

跨学科研究规律的实证分析

李春景,刘仲林

(中国科学技术大学科技哲学部,安徽 合肥 230026)

摘要: 现代科学的学科发展正处于高度发散与高度聚合相伴共生的特殊时期,跨学科研究则是学科聚合特征的具体体现。通过对火灾科学、体育科学、海洋科学等综合性学科的研究模式进行实证分析的基础上,概括出跨学科研究的四个重要特征。

关键词: 跨学科研究;实证分析

中图分类号: N031

文献标识码: A

文章编号: 1003 - 5680(2004)02 - 0075 - 04

现代科学的学科发展正处于高度发散与高度聚合相伴共生的特殊时期,跨学科研究则是学科聚合的具体体现。跨学科研究是指科研主体在科学分化的基础上,打破不同学科之间的界线、跨越不同研究领域而进行的一种科学创造活动,是解决复杂的科学技术问题和社会问题而达到不同学科相互渗透的一个重要手段^[1]。一般情况下,科学研究的跨学科性主要体现在两个方面:一是由于研究对象具有高度复杂性和综合性,任何单学科都难以完成研究任务,而必须依靠多学科交汇、融合才能揭示复杂现象的本质;二是研究主体运用的研究方法具有高度的集成性和相互借鉴渗透的重要特征。相对于传统的研究模式,跨学科研究在解决经济建设和社会发展重大综合性问题的过程中具有越来越明显的优势,引起了科学界的广泛关注。下面我们以前述火灾科学、体育科学、海洋科学等跨学科研究领域为例证进行分析,以期揭示出跨学科研究的规律性。

一 现代科学聚散共生的特征:跨学科研究的前提

跨学科研究活动早在 17、18 世纪就已开始萌芽,当时主要集中在科学史研究和科学分类研究等少数几个领域,属于初级的、自发的发展阶段^[2]。但是到了 20 世纪 60 年代,跨学科研究得到了突飞猛进的发展,并受到了科学界的极大重视,这绝不是偶然现象,而是由现代科学学科发展聚散共生的重要特征决定的。目前,现代科学正处于高度分化和高度

综合相伴共生的新时期,一方面,由于先进实验技术和精密观察工具的出现,人类对客观物质世界和主观思维领域都有了更加深刻的认识,科学分化也因此而越来越细,形成了包含数千门学科的庞大知识体系;另一方面,由于客观世界与各部门学科间相互联系和相互转化的复杂性、科研方法的多样性以及科研目的的综合性,人类逐渐认识到,依靠单一的学科知识体系,无法更深入揭示研究对象的本质特征,学科间的交叉、渗透和综合成为一种新的必然趋势。这种情况决定了很多重大的理论和现实课题必然具备跨学科特征,解决这些综合性复杂问题不能仅仅依靠传统的科学研究模式,而必须从不同的学科领域,运用不同的科学理论进行跨学科研究才能实现。因此,现代科学聚散共生的发展趋势是跨学科研究的必要前提:科学发散为跨学科研究提供了多角度、多学科的视野,而科学聚合则为跨学科研究寻求具体的实现途径。火灾科学由长期的缓慢进展到 20 世纪 80 年代的异军突起充分表明了这一点。

火灾科学诞生于 20 世纪 80 年代,它是随着现代科学技术的日臻完善形成和发展起来的,是一个新兴交叉的工程科学领域。鉴于火灾始终是生命和社会发展的巨大威胁,人类很早就试图研究火灾现象,以期进行有效防治。但长期以来,由于受到科学发散程度的限制,很多相关学科还远远不够成熟,人们只能着重于研究和制造灭火的技术设备,制定各种消防法规,而没有能够去深入地揭示火灾发生的机理

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目,项目批准号:70271059

【收稿日期】 2003 - 06 - 13

【作者简介】 李春景(1978 -),男,安徽安庆人,中国科学技术大学科技哲学部硕士研究生,研究方向为交叉科学;

刘仲林(1948 -),男,河北乐亭人,中国科学技术大学科技哲学部副主任,教授,博士生导师,研究方向为跨学科理论与方法、中国科学与文化、创造思维方法等。

和规律,这样就导致火灾的防治工作停步不前。20世纪以来,随着现代科学发散的聚合的趋势进一步凸显,与火灾科学相关的各门基础学科理论特别是燃烧学、科学计算技术、系统安全科学、非线性动力学、信息技术和宏观与小尺度动态测量技术的日臻完善^[3],人们为从不同的角度研究复杂的火灾现象搭建了多学科平台,同时通过学科间的聚合渗透,跨学科研究火灾过程具备了必要前提。

