



交通高等职业技术教育教材

工程地质

GONGCHENG DIZHI

齐丽云 徐秀华 主编 李瑾亮 主审



●
人
民
交
通
出
版
社

交通高等职业技术教育教材

工 程 地 质

Gongcheng Dizhi

齐丽云 徐秀华 主编
李瑾亮 主审



A1064483

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分四篇:第一篇工程地质基础知识,较简扼地介绍了地球的圈层构造与地质作用、岩石、地质构造、地貌、水文地质等方面的基本内容,以及它们与公路建设的关系;第二篇工程地质分析,主要介绍了工程地质环境评价、岩体边坡稳定分析、不良地质现象、地下洞室围岩稳定性评价等内容;第三篇工程地质勘察,包括工程地质勘察方法、公路工程地质勘察内容和常见的工程地质问题;第四篇工程地质勘察技能训练。

本书作为交通高等职业技术教育公路与桥梁专业教材,可供交通中等职业教育路桥、土建类专业师生及各类干部培训学习,也可供从事路桥设计、施工的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程地质 / 齐丽云, 徐秀华主编. —北京: 人民交通出版社, 2002. 4
ISBN 7-114-04216-7

I. 工... II. ①齐... ②徐... III. 工程地质-高等
学校: 技术学校-教材 IV. P642

中国版本图书馆CIP数据核字 (2002) 第017285号

交通高等职业技术教育教材

工 程 地 质

齐丽云 徐秀华 主编

李瑾亮 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 尹 静 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.75 字数: 330 千

2002年4月 第1版

2003年1月 第1版 第2次印刷

印数: 4001~7000册 定价: 23.00元

ISBN 7-114-04216-7

U·03089

前 言

高等职业教育培养的是一线岗位的应用型技术人才,随着市场经济的飞速发展,培养能很快适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强创新意识的高素质实用型人才,是职业技术学院的任务。交通高等职业技术教育路桥专业教学与教材联络组在2001年7月的昆明会议上,对高职教材提出了具体的要求:(1)针对性与先进性;(2)实用性与可操作性;(3)综合性与科学性。同时确定了《工程地质》教材的主编吉林交通职业技术学院的齐丽云老师,副主编福建交通职业技术学院的徐秀华老师,主审四川交通职业技术学院的李瑾亮老师。

为了保证编写的质量符合昆明会议精神,编审人员共同对本书的知识结构进行了磋商。具体编写情况如下:引言、第四章、第八章、第九章、第十二章由吉林交通职业技术学院齐丽云编写;第五章、第七章由福建交通职业技术学院的徐秀华编写;第三章、第一章、第十一章分别由吉林交通职业技术学院的郭丰敏、韩润峤、王连威和闫淑杰编写;第十章由河北交通学校的李中秋编写;第六章由宁夏交通学校的钟琦编写;第二章、第十三章分别由四川交通职业技术学院的李大碚和盛湧编写。

本书于2002年元月初在成都审稿会上审定,参加审稿会的有四川交通职业技术学院李全文、黄万才、李瑾亮、李大碚、盛湧,贵州交通职业技术学院张贵元、罗筠,吉林交通职业技术学院王连威、齐丽云,福建交通职业技术学院徐秀华,宁夏交通学校钟琦,河北交通学校李中秋等12人。

本教材在编写过程中,力求符合“路桥专业高职教材编审原则”之规定,体现高职教材特色。工程地质理论部分的内容以“必需、够用”为原则,注重讲清基本概念、基本原理和基本方法,尽可能避免了繁琐的公式推导和大篇幅的理论分析。理论内容的深度和广度高于中等职业教育的水平,但又不同于本科教材。工程地质应用技能训练部分把技术应用训练作为本书的核心,并将其贯穿于教材的始终。实践部分的内容简明实用,学生易于理解、掌握和实践,加入了野外地质实习内容,与实际结合的更为紧密。力求做到理论与实践并重,突出学生实践技能的培养,以有利于学生综合素质的提高。

本书内容上重点突出、主次分明,深浅适度。为了便于学生学习,每章后附有复习题,使学生更好地了解掌握本章核心内容。

考虑地区性差异及各院校具体情况不同,讲授过程中教师应对本书内容进行适当的增删。

本教材在编写的过程中,得到了人民交通出版社卢仲贤、四川交通职业技术学院李全文、贵州交通职业技术学院张贵元、吉林交通职业技术学院张洪滨的指导和帮助,同时附于书末的参考文献作者们对本书完成给予了巨大的支持,在此一并衷心致谢。

鉴于编者的水平及能力有限,且任务紧,时间仓促,书中错误和不足在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2002年1月

