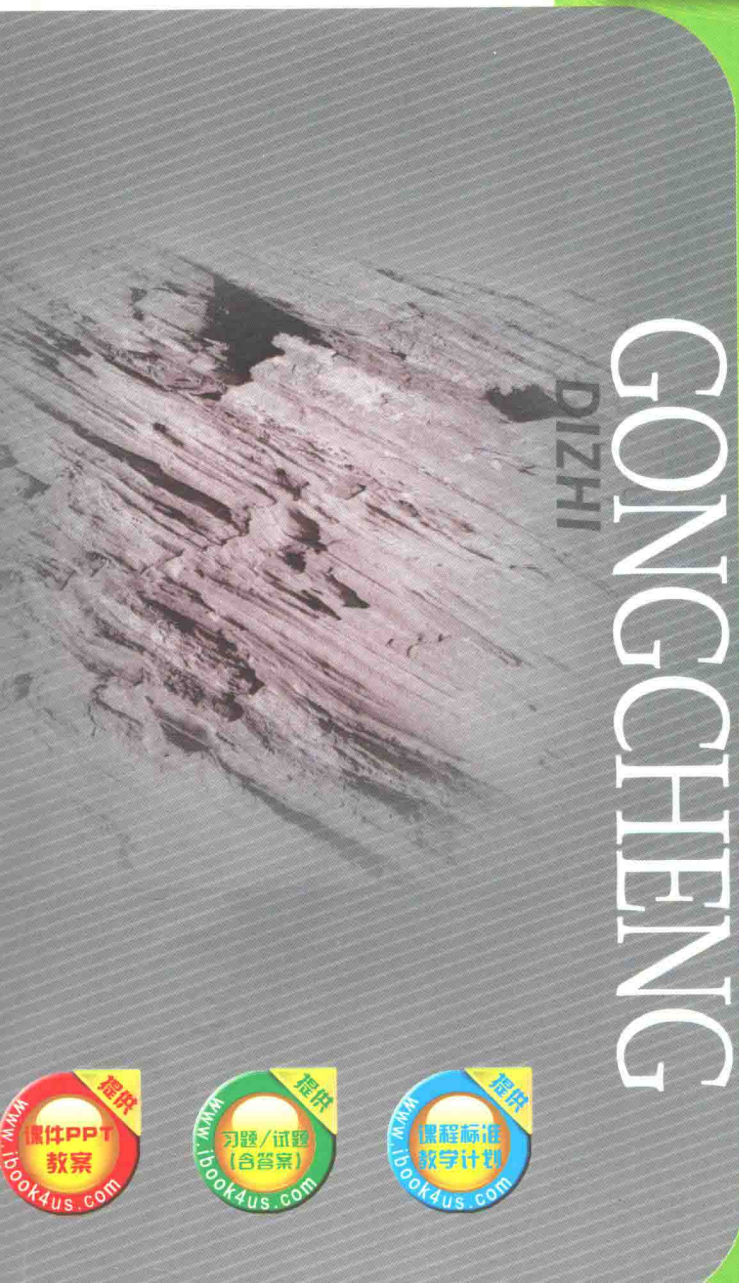




工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材

工程地质



GONGCHENG
DIZHI

>>>主编 盛海洋



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材

工程地质

GONGCHENG
DIZHI

主 编 盛海洋

副主编 沈 义 范大明

王志成 王飞跃

常州大学图书馆
藏书章



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

本书是根据高职高专土建类道路桥梁工程技术、公路监理、港口工程技术、城市轨道交通工程技术、高等级公路维护与管理、土木工程等专业,以及近些年工程地质课程改革的相关要求,在各高等职业院校积极践行和创新先进职业教育理念,深入推进“工学结合,校企合作”人才培养模式的大背景下,根据新的课程标准和教学标准组织编写而成。

在课程设计上,本书以实际工作任务为引领,以实际工程中处理工程地质问题能力为主线,贯穿课程的始终。本书将工程地质分解为工程地质基础知识、工程地质分析、工程地质勘察、工程地质勘察技能训练四个学习情境,目的是让学生掌握每一阶段工程地质知识的应用过程。

本书编写过程中根据高职高专学生能力培养的需要,注重吸收最新的科技成果,将教学与科研、生产紧密结合,以“必需、实用、够用”为度,强调高职特色。全书内容丰富、图文并茂、深入浅出、循序渐进、重点突出,便于自学。

为了方便教学,本书还配有电子课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册并下载,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

本书可供高职高专土建类道路桥梁工程技术、公路监理、港口工程技术、城市轨道交通工程技术、高等级公路维护与管理、土木工程等专业使用,亦可作为工程建设勘察、设计、施工、监理、实验、检测技术人员和交通土建类师生及科研人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程地质/盛海洋主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.5

国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5680-0881-5

I. ①工… II. ①盛… III. ①工程地质-高等职业教育-教材 IV. ①P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 105896 号

工程地质

盛海洋 主编

策划编辑:康 序

责任编辑:何 欢

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉市宏隆印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13

字 数:328 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:35.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

