

交通系统中等专业学校试用教材(公路与桥梁专业用)

地质与土质

吴树培 编 崔瑞珍 审



DIZHI YU TUZHI
人民交通出版社



外
1
一
交通系统中等专业学校试用教材

地质与土质

(公路与桥梁专业用)

吴树培 编 崔瑞珍 审

人 民 交 通 出 版 社

交通系统中等专业学校试用教材

(公路与桥梁专业用)

地质与土质

吴树培 编 崔瑞珍 审

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.75 字数: 285千

1986年12月 第1版

1986年12月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—20,960册 定价: 1.75元

前 言

《地质与土质》教材根据1983年6月交通部教育局(83)教中字142号文《关于路桥专业教材编写问题的通知》列入路桥专业第二轮教材编写规划,并指定主编、主审单位和主编、主审人员。同年11月,交通部教育局委托交通部呼和浩特交通学校召开主编、主审人会议,讨论有关教材的编写内容,并对有关教学大纲作了局部调整与补充。本教材就是按照这次会议精神和修订后的教学大纲编写的。

交通中专路桥专业第一轮教材,曾将地质土质与筑路材料合为一门课。1983年起将地质与土质列为一门课,安排课堂教学60学时、课内实验20学时,修订内容比较广泛。编写时尽量将地质与土质学的有关内容与公路工程相联系,帮助学生建立一些专业基础知识。

本书内容除绪论外,共分两篇,计十章。第一篇主要是地质学的基础知识,其中第一章和第二章前两节,请呼和浩特交通学校曹广田提供初稿。第三章、第四章与公路工程联系多一些。第五章的编写内容,主要从公路工程角度出发,对一些不良地质现象进行分析研究,并介绍一些防治措施。第二篇是土质学的内容,除了叙述土的物理性质和物理状态以外,对土的工程地质性质及其与公路工程的关系,也作了一些介绍。其中第十章几种特殊土的工程性质,都联系到公路与桥梁工程设计施工方面的一些实际问题。为照顾全国不同的地理环境和不同的地质条件,第五章及第十章中许多地域性强的内容,请各省(区)兄弟学校的任课教师,作针对性的选择,专讲本地区常见的不良地质现象和特殊土的问题,不必面面俱到,以缓和学时比较少的矛盾。

本书第二篇土质学中所选用的符号,关于土的物理性质试验方法及其指标的计算方法,以及土的颗粒分析方法和工程分类,均以交通部颁布的《公路土工试验规程JTJ051-85》为准,便于学生学习规程和掌握规程。

本教材在编写过程中,曾向辽宁省交通工程学校宋大威、武汉地质学院工程地质教研室孙懋文、李智毅和杨裕云等同志征求意见,对他们热情帮助表示感谢。

本教材编写初稿,经交通部教育局指定交通部呼和浩特交通学校崔瑞珍同志主审定稿。

编者

1985年9月15日

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一篇 地 质 学

第一章 造岩矿物与岩石.....	7
第一节 造岩矿物.....	7
第二节 岩石.....	16
第二章 地质构造.....	36
第一节 地壳运动和地壳构造变动.....	36
第二节 地质作用和构造变动.....	40
第三节 地震与火山.....	52
第四节 地史和地质图.....	55
第三章 地貌.....	64
第一节 概述.....	64
第二节 流水作用.....	66
第三节 山岭地貌.....	72
第四节 平原地貌.....	76
第五节 河谷地貌.....	78
第四章 地下水.....	81
第一节 地下水概况.....	81
第二节 地下水的类型与特征.....	84
第三节 地下水对公路工程的影响.....	88
第五章 不良地质现象对公路建设的影响.....	89
第一节 崩塌.....	89
第二节 滑坡.....	91
第三节 岩溶.....	96
第四节 泥石流.....	99
第五节 沙漠.....	102

第二篇 土 质 学

第六章 土的组成.....	108
第一节 土的组织结构.....	108
第二节 土的三相体.....	111
第七章 土的物理性质及其指标.....	117
第一节 土的质量.....	118

第二节	土的含水量	120
第三节	土的孔隙性	123
第四节	土的物理性质指标的相互关系	126
第八章	土的水理性质	130
第一节	土的透水性	130
第二节	土的毛细性	133
第三节	粘性土的稠度和塑性	134
第九章	土的颗粒分析及工程分类	142
第一节	土的颗粒分析	142
第二节	土的工程分类	152
第三节	土的野外鉴别	158
第十章	几种特殊土的工程性质	161
第一节	软土	161
第二节	盐渍土	164
第三节	黄土	167
第四节	红土	170
第五节	膨胀土	171
第六节	冻土	175
第七节	饱水砂土	177

绪 论

一、地 质 学

(一)地质学的学习内容与学习方法

地质学研究的对象是地球。根据当代科学技术的发展成就,及人类的经济生活主要以地球表面为活动场所的实际,从经济角度研究地质学,主要的研究对象是地壳。由于地震和火山爆发对人类物质文明的破坏性,因而对地球深部的研究也受到普遍的重视。随着科学技术的飞跃发展,许多模拟试验方法和新的探测手段不断出现,人类对深层地壳以至地幔和地核的探索,都取得了不同程度的进展,为最终打开地球奥秘的大门,正在向前迈进。

