

全国煤炭高职高专“十二五”规划教材

地质类

煤矿地质技术及应用

主编 王正荣 李俊双

煤炭工业出版社

·北京·

全国煤炭高职高专采矿工程类“十二五” 教学与教材建设委员会

主任：曹允伟

副主任：董礼 王晓鸣 吴再生 张建华

委员（以姓氏笔画为序）：

王以功 王正荣 王永安 王永祥

王延飞 王金城 王星亮 王春城

付春生 刘学鲁 吕智海 孙志文

朱学军 闫海鹏 张乃新 张建云

张荣国 张登明 李开学 李永怀

李彦强 李洪刚 李鸿维 杜运奋

汪佑武 陈亚军 孟宪臣 赵普生

郭奉贤 曾正良 温永康 靳建伟

前 言

为了满足教学的需求,培养高素质高级技能型人才,在中国煤炭教育协会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织下,由全国多所煤炭类高职高专院校在总结《煤矿地质》多年教学经验的基础上,编写出版本教材,并更名为《煤矿地质技术及应用》。

本书为全国煤炭高职高专采矿工程类“十二五”规划教材。在教材体系上遵循教学规律,重构教学内容,从地球概况入手,讲述地质作用、地壳的物质组成(矿物、岩石)、地质构造、古生物和地史等基本知识,使学生掌握研究任何地质学分支学科都必须掌握的基础地质知识;然后通过学习煤的形成及特征、含煤岩系与煤田、煤矿水文地质、煤矿瓦斯地质和环境地质等与煤矿生产紧密相关的煤矿地质知识,使学生具备开展煤矿地质工作的理论基础;最后以前述两部分基础理论知识为支撑,以矿井地质工作为抓手,以煤矿地质技术为手段,以解决煤矿生产中的地质问题为目的,介绍了包括煤矿地质信息的获取、矿井地质图识读与制图、影响煤矿生产的地质因素分析与处理方法以及储量计算和储量管理等技术手段的应用,使学生具备一定的从事煤矿地质工作的基本专业技能,并为煤炭类专业课程体系其他相关课程的学习打下坚实的基础,体现了课程服务专业、专业支撑职业能力的理念。

本书在编写过程中,坚持做到内容精炼,概念清楚,对接我国现行煤炭行业最新规范、规定、规程等行业标准,注重教材的实用性。为了有效地配合教学,切实加强学生技能训练,编写了与教材配套的《煤矿地质技术及应用实训指导书(含习题集)》,共安排了10个实训项目。同时,还注意使本教材更加贴近我国煤炭开采行业发展及煤炭类高职高专教学的实际需求,突出煤炭类高职高专教育教学特点,注重应用,强调操作技能,体现了高素质高技能型人才培养特色。

全书按80学时安排,其中理论教学60学时,实践教学20学时,并在课程结束后安排一周的煤矿现场集中实习。

本书由云南能源职业技术学院王正荣、山西煤炭职业技术学院李俊双任主编;重庆工程职业技术学院李北平、云南省师宗县煤炭工业局李建荣任副主编;淮南职业技术学院熊晓英、长治职业技术学院文朝生、河北能源职业技术学院郑瑞宏参编。其中,第一章、第二章由李俊双编写,第三章、第四章、第五章由李北平编写,第六章、第七章由李建荣编写,第八章由熊晓英编写,第九章由文朝生编写,第十章由郑瑞宏编写,第十一章、第十二章、第十三章、第十四章由王正荣编写。全书由王正荣教授负责统稿。

本教材在编写过程中参阅了部分本、专科教材和相关研究成果及网上资料。其中,还引用了部分原书内容。在此,本书编者对被参考、引用的有关书籍的广大作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

绪论	(1)
----------	-----

第一篇 基础地质

第一章 地球概况	(5)
第一节 地球的特征	(5)
第二节 地球的圈层构造	(10)
第三节 地球的物理性质和化学性质	(13)
第二章 地质作用	(19)
第一节 内力地质作用	(19)
第二节 外力地质作用	(26)
第三章 矿物与岩石	(36)
第一节 矿物	(36)
第二节 岩石	(42)
第四章 古生物与地层	(55)
第一节 古生物与化石	(55)
第二节 地层划分、对比及地质年代表	(56)
第三节 地球发展简史	(65)
第五章 地质构造	(69)
第一节 单斜构造	(69)
第二节 褶皱构造	(74)
第三节 断裂构造	(80)

第二篇 煤矿地质

第六章 煤的形成及特征	(89)
第一节 成煤作用	(89)
第二节 煤的组成和性质	(94)
第三节 煤质分析与评价	(103)
第四节 煤的工业分类和综合利用	(112)
第七章 含煤岩系与煤田	(117)
第一节 含煤岩系	(117)
第二节 煤层及其特征	(121)
第三节 煤田、聚煤期及聚煤区	(133)

第八章 煤矿水文	(138)
第一节 地下水	(138)
第二节 矿井充水	(148)
第九章 煤矿瓦斯	(156)
第一节 矿井瓦斯	(156)
第二节 矿井瓦斯涌出	(165)
第十章 煤矿环境地质	(171)
第一节 煤矿环境污染因素与危害	(171)
第二节 我国煤矿主要环境地质问题及污染防治	(176)

