

普通高等教育规划教材

工程地质学原理

韩晓雷 编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

工程地质学原理

韩晓雷 编

机械工业出版社

工程地质学是高等院校土木工程专业的基础工程、岩土工程、路桥工程方向专业基础课。近年来,随着土木工程各学科教学计划及学时安排的调整,该课程的教学内容与学习侧重点也相应发生了变化。本书即是为适应这些调整而编写。

本书系统而简明地论述了工程地质学的基本理论,内容包括矿物与岩石、地质构造与岩体结构、风化作用、第四纪沉积地层与地貌、土的物理性质及工程分类、地下水的存在与类型、土的渗流理论、工程地质灾害和工程地质勘察,共九章。

本书主要供土木工程专业本科学生使用,也可供该专业的研究生、函授生、专科生及从事岩土工程专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质学原理/韩晓雷编. —北京:机械工业出版社, 2003. 3

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-11656-9

I. 工... II. 韩... III. 工程地质—高等学校—教材 IV. P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第008211号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:季顺利 冷彬 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年4月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mmB5·6.125印张·234千字

定价:16.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据近年来全国高等院校土木工程专业各学科方向《工程地质学》的教学变化需要而编写的。随着科学技术的不断发展,土木工程各学科方向的教学计划、学时安排也在不断调整或微调,工程地质学课程的内容、学习侧重点等也相应发生了一些变化。为了适应这些变化和调整,本书作者根据自己多年的工程地质学教学经验,在自己编写的《工程地质学课程讲义》的基础上,用了近三年时间编写了这本工程地质学教材,并将其定名为《工程地质学原理》。

本书共分九章,内容包括矿物与岩石、地质构造与岩体结构、风化作用、第四纪沉积地层与地貌、土的物理性质及工程分类、地下水的存在与类型、土的渗流理论、工程地质灾害和工程地质勘察。本书内容简明扼要,但对于所涉及的内容则注意了其系统性、发展性和严密性,并附有多幅作者自己拍摄和搜集的地质学照片,力求做到图文并茂;在每一章最后都附有一定数量的思考题和习题,以便于学习者加深对课程内容的进一步了解和消化。

本书由西安建筑科技大学韩晓雷编,刘有科在全书的编写过程中作了大量辅助工作,在此表示感谢。

本书是以土木工程专业中的结构工程、岩土工程、路桥工程方向等本科学生为主要读者对象而编写的,并可作为土木工程专业的工程硕士研究生、函授生、专科生的教学参考书或教材,亦可供从事岩土工程科研、勘察、设计、施工、管理及监理等工作的科技工作者和工程技术人员参考。

本书在编写及出版过程中得到了机械工业出版社的大力帮助和支持,在此深表感谢。

限于作者水平,书中难免存在某些错误或欠妥之处,诚请读者批评和指正。

韩晓雷

2002年10月于西安

目 录

前言		
绪论	1	
习题	3	
第一章 矿物与岩石	4	
第一节 地壳运动与地质作用	4	
第二节 地质年代	7	
第三节 矿物学简论	9	
第四节 岩石学简论	21	
第五节 岩石的工程性质	28	
思考题	31	
习题	31	
第二章 地质构造与岩体结构	32	
第一节 褶皱构造	32	
第二节 倾斜构造	37	
第三节 节理、劈理和片理	40	
第四节 断层	41	
第五节 岩层岩体的接触关系	43	
第六节 岩体的结构	44	
思考题	45	
习题	45	
第三章 风化作用	46	
第一节 物理风化作用	46	
第二节 化学风化作用	50	
第三节 影响化学风化作用的因素	52	
第四节 岩石风化的工程地质研究	53	
思考题	54	
习题	55	
第四章 第四纪沉积地层与地貌	56	
第一节 第四纪的概念	56	
第二节 第四纪沉积物的类型	57	
第三节 地貌学简述	62	
思考题	70	
习题	70	
第五章 土的物理性质及其工程分类	71	
第一节 土的组成、结构和构造	71	
第二节 土的物理性质指标	78	
第三节 无粘性土的特性	85	
第四节 粘性土的特性	87	
第五节 土的工程分类	92	
思考题	99	
习题	99	
第六章 地下水的存在与类型	101	
第一节 地下水的基本概念	101	
第二节 地下水的基本类型	106	
第三节 地下水的物理性质和化学成分	109	
思考题	115	
习题	115	
第七章 土的渗流理论	116	
第一节 概述	116	
第二节 土的渗透性及达西定律	116	
第三节 土的动水压力、流砂和潜蚀	122	
第四节 渗透作用下土的应力状态	124	
第五节 流网及其应用	128	
思考题	132	
习题	133	
第八章 工程地质灾害	134	
第一节 边坡的变形和破坏	134	

