

国际科学教育中的跨学科素养： 背景、定位与研究进展*

宋 歌 王祖浩

摘要 通过跨学科的科学教育,把学生培养成跨学科的思考者和行动者,是21世纪国际科学教育转型的重要目标。发展学生的跨学科素养,其实质是对科学素养内涵的进一步丰富与延伸,跨学科素养与学科素养互为补充的素养结构构成了支撑学生自我发展的整体框架。跨学科素养是学生综合运用多个学科知识所表现出的有效行动,其态度倾向是跨越学科边界,其认知机制是多维整合。在基础教育阶段,一般以科学学科内整合、科学与其社会属性和工程的整合为情境载体,以科学实践活动为路径,促进学生实现多学科概念对流、理论互鉴与方法碰撞,在横跨学科领域的时空范围形成问题解决方案,建构系统化的知识网络。相关研究可以为我国在科学教育中发展学生的跨学科素养提供借鉴。

关键词 科学素养; 跨学科素养; 科学实践; 整合

作者简介 宋 歌 / 华东师范大学课程与教学研究所博士研究生 (上海 200062)

河南师范大学教育学部教师 (新乡 453007)

王祖浩 / 华东师范大学课程与教学研究所研究员、教师教育学院教授 (上海 200062)

VUCA——易变(volatility)、不确定性(uncertainty)、复杂性(complexity)和模糊性(ambiguity)是描述未来的新创词^[1],它对未来公民提出了更高的要求,并在世界范围内掀起了一场关于“培养什么样的人才能让他在21世纪顺利生存、生活与发展”的热议。对此,许多国际组织、国家和教育研究者都大力倡导核心素养。全球化期许的核心素养连通了儿童生活、学校教育与未来社会,素养导向的学校教育不再局限于工具性技能的培养,而是指向真实思维场景下的观察、行动和反思,在实际问题解决中发展学生的高阶思维能力。就科学而言,一方面,许多科学与技术的革新都发生在学科边界,需要学生突破学科界限进行思考;另一方面,真实生活中的科学问题往往具有多元和杂糅的特点,小到水的净化,大到参与环境、能源和可持续发展的讨论,单一的学科知识或技能均无法胜任,需要学生具备全息的观念,理解科学作为一个有机整体的统

* 本文系教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“基于核心素养的课程标准研制的重大问题研究”(项目编号:17JJD880007)的阶段性研究成果。

一性。因此,开展学科之间的“对话”,建立多学科有意义、多层面的联结,发展学生的跨学科素养(interdisciplinary competence,简称 IC)已成为当前国际科学教育的研究热点。

本文通过梳理跨学科素养概念产生的背景、厘清其内涵和特征,明确其在科学教育中的具体定位和述评国际相关研究进展,把握其中的主要观点、共识与趋势,为形成发展学生跨学科素养的本土化话语体系提供借鉴。

一、跨学科素养的背景与特征

国内有不少研究者认为,我国学者提出的《中国学生发展核心素养》总体框架中的六大核心素养并未指向具体的学科领域,是跨领域的通用型素养。^{[2][3]}他们理解的“跨”是超越学科“之上”“之外”之意,如同澳大利亚建构核心素养框架中使用的“general capacity”(一般能力)^[4]以及芬兰《国家基础教育核心课程 2014》中的“transversal competence”(贯通素养)^[5]。而本文中的“跨学科”,从前缀 inter-来看取“整合”和“互涉”之意,^[6]是为了理解超出单一学科范畴的科学问题而形成的一种学科互动进路。如图 1 所示,多学科、跨学科和超学科组成了一个表征学科整合程度的连续体,^[7]跨学科位于整合的中间水平,强调学科边界软化和跨学科勾连,本研究将从这个角度进行分析。

