

现代科学学科发展的聚散共生规律研究^{*} ——以环境科学体系的建构为例

李春景¹ 徐 飞²

(中国科学技术大学科技哲学部,硕士生¹;教授、博士生导师² 合肥 230052)

摘要 现代科学的学科发展正处于高度分化与高度综合相伴共生的特殊时期,“聚”、“散”共生是现代科学发展的重要特征。通过对环境科学多学科发展、跨学科交融的具体分析,以及相应学科体系建构的宏观考察,试图揭示现代科学聚散共生的基本状况和基本规律。

关键词 聚散共生 环境科学 学科交叉 [中图分类号] G3 X1

从科学发展史上看,学科的不断分化和不断综合,是两种经常起作用的基本趋势,整个现代科学就是沿着综合—分化—再综合的轨迹向前发展的。如今,现代科学正处于高度分化和高度综合相伴共生的新时期,聚散共生已成为现代科学发展的重要特征。某种意义上,散是聚的前提条件,聚是散的必然结果,它们之间的矛盾运动,构成了科学进步的一种新的内在动力。现代科学的聚散共生,就是这样一种科学发展的历史必然。众所周知,新的重大科学突破和学科生长点,往往发生在不同学科的交汇点上。环境科学及其分支学科群体的出现,就是聚散共生关系作用于现代科学发展的一个典型。

环境科学诞生于20世纪60年代,它是在人类认识解决环境问题的过程中逐步产生和发展起来的,是人类社会生产力和科学技术发展到一定阶段的产物。在其产生和发展过程中,环境科学经历了多学科发展、跨学科交融以及学科体系建构这样3个阶段,充分体现了现代科学发展聚散共生的重要特征。本文将环境科学体系为例,运用辩证法的思想剖析其历史演变过程,以期揭示现代科学这一新的发展趋势。

^{*}国家自然科学基金资助项目《学科交叉模式与面向原创的管理》(70271059)的成果之一。

一、深入的发散:多学科分化发展的基本形式

近代科学乃至现代科学的萌芽,首先都是从科学的分化开始的。15世纪后,整个近代科学开始逐渐从囊括一切科学知识的总体系——自然哲学中分离和解脱出来,并衍生出众多的分支学科。从初级的综合状态向深层次分化状态的转变,是近代科学形成的一大标志,同时也是向成熟的现代科学体系发展的重要基础。目前,随着现代科学认识的不断深化,大量分支学科不断涌现,在纵深层次上形成了具有三级结构、包含数千门学科的现代科学知识体系,充分展示出科学分工的细化趋势。科学发展到今天,学科的分化一直发挥着重要的作用,同时也构成现代科学发展的一个重要特征。只有通过分化发散,人类才能对某一个特定问题或现象进行多角度、多方面的深入研究,才能在庞大的学科体系中寻找科学发展的新生长点。在环境科学的发展中,充分地体现了现代科学学科发展分化发散的规律性。

20世纪60年代以后,由于全球气候变暖、臭氧层出现空洞、生物多样性锐减和自然资源日渐枯竭等一系列全球性环境问题竞相出现,环境问题已成

- [18] Niarchos, D. Magnetic MEMS: Key Issues and Some Applications. Sensors and Actuators, A: Physical, V 109 (1-2), Dec., 2003: 166-173
- [19] Chen F, Xie H, Fedder G. K. A MEMS-based Monolithic Electrostatic Microactuator for Ultra-low Magnetic Disk Head Fly Height Control. IEEE Transactions on Magnetics, V 37(4), July, 2001: 1915-1918.
- [20] Ruffin, Paul B. MEMS-based Sensor Arrays for Military Applications. The International Society for Optical Engineering, V 4700, 2002: 111-121.
- [21] Varadan V. K., et al. Smart Structures and Materials 2002: Smart Electronics, MEMS, and Nanotechnology. The International Society for Optical Engineering, V 4700, 2002: 357.
- [22] George, Thomas. Overview of MEMS/ NEMS Technology Development for Space Applications at NASA/ JPL. The International Society for Optical Engineering, V 5116(1), 2003: 136-148.

