

普通高等院校规划教材

地球系统科学纲要

DIQIU Xitong Kexue Gangyao

夏玉成 李焕同 主编



中国矿业大学出版社

普通高等院校规划教材

地球系统科学纲要

夏玉成 李焕同 主编

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书从地球系统科学的视角,分别以行星地球观、地球物质观、地球历史观、地球构造观、地球资源观、地球环境观为主线,系统地总结了相关领域的基本理论和研究进展。有利于帮助学生树立正确的地球观,同时进一步拓宽、加深对地质科学基本理论知识的认识和理解,学习和掌握地质学领域的最新发展动态,了解最新的研究技术手段。本书内容编排新颖,既系统梳理了分散在地学各分支学科的重要知识点,又反映了进入新世纪以来的研究现状。归纳总结简明扼要,重点突出,便于相关人员学习。

本书可作为地质类专业高年级本科生、硕士生、博士生学习地学基本理论的教材或教学参考书,也适用于地质专业技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球系统科学纲要/夏玉成,李焕同主编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2016.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3229 - 8

I. ①地… II. ①夏… ②李… III. ①地球系统科学

—高等学校—教材 IV. ①P

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 183449 号

书 名 地球系统科学纲要

主 编 夏玉成 李焕同

责任编辑 黄本斌

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 262 千字

版次印次 2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

地球系统科学是研究地球系统整体的结构、特征、功能和行为的科学,是全球变化的基础理论。其科学目标在于阐明自然和人为驱动力与地球系统变化相互作用的规律和机制;揭示地球系统整体演变的规律和机制;建立地球系统变化趋势的预测理论和方法,以及地球系统变化的调控理论和方法。地球系统科学并不能代替传统地球科学各学科自身的发展,相反,要求它们能更深入精确地研究和提供地球系统各组元自身的规律性知识。然而,从研究对象、研究方法、要解决的问题诸方面看,地球系统科学与传统地球科学相比具有许多全新的特色和更高的层次,是20世纪末和21世纪最受人们重视的新兴科学之一。

本书站在地球系统科学的视角,分别以行星地球观、地球物质观、地球历史观、地球构造观、地球资源观、地球环境观为主线,系统地总结了地球与宇宙中其他天体的关系、地外天体对地球的影响、地球物质科学研究进展、地球历史发展规律研究进展、大陆动力学研究进展、中国区域地质研究进展、矿产资源的特点及中国矿产资源形势、地球环境与可持续发展等相关领域的基本理论和研究进展。

本书的编写,充分考虑到近年来地质类研究生的生源状况。为适应不同程度学生的学习,力求系统完整,深入浅出。在帮助学生树立正确地球观的同时,让初学者能尽快掌握地球系统科学的重要知识点,让有一定基础的研究生进一步拓宽、加深对地质科学基本理论知识的认识和理解,学习和掌握地质学领域的最新发展动态,了解最新的研究技术手段。

本书是西安科技大学研究生规划教材之一,是在研究生院、地质与环境学院领导和有关教师的大力支持下完成的。十多年来,本书第一作者一直担任地质资源与地质工程学科研究生学位课“地质学新进展”的教学工作,历届研究生,包括部分工程硕士,积极参与教学研讨,为本书内容的不断完善作出了重要贡献。在本书出版之际,谨向为本书的编写与出版工作给予支持和帮助的所有单位和个人,以及参考文献作者致以最诚挚的感谢!

由于编者学术水平和精力所限,书中难免存在错误或不当之处,真诚欢迎同行专家与广大读者批评指正。

作 者

2016年6月

第一章 绪论	1
第一节 地学发展的三大阶段.....	1
第二节 现代地学的学科体系.....	6
第三节 现代地学的特征	11
第四节 地学学科发展的主要背景	13
第五节 地学发展趋势与战略重点	14
思考与讨论题	17
第二章 行星地球观	18
第一节 宇宙和太阳系	18
第二节 太阳系和地球起源假说及发展	40
第三节 宇宙模式	42
第四节 地外天体对地球的影响	48
思考与讨论题	48
第三章 地球物质观	49
第一节 地球的物质组成	49
第二节 地球的物理性质	57
第三节 地球的圈层结构	61
第四节 地球的内能及地内物质运动	64
第五节 地化异常及其意义	66
第六节 地球物质状态研究新进展	66
第七节 地球物质科学研究的新进展	68
第八节 沉积学新进展	70
思考与讨论题	73
第四章 地球历史观	74
第一节 地球演化的时间尺度	74
第二节 高分辨率地层学(事件地层学)	79
第三节 人类对地球演化规律的认识	81
第四节 生命的起源	87
思考与讨论题	92