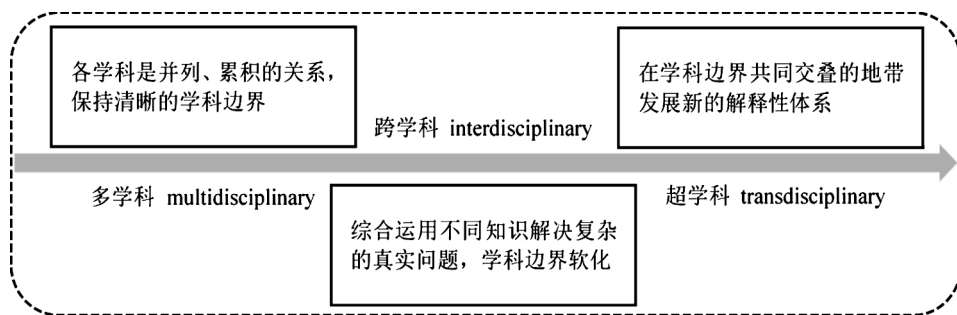


图 1 表征学科整合程度的连续体

(一) 跨学科素养的缘起背景

20 世纪 20 年代,“跨学科”(interdisciplinary)一词首次出现在课程发展的境脉中,并受到广泛支持。^[8]30—50 年代,分科教学导致学生兴趣缺失、经验与学科知识分离等问题遭到猛烈抨击,以杜威教育哲学为理论基础、以改革学校教育为宗旨的进步主义教育运动席卷美国,“儿童中心论”、“发展主义”和“整体学习”构成了此次改革的主旋律^[9],研究者认为真实而自然的学习必然以整体的形式发生。这一运动对科学教育产生了巨大影响。美国和英国开始尝试协调化学、生物、物理等学科内容知识,在初中阶段开设综合科学课程^[10],这标志着跨学科课程思想萌芽。

20 世纪 50 年代末,苏联人造卫星升空再一次触发了对分科科学的极致追

求 美国的“学科结构运动”波及整个世界,然而这场课程改革运动很快陷入困境。1964年,美国科学教师协会(National Science Teachers Association,简称NSTA)首次讨论在科学学习中运用跨学科方法(interdisciplinary approach)的需求和重要性。^[11]进入80年代,科学-技术-社会(science-technology-society,简称STS)思潮的兴起再次拉开了“跨学科”的序幕。1989年NSTA面向7—12年级学生发起了“范围、顺序和协调”(scope, sequence and coordination,简称SS&C)计划,提出科学课程的设计原则包括统整四门科学科目、将科学与其他科目联系起来。SS&C计划确立了科学教学的跨学科取向。^[12]

公众对跨学科的热情触发了有关整合边界和效度的热议,雅各布斯(Jacobs, H.H.)在《跨学科课程:设计与实施》一书中公开指出“对跨学科项目的采纳决策源自合法地评估可能产生的智力倾向。”^[13]20世纪90年代初,研究者逐渐开始运用准实验研究比较跨学科活动和单一学科活动的学习增益,^{[14][15]}结果表明跨学科学习能够有效提升批判性思维、类比思维和演绎推理等一般认知能力。这些研究结果促使学者从追捧跨学科教育转向深入关注跨学科课堂上到底发生了什么,尝试定义和评价学生在综合科学活动中的特定学习增益——跨学科素养(interdisciplinary competence)。^[16]

进入21世纪,科学技术的高度综合对科学教育改革提出了新目标,跨学科问题解决被认为是建立科学研究和科学教育的有效纽带,^[17]也是帮助学生应对生活中的复杂科学议题和日后非常规工作的主要途径^[18]。这一现实需求随即在政策层面得到有效回应。2011年,美国科学促进会(American Association for the Advancement of Science,简称AAAS)指出“即使学科本位的教育也应当强调科学的跨学科本质,与其他学科交流、合作的能力。”^[19]2014年,美国科学研究委员会(National Research Council,简称NRC)提出,应开发新的评价体系评估学生跨学科科学理解的需求。^[20]实践层面也有大量研究者聚焦调用整体观念、丰富认识现象的视角、识别不同观点的关系模式和发展系统思维等借助跨学科教学才能有效实现的特质。^{[21][22]}“跨学科理解”“跨学科思维”“跨学科推理与交流”“跨学科科学探究”等日益成为研究焦点,这标志着到跨学科素养作为特定的学习结果正式进入教育研究者的视野。

