



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

工程地质学

(第三版)

石振明 黄 雨 主编
孔宪立 主审

中国建筑工业出版社

地质 (50) 日新张容井团

王 训黄 即训石 李训黄训王

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

工程地质学

(第三版)

石振明 黄 雨 主编

陈建峰 王建秀 高彦斌 参编

孔宪立 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质学/石振明, 黄雨主编. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 9

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

ISBN 978-7-112-21110-4

I. ①工… II. ①石… ②黄… 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 203082 号

本书为住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材和“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书系统阐述了工程地质的基本原理、地质作用、土木工程及道路和港口工程中的工程地质问题及勘察评价等。全书共分 8 章, 主要内容包括: 工程地质和水文地质的基本知识、岩土工程特性、不良地质现象及其防治、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、评价和对策等, 并附有工程地质实验内容。

本书可作为高等学校土木工程、道路工程、港口工程专业工程地质课程教材, 也可供工程地质、水文地质专业技术人员及土建工程设计、施工、科研人员参考使用。

本书有配套的教学课件, 请需要的老师发送邮件至: jiangongkejian@163.com 免费索取。

责任编辑: 吉万旺 朱首明

责任校对: 王宇枢 党 蕾

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材 “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

工程地质学

(第三版)

石振明 黄 雨 主编

陈建峰 王建秀 高彦斌 参编

孔宪立 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 21 字数: 433 千字

2018 年 1 月第三版 2018 年 1 月第三十四次印刷

定价: 45.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-21110-4

(30759)

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)

出版说明

为规范我国土木工程专业教学，指导各学校土木工程专业人才培养，高等学校土木工程学科专业指导委员会组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。本系列教材自 2002 年起陆续出版，共 40 余册，十余年来多次修订，在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发，根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写，经过多年的建设和发展，逐步形成了自己的特色。本系列教材曾被教育部评为面向 21 世纪课程教材，其中大多数曾被评爲普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材，并有 11 种入选教育部普通高等教育精品教材。2012 年，本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011 年，高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及我国土木工程专业教学现状，编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上，高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材，特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。2016 年，本套教材整体被评为《住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》，请各位主编及有关单 位根据《住房城乡建设部关于印发高等教育 职业教育土建类学科专业“十三五”规划教材选题的通知》要求，高度重视土建类学科专业教材建设工作，做好规划教材的编写、出版和使用，为提高土建类高等教育教学质量和人才培养质量做出贡献。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

第三版前言

本教材第一版(2001年12月)、第二版(2011年2月)出版以来,已发行21万余册,得到各高校广大师生和科研工作者的认可,并被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材、住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材、面向21世纪课程教材等。在16年的使用过程中,广大科研工作者、高校教师等同行提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。在进入21世纪后的十余年中,我国各种技术标准都进行了修订,并颁发了一些新的标准、规范、规程,工程地质学的研究与应用也有许多进展,另外高校的教学改革也不断深入,为满足土木工程、水利工程等专业的需求,非常有必要对本教材进行第三版修订。

本次修订,依然保持原教材的结构、特点、内容,主要在以下三个方面进行了修订:一是对不符合现有规范、标准的内容进行修改、订正,重点对第4章土的工程性质、第5章地下水、第6章不良地质现象、第7章原位测试、第8章工程勘察等章节进行了修订;二是对思考题、读图题的数量、内容进行了修订,以更有利于学生预习、复习;三是对原版本中的错漏之处予以订正。在修订本教材的过程中,得到了中国建筑工业出版社的大力支持,在此表示诚挚的谢意。

本次修订,由同济大学石振明和黄雨负责主编完成,另外同济大学的陈建峰、王建秀、高彦斌等也参与了修编工作,老编写组的孔宪立教授、胡德富教授、胡展飞教授等也对本次修订提出了非常好的建议,在此也表示诚挚的感谢。

本书由同济大学石振明和黄雨主编,由同济大学孔宪立教授主审。编著人员分工如下:第1章——石振明,第2、3章——石振明、黄雨,第4章——高彦斌,第5章——王建秀,第6章——黄雨、第7章——石振明,第8章——陈建峰,附录——石振明。