目 录

导言	1
复习思考题	3

第一篇 工程地质基础知识

第一章 地球概况	4
第一节 地球的物理性质及圈层构造	4
第二节 地质作用	7
复习思考题	12
第二章 矿物与岩石	13
第一节 造岩矿物	13
第二节 岩浆岩	17
第三节 沉积岩	21
第四节 变质岩	24
第五节 岩石的工程地质性质	27
复习思考题	35
第三章 地质构造	36
第一节 地史的基本知识	36
第二节 地质构造	40
第三节 活断层	47
第四节 阅读地质图	48
复习思考题	52
第四章 地貌及第四纪地质	53
第一节 地貌概述	53
第二节 山地地貌	55
第三节 地表流水地貌	59
第四节 平原地貌	69
第五节 第四纪地质	71
复习思考题	75
第五章 水文地质	76
第一节 地下水概述	76
第二节 地下水类型	78
第三节 地下水的物理性质和化学成分	82
第四节 地下水的运动规律	83

第五节	地下水的涌水量计算	85
第六节	地下水对公路建设的影响	88
第七节	路基翻浆	89
复习思考题		92

第二篇 工程地质分析

第六章	工程地质环境评价	93
第一节	岩体与土体	93
第二节	地质体的赋存环境	94
第三节	工程地质环境评价	96
第四节	人类工程活动对工程地质环境的影响	97
复习思考题		100
第七章	岩体边坡稳定分析	101
第一节	岩体结构	101
第二节	岩体边坡稳定性分析	108
复习思考题		113
第八章	常见的不良地质现象	114
第一节	崩塌	114
第二节	滑坡	119
第三节	泥石流	127
第四节	岩溶	129
第五节	地震	132
复习思考题		136
第九章	地下洞室围岩稳定性评价	137
第一节	围岩压力	137
第二节	洞室围岩的变形与破坏	138
第三节	地下洞室围岩稳定性的分析方法	140
第四节	保障地下洞室围岩稳定性的处理措施	142
第五节	地质作用对公路隧道施工的影响	143
复习思考题		146

第三篇 工程地质勘察

第十章	工程地质勘察	147
第一节	工程地质勘察的主要方法	147
第二节	勘察资料的室内整理	154
复习思考题		156
第十一章	公路工程地质勘察	157
第一节	公路工程地质勘察的目的与任务	157
第二节	公路工程地质勘察的内容	158
第三节	公路路基工程地质勘察	159

第四节 桥梁工程地质勘察	163
第五节 隧道工程地质勘察	165
复习思考题	167

第四篇 工程地质勘察技能训练

第十二章 室内地质分析应用技能的训练	168
第一节 矿物的识别	168
第二节 岩石的识别	169
第三节 编制并分析节理玫瑰花图	172
第四节 阅读地质图并绘制地质剖面图	174
第五节 潜水等水位线图的判读及运用	180
第六节 赤平极射投影的作图方法和运用	182
第十三章 野外地质勘察应用技能的训练	189
第一节 地质实习教学大纲	189
第二节 地质教学实习参考资料	190
附录 本书主要符号	204
参考文献	206

导 言

一、工程地质学的研究对象

工程地质学是调查、研究、解决与各类工程建筑物的设计、施工和使用有关的地质问题的一门学科。简言之,是研究人类工程活动与地质环境相互作用的一门学科,它是地质学在应用方面的一个分支。

地球体的表层——地壳,是人类赖以生存的活动场所,同时也是切工程建筑的物质基础。人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的,修建水库、道路与桥梁、民用建筑等工程活动,在很多方面受地质环境的制约,它可以影响工程建筑物的类型、工程造价、施工安全、稳定性和正常使用等。如沿河谷布线,若不分析河道形态、河水流向以及水文地质特征,就有可能造成路基水毁;山区开挖深路堑时,忽视地质条件,有可能引起大规模的崩塌或滑坡,不仅增加工程量,延长工期和提高造价,甚至危及施工安全。

建筑物的施工和使用过程也影响着地质环境,从而出现工程地质现象。如在城市中过量抽吸地下水或其它的地下流体,会降低土体中的空隙液压,而导致大规模的地面沉降(上海、天津等城市均有出现);桥梁的修建改变了水流和泥砂的运动状态,使局部河段发生冲淤变形等。

为了使所修建的建筑物能够正常地发挥作用,对赖以生存的地质环境进行合理的利用和保护,在工程建设之前,必须根据实际需要深入地研究工程地质问题(engineering geological problem),对有关的工程地质条件(engineering geological condition)进行深入的调查和勘探,以解决建筑工程中出现的地质问题。