第二节	滑坡	137
第三节	崩塌	144
第四节	泥石流	148
第五节	岩溶和土洞	154
思考题		162
习题		162
第九章	工程地质勘察	163
第一节	概述	163
第二节	勘察阶段划分和各阶段	

任务		165
第三节	工程地质勘察方法	168
第四节	岩土参数的统计整理	180
第五节	工程地质勘察报告的	
内容		184
思考题		185
习题		186
参考文献		187

绪 论

地质学是研究地球的科学，是研究地球的形成、结构和发展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。

工程地质学是研究与土木工程设计、施工和正常使用等有关的地质学问题的科学，是地质学的一部分或一个分支。

一、岩土工程与地质环境之间的关系

截止目前，人类社会的一切建筑工程活动都是在地壳上一定的地质环境中进行的，这样一来，建筑工程与地质环境之间也就产生了某种必然的联系并相互制约。这种制约首先表现为地质环境可以影响建筑工程的稳定性和正常使用，危及人类工程活动的安全，使建筑工程造价大大提高等，其制约程度则视地质环境的具体特点和建筑工程活动的方式、规模而不同。

例如位于活动断层带和地裂缝上的建筑工程会因地裂缝的扩展或断层的活动而遭受破坏；因建筑结构类型、结构方案、地基处理方案和地质环境不匹配而造成的建筑物破坏或毁坏；位于不稳定土坡体上或土坡体附近的公路、铁道及建筑物因土坡体的失稳而遭受破坏等等。具体工程实例举例如下：

1) 位于地裂缝上的西安建筑科技大学旧图书馆和铁一局幼儿园教学楼以及西安化工六院某家属楼等的破坏；

2) 陕西澄合矿务局王村矿招待所门厅的破坏（结构设计不合理），长江某坝体的破坏（设计的钢筋混凝土坝体内没有钢筋——结构方案不合理）；

3) 陕西韩城矿务局桑树坪煤矿某斜井的报废（水文地质条件的影响）；

4) 1911年帕米尔高原巴尔坦格河谷的一次巨大山崩，崩落岩土体体积达36~48亿立方米，堵塞河流形成长75km，深262m的大湖；

5) 1983年3月7日发生在我国甘肃省东乡自治县洒勒山的大滑坡，滑动土石体近6000万立方米，滑坡宽近1200m，滑动距离约1600余m，在约3min的时间内冲毁村庄4个、死亡247人；

6) 1981年11月29日陇海铁路宝天段葡萄园附近的滑坡，滑动土石体600万立方米，200多米的铁路被掩埋、渭河被阻断，造成铁路多日停运，给国家造成极大的经济损失；

7) 1964年6月16日发生在日本新潟的地震，震级7.5级，约2890余幢房屋因地基液化失效而破坏（地基处理方案不合理）；

8) 1976年7月28日3时42分，发生于我国唐山的大地震，震级7.8级，倒

塌房屋 656138 间, 死亡 242769 人, 由于动荷载作用下的地基液化造成的房屋倒塌不在少数, 其中原唐山矿冶学院的图书楼因地基土液化下陷了一层半 (地基处理方案不合理)。

另一方面, 建筑工程活动反过来又会以各种方式影响地质环境, 并因此而引发工程事故。例如高坝水库的兴建引起的诱发地震, 因大型水库的修建引起的库区上游水文地质条件的改变 (大区域内的地下回水) 而引发的区域性坍岸, 人类开采活动造成的地面沉陷及陷落地震, 人类对水资源无节制的开采引起的地面下沉, 严重的环境污染及厄尔尼诺现象, 人工改变土坡形状造成的泥石流及土坡失稳。具体工程实例举例如下:

1) 1963 年 10 月 9 日意大利 Vaiont (瓦昂特) 高拱坝 (265.5m) 水库上游水文地质条件的改变 (大区域内的地下回水), 引起库岸巨型滑坡, 约 2.38 亿立方米的土石体以 95km/h 的速度从大坝上游峡谷区的左岸滑入水库, 激起巨大波浪, 巨浪高出水库蓄水位约 260m, 超越坝顶余 100m, 过坝水流冲毁了位于其下游的 5 个村镇, 致使 3000 余人丧生;