火灾科学横跨基础自然科学、工程技术科学以及人文与社会科学三大领域,它的跨学科性是火灾现象复杂性的具体体现。在火灾科学基础理论中,火灾发生和发展过程所产生的烟气的成分及其对生物体的毒害机理一直是重要的研究对象。随着新的装饰材料和建筑材料的不断出现,建筑火灾中产生了大量的有害气体 CO 和 HCN 等。CO 是一种窒息性气体,它主要是通过和血液中的血红蛋白 Hb 结合成碳氧血红蛋白 HbCO,使血液丧失正常的供氧功能,这就造成了生物的缺氧死亡。HCN 与前者有所不同,它的毒害机理是同对生物体的氧化作用紧密相关的。生物体生命活动中最基本的供能方式是生物氧化,在这一过程中,存在于线粒体内膜的呼吸链发挥着至关重要的作用。HCN 气体在进入血液后迅速分解出 CN⁻ (氰基),它与呼吸链中氧化型细胞色素 aa₃ 的辅基铁卟啉中的三价铁离子 Fe³⁺ 紧密结合,中断了细胞色素氧化酶至氧的电子传递,组织细胞无法摄取血液中的氧,造成了需氧生物体的窒息^[4]。对于有害气体的毒性与毒害机理,我们就必须借助于化学动力学、热化学和生命科学等学科的理论知识,进行跨学科研究才能实现。

同样,在火灾安全技术层面研究中的学科交叉性也十分突出。目前学术界广泛关注的阻燃技术开发过程中,虽然所使用的无机或有机阻燃物提高了聚合物的阻燃性能,但排放出大量的有害气体会造成环境污染,不符合智能化与洁净化的灭火要求,而聚合物/层状无机物纳米复合材料则是一种既能起到很好的阻燃效果又不会造成环境污染的新型材料。纳米复合材料是指将材料中的一个或者多个组份以纳米尺寸均匀地分散在另一组份的基体中,在形成这种结构的同时,材料本身的性能也将发生很大的变化。如尼龙-6/蒙脱土(4.2%)纳米复合材料的拉伸强度比纯尼龙-6增加50%,而且聚合物的玻璃化温度比纯尼龙提高约90^[5],大大提高了材料的阻燃性能。材料化学与纳米技术给阻燃材料的开发开辟了新的领域,提供了广阔的应用前景。

人文与社会科学在火灾科学的研究体系中同样起着非常重要的作用。由于火灾的发生与防治是一个社会问题,与人类的活动密切相关,因此需要从人文科学、社会科学中汲取丰富的营养,而同时人文与社会科学的成熟完善也为火灾科学跨学科研究提供多种可能。如火灾发生后,人员如何逃生是火灾科学的重要课题之一,对于这个问题的研究主要就是基于灾害心理学,通过建立各种场合下的火灾逃生模型,来测试建筑物相对于紧急状态是否合理以及探求人员疏散的最优化策略。对于火灾防治的管理模式需要吸收现代管理科学的前沿理论成果,运用管理学的方法达到科学管理的目标。

从以上分析中不难发现,由于其研究对象的复杂性,火灾科学研究涉及诸多学科的相互交叉、渗透和融合,需要从不同学科领域中吸收和借鉴理论知识和研究方法,而现代科学聚散共生的发展趋势使得这些相关的学科体系非常成熟与完善,为火灾科学的跨学科研究提供了必要条件和前提。

二 科学研究方法的移植再生:跨学科研究的手段

科学方法的跨学科运用是自然科学历史发展的必然^[6]。从科学发展的历史来看,如今已经非常普遍和实用的如观察、实验和模拟等研究方法,最初也只是在某一门或几门学科内创立和发展,经过其他学科的借鉴移植,逐渐扩散到整个科学领域,成为通用的研究方法。由于跨学科研究的对象高度综合,所涉及的学科理论种类繁多,从不同领域借鉴和移植成熟精致的研究方法能够达到事半功倍的效果。对于从不同科学体系进行研究方法的移植再生,体育科学为我们提供了典型案例。下面通过对体育科学几种重要的研究方法的描述,我们可以看出科学研究方法的移植借鉴对于跨学科研究的重要意义。

体育的产生是一个长期孕育演变的过程,早在原始社会时期就已出现体育运动的初级形态。长期以来,竞技体育的竞争性使得人们试图对体育运动进行深入研究,尽管如此,具有真正意义上的体育科研却直到20世纪初才开始萌芽。而作为体育研究的理论结晶,体育科学也直到20世纪中后期才取得了相对独立的地位,形成一门具有特定研究对象、包括众多分支学科的庞大知识体系。可以毫不夸张地说,不同领域科学研究方法的移植再生在体育科学独立化、科学化进程中扮演着不可或缺的角色,同时也成为其进行跨学科研究的重要手段。