工程活动的地质环境亦称工程地质条件,通常指影响工程建筑物的结构形式、施工方法及其稳定性的各种自然因素的总和。这些自然条件包括地层、岩性、地质构造、水文地质、地貌、物理地质作用、天然建筑材料等。应当强调指出,不能将上述自然因素中的某一方面理解为工程地质条件,而必须是各种自然因素的总和。

工程地质问题,一般是指所研究地区的工程地质条件由于不能满足工程建筑的要求,在建筑物的稳定、经济或正常使用方面常常出现的问题。工程地质问题是多样的,依据建筑物特点和地质条件,概括起来有二个方面:一是区域稳定问题;二是地基稳定问题。公路工程常遇到的工程地质问题有边坡稳定和路基(桥基)稳定问题;隧道工程中遇到的主要问题有围岩稳定和突然涌水问题;还有天然建筑材料的储量和质量问题等。

由上述分析可知,工程活动与地质环境之间的相互影响、相互制约的关系,就成为了工程地质学必须研究的对象。

公路是一种延伸很长,且以地壳表层为基础的线形建筑物,它常要穿越许多自然条件不同的地段,要受到不同的地质、地理因素的影响,为此对工程地质条件的深入了解是公路工程从设计到施工以至营运过程中都不可缺少的。例如,某一公路在穿过峡谷时,由于开挖边坡后岩体沿裂隙面失重而产生崩塌。该峡谷的岩性属厚层灰岩和白云质灰岩,岩层大致顺河水流向倾斜,峡谷岩性坚硬,崖壁陡峭,坡高约 80m,处于自然稳定状态,但其节理很发育,其中有一组

倾向河心,当沿崖脚顺河修筑公路,经大爆破开挖边坡后,于一次大雨之后突然发生了数十万立方米的塌方,中断交通达半年之久。疏通后道路向河岸加宽,用半旱桥式挡土墙加固外边坡(见图 0-1),然而,内边坡高崖上还有多处风化裂隙,崩塌的隐患仍然存在。

二、研究工程地质学的目的与任务

工程地质学是把地质科学应用于工程实践,评价工程建筑场地的工程地质条件,预测在工程建筑物作用下地质条件可能发生的变化,选择最佳的建筑场地,克服不良的地质条件,采取有效的工程措施,从而为保证建筑工程的合理设计、顺利施工、正常使用提供可靠的地质科学依据。

三、工程地质学的内容

一般认为,工程地质学由三个基本部分组成。

1.工程岩土学——研究土石的工程地质性质及其内在机理和在天然或人为因素影响下的变化规律。

2.工程地质分析——运用地质学的基本原理去分析、研究工程活动中不同建筑物的主要工程地质条件、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。

3.工程地质勘察——采用地质手段查明有关工程活动中的地质因素。

上述工程地质学的基本内容,都是以地质学作为理论基础的,所以一般都编入了“基础地质知识”这一部分,如果没有地质学基础知识的铺垫是无法学好工程地质的。

四、工程地质学的发展与分支学科

人类进入文明社会以来,在其发展过程中,修建了大量的土木工程。如我国兴建于战国时期(公元前 475 ~ 公元前 221)的古长城和都江堰,以及历代封建王朝修建的许多规模宏大的工程,如桥梁、宫殿、庙宇和楼阁,这一切都说明了古代劳动人民不仅具有高超的建筑技巧,而且对建筑场地的地质、地理环境有了相当的认识和了解,为工程地质学的发展积累了丰富的知识。

随着社会的发展,人类的工程活动日趋频繁,对工程地质学的要求也越来越高,这不仅促进了工程地质学的理论体系逐渐完整、系统化,同时也使得工程地质学的实践规程日臻完善。独立的工程地质学诞生于 20 世纪 30 年代,由原苏联地质学家提出,1932 年原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。

20 世纪前半叶(解放前),我国的工程项目只偏重于一般地质勘察,没有建立系统的理论。直到解放后,随着经济建设的发展,兴建一系列大型的基础设施工程,对建筑场地的勘察、评价,促使我国工程地质学有了大的发展,并形成了一些新的工程地质思想和理论。如谷德振和孙玉科先生在总结工程实践经验的基础上,提出了“岩体结构”的概念(60 年代末)。1979 年,谷德振、王思敬(地质研究所院士)提出了(在应用方面)地质体的五大稳定问题(区域、山体、岩体、地面、深部)。1984 年,孙广忠先生进一步提出了“岩体结构控制论”,对“岩体力学”产生重大影响,并在工程应用中取得了很好效果。

