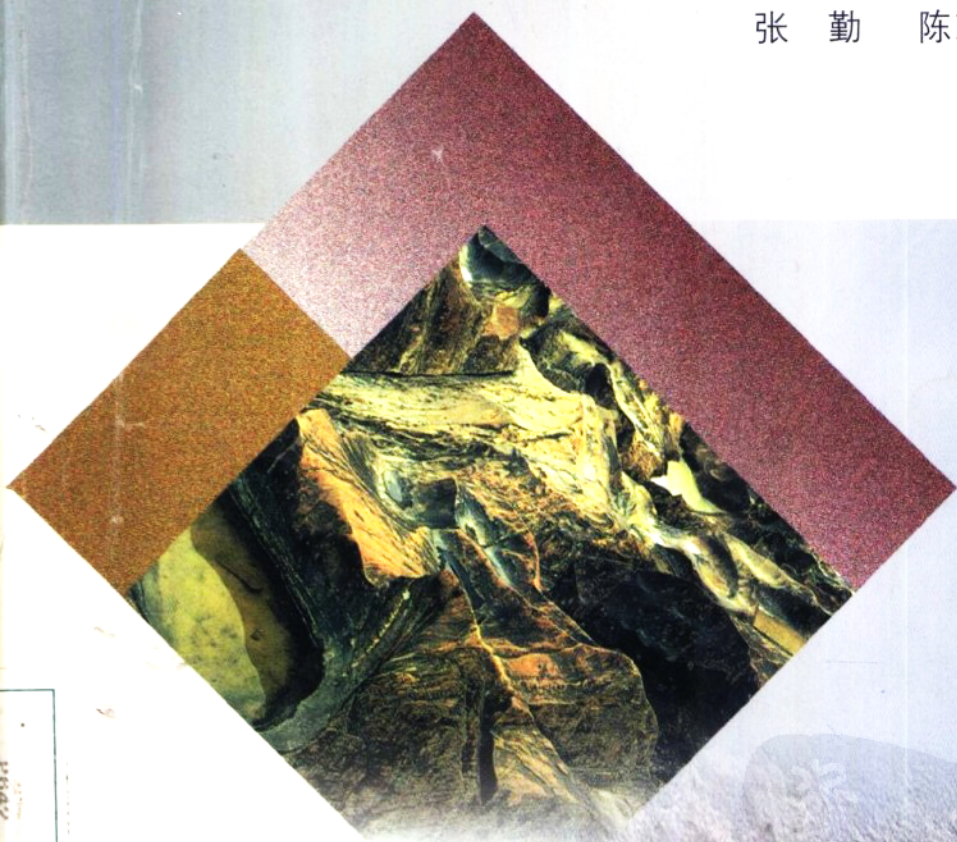


# 岩土工程

# 地质学

YANTU GONGCHENG DIZHIXUE

张 勤 陈志坚 主编



黄河水利出版社

P662  
Z-649

# 岩土工程地质学

张 勤 陈志坚 主编

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程地质学/张勤,陈志坚主编. —郑州:黄河水利出版社,2000.7

ISBN 7-80621-432-1

I. 岩… II. ①张…②陈… III. 岩土工程-工程地质-高等学校-教材 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 32122 号

---

责任编辑:吕洪予

封面设计:朱 鹏

责任校对:周 宏

责任印制:常红昕

---

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编:450003

发行部电话:(0371)6302620 传真:6302219

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

---

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.00

版 次:2000 年 7 月 第 1 版

印 数:1—2 000

印 次:2000 年 7 月 郑州第 1 次印刷

字 数:316 千字

---

定 价:20.00 元

# 前 言

《岩土工程地质学》是编者在多年工程地质教学实践的基础上,根据土建、水利、测绘、工程力学及农业工程类等学科土木工程、水利水电工程、港口航道与海岸工程等专业的教学要求,并主要参考 1988 年以来由国家技术监督局和建设部联合发布的有关新的国家标准编写的。在编写过程中,我们试图:①不断拓宽学生的知识面,尽量使工程地质研究能够满足各类地质工程建设的需要,为同学们系统掌握工程地质理论、研究方法和今后能够正确地进行地质工程设计、施工等奠定良好的基础。②所编内容力求反映国内外近年来在工程地质研究中的新成果、新方法,并注意各种评价方法尽可能与新的国家标准相一致。③强调工程地质研究的实践性,尽量介绍有关地质现象的野外识别、各种地质问题的实际分析方法和处理措施等,力求使同学们能学以致用,能有效地指导今后的生产、科研等实际工作。全书除绪论和附录外,共分七章,分别阐述了岩土成因类型及组成结构、地质构造、水流地质作用、土体的工程地质性质、岩土工程地质问题分析与评价及岩土工程勘察等内容,可以概括为岩土工程地质条件研究(绪论、第一章至第五章)、岩土工程地质问题分析与评价(第六章及附录)及岩土工程地质勘察研究(第七章及附录)几个方面。本书稿自 1996 年 9 月作为河海大学土木工程、港口航道与海岸工程、工程力学及岩土工程等专业的工程地质学自编教材使用以来,颇受有关任课教师和广大同学的欢迎,并于 1998 年获河海大学 1996~1997 年优秀教学成果三等奖。本教材可作为土建、水利类等工科专业的工程地质课程教学用书,也可作为有关教学、科研及工程技术人员参考用书。

