

高等学校试用教材

水文学与供水 水文地质学

杜时贵 叶俊林 编

中国地质大学出版社

高等学校试用教材

水文学与供水水文地质学

杜时贵 叶俊林 编

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水文学与供水水文地质学/杜时贵,叶俊林编. —武汉:中国地质大学出版社,1997.11
ISBN 7-5625-1248-5

- I. 水…
- II. ①杜…②叶…
- III. 水文学-供水水文地质学-高等学校试用教材
- IV. P641

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 贾晓青 **责任校对** 徐润英 **技术编辑** 马英

印刷 武汉测绘院地图印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 11.875 字数 300 千字

1997年11月第1版 1997年11月第1次印刷 印数 1—1 000 册

定价:20.00 元

前 言

本书是高等院校给排水专业本科生的专业基础教材,按 60 学时编写。

本教材是为适应给排水专业本科教育实行“大土木”的教学指导方针,结合“水文学”和“供水水文地质”两门课的教学大纲编写的。编写本教材的指导思想是拓宽专业基础知识面,精减内容,注重学生基本知识、基本理论的掌握和基本技能的培养。

本书将“地质学”、“水文学”和“供水水文地质”的有关内容有机地融为一体,形成完整的课程体系。此外,随着生活水平的提高和生产的发展,开采地下水引起的环境问题日趋明显,故本书有意增补了地下水开采的负环境效应及防治的有关内容。

全书共八章。第一章为地质学基础,是没有学过地质学相关知识的给排水专业学生学习“供水水文地质”的预备基础;第二章为水文学基础,考虑不与“水文学与桥涵水文”课程内容重复,本书只安排与地下水的形成、运动有关的部分水文学内容;第三章为地下水的形成,介绍地下水的起源、形成过程、埋藏分布规律等水文地质学基础知识;第四章为地下水的物理性质与化学成分,是结合最新的地下水水质评价标准编写的;第五章为地下水的运动,是供水和排水设计的专业基础知识;第六章为地下水的赋存条件及分布特征,介绍地下水埋藏和分布的规律性;第七章地下水开采的负环境效应及防治;第八章为供水水文地质勘察,介绍供水水文地质勘察方法。

本教材由浙江工业大学杜时贵副教授和中国地质大学叶俊林教授编写。全书是编者集多年教学实践经验,并参考诸多文献资料编写而成的。浙江省地质矿产厅水文处楼松平高级工程师为本书提供了许多颇为珍贵的最新资料,中国地质大学杨裕云教授认真审阅了全稿,并提出了很多具体的、极有价值的修改意见,在此深表谢意!

在本书编写过程中,得到了中国地质大学出版社、中国地质大学地球科学学院、浙江工业大学建筑工程学院许多老师和同志们的关怀和帮助,中国地质大学朱彩霞为本书清绘了图件,在此,谨向他们致以衷心的感谢!

由于编者的水平所限,书中肯定有许多不足之处,甚至有错误的见解,恳请读者批评指正。

编者

1997年3月于杭州

目 录

(74)	.....	(1)
(74)	.....	(1)
(74)	.....	(1)
(74)	.....	(1)
(81)	.....	(1)
第一章 地质学基础	.....	(1)
(1) 第一节 概述	.....	(1)
(10) 一、地质学的研究内容	.....	(1)
(30) 二、地质学的分支学科	.....	(1)
(12) 三、地质学与人类工程活动的关系	.....	(1)
(21) 四、学习地质学应注意的几个问题	.....	(2)
(1) 第二节 地球的圈层结构	.....	(3)
(12) 一、地球外圈的特征	.....	(3)
(22) 二、地球内圈的特征	.....	(5)
(22) 三、地球的表面形态	.....	(7)
(1) 第三节 地质作用概述	.....	(9)
(12) 一、地质作用的一般概念	.....	(9)
(22) 二、外动力地质作用	.....	(9)
(22) 三、内动力地质作用	.....	(10)
(1) 第四节 矿物	.....	(11)
(22) 一、地壳的化学组成	.....	(11)
(22) 二、矿物的概念	.....	(11)
(22) 三、矿物的肉眼识别特征	.....	(11)
(22) 四、矿物的分类	.....	(14)
(22) 五、常见矿物简介	.....	(14)
(1) 第五节 岩石	.....	(18)
(10) 一、岩浆岩	.....	(18)
(10) 二、沉积岩	.....	(21)
(10) 三、变质岩	.....	(28)
(1) 第六节 地层与地质年代表	.....	(31)
(10) 一、岩层与地层	.....	(31)
(10) 二、地层接触关系	.....	(32)
(10) 三、地质时代单位与地质时代系统	.....	(33)
(10) 四、时间地层单位与地质时代单位的对应关系	.....	(35)
(1) 第七节 地质构造	.....	(35)
(10) 一、岩层的产状	.....	(35)
(10) 二、水平岩层	.....	(36)
(10) 三、倾斜岩层	.....	(36)
(10) 四、褶皱构造	.....	(38)
(10) 五、断裂构造	.....	(39)