本书是根据高职高专土建类道路桥梁工程技术、公路监理、港口工程技术、城市轨道交通工程技术、高等级公路维护与管理、土木工程等专业,以及近些年工程地质课程改革的相关要求,在各高等职业院校积极践行和创新先进职业教育理念,深入推进“工学结合,校企合作”人才培养模式的大背景下,根据新的课程标准和教学标准组织编写而成。

本书力求体现以下特点。

(1) 体系规范。以“工学结合、校企合作”所开发的教材为切入点,在课程标准和教学标准确定的框架下,改革教学内容和教学方法,突出专业教学的针对性,选定教材内容。

(2) 内容先进性。用新观点、新思想审视和阐述教材内容,所选定的教材内容适应土建建设发展需要,反映交通土建建设的新知识、新技术、新工艺和新方法。

(3) 知识实用。以职业能力为本位,以应用为核心,以“必需、实用、够用”为原则,教材紧密联系生产和生活实际,加强了教学的针对性,能与相应的职业资格标准相互衔接。

(4) 使用灵活。体现教学内容弹性化、教学要求层次化、教材结构模块化,有利于按需施教,因材施教。

在课程设计上,本书以实际工作任务为引领,以实际工程中处理工程地质问题能力为主线,贯穿课程的始终。本书将工程地质分解为工程地质基础知识、工程地质分析、工程地质勘察、工程地质勘察技能训练四个学习情境,以及认识矿物与岩石、认识地质构造、认识地貌与第四纪地质、认识水的地质作用、认识不良地质现象、岩体边坡稳定性分析、地下洞室围岩稳定性评价、工程地质勘察、室内地质分析应用技能训练、野外地质技能训练十个学习任务,目的是让学生掌握每一阶段工程地质知识的应用过程。

本书打破了以往学科式教学的模式,主要介绍在交通土建工程中有关工程地质资料的获取、整理及其应用等知识。由于工程地质学所要研究的内容十分丰富,分科也很细,在有限的时间内只能结合土建类各专业的需要择其主要的和基本的内容简明扼要地进行介绍,为学生学习各自专业及开展相关问题的科学研究,提供最为必要的工程地质基本知识及技能。

为紧密结合生产实践,本书立足于《公路工程地质勘察规范》(JTG C20—2011)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)等,按照这些规范的要求及规定,通过一些基本技能的训练,搜集、分析和运用有关的工程地质资料,并能正确运用勘察数据和资料,进行相关工程的设计、施工和管理。

本书编写过程中根据高职高专学生能力培养的需要,注重吸收最新的科技成果,将教学与科研、生产紧密结合,以“必需、实用、够用”为度,强调高职特色。全书内容丰富、图文并茂、深入浅出、循序渐进、重点突出,便于自学。为了方便学生学习,每个工作任务都附有学习目标、学习重点、难点和一定数量的课后复习思考题及其训练,以便学生更好地了解 and 掌握核心内容。

本书由福建船政交通职业学院盛海洋教授主编并统稿。黑龙江建筑职业技术学院沈义,长江工程职业技术学院范大明、王志成,黄河水利职业技术学院王飞跃任副主编。具体编写分工情况如下:前言、任务1、任务2、任务4、任务9、任务10由福建船政交通职业学院盛海洋编写;任务3、任务6和任务7部分内容由黑龙江建筑职业技术学院沈义编写;任务5由长江工程职业技术学院王志成编写;任务6和任务7部分内容由黄河水利职业技术学院王飞跃编写;任务8由长江工程职业技术学院范大明编写。

在本书的编写过程中,曾广泛征求相关高职院校及勘察设计施工单位同行对编写大纲的意见,并得到了有关领导和部门的指导和帮助,在此一并表示诚挚感谢。

为了方便教学,本书还配有电子课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册并下载,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2015年2月

目录

学习情境 1 工程地质基础知识	1
任务 1 认识矿物与岩石	1
1.1 工程地质简介	2
1.2 地球的物理性质与圈层构造	4
1.3 地质作用	11
1.4 造岩矿物	13
1.5 岩石	20
1.6 岩石的工程地质性质与工程分类	37
任务 2 认识地质构造	41
2.1 地壳运动概述	42
2.2 地质构造	42
2.3 地质年代	52
2.4 地质图	56
任务 3 认识地貌与第四纪地质	65
3.1 地貌概述	65
3.2 山地地貌	66
3.3 平原地貌	68
3.4 河谷地貌	68
3.5 第四纪地质	70
任务 4 认识水的地质作用	74
4.1 地表流水的地质作用	74
4.2 地下水的地质作用	80
学习情境 2 工程地质分析	99
任务 5 认识不良地质现象	99
5.1 崩塌	100
5.2 滑坡	103
5.3 泥石流	110
5.4 岩溶	115
5.5 地震	123
任务 6 岩体边坡稳定性分析	134
6.1 岩体的结构特性	134

