



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

DIQIU KEXUE GAILUN

地球科学概论 (第二版)

● 主编 陶世龙 万天丰

地质出版社



CS1581379

P
088



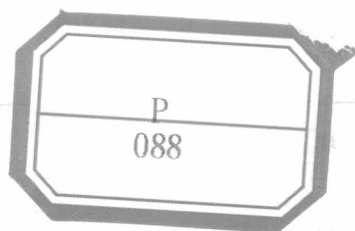
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
中国地质大学(北京)重点建设教材

地球科学概论

(第二版)

主 编：陶世龙 万天丰

参 编：程 捷 曹秀华 林建平 赵国春 张维杰



1448854

重庆师大图书馆

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本教材是在陶世龙、万天丰等编著的《地球科学概论》基础上修订而成的,基本框架仍保留了原教材的体系,是按照地球是一个系统、是宇宙中的一个组成部分,地球各圈层在不断地演化与相互作用的观点,结合人类对地球的认识过程,概略地介绍了关于地球科学的基本理论和基础知识,强调了人类应该谋求与地球和谐、协调发展。同时,为了更好地反映地球科学的最新进展,在修订过程中,对第一版的部分章节进行了调整、增删和修订;另外,将经过多年实践和修订的实习指导书也一并附在教材之后。

本书既可供普通高等学校各专业(包括地球科学类)作为基础课教材使用,也可满足社会各方面进行素质教育的需要。

图书在版编目(CIP)数据

地球科学概论/陶世龙等主编. —2版. —北京:
地质出版社, 2010. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-116-06497-3

I. ①地… II. ①陶… III. ①地球科学-概论-高等
学校-教材 IV. ①P

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 013227 号

责任编辑: 李凯明 王 璞

责任校对: 杜 悦

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324514 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82324340

印 刷: 北京朝阳区小红门印刷厂

开 本: 787 mm × 1092 mm¹/₁₆

印 张: 16.25 图版: 8 面 插页: 1 页

字 数: 400 千字

印 数: 1—5000 册

版 次: 2010 年 2 月北京第 2 版·第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06497-3

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

《地球科学概论》编辑委员会

主 任：郝诒纯

副主任：薛 平

委 员：马杏垣 马宗晋 刘光鼎 李廷栋

李 元 姚秉忠 张义勋 莫宣学

彭一民 陶世龙 万天丰 程 捷

序

地球是浩瀚宇宙中的一颗璀璨的行星，是养育着亿万种生命的摇篮，是唯一适合人类生存的美好家园。它不是一颗简单单一的星球，而是一个由固体地球、水圈、生物圈和大气圈等一系列同心圈层组成的地球系统，为人类提供了空间、环境、资源等一切赖以生存与发展的条件。

据现有资料，地球已有 45 亿年的演化历史。自有人类以来，人类为了保证自身的生存与繁衍，不断探索地球的奥秘；人类的智慧、文明和科学技术正是从这样无穷的探索中产生和发展起来的。

长期以来，人类在发展自身的历程中，对地球的索取远远超过了对她的关爱与保护。这种人地关系的失衡导致了今天的资源、环境、生态和人口等问题，并对人类生存与发展构成了威胁。这些问题的解决，人地关系的调整，有赖于地球科学的发展。地球科学已成为保障人类生存的科学，发展和普及地球科学是关系到中华民族乃至全人类生存和繁荣昌盛的意义深远的战略。只有使全社会每个公民，特别是决策层了解地球，懂得人类只有和地球和谐共处，使关爱与保护地球成为行为的准则时，人类才能真正摆脱愚昧和无知，创建最美好的文明。这样的认识激发着陶世龙等同志撰写《地球科学概论》的热情。他们夜以继日完成的这本著作把地球科学作为包容宇宙—地球—生命—人类的复杂大系统，以严谨求实的科学精神，精练生动的表述风格，广采博引，大知识量地展示了宇宙起源、地球形成和演化、地球各圈层及其相互作用，并从不同角度探讨了人与地球的和谐共处与协调发展，向广大读者展示了观察、分析、思考世界的认识长河和地球科学的探索与创新魅力。这是一本知识面广，层次高，可读性和趣味性强的著作，可用作高等学校进行专业教学、开展素质教育以及培训各级干部的教科书，也是一本适用于社会的高级科普读物。该书的问世一定会在增进社会对地球的了解、强化人们保护地球的意识、促进地球科学发展方面发挥积极作用。