第五章 地球构造观	93
第一节 岩石圈和软流圈	93
第二节 板块相对运动和板块边界	96
第三节 岩石圈主要构造类型及其基本特征	98
第四节 中国区域地质概况	105
第五节 中国现代构造格局	109
第六节 中国区域构造演化及其主要特点	111
第七节 地球构造观的形成与发展	115
第八节 大陆岩石圈流变动力学研究进展	118
第九节 中国构造地质学的发展与机遇	123
思考与讨论题	124
第六章 地球资源观	125
第一节 资源及其分类	125
第二节 矿产资源及其分类	126
第三节 矿产资源成因类型	129
第四节 燃料能源矿产资源	131
第五节 金属矿产资源和非金属矿产资源概况	139
第六节 矿产资源的特点及中国矿产资源形势	140
第七节 海底黑烟囱地质成矿作用	141
思考与讨论题	144
第七章 地球环境观	145
第一节 环境的概念和特点	145
第二节 人类活动与环境灾变	147
第三节 地球环境存在的问题及其危害	150
第四节 环境问题对策	154
思考与讨论题	156
参考文献	157

第一章 绪 论

广义地质学是以固体地球的物质组成、结构和演化为研究对象的科学。地质学所讨论的范围包括地表地文特征和矿物、岩石的研究,并且努力阐明现在正在进行的、历史上曾经发生过的和将来要发生的地质作用及其对地球的改造过程。

地球科学家们用 200 年左右的时间建立了广义地质学的理论体系,这个科学体系使我们可以从宏观的全球背景上去认识行星地球,可以使我们从分子和原子的尺度上去认识微观的物质存在与运动以及它们在地球整体框架中所表达的物理化学体系。

第一节 地学发展的三大阶段

地学是一门最古老的科学,同时也是最年轻的科学。

地学的发端相当古老,在遥远的古代,人们从对地震灾害和火山喷发的观察,到对河流的改道和洪水泛滥的记载,积累了大量的地球科学各方面的丰富知识,形成了最早的地球科学的萌芽。

闻名世界的四大文明古国,对地球科学都有过重大的贡献。在古巴比伦的陶片上,描绘着世界最早的地图;在古印度的文献中,记载着恒河三角洲的成因;在中国古老的《易经·系辞》上,中国古代的学者早就提出了“仰以观于天文,俯以察于地理”;而古埃及人早在公元前 2000 多年前就提出了地球上曾经发生过大洪水的灾难,这不仅是后来《圣经》中诺亚洪水传说的来源,同时也是人类第一次提出的地球上的大规模的灾难。

地学的理论相当年轻,包括著名的“大陆漂移说”在内的许多理论至今也没有发展成为真正成熟的理论,仍然不过是一种假说。

一、博物态科学时代——朦胧地学阶段

自人类在地球上出现以来,就在与地球打交道的过程中萌芽和积累了地学知识。有五千年文明史的中华民族对地学现象早有认知。

欧洲“文艺复兴运动”以前可归为朦胧地学阶段。在此漫长的岁月中,关于地球的研究都集中在地球表层,均属于古地理学的范畴。古代,从人类的直觉以及因社会需求而发展起来的地质、制图、矿冶、地震等粗浅的知识和“沧海桑田”之变的观念,可以看作是包含在古代“博物态科学时代”或“自然哲学时代”中朦胧地学的一些萌芽。

在古希腊时代,对地质变化的最早记载是古希腊哲学家柏拉图(Plato,公元前 427~公元前 347)的《克利蒂亚斯》(图 1-1)。按柏拉图的描述,在地中海海岸不远处有个美丽的岛国——亚特兰蒂斯,早在古希腊文明出现之前,这个岛国就已非常发达:“商船聚积,人声喧嚷,不分昼夜,热闹非凡。”但由于这里人们的生活过于腐化、堕落引起了神的强烈不满,于是引发了强烈的地震、洪水和火山喷发,一夜之间这个岛国就沉没了海底。

最早对各种复杂的地质现象进行解释的是柏拉图的学生——古希腊最伟大的学者亚里士多德(Aristotle,公元前384~公元前322),如图1-2所示。

亚里士多德写了一本《气象学》,将当时有关地球科学的知识进行了整理。明确提出地球是不断变化的,“地球的变化所需要的时间是我们的一生所不能比拟的,所以这种变化常常被人们所忽略。在大灾害以后因为人类的迁移,很多过去发生的事情也就被遗忘了”。

亚里士多德也明确地提出古代发生过大面积的洪水,给人类带来了极大的灾难。他还是第一个提出海陆变迁的人,认为地球上海洋与陆地的分布也是不断变化的:“陆地与海洋的分布不是永恒的,是过去的陆地变成了海洋”。

公元前212年,阿基米德(Archimedes,公元前287~公元前212)被罗马士兵杀害,罗马人征服希腊;又过了几十年,出兵占领了美索不达米亚平原,巴比伦文明不复存在;公元313年,罗马皇帝君士坦丁一世(Constantinus I Magnus,272—337)颁布《米兰敕令》,使受迫害、受歧视的基督教获得合法地位;公元392年罗马皇帝狄奥多西一世(Theodosius I,346—395)宣布基督教为罗马帝国国教,禁止其他宗教活动。公元640年阿拉伯人征服了埃及,给残存的希腊文化以最后的打击。从公元5世纪到公元15世纪,将近千年之久的时间里,整个西方甚至包括阿拉伯在内的全世界大部分地区几乎全处于愚昧落后的宗教和神学的统治之下,这就是东、西方历史学家所说的“黑暗的中世纪”。

