



全国高职高专教育“十一五”规划教材



高职高专教育“道路与桥梁工程技术专业”系列教材

公路工程地质

邹艳琴 主编



高等教育出版社
Higher Education Press



U412.22
Z571

全国高职高专教育“十一五”规划教材 高职高专教育“道路与桥梁工程技术专业”系列教材

公路工程地质

邹艳琴 主编
赵国刚 副主编

责任编辑：赵国刚
封面设计：赵国刚
责任校对：赵国刚
责任印制：赵国刚

出版发行：吉林出版集团有限责任公司
社址：长春市朝阳区红旗街55号
邮政编码：130021
电话：0431-85681000
网址：<http://www.jlpp.com.cn>
电子邮箱：jlpp@jilpp.com

2009年9月第1版
2009年9月第1次印刷
51.70元



1460606

高等教育出版社

1177998 - 8001



内容摘要

本书系统地介绍了工程地质学的基本知识和公路工程地质勘察内容,简明扼要,深入浅出,具有一定的系统性和实用性特点。全书除绪论外分三篇共 11 章,第一篇为工程地质学基础知识,内容包括岩石及其工程性质,地质构造,水文地质作用,地貌与第四纪松散堆积物,土的工程性质、分类及野外鉴别;第二篇为工程地质分析,内容包括岩体边坡稳定分析,地下洞室围岩稳定分析及处理措施,常见的不良地质现象,特殊土;第三篇为公路工程地质勘察,内容包括公路工程、桥梁工程、隧道工程地质问题与勘察等。

本书可作为高职高专道路与桥梁工程技术等专业的教材,也可供城市规划、水利水电等相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程地质/邹艳琴主编. —北京:高等教育出版社, 2009.9

ISBN 978-7-04-0-02809-3

I. 公… II. 邹… III. 道路工程-工程地质 IV. U412.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130996 号

策划编辑 张骁军 责任编辑 张玉海 封面设计 王 洋 责任绘图 尹 莉
版式设计 余 杨 责任校对 姜国萍 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 潮河印业有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 16.5
字 数 400 000
插 页 1

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 9 月第 1 版
印 次 2009 年 9 月第 1 次印刷
定 价 21.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28091-00

前 言

本书的编写力求做到结合高职教育特点,围绕交通高等职业教育专业培养目标,理论与实践并重,突出学生实践技能培养,注重学生综合素质提高。

全书除绪论外分三篇共 11 章。每章都将基本知识与实训项目紧密结合,目的是全面提升学生的综合应用能力;精心选配了思考题,便于学生自学,及时巩固重点内容。本书主要包括工程地质学基础知识、工程地质分析和公路工程地质勘察三方面内容,具有一定的科学性、系统性,在编写中将教学与工程实例相结合,以实用和够用为原则,强调高职的特色。

本书由陕西交通职业技术学院邹艳琴任主编、赵国刚任副主编,由石家庄铁道学院张力霆教授担任主审。具体编写情况如下:绪论、第二章、第九章由邹艳琴编写,第一章、第八章由赵国刚编写,第三章由河南黄河水利技术学院苏巧荣编写,第四章、第七章、第十章由陕西交通职业技术学院王淑红编写,第五章、第六章由陕西交通职业技术学院王亚利编写,第十一章由陕西交通职业技术学院张丽萍编写,全书由邹艳琴、赵国刚统稿。

本书在编写过程中得到了许多专家和老师的的大力支持,特此向他们表示衷心的感谢。在本书校对过程中,刘剑、张雪付出了辛勤的劳动,在此对他们也表示衷心的感谢。本书编写过程中参考了大量的国内外文献,在书末的参考文献中均已列出,其中有一部分来自因特网,特此向作者表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 6 月

绪论	1
----	---

第一篇 工程地质学基础知识

第一章 岩石及其工程性质	4	思考题	96
第一节 概述	4	实训项目	96
第二节 矿物	10	第四章 地貌与第四纪松散堆积物	100
第三节 岩石	18	第一节 地貌概述	100
第四节 岩石的工程地质性质与工程分级	29	第二节 山地地貌	102
本章小结	34	第三节 平原地貌	108
思考题	34	第四节 第四纪松散堆积物	110
实训项目	35	本章小结	114
第二章 地质构造	37	思考题	114
第一节 地质年代	37	实训项目	114
第二节 地质构造	40	第五章 土的工程性质	116
第三节 地质构造与公路工程的关系	51	第一节 土的形成与结构	116
第四节 地震	54	第二节 土的三相组成	119
第五节 阅读地质图	60	第三节 土的物理性质	126
本章小结	64	第四节 土的水理性质	134
思考题	64	第五节 土的力学性质	135
实训项目	66	本章小结	136
第三章 水文地质作用	73	思考题	137
第一节 地表流水地质作用	73	实训项目	138
第二节 地下水地质作用	80	第六章 土的工程分类与野外鉴别	145
第三节 水文地质对公路工程的影响	92	第一节 土的工程分类	145
本章小结	95	第二节 土的野外鉴别	152
		本章小结	156
		思考题	156
		实训项目	157