6.2 岩体边坡稳定性分析	141
任务7 地下洞室围岩稳定性评价	145
7.1 隧洞选线的工程地质条件	145
7.2 围岩应力的重分布	148
7.3 围岩(山岩)压力	149
7.4 保障围岩稳定性的措施	153
学习情境3 工程地质勘察	154
任务8 工程地质勘察	154
8.1 工程地质勘察任务与阶段划分	155
8.2 工程地质勘察方法	157
8.3 工程地质勘察报告书	165
8.4 工程地质勘察报告案例	167
学习情境4 工程地质勘察技能训练	182
任务9 室内地质分析应用技能训练	182
9.1 矿物鉴别	183
9.2 岩浆岩鉴别	184
9.3 沉积岩鉴别	185
9.4 变质岩鉴别	187
9.5 地质构造鉴别	189
任务10 野外地质技能训练	190
10.1 野外工作的基本方法和技能	190
10.2 各种地质现象的野外观察	193
10.3 地质测绘的步骤与方法	195
10.4 地质实习报告的编写	198
参考文献	199

工程地质基础知识

任务 1 认识矿物与岩石

学习目标

- (1) 知道工程地质概念。
- (2) 了解地球的起源。
- (3) 了解地球的物理性质。
- (4) 了解地球的外部圈层和内部圈层。
- (5) 知道矿物的物理性质。
- (6) 知道岩石的矿物成分、结构和构造。
- (7) 了解岩石力学性质、岩石的工程性质。

学习重点

地球的圈层构造;矿物的物理性质;岩石的矿物成分、结构和构造;岩石的力学性质;岩石的工程性质;影响岩石工程性质的因素。

学习难点

地球的相关物理性质;肉眼鉴定矿物、岩石的方法;岩石的结构和构造;岩石的力学性质。

1.1 工程地质简介

1.1.1 工程地质基本概念

1. 地质学

地质学一词是由瑞士人索修尔于 1779 年提出的,意指“地球的科学”。地质学就是研究地球的科学。限于目前的科学技术水平,地质学现阶段以地球的表层(地壳)为主要研究对象,主要研究地壳的物质组成、促使地壳运动变化的各种地质因素、地壳的发展历史及地质学在有关领域中的应用等。随着生产实践的需要和科学的发展,地质工作的范围越来越广,地质学也相应发展成许多分支,如工程地质学、水文地质学等。

2. 工程地质学

工程地质学是地质学的分支学科,它是一门研究与工程建设有关的地质问题、为工程建设服务的地质科学,属应用地质学的范畴。工程地质学广泛应用于各类工程,如公路工程、铁路工程、水电工程、工民建工程、矿山工程、港口工程等。随着生产的发展和研究的深入,又出现一些新的分支学科,如环境工程地质学、海洋工程地质学、地震工程地质学等。工程地质学的特点是它始终与工程实践联系紧密。

1.1.2 工程地质基本任务

工程地质的基本任务是研究人类工程活动与地质环境之间的关系,以便科学评价、合理利用、有效改造和完善保护地质环境。

工程地质学为工程建设服务,是通过工程地质勘察来实现的,通过勘察和分析研究,阐明建筑地区的工程地质条件,指出并解决所存在的工程地质问题,为建筑物的设计、施工以及使用提供所需的地质资料。工程地质的任务要求地质人员对工程活动的地质环境(或称工程地质条件)进行深入研究,其基本任务是查明工程地质条件,中心任务是工程地质问题的分析、评价。

工程地质条件是指与工程建设有关的地质因素的综合,即工程建筑物所在地质环境的各项因素。这些因素包括地层岩性、地质构造、地形地貌、水文地质条件、物理地质现象和天然建筑材料等方面。

工程地质问题是指工程建筑物与工程地质条件之间所存在的矛盾或问题,即工作区的工程地质条件满足不了工程建筑的要求,而出现的安全使用问题、地基稳定问题及经济问题。优良的工程地质条件能满足建筑物的安全、经济和正常使用的要求,但自然界工程地质条件往往都有一定的缺陷,对建筑物会产生严重的甚至是灾难性的危害。因此,一定要将矛盾的两个方面联系起来进行分析。工程建筑的类型、结构形式和规模不同,对地质环境的要求也不同,所以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地基承载力和沉降问题;地下洞室的主要工程地质问题是围岩稳定性问题;露天采矿场的主要工程地质问题是采坑边坡稳定性问题等。对工程地质问题进行分析和评价,则是工程地质工程师的中心任务。

1.1.3 工程地质在工程建设中的作用

工程地质研究对象是工程地质条件和工程活动的地质环境。

大量的国内外建设工程实践证明,工程地质工作做得好,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,对工程地质工作的忽视或重视不够,一些严重的工程地质问题未被发现或发现了而未进行可靠的处理,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,酿成灾害。

例如,法国马尔帕塞坝,最大坝高为 66 m,该坝于 1952 年开工,1954 年建成,初期蓄水缓慢,1959 年 7 月检测出坝和坝基位移偏大,同年 12 月连降大雨,库水位上升近坝顶,12 月 2 日 21:10,大坝突然溃决,共造成 500 余人死亡和失踪,财产损失达 300 亿法郎。