- [23] 丁衡高. 微系统与微米/纳米技术及其发展. 第四届全国微米/纳米技术学术会议. 上海, 2000: 1-6
 - [24] <http://www.863.org.cn/863-105/applyguide/applyguide2/index.html>.
 - [25] Gregory T. A. Kovacs 著, 张文栋等译. 微传感器与微执行器全书. 北京: 科学出版社, 2003
 - [26] 高世桥, 曲大成. 微机电系统在武器中应用的发展战略研究. 国防研究报告, 2001
 - [27] 高世桥, 马宝华. MEMS技术在引信安全系统中应用的探索性研究. 中国国防科研报告, 1998
 - [28] 马宝华, 高世桥. 抓住MEMS技术带来的机遇, 实现我国引信技术大跨度发展. 中国国防科研报告, 1996
 - [29] 金磊, 高世桥, 李文杰. 微加速度传感器硅微结构设计. 传感器技术, 2000, 19(2): 23-25
 - [30] 金磊, 高世桥, 李文杰. MEMS固态引信硅微结构的力学分析与设计. 兵工学报, 2000, 21(增): 45-46
- (责任编辑 苏青)

为人类社会持续发展的重大制约,发展环境科学显得刻不容缓。在此形势下,不同学科领域的科学家们,开始对环境问题进行联合调查和分类研究。他们在各自的专业背景和原有的学科基础上,分别运用本学科的理论和方法,探讨环境污染和环境退化问题,逐渐形成了诸如环境物理学、环境化学、环境生物学、环境地学、环境医学、环境管理学以及环境法等一系列分支学科。这些分支学科实际上是原有不同学科内部分化的产物,它们试图从不同的角度,运用不同的理论和方法,分门别类地对环境问题进行探讨,从而形成了分门别类的环境科学^[1]。在多学科深入分化的发展阶段,环境科学的各个分支学科把整个环境问题肢解成为一个个专门课题进行独立研究,因此还只是一个多学科的集合,并没有形成完整的学科体系。然而,正是这种高度分化的离散性特征,使得环境科学研究在各自分支领域内相对独立、不断发育,从而形成了环境科学的若干前沿分支学科。典型的如化学理论和方法移植到环境科学的具体研究中而产生的环境化学;运用社会学理论和方法研究环境问题的环境社会学;环境科学、地球化学和工程与技术科学三大学科领域交叉渗透的环境地球化学工程科学;以及以人类社会经济行为与环境系统之间的对立统一关系为研究对象的环境经济学等。

以上环境科学分支学科的深入发育表明,在多学科深入发散的发展阶段,包括自然科学、社会科学、工程技术科学和软科学在内的各领域的专家学者,分别从自己的学科知识背景出发,运用不同学科的原理和方法来研究和解决环境问题,充分表现出现代科学发展的分化性特征。同时,由于不同学科理论和方法陆续向环境科学移植,使环境科学一开始就具备了跨学科的特征,这为后期的学科综合也奠定了基础。在学科充分分化的基础上,各分支学科的重新聚集也势在必行。

二、交叉的聚合:跨学科交融综合的基本途径

现代科学发展的另一特征是相关学科的交叉聚合。进入20世纪后,随着学科间横向联系与渗透的不断加强,传统学科界线不断被打破,现代科学的综合化趋势已逐渐占据主导地位,科学发展交叉聚合的特征也日益凸现。在由散向聚的转变过程中,学科间交叉聚合的机制和形式也非常值得探讨,下面以环境科学跨学科交融的发展阶段为例进行深入分析。

在环境科学的发展过程中,随着研究的深化,人们逐渐认识到人类活动与环境系统的整体关联,不再把环境问题简单地分解成某些单一学科问题的集合进行解决;环境科学也不是诸如环境物理学、环境化学、环境生物学、环境地学、环境医学和环境管理学等一系列分支学科的简单叠加^[2]。因此,各分支学科内部以及分支学科之间开始寻求相互渗透、相互交融的具体途径,努力实现从学科的分散状态向聚合状态的转变,环境科学进入跨学科交融的发展阶段,并形成了自己学科结构体系的雏

形。在这个发展阶段,笔者通过对其诸多分支学科渗透交融现象进行分析,归纳出环境科学不同分支学科之间交叉聚合的3种基本方式,试图揭示学科由分化走向综合的具体实现途径。

1. 多元交叉走向聚合

在环境科学体系中,按照交叉所参与的学科数目多少可以将其分支学科划分为二交叉、三交叉和四交叉的结构形式。其中大部分的分支学科都是二交叉结构形式,如环境物理学、环境化学等。也存在少量的三交叉乃至四交叉结构形式的学科,如环境地球化学和环境地球化学工程科学。在这3种不同的交叉学科结构形式中,又可根据母体学科级别相同与否分为同级交叉和跨级交叉两种情况^[3]。同级交叉是指学科体系内部或者学科体系之间同级学科之间的交叉,如环境生物学、环境医学、环境哲学等。跨级交叉是指非同级学科之间的交叉,如环境空气动力学、环境有机分析化学等。