第二篇 工程地质分析

第七章 岩体边坡稳定分析	159	本章小结	171
第一节 工程地质环境	159	思考题	171
第二节 岩体边坡	163	实训项目	172

第八章 地下洞室围岩稳定分析及

处理措施 173

第一节 概述 173

第二节 洞室围岩的变形与破坏 175

第三节 地下洞室围岩稳定性的分析

方法及处理措施 178

本章小结 181

思考题 181

实训项目 181

第九章 常见的不良地质现象 182

第一节 崩塌与岩堆 182

第二节 滑坡 186

第三节 泥石流 195

第四节 岩溶 197

第五节 沙漠 201

本章小结 207

思考题 208

实训项目 208

第十章 特殊土 210

第一节 黄土 210

第二节 软土 213

第三节 盐渍土 215

第四节 冻土 220

本章小结 222

思考题 222

实训项目 223

第三篇 公路工程地质勘察

第十一章 公路工程地质勘察 224

第一节 概述 224

第二节 公路工程地质问题与勘察 232

第三节 桥梁工程地质问题与勘察 236

第四节 隧道工程地质问题与勘察 237

第五节 不良地质现象的勘察与

评价 240

本章小结 251

思考题 252

实训项目 252

参考文献 253

绪论

一、地质学与工程地质学之间的关系

地质学是研究地球的科学。目前人类的工程活动和各种建筑物都在地球表层,因此,地质学研究的对象主要是地壳。随着科学技术水平的发展,对地球内部的研究越来越多;随着人类进入太空,地质学研究的领域会逐渐扩大到其他天体,甚至整个宇宙。

地质学主要研究地球的组成、构造及其形成和演化规律,研究的范围很广,根据其研究范围,划分为几大类分支学科,划分如下:

基础学科:主要研究地壳物质组成的矿物学、岩石学、地球化学等;研究地壳的构造及地表形态的构造地质学、大地构造学、地貌学等;研究地壳演化历史的古生物学、地层学、第四纪地质学等。

边缘学科:是指地质学与其他学科相结合产生的新学科,如数学地质学、地球物理学、地球化学、天体地质学、地质力学等。

应用学科:主要是应用基础学科的理论知识研究人类工程活动的地质问题的学科,如矿床地质学、石油地质学、工程地质学、灾害地质学等。

综合性学科:运用上述学科研究区域性或全球性地质问题的学科,如区域地质学、海洋地质学、环境地质学、板块地质学等。

工程地质学是研究工程活动与地质环境相互作用的一门学科。它把地质科学应用于工程实践,是地质学在应用方面的一个分支。

人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的,所以在很多方面受到地质环境的制约,它影响到工程建筑物的造价、施工安全和正常使用。例如,沿河谷布线,不考虑有关的地质条件,有可能造成路基水毁;开挖高边坡,忽视地质条件,有可能引起大规模的崩塌或滑坡,不仅增加工作量,延长工期和提高造价,甚至危及施工安全;位于活动断层和地裂缝上的建筑物因断层的活动和地裂缝的扩张遭到破坏;等等。

工程地质环境亦称工程地质条件,通常指影响工程建筑物结构类型、施工方法及其稳定性的各种自然因素的综合。这些自然因素包括岩土的工程性质、地层、地质构造、地貌、水文条件、地质作用、气候等。工程活动也影响着地质环境的改变。例如过量抽取地下水导致地面下沉、海水倒灌;修建大型水库,可能诱发地震,如1962年3月19日发生在我国广东省新丰江库区的地震,震级达到6.1级,在黄土地区可能引起大范围的湿陷;桥梁的修建改变了水流和泥沙的运动状态可使局部河段冲刷或淤积;房屋的修建引起地基土压密沉降;等等。

由上可知,工程活动与地质环境是相互影响、相互制约的关系。

二、工程地质学研究的任务及内容

(一) 研究任务

工程地质学的主要任务就是研究工程活动与地质环境之间制约的关系,以便正确评价、合理

开发和保护地质环境。具体包括以下几个方面。

- (1) 评价建筑工程场地的工程地质条件。
- (2) 预测工程建筑项目的修筑对地质环境的影响及地质环境对即将修建的工程建筑的影响。
- (3) 选择工程地质条件最优的建筑工程场地。
- (4) 提出改善或防止不良地质现象的措施。
- (5) 为工程建筑的合理规划与设计、顺利施工、正常使用和维护提供所需的工程地质参数。