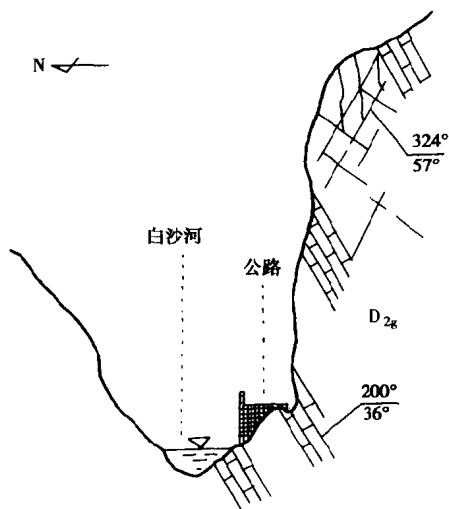


图 0-1 某峡谷崩塌徒手剖面

随着经济的发展,工程地质学的理论在不同地区、不同行业的实践中,逐渐形成了一些新的分支学科,如环境工程地质、地震工程地质、矿山工程地质、工民建工程地质、公路工程地质、城市规划工程地质等。伴随着人口的急剧增大,强度和规模巨大的人类活动已经成为对地球施加影响的一股不可低估的力量,对地质环境产生了不可忽视的影响,造成环境恶化、地质灾害提前降临或加剧等等。针对这些情况,近年来许多工程建设部门制定了环境保护规程,规定要对工程兴建可能引起的环境问题作出结论,其中地质环境的变化是不容忽视的一个方面,强调了环境工程地质的任务,通过调查研究作出环境评价,制定出保护地质环境的措施。由此看来,工程地质的任务更加繁重。

综上所述,工程地质学作为一门比较年轻的学科,还有许多的问题亟待研究,如岩质边坡的稳定性、不良地质现象的处理措施等都有待进一步探索。当前,大量采用先进技术,提高工程地质勘探和测试质量是首要的努力方向。近十几年来,在地质勘探方面,发展了一系列地球物理勘探方法,如电探、触探、地震勘探、声波探测、放射线勘探等,有的已经取得了较好的成果。此外,航天工程地质勘探及遥感技术和电子技术的发展极为迅速,它们的应用将为工程地质学的研究开辟更为广阔的前景。

在我国,工程地质勘察是由工程地质技术人员进行的,但工程设计、施工人员对于工程地质勘察的任务、内容和方法也应有足够的知识储备。只有具备了工程地质方面的基础知识才能够正确地提出勘察任务和要求,才能正确地利用工程地质勘察的成果,较完整地考虑建筑中的地质条件和地质环境的因素,保证合理地进行设计和施工。

本课程是路桥专业的一门技术基础课,它的主要任务是培养学生在路桥工程中能从技术的角度去认识和解决有关工程地质方面的问题;通过教学和实习、实验能得到一些基本技能的训练,学习搜集、分析和运用有关地质方面的资料、图件,并结合其它专业课的学习对一般的工程地质问题进行初步评价。

本课程是一门实践性很强的学科,在教学中应运用辩证唯物主义观点,由浅入深,循序渐进,尽量采用现代化教学手段进行教学。为了增强学生的感性认识,加强实践性教学,应安排适当的试验课和野外地质实习,以巩固和印证课堂所学的理论知识,提高学生实际动手能力。通过理论与实践的紧密结合,为完成路桥工程勘测、设计和施工打下工程地质方面的坚实基础。

复习思考题

1. 工程地质学的研究对象。
2. 简述工程地质条件与人类活动之间的关系。
3. 试述学习本门课的重要意义。

第一篇 工程地质基础知识

第一章 地球的概况

第一节 地球的物理性质及圈层构造

地球是宇宙中的一个运动着的球状体。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。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两部分。

一、地球的外部形态

地球的形状和地表形态既是其内部物质状态及其运动的结果,又受到地球表层的水和大气的运动以及生物生命活动的影响。通常所说的地球形状是指大地水准面所圈闭的形状。而大地水准面是平均海平面并通过大陆延伸所形成的封闭曲面。新近资料所记载的地球形状和大小有关数据如下:

赤道半径(a)	6 378.1724km	赤道周长	40 075.696km
两极半径(b)	6 356.7986km	子午线周长	40 008.08km
平均半径	6 371.229km	表面积	$5.1007 \times 10^8 \text{ km}^2$
扁率($d = \frac{a-b}{a}$)	1/298.341	体积	$1.0832 \times 10^{12} \text{ km}^3$