(二) 跨学科素养的概念特征

1. 指向多维整合

早在1990年,著名跨学科学研究者克莱因(Klein, J.T.)就指出“跨学科学习是学习者创造性地连接某一主题的多个学科知识,对主题属性进行多维整合的过程。”^[23]在此基础上,曼西利亚(Mansilla, V.B.)等认为“跨学科素养是面对超越单一学科范畴的复杂问题,比如在解释现象、解决问题或创造产品时,整合两个或多个学科知识、方法以促进认知发展的能力”^[24],该定义被跨学科学研究者广泛引用。这些理解表明,跨学科素养在认知加工意义上解决的是复合问题,其突出特征是以非加和的形式对多重学科知识进行整合。

此外,赫尔斯(Hulse, R.A.)针对K-12阶段的科学教育,提出跨学科素养

的内核是以整体的视角认识科学问题,学习者要跳出已有单一学科经验的“舒适圈”形成跨学科的价值观念。^[25]与之类似,卡恰诺夫(Kachalov, N.)等认为跨学科素养应当包括跨越学科边界的意愿、使用不同的学科知识,以及理解学科互动与对话等组成要素。^[26]曼西利亚^[27]和福泰因(Fortuin, K.K.)等^[28]特别关注跨学科认知技能,将其解构为从整体上理解问题、选择恰当的学科视角思考可能的解决方法、建立相似观点的联系或解决对立观点的冲突、反思整合所做出的折中等维度。他们还强调,这类认知技能既不同于特定的学科方法,也不同于一般意义上的工具性技能,是满足跨学科整合需求的具体行动。以上定义反映了跨学科素养作为一类高阶心理建构的复杂组成,蕴含态度、理解、知识和技能等要素。

综上所述,“跨学科素养”的内涵由“跨学科”和“素养”两个语素的意义复合而成,本文将其表述为“面对异质多元的科学问题,在指向整合的问题解决框架内,学生综合调用多个学科知识分析情境、解决问题时所表现出来的有效行动”。首先,综合强调至少调用两个学科的事实概念、思维模式和探究技能,同时也反映了知识具备内容性知识和程序性知识的多重内涵。其次,指向整合凸显获得跳出单一学科问题域的新认识,可见跨学科问题解决具有产生某种新异观念或产品的潜能。再次,学科是跨学科的基础和前提,研究者们是在承认学科边界的基础上讨论跨学科,跨学科不能脱离学科而单独存在。

2. 丰富科学素养的内涵

自20世纪80年代末颁布“2061计划”以来,“科学素养”(scientific literacy)就一直被作为明确的科学教育目标。因此,在科学教育中讨论学生的跨学科素养,绕不开跨学科素养与科学素养的关系。

历经半个多世纪的发展,关于“什么是科学素养”,学界依然众说纷纭。但从其概念的演变来看,仍可以梳理出一条清晰的发展主线——从关注学生会什么,逐渐转向考量学生如何运用习得的知识与技能。从1958年赫德(Hurd, P.D.)提出的“理解科学的发展力量和现象对公民是必要的”^[29]到20世纪80年代米勒(Miller, J.D.)提出的有影响力的三维模型^[30],所涉及的素养都具有明显的知识中心取向,偏重功能性素养。1989年美国发布“2061计划”,创造性地提出科学素养是“具备并运用知识做出有关个人和社会的重要决策”^[31]。科学素养的内涵首次与个体的生活事件、文化事务和生产活动关联起来。随后,越来越多的学者开始从实用性(usefulness)的视角思考何为科学素养。比如,范恩斯坦(Feinstein, N.W.)指出“科学素养应着眼于个体在日常生活遇到的科学问题以及如何使用科学。”^[32]与此同时,科学教育在政策层面也呈现出了明显的日常实践转向。^[33]美国面向K-12年级的科学教育文件《K-12科学教育框架》(A Framwork for K-12 Science Education)提出“12年级结束时,学生应该具备参与科学议题公共讨论所必须的充足知识和离开校园后继续学习科学的能力,成为日常生活中科学信息的审慎消费者,欣赏科学的意义与价值。”^[34]