第三篇 煤矿地质技术应用

第十一章 地质信息获取	(183)
第一节 煤炭地质勘查	(183)
第二节 矿井地质勘探	(190)
第三节 地质编录	(195)
第四节 地质说明书及地质预报	(203)
第十二章 矿井地质识图与制图	(206)
第一节 井田地形地质图	(206)
第二节 矿井地质剖面图	(211)
第三节 水平地质切面图	(218)
第四节 煤层底板等高线图	(224)
第五节 地质柱状图	(231)
第十三章 影响煤矿生产的地质因素及处理	(236)
第一节 矿井地质构造的分析处理	(236)
第二节 矿井水文地质观测及水害防治	(249)
第三节 矿井瓦斯防治	(258)
第四节 其他地质因素分析及处理	(268)
第十四章 矿井储量管理	(276)
第一节 煤炭资源/储量分类	(276)
第二节 煤炭资源/储量估算	(280)
第三节 矿井资源/储量管理	(286)

参考文献	(296)
-------------------	-------

绪 论

科学技术迅猛发展的今天,煤炭依然是世界上最经济最可靠的能源和战略资源。长期以来,煤炭一直是我国的主要能源,在一次能源生产和消费构成中占70%左右。随着我国进入全面建设小康社会的新时期,国民经济快速增长导致煤炭需求量将会进一步增大。据预测,2020年中国煤炭消费需求将达 48×10^8 t左右。2005年国务院在《关于促进煤炭工业健康发展的若干意见》中,强调煤炭将长期是我国的主要能源。因而,煤炭的高产稳产和高效利用,今后在相当长的历史时期内是煤炭作为国家重要战略资源的需要。

《煤矿地质技术及应用》(原《煤矿地质》)是在我国煤矿生产实践中创建并逐渐发展起来,直接为矿井建设和生产服务的。它是综合各种地质知识,为解决矿井地质问题而形成的一门应用地质的技术科学。《煤矿地质技术及应用》主要研究煤矿床开发过程中有关地质矿产资源、技术和经济等问题,研究矿井地质工作的理论和方法,查明影响矿井生产的地质因素,解决矿井建设和生产过程中所出现的各种地质问题,保证矿井建设和生产的顺利进行,保证煤炭资源的合理开发和充分利用。

一、《煤矿地质技术及应用》和《地质学》的关系

地质学是研究地球的一门自然科学,目前重点是研究地球的外部硬壳——地壳。

地球是人类赖以生息的场所,也是人类的衣食之源。人类在地球上从事各种生产活动,并从地球中索取一切生活和生产资料。地球上的自然环境和许多自然灾害,如地震、海啸、火山爆发、山崩、泥石流等都与人类的生活和生产息息相关。人类在从地壳中开采矿产、与自然灾害作斗争及在改造自然环境过程中,通过长期观察和实践逐渐认识了地球,形成了地质学。

由于科学的发展和生产实践的需要,地质学逐渐分成了许多学科,如矿物学、岩石学、大地构造学、构造地质学、地层学、古生物学、矿床学、水文地质学、煤田地质学、瓦斯地质学、石油地质学等。这些分支学科各自侧重于研究地质学中的一部分内容,但彼此间都有内在联系。

近代,随着科学技术的迅速发展和学科间的相互渗透,地质学的研究内容在不断增加,研究领域也在逐渐扩大,不但出现了许多与地质学有关的边缘科学,如地球化学、地球物理学、地质力学、数学地质、遥感地质、宇宙地质学等,而且还出现了一些指导生产建设的应用型地质学科。

《煤矿地质技术及应用》就是利用地质学基础知识,研究煤的生成、煤的赋存状态、煤的储量及煤的用途,研究分析和解决影响矿井建设与生产的地质因素,进而指导采掘工程的正常进程而发展起来的一门生产实践性很强的应用型地质学科。

煤矿地质工作是在煤田地质勘探的基础上,在矿井建设和生产时期,直接为煤矿建设和生产服务的一项重要技术基础工作。它包括从建井、开拓、掘进、回采直至矿井开采结束期

间的全部地质工作。长期生产实践证明,这项工作 在煤矿建设生产中占有举足轻重的地位, 矿井建设生产的设计,影响建设生产的地质因素处理及矿井水、火、瓦斯、矿山压力等灾害事故的防治,均需准确的地质情报作为决策的依据。因此,煤矿地质工作是煤矿建设生产过程中必不可少的技术环节,是煤矿建设生产的“尖兵”和“眼睛”。

煤矿地质工作方法是随着煤炭工业的发展逐渐形成的。在长期的煤矿生产实践中,广大地质工作者根据煤矿建设生产对地质工作的要求,将地质学的基础理论应用于生产实践中,并结合地球物理、采煤、测量等学科的基础知识,不断积累煤矿地质资料,总结煤矿地质工作经验,从而建立起一套完整的工作方法。

《煤矿地质技术及应用》主要研究煤矿建设、生产过程中的各种地质问题,总结起来有三方面的内容。

(1) 基础地质理论部分 包括地球概况、地质作用、地壳的物质组成(矿物、岩石)、地质构造、古生物和地史等有关基本知识。它们是研究任何地质学的分支学科都必须掌握的基础知识。在奠定了坚实的地质理论基础后,才能对煤矿地质技术及应用进行系统而深入的研究。