根据以上数据可知,地球形状为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 371km。

二、地球的物理性质

地球的物理性质包括地球内部的密度、压力、重力、地磁、弹性、地热等。

1. 重力

重力是地心引力和由地球自转而产生的惯性离心力的合力。由于离心力与地心引力相比相对微弱(如赤道的离心力约为地心引力的 1/289),因此可将地心引力近似当作重力。地球周围受重力影响的空间称重力场。地表上某一点的重力场强度就相当于该点的重力加速度。由于地心引力随纬度而变化,故地表重力分布以赤道为最小(9.78m/s^2),两极最大(9.83

m/s^2), 平均为 9.80m/s^2 。加之地下组成物质的不同以及海拔高度的差异, 各地测得的重力值并不同于理论值, 这种现象称为重力异常。比正常理论值大的称正异常, 比正常理论值小的称负异常。利用这一规则可探查和了解地下的地质构造和矿藏分布。

假使把地球自转的线速度加快 17 倍, 则赤道的离心力便会增大到 289 倍, 与地心引力相等, 此时地表的物体就会产生“失重”现象。

2. 密度和压力

用前述地球的体积除以地球的质量, 便可得到地球的平均密度为 5.517g/cm^3 , 根据实际测定的固体地球表面岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.9\text{g/cm}^3$, 而覆盖地球表面 $3/4$ 的水的密度近似为 1g/cm^3 , 可以推测地球内部物质应具有比地表更大的密度。根据推算, 地心物质平均最大密度值可达 13g/cm^3 , 最高达 17.2g/cm^3 。

随着地球密度向地心增加, 地内压力随深度也在加大。地球内部的压力主要是由上覆物质的重力所产生的静压力, 计算公式为:

$$p = H\bar{\rho}_h g_h$$

即静压力的大小决定于上覆物质的厚度(H)与该厚度中物质的平均密度($\bar{\rho}_h$)及其平均重力加速度(g_h)的乘积。

地球内部压力随着深度的增加而递增。一般认为, 深度每加深 4.4m, 压力增加 0.1MPa。地下 10km 处压力约为 300MPa; 40km 处为 1 000MPa, 岩石在此压强下将要发生软化。

3. 地热

地热是指地球内部的热能。根据大陆地表以下地温的来源和分布状况, 可以把地下温度分为三层。变温带是固体地球表层大陆上的一个温度层, 温度主要来源于太阳的辐射热能, 它随纬度高低、海陆分布、季节、昼夜、植被等的变化而不同。该层平均深度为 15m 左右。常温层是指温度与当地平均温度一致的地带。增温层位于常温层以下, 其热能主要来自于放射性元素蜕变产生的热能, 其次是重力能、旋转能等转化产生的热量。通常把每向下加深 100m 所升高的温度称为地热增温率(地热梯度), 一般为 $0.9 \sim 5^\circ\text{C}$ 。而把温度每增加 1 度所增加的深度称为地热增温级。根据实测和推算, 在 100km 深处的温度大约 $1\,300^\circ\text{C}$ 左右。

4. 地磁场

地球类似一个巨大的磁铁, 在它的周围空间存在着磁场, 称为地磁场。地磁场是一个弱磁场, 其场强在近地表处约为 $0.5 \times 10^{-4}\text{T}$ 。在地磁场中, 促使磁针产生偏角和倾角的磁力大小的绝对值称为磁场强度。总磁场强度的水平分量成为水平磁场强度, 它的方向就是磁子午线的方向。地磁子午线与地理子午线的夹角为磁偏角, 总磁场强度的垂直分量称垂直磁场强度, 总磁场强度方向与水平面的交角称为磁倾角。

地磁场随时间变化, 地质历史时期的磁场称为古地磁。近年来人们通过研究不同时间岩石中的剩余磁性的大小和方向, 从而追溯地质历史时期地磁场的特征和变化及磁极移动情况。这一研究对解决大规模的构造运动历史、古气候及探索地球起源等问题有重要意义。

5. 弹性

固体地球能传播地震波(弹性波), 说明地球具有弹性。通过地震波在地球内部传播速度的变化, 能确定地球内部物质状态的变化。

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,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、氧、二氧化碳和少量的水汽等多种气体组成的混合物。由于受地心引力, $\frac{3}{4}$ 的大气质量集中在对流层。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;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。

2. 水圈

地球表面上的海洋面积占 70.78%,通常人们把地球表面的海洋、河流、湖泊及地下水等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。生物包括动物、植物和微生物。生物在其生命活动过程中,通过光合作用、新陈代谢等方式,形成一系列生物地质作用,从而改变地壳层的物质成分和结构。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物质基础。