限于作者的水平与经验有限,本教材难免还存在疏漏和错误之处,敬请广大读者批评指正。

第二版前言

本教材第一版自2001年12月出版以来，已发行10万余册，得到各高校广大师生的认可，并被教育部评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在使用过程中，有许多同行提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。在进入21世纪后的十年中，我国各种技术标准都进行了修订，并颁发了一些新的标准、规范、规程，工程地质学的研究与应用也有许多进展，因此非常有必要对本教材进行修订。

本次修订，依然保持原教材的结构、特点、内容，主要在以下三个方面进行了修订：一是对不符合现有规范、标准的内容进行修改、订正；二是对每章课后思考题的数量、内容进行了修订，以更有利于学生预习、复习；三是对原版本中的错漏之处给予了订正。在修订本教材的过程中，得到了中国建筑工业出版社的大力支持，在此也表示诚挚的谢意。

本书本次修订，由同济大学石振明和孔宪立负责完成，除原编写组成员外，同济大学的陈建峰、叶为民、黄雨等也做了许多工作，在此表示感谢。

本书由同济大学石振明和孔宪立主编，由中国地质大学张咸恭教授主审。编著人员分工如下：第1章、第6章—孔宪立，第2、3章—胡德富、石振明，第4章—杨桂林，第5章—胡展飞，第7章—石振明、胡展飞，第8章—石振明，附录—张雷，石振明。

限于作者的水平与经验有限，本教材难免还存在疏漏和错误之处，敬请广大读者批评指正。

第一版前言

本书主要用作高等学校土木工程专业的工程地质课程教材，也可适用于港口与海岸工程以及桥隧、道路等专业的教材。由于土木工程的工程地质涉及范围相当广泛，包括建（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，加之我国国土辽阔，地质条件复杂，岩土的性质各异，使得工程地质这门工程技术基础课显得更为实用。在土木工程的工程地质勘察行业中也有称其为岩土工程勘察，强调了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，并着重考虑了基础工程、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。

本书是根据1999年全国土木工程专业教学指导委员会修订教材要求，并在原《工程地质学》（1997年版）的基础上修订而成的。书中由原单一的建筑工程专业拓展为土木工程专业，并兼顾了港口海岸工程以及桥隧、道路交通等专业教学所需。全书加强了地质基础、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能力。在编写过程中得到许多教师和勘察设计部门的关心与支持，提出许多宝贵意见，在此表示谢意。

本书由同济大学孔宪立和石振明主编，由中国地质大学张咸恭教授主审。编著人员分工如下：第1章、第6章——孔宪立，第2、3章——胡德富，第4章——杨桂林，第5章——胡展飞，第7章——胡展飞、石振明，第8章——石振明，附录——张雷、石振明。本书有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

主要符号

- A ——土的活动性指数；触探头锥底截面面积
 A_r ——取土器的面积比
 $a_{0.1\sim 0.2}$ ——土的压缩系数（在 0.1 ~ 0.2MPa 压力下）
 B ——基础宽度；载荷板边长或直径
 BQ ——岩体基本质量指标
 C_c ——土的压缩指数；土的曲率系数
 C_h ——水平固结系数
 CPT ——静力触探试验
 C_u ——土的不均匀系数；土的十字板剪切强度；土的不排水抗剪强度
 c ——岩土的内聚力（黏聚力）
 C_v ——变异系数
 D ——基础埋置深度
 DPT ——动力触探试验
 d_{10} ——土的有效粒径
 d_{30} ——土的中间粒径
 d_{50} ——土的平均粒径
 d_{60} ——土的限定粒径
 E ——地震能量；岩土的静弹性模量
 E_0 ——土的变形模量
 E_D ——扁铲侧胀的扁胀模量
 E_m ——旁压模量
 E_s ——土的压缩模量
 e ——土的孔隙比
 f ——岩石的坚固性系数；地基承载力设计值
 f_0 ——地基承载力基本值
 f_k ——地基承载力标准值
 f_s ——静力触探侧壁摩阻力
 d_s ——土的颗粒相对密度
 h_c ——毛细管上升最大高度
 I ——水力坡度
 I_{cr} ——临界水力坡度
 I_D ——扁胀指数
 I_L ——土的液性指数
 I_P ——土的塑性指数
 J_v ——岩体体积裂隙数
 K ——岩石松散（胀余）系数；地震系数；安全系数；岩土渗透系数；十字板常数
 K_D ——扁铲水平应力指数
 K_v ——岩体的完整性系数
 K_z ——地基抗压刚度
 M ——弯矩；地震震级
 m_z ——地基土台与振动的当量质量
 N ——标准贯入试验锤击数
 N_r 、 N_g 、 N_c ——承载力系数
 N_{10} ——轻型动力触探锤击数
 N_p ——无因次极限抗力系数
 OCR ——土的超固结比
 P ——总压力；总荷载；洞室山体压力
 PLT ——静力载荷试验
 p_0 ——载荷试验比例界限压力
 p_e ——土的膨胀力
 p_t ——旁压试验临塑压力
 p_l ——旁压试验极限压力
 p_s ——静力触探比贯入阻力
 p_{sh} ——土的湿陷起始压力
 p_u ——载荷试验极限压力
 q_c ——静力触探锥尖阻力
 q_d ——动力触探贯入阻力

