



普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材



# 工程地质学基础

主编 陈祥军  
主审 李 忠



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材

# 工程地质学基础

主 编 陈祥军

主 审 李 忠



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书为“普通高等教育土木与交通类‘十二五’规划教材”丛书之一，书中重点介绍了与铁路、道路、房建等土木工程专业方向密切相关的工程地质知识，主要包括以下内容：岩石的岩性及其工程性质，地质构造类型及其对工程的影响，与工程活动有关的地质作用，以及各类建筑工程的地质问题。在各章节内容取舍上，重点介绍基础知识和成熟的研究成果；同时，为了提高学生的学习兴趣，在有限的篇幅内适当的介绍一些工程实例。

本书可作为普通高等院校土木工程、道路、桥隧、水电以及海岸工程等专业教学用书，也可供工程地质、水文地质、土建工程、水电工程等相关专业的科技人员参阅。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程地质学基础 / 陈祥军主编. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2011. 12  
普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5084-9191-2

I. ①工… II. ①陈… 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(2011)第255717号

书 名	普通高等教育土木与交通类“十二五”规划教材 <b>工程地质学基础</b>
作 者	主编 陈祥军 主审 李忠
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>25.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

工程地质学是土木工程教学指导委员会指定的一门专业基础课，目前国内相关院校土木工程专业课程设置体系中，大都开设了《工程地质学》作为必修的专业基础课程。工程地质学主要研究并解决与土木工程设计、施工和正常使用等有关的地质学问题。通过《工程地质学》课程的学习，土木工程专业学生可以掌握一些基本的工程地质知识，具有一定的阅读工程地质资料、分析工程地质条件、解决工程地质问题的能力。

工程地质学是一个有多个分支学科的综合性学科，研究内容极为丰富。作为教材或教学参考书，面面俱到是不现实的。考虑到学时限制和土木工程专业方向的区别，本书重点介绍与铁路、道路、房建等土木工程专业方向密切相关的工程地质知识，主要包括以下内容：①岩石的岩性及其工程性质；②地质构造类型及其对工程的影响；③与工程活动有关的地质作用；④各类建筑工程的地质问题。鉴于学生在本课程之前地质知识基础薄弱。因此，在各章节内容取舍上，重点介绍基础知识和成熟的研究成果；同时，为了提高学生的学习兴趣，在有限的篇幅内适当的介绍一些工程实例。本教材适宜的教學学时为 40 学时左右，如果学时紧张，部分教学内容可以安排学生自学。

本书由石家庄铁道大学从事《工程地质》课程教学的几位老师共同编写。陈祥军担任主编，总体统筹并编绪论、写第 1 章、第 2 章，刘秀峰编写第 3 章的第 1~5 节，王伟编写第 3 章的第 6、7 节，孟硕编写第 4 章，温进芳编写第 5 章，谢世宏、陈祥军编写第 6 章。全书由李忠统一审阅定稿。编写过程中参考了大量的相关著作、教材、手册、期刊文章等，在此谨向这些作者表示衷心的感谢。

由于水平所限，谬误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。编者单位是：石家庄铁道大学土木学院工程地质教研室，邮编 050043。邮箱为：cxj9596@sohu.com。欢迎来信讨论。

**编 者**

2011.9

于石家庄

前言

绪论	1
0.1 工程地质学的学科性质	1
0.2 工程地质学的研究内容	2
0.3 工程地质学的发展历史	3
0.4 本书内容	4
第1章 矿物与岩石	6
1.1 概述	6
1.2 矿物	8
1.3 岩浆岩	14
1.4 沉积岩	21
1.5 变质岩	29
第2章 地质构造	35
2.1 构造运动	35
2.2 岩层及岩层产状	36
2.3 褶皱构造	40
2.4 断裂构造	44
2.5 地质年代	53
2.6 地质图	57
第3章 与工程活动有关的地质作用	64
3.1 概述	64
3.2 风化作用	65
3.3 地表流水的地质作用	69
3.4 地下水的地质作用	78
3.5 岩溶	88
3.6 重力地质作用	93
3.7 地震与活断层	110
第4章 岩石与土的工程性质	119
4.1 概述	119
4.2 岩石工程性质	123

4.3	岩体工程性质 .....	127
4.4	土的工程性质 .....	137
<b>第5章</b>	<b>各类岩体的工程地质问题 .....</b>	<b>152</b>
5.1	地下工程的工程地质问题 .....	152
5.2	边坡岩体的工程地质问题 .....	161
5.3	地基岩体的工程地质问题 .....	168
<b>第6章</b>	<b>工程地质勘察 .....</b>	<b>174</b>
6.1	工程地质勘察的任务、内容和工作程序 .....	174
6.2	工程地质勘察的方法 .....	177
6.3	各类建筑工区的勘察要点 .....	182
	<b>参考文献 .....</b>	<b>193</b>

