

21世纪高等学校教材

工程地质及 水文地质

左建 温庆博 等 主编

GONGCHENG DIZHI JI
SHUIWEN DIZHI



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

21 世纪高等学校教材

工程地质及水文地质

左 建 温庆博 等 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材共十五章，主要内容包括：地球的基本知识、岩石、地质构造，自然地质作用、地下水概论、地下水运动的基本规律、地下水资源评价、地下水资源分析及其开发管理，坝的工程地质研究、边坡的工程地质研究、渠道的工程地质研究、隧洞的工程地质研究、水库的工程地质研究、环境地质问题、工程地质及水文地质勘察。

本教材注重吸收最新的前沿科研成果，如变质岩的转化，新的地震烈度表，地壳稳定研究新观念。同时，介绍了治理自然地质灾害实例，特别是在每章都以典型工程实例进行分析。如长江三峡双线五级船闸修建的工程地质研究，黄河小浪底水利枢纽工程等工程实例分析。

本教材论及知识较广，内容比较丰富，通俗易懂，图文并茂。可作为水电类各个专业的教材；如农水、水电、水资源、水工、河流、土木等专业。也可供从事水利水电专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程地质及水文地质/左建等主编. —北京：中国水利水电出版社，2004

21 世纪高等学校教材

ISBN 7-5084-1873-5

I. 工… II. 左… III. ①工程地质—高等学校—教材②水文地质—高等学校—教材 IV. P64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 115172 号

书 名	21 世纪高等学校教材 工程地质及水文地质
作 者	左 建 温庆博 等 主编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 16.25 印张 385 千字
版 次	2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4600 册
定 价	34.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

编写人员名单

主 编 左 建 (沈阳农业大学)
温庆博 (清华大学)
盛海洋 (黄河水利职业技术学院)
高贵全 (云南农业大学)
张 勇 (华北水利水电学院)
周林飞 (沈阳农业大学)

副主编 杨武成 (沈阳农业大学)
张忠学 (东北农业大学)
刘俊民 (西北农林科技大学)
孔庆瑞 (沈阳农业大学)
赵秀玲 (沈阳农业大学高等职业技术学院)

参 编 (按姓氏笔画为序)
左 莎 (沈阳石油化工厂)
龙云程 (义县农业技术推广中心)
李进云 (石河子大学)
严宝文 (西北农林科技大学)
陈蕴生 (西安理工大学)

前 言

本教材是根据教育部在 1998 年颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》中，《工程地质及水文地质》为农业水利工程专业、水利水电工程专业的主要课程而编写的。

本教材可作农水、水电、水工、施工、水资源、建筑管理等专业的必修课教材，也可供水利水电类及土木等专业师生及工程技术人员参考。

本教材由沈阳农业大学左建等主编，参加编写人员分工如下：沈阳农业大学左建（绪论、第一章），黄河水利职业技术学院盛海洋（第二章），清华大学温庆博（第三章），沈阳农业大学杨武成（第四章），沈阳农业大学高等职业技术学院赵秀玲（第五章和第一章部分内容），沈阳农业大学周林飞（第六章、第十三章），西安理工大学陈蕴生（第七章），西北农林科技大学刘俊民（第八章），西北农林科技大学严宝文（第九章），华北水利水电学院张勇（第十章），石河子大学李进云（第十一章），云南农业大学高贵全（第十二章），沈阳农业大学孔庆瑞（第十四章），沈阳石油化工厂左莎、义县农业技术推广中心龙云程（图稿和第十四章部分内容），东北农业大学张忠学（第十五章）。全书由左建统稿。

本教材在编写过程中，曾广泛征求兄弟院校的意见，许多单位，如吉林大学、河海大学、西安地质学院、石家庄经济学院、四川大学、郑州工业大学、福建农林大学、重庆交通学院、河北农业大学、成都理工大学的有关教师都提出宝贵意见，经编写人员多次研究，确定编写大纲，又经多次反复修改后定稿出版。在此，谨向有关的老师表示衷心的感谢！