马尔帕塞坝是当时拱坝建筑史上唯一的一座几乎在瞬时被全部破坏的拱坝,引起了世界各国坝工界的极大重视。法国政府曾三次组织调查委员会进行失事后的调查、鉴定,并由法院进行审理。单纯从地质情况看,在施工之前,只在河床内打了 2 个勘探钻孔,且孔深分别为 10.4 m 和 25.0 m,而对两岸坝座的岩体质量注意得很少,仅凭有限的几个天然岩石露头作出判断,可见这座拱坝的地质条件没有得到认真的查勘和研究。从失事后的岩层可以看出,建基面并没有开挖到良好岩层,而在强风化层下的弱风化层上限附近(施工开挖记录表明进入弱风化层约 1 m)。总之,该坝坝址地质(尤其是左岸坝基岩体)质量很差。

马尔帕塞坝失事后,当时全世界正在施工的几十座拱坝受到重大冲击,都面临着如何评价坝座安全问题,纷纷停工,重新勘察和研究,有的补强加固,有的修改设计,有的甚至改变坝型或将已建的坝废弃。

意大利的瓦依昂高拱坝(见图 1-1),是当时世界上最高的一座拱坝(262 m),由著名坝工专家西门扎设计,1956 年 10 月开始进行坝基开挖,1959 年底完成混凝土浇筑,同年 12 月,法国马尔帕塞坝失事后,考虑到瓦依昂坝址两岸坝肩上部岩体内裂隙发育,在奥地利岩土专家缪勒和巴契尔的指导下,采用预应力钢索锚固。1963 年 10 月 9 日,水库左岸山体突然大范围坍塌,堵塞水库,淤积体高出库水面 150 m,致使水库报废,涌浪高达

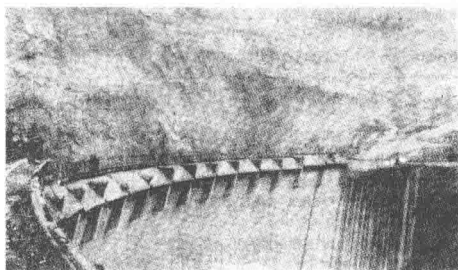


图 1-1 意大利的瓦依昂高拱坝

250 m,漫过坝顶,破坏河谷内一切设施,共计死亡 1 925 人。这次事故对地质人员来说是一次沉痛的教训,地质勘探不充分和地质条件评估失误是导致失事的主要原因。

国内事例,如成(都)昆(明)铁路,沿线地形险峻,地质构造极为复杂,大断裂纵横分布,新构造运动十分强烈,有约 200 km 的地段位于八九级地震高发区,岩层十分破碎。加上沿线雨量充沛,山体不稳,各种不良地质现象十分严重,被誉为“地质博物馆”。中央和原铁道部对成昆线的工程地质勘察十分重视,提出了地质选线的原则,动员和组织全路工程地质专家和技术人员进行“大会战”,并多次组织全国工程地质专家进行现场考察和研究,解决许多工程地质难题,保证了成昆铁路顺利建成及通车。

相反,新中国成立初期修建的宝(鸡)成(都)铁路,限于 20 世纪 50 年代初期的设计水平,对

工程地质条件认识不足,致使线路的某些地段质量不高,给施工和运营带来了困难。宝成铁路上存在的路基冲刷、滑坡和泥石流问题给我们留下了深刻教训。又如新中国成立前修建的宝(鸡)天(水)铁路,因为当时根本不重视工程地质勘探工作,设计开挖了许多高陡路堑,致使大量崩塌、滑坡、泥石流等问题的发生,使线路无法正常运营,被称为西北铁路线上的“盲肠”。

公路工程是一种延伸很长的线形建筑物,主要建筑在地表(壳)上。在兴建和使用的过程中,必然会遇到各种各样的自然条件问题和地质问题,在山区路线中,塌方、滑坡、泥石流等不良地质现象对工程构成威胁,而地形条件又是制约路线的纵坡和曲率半径的重要因素。如果对地质工作重视不够,就会给工程带来不同程度的影响。例如,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,还会提高造价,甚至危及生命安全,造成财产损失。我国台湾基隆河畔某地因修筑高速公路,在河岸的山腰处进行开挖,切断了层状岩体,导致该地于1974年9月发生滑坡,破坏了周围的村庄、道路,阻断了河流。又如沿河谷布线,若不分析河道形态、河流流向以及水文地质特征,就有可能造成路基水毁。

由此可见,为保证工程的正常施工、运行和生命财产的安全,工程地质的任务是非常重要的。它已成为工程建设中不可缺少的一个重要组成部分。随着我国经济建设日益发展和科学技术的进步,工程建设的规模和数量也越来越大。数十公里长的隧道、数百米高的高楼大厦及露天采矿场边坡、二滩和三峡水利枢纽工程等,所谓“长隧道、深基坑、高边坡”巨型重大工程建设与工程地质的关系更趋密切。鉴于工程地质对工程建设的重要作用,国家规定任何工程建设必须在进行相应的地质工作、提出必要的地质资料的基础上,才能进行工程设计和施工工作。

