



# 论现代地学系统思维的理论创新

白 屯<sup>①</sup>

**摘 要** 地学系统思维成为现代地学研究和发展重要的思维背景。从地学系统思维的角度出发,人们关于地球、地球科学和地学研究方法等的观点出现了新的变化,提出了新的问题。

**关键词** 地学系统思维;地球科学;创新

**中图分类号** N 941: P

**文献标识码** A

现代地学系统思维模式是以系统思维的背景对待、研究地球和地球科学的研究模式,是当代科学家以系统思维的方法认识、理解和把握地球客体本质和规律,并形成系统地球科学理论的基本思维模式。<sup>[1]</sup>它的出现标志着地球科学在更加广泛的领域与其它现代科学技术,以及与社会科学和哲学的广泛结合,也是当代人们了解和研究地球客体重要的思维背景。

从历史渊源上看,现代地学系统思维的出现绝非偶然,它经历了近代魏尔纳和弗莱堡学派的地球实在思维方式、赖尔的地球演化思维方式到以魏格纳为开端集 20 世纪地质学革命的理论成果所形成的全球运动思维方式等重要的发展阶段,并且伴随着地球观、地学观、地学方法论等方面的新进展。<sup>[2]</sup>

现代地球系统思维方式的出现,为地球科学在新世纪的发展提供了更为广阔的思维背景,对地球、地球科学、地球科学的研究和发展以及地球科学的哲学等等都将产生重要的影响。从理论创新的角度看,现代地学系统思维在当代人如何认识地球、如何认识地球科学以及思想方法上的新发展都将出现新的变化。

## 1 现代地学系统思维对地球的看法

以系统的观点把握地球是地球科学系统思维方式理解地球的核心,由此而造就了新地球观的基本特征。

### 1.1 地球是一个巨大的系统

必须从系统的和整合的观点出发,研究地球大系统及其子系统,即地球整体及其各圈层内部以及圈层之间的运动变化全过程,形成机制以及可能发生的变化趋势。传统地球科学的各分支学科,多注重研究地球各特殊子系统的内部,及其在特定时间内的结构与作用过程,它们把地球客体划分为不同的部分,而把由研究这些部分所获得的知识的简单迭加当作“地球科学”,由此而出现了针对地壳、地幔和地核进行研究的科学如地质学、地理学、地球物理学和地球化学;针对大气圈进行研究的大气科学;针对水圈进行研究的海洋科学、水文学和冰川学;针对生物圈进行专门研究的生物科学等。地学系统思维方式则要求把地球当作一个行星,打破原有分支学科的局限,从整体上展开研究,从而获得了新的认识结果。

### 1.2 地球是一个演化系统

在地球漫长的历史发展中,时时发生着变化和各種类型的相互作用。现代地球科学系统思维方式认为,地球是一个时刻都在发展变化的演化系统,例如,太阳系的运行速度是 220 km/s,地球的公转速度是 30 km/s,而地表的空气、温度、湿度以及海洋、

<sup>①</sup> 男, 1955 年生, 河北工业大学社会科学系教授, 300130 天津

收稿日期: 2002-04-12

河流、湖泊等都在不停地运动。就连岩石圈也以零到十几厘米/年的速度在进行变位与变形。科学家还发现,地核则具有相当快的转动速度(数万米/年),它的物质成分也在时刻发生着变化。总之,地球时刻都在发生着形式多样、规模程度不一的演化过程。

### 1.3 地球是一个复杂系统

伴随着地球演化的发生,地球内部圈层之间存在着复杂的、形式多样的相互作用过程,长期而多样的作用,导致地球成为一个极为复杂的系统。多样化的相互作用导致了地球系统总体性状、结构与功能以及不同圈层之间相互作用关系的复杂性。这种复杂性的表现我们随处可以发现,例如地球深部密度不同的物质分布与地表及大气圈中的重力分布关系、地表磁场与地核地幔之间转速差异运动的关系等等。科学家指出,对地球系统的复杂性研究将是21世纪地学发展中居战略地位的生长点之一。<sup>[3]</sup>深入了解地球如此复杂的系统演化关系,对于地学实践有重要的指导意义。例如我国科学家在解决世界性的找矿难题时提出了分析地质异常、成矿多样性和矿床谱系三者相互联系、相互影响的内在关系为主要切入点的方法,取得了良好的效果。<sup>[4]</sup>再比如,科学家利用地球不同圈层之间运动和相互影响的关系来分析研究地震、厄尔尼诺等现象的性质和机理也获得理想的结果。<sup>①[5]</sup>