为了便于同学们学习和复习巩固所学的内容,在每章后均附有习题与思考和主要参考文献。

考虑到教材的系统性和完整性,本书内容较为丰富。使用时,各专业可根据教学大纲及研究侧重等适当删减。有条件的还应辅以必要的室内和现场教学实践活动,以及开展各种类型的电化教学,确保高质量完成教学任务。本教材由河海大学地质工程教研室张勤、陈志坚主编。参加编写的有陈志坚(绪论、第六章第一节、第七章及附录);张发明(第一章、第四章、第六章第二节、第三节及第二章第七节);孙英学(第三章);张勤(第二章第一节至第六节、第五章及第六章第四节、第五节)。河海大学地质工程教研室厉渝生副教授主审,在审阅过程中提出了许多宝贵的修改意见。在编写和修改过程中曾得到地质工程教研室其他同志的大力帮助和支持。王健、张乾飞、殷海华、刘世君、苟联盟、李欣等参加了部分图件绘制工作,在此一并致谢。

由于教学急需用书,修改仓促,加之编者水平有限,本教材缺点和不足之处在所难免,敬请读者指正。

编 者

1999 年 7 月

# 目 录

|                    |      |
|--------------------|------|
| 前 言                |      |
| 绪 论                | (1)  |
| 第一章 岩土体的类型及其组成结构   | (4)  |
| 第一节 主要造岩矿物及其物理性质   | (4)  |
| 第二节 岩石的成因类型及其结构构造  | (9)  |
| 第三节 土的成因类型及其工程特征   | (22) |
| 习题与思考              | (25) |
| 参考文献               | (25) |
| 第二章 地质构造           | (26) |
| 第一节 概 述            | (26) |
| 第二节 地史概要           | (27) |
| 第三节 岩层的产状及接触关系     | (28) |
| 第四节 褶皱构造           | (31) |
| 第五节 断裂构造           | (35) |
| 第六节 地震与活动性断裂       | (40) |
| 第七节 工程地质图件的阅读与分析方法 | (45) |
| 习题与思考              | (50) |
| 参考文献               | (51) |
| 第三章 水流的地质作用        | (52) |
| 第一节 概 述            | (52) |
| 第二节 地表水流的地质作用      | (52) |
| 第三节 地下水            | (58) |
| 第四节 岩溶及其工程地质问题     | (63) |
| 第五节 海岸工程地质         | (68) |
| 习题与思考              | (72) |
| 参考文献               | (72) |
| 第四章 土的工程性质         | (73) |
| 第一节 土的物理性质指标       | (73) |
| 第二节 粘性土的水理性质       | (76) |
| 第三节 土的力学性质         | (77) |
| 第四节 土的工程分类         | (80) |
| 习题与思考              | (89) |
| 参考文献               | (90) |
| 第五章 岩体的工程地质性质      | (91) |
| 第一节 岩体的风化及风化岩体的特征  | (91) |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 第二节 岩体结构特征 .....                 | (93)         |
| 第三节 岩体的力学性质 .....                | (96)         |
| 第四节 岩体中的地应力 .....                | (103)        |
| 第五节 岩体工程分级 .....                 | (104)        |
| 习题与思考 .....                      | (110)        |
| 参考文献 .....                       | (111)        |
| <b>第六章 岩土工程地质问题</b> .....        | <b>(112)</b> |
| 第一节 地基评价与计算 .....                | (112)        |
| 第二节 砂土地基的液化 .....                | (123)        |
| 第三节 岩土体的渗透稳定问题 .....             | (129)        |
| 第四节 岩土体边坡稳定性分析 .....             | (132)        |
| 第五节 地下工程岩体的稳定性分析 .....           | (142)        |
| 习题与思考 .....                      | (150)        |
| 参考文献 .....                       | (150)        |
| <b>第七章 岩土工程勘察</b> .....          | <b>(151)</b> |
| 第一节 岩土工程勘察的基本程序 .....            | (151)        |
| 第二节 岩土工程勘察分级 .....               | (155)        |
| 第三节 岩土工程勘察阶段的划分及各阶段的工作内容要求 ..... | (157)        |
| 第四节 岩土工程钻探 .....                 | (159)        |
| 第五节 岩土取样 .....                   | (160)        |
| 第六节 岩土体原位测试与试验 .....             | (161)        |
| 第七节 房屋建筑与构筑物地基的勘察与评价 .....       | (177)        |
| 第八节 土工统计分析 .....                 | (182)        |
| 习题与思考 .....                      | (189)        |
| 参考文献 .....                       | (189)        |
| <b>附录 某建筑物岩土工程勘察实例</b> .....     | <b>(191)</b> |

## 绪 论

### 一、岩土工程地质学在工程建设中的作用和任务

岩土工程地质学是从地质学发展起来的一门新兴学科,它主要研究人类工程建设活动与自然地质环境的相互作用和相互影响,并利用地质学、土力学、岩石力学的理论、方法和实践经验,调查、分析、研究和解决各类土建工程中涉及到的岩土体的利用、整治或改造问题。

随着现代化进程的飞速发展,各类土建工程日新月异,同时也对岩土工程地质学科提出了更高要求。重型厂房、高层建筑、大跨径桥梁、高等级公路、浩大的水利水电枢纽工程,以及为了向海洋寻找资源、向地下争取空间而进行的各类开发性工程等,都与它们赖以存在的岩土体发生了极为密切的关系。各类工程的成败,在很大程度上取决于岩土体能否提供足够的承载力和稳定性,保证工程结构不致遭受超过设计限度的地基沉降、水平位移、差异变形和各种形式的岩土应力的作用。而岩土体的承载力和稳定性,以及岩土体的应力、应变响应又在很大程度上取决于岩土体的建造和改造作用。

岩土工程地质学在工程建设中的作用和任务主要是:

(1)勘察建筑地区的工程地质条件。所谓工程地质条件,是指与工程有关的地质条件之综合,包括地层岩性、地形地貌、地质构造、水文地质条件、物理地质现象(含地应力、地温等)和天然建筑材料等6个方面的因素。

(2)分析、评价、预测工程建设过程中及工程运营期间可能发生的工程地质问题。土体工程中常用的工程地质问题有:沉降与不均匀沉降、振动液化、渗漏与渗透变形、承载力不足、土坝(包括基坑边坡、堤坡等)稳定等。岩体工程中常见的工程地质问题有:岩质边坡稳定、洞室围岩稳定、高坝坝基稳定、不均匀变形等。