公路与桥梁工程是人类物质文明建设的一个重要部分,它虽然建筑在陆地表面,但是为了选择稳定的公路或桥梁地基,必须研究构造地质学、地貌学、第四纪地质学以及地史学、大地构造学和地质力学。同时,公路与桥梁工程又是土木建筑工程的一部分,建设公路或桥梁的绝大部分材料,都直接取自地表的土或岩石,这就要求我们研究岩石(包括土)学和矿物学。二十世纪以来发展起来的一些新学科,如工程地质学、水文地质学及地震地质学,对公路与桥梁工程建设有更密切的关系,这都是我们必须涉及到的地质学的各个领域。研究地质学不仅要有数学、物理、化学、天文、生物、气象等方面的科学知识,还要有机械钻探、化学分析、物理勘探、高温高压试验、航空测量与摄影、卫星遥感遥测和电子计算等先进的技术手段。其中有许多先进技术,也是我们公路与桥梁工程勘测、设计所不可缺少的手段。因此,我们把地质学当作公路与桥梁专业的基础科学和实用科学来进行学习和研究。

地质学是一门自然科学,也要以辩证唯物主义为指导思想,从实地调查出发,经过分析推理,最后归纳总结,作出可靠的结论。按照一切物质都在运动,都在不断的改变着和新生着的观点,人们很不容易觉察到地质运动,这是因为地壳的发展过程慢到千百年不易看到它的变化,同时由于变化的范围和规模非常庞大,一个人的精力和时间难以找出某一变化的全貌,更难以找到它的变化规律。所以,地质工作者首先注重观察野外不同的地质现象,借以获得感性认识,搜集并积累大量的感性材料,经过分析比较和推理,得出有规律性的东西。其次是实验和模拟试验,以便对矿物、岩石进行宏观和微观的研究,以及内外动力地质作用的研究,等等。第三是用历史对比的方法,根据地壳运动过程中留下的遗迹,与现代的地质作用或地质现象作比较,以了解地球发展史和地质作用发展的规律性。我们公路与桥梁工程的发展历史,与地史相比,不过是一瞬间,其所涉及到的规模也十分有限。我们学习的重点是地壳表面岩层及其覆盖土层的物理力学性质,以便选取稳定的地基和良好的筑路材料。

我们学习地质学的主要方法应是读教科书,并参考阅读地质学的其它基础材料,通过检视矿物和岩石标本以及一部分构造模型,以建立初步的感性认识;再辅以野外地质调查实习,巩固这些感性知识和书本知识,理论联系实际,掌握与公路、桥梁工程有关的一部分基本知识。如造岩矿物的物理性质,地表岩层的工程性质,以及地质构造、地貌、水文地质和第四纪地质学,以便为工程建设服务。

(二)地球的圈层构造

1. 宇宙与地球

(1) 宇宙的简单概念 宇宙空间散布着无量数的、处于不同物质层次的、各种类型的天体, 包括恒星、行星、卫星、彗星、流星, 以及脉冲星、类星体等等。在遥远的太空, 我们可看到无数天体所组成的星云、星团、星系、星系团和超星系团。目前人类造出的最大光学望远镜, 可以观测到 1×10^{10} 光年^① 之内的目标。在这个空间范围, 可以观测到以十亿计的、象银河系那样大的星系。我们所在的银河系, 就现代所知道的宇宙来说, 不过是它的数十亿分之一。由此可见, 地球是多么的渺小了。

(2) 银河系与太阳系 银河系是一个巨大的恒星星系。向太空望去, 象一片发光的星云, 故又称为恒星云。它大约由 14×10^{10} 个恒星和大量星际物质所组成, 其主要组成部分在天空上的投影就是我们在地面看到的银河。

银河系的庞大物质体系, 形成一个中心厚、四周薄的大圆盘, 称为银盘, 它的外形好象一副铙钹面对面的合在一起 (见图 0-1)。圆盘直径约为 25 kpc (千秒差距)^②, 中心部分象一个扁平的球, 称作核球, 核球的半径约为 5 kpc。组成银河系的主要天体是恒星, 包括太阳在内的恒星质量, 约占银河系总质量的 90%, 其余为星际尘埃和气体等物质。银河系的所有天体包括整个银河系本身, 都在不停的运动着。据测算: 在太阳附近的银河系自转角速度每年 $5.3'' \times 10^{-8}$, 自转圆速度 250 km/s。

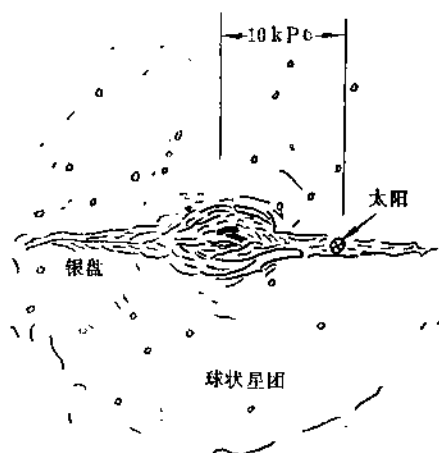


图0-1 银河系示意图—银盘平面

太阳是银河系中的一颗普通恒星。太阳带着整个太阳系的星体, 包括地球在内, 随着银河系运动。太阳位于银盘平面偏北约 8 pc, 与银心的平均距离约 10 kpc (见图 0-1)。太阳绕银心的公转运动与地球绕太阳的公转运动相似。太阳绕银心公转一周的时间称为一个宇宙年^③, 约相当于地球绕太阳公转 3 亿圈的时间, 即约等于 3 亿年。