q_u ——土的无侧限抗压强度	ω_p ——土的塑限
R ——地基承载力容许值；岩石单轴极限抗压强度；影响半径	ω_{oy} ——土的最优含水量
R_c ——岩石饱和单轴极限抗压强度	γ ——岩土的天然重度
R_f ——土的静力触探摩阻比	γ' ——土的浮重度
RQD——岩体质量指标	γ_d ——土的干重度
S ——岩土的抗剪强度	γ_w ——水的重度
S_r ——土的饱和度	Δ_s ——黄土的总湿陷量
S_t ——土的灵敏度	Δ_{zs} ——黄土的计算自重湿陷量
SPT——标准贯入试验	δ ——变异系数
s ——载荷试验沉降量	δ_{ef} ——土的自由膨胀率
s_c ——地基分级变形量	δ_{ep} ——土的膨胀率（在一定压力下）
s_e ——地基膨胀变形量	δ_s ——土的湿陷系数；土的线收缩率
s_{es} ——地基胀缩变形总量	δ_{zs} ——土的自重湿陷系数
s_s ——地基收缩变形量	λ_c ——土的压实系数
U_D ——扁胀孔压指数	λ_s ——土的收缩系数
VST——十字板剪切试验	μ ——土的泊松比
V_s 、 V_p 、 V_R ——剪切波波速、压缩波波速、瑞利波波速	ρ ——土的密度
v ——地下水渗流速度	ρ_c ——土的黏土颗粒含量
W_u ——土的有机质含量	σ ——法向应力（正应力）；均方差
w ——土的含水量	τ ——剪应力；抗剪强度
w_l ——土的液限	φ ——岩土的内摩擦角
	ψ ——滑坡传递系数
	ψ_w ——土的湿度系数

目 录

第 1 章 绪论	(1)
第 2 章 岩石的成因类型及其工程地质特征	(4)
§ 2.1 主要造岩矿物	(5)
§ 2.2 岩石	(9)
§ 2.3 地质年代及其特征.....	(26)
思考题	(31)
第 3 章 地质构造及其对工程的影响	(32)
§ 3.1 水平构造和单斜构造.....	(32)
§ 3.2 褶皱构造.....	(33)
§ 3.3 断裂构造.....	(38)
§ 3.4 不整合.....	(46)
§ 3.5 岩石与岩体的工程地质性质.....	(47)
思考题	(59)
第 4 章 土的工程性质与分类	(60)
§ 4.1 土的组成与结构、构造.....	(60)
§ 4.2 土的物理力学性质及指标.....	(76)
§ 4.3 土的工程分类.....	(91)
§ 4.4 土的成因类型及特征.....	(94)
§ 4.5 特殊土的主要工程性质.....	(98)
思考题.....	(111)
第 5 章 地下水	(113)
§ 5.1 地下水及含水层	(113)
§ 5.2 岩土的水理性质	(115)
§ 5.3 渗流与达西定律	(116)
§ 5.4 地下水类型与动态特征	(118)
§ 5.5 地下水的补给、径流与排泄	(126)
§ 5.6 地下水的性质	(127)
§ 5.7 地下水对建筑工程的影响	(131)
§ 5.8 地下水的勘探、测试与试验	(138)
思考题.....	(152)
第 6 章 不良地质现象的工程地质问题	(153)