(2) 煤矿地质基础理论部分 包括煤的形成及特征,含煤岩系与煤田,煤矿水文地质,煤矿瓦斯地质和环境地质。

(3) 煤矿地质技术应用部分 以前述两部分基础理论知识为支撑,利用地质技术开展煤矿地质工作,解决煤矿生产中的地质问题。包括煤矿地质信息的获取,矿井地质识图与制图,影响煤矿生产的地质因素分析与处理方法,以及储量计算和储量管理等。

二、《煤矿地质技术及应用》的任务

1. 研究煤矿地质规律

根据地质勘探部门提供的原始地质资料和煤矿建设生产过程中揭露出来的地质现象,研究矿区煤系地层、地质构造,处理采掘工作中的地质问题。

2. 矿井地质工作

进行矿井地质勘探、地质观察、地质编录和综合分析,提交煤矿设计、建设、生产各阶段所需的地质资料,处理采掘工作中的地质问题。

3. 矿井储量管理

计算和核实矿井储量,测定和统计储量动态,分析储量损失,编制矿井储量表,为提高矿井储量级别和扩大矿井储量提供依据,为生产正常接替、资源合理利用服务。

4. 水文地质调查

地面与井下相结合,开展矿区水文地质调查。查明矿井水的来源、涌水通道、涌水量大小及其影响因素与变化规律,研究和制定防治水措施与方案,同时为煤矿生产、生活寻找和提供优质水源。

5. 地质灾害预测预报

对危及煤矿建设、生产和人身安全的各种地质灾害,如瓦斯突出、水害、热害、煤尘、冲击地压、滑坡等,查明其形成机理,对各类地质灾害的分布范围、突发时间及危害程度进行预测预报,提出防范措施与治理方案。

6. 环境地质调查

开展矿区(井)环境地质调查工作,查明污染矿区(井)环境的地质因素及其危害程度,研究环境地质的治理措施,配合环保部门提出矿区(井)环境保护方案。

7. 矿产资源综合利用

调查研究煤系地层中伴生矿产资源的性质、特征、储量、分布规律和利用价值,为变废为宝、综合利用、保护环境、提高煤矿经济效益提供依据。

三、《煤矿地质技术及应用》的研究方法

《煤矿地质技术及应用》与煤矿的设计、建设和生产紧密结合,具有很强的综合性、实用性和方法性。

研究《煤矿地质技术及应用》必须在辩证唯物论指导下,遵循“实践—认识—实践”的认识过程。首先,要深入现场对井巷揭露的和地表出露的地质现象做周密细致的观测调查,并进行必要的取样和相应的实验分析,充分掌握第一手资料。在积累资料的基础上,去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里地整理分析,归纳总结出规律,将感性认识上升为理性认识。然后,再用所得到的理性认识去指导生产实践,并在实践中检验、充实和完善,使之更加符合客观实际。只有这样,才能逐步深刻、正确地反映矿井的地质情况,为煤矿生产建设提供可靠的地质依据。此外,还应注意,自然界的地质现象都是在各种地质作用长期反复影响下形成的,而且不同地区有不同的物质基础和外界因素,也有不同的变化过程,故没有绝对相同的地质现象。因此,研究煤矿地质,切忌机械地照搬某种模式,要善于因地制宜,以辩证的观点抓住现象的本质和主要矛盾进行分析、归纳和总结。

四、学习《煤矿地质技术及应用》的意义

以地质学为理论基础的《煤矿地质技术及应用》以矿井地质工作为抓手,以煤矿地质技术为手段直接为煤矿的建设与生产服务。它是通过各种技术手段收集地质资料,研究矿区和矿井的地质情况,为煤矿的开发提供依据。没有可靠的地质资料,便不可能作出正确的矿井设计,也不可能顺利地进行建井、采掘工作和实现安全生产。例如,掘凿一对竖井,若地质资料错误,会导致竖井不能按期移交生产,或达不到设计目的;对地质构造了解不清,直接影响采煤方法的选择和采煤机械化;储量计算不准确,将影响煤矿服务年限和生产的正常接续;对水文条件、瓦斯、煤尘、地热等没有查明,会影响安全生产,甚至带来严重的灾害,造成人力、物力、财力的巨大损失。

煤矿开采技术、矿井通风与安全、矿山测量等煤矿主专业,学习《煤矿地质技术及应用》具有重大意义。

生产实践证明,凡是重视煤矿地质工作的矿井,其生产建设就能正常安全顺利地进行;反之,凡是未开展煤矿地质工作的煤矿,由于缺乏足够的地质资料、对地质情况不清,往往造成施工中的被动局面,甚至造成不必要的损失。由此可知,煤矿地质工作关系到煤矿开发的正常发展及煤炭资源的合理开发和利用。在煤矿建设、生产直到矿井报废的整个过程中,都应加强煤矿地质工作。

近年来,随着我国煤炭工业机械化水平的日益提高,对煤矿地质工作提出了更高的要求;许多新的地质理论、新的工作方法和手段被应用到矿井地质工作中,从而大大促进了矿

井地质工作的发展。许多煤矿地质工作者结合本地区的实际情况,总结了一些实用有效的矿井地质工作方法,为保证本地区煤矿的正常、安全、高效生产发挥了重要作用。总结这些实践经验,补充和完善矿井地质工作方法,对于促进煤炭工业的发展、加速煤炭生产的现代化建设,具有十分重要的理论和实际意义。

