



浙江省高等教育重点建设教材

Soil Mechanics and Engineering Geology

土力学与工程地质

◎ 夏建中 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

Soil Mechanics and Engineering Geology

土力学与工程地质

主 编	夏建中		
参 编	罗战友	陆 江	曹宇春
	陈洪波	吴李泉	夏建中
主 审	谢康和		



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学与工程地质 / 夏建中主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2012. 11
ISBN 978-7-308-09974-5

I. ①土… II. ①夏… III. ①土力学—教材②工程地质—教材 IV. ①TU43②P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 097626 号

内容简介

本套教材把土力学和工程地质学置于一门课程内,内容既重视学科基础理论知识的阐述,又注重结合工程实例,力求把知识的传授与能力的培养结合起来。为简明实用,在编排上去除了一些繁杂的理论推导过程。本书共分两部分,第一部分为工程地质,共分为五章,分别为概述、矿物与岩石、地质构造、地下水、不良地质现象的工程问题,第二部分为土力学,包括土的物理性质和工程分类、土的渗透性和渗流问题、土中应力计算、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力理论、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力特性,各章后附有相应的思考题和习题。建议授课总学时 64 学时,其中工程地质占 9 学时,土力学试验占 9 学时,习题和课堂讨论 6 学时,理论授课 40 学时。

本书内容简明扼要、便于自学土力学部分,既可作为土木工程专业以及相近专业的土力学及工程地质课程教材,也可供土木工程研究人员和相关工程技术人员参考。

土力学与工程地质

主 编 夏建中
参 编 罗战友 陆 江 曹宇春
陈洪波 吴李泉 夏建中
主 审 谢康和

责任编辑 杜希武
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室
印 刷 浙江云广印业有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17.25
字 数 419 千
版 次 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-09974-5
定 价 35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换
浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

前言

本教材为浙江省本科院校重点建设教材之一,编写定位为普通高校土木工程专业和相关专业的课堂教学用书及相关工程技术人员参考用书。

本教材是综合了全国高校土木工程专业教学指导委员会指定的《土力学》和《工程地质学》教学大纲编写而成,对工程地质部分则做了较大的浓缩和精简,建议总课时不少于60学时。根据大纲要求,本书共分十章,包括土的物理性质和工程分类、土的渗透性和渗流、土中应力计算、土的压缩性和地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力理论、土坡稳定分析、地基承载力、土的动力特性、工程地质,其中工程地质部分主要内容有岩石、矿物、地质构造、地貌、地下水、不良地质现象、不同类型工程地质问题等。各章后附有相应的思考题和习题。

土力学是高等院校土木工程专业四年制本科教育一门重要的专业基础必修课,工程地质学在多数本科院校土木类专业中也都作为一门重要的专业基础课单独立课。但由于课堂教学课时的有限,本教材尝试把土力学和工程地质置于同一课程内,两部分有机地衔接,以压缩总授课时数。现行的土木一级学科涵盖了原建筑工程、道桥、市政、铁路、地下建筑、港口、矿井、隧道等多个方向,本教材本着兼容“大土木”不同的专业方向,体现土木工程专业的大融合,便于学生拓宽知识面。书中的工程地质学部分虽然做了较大的精简,但注重了在大土木工程专业中的应用,为土木工程专业本科学生提供了必需的工程地质学的基础知识。教材内容丰富,概念清晰,突出重难点,注意教学的一般规律,循序渐进;既重视学科基础理论知识的阐述,又注重结合工程实例,对比较庞杂、冗余的部分尽量削枝强干,适当淡化了繁杂的理论推导,对实验原理方法也只作概要性介绍,同时在内容上与新规范相结合,力求把知识的传授与能力的培养结合起来,有利于提高学生适应工程实践的能力和扩展土木工程专业学生的知识面。

本书由浙江科技学院夏建中教授主编,浙江大学博士生导师谢康和教授主审。参加编写人员皆为浙江科技学院岩土工程研究所教师,具体分工如下:土力学部分第1章、第9章由陆江编写,第2章、第5章由夏建中编写,第3章、第7章由陈洪波编写,第4章由曹宇春编写,第6章、第8章由罗战友编写,工程地质部分由吴李泉编写。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。最后编者向资助本教材出版的浙江省教育厅、浙江大学出版社、书中引用文献的原作者以及本书主审谢康和教授表示深深的致谢!

