比法进行评价。采用定量分析方法论证地质问题时都需要采用实验测试方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要的岩土的物理性质、力学性质、水理性质数据。通过长期观测地质现象的发展速度也是常用的试验方法。综合应用上述定性分析和定量分析方法,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 土木工程对地基的基本要求

一般认为的“建筑物”含义很广,包括房屋建筑和构筑物两大类。住宅和公用建筑称建筑物,而专门生产工艺使用的建筑物,如发电站、水塔、车间、桥梁、烟囱等称为构筑物。以下文中所指建筑物都具有广泛含义。

在土和岩层中修建建筑物,承受建筑物全部重量的那部分土和岩层称为建筑物的地基。建筑物的基础是其下部的组成部分,又称做下部结构。基础承受整个建筑物的重量并将它们传递给地基。基础和地基共同保证建筑物的坚固、耐久和安全,而地基在其中往往起着主导作用。牢固稳定的地基是建筑物安全与正常运行的保证。地基的岩土组成、厚度、性质(物理性质及力学性质)、承载能力、产状、分布、均匀程度等情况是保证地基稳定性的基本条件。另一方面,组成地基的岩土体存在于一定的地质环境之中,建筑场地的地形、地质条件及地下水、物理地质作用等往往会影响地基承载力和地基稳定性。

地基是否具有支承建筑物的能力,常用地基承载力来表达。地基承载力是指地基所能承受由建筑物基础传递来的荷载的能力。要确保建筑物地基稳定和满足建筑物使用要求,地基承载力必须满足:① 具有足够的地基强度,保持地基受负荷后不致因地基失稳而发生破坏;② 地基不能产生超过建筑物对地基要求的容许变形值。良好的地基一般具有较高的强度和较低的压缩性。工程地质勘察报告中要提供建筑场地岩土层的地基承载力值。

地基又分成持力层与下卧层两部分。直接与基础接触的土层叫持力层,持力层下部的土层叫下卧层。持力层的性质、埋藏条件和承载力大小等对基础类型、基础埋深、地基加固和施工方法的选择与确定有很大影响。工程地质勘察工作中,在对场地地层结构及岩土物理力学性质作详细了解的基础上,选择承载力高、变形小的岩土层作为持力层。显然,建筑物基础埋置深度取决于持力层的埋藏深度。当持力层位于地下较浅处时选择浅基础;作为持力层的岩土层埋藏于较深处时,常常选择采用深基础或桩基;当持力层深度过大时,常常采用对上部软土层进行加固后作为地基使用。

建筑场地的地下地质,或者说地基大致有以下几种情况:

建筑物的基础直接坐落在坚硬的岩层之上,如果岩石风化程度较弱,断层和节理又不甚发育,地基强度一般没有什么问题。虽然常见岩石力学性质数据可以从工程地质手册上查到,但对大型或重要工程仍然要通过工程地质勘察工作采取原状岩石试样进行测试以确定其实际力学强度,因为实际地质条件是复杂的、变化的。例如,层理发育的沉积岩及片理发育的变质岩在不同方向上具有不相同的强度,垂直于层理和片理方向的力学强度要大于平行层理和片理方向,有时可相差 50% 左右。岩石地基往往受到岩石风化、断裂破碎的影响而降低地基强度,在风化破碎剧烈的部位,有时不得不放弃或是经加固处理后才能用作建筑物地基。

在丘陵和山区,当工程地质勘察工作从钻孔中了解到基岩表面是倾斜的,而且建筑场地位于坡脚处,在这种地质条件下若选择倾斜基岩岩层上方的土层作为地基时应特别注意地基稳定,这一方面是因为当建筑物荷载作用于地基土时,因土层厚薄不均,往往发生不均匀沉降而导致建筑物倾斜或开裂。另一方面是因为基岩上部的松散土层在重力作用下往往发生向下位移,尤其当土层受到地表水和地下水影响时发生位移的可能性更大。这时可采取挡墙和排水措施防止灾害发生。

