

工程地质学

(第二版)

孔思丽 主编

重庆大学出版社

内容简介

全书由绪论及6章内容组成,主要介绍工程地质的任务及在土木工程中的作用;岩石组成物质,矿物的物理性质及常见造岩矿物,岩石的类型及其特征,岩石的工程地质性质;地壳运动与地质年代的划分,地质构造及其与工程的关系,岩体的结构类型及其工程地质特性;风化作用及残积层,地表流水的地质作用及坡积层、洪积层、冲积层,海洋的地质作用及海相沉积层,湖泊的地质作用及湖沼沉积层,冰川的地质作用及冰碛层,风的地质作用及风积层;地下水的物理性质与化学成分,地下水及其类型,地下水的运动规律与涌水量计算,地下水及其地质作用对土木工程的影响,地下水污染的概念、污染途径与方式及地下水污染的调查和监测;地震、崩塌与滑坡、泥石流、岩溶和土洞等常见的不良地质现象及其防止与处理原则;工程地质勘察的目的与任务,工业与民用建筑场地的工程地质问题,公路工程的主要工程地质问题,工程地质测绘与调查,勘探与试验工作,工程地质资料整理。

本书可作为土木工程专业教学用书,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质学/孔思丽主编.—2版.—重庆:重庆大学出版社,2005.6

土木工程本科系列教材

ISBN 7-5624-2396-2

.工... .孔... .工程地质—高等学校—教材 .P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第048423号

工程地质学

(第二版)

孔思丽 主编

责任编辑:谭敏 版式设计:谭敏

责任校对:李定群 责任印制:秦梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:281千

2001年10月第1版 2005年6月第2版第3次印刷

印数:9 001—13 000

ISBN 7-5624-2396-2

定价:17.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究。

第一版前言

本书系土木工程专业(本科)新编系列教材之一。土木工程涉及的工作范围是在地表或地下,所以对于从事土木工程专业的人员来说,工程地质学是一门重要的专业技术基础课。本书依据土木工程专业高级专业人才的培养要求,经系列教材编委会对内容的统一协调,在少而精原则的基础上编写而成。

建国 50 多年来,特别是改革开放以来,随着工程建设范围和规模的日益扩大,当代工程地质学已取得长足进步。本书为适应目前大土木工程专业发展的需要,在系统地介绍工程地质学基本原理和基本知识的同时,着重介绍各类岩、土的工程性质,几种常见不良地质作用的过程、产物及其不良后果在公路、桥梁、工业与民用建筑等工程中的防治措施以及公路、桥梁、工业与民用建筑等工程中常见的工程地质问题。为了提高环保意识,本书特增加了地下水污染一节,并适当反映了工程地质学的一些新进展。

对具体工程地质问题的分析,必须把定性分析和定量评价结合起来才能有效地解决问题,由于许多定量分析将在岩石力学、土力学等有关的内容中介绍,例如:边坡稳定计算,地基的变形计算等等,以及篇幅所限,且为了避免重复,某些定量分析未列入本书中。随着土木工程的日新月异,岩土工程试验在测试技术和仪器设备方面得到了飞速的发展,因此本书也无法全面介绍。全书重点放在常规的测试技术和仪器设备上。

全书由绪论及 6 章内容组成,绪论主要阐述了工程地质学的特点、任务、研究方法;第 1 章介绍了作为岩土材料地质构成的矿物和岩石的形成及其基本工程性质;第 2 章重点阐述了地质构造的特征及其对工程活动的影响;第 3 章重点阐述了第四纪沉积物的特征及其工程特性;第 4 章讨论了地下水的类型、特点及其与工程的关系;第 5 章分析了几种主要不良地质作用

的过程、产物及其不良后果的工程防治;第6章介绍了工程地质勘察的目的、任务、方法及其成果的整理。

本书由孔思丽、程辉共同编写,孔思丽任主编。编写的具体分工是:第1、2、4章由程辉编写;绪论、第3、5、6章由孔思丽编写,全书由孔思丽统稿。

由于编者水平有限,加之本书脱稿时间仓促,缺点和不足之处在所难免,敬请指正,以便我们进一步补充和修正。

在此,特向给予本书支持的同仁致以衷心的感谢。

作者

2001年5月18日

第二版前言

本教材是在 2001 年第一版的基础上根据重庆大学出版社土木工程本科系列教材昆明修订会的精神,并参考有关方面的意见修订而成。

本教材仍由绪论及 6 章内容组成,与第一版比较,主要做了下述的调整和修订:

1. 对第一版做了全面的校阅,对错误进行了更正;
2. 除对第 4 章地下水第 5 节的内容重新编写外,其余只对个别内容进行了修订;
3. 与新修订或新制定的国家标准有关的内容,采用新的国家标准;

由于兰州理工大学土木工程学院的程辉老师现在在国外工作,对第一版中由程辉老师编写的第 1 章、第 2 章、第 4 章内容由兰州理工大学土木工程学院胡燕妮老师对其进行修订。

第二版一定还存在不少差错和疏漏,敬请使用本书的教师、学生以及土建业务部门的同仁提出宝贵意见,不吝指正。

编者
2005 年 5 月 16 日

绪 论

0.1 工程地质学及其任务

工程地质学(engineering geology) 是地质学(geology) 的一个分科。它是调查、研究、解决与兴建各类工程建筑有关的地质问题的科学。其任务是: 评价各类工程建筑场区的地质条件; 预测在工程建筑作用下地质条件可能出现的变化和产生的作用; 选定最佳建筑场地和提出为克服不良地质条件应采取的工程措施, 为保证工程的合理设计、顺利施工和正常使用提供可靠的科学依据。