2) 因水库的修建诱发地震在世界范围内多次发生, 震级大于 6 级的就有四起: 1962 年 3 月 19 日发生于我国广东省新丰江库区的地震 (库区主要岩石为花岗岩), 震级 6.1 级; 1963 年 9 月 23 日发生于赞比亚和津巴布韦交界处的卡里巴水库库区的地震 (库区主要岩石为片麻岩), 震级 6.1 级; 1966 年 2 月 5 日发生于希腊克里马斯塔库区的地震 (库区主要岩石为石灰岩), 震级 6.3 级; 1967 年 12 月 10 日发生于印度柯依纳库区的地震, 震级 6.5 级;

3) 我国四川自贡在 1954 年和 1965 年两次发生陷落地震;

4) 我国山西大范围煤矿开采给公路的安全营运和新线路的建设均造成极大的问题;

5) 墨西哥的墨西哥城 (1910~1981 年的 70 年间最大下沉量达 890cm)、我国的上海 (1921~1965 年的 41 年间市区平均下沉量 300cm)、西安、大同等城市均因地下水的大量开采而造成了地面的大面积下沉, 日本全国地面沉降区域达 8450km², 80 年代以来还在继续扩大;

6) 在美国, 城市每天平均排放的废弃物达 640 万吨, 足足可以覆盖 1.6km² 的土地达 3m 厚;

7) 1981 年, 我国排放的废弃物达 4.3 亿吨, 给人们的生活环境造成了极大的污染, 遭受酸雨影响的农田面积达 960 万亩;

8) 我国台湾基隆河畔某地因修筑高速公路, 在河岸旁的山腰处进行开挖, 切断了层状岩体, 导致该地于 1974 年 9 月发生滑坡, 破坏了周围的村庄、道路, 阻断了河流。

上述种种情况都将使工程建筑活动变得复杂而多变, 因而在工程建设项目的

规划、设计和施工中都必须考虑与之有关的一切工程地质问题。

二、工程地质学的任务

工程地质学的主要任务是评价建筑工程场地的工程地质条件；预测工程建设项目的修筑对地质环境的影响以及地质环境对即将修建的工程项目的影 响；提出防止不良地质现象的措施，为工程项目的 设计提供所需的工程地质参数。

三、水文地质学

水文地质学又称地下水水文学，是研究与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈以及人类活动相关联的地下水的形成、分布、运动规律及其物理化学性质的学科，是工程地质学的重要组成部分。

四、岩土工程及其特点

人们以地壳的岩土体为对象而进行的一切利用、整治和改造活动等 都称为岩土工程。如建筑工程、水利工程、道路与交通工程、采矿工程、场道工程、军事与人防工程、能源工程 等都属于岩土工程的范畴。工程地质学、水文地质学、地质力学、土力学、岩体力学等构成了岩土工程的理论基础。综上所述，岩土工程主要具有涉及范围广、综合性强、实践性强等特点。

五、本课程讲述的主要内容

本课程讲述的主要内容包括：

- 1) 造岩矿物、岩石、岩体的概念及工程性质；
- 2) 地质作用、地质构造、地形地貌和第四纪沉积物；
- 3) 土的物理性质及其工程分类；
- 4) 水文地质学的基本原理；
- 5) 不良地质现象及其工程评价；
- 6) 工程地质勘察。

习 题

1. 简述岩土工程与地质环境之间的关系。
2. 简述工程地质学的任务和岩土工程的特点。

第一章 矿物与岩石

第一节 地壳运动与地质作用

一、地球的构造

1. 地球的形状和大小

经卫星测定，地球是一个“梨状体”，其南极内凹、北极外凸。地球的赤道半径 $R=6378.16\text{km}$ ；极半径 $R=6356.755\text{km}$ ；扁平率为 $1/298.25$ ；表面积为 $51 \times 10^8\text{km}^2$ ；体积为 $1.0820 \times 10^{12}\text{km}^3$ ；质量约为 $5.98 \times 10^{21}\text{t}$ 。从卫星上观察，地球是一个蓝色的球体（见图 1-1）。



