

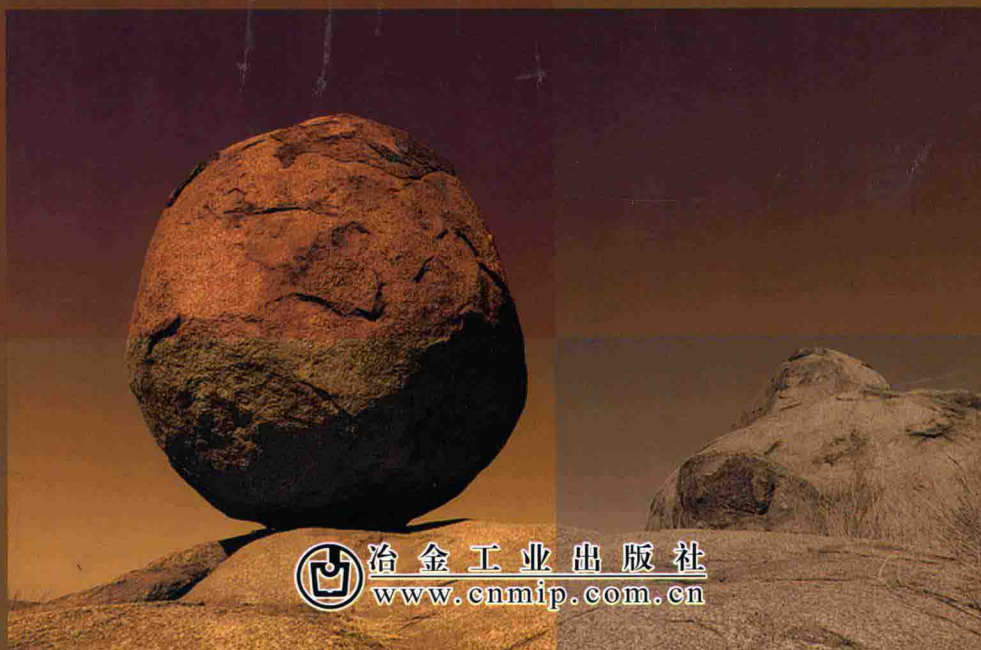


高职高专“十三五”规划教材

GAOZHI GAOZHUAN “13·5” GUIHUA JIAOCAI

普通地质学

尹琼 刘伟 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



高职高专“十三五”规划教材

普通地质学

尹琼 刘伟 编著

ISBN 978-7-302-47288-7

北京
冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书是地质学专业的入门教材,主要内容有地球概述,地壳的物质组成,地质年代及地史简述,地质作用与地质营力,风化作用,河流、地下水、风、海洋湖泊和沼泽、冰川的地质作用,成岩作用与沉积岩,岩石圈板块运动与地壳运动,构造运动及地质构造,地震作用,岩浆作用与岩浆岩,变质作用与变质岩,人类与地质环境。本书突出了各种外力地质作用,加强了矿物、岩石的论述和鉴别方法。

本书可作为高职高专院校国土类专业教材,也可供相关的研究人员和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

普通地质学 / 尹琼, 刘伟编著. —北京: 冶金工业出版社, 2017. 3

高职高专“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7288-7

I. ①普… II. ①尹… ②刘… III. ①地质学—高等职业教育—教材 IV. ①P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 029429 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 杨 帆 版式设计 葛新霞

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7288-7

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2017 年 3 月第 1 版, 2017 年 3 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 13.5 印张; 326 千字; 207 页

28.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前言

普通地质学是地质学专业学生的入门课程,其内容涵括了地学学科的各个基础领域。近20年来,地球科学各领域发展很快,新理论、新技术、新发现不断涌现,地学知识不断充实和更新。其间,我国在地质学领域取得了很多具有世界领先水平的研究成果,凸显出我国地质学研究水平在国际学术舞台上的地位以及中国独特的地学特色。这些研究成果不断修改、补充、丰富了原有的地质学基础理论,一些过去认为是合适的并编入教材中的内容现在已显陈旧;而本科院校所用教材内容较深,不适用于高职高专学生使用。编者等人根据多年在高职的教学实践,认真比对了10余所高职高专院校的教学大纲和教学计划,并反复对比了国内外的相关教材,针对高职高专应用型人才培养目标编写了本教材。

本教材基本继承了过去的教学体系和经典内容,精简了理论探讨的部分,突出应用,按照60个授课学时编写,重点突出以下几个方面:

第一,普通地质学是为了对进一步学习地质学的各门分支学科打基础。因此,凡是作为基础所需要的内容,本书尽可能予以包括,但是在深度和广度上符合高职高专地质类专业学生使用。