(3)选择最佳的工程场地、线路方案或建筑物布置形式。

(4)提出岩土体利用、整治或改造的工程措施,包括地质环境的保护与利用、最佳基础形式和地基处理方法的选择等。

(5)提供工程规划、设计和施工所需的岩土工程地质资料。

工程实践表明,岩土工程地质学在工程建设中的作用,已不仅仅是为建筑物的修建提供必要的地质资料,而是贯穿于整个工程建设的规划、设计、施工以及工程运营管理的全部过程中。1995年3月1日正式实施的强制性国家标准《岩土工程勘察规范》(GB50021-94)已明确提出:工程地质工作不只限于查明和反映地质条件,也不只要求提出一般性的工程建议,而是还要求结合已明确了的荷载特点、结构类型和对限制变形的要求等进行定量的岩土工程分析和预测,提出岩土工程设计参数,并就基础类型和地基基础设计方案在比较的基础上提出建议。

历史的经验表明,工程建设,特别是大型建筑,不怕工程地质条件复杂,也不怕工程地质问题繁多,怕的是对工程地质条件的勘察研究不重视和研究不够深入。国际大坝委员会曾于1973年对世界110个国家和地区(未包括我国在内)已建大坝(坝高在15m以上的约12900座)进行了调查,从统计资料看,发生过失事事故的589座水库中,大多数与不良的地质条件密切相关。如1959年12月2日法国的马尔帕赛(Malpasset)拱坝的溃决,曾轰动

国际水利界。该坝坝高 66m, 由于坝基左岸岩石软弱, 未经坝基处理, 蓄水后发生了 210cm 的位移, 致使整个坝体全部崩溃, 3 亿  $m^3$  的库水以 8.33m/s 的速度倾泄形成洪水, 造成下游 400 余人死亡, 损失达 68 亿美元。又如印度的纳纳克萨加(Nanaksagar)坝, 为一高 15.9m 的土坝, 1967 年 9 月 7 日, 由于坝基发生管涌导致坝体溃决, 造成 32 个村庄的村民流离失所, 损失惨重。这些实例说明, 不仅高坝大库会造成严重事故, 即使是中小型水利工程, 也会由于对地质问题处理不当而造成生命财产的巨大损失。

截至 1983 年, 我国共修建水库 71 282 座, 总库容约 3 200 亿  $m^3$ 。由于党和政府对工程地质工作非常重视, 因此直接由于地质问题而产生的跨坝事故极为罕见。然而, 由于对工程地质条件研究不够或对工程地质问题处理不当而造成的工程事故还是屡见不鲜的。由于种种原因, 自 1953 年黄坛口重力坝西坝头因滑坡问题被迫停工、补做勘探和设计以来的几十年中, 类似的事件仍有发生。据不完全统计, 至 1995 年在建和拟建的近百座大中型混凝土坝中, 有近 40 座由于坝基内软弱夹层而导致改变设计、降低坝高、增加工程量、延期施工和进行后期加固。这就告诉我们, 除了科学设计、精心施工外, 还必须十分重视工程地质工作。

## 二、岩土工程地质问题

人类工程活动和自然地质作用会改变地质环境, 影响岩土工程地质条件的变化。当工程地质条件不能满足工程建筑物稳定、安全的要求时, 亦即工程地质条件与工程建筑之间存在矛盾时, 就产生了工程地质问题。地质环境指的是岩石圈的上部, 它是一个受到人类工程活动作用的多组分动力体系, 它本身又在一定程度上决定着人类的工程活动。近 50 年来, 人类工程活动对地质环境的影响已达到与一定的自然地质作用相比拟的程度。在有些地区, 这种人为地质作用的速度和强度已远远超过了一般的自然地质作用。所以, 岩土体工程地质问题除与所在地区以及岩土体类型和组成结构有关外, 还与工程建筑的类型和规模有着密切的关系。各类工程建筑, 由于其结构类型和工作方式不同, 而存在着各种各样的工程地质问题。

(1) 工业与民用建筑常遇到的工程地质问题是: 地基承载力不足, 沉降和不均匀沉降, 砂土液化, 深基坑边坡稳定, 场地水、土的腐蚀性以及特殊性土的问题等。

(2) 铁路、公路工程常遇到的工程地质问题有: 路基边坡、隧洞围岩和桥墩地基的稳定问题, 路面的冻胀、不均匀沉降问题, 以及高等级公路超压缩性路基土的湿胀和“桥头跳车”问题等。

(3) 地下工程常遇到的工程地质问题是: 围岩稳定、突水、岩爆问题以及影响地下工程开挖施工的高地应力、高地湿和有害气体问题等。

(4) 港口码头等岸边工程常遇到的工程地质问题有: 码头地基、岸坡的稳定, 回填土的沉降和人工边坡稳定, 海浪侵蚀和回淤问题等。

(5) 矿山工程常遇到的工程地质问题有: 露天矿(高)边坡及地下巷道的稳定、涌水及有害气体问题, 采矿引起的地面沉降、塌陷问题等。

(6) 水利水电工程遇到的工程地质问题则更为复杂多样, 除与上述其他工程相类似的区域稳定, 坝基、边坡和地下洞室围岩稳定, 以及坝基岩土体的沉降和不均匀沉降外, 还有库坝区渗漏, 水库库岸稳定及水库涌浪、水库淤积、水库浸没以及水库诱发地震等问题。

在特殊性岩土(如红粘土、黄土、淤泥质土、冻土、膨胀性岩土等)分布区的工程建筑还会遇到特殊的工程地质问题, 如黄土的湿陷性问题、红粘土的失水收缩开裂问题、膨胀性岩土