体育科学以运动着的人作为自己的研究对象,研究对象的自然属性与社会属性的双重复杂性决定了其必然同时涉及自然科学、社会科学两大科学门类,具有自然性和社会性的双重特征,也决定了在体育科学的研究过程中必须从其他自然科学学科和社会科学学科移植借鉴并综合运用多种研究方法。根据在感性认识与理性认识两个不同阶段中所使用研究方法性质上的差异,我们将体育科研究方法划分为感性认识方法(数据搜集方法)和理性认识方法(资料分析方法)两大类^[7](图1)。

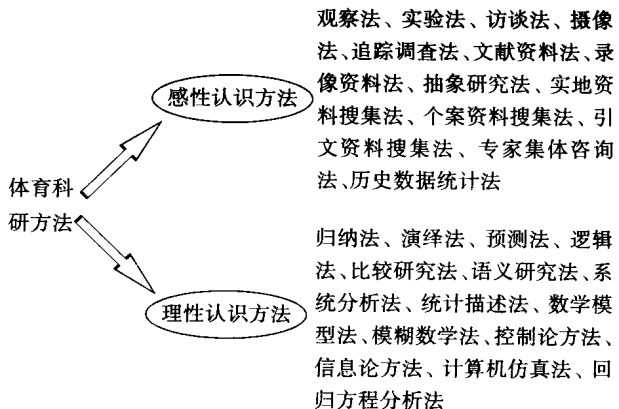


图1 体育科学研究方法

(一)感性认识方法

感性认识方法又称为资料搜集方法,目的在于为体育科研提供详尽而精确的数据和资料,主要包括观察法、实验法、访谈法、文献资料法、引文资料搜集法等。不难发现,在感性方法中,有从自然科学学科中移植再生的研究方法,如实验方法、观察方法;同时也有从社会科学学科中借鉴渗透的研究方法,如文献资料法、引文资料搜集方法等。其中,实验方法在感性认识方法中占据着突出的地位,是运用最为广泛的一种科学方法。

实验方法包括人体实验方法、动物实验方法和教学实验方法三种形式。早在20世纪初期,人们就广泛使用近代实验科学成果来开拓体育研究的新领域。近几十年来,随着生物化学实验研究中的色谱仪、分析仪和电子显微镜等各种高分辨率的实验仪器被引入体育科学研究中以来,体育科学的实验设备在分析速度、数据处理以及检测范围等方面均达到了较高水平。实验方法成功的跨学科运用使体育研究获取了近代自然科学的精髓,并由一门“显学”转变成一门科学。

(二)理性认识方法

理性认识方法又称为资料分析方法,它是在体育科研的感性阶段中占有大量的原始数据和资料的基础上对其进行分析和加工以建立体育科学理论的重要手段。体育科学在其创建初始阶段移植借鉴如归纳法、演绎法、预测法、逻辑法、比较研究等多种理性方法,事实证明这对于尚还稚嫩的体育科学快速成熟有着非常重要的意义。近年来,体育科研的一个重要趋势就是定量化分析的加强。随着数学模型法、模糊数学法、数理统计法、回归方程分析法等数学方法在体育科学研究中运用越来越广泛,控制论、信息论、计算机仿真方法开始被渗透到体育研究中也成为可能,生成了如体育统计学、体育计量学、体育运动生物力学、体育系统过程、运动器材学等一批新兴交叉学科,极大地促进了体育科学的发展。

从体育科学成功地移植再生其他学科研究方法的案例中可以得出结论,对于跨学科研究,借鉴和运用其他学科的研究方法往往可以省去在本学科体系内部从头发展类似的方法,为跨学科研究提供有效的工具和手段。但是要值得注意的是,研究者不能把单学科的研究方法简单地运用到跨学科研究中,而是要结合具体的研究领域,通过移植、渗透和综合各种单学科研究方法,使之“再生”,并得到科学共同体内部的肯定和公认,达到它山之石,攻己之玉的目的。

三 T型研究主体的观念碰撞:跨学科研究的动力

美国科学与情报科学家普赖斯(D. Price, 1922 - 1983)曾在20世纪60年代提出“大科学”这一概念,指出随着科学社会化和社会科学化的程度不断加深,科学逐渐从“小科学”时代过渡到“大科学”时代。其中,大科学时代的一个突出特点是科研活动不再是分散的、单纯的个人行为,已经演变成为一种跨学科、聚焦型、多人员参加的集体性协作。另一个主要特征就是对科学研究主体提出了更高的要求,而具备“T”型知识结构的跨学科人才将会在这样的时代起着核心作