第二,精简了理论探讨内容,突出了应用部分,并对当代地质学特点、基础理论的最新进展以及发展趋势等作了重点补充,力争反映当代地质学的时代特征。

第三,为了便于自学,每章末尾增加了“复习思考题”。

第四,本教材考虑到课程学完后立即进行2~3周的普通地质学野外认识实习,因此突出了手持标本的鉴定方法,以及褶皱、断裂的野外识别方法等。

上述努力的目的是使本书在内容的先进性与系统性、体系的合理性与科学性以及教学的适用性等方面达到更好的统一,以方便读者学习与参考。

教材编写提纲由昆明冶金高等专科学校尹琼、程涌拟定。编写人员的具体分工为:尹琼编写绪论、第一章、第二章、第十六章;昆明冶金高等专科学校刘伟编写第三章、第四章、第五章;天津职业大学何涛编写第六章、第七章、第十章第一节、第十一章。江西应用职业技术学院刘磊编写第八章;湖北国土资源职业技术学院李硕编写第九章;江门职业技术学院黄德晶编写第十章(其

中第一节由天津职业大学何涛编写)；程涌编写第十二章(其中，第二节由昆明冶金高等专科学校张莉编写)、第十三章、第十四章、第十五章。全书由尹琼、程涌统编定稿，昆明冶金高等专科学校王雅丽、刘伟审阅了本书，河南理工大学万方科技学院乔雨、云南国土资源职业技术学院刘陈明、湖北省地质局第二地质大队李明龙、中国冶金地质总局昆明地质勘察院叶金福、昆明冶金高等专科学校张莉莉等对教材有关章节提出很多宝贵的建议。

教材在编写过程中，各位编者都贡献了多年的教学和研究心得，并参考了一些前人编写的著作和教材。教材的出版得到了昆明冶金高等专科学校教务处及矿业学院的大力支持，冶金工业出版社提供了多种帮助，谨此表示衷心感谢！本教材有部分图片来自互联网，由于查询条件所限未能一一准确注明出处，在此谨向原作者表示歉意和致谢！

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，诚恳地欢迎读者批评指正。

作者

2016年3月

目 录

绪论	1
复习思考题	3
第一章 地球概述	4
第一节 地球的演化	4
第二节 地球的主要物理性质	6
第三节 地球的圈层构造	10
复习思考题	16
第二章 地壳的物质组成	17
第一节 元素	17
第二节 矿物	18
第三节 岩石	28
复习思考题	33
第三章 地质年代及地史简述	34
第一节 地质年代的确定	34
第二节 地质年代表	37
第三节 地壳历史简述	40
复习思考题	46
第四章 风化作用	47
第一节 风化作用的类型	47
第二节 影响岩石风化的因素	52
第三节 主要矿物和岩石的风化特征	55
第四节 风化作用的产物	56
复习思考题	58
第五章 河流及其地质作用	59
第一节 河流概述	59
第二节 河流的补给和径流	62
第三节 河流的搬运作用	64
第四节 河流的侵蚀作用	65
第五节 河流的沉积作用	68

第六节 影响河流侵蚀与沉积的因素	70
第七节 河流的均夷化与去均夷化	71
复习思考题	73
第六章 地下水及其地质作用	75
第一节 地下水概述	75
第二节 地下水的类型	77
第三节 地下热水	79
第四节 地下水的运动	79
第五节 地下水的地质作用	81
复习思考题	85
第七章 风的地质作用	86
第一节 风的剥蚀作用	86
第二节 风的搬运作用	88
第三节 风的堆积作用	89
复习思考题	91
第八章 海洋的地质作用	92
第一节 海洋概论	92
第二节 海水的运动	93
第三节 海洋的剥蚀作用	97
第四节 海洋的搬运作用	98
第五节 海洋的沉积作用	98
复习思考题	102
第九章 湖泊和沼泽的地质作用	103
第一节 湖泊概述	103
第二节 湖泊的地质作用	106
第三节 沼泽的地质作用	112
复习思考题	113
第十章 冰川的地质作用	114
第一节 冰川的形成与运动	114
第二节 冰川的剥蚀作用及冰蚀地貌	119
第三节 冰川的搬运、沉积作用及其地貌	121
复习思考题	124
第十一章 成岩作用与沉积岩	125
第一节 成岩作用	125

第二节 沉积岩的特征·····	127
第三节 常见的沉积岩·····	136
复习思考题·····	140
第十二章 岩石圈板块运动与地质作用·····	141
第一节 大陆漂移说·····	141
第二节 海底扩张学说·····	145
第三节 板块构造理论·····	152
复习思考题·····	157
第十三章 构造运动及地质构造·····	158
第一节 构造运动·····	158
第二节 构造运动的证据·····	160
第三节 地质构造产状的测定·····	162
第四节 地质构造·····	165
复习思考题·····	173
第十四章 地震作用·····	174
第一节 地震概述·····	174
第二节 地震的震级和烈度·····	176
第三节 地震类型及地震地质现象·····	178
第四节 地震带的地理分布·····	181
复习思考题·····	183
第十五章 岩浆作用与岩浆岩·····	184
第一节 岩浆和岩浆作用·····	184
第二节 火山作用·····	186
第三节 侵入作用·····	190
第四节 岩浆岩·····	191
复习思考题·····	195
第十六章 变质作用与变质岩·····	196
第一节 变质作用概念·····	196
第二节 变质作用·····	197
第三节 变质作用类型及常见的变质岩·····	202
复习思考题·····	205
参考文献·····	206