(二) 研究内容

工程地质学包括工程岩土学、工程地质分析和工程地质勘察三个基本部分,它们都已形成不同的分支学科。

(1) 工程岩土学 是研究土石的工程地质性质及其形成和在自然或人为因素影响下的变化情况。

(2) 工程地质分析 是研究工程活动中存在的主要工程地质问题,分析这些问题产生的条件、力学机理和发展演变规律,以便正确评价和采取有效措施防治它们的不良影响。

(3) 工程地质勘察 是探讨和研究地质调查的手段和方法,以便查明有关工程活动的地质因素。

三、工程地质学发展简介

人类社会的工程活动有着悠久的历史,如中国的长城、四川的都江堰、埃及金字塔等都是人类早期的工程活动。

17 世纪以后,由于产业革命和建设事业的发展,出现并逐渐积累了关于地质环境对建筑物影响的文献资料。例如,1929 年奥地利的 K. 太沙基出版了世界上第一部《工程地质学》,1933 年在瑞士工作的法国人 M. Lugeon 的专著《大坝与地质》,1932 年苏联莫斯科地质勘探学院成立了世界上第一个工程地质教研室,1937 年苏联的 Ф. И. 萨瓦连斯基的《工程地质学》一书问世,1939 年 R. F. Legget 撰写了《地质学与工程》,1951 年奥地利人 J. Stini 和 L. Muller 创办《地质与土木工程》杂志,1957 年法国人 J. A. Talbore 撰写了专著《岩石力学》,1972 年 C. Jaeger 撰写了《岩石力学与工程》,1983 年 R. F. Legget 又撰写出巨著《土木工程的地质学手册》。

20 世纪初,我国的工程地质工作仅限于对少量工程项目的勘察,没有系统的理论指导。新中国成立后,随着国家建设的发展,尤其是大量基础工程设施的兴建,一系列大型工程场址的勘察、评估及工程建设,促进了工程地质学在我国的发展。例如,1957 年的武汉长江大桥及大量的工业与民用建筑、铁路、公路、桥梁、隧道、水利水电工程等的兴建,尤其是三峡等巨型水利水电工程的勘察、规划、设计和施工,促进了我国自 20 世纪 60 年代以来工程地质学科的飞速发展,形成了许多新的具有指导作用的工程地质思想和理论。例如,1976 年陶振宇编著了《水工建设中的岩石力学问题》;谷德振先生提出了岩体结构的概念,为研究工程岩体变形破坏机理提供了重要的理论依据;刘国昌先生从区域工程地质条件出发,指出了区域稳定性的研究方向;胡海涛先生继承和发展了李四光先生的地质力学理论,结合大型工程的选址,坚持在活动区寻找相对稳定地块——“安全岛”的思想。建立了一套比较完整的工程地质勘察规程规范。重大工程建设不断地将数理学科的新成就和高新技术及时吸收进来,极大地丰富了工程地质学科的内容。

综上所述,我国工程地质学逐渐形成具有自己特色的学科。例如,水利水电、铁路、矿山、公

路、地下工程、地震等工程地质分支学科。随着人类工程活动的规模和数量的不断扩大,对工程地质学提出了许多新的课题,如高边坡的岩体稳定、长隧道的围岩稳定、高层建筑物的抗震等工程地质问题,在解决各种工程地质问题的实践过程中,不断提高理论知识水平,丰富实践经验,促进工程地质学科不断发展。

目前,工程地质学科的内涵已经远远超出了传统工程地质定性描述和定性评价的范畴,成为集中多种地质勘探手段去获取地质资料,并对这些地质资料进行归类分析、定性和定量评价、地质预测、提出工程措施的建议等。工程地质工作是工程建设中的一个组成部分,无数重大工程成败的实例足以证明工程地质工作在工程建设中的重要性。

四、公路工程地质课程的要求

公路工程地质课是一门技术基础课程,通过对本课程的学习,使学生掌握公路工程地质的基本理论和工程地质勘察的内容,分析和处理公路工程中出现的工程地质问题,为其他专业课和今后从事实际工作打下基础。通过学习本课程,提出以下要求:

- (1) 掌握工程地质的基本理论知识,如常见的岩土工程性质、地质构造、水文地质、地貌等。
- (2) 能够阅读一般地质资料,如地质图、水文地质图、地质报告等。
- (3) 了解公路工程地质勘察的基本内容、勘察方法,根据勘察资料,能对一般工程地质问题进行分析,并提出防治措施。
- (4) 把学到的工程地质学知识和其他专业知识结合起来,解决公路工程中实际的工程地质问题。

第一篇 工程地质学基础知识

第一章 岩石及其工程性质

学习目标

1. 了解地球常识,认识月亮和地球的引力对工程的影响。
2. 了解矿物概念及分类,并能认识常见矿物。
3. 了解岩浆岩、沉积岩、变质岩三大岩类的一般特征及其成因、分类,并能区别大类,认识石灰岩、花岗岩等常见岩石。
4. 初步掌握岩石的物理性质、水理性质、力学性质。
5. 掌握公路工程岩石分级方法及影响岩石工程性质的因素。

第一节 概 述

一、地球概述

地球是宇宙中的一个运动着的椭球状体,是太阳系的一颗行星,地球一边绕太阳公转,一边绕轴自传。

月球是地球唯一的卫星,俗称月亮。它是离地球最近的天体,平均距离地球 38.44 km,直径 3 476 km。迄今为止,月球是人类足迹到达过的唯一星球,它对地球的影响是很大的,如地球表面的海水涨落很有规律,一般每天两次,即白天一次,晚上一次。把白天海水的涨落称潮,晚上海水的涨落称汐。这一潮一汐,间隔的时间总是不变的,需要 24 h 50 min。一天是 24 h,所以潮汐的作息时间,每天要推迟 50 min。