然而,在这一时期,中国自然科学经过三个高峰期(公元前800年到公元200年前后的春秋战国时期、汉隋、盛唐到宋元),在这2000多年的时间里,在数学、物理、化学、天文、生物、地质、医学以及其他科学技术领域中达到世界最高水平。先秦时期,在《山海经》等14部著作中就涉及了矿产、矿床、矿物药学、宝玉石、自然地理、土壤、水文与水利、地图等许多方面的内容。以《管子·地数篇》为例,其中就专论了金属矿床的共生关系:“山上有赭者,其下有铁;山有铅者,其下有铋银;山有丹砂者,其下有铋金;山有磁石者,其下有铜金。此山之见荣者也”。北宋的沈括(1031—1095)在《梦溪笔谈》中对近千年的科学技术成果进行了杰出的总结和发展,把我国古代科学技术水平提高到了一个崭新的阶段(图1-3)。

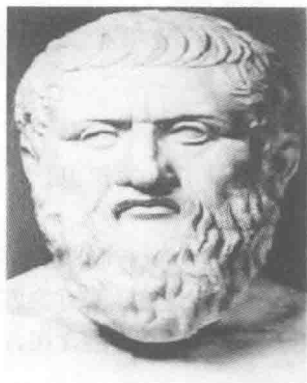


图 1-1 柏拉图



图 1-2 亚里士多德



图 1-3 沈括

沈括在《梦溪笔谈》中写到,根据从陕西延川地下挖出竹林(实为中生代新芦木化石)判断,在旷古以前,这里曾低洼潮湿,适宜竹子生长;“……(太行山)山崖之间,往往御螺蚌壳及石子如鸟卵者,横亘石壁如带。此乃昔之海滨,今东距海已近千里,所谓大陆(华北平原)者,

皆淤泥(甘陕地区的泥沙由黄河携带至此)所湮饵(堆积而成)。”

沈括“将今论古”的思维方法较赫顿(James Hutton, 1726—1797, “近代地质学之父”)早约 700 年,他关于化石和海陆变迁的认识较达·芬奇(Leonardo Di Serpiero Davinci, 1452—1519)1517 年手稿早 400 年。

但这一阶段只是反映了一些地学现象,主要有矿、矿石、地理、地貌、地形、水文、地震、天文、气象等。地理学的主流是“博杂派”(没有专门的学科分类且论述的内容比较庞杂如各种地方志),如我国春秋战国时期的《山海经》、《禹贡》、《尔雅》等及后魏郦道元的《水经注》等;另一流派可称为“宇宙派”(研究范围比上一学派较广且有近代的科学研究方法),这方面最早的著作是埃拉托色尼(Eratosthenes, 公元前 273~公元前 192)的《地理学》,首先用几何方法测出了地球经线大圆长约 40 231 km(实际约 40 006 km)。我国北宋沈括所著《梦溪笔谈》中不少观点也属于“宇宙派”。

在这一阶段出现的观点和地学知识都具有零散的、朴素的、直观的甚至带有某些猜测和思辨的性质,限于历史条件还不能形成系统的理论,谈不到具有学科意义,更构不成科学体系。

二、解析态科学时代——近代地学阶段

随着 14~16 世纪的欧洲“文艺复兴运动”,人们的思想开始从神学思想的禁锢中解放出来。近代科学:数、理、化、天、地、生六大领域得以分立,并在显微镜、望远镜等多种观测、实验手段的推进下,各领域都在本领域的学科分解和建设方面作出了巨大的贡献,总体创建了“近代解析态科学时代”。

1543 年波兰天文学家哥白尼(N. Copernicus, 1473—1543)发表了《天体运行论》(图 1-4),以“日心说”取代了“地心说”(图 1-5)。