目 录

第一部分 工程地质

第 1 章 概 述	3
1.1 地质学	3
1.2 工程地质学	3
1.3 工程地质学研究内容	4
1.4 工程地质学研究方法	5
1.5 工程地质学基本任务	5
第 2 章 矿物与岩石	6
2.1 矿物	6
2.1.1 矿物的种类	6
2.1.2 矿物的主要物理性质	7
2.1.3 矿物的鉴定方法	8
2.2 岩石	9
2.2.1 岩浆岩	9
2.2.2 沉积岩	11
2.2.3 变质岩	12
第 3 章 地质构造	14
3.1 地质年代	14
3.1.1 地质年代的确定方法	14
3.1.2 地质年代单位和地层单位	15
3.1.3 地质年代表	15
3.2 岩层产状	16
3.3 褶皱构造	16
3.3.1 褶皱要素	17
3.3.2 褶皱的野外识别	17
3.3.3 褶皱的工程地质评价	17
3.4 断裂构造	17
3.4.1 节理	18
3.4.2 断层	18
3.5 地质图	20

3.5.1 地质图的类型	20
3.5.2 地质图的规格	20
3.5.3 阅读地质图	20
第4章 地下水	21
4.1 基本特征	21
4.2 地下水的性质	21
4.2.1 地下水的物理性质	21
4.2.2 地下水的化学成分	22
4.3 地下水类型	22
4.3.1 包气带水	22
4.3.2 潜水	23
4.3.3 承压水	23
4.3.4 裂隙水	23
4.3.5 岩溶水	23
4.3.6 泉水	23
4.4 地下水对建筑工程的影响	23
4.4.1 地下水位下降引起软土地基沉降	24
4.4.2 动水压力产主流砂和潜蚀	24
4.4.3 地下水的浮托作用	24
4.4.4 地下水对钢筋混凝土的腐蚀	24
第5章 不良地质现象的工程问题	25
5.1 风化作用	25
5.1.1 物理风化作用	25
5.1.2 化学风化作用	25
5.1.3 生物风化作用	26
5.1.4 岩石风化程度和风化带	26
5.2 河流地质作用	27
5.2.1 流水的侵蚀作用	27
5.2.2 河谷的类型及河流阶地	27
5.3 滑坡与崩塌	29
5.3.1 滑坡的定义及构造	29
5.3.2 滑坡的分类	31
5.3.3 滑坡的发育过程	31
5.3.4 滑坡的影响因素	32
5.3.5 崩塌	33
5.4 岩溶与土洞	34
5.4.1 岩溶	34
5.4.2 土洞与潜蚀	35

5.4.3 岩溶与上洞的工程地质问题·····	36
思考题·····	36

第二部分 土力学

第1章 土的物理性质及工程分类·····	39
1.1 绪论·····	39
1.1.1 与土相关的工程问题·····	39
1.1.2 土的生成·····	39
1.2 土的三相组成·····	40
1.2.1 固体颗粒·····	41
1.2.2 土中水·····	48
1.2.3 土中气体·····	50
1.3 土的物理状态·····	50
1.3.1 土的物理性质指标·····	50
1.3.2 土的物理状态指标·····	57
1.4 土的结构与构造·····	62
1.4.1 土的结构·····	62
1.4.2 土的构造·····	63
1.5 土的工程分类·····	64
1.5.1 土的分类原则和方法·····	64
1.5.2 《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)的土分类系统·····	65
1.5.3 《公路土工试验规程》(JTG E40-2007)的分类系统·····	67
1.6 土的压实性·····	71
1.6.1 土的击实原理·····	72
1.6.2 击实试验及其影响因素·····	72
思考题·····	76
习 题·····	76
第2章 土的渗透性和渗流问题·····	78
2.1 概 述·····	78
2.2 土的渗透定律——达西定律·····	79
2.2.1 渗流试验与达西定律·····	79
2.2.2 达西定律的适用范围·····	80
2.3 渗透系数的确定·····	81
2.3.1 实验室内测定渗透系数·····	81
2.3.2 现场测定法·····	82
2.3.3 经验估算法·····	83
2.4 渗透系数影响因素·····	84
2.5 成层土的渗透系数·····	85