潮汐是怎样形成的呢?潮汐的动力主要来自两个方面:太阳和月亮对地球表面海水的吸引力,即引潮力;地球自转产生的离心力。日常的引潮力主要来自月球。月球不停地绕地球旋转,地球某处海面距离月球越近时,地球对它的吸引力越大。在月球绕地球旋转时,它们之间构成一个公共旋转质心。这个质心在地球内部不断改变,但始终偏向月球这一边。地球表面的海水距离这个质心远时,由于地球的转动,海水产生的离心力就大。因此,面向月球的海水所受的月球引力最大,背向月球的海水所受的离心力最大。在昼夜之间,地球上的海面有一次面向月球,有一次背向月球,一天会出现两次海水的涨落。月球的引力使海水涨潮,但高

潮并不出现的时刻并不正好在月亮上中天或下中天,而是有几个小时的滞后,它是由于摩擦和海洋陆架的地形引起的。月球引力引起地球潮汐变化和岩石结构的变化,对工程的影响很大,施工时要特别注意。

地球最初形成时,是一个温度非常高的火球,地球上的物质处于熔融状态。随着地球逐渐冷却,较重的物质沉到中心,形成地核;较轻的物质浮在上面,冷却后形成了地壳;地核和地壳中间的物质称为地幔。大约在 45 亿年以前,原始的地球就有现在的大小。原始的地球既无大气,又无海洋。在最初的数亿年里,小天体不断撞击地球,地球内部的熔融岩浆不断上涌,地震、火山喷发随处可见。蕴藏在地球内部的水合物,在火山喷发的过程中变成水汽升到空中,又通过降雨回到地面。降落到地球表面的水,在洼地连成一片,形成原始的海洋。

原始地球形成后,在重力分异和化学分异等作用下,经历了大约 45.5 亿年的演化过程,从均匀混合的物质状态逐渐分化成为今天这样的由不同状态和不同物质组成的非均质圈层构造的椭球体。地球是扁率不大的梨状三轴旋转椭球体,由于地球椭球体的扁率很小,故在一般计算时,常视地球为一圆球体,取其平均半径值为 6 371 km。

通常把地球的圈层构造以地表为界分为外部圈层和内部圈层。内部圈层由地壳、地幔和地核构成,体积约 10 830 亿立方千米。地球的外部被气体包围,称为大气圈。

二、漂移的大陆

(一) 魏格纳的大陆漂移

魏格纳是德国气象学家、地球物理学家。魏格纳在浏览世界地图时发现:大西洋东西两岸,南美洲巴西的凸出部分正好是非洲西海岸的凹进部分,两边可以拼合起来。为此魏格纳进行了长期的研究。1912 年,他第一次提出了“大陆漂移”的伟大设想。1915 年魏格纳出版了《海陆的起源》一书。在这本书里,他系统地论证了“大陆漂移”的设想:在 2 亿多年以前,即地质年代的古生代晚期,地球上只有一块大陆,称联合古陆,又称泛大陆。从中生代起,联合古陆开始破裂,这些破裂的陆块向外漂移,漂移到距今二三百万年以前,直到今天大致的位置。

(二) 海底扩张学说

20 世纪 50 年代,科学家们对海底地磁场进行了大规模的测量。通过对测量结果的研究,科学家们认为:不仅陆地也在移动,海底也在不断更新和扩张。大洋中脊地壳裂开,向两侧移动,同时地下岩浆涌出,填充在中脊裂谷底部,逐渐形成新的地壳。离大洋中脊越远,岩石年龄越老。海底地壳的移动并不是一直持续下去的,当洋壳移动到大陆边缘,洋壳受到陆壳的阻挡,由于洋壳密度较大,便向下俯冲,渗入到地球的内部,于是便形成深深的海沟。大约不到 2 亿年,海底就要更新一次。所以科学家们都称“古老的海洋,年轻的洋底。”地壳的移动就是海底扩张的结果。

(三) 板块构造学说

20 世纪 70 年代,科学家把早期提出的大陆漂移理论和海底扩张理论结合为一体,形成了板块构造理论。这个板块构造理论认为,地壳是由若干个刚性板块组成的,当板块运动时自然也载着大陆向前漂移。板块可以在一个扩张轴的两边相互拉开,产生移动,也可以相互滑移产生移动。当两个大陆板块产生碰撞时,他的的前沿处发生翘曲,形成山脉。大洋板块插入大陆板块之下,形成海沟。

三、地球的圈层构造

(一) 外部圈层

1. 大气圈

大气圈是环绕地球的空气层,一般以海陆表面为其下限。随着高度的增加大气密度逐渐稀薄,无明显上限。其质量为 5.136×10^{21} g,约为地球总质量的百万分之一。