# 绪 论

## 0.1 工程地质学的学科性质

地质学是研究地球的形成、成分、结构和发展规律，并利用这些规律为人类社会服务的科学，其研究领域十分广泛。工程地质学是地质学的一门分支学科，是工程科学与地质科学相互渗透、交叉而形成的一门边缘科学。工程地质学从事人类工程活动与地质环境相互关系的研究，主要研究解决与土木工程设计、施工和正常使用等有关的地质学问题。截至目前，人类社会的一切建筑工程活动都是在一定的地质环境中进行的，人类工程活动与地质环境之间始终处于既相互联系又相互制约的矛盾之中。利用地质学的基本理论，研究地质环境与人类工程活动之间的关系，促使两者之间的矛盾转化和解决，是工程地质学的基本任务。

人类工程活动与地质环境之间的关系，首先表现为地质环境可以危及人类工程活动的安全，制约工程活动方式及工程投资，影响工程建筑物的稳定性和正常使用等。例如，地球内部构造活动导致的强烈地震，顷刻间可使较大地域内的各种建筑物和人类生命财产遭受毁灭性的损失；地壳表面的软弱土体不适应于某些工业与民用建筑物荷载的要求，需进行专门的地基处理；地质时期内形成的岩溶洞穴因严重渗漏，造成水库和水电站不能正常发挥效益，甚至完全丧失功能；大规模的崩塌、滑坡因难以治理而使铁路改线等。人类工程活动与地质环境之间的关系，也表现在人类各种工程活动会反馈作用于地质环境，使自然地质条件发生变化，影响建筑物的稳定和正常使用，甚至威胁到人类的生活和生存环境。例如，滨海城市大量抽取地下水所引起的地面沉降，造成海水入侵、市政交通设施破坏和丧失效用、地下水水质恶化等；大型水库的兴建，使河流上、下游大范围内水文和水文地质条件发生变化，引起库岸再造、库周浸没、库区淤积、诱发地震等问题，甚至使生态环境恶化；人类开采活动造成的地面沉陷及陷落地震，人工改变斜坡形状造成泥石流及边坡失稳等。

解决地质环境与人类工程活动之间的矛盾，工程地质工程师必须要很好地研究建筑场址的地质环境，尤其要对那些可能对工程建筑物有严重制约作用的地质现象进行深入的研究；同时应充分预计到一项工程的兴建对地质环境的影响，以便采取相应的对策。工程地质的工作内容可以用一句话来概括，即评价工程地质条件与分析工程地质问题。在此，有必要明确工程地质条件和工程地质问题这两个基本概念的含义。

(1) 工程地质条件。即与工程建筑有关的地质条件的总和，包括地形地貌、岩土类型、地质构造、水文地质条件、物理地质作用及天然建筑材料等各个方面。工程地质条件是一个多因素的综合概念，不同地区的地质环境不同，各地质因素对工程建筑物的影响也有主次之分。工程师应该对当地的工程地质条件进行具体分析，明确主次，详细分析各因



素对工程建筑物有利的和不利的方面。工程地质条件直接影响到工程建筑活动的安全及建筑物的正常使用,兴建任何类型的建筑物都要首先查明建筑场地的工程地质条件,这是工程地质工作的基本任务。

(2) 工程地质问题。即工程地质条件与工程建设需求之间所存在的问题以及工程活动对地质环境的影响。优良的工程地质条件能适应建筑活动的要求,对建筑活动的安全、经济和建筑物的正常使用不会造成影响或损害;有一定缺陷的工程地质条件往往对建筑活动产生某种影响,甚至造成灾难性的后果。工程地质条件是自然界客观存在的,它能否适应工程建设的需要,取决于工程建筑物的类型、结构和规模。不同类型、结构和规模的工程建筑物对地质环境的要求是不同的,工程地质问题是复杂多样的。例如,工业与民用建筑的主要工程地质问题是场地稳定性、地基承载力和变形问题;地下工程的主要工程地质问题是围岩稳定性、地下水的危害问题;露天采矿场的主要工程地质问题是岩质边坡稳定性问题;水利水电建设中的工程地质问题包括坝基渗漏和渗透稳定性、坝基抗滑稳定和坝座抗滑稳定、水库渗漏、库周浸没、库岸再造以及船闸边坡稳定和渠系工程的渗漏和稳定问题等。工程地质问题的分析、评价,是工程地质工作的核心任务。

