

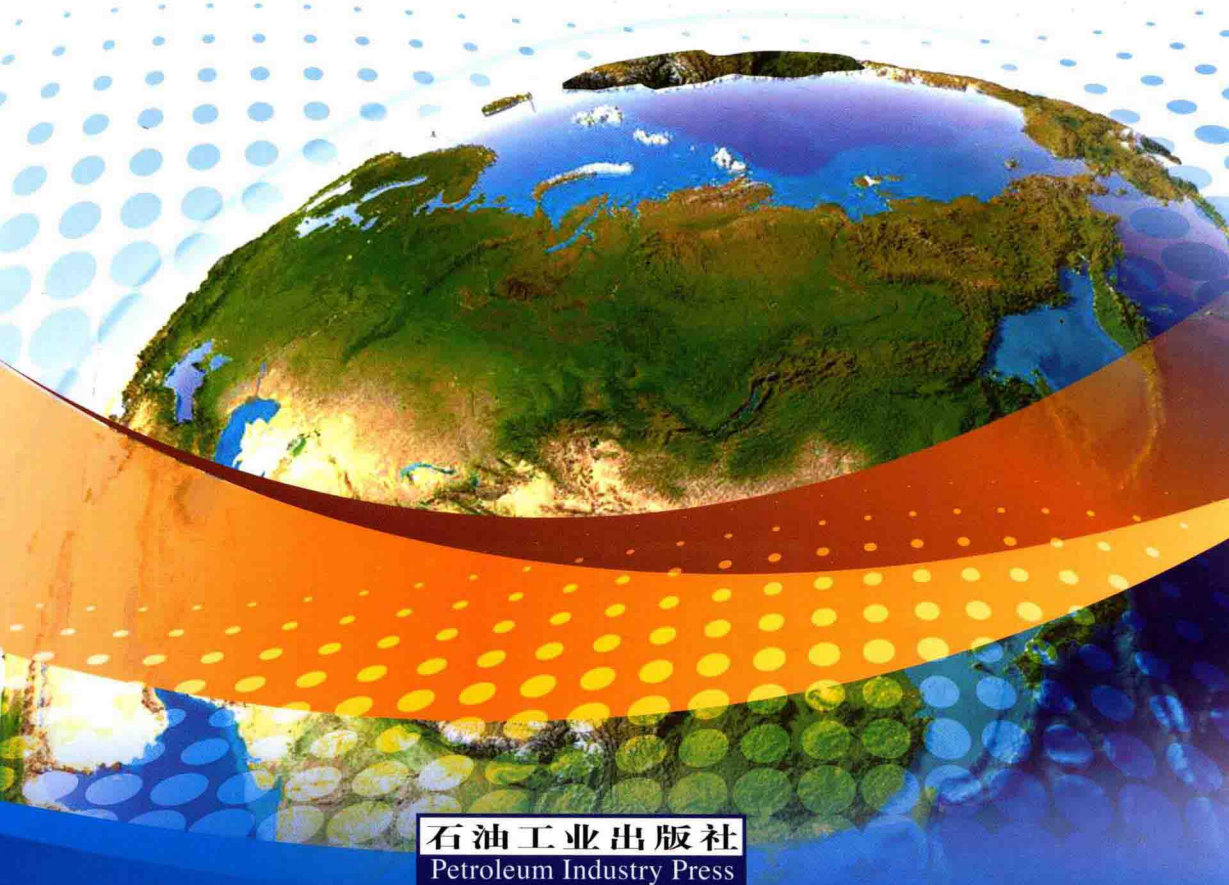


四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材

# 地质学基础

(第二版)

陆廷清 主编



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材

# 地质学基础

(第二版)

陆廷清 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书以地质作用及其结果为主线,介绍了地球的一般特征、矿物、岩浆作用与岩浆岩、变质作用与变质岩、外动力地质作用、沉积岩、沉积相、古生物与地层、构造运动与地质构造。书末附有实验指导。

本书是石油工程专业的教材,也可作为资源勘查工程、勘查技术与工程、地理信息系统、地质学、岩土工程、测量工程、土木工程、海洋油气工程、资源环境与城乡规划管理等专业的教材,也可供从事油气勘探、开发及相关技术人员和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

地质学基础/陆廷清主编. -2 版

北京:石油工业出版社,2015.7

(四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材)

ISBN 978-7-5183-0756-2

I. 地…

II. 陆…

III. 地质学—高等学校—教材

IV. P5

中国版本图书馆 CIP 数据字(2015)第 138510 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523693 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2015 年 7 月第 2 版 2015 年 7 月第 4 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:20.5

字数:515 千字

---

定价:38.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

## 第二版前言

对于与地质学有关各学科例如油气藏工程、地球物理勘探、岩土工程等来说,地质学都是它们的研究基础和前提。地质学基础的内容主要包括地质学三大支柱——矿物岩石学、古生物学与地层学和构造地质学。地质学基础是石油与天然气工程专业必修的专业基础课,其任务是为后续课(油气地质学、测井解释、油层物理)及专业课(钻井工程、采油工程、油气藏工程)奠定地质学的基本理论、基本知识、基本技能,这是学好后续课及专业课的前提,也是今后工作的需要。