工程地质学包括工程岩土学、工程地质分析、工程地质勘察 3 个基本部分, 它们都已形成分支学科。工程岩土学的任务是研究岩、土的工程地质性质, 研究这些性质的形成和它们在自然或人类活动影响下的变化。工程地质分析的任务是研究工程活动的主要工程地质问题, 研究这些问题产生的地质条件、力学机制及其发展演化规律, 以便正确评价和有效防治它们的不良影响。工程地质勘察的任务是探讨调查研究方法, 查明有关工程活动的地质因素, 调查研究和评价建筑场地和地基的工程地质条件, 为建筑选址、设计、施工提供所需的基本资料。

在勘察中所掌握的工程地质条件, 对每一建筑工程来说, 都只是它兴建之前的初始条件。在很多情况下, 在建筑物的施工和运营当中, 即在人类建筑工程活动的影响下, 初始条件将发生很大的变化, 如地基土的压密、结构和性质的改变、地下水位的上升或下降及新的地质作用的产生等等。由人类建筑工程作用而引起工程地质和水文地质条件的变化, 在工程地质学中用“工程地质作用(现象)”这一专门的术语来表示它。工程地质作用(现象) 势必反过来对建筑物施加影响, 而有些影响则是很不利的。因此, 预测工程地质作用(现象) 的发展趋势及可能危害的程度, 提出控制和克服其不良影响的有效措施, 也是工程地质学的主要任务之一。

研究人类工程活动与地质环境之间的相互制约关系, 以便做到既能使工程建筑安全、经济、稳定, 又能合理开发和保护地质环境, 这是工程地质学的基本任务。而在大规模地改变自然环境的工程中, 如何按地质规律办事, 有效地改造地质环境, 则是工程地质学将要面临的主要任务。

随着生产的发展和研究的深入,一些新的分支学科也已形成,如:环境工程地质、海洋工程地质与地震工程地质等。20年前工程地质界提出了环境保护及其合理利用,现在已由方向性探讨发展到实质性研究。环境工程地质学开始向工程地质科学各领域渗透。环境工程地质学的基本观念,即人类工程活动可显著地影响环境,既可恶化环境,亦能改善环境。人类工程活动作为环境演化的积极而活动的因素及工程和环境的密切关联性已成为当今研究的重要方向。

工程地质条件是指与工程建设有关的地质条件的总和,它包括土和岩石的工程性质、地质构造、地貌、水文地质、地质作用、自然地质现象和天然建筑材料等几个方面。应强调的是,不能将上述诸点中的某一方面理解为工程地质条件,而必须是它们的总和。

由于工程地质条件有明显的区域性分布规律,因而工程地质问题也有区域性分布的特点,研究这些规律和特点的分支学科为区域工程地质学。

而工程地质问题则是指研究地区的工程地质条件由于不能满足某种工程建筑的要求,在建筑物的稳定、经济或正常使用方面常常发生的问题。概括起来,工程地质问题包括两个方面:一是区域(地区)稳定问题;二是地基稳定问题。不同工程对工程地质条件的要求各不一样。即使是同一类型的建筑,其规模不同,要求也不尽相同。当我们谈论工程地质问题时,必须结合具体建筑类型、建筑规模来考虑。例如,工业与民用建筑常遇到的工程地质问题主要是地基稳定问题,包括地基强度和地基变形两个方面,此外,溶岩土洞等不良地质作用和现象都会影响地基稳定;铁路、公路等工程建筑最常遇到的工程地质问题是边坡稳定和路基稳定问题;水坝(闸)常遇到的是坝(闸)基的稳定问题,其中包括坝基强度、坝基抗滑稳定、坝基和坝肩的渗漏和稳定以及坝肩稳定问题;隧道及地下工程常遇到的工程地质问题是围岩稳定和突然涌水问题等。工程地质问题,除与建筑工程类型有关外,尚与一定的土和岩石的类型有关,如黄土的湿陷问题、软土的强度问题、岩石的风化和构造裂隙的破坏问题,等等。

0.2 工程地质在土木工程中的作用

0.2.1 建筑场地与地基的概念

(1) 建筑场地的概念

建筑场地是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地,大体相当于厂区、居民点和自然村的区域范围的建筑物所在地。从工程勘察角度分析,场地的概念不仅代表着所划定的土地范围,还应涉及建筑物所处的工程地质环境与岩土体的稳定问题。在地震区,建筑场地还应具有相近的反应谱特性。

(2) 建筑物地基的概念

任何建筑物都建造在土层或岩石上。土层受到建筑物的荷载作用就产生压缩变形。为了减少建筑物的下沉,保证其稳定性,必须将墙或柱与土层接触部分的断面尺寸适当扩大,以减小建筑物与土接触部分的压力。建筑物地面以下扩大的这一下部分结构称为基础。由于承受由基础传来的建筑物荷载而使土层或岩层一定范围内原有应力状态发生改变的土层或岩层称为地基。地基一般包括持力层和下卧层。直接与基础接触的土层叫持力层,持力层下部的土