六、地形图和地形地质图	(45)
第八节 风化作用	(47)
一、风化作用的概念	(47)
二、风化作用的类型	(47)
三、风化壳与土壤	(48)
第九节 岩溶	(48)
一、概述	(48)
二、岩溶作用的基本条件	(49)
三、岩溶地貌及岩溶沉积物	(50)
第二章 水文学基础	(51)
第一节 概述	(51)
一、水体的概念与水文学	(51)
二、水文现象的基本特点	(51)
三、自然界的水文循环	(52)
第二节 降水	(53)
一、降水类型与降水基本要素	(53)
二、区域平均降水量计算方法	(54)
三、影响降水的因素	(55)
四、我国大暴雨的时空分布	(56)
第三节 蒸发	(56)
一、区域总蒸发量的估算	(57)
二、蒸发因素及我国蒸发量的时空分布	(57)
第四节 径流	(57)
一、径流的形成过程	(57)
二、河流与流域	(58)
三、径流量的表示方法	(60)
四、流域水量平衡	(60)
五、水文资料观测	(61)
六、年径流与洪、枯径流	(64)
第五节 湖泊与水库	(68)
一、湖泊	(68)
二、水库	(70)
第三章 地下水的形成	(72)
第一节 地下水的形成条件	(72)
一、地下水的来源	(72)
二、岩土的空隙特征	(72)
三、地下水的存在形式	(73)
四、岩石的水理性质	(74)
五、含水层的形成条件	(75)
第二节 地下水的类型	(76)

(811) 一、地下水分类	(76)
(811) 二、包气带与饱水带的概念	(76)
(811) 三、上层滞水	(76)
(811) 四、潜水	(77)
(811) 五、承压水	(77)
(811) 第三节 地下水的循环	(79)
(811) 一、地下水的补给	(79)
(811) 二、地下水的排泄	(80)
(811) 三、地下水的径流	(82)
(811) 四、影响地下水补、径、排关系转化的条件	(82)
第四章 地下水的物理性质与化学成分	(84)
(811) 第一节 地下水的物理性质	(84)
(811) 一、温度	(84)
(811) 二、颜色	(84)
(811) 三、透明度	(85)
(811) 四、嗅	(85)
(811) 五、味	(85)
(811) 六、相对密度	(85)
(811) 第二节 地下水的化学成分	(85)
(811) 一、地下水中常见的化学成分	(85)
(811) 二、常用的地下水评价指标	(86)
(811) 三、地下水化学成分表示方法与分类	(87)
(811) 第三节 地下水污染	(88)
(811) 一、地下水污染的概念	(88)
(811) 二、地下水污染的特点	(88)
(811) 三、污染源与污染途径	(89)
(811) 四、地下水的污染评价	(90)
(811) 五、地下水污染的防治	(90)
第五章 地下水的运动	(93)
(811) 第一节 地下水运动的特点	(93)
(811) 第二节 地下水运动的基本规律	(94)
(811) 一、线性渗透定律——达西定律	(94)
(811) 二、非线性渗透定律——哲才-克拉斯诺波里斯基定律	(95)
(811) 三、普遍渗透定律——斯姆莱公式	(95)
(811) 第三节 地下水流向取水构筑物的稳定流运动	(95)
(811) 一、裘布依型单井稳定流公式	(96)
(811) 二、泰斯非稳定流公式	(101)
第六章 地下水的赋存条件及分布特征	(111)
(811) 第一节 山前倾斜平原区的地下水分布	(111)
(811) 第二节 河谷平原区的地下水分布	(113)