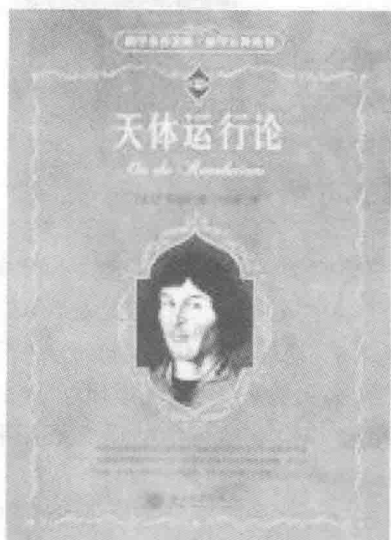


图 1-4 哥白尼的《天体运行论》

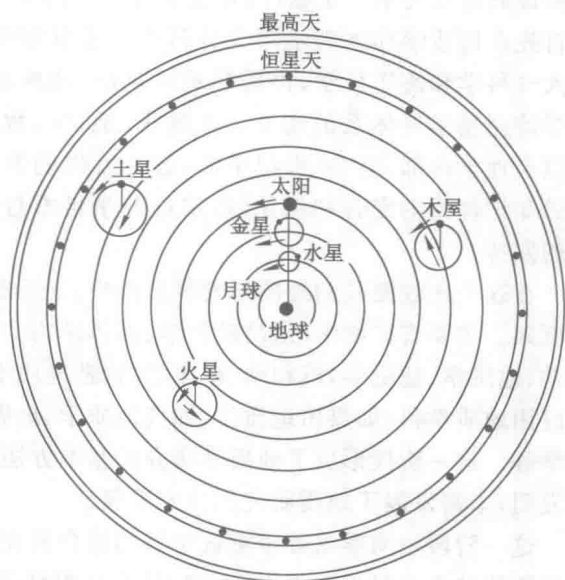


图 1-5 托勒密地心体系简图

1669 年斯蒂若(Nicolas Steno, 1638—1686)提出了地层的“原始水平定律”和“地层层

序律”，地质学开始从地理学中分出。



图 1-6 牛顿

1687 年牛顿发表了《自然哲学的数学原理》(图 1-6),用万有引力定律解释了开普勒的行星运行三定律,“天文学”开始形成。

地质学作为一门科学的出现,是在进入 18 世纪以后,受社会变革和产业革命直接推动的结果。当时工业迅速发展,对原料基地和矿物资源提出了更多的需求,致使许多自然科学家改变传统的工作方式纷纷走向大自然进行实地勘察,地质学则在这种条件下应运而生。地质学作为一门新的学科,最先是三个方向上发展起来的,即矿物学、古生物学和地层学。这三个部分,构成了作为当时地质学三大理论支柱的静态地质学、历史地质学的基础,后来英国地质学家莱伊尔又丰富完善了动态地质学,从而形成了经典地质学的理论体系。

1795 年英国地质学家赫顿(J. Hutton, 1726—1797)发表《地球学说》,以超自然神力的灾变论为主导的地质史观被以地质进化论(均变论)为主导的地质史观所代替。这是地质观念的一次根本性变化,是地学发展的一次革命。

莱伊尔,曾译赖尔(Charles Lyell, 1797—1875),英国著名地质学家,科学地质学的奠基人(图 1-7)。以 19 世纪 30 年代初出版的莱伊尔的《地质学原理》为标志,经典地质学发展成熟和完全独立,从此以后地学进入了蓬勃的科学发展时期。

近代地质学,特别是工业革命以来的近代地学,以服务于矿产资源的需求为第一主题,同时受学科发展内动力的导向,使地学首先在地质学和地理学两大分科获得支脉繁衍的发展,随后是大气科学和海洋科学,再后是地球化学、地球物理、日地空间科学等完整学科体系的建立。上述天、地、生、数、理、化六大学科以至地学内部,至 20 世纪中叶,各自发展的着力点主要在各自的知识体系的完善和细化,以求细分学科本身的完美和细功能的发挥。



图 1-7 莱伊尔

在这个比较漫长的地质学发展阶段中,先后形成了一批地学学科,构成了地学科学的基本框架。主要有矿物学(结晶矿物学、晶体矿物学)、岩石学(水成岩、火成岩、变质岩)、古生物学、地层学、地史学、沉积学、矿床学、构造地质学、地球化学、地球物理学等,同时产生了一批应用地质学科,如煤田地质学、油气地质学、地震地质学、水文地质学、工程地质学、矿山地质学等。这一阶段形成了地质学研究的基本方法,同时借鉴其他自然科学的研究成果和技术发明,丰富发展了地质研究的技术手段。

这一阶段地质学家逐步重视学科的综合研究和交叉渗透,产生了一些在一段时期具有主导地位的学术思想。如以“地槽说”为代表的固定论。19 世纪末和 20 世纪初叶,出现了活动论的学术思想,并酝酿着固定论向活动论的巨大转变。但总体上说,这一阶段的地学科学研究对象主要是大陆,是站在大陆上谈全球问题,而没有顾及占地球表面 3/4 的海洋。

至 20 世纪 30 年代,地球整体的基本圈层结构才得以最终确立,把从太阳至地心的日地

空间分为高空圈、大气圈、水圈、生命圈、土岩圈、地壳、地幔、地核。近代地学在强调以研究对象为主的科学分科思想下,逐步建立和发展了日地空间学(以太阳为对象)、物理学(高空圈)、大气学、海洋学和陆地水文学、地理学(生命圈)、地质学(土岩圈、地壳)、地球物理学(地幔)、地球化学(地核)。

在这一阶段,地质学在激烈争论中发展:

第一次是“水成论”与“火成论”之争。魏尔纳(A. G. Werner, 1750—1817)提出一切岩石都是在水中形成的。火成论的代表是赫顿,其于 1795 年出版了《地球理论》一书,到 18 世纪末形成了“火胜水败”的局面。

