教学论坛

物理跨学科主题教学论辩

蔡铁权 （浙江师范大学科学教育研究中心 浙江 321004）
薛 真 （浙江师范大学教育学院 浙江 321004）

摘 要 科学技术的发展和社会进步导致学科的形成，学科自身突破性的进展又引发了学科的分化与专门化，学科之间的交叉和融合产生了交叉学科。20世纪中叶，大科学横空出世，随之复杂性学科崛起，跨学科研究由此蓬勃兴起，学科之间的跨越、超越成了学科发展的主流趋势。学科的纵深发展离不开其他学科的支持及参与，而学科的突破又会带动相邻或相关学科的变革。这种交叉发展、相互影响的网络式的复杂关系，是今天科学技术发展的重要特征与趋势。教育，尤其是物理教育对此做出呼应是必然的，跨学科主题教学成为众所关注的热点也是应然的选择。

关键词 学科 跨学科 大科学 复杂性 非线性 非线性思维
文章编号 1002-0748(2024)10-0002 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

20世纪中后期以来，继前期宇观层次的科学革命——相对论及微观层次的科学革命——量子论之后，发生了宏观层次的科学革命——复杂性科学的掀起，涌现出一系列科学思想和科学观念以及科学方法论上根本性变革的新兴学科，如耗散结构理论、自组织理论、协同学、突变理论、超循环理论、混沌理论、临界态理论、微分动力学系统理论、模糊数学、分形几何理论等。这些新学科以非平衡、非标准、非经典、非线性等为标志区别于传统学科，由此导致学科之间的交叉、跨越、超越与融合，跨学科研究以它特有的优点应运而生，并且迅速取得一系列突破性的研究成果。我国自本次基础教育课程改革推行以来，顺应这种科学技术、经济与社会发展的趋势，开展了跨学科主题教学实践。一时间，跨学科素养、跨学科课程（课程统整、课程整合、综合课程）、跨学科教学、跨学科学习、交叉学科学习（多学科学习）、综合学习成了热门话题。随之而起的项目式主题学习、问题解决学习、任务驱动学习等学习方式也成了众所关注的焦点，HPS教育、STS教育、SSI教育、STEAM教育也迅速升温，大概念单元设计也应运而生。相关论文、专著之丰富，令人应接不暇，讨论、争议之热烈，令人兴奋不已。

本文我们拟以物理教学为例，从学科的近代产生、发展、深化到学科分化、学科交叉、学科综合的过程观照学科与跨学科之间的内在联系，从科学发展史的视角诠析跨学科的学理依据，又从非线性思维对跨学科进行审思，在理论上对跨学科做出诠释，这本身也是一种跨学科研究。这种思考与研究，对跨学科在教育教学中的相关概念、理论及其相互关系提供新的审视维度，做出更全面的剖析，达到更为深入的理解。

1 近代学科的产生与向我国的东渐

学科（Discipline）指的是学问或知识主体的特定分支，如化学、天文学、物理学、文学、经济学等。每门学科都会有各自的基本要素：现象、假说、哲学观（即认识论）、概念、理论和方法，以将这门学科与其他学科区分开来[1]。

现代学科的产生，是近代科学发展的产物。典型的自然科学学科——物理学，据阿梅龙（Iwo Amelung）的考证[2]，“physik”在德国、“physique”在法国很早就已得到广泛应用，而“physics”是“自然哲学”中的词语，在英国却不那么容易被人接受。直到1871—1874年间，英国著名的卡文迪许实验室的实验物理学讲座创立之后，才更受欢迎。物理学在日本读作“butsurigaku”，1872年日本文部省刊行教科书《物理阶梯》，1877年东京大学在理学部中设物理学科，成为日本全国物理学教育与研究中心。自1850年后，在中国“physics”曾被译作“费西伽”（这是对欧洲语中“physica”的音译），又由于受传统的格物致知之影响，先后被译成“格致学”“格物学”“格学”“形性学”等。1900年上海的江南制造局出版了王季烈译自日本的教科书，译名为《物理学》。这以后，“物理学”逐渐成为“physics”的唯一中文译名，被学术界和

中国知网 https://www.cnki.net

教育界所接纳，并迅速进入学堂章程，被用作教科书的书名。1905年，清光绪皇帝传谕“立停科举以广学校”；1912年，京师大学堂（成立于1898年）更名为北京大学，理科设有物理学门；1917年，北京大学设立物理学系，开大学设立专门的物理学科之先河[3]。