(27) 第三节 湖泊沉积区的地下水	(115)
(28) 第四节 三角洲沉积物中的地下水	(115)
(29) 第五节 滨海地带的地下水	(116)
(30) 第六节 松散沉积物中地下水的特征	(118)
(31) 一、不同地貌区中地下水的特征	(118)
(32) 二、沉积、成岩过程中地下水含水系统特征的变化	(119)
(33) 三、成岩过程中承压含水层系统中水的变化	(120)
(34) 四、地下水含水系统的正确理解	(120)
(35) 第七节 裂隙发育岩石的地下水分布	(120)
(36) 一、风化裂隙水	(121)
(37) 二、成岩裂隙水	(122)
(38) 三、构造裂隙水	(122)
(39) 四、断层带的水文地质意义	(123)
(40) 第八节 岩溶发育地区的地下水分布	(125)
(41) 一、岩溶发育的基本条件	(126)
(42) 二、影响岩溶发育的因素	(126)
(43) 三、岩溶水的分布与运动特征	(126)
第七章 地下水开采的负环境效应及防治	(129)
(44) 第一节 地面沉降	(129)
(45) 一、概述	(129)
(46) 二、地面沉降的形成机理	(130)
(47) 三、地面沉降的防治	(133)
(48) 四、嘉兴市的地面沉降	(134)
(49) 第二节 岩溶地面塌陷	(137)
(50) 一、概述	(137)
(51) 二、抽水塌陷形成机制及形成条件	(138)
(52) 三、岩溶地面塌陷的防治	(140)
(53) 第三节 地下水资源枯竭, 开采条件恶化	(142)
(54) 第四节 地下水水质恶化	(143)
(55) 一、地下水水质恶化的表现	(143)
(56) 二、地下水水质恶化的可能途径	(143)
(57) 三、地下水水质恶化的防治	(146)
第八章 供水水文地质勘察	(148)
(58) 第一节 概述	(148)
(59) 第二节 水文地质测绘	(149)
(60) 一、水井、钻孔的调查	(149)
(61) 二、泉的调查	(150)
(62) 三、岩溶水点(包括地下河)的调查	(151)
(63) 四、矿坑的调查	(151)
(64) 五、老窑的调查	(152)

六、地表水体(河流、湖泊)的调查	(152)
第三节 水文地质勘探	(152)
一、地球物理勘探	(152)
二、水文地质钻探	(158)
第四节 水文地质试验	(160)
一、抽水试验	(160)
二、压水试验	(169)
三、钻孔注水试验	(170)
四、连通试验	(171)
第五节 地下水动态观测	(172)
一、地下水动态观测点的选择和布置原则	(172)
二、地下水动态观测的内容	(172)
三、动态观测资料的整理	(172)
第六节 地下水资源评价	(173)
一、地下水资源的分类及评价原则	(173)
二、地下水资源允许开采量的评价	(176)
第七节 供水水文地质勘察报告	(177)
一、文字报告的内容	(177)
二、水文地质图件	(177)
三、其他资料	(178)
四、勘察报告的阅读和分析	(178)
主要参考文献	(181)

地质学基础

第一节 概述

一、地质学的研究内容

人类生息的地球是围绕着太阳运转的九大行星之一。它的外面包裹着浓密的空气层,称为大气圈;由几十至百余公里厚的岩石构成的固体地球表层,称为岩石圈;在岩石圈表面低洼处和空隙中填满的几乎连续不断的水体,称为水圈。这些圈层特别是岩石圈,为人类的生存和发展提供了物质源泉。

人类对于地球的认识形成了好几门科学,如气象学、水文学、地理学、地质学等。地质学研究的对象是岩石圈,它着重研究岩石圈的物质组成,研究岩石圈的矿物、岩石和矿产的特性、形成条件和分布规律;研究地质构造、岩石圈结构和运动规律;研究区域性乃至全球岩石圈的演化历史;研究找寻和查明地下资源及地质构造的技术方法;等等。

二、地质学的分支学科

地质学成为一门独立学科的历史尚不足 200 年。随着生产的发展和科学的进步,人们对岩石圈的研究不断深入,地质学的研究内容也不断扩宽,现代地质学已发展成为一系列地质类学科的总称了。按研究的任务和特点地质学可以分为以下学科:

- (1) 研究岩石圈物质组成的学科,如结晶学、矿物学、岩石学、地球化学、矿床学等;
- (2) 研究岩石圈的结构、构造和运动特征的学科,如构造地质学、大地构造学、动力地质学、地震地质学等;
- (3) 研究岩石圈的演化历史、发展规律和古生物演化的学科,如地层学、地史学、岩相学、古生物学等;
- (4) 研究地下资源的寻找和勘探方法以及地质环境对人类生存影响的学科,如地质制图学、找矿勘探地质学、遥感地质学、探矿工程学、水文地质学、工程地质学、地球物理勘探学、地球化学勘探学、数学地质学、海洋地质学、地热地质学、环境地质学等。

三、地质学与人类工程活动的关系

人类工程活动现阶段仍主要集中在大陆上,有少量工程活动散布在大陆边缘的浅海底上(如开采石油和天然气的钻井工程,建海底隧道等)。这些工程活动的对象绝大多数是在岩石圈表层的松散土层和坚硬岩石中进行的,涉及的深度仅几米至几十米;开采一些固体矿产、地下水、石油和天然气可涉及地下几百米至几千米的深处;研究岩石圈结构的超深钻井深达