郝诒纯 1999, 9.28

第二版前言

《地球科学概论》于1999年出版以来,不觉已届十载,蒙同行垂青,多有采用,重印累计30000册,即将售罄。而在此十年间,从印度尼西亚地震海啸到汶川特大地震,从两极冰川消融到全球变暖,从赤潮迭起到大气污染,诚为自然之地球抑或人类之地球村落的多事之秋,无不与地球这个复杂的巨大系统运行及演变息息相关。了解地球科学已不仅是有关专业学生入门的需要,也是公众之必须。读者通过各种形式表示了关注,在肯定与欢迎的同时,也指出了书中的阙失。作者也从中国地质大学(北京)和各兄弟院校的师生中收集到许多宝贵的批评意见。在教学过程中,我们曾发动同学们帮助找寻教材中的差错,重印时有多处错误或错别字是根据同学们在认真阅读教材过程中指出的问题进行订正的。但仅止于此,显然不能跟上科学实践的发展和满足不断提高教学质量的需要。

为此,在出版者提出修订再版之议后,中国地质大学(北京)构造地质教研室地球科学概论教学组和本书的作者进行了深入的讨论,提出了修改方案与意见,从2005年开始根据教育部“十一五”规划教材的要求,认真地、有步骤地进行了此教科书的修改工作,分工合作完成了此书第二版的修编任务。

《地球科学概论》第二版仍以适合本科生入门教学需要为主要宗旨进行修订,在基本保持原来理论体系和写作风格的情况下,进一步加强圈层相互作用的阐述,并更加突出素质教育、地质思维和学习兴趣的培养,以适应各界人士教学或自学的需要。作者除对第一版书稿进行了全面的、仔细的文字审订外,还按照以上要求调整了章节,并增加或删除了一些内容。原来第四、五、六章中有关地球表部各圈层相互作用的内容现在都集中到第七章综合阐述,以便更系统地讨论地表圈层的相互作用。第十章增加了突发性构造断裂——地震活动的有关知识,加强岩石圈内部、岩石圈与软流圈之间相互作用及其影响的阐述。第十一章除对重力、地磁相关内容进行修订外,着重讨论了核幔的运动及其相互作用。第十三、十四章增加了一些有关资源与环境的最新资料。这些都是为了本书能更好地反映地球科学的最新进展,同时又考虑到适应入门者的需要。以上就是作者对全书的希望和要求,但不是说已经都做到了,使用者最有发言权。我们衷心期待大家进一步提出宝贵的意见,以不断地提高此书的质量。

为了使课堂理论教学(占60%学时)与实习课程(占40%学时)结合得更好,现将经过多年实践和修订的实习指导书也一并附在教材之后。

书中常用的地球科学专业术语都用黑体字标明,并选择性地附上相应的英文词汇(共约300多个),以利同学们在学习过程中顺便学习专业英语的常用词汇,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。

在这十年中，对本书第一版曾经发挥重要指导作用的编辑委员会主任郝诒纯院士，委员马杏垣院士和彭一民教授相继在 1999 年与 2000 年逝世。他们的离去，对本教材质量的进一步改善和此课程教学质量的提高是重大的损失。尤其是郝诒纯院士首先明确地指出：“《地球科学概论》要以地球各圈层相互作用为纲”，编辑委员会也取得一致的共识，使整个教材的编写思路 and 教学体系豁然清晰。我们永远铭记他们的教诲，同时也再一次衷心地感谢编辑委员会全体委员远见卓识的指导。

本书第一版编著者与第二版修编分工情况

第一版章节安排	第一版的编著者	第二版章节安排	第二版的修编者
绪 论	万天丰, 陶世龙, 程捷	绪 论, 第二版前言	万天丰, 陶世龙
第一章	陶世龙, 万天丰, 程捷	第一章	陶世龙, 万天丰
第二章	陶世龙, 程捷, 万天丰	第二章	陶世龙, 万天丰
第三章	陶世龙, 程捷, 万天丰	第三章	陶世龙, 万天丰
第四章	陶世龙, 程捷, 万天丰	第四章	陶世龙, 程捷, 万天丰
第五章	程捷, 陶世龙, 万天丰	第五章	程捷, 万天丰, 陶世龙
第六章	程捷, 陶世龙, 万天丰	第六章	程捷, 万天丰, 陶世龙
		第七章 (新增)	程捷, 万天丰, 陶世龙
第七章	万天丰, 陶世龙	第八章	万天丰, 陶世龙
第八章	万天丰, 陶世龙		
第九章	万天丰, 陶世龙	第九章	万天丰, 陶世龙
第十章	万天丰, 陶世龙	第十章	万天丰, 陶世龙
		第十一章 (新增)	万天丰, 赵国春, 陶世龙
第十一章	万天丰, 陶世龙	第十二章	万天丰, 陶世龙
第十二章	万天丰, 陶世龙	第十三章	陶世龙, 万天丰
第十三章	陶世龙, 万天丰, 程捷	第十四章	陶世龙, 万天丰
		实习指导书 (新增)	曹秀华, 林建平 张维杰, 万天丰
		索引 (新增)	万天丰