(3) 太阳与地球的关系 太阳系中有 9 个大行星, 地球是其中之一。由于地球距太阳较近, 太阳对地球有着明显的影响。太阳的质量是地球质量的 33 万倍, 体积则为 130 万倍。太阳是一个炽热发光的星体, 内部不断的热核反应, 向外不断辐射能量, 使地球上的大陆、海洋、大气和各类生物都受到重要影响。太阳活动还会加剧这一些影响。同样, 太阳系的每个天体, 包括月球在内的所有活动, 或多或少的对地球都有一定的影响。近年来有一些科学家把银河系运动与地质现象联系起来研究, 另立一门新的边缘科学叫天文地质学, 它探索地质演变与银河系和太阳系等天体演变的关系。

2. 地球的一般概念

地球是一个巨大的实心椭球体, 长轴 (赤道) 半径 $a = 6378.1725 \text{ km}$, 短轴 (极) 半径 6358.7986 km , 体积 $1.08 \times 10^{21} \text{ m}^3$, 质量约 $6 \times 10^{24} \text{ kg}$, 平均密度约 5.5 g/cm^3 , 表面积 $5.1 \times 10^{14} \text{ m}^2$, 其中海洋面积占 70.8%, 陆地面积仅占 29.2%。地球表面的最大高差约 20000 m, 最高是喜马拉雅山的珠穆朗峰 8848.13 m, 最低是马里亚纳海沟, 海平面以下 11034 m。由于地球

① 光速一年所走的距离。光速为 $3 \times 10^8 \text{ km/s}$, 一光年的距离为 $9.46 \times 10^{12} \text{ km}$, 是测量天体间距离的长度单位。

② pc 为秒差距, 是测量天体间距离的长度单位。1 pc = 3.26 光年 或 $30.86 \times 10^{12} \text{ km}$; kpc 是千秒差距, $25 \text{ kpc} = 8.15 \times 10^4$ 光年。

③ 宇宙年又叫银河年, 宇宙年约等于 3 亿年。准确的算法在天文学者中尚有争论。

的质量很大,在地表面的物体都要受到强大的吸引力,这就是重力。地球的巨大磁性在它的周围形成了地磁场,磁极与轴极相差约 14° 左右。地球内部储存着巨大的热能。温泉就是深层的地下水吸收地热,提高了温度后流出地面的自然热水;火山爆发也是地球释放热能的又一种形式。地球的构造是指地球的组成物质在空间的分布和它们彼此间的关系。从地球的现状看,它不是一个均质体,是由不同的物质和不同的物质状态所组成。最外层是大气圈,在地球表面有水圈和生物圈,地壳是球壳,地壳以下的地幔和地核是球的内部。通常将地壳及地壳以下的部分称为内圈层(图0-2),其余称为外圈层。



图0-2 地球内部圈层构造示意

3. 地球外部圈层

(1) 大气圈 地球表面以上的空间,散布着一层很厚的混合气体,在地表面上的密度最大,愈向高空密度愈小,到3000km的高空,还可捕捉到气体分子,这一层气体就是通常所说的空气或大气。大气的主要成分是氮、氧、二氧化碳、二氧化氮和水气,还杂有少量的稀有气体和尘埃。根据大气圈的组成不同和性质不同,自下向上又可分为对流层、平流层、电离层和扩散层。其中对流层厚度(从极地到赤道)约8000~16000m,因受地心引力作用,这一层大气的密度最大,约占大气总质量的79%。地球表面的气候变化,如风、云、雨、雪、冰雹、闪电也都在这一层中发生。由于大气的温度变化,以及雨水和氧、碳酸气等的侵蚀作用,对地壳表层岩石的形成和风化,都不断地产生直接影响。

(2) 水圈 地球表面的海洋面积占70.8%,再加上陆地上的江河、湖泊、冰川、沼泽和地下水,成为包围地壳的不十分连续的圈层,称为水圈。此外还有少量的水藏在生物体内或岩层矿物的结晶中。地球水圈中的水,在太阳辐射的热作用下,不断被蒸发进入大气,遇冷凝结,又受重力作用降落到地面,形成地表径流。流水动能和水中携带的 CO_2 ,对地壳岩石具有很大的破坏力,成为改变地表面貌的重要因素。即地壳表层岩石在流水作用下,不断的被破坏、搬运、沉积,使先成岩石逐渐被剥蚀,新的岩层逐渐形成。另一方面,水又是一切有机体生长繁殖的要素。由于生物的出现,特别是人类的进化,对自然的改造作用更为明显。由此可见,水是参与地球发展和地壳变化的最积极因素。

(3) 生物圈 在地球表面,从终年积雪的高山到平地,以至海洋面以下万米深沟,无论是大气圈、水圈,还是在地表土壤和岩石里,都有大量的生物生存和繁殖。生物赖以生存的光化作用和呼吸作用,使大气中的 O_2 和 CO_2 不断的进行循环。植物的光化作用,是从大气中吸收 CO_2 ,并分解为C和 O_2 ,C在植物中固定下来成为养分,将 O_2 排泄至大气中,成为动物必需的生活因素,动物排出的 CO_2 又被植物吸收,如此循环不已。自地球表面出现生物以来,便不断的改变着地壳的物质成分和结构状态,许多植物和动物还直接参与岩石的破坏作用或建造作用。由此可见,生物圈也是推动地壳发展的一个有力因素。

4. 地球内部圈层 地球的内部情况(参阅图0-2),我们用各种手段能够直接观察到的范围极小,通常利用地震波在地球内部的传播情况作为划分内部圈层构造的依据。地震波纵波在地球内部传播的速度最快,能通过固态、液态、气态介质;横波传播的速度较慢,只能通过固态介质。介质的密度、刚度不同,地震波的传播速度都有一定的变化。由图0-3可看