地质学的发展与地质学的应用密切相关,地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。地质学的发展离不开地质学的应用,地质学的应用离不开地质学的发展。地质学的发展与地质学的应用是相辅相成、相互促进的。

第一篇 基础地质

《煤矿地质技术及应用》是利用地质学基础知识研究煤的生成、煤的赋存状态、煤的储量及煤的用途,研究分析和解决影响矿井建设与生产的地质因素,进而指导采掘工程正常进行而发展起来的一门生产实践性很强的技术与应用型地质学科。为了更好地掌握煤矿地质技术及应用的知识和技能,需要学习相应的地质学基础知识。

本篇着重介绍地球概况、地质作用、矿物与岩石、古生物与地层、地质构造等地质学基础知识。

第一章 地球概况

目前,人类开发利用的各种矿产资源均赋存于地壳之中。各种矿产均是地球物质(特别是地壳物质)运动和演变的产物。这些运动和演变并不是孤立进行的,而是与地壳内部和外部的物质及其运动、甚至与其他星体(特别是太阳)有着密切关系。因此,在学习掌握煤矿地质技术及应用的知识和技能之前,应了解地球的概况,以便更好地认识自然界的各种地质现象。

第一节 地球的特征

一、宇宙和天体

古人云:四方上下曰宇(无限空间),古往今来曰宙(无限时间),合称为宇宙(所有的时间和空间)。

宇宙是由空间、时间、物质和能量所构成的统一体,是一切空间和时间的综合。一般理解的宇宙,是指客观存在的一个时空连续系统,包括其间的所有物质、能量和事件。

宇宙是万物的总称,是时间和空间的统一。宇宙是物质世界,不依赖于人的意志而客观存在,并处于不断运动和发展中。宇宙是多样又统一的。它包括一切,是所有时间和空间的统一体,没有时间和空间就没有一切,所以它包含了全部。宇宙中的日月星辰,统称为天体。

(一) 宇宙中的天体

宇宙中的天体在万有引力的作用下相互绕转,形成不同层次的天体系统。其主要类型有恒星、行星、卫星、流星、彗星和星云等。由不同数量的恒星组成的庞大恒星体系集合体,称为星系。

宇宙大约由十亿个星系所构成。小星系由几个恒星组成,大星系则由上千亿个恒星

组成。太阳(恒星)所在的星系叫银河系。银河系以外的星系叫河外星系。

(二) 银河系

银河系是一个巨型旋涡状星云,中间厚,边缘薄,形似铁饼;大约由 1 500 亿颗恒星所构成;直径约 100 000 光年(1 光年 $\approx 94\ 605 \times 10^8$ km),中心厚约 12 000 光年,边缘厚约 1 000 光年,质量约为太阳的 1.4×10^{11} 倍。银河系作为一个整体,以 500 km/s 的速度围绕更大的中心旋转;同时,银河系内众多的恒星,除了各自的运动外,还都围绕银河系的中心旋转。

(三) 太阳系

太阳系位于银河系一侧,距中心约 30 000 光年。太阳系是银河系中一个普通成员,由太阳及其周围的行星、卫星、小行星、彗星、流星,以及散布其间的星际物质组成。

太阳是太阳系的中心天体,它携带整个太阳系家族,以 250 km/s 的速度围绕银心旋转,每 2.5 年运转一周。围绕太阳旋转的是一个行星体系(水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星);如图 1-1 所示。

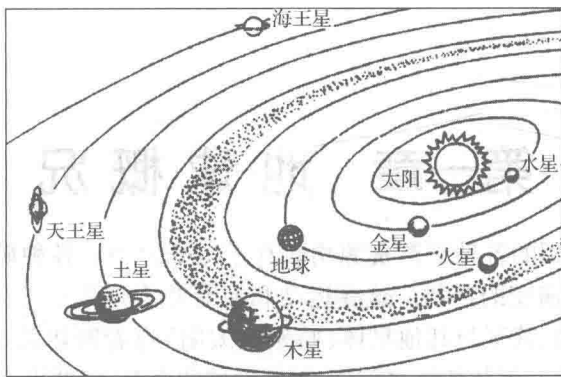


图 1-1 太阳系组成示意图

此外,还有众多小行星、彗星、流星等小天体。目前,太阳系的直径约为 100×10^8 km。

1. 太阳

太阳是一个炽热的气体球,也是离地球最近的恒星,平均距离为 1.496×10^8 km。太阳直径 1.39×10^6 km,约为地球直径的 109 倍;体积约为地球的 130 万倍;表面积约为地球的 1.2 万倍;质量是地球的 33.3 万倍,约 1.99×10^{30} kg,占太阳系总质量的 99.86%;平均密度 1.41 g/cm^3 ,仅是地球的 1/4。

太阳大气中有 73 种元素,以氢、氦最多。氢占太阳总质量的 71%,氦占 26.5%。

太阳大气圈从内向外分为三层:

(1) 光球层 常称为太阳表面,其平均温度约为 $5\ 500 \text{ }^\circ\text{C}$,太阳的光和热由此层向四面八方发射。太阳黑子是光球层温度较低的巨大旋涡状气流。