### 1.4 地球是一个临界系统

临界性是处于非平衡态的复杂系统的基本特性之一。研究表明,地貌作为地球复杂系统的重要组成部分,它的形成经历了一个动力学的临界过程。而频繁发生的地震,则是地球自组织临界现象“最干净而最直接的例子”<sup>[6]</sup>。种种迹象表明,地壳也是临界性的,科学家发现,经过亿万年演化的地壳,通过平面构造运动、地震动力以及火山活动已自组织到了一个临界态,地壳已经被建立在一个高度组织着的岩石、断层、河流、湖泊等结构上,因此,地壳具有更容易被我们理解的临界状态。由此可知,复杂的地球系统的临界性是普遍存在的,而且,科学家认为,不仅地球,而且在宇宙的其他地方,也存在着这种自组织的临界性。<sup>[6]</sup>

### 1.5 地球是一个开放的系统

① 地震在发生前几天,由于深部地壳应力积累,逐渐产生微裂隙,放出气体,从而使大气圈底部的空气发生局部的“温室效应”,利用红外线遥感探测的方法,及时掌握热红外异常,可以起到预报地震的目的。此外,立足于地球圈层间相互作用的观点,我国学者提出了厄尔尼诺现象的出现与地幔大规模排气作用有关。

一方面,地球系统自从诞生以来,整个系统与周围环境之间就一直发生着质量、能量与动量的交换,从原始地球在不断接受固体星子反复碰撞和吸积,到不断接受太阳能和宇宙线的辐射等等。另一方面,地球系统在接受来自外界的质量、动量与能量的同时,也在不断地耗散其能量。地球是宇宙中的一个组成部分,它时时刻刻与宇宙发生着相互作用,并由此表现出其鲜明的开放特点。

### 1.6 地球的进化是以自组织的、不可逆的、进化的方式进行的

经过近年来的研究,证明了地球整体经历了从简单到复杂、由低级到高级不可逆的演化过程。例如,根据同位素地球化学的研究成果,富含铝硅酸盐的古大陆的核心主要增生时期为距今30亿~18亿年,即新太古代—古元古代时期,现在所知的大陆地壳基本上都是该时期形成的。在18亿年以前,由于 $U^{235}$ 诱发裂变能和 $Al^{26}$ 辐射能的作用相当猛烈,地球内部的热活动一直比较强烈,物质在垂直方向(地球半径方向)上的分异、对流、迁移等作用都相当激烈。然而,在18亿年以后,即中元古代以来, $U^{235}$ 的诱发裂变能已释放完毕,热能的释放主要依靠较弱的、长寿命放射性元素 $U^{238}$ 、Th和K等,能量显著降低,使地球内部变冷,岩石可塑性变小,导致上地幔的顶部层位和地壳合成一个统一的岩石圈,其刚性程度加大,为后来岩石圈板块大规模地沿地表面水平方向运移创造了条件。<sup>[7]</sup>总之,自从地球形成以来,地球的各个圈层一直处于不断的演化发展之中,这个过程是自组织的、不可逆的和前进式的。

## 2 现代地学系统思维对地球科学的看法

以大系统的观点把握地球科学是地球科学系统思维方式理解地球科学的核心。

### 2.1 地球系统科学的主要任务

是在更大的规模上对地球系统的历史发展过程进行研究。地学系统思维方式认为,了解地球系统的过去和现在是地球科学最重要的任务之一,因为,对地球整体演化发展过程的追溯,不仅关系到对其

现状的把握,而且关系到把握地球的未来。科学家指出,对地球系统整体发展过程的诠释,核心是对发生在地球发展不同阶段及地球发展整体过程统一性的研究,特别是对以几十年至几百年为时间尺度的中间时段的地球发展过程予以重点研究。因为,此时段对于人类社会的生存和发展尤为重要。为此,地球系统科学应当融合地质科学、地理科学、大气科学、海洋科学和地球生物系统的知识,以便认识和把握与人类生存时间尺度相关的地球系统的演化规律。