第二次是“灾变论”与“渐变论”之争。“渐变论”倡导者莱伊尔出版了《地质学原理》巨著,提出了“现在是理解过去的钥匙”(将今论古)的著名原理。达尔文(C. R. Darwin, 1809—1882)将莱伊尔的方法与生物演化的观测事实相结合,出版了《物种起源》一书,建立了“进化论”学说。至此在地球科学的发展史中,实现了赫顿-莱伊尔-达尔文的地球科学革命,否定了居维叶(Georges Cuvier, 1769—1832)于 19 世纪上半叶提出的“突变论”。

第三次是“固定论”与“活动论”之争。“固定论”是地质学的传统理论,“活动论”的代表人物是魏格纳(Alfred Lothar Wegener, 1880—1930)(图 1-8),其于 1915 年出版了《海陆的起源》一书,这实质上是向“固定论”提出了挑战,因而遭到了传统势力的猛烈攻击。到 20 世纪 30 年代似乎传统的“固定论”取得了胜利。到 20 世纪 60 年代随着新事实的发现,“活动论”战胜了“固定论”。但“活动论”所依据的事实亦有值得推敲之处。



图 1-8 魏格纳

近代地学时代以认识地球各种物质相态的展布及其地史变动规律为主,以比较单一的社会需求——资源、能源为社会导向,同时地学的技术和方法学的发展也才刚刚起步。所以自然地形成了那个时代的封闭性学科组合。

至 20 世纪初,地球科学的分化速度达到了高峰。地球物理、地球化学、气象学、海洋学等相继被从母体学科中分离出来。人们对地球的研究愈来愈专门和细致,取得了前所未有的突飞猛进。但事物总是“一分为二”的,随着学科的进一步细化,各门学科本身的一些深层次问题(如气候学中的气候预测问题),仅靠本门学科已无法得到解决。于是学科之间的相互渗透、相互融合悄然出现。所以说事物是在矛盾中不断发展的,地质学也不会例外。

如今是现代地学时代的初创阶段,既要考虑近代地学学科框架的继承发展的必要性,更要体现现代地学科学使命的导向性。

三、综合态科学时代——现代地学阶段

“天下大事,合久必分,分久必合”,地球科学的研究史似乎也遵从这一规律。20 世纪 50 年代以来(或许也可用 1957 年首次人造地球卫星上天作为标记),人们的眼光豁然开朗,各种交叉学科不断涌现,标志着综合态科学时代的到来。

第二次世界大战以后,人类共有的愿望是和平,是发展;以应用于军事科技为特征之一的现代高新技术如“雨后春笋”般涌现;人口爆炸引致人类生存与自然之间矛盾的空前尖锐而亮出“资源、环境、灾害”三张黄牌;这些强大的科学基础和社会动力,都促使近代地学发生

一系列重大变化,一个由解析态近代地学进入综合态现代地学的新时代已经开始。

20世纪初,魏格纳《海陆的起源》一书的发表,吹响了地学革命的号角。到20世纪60年代,人们彻底放弃海陆位置固定不变的思想,接受了地球表面有大规模水平位移的新思想,形成了现代地质学以活动论为指导思想的、以地球动力学-固体物理地质学-化学地质学-生物地质学为主要骨架的新的理论体系。

20世纪中叶,海底扩张说和板块学说的建立,是地球科学观念的根本变革。它改写了长期以来以大陆地质为主要研究对象的地质学历史,把大陆与海洋以及深部地质、前寒武纪地质都囊括在其研究领域之内,开拓了地球整体性、综合性研究的新时代。

在这一阶段,地学学科有了很大的发展。传统的地学学科依然保持着旺盛的生命力,继续成为地学发展的重要基础学科。同时新兴、交叉、边缘学科大量涌现,有的很快成为加速地学发展的骨干支撑学科。譬如,地球物理学与应用地球物理学、同位素地质学、遥感地质学、地球化学、地震地质学、地热地质学、数学地质学、大地测量学、古地理学、海洋地质学、地质力学、高温高压实验、超深钻探技术及其他地球探测技术等。同时产生了一些以跨学科综合研究为特点的横断学科,如板块构造学、深部地质学、前寒武纪地质学、第四纪地质学等。

值得特别指出的是,进入20世纪90年代以来,地球科学研究的主体和客体均发生了比较明显的变化,预示着地球科学发展进入了一个新的时期。地球科学研究的主体比较强烈地受到了世界新技术革命的影响,大量掌握了信息科学、系统科学的基本思想和方法,开阔了研究视野,充实了更为尖端先进的高科技手段,使得我们对地球的研究有可能深化。地球科学的客体在从大陆延展到海洋,从地表延伸到深部的同时,也从资源延伸到了在可持续发展思想指导下的资源、环境、灾害等与人类社会协调发展的问题。

20世纪80年代后期,地球科学家提出了“地球系统”的概念。这是地球科学各分支相互融合的最高层次。相信今后相当一段时间,“地球系统科学”是地学研究的主流,当然它并不排斥各分支学科继续深入解剖本学科的难题,因为二者是相互促进的。