基岩位于地下较深处且建筑物荷载又较大时,常采用特别的基础形式,例如桩基础把建筑物的荷载传递

到它上面。这时应了解基岩面的起伏状况以及地下水的特性及其对混凝土的腐蚀性。基岩起伏对桩的长度有影响,有时甚至是建筑物一角基础的水泥墩直接建在基岩上,而另一角基岩深达数十米以下。工程地质勘察还应确切地了解基岩的性质,特别是基岩地下水的特性。如果基岩裂隙发育并富含地下水,当桩穿过土层到达基岩时容易造成地下水涌入干扰工程的进展。

基岩位于地下深处,建筑物奠基在上部土层中。这时首先通过工程地质勘察查明各层土的物理力学性质及其产状、分布、厚度和均匀性,并计算地基承载力评价建筑物沉降量等。例如选择均匀厚层、水平产状的单一黏性土层作为地基,当建筑物荷载作用于黏性土地基引起基础沉降。在这种地质条件下,如建筑物荷载均匀,发生的沉降是由于土层压密而引起的属于均匀沉降,只要建筑物重量不超过地基土的承载力地基仍然是稳定的。但如果建筑物重量大大超出土层的承载能力,则会发生土体挤出地基失稳破坏。

地基受压层内地层往往不是均一的单层地基,而是由二层、三层甚至三层以上不同性质的土层或岩土层构成。它们因强度各不相同造成上软下硬或上硬下软等情况,需要根据具体情况按有关规范进行评价和处理。其中夹层厚度变化大并夹有软弱透镜体的地基受荷载后会出现不均匀沉降,这类地基最为不利。

饱水粉细砂土地震液化效应,砂层地震时液化会导致地基强度降低或地表沉陷变形。因此在工程地质勘察中须进行地震液化判别。此外,特殊土的物理力学性质不稳定,当地基受力层中存在有特殊土时易造成地基不均匀,影响其稳定性。

高层或重型建筑因荷重大往往产生较大的地基变形,最怕整体倾斜,因而对地基均匀性要求较高。工程地质勘察工作中要求对地基均匀性作出判别。

1.4 工程地质条件和工程地质问题

为了保证地基稳定可靠,要求必须全面地研究地基及其周围地质环境的有关工程地质条件,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。

工程地质条件是指工程建筑物所在地区地质环境各项因素的综合。这些因素包括:① 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。② 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、节理构造的分布和特征。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。③ 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。④ 地表地质作用: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、风沙移动、河流冲刷与沉积等等,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。⑤ 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 and 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到建筑场地和线路的选择。

已有的工程地质条件在工程建筑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。就土木工程而言,主要的工程地质问题包括:① 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。铁路、公路等工程建筑则会遇到路基稳定性问题。② 斜坡稳定性问题:自然界的天然斜坡是经受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需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、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破坏斜坡稳定,而地形地貌和气候条件是影响其稳定的重要因素。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,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,常遇到围岩塌方、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结构的相互作用。这些都是防止工程失误和事故、保证洞室围岩稳定所必要和必需的工作。④ 区域稳定性问题:地震、震陷和液化以及活断层对工程稳定性的影响,自 1976 年唐山地震后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,区域稳定性问题应该是需要首先论证的问题。

工程地质学内容十分丰富、涉及面很广。本书着重介绍土木工程专业所涉及的工程地质学基本理论和基本知识。为避免与系列教材中相邻课程重复并考虑土木工程专业教学计划中本课程性质和学时,经精心编排,本课程主要包括:矿物岩石、地质年代与第四纪地质概述、地质构造、地下水、地表地质作用、岩土工程地质分级和分类、工程地质勘察、特殊工程的工程地质勘察等。

土木工程专业学生学习本课程的基本要求是:系统学习和掌握工程地质基础知识和理论;了解工程地质勘察的基本内容、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,以及依据工程地质勘察成果进行一般的工程地质问题分析和采取处理措施。