## 2.2 地球系统科学的主要目标

是在深入把握地球系统整体运动演化规律的基础上,建立新型、统一的地球科学体系,从根本上改变以往人们对地球科学体系特征的疑惑:存在越来越多的分支学科,而没有相应的地球科学整体,以至于长期出现对地球科学体系的线性理解:部分分支学科的迭加等于整体的地球科学。目前正在开展的研究,如探索地球及其大气圈、水圈和生物圈的各种时间尺度上的演化记录、揭示过去大陆的运动规律、建筑古大洋和古大气环流模型的全球古环境和生物演化研究、全球地球化学和生物地球学循环研究、危险性评价和可承受风险水平研究等,都是这方面的积极尝试。

## 2.3 地球系统科学的实质

是从整体上揭示和表现地球运动形式。笔者曾于 1995 年提出地球运动形式的概念和某些思考<sup>[8]</sup>,作为对自然界某一运动形式的揭示和反映,地球科学所揭示的是地球运动形式,这是在前人关于地质科学是对地质运动形式(凯德洛夫,1959,1963)的揭示和反映基础上,在人类对地球科学研究出现了新的变化的基础上得出的结论。建立地球系统科学体系,实质上是从根本上反映和表现了自然界一种人们认识尚不大清楚的运动形式,从而在以往机械运动、物理运动、化学运动、生命运动和社会运动的基础上透视出地球运动的真谛。这是因为,地核、地幔、地壳、地表的海洋、大气与空间以及人类社会,它们既有差别但又源于一体,它们各自有存在的成因机制和演化过程,也有现实的物理、化学动力学和社会科学系统的特征,因而在分门别类地对其进行研究时,不可避免要与各门自然科学和社会科学联系起来。然而,由于地球运动形式和地球系统科学是对地球上存在的各类运动形式及各类科学活动的直接或间接的综合反映,它必然要超越以往的地学

认识,达到更深和更广的水平,从而揭示出地球系统新的本质。

## 3 现代地学系统思维提出的地学哲学新问题

### 3.1 地学研究范式的转变

现代地学系统思维方式认为,自 20 世纪后半期以来,地学研究的范式发生了转变,而且,这个转变是带有根本性的。

第一个转变是地球科学研究的系统性出现了由学科小系统到科学大系统的根本转变。17 世纪末、18 世纪初,地学开始独立,形成了以一门门分支学科如矿物学、矿床学、地层学、岩石学、古生物学、动力地质学、构造地质学、区域地理学、自然地理学、人文地理学、地貌学以及后来产生的天气学、气候学、预报学和海洋生物学、海洋地理学、海洋化学等为代表的学科体系。与此同时,一些地学的先驱人物就已经开始跨出前人即定的思维领域,思考地学对象或地学学科之间的横向联系,例如出现了早期的把地质学与物理学、地理学与生物学、地质学与气象学等相结合的思考,其中,比较有代表性的是德国著名科学家洪堡。20 世纪,随着现代地学的发展,特别是在“地质学革命”发生的过程中,地球科学开始了与其它自然科学更为实质的结合,地球科学已经不再是某一地学分支学科如地质科学的同义语,也不仅仅以有关固体地球及其内部和周围流体为主要研究内容,它应当是关于地球整体及其运动、变化、发展的本质和规律的系统认识,它的分支学科应当包括地球科学史、大气科学、固体地球科学、空间物理学、地球化学、大地测量学、地图学、地理学、地质学、水文学、海洋科学和地球科学其他分支等二级学科以及在其所属之下的至少 94 门三级学科。<sup>[9]</sup>80 年代末、90 年代初,旨在从整体上研究地球系统成因演化作用的地球系统科学浮出水面,从而在一个新的层次上对当代地球科学进行重新整合,成为新世纪地球科学发展的最明亮之点。

第二个转变是地球科学研究的对象系统出现了由非生命科学系统到把非生命科学系统与环境 and 生命科学系统相结合的转变。现代地球科学密切关注着人类所面临的环境、资源、灾害、人口等难题,出现了由以前仅对非生命科学对象的把握到将非生命与生命、非生命与环境、非生命与生态对象的相互关系