第一版绪论

这是一本为文、理、政、法、工、农、医、商各科大学生进行素质教育而编写的教科书，也可供地球科学类各专业大学生入门之用。

多年前，我国一些学术大师早就看到地球科学作为人类知识基础的重要性。1923年，时任北京女子师范大学校长的文学家许寿裳，为该校学生所写的《山东地质旅行报告》作序，称赞学习地质能使人“胸襟开阔，知识丰富”，“于地相的错综，地层的累积，以及古生物进化的痕迹，既可了然如在指掌之上；更能穆然起深远神秘的思想，作人格修养之大助”。胡适则从哲学家的角度，体会到地质学、古生物学在形成正确的时空观上的重要作用。史学家柳诒徵更认为：“人类本来没有学问；只有自然的现象和一切动植物、矿物环绕着人类，给他各种可爱可疑可怖可虑的观念，人类从这种观念里，渐渐求出许多原因及种种的解说来，这便是学问。”“一切自然现象和环绕着我们人类的万物，都是我们要读的书，并且是读不尽、越读越有趣的书，比什么四库七阁的书多着不知若干万倍呢。”（柳诒徵，一切学问的起原，科学画报，1993，第1卷第7期）

时至今日，21世纪即将来临，了解地球科学知识的必要性，更紧迫地显示出来了。人类创造了前所未有的生产力，为了满足日益增长的物质需求，需要向地球作更多的索取，然而人类如稍有处置不当，便会招致大自然严厉的惩罚。只有地球上的居民都认识了地球，理解了地球，才能和它友善相处，和谐协调，从而有利于人类社会的持续发展。作为高知识阶层的大学生，理应首先了解地球科学知识，并带头向社会传播。因此，在国土资源部人事教育司提出要编写这样一本《地球科学概论》后，我们都认为很有必要。本书编写历时一年多，勉力完成。我们希望本书对提高大学生的素养能起到一定的作用，以激起每位跨世纪的学子了解地球，珍惜自然资源，爱护我们生存环境，增进为子孙后代造福的社会责任感和义务感。

在传统的大学教育中，地球科学本已占有一定的位置，有关的教材数不胜数。但长期以来不仅文理分科严格，而且地球科学本身也是专业林立，各守疆界，地球是被分解成许多局部来研究的。我们充分理解，在人类认识地球的历史过程中，由于当时认识能力的限制，形成许多研究地球的分支学科是必然的，今天也仍有必要继续从各个局部深入下去。但如总是停留在对地球上某些局部，即子系统进行研究，而对作为一个巨系统存在的地球整体缺乏认识，实为明察秋毫而不见舆薪。一些只看到短期、局部利益的行为，给人类自己生存环境造成的重大危害，便含有这方面的深刻教训。对一般人来说，很需要对地球进行总体的认识。因此，本书力求把地球当作一个系统来介绍，同时把地球当作宇宙中的一员来认识，重点探讨地球各圈层的相互作用与演化，结合人类对地球的认识过程，概略地介绍关于地球科学的基本理论和知识，从而探讨人类怎样才能做到与地球和谐协调的发展。我们理解的地球科学，应该是系统研究地球物质的组成、运动、时空演化及其形成机制的学问。

由于地球在空间上十分庞大,经历的时间十分漫长,作用又极其复杂,因而,地球科学的研究方法,最初,也是最基本的方法是野外观测。获取野外第一手的资料是地球科学研究的起点,也是基础。只有认真、细致地到野外去搜集原始资料和参数,才能正确地认识地球科学问题。热爱野外工作,几乎是每一个地球科学工作者必备的素质。因此,在学习本书的时候,如条件许可,应尽可能结合有关章节,组织到野外对地质、地理、生物和气候等现象作实地参观考察。

地球科学工作者对地球野外观测的进一步发展就是使用各种物理、化学和生物的仪器进行观测。仪器观测可获得大量有关地球的定量参数。在中学所学的几何学(Geometry),其英文和希腊文的原意都是大地测量学。由于尼罗河经常泛滥,地界被掩埋,古埃及人不得不反复进行地形测量,正是在这个过程中发展起了大地测量这门分支学科。现代地球科学已发展到必须用各种物理、化学、生物仪器测量的地步了,否则便无法获得任何精确的参数。例如:要用仪器测定大气、海洋、地面水、地下水、土壤和岩石的各种化学成分(常量元素、微量元素或同位素)及其动态变化;用各种物理仪器测定大气、海洋、地面水、地下水和岩石的温度、压力、运动速度,进行电磁场、重力场、辐射场以及地震波速的观测;用各种仪器对生物的生活性状进行观测并进而进行生物化学、生物分子学和生物遗传学的研究等。这些仪器观测不仅可以在室内实验室、陆地地表、地下坑道和钻孔中进行,而且可以在水面上、大洋深部、低层大气中进行,甚至还可以利用人造地球卫星在高空中进行。近30年来,利用航天和遥感技术,对整个地球进行了大量系统的观测,为气象学、大气物理学、海洋学、自然地理学、大地测量学、地质学、地球物理学和生态环境学的发展起到了关键性的作用。