中国近代学科的诞生，外部因素主要是西学东渐之影响。中国传统学术及其知识系统，主要汇聚于经、史、子、集“四部”框架之中。19世纪中叶后，在社会变局和西方激荡之中，原来的知识系统不断解体分化，逐渐向“七科”之学（文、理、法、商、医、农、工）转化，终被西方近代以“学科”为分类标准建构起来的知识系统所替代。至1912年，近代意义上的自然科学各学术门类（所谓“格致诸学”，即数学、物理学、化学、地理学、地质学、动物学、植物学等）以及人文社会科学各学术门类（所谓“法政诸学”，即文艺学、历史学、哲学、政治学、经济学、社会学、法学、伦理学、逻辑学等）相继创立。这种转型从19世纪60年代发端，20世纪初基本实现，到20世纪20年代末最后完成[4]。在这过程中，又经历了“西学中源”“中体西用”“西体中用”等争论，曲折起伏，激荡澎湃，才终于“千呼万唤始出来”。

2　学科分化是学科进步的表征

20世纪被人们称之为物理学的世纪，20世纪初就出现了物理学的两大革命：相对论和量子论。如果说20世纪的科学技术是一个巨大的拱门，那么它的两大支柱就是相对论和量子论。20世纪以来物理学科的突飞猛进，对现代科学技术的发展和社会的进步以及人类对自然界的认识和对自然规律理解的深化，发挥了独特的作用。其结果导致人类对物质、能量、空间、时间、运动，因果性的认识都产生了根本性的变化。尤其是21世纪以来，科学家对黑洞、暗物质、暗能量的研究，刷新了人类对物质、能量等观念的原有认识。空间和时间是描述物质运动的关键维度，在宇观尺度，通过广义相对论结合宇宙学模型，估计宇宙的年龄约为138亿年（相当于10^{18} s）；在微观尺度，分子的转动在皮秒量级（1 ps $=10^{-12}$ s），分子的振动在飞秒量级（1 fs $=10^{-15}$ s），电子在氢原子内运动的时间尺度约48 as（1 as $=10^{-18}$ s）。显然，要揭示微观量子世界的基本动力学过程，需要阿秒光源。2023年度的诺贝尔物理学奖就是授予皮埃尔·阿戈斯蒂尼（Pierre Agostini）、费伦茨·克劳斯（Ferenc Krausz）和安妮·吕利耶（Anne L'Huillier）三位科学家，以表彰他们在实验上成功地产生阿秒激光脉冲并将其运用到电子超快动力学的探测上[5]。克劳斯等在2001年就已获得孤立的单阿秒脉冲，而2013年《阿秒物理》（Attosecond Physics）专著的问世，标志着一个物理学科新分支的诞生。阿秒科学拔地而起，将在科学技术发展史上描绘浓墨重彩的光辉一页[6]。

自二战以来的近80年时间中，物理学科的各分支学科都分化出新的分支学科，如古老的光学学科，出现了量子光学、非线性光学、矩阵光学、薄膜光学、晶体光学、统计光学、集成光学、光全息学、信息光学、激光光谱学、二元光学、微光学、分数傅里叶光学、小波光学等。1956年，物理学共有10个分支领域74个专业，1968年达到12个分支领域共154个专业，现在的《物理文摘》分类体系（PACS）用很小的字体印刷，篇幅达到10页。物理学科的分支越来越多，越来越趋向专业化。学科分支的形成，必须具有完整的专门化的知识体系、概念体系，具有特定的学科观念、不同的认知图式、独特的学科价值认知、特有的方法论体系及其思维方式、特殊的问题研究对象以及解决问题的方式方法。学科分支的大量涌现，是学科繁荣发达的标志，是学科发展进化的象征，是学科深入与专业化水平提高的表征，是科学技术发展的必然结果和应然产物。

3　学科的深入发展需要多学科综合

学科研究在深入到前沿的复杂性问题时，常常需要运用其他学科的观念、思想，或需要借用其他学科的技术和工具及手段，或需要借鉴其他学科的方式和方法，所谓“他山之石，可以攻玉”。在研究陷入一筹莫展的困境时，常常由于其他学科的融入而豁然开朗，柳暗花明。