绪 论

一、地质学的研究对象及任务

地质学是地学中研究地球的一门重要的分支学科，它是研究地球上物质组成、岩石结构构造、地球的形成与演化历史、地球动力地质作用及其成因的学科。长期以来，由于科学手段的限制，人类所能探索的范围仅限于到地球的表层，即地壳和岩石圈的深度内；但随着科学技术的发展及探测手段的提高，人们已开始把研究的重点逐步转入地壳下层和岩石圈以下的深度，即开始了对上部地幔的探索。地质学的探索内容也随着人类对生存环境的要求和自然条件的变化，以及人类对地球环境影响的加深越来越广阔，越来越深入了。人类为了更好地生存，已经开始注意到人类和自然环境的关系，注意到人类活动对地球面貌及自然环境的影响。因此，地质学研究工作的任务不仅是揭示和研究地球的形成、演化发展过程及其规律，为人类开发丰富的矿产资源服务；还要为人类开拓新的资源、保护环境、防治灾害、利用和优化环境、协调人与自然的关系、评价全球地质环境的变化对人类造成的影响等服务。

二、地质学的研究内容与分科

地质学研究的内容十分广泛，特别是新科学技术的运用、地质学和相关学科的交叉融合，使得一些综合性学科得到迅速发展，研究内容涉及的分支学科主要有以下几类。

(1) 组成地球的物质。深入研究组成地壳和上地幔的物质，主要包括元素、矿物、岩石（包括矿石和矿床）、不同尺度物质的存在形式、特征、形成条件、分布规律及其利用状况。研究这方面的分支学科有结晶学、矿物学、岩石学、矿床学、地球化学等。

(2) 物质的组成方式、形成、演化与分布。主要阐明地壳以及地球内部的结构、构造特征，阐明其分布特征、形成条件与演化规律。研究这方面的分支学科有构造地质学、区域地质学、地球物理学等。

(3) 地球的历史。地球形成至今已有 46 亿年，其中 36 亿年以来的形成与演化历史是重点研究对象，研究这方面的分支科学有古生物学、地史学、岩相古地理学、第四纪地质学等。

(4) 应用问题。水文地质学研究地下水的分布、找寻、开发和利用；工程地质学研究铁道、公路、大坝、桥梁、隧道、城市工程等建设有关的地质条件，以保证工程的稳固；地震地质学研究地震发生的地质背景与分布规律，为预报地震服务；环境地质学研究影响环境的地质因素，为提高环境质量、保护环境和人类健康服务。此外，还有煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等应用学科。

(5) 地质学的研究方法手段。在这一领域中有同位素地质学、遥感地质学、数学地质学、实验地质学等。

(6) 综合性研究。现代科学发展的一个趋势是由分科走向综合，许多重大科学问题只

有通过综合性研究才能解决。板块构造学是这一方向的突出体现。它从全球的角度,将物质组成、地壳与整个地球的结构构造、演化历史以及地质体的几何学、构造学、年代学、地球动力学融为一体进行研究。此外,行星地质学、大陆动力学及海洋地质学都是进行综合性地质研究的新领域。

地质学形成至今不过 200 余年,其发展进程十分迅速,知识更新速度很快。如生命大爆发与生物大绝灭、高原隆升机制、大陆深俯冲、玄武岩浆底侵、陨石撞击、地球核幔边界的矿物成分,内外核之间旋转角速度差异、臭氧层空洞等研究成果,拓宽了地学的研究内涵,促进了地质学理论的发展。当前,地质学与数学、物理、化学以及信息科学等学科相互渗透,许多边缘学科正在成长。

多学科交叉、跨学科联合、整合集成研究已经成为当今科学取得重大突破的重要途径。现代科学发展要求打破人为的学科界限,科学的进步永远需要综合性研究。

三、地质学的特点和研究方法

地质学作为天、地、生、数、理、化等几大类重要基础学科之一,是自然发展和人类生活所不可缺少的一个重要领域,是具有广阔前景的一门自然学科。它与其他各门学科相互依存,在研究方法上也具有一定的共同性和相似性。但作为一门独立于其他学科之外的重要的自然科学,除了前述的研究对象和任务方面的特殊性外,还有几点值得着重指出。

第一,一方面,地质作用的发生与发展具有共同规律;另一方面,不同地区往往出现不同的地质作用,且同一类地质作用在不同的地区往往具有特殊性。

第二,地质作用从性质上看,包括物理的、化学的、生物的;从规模上看,大到全球的宏观现象,小到原子和离子的微观过程。同时,地质作用涉及生物、气象、天文、地理等一系列学科领域。

第三,一些地质作用过程历时漫长,如海陆变迁、山脉降升、海底扩张、岩浆侵位等过程一般以百万年(Ma)为计算单位;喜马拉雅山脉从大洋关闭、褶皱隆起至今约有 40Ma,太平洋的形成至今约有 180Ma。但是,也有一些地质作用过程的时间很短,如地震作用,往往在数秒至数十秒内完成。2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分发生的举世震惊的四川汶川 8.0 级大地震,仅持续十几秒,但发震前的能量聚集过程时间很长。因而,人们难以对正在进行的地质作用的全过程进行完整的观察,对于地质历史中发生的地质作用更不可能直接去了解;绝大多数地质作用也难于用物理或化学的方法加以重现。