的吸水膨胀问题等。

### 三、本课程的主要内容及教学要求

本课程是工业与民用建筑等土木工程、水利工程类非地质专业的一门技术基础课。对本课程的基本要求如下:通过本课程的学习,使学生掌握岩土工程地质的基本知识,熟悉岩土工程设计参数,学会分析土建工程中工程地质问题的基本方法,为今后学习专业课程打下基础。总的要求是:

(1)掌握与土建工程有关的常见岩土体、地质构造、物理地质现象等基本地质知识。

(2)熟悉地基承载力等岩土工程设计参数。

(3)初步学会对土建工程的工程地质条件及工程地质问题的评价和分析方法。

(4)一般了解工程地质、岩土工程的勘察原则和方法,熟悉各勘察方法的应用条件,主要学会阅读和分析勘察成果的方法。

本书的主要内容及教学要求如下:

(1)岩土体的成因类型及组成结构,常见的造岩矿物,重点是三大类岩石(火成岩、沉积岩、变质岩)和土的分类方法以及鉴定特征。通过实习和实验课,学会肉眼鉴定岩土类型的方法。

(2)地史(主要是相对地质年代)概念,各种典型地质构造类型的确定方法,重点是学会阅读和分析各种典型构造和地质图。

(3)地表水流的地质作用,地下水的基本知识,海、湖岸带的动力地质作用,岩溶的形成条件和发育规律及其工程地质问题。

(4)土的工程地质性质,重点是物理性质、力学性质和水理性质以及土的工程分类。

(5)岩体的工程地质性质,重点是岩体风化,结构面、结构体和岩体结构类型及特征,岩体的强度和变形特征,岩体的工程分级。

(6)综述岩土体工程地质问题的基本内容,介绍有关土建工程中工程地质条件和工程地质问题的分析方法。重点是地基土的沉降和不均匀沉降、砂土液化、地基岩土体的承载力、岩土体边坡稳定、地下构筑物稳定等。

(7)简单介绍岩土工程勘察等级及勘察阶段的划分,岩土工程勘察的程序、一般原则和方法,以及各种勘察手段的使用条件,结合习题课熟悉岩土工程勘察报告的阅读分析方法。

以上教学内容可概括为四个组成部分:地质学基础部分(第一、二、三章)和岩土体工程地质性质部分(第四、五章);工程地质问题部分(第六章);岩土工程勘察部分(第七章)。这四部分内容是相互关连的,在教学过程中应运用由浅入深、循序渐进、理论联系实际等多种方式进行教与学,才能达到预期的教学目的。本课程是一门实践性比较强的技术基础课,为了加强对岩土体的感性认识,除讲课及自学外,还应安排实验课、课外作业及野外地质教学实习,以巩固课堂理论教学。此外,本课程教学过程中,应积极采用多种媒体教学方法,配合有关地质科教片、幻灯片等直观教具,以增强地质感性认识,提高教学效果。

# 第一章 岩土体的类型及其组成结构

## 第一节 主要造岩矿物及其物理性质

矿物是地壳中由地质作用所形成的、具有一定化学成分和物理性质的单质或化合物。在自然界中,除少数矿物如金刚石(C)、硫磺(S)、石墨(C)等外,大多数是由两种或多种元素所组成的,如石英( $\text{SiO}_2$ )、石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )及正长石( $\text{K}[\text{Al-Si}_3\text{O}_8]$ )等。矿物除少数呈液态和气态形式外,多以固态形式存在于自然界中。至今已发现的矿物种类达3 000余种,而构成岩石的主要矿物则只有二三十种,我们将这些组成岩石的主要矿物称为造岩矿物。

由于各种矿物具有不同的内部构造特征和化学成分,从而使得矿物呈现一定的外表形态、物理性质和化学性质。这些特性对鉴定造岩矿物及认识由其所组成的岩石工程性质具有十分重要的意义。本节主要介绍矿物的形态和矿物的物理性质。

### 一、矿物的形态

不同的矿物具有不同的形态和特征,这是由形态和特征确认矿物的一个基本原则和方法。同时,矿物的形成是在一定的地质环境下,化学元素达到相对稳定的自然产物,因此矿物的形态也常常反映矿物形成所处的地质环境。矿物的形态可分为单体、连生体、集合体三种类型。

#### (一)矿物的单体形态

##### 1. 结晶质和非结晶质矿物

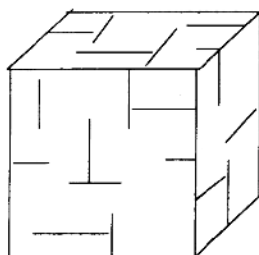


图 1-1 岩盐晶体的形态

结晶质矿物的内部质点(原子、离子或分子)按照一定的规律重复排列,从而使晶体具有一定的内部结构和外部形态。如岩盐内部的  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  在三维空间中呈等距离重复排列而组成格子状的构造,使岩盐的外表呈现出立方体的形态(图 1-1)。不同的矿物,因内部结构存在差异,其单晶也有不同形态,如方解石多为菱面体,而云母则多呈片状。然而,在用肉眼鉴定时,所能看到的矿物的形态为多面体晶形。多数情况下,矿物晶

体的生长,受到空间和其他条件的制约,矿物晶形的发育常常呈现不完整,甚至有时呈“歪晶”,有时残缺不全。晶体在其生长过程中,晶面上还可能留下许多花纹,如水晶的晶面具有美丽的横纹。

矿物的单个晶体有大有小,根据肉眼是否可以辨认,可分为显晶质体和隐晶质体两种类型。

非结晶质矿物的内部质点的排列无规律,杂乱无章,因此没有一定的几何外形,这是非

结晶质矿物与结晶质矿物的根本区别所在。如褐铁矿和火山玻璃等均为非结晶质矿物。

## 2. 结晶习性

在相同生长环境下,具有一定成分的同种矿物,有着其特定的结晶形态,矿物晶体的这种性质,称之为该矿物的结晶习性。根据单晶体在三维空间的发育程度,将结晶习性分为如下三种类型:

(1)一向延长:包括柱状、针状、棒状、纤维状、放射状等。柱状的石英、纤维状的石棉等属于一向延长。

(2)二向延长:包括片状、板状、鳞片状等,片状的云母、板状的石膏等属之。

(3)三向延长:晶体在空间的三个方向上发育程度相当,如粒状、球状、等轴状等,岩盐、黄铁矿、石榴子石等属于该种类型的结晶习性。

### (二)矿物的连生体形态

天然的矿物晶体,除以单体形式存在外,通常还彼此连生在一起,形成连生体形态。根据连生体中个体间的方位,又可分为双晶及平行连生等,其中最重要的是双晶。

双晶是同种晶体的规则连生,其中一个个体和另一个个体成镜像关系,或者一个个体旋转 $180^\circ$ 后,能与另一个晶体重合或平行。图 1-2 表示的为石膏双晶。

若每一个个体相对应的晶面和晶棱都彼此平行,相邻晶体之间的结晶格子平行、连续的晶体形态称为平行连生体形态。图 1-3 就是石英的平行连生体。

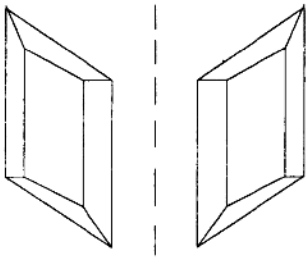


图 1-2 石膏双晶

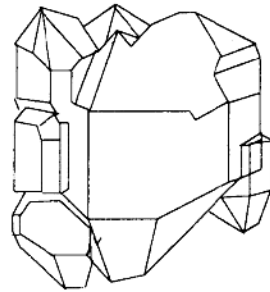


图 1-3 石英的平行连生体

### (三)矿物的集合体形态

由同种矿物许多单体聚合在一起的整体称之为矿物的集合体形态。自然界中生长较好的单晶甚为少见,多数则是以集合体状态产出。矿物集合体的形态常见有以下几种:

(1)晶簇。在同一基底面上生长出同类矿物的晶体群,称之为晶簇。如水晶晶簇、石英晶簇、方解石晶簇等。

(2)纤维状集合体。由针状、纤维状的同种单体平行排列而成,如石棉、纤维状石膏等。

(3)钟乳状集合体。溶液或胶体在空穴表面一旦失去水分而凝固成各种形状的集合体,常见的有葡萄状、肾状等,如南京汤山猿人洞(葫芦洞)中就发育有葡萄状方解石的集合体。

(4)结核和鲕状集合体。结核是矿物质以某岩屑或有机碎屑为中心,自内向外逐渐生长而成的球状体或椭球体。如南京湖山的二叠系栖霞组灰岩中的鲕石结核等。如果结核的直

径小于2mm,形成像鱼子一般的小颗粒,称为鲕状。这是灰岩中常见的一种矿物集合体形态。

(5)土状。单体矿物已模糊不清,呈疏松粉状而聚集成集合体,如高岭石等。

## 二、矿物的物理性质

矿物的物理性质,是矿物学研究的主要内容,也是鉴定矿物的主要依据。而且对许多矿物而言,由于具有这种或那种的特殊性质,它们能直接为生产所利用(如金刚石的高硬度、石英的压电性等)。

决定矿物各种物理性质的根本原因是矿物的化学成分和晶体结构。矿物的物理性质通常是指其光学、力学和磁学等方面的性质。下面主要介绍可用目力辨别的那些性质。

### (一)矿物的光学性质

矿物的光学性质是矿物对自然光的反射、折射和吸收能力差异等表现出来的各种性质。包括颜色、条痕、光泽和透明度。

(1)颜色。矿物颜色根据产生的原因,可分为自色、他色和假色三种。

自色:矿物自身所固有的颜色。对同一种矿物而言,一般是比较固定的,如方铅矿的铅灰色、孔雀石的翠绿色等。

他色:矿物由于含外来带色杂质而引起的颜色,如南京湖山地区石炭末中统黄龙组断裂带中的方解石常由于不同带色混入物而呈紫色、玫瑰色、翠绿色。

假色:由某些物理因素引起的颜色,称为假色,例如黄铁矿的表面因氧化膜所引起的全销色。假色只对个别矿物具有鉴定意义。

(2)条痕(粉末色)。条痕是指矿物在条痕板(粗白瓷板)上擦划后所留下的痕迹即矿物粉末的颜色。因为条痕色消除了假色,减低了他色,而且比颜色更为固定,故可用来鉴定矿物,尤其适用于外表颜色相近的矿物质的鉴别。如黄铁矿和黄铜矿,外表颜色近似,但黄铁矿的条痕为黑色,黄铜矿的条痕为带黑绿色。对透明和半透明矿物,用条痕来鉴定却无多大意义。

(3)光泽。矿物表面对光的反射能力称为光泽。根据反射光由强而弱的次序,可分为:

金属光泽:如黄铁矿的光泽;

半金属光泽:如磁铁矿的光泽;

金刚光泽:如金刚石的光泽;

玻璃光泽:如石英、方解石的光泽。

造岩矿物均为非金属光泽,除上面的玻璃光泽外,主要为以下几种形式:

油脂光泽:矿物表面呈现出油脂状的光泽,如石英贝壳状断口所具有的光泽;

丝绸光泽:纤维状集合体矿物如石棉、纤维石膏等具有这种光泽;

珍珠光泽:解理发育的浅色透明矿物如白云母、滑石等具有这种光泽;

土状光泽:矿物表面如同土块状的暗淡光泽,如高岭石等。

(4)透明度。矿物的透明度是指矿物透光能力的大小,它主要取决于矿物对光的吸收率。金属矿物吸收率高,一般都不透明,如磁铁矿、黄铁矿等,而非金属矿物吸收率低,一般都是透明的。矿物的透明度根据所见物体的清晰度可分为透明、半透明、不透明三级。