从环境科学体系的交叉学科间距离的远近可以划分为同体系交叉和跨体系交叉两种情况^[4]。同体系交叉是指一级类大学科体系内的交叉,如环境工程科学。环境工程科学是由同处于工程与技术科学这个一级类大学科体系中环境科学与工程技术基础学科相互作用而形成和发展起来的。跨级交叉就是指跨越这些大体系之间的交叉,如自然科学和工程与技术科学之间的交叉(如环境物理学、环境生物学等)、医学科学和工程技术科学之间的交叉(如环境医学)以及工程技术科学和人文社会科学之间的交叉(如环境哲学、环境社会学、环境伦理学、环境法学等)。此外,在这两种交叉情况中都存在着同级交叉和非同级交叉的特点。如环境地球化学工程科学是同体系交叉类(工程与技术科学)中的环境科学下属的“环境地球化学”这个二级学科和二级学科工程与技术科学基础学科的非同级交叉,是非同级的二-二交叉;环境哲学是跨体系交叉类中工程与技术科学下的二级学科和社会科学下的二级学科哲学之间的同级交叉,属于同级的二-二交叉。

环境科学体系中按照交叉次数的不同又可以划分为二次交叉和三次交叉两种情况。二次交叉指由交叉学科而不是传统的单一学科与其它学科再次发生交叉而形成的新的学科群落。由于环境科学的综合性特征,它的分支学科大部分都是经过环境科学与其它学科的二次交叉而形成和发展起来的二级交叉学科。三次交叉则是在原有的二级交叉学科的基础上进行第三次交叉,环境地球化学工程科学就是一个突出的例子。作为一门三级交叉学科,环境地球化学工程科学是由环境科学与其它学科进行3次交叉形成和发展起来的(如图1所示)。

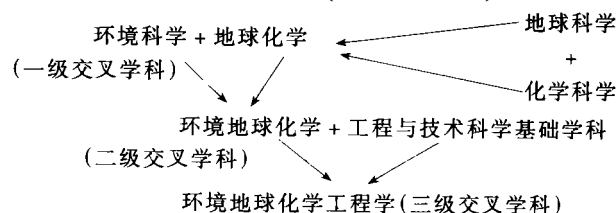


图1 各级交叉学科形成示意图

综上所述,多元交叉是学科从分化走向聚合的

首选途径。

2. 分层交叉走向聚合

同为交叉学科,环境科学及其分支学科在交叉程度上有着比较大的区别。按照交叉程度由高到低排列,环境科学体系的交叉学科类型包括综合学科、软学科和边缘学科3类。

如果将环境科学看成是一门独立的学科而不是一个交叉学科群体的话,环境科学应该归属于交叉学科类型中交叉程度较高的综合学科。环境科学以自然环境与人类社会组成的复杂系统以及它们之间的相互联系作为自己的研究对象,它同时囊括了物理学、化学、生物学、经济学、社会学等多学科的科学认识和科学方法,容纳了如信息处理技术、航天与空间技术、测量技术和遥感技术等各类技术和多种技术的综合体,并包含了不同领域和不同国家的跨学科人才,是一种全方位、协同性的科学。环境科学体系中的其它学科如全球环境学、区域环境学以及聚落环境学等都可以划分到这一类型,它们是环境科学体系中学科交叉程度较高的一类分支学科。

在环境科学体系中,环境管理学可以归属于软学科这一门类。环境管理学是在环境科学与管理科学之间相互作用而产生的一门综合性交叉学科,它以人类的社会经济行为与环境系统之间的对立统一的关系作为自己的研究对象,同时综合运用决策理论、系统方法和计算机科学技术等现代科学技术的知识手段,为实现自然-社会-经济这一复杂系统的协调发展提供科学决策依据。从交叉科学的偏序性来看,环境管理学更偏向于管理科学,具有管理科学的学科属性。因此,把环境管理学划入软学科似乎比把它作为边缘学科更为合理。