1.2 地球的物理性质与圈层构造

1.2.1 地球的物理性质

1. 地球的形状和大小

自古以来,地球的形状一直是人们关注的问题之一。随着科学技术的发展,人们对地球形状的认识也越来越准确。

地球的形状通常是指大地水准面所圈闭的形状。所谓大地水准面是由全球性静止海面即平均海平面及其在陆地底下延伸所构成的封闭曲面。在该曲面上各处重力相等,并且曲面与重力方向垂直。因此,该封闭曲面是一个重力等位面。大地水准面所确定的地球形状接近于两极半径略小于赤道半径的旋转椭球体(即扁球体)。地球的基本参数如表1-1所示。

表 1-1 地球的基本参数

赤道半径/km	极半径/km	扁率	表面积/km ²	体积/km ³	质量/g	密度/(g/cm ³)
6 378.137	6 356.755	1/298	5.1×10^8	1.083×10^{13}	5.976×10^{27}	5.515

从表1-1得知,由于地球扁率只有1/298,无论是旋转椭球体、大地水准体或近似“梨”形体,从宏观上看地球仍然近似球形。

2. 地球的密度

地球的质量是根据万有引力定律计算出来的,用地球的质量除以地球的体积,便可得出地球的平均密度是 5.515 g/cm^3 ,而地壳上部的岩石平均密度是 2.65 g/cm^3 ,由此推测地球内部必有密度更大的物质。根据地震资料可知,地球密度是随深度增加而增大的,并且在地下若干深度处密度呈跳跃式变化,推测地核部分密度可达 13 g/cm^3 左右。目前,公认的地球内部密度变化模型是由澳大利亚学者布伦推导的。据布伦(1975)推导的结果:地壳表层的密度为 2.7 g/cm^3 ;地下 33 km 处的密度为 3.32 g/cm^3 ;大约 $2\,990 \text{ km}$ 处的密度由 5.56 g/cm^3 突增至 9.98 g/cm^3 ;至 $6\,371 \text{ km}$ 处的密度达 11.51 g/cm^3 。

3. 地球的重力

地球的重力是指地球对物体产生的引力和该物体随地球自转而引起的惯性离心力的合力。由于地球产生的惯性离心力相对地球引力是很微弱的,因此重力方向是大致指向地心的。通常把地球内部及其附近存在重力作用的空间称为地球的重力场。在重力场中,物体所受重力作用的大小还与其本身的质量有关。单位质量的物体在重力场中所受的重力称为重力场强度。它在数值上(包括方向)等于重力加速度。通常将二者统称为重力。

重力加速度在地表为 982 cm/s^2 ,到下地幔的底部($2\,900 \text{ km}$)处达到最大值 $1\,037 \text{ cm/s}^2$ 左右。在地核中重力加速度开始迅速减小,到 $6\,000 \text{ km}$ 处重力加速度是 126 cm/s^2 ,到地球核心时为零。

4. 地球的压力

随着地球深部密度的递增,由于上覆岩石重量的影响,地球内部压力亦随深度的增加而增大。其变化情况根据地震波推测,各深度的压力如表 1-2 所示。

表 1-2 地球内部压力随深度变化情况

深度/m	100	500	1 000	5 000	10 000
压力/MPa	2.7	13.5	27	135	270

上述数据仅说明压力随深度增长而增大的一般规律。在各矿区,由于当地地质条件的差异,压力除受上覆岩层重量影响之外,还受其他因素影响。因此,具体地段的压力可能较表 1-2 所示数据略有增减。在矿山开采中,由于形成了开采空间,可能出现各种地压显现现象,直接影响矿山生产,应十分注意。

5. 地球的温度

地球热力的来源,外部来自太阳的辐射热,内部主要来自放射性元素蜕变时释放的热,以及元素化学反应放出的热能。

从地表向下可划分为变温带、常温带、增温带等两层。根据世界各地钻探资料表明,地球上大部分地区,从常温带向下平均每加深 100 m ,温度升高 $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,这种每加深 100 m 温度增加的数值,叫做地热增温率或地温梯度。而把温度每升高 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 所需增加的深度,称为地热增温级。地热增温级的平均数值为 33 m 。若按上述规律简单推算,地心的温度将达到 $20 \text{ 万 }^{\circ}\text{C}$,这显然是不可能的。现代地球物理学的研究证明,上述规律只适用于地表以下 20 km 深度范围。

如果深度继续增加,地球内部的导热率也将随之增大,地温的增加则会大大变慢。据推测,地球中心的温度在 $3\,000\sim 5\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。

由于各地地质构造、岩石导热性能、岩浆活动、放射性元素的存在以及水文地质等因素的差异,不同地区的地热增温率是不同的。如果某一地区实际地热增温率大于平均地热增温率,则称该地区有地热异常。据此,可发现和进一步利用该地的地下热能。