### (二)矿物的力学性质

矿物在敲打、刻划、拉、压等外力作用下所表现出来的各种物理性质称为矿物的力学性

(1)解理。矿物晶体在外力作用下,始终沿着一定的结晶学方向破裂成一系列光滑平面的现象,称为解理。开裂成的光滑平面,称为解理面,一组平行的平面,称为一组解理。根据解理面的延展性和平滑程度,将解理分为五级:

**完全解理:**常裂成规则的小块,解理面较大且光滑、平坦,如方解石、石盐的解理;

不完全解理:解理面小,碎块主要是断口,如磷灰石、绿柱石的解理;

极不完全解理:仅在显微镜下偶尔见零星的解理面,肉眼不易鉴别。

贝壳状断口:呈椭圆形的光滑曲面,并具同心圆纹,如石英的断口;

锯齿状断口:呈尖锐锯齿的形状,如自然铜的断口;

参差状断口:呈参差不平的形状,如磷灰石的断口。

(3) 硬度。矿物的硬度是指矿物抵抗刻划、压入和研磨的能力。它是矿物鉴定的重要标志之一。为区别矿物的硬度,通常采用摩氏(F·Mols)硬度计来测定矿物的相对硬度,摩氏硬度计由十种硬度不同的矿物组成,按其相对软硬程度分为10级(表1-1)。

Mols 矿物硬度表

| 硬度等级   | 1  | 2  | 3   | 4  | 5   | 6   | 7  | 8  | 9  | 10  |
|--------|----|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|-----|
| 标准硬度矿物 | 滑石 | 石膏 | 方解石 | 萤石 | 磷灰石 | 正长石 | 石英 | 黄玉 | 刚玉 | 金刚石 |

矿物除上述性质外,还有一些矿物具有独特的性质,这些性质同样也是鉴定矿物的可靠依据,如比重、磁性、弹性、脆性等。

矿物的一些简单化学性质,对于鉴定某些矿物也是十分重要的。主要有方解石滴上稀盐酸能剧烈起泡,白云石滴上浓盐酸或热盐酸可以起泡而区别方解石和白云石,其他矿物不具备这种性质,常以此作为鉴定它们的依据。

矿物的鉴定方法通常有化学分析法、物理方法、物理-化学方法及肉眼鉴定法。在野外工作中,通常采用肉眼鉴定法,因为肉眼鉴定法具有简便、迅速的特点。仅凭眼力和小刀、放大镜等工具,通过对矿物的外表特征进行观察,以达到识别矿物的目的,如用小刀刻划、辨别光泽、锤击等方法。肉眼鉴定矿物的具体步骤是:

- (1) 确定矿物的硬度、光泽和解理, 因为这三种性质是较为固定的。
- (2) 观察矿物的颜色、形态和透明度等。
- (3) 确定出矿物的名称。

• 7 •

表 1-2

常见矿物鉴定表

| 序号 | 矿物名称 | 化学分子式                                                                                                                      | 形状          | 颜色    | 条痕  | 光泽    | 硬度    | 解理、断口             | 比重       | 其他性质       |
|----|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------|-----|-------|-------|-------------------|----------|------------|
| 1  | 石英   | $\text{SiO}_2$                                                                                                             | 柱状、粒状       | 乳白、无色 | 无   | 玻璃、油脂 | 7     | 贝壳状断口             | 2.65     | 抗风化能力强     |
| 2  | 方解石  | $\text{CaCO}_3$                                                                                                            | 菱面体、粒状、块状   | 白、灰白  | 无   | 玻璃、油脂 | 3     | 三组完全解理            | 2.7      | 遇稀 HCl 起泡  |
| 3  | 正长石  | $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$                                                                                        | 板状、短柱状      | 肉红    | 白   | 玻璃    | 6     | 完全两组解理            | 2.6      | 易于风化       |
| 4  | 斜长石  | $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$                                            | 板状          | 白、灰白  | 白   | 玻璃    | 6     | 两组解理              | 2.6~2.7  | 解理面有晶纹     |
| 5  | 角闪石  | $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ | 长柱状         | 绿黑色   | 淡绿  | 玻璃    | 6     | 两组解理交角 $56^\circ$ | 3.1~3.6  | 易于风化       |
| 6  | 黑云母  | $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_3$                                                | 片状、鳞片状      | 黑或棕黑  | 无   | 玻璃、珍珠 | 2~3   | 一组极完全解理           | 2.3      | 薄片具弹性      |
| 7  | 白云母  | $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$                                                                    | 片状          | 白或无   | 无   | 玻璃、珍珠 | 2~3   | 一组极完全解理           | 2.3      | 薄片具弹性      |
| 8  | 绿泥石  | $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_3$                                               | 板状、片状       | 深绿色   | 无   | 玻璃、珍珠 | 2.5~3 | 一组完全解理            | 2.6~2.85 | 薄片有挠性      |
| 9  | 蛇纹石  | $[\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})](\text{OH})_4$                                                                     | 纤维状、板状      | 浅绿、深绿 | 白   | 油脂、丝绢 | 3~4   | 中等解理              | 2.5~2.7  | 集合体纤维状     |
| 10 | 滑石   | $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$                                                                       | 板状、块状       | 白、黄、绿 | 白、绿 | 油脂    | 1     | 一组中等解理            | 2.7~2.8  | 高度滑感       |
| 11 | 高岭石  | $\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_4$                                                                       | 致密细粒状       | 白、黄   | 白   | 土状    | 1     | 无                 |          | 吸水性、可塑性、滑感 |
| 12 | 黄铁矿  | $\text{FeS}_2$                                                                                                             | 立方体、块状      | 浅黄色   | 绿黑  | 金属    | 6~6.5 | 参差状断口             | 4.9~5.2  | 氧化条件下生成褐铁矿 |
| 13 | 赤铁矿  | $\text{Fe}_2\text{O}_3$                                                                                                    | 立方体、块状      | 红、褐等色 | 樱红  | 半金属   | 5~6   | 参差状断口             | 4.9~5.3  |            |
| 14 | 橄榄石  | $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$                                                                                     | 斜方状、块状      | 橄榄绿色  | 无   | 玻璃    | 6.5~7 | 贝壳状断口             | 3.3~3.5  | 具有弹性       |
| 15 | 辉石   | $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$                                         | 粒状          | 深黑色   | 灰绿  | 玻璃    | 5~6   | 两组解理交角 $87^\circ$ | 3.4~3.6  | 易于风化       |
| 16 | 石膏   | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                                                                  | 板状、纤维状、条状   | 白色    | 白   | 玻璃    | 2     | 一组解理发育            | 2.3      | 具滑感、硬度小    |
| 17 | 石榴子石 | $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$                                                                                   | 菱形十二面、二十四面体 | 深褐    | 黑色  | 玻璃    | 6.5~7 | 参差状断口             | 3.5~4.2  | 为变质矿物      |