出，地震波在地球内部的传播速度，基本上随深度而增加。其中有几个变化比较大的面，称为不连续面。第一个不连续面在陆地以下平均33km处，称为莫霍面，通过这个面，地震波速度有急剧增加的现象。第二个不连续面在地面以下2900km的深处。在这个不连续面上，地震波纵波速度大幅度下降，横波至此完全消失。这一不连续面称为古登堡面。地质学家根据这两个不连续面，将地球内部划分为三个圈层，在莫霍面以上称为地壳，在莫霍面与古登堡面之间称为地幔，从古登堡面至地心称为地核。有人把鸡蛋比作地球内部圈层构造：蛋壳即地壳，蛋清相当于地幔，蛋黄相当于地核。

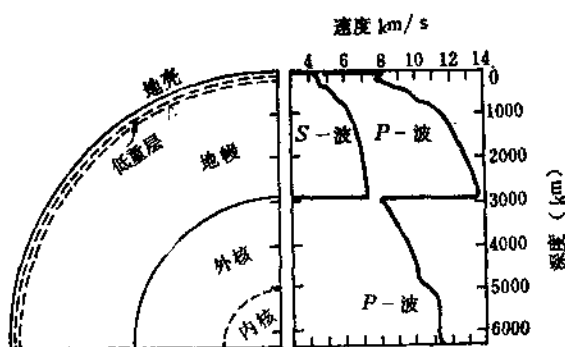


图0-3 地震波在地球内部传播速度曲线

(1)地壳 地壳主要由富含硅、铝的硅酸盐类岩石组成，常称为岩石圈，是地球表面坚硬的固体外壳。地壳表面凹凸不平，岩石的平均密度 2.65g/cm^3 ，都处于常温 and 常压状态下。

地壳的厚度约为5~70km，平均33km，最薄的部分在太平洋，只有5km，我国西藏高原与新疆天山地区的厚度达70km，故帕米尔高原称为世界屋脊。

组成地壳的物质包含有90多种元素，其中氧约占1/2，硅略多于1/4，铝略少于1/12，以下依次为铁、钙、钠、钾、镁等。按照组成物质的含量差别，地壳上部岩层为硅铝层，下部为硅镁层。上层岩石的化学成分和地震波的传播速度都与花岗岩近似，故这一层的花岗岩层和沉积岩层，都以花岗岩为代表。地壳表层是地球外力作用最显著的地带，这一层岩石的物质组成复杂，构造形态和地貌形态也非常复杂，并且厚薄不均，在山区厚达40km，平原区降至10km，至海洋底部显著变薄，在太平洋中部甚至缺失。下层硅镁层称为玄武岩层，因其化学成分与玄武岩相似，故以玄武岩为代表。这一岩层在大陆平原地区厚约30km，在缺失花岗岩层的深海盆地，厚约5~8km，其层面直接与海洋沉积层和海水接触(图0-4)。

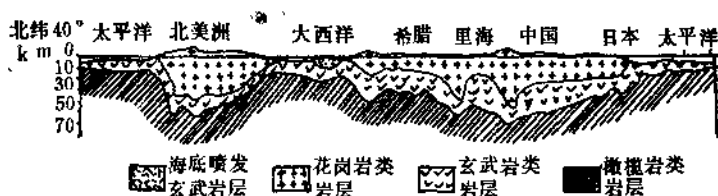


图0-4 地壳剖面图

总的说来，大陆地壳为双层结构，厚度较大，在玄武岩层上有厚的沉积岩层和花岗岩层，海洋地壳大部分是单层结构，厚度较小，在玄武岩层上只有很薄的花岗岩层，甚至缺失。地壳厚薄差异与花岗岩在水平和垂直方向的不均匀性，容易引起地壳运动。

(2)地幔 地面以下33km莫霍面至2,900km古登堡面之间的地球内部圈层，叫地幔。因为它位于地壳和地核之间，又常称之为中间层。地震波在地幔中速度变化缓慢而又均匀，但在地面以下深984km处，有次一级的不连续面，故常以这个面划分为上、下地幔。与地壳相

比,地幔成分比较均匀,物质密度由上到下逐步增加,到地幔下部增加到 5.60g/cm^3 ,接近地球物质的平均密度。地幔与地壳接触面的压力不过 $9.81\times 10^8\text{Pa}$,温度不过 1000°C ,到地幔底层的压力增加到 $1.37\times 10^{11}\text{Pa}$,温度增加到 $1500\sim 2000^\circ\text{C}$ 。

在物质组成方面,上地幔的地震波速度与橄榄岩相似,所以称为橄榄岩层或榴辉岩层。据推测,在上地幔 $50\sim 250\text{km}$ 范围内,可能因放射元素蜕变产生高温,使局部岩层呈熔融状而带塑性,故称为软流层。有人认为这是岩浆的发源地,与火山喷发活动和地壳运动密切相关。不过目前还无法得到可靠的证据。

根据下地幔的物质密度增加,曾被认为是金属层。还有一种意见认为,不过是硅酸盐物质在高温高压下变得非常致密罢了,这些问题都有待进一步的研究。

(3)地核 距地面 2900km 的古登堡面以下,地震纵波传播的速度下降 40% ,且横波消失,这表明地核的物质组成和物理性质有很大变化。据推测,地核的物质密度在 $9.7\sim 17\text{g/cm}^3$ 以上,物质总量约占地球全部质量的 31.5% ,压力在 $2.94\times 10^{11}\text{Pa}$ 以上,温度达到 3000°C 以上。关于地核的物质成分和物理状态,地质学家各有不同的见解。有人认为地震横波不能通过地核,说明地核物质接近液态,物质组成类似铁镍陨石,故称为镍铁地核。也有人假设组成地核的物质仍是硅酸盐,在高温高压下成为具有金属特性和液体特性的物质,达到超固态的状态。但是,近年来借冲击波的动力研究,在 $4.90\times 10^{11}\text{Pa}$ 的超高压条件下,并不能使硅酸盐金属化,因而对上述假设提出怀疑。根据研究资料证明,地核主要是液态,组成物质可能是铁和轻元素合金。人造的由 80% 的 Fe 和 20% 的 Si 组成的合金,对地震波的传播,很接近地核的性质。