(二) 内部圈层

目前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跃式的变化,反映出地球内部物质以这两个深度作为分界面,上下有显著的不同。上分界面称“莫霍面”,它位于地表以下平均 33km 处;下分界面称“古登堡面”,位于地表以下 2 900km 处。根据这两个分界面,目前把地球内部构造分为地壳、地幔和地核三个层圈(见图 1-1)。

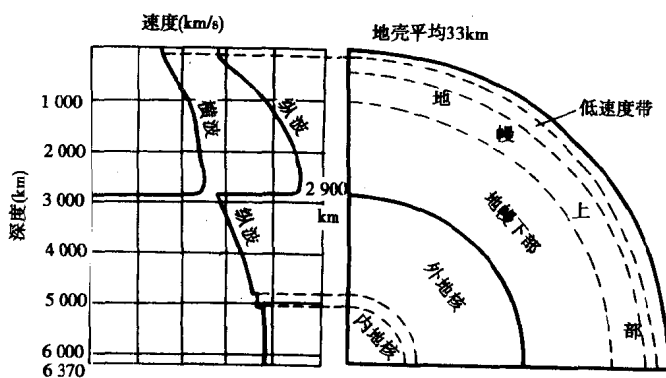


图 1-1 地球的圈层构造

1. 地壳(0~33km)

地壳指地球外表的一层薄壳,平均厚度为 33km,主要由固体岩石组成。根据岩石的物质组成,地壳可分硅铝层和硅镁层两层,构成硅铝层的岩石相当于花岗岩类,又称花岗岩质层;构成硅镁层的岩石相当于玄武岩类,又称玄武岩质层。按分布状态不同又可分为大陆地壳和大洋地壳。大陆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;大洋壳厚度小,

呈单层结构,以玄武岩层为主。硅铝层(花岗岩质层)的 V_p 为 $6.0 \sim 6.2\text{km/s}$,密度为 $2.6 \sim 2.7\text{g/cm}^3$,一般厚 $15 \sim 20\text{km}$ 。硅镁层(玄武岩质层)的 V_p 为 $6.4 \sim 7.8\text{km/s}$,密度为 3.3g/cm^3 ,厚度为 $15 \sim 20\text{km}$ 。大洋地壳厚度较薄,平均仅 $5 \sim 6\text{km}$,一般缺乏硅铝层,硅镁层直接出露于洋底。

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 99.95%。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%。其余的是磷、锰、氮、硫、钡、氯等近百种元素。地壳中的化学元素常随环境的改变而不断地变化。元素在一定地质条件下形成矿物,矿物的自然集合体则是岩石。组成地壳的岩石按成因可分为岩浆(火成)岩、沉积岩、变质岩。人类的一切活动都是在地壳的最表层。

2. 地幔($33 \sim 2\,900\text{km}$)

地幔是地球的莫霍面以下、古登堡面以上部分,其体积约占地球总体积的 83%,质量占 68.1%,是地球的主体部分,主要由固态物质组成。以 984km 处为界分上地幔和下地幔两个次级圈层,上地幔的平均密度为 3.5g/m^3 ,顶部 V_p 为 8.0km/s ,与地壳有明显差别。根据密度、波速资料、与陨石对比以及对火山喷出物内发现的只能形成于地幔中的岩石的分析,上地幔的物质成分是由含铁、镁多的硅酸盐矿物组成的,与超基性岩类似。通过对地幔中地震波传播特征的研究发现,在 $40 \sim 250\text{km}$ 处存在“低速带”,尤其是 $100 \sim 150\text{km}$ 深度处波速降低得最多。一般认为低速带是由于该带内温度增高至接近岩石的熔点,但尚未熔融的物态引起的,又据低速带内有些区域不传播横波,推断这些区域的温度已超过岩石熔点形成液态区。由于低速带距地表很近,这些液态区很可能是岩浆的发源地。鉴于低速带的塑性较大,它为上部固态岩石的活动创造了有利的条件,故在构造地质学中称其为软流圈。而将软流圈以上的上地幔和地壳合称为岩石圈。下地幔地震波速平缓增加,密度已达 5.1g/cm^3 。一般认为其物质成分以铁、镁的硅酸盐为主,硅酸盐结构因转变成类似致密氧化物的紧密堆积结构而趋于稳定。

3. 地核(大于 $2\,900\text{km}$)

地幔下界至地心部分称为地核,它占地球总体积的 16%,占总质量的 31.5%。按地震波波速分布,分为外核、过渡层和内核三层。根据横波不能通过外核的事实,推断外核是由液态物质组成的。分布于中间的过渡层,波速变化复杂,可能是由液态开始向固态物质转变的一个圈层。内核一般认为由以铁、镍等成分为主的固态物质组成。