本章小结

- (1) 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。
- (2) 地基岩土的性质是保证地基稳定的基本条件,而建筑场地的地形地质、地下水、物理地质作用等地质环境因素往往对地基稳定性产生重要影响。
- (3) 工程地质勘察是工程地质学的重要研究方法和技术手段。其目的是为了查明场地基本工程地质条件并进行工程地质论证。

习 题

- 【习题 1.1】 试说明工程地质学与地质学相互间的关系。
- 【习题 1.2】 试说明工程地质学的主要任务与研究方法。
- 【习题 1.3】 建筑物地基稳定的基本要求是什么?
- 【习题 1.4】 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?

2 地壳的物质组成

本章提要

地球具有圈层构造,地壳是固体地球最外部的层圈。塑造地壳面貌的自然作用称地质作用。元素、矿物、岩石是组成地壳的基本单位。火成岩是岩浆作用的产物,沉积岩是外力地质作用的产物,变质岩是变质作用的产物。它们都有各不相同的矿物成分、结构构造特征和代表性岩石。

地球的赤道半径(6378.140 km)比两极半径(6356.779 km)要大,所以地球不是一个完全的圆球体。地球表面参差起伏,大约有 70.8% 的面积为海域,有 29.2% 的面积为陆地。

地球包括外部层圈即大气圈、水圈及生物圈和固体地球两部分。固体地球内部也是分层的,如图 2.1 所示,由地壳、地幔、地核组成。地壳的密度为 $2.7\sim 2.9\text{ g/cm}^3$,由地表所见各种岩石组成。位于大陆的大陆地壳(陆壳)厚度大,平均约 35 km,高山区可达 70~80 km,其下层为深变质岩,表层多为沉积岩,陆壳形成年代老,内部构造很复杂;位于大洋底部的大洋地壳(洋壳),厚度较小,平均 7~8 km,洋壳由玄武岩组成,表层有不厚的沉积物。地壳以下至大约 2900 km 深处为地幔。地幔的密度为 $3.32\sim 4.64\text{ g/cm}^3$,由富含 Fe、Mg 的硅酸盐物质组成。地幔以下直到地心的部分称为地核。地核的密度为 $11\sim 16\text{ g/cm}^3$,由含 Fe、Ni 的物质组成。地核由液态外核和固态内核组成。

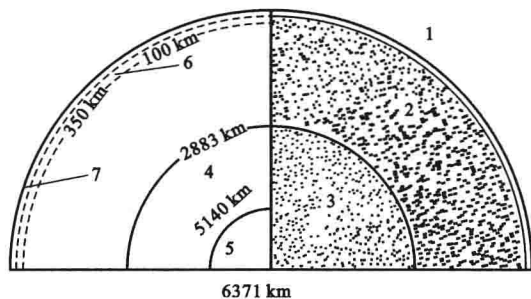


图 2.1 地球内部层圈

1—地壳;2—地幔;3—地核;4—液态外部地核;
5—固态内部地核;6—软流圈;7—岩石圈

对地球内部的认识主要来自对地震弹性波的研究。据研究发现,在地幔顶部(约 50~250 km)存在一个地震波速度减低带,该带约有 5% 的物质为熔融状态,易于发生塑性流动称软流圈(图 2.1)。软流圈以上的物质均为固态,称为岩石圈。岩石圈具有较强的刚性,分裂成许多块体,称为板块。板块驮在软流圈上随之运动,这就是板块运动,也是构造运动发生的根源。

现代地质学研究证实,地球形成之初,地表像现在的月球,并不存在水,也就没有海陆之分。大气成分中也没有二氧化碳和氧气。地球在其形成 46 亿年的历史中逐渐发展和演化成今天的面貌。同时,今天的地球仍以人们不易觉察的速度和方式在继续变化中。目前人们对地壳的发展演化研究得最为详细,将形成和改变地壳物质组成以及塑造地壳面貌的自然作用称为地质作用。