层叫下卧层。如下卧层承载力小于持力层承载力的称为软弱下卧层。地基在静动荷载作用下要发生变形,变形过大会危害建筑物的安全,当荷载超过地基承载力时,地基强度便遭到破坏而丧失稳定性,致使建筑物不能正常使用。因此,地基与工程建筑物的关系更为直接、更为具体。为了建筑物的安全,必须根据荷载的大小和性质给基础选择可靠的持力层。当上层土的承载力大于下卧层时,一般取上层土作为持力层,以减小基础的埋深,当上层土的承载力低于下层土时,如取下层土为持力层,则所需的基础底面积较小,但埋深较大,若取上层土为持力层,情况则相反。选取哪一种方案,需要综合分析、比较后才能决定。

(3) 天然地基、软弱地基和人工地基

未经加固处理、直接支承基础的地基称为天然地基。

若地基土层主要由淤泥、淤泥质土、松散的砂土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层所构成,则称这种地基为软弱地基。由于软弱地基土层压缩模量很小,所以在荷载作用下产生的变形很大。因此,必须确定合理的建筑措施和地基处理方法。

若地基土层较软弱,建筑物的荷重又较大,地基承载力和变形都不能满足设计要求时,需对地基进行人工加固处理,这种地基称为人工地基。

地基是否具有支承建筑物的能力,常用地基承载力来表达。地基承载力是指地基所能承受由建筑物基础传递来的荷载的能力。要确保建筑物地基稳定和满足建筑物使用要求,地基与基础设计必须满足两个基本条件: 要求作用于地基的荷载不超过地基的承载能力,保证地基具有足够的防止整体破坏的安全储备; 控制基础沉降使之不超过地基的变形容许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。良好的地基一般具有较高的强度和较低的压缩性。工程地质勘察报告中必须提供建筑场地岩土层的地基承载力值。

0.2.2 工程地质在土木工程中的作用

任何工程建筑物都是营造在一定的场地与地基之上,所有工程建设方式、规模和类型都受建筑场地的工程地质条件所制约。地基的好坏不仅直接影响到建筑物的经济和安危,而且一旦出事故,处理比较难。因此,在设计每一个建筑物之前,必须进行场地与地基的岩土工程勘察,充分了解建筑场地与地基的工程地质条件,论证和评价场地、地基的稳定性和适宜性、不良地质现象、软弱地基处理与加固等岩土工程的技术决策和实施方案。实践经验证明,岩土工程勘察工作做得好,设计、施工就能顺利进行,工程建筑的安全运营就有保证。相反,忽视建筑场地与地基的岩土工程勘察,都会给工程带来不同程度的影响,轻则修改设计方案、增加投资、延误工期,重则使建筑物完全不能使用,甚至突然破坏,酿成灾害。当前国际国内都存在这样一个问题: 重大工程建设中出现的灾害性事故,与工程地质有关的比例越来越大,除与工程地质勘察工作深度不够和质量不高外,还与设计、施工对工程地质勘察资料认识不足,设计方案、施工措施与地质条件针对性不强有关。工程实践中,地基基础事故较其他事故多见。不少地区已有不经勘察而盲目进行地基基础设计和施工而造成工程事故的实例,如某市东园1号商品房,建成7年后,因地基严重不均匀沉降,造成房屋严重裂缝和倾斜,住户不能安全使用,于1996年予以拆除重建。但更常见的是,贪快图省,勘察不详,结果反而延误建设进度,浪费大量资金,甚至遗留后患,例如某市房地产开发公司x号商住楼,于1993年12月竣工交付使用,在交付使用半年后,出现了较大的基础不均匀沉降现象,最大沉降量达200 mm,致使从基础到屋面产生多处裂缝,造成重大质量事故。1996年3月经有关专家小组论证采取地基加固,主

体加固补强的方案。经有关方面专家的多次鉴定论证,该事故造成的主要原因有以下几方面:

(1) 勘察方面

该楼地基平面上分布有 3 个溶洞,洞中软粘土分布不均,最厚达 20 m。灰岩地区(岩溶地区)的工程地质勘察工作,必须查明溶洞的深度,分布范围,并查清洞内土质的物理化学指标和地下水情况,而在该楼房的地基压缩层内,上述勘察要求没有达到。在已有的资料中表明,较稳定的 ~ 层地基上覆层仅 2.5 ~4.8 m,下卧层为高压缩性软粘土,厚度不均,且局部缺失,勘察未明确溶洞准确边界线以及软粘土的各项物理力学指标,给设计取值上造成一定的困难,而厚薄不匀的软粘土的压缩沉降是该建筑物产生不均匀沉降的主要原因。

(2) 设计方面

设计中对勘察资料分析不足,对建筑物地基下存在的软弱下卧层变形验算不够精确。建筑物结构选型不够合理。建筑物长为 64.24 m,采用素混凝土基础及钢筋混凝土基础,建筑物纵向刚度不理想,同时在地基不均匀的情况下未充分考虑解决不均匀沉降问题。

(3) 环境影响

在楼房竣工半年后距楼房南侧 6 m 处因封门溪改造开挖了一条截面 5.5 m× 6 m 的小河,该河床底标高低于基础底标高 1.5 m 左右,河水位低于基础地下水位。平时有浑水从溪的砌石护坡上的排水管中流出,出现地基中细小颗粒被水带走的现象,这加速了地基的变形,致使该楼在河道改建后短期内不均匀沉降现象迅速加剧。另外,在建筑物完成半年后,解放南路开始修建,同时在房屋四周回填了约 3 m 高的填土,这增加了基础的附加应力,也加速了地基的变形。