梳理科学素养概念,不是为了呈现其内涵的多样化,而是为了遴选具有代表性的观点来强调其复杂性,并回应社会发展与时代需求的发展脉络。从预设学生应当理解什么,到当前关注科学教育与个人、社会生活的相互关系,科学素养的内涵被不断拓展。跨学科素养概念的提出正是着眼于学生所处的生活世界是一个多元复合体,需要运用多重的手段进行探索,强调科学的整体性与协作性,体现了未来公民和人才特质对当今科学教育的基本诉求。因此,在科学教育领域讨论跨学科素养是对科学素养内涵的进一步丰富与延伸。

3. 与学科素养互为补充

早在1976年,皮特里(Petrie, H. G.)就指出“学科素养”(disciplinary competence)是跨学科探究的基础。^[35]考虑到学科素养是现阶段推动基于核心素养课程改革的内在支点,而物理、化学、生物和地理分科又是国际科学教学的基本样态之一,在此有必要明确跨学科素养与学科素养的关系。

第一,两者都是素养的重要组成,都强调学习结果的可迁移性和持续发展性是两种功能不同的素养形式。从本质上看,跨学科素养和学科素养分别反映了学习者认识世界的两种方式——学科整合和学科分化。克莱因和纽厄尔(Newell, W. H.)认为“跨学科学习不是对学科学习的简单增补,两者是互为补充(complementary)、互相矫正(corrective)的关系。”^[36]

第二,两者不存在认知发展的先后或水平高低问题,是相互依赖的共生体。提倡跨学科教学的德国^[37]、英国^[38]、芬兰^[39]等OECD国家都普遍认为,学科教学与跨学科教学可以相互支持与促进。张(Zhang, D.)和克劳福德(Crawford, B.)提出的交叉概念认知发展三水平模型如实体现了上述观点。^[40]他们认为,学科教学帮助学生对知识的理解从经验、常识水平转向符合规范的学科水平,而跨学科教学则让学生从学科水平步入交叉学科水平。随着学生对概念理解超越单一学科转向深层次的、上位的交叉学科水平,他们的学科观念也会更加清晰与深刻。从这个意义上讲,学校课程中的知识虽然维持着科目化的组织形式,但理应将跨学科要素合理地渗透在日常学科教学之中。围绕学科融合创设新颖的学习情境,以多元化问题驱动学生进行多重思考,形成更宽广的学习视角,帮助学生进行学科知识的灵活迁移与运用,在培育跨学科素养的同时使学科素养也得到有效发展。如此看来,应当摒弃“先有学科素养才能有跨学科素养”的错误思维。

学生的身心发展具有综合性的特点,沿袭学科本位不利于多重情境互通和学科对话。因此,“向内”关注学科内部的纵向衔接,“向外”寻求学科间的联系,整合不同学科的内容知识、思想方法,形成横向联合的跨学科素养,这种学科与跨学科互为补充的素养结构构成了支撑学生自我发展的整体框架。

二、跨学科素养在科学教育中的具体定位

学界就跨学科研究、工作和学习的认知机制——多维整合已达成共识,现

实世界中的各种复杂情境是跨学科素养得以产生和发展的载体。显然,不同学段学生面对的跨学科情境具有个性化特征,再加上学科观念、认知水平的不同,必将导致整合水平和途径的差异。以下将结合相关研究,阐述跨学科素养在科学教育中的具体定位。