地质作用的动力来源,一是由地球内部放射性元素蜕变产生内热;二是来自太阳辐射热,以及地球旋转力和重力。只要引起地质作用的动力存在,地质作用就不会停止。地质作用实质上是组成地球的物质以及由其传递的能量发生运动的过程。考虑动力来源部位,地质作用常被划分为内力地质作用与外力地质作用两大类。内力地质作用的动力来自地球本身,并主要发生在地球内部,按其作用方式可分为四种:构造运动、岩浆作用、变质作用、地震。外力地质作用主要由太阳辐射热引起并主要发生在地壳的表层,主要包括:风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和固结成岩作用。

由同种原子组成的物质称为元素。目前已知元素有 108 种,其中在自然界存在的为 92 种。地壳中元素含量是极不均匀的。O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、Ti、H 等 10 种元素占 99.96%,其中 O、Si、Al、Fe 占 88.31%。矿物是由各种元素组成,岩石是由矿物组成,地壳由岩石组成。

2.1 矿物

矿物是地壳中的元素在各种地质作用下形成的天然单质或化合物。矿物都具有一定的化学成分,并可用化学式来表达。例如金刚石和石英,它们的化学成分分别是 C 和 SiO_2 。实际分析资料表明,矿物中或多或少地含有各种杂质,例如石英并非是纯的 SiO_2 ,仍含有微量的 Al、Fe 等元素。由于矿物具有相对固定的化学成分,因而也有一定的物理性质和化学性质。

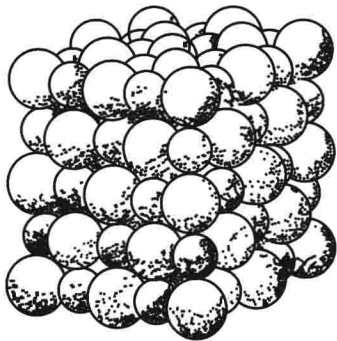


图 2.2 石盐晶体结构中质点的有序排列
大球— Cl^- ,小球— Na^+

绝大多数矿物具有确定的内部结构,即内部的原子或离子是在三维空间成周期性重复排列的,具有这种结构的称为晶体。图 2.2 表示石盐(NaCl)的晶体结构。

2.1.1 矿物的形态

绝大多数矿物都是晶体,具有各自特定的晶体结构,当生长条件合适时,同种矿物的单个晶体往往都有自己常见的形态,称晶体习性,如针状、柱状、粒状、板状、片状等习性(图 2.3)。由于生长空间的局限,矿物晶体往往不能发育成如图 2.3 所示的完美形态,它们常常挤在一起成集合体产出。同种矿物具有相同的晶体习性,其集合体也常具特征形态,如粒状集合体、针状集合体、鳞片状集合体等。有时表现出特殊的集合体形态,如放射柱状(图 2.4)、钟乳状(图 2.5)以及晶腺(图 2.6)等。