二、土 质 学

(一)土质学的基本内容

土是岩石在自然因素和人的影响下,不断发生变化的地壳表层的一部分。对天然土的物理(包括力学)性质和物理状态作出评价,并研究土在工程建筑物的作用下,这些性状可能发生变化的规律性,即属于土质学研究的内容。从广义来说,只要我们用这一观点来研究或评定地壳表层物质,无论是岩石或土壤,都一概视作土。从公路与桥梁工程的实际出发,土质学的学习内容应包括:

- (1)对土进行工程分类。
- (2)了解各种土类的物理力学性质。
- (3)掌握测定和计算各种土的物理性质和物理状态指标的方法。
- (4)预测在工程建筑物作用下,土的性质可能发生的变化,以及对建筑物的影响。
- (5)结合工程情况和要求,提出改善土的性状的技术措施。

(二)学习土质学的方法

土质学是地质学的一门独立的分支,是工程地质学中重要的组成部分。学习土质学也应该广泛运用学习地质学的方法。即用辩证唯物主义的观点,看待土所处的自然环境和地质条件。同样也需要进行实地的野外勘察和试验(包括野外试验和室内试验),以取得第一手的感性知识和数据。从教科书中学习理论,有助于提高我们的理性认识,提高我们阅读和理解某些技术资料的能力,有助于理论联系实际。土工工作者,为了正确区分因土的组成结构或状态方面的差异,所表现出土的物理性质的差异,人为的将土划分为若干类型和品种、并给予恰当的命名,最后编制成规程(如公路土工试验规程)或规范(如有关设计规范),这

是土质学方面的重要文献。我们熟悉的掌握其中的某些原理、数据和规定,也是我们学好土质学的一个很重要的方面。同样我们也要熟练掌握本课程所规定的土工试验方法,它不仅是一种必要的操作技能,并且有助于我们对土的性状有正确的了解。

三、工程地质学

人类文明建设的各种建筑物,无论是高楼、厂房、矿山、水坝、道路、桥梁或隧道,都建筑在地壳表层,正确选定建筑物的地址就必须研究所在地的地质条件和问题,这就是工程地质学。

工程地质学的研究范围比较广泛,结合公路与桥梁工程,应包括如下几个方面。本课程所选编的内容,也都属于工程地质学的范围。

(1)研究岩体的物理力学性质,包括各种结构面的性质及其组合关系,找出岩体在工程建筑物荷载作用下的变形以至破坏的规律,以便正确评价岩体的力学强度和稳定性。

(2)研究因自然地质作用引起的岩石风化、冲沟发生和发展、流水冲刷和堆积、崩塌与滑坡、地下水与岩溶,以及地震等许多自然地质现象及其对工程建筑物的影响和危害。并预测这些地质作用所可能造成的影响程度,以便在技术上采取防治这些危害的可靠措施。

(3)研究土或岩石的形成,物质组成结构、物理力学性质和水理性质,以及区域性的分布规律和特征,提出改善其天然条件的技术措施。其中有关土的部分属于土质学的范围。

(4)关于工程地质勘察的理论与勘探和测试技术方面的研究,及其仪器设备的研制和改进,用以更好的查明工程地质条件,论证工程地质问题,作出正确的工程地质评价。

由此可知,工程地质学是一门以工程建筑为服务对象,研究与工程建筑有关的地质问题的一门科学,对公路与桥梁工程设计和施工的关系至为密切。我们要使自己亲手建起的工程建筑物立于不败之地,必须学好工程地质学。

复 习 题

- 1.地质学是一门什么科学?它包括哪些主要内容?它与工程地质学有有什么关系?
- 2.地球的圈层构造怎样划分?各个圈层各有一些什么主要的性质或特点?
- 3.试叙说地壳对人类的生存、对人类物质文明的发生与发展,有什么重要关系?
- 4.试述学习地质学与工程地质学,对学好公路与桥梁工程专业的意义和作用,我们应该怎样学好工程地质学。

第一篇 地 质 学

第一章 造岩矿物与岩石

地壳由各种各样坚硬的岩石组成。矿物是构成各种岩石的最基本物质。矿物的成分、性质及其在各种因素作用下所发生的变化，都会对岩石的强度和稳定性产生影响。因此工程技术人员从事建筑活动，就要认真了解岩石，要分析了解岩石在各种自然条件下的变化，进而对岩石的工程性质作出评价，就必须首先从矿物开始。

第一节 造 岩 矿 物

一、地壳中的矿物

地壳是地球表面的一层外壳，位于地幔之上，以莫霍面为界与地幔分开。地壳的厚度各地有很大的差异，在大陆范围内越是高山地区厚度愈大。地壳表层由未固结或已固结的各种沉积岩、变质岩所组成的厚度约0~5km。地壳上层的物质成分近似花岗岩类，其化学成分富含硅和铝，故又称硅铝层。地壳下层，即玄武岩层的化学成分，除硅铝外，铁镁相对的增多，故又称硅镁层。根据探测的资料表明，在花岗岩层与玄武岩层之间有时存在一个分界面，称康拉德面，但它的分布不如莫霍面那样具有世界性。