(2) 色球层 为光球层上部呈玫瑰色、边缘呈锯齿状的球层。

(3) 日冕 色球层之上,呈银白色的太阳最外层大气。

色球和日冕只有在全日蚀时用特殊仪器才能观测到。

光球层以下的太阳内部,推测中心密度为 160 g/cm^3 ,压力达 3.445×10^{16} Pa,温度高达 $1.55 \times 10^7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。这种超高温、超高压的环境,能够引起热核聚变反应,产生巨大的太阳能。

2. 行星

太阳系八大行星,分别围绕太阳公转并绕轴自转。按它们与太阳的距离由近到远分别为:水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星。

八大行星绕日运行方向与太阳自转方向一致;绕轴自转方向除金星外均相同,即自西向东转。太阳系的行星按物理、化学性质分为两大类。

(1) 类地行星 包括水星、金星、地球、火星。其距太阳近,体积和质量小,平均密度大,自转速度慢,公转周期短,卫星少或无,具固体外壳,中心有铁核,金属元素含量高。

地球是太阳系中一颗不大的行星。其既绕通过南北极的轴自西向东自转,每日一周(自转一周的时间需 23 时 56 分 4 秒),又以 $66^{\circ}34'$ 交角(地轴与公转轨道平面的交角)侧着身子以 30 km/s 的平均速度绕太阳公转,每年一周(公转一周需 365 日 5 时 48 分 46 秒),公转轨道全长约 $9.46 \times 10^8 \text{ km}$ 。

地球与太阳的平均距离为 $1.496 \times 10^8 \text{ km}$ (称为一个天文单位),太阳光只需 8 分 19 秒即可到达地球。来自太阳的光和热,是地球发展、演化的最重要的外部动力。

(2) 类木行星 包括木星、土星、天王星、海王星。它们距太阳远,体积和质量大,密度小,自转速度快,公转周期长,卫星较多,物质成分以轻元素为主。

3. 小行星

太阳系的小行星,已编号的有 10 000 颗以上。特征类似类地行星,并大都在火星和木星轨道之间环绕太阳公转。

小行星一般为石质或碳质,体积很小,直径多为几千米到几十千米,体大者一般为球形,但多数形状不规则,表面有陨坑,没有大气。最大者叫谷神星,直径为 770 km。

4. 卫星

卫星是绕行星运行而自身不发光的的天体。太阳系中已发现的卫星共有 66 颗,八大行星中除水星、金星外,均有卫星绕转,但多少不一。其中,地球 1 颗(月球),火星 2 颗,木星 16 颗,土星 23 颗,天王星 15 颗,海王星 8 颗。

月球是地球唯一的 1 颗自然卫星。月球距地球平均距离为 384 401 km,月球绕地球公转的同时还自转,因其自转与公转周期相同,所以月球朝向地球的一面始终不变。

月球表面无任何形态的水,完全没有大气,接近真空,但月球有火山喷发、造山运动、月震等现象。环形山是火山喷发或外星体撞击而成,由于没有大气和水,没有风化作用,因而得以长期保存。

尽管月球体积(仅是地球的 2.03%,半径为 1 738 km)和质量(约 $735 \times 10^{23} \text{ kg}$,相当地球的 1.23%)均不大,但对地球的引力仍超过太阳(约为太阳的 2.2 倍),因此它对地球有着不可忽视的影响。研究表明,地球自诞生以来,在星际空间运动中,不断受到其他天体的坠落撞击,对地球的改造具有重要作用。此外,在太阳系围绕银心旋转的一个周期过程中,由于所处轨道位置不同,使得与银心的距离发生变化,并且空间的星际环境也有很大差异,从而引起太阳系的某些变化(如引力及太阳辐射量的变化等),这也是导致地球发展、演变的重要因素。

5. 彗星

太阳系的彗星数目众多,目前观测到的已超过 1 500 颗,彗星的结构主要由三部分组成。

- (1) 彗核 由氢、碳、水等冰冻物质组成,是彗星的主要部分,直径一般为 $1 \sim 100 \text{ km}$ 。
- (2) 彗发 在近日点彗核的冰冻物质受热气化,可达几万千米,由极稀薄气体组成。
- (3) 彗尾 彗发在太阳光压和太阳风作用下,在背向太阳一侧形成的由极稀薄气体组成的长尾;可达 $1 \times 10^8 \text{ km}$ 。

彗星常以闭合椭圆形的轨道绕太阳运行,彗星具有周期性,可以预测他们出现的时间。例如哈雷彗星,绕日公转周期为 76 年,最近一次经过近日点是在 1986 年 2 月。

6. 流星体

流星体是在太阳系中绕太阳运行的比小行星更小的细小天体,主要是小行星和彗星碎裂、瓦解的产物。流星体运行到地球附近,被地球引力俘获并吸向地球,进入大气层摩擦生热而燃烧发光,成为流星。

多数流星燃烧变成气体,少数残体落到地面成为陨石或陨星。如 1976 年 3 月 8 日在吉林市出现罕见的陨石雨现象,已收集到 200 余块,总质量达 2 700 kg 以上,超过 100 kg 的有 3 块,最大的质量 1 770 kg,是当前世界最大的一块陨石。