图 1-1 卫星拍摄的地球照片

2. 地球的层圈构造

按组成地球物质的形态不同可将地球划分为外圈层和内圈层，其外圈层包括大气圈和水圈（生物圈）；而其内圈层包括地壳、地幔和地核（见图 1-2）。

地球大气圈的厚度大约有 2000 ~ 3000km。大气的成分复杂，但主要由氮气和氧气组成，总质量约为 5000 多亿吨，其中氮气约占空气总容积的 78%，氧气约占 21%。地球的大气圈按距离地球表面由近至远被依次划分为对流层（厚约 16~18km）、平流层（到约 50km 高空）、中间层（到约 85km 高空）、热层（到约 500~800km 高空）和散逸层。风霜雨雪、云雾冰雹等变化多端的大气现象都发生在对流层内。

地球的水是由地球诞生初期弥漫在大气层中的水蒸气慢慢凝结形成的，总水量约 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。水圈主要由海洋构成，海洋的面积约占地球表面积的 71%，海洋水约占地球总水量的 97.3%。陆地水以冰川水为主，分布在高山和两极地区，其余的陆地水分布在湖泊、江河、沼泽和地壳岩土体的空隙中。地球上动物、植物和微生物所存在和活动的空间又称为生物圈。

地壳是地球内层圈中的最外层，是地球内圈层最外部的一层薄壳，约占地球体积的 0.5%。地壳由坚硬的岩层和岩层风化后所形成的土层组成。组成地壳的物质主要是地球中比较轻的硅镁和硅铝等物质。地壳的上层为硅镁层，相对密度 $d_s = 2.6 \sim 2.7$ ，下层为硅铝层，相对密度 $d_s = 2.8 \sim 2.9$ 。地壳的下表面是莫霍（Moho）面，地震波在该处发生突变，该面以首先发现其存在的南斯拉夫地球物理学家命名。地壳最薄处约 1.6km（在海底海沟沟底处），海底部分厚约 6~10km，而其最厚处则约 70km。地球形成至今约有 45~46 亿年的历史，其地壳部分则是后来才形成的。按地壳中所含的放射性元素的衰减规律，目前测得的地壳年龄约为 38 亿年。人类的工程活动目前仍限制在地壳的范围之内。

地幔自莫霍面以下至深度约 2900km 的范围，约占地球体积的 83.3%，其上层主要由橄榄质超基性岩石组成，是高温熔融的岩浆发源地，也称软流层。地幔的下层为地表下约 1000~2900km 的范围，除硅酸盐外，该层中金属氧化物和硫化物的含量显著增加，物质比重也明显增大，物质呈固态。

地幔以下为地核，被分为外地核、过渡层和内地核三层。地表以下 2900~4642km 的范围为外地核，主要由熔融状态的铁、镍混合物及少量 Si、S 等轻元素组成，平均密度约 10.5 g/cm^3 。内地核厚约 1216km，主要成分是铁、镍等重金属，

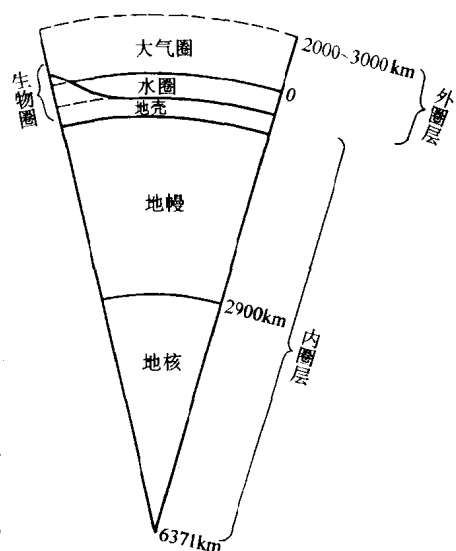


图 1-2 地球的层圈结构示意图

平均密度约 12.9g/cm^3 , 物质呈固体状态。位于外、内核之间的过渡层厚约 515km , 物质状态从液态过渡到固态。地核的总质量约占整个地球质量的 31.5% , 体积占 16.2% 。

按照地质学中的板块构造学说, 地壳并非是一个整体, 而是由若干块相互独立的巨大构造单元“拼凑”而成。这些巨大的构造单元被一些构造活动带和转换断层分割开来, 彼此之间又分别以不同的速度向不同的方向在地幔软流层上缓慢漂移。这样的巨大构造单元也被称为板块。目前认为, 对全球构造的基本格局起主导作用的有六大板块, 它们分别是: 太平洋板块、欧亚板块、美洲板块、非洲板块、大洋洲板块和南极洲板块。