地壳是由各种化学元素所组成的。根据对大量岩石的地球化学分析，计算出各种元素在地壳中分布的平均重量的百分数，称为克拉克值。主要元素的克拉克值如表1-1。

主要元素的克拉克值

表1-1

元 素	氧	硅	铝	铁	钙	钠	镁	钾	氢	其 它
按重量计(%)	49.13	26.00	7.45	4.20	3.25	2.40	2.35	2.35	1.00	1.87
按容积计(%)	91.77	0.88	0.76	0.68	1.48	1.60	0.56	2.14	0.18	0.03

从表1-1可以看出，氧、硅、铝、铁等九种元素，占地壳总重量的98.13%，其中氧几乎占了一半，硅占了四分之一；在九种之外的大多数元素，合起来仅占1.87%，由此可见，地壳中各种元素的含量很不均匀。工业上的重要金属除铁、铝外，其它如铜、锌、锡、钨等许多元素在地壳中的含量是很少的，但它们经过不同的地质作用以后，在一定的条件下，可以富集成为有经济价值的矿床。地壳中各种化学元素在特定条件下组成不同的矿物，而不同的矿物又按一定规律组合成各种岩石。因此矿物和岩石是组成地壳物质的基本单位，它们都是在地壳发展过程中经过各种地质作用而产生的物质。

二、矿物的一般知识

地壳中的化学元素，随着地质作用的变化而不断地进行着化合或分解，最后形成各种矿物。矿物在地球上的分布非常广泛，到处都可以见到。它与人们的生产活动和日常生活有很密切的关系。比如我们吃的盐，点豆腐用的石膏，制明矾用的明矾石，中药用的朱砂（辰砂）、雄黄，燃烧用的煤，炼铁用的铁矿石以及天然气，建筑用的天然石料都是矿物。在自然界以纯自然元素出现的物质是很少的，除金、铂、银、铜、硫、碳等偶而有以自然元素状态出现外，绝大多数矿物都是由两种或两种以上元素组成的化合物出现的。例如氯化钠（ NaCl ）——食盐、含二个分子水的硫酸钙（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）——石膏、二氧化硅（ SiO_2 ）——石英等等。在这些例子中，前面是化合物的名称，后面是相应的矿物名称。所谓矿物就是指这些天然产出的、由一种或多种元素组成的集合体，具有比较均一的化学成分与一定的内部构造和物理性质的物质。它们也是各种岩石的基本组分。如食盐（ NaCl ）是由氯和钠两种元素组成的化合物，常呈立方体的颗粒，用小刀很容易刻划，易溶于水，溶液有咸味。磁铁矿（ Fe_3O_4 ）是氧和铁组成的，为黑色的八面体晶形，具有强磁性。自然金的成分是单元素金（ Au ），有耀眼的金黄色，既软又重。煤的颜色从褐色到黑色都有，很轻，可以燃烧。由这些例子可知，各种矿物都是具有一定的颜色和晶体形状及物理特性的物质。

矿物在自然界里大多数都处在固体状态（如石英、长石、云母、方解石及食盐等）；但也有处于液态的矿物（如水银、水、石油等）；还有像天然气（如硫化氢、硫磺气等）的气态矿物。

自然生成的矿物，并不是一成不变的。由于在地壳中不断地进行着各种地质作用，随着物理——化学条件的改变，各种化学元素也在不停地进行着化合、分解、迁移、分散或集中，这样，矿物也就不断地新生演变。例如硫（ S ）和铁（ Fe ）在还原环境下结合成黄铁矿（ FeS_2 ），而黄铁矿形成后，若条件发生变化，如处于地表的氧化环境下，便会发生氧化，形成褐铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ），而褐铁矿在高温高压条件下，又会脱水而生成赤铁矿（ Fe_2O_3 ）。因此可以说，各种矿物不过是某些元素在地质作用过程中的某一特定阶段的产物。

目前世界上已发现的矿物有三千多种，但是常见的构成岩石主要成分的矿物种类并不多。人们常把有经济价值的矿物称为“有用矿物”，把构成岩石主要成分的二十多种矿物称作“造岩矿物”。如：石英、正长石、斜长石、方解石、云母、辉石、角闪石、黄铁矿、铝土矿等均属“造岩矿物”。

由于不同的矿物具有不同的化学成分和内部构造，同时也就决定了它的外表形态、物理性质和化学性质。矿物大部分呈固态状结晶体出现在地球外壳，这些特征对我们认识矿物具有特别重要意义。

造岩矿物绝大多数是结晶质。结晶质的基本特点是组成矿物的元素质点（原子、离子或分子）在矿物内部呈有规律的排列，形成稳定的格子构造。反之，矿物的元素质点没有规律的排列，则称非结晶质。图1-1所示为食盐的内部构造，其内部质点 Na^+ 和 Cl^- 呈有规律的排列，因此食盐是结晶质的矿物。这样排列的规律性用肉眼是不能察辨的，因为 Na^+ 和 Cl^- 之间的中心距离只有 28nm （ $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ），必须用伦琴射线来分析。凡结晶体能用肉眼鉴定的称显晶质体，不能用肉眼鉴定的称隐晶质体。结晶矿物的外表常为规则的几何而体，如八面体、六方柱体、立方体等（如图1-2）。晶体的外表是由一些几何平面、直线和点构成的，这些未经人为加工而自然形成在晶体最外部的平面叫晶面，两个晶面相交的直线叫晶棱，