## 0.2 工程地质学的研究内容

作为一门独立的应用型学科,伴随着社会发展和科技水平的提高,工程地质学一直在不断充实与完善着自己的研究内容。目前工程地质研究主要涉及以下几个方面。

(1) 岩土工程地质性质研究。建造于地壳表层的任何类型的建筑物,总是离不开岩土体的。作为建筑材料或建筑环境的岩土体,其工程地质性质对建筑活动的意义重大。无论是分析工程地质条件,还是评价工程地质问题,首先要对岩土体的工程性质进行研究。这部分研究内容目前已形成“工程岩土学”这一分支学科,专门研究各类岩石的分布规律、成因类型及工程性质,也包含了各项工程地质参数的测试技术方法以及对岩土体不良性质进行改善、补强等方面的内容。

(2) 工程动力地质作用研究。动力地质作用包括由地球内力引发的地质作用、外力引发的地质作用及人类活动所引发的人为作用,是工程地质条件重要因素之一。工程地质作用往往影响工程活动的安全,制约着建筑物的稳定性、造价和正常使用。研究工程动力地质作用(现象)的分布、规模、形成机制、发展演化规律,分析预测所产生的不良地质问题,及时提出有效的防治对策和措施,这些工作是由“工程动力地质学”这一分支学科来进行的。

(3) 工程地质勘察理论和技术方法研究。工程地质学服务于工程建设的具体基础工作就是要进行工程地质勘察。工程地质勘察的主要目的是为工程建筑物的规划、设计施工和使用提供所需的地质资料 and 各项数据。由于不同类型、结构和规模的建筑物,对工程地质条件的要求以及所产生的工程地质问题不同,因而勘察方法的选择、勘察方案的布置及工作量使用等也都不尽相同。为了做好勘察工作,需要在查明建筑场区工程地质条件的基础上,对可能产生的主要工程地质问题进行确切的分析、评价。为了保证工程地质勘察的质量和精度,应该制定适用于不同类型工程建筑的勘察规范或手册,作为工程勘察的指导性





文件。当前我国有关部门已经编制出或正在编制国家标准的各类建筑工程的勘察规范或规程；并注意和推广新颖的勘察理论和技术方法。有关这方面的研究，由“专门工程地质学”这一分支学科承担。

(4) 区域工程地质研究。不同地域的自然地质条件不同，因而工程地质条件和工程地质问题也有明显的区域性分布规律和特点。为了提高国土资源开发利用效率和优化工程建设布局，必须研究不同地域工程地质条件的形成和分布规律，以进行区划。我国国土面积广大，自然地质条件复杂，开展这方面的研究更显重要。“区域工程地质学”主要承担这方面的研究工作。

(5) 环境工程地质研究。由于人类工程及经济活动对地质环境的反馈作用日趋广泛和深刻，造成地质环境不断恶化，甚至地质灾害频发，严重威胁着人类的生存和生活。为了合理开发、利用和保护地质环境，要建立起地质环境与人类活动之间的理论模式关系，科学地预测由于人类活动对地质环境的负面影响及其区域性变化。尤其是在大型水利水电工程、城市建设和矿产开发等方面要大力开展环境工程地质研究。“环境工程地质学”已成为工程地质学的新兴分支学科，地质灾害防治方面的工作近些年也越来越引起人们的重视。

### 0.3 工程地质学的发展历史

工程地质学是在人类工程活动实践中逐渐形成和产生的。在远古时代，人类就懂得利用优良的地质条件兴建各类建筑工程。早期人类工程活动规模小且建筑形式比较简单，涉及地质问题不突出，有关工程地质方面的工作大多是由地质学家或地理学家来完成的。工程地质学在国际上成为地质学的一门独立分支学科，仅有 80 年左右的历史。20 世纪 30 年代初，原苏联开展大规模的国民经济建设，促使了工程地质学的萌生。俄罗斯著名工程地质学家萨瓦连斯基、卡明斯基、波波夫等在工程岩土学、工程地质学等方面做了大量的理论与实践方面的奠基工作，1932 年莫斯科地质勘察学院成立了工程地质教研室，培养工程地质专业人才，工程地质学在前苏联开始形成了一门独立的学科。与此同时，欧美和日本等国家，在进行水利工程和其他工程建筑过程中，也开展了工程地质工作，但这些工作附属于建筑工程中，主要从事与工程建筑有关岩土工程地质性质和力学问题的研究。

经过数十年的发展，工程地质学的学科体系逐臻完善，已经成为一个有多个分支学科的综合性学科。为了促进工程地质科学的发展，方便各国学者的学术交流，在 1968 年召开的第二十三届国际地质大会上，成立了国际地质学会工程地质分会，后改名为国际工程地质协会，目前称为国际工程地质与环境协会。该协会下设多个专业委员会，定期进行学术交流，至今已召开了多届国际工程地质大会，每届大会所交流的学术论文内容非常广泛，涵盖各类岩土体工程地质性质勘察研究、与边坡和地下工程岩土体稳定性有关的工程地质问题研究、城市区的工程地质勘察研究，以及各类重大工程兴建时环境地质问题研究，等等。2010 年 9 月在新西兰奥克兰市召开的第十一届国际工程地质大会的主题是“地质活动对人类生活的影响”。