《地质学基础》于2009年8月出版以来,不觉已近六载。在这期间,地质学的很多方面发展很快,新理论、新技术、新发现不断涌现,地质学知识不断更新。例如,川渝地区页岩气开发获得重大突破;我国计划于2015年中国海域实施天然气水合物的钻探工程,将有力推动中国“可燃冰”勘探与开发的进程;页岩气和“可燃冰”正在引发中国能源开发利用的“革命”。另一方面,地质学为人类社会可持续发展提供更多的服务。2012年在澳大利亚召开了第3届世界地质大会,主题为“探讨过去,揭示未来——为人类的明天提供资源”,全球122个国家和地区的6000余名地质学家共同参与。为适应当前经济和社会发展以及面向21世纪人才的需要,对原教材作出必要的修改和补充。

在本书再版立项后,西南石油大学地质基础教研室地质学基础教学组广泛征求岩矿教研室和石油工程学院相关教师的意见,并和本书的作者进行了深入的讨论,提出了修改意见。从2012年底开始,根据四川省“十二五”规划教材的要求,本书作者认真地、有步骤地进行了此教材的修改工作,分工合作完成了本书的修编工作。

本书仍以适合石油工程专业本科生教学需要为宗旨进行修订,在保持原来内容体系和写作风格的情况下,进一步加强以地质作用及结果为主线的阐述,并更加突出素质教育、基础训练、地质思维和学习兴趣的培养,以适应相关院校教师教学或其他人员自学的需要。作者除对第一版书稿进行了全面的、仔细的文字审定外,还按教学大纲的要求增加或删除了一些内容,并注意吸收地质学上的新认识和新成果。原来的第五、六章有关外动力地质作用和沉积岩的内容进行了精简,删除了两章重复部分,外动力地质作用部分以作用方式为主线,不以原来地质营

力的地质作用方式来叙述。第七、八、九章内容进行了部分调整。通过修编,本书更加突出了与油气相关的沉积岩、沉积相和地质构造的内容。书中常用的地质学专业术语附上相应的英文词汇(共约700多个),以利于同学们在学习过程中顺便学习常用的专业英语词汇,为今后的学习打下较好的基础。为便于查阅,在全书结尾处增加了中英文对照的索引。

为了使课堂理论教学与实验教学结合得更好,仍将修订后的实验指导一并附在教材之后。这也是本书的特色之一。

本书由陆廷清担任主编。各章编写分工如下:绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第七章由陆廷清编写;第五章、第六章由陈晓慧编写;第八章由王占磊、陆廷清编写;第九章由胡明编写;实验指导由许建、陆廷清编写;索引由许建编写。本书图件由王占磊、陈璐、房龙绘制。本书各章初稿完成后,主编对各章内容进行了仔细审阅,就有关问题与编者进行了沟通,对初稿进行了修改和统稿。

在本书的编写过程中,引用了一些地质学类教材的部分内容。在本书立项和编写过程中,得到西南石油大学地球科学与技术学院和教务处领导的支持。

由于编者水平所限,本书中一定还有许多不当之处,在此诚请使用本书的广大师生和阅读本书的读者提出宝贵意见,以便不断提高本教材的质量。书面意见可寄给本人,衷心欢迎和感谢。

本人通信地址:四川省成都新都区新都大道8号西南石油大学地球科学与技术学院基础地质教研室,邮编610500;电子邮箱地址:lutingqing@swpu.edu.cn。

陆廷清

2015年3月于成都新都

# 第一版前言

“地质学基础”课程是石油工程专业三类课程体系之一的地质系列课中的主干课程,是石油工程专业必修的专业基础课,其任务是为后续课程(油气地质学、测井解释、油层物理)及专业课(钻井工程、采油工程、油藏工程)奠定地质学的基本理论、基本知识、基本技能,这是学好后续课及专业课的前提,也是今后工作的需要。因此本书是根据石油工程专业特点及其课程任务,以地质作用及其产物为主线编写的,并加强了沉积岩、沉积相、地层、地质构造部分知识。本书内容合理涵盖了地质学各个基础领域,并将地质学的新进展融入其中,更好地体现了教材必须具备的先进性和科学性。

本书是为石油工程专业本科生编写的教学用书,也可供其他相关专业学科作为教学参考书,可供从事油气勘探、开发及相关技术人员和科研人员学习、工作参考。本书的参考学时为60~80学时。

本书是根据西南石油大学现行地质学基础教学大纲的要求,在历年教材的基础上修改补充编写完成的。本书内容力求系统丰富、翔实具体,文字力求严谨精炼、深入浅出,能较好地满足教学要求和达到夯实基础的目的。在编写体例上,每章后面附有复习思考题,便于学生自学。另外,在本书最后附有与教材配套的实验指导,具有较强的操作性,利于学生的技能训练。

本书由陆廷清、陈晓慧、胡明共同编写完成,具体分工为:绪论及第一、二、三、四、七、八章由陆廷清编写,第五、六章由陈晓慧编写,第九章由胡明编写,附录由陆廷清、陈晓慧、胡明编写,本教材图件由王占磊绘制。在编写和试用过程中,西南石油大学基础地质教研室和矿物岩石教研室的老师提出了许多宝贵意见。初稿完成后,经试用,随即各自修改,最后由陆廷清校订定稿。

在整个编写过程中,得到西南石油大学资源与环境学院、教材科以及学校教学指导委员会的支持和帮助;书稿完成后,由成都理工大学李勇教授和西南石油大学王兴志教授进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵的修改意见。在此,对提出宝贵意见、给予帮助和支持的老师致以衷心感谢。