野外观测和仪器观测主要是观测地球各圈层的现状以及地球演化的漫长历史时期中所遗留下来的部分迹象。人类不可能目睹地球演化的全过程,然而,可以通过各种地质事件所遗留下来的片断现象和作用结果,利用现今作用的规律,去反推古代事件发生的特点、条件以及大致的演化过程,这就是著名的“现实主义原理”,也称“将今论古”,或称“历史比较法”。这一原理是由英国地质学家莱伊尔(C. Lyell, 1791~1875)最早提出来的。他明确指出:“现在是了解过去的钥匙。”历史比较法是一种研究地球发展历史的分析推理方法,它对认识地球演化发展的历史起到了重要的促进作用。当然,“将今论古”原则的应用也不能绝对化,因为现在已经知道,地球演化的早期与地球的现状间存在着巨大的差异。尽管如此,地球的过去与现在还是具有一定的可比性,适度地运用“将今论古”的原则,仍旧是认识地球过去演化历史的基本思维方法。

在大量观测、研究的基础上,电子计算机技术的应用,已经成为地球科学研究的必备方法。大型电子计算机或工作站,可以处理地球上十分庞杂的数据、参数和资料,建立数据库,迅速绘制各种反映动态变化的图件,而且还可以模拟演化过程并探索地球上各种运动变化的动力学机制。因而计算机技术在地球科学研究中起到了越来越重要的作用。可以预计“数字地球”(Digital Earth)计划将在21世纪上半叶得以实现。由上述地球科学的研究方法可以看出,地球科学早已从早期的肉眼观察、认识、对比、推理、假设的阶段发展到与现代数、理、化等基础学科紧密相结合,用最新科学技术武装起来的现代化阶段。

地球科学要发展,取决于3个制约条件:首先,依靠社会的需求(经济发展、军事、

国家战略目标),有了社会的需求,才会有经费投入,才能使科学发展;其次,取决于新技术的采用(航天、遥感,显微、超显微物理和化学的观测技术,洋底钻探和超深钻探,全球气象、海洋、地震的监测网技术等);最后,则是新思维的产生,地球科学发展的早期受益于达尔文的进化论、莱伊尔的现实主义原理,现代则以“地球系统科学”为标志,即从整体上来认识地球,以圈层相互作用为主线来认识地球上的一切运动变化,了解其动力机制,并进而预测未来。

地球科学是人类在生产和生活实践中逐渐发展起来的。研究地球科学对人类社会的发展具有重要的实用价值和实际意义,主要表现在下列3个方面:①寻找、开发和利用自然资源;②保护和改善自然环境;③预报和减轻自然灾害。当前,由于近200年来工业化进程的发展,人类过度地开发自然资源,破坏生态环境,已经使地球生态环境濒临失衡的危险,因而正确地处理好人口、资源、环境的协调发展已成为当务之急。地球科学对人类的可持续发展将会产生更为巨大的影响。另外,前面已提到过,地球科学所揭示的整个地球的组成、运动和演化规律,对于人类正确认识自然界,建立科学的世界观,破除迷信都将发挥重要的作用,因而,认识地球,了解必要的地球科学知识,是每一个对社会负责的人都应该做到的事情。

由于本书所涵盖的内容分属多门学科,要把有关知识融合起来自成系统,对本书编者来说,难度是很大的,所幸在编写过程中,本书编辑委员会及时进行了指导,不仅在1998年春与1999年春两次认真审查了编写大纲与初稿的全文,提出了大量宝贵的意见和建议,而且不少编委还经常为我们答疑或提供资料,这对于本书的完成起到了至关重要的作用。我们谨在此表示衷心的感谢。我们还必须说的是,本书之所以能够编成,与郝诒纯院士和薛平先生是分不开的,是他们首先创意和支持编写这样一本具有广泛社会意义的教材,并在编写过程中,从思想到内容,都提出了许多指导性的意见。

在本书编写过程中,许多专家和同行不仅提供素材或阅读了部分初稿,还提出了许多宝贵的意见和建议,他们是:中国地震局地球物理研究所陈运泰院士,中国地质大学於崇文院士、陈光远院士(俄罗斯科学院)、翟裕生院士、孙岱生教授、沈今川教授、路凤香教授、邓晋福教授、施倪承教授、聂泽同教授、张舜新教授、茅绍智教授、王珍如教授、曾华霖教授、谭承泽教授、管志宁教授、赵其强教授、田明中教授、刘少峰教授,中国地震局地质研究所强祖基研究员,北京核工业地质研究院杜乐天研究员,中国气象科学院任振球研究员、林之光研究员,北京天文馆卞德培编审,中国科学普及研究所郭正谊研究员,地质出版社李鄂荣编审,北京大学物理系陈熙谋教授,北京科技大学防腐工程系黄震中教授,北京师范大学历史系郭大钧教授,北京广播电视大学中文系李杰群副教授,藏学研究中心周源研究员,环境科学研究院赵光复副研究员,清华大学核能研究院常华健副教授等。另外,在本书初稿完成后,还邀请3位同学阅读了全文,请他们从读者的角度对全书提出修改意见,他们是中国人民大学行政管理系雷强(硕士生),中国地质大学环境科学系税蓬勃(本科生),北京商学院广告系唐炫(本科生)同学。此外,本书编写过程中曾引用了我校王炳章、彭志忠和丰茂森3位已故教授的独特观点与素材。刘光鼎院士为本书题写了书名。对于上述所有关心并帮助本书完成编写的专家、同行与同学,我们在此一并表示衷心的感谢。