大气圈按物理性质自下而上分为四层:对流层、平流层、电离层、扩散层。大气圈主要是由氮气、氧气、二氧化碳和少量的水汽、尘埃等组成的混合物,氮气和氧气约占 98.2%。由于受地心引力作用,大气圈四分之三大气质量集中在对流层。

对流层是大气圈的最底层,其厚度不均,在赤道为 17 km,两极约为 9 km,中纬度地区为 10.5 km。氮是植物制造蛋白质的主要原料;氧是生物生命活动的重要条件,也是促进岩石等氧化分解的重要成分;位于大气圈最底部的二氧化碳(约占 0.03%)主要来自有机物的氧化和生物的呼吸,它强烈吸收地面长波辐射并放出热量,因而对地表起着一种保温的作用,同时也是促使岩石风化分解的重要因素之一;水汽的含量变化很大,一般为 0~4%,主要来自水圈的蒸发。它润湿空气,保持空气的湿度,并能吸收地面长波辐射的热能。水汽在物态变化过程中要放热或吸热,从而使地面附近昼夜温差减小,保持土壤中的温度。水汽还以固态杂质为核心,凝聚成云、雾、雨、雪等,对气候变化起着重要作用。对流层中的各种组成都直接或间接影响着外动力地质作用的进行。

对流层的温度主要来自太阳、地面辐射热,故气温随高度而递减,平均每升高 100 m 降低 0.6℃。地表辐射热不均匀还是各种气候变化的主要原因。

平流层中存在大量臭氧,它对太阳辐射紫外线的强烈吸收构成了对生物的有效天然保护层,使生物免受强烈紫外线的伤害。

2. 水圈

水圈由地球表面的水体组成。水大部分在海洋里,其余分布在大陆上的河流、湖泊及近地表的岩石和土壤的空隙中,或者以固体的形式(冰川)分布在两极和高山地区。其总体积为 1.37×10^9 km³,其中海水占总体积的 97.2%,大陆水体占 2.8%。在大陆水体中极地和高山地区的冰体约占其总体积的 78.6%。

地球表面上的海洋面积占地球表面的 70.78%,通常人们把地球表面的海洋、河流、湖泊及地下水看成是包围地球表面的闭合圈。在自然界水分的循环过程中,大陆降水量只占总降水量的 20.6%,然而这一水量却是改变地貌的强大动力因素。河流、冰川、地下水等水体在其流动过程中,不断改造地表,塑造出各种地表形态。同时,水圈对生命的生存、演化提供了必不可少的条件,因此水圈是外动力地质作用的主要动力来源。

3. 生物圈

地球表面凡是有生命活动的范围称为生物圈。生物圈与水圈、大气圈、地壳没有严格的界限,大量生物集中在地表和水圈中。

生物包括动物、植物和微生物。自地球上出现生物以来,其通过生命活动不断直接和间接地改造大气圈和水圈,产生复杂的化学循环,并改造地壳表层的物质成分和结构。生物还直接参与风化、成岩等一系列地质作用。生物活动成为改造大自然的一个积极因素。同时,生物的繁殖活

动和生物遗体的堆积,为形成有用矿产提供了物质基础。

(二) 内部圈层

根据对地震资料的研究,发现地球内部地震波的传播速度在两个深度上作显著跳式变化的界面,这两个面即莫霍面和古登堡面。莫霍面位于地表以下平均深度 33 km 处,古登堡面位于地表以下平均深度 2 900 km 处。根据这两个面,把地球分为地壳、地幔和地核。

1. 地壳

地壳指地球外表的一层薄壳,大陆地壳平均厚度为 33 km,大洋地壳较薄,平均厚度为 5~6 km,整个地壳平均厚度为 16 km,大致为地球半径的 1/400,主要由固体岩石组成。其地震波波速一般为 5~7 km/s,最高不超过 7.6 km/s,密度一般为 2.6~2.9 g/cm³。

根据岩石的物质组成,地壳可分上、下两层。上部地壳平均密度 2.65 g/cm³ 该层仅在大陆上才有,而在大洋底基本缺失。该层岩石的成分、密度等与以硅、铝为主的花岗岩近似,又称花岗岩质层或硅铝层;下部地壳平均密度 2.9 g/cm³ 左右,该层地壳直接出露于洋底,其密度、波速均与由硅、铁、铝、镁组成的玄武岩相当,又称玄武岩质层或硅镁层。地壳按分布状态分为大陆地壳和大洋地壳,大陆地壳厚度大且呈双层结构,上层为花岗岩质层,下层为玄武岩质层;大洋地壳厚度小,呈单层结构,以玄武岩质层为主。

组成地壳的化学元素有百余种,但各元素的含量极不均匀,其中最主要的是下列几种,它们占地壳总质量的 99.96%:氧(O)——46.95%,硅(Si)——27.88%,铝(Al)——8.13%,铁(Fe)——5.17%,钙(Ca)——3.65%,钠(Na)——2.78%,钾(K)——2.58%,镁(Mg)——2.06%,钛(Ti)——0.62%,氢(H)——0.14%。