鉴于编者水平有限，时间仓促，教材中不当之处，请读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 地球的基本知识	4
第一节 地球的一般特征	4
第二节 地球的构造	6
第三节 地壳及地质作用	9
复习思考题	13
第二章 岩石及其工程地质性质	14
第一节 造岩矿物	14
第二节 岩浆岩	19
第三节 沉积岩	24
第四节 变质岩	30
第五节 岩石的工程地质及水文地质评述	36
复习思考题	38
第三章 地质构造	39
第一节 地壳运动	39
第二节 板块构造说简介	41
第三节 地层年代	44
第四节 水平构造、倾斜构造、褶皱构造和断裂构造	47
第五节 活动断层工程地质研究	52
复习思考题	56
第四章 自然地质作用	57
第一节 风化作用	57
第二节 河流地质作用	62
第三节 岩溶	66
第四节 泥石流	69
第五节 地震	72
复习思考题	78
第五章 地下水概论	79
第一节 自然界中的水	79
第二节 地下水的物理性质和化学性质	83
第三节 地下水的类型及特征	85
第四节 泉的类型与特征	91

复习思考题	93
第六章 地下水运动的基本规律	94
第一节 重力水运动的基本规律	94
第二节 包气带中地下水的运动	107
第三节 结合水运动规律	108
复习思考题	109
第七章 地下水资源评价	111
第一节 概述	111
第二节 地下水资源的组成	111
第三节 地下水资源评价的原则	115
第四节 地下水水质评价	116
复习思考题	126
第八章 地下水资源分析及其开发管理	127
第一节 地下水资源特征	127
第二节 我国地下水开发利用中的问题	131
第三节 地下水资源管理	134
复习思考题	140
第九章 坝的工程地质研究	141
第一节 水工建筑物工程地质条件	141
第二节 坝基的渗漏	144
第三节 坝基渗透变形分析	150
第四节 工程实例分析(黄河小浪底枢纽工程)	153
第五节 坝基(肩)岩体抗滑稳定分析	155
第六节 坝基的沉降	158
第七节 坝址选择原则与依据	160
第八节 工程实例分析(黄河万家寨水利枢纽工程)	163
复习思考题	168
第十章 边坡的工程地质研究	170
第一节 边坡变形的特征	171
第二节 影响边坡稳定性的因素	176
第三节 边坡稳定性的评价方法	178
第四节 不稳定边坡的防治措施	184
第五节 我国斜坡工程研究现状	186
复习思考题	189
第十一章 渠道的工程地质研究	190
第一节 概述	190
第二节 渠道选线工程地质条件	190
第三节 渠道渗漏	192

第四节 渠道的边坡稳定及冻害问题	194
复习思考题	197
第十二章 地下工程围岩稳定的工程地质条件	198
第一节 洞室围岩应力的重分布及变形特征	198
第二节 地下洞室规划、设计中的有关问题	203
第三节 保障洞室围岩稳定的措施	212
复习思考题	214
第十三章 水库的工程地质研究	215
第一节 水库渗漏	215
第二节 水库地震	221
第三节 库岸稳定	224
第四节 水库浸没	225
第五节 水库淤积	226
复习思考题	227
第十四章 环境地质问题	228
第一节 地面沉降	228
第二节 地面裂缝	231
第三节 地面塌陷	233
第四节 海水入侵	234
第五节 地下水污染	235
第六节 洪水灾害	236
第七节 固体垃圾	236
第八节 污染土地基	237
复习思考题	238
第十五章 工程地质及水文地质勘察	239
第一节 地质勘察工作的目的及任务	239
第二节 勘察的基本手段和方法	242
第三节 天然建筑材料的勘察	247
复习思考题	251
主要参考文献	252

绪 论

一、工程地质及水文地质在水利水电工程建设中的作用和任务

工程地质学及水文地质学是从地质学发展起来的两门新兴学科。工程地质学主要是研究与工程建设有关的地质问题的学科；水文地质学主要是研究地下水的学科。这两门学科都是以地质学为基础，而且互相关联、相互渗透，并各有特色。下面分别简要介绍一下它们在水利水电工程建设方面的作用和任务。

水利水电工程是国民经济建设中的重要组成部分，具有广泛的经济、社会和环境效益。如工农业的供水、灌溉、防洪、发电、航运、林业、渔业、畜牧业、旅游业及改善环境等。

工程地质在修建水工建筑物当中的作用和任务如下：

(1) 勘察建筑地区的工程地质条件，为选点、规划、设计及施工提供工程地质资料，作为工程的依据。

(2) 根据工程地质条件论证、评价并选定最优的建筑地点或线路方案。

(3) 预测在工程修建时及建成后的工程管理运行中，可能发生的工程地质问题，提出防治不良的工程地质条件的措施。

生产实践证明：工程地质在工程建设中的作用，已不仅仅是完成为建筑物的修建提供必要的地质资料，而且贯穿在整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。工程地质工作质量的好坏，直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性、技术可能性及经济合理性。历史经验表明：工程建筑，特别是水工建筑，不怕工程地质条件复杂，也不怕工程地质问题繁多，就怕对工程地质条件的勘察研究不重视和不充分，这样会给工程建筑带来严重的后果。