由于在宇宙中微子探测方面的开创性贡献，2002年诺贝尔物理学奖获得者雷蒙德·戴维斯（Raymond Davis Jr）就是跨学科研究的杰出案例。早在1930年，著名物理学家泡利（Wolfgang Pauli）为解释原子核β衰变的连续电子能谱而提出了“中微子”的假设，这种粒子没有内部结构，质量极小，不带电荷，与物质几乎不起作用，似乎中微子是永远无法观测到的。1955年，弗雷德里克·雷因斯（Frederick Reines）等在原子核反应堆上实现了中微子的“直接观察”。戴维斯在耶鲁大学获得化学博士学位，是Brookhaven国家实验室化学部的研究人员，是正宗的化学家。戴维斯根据反应：“$\nu+{}^{37}\mathrm{Cl}\longrightarrow{}^{37}\mathrm{Ar}+\mathrm{e}^{-}$”探测中微子，用一个盛满1 000 gal（约3 800 L）的CCl_4的容器做靶，在1 500 m深的矿井中进行实验。Ar是惰性元素，一旦生成便会自动脱离氯化物分子聚合成小氩气泡，并且具有放射性，可以识别。这里采用的是典型的放射化学方法，经过长达30年之久的实验，戴维斯首

中国知网　https://www.cnki.net

先观测到了太阳中微子，又进一步发现了“太阳中微子问题”，即中微子振荡效应。终于在88岁的高龄荣获了2002年的诺贝尔物理学奖[7]。戴维斯是自1900年诺贝尔奖颁发以来，第一个以化学家的身份，运用典型的化学方法，荣获诺贝尔物理学奖的科学家，做出了用纯物理学方法难以获得成功的杰出成果。

阿秒物理起源于四种传统科学。第一种是作为激光分支的超快科学，阿秒物理继承了50年以来有关超快测量的概念和方法的研究成果。第二种是非线性光学，这也是具有50年研究历史的光学分支学科。非线性光学是时间分辨测量的基础，借助非微扰非线性光学，阿秒脉冲在产生的时刻可以同时被用于测量，由此可以激发并观测全新的物理现象，以致实现电子波包的可视化。第三种是最古老的研究领域——碰撞物理，来自碰撞物理的灵感为阿秒科学提供了美好的愿景，即有可能同时以原子空间分辨尺度(甚至是核子空间尺度)和价电子时间分辨尺度(最终也将在核子时间尺度)进行时空测量。第四种是同步加速器物理，借助同步加速器30年的研究经验，利用原子特征共振及其他相关的X射线方法，就可以探测分子或固体物质。

学科之间的互鉴是一种学科反思，是批判性思维，是学科创新的渊源。从另一方面看，学科的自我封闭或学科自大，是作茧自缚，自我扼杀，将导致学科的衰退与萎落。

4 学科成果提供多学科应用、促进多学科发展

当学科一旦出现突破性的发展，一方面将导致本学科急剧变化，产生欣欣向荣的景象；另一方面必将为相邻学科提供学科生长的契机，引发多学科争奇斗艳的热烈场景。

天才的物理学家麦克斯韦(James Clerk Maxwell)以他建立的电磁场方程而彪炳史册。1886年6月，赫兹(Heinrich Rudolf Hertz)在实验中成功地产生并观测到了电磁波。此后，电磁波的使用，从厨房中的微波炉到无处不在的互联网，从手机到地外文明探索、家庭应用、工业应用、生物医学应用、军事应用、通信技术等。被誉为好莱坞黄金时代“最美丽的女人”的著名影星拉玛(Hedy Lamarr)，在演奏钢琴时突发“跳频”的灵感，由此发明了通过发射机和接收机之间的同步技术实现鱼雷保密控制技术。可见电磁波得到了极其广泛的应用并引发了大量的创造和发明，电磁波的发现几乎改变了世界。

1900年，普朗克(Max Planck)提出能量子假设，引发了量子科学的革命性变革，随后产生了新兴学科——量子力学。随着量子力学的发展，量子场论、量子电动力学、量子色动力学相继产生。将量子力学理论应用到其他学科，很快产生了量子光学、量子化学等。尤其是量子信息技术的发展，成为与可控核聚变、人工智能并列，属于有潜力改变世界的战略性科技。它所产生的三大领域：量子精密测量、量子计算、量子通信技术发展如火如荼，迅速成为当今科学技术发展的前沿，并将极大地改变世界的面貌和转变人类的生活方式和思维方式[8]。当今的量子信息科学正是踌躇满志，前景一片光明。