鉴于以上特征,在地质学的研究方法上,既要应用一般自然科学所共同的研究方法,又要应用一些独特的研究和思维方法。一般包括调查研究、搜集资料;归纳分析综合资料;实验模拟验证资料和规律;总结推导提出假说;反复验证修正假说,形成规律性的理论性的认识。

(1) 调查研究、收集资料。地质现象是地质作用的结果或产物。通过对地质现象的观察,可以找出地质作用的特点与规律。因此,野外调查便是研究地质作用的前提和基础。大自然是最好的地质博物馆,在某种意义上也是实验室。

(2) 实验室模拟验证。目前主要采取物理的、化学的、数学的、生物的以及信息技术的方法来提高对物质的分辨能力、穿透能力、鉴定能力、模拟能力、遥感能力。电子显微镜的分辨能力达 0.1nm,对于矿物质中原子、离子的排列能够直接进行观察;高温高压及

超高压试验技术已应用于模拟地幔的物理性状及组成方面,目前已能提供 10^{11} Pa 以上的压力与 10^4 °C 的温度的实验条件;岩石地球化学方法可以精确测定组成岩石的各种元素含量,放射性同位素年龄测定方法可以测定地质作用发生的时间。

(3) 总结推导提出假说。理论研究建立在丰富的地质事实和数据的基础之上。这是一个由表及里、由此及彼、去粗取精、去伪存真、由感性认识上升到理性认识的过程。在这一过程中要进行地质思维,地质思维就是要运用地质学知识和原理去研究问题。

◎将今论古。这一方法论的基本思想是,“现在是认识过去的钥匙”,即用现在正在发生的地质作用去推测过去、类比过去、认识过去。如通过现在的河流将大量的泥沙带到海盆中沉积下来并形成具有一定特征的沉积物,推测过去的河流也应有类似的作用,形成类似特点的岩石;干旱内陆盐湖里有各种盐类矿物沉淀并形成盐层,推测古代岩石中所见的盐层也应该是在干旱条件下形成的。“将今论古”是地质学的传统思维方法,地质学成果很大程度上是建立在这一方法论之上的。但是随着人们对客观现象认识的深入,发现在不同地质时期作用条件是不同的,地质作用的规律也有相应的变化,现在并不是简单地重复过去;因而不能将过去的地质作用规律和现代正在进行的地质作用规律机械地等同起来。如海百合现在只生长在深海,但是在数亿年前,海百合与造礁珊瑚等典型的浅海生物生活在一起。

◎以古论今,论未来。这是地质思维中另一个重要的方法论。因为人们今天能够直接加以观察的地质作用通常只是漫长的地质作用过程中的一个片断,而在过去的地质记录中往往保留了某一地质作用的全部过程。因此,认识了过去就能够帮助我们更好地了解现在并且预测未来。譬如,最近地质时期气候的冷暖变化是有周期性的,这在深海海底沉积物中留下了清楚的记录,研究这些沉积记录就能够帮助我们预测未来(如 1000a 内)气候变化的趋势。

◎活动论。这是当代地质学研究的指导理论。大陆、海洋不是固定不变的,而是不断活动和演变的。除了岩浆活动导致岩石圈隆起—沉降之外,地球表层活动主要表现为水平运动。现在看到的海陆面是地质历史期间大规模、长距离裂解或运移—聚合的结果。比如现在的地中海是地质历史期间特提斯洋俯冲—关闭的残迹;而现在的红海则是因非洲大陆裂解而形成的一个狭长形海盆。固定不变的认识是不对的,必须实事求是地去看和认识地球。

上面论述的是地质作用研究方法的一般原则,对于地质学各分支学科来说,还有各自的特殊方法。如研究地球的内部结构与构造时要用地球物理的方法、深部钻探技术、高温高压模拟实验等;研究地壳的物质成分时要用化学分析、电子探针分析、光谱分析、差热分析、能谱分析、X 射线分析、偏光显微镜、电子显微镜鉴定等;研究地球发展历史要用同位素年龄测定、生物地层学方法及古地磁方法等。



复习思考题

1. 地质学研究的对象是什么?重点何在?
2. 地质学研究的内容有哪些主要方面?
3. 试述地质学的意义。
4. 谈谈你怎样理解地质学研究的方法论。

第一章 地球概述

宇宙在人们的心目中往往有一种神秘感。“宇”是空间的概念，表示无边无际；“宙”是时间的概念，表示无始无终。地球正是在这一无边延续的时间中和无穷拓展的空间里形成并演化至现在所具有的各种内部特征和外部形态。从地质学的角度上说，地球是我们主要的研究对象，但从天文学角度或考虑宇宙成因，不能把地球和其他天体特征相分离，这就是地质学家们也十分关心宇宙天体特征的重要原因。

第一节 地球的演化

一、宇宙、银河系、太阳系

在茫茫宇宙中，我们肉眼看得见的群星闪烁，既有恒星、行星、卫星、流星、彗星等星体，也有我们肉眼看不见的尘埃、气体、类星体、黑洞及各种射线源等，所有这些物质通称为天体。各种天体之间既相互吸引又相互排斥，按一定的规律组合在一起不停地运动着。这些不断变化的天体组成了浩瀚的宇宙。