(一) 高等教育: 解决学科冲突实现元学科水平的整合

跨学科素养的内涵明确了以学生跨学科问题解决的外部表现作为素养的显性表征,一部分学者将跨学科问题解决视作近乎线性发生的认知过程。例如,尼可蒂娜(Nikitina, S.)以整合自然科学和人文科学的跨学科项目为研究对象,基于对高校师生的访谈数据,经归纳分析提出跨学科认知的心智过程是克服单一学科性、有效整合和修正整合三个互相衔接的阶段。^[41]跨学科的起点是意识到单一学科不足,产生适切的多元学科观点,学习者正视分歧存在,对每一观点的优劣进行批判性评估,再决定是否接纳。在反思差异的基础上,以复杂化(complexified)或混杂化(hybrid)^①为策略进行有效整合。与之类似,曼西利亚从师生访谈、课堂观察中捕获了大学生跨学科理解的三项评价指标,分别是学科基础、整合式理解和批判意识,并提出对于学习路径呈递进式和结构化的物理、化学等科学学科而言,理解问题解决所必需的学科知识和方法是跨学科的基本前提,如学生是否选择了恰当的学科视角来认识问题,这一学科视角是否存在迷思概念,是否遗漏了哪些关键的学科观点;整合理解意味着建立多个学科视角的关联,主要是解决对立观点的冲突,获得一种反思性平衡态(balance),从而形成新的问题解决方案或概念模型。^[42]

另有学者把跨学科问题解决看作具有生成性的迭代过程,学习者在多元学科文化中的互动行为决定了问题解决的步骤与走向。伍兹(Woods, C.)以大学生为研究对象,聚焦学习者如何围绕“什么可以算作证据”“哪些学科观点和怎样的整合具有更强的解释力”“如何将整合结果呈现给不同学科的读者群”等进行有效的跨学科互动。^[43]他特别强调了“知识”在跨学科学习中除了具有恰当的学科概念、方法与工具等含义,还包括学科互动的知识和学科实践活动的知识。正如申(Shen, J.)等强调,不同专业背景的学生在跨学科问题解决过程中,需要在不同学科话语体系就同一科学现象的不同表达之间进行转换,避免在解释同一问题时因阐释差异引起困惑,或把一个学科的概念和解释模型迁移至新情境,再或从新异角度将已有的学科概念和解释模型转化至新的概念系统。^[44]也就是说,每个学科都拥有特定的基本概念、探究形式、问题定义、观察类属和证据标准,整合不仅关乎内容知识、思维形式和研究方法,还关乎文化属性。

这些研究将自然科学与人文科学的内在复杂性、不同学科交界产生的基

^① “复杂化”指扩展某一学科的核心概念、理论来回应另一学科的相异方法论。“混杂化”指消除冲突,建立契合点并形成互相耦合的整体。

础问题作为跨学科情境,研究对象都是不同学科专业背景的大学生,扎实的学科基础与合作互动提供了天然、多元、充足的信息。整合在与他者的互动中产生,并以解决学科冲突为标志,凸显了学科认识论观念的碰撞。有研究者指出,高等教育阶段处于元学科(meta-disciplinary)水平的整合超越了中学生的能力范畴,出现在较晚的成人阶段。^[45]

(二) 基础教育: 在跨学科科学实践中建构系统化的知识网络

1996年,美国科学研究委员会发布面向K-12阶段的《国家科学教育标准》,提出5个超越学科边界、触及科学教育实质的概念性和程序性图示^①——“统一概念和过程”(unifying concepts and processes)。^[46]标准特别说明,“这是对已有分析式的、学科本位的内容标准的补充……当学生能更灵活地应对多种不确定性、进行更有逻辑的推理分析和更复杂的解释,表明他们对统一概念和过程的理解”。显然,整合意味着学生头脑中的孤立知识点趋向结构化,在横跨学科领域的范围内认识科学现象。2009年,一组从事科学教育的专家在苏格兰举办了一个国际研讨会,会上遴选出14个义务教育阶段结束时学生应该接触到的、处于知识网络上位的“大概念”(big ideas),在类别上包括关于科学概念和科学方法的知识,以转变学生对科学支离破碎的学习体验。大概念能够体现物理、化学、生物和地理之间纵横交错的联系,形成学科连通性。可见在内涵上,“大概念”与“统一概念和过程”一致。与会专家特别指出,“应该从学生周围的世界选择内容,在探究活动中进行内容学习,概念在收集和解释新数据中、在向二手信息咨询中、在批判性讨论中就变得‘较大’了”。^[47]如此看来,整合聚焦学科概念、理论、方法的迁移和综合,与探究活动息息相关。