我国从 1949 年以来，已建成坝高 15m 以上的大坝水库 12000 余座。由于党和政府非常重视工程地质工作，因此，直接由于地质问题而产生的垮坝事故极为罕见。然而，由于对工程地质条件研究不够，或对工程地质问题处理不当，因而造成的水库或坝基漏水、水库淤积及边岸滑塌、隧洞坍方等工程事故还是屡见不鲜。

水文地质工作的主要任务是调查研究以下要素：

(1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动以及循环转化的规律。

(2) 地下水的物理、化学性质，成分，以及水质的变化规律。

(3) 解决合理开发、利用、管理地下水资源，以及有效地消除地下水的危害等实际问题。

水文地质工作，不仅要配合上述工程地质工作，提供有关水文地质条件方面的资料，而且还要在农田灌溉、抗旱、防涝、治碱，以及环境保护工作等方面，起先决和主导作用。

据有关部门估算，我国的水资源总量为 27210 亿 m^3 ，其中地下水资源为 7718 亿 m^3

(约占 1/4 强)。但水资源的分布是极不均匀的，如干旱少雨的北方地区，土地资源十分丰富，而水资源十分贫乏。水土资源的组合也极不均衡，尤以海河、辽河、淮河流域最为突出。这三个流域的耕地面积占全国耕地总数的 33.2%，而水资源却只占全国水资源总数的 7.4%，每亩耕地平均占有水资源量，只有全国平均数的 14%~33%，因而缺水十分严重，所以有的地区仍然是“十年九旱，靠天吃饭”。又如我国南方地区，虽然降雨量和地表径流量比较丰沛，但分布也极不均匀，特别是云、桂、黔等省，石灰岩广泛分布，喀斯特（岩溶）十分发育。“一场大雨千弄涝，天晴三日万山焦”，“修塘不蓄水，筑坝不拦洪”，大量的地表水漏至地下，因而地表水缺水现象也很严重。农田灌溉是“旬日不雨，即成旱象”，“米如珍珠水如油”。这些民间谚语都说明，在我国无论是北方地区，还是南方地区，水利工程建设不仅需要开发利用地表水，而且需要开采、利用地下水资源。这就需要进行大量的水文地质工作。

1949 年以后，我国对淮河、黄河、海河、黑龙江、辽河、珠江及长江等江河，进行了综合治理和流域性的开发利用，兴建了一大批大、中、小型水利工程。据统计：全国已建成的水库库容在 10 万 m^3 以上的水库达 86400 座，万亩以上的灌区达 6000 处，初步控制了洪水灾害，并发展了灌溉、水电、航运、水产、旅游等事业。此外，在开采地下水方面，为寻找地下水资源，开展了全国性的水文地质普查工作，并用汇泉、打井、截潜流等多种型式开采地下水资源，对我国的社会主义建设事业起了巨大的作用。为实现祖国社会主义的四个现代化，为完成党中央提出的国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标，同时也为我国的水利水电建设事业以及工程、水文地质科学的进一步发展，展现了无限广阔的前景。

二、本课程的主要内容及教学要求

本课程是水利水电工程系有关专业的一门技术基础课，根据水利部的“教学大纲”，本课程的基本教学要求是通过三个教学环节：讲课、实习实验课及作业和地质教学实习，掌握工程地质及水文地质的基本知识；学会分析水工建筑物的工程地质条件和问题的基本方法；能阅读和分析水工建筑中常用的地质图件和资料，为今后学习农水及水工等专业课打下基础。

以上教学内容可概括为三个组成部分：

(1) 地质学基础部分。地球的基本知识：主要介绍地球的形态、表面特征，及地球的分层构造。岩石是地壳的基本物质，通过造岩矿物的引入和肉眼鉴定，认识与区别三大类岩石：火成岩、沉积岩及变质岩的特征地质构造；应用地壳运动的理论，阐述当今地球表层（地壳）仍然是在不断地运动和发展着的；自然（物理）地质作用，主要介绍与水利水电工程密切相关的几种自然地质作用，如风化、河流地质作用、喀斯特（岩溶）、滑坡及崩塌、泥石流及地震等。