0.3 工程活动与地质环境

人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的,两者之间有密切的关系,并且是相互影响、相互制约的。

工程活动的地质环境,亦称为工程地质条件。地质环境对工程活动的制约是多方面的,它可以影响工程建筑的工程造价与施工安全,也可以影响工程建筑的稳定和正常使用。如在开挖高边坡时,忽视地质条件,可能引起大规模的崩塌或滑坡,不仅增加工程量,延长工期和提高造价,甚至危及施工安全。又如,在岩溶地区修建水库,如不查明岩溶情况并采取适当措施,轻则蓄水大量漏失,重则完全不能蓄水,使建筑物不能正常使用。

工程活动也会以各种方式影响地质环境。如房屋引起地基土的压密沉降,桥梁使局部河段冲刷淤积发生变化。在城市过量抽吸地下水,可能导致大规模的地面沉降,例如,美国内华达州 Las Vegas 城地面沉降灾害。早在 1905 年就开始抽取地下水供水,进行地面沉降观测研究已有 60 多年的历史,自 1935 年起开展地面沉降观测,至 20 世纪 90 年代地面沉降影响范围已达 1 030 km²。抽取地下水量超过地下水的补给量,导致地面逐年下沉。地面沉降及伴生的地裂缝和断层活动一起构成了 Las Vegas 城市地区严重的环境工程地质问题,且已形成灾害。其中最突出的是各类地面建筑物损坏,井管折断,部分给、排水管道和煤气管道切断。尤其是 20 世纪 80 年代至 90 年代的近 10 年来建筑物损坏数量显著增加,特别是处于断层和地裂缝带部位或相邻地段的建筑物损坏更为严重。据统计这 10 年中直接经济损失达 1 200 万美元。

而且在这些城区,地下水往往受到污染,地下水的污染除人工废弃物的直接污染外,还包含人类工程活动,如地下水开采、回灌等引起的来自自然环境中不良作用的污染。在斯里兰卡对研究 Kandt 地区的深层地下水开采条件下的水化学特征变化时,发现存在开采层外高矿化水入渗污染的可能性。而大型水库对地质环境的影响,则往往超出局部场地的范围而波及广大区域。在平原地区可能引起大面积的沼泽化,在黄土地区可能引起大范围的湿陷,在某些地区还可能产生诱发地震。

0.4 本课程的研究方法、任务和学习要求

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法应是地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等密切结合。即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。要查明建筑区工程地质条件的形成和发展,以及它在工程建筑物作用下的发展变化,首先必须以地质学和自然历史的观点分析研究周围其他自然因素和条件,了解在历史过程中对它的影响和制约程度,这样才有可能认识它形成的原因和预测其发展趋势和变化。这就是地质分析法,它是工程地质学基本研究方法,也是进一步定量分析评价的基础。对工程建筑物的设计和运用的要求来说光有定性的论证是不够的,还要求对一些工程地质问题进行定量预测和评价。在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,建立模型进行计算和预测,例如地基稳定性分析,地面沉降量计算,地震液化可能性计算等。当地质条件十分复杂时,还可根据条件类似地区已有资料对研究区的问题进行定量预测,这就是采用类比法进行评价。采用定量分析方法论证地质问题时都需要采用实验测试方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要的岩石的物理性质、水理性质、力学性质数据。通过长期观测地质现象的发展速度也是常用的试验方法。综合应用上述定性分析和定量分析方法,才能取得可靠的结论,对可能发生的工程地质问题制定出合理的防治对策。

我国地域辽阔,自然条件复杂,在工程建设中常常遇到各种各样的自然条件和地质问题,如康藏公路、青藏公路、天山公路等长大干线,三峡工程都是以地质条件复杂著称于世。为各类工程(公路、矿山、水利水电、工业与民用建筑等)服务的工程地质,均有其自己的特点。作为土木工程师,务必重视场地和地基的勘察工作,对勘察内容和方法有所了解,以便正确地向勘察部门提出勘察任务和要求。为此,必须具备一定的工程地质的科学知识,并学会分析和使用工程地质勘察报告,只有这样才能正确处理工程建设与自然地质条件的相互关系,才能正确运用勘察数据和资料进行设计和施工。

本课程是土木工程专业的一门技术基础课,它结合我国自然地质条件和公路、桥梁与隧道、房屋建筑工程的特点,为学习专业和开展有关问题的科学研究,提供必要的工程地质学的基础知识;同时,通过一些基本技能的训练,懂得搜集、分析和运用有关的地质资料,并正确运用勘察数据和资料进行设计和施工,对一般的工程地质问题能进行初步评价和采取处理措施。学习本课程最重要的是学会具体问题具体分析。

第 1 章

岩石及其工程地质性质

人类的工程建设活动是在地表或在地壳浅部的一定地质环境中进行的,任何工程建设都是修建在岩土体之上(地上建筑物,如房屋、水坝、道路、桥梁等)或岩土体之中(地下建筑物,如隧道、地下厂房、地下道路等)的,前者将岩土体作为地基,后者将岩土体作为修建环境。因此,研究岩石和土的工程地质性质是工程地质学的一个重要任务。本章将叙述岩石的有关问题,关于土的内容将在第3章中阐述。