13km。从地表到地下十几公里深处的地带是现代地质学研究得比较深入的部分。这部分岩石圈的物质组成、特性、发展演化和岩石圈运动等,与人类生活和工程活动密切相关,可称为影响人类生存和发展的地质环境。人类大量的工程活动又可以反作用于地质环境,在一定程度上使自然地质条件发生变化,这种变化最终又将影响到建筑物的安危和人们的生活状况。所以,地质环境与人类工程活动两者处于相互联系又相互制约的矛盾之中。研究地质环境是地质学的重要内容之一。研究地质环境与工程建筑之间的联系与制约关系,促使两者间的矛盾向有利于工程建筑的安全与正常使用转化,于是形成了一门新的学科——工程地质学。

四、学习地质学应注意的几个问题

地质学研究的对象具有以下几个基本特点:

(1)整体规模宏大 地球表面积超过5亿平方公里,陆地面积约1.5亿平方公里,岩石圈的平均厚度约100km,即使研究岩石圈内的一个板块,其规模也不是人们一眼能望穿的,难于用人们日常生活中的习惯尺度去衡量,而往往有“不识庐山真面目”的情况。

(2)发展过程漫长 地球的演化历史约有4600Ma。在这漫长的演化过程中,地球的面貌、岩石圈的结构已发生过多次重大变化。人类居住的各个大陆,无一不是经历多次沧桑变迁的。雄伟的喜马拉雅山系,在30Ma前不存在,该地带曾是古地中海的东延部分;前25Ma以来才逐渐抬升成陆地,并随着印度洋板块向北滑移,与欧亚板块相碰撞而升为山岭。这个地带现今仍在不断隆升,珠穆朗玛峰的高度还会增高。

(3)作用因素复杂 地球是一个不断运动、变化的天体,地球表面上任何一个地区地质环境的变化都与地球内部动力作用和外部动力作用密切相关,都受到物理的、化学的和生物的错综复杂作用的影响。其作用因素随着时间的推移不仅有量的变化,甚至可能发生主次易位。例如,某地一自喷泉水,可能因长期干旱而使泉水量锐减,也可能因周围地区大量抽取地下水致使泉水不能喷涌,也可能由于附近发生一次大地震导致泉水枯竭(地下水循环体系变更)。

(4)地域差异明显 岩石圈是由多种矿物、岩石组成的,不同地区有不同的演化历史,所以不同地域各自形成一套岩石、地层和构造体系的综合地质体。加之以各地所处的地理位置不同,受到地球内、外动力作用的影响也不同,因而各地的地质环境差异明显。即使人们用同一施工图纸和同等的施工质量在不同地区建造构筑物,它们与地质环境的关系决不能一视同仁或简单类比。

针对以上特点,在学习地质学时应注意以下几点:

(1)建立起地质时空观 地质事件的演化进程一般具有超出人们生活习性的长期性,在地质学上常以百万年(Ma)作为时间的计量单位。例如,地球上已测得的最古老岩石的年龄约4000Ma;恐龙出现于前220Ma,而于前65Ma灭绝;人类的出现约为前3Ma。地质学研究的对象大到地球整体、大洋、大陆的地质构造,小到矿物、化石的内部结构。可以用地球卫星照片进行研究,也可以利用电子显微镜观察研究,其尺度变化极大。因此,讨论地质问题时应首先确定研究对象的尺度,不能将不同级别的地质事物混为一谈。

(2)掌握辩证思维方法 研究地质问题必须有全局观念,有发展、变化的观念,必须采用由表及里把握事物本质的思路。例如,在山麓地带选择工厂厂址时,不仅要考虑地下土层和岩石的承载力大小,还应了解岩石的特性与时代属性。若是石灰岩,则应调查地下是否存在岩溶洞穴及其分布规律,研究地下水的给排运移情况。此外,还要研究山坡上岩石与土层的稳定性,是否存在滑坡体;还要研究区域构造情况,是否有活断层及潜在地震危险性;还要进一步研究在

大量厂房建成和机器运转时,对地基有什么影响,是否可能引发地面塌陷、滑坡体活动或触发地震。

(3)运用现实类比和历史分析的原则 地质学家常常运用“将今论古”方法,即从研究眼前正在进行的地质过程入手,总结其特点与规律性,去分析地质历史上同类地质事件,以了解该事物的形成机制。例如,从现代干旱地带的滨海泻湖里高盐度海水中不断有盐类结晶沉淀的现象,推论地下海相沉积岩中的岩盐层也应是干旱气候条件下泻湖沉积的产物。当然,由于地球的演化具有一定的阶段性与不可逆性,地质历史时期中某一阶段的产物具有当时的地质、地理、气候和生物演化的特点,不会与现代环境完全一致,因而在运用“将今论古”方法时,应具有历史唯物主义的分析态度和辩证的分析方法。