## 第二节 岩石的成因类型及其结构构造

岩石是地壳中由地质作用所形成的固态物质。它们是由一种或多种矿物或岩屑(造岩元素)组成的天然集合体,具有一定的结构、构造和变化规律。岩石以其成因不同,可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。本节主要介绍这三大类岩石的成因、结构和构造,为研究岩石的工程地质性质奠定必要的基础。

### 一、岩浆岩(火成岩)

岩浆冷凝固化后形成的岩石称为岩浆岩。而岩浆是地壳中天然产出的富含挥发成分的高温粘稠的硅酸盐熔融体,有时还含有金属硫化物和氧化物。根据岩浆冷凝固化成岩的深度不同,通常分为深成侵入岩(岩浆在地下深处活动就形成(距地面 3km 以下))、火山熔岩(岩浆由火山活动喷出地表后才冷凝固化者,如江宁方山火山岩),活动于上述两者之间的岩浆,其冷凝固化后形成浅成岩。

大部分岩浆岩为块状的结晶质岩石,部分为玻璃质岩石。岩石中的原生结晶矿物都是在温度较高时形成的。各种各样的岩浆岩体和其周围的岩体(围岩)间一般都有较清楚的界线,岩体的边缘通常有围岩的捕虏体或其变质产物,有时围岩还有明显的热变质和交代变质作用发生而留下烘烤边。另外,在某些岩区尚可见火山岩经次火山岩一直过渡到成分相似的较深成侵入岩的少见现象,这些都是岩浆岩最基本的特征。

#### (一)岩浆岩的物质成分

##### 1. 岩浆岩的矿物成分

岩浆岩的矿物成分是鉴定岩浆岩的最基本依据,它们集中反映了岩石的成因。岩浆岩中含量最多的为长石,占整个岩浆岩成分的 60%,其次是石英(表 1-3),其他矿物的含量则相对较少。根据矿物在岩石中的相对含量及其在分类中所起的作用,可将其分为主要矿物、次要矿物及副矿物三类。

(1)主要矿物。是岩石中含量较多的矿物,一般大于 10%。主要矿物是划分岩石大类的根本依据,如花岗岩中的钾长石和石英都是主要矿物,没有它们就不能定名为花岗岩。

(2)次要矿物。是岩石中含量较少的矿物,一般小于 10%,它们对划分岩石大类并不起作用,但常作为岩石种属的依据,如石英闪长岩中的石英,闪云斜长花岗岩中的角闪石。

(3)副矿物。是岩石中含量极少的矿物,通常不到 1%,有的可达 5%,如磷灰石、锆石等。它们在岩石的分类和命名中一般不起什么作用,但可以反映岩浆岩的含矿特性和生成条件等方面的某些特征。

##### 2. 岩浆岩的化学成分

表 1-3 岩浆岩的矿物成分

| 矿 物 | 含量(%) | 矿 物 | 含量(%) | 矿 物    | 含量(%) |
|-----|-------|-----|-------|--------|-------|
| 石 英 | 12.4  | 角闪石 | 1.7   | 霞 石    | 0.3   |
| 正长石 | 31.0  | 黑云母 | 3.8   | 不透明矿物  | 4.1   |
| 斜长石 | 29.2  | 白云母 | 1.4   | 磷灰石及其他 | 1.5   |
| 辉 石 | 12.0  | 橄榄石 | 2.6   | 总 计    | 100.0 |

岩浆岩的化学成分是组成岩浆岩的基本物质,也是岩浆岩分类的重要依据之一。

地壳中所具有的元素在岩浆岩中都有所见,只是不同种类元素的含量不同而已,其中O、Al、Si、Ca、Mg、K、Na、Ti等元素最为普遍,它们占岩浆岩总成分的99.25%以上,其他的元素则不足1%。

岩浆岩主要是由 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 等氧化物组成,它们共占氧化物总质量的99.3%以上,被称为主要造岩矿物,其中又以 $\text{SiO}_2$ 的含量最多。所以,岩浆岩主要由硅酸盐组成,我们常根据岩浆岩中 $\text{SiO}_2$ 重量百分比将岩浆岩划分为五大类(表1-4)。

表 1-4 岩浆岩按  $\text{SiO}_2$  含量分类

| 岩类   | $\text{SiO}_2$ 含量(重量%) |
|------|------------------------|
| 超酸性岩 | >75                    |
| 酸性岩  | 65~75                  |
| 中性岩  | 52~65                  |
| 基性岩  | 45~52                  |
| 超基性岩 | <45                    |

岩浆岩中除上述主要造岩元素外,还含有很多分布广而量微的元素,如Ba、Sr、Li、Be、Zn、W、Pb、Ta、Pt等,它们可以富集成矿,如铯矿、铷矿等,也可以反映岩浆岩的形成过程。