(2) 水文地质部分。地下水概述，主要阐述自然界水的循环规律，地下水的生成和类型，岩石的水理性质，含水层及隔水层，地下水的埋藏和贮存规律，地下水的物理性质及化学成分，以及水质分析和评价标准（饮用和灌溉用水等）。地下水运动，介绍线性及非线性的渗透定律，地下水完整井稳定流运动方程中的应用；地下水资源评价，主要介绍地下水水质评价的原则。地下水开发管理，主要介绍地下水资源特征，我国开发地下水中的

问题等。

(3) 工程地质部分。坝的工程地质研究，主要介绍坝的设计和施工过程中出现的各种地质问题；边坡的工程地质研究，主要介绍在水工建筑中对坝址、坝型选择的重要意义；渠道的工程地质研究，渠道包括渠系建筑物在水利水电工程中的应用，渠道选线应注意的工程地质问题；隧洞的工程地质研究，隧洞在水利水电工程中的应用和作用。水库的工程地质研究，包括水库的渗漏、浸没、环境地质问题，如地面沉降，地裂缝，地面塌陷，海水入侵等；以及地下水污染，洪水灾害，以及环境地质研究现状等。水利水电工程地质勘察，主要介绍勘察的目的与任务，勘察设计阶段的划分和勘察程序，工程地质测绘、勘探、试验及长期观测工作的基本内容。

这三个部分是相互关联并逐步联系专业实际的，在教与学过程中应运用辩证唯物主义观点和方法，理论联系实际，地质联系工程，由浅入深，循序渐进。本课程是一门实践性比较强的技术基础课，除讲课听课外，还要进行地质实习及实验课，课外做一定作业和看教学录像，才能不断巩固所学内容。此外，在暑期还要进行野外地质实习，以扩大地质实际知识，增强工程地质及水文地质勘察概念。

三、本课程的特点和学习要求

本课程是一门实践性很强的课程，所以除课堂教学外，室内试验、野外教学实习及电化教学（幻灯、录像）等，是本课程的重要教学环节。尤其是野外教学实习，在本课程中占有特殊重要的地位，与其说是野外教学实习，不如称其为“现场教学”更为恰当。因为它不只是印证、巩固、加深课堂教学内容的问题，而是还有相当多的内容是课堂无法讲授或学生在课堂上无法掌握的知识和内容，而这些知识又是必须由教师在野外现场讲解、引导、观察、分析和实际操作才能学到手的。野外教学实习是培养学生独立观察、思考、分析和实际操作能力的一个重要环节。如果缺少和削弱了这个重要的实践性教学环节，那么水文地质及工程地质教学是不完整的。所以在教与学的过程中，以及在制定教学计划、教学大纲时，对野外教学实习均应给予足够的重视。

第一章 地球的基本知识

在广阔无限的宇宙中，地球是太阳系的一个行星，而太阳又是银河系中无数恒星之一，宇宙则是由很多个像银河系甚至更庞大的恒星集团组成的。

太阳系以太阳为中心，周围有九大行星携带着自己的卫星环绕着太阳旋转，此外还有许多小行星、彗星等小天体环绕太阳转动，由这些天体组成太阳系，如图 1-1 所示。太阳系的范围很大，其直径约为 120 亿 km，光从这一端到达另一端需 11h。

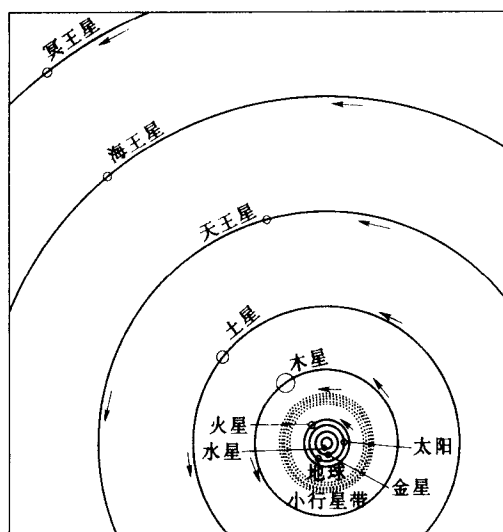


图 1-1 太阳系构造示意图

太阳是离地球最近的一颗恒星，它离地球平均约为 14960 万 km（这个距离叫 1 个天文单位），光从太阳出发只需 8min16s 就可到达地球。太阳并不是宇宙的中心。