被誉为“美国天才”的欧内斯特·劳伦斯(Ernest Lawrence)在1930年发明了回旋加速器，获得1939年诺贝尔物理学奖，这一发明，不仅仅推动了核物理学的纵深研究，产生了高能物理学的新分支，还发展成当代地球上最复杂的研究装置——大型强子对撞机(LHC)。这台机器位于风光旖旎的法国和瑞士交界的90 m深处的地下，装置的混凝土隧道的周长达27 km，内部装有9 600个部件。每个部件都用液氦包裹，以使它被冷却到接近绝对零度的低温。整个装置在低温超导的状态下工作，从而将质子加速到接近光速的99.99%做对心碰撞。2012年7月4日希格斯玻色子的发现就是这台机器所做出的贡献。

当年由劳伦斯和他的助手建造的第一台回旋加速器成本不到100美元，而今的大型对撞机的建造费用已远远超过100亿美元。当初的回旋加速器的目标在于将α粒子加速到10百万电子伏特，现在的同步回旋辐射加速器完全可以将质子加速到接近光速。劳伦斯在伯克利的辐射实验室在鼎盛时期雇用了60位科学家和10多名技术人员，如今的大型加速器每个团队都有三千多名科技人员。

发明回旋加速器的初衷是为了研究原子核的结构，今天已成了名副其实的大科学(Big Science)的代名字。大科学是由著名科学家、诺贝尔物理学奖获得者阿尔文·温伯格(Alvin Weinberg)在1961年提出的。大科学已成为今天科学研究的主流模式，它可以解决大问题，需要巨大的资源、巨额的资金、巨型的复杂设备，需要成千上万的职业科学家和技术专家协同作战。研究范围从原子弹、登月工程、太阳系外的深空研究到微观尺度上的亚原子粒子性质的研究等[9]。这里的每一项工作，如果没有跨学科的合作几乎是不可想象的。但是，推动这种大科学工程的形成，又常常源起于某一学科的前行发展和某项关键技术的发明。

5 复杂性学科、非线性思维与跨学科研究

正如霍金(Stephen Hawking)所预言，21世纪将

中国知网 https://www.cnki.net

是复杂性的世纪。20世纪40～50年代，一般系统论、控制论和信息论的提出，打破了机械的线性思维方式，非线性复杂思维初露端倪。20世纪70～80年代，耗散结构论、协同学、突变论和超循环论的出现，开始探索复杂性产生的环境条件、动力、途径及耦合等问题。随之亮相的混沌理论、分形理论则将复杂性引向纵深。由此引发的复杂系统、复杂适应系统、开放的复杂巨系统、自组织临界性研究及人工生命的研究如雨后春笋，欣欣向荣地发展起来，一时间形成百花齐放的繁荣的学术研究场景。复杂系统的研究带动了跨学科研究的兴起。1984年，以三位诺贝尔奖获得者盖尔曼(Murray Gell-Mann)、阿罗(Kenneth J. Arrow)和安德森(Philip Warren Anderson)为首的一批不同学科领域的科学家，在美国组建了圣菲研究所(Santa Fe Institute，简称SFI)，开展具有跨学科特点的复杂性研究。圣菲研究所关于元胞自动机(cellular automata)和人工生命(artificial life)的探索，创造了新的计算机模拟方法，打开了复杂性研究的新视野。这是典型的学科研究之会聚，涉及系统科学、非线性科学、计算机科学、遗传算法和人工生命研究的众多学科的大会战，一方面使跨学科研究从以实际应用为主进一步扩展到专业学术研究的领域之中，另一方面大大提升了跨学科研究的自觉性。这样的研究从认识论、方法论到观念、思维、方法、策略，形成了一个庞大而复杂的联合体，是典型的跨学科研究。

图1所示是复杂性涌现概念的科学和数学学科的根源学科集合图[10]。从图中我们可以很清晰地认识到复杂性与跨学科研究之间内在关系的密切性，也使我们对复杂性和跨学科的涵义及相互关系有一个具体化的理解和形象化的认识。

要深刻理解复杂性，从根源上认识跨学科，有效的切入口和途径是非线性科学及其非线性思维。

20世纪60年代后，以孤子、混沌和分形为主体的非线性科学诞生并迅速崛起。非线性是系统复杂性的根源，是系统结构有序化的根本，是人类创造性思维的渊源。乔瑞金归纳了非线性系统的基本特征[11]：第一，非线性系统是由大量要素构成的复杂系统；第二，非线性系统是整体协同的；第三，对称破缺(symmetry breaking)是系统有序之源；第四，多重选择与选择进化；第五，长程关联的特性。非线性系统的特征也反映了复杂性系统的本质，是非线性思维的基础，是跨学科研究的理论依据。