(4)实践出真知 地质学是人们长期地向自然界索取矿产资源和改善环境的斗争中总结经验教训,逐步发展完善的一门科学。早期的地质工作者,凭着掌握的自然科学知识,并借助于简单的工具——铁锤、放大镜和罗盘这“三件宝”,对地表出露的矿物、岩石、地层、构造和多种地质现象进行观察、测绘、采集标本,再回室内进行多手段的综合研究,得到一定的理性认识。虽然现代科学已高度发展,地质领域的高、精、尖仪器设备也大量发展了,但对于大学生来说,到现场去认识地质事物,仍然是理解和掌握现代地质学基本原理和积累必要的地质知识的重要途径。

第二节 地球的圈层结构

地球不是一个均质天体,而是一个具多层圈层结构的不均匀椭球状体。以固体地球表面为界,可以分为外部圈层和内部圈层,各部还可再分出几个圈层。每个圈层都有独特的物质组成、物理、化学性质和运动特征,从而具有不同的动力作用。

外部圈层(外圈)包括大气圈、水圈和生物圈,它们包围着固体地球,各自形成连续完整的圈层。内部圈层(内圈)包括地壳、地幔和地核三个圈层。其中,地核可再分为内核、过渡核和外核;地幔可再分为上地幔和下地幔;而上地幔顶部的硬壳与地壳则合称为岩石圈。

一、地球外圈的特征

(一)大气圈

包围着地球的气体构成的圈层称为大气圈。水中、土壤和岩石空隙中也有少量空气,其深度可达地下4km左右,这个深度可以看作是大气圈的下界。大气圈没有明显的上界,在赤道上空4万公里以上仍有大气存在的踪迹。

大气圈的总质量为 $5.136 \times 10^{15} \text{t}$,约占地球总质量的万分之一。由于地球引力的作用,大气圈质量的 $3/4$ 集中于地面以上10km范围内,越近地面大气的密度越大。干燥大气在纬度 45° 的海平面上的密度为 0.00123g/cm^3 ,压力为 10^5Pa ;在20km高空处,气压降至 10^4Pa ,在40km高空处,气压降至 10^3Pa 。大气的温度也随高度的变化而变化。

大气的物质组成以氮(N_2)和氧(O_2)为主。低层大气中 N_2 占大气层总质量的75.5%, O_2 占23.1%;其次,Ar(氩)占1.28%, CO_2 占0.05%, H_2O° (水汽)占0.006%~1.7%;此外还有少量Ne(氖)、 CH_4 、 O_3 等。 H_2O° 在海平面附近的湿润空气中的含量可高达1.7%,而在5km以上高空,大气中几乎不含 H_2O° 。

根据大气的密度、温度和运动特征，一般把大气圈自下而上分为对流层、平流层、中层、电离层和扩散层。本书仅介绍与人类生存环境密切相关的对流层和平流层的一些特点。

对流层的厚度随纬度和气温高低而有变化，其高度在赤道上空约 18km，两极上空约 9km。对流层的气温主要来自太阳光辐射加热地表后再辐射出来的热能。所以离开地面越高，气温越低。对流层内的大气降温率为 6℃/km，即每升高 100m，气温降低 0.6℃。地面大气经加热而上升，高空冷大气密度相对较大而下沉，形成大气的对流和大气环流。所以一切气象现象如风、云、雷、电、雨、雪、雹等均发生在对流层中。对流层为混合均匀的大气，但在低层大气中，除含 H₂O^v 外，还含有数量不定的固体粒子(矿物和岩石的尘粉、盐粒、花粉、孢子和细菌等)。

对流层顶面的气温平均约 -55℃，其运动状态已开始转为水平运动，时速可达 100km。

从对流层顶面到距地面 50km 高度范围内的大气层称为平流层。此层内大气运动主要是水平运动。平流层仍然是均匀的大气，但在近底部处集中有相当数量的 O₃(臭氧)。它是因 O₂ 受太阳紫外线辐射，部分分离成氧原子，极少数氧原子与氧分子结合而成 O₃。平流层的气温随高度而增加，最高者在 0℃ 以上，说明它不受地面辐射的影响。

(二) 水圈

固体地球表面 3/4 以上的面积被海洋、冰层、湖沼及河流等水体覆盖，地面以下的土壤和岩石空隙中也充填有大量地下水，这些水体构成一个连续不断但不规则的圈层，称为水圈。水圈的质量有 1.43×10¹⁸t，约占地球总质量的四千万分之一。各种水体的储量见表 1-1。