二、地质作用

如前所述, 地壳只是地球内圈层最外面的一层极薄的薄壳。在地球形成至今的漫长地质演变历史中, 随着地球的转动和内、外圈层物质的运动, 地表的形态、地壳的物质以及地层的形态都在不断发生变化。这种变化一直发生, 永不停止。

导致地壳物质成份及地表形状、岩层结构、构造发生变化的一切自然作用都称为地质作用。这些作用有些进行得剧烈而又迅速, 较易为人们所觉察; 但在更多的情况下, 则进行得非常缓慢, 很难为人们直接觉察。这些作用虽然进行得十分缓慢, 但其作用痕迹却随处可见。图 1-3a 为广州附近七星岗海蚀地貌示意; 图 1-3b 为意大利那不勒斯湾古庙海蚀岩柱示意。它们是海陆变迁、地壳运动留下的有力证据。按地质作用力的来源不同, 可将地质作用划分为内力地质作用和外力地质作用。

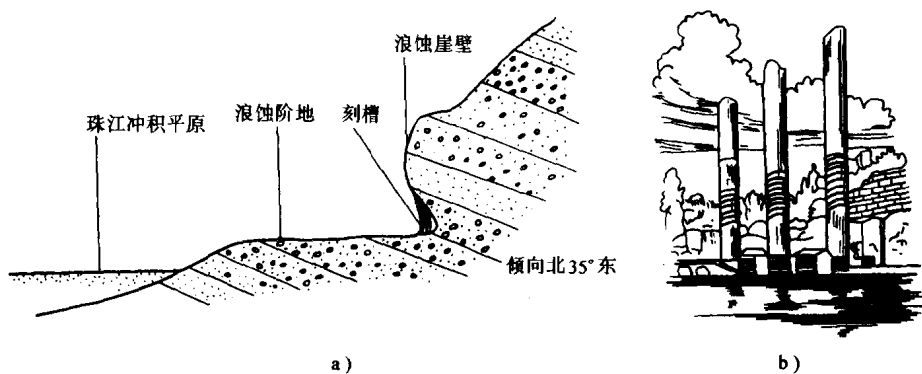


图 1-3

a) 广州附近七星岗海蚀地貌示意 b) 意大利那不勒斯湾古庙海蚀岩柱示意

1. 内力地质作用

由地球的旋转能和地球中的放射性物质在其衰减过程中释放出的热能所引起的地质作用称为内力地质作用。大多数的地震以及岩浆活动、地壳运动和变质作

用等都属内力地质作用现象。

2. 外力地质作用

由太阳的辐射能和地球的重力位能（包括其他星体的引力作用）所引起的地质作用称为外力地质作用。常见的外力作用现象有气温的变化、雨、雪、风、地面汇流、河流、湖泊、海洋作用、生物作用以及重力作用等等。

3. 地质循环

如果我们对前述各内力地质作用及外力地质作用现象进行归类，可将其划分为：风化剥蚀、搬运沉积、变质作用以及构造运动四种类型。这四种类型的地质作用在地壳上构成了一个巧妙的循环过程，见图 1-4。

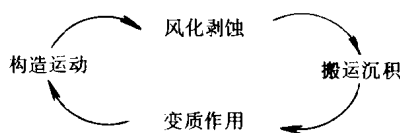


图 1-4 地质循环示意图

风化剥蚀使暴露于地壳表面的岩石破碎剥落，破碎剥落的岩石碎屑物质被一定的外力地质作用搬运后在一定的地质环境中沉积下来，当这些沉积下来的岩石碎屑物质埋入地下一定深处，就会在高温高压作用下变质成岩，变质成岩的岩体在构造运动作用下一旦暴露于地壳表面又会重新被风化剥蚀，进入下一个循环过程，我们称其为地质循环。

第二节 地质年代

在野外，我们经常可以见到一层又一层的沉积岩，它们是地壳在其漫长的发展历史中的某一时期形成的产物。在地质学上，通常将某一地质时期所形成的岩层称为这一地质时期的地层。层层重叠的地层构成了地壳历史的天然记录和物质见证。地质年代就是从地质学的观点出发，根据地球上的生物演化过程、地层的沉积环境和地壳的发展演变过程等划分的用以描述地层形成历史的时代段落。这种地质年代也称为相对地质年代，另一种是绝对地质年代。相对地质年代见表 1-1。