我们还应深深地感谢,责任编辑王璞先生和陈磊女士对本书进行了精心的编辑和审查,感谢祁向雷先生为本书用电脑绘制了精美的图件。

目 录

序

第二版前言

第一版绪论

第一章 宇宙中的地球	(1)
一、天圆地方?	(1)
二、从地球中心说到太阳中心说	(3)
三、认识太阳系	(5)
四、天外有天	(9)
第二章 行星地球简史	(12)
一、混沌初开——宇宙始于大爆炸	(12)
二、太阳系的起源	(13)
三、地球的诞生	(15)
四、现代地球环境的逐渐形成	(17)
五、怎样知道地球的过去	(18)
六、同位素年龄测定	(22)
第三章 地球的物质组成	(24)
一、地球中的元素	(24)
二、自然界中的矿物	(26)
三、矿物晶体结构——矿物的 DNA	(28)
四、岩石的科学情趣	(30)
第四章 大气圈——地球的蓝色外壳	(33)
一、蓝天证明着“气壳”的存在	(33)
二、大气圈的物质组成	(34)
三、大气圈的分层	(35)
四、大气圈的物质转换	(37)
五、大气的运动和多变的天气	(38)
六、气候及其变迁的原因	(41)
第五章 生物圈——大自然的精华	(44)
一、生物圈的组成	(44)
二、生命的特征——DNA	(45)
三、生命的起源、演化和生物圈的形成	(47)

四、人类的由来	(52)
五、生物圈系统及其平衡	(53)
第六章 水圈——地表变化的主要媒介	(57)
一、水圈的构成及水的特性	(57)
二、海洋——水圈的主体	(59)
三、与人息息相关的陆地水	(62)
四、水循环	(64)
第七章 地球表部圈层的相互作用	(67)
一、大气圈对地球表部圈层的作用	(67)
二、生物圈对地球表部圈层的作用	(72)
三、水圈对地球表层圈层的作用	(75)
四、地表圈层的相互作用	(85)
第八章 地球的内部圈层	(88)
一、不安稳的大地	(88)
二、地球内部的透视	(88)
三、地球内部圈层的划分	(91)
四、内部圈层的主要特性	(92)
第九章 岩石圈内部物质的转化	(96)
一、地热显示与岩浆活动	(96)
二、变质作用	(101)
三、三大类岩石的互相转化与圈层互相作用	(103)
四、内生成矿作用	(106)
第十章 岩石圈的变形与变位	(108)
一、岩石圈为什么会出现变形与变位	(108)
二、岩石的变形	(109)
三、岩石圈的变位	(112)
四、板块构造学说	(117)
五、岩石圈板块为什么会运动——板块构造的动力学机制问题	(121)
第十一章 重力、地磁与核幔作用	(124)
一、重力——地球引力和离心力的合力	(124)
二、地磁场	(129)
三、地磁场形成机制与地核运动	(133)
四、地幔运动、地幔羽与地幔对流	(135)
第十二章 新地球观——地球系统科学	(141)
一、地球是一个系统	(141)
二、地球动力系统	(142)
三、开放的地球系统	(143)

四、圈层间的强相互作用	(144)
五、不可逆的进化	(145)
六、均变与灾变	(147)
七、各种时间尺度的周期性变化	(150)
第十三章 人与资源	(154)
一、我们周围的自然资源	(154)
二、土地资源	(155)
三、矿产资源	(157)
四、水资源	(160)
五、大气资源	(162)
六、生物资源	(163)
七、海洋资源	(165)
八、资源的未来	(167)
第十四章 维护我们的生存环境	(170)
一、环境与人类	(170)
二、自然灾害	(173)
三、文明的代价——人类面对的环境问题	(178)
四、站在十字路口的人类	(183)
实习指导书	(186)
实习一 矿物的基本特征	(186)
实习二 肉眼鉴定常见矿物	(190)
实习三 参观学校博物馆	(194)
实习四 地表圈层作用特征和产物	(196)
实习五 肉眼识别常见沉积岩及相关的矿石	(200)
实习六 肉眼识别常见岩浆岩及相关的矿石	(207)
实习七 肉眼识别常见变质岩及相关的矿石	(214)
实习八 认识和使用地形图,初步学习罗盘使用	(219)
实习九 认识地质图,观察地质构造立体模型	(224)
实习十 阅读地质图,切制简单的地质剖面图	(228)
实习十一 环境资料的阅读与分析	(232)
实习十二 综合实习	(237)
主要参考文献	(239)
索引	(240)