1.1 岩石的组成物质——矿物

所谓岩石(rock),是指经地质作用形成的由矿物或岩屑组合而成的集合体。地壳是由岩石组成的,大部分地区地表面被松散堆积物(即土)覆盖,但在山崖或河岸石壁上能够裸露出来。岩石是人类最早利用的自然资源。有的岩石是由一种矿物组成的单矿岩(monomineralic rock),如纯洁的大理岩由方解石组成;有的岩石是由岩屑或矿屑组成的碎屑岩(clastic rock),如火山碎屑岩;而大多数岩石是由两种以上的矿物组成的复矿岩(polymineralic rock),如花岗岩由长石、石英等组成。

自然界岩石种类繁多,根据其成因可分为岩浆岩(火成岩)、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,就必须从矿物讲起。

1.1.1 矿物的概念

矿物(mineral)是地质作用形成的天然单质或化合物,它具有一定的化学成分和物理性质。由一种元素组成的矿物称为单质矿物,如自然金(Au)、自然铜(Cu)、金刚石(C)等;大多数矿物是由两种或两种以上的元素组成的化合物,如岩盐(NaCl)、方解石(CaCO_3)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)等。矿物绝大多数是无机固态,也有少数呈液体状态(如水、自然汞)和气态(如水蒸气、氦)以及有机物。固体矿物按其内部构造分为结晶质矿物和非结晶质矿物。结晶质矿物(crystalline mineral)是指矿物不仅具有一定的化学成分,而且组成矿物的质点(原子或离子)按一定方式作规则排列,并可反映出固定的几何外形。具有一定的结晶构造和一定几

何形状的固体称为晶体 (crystal)。如岩盐是由钠离子和氯离子按立方体格子式排列 (图 1.1.1)。非结晶质矿物 (amorphous mineral) 是指组成矿物的质点不作规则排列, 因而没有固定形状, 如蛋白石 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。自然界中的绝大多数矿物是结晶质。非结晶质随时间增长可自发转变为结晶质。

自然界中的矿物虽然外形奇异、色彩缤纷, 但由于矿物具有一定的化学成分和结晶构造, 就决定了它们具有一定的形态特征和物理化学性质, 人们常常用形态特征和物理化学性质来识别矿物。如上述自然金, 它具有粒状或块状等不规则外形、金黄色、不透明、硬度小、重度大、化学性质稳定、延展性强; 而岩盐呈立方体或粒状集合体, 纯净者无色透明、有咸味、重度小、易溶于水等。

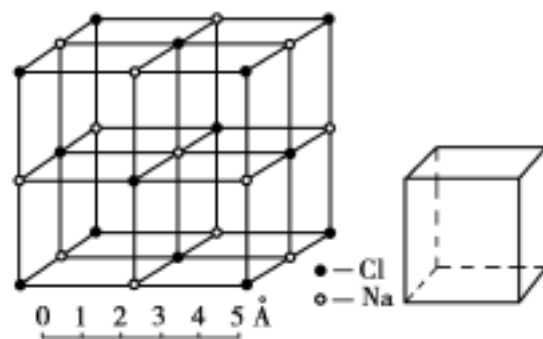


图 1.1.1 岩盐的内部结构和晶体

矿物是组成地壳的基本物质, 由矿物组成岩石或矿石。自然界中至今已发现的矿物有 3 000 多种, 目前被利用的只有 200 余种。随着科学技术的发展, 可利用矿物的数量将会越来越多。

由于国防、半导体、电子工业以及空间技术的飞速发展, 某些天然矿物, 尤其是晶体的产量已经远远不能满足需求。20 世纪 60 年代以来, 人工合成矿物 (晶体) 的研究与生产迅猛发展。人工方法获得的某些与天然矿物相同或类同的单质或化合物, 称为“合成矿物”或“人造矿物”, 如人造金刚石、人造水晶、人造云母、人造宝石等。此外, 地球上还有少量来自其他天体的天然单质或化合物, 称为“宇宙矿物”。

1.1.2 矿物的物理性质

矿物的物理性质, 取决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。矿物的物理性质有形态、颜色、硬度、解理、光泽、断口、条痕、透明度和重度等。矿物的物理性质特征是鉴别矿物的重要依据。

(1) 矿物的形态

形态是矿物的重要外表特征, 它与矿物的化学成分和内部结构以及生长环境有关, 是鉴定矿物和研究矿物成因的重要标志之一。



图 1.1.2 矿物的几种外形

矿物呈单体出现时, 由于晶体的习性使它常具有一定的外形, 有的形态十分规则。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 (图 1.1.2), 云母呈六方板状或柱状, 水晶呈六方锥柱状。

矿物单体的形态虽然多种多样, 但归纳起来可分为 3 种类型:

一向延伸 晶体沿一个方向特别发育, 呈柱状、针状或纤维状晶形, 如石英、辉锑矿、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。

矿物集合体 (aggregate) 是指同种矿物多个单晶聚集生长的整体外观, 其形态不固定, 常见

的有: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(形如菊花又称“菊花石”);簇状集合体,如石英晶簇。