2.5.1 水平渗流情况	86
2.5.2 垂直渗流情况	86
2.6 二维渗流与流网	87
2.6.1 渗流连续方程	87
2.6.2 流网及其特征	87
2.6.3 流网的应用	88
2.7 渗流力及渗透变形	90
2.7.1 渗流力	90
2.7.2 渗透变形	90
思考题	93
习 题	94
第3章 土中应力计算	96
3.1 概 述	96
3.2 土中的应力状态	96
3.2.1 应力应变关系假定	96
3.2.2 地基土中几种应力状态	97
3.3 自重应力的计算	98
3.3.1 均质土层中的自重应力	98
3.3.2 有地下水时的自重应力	99
3.3.3 成层土的自重应力	99
3.3.4 土坝和路基的自重应力	99
3.4 基底压力的分布与简化计算	100
3.4.1 基底压力的分布规律	100
3.4.2 基底压力的简化计算	101
3.4.3 基底附加压力	103
3.5 附加应力的计算	104
3.5.1 集中荷载作用下的土中附加应力计算	104
3.5.2 矩形面积上各种分布荷载作用下的附加应力计算	106
思考题	116
习 题	116
第4章 土的压缩性及沉降计算	118
4.1 概 述	118
4.2 土的压缩性指标	119
4.2.1 侧限压缩试验和压缩曲线	119
4.2.2 土的压缩系数和压缩指数	121
4.2.3 土的压缩模量和体积压缩系数	123
4.2.4 回弹曲线和再压缩曲线	124
4.2.5 载荷试验及变形模量	125

4.2.6 压缩模量与变形模量的关系	127
4.3 沉降计算	129
4.3.1 分层总和法计算地基最终沉降量	130
4.3.2 规范法计算地基最终沉降量	136
4.3.3 对沉降计算方法的讨论	143
4.4 应力历史对土变形的影响	143
4.4.1 前期固结压力与土层天然固结状态判断	143
4.4.2 考虑前期固结压力的地基沉降量计算	144
4.5 沉降与时间的关系	148
4.5.1 孔隙水与土骨架的压力分担作用	148
4.5.2 有效应力原理	149
4.5.3 饱和土的一维固结理论	151
4.5.4 固结度的概念和计算	155
4.5.5 沉降与时间关系的计算	160
4.5.6 地基的允许变形与减小沉降危害的措施	163
思考题	166
习 题	166
第5章 土的抗剪强度	169
5.1 概 述	169
5.2 土的强度理论	169
5.2.1 土中一点的应力状态	169
5.2.2 莫尔-库伦破坏理论	170
5.2.3 土的极限平衡条件	172
5.3 抗剪强度试验方法	175
5.3.1 三轴试验	175
5.3.2 直剪试验	178
5.3.3 无侧限抗压强度试验	179
5.3.4 十字板剪切试验	179
5.3.5 总应力法及有效应力法	180
5.4 土的强度特性	181
5.4.1 土的峰值强度及残余强度	181
5.4.2 砂土的强度特性	183
5.4.3 黏性土的强度特性	184
5.4.4 土的抗剪强度指标与主要影响因素	186
5.5 孔隙压力系数	188
5.5.1 等向应力 $\Delta\sigma_3$ 作用下的孔隙压力 Δu_3 和孔隙压力系数 B	188
5.5.2 偏应力作用下的孔隙压力 Δu_1 和孔隙压力系数 A	189
5.5.3 不同试验条件下孔隙压力增量 Δu	190
思考题	191