在晴朗的夜空，可以看到一条斜贯整个天空的白色条带，俗称“天河”，这就是银河系。银河系是一个庞大的恒星集团，它包括太阳，估计有 1300 亿颗以上的恒星，此外还有许多由气体、星际物质组成的星云。

银河系里的恒星都绕银河系中心转动，但各部分运动速度是不同的，太阳及其附近的恒星绕银河系中心运动的速度约 230km/s，太阳绕银心运行一周约需 2 亿年。

银河系里的恒星绕银心转动就相当于银河系的自转。银河系不但自转，还携带着集团的成员以 200km/s 以上的速度朝着麒麟星座的方向运行着。

宇宙中的天体都在不停地运动着。月球自转同时又绕地球公转，地球自转同时又绕太阳公转，太阳自转同时又绕银河中心公转，银河系自转同时又绕别的東西公转……。宇宙间的天体运动情况是错综复杂的，但有一定的规律性，它们之间相互制约、相互联系地运动着和发展着。

第一节 地球的一般特征

一、地球的形状和大小

地球是一个绕着地轴高速旋转的球体，它的表面形态并不是理想的球形，而是椭球形，即为赤道部分略为膨大，两极略为收缩的扁球形。它的数据如下：

赤道半径 (a): 6378.137km;

极半径 (b): 6356.752km;

平均半径 $\left[\frac{(2a+b)}{3}\right]$: 6371km;

地球扁度 $\left(\frac{a-b}{a}\right)$: $\frac{1}{298.3}$;

赤道圆周长: 40076.6km;

表面积: 5.1 亿 km^2 ;

质量: $5.98 \times 10^{19} \text{t}$;

平均密度: 5.517g/cm^3 ;

体积: $108 \times 10^{10} \text{km}^3$ 。

二、地球的物理性质

地球的主要物理性质包括: 地球的密度、压力、重力、地热、磁性、电性、放射性和弹性等。现将地球的主要物理性质简述如下。

(一) 地球的密度和压力

据计算, 地球的平均密度为 5.517g/cm^3 , 而实际测得地壳物质的平均密度为 $2.7 \sim 2.9 \text{g/cm}^3$ 。因此, 可以推测地球内部深处物质的密度是随深度递增的。根据地震资料可知, 地球内部物质的密度确实是随着深度的增加而逐渐增加的, 并且分别在深度 984km、2898km 和 5125km 的地方作跳跃式增加。这表明地球内部物质是不均匀的, 而地核的物质可能处于高密度状态。

地球内部的压力受上覆物质质量的影响, 随着深度的增加而递增。它的变化情况为, 自地表到地深处约 33km 处是随深度增加而均匀增加的; 从 33km 到 984km 深度范围内压力从 $9000 \times 10^5 \text{Pa}$ 很快增加到 $38.2 \times 10^9 \text{Pa}$; 然后随着深度的增加又缓慢地增加, 在 2898km 深度可增加到 $136 \times 10^9 \text{Pa}$; 最后向着地心作缓慢的递增, 地心压力可达 $360 \times 10^9 \text{Pa}$ 。

(二) 地球的重力

地球表面的重力是指地面处所受的地心引力和该处的地球自转离心力的合力。地心引力与物体质量成正比, 与距地心距离的平方成反比。地球赤道半径大于两极半径, 引力在两极比赤道大, 离心力在两极接近于零, 而赤道最大。但离心力值在重力值中所占的比例极小 (仅为 $1/300$), 因此, 地球的重力随纬度增加而增大。根据重力与纬度关系所计算出的各地重力值, 叫做正常重力值。由于各地岩石种类与构造不一样, 用重力仪测定的重力值与正常重力值常不符合, 这种偏差称为重力异常。重力异常表明地下有密度较大的金属矿物或者有密度较小的石油、岩盐等物质分布, 通过重力异常调查, 可以研究地壳构造与寻找地下矿产。

(三) 地球的磁性

地球具有磁性, 好像是一个巨大的磁体, 也有两极, 但地磁场的南北极与地理的南北极的位置不重合。同时地磁极的位置也在不断改变, 1970 年测出磁北极在北纬 76° 、西经 101° , 磁南极在南纬 66° 、东经 140° 。而地磁指午线与地理指午线间有一夹角, 叫做磁偏