由于编者水平所限,本书肯定还存在很多不足甚至错误之处,敬希各位读者予以指正。

编者

2009年2月

# 目 录

绪论	1
第一节 地质学的研究对象、内容和意义	1
第二节 地质学研究的特点和方法	2
复习思考题	4
第一章 地球的一般特征	5
第一节 地球的表面特征	5
第二节 地球的物理性质	9
第三节 地球的结构	12
第四节 地质作用概述	18
复习思考题	19
第二章 矿物	21
第一节 元素	21
第二节 矿物的概念	22
第三节 矿物的主要性质	24
第四节 矿物的分类和常见矿物	31
复习思考题	40
第三章 岩浆作用与岩浆岩	42
第一节 岩石的概念及分类	42
第二节 岩浆作用	43
第三节 岩浆岩	48
复习思考题	54
第四章 变质作用与变质岩	55
第一节 变质作用概述	55
第二节 变质岩的特征	57
第三节 变质作用类型及其代表性岩石	60
复习思考题	63
第五章 外动力地质作用	64
第一节 风化作用	64
第二节 剥蚀作用	71
第三节 搬运作用	74
第四节 沉积作用	76
第五节 成岩作用	79
复习思考题	80

<b>第六章 沉积岩</b> .....	81
第一节 沉积岩的基本特征 .....	82
第二节 陆源碎屑岩总论 .....	84
第三节 陆源碎屑岩各论 .....	104
第四节 火山碎屑岩 .....	113
第五节 碳酸盐岩总论 .....	117
第六节 碳酸盐岩各论 .....	124
第七节 其他沉积岩 .....	128
复习思考题 .....	138
<b>第七章 沉积相</b> .....	139
第一节 沉积环境和沉积相的概念 .....	139
第二节 大陆环境及其相模式 .....	142
第三节 三角洲环境及其相模式 .....	151
第四节 海洋环境及其相模式 .....	158
复习思考题 .....	184
<b>第八章 古生物与地层</b> .....	186
第一节 古生物简述 .....	186
第二节 地层划分与对比 .....	189
第三节 地层单位与地质年代 .....	195
复习思考题 .....	202
<b>第九章 构造运动与地质构造</b> .....	203
第一节 构造运动 .....	203
第二节 水平岩层与倾斜岩层 .....	208
第三节 褶皱构造 .....	214
第四节 断裂构造 .....	222
第五节 地震构造 .....	242
第六节 板块构造 .....	249
第七节 含油气盆地 .....	258
复习思考题 .....	269
<b>参考文献</b> .....	270
<b>附录 实验指导</b> .....	272
实验一 矿物 .....	272
实验二 岩浆岩和变质岩 .....	275
实验三 沉积岩 .....	279
实验四 沉积构造 .....	283
实验五 认识地质图、读水平岩层和倾斜岩层地质图 .....	286
实验六 读褶皱区地质图 .....	289
实验七 分析断层发育地区地质图 .....	293
实验八 绘制和阅读构造等高线图 .....	296
<b>索引</b> .....	301



# 绪 论

“地质学(Geology)”一词原意是关于地球的知识,也可称为地球科学。但地质学并不能涵盖地球科学的全部,“地球科学”还包括了诸如地理学、气象学、海洋学、地球化学、地球物理学、地球生物学等学科。地球科学是数学、物理、化学、天文学、地质学、生物学六大基础自然科学之一。

地质学与人类发展和社会进步密切相关,从人类使用岩石做石器工具到将岩石中的硅元素提炼出来制造信息处理工具,从人类发现地面上自然溢出的石油、天然气可以燃烧到将地下采出的油气提炼出汽油、煤油、柴油等燃料和一些重要的化工原料,都与地质学的形成和发展息息相关。

人类诞生不久就学会了认识各种石材、黏土、金属等,并逐渐地进入石器时代。但人类诞生初期对一些激烈的自然现象(如地震、火山喷发)不能理解,这些自然现象造成人类的恐惧心理,并逐渐地被神化,形成了人类对自然的崇拜。一直到19世纪初叶,人类对地球的探索仍基本属于自然哲学的范畴。

1830—1833年英国地质学家查尔斯·莱尔(Charles Lyell, 1797—1875)出版了三卷本的《地质学原理》,把科学带进了地质学。莱尔运用现实主义的方法,从3个基本点出发:第一,改变地球面貌的自然力量在全部地质历史中就其性质和强度看是一样的,即同一性原则;第二,这些改变地球面貌的自然力量起的作用虽然缓慢,但从不间断;第三,正是这些力量缓慢但不间断的累积作用,才导致了地球面貌的巨大变化。莱尔学术思想的重要意义在于地质工作者可以通过对现在地球经历的地质作用过程的研究,来推断地质历史中曾经发生的地质作用过程,使地质学的研究发生了质的飞跃。这一“将今论古”的思想被英国地质学家盖基(A. Geikie)概括为一句格言:现在是了解过去的一把钥匙(The present is the key to the past),至今已成为地质学研究的基本思想,地质学的现有成果很大程度是建立在这种基本思想上的。