在环境科学体系中,庞大的边缘学科群体格外引人注目。与传统单一学科之间交叉而形成的边缘学科有所区别的是,环境科学体系的边缘学科群体是由环境科学这门综合性交叉学科与其它学科发生再次交叉而形成的,我们称之为复边缘学科或大边缘学科,它们实际上是一个广义上的综合性边缘学科群体。从其组成学科的数目来看,边缘学科群体的学科交叉数目有2门(环境物理学、环境经济学等)、3门(环境地球化学)、4门(环境地球化学工程)不等。从组分学科的级别来看,也存在同级交叉与跨级交叉两种情况。如环境法学中,环境科学和法学均属于二级学科;在环境电磁学中,环境科学属于二级学科,电磁学则属于三级学科。从跨级边缘学科的出现可以看出,随着学科交叉的不断深化,学科渗透更加完善,最终的聚合也更容易成功。

3. 交叉聚合机制具有复杂性特征

从环境科学及分支学科的构成方法和组成特点看,各学科交叉聚合的机制也不尽相同。至少表现为以下3种形态。

(1) 单向移植。环境科学同自然科学以及社会科学各门学科间普遍的内在联系,使得其它学科的理论和方法向环境科学领域的移植成为可能。单向移植是环境科学体系中多门交叉学科产生和发展的重要途径,环境化学就是一个典型案例。化学工作者将化学理论和方法移植到环境科学领域,试图

揭示化学物质在环境介质中的存在、化学特性、行为和效应及其控制的规律^[6],缓解或消除它们已造成的危害或者防止可能发生的危害,达到人与自然持续健康发展的最终目的,逐步形成一门从化学科学的角度来研究环境与人类行为的相互关系的新兴交叉学科——环境化学。在环境科学体系中,通过单向移植方式而形成的交叉学科还有环境物理学、环境系统论、环境信息论和环境控制论等。

(2) 双科交融。双科交融是指将两个不同的学科理论和方法彼此交叉、相互融合,从而创立新的交叉学科。与单向移植相区别的是,双科交融的目的在于开拓新的研究领域,促进母体学科的共同发展^[7]。环境经济学就是一个明显的例子。环境经济学是在经济学家和环境科学家共同研究如何以较少的经济代价换取较大的环境效益和经济效益的基础上产生和发展起来的,是生长在环境科学和经济科学两大学科之间空白领域的新兴学科。它以经济发展和环境保护之间的相互关系为研究对象,既是经济学的一个分支学科,同时也是环境科学的重要组成部分。环境经济学的出现使得人类认识到社会发展必须遵循经济和自然生态的双重规律性,体现了经济学和环境科学相互交融的重要特征。

(3) 多元综合。当代科学交叉与融合,不仅是建立二元交叉学科的有效手段,而且还成为多学科交叉的主导思想和操作规范^[8]。多元综合即是指由于研究对象具有的高度的复杂性和综合性,任何单学科甚至是单纯地运用硬学科或软学科,都不能进行深入的研究,必须依靠多学科交汇、融合才能揭示复杂现象的本质,并由此形成综合性交叉学科。综合性是环境科学最突出的特征,很多的分支学科都是通过多门学科综合、交融而形成的。如在研究复杂的火山喷发现象及其对环境和人类活动的影响时,必须综合运用环境科学、火山岩岩石学和大气科学等诸多学科的理论以及“类比-验证”方法、野外考察法、数值算法、模拟实验法和计算机方法等多种研究方法,并因此而产生出一门新兴的综合性交叉学科——火山喷发环境学^[9]。

三、聚散共生:新学科体系建构完善的基本特征

值得注意的是,现代科学发展的聚散是同时并存的,换言之,科学的分化与综合是辩证统一的,它们构成了科学发展的矛盾运动。分化与综合相互联系、相互包含、相互促进,在分化的基础上综合,在综合的前提下继续分化,两者在一定条件下可以相互转化。聚散共生已成为现代科学发展的重要特征,这在环境科学体系的建构中表现得尤为突出。

经过几十年迅猛发展,环境科学已形成由多学科到跨学科的学科群体组成的庞大的学科体系。从分化的角度来看,对环境问题各个侧面和各个层次的深入分析,导致了大量分门别类的环境分支学科,构成了研究环境问题的多学科基础;另一方面,从综合的角度来看,众多分支学科之间的交叉融合以及环境问题本身的整体性和综合性,使得环境科学群体需要从学科形态上形成多学科并存,但又统