用。

所谓“T”型知识结构是相对于“ ” “ ”两种类型而言的。“ ”型是指研究主体拥有深厚的专业背景知识,但是精而不博,知识面比较狭窄;与“ ”型相反的是,“ ”型研究主体虽然具备广博的知识,涉及面很宽广,但是由于缺乏理论深度,因此很难在某个专门领域内取得突破性进展。“T”型则将两种类型结合起来,横向代表研究者具有广博的一般文化知识、相关或边缘知识;纵向代表研究者在某一专业领域知识的深度与层次。形成“T”型知识结构可以有两种方式:一是个体研究者既在自己的专业领域内有着深厚的基础和特殊的才能,同时对相关的领域又有比较全面的了解,具备开阔的科研视野和敏锐的洞察力。二是通过来自不同研究领域的专门人才组成具有跨学科性质的科研机构。“T”型结构的研究主体包括个体研究者与研究团体都拥有跨学科特性的知识储备,因此在进行跨学科研究过程中,他们思想观念的碰撞比别人更容易产生智慧的闪光和创新的火花,从而形成跨学科研究持续的动力源泉。

(一)研究个体的知识储备

任何一个认识主体都处于人类社会的背景中,背景化是科学认识主体的重要特征。不同文明形态的人类社会造就科学认识主体不同的哲学观背景和不同的理论知识背景,科学史表明,那些善于对不同哲学形态及不同科学理论博采众长、兼收并蓄的研究者可能会作出科研中的重大突破,我们从1901年到2000年这一百年间诺贝尔科学奖获得者知识交叉背景分析中得到准确的验证^[8]。

我们以25年为一个时间段,分析具备知识交叉背景诺贝尔科学奖获得者人数占整个诺贝尔奖获得者人数的百分比。1901 - 1925年间,获奖人数74人,交叉学科人数22人;1926 - 1950年间,获奖人数88人,交叉学科人数34人;1951 - 1975年间,获奖人数143人,交叉学科人数58人;1976 - 2000年间,获奖人数161人,交叉学科人数79人。这四个时间段具备知识交叉背景诺贝尔科学奖获得者人数占整个诺贝尔奖获得者人数的百分比分别为29.73%、38.64%、40.56%和49.07%,呈现出稳步上升的趋势,表明科学认识主体知识背景的交叉对于促进不同学科间渗透和融合,推动原创性科研成果的出现具有非常重要的意义。

(二)研究机构的组织协同

虽然跨学科人才在科研活动中起着非常重要的作用,但对于一些重大的研究课题,仅仅依靠个体研究者的单兵作战还是远远不够的,必须把优秀的科研人员组织起来,协同作战,采取聚焦型研究方式以寻求科学前沿的突破和进展。下面以我国火灾科学的重点科研机构——中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室为例,指出研究机构的组织协同对于跨学科研究的重要意义。

中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室于1989年由我国政府正式批准建立,并于1995年11月通过验收。在整个大科学系统中,火灾科学国家重点实验室是一个优秀的跨学科人才的集合体,也是一个有序的、具有自组织功能的科学研究子系统。根据研究方向的不同,火灾科学国家重点

实验室可以划分为建筑火灾研究室、工业火灾研究室、火灾化学研究室、森林火灾研究室、火灾数值模拟研究室、火灾探测研究室以及火灾风险性能化评估研究室等七个研究室。其中,每个研究室都有一至两名通才型的学科带头人,并下辖一个由博士、硕士组成具有层次性的研究团队。这样,通过组建跨学科的研究课题组来构建更加庞大的跨学科性知识结构,把不同专业的研究者集中在同一个研究方向下进行跨学科研究,合理的机构设置和组织协同使得以火灾科学国家重点实验室为代表的中国火灾科学研究在短短十几年里就走在世界前沿。

四 一体化新学科体系的建构:跨学科研究的目标

跨学科研究的最终目标,是在不同学科领域的交汇点上构建新的交叉学科体系。19世纪前,新兴学科产生一般通过科学分化。而进入20世纪后,随着学科间横向联系与渗透的不断加深,传统学科界线不断被打破,大量边缘学科、横断学科和综合学科等交叉学科群体不断涌现,跨学科的研究模式逐渐起着决定性的作用。作为一个在20世纪中期崛起的新兴交叉学科门类,海洋科学由最初的自然地理学的子学科逐渐发展成为独立的并具有众多分支学科的综合性现代海洋科学体系,这一例证充分显示出跨学科研究模式在发展新兴学科乃至构建新的交叉科学体系均发挥着的重要作用。