我国的工程地质学是在 1949 年新中国成立后才真正发展起来的。20 世纪 50 年代初



期,原地质部成立了水文地质工程地质局和相应的研究机构,并在原北京地质学院中率先设置水文地质工程地质专业培养专门人才,当时一些重大工程项目如新安江水电站、三门峡水电站等,都进行了较详细的工程地质勘察。随后国防、交通、城建等单位相继成立了勘察和研究机构,各类高等院校中也相继设立有关专业,在水利水电、铁路桥梁、城市规划、工业与民用建筑、矿山工程、大型地下开拓工程等方面进行了大量的工程地质工作,为工程的规划、设计、施工和正常运行提供地质依据,这不但保证了工程建设的顺利进行,而且丰富了工程地质学的研究内容。新中国成立60余年来,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、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8万余座水库、7万余公里铁路和百万余公里的公路、200余座金属矿山、500余座大型煤矿、千余座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—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。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。为了更好地促进我国工程地质学科的发展,1979年11月成立了中国地质学会工程地质专业委员会,并召开了我国首届工程地质大会,截至2008年已召开了八届大会和多次专题性学术讨论会。

## 0.4 本书内容

工程地质学是土木工程教学指导委员会指定的一门专业基础课,目的是使学生获得工程地质方面的基本理论知识,为学生应用工程地质知识分析解决工程专业问题打下基础。本书是为土木工程专业的工程地质课而编写的教材,主要包括以下内容。

**岩石的岩性及其工程性质:**不同的岩石,其成因及岩性特征不同,工程性质差异很大。在不同的岩石中进行工程施工,必须对这些岩石的工程地质性质有清楚的了解,才能确保工程建筑物的稳定和正常使用。

**地质构造类型及其对工程的影响:**由于地壳运动的影响,使岩层呈现出各种不同的构造形态,这些构造形态的性质及其分布特征是控制岩体稳定的重要因素,在设计和施工时必须考虑地质构造的影响。

**与工程活动有关的地质作用:**有些地质作用能在很短的时间内造成建筑物的剧烈破坏,有些地质作用会缓慢地侵害建筑物并最终造成建筑物破坏,了解这些地质作用的发生、发展规律,在设计施工时可以采取一定措施控制它们对建筑物的危害,以保证建筑活动的安全和建筑物的正常使用。

**各类建筑工程的地质问题:**在不同的工程建筑物中,地质环境所起的作用不同,相应的工程地质问题也不一样。地基岩体的主要工程地质问题是地基承载力和变形问题,在地下洞室中,作为周围岩体的主要工程地质问题是围岩变形和稳定性问题;边坡岩体的主要工程地质问题是边坡的变形与破坏问题。



通过本门课程的学习，学生应达到以下要求：能阅读一般的地质资料；根据地质资料在野外辨认常见的岩石，了解其主要的工程地质性质；辨认基本的地质构造及较明显、简单的不良地质作用，了解其对建筑的影响，并在专业设计和施工中能应用这些工程地质知识解决实际问题；了解取得工程地质资料的工作方法、工作内容及勘测、试验手段。

# 第1章 矿物与岩石

## 1.1 概 述

人类各种工程活动都是在地球表面上进行的，学习工程地质学首先应当对固体地球有一个大概的了解，特别应该了解地球表层——地壳的组成及演化特征。

### 1.1.1 固体地球的圈层构造及地壳的物质组成

固体地球的形状与旋转椭球体很近似，它的赤道半径稍大，两极半径稍小。借助对地球内部放射性元素的衰变速度分析，目前大多数地质学家认为地球从产生到现在经历了约46亿年。在地球漫长的发展历史中，由于地球物质不断发生分异作用，使地球内部分出了不同的圈层。地球物理研究得出，地震波在地球内部传播速度存在着两个明显的分界面：一个界面在33km（地壳）深处，纵波从6.5km/s增加到8.1km/s，横波由3.9km/s增加到4.5km/s，这个界面称为莫霍面；另一个界面在2891km深处，纵波从13.7km/s突然下降到8.0km/s，而横波不能通过此面，这个界面称为古登堡面。根据这两个界面，可将固体地球内部分为3个圈层，即地壳、地幔、地核，如图1-1所示。