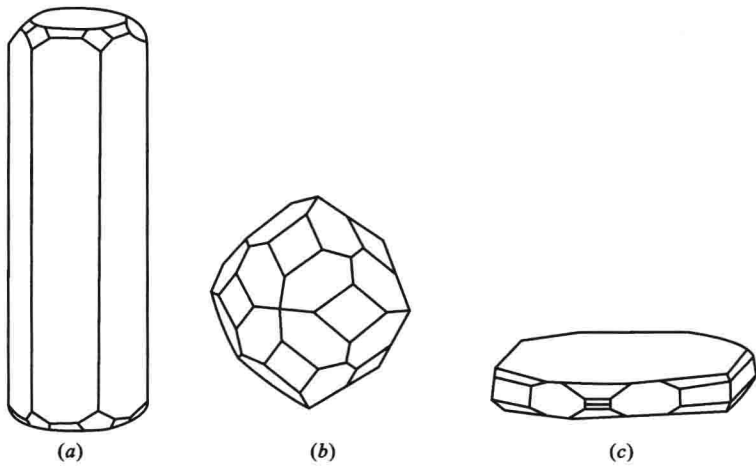


图 2.3 晶体的聚形和晶体习性
(a) 绿柱石聚形晶体,具柱状习性(据 Vrba,1894);(b) 石榴子石聚形晶体,具粒状习性(据 Haüy,1801);
(c) 板钛矿聚形晶体,具板状习性(据 Breithaupt,1847)

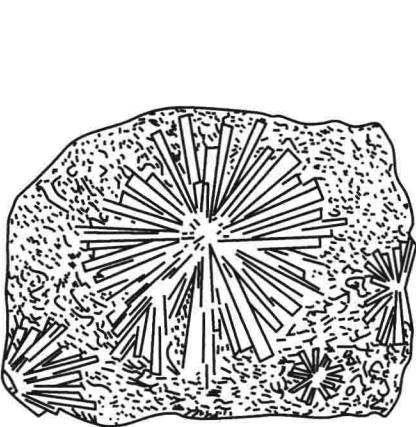


图 2.4 红柱石的放射柱状集合体
($\times 4/5$,北京;据罗谷风,1978)



图 2.5 方解石的钟乳状集合体
($\times 2/3$,广西融安;据罗谷风,1972)

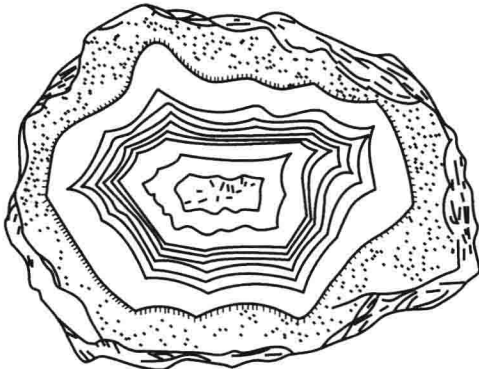


图 2.6 玛瑙的晶腺
($\times 2/3$,河北张家口;据罗谷风,1978)

2.1.2 矿物的物理性质

借助于小刀等简单工具,即可以观察或测定矿物的下列性质:

2.1.2.1 颜色和条痕

颜色是矿物最直观的一种性质,最常见的有自色与他色两种类型。自色是由矿物的化学成分和晶体结构所形成的矿物本身的固有颜色,如黄金的金黄色、黄铜矿的赤黄色、孔雀石的翠绿色等。他色是矿物混入某些杂质所引起的颜色。纯净的石英是无色透明的,但含碳的微粒时呈烟灰色(即墨晶),含锰就呈紫色(即紫水晶),含氧化铁则呈玫瑰色(即玫瑰石英)。

条痕是矿物粉末的颜色,通常将矿物在无釉瓷板上刻画后进行观察,它对于某些金属矿物具有重要鉴定意义。例如:赤铁矿可呈赤红、铁黑或钢灰等色,而它的条痕则恒为樱红色;金的条痕为金黄色,而黄铜矿的条痕为绿黑色。

2.1.2.2 透明度和光泽

透明度是指矿物允许可见光透过的程度。如透石膏、冰洲石、水晶等被称为透明矿物,其特征是当隔着1 cm厚的矿物薄片仍可清晰地观察到其后的物体细节。石墨、磁铁矿等被称为不透明矿物,特点是当隔着1 cm厚的矿物薄片观察时,完全看不到其后面的物体。而介于这二者之间的被称为半透明矿物。