包含了大量恒星和无数星际物质的天体系统称为星系。太阳所在的星系叫银河系，银河系以外的其他星系系统称为河外星系。

银河系是由 1500 亿 ~ 2000 亿颗恒星和无数星际物质组成的。在晴朗的夜空常可以看到一条群星闪烁的银灰色光带，那就是银河。其实它是一个巨大的中间厚、四周薄的旋涡状“银盘”，众多的恒星围绕着银河系的质心——银核旋转（图 1-1（a））。银盘中央是恒星高度密集区域，其中的近球形称为核球；银盘外围恒星稀疏呈扁球状，称为银晕。从垂直银河系平面的方向看，银盘内恒星和星际物质在磁场和密度波影响下分布并不均匀，而是由核球向外伸出的四条旋臂组成旋涡结构（见图 1-1（b））。旋臂是银河系中恒星和星际物质的密集部位。银河系的直径约为 10 万光年，中心厚度约 1 万光年（1 光年等

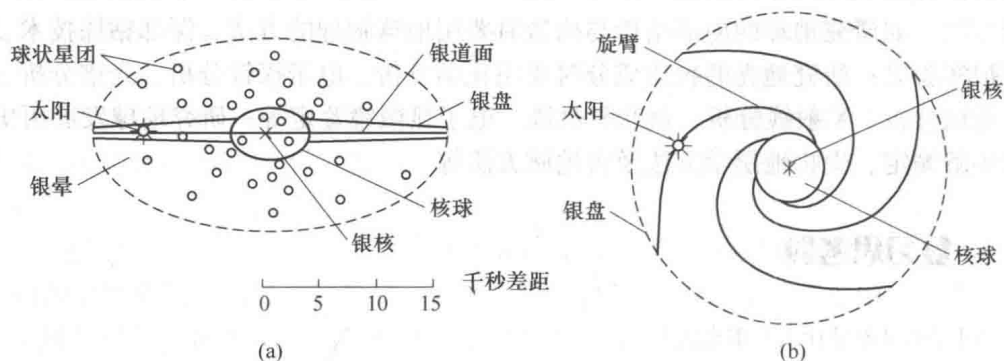


图 1-1 银河系结构示意图（据刘本培，2000）

(a) 侧视图；(b) 俯视图

于光在 1 年中所走过的路程，约为 10^{13}km ）。

太阳系是银河系中的普通一员，是以太阳为中心的一个天体系统。质量和体积最大的太阳居于太阳体系的中心，它能自己发光和辐射热能，属于恒星。在太阳系中共有八颗大的行星，按其离太阳距离的远近，依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星（见图 1-2）。在太阳系中还有数以万计的小行星，自 1801 年发现第一颗小行星以来，已经确定轨道的小行星约有 4000 个，未能确定轨道的就更多，可能在 1 万个以上。小行星主要集中在火星与木星轨道之间。除此之外，在太阳系中还有彗星及行星的卫星（如月亮）等。

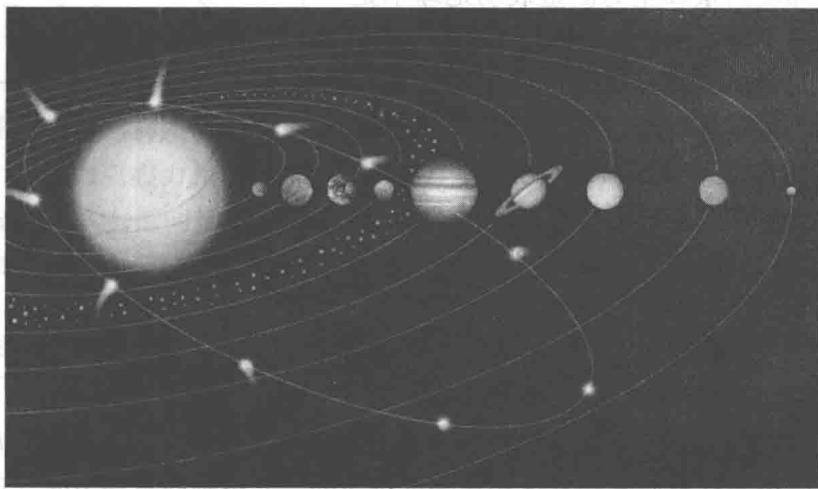


图 1-2 太阳系八大行星轨道位置示意图

太阳系八大行星按其物理性质可分为两类：一类以地球为代表，称为类地行星，因为它们离太阳近，又称为内行星。内行星有水星、金星、地球和火星，它们的共同特点是质量和体积小、密度大，以固体物质为主，自转速度较慢。另一类以木星为代表，称类木行星，因其离太阳较远，又称为外行星。外行星有木星、土星、天王星、海王星，其共同特点是质量和体积大、密度小，以流体为主，自转速度较快（见表 1-1）。