2. 地幔

地幔是在莫霍面以下古登堡面以上部分,其体积约占地球体积的 83%,质量占 68.1%,是地球的主体部分,主要由固态物质组成。以 984 km 为界分为上地幔和下地幔两个次级圈层。上地幔由含铁、镁的硅酸盐矿物组成,与超基性岩类似,平均密度为 3.5 g/cm³。下地幔一般认为其物质成分以铁、镁的硅酸盐为主,硅酸盐结构类似致密氧化物的紧密堆积结构,下地幔的平均密度为 5.1 g/cm³。需要指出的是,地壳下部、地幔、地核的物质是推测得出的。

3. 地核

地幔下界至地心部分称为地核,占地球总质量的 31.5%,占地球总体积的 16%。按地震波波速分布,分为外核、过渡层和内核三层。内核一般认为由铁、镍等成分为主的固态物质组成。

四、地质作用

地壳是地球外部的坚硬外壳,自形成以来其表面形态、结构和物质成分在不断变化和发展。这种由自然动力促使地壳的物质组成、结构和地表形态变化 and 发展的作用,称地质作用。引起地质作用的能量,有的来自地球内部,有的来自地球以外,据此可以把地质作用分为内动力地质作用和外动力地质作用。

(一) 内动力地质作用

主要由地球内部的能如旋转能、重力能、放射性元素衰变产生的热能等引起,作用于整个地壳甚至整个岩石圈的地质作用,称内动力地质作用,简称内力作用。内动力地质作用按其表现形式主要有四个方面:地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震作用(见表 1-1)。

表 1-1 地质作用分类表

地质作用	外动力地质作用	风化作用	物理风化作用、化学风化作用、生物风化作用
		剥蚀作用	风的吹蚀作用、河流的侵蚀作用、地下水的潜蚀作用、湖泊和海洋的剥蚀作用、冰川的刨蚀作用
		搬运作用	风的搬运作用、河流的搬运作用、地下水的搬运作用、湖泊和海洋的搬运作用、冰川的搬运作用
		沉积作用	风的沉积作用、河流的沉积作用、地下水的沉积作用、湖泊和海洋的沉积作用、冰川的沉积作用
		成岩作用	压实作用、胶结作用、结晶作用
	内动力地质作用	地壳运动	水平运动、垂直运动
		岩浆作用	侵入作用、喷出作用
		变质作用	
		地震作用	构造地震、火山地震、陷落地震

1. 地壳运动

由地球内部能量引起的地壳结构和面貌发生改变或相对位移的运动,称地壳运动。按地壳运动的方向,分为垂直运动和水平运动。实际上地壳的运动远比人们想象的复杂。所谓垂直运动和水平运动是相对而言,某一时期以垂直运动或水平运动为主。目前,我国地势西部总体相对上升,而东部相对下降。同一地区地壳运动的方向随着时间推移而不断变化,某一时期以水平运动为主,另一时期则以垂直运动为主,且水平运动的方向和垂直运动的方向也会发生更替。

地壳运动不断地改变地壳的原始状态,当地壳受到挤压、拉张、扭转等应力时,便形成各种各样的构造形态。在内力地质作用中地壳运动是诱发地震作用、影响岩浆作用和变质作用的重要条件,也影响外动力地质作用的强度和变化。因此,地壳运动在地质作用的总概念中是带有全球性的主导因素。

2. 岩浆作用

岩浆通常是指地壳下面呈高温粘稠状的、富含挥发组分、成分复杂的硅酸盐物质。岩浆在高温高压下常处于相对平衡状态,当地壳运动使地壳出现破裂带,或者其上覆受外力地质作用发生物质转移时,造成局部压力降低,打破了岩浆的平衡环境,岩浆就会向低压方向运动,这种现象称为岩浆活动。当其侵入地壳上部或喷出地表冷凝而成的岩石称岩浆岩。岩浆活动还使围岩发生变质现象,同时引起地形改变。

3. 变质作用

由于地壳运动、岩浆作用等引起地壳物理和化学条件发生变化,促使岩石在固体状态下改变其成分、结构和构造的作用。变质作用形成各种不同的变质岩。

4. 地震作用

地震是由内动力地质作用引起岩石圈的快速振动的现象,地壳运动和岩浆作用都能引起地震。

（二）外动力地质作用

外动力地质作用,简称外力作用,是由来自外部能量所引起的地质作用,主要有太阳辐射能、天体引力、其他行星、恒星对地球的辐射等。其具体表现方式有风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩作用。

1. 风化作用

在太阳辐射、大气、水和生物等风化营力的作用,地壳表层的岩石在原地发生崩解、破碎以至逐渐分解等物理和化学的变化则称为风化作用。风化过程破坏原有在较高温度和压力下形成的矿物、岩石,又形成一些在常温常压下稳定的新矿物。风化作用在地表最显著,随着深度的增加,其逐渐减弱以至消失。风化作用是普遍、持续和极其缓慢的,它形成的产物基本上残留在原地。风化作用使岩石逐渐破裂,转变为碎石、砂和粘土。