第一章 宇宙中的地球

提 要

1. 人类经过漫长的探索终于证实大地是一个球体。
2. 地球不是宇宙的中心，而只是太阳系中一颗不大的行星。
3. 太阳系在拥有 2000 多亿颗恒星的银河系中是一个不大的天体系统。
4. 银河系是数以百亿计的星系中的一个旋涡星系。
5. 地球是现在已知的、唯一适合人类生存的星球。

一、天圆地方？

“欲穷千里目，更上一层楼。”站得愈高，看得愈远，难怪杜甫在登上泰山后，不禁要发出“会当临绝顶，一览众山小！”的感叹。1968 年 12 月 21 日，准备环绕月球飞行考察的载人宇宙飞船阿波罗 8 号，冲天而起，开始了它历时 146 小时 59 分的航程。此时飞船上的宇航员，回眸地球，又该有什么感觉呢？他们没有写下诗句，但带回了人类首次在深邃的太空中拍得的地球照片。随着空间探测技术的发展，人类终于能一目了然地看到地球的全貌，一个以蓝色为主的、色彩丰富的星球。然而，在古代，人们的视野仅能窥视到地球微小的一角，于是，就有了这样的民歌：

敕勒川，阴山下。

天似穹庐，笼盖四野。

天苍苍，野茫茫。

风吹草低见牛羊。

天好像圆顶帐篷盖在地上。居住在塞外草原上的牧民，极目四望，就容易得到这种印象。

不仅是中国人，居住在世界各地的人们，最初都有过类似的错觉，因为他们都是仅凭直觉来认识周围事物的。古代中国的学者，把人们这种天笼罩着地的感觉，概括成“天圆地方”的理念。公元前 3 世纪，吕不韦主持编成的《吕氏春秋》，将天圆地方解释为：“天道圆（圆），地道方，圣王法之，所以立上下（上君下臣）。”用天高地卑来证明，在下者应当服从在上者的统治，认为这是人们必须遵守的公理。但是人们也看到，“天圆地方”实在难以自圆其说。日月交替，东升西降，变换有序。如果大地是一个平面，那日月星辰又落到何处呢？板状的大地靠什么依托？大地的另一面又是什么样子？

善于运用逻辑方法思维的古希腊人，率先提出了大地是一个圆球的想法，先有毕达哥拉斯（Pythagoras, B. C. 571 ~ B. C. 497）和他的追随者，后来亚里士多德（Aristotle, B. C. 384 ~ B. C. 322）更把地球摆在他设想的宇宙体系中肯定下来。在日常生活中，人们早就注意到：在海岸边观看从远方驶近的船只，总是先见船桅，后见船体；船只离港远去时则相反，先不见船体，后来才是船桅隐入海平面。这种现象是地表面为曲面的很好的证

据,若大地是平面的,那么不论距离远近,船体与船桅应该同时可见或同时看不见。

公元前 240 年前后,今天属于埃及的亚历山大城,是当时的希腊文化中心,在这个城市的图书馆当馆长的埃拉托色尼(Eratosthenes, B. C. 275 ~ B. C. 196),注意到在夏至的中午,位于亚历山大南边约 920km 处的锡恩的一口枯井中,阳光可以直射到井底;也是在夏至中午的时候,射入亚历山大城井中的阳光,却是斜射进去的。为什么会出现这种现象?埃拉托色尼判定,这是由于地面弯曲所造成的。他测得的数据证实了他的推测,而且还求得了不十分精确的地球圆周长度,39 500km(图 1-1)。与亚里士多德同时代的中国人惠施,以善辩闻名。从他的名言“南方无穷而有穷”以及“我知天下之中央,燕之南,越之北是也”,可以推论出“天下”是个球体。汉代的张衡(78~139)在观测中发现月食的阴影边缘总是弧形的,也认为大地是圆的。

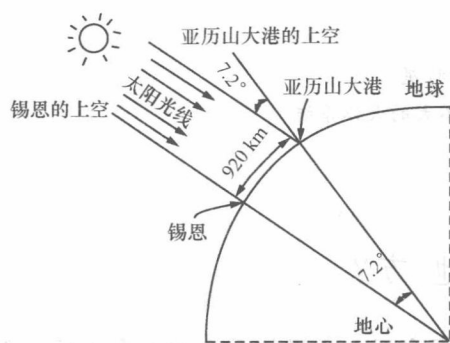


图 1-1 埃拉托色尼对大地进行测量的示意图

(据松本英二,1980)