跨学科(interdisciplinary)一词早在20世纪的20年代就已经出现在文献中，并引起了广泛的关注和支

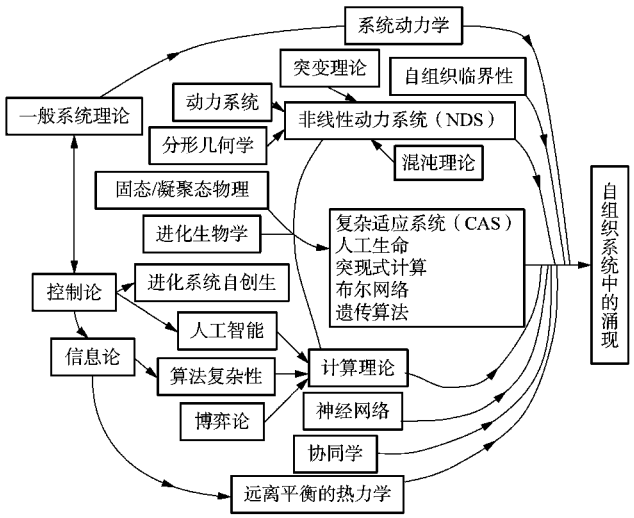

图1　复杂性涌现概念的科学与数学根源

持[12]。跨学科是复杂性学科出现后的必然产物[13]。武杰对跨学科中的非线性思维做了富有创见的研究[14]，为我们对跨学科的非线性思维诠解提供了有价值的参考，为我们对学科、跨学科之间关系的认识提供了理论依据，为我们的思维深刻、灵活与创造提供了启示。

自经典科学形成四百多年来，自然科学的各个学科局限于研究单一的物质运动状态，这种简单化、悖论性的研究方法，在非线性科学诞生以后，其局限性日益明显。要真正认识现实世界，把握世界的本质，就必须采用跨学科的研究范式，转向对系统要素之间以及系统与环境之间的非线性相互作用的关注。

由于牛顿(Isaac Newton)力学的伟大成功，形成了自然科学的力学世界观和还原论的方法论，以及重分析、轻综合的思维方式。这种把人、社会、地球、宇宙一概看成机器的基本信念，必须替代成有机论模型理解人、理解社会、理解自然，解释地球环境。

还原分析不断向更小尺度、更深层次推进，揭示原子、夸克、基因的秘密，试图将物质的性质追溯到终极之石。系统科学创立以后，人们认识到科学需要超越还原论，重新回归整体论，建立日趋完善的非线性系统理论，运用跨学科的方法解释复杂问题，以使我们对客观世界的认识进一步得到深化。当然跨学科研究要取得成功，不能缺少扎实的学科导向，即学科与跨学科之间要保持必要的张力[15]。

与力学决定论、还原论相互适应的思维方式是形而上学思维，它所面对的是经典科学。随着复杂性科学的出现，科学系统进入新的转型演化期，形而上学思维方式不得不逐渐淡出，为辩证思维所取代。20世纪后半叶，科学发展的最显著特点之一是向辩证思维的全面复归。而非线性思维是辩证思维的本

中国知网　https://www.cnki.net

质内涵，体现了复杂性科学独一无二的特点。

非线性思维最早提出大约是在1989年[16]，直觉、灵感、想象、顿悟是典型的非线性思维，这些思维形式很难用语言文字或符号明晰地表达出来，能意会而不能言传，也无一定的章法可依。爱因斯坦对直觉等思维方式情有独钟，他认为：物理学家的最高使命是要得到那些普遍的基本定律，要通向这些定律，并没有逻辑的道路；只有通过那种以对经验的共鸣的理解为依据的直觉，才能得到这些定律。同时，爱因斯坦认为，伟大的物理学家醉心于物理学研究，产生无穷的毅力和耐心的源泉并非是他们非凡的意志力和修养，而是“做这种工作的精神状态是同信仰宗教的人或谈恋爱的人的精神状态相类似的；他们每天的努力并非来自深思熟虑的意向或计划，而是直接来自激情”[17]。

6 跨学科主题教学内涵阐析

跨学科的基础是学科，而“跨”应强调学科的知识、思想、理论、观念、思维和解决问题的方式、方法以及资源的综合运用。在基础教育阶段，这种综合以主题为载体，在创新性的实践过程中，促进对学科和跨学科的深入理解，养成跨学科素养。