第二节 现代地学的学科体系

科学体系是指人们对某学科领域认识或探索的基础上,依据已经认识的一些规律之间的联系,建立起来的一个由概念、公理、规律(定律)以及分支学科所构成的一个系统。

显然,地学是自然科学的一大分支,构成一个相对独立的科学体系(图1-9)。由于我们对地学科学的认识和探索的深度是随着时间发展的,因而对于地学学科体系的归纳、总结和定义也是随着认识程度的加深而不断深化的。

“地学”的概念:在近代地质学阶段,是指“地质科学”,20世纪中叶以来是指“地球科学”,在20世纪90年代以来,则是指“地球系统科学”。如图1-9所示,随着人类社会和科学技术的发展,地学的内涵和外延已经发生了重大的变化。

一、地质科学

在20世纪中叶以前,地质研究的主要目的是满足人们认识地球的欲望以及工业迅速发展对原料和矿物资源的需求,由于技术条件制约,研究范围比较局限。地质科学从莱伊尔时代诞生到20世纪初形成了以古生物学、地层学和矿床学为核心的传统地质科学体系,但是完整的传统地质科学体系构建于20世纪30~40年代,出现了古生物学、矿床学、地层学、矿

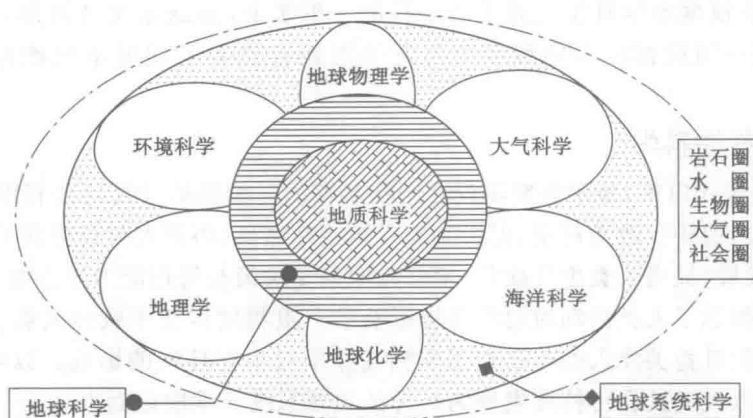


图 1-9 地学系统中各主要学科领域关系示意图

物学、岩石学和构造地质学为核心学科的新体系。

二、地球科学

20 世纪中叶至 20 世纪 90 年代,地学突飞猛进,以地球为研究对象,包括环绕地球周围的气体(大气圈)、地球表面的水体(水圈)、地球表面形态和固体地球本身。地球科学空前地加强了对日地空间、地球深部、海洋和极区的探索,形成了较为完整的、以“上天、入地、下海”为特征的、内容丰富的学科知识体系,大大提高了对地球的认识;开创了以解决重大科学问题为导向、时空尺度复杂多样(从矿物的原子到行星地球,从瞬间地震过程到几十亿年地球演化过程)、多学科交叉综合和广泛应用高新技术的研究格局。地球科学及其各分支学科的成就,为人类社会的进步创造了辉煌的业绩。生物的起源与演化、生物体与生存的地球环境之间的关系也属于地球科学的研究范畴。它不仅承担着揭示自然界奥秘与规律的科学使命,同时也为生活在地球上的人类如何利用、适应和改造自然提供科学的方法论。

地球科学目前主要包括地质学、地球物理学、地理学、气象学、水文学、海洋学、土壤学、环境地学等学科。其中,地质学由于其研究领域广博、分支学科较多,并且以研究地球的本质特征为目的,因而成为地球科学的主要组成部分。它和人类的生活息息相关,人们手上所戴的黄金饰品和钻石,都是来自地球的矿产资源;建造房子所用的砂、石、水泥,其原料也是来自地球;所吃的鱼虾,大都取自海洋;气温的变化影响生活甚巨;天体的运行,也时时刻刻影响着人类的生活。

地球科学的任务在于认识地球和揭示其他天体对地球影响的基本规律,揭示人类活动与地球环境相互作用的效应,从而为人类社会可持续发展提供充足的自然资源,防治和减轻自然灾害,保护和优化人类生存环境提供理论基础;为国土整治、大型工程建设及制定国家经济和社会发展规划提供基础知识和资料;为探索地球与天体起源、生命与人类起源、人与环境相互关系的演变等重大基础理论问题提供科学依据。

经过 100 多年的发展,大气科学、海洋科学、地质科学、地理科学、地球物理学、空间科学等地球科学分支学科已经形成了各自完整的独立学科体系。但是,随着研究的日益深入,各分支学科都愈来愈认识到学科之间交叉的重要性和必要性。但是,这种交叉和

结合都还只限于根据本学科发展需求来进行的。事实上,地球系统各圈层本来就是有机结合的整体,任一圈层都在不同程度上与其他圈层存在着不同时空尺度的相互影响和制约。

三、地球系统科学

20世纪90年代以来,地学研究不仅在维持足够的资源供给及其持续利用、减轻自然灾害所造成的损失,保护和改善环境、促进生态系统良性循环、协调人与自然的关系、保障经济和社会的整体发展、提高人类生活质量、增强政府科学决策与管理能力等方面做出了重大贡献,而且深刻地揭示了人类活动对自然环境影响的严重程度以至于威胁人类自身生存的事实,从而引起人们日益关注人类与自然因素相互作用对生存环境的影响。以对地球的整体性研究为特征、以人类社会可持续发展为目标的地球系统科学应运而生。