习 题	191
第 6 章 土压力	193
6.1 概 述	193
6.2 挡土墙侧的土压力	194
6.2.1 土压力种类	194
6.2.2 土压力与挡土墙位移关系	194
6.2.3 土压力的影响因素	195
6.3 静止土压力计算	195
6.3.1 产生条件	195
6.3.2 静止土压力计算公式	195
6.4 朗肯土压力理论	197
6.4.1 基本原理	197
6.4.2 极限平衡状态时挡土墙后大小主应力的关系式	198
6.4.3 朗肯主动土压力	199
6.4.4 朗肯被动土压力计算	200
6.4.5 常见情况的土压力计算	203
6.5 库伦土压力理论	207
6.5.1 基本原理	207
6.5.2 无黏性土的主动土压力计算	208
6.5.3 无黏性土的被动土压力计算	210
6.5.4 黏性土土压力的库伦理论	211
6.5.5 朗肯土压力理论与库伦土压力理论的比较	212
思考题	213
习 题	213
第 7 章 土坡稳定分析	215
7.1 概 述	215
7.2 无黏性土土坡的稳定分析	215
7.3 均质黏性土土坡的整体稳定分析	217
7.3.1 均质黏性土坡的整体稳定分析法	217
7.3.2 黏性土土坡稳定分析的费伦纽斯条分法	218
7.3.3 边坡稳定分析的毕肖普法	220
7.4 泰勒图表法	222
7.5 非圆弧滑动的普遍条分法——简布法	223
7.6 不平衡推力传递法	227
7.7 最危险滑裂面的确定方法	228
7.8 边坡稳定分析的工程应用	230
7.8.1 边坡设计应符合下列原则	230
7.8.2 土坡的允许坡度	230

7.8.3 关于挖方边坡和天然边坡	231
7.8.4 滑坡防治	231
思考题	232
习 题	233
第8章 地基承载力	234
8.1 概 述	234
8.2 地基的三种破坏模式	234
8.3 地基的临塑荷载和临界荷载	237
8.3.1 极限平衡区的界限方程式	237
8.3.2 临塑荷载	238
8.3.3 临界荷载	238
8.3.4 对临塑荷载和临界荷载的评价	239
8.4 地基的极限荷载	240
8.4.1 普朗德尔极限承载力理论	240
8.4.2 太沙基承载力理论	241
8.4.3 梅耶霍夫(G. G. Meyerhoff)极限承载力公式	244
8.4.4 汉森极限承载力公式	245
8.4.5 魏锡克极限承载力公式	247
8.4.6 承载力公式的若干问题	248
8.5 地基承载力的确定方法	250
8.5.1 地基承载力的设计原则	250
8.5.2 《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)的地基承载力特征值	251
思考题	252
习 题	253
第9章 土的动力特性	254
9.1 概 述	254
9.2 土的动力特性	254
9.2.1 急速荷载下土的特性	254
9.2.2 循环荷载下土的特性	255
9.3 地 震	257
9.3.1 概 述	257
9.3.2 地震强度	257
9.4 液 化	258
9.4.1 液化原因	258
9.4.2 液化危害类型	258
9.4.3 液化判别方法	259
9.4.4 抗液化措施	260
参考文献	262

第一部分 工程地质

第 1 章 概 述

1.1 地质学

地质学(geology)是由瑞士人索修尔(Saussure H. B. de)于 1779 年提出来的;地质学是研究地球的科学,是研究地球的组成、构造及其形成和演化规律并利用这些规律为人类社会服务的科学;地质学的重点研究对象是地壳;地质学的服务对象主要包括矿产、能源、环境和灾害等四个方面。地壳是人类赖以生活和活动的场所,一切建筑物都建筑在地壳上,它构成人类生存和工程建筑的环境和物质基础。人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的,两者之间具有密切的联系,并且相互影响和相互制约(图 1-1)。