自然界产出的矿物晶体多半发育不好,完整的矿物晶体是比较少见的。应当指出,矿物是否结晶与是否具有规则外形是两个概念。矿物晶粒常常挤在一起生长,使晶体不能发育成良好的晶形。只有当矿物在地质作用过程中有足够的空间和时间让其自由发育,方能形成良好的晶体。有些矿物化学成分相同,如石墨和金刚石都由元素碳(C)组成,由于它们所受地质作用性质不同,则形成的晶体结构不同,也就成为不同的矿物了。因此,矿物形态是识别矿物的重要依据之一。有些矿物的化学成分不同,如岩盐和黄铁矿,但都可呈立方体产出,可见矿物的形态又不是识别矿物的惟一依据。

(2) 矿物的颜色和条痕

矿物的颜色(color)是矿物对入射可见光中不同波长光线选择吸收后,透射和反射的各种波长光线的混合色。矿物的颜色自古引人注目,许多矿物就是以其颜色而得名。如黄铁矿(铜黄色)、赤铁矿(红色,又名红铁矿)、孔雀石(翠绿色)、褐铁矿(褐色)等。不透明的金属矿物颜色比较固定,而某些透明矿物常因含有杂质或因风化而出现其他颜色。如不含杂质的水晶是无色透明的,因含杂质呈现红色、紫色、黄色、烟色等。新鲜黄铁矿呈铜黄色,经风化后呈暗褐色。

矿物粉末的颜色称为矿物的条痕(streak)。一般是看矿物在白色无釉的瓷板上划出的线条的颜色。矿物的条痕色比矿物表面颜色更固定,如赤铁矿块体表面可呈现红、钢灰色,但条痕总是樱桃红色,因而更具有鉴定意义。

(3) 矿物的光泽

矿物表面反射光线的特点称为光泽(luster)。根据矿物新鲜平滑面上反射光线的情况将光泽分为:

金属光泽(metallic luster) 矿物表面反光最强,如同光亮的金属器皿表面,如方铅矿、黄铁矿。

半金属光泽(submetallic luster) 类似金属光泽,但较为暗淡,像没有磨光的铁器,如赤铁矿、磁铁矿。

非金属光泽(nonmetallic luster) 不具金属感的光泽。可分为金刚光泽——矿物反射光较强,像金刚石那样闪亮耀眼,如金刚石、闪锌矿等;玻璃光泽——反光较弱,像玻璃的光泽,如水晶、萤石等。

上述光泽都是指矿物的光滑表面——晶面或解理面上的光泽而言。倘若矿物表面不平坦或为集合体的表面或解理发育引起的光线折射、反射等等,均可出现特殊光泽:

珍珠光泽 光线在解理面间发生多次折射和内反射,在解理面上呈现的像珍珠一样的光泽,如云母等;

丝绢光泽 纤维状或细鳞片状矿物,由于光的反射相互干扰,形成丝绢般的光泽,如纤维石膏和绢云母等;

油脂光泽 矿物表面不平,致使光线散射,如石英断口上呈现的光泽;

蜡状光泽 像石蜡表面呈现的光泽,如蛇纹石、滑石等致密块状矿物表面的光泽;

土状光泽 矿物表面暗淡如土,如高岭石等松散细粒块体矿物表面所呈现的光泽。

(4) 矿物的解理与断口

矿物受力后沿一定方向规则裂开的性质称为解理(cleavage)。裂开的面称为解理面(cleavage plane)。如菱面体的方解石被打碎后仍然呈菱面体(图 1.1.3),云母可揭成一页一页的薄片。矿物中具有同一方向的解理面算一组解理,如方解石有三组解理,长石有两组解理,云母只有一组解理。各种矿物解理发育程度不一样,解理面的完整程度也不相同。按解理面的完好程度解理可分为:

极完全解理 极易劈开成薄片,解理面大而完整、平滑光亮,如云母;

完全解理 常沿解理方向开裂成小块,解理面平整光滑,如方解石;

中等解理 既有解理面又有断口,如正长石;

不完全解理 常出现断口,解理面很难出现,如磷灰石。



图 1.1.3 方解石的解理

矿物受力破裂后,不具方向性的不规则破裂面称为断口(fracture)。常见的有贝壳状断口(如石英)、参差状断口(如黄铁矿)、锯齿状断口(如自然铜、石膏等)等。

矿物解理的完全程度与断口是相互消长的,解理完全时则不显断口。反之,解理不完全或无解理时,则断口显著。

解理是矿物的一个重要鉴定特征。矿物解理的发育程度,对岩石的力学性质会产生重要的影响。

(5) 矿物的硬度

矿物抵抗外力刻划、压入、研磨的能力,称为硬度(hardness)。通常是指矿物相对软硬程度。如用两种矿物相互刻划,受伤者硬度小。德国矿物学家德里克·摩斯(Friedrich Mohs)选择 10 种软硬不同的矿物作为标准,组成 1~10 度的相对硬度系列,称为“摩氏硬度计”。10 种矿物如表 1.1。

表 1.1 摩氏硬度计

1 度	滑 石	6 度	正长石
2 度	石 膏	7 度	石 英
3 度	方解石	8 度	黄 玉
4 度	萤 石	9 度	刚 玉
5 度	磷灰石	10 度	金 刚 石