太阳系中一共存在着 700 多个流星群,以及不计其数的流星体和星际物质。

(四) 河外星系

银河系以外的与银河系类似的星系,目前发现还有数以百亿计,近的有 250 万光年,远的超过 100 亿光年。

二、地球的形状和大小

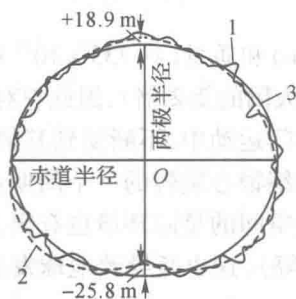
(一) 地球的形状

地球的形状,是指全球静止海面(大地水准面)的形状。由于物质密度分布上的差异、弹性和塑性变形及自转的影响,地球更为准确的表面形态略似于“梨形”。

据人造卫星轨道参数分析,地球北极比理想的旋转椭球体要凸出约 18.9 m,南极则凹进约 25.8 m;北半球的中纬度区稍稍凹进,在南半球则稍稍凸出,如图 1-2 所示。由于这些变化量与地球半径相比非常微小,故远望之地球仍不失为球体。

(二) 地球的大小

我国 1978 年决定采用 1975 年第 16 届国际大地测量和地球物理协会(IUGG)推荐的地球参数(表 1-1)。



- 1—自然表面(曲线);
- 2—大地水准面(虚线);
- 3—旋转椭球体(实线)

图 1-2 地球形状示意图

表 1-1 地球参数

参数项	参数值
赤道半径	6 378. 140 km
两极半径	6 356. 755 km
平均半径	6 371. 004 km
扁率	1/298. 257
子午线周长	40 008. 08 km
赤道周长	40 075. 04 km
表面积	$5. 11 \times 10^8 \text{ km}^2$
体积	$1. 083 \times 10^{12} \text{ km}^3$
质量	$5. 974 \times 10^{24} \text{ kg}$
平均密度	$5. 52 \text{ g/cm}^3$

(三) 地球的表面特征

1. 地球表面的总体特征

现今地球表面积约为 $5.11 \times 10^8 \text{ km}^2$, 基本分为陆地和海洋两部分。其中, 海洋面积约 $3.62 \times 10^8 \text{ km}^2$, 占地球表面的 70.8%; 陆地面积约 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$, 占地球表面的 29.2%; 陆地与海洋之比约 1:2.4。陆地多集中于北半球, 占全球陆地总面积的 67.5%, 而南半球的陆地面积仅占陆地总面积的 32.5%。陆地的平均海拔高度为 825 m, 最高处是喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰, 海拔为 8 844.43 m。海洋的平均深度为 3800 m, 最深处是太平洋马里亚纳海沟的斐查兹海渊, 为 11 034 m。海、陆最大高差近 20 km。

2. 陆地表面特征

地球上的陆地并非一个整体, 而是被海水分割成若干巨大的陆块和较小的陆块, 前者称大陆或大洲, 后者称为岛屿。

陆地表面形态极为复杂, 按照高程和起伏状况, 大陆形态可分为:

山地 海拔高度在 500 m 以上的地区。

丘陵 海拔高度在 500 m 以下, 地表相对高差不大、山峦起伏的低缓地形。

高原 海拔高度在 600 m 以上, 表面比较平坦且宽广或偶具一定起伏的山岭与沟谷。

平原 海拔高度在 200 m 以下, 表面常平坦或略有起伏, 其相对高差小于 50 m 的广大宽平地区。

盆地 中间比较低平、四周是高原或者山地的地区, 因外形似盆而得名。

洼地 陆地上某些低洼的地区, 其高程在海平面以下。如我国新疆吐鲁番盆地中的艾丁湖, 湖水面在海平面以下 150 m, 称克鲁沁洼地。

3. 海底表面特征

海底表面的高低错落大大超过陆地。根据起伏和海水深浅, 将海底地形划分为大陆边缘(大陆架、大陆坡、大陆基)、大洋盆地和洋中脊等三个单元。海洋分区及海底地形如图 1-3 所示。

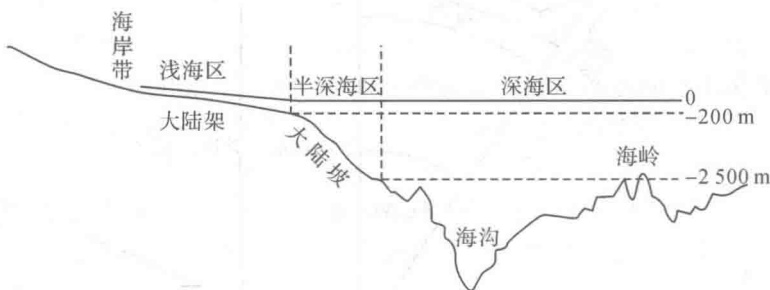


图 1-3 海洋分区及海底地形示意图

(1) **大陆边缘** 是大陆和大洋的过渡地带, 在地质上直接与大陆相连接, 具有陆壳或接近陆壳的特征。它包括大陆架、大陆坡和大陆基。

大陆架 指紧邻大陆的浅海海底。属海水深度不超过 200 m 的浅海地带(平均深 133 m, 平均宽 74 km)。地势平坦, 坡度缓, 一般不超过 0.1° 。我国大陆架宽度在 100 ~ 500 km 不等, 水深多在 50 m 左右, 最深 180 m。