在实际应用时,一般只划分为透明矿物与不透明矿物两大类。对于厚度为0.03 mm的矿物薄片而言,基本上不能透光者为不透明矿物,如黄铁矿、磁铁矿等金属矿物。对于厚度为0.03 mm的矿物薄片能透光者则为透明矿物。非金属矿物,包括普通辉石、普通角闪石、黑云母等(尽管它们在手标本上看起来是黑色不透明的),基本上都是透明矿物。透明矿物的这一特点被用来制作矿物、岩石薄片,用于鉴定。

光泽是矿物表面对可见光的反射能力。通常根据反射能力自强而弱分为:

- ① 金属光泽 反射很强,类似镀铬的金属平滑表面的反光,如方铅矿、黄铁矿的光泽。
- ② 半金属光泽 反射强,如同一般金属的反光,如磁铁矿的光泽。
- ③ 金刚光泽 反射较强,如同金刚石的反光。
- ④ 玻璃光泽 反射较弱,如同玻璃表面的反光。
- ⑤ 油脂光泽与树脂光泽 油脂光泽见于浅色矿物,如同涂上油脂的反光,如石英断口处的光泽。树脂光泽见于较深色的矿物,如部分闪锌矿。
- ⑥ 丝绢光泽 如同丝绢的反光,为纤维状集合体矿物所具有,如石棉的光泽。
- ⑦ 珍珠光泽 如同珍珠的反光,柔和多彩,如云母的光泽。
- ⑧ 土状光泽 光泽暗淡,如同土块,如高岭土所具有的光泽。

2.1.2.3 硬度

硬度是矿物抵抗外力机械作用的强度。通常采用摩氏硬度,它是以选定的十种矿物为标准,最软的是一度,最硬的是十度。这十种矿物由软到硬依次为:1—滑石,2—石膏,3—方解石,4—萤石,5—磷灰石,6—正长石,7—石英,8—黄玉,9—刚玉,10—金刚石。

测定某矿物的硬度,只需将待定矿物同硬度计中的标准矿物相互刻画,进行比较。例如,某矿物可以刻画正长石,而又被石英划破,则该矿物的硬度介于六度与七度之间。通常以简便的工具来代替摩氏硬度计中的矿物。如指甲的硬度约为2~2.5,铜钥匙为3,小钢刀为5,窗玻璃为5.5,钢锉为6.5。

2.1.2.4 解理与断口

矿物受外力作用时,能沿一定方向破裂成平面的性质称为解理。解理通常平行于晶体结构中相邻质点间联结力弱的方向发生。通常根据晶体受力时是否易于沿解理面破裂,以及解理面的大小和平整光滑程度,将解理分成完全、中等和不完全等级别。例如:云母沿解理面可剥离成极薄的薄片,为极完全解理;食盐沿解理面破裂成立方体具有完全解理(图2.7)。

矿物受外力打击后无规则地沿着解理面以外方向破裂,其破裂面称作断口。根据断口的形态特征有贝壳状断口(图2.8)、参差状断口、锯齿状断口和平坦状断口。

2.1.2.5 密度

矿物密度变化幅度很大,例如琥珀的相对密度小于1,而铂族自然元素矿物相对密度可达约23。一般根

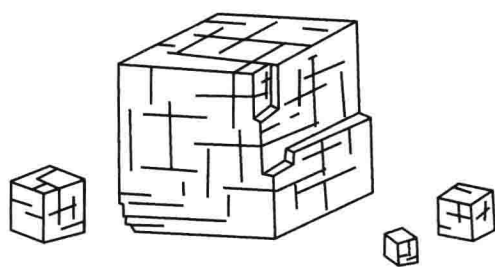


图 2.7 石盐的立方体完全解理
($\times 1/2$, 青海; 据罗谷风, 1974)

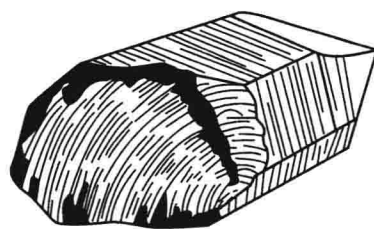


图 2.8 石英的贝壳状断口
(原大, 海南屯昌; 据罗谷风, 1972)