地热异常区蕴藏着丰富的热水和蒸汽资源,是开发新能源的最佳场所。目前世界上有多个国家利用地热发电,地下热水还可用于工业锅炉、取暖、医疗等。

6. 地球的磁性

地球周围形成一个巨大的地磁场。地球的磁性明显表现在对磁针的影响方面。磁针所指的方向(亦称地磁子午线)就是地磁的两极。地磁两极与地理两极是不一致的。地磁子午线与地理子午线之间有一定夹角,称磁偏角。其大小因地而异,在中国的大部分地区,地磁偏角在 $-10^{\circ}\sim +2^{\circ}$ 之间。使用罗盘测量方位角时,必须根据当地磁偏角进行校正。磁针只有在赤道附近才能保持水平状态,向两极移动时逐渐发生倾斜。磁针与水平面的夹角,称为磁倾角。各地磁倾角也不一致。地质罗盘上磁针有一端往往捆有细铜丝,就是为了使磁针保持水平。我国处于地球北半部,因此,在磁针南端捆有细铜丝,以校正磁倾角的影响。

地球上某一点单位磁极所受的磁力大小,称为该点的磁场强度。磁场强度因地而异,一般是随纬度增高而增强。磁偏角、磁倾角、磁场强度称为地磁三要素,用于表示地表某点的地磁情况。根据地磁三要素的分布规律,可以计算出某地地磁三要素的理论值。但是,由于地下物质分布不均,某些地区实测数值与理论计算值不一致,这种现象称为地磁异常。引起地磁异常的原因有两个,一个是地下有磁性岩体或矿体存在,另一个是地下岩层可能发生剧烈变位。因此,地磁异常的研究,对查明深部地质构造和寻找铁、镍矿床有着特殊的意义。地球物理学中的磁法探矿,就是利用上述原理进行的。

1.2.2 地球的圈层构造

地球是一个由不同状态与不同物质的同心圈层所组成的球体。这些圈层可以分成内部圈层与外部圈层,即内三圈与外三圈。其中,内三圈包括地壳、地幔和地核,外三圈包括大气圈、水圈和生物圈。

1. 地球的外部圈层

地球的外部圈层可分为大气圈、水圈、生物圈,各个圈层既围绕地表可各自形成一个封闭的体系,同时又相互关联、相互影响、相互渗透、相互作用,并共同促进地球外部环境的演化。

1) 大气圈

大气圈是因地球引力而聚集在地表周围的气体圈层,是地球最外部的一个圈层。大气是人类和生物赖以生存必不可少的物质条件,也是使地表保持恒温和水分的保护层,同时也是促进地表形态变化的重要动力和媒介。

据估算,大气圈的总质量约为 $5\times 10^{18}\text{ kg}$,其中绝大部分分布在大气圈的下层。自然状态下的大气是多种气体的混合物,主要由氮、氧、二氧化碳、水汽及一些惰性气体组成。表 1-3 列举出了大气圈 25 km 以下含量最高的 11 种气体。

表 1-3 大气圈中 25 km 以下大气中平均组分

气体名称	化学分子式	体积分数/(%)
氮	N ₂	78.08
氧	O ₂	20.95
水	H ₂ O	0~4
氩	Ar	0.93
二氧化碳	CO ₂	0.036 0
氖	Ne	0.001 8
氦	He	0.000 5
甲烷	CH ₄	0.000 17
氢	H ₂	0.000 05
一氧化二氮	N ₂ O	0.000 03
臭氧	O ₃	0.000 004

氮、氧是大气圈中的主要组成成分,占大气的 99% 左右。同时这两种气体也与生命活动有密切的关系。通过特殊的固氮菌以及闪电作用析出氮,氮气能从大气中分离出来并储存于地表,氮是植物制造蛋白质的主要原料,然后通过生物的燃烧以及脱氮作用又回到大气中。氧气是生物能量的主要来源,氧气通过光合作用,以及呼吸作用实现在大气及生命中的交换。

二氧化碳气体来自地球内部析气(火山、地裂缝),生物呼吸和有机质燃烧。在过去的 300 年间,二氧化碳的量增加了 25%。增加的主要原因是人类引起的燃烧、森林砍伐以及土地利用形式的改变。一些科学家认为大气中二氧化碳的增加使温室效应作用加强,从而导致全球变暖。

大气中水蒸气的浓度随时空的变化而变化。靠近赤道附近的海面及热带雨林上空水蒸气的浓度最大,而在寒冷的极地及亚热带的沙漠地区水蒸气的浓度可接近于零。大气圈的下界通常是指地表,但在地面以下的松散堆积物及某些岩石中也含有少量空气,它们是大气圈的地下部分,其深度一般小于 3 km;大气圈的上界并无明确的界限,一般认为在 2 000~3 000 km。大气圈在垂直方向上的物理性质有显著的差异,根据温度、成分、电荷等物理性质,以及大气的运动特点,可将大气圈自下而上依次分为对流层、平流层、中间层、暖层及散逸层。

2) 水圈

水圈主要是呈液态及部分固态出现的。它包括海洋、江河、湖泊、冰川、地下水等,形成一个连续而不规则的圈层。水圈的质量为 1.5×10^{18} t,占地球总质量的 0.024%。其中海水占 97.25%,陆地水(包括江河、湖泊、冰川、地下水)只占 2.8%;而在陆地水中冰川占水圈总质量的 2.2%,所以其他陆地水所占比重是很微小的(见表 1-4)。此外,水分在大气中有一部分,在生物体内有一部分,生物体的 3/4 是水,在地下的岩石与土壤中也有一部分。可见,水圈是独立存在的,但又和其他圈层互相渗透。