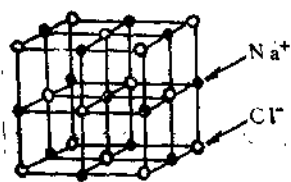


图1-1 食盐的晶格构造

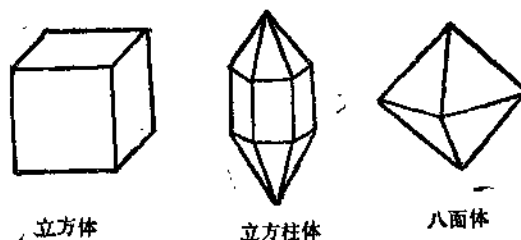


图1-2 矿物晶体外形

晶棱的交点叫顶点。不同的矿物由于化学成分和构造不同，晶形也随之而异。有时虽然矿物的成分相同，但生成条件不同，所形成的内部构造也就不同，因而具有不同的晶形，这叫同质异象。如金刚石和石墨（如图1-3）的成分完全相同，但金刚石为等轴晶系，类似球形的八面体或六面体，石墨为六方晶系，完整晶体极少，常为鳞片状、片状、粒状、块状集合体。如果我们能正确辨认矿物的晶形，就有助于辨认不同的矿物。因此，矿物的晶形具有重要的鉴定意义。常见晶体外形如图1-4所示。

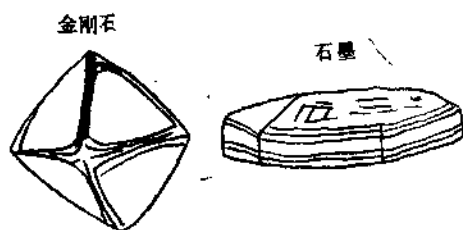


图1-3 碳的同质异象

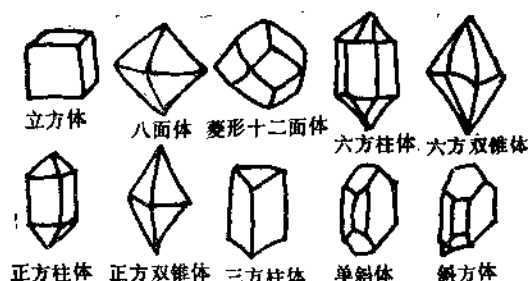


图1-4 最常见的晶体外形

我们已经知道，矿物是在地壳内外不同的物理和化学条件下，经过各种地质作用而生成物质。按照形成矿物的地质作用不同，可将矿物分成三种成因类型。

（一）内生矿物（原生矿物）：由地球内力作用形成的矿物叫做内生矿物。它是由地下深处高温高压条件下的岩浆（含有各种元素的硅酸盐熔融体），在沿着地壳裂缝上升过程中随着温度和压力降低，最后冷却、凝固结晶而形成的各种矿物。如橄榄石、辉石、角闪石、云母、长石、石英等，它们是内生矿物的最主要部分；岩浆活动后期的气化热液阶段，还会形成一些稀有元素的矿物及金属氧化物，硫化物，如黄晶、绿柱石及铅、锌矿等，这一部分矿物数量虽很少，但常常成为有开采价值的矿床。

（二）外生矿物（次生矿物）：由外力作用形成的矿物叫外生矿物。有些暴露在地表的早已形成的矿物，在常温常压条件下，受到各种外力地质作用（如风化作用、沉积作用）最后形成其它矿物。例如各种粘土矿物、铁和铅的氢氧化物、岩盐、石膏和碳酸盐矿物等。

（三）变质矿物：由变质作用形成的矿物叫做变质矿物。由于岩浆活动和地壳运动，使早已形成的矿物处于新的条件（一般是高温高压）下，发生成分、结构和构造变化而形成新的矿物。如石榴子石、红柱石、矽线石等等。由此可知，矿物也和世界上一切事物一样，不是孤立的、静止的，而是发展的、变化的，是矛盾的统一体。矿物形成于一定的物理化学条

件之下，是有规律的共生并组合在一起的物质。因此它只是在一定的地质条件下才是相对稳定的，当外界条件变化到某一程度时，原有矿物就要发生变化而产生新矿物，形成新的物质组合。

三、矿物的物理性质

工程技术人员对矿物的辨认，不要求象地质专业人员那样，对矿物的化学成分进行详细的研究，或用精密的光学仪器（如偏光显微镜等）对其结构构造进行深入的分析，主要是用肉眼观测的方法来鉴别矿物的种类和性质。并通过矿物的颜色、光泽、硬度等物理性质，鉴别造岩矿物的种类和名称。

不同的矿物具有不同的化学成分及内部结构和外表形状，因此它们必定具有各自的特征和各不相同的物理性质。矿物的物理性质主要包括：形状、颜色、反射光 光泽、硬度、解理、断口，刻划条痕等，这都是鉴别矿物的基本特征。

矿物还有其他的物理性质：如比重、触觉（如滑石触手滑腻）、气味等等。有的物理性质不甚重要（如密度相差不多、不精密测定就不能区别；金属矿物密度大，若以手掂量，就有明显感觉），有的只是个别矿物所具备的。现将矿物的主要物理性质叙述如下。

形状：是指固体矿物的外表形态，是矿物颗粒自然积聚起来的形体，故叫集合体。常见矿物的形状有：柱状——由平行或近于平行的各种柱体组成，如角闪石；粒状——由多数大小略等的晶粒集合而成，如橄榄石；片状——由薄片集合而成，如云母；块状——由大小不等的晶粒堆积而成，如石英；土状——由均匀细小的矿物颗粒组成，如高岭石；纤维状——由极细的柱体组成，状如木纤维，如纤维石膏。等等。