表 1-1 地球上各种水体的储量

水体种类	储量 (10 ⁴ km ³)	占总储量的百分比(%)	占淡水储量的百分比(%)	
海洋水	133 800	96.53		
陆地水	冰川	2 406.41	1.74	68.69
	永冻土底冰	30	0.022	0.86
	地下水	2 340	1.69	
	1. 地下咸水	1 287	0.93	
	2. 地下淡水	1 053	0.76	30.06
	包气带水	1.65	0.001	0.05
	湖泊水	17.64	0.013	
	1. 咸湖水	8.54	0.006	
	2. 淡湖水	9.1	0.007	0.26
	沼泽水	1.147	0.0008	0.03
河水	0.212	0.0002	0.006	
生物水	0.112	0.0001	0.003	
大气水	1.20	0.001	0.04	
总计	138 598.461	100		
其中淡水	3 502.921	2.53	100	

据《联合国水文会议文件》资料，1977 年。

(三)生物圈

生物圈是指由生物(动物、植物及微生物)及其生命活动地带的连续圈层。其下界可达地下3km深处和深海底部,上界可达10km高空。也可以说,生物圈存在于大气圈与岩石圈的结合部位,其主体与水圈近于重合。生物圈的质量约为 $1.148 \times 10^{13}t$ 。

地球上生命的出现早于前3800Ma。生物的大量繁殖与活动不断直接地或间接地改造大气圈、水圈和岩石圈表层。特别是人类的工程活动日益增多,改造自然界的能力不断增大,已成为一种重要的地质作用。

二、地球内圈的特征

目前最深的钻孔不过13km,从地下喷涌出的岩浆形成的岩石,推测岩浆源的深度也仅几十公里,与地球平均半径6371km相比微不足道。每年约有1500颗质量大于10kg的陨石落到地球上,这些陨石主要来自太阳系。对已获得的大量陨石进行综合性研究,对于了解地球的物质组成和内部状况无疑具有重要意义。目前对地球内部特征的认识仍主要依据地球物理勘探资料和超高温高压实验资料,并结合直接观察资料进行模拟,归纳出较完善的内圈结构模式(表1-2)。

表 1-2 地球内部圈层划分表

圈层			深度 (km)	v_p (km/s)	v_s (km/s)	密度 (g/cm ³)	特 征	其 他	
名 称	代号								
地壳	上地壳	A ₁	陆壳 洋壳	5.8	3.2	2.65	固态,陆壳地区横向变化大,许多地区夹中间低速层	↑ 岩石圈 ↓ 软流圈	
	下地壳	A ₂	15-0-2	6.8	3.9	2.90			固态
地幔	上地幔	盖层	B ₁	33-7	8.1	4.5	3.37	固态	↓ 莫霍面
		低速层	B ₂	80	8.0	4.4	3.36	塑性为主	
		均匀层	B ₃	220	8.7	4.7	3.48	固态,波速较均匀	
	下地幔	过渡层	C	400	9.1	4.9	3.72	固态,波速梯度大	中间圈
					10.3	5.6	3.99		
		D	670	11.7	6.5	4.73	固态,下部波速梯度大		
地核	外核	E	2891	8.0	0	9.90	液态	内圈	
				10.0	0	11.87			
	过渡层	F	4771	10.2	0	12.06	液态,波速梯度小		
	内核	G	5150	11.0	3.5	12.77	固态		
6371	11.3	3.7	13.09						

据 PREM 资料编,1981。

地壳是地球内部莫霍面(或 M 面,地震波纵波速度 v_p 由 6.8km/s 跃增至 8.1km/s,横波 v_s 由 3.9km/s 跃增至 4.5km/s 的界面)以上至地表的固体地球表层的圈层(A 层),其厚度在大陆上一般为 30~50km,平均约 33km;在大洋区一般厚 5~11km,平均约 6km;地壳的平均厚度约 16km,为地球半径的 1/400。地壳由多种岩石组成,平均密度为 2.7g/cm³。地壳的质量约为地球质量的 0.8%。

地壳的大陆部分与大洋部分在物质组成上、结构上和演化历史上均有显著差异,据此将其分别称为陆壳和洋壳(图 1-1)。

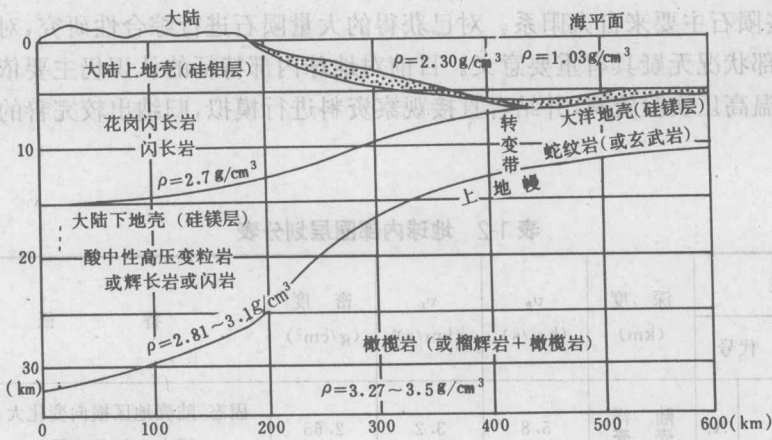


图 1-1 地壳结构示意图
(引自《地震地质学基础》,1982)