相对地质年代将整个地壳发展的漫长地质历史划分为五大代：太古代、元古代、古生代、中生代和新生代。第二个层次的地质年代为纪，纪以下又设有世。与地质时代的代、纪、世相对应的地层单位为界、系、统。距离我们最近的是新生代第四纪全新世（ Q_4 ）。新生代的上界距今约 7000 万年，第四纪的上界距今约 200～300 万年，全新世的上界距今约 10 万年。

绝对地质年代是用各种仪器和方法，经过测定某一时期的岩石样品中某些物质及其特性指标后，得到的该岩石形成至今的时间长短。常见的测试方法有铀-铅法、钾-氩法、古地磁法和碳-14 法等。

表 1-1 地质年代表

代(界)	纪(系)		世(统)	距今年数 (百万年)	地壳 运动	我国地史主要特点
新生代 K_z	第四纪 Q		全新世(Q_4) 晚更新世(Q_3) 中更新世(Q_2) 早更新世(Q_1)	2 或 3	喜马拉雅 运动	冰川广布,地壳运动强烈;人类出现
	第三纪 R	晚(N)	上新世(N_2) 中新世(N_1)			25
		早(E)	渐新世(E_3) 始新世(E_2) 古新世(E_1)			
中生代 M_z	白垩纪 K		晚白垩世(K_2) 早白垩世(K_1)	70	燕山 运动	大爬虫灭亡,哺乳动物出现;东部造山运动,岩浆活动强烈,形成了多种金属矿产
	侏罗纪 J		晚侏罗世(J_3) 中侏罗世(J_2) 早侏罗世(J_1)	135		恐龙极盛,鸟类出现;大部分地区已上升成陆地,主要岩石为砂页岩,为主要成煤期
	三叠纪 T		晚三叠世(T_3) 中三叠世(T_2) 早三叠世(T_1)	180	印支 运动	恐龙开始发育,哺乳类出现;华北为陆相砂、页岩,华南为浅海灰岩
古生代 P_z	晚古生代 P_{z2}	二叠纪 P	晚二叠世(P_2) 早二叠世(P_1)	225	海西 运动	两栖动物繁盛,爬虫开始出现;华北从此一直为陆地,主要成煤期,华南为浅海,晚期成煤
		石炭纪 C	晚石炭世(C_3) 中石炭世(C_2) 早石炭世(C_1)	270		植物繁盛,珊瑚、腕足类、两栖类繁盛;华北时陆时海,到处成煤,华南为浅海
		泥盆纪 D	晚泥盆世(D_3) 中泥盆世(D_2) 早泥盆世(D_1)	350		鱼类极盛,两栖类开始,陆生植物发展;华北为陆地,遭受风化剥蚀,华南为浅海
	早古生代 P_{z1}	志留纪 S	晚志留世(S_3) 中志留世(S_2) 早志留世(S_1)	400	加里 东运动	珊瑚、笔石发展,陆地生物出现;华北为陆地,华南为浅海,形成石灰岩
		奥陶纪 O	晚奥陶世(O_3) 中奥陶世(O_2) 早奥陶世(O_1)	440		三叶虫、腕足类、笔石极盛;以浅海灰岩为主,中奥陶世后华北上升为陆地
		寒武纪 ϵ	晚寒武世(ϵ_3) 中寒武世(ϵ_2) 早寒武世(ϵ_1)	500		生物初步大发展,三叶虫极盛;浅海广布,以沉积灰岩为主
元古代 P_1	晚 P_{12}	震旦纪 Z	晚震旦世(Z_2) 早震旦世(Z_1)	600	吕梁 运动	有低级生物藻类出现;开始有沉积盖层,上部为浅海相灰岩,下部为砂砾岩,变质轻微或不变质
	早 P_{11}	蓟沱纪		900		晚期造山作用强烈,所有岩石均遭变质
太古代 A_z	五台纪			约3800		五台 运动
	泰山纪					
				约3800		
地球最初发展阶段				>4500		

(1) 铀-铅法

铀是一种放射性元素。天然铀是两种长寿命同位素铀-235 和铀-238 的混合物，铀-235 占 0.7%，铀-238 占 99.3%。这两种同位素在经过一系列 α 和 β 衰变后最后都变成铅，在衰变过程中也生成氦。铀-235 的半衰期是 7.13×10^8 年，铀-238 的半衰期是 4.51×10^9 年，根据其衰变速度，测得岩石样品中放射性铀的原子数和衰变产物铅的原子数，就可确定岩石的绝对年龄。钾-氩法的原理同铀-铅法。