角。磁针只有在地磁赤道附近才是水平的，磁针越移向磁两极，倾斜程度越大。在磁极区，磁针直立，磁针与水平面的夹角称磁倾角，地球某一点所受的磁力大小称为该点磁场强度。磁偏角、磁倾角、磁场强度叫地磁三要素。根据地磁在地球上的分布规律，可以计算出某地地磁三要素的正常值，实测数值与正常值不一致的现象叫地磁异常。地磁异常是地下有磁性矿床或地质构造发生变化的标志。因此，可以利用地磁异常勘测磁性矿床和地质构造情况。

组成地壳的矿物、岩石所具有的磁性也是地球磁性的一部分，许多岩石由于含有磁性矿物，它们能在地磁场作用下磁化而显磁性。因此，研究不同地质时期的岩石的剩余磁性，有助于了解古代地壳的变化情况和地球磁场的变化。近代土壤学，通过研究成土母质和土壤矿物的磁学性质，用来了解成土过程的特点，进行土壤诊断。还可利用磁场影响土壤结构，以及使用磁化水进行灌溉。

（四）地球的电性

地球具有较弱的自然电流，称为大地电流。有自然电流分布的地段为自然电场。这种自然电场可由局部金属矿体同水溶液相互作用而产生，分布范围较小；分布范围较广阔的区域性自然电场，可能与大气圈的电离作用或电磁场有关。大地电流是一种不稳定电流，其强度和方向在时间上有周期性变化，自低纬度向高纬度，电流强度逐渐增大。电流的主要方向在赤道及两极近东西向，在中纬度则与子午线约成 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 角。它的强度和方向还与地下深处的地质构造情况有关，当有金属矿体时，则其附近电流强度增大，方向也会发生变化，物探中采用的电法勘探就是以此为依据的。

（五）地热

地球表面受太阳辐射热的影响而温度变化很大，在 $-70\sim 70^{\circ}\text{C}$ 之间。温度随季节、纬度高低和海陆分布情况而有所差异。这种温度变化只影响地表不深的地方，平均约为 15m。再往深处 20~25m 的地段，由于太阳辐射热影响不到，且保持当地常年平均温度，因此叫常温层。

钻探资料表明，常温层以下地层温度随深度的增加而有规律地增加，增加情况各地不同。地温每升高 1°C 而往下增加的深度叫地温增加级。地温增加级一般平均为 33m，例如在亚洲大致为 40m（我国大庆为 20m，房山为 50m）。但地温也并非每加深 33m 就升高 1°C ，因为地内深处的物质密度、压力和状态各不相同，故温度增加到一定深度时，越深升温越慢，推测地心温度不会超过 $2000\sim 5000^{\circ}\text{C}$ 。

地热的来源，除地表来自太阳辐射外，主要来自地球内部。地球内部热源，主要是由放射性元素蜕变释放出来的，其次是重力能、化学反应能、结晶能和地球转动能等。

地球是一个庞大的热库，地热能是最廉价的能源之一，对它的开发利用已成为地质科学和综合科学技术之间的一个新领域。

地球除上述性质外，还有放射性、地球的弹性等。

第二节 地球的构造

地球的构造是指地球的组成物质在空间分布和彼此间的关系。地球物质的成分和分布

是不均匀的，具有层圈构造。地球固体表面以上的各层圈为外部构造，地球固体表面以下的各层圈为内部构造。

一、地球的外部构造

地球的外部构造包括自地表以上的大气圈、水圈和生物圈。现将各圈的特征简述如下。

(一) 大气圈

大气圈是由包围在地球最外面的气态物质所组成的层圈。这一层圈的分布在地面往上至少高达 2000~3000km 的范围。此圈自下而上又分为对流层、平流层、电离层和扩散层，大气圈中的主要成分为氮、氧、氩、碳、氦和氢等元素。大气的总质量约为 $513 \times 10^{13} \text{t}$ ，虽然约为地球的百万分之一，但对地面的物理情况和生活环境却有决定性的影响。大气的结构、成分和性质主要随着高度而变化。起初不同的分子渐渐地分解成原子，以后这些原子又受到太阳辐射粒子的作用而发生电离，变成离子和电子，所以大气可分为中性大气和电离大气。在约 500km 以上的高空，中性大气已经很少，主要是离子和电子，它们的运动由地球空间的磁场和太阳风决定。大气分布极不均匀，受地球引力作用，约有 79% 的质量集中在平均厚度 11km 范围内的对流层中。在对流层中，温度、湿度和压力等分布很不均匀，故气体常发生强烈的对流，产生风、云、雨、雪等，从而调节和促进水圈的循环。