颜色：即新鲜矿物表面的颜色。它是矿物对不同波长的光波均匀吸收或选择吸收所表现出的性质。它决定于组成矿物的化学成分。通常按颜色的深浅将矿物分成两大类。一类含硅和铝为主的矿物，颜色较浅，多呈白色、灰色、黄色、玫瑰色，如石英、长石、方解石等。另一类以含铁和镁为主的矿物，颜色较深，多呈黑色、绿色、褐色，如角闪石、辉石、绿泥石等。

颜色是最易引人注目的重要特征，有些矿物就是按其颜色来命名的，如黄铜色的黄铜矿，铁红色的赤铁矿和绿色的绿泥石等。由于矿物的颜色取决于矿物的组成成分、内部结构构造及其所含的杂质，所以常常可以看见不同矿物可能具有相同的颜色（如方解石和石英多为乳白色），相反，同一种矿物也可能有不同的颜色（如赤铁矿有红、淡红、钢灰以及铁黑色等）。根据矿物的成因，其颜色可分为自色和假色二类。自色是由矿物成分、结构构造性质所决定的，为矿物所固有的颜色，如磁铁矿的铁黑色等。假色与矿物本质无关，是某些物理原因所造成的颜色。如矿物有了裂隙，致使光线折射、干涉引起各种彩色。也有由于含有某种杂质而呈现的颜色，如石英，本为无色，含锰后呈紫色，含碳后呈黑色等。由此可知，颜色不是鉴别矿物的唯一标准，更不能用假色来鉴别矿物。

光泽：是指矿物的反光能力强弱。通常可分为金属光泽，表明矿物表面反光能力很强，如同光亮金属器皿表面的光泽一样，是金属矿物固有的光泽，如黄铜矿，方铅矿。非金属光泽表明矿物表面反光能力较弱，是大多数非金属矿物所固有的特点。由于矿物或矿物集合体表面形状不同，非金属光泽常常表现为以下几种特殊光泽：玻璃光泽——矿物表面与玻璃的反光相似，如石英、长石；油脂光泽——矿物表面好象涂了一层油脂一样，如滑石，具有玻璃光泽矿物的断口上常具油脂光泽，如石英断口；珍珠光泽——象贝壳内珍珠层所显现的光

泽一样，如白云母；丝绸光泽——矿物表面犹如丝绸反光，如石棉、石膏；土状光泽——矿物表面非常粗糙，反光能力很弱，亦即无光泽，或暗淡如土，如高岭石。

条痕：系指矿物在毛瓷板摩擦留下的粉末所呈现的颜色。它比矿物表面的颜色更为固定，它能脱去假色而显示本色，因而更具有鉴定意义。如黄铁矿表面为金黄色，而条痕呈现黑绿色，说明矿物颜色与条痕颜色不一定相同，黑绿色条痕显示出铁的本色。

硬度：指矿物抵抗外力摩擦和刻划的能力。它是通过一种矿物与已知硬度的另一种矿物或物体互相刻划得出的。目前一般采用摩氏硬度计来决定矿物的相对硬度。它是以十种硬度不同的矿物为标准，用相对比较的方法来决定某一矿物的相对硬度（见表1-2）。

摩氏硬度计表

表1-2

硬度序号	矿物名称	简易鉴定	备注
1	滑石	指甲易刻划	指甲硬度 $2 \sim 2.5^\circ$
2	石膏	指甲可刻划	
3	方解石	小刀易刻划	
4	萤石	小刀可刻划	
5	磷灰石	小刀刻划有痕迹	铅笔刀硬度 $5 \sim 5.5^\circ$
6	长石	小刀几乎不能刻划	窗玻璃硬度 $5.5 \sim 6^\circ$
7	石英	小刀几乎不能刻划，可划玻璃	钢刀硬度 $6 \sim 7^\circ$
8	黄玉	能刻划石英	
9	刚玉	能刻划石英	
10	金刚石	能刻划石英	

在硬度计中，矿物硬度的大小只是相对比较的顺序，而不是其绝对硬度值，例如金刚石的硬度实际上要比石英大1150倍。

在野外调查时如无摩氏硬度计，常以指甲（ $2 \sim 2.5^\circ$ ）、铜制钥匙（ 3° 左右）、小铁刀（ $5 \sim 5.5^\circ$ ）、小钢刀（ $6 \sim 7^\circ$ ）等来代替。

在测定矿物硬度时，还必须注意选择纯净、致密而新鲜的矿物。呈土状、松散粒状集合体的矿物或长期受风化影响的矿物，它们的硬度往往偏低或产生虚假的硬度。此外，还要注意个别矿物硬度的异向性，如蓝晶石，在不同方向刻划，它的硬度是不相同的。

解理：是指矿物受力后能从一定方向裂开的性质。由解理所造成的光亮而又平滑的面，称为解理面（如图1-5）。解理面多平行晶面。同种矿物具有同方向的解理，称为同组解理。依解理方向的多少，解理可分为一组解理（如云母）、二组解理（如长石）、三组解理（如方解石）及多组解理（如萤石有四组、闪锌矿则有六组）（如图1-6）。根据解理面的完好

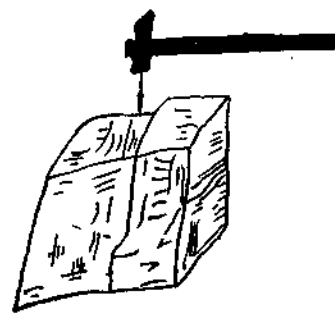


图1-5 解理及解理面



图1-6 解理示意图

a) 一组极完全解理(云母)；b) 三组完全解理(方铅矿)