跨学科主题教学中对主题的选择是关键因素。主题应基于现实世界，立足于科学技术、社会、文化、生产实践、生活实际等多学科综合性问题。这些问题的解决具有进阶性和复杂度；与学科内容有相关性，但又不是单一学科能解决的。如在物理教学中应涉及物理学的知识、概念、原理等，以物理学科为依托，脱离学科内容的主题失去了学科的主体，是不足取的，但又不局限于这一学科。基础教育中的跨学科主题学习，目的在于打破学科封闭所引发的学生对世界、对事物、对实际问题的整体性认识不足，理解不全，不能以全面的眼光分析问题、解决问题，在面对复杂的实际问题时受单一学科知识和方法等方面的限制。这种学习，主旨在培养学生获得跨学科探究的体验，体会多种意涵中的跨学科理念与方式。既认识到某一学科的独特性及其价值，又认识到学科之间的差异性及学科之间的内在相关性、学科综合解决问题的优势和必要性，学习学科综合的方式和方法。

跨学科主题的兴起，与学科发展的趋势相关，与当代大科学、复杂性学科的兴起相连，与非线性思维相融，是时代的产物，是基础教育课程改革的必然。

7 结 语

学科是跨学科的基础，学科知识和方法是实现跨学科综合的先决条件，而跨学科的综合必将超越学科的疆域[18]。这是对原始学科综合的超越，而非一般的回归。很难想象，从沙滩或泥淖中起跳，能跨越深邃而宽阔的沟壑。坚实的基底是实现跨越的条件，跨学科与学科的关系就是如此。从复杂性科学、非线性思维的视角来观照这种关系，可以深化我们的理解，能够拓展我们的眼界，对问题认识得更为透彻和全面。这对我们正确看待跨学科课程、跨学科教学、跨学科学习、跨学科素养等，是值得借鉴的。

参考文献

[1] Allen F. Repko, Rick Szostak. 如何进行跨学科研究[M]. 傅存良，译. 北京：北京大学出版社，2021：4—5.

[2] Iwo Amelung. 命名物理学：晚清勾划一种近代科学领域轮廓的努力[A]. 赵中亚，译. 复旦大学历史学系编. 中国现代学科的形成[C]. 上海：上海古籍出版社，2007：326—362.

[3] 蔡铁权. “物理”流变考[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版)，2001(1)：1—6.

[4] 左玉河. 从四部之学到七科之学——学术分科与近代中国知识系统之创建[M]. 上海：上海书店出版社，2004：2—5.

[5] 葛佩佩，李靖，刘运全. 从脉冲激光到阿秒光源，从光电效应到阿秒物理——解读2023年度诺贝尔物理学奖[J]. 物理，2023(12)：807—815.

[6] Luis Plaja, Ricardo Torres, Amelle Zaïr. 阿秒物理[M]. 赵环，赵研英，叶蓬，译. 北京：国防工业出版社，2023：3—6.

[7] 顾以藩. 太阳中微子及超新星中微子探测——2002年诺贝尔物理学奖成果评述[J]. 物理，2003(2)：80—86.

[8] 袁岚峰. 量子信息简话[M]. 合肥：中国科学技术大学出版社，2021：22—204.

[9] Michael Hiltzik. 大科学[M]. 王文浩，译. 长沙：湖南科学技术出版社，2022：1—25.

[10] Jeffrey Goldstein. Emergence as a Construct: History and Issues [J]. Emergence, 1999, 1(Issue. 1): 49 - 72.

[11] 乔瑞金. 非线性科学思维的后现代诠解[M]. 太原：山西科学技术出版社，2003：20—25.

[12] Gordon F. Vars. Integrated curriculum in historical perspective [J]. Educational Leadership, 1991(2): 14 - 15.

[13] 吴彤. “复杂性”研究的若干哲学问题[J]. 自然辩证法研究，2000(1)：6—10.

[14] 武杰. 跨学科研究与非线性思维[M]. 北京：中国社会科学出版社，2016：599—689.

[15] Heidi Hayes Jacobs, James H. Borland. The Interdisciplinary Concept Model: Theory and Practice [J]. Gifted Child Quarterly, 1986(4): 159 - 163.

[16] J. Horgan. Nonlinear Thinking [J]. Scientific American, 1989, 260(6): 26 - 28.

[17] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集(第一卷)[C]. 许良英，李宝恒，赵中立，等译. 北京：商务印书馆，1976：102—103.

[18] Susan G. Clark, Richard L. Wallace. Integration and interdisciplinarity: concepts, frameworks, and education [J]. Policy Sciences, 2015(2): 233 - 255.

中国知网 https://www.cnki.net