第二节 地质作用

地壳自形成以来,一直处在不停的运动和变化之中。一些变化速度快,易为人们感觉到,如地震和火山喷发等;另一些变化则进行得很慢,不易被人们发现,如地壳的缓慢上升、下降等。虽然这些活动缓慢,但经过漫长的地质年代,可导致地球面貌的巨大变化。在地质历史发展的过程中,促使地壳物质组成、构造和地表形态不断变化的作用统称为地质作用。按其能源的不同,地质作用可分为两种类型:内动力地质作用和外动力地质作用。

地质作用具有三个含义:地质作用是自然发生的复杂的物质运动形式;这个复杂的运动形式的表现是对地球的改造和建造;对地球的改造和建造是一对矛盾的统一。

一、内动力地质作用

内动力地质作用是由地球的转动能、重力能和放射性元素蜕变产生的热能等所引起的。

根据动力和作用方式可分为：

1. 地壳运动

由内部能源引起地壳结构和面貌发生改变或相对位移的运动,按地壳运动的方向可分水平运动和升降运动。

(1)水平运动 指地壳或岩石圈块体沿水平方向移动,使岩层产生褶皱、断裂,形成裂谷、盆地及褶皱山系,如我国的喜马拉雅山、天山等。

(2)垂直运动 指相邻块体或同一块体的不同部分作差异性上升或下降,使某些地区上升形成山岳、高原,另一些地区下降,形成湖、海、盆地,所谓“沧海桑田”即是古人对地壳垂直运动的直观表述。喜马拉雅山上大量新生代早期的海洋生物化石的存在,反映了五六千万年前,这里曾是汪洋大海,由此可见垂直运动幅度之大。目前,我国地势西部总体相对上升,而东部相对下降。

同一地区构造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 40~100km 深处、呈高温粘稠状的、富含挥发组分、成分复杂的硅酸盐熔融体。岩浆在高温高压下常处于相对平衡状态,但当地壳运动使地壳出现破裂带,或其上覆岩层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

地震是地壳快速振动的现象,地壳运动和岩浆作用都能引起地震。

二、外动力地质作用

外动力地质作用是由来自外部能源所引起的地质作用,主要有太阳辐射能、天体引力能及其它行星、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。

(一)风化作用

由于太阳辐射、大气、水和生物等的作用,地壳表层的岩石发生崩解、破碎以至逐渐分解的变化称为风化作用。风化作用是外力作用中较为普遍的一种,在大陆的各种地理环境中都有风化作用在进行,其作用于地表最显著,随着深度的增加,其影响就逐渐减弱以至消失。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,使岩石的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、岩堆及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力及岩石变化性质的不同,可分为物理风化、化学风化及生物风化三个密切联系的类型。

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叫物理风化作用。引起物理风化作用的主要因素是岩石释重和温度的变化。此外,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。其作用方式可归纳为三种。

(1) 剥离

温度变化是引起物理风化作用的最主要因素,由于温度的变化产生温差,温差可促使岩石膨胀和收缩交替地进行,从而引起岩石破裂。我们知道,岩石是热的不良导体,导热性差,白昼当它受太阳照射时,表层首先受热发生膨胀,而内部还未受热,仍然保持着原来的体积,这样,必然会在岩石的表层引起壳状脱离。在夜间,外层首先冷却收缩,而内部余热未散,仍保持着受热状态时的体积,这样表层便会发生径向开裂,形成裂缝。由于温度变化所引起的这种表里不协调的膨胀和收缩作用,昼夜不停地长期进行,就会削弱岩石表层和内部之间的联结,使之松动,在重力或其它外力作用下产生表层剥落。此外,不同矿物受热的体积膨胀系数各不相同,故由多种矿物组成的岩石在温度变化的影响下,各种矿物的体积胀、缩亦有差异。这样,岩石便可产生纵横交错的裂缝,有的裂缝平行岩石表面,形成层状剥离现象,有的裂缝垂直于岩石表面。久而久之,岩石裂缝可逐渐加大加深,由表及里地不断崩解、破碎成大大小小的碎块。

温差风化的强度主要决定于温度变化的速度和幅度,特别是昼夜温度变化的幅度越大,温差风化则越强烈。此外,温差风化的强弱还决定于岩石的性质,如矿物成分与岩石结构等。

(2) 冰劈

充填在岩石裂隙中的水分结冰使岩石破坏的作用,称为冰冻风化。这是温度变化间接地使岩石破碎的现象。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10%左右。由于体积的增大,对岩石的裂隙可产生很大的压力,使岩石裂隙加宽、加深,故称冰劈作用。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,同时水可填满裂缝使水量增加。若气温在 0°C 上下波动时,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。