## 第一节 地质学的研究对象、内容和意义

地质学的研究对象是地球,其范围包括了从地核到外层大气的整个地球,但主要是固体地球部分。随着地球科学的发展,地质学的研究对象也在发生变化。最初,地质学的主要观察对象是大陆,其研究范围所涉及的只是大陆地壳。随着地质学自身的发展、科学技术的进步和相关学科交叉研究的推进,地质学的研究对象已经从大陆向大洋、从地壳向地幔及更深部、从岩石圈向地球各圈层之间的相互作用发展;阿波罗登月、卫星技术、大型天文望远镜导致了行星比较地质学的产生,使地质学的研究对象扩展到类地行星的比较研究,并获得了大量关于地球起源的信息。虽然地质学的研究对象已经发生了巨大的变化,但地质学研究对象主要还是集中在地球的上部——岩石圈。

地质学是以地球为研究对象的一门自然科学。地质学是主要研究地球的物质组成、内部结构及演化历史的科学,不仅要探索认识固体地球的圈层结构、物质组成,以及由物质记录的

地球环境和生物演化历史,阐明控制物质转换的动力学机制,而且要研究改变固体地球外层的营力和过程,探明和开发可供利用的能源、矿产资源和水资源,揭示人类活动与地质过程的关系。

地质学的研究内容可以概括为3个主要方面:一是地球的物质组成和结构构造,二是地球的形成和演化,三是研究地质学与人类社会经济发展相适应的实用技术。地球的物质组成主要研究元素、矿物、岩石(包括矿石和矿床),以及不同尺度物质的存在形式、特征、形成条件、分布规律及其利用;地球的结构构造则主要研究元素、矿物、岩石和构造单元之间的相互关系,虽然其研究内容也涉及物质成分的动力学特征,但其研究内容主要还是地球的静态特征。地球的形成和演化主要研究包括地球及类地行星的起源、地球各圈层的形成、生命的起源以及宏观与微观的发展变化过程、不同地质单元之间的相互关系和相互作用过程,其研究内容主要是地球的动力学特征。地质学与人类社会经济发展相适应的实用技术主要包括资源、环境、减灾,以及用于地质研究、勘探、开发的各种实用技术。

随着科学技术的发展,地质学研究内容也在不断地发生变化。随着地质学和相关学科的交叉渗透,地质学研究的内容和所涉及的范围已经今非昔比,主要表现为一些综合性学科的发展。这些综合性学科通常把一个地区甚至是整个地球作为整体,系统研究区域的总体特征及其制约区域地质作用过程的各种因素和它们的相互关系。

从地球科学的发展观点来看,地质学的研究意义在于可以揭示地球的形成、发展、演化过程及其规律、各种地质作用过程的成因机制及演化规律,这些规律将在社会经济发展中发挥巨大的作用。

地质学研究更重要的意义在于服务于社会经济的发展,具体来说,就是合理地开发利用自然资源,保护和改善生存环境,有效防治自然灾害,协调人与自然的关系,管理和维护好地球,为人类社会的可持续发展服务。

## 第二节 地质学研究的特点和方法

### 一、地质学研究的特点

第一,地质学的研究对象涉及悠久的时间和广阔的空间。地球自形成以来已经有46亿年的历史。在这样漫长的时间里,地球曾发生过沧海桑田、翻天覆地的重大变化,而其中任何一个变化和事件、任何一粒矿物和一块岩石的形成和演化,往往要经历数百万年甚至数千万年的周期。这些变化和事件,无法像研究人类历史那样,可以借助文字和文物;也不能像研究物理那样,可以单纯依靠在实验室中做实验,而必须依靠研究分析地球本身发展过程中所遗留下来的各种地质记录。

同时,地球具有巨大的空间,在不同地点和不同深度,具有不同的物质基础和外界因素,因而有不同的发展过程。海洋和大陆、大陆的各部分、地球表层和深部,都有其不同的发展过程。因此,既要研究它们的共性,更要研究它们的差异性和相关性,才能全面、深入地找出地球的发展规律。

第二,地质现象具有多因素互相制约的复杂性。地质学所研究的对象和内容,从小到矿物组成的微观世界到大至整个地球以及宇宙的宏观世界,从矿物岩石等无机界的变化到各种生命

出现的演化,从常温常压环境到目前还不能人为模拟的高温高压环境,从各种变化的物理过程、化学过程到生物化学过程,从地球本身各个部分的物质能量转化到地球与外部空间的物质能量交换,等等,充满着各种矛盾和相互作用的复杂过程。任何一种地质过程,都不可能是单一的物理过程或化学过程。地球自诞生以来,不仅形成了多姿多彩的矿物、岩石、海洋大陆、高山深谷,也出现和演化成了种类繁多的生物。众所周知,目前在实验室中即使合成最简单的生命物质,也是非常不容易的。地球演化到今天,产生出如此面貌,这固然与其具有人类历史所不能比拟的充分时间有关,同时也说明地球演化的地质过程是一个十分复杂的过程。

第三,地质学是来源于实践而又服务于实践的科学。地质学必须首先是以地球为大课堂,以大自然为实验室,进行野外调查研究,大量掌握实际资料,进行分析对比归纳,得出初步结论,然后再用以指导生产实践,并不断修正补充和丰富已有的结论。远在数十万年前的旧石器时代,人类的祖先就是在制造石器的过程中逐步掌握了一些岩石的特性,后来在铜器时代、铁器时代,人类又在生产活动中逐步掌握了寻找有用矿产的某些规律。近代以来,工矿业的发展,特别是相邻科学和现代技术的进步,又推动了地质学的突飞猛进,不断形成新的理论。