陆壳包括大陆和大陆架范围的两部分地壳,它具有上部为硅铝质层、下部为硅镁质层的双层结构。上部密度为 2.6~2.7g/cm³,岩石组成类似花岗质岩石,厚度 15~20km。下部密度为 2.8~3.0g/cm³,岩石组成类似玄武岩或高压变粒岩,厚度 15~30km。我国华北地壳厚约 41km,华南地壳厚约 32km,兰州—昆明以西地壳厚度超过 50km,喜马拉雅山区地壳厚达 70km。

洋壳一般缺乏硅铝层,主要为硅镁层,呈单层结构。大洋的海水下面覆盖有 0~2km 厚的未固结沉积物,其密度仅 2.2g/cm³。硅镁层主要由玄武岩组成,密度为 2.6~3.1g/cm³。西太平洋洋壳平均厚 8.3km,东太平洋为 5.8km,洋脊带洋壳厚约 10km。洋壳岩石最老的约 200Ma,大部分洋壳岩石形成时间不到 100Ma。

(二)地幔

地幔是莫霍面以下到古登堡面(或 G 面, v_p 由 13.7km/s 突降至 8.0km/s, v_s 由 7.3km/s 降为 0 的界面)以上的圈层,厚度达 2875km。地幔的体积为地球体积的 82.3%,质量占地球的 67.8%。根据地震波速度的变化,以地下 670km 深处的面为界,将地幔分为上地幔(B、C 层)和下地幔(D 层)两个次级圈层。

上地幔平均密度为 3.5g/cm³,由含铁镁较多的硅酸盐矿物组成的岩石(橄榄岩或榴辉岩)

构成。在表 1-2 中,上地幔顶部的 B_1 层为固态岩石构成的盖层,其下的 B_2 层呈塑流状态,称为软流圈,推测可能是岩浆的发源地。鉴于软流圈以上的 B_1 层和地壳(A+B 层)均由固态岩石组成,且在软流圈面上呈板块状滑移运动,因而将这套圈层统称为岩石圈。

下地幔(D 层)厚达 2 221km,平均密度约 $5.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。许多学者认为,下地幔的物质组成与上地幔相近,但由于受到更大的压力,物质密度增大了。也有人认为是含铁量增加造成的。

(三)地核

地核是古登堡面以下至地心的地球核心部分。按地震波 v_p 与 v_s 的变化还可以再分为 E、F、G 三层。地震横波 v_s 为零的 E 层、F 层,应为液态,G 层呈固态。地核的密度为 $9.90\sim 13.09\text{g}/\text{cm}^3$,推测其成分与铁陨石类似,即主要是铁,并含镍 $5\%\sim 20\%$ 。地磁来源于地核,也说明地核应由高磁性的铁镍所组成。

三、地球的表面形态

地球的表面是高低起伏的,以海平面为界,分为大陆区和海洋区两大地貌单元。大陆区总面积为 1.49 亿平方公里,占地球表面积的 29.2%;海洋区总面积为 3.61 亿平方公里,占地球表面积的 70.8%。海洋底的地势相对平缓些,其平均深度为 $-3\ 729\text{m}$,最深处在西太平洋马里亚纳海沟,高程为 $-11\ 034\text{m}$ 。大陆上地势起伏显著,平均高度为 875m ,最高点是喜马拉雅山系的珠穆朗玛峰,高程为 $8\ 846\text{m}$ 。海陆起伏及高程面积百分数见图 1-2。