§ 6.1	不良工程地质现象的分类与评估	(153)
§ 6.2	风化作用	(154)
§ 6.3	河流地质作用	(158)
§ 6.4	滑坡与崩塌	(167)
§ 6.5	崩塌与泥石流灾害	(181)
§ 6.6	地震及其效应	(188)
§ 6.7	地面沉降、地裂缝与塌陷灾害	(202)
	思考题	(214)
第7章	工程地质原位测试	(216)
§ 7.1	静力载荷试验 (PLT)	(216)
§ 7.2	静力触探试验 (CPT)	(223)
§ 7.3	圆锥动力触探 (DPT)	(232)
§ 7.4	标准贯入试验 (SPT)	(236)
§ 7.5	十字板剪切试验 (VST)	(241)
§ 7.6	扁铲侧胀试验	(246)
§ 7.7	旁压试验	(254)
§ 7.8	波速测试	(257)
§ 7.9	现场大型直剪试验	(261)
§ 7.10	块体基础振动试验	(264)
§ 7.11	岩体变形试验	(268)
§ 7.12	岩体强度试验	(272)
§ 7.13	岩体应力测试	(276)
	思考题	(281)
第8章	工程地质勘察	(282)
§ 8.1	建筑工程地质勘察	(282)
§ 8.2	公路工程地质勘察	(296)
§ 8.3	港口工程地质勘察	(304)
	思考题	(308)
附录	工程地质学实验内容与要求	(309)
实验一	主要造岩矿物的认识和鉴定	(309)
实验二	常见岩浆岩的认识和鉴定	(311)
实验三	常见沉积岩的认识和鉴定	(313)
实验四	常见变质岩的认识和鉴定	(315)
实验五	地质图的阅读与分析	(316)
	主要参考文献	(321)

第1章 绪 论

地球是太阳系族中的一个成员，它围绕太阳和自身发生旋转运动。地球体的表层称为地壳，它是人类赖以生活和活动的场所，在太阳的光热、大气、水、生物以及地球内部岩浆活动的作用下，地壳成为各种地质作用进行的场所，人类目前所能开采的矿产资源都埋藏于地壳上部的岩石圈内。一切工程建（构）筑物都建筑在地壳上，地壳也是建筑材料和矿产资源的主要来源地。故地壳是地球科学研究的主要对象，它构成人类生存和工程建筑的环境和物质基础。

工程地质学是介于地学与工程学之间的一门边缘交叉学科，它研究土木工程中的地质问题，也就是研究在工程建筑设计、施工和运营的实施过程中合理地处理和正确使用自然地质条件和改造不良地质条件等地质问题。可见，工程地质学是为了解决地质条件与人类工程活动之间矛盾的一门实用性很强的学科。

在工程地质学中由于地质因素对工程建筑的利用和改造有影响，因而把这些地质因素综合称为工程地质条件，以明确地质条件与工程有关。建筑场地及其邻近地区的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、自然地质作用与现象等都是工程地质条件所包含的因素。对土建工程来说，房屋和厂房的破坏往往是发生不均匀沉降和不良地质现象如滑坡、地震等影响所引起的。因此，研究组成建筑物地基的地层、岩土性质（包括其物理、力学性质等）是最基本的，而且还要研究建筑物场地的自然地质条件和不良地质现象的影响。工程地质条件因地制宜，千变万化。平原地区与山区的工程地质条件就差异很大。例如，在平原地区，一般土层较厚，且简单和均匀。如图 1-1，建筑物的基础下为厚层平卧的黏性土层。在此地质条件下，建筑物的重量作用于地基黏土层而引起基础沉降，由于黏土层厚度较大，且地层平坦，黏土层物理力学性质均匀。若建筑物荷重均匀，则建筑物的沉降是由于土层的压密而引起的，沉降量 s 则由 $O-O$ 沉至 $O'-O'$ 水平面，建筑物发生均匀沉降。若建筑物荷重不超过地基土层的承载能力，建筑物虽然发生较大的沉降量，地基仍是稳定的，不会导致建筑物的灾难性破坏。但是若建筑物的荷重大大地超出土层的承载能力，则地基将会破坏，土体从基础下挤出，建筑物的安全就受到威胁。因而，对于工程地质的任务来说，须查明土层的分布、厚度、均匀性和其物理力学性质以及地下水等的工程地质条件，并评估地基承载能力和建筑物沉降量以及土体被