表 1-1 行星的物理参数

行星	质量/g	与地球质量之比	赤道半径/km	体积与地球之比	平均密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	公转周期	自转周期/d	赤道半径/km
水星	3.33×10^{26}	0.0554	2439.7	0.055	5.43	87.97d	58.646	2439.7
金星	4.87×10^{27}	0.815	6050	0.815	5.24	224.7d	-243.017	6051.8
地球	5.976×10^{27}	1.000	6378	1	5.52	365.24d	0.9973	6378
火星	6.421×10^{26}	0.1075	3395	0.107	3.94	686.93d	1.0260	3397
木星	1.900×10^{30}	317.82	71400	1321	1.33	11.86a	0.4135	71492
土星	5.688×10^{29}	95.18	60000	745.000	0.70	29.45a	0.4440	60268
天王星	8.742×10^{28}	14.37	25900	63.1	1.30	84.02a	-0.718	25559
海王星	1.029×10^{29}	17.22	24750	57.1	1.76	164.81a	0.6713	24764

数据来源：《中国大百科全书》，1980。

二、地球的形状和大小

人们以大地水准面（平均海平面）来理想地圈出一个完整的球体，作为地球形态的几何图形。地球的形状是指全地水准面的形状。大地水准面既不考虑地球表面的海陆差异，也不考虑陆上、海底的地形起伏；它不但包括了现在的海面，也包括所有陆地底下的假想“海面”，它是计算地表高程的起算面。

精密的经纬度测量和重力测量表明地球不是一个正球体，而是一个赤道半径长、两极半径短的椭球体。这是由于地球自身旋转造成的，故又可视作旋转椭球体。由于大地水准球体与地球旋转椭球体相比偏差很小，因此在大地测量中就用旋转椭球体（或叫地球体）来代替大地水准球体进行计算。

据 1982 年自然地理统计资料，地球大小的有关数据如下：赤道半径为 6378.140km；两极半径为 6378.140km；平均半径为 6371.004km；扁率为 1/298.257；表面积为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ；体积 $1.083 \times 10^{12} \text{ km}^3$ 。

根据以上参数绘制的地球形状类似一个略扁的梨形（见图 1-3）。根据人造卫星的资料分析，地球南极与标准旋转椭球体相比约缩进 30m，北极则凸出约 10m（图 1-3）。

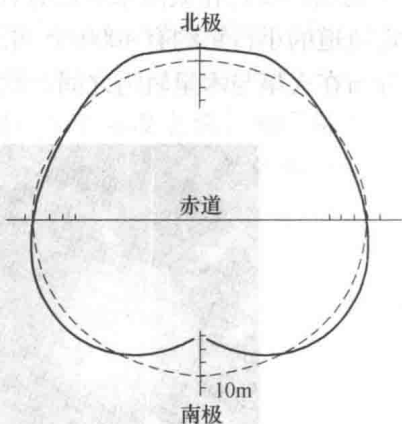


图 1-3 地球体形态示意

第二节 地球的主要物理性质

目前的技术水平还不具备直接观察地球内部的手段，最深的钻孔也仅为 12km，因而对地球深部的了解主要靠地球物理的工作成果。地球物理性质包括地球内部的密度、压力、重力、地磁、弹性及地热等。通过研究上述特性的变化规律，可以推测地球内部的物质成分、温度、压力状态及其变化规律，并作为了解和划分地球内部圈层构造的依据。

一、地球的质量和密度

根据万有引力定律，可以算出地球的质量为 $5.947 \times 10^{21} \text{ t}$ 。据地球的形状参数，可以求得地球的体积为 $1.083 \times 10^{12} \text{ km}^3$ 。根据体积可求得地球的平均密度为 5.516 g/cm^3 ，而直接可测得的地球表面层岩石平均密度为 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ ，海水的平均密度为 1.028 g/cm^3 。据此可以肯定地球内部必定有密度更大的物质。

迄今为止，地球深处的物质密度仍然不能直接测得，而是通过对地震波的研究来计算的，因为地震波传播的速度与物质密度密切相关。不同学者给出的地球深处的密度资料是不完全相同的，但基本特征是相似的。目前公认的地内密度变化模型是由澳大利亚学者布伦推导的：地壳表层的密度为 2.7 g/cm^3 ；地内 33km 处为 3.32 g/cm^3 ；2885km 处密度由 5.56 g/cm^3 陡增至 9.98 g/cm^3 ；至 6371km 处达 12.51 g/cm^3 。

二、压力

由于地球形成的时间很长，其内部所受的压力主要为上覆岩石重力产生的静压力，其数值为深度与该深度以上岩石的平均密度和平均重力加速度的连乘积，单位为 Pa。压力是随着深度递增的，地表岩石处于 10^5Pa （1 个大气压）下，到了地球中心则可高达 $350 \times 10^9\text{Pa}$ 。这个压力变化值用曲线（见图 1-4）来表示就更加直观些。压力的作用可能导致地球深处物质存在状态的变化，也是引起地球某些内动力活动的原因之一。

三、重力

地球上任何一点的物质所受的重力的数值都是地球的万有引力和地球自转产生的惯性离心力的合力。因为离心力相对很小，只约等于万有引力的 $1/289$ ，所以重力基本上就是引力，其方向也基本上指向地心。单位用 dyn/g （或 m/s^2 ）表示或用重力加速度单位伽（Gal）和毫伽（mGal）来表示（见图 1-5）。