风化作用使坚硬致密的岩石松散破坏,改变了岩石原有的矿物组成和化学成分,使岩石强度和稳定性大为降低,对工程建筑条件起着不良的影响。此外,像滑坡、崩塌、碎落、泥石流等不良地质现象,大部分都是在风化作用的基础上逐渐形成和发展起来的。所以,了解风化作用、认识风化现象、分析岩石的风化程度,对评价工程建筑条件是十分必要的。风化作用按其占优势的营力及岩石变化的性质的不同,可分为物理风化、化学风化及生物风化三个联系的类型。

（1）物理风化作用

在地表或接近地表条件下,岩石、矿物在原地发生机械破碎而不改变其化学成分的过程称为物理风化作用。引起物理风化作用的主要因素是岩石释重和温度的变化。

岩石释重也称释荷作用,形成于地壳较深的岩石,因上覆岩石的重量而受到较高的围岩压力。当上覆岩石被剥蚀后压力减少或消失,岩石体积膨胀,出现平行地面的膨胀裂隙。在温度变化、水和生物等风化营力的作用下,形成岩石表层的层层脱落现象,称为鳞片剥落。

此外,由于温度剧烈变化,使岩石迅速热胀冷缩,使岩石裂隙中水的冻结与融化、盐类的结晶与潮解等,也能促使岩石发生物理风化作用。如地表岩石的裂隙中,常有水分充填,当温度下降到 0°C 时会冻结成冰。水结成冰时,体积可比原来增大9%左右,由于体积的增大,对岩石的裂隙产生很大的压力,使岩石裂隙加宽、加深,当气温回升至 0°C 以上,冰体融化,水沿扩大的裂缝更深地渗入岩石内部。充填在岩石裂隙中的水分时而冻结,时而融化,岩石在这样反复地作用下,裂隙可不断扩大、加深,从而使岩石崩裂成碎块。

（2）化学风化作用

化学风化作用主要是水溶液与地表附近的岩石进行化学反应,使岩石逐渐分解的过程。引起化学风化作用的主要因素是水和氧等。自然界的水无论是雨水、地面水或地下水,都溶解有多种气体和化合物,因此自然界的水都是水溶液。水溶液可通过溶解、水化、水解、碳酸化等方式促使岩石发生化学风化,并形成一些新的矿物。如正长石可以水解形成高岭石,黄铁矿氧化形成褐铁矿等。

（3）生物风化作用

岩石在动植物及微生物影响下发生的破坏作用,称为生物风化作用。生物风化作用既有物理风化作用,也有化学风化作用。

地壳表层的岩石经长期风化作用后,残留原地的松散堆积物,称为残积物。残积物覆盖地壳表面的风化基岩上,具有一定厚度的风化岩石层即为风化壳,它是原来岩石在一定的地历史时期

各种因素综合作用的产物。岩石的风化由表及里,地表部分受风化作用的影响最显著,由地表往下风化作用的影响逐渐减弱以至消失。因此,从工程地质的角度出发,一般把风化岩层自下而上分为四个带:整石带、块石带、碎石带、粉碎带。对整个风化壳剖面按照岩石风化程度的不同进行分带,对建筑场地的选择、工程设计、施工和地基处理等都是十分必要的。

2. 剥蚀作用

剥蚀作用是将岩石风化破坏的产物从原地剥离下来的作用。通过风力、地面流水、地下水、湖泊、海洋和生物等各种外动力因素,把风化后的松散物从岩石表面搬离原地,并以风化物为工具参与对岩石、矿物进行风化破坏的过程,统称为剥蚀作用。按引起剥蚀作用的动能性质不同,可以分为风的吹蚀作用,流水的侵蚀作用,地下水的潜蚀和溶蚀作用,湖、海水的冲蚀作用,冰川的刨蚀作用等。

3. 搬运作用

风化剥蚀的产物,通过风力、流水、冰川、湖水、海水及生物的动力,被搬离母岩后,随着动能力量的大小而转移空间的过程,称为搬运作用。搬运与剥蚀往往是在同一种动力下进行的。

4. 沉积作用

被搬运的物质,由于搬运能力减弱、搬运介质的物理化学条件发生变化或由于生物的作用,从搬运的介质中分离出来,形成沉积物的过程,称为沉积作用。按其沉积方式可以分为机械沉积、化学沉积和生物沉积,按其沉积环境又可分为风的沉积、河流沉积、冰川沉积、洞穴沉积和海洋沉积等。如山区洪水,随着流速减慢,大的物质比如大的卵石首先沉积下来,依次卵石、粗砂、中砂、细沙、粘土等逐步沉积。山区河流越往上游,河中可见颗粒越大。

5. 成岩作用

使松散堆积物固结为岩石的过程,称为成岩作用。在固结过程中,要经历物理的压实作用和化学胶结作用。当沉积物达到一定厚度时,上覆沉积物的静压力使矿物颗粒互相靠紧,发生脱水、孔隙减小、体积压缩、密度增大,再通过孔隙中水溶胶结物质的化学沉淀,将松散碎屑凝聚起来;同时,随着沉积物的埋深而升温、加压,使其中细粒矿物发生化学反应进行结晶而固化成岩。