把需要鉴定硬度的矿物与表中矿物相互刻划即可确定其硬度,如需要鉴定的矿物能刻划长石但不能刻划石英,而石英可以刻划它,则它的硬度可定为 6.5 度。

在野外,利用指甲(硬度 2.5 度)、小刀(硬度 5.5 度)、玻璃片(硬度 6.5 度)来粗测矿物硬度,常常可以区分许多外观相似的矿物。

矿物表面因风化会使硬度降低,因而在测试矿物硬度时应在矿物单体的新鲜面上进行。



图 1.1.4 冰洲石的重折射现象

(6) 矿物的其他性质

矿物的相对密度、透明度、磁性、放射性等对鉴定某些矿物是很重要的,例如:磁铁矿和赤铁矿用磁铁极易区分;方解石和重晶石可以利用相对密度来区分;无色透明的冰洲石可以利用其特殊的重折射现象来鉴别(图 1.1.4)。

1.1.3 常见的造岩矿物

常见的矿物及其特征见表 1.2。

1.2 岩石的类型及其特征

自然界有各种各样的岩石,根据其成因可分为岩浆岩(火成岩)、沉积岩和变质岩三大类。

1.2.1 岩浆岩

岩浆(magma)是产生于地下的高温熔融体。其成分以硅酸盐为主,还具有数量不等的挥发性成分。岩浆沿着地壳薄弱带侵入地壳或喷出地表,温度降低,最后冷凝形成的岩石称为岩浆岩(magmatite)。岩浆喷出地表后冷凝形成的岩石称为喷出岩(extrusive rock);岩浆在地表下冷凝形成的岩石称为侵入岩(intrusive rock)。在较深处形成的侵入岩叫深成岩(plutonic rock),在较浅处形成的侵入岩叫浅成岩(hypabyssal rock)。

(1) 岩浆岩的矿物成分

组成岩浆岩的矿物种类很多,其主要矿物有石英、正长石、斜长石、角闪石、辉石、橄榄石及黑云母等。前三种矿物中硅、铝含量高,颜色浅,称为浅色矿物(light-colored mineral),后四种矿物中铁、镁含量高,颜色深,称为暗色矿物(dark-colored mineral)。

岩浆岩的矿物成分,是岩浆化学成分的反映。岩浆的化学成分相当复杂,但含量高、对岩石的矿物成分影响最大的是二氧化硅(SiO_2)。

(2) 岩浆岩的结构与构造

岩浆岩的结构(texture of magmatite)是指组成岩石的矿物的结晶程度、晶粒大小、形态及其相互关系的特征。岩浆岩的结构特征,是岩浆成分和岩浆冷凝环境的综合反映。

按结晶程度,岩浆岩的结构可分为:

a. 全晶质结构(crystalline):岩石全部由矿物晶体组成。它是在温、压降低缓慢,结晶充分条件下形成的。这种结构是侵入岩,尤其是深成侵入岩的结构。

b. 非晶质结构(glassy):又称为玻璃质结构。岩石全部由火山玻璃组成。它是在岩浆温、压快速下降时冷凝形成的。这种结构多见于酸性喷出岩,也可见于浅成侵入体边缘。

c. 半晶质结构(subcrystalline):岩石由矿物晶体和部分未结晶的玻璃质组成。多见于喷出岩和浅成岩边缘。

按矿物颗粒大小,岩浆岩的结构可分为:

a. 等粒结构(equigranular):岩石中矿物为全晶质,同种矿物颗粒大小相近(图 1.2.1 右)。

按粒径大小可分为肉眼(包括用放大镜)可识别出矿物颗粒的显晶质结构(phaneritic)和需要显微镜才能识别矿物颗粒的隐晶质结构(aphanitic)。

显晶质结构又可根据矿物颗粒大小进一步分为粗粒结构(矿物的结晶颗粒粒径大于5 mm)、中粒结构(矿物的结晶颗粒粒径5~2 mm)、细粒结构(矿物的结晶颗粒粒径2~0.2 mm)和微粒结构(矿物的结晶颗粒粒径小于0.2 mm)。



图 1.2.1 等粒结构(右)与斑状结构(左)

b. 不等粒结构(inequigranular): 岩石中同种矿物粒径大小悬殊。矿物颗粒可以从大到小连续变化,也可以明显地分成大小不同的两部分,其中晶形比较完好的粗大颗粒称为斑晶(phenocryst),小的结晶颗粒称为基质(groundmass)。如果基质为隐晶质或玻璃质,则称为斑状结构(图 1.2.1 左);如果基质为显晶质而斑晶与基质成分基本相同者,则称为似斑状结构。这是岩浆在地下深处温压较高,上升过程中温压缓慢降低,部分先结晶的矿物形成个体大的斑晶,随着岩浆上升到地壳浅部或喷出地表,未凝固的岩浆在温压降低较快的条件下迅速冷凝成隐晶质或玻璃质的基质。因而形成大小不等的两部分,即早期在地壳深处形成的斑晶和晚期在地壳浅部或地表形成的基质。斑状结构是浅成岩和喷出岩的重要特征之一。似斑状结构中的基质在地下较深处形成,一般为中粗粒矿物,主要出现于浅成岩和部分深成岩中。