海洋科学是研究发生在海洋中各种自然现象和过程的性质及其变化规律的知识体系。由于研究对象的复杂性特征,海洋科学研究对多学科交叉与协同提出很高的要求。20世纪60年代以来,由于对海洋资源和海洋环境问题重要性的充分认识,不同学科领域的科学家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,开展海洋调查研究和海洋开发,逐渐形成了诸如海洋物理学、海洋地质学、海洋生物学、海洋化学、海洋工程学、海洋灾害学和海洋法学等一系列分支学科。这些分支学科试图从不同的角度,运用不同的理论和方法,分门别类地对海洋中各种自然现象和过程进行研究。在这个阶段,各个分支学科把整个海洋科学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,使得海洋科学研究在各自分支领域内相对独立,不断发展。

构建完善的学科理论体系是海洋科学跨学科研究的最终目标。经过几十年的发展,随着研究的深化和各分支学科的不断成熟,人们逐渐认识到不能把海洋研究简单地分解成某些单一学科问题的集合,海洋科学也不是一系列分支学科的简单叠加。因此,各分支学科内部以及分支学科之间开始通过跨学科的研究模式,努力实现从学科的分散状态向聚合状态的转变。目前,海洋科学已初步形成自己的学科规范,构建出学科体系的基本框架——基础海洋学和应用海洋学两大门类^[9](图2)。其中,基础海洋学又称为理论海洋学,主要以发生在海洋中各种自然现象和过程作为自己的研究对象,以认识海洋为目标,包括物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学、海洋地质学、区域海洋学等11门一级分支学科;

应用海洋学则以海洋开发为己任,利用基础海洋学的研究成果来为人类服务,主要包括海洋法学、海洋医学、海洋经济学、海洋工程学、海洋气象学等12门一级分支学科。基础海洋学和应用海洋学下属的一级学科又继续分化派生出二级分支乃至三级分支,形成一个庞大的学科群体,通过跨学科研究模式而构建出海洋科学的学科体系。

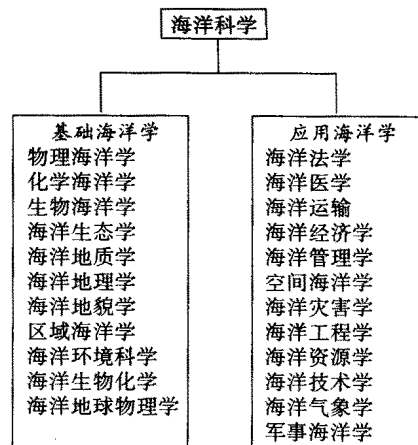


图2 海洋科学的体系建构

通过对火灾科学、体育科学以及海洋科学的实证性分析,现代科学新的研究模式——跨学科研究的特征与规律已经基本被揭示出来。但在从“小科学时代”向“大科学时代”的转型阶段,同时学科发散与学科聚合的共生时期,如何对过去分散的、单纯的个人行为研究模式进行扬弃,使得跨学科研究能够在推动科技进步、解决人类文明和社会发展的出现的重大课题的过程中发挥更有效的作用,仍然会成为科学共同体关注和讨论的热点问题。

【参 考 文 献】

- [1]刘仲林.现代交叉科学[M].杭州:浙江教育出版社,1998.69-72.
- [2]吴声功.跨学科研究的历史与现状[J].天津师范大学学报.1994.1,42-43.
- [3]范维澄,刘乃安.火灾安全科学——一个新兴交叉的工程科学领域[J].中国工程科学.2001,3(1):6-14.
- [4]邱榕,范维澄.火灾常见有害燃烧产物的生物毒理(Ⅰ)——一氧化碳、氰化氢[J].火灾科学.2001,10(3):154-158.
- [5]胡源,宋磊.纳米技术在阻燃材料中的应用[J].火灾科学,2001,10(1):48-52.
- [6]徐飞.论科学方法的跨学科运用[J].科学技术与辩证法.1996.6,24-29.
- [7]邵伟德,陈伟明.论现代体育科学研究方法论的几个特征[J].北京体育大学学报.2002.4,454-456.
- [8]郝凤霞.原创性思维的源泉[J].自然辩证法研究.2001.9,55-59.
- [9]吴恒岱.关于我国海洋科学学科体系构建综述[J].海洋科学.2001.8,29-33. (责任编辑 许玉俊)