表 1-4 地表水分布表

水的类型	水量/($\times 10^6 \text{ km}^3$)	质量分数/(%)
海洋	1370	97.25
江河及冰川	29	2.05
地下水	9.5	0.68
湖泊	0.125	0.01
土壤	0.065	0.005
大气	0.013	0.001
河流	0.001 7	0.000 1
生物圈	0.000 6	0.000 04

大气圈中存在的水分只占水圈总量的万分之一,但它的重要意义是不能以百分比来衡量的。因为大气中的水分不时凝结为雨、雪降下,又不时从地面和海面得到补充。实际上,大气中的水汽成了水分循环的中转站。这个中转站对于人类的生存影响极大。每年大约有 $4.46 \times 10^{14} \text{ t}$ 的水分经过蒸发进入大气圈,同时也有相等数量大气中的水分经过凝结又降回大地,其中约有 1/5 降落在大地上(见图 1-2)。

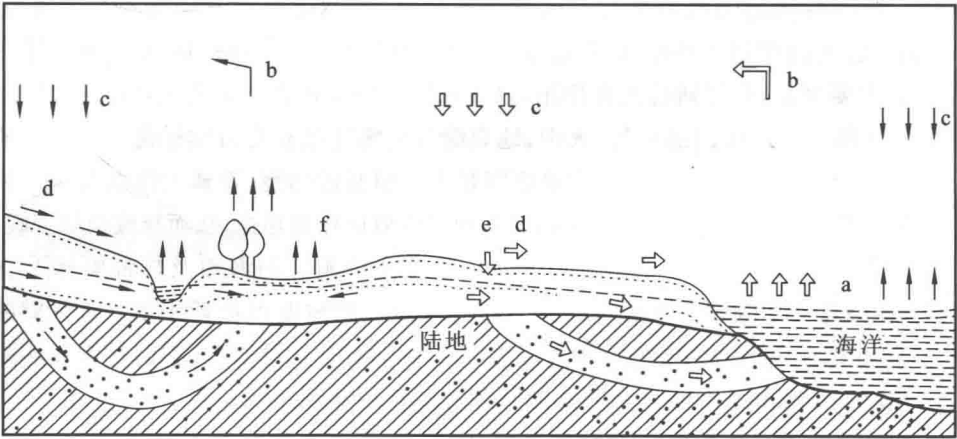


图 1-2 水循环示意图

a—海洋蒸发;b—大气中的水汽转移;c—降水;d—地表径流;e—入渗;f—蒸发

3) 生物圈

生物圈是地球上生物(动物、植物和微生物等)生存和活动的范围所构成的一个连续圈层。生物活动是改造大自然和推动地壳发展演变的重要因素。许多生物直接或间接地对岩石起着破坏作用,并导致了地表形态的改变;另一方面还引起地表物质的迁移和聚集,为某些岩石和矿产的形成提供了条件。

2. 地球的内部圈层

内部圈层是指从地面往下直到地球中心的各个圈层。地球平均半径为6 371 km,根据火山

喷发、宇宙地质(如陨石)和物理勘探中的地震波传播速度的突变,将其分为地壳、地幔及地核三部分(见图 1-3)。

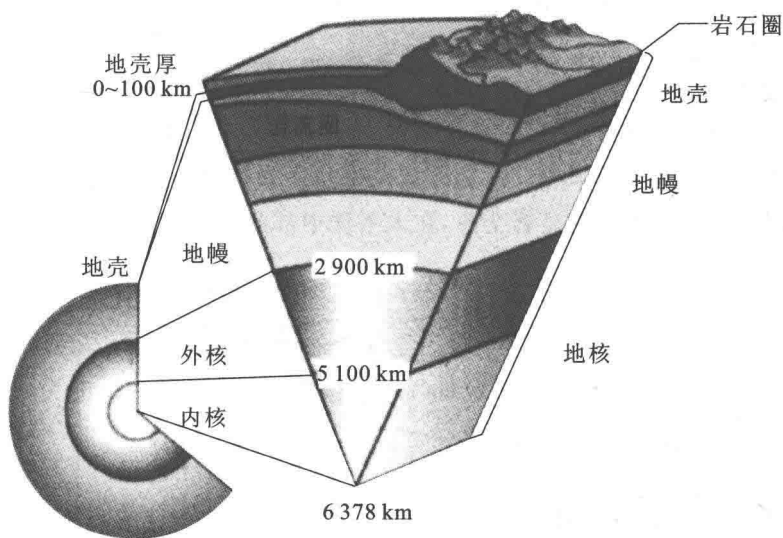


图 1-3 地球内圈(岩石圈包括地壳和上地幔)