## 二、地质学的研究方法

地质学的研究对象及其内容既不同于数学,也不同于物理学和化学,而是具有它自己的特殊性,从而也具有它自己的研究方法。

地质学的研究方法和其他自然科学既相似又有所区别。与其他自然科学相似的地方就是它的严谨性,所有的自然科学都必须遵循严谨的科学态度,才可能获得准确的科研成果。地质学研究的上述特点决定了地质学的研究方法主要是在实践的基础上,进行推理论证。推理的基本方法是演绎和归纳。在地质学研究中,这两种推理方法都能用到,但归纳是更基本的方法。

### (一) 野外调查

由于地质现象的特殊性,地质现象是地质作用的结果或产物。通过地质现象的观测,可以认识地壳发展的客观规律,了解一个地区的地质构造和矿产分布情况,因此,除了搜集和研究前人的资料外,必须进行野外调查研究和地质测量,积累大量感性资料,分析对比,归纳分类,通过“实践、认识、再实践、再认识”循环往复的形式,得出反映客观事物本质的结论。

### (二) 室内实验和模拟实验

室内实验也是进行调查研究的重要手段。在野外采集的各种样品,都要带回室内进行实验、分析和鉴定,例如岩矿测试、化石鉴定、同位素年龄测定等。为了生产的实际需要和探讨某些地质现象的成因和发展规律,有时需要利用已知岩矿的各种参数及物理、化学过程,进行模拟实验。虽然这种实验结果的可靠性是相对的,但其重要性却日益增加。如目前可以制造出人工红宝石、石英、金刚石等,既有实用价值,又有助于了解自然界矿物、岩石、矿床的形成和分布规律。又如,在室内进行地质力学模拟实验,可以得出各种构造类型的形成条件和展布情况。

### (三) 历史比较法

研究地球的历史,重塑地质时代的古地理环境,经常使用历史比较法。著名英国地质学家

莱尔在 19 世纪运用现实主义的研究方法,即根据目前的地质过程和方式就可推断过去的地质过程和方式,从而恢复地球历史。

但是,莱尔只强调缓慢变化的一面,未见到突变的一面;只谈量变,未谈质变;只认识到古今的一致性,未认识到古今还有差异性。过去不会和今天完全一样,今天也不会是过去的重演,地球的历史绝不会是简单的重复。同时,目前许多人认为,在地球的长期发展过程中,不能排除曾经发生过若干次灾变或剧变事件。例如,大量陨石的撞击、地磁极的多次反转、地质历史上多次冰川时期的出现等,无疑都会影响地球发展的进程和各种平衡关系。

现代地质学接受了莱尔现实主义的合理部分,即将今证古的原理,同时也注意到地球发展的阶段性和不可逆性,以及在地球发展的不同阶段中自然条件的特殊性,例如大气成分不同、海陆分布形式不同、生物状况不同、地壳运动的方式和强烈程度不同等,因此各种地质作用如风化、侵蚀、搬运、沉积等作用的方式、速度也有差异。所以,研究地球的历史,必须根据具体情况,用历史的、辩证的、综合的思想作指导,而不是简单地、机械地将今证古,才能得出正确的结论。这种方法就是历史比较法或现实类比法。

近年人们通过对地球的监测获得的许多数据认为,时间是地质事件及其结果的最好过滤器,也就是说,随着地球的发展和时间的延续,那些意义不大的地质事件及其结果都被过滤掉了,从而使人们通过对某些作用结果的观测,比通过对不连续或微弱的信息直接监测地球的一般动力演化,可能会更正确地认识某些地质过程,更正确地研究现在,了解过去,预测未来。这种观点和莱尔的“将今证古”相反,而是“将古证今”,认为“研究过去是了解现在的钥匙(关键)”。实际上,这些不同观点可以起到互为补充的作用,古和今是一种辩证关系,以今可以证古,将古亦可论今,不可把它们对立起来。

## 复习思考题

1. 什么是地质学? 地质学的研究内容包括哪些方面?
2. 如何理解“随着科学技术的发展,地质学的研究对象也在发生变化”?
3. 试述地质学研究的意义和方法。
4. 如何理解“将今证古”?

# 第一章 地球的一般特征

宇宙的物质创造了地球;地球创造了生物,也创造了人类。人类现今唯一的生存和居住场所就是地球,人类一出现就开始不断地探索地球及其所存在的宇宙空间。通过观察和研究,人们了解到浩瀚的宇宙无边无际,是由无数个星系所构成的,而太阳系仅是其中的一个。

太阳系(solar system)是以太阳为核心的一个天体系统。太阳位于整个体系的中央,是系统中质量和体积最大、能自己发光和辐射热能的一个恒星。围绕着太阳旋转的是八大行星,自内向外依次是水星(Mercury)、金星(Venus)、地球(Earth)、火星(Mars)、木星(Jupiter)、土星(Saturn)、天王星(Uranus)和海王星(Neptune),它们旋转的轨道都是椭圆形;此外,太阳系中还有33颗围绕各个行星旋转的卫星、数千颗小行星和10万余颗彗星。地球仅仅是太阳系的一个普通成员,它有一颗卫星,即月球。人们对于地球的了解比其他行星要深刻得多。地球是地质学研究的对象。