图2 环境科学的学科体系

摄于环境科学共同理论基础的逻辑结构体系，从散到聚，聚散共生。

借鉴《中华人民共和国国家标准·学科分类与代码》中环境科学的分类思想^[10]，以及已有研究成果^{[11][1]}，笔者试图对环境科学体系作如下建构。在环境科学庞大的学科体系中，既有着重于对环境科学基本知识理论和方法论研究的学科，又有将基础科学同环境科学相结合的学科，还包括如何实现环境保护的工程技术学科。因此，按照研究内容和研究手段的不同，可以把环境科学分成理论环境学、基础环境学、部门环境学和环境工程学4个学科群体。需要说明的是，图2把一些尚未达到国家规定的学科、具备条件而未能进入《学科分类与代码》的学科也列入其中，以期体现环境科学学科体系的完整性和今后可能的发展方向。

理论环境学主要运用现代自然科学理论（如系统论、信息论、控制论等）和社会科学理论方法，从不同侧面研究环境问题，以建立与现代科学技术发展水平相适应的环境科学基本理论，它是环境科学理论体系中的核心部分。这一学科群体是各分支学科群体发展的理论基础，其目的在于建立一套调整和控制人类与环境之间通过生产和消费活动进行物质能量交换过程的方法和理论，为解决环境问题提供认识论和方法论的指导。

基础环境学是基础科学与环境科学相互作用、

相互渗透而形成的新兴交叉学科群，属于环境科学的基础理论，它们来自不同学科但又聚合为一个门类，分别从不同角度、运用不同观点和方法研究解决环境问题。

部门环境学以某些具体环境问题为研究对象，探求发展、预测、调控以及改造和利用环境的规律性。部门环境学考虑人类与环境系统之间的许多不同的性质和等级的问题，分门别类地进行研究。

环境工程学是由环境科学与工程技术科学相互融合而出现的技术性交叉学科群，主要从工程技术角度研究环境污染的综合防治。前者是后者的理论基础，后者是前者的具体实现，两者是理论和实践的关系。

从环境科学的多学科发展、跨学科交融直至学科体系的建构中，我们可以看出，环境科学的兴起和繁荣，是现代科学既分化又综合的必然产物。为了对环境问题进行深入思考，人们首先通过分化发散，将研究对象分割和细化，运用多学科理论和方法进行分门别类的研究，形成分门别类的环境科学；由于人类与环境系统是一个具有特定结构和功能的有机整体，因此又必须借助科学综合，通过单向移植、双科交融和多元综合等多种交叉聚合方式，达到跨学科的交融；最终以环境科学体系的建构为桥梁，实现科学分化与综合的和谐统一。

通过环境科学的案例分析，现代科学学科发展聚散共生的基本规律，已经基本显现出来，按照这一规律，我们对相关学科的发展，也应该根据不同的发育阶段，采取不同的发展策略，从而有效地推进科学进步，促进学科的成熟与完善。这也正是本文研究的现实意义。

参考文献

- [1] 刘培桐. 环境学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995
- [2] 孙承咏. 环境学导论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1994
- [3] [7] 刘仲林. 现代交叉科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1998, 100 - 101, 116
- [4] 杨永福, 朱桂龙等. “交叉科学”与“科学交叉”特征探析[J]. 科学研究, 1997, 15(4): 5 - 10
- [5] 李宽良. 环境地球化学工程原理与方法[J]. 成都理工大学学报, 1997, 24, 9~14
- [6] 国家自然科学基金委员会. 自然科学学科发展战略调研报告: 环境化学[M]. 北京: 科学出版社, 1996
- [8] 徐飞. 科学交叉论[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1991, 34
- [11] 王续琨. 安全科学: 一个新兴的交叉学科门类[J]. 科学学研究, 2002, 20(4): 367 - 372

(责任编辑 王宏章)

科技动态

哈佛大学研制新型纳米光纤

据2003年12月3日英国《新科学家》报道: 一种用于光学计算机和化学传感器的新型纳米光纤有望不久问世。

光纤是利用有涂层的内芯传导光线的。这种新型光纤使用超细的二氧化硅做内芯, 而用空气充当涂层。光纤内芯的材料表面必须做到十分光滑, 与空气之间有一致的界面, 因为粗糙的界面会使光波分散。为了确保表面光

洁度合格, 哈佛大学的埃里克·玛祖用一个炽热的蓝宝石锥体熔化二氧化硅, 然后把它拉长。

埃里克说, 这种内芯的光滑程度已接近原子水平。他已制作出50纳米细的纤维。这种纤维的直径不到标准纤维的1/2000。光纤越细, 沿着它表面通过的光波就越多。例如, 300纳米细的纤维传导到二氧化硅外侧的光波

(下转第37页)