新近,美国科学课程文件《K-12科学教育框架》^[48]与《下一代科学教育标准》(Next Generation Science Standards)^[49],从“交叉概念”(crosscutting concepts)和“科学与工程实践”(practice)^②两个方面凸显跨学科素养的核心意蕴。“交叉概念”是弱化学科刚性边界的内容工具,与“统一概念和过程”、“大概念”具有共同的含义,仅在条目上存在细微差别。“科学与工程实践”一来体现两者在真实的问题解决中以整合的方式起作用,二来再次强调学生知识的生长必须依托具体的实践活动,整合在实践活动中发生。美国学者新近提出的K-12跨学科科学探究(Interdisciplinary scientific inquiry)框架(见图2)直观彰显了这一课程思想^[50]:学生在跨学科情境的驱动下,有序地组织学科概念,在实践活动中以交叉概念为桥梁,构建系统化的知识网络,建立多个单一学科视角下科学现象的有机联系,形成整体性的问题解决方案。

① 这5个统一概念和过程分别是:系统、顺序和结构,证据、模型和解释,变化、恒定和测量,进化和平衡,形式和功能。

② 《下一代科学教育标准》为了扭转教条化的探究模式,扩展K-12阶段课堂探究的内涵,使用“实践”一词取代“探究”,两者并无本质区别。

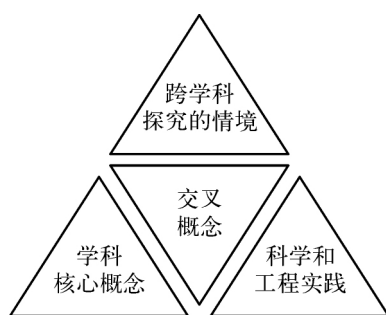


图2 K-12 跨学科科学探究框架

国际上已有的中学科学课程准确地反映了上述具体定位。比如,克拉切克(Krajcik, J.)等开发了“通过科学与技术探究世界”(Investigating and Questioning our World through Science and Technology, 简称 IQWST)课程^[51]。其中面向6年级学生的“我能相信我所看到的吗”学习单元,让学生在探究能看见物体、不同颜色的光和温室效应等一系列与光有关的生活现象中,学习光的性质、光和物质的相互作用、视力等知识,确保学生获得的是关于自然世界图像彼此联系的真实信息。再如,美国亚利桑那州立大学为7年级学生开发的“城市热岛效应”(urban heat island, 简称 UHI)学习单元^[52],要求学生从自然环境和人工构筑物中搜集多样化的证据,并进行数据分析,在这一过程中综合运用太阳辐射和大气环流(地理)、吸热和放热(物理)等学科知识,从气候、人类与自然生态平衡等方面认识 UHI 的成因、考虑 UHI 的潜在影响以及提出有意义的改善措施,促使学生自发地将知识整合与整体认识自然结合起来。还有美国罗拉多大学为6—8年级学生设计的“建造最稳固的桥”活动。^[53]该活动首先让学生观察和比较梁桥、拱形桥和吊桥的结构特点,然后启发学生从张力、弯曲度等多个角度考虑桥梁结构,协调长度、宽度、载荷和工程设计多个因素;接着,学生利用提供的材料,亲手制作模型,获取验证不同想法的信息,在证据的比较与评估中获得对桥梁结构和功能的新认识;最终能够为交通路线或跨越天然障碍(比如河流、岛屿)亦或人工障碍(高速公路)选择恰当的桥梁模型。

这些案例着眼于科学的整体性、科学作为一项人类活动与公众日常的统一性,以及科学与工程促进社会发展的协同性,从中学生经历的真实生活中选择、裁剪和设计跨学科情境。可见,整合在观察、测量、计算和论证等实践活动中产生,其标志是立足于更广阔的时空范围解释现象,建立零散观点之间、由证据支撑的一致性联系。