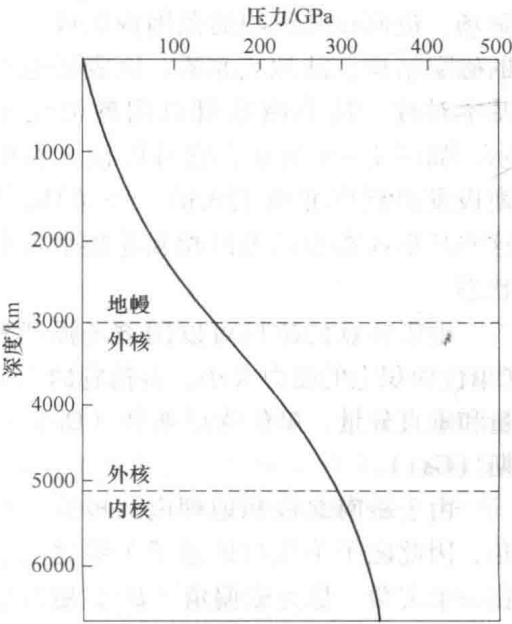


图 1-4 地球内部的压力分布 - Bullen 模型 A（据 K. E. Bullen, 1963）

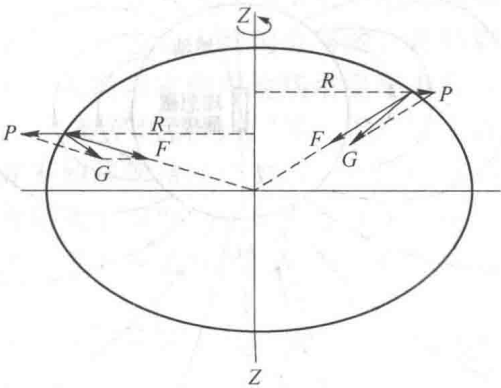


图 1-5 地球的地心引力和离心力（据徐成彦等，1989）
P—离心力；F—地心引力；R—地球的半径；
ZZ—自转轴；G—重力

地表上某一点的重力场强度相当于该点的重力加速度。地表的重力加速度随纬度值的增大而增加，随着海拔高度的增大而减小；而地球内部的变化与地球的物质分布和深度密切相关，呈复杂的曲线。重力加速度在地表的数值约为 9.82m/s^2 ，到下地幔的底部达到最大值 10.37m/s^2 左右，从 2891km 处即地核开始急剧减小，到外核底部约为 4.52m/s^2 ，到 6000km 处约 1.26m/s^2 ，到地心处重力加速度为 0。

进行重力研究时，将地球视作一个圆滑的均匀球体，以其大地水准面为基准计算得出的重力值称作理论重力值。对均匀球体而言，地表的理论重力值应该只与地理纬度有关。但实际上，地球的地面起伏甚大，内部的物质密度分布也极不均匀，在结构上也存在着显著差异，这些都使得实测的重力值与理论值之间有明显的偏离，在地学上称为重力异常。对某地的实测重力值通过高程及地形校正后再减去理论重力值的差值称作重力异常值。如为正值，称正异常；如为负值，则称为负异常。前者反映该区地下的物质密度偏大，后者说明该区地下物质密度偏小。利用重力测量来寻找矿产和研究地质构造的方法称为重力勘探法。

大陆部分的布格重力异常值大多数低于正常重力值，海洋部分多为正异常。这说明地球表层的大陆部分物质密度较小，海洋部分物质密度较大。

据此原理，人们可以通过测量重力来寻找重力异常的矿床，或了解地质构造，此方法称为重力探测或重力勘探。

四、地球的磁性

地球是一个巨大的磁性体，在它的周围空间形成了一个具有一定范围的由强变弱的

磁场，进而在其影响的范围内组成了地球的磁层结构，从地表来看，地表各地磁场基本对称，这个磁场可以用磁力线来表示，如图 1-6 所示，它可以被看作由磁南极发出到磁北极汇入的一条条环形线，这些环形线在赤道地区相互连接呈近水平状态。

地表各点的磁场可以用磁场强度表示（单位面积上的磁力大小，包括它的水平分量和垂直分量，单位为奥斯特（Oe）或高斯（Gs））。

由于磁南北极和地理南北极有一个交角，因此磁子午线与地理子午线之间也存在一个夹角，称为磁偏角（ D ）。磁偏角位于地理子午线以东称东偏；磁偏角位于地理子午线以西称西偏。在实际工作中以罗盘指针与地理子午线的夹角作为磁偏角，因此必须根据所在地理位置校正罗盘的刻度盘。地球表面的磁力线与水平面也存在

一定的交角，称为磁倾角（ I ）。磁倾角的大小因地而异，在赤道为 0° ，向南北两极逐渐增大，在磁南北极为 90° ，此时罗盘的磁针就会竖起来。因此罗盘必须因地制宜加以校正。地磁场以代号 F 表示，强度单位为 A/m 。地磁场强度是一个矢量，可以分解为水平分量 H 和垂直分量 Z 。地磁场的状态可用磁场强度 F 、磁偏角 D 、磁倾角 I 这三个地磁要素来确定（见图 1-7）。