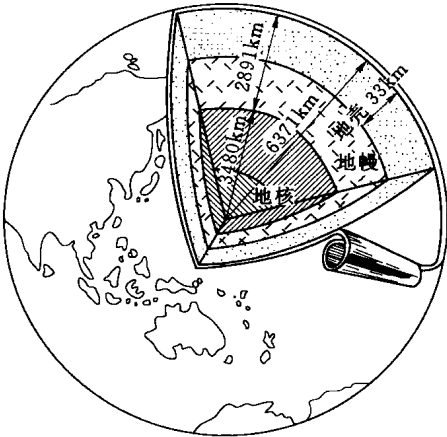


图1-1 固体地球的圈层构造

地壳是莫霍面以上由固体岩石组成的地球最外圈层。地壳平均厚度约18km，大洋地区地壳（洋壳）平均厚度7km，大陆地区地壳（陆壳）平均厚度33km。从根本上说地壳是由各种元素组成的，各种元素在地壳中的分布是不均衡的。1889年美国学者克拉克等人根据大陆地壳中的一些样品分析数据，第一次算出元素在地壳中的平均质量百分数（元素的丰度，也称克拉克值）。克拉克等采用的样品来自地面下16km以内大陆地壳，后来被分析的样品则不仅有采自地壳的岩石，还有来自天外的陨石。根据岩石和陨石的化学组分分析，这些元素在地壳中的平均质量百分数：氧为49.13、硅为26.00、铝为7.45、铁为4.20、钙为3.25、钠为2.40、钾为2.35、镁为2.35、氢为1.00、其他所有元素为1.78。地壳中的化学元素不是孤立地、静止地存在，它们随着自然环境的改变而不断地变化。这些元素在一定的地质条件下，结合成具有一定化学成分和物理性质的单质或化合物，称为矿物，如石墨、石盐等。由一种或多种矿物所组成的集合体，称为岩石，如花岗岩由石英、长石、云母等矿物组成，大理岩主要由方解石组成。矿物和岩石是组成地壳的基本单位。组成地壳的岩石，按其成因可分为3大类，即岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩浆岩是内



力地质作用的产物，由地壳深处的岩浆沿地壳裂隙上升冷凝而成；沉积岩是由先成岩石（包括沉积岩）经外力地质作用而形成；变质岩是由岩浆岩或沉积岩经变质作用而形成的与原岩迥然不同的岩石。

### 1.1.2 地质作用

地球自形成以来，在漫长的地质历史进程中，其成分和面貌时刻都在变化着。过去的大海经过长期的演变而成陆地、高山；陆地上的岩石经过长期日晒风吹逐渐破坏粉碎，脱离原岩而被流水携带到低洼地方沉积下来，结果高山被夷为平地。海枯石烂、沧海桑田，地壳面貌不断改变，具有了今天的外形。促使组成地球的物质成分、结构构造和表面形态等不断变化和发展的各种作用，统称地质作用。有些地质作用进行得很快并且很激烈，可以在瞬间发生，有时会造成一定灾害，如山崩、地震、火山喷发等。有些地质作用则进行得很缓慢，这些地质作用不易被人们所察觉，据最近资料，1990~1999年间，我国青藏高原平均上升量约20mm。地质作用总是由某些动力引起的，引起变化的动力，也称为地质营力。地质营力的主要来源有太阳辐射能、月球和太阳的引力能、地球的重力能、放射性元素蜕变能、地球自转的旋转能和结晶化学能等。根据能量的主要来源和地质作用进行的部位（地表或地下），地质作用分为内力地质作用和外力地质作用两大类。

由地球转动能、重力能和放射性元素蜕变的热能产生的地质动力所引起的地质作用，主要是在地壳中或地幔中进行的，称为内力地质作用。其表现方式有地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震等。

由地球自转速度的改变等原因，使得组成地壳的物质（岩体）不断运动，改变相对位置和形态，这个过程称为地壳运动。它是内力地质作用的一种重要形式，也是改变地壳面貌的主导作用。

岩浆是地壳深处的一种富含挥发性物质的高温、高压的黏稠硅酸盐熔融体，其中尚含有一些金属硫化物和氧化物。在地壳运动的影响下，由于压力的差异，岩浆从压力大向压力减小的方向移动，上升到地壳上部或喷出地表时冷却凝固成为岩石，这个过程称为岩浆作用。由岩浆作用而形成的岩石叫岩浆岩。

由于地壳运动及岩浆活动的影响，使早先形成的岩石受到高温、高压及化学成分加入的影响，在固体状态下，发生物质成分与结构、构造的变化，形成新的矿物和岩石，这一过程称为变质作用。由变质作用形成的岩石叫变质岩。