据经验用手掂量, 将矿物的密度分为轻、中等和重三级。重的, 如方铅矿 ($7.4 \sim 7.6 \text{ g/cm}^3$), 感到很重。大多数矿物密度中等, 介于 $2.5 \sim 4 \text{ g/cm}^3$ 之间。

2.1.2.6 弹性、挠曲、延展性

矿物受外力作用后发生弯曲变形, 外力解除后仍能恢复原状的性质称为弹性, 如云母的薄片具有弹性。矿物受外力作用发生弯曲变形, 当外力解除后不能恢复原状称为挠性, 如绿泥石、滑石具有挠性。矿物能锤击成薄片或拉长成细丝的特性称为延展性, 如自然金、自然银、自然铜。用小刀刻画时, 这些矿物表面留下光亮的刻痕而不产生粉末。此外, 如滑石的滑腻感, 方解石、白云石遇盐酸起泡等, 都可作为该矿物的鉴别特征。

2.1.3 常见矿物

自然界产出的矿物, 已知有 3000 种左右。对于形成岩石具有普遍意义的矿物, 即主要造岩矿物则不过数十种。主要造岩矿物(常见矿物), 就其化学成分而言, 绝大多数为硅酸盐, 其余为氧化物、硫化物、卤化物、碳酸盐和硫酸盐等。现选择主要的几种介绍如下:

黄铁矿 FeS_2

大多呈块状集合体, 有些发育成立方体单晶, 立方体的晶面上常有平行的细密纹。颜色为浅铜黄色, 条痕为绿黑色。硬度 $6 \sim 6.5$ 。性脆, 断口参差状。相对密度 5。易风化, 风化后生成硫酸及褐铁矿。

石英 SiO_2

常发育成单晶并形成晶簇, 或成致密状或粒状集合体。纯净的石英无色透明, 称水晶; 含有细小分散的气态或液态物质呈乳白色者, 称乳石英。石英晶面为玻璃光泽, 断口为油脂光泽。硬度 7。无解理, 贝壳状断口。相对密度 2.65。

赤铁矿 Fe_2O_3

常为致密块状及土状集合体。铁黑色或暗红色, 条痕呈樱红色。金属、半金属到土状光泽, 不透明。硬度 $5 \sim 6$ 。无解理。相对密度 $4.0 \sim 5.3$ 。

褐铁矿

实际上是多种成分的混合物, 主要成分是针铁矿 $[\text{FeO}(\text{OH})]$, 并含有泥质及二氧化硅等。褐至黄褐色, 条痕黄褐色。常呈土块状、葡萄状, 硬度不一。土状者硬度低, 易风化。

方解石 CaCO_3

常发育成单晶或晶簇。粒状、块状、纤维状或钟乳状集合体。纯净的方解石无色透明; 因杂质渗入而常呈白、灰、黄、浅红、绿、蓝等色。玻璃光泽。硬度 3。完全解理。相对密度 2.72。遇冷稀盐酸强烈起泡。可溶于水。

白云石 $\text{CaMgCO}_3(\text{OH})_2$

单晶为菱面体。通常为块状或粒状集合体。一般为白色, 因含 Fe 常呈褐色。玻璃光泽。硬度 $3.5 \sim 4$ 。解理完全。相对密度 $2.85 \sim 3.1$, 随含铁量增高而增大。粉末遇硫酸起泡, 可溶于水。

石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

单晶体常为板状, 集合体为块状、粒状及纤维状等。为无色或白色, 有时透明。玻璃光泽, 纤维状石膏为丝绸光泽。硬度 2。有极好解理, 易沿解理面劈开成薄片。薄片具挠性。相对密度 $2.30 \sim 2.37$ 。脱水后变为硬石膏 (CaSO_4), 硬石膏吸水后又可变为石膏, 同时体积膨胀, 可达 30%。

橄榄石 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$