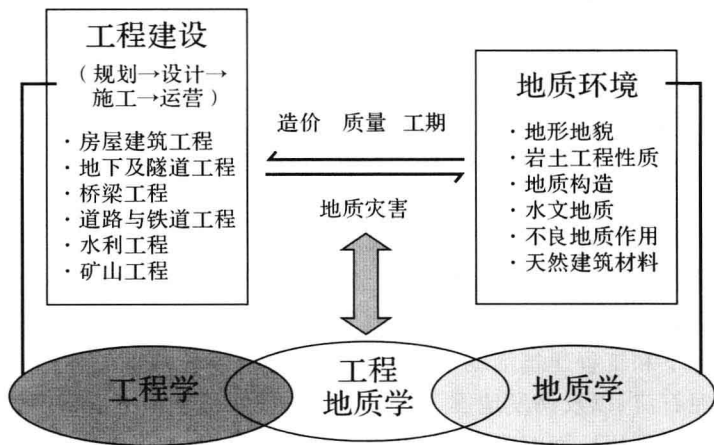


图 1-1 工程活动与地质环境的关系

1.2 工程地质学

工程地质学是介于地质学与工程学之间的一门边缘交叉学科,它是研究与人类工程建设等活动有关的地质问题的学科,是地质学的一个分支。工程地质学的研究目的在于查明建设地区或建筑场地的工程地质条件,分析、预测和评价可能存在和发生的工程地质问题及其对建筑物和地质环境的影响和危害,提出防治不良地质现象的措施,为保证工程建设的合

理规划以及建筑物的正确设计、顺利施工和正常使用,提供可靠的地质科学依据。

工程地质学孕育、萌芽于地质学的发展和人类工程活动经验的积累中。17 世纪以前,许多国家成功地建成了至今仍享有盛名的伟大建筑物,但人们在建筑实践中对地质环境的考虑,完全依赖于建筑者个人的感性认识。17 世纪以后,由于产业革命和建设事业的发展,出现并逐渐积累了关于地质环境对建筑物影响的文献资料。第一次世界大战结束后,整个世界开始了大规模建设时期;1929 年,奥地利的 K·太沙基出版了世界上第一部《工程地质学》。1937 年苏联的 $\Phi \cdot \Pi \cdot$ 萨瓦连斯基的《工程地质学》一书问世。50 年代以来,在世界工程建设发展中,工程地质学逐渐吸收了土力学、岩石力学和计算数学中的很多理论和方法,更加完善和发展了本身的内容和体系。

我国工程地质学的发展基本上始自 1950 年代。工程地质工作密切结合国民经济建设,为国家国土规划与资源开发、各类工程建设、城镇建设和地质灾害防治及地质环境保护提供了强有力的技术支撑,工作领域几乎覆盖国民经济的所有部门;可以说,我国已建的水电站、铁路和公路、金属矿山、大型煤矿、城镇及不计其数的工业与民用建筑,都留下了工程地质工作者辛勤的汗水。丰富的工程实践,也促进了我国工程地质学科体系的飞速发展,相继形成了“工程地质力学”、“地质过程机制分析一定量评价”及“系统工程地质学”等国内外有较大影响的理论及学术思想体系;如谷德振在岩体稳定性问题中提出的结构控制论以及刘国昌在区域工程地质方面,都对工程地质学的发展作出了重要的贡献;在诸如高边坡稳定性研究、地下开挖的地面地质效应研究、崩滑地质灾害预测及土体工程地质特性研究等方面都走到了国际前沿;在工程地质理论及实践水平上,我国都处在世界先进水平之列。

1.3 工程地质学研究内容

工程地质学的研究内容包括:①研究建设地区和建筑场地中岩土体的空间分布规律和工程地质性质,控制这些性质的岩石和土的成分和结构,以及在自然条件和工程作用下这些性质的变化趋向;制定岩石和土的工程地质分类。②分析和预测建设地区和建筑场地范围内在自然条件下和工程建设活动中发生和可能发生的各种地质作用和工程地质问题,例如地震、滑坡、泥石流,以及诱发地震、地基沉陷、人工边坡和地下洞室围岩的变形和破坏、开采地下水引起的大面积地面沉降、地下采矿引起的地表塌陷,及其发生的条件、过程、规模和机制,评价它们对工程建设和地质环境造成的危害程度。③研究防治不良地质作用的有效措施。④研究工程地质条件的区域分布特征和规律,预测其在自然条件下和工程建设活动中的变化和可能发生的地质作用,评价其对工程建设的适宜性。

由于各类工程建筑物的结构和作用及其所在空间范围内的环境不同,因而可能发生和必须研究的地质作用和工程地质问题往往各有侧重。据此,工程地质学又常分为水利水电工程地质学、道路工程地质学、采矿工程地质学、海港和海洋工程地质学、城市工程地质学等。