由于地球自转速度的不均一性，加上地壳内部热能的变化，使地壳各部分岩石受到一定的力（即地应力）的作用。地应力作用尚未超过岩石的弹性限度时，岩石会产生弹性形变，并把能量积蓄起来。当地应力作用超过地壳某处岩石强度时，就会在那里发生破裂，或使原有的破碎带重新活动，它所积累的能量急剧地释放出来，并以弹性波的形式向四周传播，从而引起地壳的颤动，产生震撼山岳的地震。

由固体地球范围以外的能源所引起的地质作用，称为外力地质作用。这类能源主要来自太阳辐射能以及太阳和月球的引力、地球的重力能等。外力作用的总趋势是削高补低，使地面趋于平坦，作用方式有风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩作用。

在常温、常压下，由于温度、水、气体和生物等因素的影响，使组成地壳表层的岩石发生崩裂、分解等变化，这个过程叫风化作用。按风化作用因素的不同，可以分为物理风



化作用、化学风化作用和生物风化作用 3 种。

将风化产物从岩石上剥离下来，同时也对未风化的岩石进行破坏，不断改变岩石的面貌，这种作用称为剥蚀作用。引起剥蚀作用的地质营力有风、冰川、流水、海浪等。陆地是剥蚀作用的主要场所。在地形起伏、气候潮湿、降雨量大的地区，剥蚀作用主要为流水的冲刷和侵蚀，使岩石遭受破坏；在干旱的沙漠地区，剥蚀作用主要为风对岩石的破坏。风的剥蚀作用包括吹扬作用和磨蚀作用。前者指风将岩石表面的松散砂粒或风化产物带走；后者指风所夹带的砂粒随风运行，对岩石表面发生摩擦磨蚀。

风化剥蚀的产物，在地质营力的作用下，离开母岩区，经过长距离搬运，到达沉积区，这一过程叫搬运作用。搬运和剥蚀往往是由同一种地质营力来完成的。如风和流水一边剥蚀岩石，同时又迅速将剥蚀下来的岩屑带走，两者是不能截然分开的。

经过一定距离的搬运之后，由于搬运介质搬运能力（风速或流速）的减弱，搬运介质物理和化学条件的变化或在生物作用下，被搬运的物质从风或流水等介质中分离出来形成沉积物，这个过程叫沉积作用。沉积作用的方式有机械沉积作用、化学沉积作用和生物沉积作用。

使松散沉积物转变为沉积岩的过程，称为成岩作用。在成岩作用阶段，沉积物发生的变化主要有压固作用、胶结作用和重结晶作用 3 种。

自地壳形成以来，内力和外力地质作用始终是相互依存，彼此推进的。由于地壳是内、外力地质作用共同活动的场所，因而工程活动所接触到的各种地质体无不留有内、外力地质作用的痕迹。

## 1.2 矿 物

矿物是在各种地质作用中形成的天然单质或化合物，具有一定的化学成分和内部结构，从而有一定的形态、物理性质和化学性质。它们在一定的地质和物理、化学条件下稳定，是组成岩石的基本单位。自然界中已发现的矿物达 3000 种左右，其中大部分矿物数量很少，分布也极为分散，这些矿物对岩石性质影响不大。在岩石中经常见到、明显影响岩石性质、对鉴定和区别岩石种类起重要作用的矿物，称为主要造岩矿物，大约有 20 多种。

正确识别和鉴定矿物，对地质工作者是非常重要的。鉴定矿物的方法很多，借助于各种仪器，采用物理和化学的方法，通过对矿物化学成分、晶体形态和构造及物理特性的测定，可以达到准确鉴定矿物的目的。随着现代科学技术的发展，鉴定矿物的方法还在不断地完善和创新之中。上述矿物鉴定方法中，有相当一部分需要高度精密的仪器和良好的实验室条件，在野外现场常因条件较差无法采用。野外现场多数采用肉眼鉴定法（即外表特征鉴定法），此法简便易行，主要是凭肉眼和一些简单的工具（小刀、钢针、放大镜、磁铁、条痕板等）来分辨矿物的外表特征（有时也配合一些简易的化学分析方法），从而对矿物进行粗略的鉴定。对于肉眼鉴别矿物来说，矿物的形态和物理性质有重要意义。

### 1.2.1 矿物的形态

在已知的 3000 余种矿物中，除个别以气态（硫化氢气等）或液态（自然汞等）出现



外，绝大多数均呈固态。固态物质按其质点（原子、离子、分子）是否有规则排列，可分为晶质体和非晶质体。内部质点按规律排列的物质称为结晶质，内部质点的排列没有一定规律的为非晶质体。应该指出，晶质和非晶质并非一成不变的，在一定的温度、压力条件下可以相互转化，如非晶质的蛋白石可以转化为结晶的石英。