大陆坡 指位于大陆架外缘的倾斜部分(水深 200 ~ 2 500 m)。由大陆架再向外海延

伸,海底坡度突然加大,平均坡度 4.3° ,最大达 20° 以上;宽 $20 \sim 90 \text{ km}$ 不等,平均宽 28 km ;基部水深 $1\,400 \sim 3\,200 \text{ m}$ 。这一带的海称为半深海。在许多地方,大陆坡被两侧陡峭、高差很大的凹槽(称为海底峡谷)横切,有的甚至切穿大陆架与近海河口相连。

大陆基 是大陆坡与大洋盆地间较平坦的地区,坡度仅 $1/700 \sim 1/100$,是浊流滑塌作用的堆积物。

(2) 大洋盆地 海水深度自 $2\,500 \text{ m}$ 至 $6\,000 \text{ m}$,这部分海称为深海或大洋。大洋盆地是海洋的主体,约占海洋面积的 45% ,其中主要部分水深在 $4\,000 \sim 5\,000 \text{ m}$ 的开阔水域称为深海盆地。深海盆地中最平坦的部分称为深海平原,一般坡度小于 $1/1\,000$;平均深 $4\,877 \text{ m}$ 。在深海平原中,突出的孤立高地称海山,其中有一类比四周海底高出 $1\,000 \text{ m}$ 以上,且呈锥状并隐没于水下或露出海面的,称为海峰。海峰多由火山形成。部分海山顶部被海浪作用削平并位于海面以下,称为海底平顶山。大洋盆地中还有高差不大、比较宁静而又较开阔的隆起地区,称为海岭。

在大陆边缘,常分布着深沟,海水深度一般在 $8\,000 \sim 10\,000 \text{ m}$ 。

(3) 洋中脊 又称洋脊。是大洋中的一种呈线状分布的海底隆起,为大洋底部的巨大“山脉”,连绵数万千米,规模超过陆地上最大的山系。洋中脊均由火山岩组成,其内有地震和火山活动,中间有很大的裂缝称为中央裂谷。

第二节 地球的圈层构造

地球的圈层构造,是指地球的组成物质在空间上呈圈层状分布,它表明地球不是一个均质体。大致以地壳表层为界分为外圈层和内圈层,如图 1-4 所示。

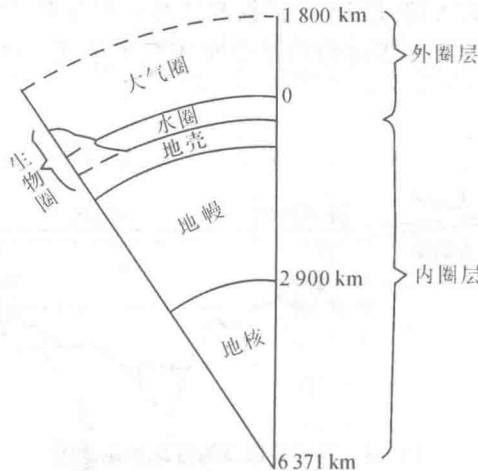


图 1-4 地球圈层构造示意图

一、地球外圈层

地球外圈层分为大气圈、水圈、生物圈等三个圈层。

(一) 大气圈

大气圈是指包围在地球最外面的由气态物质所组成的圈层。厚达几万千米,受地心引力作用,以地球表面大气最稠密,向外稀薄,并过渡为宇宙气体。大气圈没有明确的上界,向

下也可以深入到地壳岩石和水圈中,因此下界也不明显。

大气圈自地表向外依次分为:对流层、平流层、中间层、热层、散逸层。

1. 对流层

对流层厚约 17 km,两极最薄,约 8 km,平均 10.5 km。主要化学成分为氮(约占 78.09%)、氧(20.95%),其次为氩(0.93%)、二氧化碳(0.03%)、氖(0.0018%)和水蒸气、灰尘等。对流层温度来自地面红外辐射,随高度升高而降低,每升高 100 m 气温降低 0.6℃。大气对流是对流层最大的特征,它导致气象现象(风、雨、雪、雷电等)发生。它对地球上生物的生长发育以及地表面貌的改变和洋流的变化等有着极为密切的关系。

2. 平流层(同温层)

对流层顶之上是非常稳定的平流层。高度在 17~55 km 之间。随高度增加,气温保持不变或稍有上升,故称同温层,直到 30~35 km 处气温保持在 -55℃左右,再向上气温将随高度升高而上升,顶部约 -2℃。在 15~35 km 高度内有一厚约 20 km 的臭氧层,可吸收紫外线,并使气温升高。大气多为水平运动,大气透明度高,尘埃少,是现代超高速飞机飞行的理想场所。

3. 中间层

自平流层之顶到 55~85 km 间的一层,气温随高度增加而降低,顶部可达 -90℃,大气的垂直对流运动剧烈,又叫上对流层,无云层出现。

4. 热层(电离层)