上述研究明确了跨学科素养在不同学段的具体定位,跨学科情境本身的复杂性和可调用认知资源的差异性决定了其各自的整合起点、整合途径和整合目标。表征问题情境的多角度认识是整合的出发点,纽厄尔特别强调大学生提出的都是学科观点,而 K-12 阶段学生的初步认识可能源自已有的学科知识、日常经验或社会文化^[54],这些认识哪些可以被接受,哪些可以被扩展成符

合科学规范的共识,有待在实践活动中加以验证。已有研究表明,大学生不同的专业背景提供了互补的认知资源,因此他们往往立足于学科差异性,解决不同学科对同一对象的差异化表达,在话语互动中实现认识论观念上的提升;而中学生则通常从学科共性出发,在跨学科科学实践活动中获取和评价证据,关联若干独立的学科认识,建构更为系统化的知识体系。

三、跨学科素养的研究进展

本文以“science”(科学)并含“interdisciplinary/cross disciplinary/integrated”(跨学科)为关键词,在EBSCO、Eric、PsycINFO、Web of Science、ProQuest和Google Scholar等数据库中搜索1990—2017年间的文献,结果发现国际研究进展主要体现在以下三个方面。

(一) 发展学生与科学教师跨学科素养的教学研究

课堂教学是落实素养的关键路径,发展学生跨学科素养的教学方法和学习方式具有独特要领。相关研究一方面关注教师关于跨学科教学的认识和实践体验,另一方面探索基于项目/问题的跨学科学习路径。

内格尔(Nagle, B.)指出,教师欠缺跨学科的课程意识和教学理念是在中学实施跨学科科学教学面临的主要困境。^[55]美国国家科学基金会特别资助并发起了跨学科科学与工程合作(Interdisciplinary Science and Engineering Partnership,简称ISEP)项目,ISEP项目的目标是促进教师在科学教育中融入跨学科科学探究。乔杜里(Chowdhary, B.)等运用个案研究的方法,收集反思日志、工作坊表现和课堂观察的数据,评估参与ISEP项目教师对跨学科科学探究的认识和教学实践,并提出从教师对跨学科教学的需求、态度和信念出发,促进在职教师相关的专业发展。^[56]比萨提(Biasutti, M.)等为提高职前教师跨学科情境下的项目设计能力,开发了基于Moodle平台的Wiki虚拟环境下的合作教学模式,^[57]结果显示该模式能够促进被试全面理解跨学科认知的基本要素(比如批判性思维、综合不同解释和丰富概念映射等)。

在教学实践层面,研究者常把跨学科学习与基于项目或问题的学习联系在一起,这种整合式教学方法直指合作探究与反思性实践。合作为个体提供了附加的认知资源,促使其重设思维方向,通过比较、联想、类比和隐喻等认知操作实现创造性地整合。^[58]有学者比较了跨学科的项目式学习(Interdisciplinary Project-based learning,简称IPjBL)和跨学科的问题式学习(Interdisciplinary Problem-based learning,简称IPBL)的基本特征,^[59]其差异体现在IPjBL强调获得创新性产品,持续时间较长(每学期1个项目),而IPBL多是结构不良的复杂问题(每学期3—5个问题),更关注学习本身且师生互动更频繁。由于IPBL更接近科学家或工程师的真实工作,^[60]一项持续2学年的教学实施研究表明其更能有效发展学生的跨学科素养。布莱斯勒(Brassler, M.)以“对话”“合作”“整合”为关键要素为大学生设计的IPBL共包括8个阶段:

(1) 阐明相关学科术语或核心概念; (2) 形成对问题空间的跨学科意识; (3) 多学科式的头脑风暴; (4) 识别既有观点的关系和差异; (5) 确定跨学科的学习目标; (6) 自主阅读提供的多元信息; (7) 事后讨论; (8) 获得综合性的问题解决方案。^[61]值得注意的是,大学生 IPBL 中的认知操作主要是对“二手资料”的加工和分析,缺少动手操作和观察真实现象,而这些恰恰是中学生科学实证的主要来源,他们评估直接证据的水平和速度远高于“二手资料”。^[62]这就意味着面向中学生的 IPBL 应当考虑“思想参与”与“动手做”相结合,让学生亲身经历信息检索、转换和决策,才符合“跨学科素养”在中学科学教育中的具体定位。