岩浆岩的构造(structure of magmatite)是指岩石中不同矿物与其他组成部分的排列填充方式所表现出来的外貌特征。构造的特征,主要取决于岩浆冷凝时的环境。岩浆岩最常见的构造有:

a. 块状构造(massive): 组成岩石的矿物颗粒无一定排列方向,而是均匀地分布在岩石中,不显层次,呈致密块状。这是侵入岩常见的构造。

b. 流纹状构造(rhyotaxitic): 岩石中不同颜色的条纹和拉长的气孔等沿一定方向排列所形成的外貌特征。这种构造是喷出地表的熔浆在流动过程中冷却形成的。

c. 气孔状构造(vesicular): 岩浆凝固时,挥发性的气体未能及时逸出,以致在岩石中留下许多圆形、椭圆形或长管形的孔洞。在玄武岩等喷出岩中常常可见到气孔构造。

d. 杏仁状构造(amygdaloidal): 岩石中的气孔,为后期矿物(如方解石、石英等)充填所形成的一种形似杏仁的构造。如某些玄武岩和安山岩的构造。

结构和构造特征反映了岩浆岩的生成环境,因此,它是岩浆岩分类和鉴定的重要标志,也是研究岩浆作用方式的依据之一。

(3) 岩浆岩的分类及常见的岩浆岩

根据岩浆岩中 SiO_2 的含量,岩浆岩可分为下面几类:

酸性岩类(SiO_2 含量 $> 65\%$) 矿物成分以石英、正长石为主,并含有少量的黑云母和角闪石。岩石的颜色浅,重度小。

中性岩类(SiO_2 含量 $65\% \sim 52\%$) 矿物成分以正长石、斜长石、角闪石为主,并含有少量的黑云母及辉石。岩石的颜色比较深,重度比较大。

基性岩类(SiO_2 含量 $52\% \sim 45\%$) 矿物成分以斜长石、辉石为主,含有少量的角闪石

及橄榄石。岩石的颜色深, 重度也比较大。

超基性岩类($\text{SiO}_2 < 45\%$) 矿物成分以橄榄石、辉石为主, 其次有角闪石, 一般不含硅铝矿物。岩石的颜色很深, 重度很大。

常见的岩浆岩描述如下:

1) 酸性岩类

花岗岩(*granite*): 是深成侵入岩。多呈肉红色、灰色或灰白色。矿物成分主要为石英(含量大于20%)、正长石和斜长石, 其次有黑云母、角闪石等次要矿物。全晶质等粒结构(也有不等粒或似斑状结构), 块状构造。根据所含暗色矿物的不同, 可进一步分为黑云母花岗岩、角闪石花岗岩等。花岗岩分布广泛, 性质均匀坚固, 是良好的建筑石料。

花岗斑岩(*granite-porphyry*): 是浅成侵入岩。斑状结构, 斑晶为钾长石或石英, 基质多由细小的长石、石英及其他矿物组成。颜色和构造同花岗岩。

流纹岩(*rhyolite*): 是喷出岩。常呈灰白、浅灰或灰红色。具典型的流纹构造, 斑状结构, 细小的斑晶常由石英或透长石组成。

2) 中性岩类

正长岩(*syenite*): 是深成侵入岩。肉红色、浅灰或浅黄色。全晶质中粒等粒结构, 块状构造。主要矿物成分为正长石, 含黑云母和角闪石, 石英含量极少。其物理力学性质与花岗岩相似, 但不如花岗岩坚硬, 且易风化。

正长斑岩(*syenite-porphyry*): 是浅成侵入岩。与正长岩所不同的是具斑状结构, 斑晶主要是正长石, 基质比较致密。一般呈棕灰色或浅红褐色。

闪长岩(*diorite*): 是深成侵入岩。灰白、深灰至灰绿色。主要矿物为斜长石和角闪石, 其次有黑云母和辉石。全晶质中粗粒等粒结构, 块状构造。闪长岩结构致密, 强度高, 且具有较高的韧性和抗风化能力, 是良好的建筑石料。

闪长玢岩(*diorite-porphyr*): 是浅成侵入岩。灰色或灰绿色, 矿物成分与闪长岩相同, 斑状结构, 斑晶为斜长石或角闪石。基质为中细粒或微粒结构。

安山岩(*andesite*): 是喷出岩。灰色、紫色或绿色。主要矿物成分为斜长石、角闪石, 无石英或石英极少。斑状结构, 斑晶常为斜长石。有时具有气孔状或杏仁状构造。

3) 基性岩类

辉长岩(*gabbro*): 是深成侵入岩。灰黑、暗绿色。全晶质中等等粒结构, 块状构造。组成矿物以斜长石和辉石为主, 有少量橄榄石、角闪石和黑云母。辉长岩强度高, 抗风化能力强。

辉绿岩(*diabase*): 是浅成侵入岩。灰绿或黑绿色。结晶质细粒结构, 块状构造。矿物成分与辉长岩相似, 强度也高。

玄武岩(*basalt*): 是喷出岩。灰黑至黑色。矿物成分与辉长岩相似。具隐晶、细晶或斑状结构, 常具气孔或杏仁状构造。玄武岩致密坚硬, 性脆, 强度很高。

4) 超基性岩类

橄榄岩(*peridotite*): 是深成岩。暗绿色或黑色。组成矿物以橄榄石、辉石为主, 其次为角闪石等, 很少或无长石。中粒等粒结构、块状构造。

1.2.2 沉积岩

沉积岩(*sedimentary rock*) 是在地表或接近地表的条件下, 由母岩(岩浆岩、变质岩和早已