从 80 km 到 800 km 叫热层,气温随高度增加而上升,最高可达 1 200℃,大气处于电离状态。

5. 散逸层

位于热层之上,受地球引力微弱,高速运动的气体质点常散逸到星际空间。

(二) 水圈

水圈是地表和近地表的各种形态水的总称,包括海洋、湖泊、河流、沼泽、冰川以及土壤和岩石孔隙中的水、生物圈中存在的水等。水的总体积为 $1.45 \times 10^9 \text{ km}^3$,其中海洋水占总体积的 98.1%,陆地水只占 1.9%。水圈的厚度在 0~11 033 m 范围内变化。

水圈可分为地表水圈和地下水圈。地表水圈是指固体地球表面之上的水体;地下水圈是指渗透到岩石中的水,且多为热水,其下界与岩石没有明显的界限。

组成水圈的主要成分有氧、氢及少量的氯、钠、钙、镁等。

由于降水、蒸发、地表和地下径流等水的循环,形成了外力地质作用的动力,从而改变着地球的外貌,对生命的起源、生物的演化和沉积矿产的形成起着重要的作用。

(三) 生物圈

生物圈是地球上所有生物(动物、植物、微生物)生存和活动的范围所构成的一个连续圈层。生物分布很广,在大气圈 10 km 高空、地壳中甚至万米深处以及深海底部,都有生物存在。

自地球上出现生物以来,它们便不断地改变着地壳的物质成分和结构状态。如植物进行光合作用,不断地从大气中吸收 CO_2 并分解为 C 和 O,然后释放出 O,将 C 固定下来。这样,一方面消耗大气中的 CO_2 ,增加空气中的 O;另一方面,植物固定下来的 C 经过复杂生物化学变化及地质作用,可在地壳中堆积形成煤。生物的繁殖活动和生物遗体的堆积,亦为形

成其他有用矿产提供了物质基础。生物对地球表面还起着一种破坏作用,它经常在改变和影响地球的面貌。

二、地球内圈层

研究表明,在地球内部,地震波的传播速度无论是横向还是纵向上都有变化。根据地震波在地球内部传播速度的变化,发现有两处极为明显的分界面,称为地震分界面。第一地震分界面称为莫霍面(1909年,莫霍洛维奇),深度不一,大陆最深可达60 km,大洋最浅不足5 km,平均33 km。第二地震分界面称为古登堡面(1914年,古登堡),深2 898 km。由此将地球内部由表及里划分为地壳、地幔、地核三个圈层,如图1-5所示。莫霍面是划分地壳与地幔的界面,古登堡面是划分地幔与地核的界面。

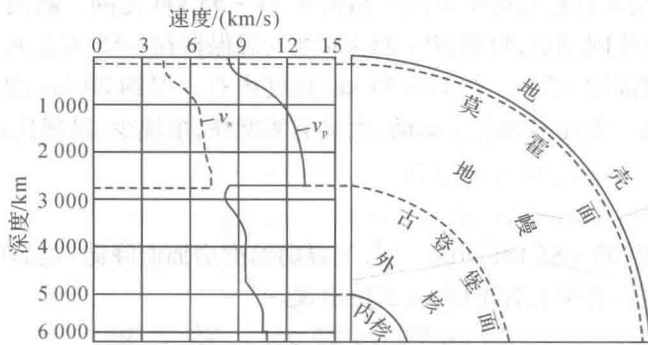


图1-5 地球内部结构及地震波传播速度示意图

(一) 地壳

位于莫霍面以上的部分,称为地壳。地壳是地球外部极薄的一层固体外壳,由固体岩石组成,厚度变化大,主要与地势有关。一般大陆地壳较厚,平均33 km,最厚的地方是我国的青藏高原,达73 km。海洋地壳较薄,厚5~8 km,平均厚约6 km。整个地壳平均厚度约16 km。其体积只有地球体积的0.3%;质量占地球总质量的1.5%。各种地质作用主要发生在这里。

根据地壳物质组成的差异,地壳又分为上、下两层,如图1-6所示。

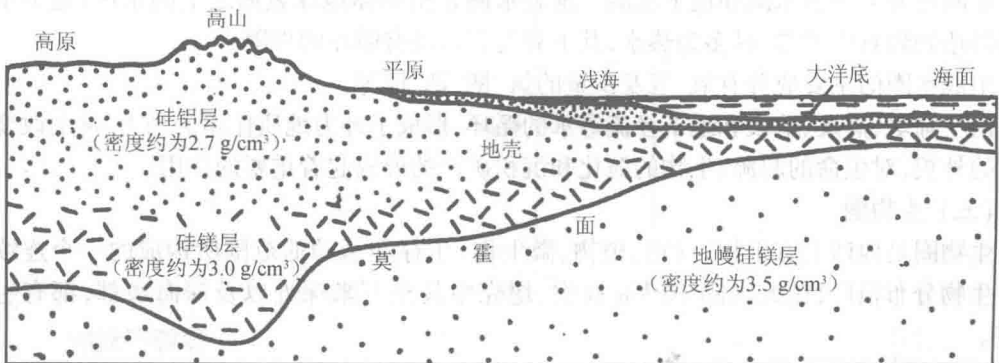


图1-6 地壳结构示意图

上层称为硅铝层,一般厚0~22 km,平均厚度10 km,主要成分是硅(73%)、铝(13%),密度较小,约为2.7 g/cm³;压力小;放射性元素含量较高。该层不连续,只有大陆才有,大洋