地球系统是由近地空间大气圈、水圈、冰雪圈、固体地球圈(岩石圈、地幔和地核)和生物圈等自然圈层紧密关联的整体,太阳系等天体对地球系统具有明显的能量、物质、动量和信息的交换作用,它们形成了地球系统的自然驱动力。现有资料分析表明,在外部驱动力作用下,地球系统沿着自然规律所确定的轨道不停地向前发展,其变化是非各态历经的,状态是永不重复的。地球系统的演变就称为全球变化。其状态演变的相空间轨道称为全球轨道。

以文字形式最早提出地球系统科学思想的是美国宇航局(NASA)。1983年该局为研究全球环境特别是气候变化,计划对地球各圈层物质能量运移规律进行系统监测,为此设立了地球系统科学委员会,并于1988年出版了《地球系统科学》一书,但因缺乏对地球系统科学理论的全面阐述,也未给以定义。在麦肯齐氏(F. T. Mackenzie)等(1995)出版的专著《我们变化着的星球:地球系统科学和全球环境变化导论》后附录的词汇解释中,地球系统科学被列为单独条目并定义为:将地球作为一个整体来研究的全部知识,对地球的气圈、水圈、生物圈和岩石圈中的各种作用及各层圈间相互作用进行的研究。

地球系统科学是研究地球系统整体的结构、特征、功能和行为的科学,是全球变化的基础理论。其科学目标在于阐明自然和人为驱动力与地球系统变化相互作用的规律和机制;揭示地球系统整体演变的规律和机制;建立地球系统变化趋势的预测理论和方法,以及地球系统变化的调控理论和方法。实现这个目标对指导人类社会可持续发展具有重大科学意义和应用价值。

只有这样才能真正深化对地球的研究,也只有如此才能回答人类所面临的一系列地球系统行为的紧迫环境问题。这样一种眼界和观念的转变,标志着从传统地球科学观念向地球系统科学的转变。这种转变的实现有双重背景:一是地球科学各分支深入发展的必然要求;二是人类面临全球性可持续发展的重大问题。空间对地观测技术和信息科学技术的突飞猛进开阔了人类的眼界,大大提高了人类认识地球的能力,这是向地球系统科学概念转变的另一重要背景。

现代技术,尤其是空间技术和大型电子计算机的发展,使对地球的整体探索成为现实;地球科学许多分支学科自身的成熟,促进了各学科之间的相互联系和相互依赖,当代地球科学正从以学科分支为主体转向学科间大跨度交叉渗透研究地球系统的新时代。地球系统科学旨在研究包括自地核到地球外层空间十分广阔的范围内地球系统各组成部分、各圈层之间复杂的相互作用过程,以及控制这些过程的机理,从而要求地球科学必须与生命科学、化

学、物理学、数学、信息科学以及社会科学相结合,认识地球演化历史,并建立全球环境变化预测的科学基础,以改善人类生存环境,使社会经济保持持续发展。

地球系统科学并不能代替传统地球科学各学科自身的发展,相反,要求它们能更深入精确地研究和提供地球系统各组分自身的规律性知识。然而,从研究对象、研究方法、要解决的问题诸方面看,地球系统科学与传统地球科学相比具有许多全新的特色和更高的层次,是20世纪末和21世纪最受人们重视的新兴科学之一。

1. 地球系统科学的研究内容

地球科学各分支学科的研究成果显然是地球系统科学发展的丰富养料和基础,但地球系统科学研究有与各分支学科不同的独立内容,它们基本上可分为以下几方面:① 外驱动力和地球系统的相互作用;② 层圈界面动力学;③ 地球系统演化规律与机制;④ 地球系统动力学模式;⑤ 地球系统未来变化趋势的预测;⑥ 地球系统变化的调控。

2. 地球系统科学研究的重要支撑

(1) 地球系统集成数据库

地球科学已经积累了大量的地球系统各层圈定量的历史演变资料,这些资料具有不同的时空尺度分布,获取的方法和手段各有差异,并具有不同的测量精度。只有对这些资料进行统一规范下的同化、融合和集成,才能用于地球系统科学研究。因此,建立地球系统集成数据库是进行地球系统科学研究所必需的。

(2) 地球系统探测网和综合科学试验

以大自然为实验室进行科学观测实验,系统地、不间断地提供统一规范的观测实验资料,是地球科学研究的基础支撑。地球系统科学所要求的不仅是地球系统各层圈分别观测的资料,而是地球系统观测的综合资料。当前国际统一设计的全球气候观测系统(GCOS)、全球海洋观测系统(GOOS)、全球陆地观测系统(GTOS)、正在发展的通量观测网(FLUX-NET),以及美国、欧洲共同体和日本等发展的地球环境卫星系列都是服务于地球系统科学的发展要求。