在肉眼鉴定范畴，自然界所有的非晶质矿物及多数晶质矿物呈集合体出现，少量晶质矿物呈具有一定大小、肉眼可鉴别其形态的单晶体出现。矿物的形态指矿物的单体形态及矿物集合体的形态。矿物单体形态指矿物单晶体的形态，结晶质矿物的内部质点在三维空间呈有规律的周期性重复排列，形成空间格子构造，如岩盐的立方分子格架，如图 1-2 所示。结晶质矿物在晶体生长速度较慢、周围有不受干扰的自由空间时，就能够形成由晶面包围的、具有规则几何外形的自形晶体，如岩盐的立方晶体，如图 1-3 所示。实际上，在自然界中这种发育良好的自形晶体较少见，因为在晶体的生长过程中，受生长速度和周围环境的限制，晶面发育不完整，不能使晶体形成规则几何外形，而是形成不规则形状的晶粒，称为他形晶体，岩石中的造岩矿物多为粒状他形晶。非晶质矿物的内部质点排列没有规律性，因而不具有规则的几何外形。

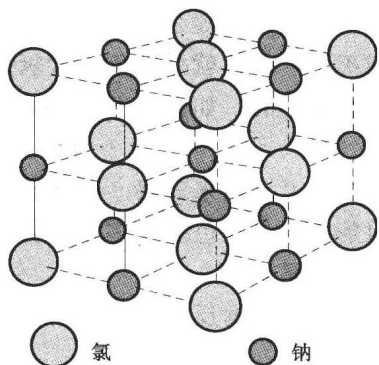


图 1-2 岩盐的立方分子格架

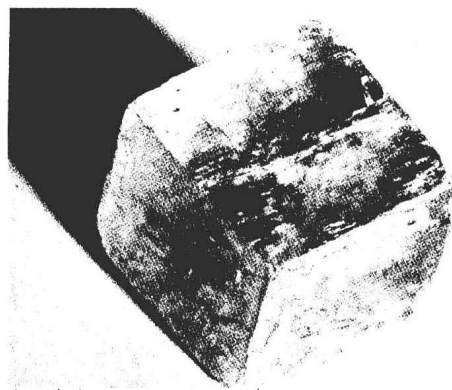


图 1-3 岩盐的立方晶体照片

结晶质矿物在发育生长过程中，在空间不同方向上，生长条件不同，生长速度是不同的。因此，有的形成针状或长柱状外形，有的形成片状或板状外形，有的则形成立方体或菱面体外形等。常见的矿物单体形态有：

- 片状、鳞片状，如云母、绿泥石等；
- 板状，如斜长石、板状石膏等；
- 柱状，如长柱状的角闪石、短柱状的辉石等；
- 立方体状，如岩盐、方铅矿、黄铁矿等；
- 菱面体状，如方解石、白云石等；
- 菱形十二面体，如石榴子石等。

各种结晶质和非晶质矿物，常按一定习性形成各种不同的集合体，常见的矿物集合体形态有：

- 粒状、块状、土状——矿物在空间 3 个方向上接近等长的集合体形态。若颗粒边界较



明显的称粒状，如橄榄石等；若肉眼不易分辨颗粒边界的称块状，如石英等；疏松的块状称土状，如高岭土等。

鲕状、豆状——矿物集合体呈具有同心构造的近圆球形。像鱼卵大小的称鲕状，如鲕状灰岩中方解石等；近似黄豆大小的称豆状，如赤铁矿等；有时还可见到不规则球形的葡萄状及肾状。

纤维状——如石棉、纤维石膏等。

钟乳状——如溶洞中沉积的方解石、褐铁矿等。

### 1.2.2 矿物的物理性质

由于矿物的化学成分或晶体构造不同，决定了每种矿物都表现出一些与其他矿物相区别的物理性质，因此可以根据矿物的物理性质来认识和鉴定矿物。下面介绍一些用肉眼观察或利用简单工具就能分辨的物理性质。

(1) 颜色。矿物固有的颜色与它的化学成分和内部结构有关，基本上是稳定的。例如，黄铁矿是铜黄色，橄榄石为橄榄绿色。但是由于矿物是自然形成的，一些因素会改变其固有的颜色，根据矿物颜色产生的原因，可将颜色分为自色、他色、假色3种。自色是矿物本身固有的颜色，取决于矿物的内部性质，特别是所含色素离子的类别。他色是矿物混入了某些杂质所引起的，与矿物的本身性质无关；他色不固定，随杂质的不同而异；如纯净的石英晶体是无色透明的，但含碳的微粒时就呈烟灰色，含锰就呈紫色，含氧化铁则呈玫瑰色。假色是由于矿物内部裂隙对光的折射等原因所引起的，如方解石解理面上常出现的虹彩。