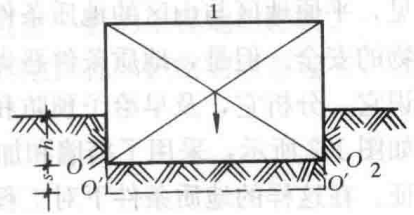


图 1-1 简单地质条件的地基
 h —基坑深度； s —建筑物沉降量；
1—建筑物；2—黏土层

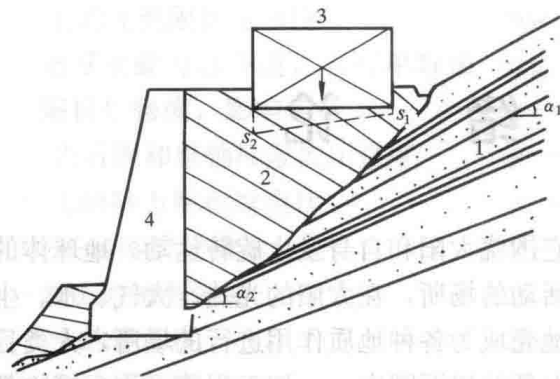


图 1-2 斜坡上建筑的稳定分析图

1—砂页岩；2—坡残积黏土；3—建筑物；4—挡土墙

挤出的可能性。这是地质条件最简单的场址勘察需求。对于山区的建筑场址，地质条件就比较复杂。例如，有一建筑物建于山坡之坡脚处（图 1-2），建筑物的地基为残坡积黏土层盖于砂页岩互层岩体之上，而其间的相接触之面是倾斜的，倾斜面倾角 $\alpha_2 = 40^\circ$ ，砂页岩互层的地层倾角 $\alpha_1 = 30^\circ$ ，在该场址的地质条件下，将会出现如下三个问题：① 建筑物基础的不均匀沉降问题，因为基础下黏土层的厚度靠山坡一侧薄，而另一侧厚。当建筑物荷载作用于黏土层地基内，将会产生靠山坡一侧基础沉降 s_1 将比另一侧的沉降 s_2 要小，建筑物可能产生不均匀沉降。导致建筑物倾斜或开裂；② 黏土层在基岩面上的稳定问题，基岩面是倾斜的，向坡外倾斜角 40° ，若排水不当，雨水湿润基岩面的黏土层后，黏土层的强度降低，导致黏土层沿基岩面位移。那么，建筑物将发生破坏；③ 砂页岩层向坡外倾角为 30° ，它的角度小于基岩面的倾角。这可能导致砂页岩层雨后向基岩面方向滑移，而造成基岩滑坡。这也造成建筑物破坏的条件。从上两例中可见，平原地区与山区的地质条件不同，会产生各种的地质灾害，它将会危及建筑物的安全。但是，地质条件恶劣并不可怕，只要我们能将它勘察清楚，正确地认识它，分析它，及早给予预防和治理，则我们仍能保证建筑物的安全和使用。例如图 1-2 所示，采用了挡墙和加强排水等措施，就是为了建筑物安全与使用的保证。在这样的地质条件下对工程地质研究任务来说，除了研究上述平原地区所必需的地质条件和评估地基的承载能力和变形外，尚需勘察清楚建筑物场址四周的地质环境，例如是否会造成影响建筑物稳定的滑坡、崩塌、岩土体的深部滑移、断层、溶洞等的有害地质现象。要对这些有害地质现象进行研究分析，提出评价和治理的意见，以确保建筑物在地质上的稳定。

组成建筑物地基的岩土层以及建筑物周围的地质环境绝大部分是自然的产物，也有少部分是人类活动所造成的，例如地基可能有杂填土，或地质环境恶化可能由于人为开挖或水的排灌不合理而造成斜坡发生滑坡等地质现象。但是，一旦建筑场地确定，建筑设计者只能按照这场地的地质条件和地质环境进行设计，就没有充分的选择余地了。为此，在建筑场址选择上，必须事先将该地的工程地质条件勘察清楚，进行研究分析，才能确定场址位置。选取较优的地质条件是最好的方案。当场址确定后，设计者必须按当地的地质条件和地质环境来设计了。这时如发现地质问题就只能进行整治处理。可见，工程地质工作是很重要的，是

设计之先驱,没有足够考虑工程地质条件而进行设计,这是盲目的设计,会导致建设费用增高、工程量增大、施工期限拖长,而在个别的情况下,建筑物将发生变形或破坏,甚至废弃使用。