## (二) 岩浆岩的结构和构造

岩浆岩的结构和构造特征是岩石形成环境和物理化学条件的真实写照,也是区分和鉴别岩浆岩的重要标志之一。所以,研究岩浆岩的结构、构造,不但可以对岩浆岩进行分类(相同成分的岩浆,在不同的环境条件下可以形成不同结构、构造的岩浆岩),而且还可以追踪岩浆岩

的形成条件和形成过程。

### 1. 岩浆岩的结构

岩浆岩的结构是指岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小、形态特征及彼此间的相互关系所反映出的特征。岩浆岩的结构可以有不同的分类方法,常见的有:

(1)按岩石结晶程度的结构划分。岩石的结晶程度是指岩石中结晶物质和非结晶物质的比例,根据结晶程度可将岩浆岩的结构划分为:①全晶质结构。岩石全部由结晶矿物组成的一种结构(图1-4左下),多见于深成岩中,如花岗岩、安山岩等都具有全晶质结构。②半晶质结构。岩石中既有晶体矿物,又有玻璃物质组成的一类结构(图1-4右下),多见于浅成岩、喷出岩中,如火山熔岩中常具半晶质结构。③玻璃质结构。岩石中全由玻璃物质组成的一类结构(图1-4上),主要见于喷出岩中,如浮岩、黑曜岩等。

(2)按矿物颗粒粒度大小划分。按照矿物颗粒粒度及肉眼可辨别的程度,可将岩浆岩的结构划分为显晶质结构和隐晶质结构两类。

显晶质结构是指矿物颗粒在肉眼下可以分辨的结构,可细分为:

粗粒结构:颗粒直径大于5mm;

中粒结构:颗粒直径为5~1.0mm;

细粒结构:颗粒直径为1~0.1mm;

微粒结构:颗粒直径小于0.1mm。

隐晶质结构是指颗粒非常细小,以致肉眼不能分辨,但在显微镜下可以看出晶粒,是浅成侵入岩和一些熔岩中常见的结构。

(3)按矿物颗粒的相对大小划分。

等粒结构:岩石中相同的主要矿物颗粒大小几乎相等,是侵入岩中的主要结构。结合矿

物颗粒的形状还可以细分为自形等粒结构、半自形等粒结构和他形等粒结构等三种类型。

**不等粒结构:**同种主要矿物颗粒大小不等的结构称之为不等粒结构,这种结构常见于侵入岩体的边部或浅成岩中。

**斑状和似斑状结构:**岩石中所有矿物颗粒可分为大小不同的两群,大的称为斑晶,小的则为基质,当基质由显晶质物质组成时形成似斑状结构,而基质由微晶质或隐晶质和玻璃质组成时则称其为斑状结构。斑状结构常见于浅成岩和喷出岩中,似斑状结构多见于浅成岩和部分中深成岩。

## 2. 岩浆岩的构造

岩浆岩的构造是指岩浆岩中不同矿物集合体间或矿物集合体与岩石的其他组成部分之间的排列充填方式,岩浆岩通常有以下四种构造类型:

(1)块状构造:矿物组分没有定向性而均匀分布所组成的一种构造,是岩浆岩中分布很广的一种构造形式,尤以深成岩中的分布最广,如花岗岩即为块状构造。

(2)流纹状构造:不同颜色的条纹所反映出的熔岩流的流动构造,有时沿流动条纹见有被拉长的气孔分布,多见于流纹岩、粗面岩。

(3)气孔状构造:岩浆溢出地表,压力骤降,其中挥发性成分以气体状态逸出,并聚集成气泡分散于岩浆岩中,加之温度降低和岩浆凝固,气体逸出,剩下孔洞便形成不规则状气孔构造,如浮岩、玄武岩中十分发育。

(4)杏仁状构造:具有气孔状构造的岩石,气孔被次生矿物如方解石、蛋白石等充填,便形成杏仁状构造,多见于喷出岩中,如山西中条山的安山岩便具有杏仁状构造。

## (三)岩浆岩的产状

岩浆岩的产状是指岩浆岩体在地壳中的产出形态和状态,包括岩体的大小、形状及其与周围岩体之间的关系和其所处构造环境,这里主要介绍几种主要的类型。

### 1. 火山岩(喷出岩)产状

火山岩的产状与火山的喷出形式和喷出物质的成分有着密切的关系。如果火山是一点突发的中心式喷发,则可形成单个火山或火山群(如大同火山群)。而有的是以线型的裂隙式活动,则形成线状火山群。

(1)熔岩流。岩浆喷出地表,沿着倾斜地表流动冷凝固结形成熔岩流,如勘察加汝帕诺华山麓的熔岩流。

(2)火山锥。岩浆沿火山颈喷出地表,冷凝形成圆锥状的岩体称为火山锥,其物质为火山喷发的碎屑及熔岩。

### 2. 侵入岩的产状

(1)岩基:表面积大于  $60\text{km}^2$  的一种规模庞大的深成侵入岩体。通常呈长圆形,长几十至几百公里,宽几至几十公里,同围岩的接触不规则。如我国陕西商县的蟒岭花岗岩为侵入于秦岭古生代和中生代地层中,长  $60\text{km}$  左右,宽  $10\sim 20\text{km}$ ,呈近东西向展布的岩基。

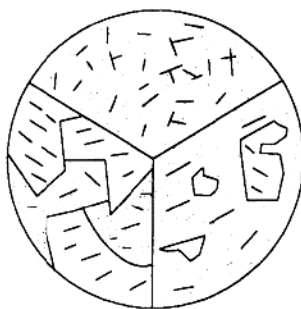


图 1-4 按结晶程度划分的三种结构

上:玻璃质结构

左下:全晶质结构

右下:半晶质结构