由于太阳距离地球很远,从太阳射来的光线
可以当作平行线来对待

中国人惠施,以善辩闻名。从他的名言“南方无穷而有穷”以及“我知天下之中央,燕之南,越之北是也”,可以推论出“天下”是个球体。汉代的张衡(78~139)在观测中发现月食的阴影边缘总是弧形的,也认为大地是圆的。

1519 年 9 月由麦哲伦(F. de Magalhães, 1480~1521)率领的船队,从西班牙起航。到 1522 年 9 月,这支船队在环绕地球一周后,又回到西班牙。虽然出发时的 13 艘船只剩下 1 艘了,但大地是一个圆球最终得到证实。埃拉托色尼的工作成果,也由此得到了肯定。

1687 年 7 月,牛顿(Isaac Newton, 1642~1727)的传世名著《自然哲学的数学原理》问世。他在这部书中提出,由于地球转动产生的惯性离心力(centrifugal inertia force)^①在赤道一带较大,两极较小,因此地球赤道一带应该是凸起的,而两极扁平。通过模拟实验,他还算出了地球的扁率(flattening)。为此,法国在 1735 年派出一支测量队到北极附近的拉普兰,第二年又派出一支测量队到赤道附近的秘鲁,经过几年的实地测量和室内研究,到 1744 年,终于证实,牛顿的理论是正确的,他算出的数据也接近实测的结果。

根据卫星观察的结果,现在我们已经知道**固体地球(solid Earth)**(不包括大气圈)的大小。固体地球的平均半径为 6371km,从两极到地球中心的平均距离为 6356.755km;比从赤道到地球中心的平均距离(6378.140km)短 21.385km;扁率为 1/298.257,应该说地球是一个扁率比较小的、不规则的椭(扁)球体。将大地水准面(地球的实际形状)与理想的扁球体相比较,赤道一带和南半球的半径稍微凸出一点,北半球则较为收缩,但北极最多只突出了 10m,而南极仅向内凹了约 30m,总之偏差在 40m 以内。有人就夸张地说,地球的真实形态是略呈“梨形”的。由于地球体积十分庞大,地表的这些小起伏和整体形态相比是微乎其微的,所以总体来看,地球基本上仍是一个接近于正圆的椭球体。地球的赤道周长为 40 008.08km。毛泽东主席在诗中曾提到过“坐地日行八万里”,指的

^① 物体在做圆周运动时,会产生出一种沿圆周的切线方向飞出去的动量,人们误以为这是离心力的作用。实际上并不存在这种所谓的离心力,而是惯性的作用,但离心力这个词已广泛使用了很久,约定俗成,故本书仍在使用,但在此术语前加上“惯性”二字以示其意。

就是地球自转一周时赤道的长度。固体地球的表面积达 $5.101 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，体积达 $10\,832 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，固体地球的质量为 $5.976 \times 10^{27} \text{ g}$ ，平均密度为 5.517 g/cm^3 。

但如降到低空，透过大气和海洋，这时观测到的固体地球表面高低起伏则相差甚大，大部分地区低于今日的海平面。

今天地球上的陆地面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占全球面积的 29.22%，分成亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、非洲、大洋洲和南极洲等 7 块大陆。大陆上的地形可分为山脉、高原、丘陵、平原和盆地。在各大陆中，亚洲是山地最多、最高的，平均高度为 950m，比全球陆地平均高度 (875m) 高出 75m。青藏高原的平均海拔在 4000m 以上，海拔为 8844.43m (据 2005 年 10 月 9 日中国国家测绘局公布的测量结果) 的世界最高的珠穆朗玛峰就在号称世界屋脊的青藏高原南侧。

地球表面另外的 70.78% 为海水所淹没，平均深度为 3908m，这个海洋盆地面积达 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，主要是由大陆边缘 (包括浅海大陆架、大陆坡和大陆基，共占海洋面积的 22.3%)、洋脊 (被海水淹埋的山脉，占海洋面积的 32.8%) 和大洋盆地 (海水平均深 4000 ~ 5000m，占海洋面积的 44.9%) 等所组成，可划分为既相连、又相对独立的太平洋、大西洋、北冰洋和印度洋等，它们为大陆、绵亘的山脉和链状分布的岛屿所环绕。在海洋盆地中，洋脊的分布位置并不固定，大西洋的中部正好存在一条洋脊，以此为轴，两侧洋底地形几乎对称分布，而太平洋的洋脊，则主要发育在其东部边缘地带。在西太平洋，常见链状岛屿—岛弧 (实际上就是些被海水淹没了山体大部分的山脉) 及与其平行排列的狭长深邃的海沟 (深达 8000 ~ 11 000m)，使该区成为固体地球表面地形高差特别悬殊的地带。总之，固体地球的地形表面是相当不平坦的 (见封二)，最大高差达 20km。仔细研究起来，各大洲、各大洋及各种表面形态的出现，都有它内在的原因，这正是我们以后所要探讨的内容。