(2) 条痕。矿物粉末的颜色，一般通过把矿物在素瓷板上擦划来观察。某些矿物的颜色和它的条痕色并不相同，例如铜黄色的黄铁矿，它的条痕色是黑色。大多数造岩矿物的条痕色都是无色或浅色的，条痕色多用于鉴别色调浓重的金属矿物。

(3) 光泽。光泽指矿物的新鲜光洁面反射可见光的能力。根据反射光的强弱，矿物光泽可分为下列3种：

1) 金属光泽。反光强烈，有闪耀现象，如方铅矿、黄铁矿等。

2) 半金属光泽。反光较强，如磁铁矿等。

3) 非金属光泽。是透明矿物所表现的光泽。根据其反光程度和特征又可分为下列数种：

金刚光泽——反光较强，闪烁烂漫，如金刚石等。

玻璃光泽——近似一般玻璃平面上的光泽，如长石、石英晶面等。

油脂光泽——由凹凸不平断裂面上光线漫射引起，如同涂上了油脂后的反光，如石英断口等。

珍珠光泽——如同珍珠或贝壳内面出现的乳白彩光，如白云母薄片等。

丝绢光泽——出现在纤维状集合体矿物上，如石棉、绢云母等。

土状光泽——裂面上反光暗淡，如高岭石及某些褐铁矿等。

(4) 透明度。矿物能够透过光线的程度，称为透明度。矿物的透明度取决于矿物对光线的吸收能力，除与矿物的化学性质、晶体构造有关，还明显地受厚度及其他因素的影响。某些看来是不透明的矿物，磨成薄片时却是透明的。为了消除厚度的影响，一般以矿





物的薄片(0.03mm)为准。透明度可以分为透明、半透明、不透明3级。

1) 透明: 绝大部分光线可以通过矿物, 隔着矿物的薄片可清楚地看到对面的物体, 如无色水晶、冰洲石(透明的方解石)等。

2) 半透明: 光线可以部分通过矿物, 隔着矿物薄片可以模糊地看到对面的物体, 如闪锌矿、辰砂等。

3) 不透明: 光线几乎不能透过矿物, 如黄铁矿、磁铁矿、石墨等。

概括地说, 所有金属矿物都是不透明矿物, 而大部分非金属矿物都是透明矿物, 有些矿物介于二者之间, 称为半透明矿物。

上述颜色、条痕、光泽和透明度都是矿物的光学性质, 是由于矿物对光线的吸收、折射和反射所引起的, 因而它们之间存在着一定的联系。矿物的颜色越深, 说明它对光线的吸收能力越强, 这样, 光线也就越不容易透过矿物, 透明度也就越差; 矿物的光泽越强, 说明投射于矿物表面的光线大部分被反射了, 这样通过折射而进入矿物内部的光线也就越少, 于是透明度也就越差。

(5) 硬度。矿物抵抗外力机械刻划的能力。通常是用“摩氏硬度计”(表1-1)中所列举的10种矿物作为对比的标准, 刻划待研究的矿物, 从而确定其硬度等级。例如, 欲测定的矿物能在石膏表面刻成划痕, 又能被方解石刻成划痕, 则该矿物的硬度等级定为2~3。在野外现场, 可利用指甲(2~2.5)、小刀(5~5.5)、石英(7)来粗略地测定矿物的硬度。摩氏硬度计中10种矿物的硬度是相对硬度, 并不是绝对硬度。矿物硬度的大小, 主要取决于它的内部质点的结合强度。例如, 以分子键结合的石墨(C)的硬度为1~2, 而以共价键结合的金刚石(C)是硬度最高的矿物。

表 1-1 摩 氏 硬 度 计

硬 度 等 级	矿 物 名 称	硬 度 等 级	矿 物 名 称
1	滑石	6	正长石
2	石膏	7	石英
3	方解石	8	黄玉
4	萤石	9	刚玉
5	磷灰石	10	金刚石

(6) 解理。矿物晶体受外力敲击时, 能够沿一定方向裂开的性能称为矿物的解理性, 开裂的平面称为解理面。矿物的解理性与其晶体构造有关, 解理面常平行于一定的晶面发生。由于晶体内部质点间的结合力在不同方向上不均一, 造成各种矿物解理方向的数目不一, 如云母有一个方向的解理、长石有两个方向的解理、方解石有3个方向的解理、萤石有4个方向的解理。根据解理面的完善程度, 可将解理分为极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理4个级别。

极完全解理: 极易沿一定方向劈开成一组薄片, 而且解理面平坦光滑, 如云母等。

完全解理: 一般易裂开成块状, 常有3组平整光滑的解理面, 如岩盐、方解石等(图1-4)。

中等解理: 一般易裂开成块状或板状, 常在两个方向上出现两组不连续、不平坦的解