(2) 古地磁法

岩石内部都含有少量的磁性物质 (Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 等)，当岩石被加热到 675°C 或更高温度时，其原有磁性完全消失；但当其在地磁场中逐渐冷却时，受地磁场的影响，其磁性又会恢复并保持下来，这种磁性也被称为热剩余磁性。岩石的热剩余磁性和冷却过程中的地磁场之间保持一定的关系，古地磁法就是根据岩石的热剩余磁性及其与地磁场之间的关系和古地磁的变化规律来确定岩石的生成年代。

(3) 碳-14 法

在碳的同位素中，碳-14 具有放射性，其半衰期为 (5570 ± 30) 年和 (5730 ± 40) 年，目前我国统一采用其半衰期为 5730 年来进行古化石的地质年代测定，并通过古化石来确定近五、六万年以内形成的部分第四纪地层的生成年代。

第三节 矿物学简论

一、矿物的概念

矿物是地壳中的一种或多种元素在各种地质作用（自然作用）下形成的自然产物，是具有一定化学成分、内部构造和物理性质的自然元素或化合物。矿物是构成地壳的最基本物质。

由于矿物的化学成分比较固定，所以对于一些物质组成比较简单的矿物，我们常常用其化学分子式来表述矿物。例如石英 (SiO_2)、黄铁矿 (FeS_2)、磁铁矿 (Fe_3O_4)、方解石 (CaCO_3)、赤铁矿 (Fe_2O_3)、石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 等。它们与我们在实验室中接触的化学制品的差别在于前者是天然形成的，而后者则是人工制造的。因此我们也常将矿物称为造岩矿物。绝大多数的矿物呈固体状态。

二、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，例如正长石、斜长石、黑云母、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、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、磁铁矿等。

硅酸盐类矿物中常见的有长石类、云母类、辉石类及角闪石类等矿物。常见的长石类矿物有钾长石 (KAlSi_3O_8) 和钙长石 ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)，它们不太稳定，特别是在湿热气候条件下，风化速度很快。常见的云母类矿物有白云母和黑云母，这两种矿物相对都比较稳定，所以在细砂粒甚至粉粒中都能见到。云母类矿物是土中铁、镁、钾元素的重要来源。氧化类矿物主要有石英、磁铁矿、赤铁矿等。它们相当稳定，不易风化。造岩矿物中分布最为广泛有斜长石、石英、正长石和辉石等。自然界中常见的主要矿物将在介绍完矿物的鉴别标志之后举例介绍。

三、原生矿物和次生矿物

按矿物的形成、变化方式，可将造岩矿物划分为原生矿物和次生矿物。

1. 原生矿物

由地幔中的岩浆侵入地壳或喷出地面后冷凝而成，且未发生任何质及形态变化的矿物称为原生矿物，如正长石、斜长石，黑、白云母，辉石，角闪石，石英，方解石，磁铁矿等。

2. 次生矿物

次生矿物通常由原生矿物在水溶液中析出形成，也有的是在氧化、碳酸化、硫酸化或生物化学风化作用下形成。次生矿物有很多种，有难溶性盐类如 CaCO_3 和 MgCO_3 等；可溶性盐类如 CaSO_4 和 NaCl 等以及各种粘土矿物，其中最为主要的就是高岭石、伊里石和蒙脱石等粘土类矿物。

四、粘土矿物

粘土矿物是指具有片状或链状结晶格架的铝硅酸盐，它是由原生矿物中的长石及云母等矿物风化形成。粘土矿物的种类繁多，从微观结晶状态来区分可分为晶质矿物和非晶质矿物两大类。

对于非晶质矿物，由于其性状极其复杂，截至目前，人们对其研究还很粗浅。在结晶类矿物中，最主要的就是高岭石、伊里石和蒙脱石三个组群。上述三种粘土矿物，其内部形成的结晶最基本单元称为晶片，这三类粘土矿物的晶片有两种基本类型，即硅氧晶片和铝氢氧晶片。