二、从地球中心说到太阳中心说

“天地之体，形如鸟卵”，即天包着地，好似蛋壳包着蛋黄，这是张衡那个时代中国流行的宇宙模式，与当时在欧洲流行的亚里士多德的地球中心说有相似之处。在亚里士多德的宇宙体系中，天包裹着地，组成一个像水晶球似的天球；地球位于这个水晶球的中心，稳定不动；外边的天分成一层一层，即一个球套着一个球，共有 9 个套层。太阳、月球、水星、金星、火星、木星、土星，分别在里面的 7 个天层里围绕地球转动，亚里士多德把它们统统称为 planet，即行星。在希腊语中，planet 的原意是“游荡者”，所以亚里士多德用这个词来区别它们与被他视为稳定不动的地球。第八层是众多恒星 (star) 的居所，称为“恒星天层”；最外边的这一层是带动所有星辰运动的“原动力天层”。400 多年后，希腊天文学家托勒密 (C. Ptolemy, 90? ~ 168) 在全面继承亚里士多德模式的基础上，补充了行星在被称为“均轮”轨道上围绕地球转动时，同时也在自己的、被称为“本轮”的较小的圆形轨道上转动等内容，使亚里士多德的模式似乎更加合理。亚里士多德和托勒密的地球中心说 (Geocentric theory)，从直观的现象来看，似乎是很有道理的，因而在长达十几个世纪内被人们奉为真理。一是因为在一般人的感觉中，太阳真是好像在围着地球转 (据美国 1997 年的调查，在这个国家里，仍有 27% 的人不知道地球是在围着

太阳转)；再是亚里士多德的权威地位，阻碍了人们去怀疑；第三个原因是这个模式留有空间，让上帝成为推动宇宙星辰运动的“第一推动力”，符合当时在欧洲起着统治思想作用的教会的需要。13世纪时由教会编印的《神学大全》中，地球中心说被宣布为与宗教教义具有同等的地位。

在天文学家的观察中，早已发现那些“游荡者”并非个个都在按亚里士多德、托勒密规定的轨道运行，它们之间相对的位置时有改变。到哥白尼(N. Copernicus, 1473 ~ 1543)出生的年代，天体运行的轨道，已记录到70多个，按照托勒密的方法计算编制的历书，屡屡出现差错。但是人们仍不敢或没想到去怀疑，只是在原有的框架内修补漏洞，终不能自圆其说。哥白尼在波兰的克拉科夫大学读书时，学的是托勒密的宇宙体系；1496年后到意大利继续学习和传授天文学，所学所讲的仍是托勒密的宇宙体系；但随着他对这个体系了解的增多，他对这个体系愈来愈怀疑。他从古希腊人阿里斯塔恰斯(Aristarchus, B. C. 312? ~ B. C. 230)的推测得到启示：不是太阳围着地球转，而是地球围着太阳转。1506年，哥白尼回到波兰，虽然他是牧师，实际上毕生的精力仍用于天文的观测与研究，最终提出了太阳中心说(Heliocentric theory)(图1-2)。他在耗尽毕生精力完成的《天体运行论》^①中宣布：“太阳在万物的中心统驭着；在这座最美好的神庙里，另外还有什么更好的地点安置这个发光体，使它能一下子照亮这个宇宙呢？”

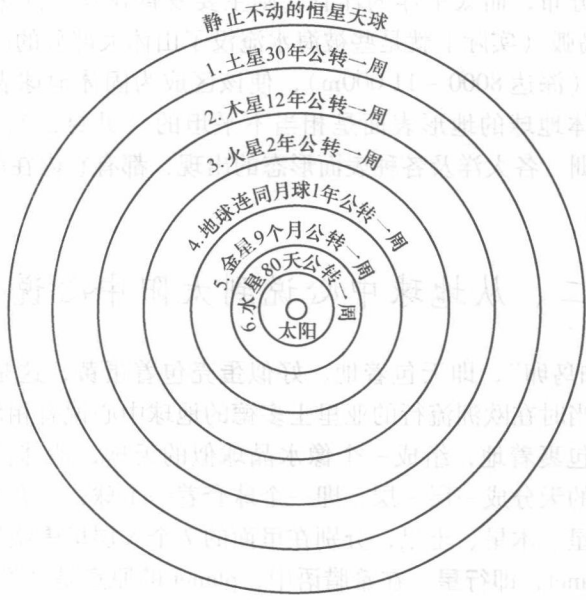


图1-2 哥白尼的太阳中心体系
(据《天体运行论》中译本, 1992)

哥白尼的宇宙体系和他的解释：“首先存在着包罗它自身与万物的由恒星组成的天球。……在运动着的天体中，第一是土星，30年绕日一周。其次是木星，12年一周。再次是火星，2年一周。第四是1年一周的轨道，包含地球，加上本轮式的月球轨道。第五是金星，9个月一周。水星占第六位，80天一周。处在这些行星中间的是太阳。”

① 中文全译本，武汉出版社，1992。