## 第一节 地球的表面特征

### 一、地球的形状和大小

固体地球的表面崎岖不平并极其不规则,其大部分为海水所覆盖。关于地球的形状,自古以来人类就在不断地探索着,并早已证实它是一个球体。地球的几何形状一般是用大地测量方法测得的,为便于测算,以平均海平面通过大陆延伸所形成的封闭曲面即大地水准面(geoid)作为参考面,地球的形状和大小就是指大地水准面的形态和大小。1980年国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)公布的关于地球大小的数据如下:

赤道半径( $a$ )	6378.137km
两极半径( $c$ )	6356.752km
平均半径( $R$ )	6371.004km
扁平率( $\frac{a-c}{a}$ )	$\frac{1}{298.257}$
赤道周长( $2\pi a$ )	40075.36km
子午线周长( $2\pi c$ )	39940.670km
表面积( $4\pi R^2$ )	510064472km <sup>2</sup>
体积( $\frac{4}{3}\pi R^3$ )	1083206900000km <sup>3</sup>

根据以上参数可勾绘出一个长、短半径相近的椭圆,再绕地球轴回转一周可得到一个旋转椭球体;根据最新的人造卫星资料分析结果,地球的实际形状与该椭球体稍有差异,赤道一带稍微凸出,南北半球也不对称,北极凸出约10m,南极凹进约30m,中纬度地区在北半球稍凹进,而在南半球稍凸出(不到10m),看似一个梨形。图1-1是地球形状的夸大示意图。

地球的外形是其内部特征的反映:第一,地球接近于旋转椭球体,说明地球具有一定的塑性,是地球自转离心力作用的结果;第二,地球的实际外形与旋转椭球体并不完全重合,说明地球内部物质是不均匀的。

## 二、地球表面的形态特征

地球表面的形态特征是人类最直接感受到的,也是与人类生活和生产关系最为密切的自然特征之一。地球表面凹凸不平,形态极其复杂,有不同的规模,以平均海平面为界,明显地分为海洋(ocean)和大陆(continent)两大地理单元(图1-2)。海洋总面积为  $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ , 占地表面积的 70.8%, 平均水深约为 3908m, 最深处是西太平洋的马里亚纳海沟, 水深为 11034m。大陆面积为  $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ , 占地表面积 29.2%, 平均海拔高度为 840m, 最高的地方是我国珠穆朗玛峰, 2005 年国家测绘局公布其海拔高度为 8844.43m。

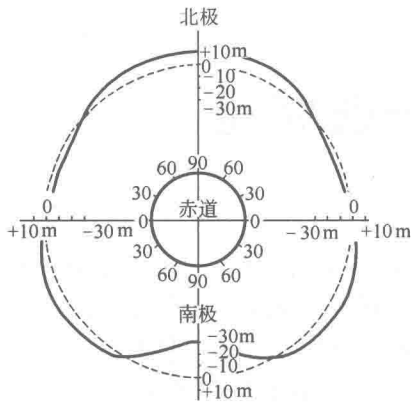


图 1-1 大地水准面的平均子午线剖面 (实线)与扁平率为  $1/298.257$  的理想旋转椭球体(虚线)的关系(据 King-Hele 等,1969)

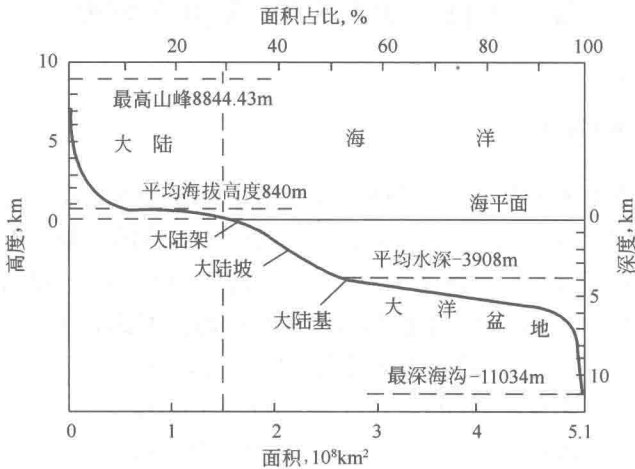


图 1-2 地球表面海陆起伏曲线图

### (一) 大陆地表的形态

按照高程和地形起伏特征,陆地地形可分为山地、丘陵、平原、高原、盆地、洼地和裂谷等类型。

山地(mountain)是海拔高度在 500m 以上、地形起伏高差大于 200m 的地区,可分为海拔高程在 500m 以上的低山、1000m 以上的中山和 3500m 以上的高山。线状延伸的山体称为山脉,成因上相联系的若干相邻山脉组成山系。在各大陆中,亚洲山地最多、最高,平均海拔高度为 950m,比全球陆地平均海拔高度高出 110m。

高低不平、连绵不断、海拔高度低于 500m、相对高程不超过 200m(一般为数十米)的低矮浑圆小山丘称丘陵(hill),如川中丘陵、东南沿海丘陵。

平原(plain)是指地形宽广平坦或略有起伏、海拔高度在 600m 以下的地区,如华北平原、

松辽平原、西西伯利亚平原等。

相对面积较大、海拔高程一般大于 1000m、地表较为平坦或略有起伏的地区称为高原 (plateau)。高原边缘常以崖壁或地形突降为限。我国的青藏高原是世界上最为壮观的高原。