(3) 晶胀

岩石空隙中的水,往往溶解有大量的盐分。当水分蒸发,水溶液中的盐分浓度增大至过饱和时,盐分将再结晶。盐分结晶,体积随之膨胀,于是对周围岩石产生压力,并使空隙加大,导致岩石崩解。

2. 化学风化作用

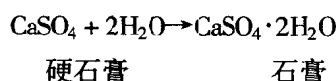
在地表或接近地表条件下,受大气和水溶液的影响,岩石、矿物在原地发生化学变化并可产生新矿物的过程叫化学风化作用。引起化学风化作用的主要因素是水和氧气。自然界的水,不论是雨水、地面水或地下水,都溶解有多种气体(如 O_2 、 CO_2 等)和化合物(如酸、碱、盐等),因此自然界的水都是水溶液。水溶液可通过溶解、水化、水解、碳酸化等方式促使岩石发生化学风化。

(1) 溶解作用

水能直接溶解组成岩石的矿物,使岩石遭到破坏。最容易溶解的是卤化盐类(岩盐、钾盐等),其次是硫酸盐(石膏、硬石膏等),再其次是碳酸盐类(石灰岩、白云岩等)。其它岩石虽然也溶解于水,但溶解的程度低得多。岩石与水长期接触,其中的可溶性矿物就逐渐地被水溶解。岩石在水里的溶解作用一般进行得十分缓慢,但是在有利条件下,比如当水的温度增高以及压力增大时,水的溶解作用就比较活跃。特别是当水中含有侵蚀性的 CO_2 而发生碳酸化作用时,水的溶解作用就会显著增强。在可溶岩分布地区,由于水对岩石的溶解作用,常常形成溶洞、溶穴等溶蚀地貌。

(2) 水化作用

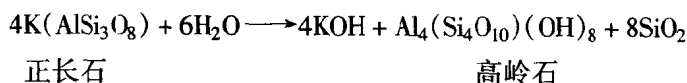
某些矿物和水反应生成新的含水矿物的过程,称为水化作用。例如硬石膏与水作用变为石膏即为水化作用:



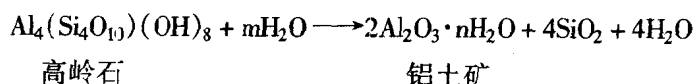
由此看来,水化作用的结果是产生了含水矿物。含水矿物的硬度一般低于无水矿物;同时由于在水化过程中结合了一定数量的水分子进入矿物的成分之中,改变了原有矿物的成分,引起体积膨胀,对岩石也具有一定的破坏作用。若岩层中含有硬石膏层时,当石膏发生水化作用而体积膨胀,对围岩产生很大的压力,促使岩石破碎。尤其在隧道施工中,这种压力甚至能引起支撑倾斜,衬砌开裂,应当引起足够的注意。

(3) 水解作用

某些矿物和水反应后生成带 OH^- 的新矿物的过程,称为水解作用。如在湿热气候条件下,花岗岩中的正长石在水解作用下,经过脱水去硅、吸水,先变成高岭石,再进一步分解为铝钒土,即:

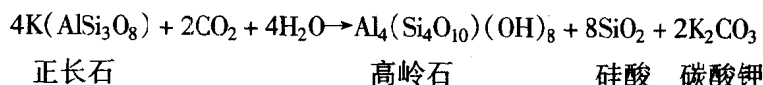


其中 KOH 易溶于水而被带走, SiO_2 在有强碱钾盐的碱性溶液中不能凝聚下来,也被带走,结果只有高岭石残留下来。如果在炎热、潮湿的气候下,高岭石将进一步分解,形成铝土矿。即:



(4) 碳酸化作用

当水中溶有 CO_2 时,水溶液中除 H^+ 和 OH^- 离子外,还有 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 离子,碱金属及碱土金属与之相遇会形成碳酸盐,这种作用称碳酸化作用。硅酸盐矿物经碳酸化作用,其中碱金属变成碳酸盐随水流失。如花岗岩中的正长石受到长期碳酸化作用时,则发生如下反应:



花岗岩中的正长石经碳酸化作用后, K_2CO_3 溶于水而流失,胶体的复硅酸失水变成石英类矿物,坚硬的长石变成了疏松的高岭石,于是花岗岩被风化解。

(5) 氧化作用

氧化作用是化学风化中极为普遍的主要方式之一,尤其在水的参与下,显得更为强烈。通常把地壳表层、地下水位之上凡能进行氧化作用的范围,称氧化带。以黄铁矿的氧化过程为