的统筹思考和把握。事实上,地球科学思维明显地意识到其与生命科学的对象和与生命科学的研究息息相关是20世纪70年代以后的事情,尽管类似的思想早就出现过。<sup>①</sup>来自美国石油地质学家联合会的调查表明,当代地质学家选择职业时,46%的人选择了与环境研究有关的工作,而只有12%的人选择了与石油有关的职业,此外,9%的人选择了教师工作。<sup>[10]</sup>职业选择是社会需求的反映,也从一个侧面表明地球科学发展的新趋向:地球科学研究不再仅仅是传统意义上关于地球各个组成部分的认识和探究,它已包含或扩大到人们通常所说的环境科学、生态科学、生物科学等与生命系统相关的领域。现代地球科学在处理诸如关于能源与矿产问题、寻找和保护干净的水源、综合治理环境污染、保护生态环境和国土资源以及自然灾害的预报和防治等方面显示出巨大的应用潜力。

第三个转变是地球科学研究出现了由关注自然大系统到关注自然和社会两大系统的转变。现代地球科学正在逐步走出传统非生命的研究对象而扩展到社会,她密切地关注着社会,关注着人类自身的种种行为。因此,现代地球科学与社会科学的联盟是客观要求之使然。当代地学研究对象转向更加贴近人类社会的领域,她把一系列关系到社会发展的重大问题当作自己的研究对象,这是近些年来出现的新趋势。事实上,自从世界范围的资源短缺、环境污染和生态破坏成为与经济的空前高速增长及人口的迅速膨胀相并列的20世纪三大变化以来,世界地学研究的中心就已经开始向治理污染、保护生态环境的方向转移,并由此带动了地学新发展的车轮。维护和改进环境状况,保护人类赖以生存的物质基础,提供更多更好的资源存量和资源储备等等成为地学新的生长点。<sup>[11]</sup>

### 3.2 地学研究方法的横移

随着地学研究范式发生的转变,面对当今地球复杂系统的研究,要求科学家重组科学的固定分野,实现跨越不同学科的大整合,从而促进多学科研究方法的交叉和融合。因此,现代地学研究更加广泛地与当代科学技术与社会相互作用、相互借鉴,并从中吸取大量现代科学提供的研究方法,如非线性研究手段和方法、社会科学的研究方法,使得地学研究方法间的界线模糊,出现了方法横移的倾向。

应当看到,非线性研究方法的大量加入成为20世纪80年代之后发生在地球科学研究领域的重要事件。我们常常可以看到以耗散结构理论、协同理论或者分形理论等研究和解决复杂事件的基础理论处理地球科学问题的例子,一系列新的名词,如自组织、分形、临界态、混沌、突变、有序与无序、熵理论、复杂性和新的方法,如整体论、非线性方法(非线性数学、非线性动力学)、不稳定系统动力学方法、随机方法,以及新的模型,如神经网络模型和新的研究设备,如超大型计算机等正在当代地球科学系统研究中被予以密切关注和使用,并取得了重要的成果。具体来看,地学方法的横移表现为三个特征。一是广泛性。以非线性的思路考虑地学问题已渗透到当今地学从理论研究到应用研究的各个领域,不仅在大规模、基础性地学研究课题中可以看到用自组织理论、分形理论研究的例子,而且在像研究边坡稳定性问题、油气成藏动力性问题等方面的研究中也已屡见不鲜<sup>[12]</sup>。二是工具新。许多非线性地学研究手段往往结合或移植了当前相关领域的最新研究方法,从而取得重要进展。近来,科学家结合信息科学领域的新成果,运用遗传算法研究如何识别地下含水层水文地质参数,取得了较好效果<sup>[12]</sup>。三是与社会科学方法的广泛结合。以第二代环境问题(主要包括臭氧层破坏、气候变暖、酸雨、生物多样性减少等<sup>[13]</sup>)的出现为代表的全球变化是当今人类最关心的重大科学和社会问题之一。为研究该问题,国际科学联合会发动组织了国际地圈生物圈计划(IGBP),即全球变化计划。全球变化计划的目的是深入研究地球系统各圈层内部及相互之间的物理学、化学和生物学作用的过程及其规律,全面了解自然环境的特征及其变化趋势,系统探讨由人类活动引发的环境变化及其已经或将会造成的重大全球变化。这一课题的复杂性的重要意义必然要求科学家用分析和处理复杂巨系统的理论和方法来进行研究,因此,现代地球科学研究方法与社会科学研究方法的结合成为必然。