盆地 (basin) 是指四周是高原或山地、中央低平 (是平原或丘陵) 的地区, 四川盆地十分典型。

大陆内部高程在海平面以下的地区称为洼地 (low-lying land)。如新疆吐鲁番盆地的克鲁沁地区低于海平面 155m。

裂谷 (rift) 是大陆上的一些规模宏伟的线状低洼谷地, 其延伸可达数千千米, 宽仅数十千米, 两壁或一壁为断崖。裂谷常可积水成湖。如世界上著名的裂谷——东非大裂谷, 由一系列峡谷和湖泊组成, 全长超过 6500km。

## (二) 海底地表的形态

被海水覆盖的海洋底, 长期以来人们很难了解其真实面目。但随着海洋地质发展和海洋勘测技术的进步, 人们对海底地形的了解逐渐清楚了。根据水深, 一般把海洋从海岸线到大洋中心依次划分为滨海、浅海、半深海和深海 4 种环境, 与其相对应的海底地形分别称为海岸带、大陆架、大陆坡、岛弧、海沟、大陆基、深海盆地、大洋脊 (图 1-3、表 1-1)。

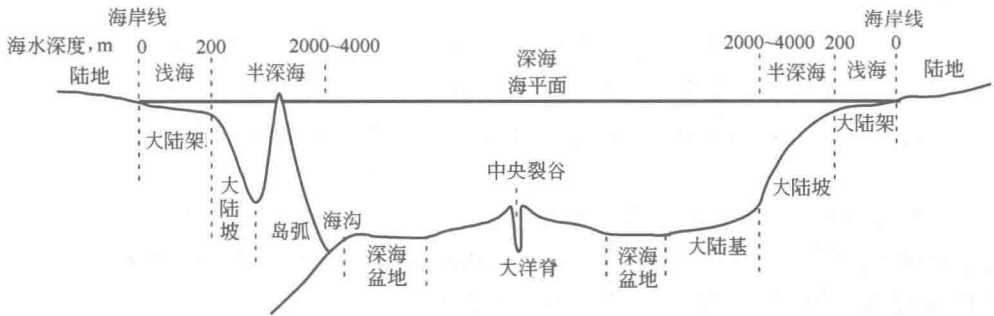


图 1-3 海洋的环境分区和海底地形 (据陶世龙等, 1999)

表 1-1 海洋地表的各地形单元面积统计表

地形单元	面积, $10^6 \text{ km}^2$	占海洋面积, %	占地球表面积, %
大陆边缘	55.4	15.3	10.9
大陆基	19.2	5.3	3.8
岛弧、海沟	6.1	1.7	1.2
深海盆地	157.2	43.5	30.8
大洋脊和大洋隆	124.0	34.2	24.0

### 1. 大陆边缘

大陆与深海盆地之间被海水淹没的地带通称大陆边缘 (continental margin), 它是大陆地壳的水下延伸部分, 包括大陆架和大陆坡。

(1) 大陆架 (continental shelf): 大陆架是与陆地接壤的近海浅水平台, 也称为陆棚。其范围是从海岸的低潮线起向海洋延伸到海底地形坡度显著增大的转折地段为止。大陆架地势平坦, 坡度一般小于  $0.3^\circ$ 。外缘水深各地不一, 一般不超过 200m, 最深的可达 550m (北冰洋巴伦支海), 平均水深 130m。大陆架宽度各地不一, 欧亚大陆和北冰洋沿岸可达 1000km 以上,

而有的地区非常狭窄甚至缺失,如日本列岛大陆架宽度仅4~8km,拉丁美洲西海岸大陆与深海盆地之间仅以海沟相隔。世界大陆架平均宽度为70km。我国渤海、黄海的全部,以及东海、南海的大部分为大陆架,其宽度为100~500km不等,水深一般为50m,最大水深不超过180m。

(2)大陆坡(continental slope):大陆架外缘地形坡度较陡的地带称为大陆坡。其平均坡度为3°,最大可超过20°;水深范围从200m起到3000m以上。大陆坡是地球上最壮观的斜坡,它以20~40km宽度的条带围绕着大陆架。大陆坡上最显著的特征是发育许多两岸陡峭、高差很大的巨型槽谷,称为海底峡谷。有的海底峡谷甚至横切整个大陆架和大陆坡而与现代或近代河口相连,其规模远远超过陆地上的任何峡谷。河流带入的大量碎屑物质通过海底峡谷达到大洋底,在海洋峡谷尽头形成规模巨大的水下冲积锥。如孟加拉湾恒河水下冲积锥面积达 $2 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,几乎是恒河流域面积的两倍。

## 2. 大陆基

大陆基(continental rise)是大陆坡外缘与深海盆地之间的缓倾斜地区,坡度5'~35',由海底浊流和滑塌作用所带来的物质堆积而成。地球物理资料表明,有的大陆基下面过去曾经是海沟。而现代海沟发育的太平洋型大陆边缘缺乏这一地形单元。

## 3. 岛弧、海沟

(1)岛弧(island arc):分布在大洋周围靠近大陆一侧,呈弧形延伸很长的火山岛链,形成岛弧。太平洋北部的阿留申群岛、千岛群岛、日本列岛、琉球群岛,直至菲律宾、巽他、所罗门、马里亚纳群岛,以及大西洋加勒比海中的大、小安德列斯群岛都属于弧形岛链,是岛弧的典型例证。