(3) 地球系统数值模拟实验室

地球系统是一个多维空间系统,代表其状态演变过程是海量时空分布资料以及多维非线性动力方程,采用巨型高速计算机技术进行非线性统计分析和数值模拟是唯一有效的方法和途径。地球系统数值模拟实验室通过与地球系统集成数据库和地球系统观测网提供的资料相结合,将是地球系统科学研究发展巨大的支撑。

3. 地球系统科学的特点

地球系统科学研究思路和方法的应用,对当代地学的发展起到了很大的推动作用。它把原来认为彼此无联系的地球现象联系起来,更深入地揭示了地球上许多作用发生的机理,改善原有模型,为预测各种资源和环境问题提供了新的可能。它已深入推向地学的各个领域,并改变着地学研究的许多传统思路。

(1) 地球现象的远距离互相联系、影响

我国北方黄土记录的中晚更新世多次气候变化,被认为受西风影响,而与1万多千米以外的北大西洋冰山的活动有关。

(2) 内动力和外动力研究一体化

许多地质现象并非单纯的内动力作用或外动力作用的产物,如水库诱发地震、含水层参

与火山活动增强其爆发强度等。把内动力与外动力作用联系起来研究,是地球系统科学的一个重要特征,也是其取得进展的主要支柱。

(3) 地质作用与生物作用研究一体化

除了有机地球化学已涵盖的领域外,各种地质作用常被作为无机过程来研究。由于有机质、微生物相互作用而引起土壤圈、水圈中酸碱度、氧化还原电位等环境条件以及碳、硫、磷、氮和各种微量元素循环的变化,既会促使有用矿产的形成,也会影响生物多样性和人类健康。在这一复杂过程中,已很难把地质作用过程与生物作用过程区分开来,显示了生物圈、岩石圈、水圈、气圈的相互作用,显示了采用地球系统科学的研究思路和方法的优越性。

(4) 把人类活动作为地球系统的一部分

长期以来,人类主要是被动适应地球系统的变化而生存,对地球系统的影响十分微弱而缓慢。随着科学技术和生产力的迅速发展,人类活动对地球系统的影响已经十分显著,并不断加速和扩大,形成了推动地球系统变化不容忽视的人为驱动力。据统计,发达国家平均每人每年需要动用 20 吨岩石,成为一种最强大的“地质作用”。

例如,在研究大气温室气体浓度上升对全球变化的影响时,把人类使用化石燃料、烧制石灰、水田耕作等作为重要因素加以研究监测;反之,也研究试验了大气 CO_2 浓度上升对农作物增产的影响,近年来已形成了温室 CO_2 施肥产业。

地学学科体系及其与其他科学学科的关系见图 1-10。



图 1-10 地学学科体系

第三节 现代地学的特征

一、以全球整体性变动规律作为现代地学的科学主题

“全球构造”和“板块构造”观点的提出是现代地质学变革的先声,它是固体地学内部以地球物理、地质和地球化学为主进行学科小交叉的结晶,展现了地学能够真正开始探索全球尺度整体运动规律的能力,由此产生的科学观念正在重新认识以往地学结论,其思维推理的特点就是全球观和全局观。现代地球科学已经进入从大陆到海洋,从地球表层到地球内部,从显生宙到隐生宙多侧面全方位的整体、综合研究阶段。

二、地学研究从个体到群体、从各自为政到国际合作

地球科学研究从个体走向群体,从各自为政的状态进入广泛的国际合作。

1957~1958年:国际地球物理年计划;

1963~1971年:上地幔计划;

1972~1977年:国际地球动力学计划;

20世纪80年代:国际岩石圈计划。

此外还有:20世纪70年代的全球大气研究计划、国际水文十年、国际生物学计划、深海钻探计划;70年代以来的国际地质对比计划;80年代以来的国际减灾十年、世界气候研究计划、国际地圈-生物圈计划、全球变化中的人类因素计划、国际大陆科学钻探计划、大洋钻探计划、地球深部内层联合研究计划、日地能量计划等。

这些国际合作研究,反映出现代地学问题的全球整体性,计划组织的国际性和科学交叉的总趋势。

三、地学观念从多元到统一

随着活动论和板块构造学说的确立,地质学的观念和思想由多元逐步趋向统一。

四、以学科交叉重组作为切入主题的重要组织方式

1. 基础学科的大交叉

物理学+地学→地球物理学

力学+地学→地质力学

磁学+地学→古地磁学

化学+地学→地球化学

生物学+地学→古生物学

天文学+地学→天文地质学

数学+地学→数学地质

2. 地学分支学科的小交叉

例如,地球物质科学就是这样一门综合性边缘学科,它是在矿物学、岩石学、矿物物理学、岩石力学、地球化学和地球物理学等学科基础上发展起来的。它正在把地球科学家联合起来,运用现代物理学、化学的理论和实践技术,从物质的角度去研究地球,以便对重大的地球演化和动力学问题做出回答。