### 3.3 地学研究方法日益趋向由“硬”向“软”的提升

当今的地球科学越来越注重研究战略的正确选择,决策学或决策理论研究为人们所重视。从现代地球科学研究的全过程来看,在现代地球科学研究

① 例如,在地球与人类的关系方面,希波克拉底(Hippokrates)第一个把人类生活和气象现象结合起来,而中国战国时期的大诗人屈原在其著名的《天问》中也描述了一幅关于自然、社会和人世沧桑相联系的地球知识画面。

的开端,当今的地球科学越来越趋向于提出重大的科学假说和由此而引发的推测为指导;从现代地球科学研究的过程来看,当今的地球科学越来越依赖于正确的研究思路作引导;从现代地球科学研究的结果来看,当今的地球学越来越趋向于用人类的、社会的、经济的和哲学的尺度来解读和评判。地学是为人类服务的,这种服务先是以地学服务于经济建设为切入点,进而发展到保障人类社会可持续发展的高度,如保障资源永续利用的能力、促进资源短缺与经济迅速发展之间矛盾的解决、促进和指导人类社会保持良好的生态和环境、为提高人类预测预防和治理自然灾害的能力提供支持等。由此而出现了如农业地学、医学地学、交通地学、旅游地学、人口地学、城市地学和决策地学等与人类社会存在和发展

密切相关的新兴学科。

所有这些变化都与我们对新型人—地关系的新理解相关。今天的地球科学正在以自己的方式表明着一种新的人地关系,这种人地关系的实质就是把人和地同时归入到一个更大的系统中,因为,无所不在且极大地影响到人类自身生存和发展的人类地质作用、地理作用、海洋作用和大气作用等被统称为人类地球作用的行为已为世人所公认,而且,地球科学和地球科学家也必将在这一大系统中展开自己的工作,一些传统上被认为是研究远离人类社会生活、远离人的直观的科学问题,如地壳深部问题、微观地学问题和史前地质问题等,也在其被赋予了预测自然灾害和寻找新能源、治理环境污染等任务中与人类社会的生存和发展联系到了一起。

### 参 考 文 献

- 1 白 屯. 地学系统思维: 21 世纪地学思维的基本走向. 自然辩证法研究, 2001(11): 15~ 20
- 2 白 屯. 地学思维论纲. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 26
- 3 於崇文. 固体地球系统的复杂性与自组织临界性. 地学前缘, 1998(9): 3
- 4 赵鹏大院士提出“三联式成矿预测”理论. 光明日报, 2001- 05- 31(1)
- 5 杜乐天. 厄尔尼诺会不会发自地幔“呼吸”. 科技日报, 1998- 02- 12(3)
- 6 帕·巴克. 大自然如何工作. 武汉: 华中师范大学出版社, 2001. 87, 101~ 102
- 7 陶世龙, 万天丰, 程 捷. 地球科学概论. 北京: 地质出版社, 1999. 132
- 8 白 屯. 从地质运动形式到地球运动形式. 科学技术与辩证法, 1995(3): 18
- 9 中国国家标准局. 学科分类与代码(GB/T, 13745- 92). 北京: 中国标准出版社, 1992. 56
- 10 Haney Donald C. Wake up geologists!. Geotimes, 1993(2): 25
- 11 白 屯. 关注社会的地学与地学的新发展. 自然辩证法研究, 2000(2): 11
- 12 周光召. 新世纪 新机遇 新挑战——知识创新和高技术产业发展. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 473~ 474, 504
- 13 余谋昌. 创造美好的生态环境. 北京: 中国社会科学出版社, 1997. 49

## The Theoretical Innovations on the Modern Geoscientific System Thinking Mode

Bai Tun

(Hebei University of Technology)

**Abstract** The geoscientific system thinking is the important thinking background in modern geoscientific research development. From geoscientific system thinking, the views of people on the Earth, the geoscience and its research method have changed and it has raised new problems.

**Key words** geoscientific system thinking; geoscience; innovation