(2)海沟(trench):在岛弧靠大洋一侧常发育长条形的巨型深海凹槽,称为海沟。其深度一般大于6000m,延伸可达数千千米。海沟是大陆地壳和大洋地壳的分界线,横剖面呈不对称的“V”形,靠岛弧一侧坡度较陡,靠大洋一侧坡度较缓。

海沟和岛弧平行伴生构成一个统一体。现已确认的岛弧和海沟有30余条,大多分布在太平洋周围。在太平洋北部、西部岛弧外侧,发育一条几乎连续的海沟链,包括北部的阿留申海沟、南部的汤加—德马德克海沟、西部菲律宾海沟,以及美洲大陆西侧的亚美利加海沟、秘鲁—智利海沟等呈马蹄状环绕着太平洋。

## 4. 大洋脊、大洋隆

它们是大型海底山脉,在大西洋中呈“S”形延伸,北端穿越冰岛进入北冰洋,南端向东绕过非洲进入印度洋呈“Y”形分叉,其北支经亚丁湾进入红海,另一支向东经澳大利亚南部海域伸入南太平洋,再转向北经东太平洋伸入加利福尼亚湾,潜没于北美大陆西海岸,然后再转向西北进入北太平洋,绵延约64000km,宽度在1000~3000km,比深海盆地高2000~3000m,占海洋面积的34.2%(表1-1),构成地壳表面最大的山系。构造运动活跃、有强烈火山活动的海底山脉称为大洋脊(oceanic ridge)。大洋脊被一系列与之近于垂直的断裂错开,错距达数百千米。大西洋大洋脊恰好位于大西洋的中央部位,故又称大洋中脊。大西洋、印度洋、北冰洋大洋脊的轴部有一明显纵向延伸的谷地,深1000~2000m,宽数十千米,称为中央裂谷(mid-ocean rift)。但在东太平洋,大洋脊无明显的裂谷,地震活动较弱,称为大洋隆(oceanic rise)。



## 5. 深海盆地

位于海沟和海底山脉之间宽阔而又相对平坦的大洋底,称为深海盆地(abysal basin)。深海盆地水深一般为4000~5000m,占海洋面积的43.5%,有以下3种主要地形。

(1)深海丘陵(abysal hill):由高度在几十米到几百米的圆形或椭圆形山丘组成,集中分布在大洋脊或岛屿附近,由火山活动形成。在太平洋中,这类地形占据了80%~90%的洋底,成为分布最广的地形单元之一。

(2)深海平原(abysal plain):深海平原水深一般在4000~5000m,地势平坦,平均坡度小于千分之一,甚至小于万分之一,广布于大西洋大洋脊的两侧。

(3)海山(seamount):深海盆地中规模不大、地势比较突出的孤立高地,称为海山;其中相对高程在1000m以上、隐没于水下或露出海面呈锥状者,称为海峰。太平洋中的夏威夷群岛一带散布着一系列海峰,有的高出海底在5000m以上,其中的冒纳基亚火山海拔为4205m,相对高差大于9000m,高度超过珠穆朗玛峰。海峰大多由火山岛组成,有的海峰基座是火山岩,顶部由生物碎屑灰岩或珊瑚礁组成。另一类是隐没于水下的平顶山(guyot)。平顶是由海浪的夷平作用形成的,有些平顶上还残留有滚圆的砾石。

从上述特征看来,海底地形或洋底地形与陆地地形类似,有比大陆更广阔平坦的平原,也有更险峻、宏伟的山脉和陡深的峡谷,但形态简单。通过仔细研究,每个大洲或大洋及其各种表面形态的出现都有它内在的原因。

## 第二节 地球的物理性质

研究地球的物理性质是人们长期探索地球奥秘、了解地球内部动力活动的要求和渴望。对于它的研究,目前除了直接通过深部地震资料、地表探测和其他地球物理资料外,就是通过高温高压实验和陨石等外星球物质的对比来推断。这里所要讨论的地球物理性质主要是它的密度、压力、重力、温度(地温)、磁性、电性、弹塑性等物理性质。

### 一、密度和压力

据万有引力公式推算出的地球质量为 $5.9742 \times 10^{27}$ g,将该质量除以地球的体积得到平均密度为 $5.516\text{g}/\text{cm}^3$ 。人们直接测得地球表层岩石的平均密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ,覆盖地表约四分之三面积的海水密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ,都远小于地球的平均密度,由此可推测,地球内部大部分物质都大于 $5.516\text{g}/\text{cm}^3$ 。但它们具体又是怎样分布的呢?目前世界上最深的钻孔仅达到12km深度,只有地球平均半径6371km的约1/530。因此,对地球内部物质的研究主要依靠各种间接的手段和依据。如根据地震波速、地内重力、转动惯量等推算得知,地球密度是随深度的加深而增加的(图1-4)。

地球内部的压力是由上覆物质的重量所产生的静压力,它是由地球本身的物质重量引起的。地球内部的压力基本上是随深度的增加而增大。静压力的大小与所处的深度、上覆物质的平均密度及重力加速度呈正相关关系,但是由于物质密度随深度的增加是一种非线性递增的关系,压力—深度图也不是一条直线而是一条曲线(图1-4)。