地震波在地下某一深度,传播速度发生急剧变化的面,称为不连续面。其中最主要的不连续界面有莫霍洛维奇面(简称莫霍面)和古登堡面。莫霍面最先由克罗地亚学者莫霍洛维奇于 1909 年发现。在莫霍面上下,纵波速度从 7.0 km/s 迅速增加到 8.1 km/s 左右,横波速度则从 4.2 km/s 增加到 4.4 km/s 左右。古登堡面于 1914 年由美籍德裔学者古登堡发现,在此不连续面上下,纵波速度由 13.6 km/s 突然降低为 7.98 km/s,横波速度从 7.23 km/s 到突然消失(见图 1-4)。

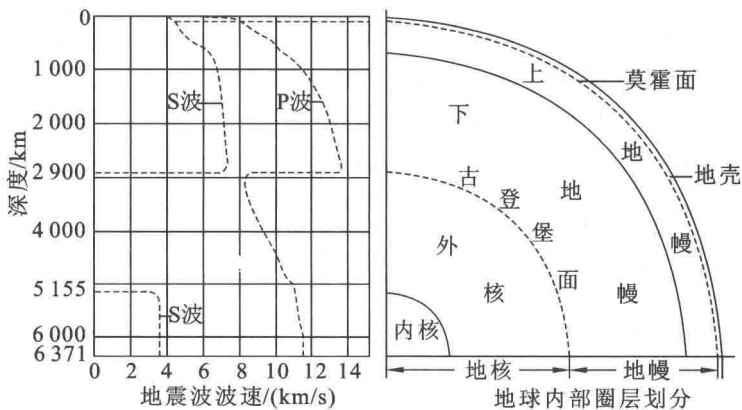


图 1-4 地震波波速与地球内部构造图

1) 地壳

莫霍面以上由固体岩石组成的地球最外圈层称为地壳。地壳的平均厚度约为 18 km,分为大陆型和大洋型两种类型。但各地厚度很不均匀,大陆型地壳分布在大陆及其边缘地区,其厚度较大,平均厚度为 33 km,越向高山区其厚度越大,如我国青藏高原地区,厚度可达 70 km 以

上。大洋型地壳厚度较小,平均厚度只有 7 km,如大西洋和印度洋厚度为 10~15 km,而太平洋中央部分厚度为 5 km,最薄处西太平洋的马里亚纳海沟处地壳厚仅为 1.6 km。

地震波变化表明,地壳内存在着一个次一级的不连续面,称为康拉德面,它将地壳分为两层,上层为硅铝层(不连续),下层为硅镁层。

硅铝层(花岗岩层)是地壳上部分布不连续的一层,平均厚度约为 10 km,化学成分以硅、铝为主,故称硅铝层。硅铝层密度较小,平均密度为 2.7 g/cm^3 。地震波在硅铝层的传播速度与花岗岩的近似,其物质成分类似花岗岩,故又称花岗岩层。该层厚度各地不一,山区有时厚达 40 km,海陆交界处变薄,海洋地区则显著变薄,在太平洋中部此层甚至缺失,如图 1-5 所示。



图 1-5 地壳结构示意图

2) 地幔

古登堡面以上到莫霍面以下的圈层称为地幔。地幔厚约 2 800 km,其体积约占地球总体积的 82%,质量占地球总质量的 67.8%,密度从 3.32 g/cm^3 递增到 5.66 g/cm^3 ,在地幔下部接近于地球的平均密度。压力随深度而增加,界面上压力可达约 $1.5 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 。温度也随深度缓慢增加,下部温度约为 $3\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

根据地震波速在 400 km 和 670 km 深度上存在两个明显的不连续面的原理,可将地幔由浅至深分成三个部分:上地幔、过渡层和下地幔。上地幔深度为 20~400 km。目前研究认为上地幔的成分接近于超基性岩(即二辉橄榄岩)的组成,在 60~150 km 的深度之间,许多大洋区及晚期造山带内有一低速层,可能是由地幔物质部分熔融造成的,成为岩浆的发源地。过渡层深度为 400~670 km,地震波速随深度的增加而加大的梯度大于其他两部分,是由橄榄石和辉石的矿物相转变吸热降温形成的。下地幔深度为 670~2 891 km,目前认为下地幔的成分比较单一,主要由铁、镍金属氧化物和硫化物组成。

3) 地核

古登堡面位于地下 2 885 km 处,此界面以下直至地心的部分称为地核。地核包括内核、过渡层和外核三部分,厚约 3 473 km,其体积约占地球总体积的 17%。据推测,地核密度为 $9.71 \sim 17.9 \text{ g/cm}^3$,温度为 $2\ 000 \sim 3\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力可达 300~360 GPa(约 10 000 atm)。外核呈液态,其成分除铁、镍外,可能还有碳、硅和硫;内核呈固态,其成分为铁、镍。

硅镁层(玄武岩层)主要化学成分为铁、镁,含有少量硅、铝,故称硅镁层。硅镁层密度较大,平均密度为 2.9 g/cm^3 。因硅镁层平均化学成分、地震波传播速度均与玄武岩的相似,故又称玄武岩层。硅镁层是地壳下分布连续的一层,在大陆及平原区厚度可达 30 km,海洋区仅为 5~8 km。