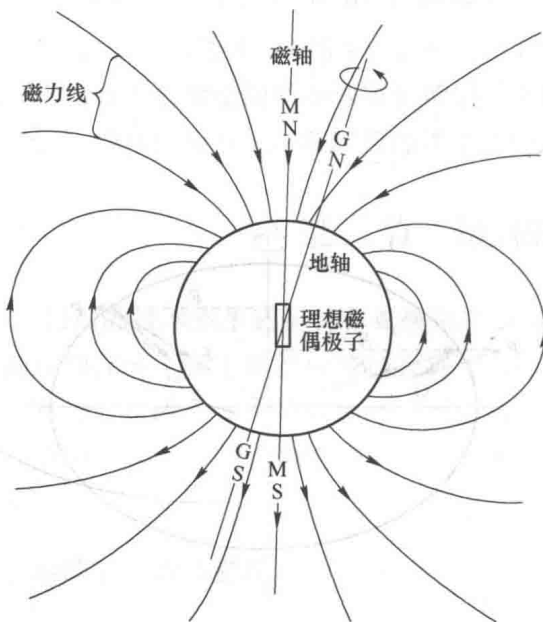


图 1-6 地球的磁场（据 W. K. 汉布林，1980）

GN—地理北极；GS—地理南极；
MN—磁北极；MS—磁南极

地磁场在地表的变化主要受内部物质成分和结构的影响,如强磁性和弱磁性物质的存在可以造成明显的磁异常。这是寻找地下资源和了解地球内部结构的重要依据。磁法勘探就是据此发展的。

地磁场的存在会导致岩石在其形成过程中发生磁化,这些受磁化的岩石在磁场发生改变后仍可将原来磁化的性质部分地保留下来,形成所谓的“剩余磁性”。测量岩石中的剩余磁性有助于了解地质历史时期的地磁场情况。依据岩石剩余磁性研究地史时期地磁场的状态、磁极变化的学科称为古地磁学。

五、温度—地热

人们根据岩浆岩喷发形成火山和温泉等已经认识到地下深处是热的,矿山开采实践也证明了这一推论。

地球表面的温度由于受到太阳的热辐射会引起增温。因组成地球的岩石为不良导体,故增温和降温都较缓慢。因地表不同纬度在不同季节受到太阳辐射的角度不同,接受的热量也不同,季节性的、昼夜性的变化都较大,所以地表实际上形成了一个温度变化的薄圈层,此薄圈层称为变温层。全球地表的年平均温度为 15°C ,这个温度值及这个层的厚度对整个地球内部的温度值和深度变化来说是微不足道的。地球内部的温度主要来自地球内部放射性元素的蜕变热能,它自然也是不均匀分布的,总趋势是随深度加大而递增,但增长率随位置和深度而异,人们常常使用地热增温率来表示它们。其是指每向下加深 100m 所增加的温度数值,一般平均值约为 3°C 。但实际上地表不同地方的地温梯度是很不一样的。地下深处并不始终保持这个数值,虽然向地心方向温度是在递增的,但地温梯度却逐渐变小,否则地下深度物质都会熔化了,而地震波的传播表明地下相当深处物质仍为固态。地热或者温度的这种变化也可用曲线表示出来(见图1-8)。

地表的温度可以直接测得,常常以单位面积上的热量来表示,称为热流值。地表热流值常常因地而异,主要受控于地质构造条件,如地球表面或深处的强烈活动地段,火山、岩浆活动地段常常是高热流值地区。按全球平均地温梯度值或区域地温梯度可以理论地计算出各地区的理论地表温度和地下温度,但这常与实测值存在差异,就可能出现地热异常。特高的异常区往往表明地下存在着过量的热能,常表现为温泉,称为地热田,成为可供人类可以利用的能源。据估计,目前能开采利用的(地下 3km 以内的)地热约相当于 2.9×10^{12} 煤炭所产生的热能,因而利用地热问题已引起世界各国的重视。目前我国已在西藏羊八井、广东丰顺等地利用地热能建立了发电站。

六、弹性和塑性

地球是由岩石组成的。物理知识告诉我们,一切处于固体状态的物质在受到外力作用

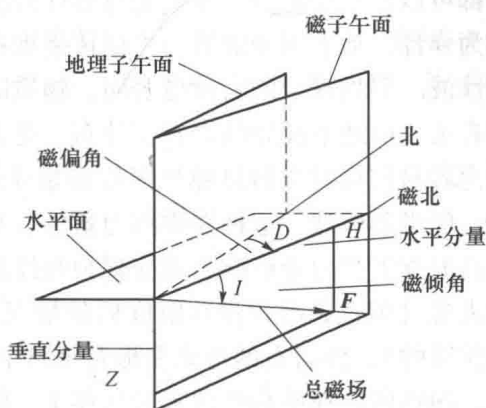


图1-7 地磁要素示意图

(据 P. J. 怀利, 1980)