在我国的技术分工中,工程地质勘察不是由土木工程设计人员进行,而是由工程地质技术人员进行的。但是土木工程人员应当对于工程地质勘察的任务、内容和方法有足够的知识基础。只有具备了工程地质方面的基础知识才能够正确地提出勘察任务和要求,才能正确地利用工程地质勘察的成果,才能较完整地考虑建筑中的地质条件和地质环境的因素,保证设计和施工人员合理地进行设计和施工。

工程地质学的内容是相当广泛的。本书的编写只着重在土木工程方面所涉及的最基本的工程地质问题理论和知识。其内容有:岩石和地质构造、土的工程特征、地下水、不良地质现象的工程地质问题、工程地质原位测试、工程地质勘察以及工程地质实验等。

对土木工程专业的同学在学习本课程时的要求如下:

(1) 系统地掌握工程地质的基本理论和知识,能正确运用勘察数据和资料进行设计与施工。

(2) 能根据工程地质的勘察成果,能运用已学过的工程地质理论和知识,进行一般的工程地质问题分析及对不良地质现象采取处理措施。

(3) 了解工程地质勘察的基本内容、方法和过程,各个工程地质数据的来源、作用以及应用条件,对一些中小型工程能够进行一般的工程地质勘察。

(4) 把学到的工程地质学知识与专业知识和其他课程知识密切联系起来,去解决工程实际中的工程地质问题。

第2章 岩石的成因类型及其工程地质特征

地球是宇宙间沿着近似圆形的轨道绕太阳公转的一个行星。根据现有资料知道：地球的赤道半径（ a ）为 6378.16km，两极半径（ b ）为 6356.8km。地球的

$$\text{扁平率} \left(\frac{a-b}{a} \right) = \frac{1}{298}。$$

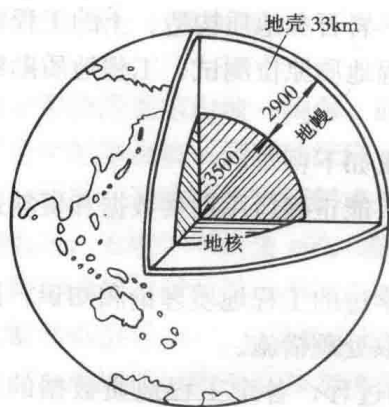


图 2-1 地球内部构造

地球的内部构造根据资料分析，从周边到中心是由化学成分、密度、压力、温度等不同的圈层所组成，具有同心圆状的圈层构造。依各圈层的特点可分为：地壳、地幔、地核（图 2-1）。

地壳：地球的固体外壳叫做地壳。由各种化学成分组成，厚薄不匀，造成地球表面的高低不平，大陆上厚的 70 多公里，海洋里薄的仅 10 多公里，平均厚度在 33km 左右。组成地球的化学成分有 100 多种，其中含量最多的是如表 2-1 所列几种：

以上几种元素占地壳重量的 98% 以上。硅铝主要分布在地壳上部，即为硅铝层，其厚度不一，大陆上厚，海洋底薄，太平洋底大部缺失。硅镁成分主要分布在地壳下部，即为硅镁层，其中铁的成分有所增加，铝的成分有所减少。

地幔：处于地壳和地核中间，也称中间层或过渡层，根据化学成分的不同分两层：地幔上层——化学成分主要是硅氧，其中铁、镁、钙显著增加，硅铝的成分有所减少，也称橄榄层。地幔下层——主要是金属氧化物和硫化物组成。

地核：主要化学成分是铁、镍，所以又称铁镍核心。

地壳主要化学成分表

表 2-1

元 素	成分 (%)	元 素	成分 (%)	元 素	成分 (%)
O	49.13	Fe	4.20	Mg	2.35
Si	26.00	Ca	3.25	K	2.25
Al	7.45	Na	2.40	H	1.00

§ 2.1 主要造岩矿物

组成地壳的岩石，都是在一定的地质条件下，由一种或几种矿物自然组合而成的矿物集合体。矿物的成分、性质及其在各种因素影响下的变化，都会对岩石的强度和稳定性产生影响。

自然界有各种各样的岩石，按成因，可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。由于岩石是由矿物组成的，所以要认识岩石，分析岩石在各种自然条件下的变化，进而对岩石的工程地质性质进行评价，就必须先从矿物讲起。

2.1.1 矿物的基本概念

地壳中的化学元素，除极少数呈单质存在者外，绝大多数的元素都以化合物的形态存在于地壳中。这些存在于地壳中的具有一定化学成分和物理性质的自然元素或化合物，称为矿物。其中构成岩石的矿物，称为造岩矿物。如常见的石英(SiO_2)、正长石(KAlSi_3O_8)、方解石(CaCO_3)等。