(二) 水圈

水圈由地球表层分布于海洋和陆地上的水和冰所构成。水的总体积约为 14 亿 km^3 ，其中海洋水占总体积的 98.1%，陆地水只占 1.9%。可见，水在地表分布是很不均匀的，主要集中在海洋。水圈中各部分水的成分和物理性质有所不同，其成分除作为主体的水外，尚含有各种盐类。例如，海水含盐度高，平均为 35%，以氯化物（如 NaCl 、 MgCl 等）为主；陆地水含盐度低，平均小于 1%，以碳酸盐（如 $\text{Ca} [\text{HCO}_3]_2$ ）为主。水受太阳热的影响，可不停地循环。由于水的循环，形成了外力地质作用的动力，它们在运动过程中可不断产生动能，对地球表面进行改造。

(三) 生物圈

生物圈是由地表各种生物构成的。它们在生活活动、新陈代谢及死后遗体分解出各种气体和有机酸等过程中，可与地表的物质直接或间接地发生各种物理、化学的作用，从而改造地表物质。

二、地球的内部构造

地球内部也具有层圈构造，包括地壳、地幔和地核等三个主要层圈，如图 1-2 所示。

对于地球内部，目前人们能够直接获得资料进行观察的深度是很小的，最深的钻孔也没超过 15km。分圈的依据主要是地震法。地震法是利用地震波（纵波与横波）在地内传播速度的变化，从而间接地分析了解地内物质分布情况（见图 1-3）。地震波在地内的传播速度是随深度而增加的，并在数处做跳跃式的变化；此外，横波不能通过地心。根据地震波在地内传播速

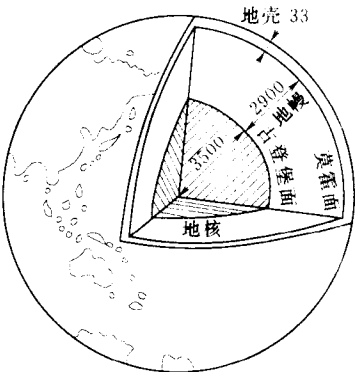


图 1-2 地球的内部构造（单位：km）

度的变化，发现有两处极明显的分界面，叫地震分界面。第一地震分界面（又叫莫霍面），是在平均深度 33km 处；第二地震分界面（又叫古登卜面），是在地深 2898km 处，见表 1-1。

表 1-1 地球内部层圈构造及有关数据

分 层	深度(半径) (km)	纵波(P)速度 (km/s)	横波(S)速度 (km/s)	密 度 (g/cm ³)	压 力 (Pa)
地壳(大陆)	海平面(6371)	5.5 6.8	3.2 3.6	2.7 2.8 2.9	
莫霍分界面	33(6338)				9.11925×10^8
地 幔	上地幔	70 } 250 } 低速带	7.9~8.1	4.4	3.32
		413(5958)	8.97	3.64	1.41855×10^{10}
	下地幔	720(最深地震)			2.735775×10^{10}
		984(5387)	11.42 13.64	4.64 5.56	3.85035×10^{10}
古登卜面	2898(3473)				1.386126×10^{11}
地 核	外部地核	速度降低	8.10 9.7	通不过	9.71
		4703(1668)		11.76	3.222135×10^{11}
	过渡层	5125(1246)	10.31	?	约 3.343725×10^{11}
	内部地核	6371(中心)	11.23	约 14 约 16	约 3.6477×10^{11}