外力作用,一方面通过风化和剥蚀作用不断地破坏出露地面的岩石;另一方面又把高处剥蚀下来的风化产物通过流水等介质搬运到低洼的地方沉积下来,重新形成新的岩石。外力趋势是切削地壳表面隆起的部分,填平地壳表面低洼的部分,不断使地壳的面貌发生变化。

各种内力作用和外力作用,尽管能源、部位不同,但在促使地壳演化中所起的作用,是相互联系、紧密配合的。在地壳演化过程中,内力起着主导作用,通过岩浆作用、变质作用和构造运动不断改造地壳,并使地表产生大陆、海洋、山脉、平原等巨型地形起伏,即内力作用总的趋势是形成地壳表层的基本构造形态和地壳表面大型的高低起伏;而外力作用则是破坏内力作用形成的地形或产物,即总的趋势是削低高地、填平低洼,力求使地表夷平,并形成新的沉积物。

第二节 矿 物

地壳是由岩石组成的。岩石是千差万别、多种多样的,有的岩石由比较单一的化合物组成,如石灰岩由方解石(碳酸钙)组成;有的岩石由多种化合物组成,如花岗岩主要由石英(成分为二氧化硅)、长石(钾、钠、钙等的铝硅酸盐)、云母、角闪石(钙、镁、铁等的铝硅酸盐)等组成。

一、矿物的概念

关于矿物的命名和分类,古籍中皆有记载。《山海经》载岩矿名称 73 种;以金、石、玉、珉四类为众,暗示矿物的原始分类;文石、白垩、碧玉、慈石等名称沿用至今;描述了某些金属矿物的共生现象及矿物的物理性质;其中以“石涅”(有人考证为石油或煤、石墨)引人注目。《管子地数》中写道:“山,上有赭者,其下有铁;上有铅者,其下有银;上有丹者,其下有黄金;上有慈石者,其下有银金;此山之见荣者也。”已经进行岩矿分布规律的探讨。

认识矿物可以从以下几个方面理解:

第一,矿物是天然产出的地质作用的产物。人造的金刚石、人造水晶等称人造矿物,不属于地质矿物的讨论范畴。

第二,矿物具有一定的化学成分,按一定的比例组合。绝大多数矿物是化合物,如石英(SiO_2)、钾长石 $[\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)]$ 、岩盐(即食盐 NaCl)等;少数为单质元素,如石墨(C)、金刚石(C)、自然金(Au)、自然铜(Cu)等。

第三,矿物绝大多数具有一定的内部构造。结晶矿物内部质点均按一定规律排列。

第四,矿物具有一定的形状及物理化学性质。如食盐颗粒外形呈立方体,破碎后呈小立方体,性质不变。

第五,矿物是相对稳定的,环境改变时,其成分、结构可以改变,形成新的矿物。如钾长石风化为高岭石,黄铁矿风化为褐铁矿。

第六,矿物可以是固态,也可以是气态(如火山蒸气中的 CO_2 、 H_2O)或液态[如水(H_2O)]。

第七,矿物可以是无机物,也可以是有机物(如甲烷等)。

矿物是组成地壳的基本物质,它是在各种地质作用下形成的具有一定的化学成分和物理性质的单质体或化合物。其中构成岩石的主要矿物称为造岩矿物。

二、矿物的一般知识

矿物是构成岩石的基本单元,目前自然界已被发现的矿物约 3 300 多种(种及亚种),其中常见的 30 余种,即组成常见岩石的“造岩矿物”。它们占地壳重量约 99%。其余矿物虽然种类很多,但数量很少,总共只占地壳重量 1% 左右。造岩矿物主要以硅酸盐为主。

矿物绝大部分是结晶质的,结晶质的基本特点是组成矿物的元素质点(离子、原子或分子)在矿物内部按一定的规律重复排列,形成稳定的格子状构造。矿物形成时冷却缓慢,有条件充分结晶。人们把凡是天然产出的具有一定几何形态的固体均称为晶体。如石英晶体、岩盐(食盐)晶体、方解石晶体等。少部分矿物是非晶质体,是指矿物内部不是质点规则排列,也不形成几何多面体外形的固体,如玻璃质。液体和气体不包括在内。火山作用常形成玻璃质。

矿物的形态是指矿物的单体及化合物而言。在自然界矿物多呈集合体出现,少数呈单晶体出现。矿物晶体的形态特征是其结晶结构和化学成分的外在反映,具有一定成分和结晶结构的矿物具有一定的晶体形态特征。在矿物鉴定上具有鉴定意义,矿物形态受生成环境的影响。

除晶体外,自然界还有隐晶质和胶态集合体。所谓隐晶质就是肉眼看不到结晶体。

自然界有分泌体如玛瑙,是胶体或晶体矿物由空洞洞壁向中心分泌逐层沉淀充填而成,中间