造岩矿物绝大部分是结晶质。结晶质的基本特点是组成矿物的元素质点(离子、原子或分子)，在矿物内部按一定的规律排列，形成稳定的结晶格子构造(图 2-2)，在生长过程中如条件适宜，能生成具有一定几何外形的晶体(图 2-3)。如食盐的正立方晶体，石英的六方双锥晶体等。矿物的外形特征和许多物理性质，都是矿物的化学成分和内部构造的反映。

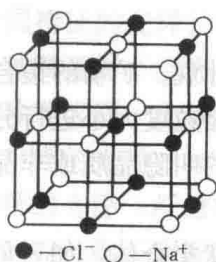


图 2-2 食盐晶格构造

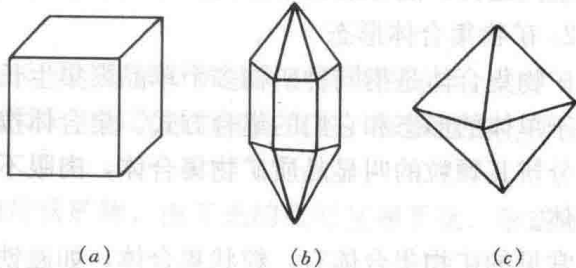


图 2-3 矿物晶体

(a) 食盐晶体；(b) 石英晶体；

(c) 金刚石晶体

自然界的矿物，它一方面不断地在各种地质过程中形成，同时又经受着各种地质作用而在不断地发生变化，只是在一定的物理和化学条件下才是相对稳定的。当外界条件改变到一定程度后，矿物原来的成分、内部构造和性质就会发生变化，形成新的次生矿物。

2.1.2 矿物的形态特征

矿物的形态是指矿物的外形特征，一般包括矿物单体形态和矿物集合体形态。矿物形态受其化学成分、内部结构和生长环境影响。图 2-4 为矿物的几种外形。

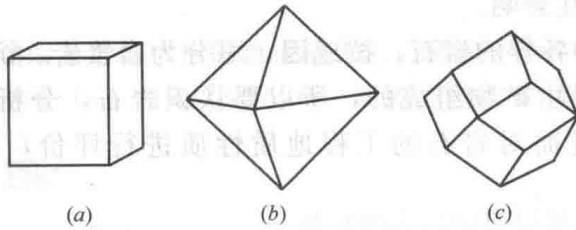


图 2-4 矿物的几种外形

(a) 立方体；(b) 八面体；(c) 菱形十二面体

1. 矿物单体形态

矿物单体形态是指矿物单晶体的形态。当矿物呈单体出现时，由于晶体的习性使它具有一定的外形，有的形态十分规则。例如，岩盐是立方体，磁铁矿是八面体，石榴子石是菱形十二面体，云母是六方板状或柱状，水晶呈八方锥柱状。

矿物的形态虽然多种多样，但归纳起来可分为三种类型：

一向延伸：晶体沿一个方向特别发育，呈柱状、针状或纤维状晶体，如石英、纤维石膏等。

二向延伸：晶体沿两个方向特别发育，呈片状、板状，如云母、石膏等。

三向延伸：晶体沿三个方向发育大致相同，呈粒状，如黄铁矿、磁铁矿等。

2. 矿物集合体形态

矿物集合体是指同种矿物多个单晶聚集生长的整体外观。矿物的集合体形态取决于单体的形态和它们的集合方式。集合体按矿物结晶粒度大小进行分类，肉眼可分辨其颗粒的叫显晶质矿物集合体，肉眼不能分辨的叫隐晶质或非晶质矿物集合体。

常见的矿物集合体有：粒状集合体，如磁铁矿；鳞状集合体，如云母；鲕状或肾状集合体，如赤铁矿；放射状集合体，如红柱石（又称“菊花石”）；簇状集合体，如石英晶簇。

2.1.3 矿物的物理性质

矿物的物理性质，决定于矿物的化学成分和内部构造。由于不同矿物的化学成分或内部构造不同，因而反映出不同的物理性质。所以，矿物的物理性质，是鉴别矿物的重要依据。

矿物的物理性质是多种多样的。为便于用肉眼鉴别常见的造岩矿物，这里主