现将地壳、地幔和地核（依据地震波在地内的传播速度区分）三个主要层圈（见图 1-3）的特征简述如下。

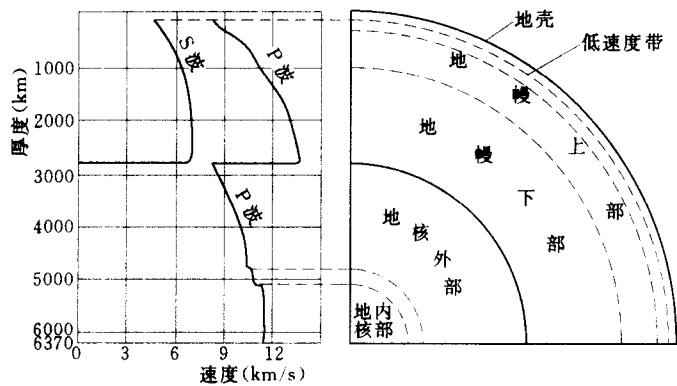


图 1-3 地球各层地震波传播速度

（一）地壳

地壳是地球上部的一个层圈，厚度很不均匀，主要是由硅、铝、氧化物组成，呈结晶质固体岩石，密度 2.7~2.9g/cm³。各种地质作用（如构造运动、岩浆作用、变质作用等）就发生在这里。但是地质作用和矿产的形成，在一定程度上还要受地壳以下物质的影响，特别是上地幔的影响。地壳占地球总质量的 1.5%。

（二）地幔

自地壳下限 33km 到 2898km 的层圈称为地幔，它占地球总质量的 66%。根据地震波传播速度的特征，又分为上地幔和下地幔两部分。

上地幔内地震波传播速度是不均匀的，从莫霍面到 50km 深处，地震波传播速度较快，这一地段是由结晶质固体岩石组成的，与地壳连接在一起构成地球的岩石圈。自 70~250km 深处地震波传播速度较慢，为低速带，这一带的物质可能呈熔融状，称为软流层。玄武岩质岩浆可能来源此带。250~984km 深处地震波传播速度较快，但变化很不均匀。上地幔的物质成分主要为镁铁硅酸盐，物质呈结晶质固体，塑性增大。物质的平均密度为 3.8g/cm^3 ，温度为 $1200\sim 1500^\circ\text{C}$ ，压力达到 $3.8\times 10^{10}\text{Pa}$ 。

下地幔中地震波传播速度平缓地增加。物质成分除硅酸盐外，金属氧化物、硫化物等，特别是铁、镍成分明显增加。物质的平均密度为 5.6g/cm^3 ，温度 $1500\sim 2000^\circ\text{C}$ ，压力可达 $1.4\times 10^{11}\text{Pa}$ ，物质呈非结晶质固体，塑性很大。

（三）地核

地核是自第二地震面分界面到地心的部分，占地球总质量的 32.5%。根据地震波的传播速度特征又分为外部地核、过渡层和内部地核三层。外部地核是液态，从 2898km 以下，纵波速度突然下降，横波消失，其深达 4703km 深处；此带往下到 5125km 深处，为过渡层；由此层到地心为内部地核，是固态。物质密度可达 13g/cm^3 ，温度为 $2000\sim 5000^\circ\text{C}$ ，压力可达 $3.6\times 10^{11}\text{Pa}$ 。关于地核的物质成分目前说法不一，一般认为主要是由铁、镍组成，还含有少量的硅、硫等元素。

第三节 地壳及地质作用

地壳是地球最上面的一个固态层圈，以莫霍面为下限，地壳厚度很不均匀，最厚的大陆地壳（我国的青藏高原）厚度在 65km 以上，最薄的海洋地壳厚度仅有 5km。

一、地壳的表面形态

地壳表面高低起伏变化很大，基本上分为陆地和海洋两大部分。陆地面积为 1.49 亿 km^2 ，占地壳表面积的 29.2%；海洋面积约为 3.61 亿 km^2 ，占地壳表面积的 70.8%。海陆分布是不均匀的，陆地主要集中在北半球，占北半球总面积的 39%，而南半球陆地面积只占 19%。陆地最高点是在我国西藏的珠穆朗玛峰，海拔高度为 8848.13m；海洋最深处是在太平洋西部的马里亚纳群岛附近的海沟，深达 11033m。

陆地地形按其起伏高度又分为山地、丘陵、高原、平原和盆地。

海底并不是平坦的，地形也有起伏变化，而且有的地方地形相当复杂。按海水深度和地形特点，海底地形可分为海岸带（滨海带）、浅海带（陆棚或大陆架）、半深海带（大陆坡）、深海带（洋床或洋盆）和深海沟、海岭等（见图 1-4）。

二、地壳的结构

根据地壳组成物质的差异，将地壳分为两层（见图 1-5）。

（一）花岗岩质层

花岗岩质层在地壳上部呈不连续分布，厚度为 $0\sim 22\text{km}$ 。其在陆地上较厚，在海洋