硅氧晶片由一个硅原子和四个氧原子以相等的距离堆成四面体形状，硅原子居于最中央，硅氧四面体排列成六角形的网格，无限重复连成整体。四面体群排列的特点是所有尖顶点都指向同一个方向，其底面位于同一平面上，结晶形态和网格排列如图 1-5 所示。

铝氢氧晶片由一个铝原子和六个氢氧离子构成八面体晶形，八面体中的每个氢氧离子均为三个八面体所共有，许多八面体以这种形式连接在一起，形成八面体单位的片状构造。其结晶形态和网格排列如图 1-6 所示。

为了方便示意，硅氧和铝氢氧晶片常常如图 1-7 表示。

上述两种类型的晶片以不同的方式进行排列组合，就形成了不同类型粘土矿

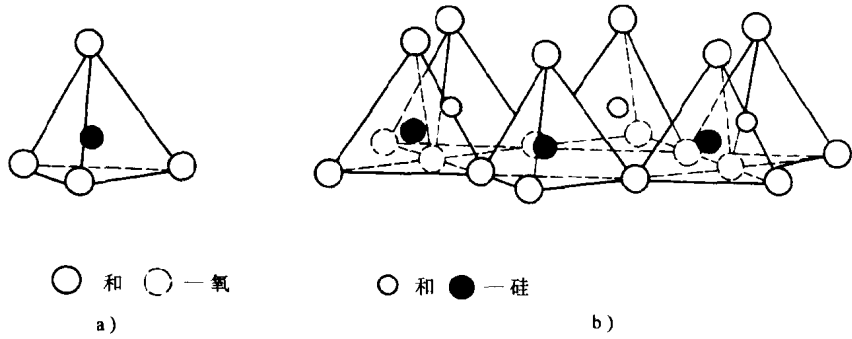


图 1-5 硅氧四面体构造示意图

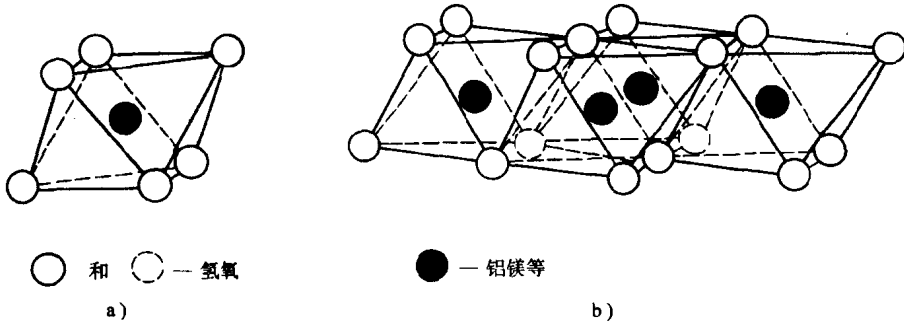


图 1-6 铝氢氧八面体构造示意图

物的基本构造单元或称晶胞。高岭石的晶胞由一个硅氧晶片和一个铝氢氧晶片组成，伊里石和蒙脱石晶胞基本相同，由两个硅氧晶片和一个铝氢氧晶片组成。三类粘土矿物的晶胞示意图如图 1-8 表示。

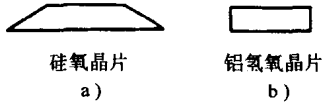


图 1-7 晶片类型示意图

粘土矿物的晶体结构就是其晶胞的叠合，三类粘土矿物的晶体结构示意图如图 1-9 表示。

高岭石矿物形成的粘粒较粗大，甚至可形成粉粒，其晶形一般呈一边伸长的六边形；蒙脱石矿物的晶格具有吸水膨胀的性能，相邻晶胞间的连结力较弱，以致可分散成极细小的鳞片状颗粒，晶体形状常呈不规则的圆形；伊里石晶胞由层间钾离子连结，其晶胞之间的连结力较蒙脱石矿物强，而较高岭石矿物弱，所以它形成的片状颗粒大小介于蒙脱石和高岭石之间。图 1-10 为三类粘土矿物晶形的显微照片。

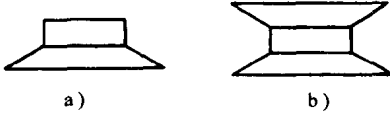


图 1-8 三类粘土矿物的晶胞示意图

a) 高岭石的晶胞 b) 伊里石和蒙脱石的晶胞

高岭石的名称源于中国景德镇高岭村，由长石、云母风化而成，结构式为