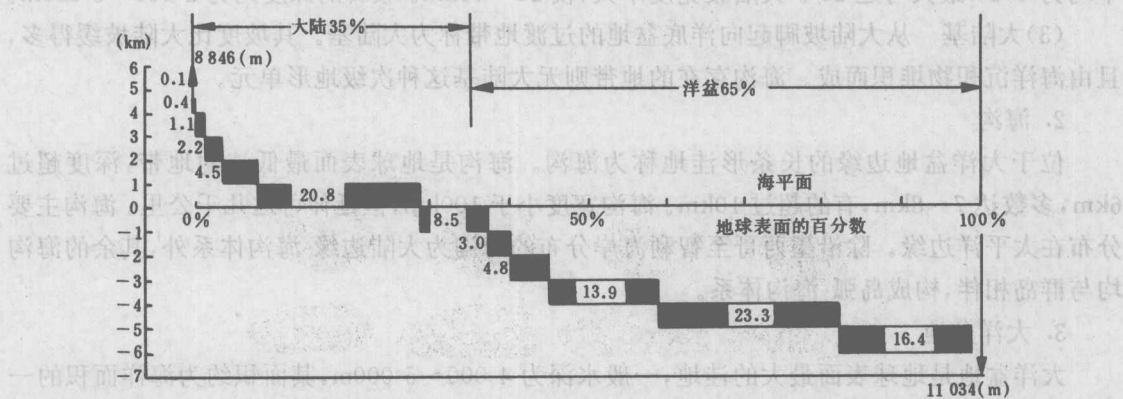


图 1-2 地球表面高程面积百分数图

(一)大陆地形

按高程和起伏特征,大陆地形可分为以下主要地形单元。

1. 山地

一般把海拔高程在 500m 以上、切割深度(山峰与邻近谷底的高差)大于 200m 的正地形称为山或山岳。其高程 $500\sim 1\ 000\text{m}$ 称低山;高程 $1\ 000\sim 3\ 500\text{m}$ 称中山;高程 $>3\ 500\text{m}$ 的称高山。呈线状延伸的山岳则称为山脉,有成因联系的多条山脉的组合体称为山系,如喜马拉雅山系。

2. 平原

海拔高程一般低于 200m,切割深度不足 100m 的相对平坦地形,称为平原,如华北平原。

高程虽超过 200m 但不超过 600m 的相当平坦的广阔地区,也可称为平原,如成都平原。

3. 丘陵

高程低于 500m,切割深度一般大于 100m 的起伏地形,称为丘陵,如闽浙沿海丘陵。

4. 高原

高程超过 600m、切割深度不大的广阔而较平坦的地形,称为高原,如黄土高原。

5. 盆地

四周是山地或高原,中间低凹但起伏不大的地形,称为盆地,如四川盆地、塔里木盆地。

6. 裂谷系

延伸几百至几千公里、宽仅几十公里的带状低地,两壁或一壁为断崖(断层成因为主)的特殊地形,称为裂谷系,如东非裂谷系、汾渭裂谷系。

(二) 洋底地形

通过大量的水下测量和遥感研究,对海洋底的地形起伏已有相当的了解。洋底可以分为以下主要地形单元:

1. 大陆边缘

(1)大陆架 大陆架又称陆棚,是指环绕大陆分布的浅水台地,其坡度一般小于 0.1° 。大陆架外缘有一坡度明显变陡的坡折线,坡折线以下的斜坡地带为大陆坡。大陆架的平均水深为 133m,平均宽度为 75km。我国东部海域大陆架宽达 500km。

(2)大陆坡 以大陆架外缘坡折线起,沿较陡斜坡一直到洋底的地带称为大陆坡。其坡度平均为 4.3° ,最大可达 20° 。大陆坡宽度不大,仅 20~40km。坡脚的深度约为 2 000~3 000m。

(3)大陆基 从大陆坡脚起向洋底盆地的过渡地带称为大陆基。其坡度比大陆坡缓得多,且由海洋沉积物堆积而成。海沟存在的地带则无大陆基这种次级地形单元。

2. 海沟

位于大洋盆地边缘的长条形洼地称为海沟。海沟是地球表面最低洼的地带,深度超过 6km,多数达 7~8km,有的超过 10km。海沟宽度小于 100km,但延伸可达几千公里。海沟主要分布在太平洋边缘。除沿墨西哥至智利海岸分布的海沟为大陆边缘-海沟体系外,其余的海沟均与群岛相伴,构成岛弧-海沟体系。

3. 大洋盆地

大洋盆地是地球表面最大的洼地,一般水深为 4 000~5 000m,其面积约为海洋面积的一半。大洋盆地中洋底极为平坦的区域称为洋底平原,其表面坡度小于 $1/1\ 000$ 。在靠近洋脊的洋底上散布着大量山丘,相对高度 100~1 000m,底宽 1~10km,边坡较陡,顶部平缓,由玄武岩构成。这类地形称为洋底丘陵。

4. 海山

大洋底上相对高度超过 1 000m 的隆起地形称为海山。当其顶部高出海面时则成为海岛。绝大多数海山是海底火山的产物。太平洋中的夏威夷群岛,就是排成链状的海山群。

5. 洋脊

洋底上呈线状延伸几千上万公里的巨大隆起地带称为洋脊。其底部宽 1 000~2 000km,高出洋底 2 000~4 000m,脊顶中央常分布一条巨大的裂谷(中央裂谷)。大西洋的洋脊位于中部(图 1-3),太平洋的洋脊偏移向美洲西岸,且中央裂谷不显著。全球洋脊的总长度约 8 万公里。