1.4 工程地质学研究方法

工程地质学的研究方法主要包括地质学方法、实验和测试方法、计算方法和模拟方法。地质学方法,即自然历史分析法,是运用地质学理论查明工程地质条件和地质现象的空间分布,分析研究其产生过程和发展趋势,进行定性的判断,它是工程地质研究的基本方法,也是其他研究方法的基础。实验和测试方法,包括为测定岩、土体特性参数的实验、对地应力的量级和方向的测试以及对地质作用随时间延续而发展的监测。计算方法,包括应用统计学方法对测试数据进行统计分析,利用理论或经验公式对已测得的有关数据,进行计算,以定量地评价工程地质问题。模拟方法,可分为物理模拟(也称工程地质力学模拟)和数值模拟,它们是在通过地质研究深入认识地质原型,查明各种边界条件,以及通过实验研究获得有关参数的基础上,结合建筑物的实际作用,正确地抽象出工程地质模型,利用相似材料或各种数学方法,再现和预测地质作用的发生和发展过程。电子计算机在工程地质学领域中的应用,不仅使过去难以完成的复杂计算成为可能,而且能够对数据资料自动存储、检索和处理,甚至能够将专家们的智慧存储在计算机中,以备咨询和处理疑难问题,即工程地质专家系统。

1.5 工程地质学基本任务

研究人类工程活动与地质环境之间的相互制约,合理开发和妥善保护地质环境,使工程活动和地质环境协调相处是工程地质学的最基本任务,其基本任务主要表现在以下三方面:①区域稳定性研究与评价,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,指地基的牢固、坚实性、安全性;③环境影响评价,指人类工程活动对环境造成的影响。因此,工程地质学的具体任务是:①评价工程地质条件,阐明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。

第2章 矿物与岩石

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；地球的内部构造是由化学成分、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。地球的固体外壳称作地壳（图2-1）。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发生影响。

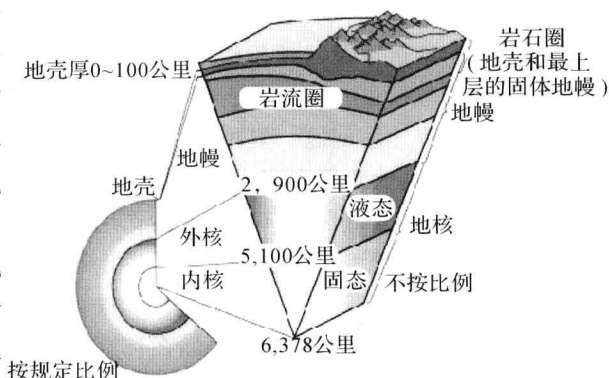


图 2-1 地球构造示意图

2.1 矿物

矿物是指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和化合物（图2-2）。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，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。构成岩石的矿物，称为造岩矿物。目前发现的地壳中的造岩矿物多达3000余种，以硅酸盐类矿物为最多，约占矿物总量的90%，其中最常见的矿物约有50余种，例如正（斜）长石、黑（白）云母、辉石、角闪石、橄榄石、绿泥石、滑石、高岭石、石英、方解石、白云石、石膏、黄（赤、褐、磁）铁矿等。

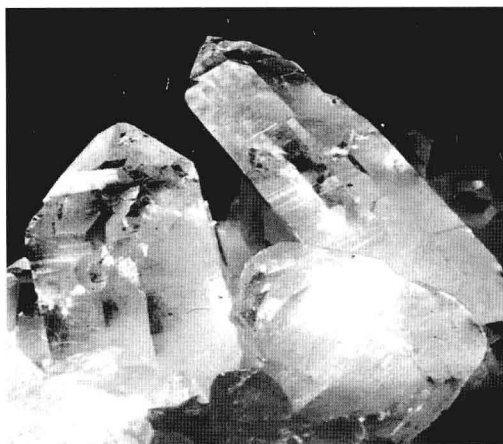


图 2-2 石英矿物

2.1.1 矿物的种类

根据矿物的形成与变化方式，可将造岩矿物划分为原生矿物和次生矿物两个种类。其