(二) 关注事实性知识整合的跨学科素养评价研究

跨学科素养的评价被形象地喻作跨学科研究的“黑洞”^[63],相关实证研究仅有以下三例。

沙尔(Schaal, S.)等在信息加工的概念系统下强调学科内容知识网络的建构,特别是新关系的发现,以哺乳动物冬眠为问题情境,使用计算机辅助的概念图作为测量工具,^[64]探究9年级学生如何综合物理、生物两个学科视角理解热力学的相关概念。申(Shen, J.)等以“渗透作用”为问题情境,大学生为被试,基于科学探究环境网络平台(Web-based Inquiry Science Environment,简称WISE)开发评价项目。^[65]评价设置了选择题和建构反应题两种题型,时长约一小时。问题解决需要学生整合渗透压、溶液浓度(化学)和力学、活塞运动(物理)等学科的科学概念,评价的最后两个项目是调查参与学生的作答体验、日常跨学科学习经历。等级评分 Rasch 模型分析表明,不同专业学生的作答表现具有统计学意义的差异,男生显著优于女生。结果显示,这种评价任务促使学生回忆起在不同课堂上习得的学科知识,然而由于跨学科科学探究体验有限,其跨学科认知仍然处于较“初始”的水平。猷(You, H.S.)等基于知识整合模型(Knowledge Integration,简称KI),开发了碳循环主题的测评工具,评估高中生和大学生的跨学科理解能力。^[66]比如,回答人类活动的过量碳排放如何影响海洋系统中的某一食物链,需要学生综合运用海洋酸化(化学)、食物链(生物)、能量转换(物理)和海洋-大气的相互作用(地理)等知识来思考生态系统中的级联效应、捕食者与被捕食者的互动关系变化。为甄别学生潜在的作答困难是因欠缺必备的学科知识还是囿于应用这些知识解决跨学科问题的能力有限,研究者设计了匹配的单一学科评价项目和跨学科评价项目。他们使用多面 Rasch 模型^①(many-faceted Rasch Model,简称MFRM)进行工具的信效度检验,将原始分转换为同一量尺上的 logit 分数,作为学生的能力估值,使用 logit 分数进一步作单因素方差检验和相关分析。结果表明,跨学科评价项目的难度显著高于单一学科评价项目,大学生跨学科理解能力显著优于高中生,

^① 面(faceted)通常被定义为影响受试者作答分数的测量条件,比如不同的任务类型、评分者效应等。该研究中的参数估计包括被试能力(P)、任务类型(S_s ,单一学科任务和跨学科任务)、项目难度(δ_{ik})。

被试学科知识基础与跨学科理解能力显著相关。

这些评价研究的共性特征是测评目标单一：一是评价主题有限；二是尤其关注多学科事实性知识层面的整合，忽视了学科方法、思想的迁移。考虑到素养组成维度多元(pluralistic)和动态(dynamic)发展的基本特征，^[67]对学生的跨学科素养做出准确而充分的推断有待更加复杂和多样的证据收集。

(三) 从认知和社会文化角度探究素养差异的影响

除了评价学习者的跨学科素养表现，研究者还探查了差异化表现背后可能的影响因素。张和申(Shen, J.)从认知和非认知的角度出发，运用访谈法捕获了16名不同专业的大学生解决跨学科科学问题的推理过程，通过对被试“出声思维”的归纳性内容分析，提出了包含问题表征(conceptualization)、解决策略和情感态度(attitude)的跨学科问题解决三因素模型。^[68]结果显示，学生在微观层面使用特定术语将跨学科问题与不同学科关联起来，比如力、活塞运动与物理的关系；学习者已有的科学学习体验影响他们如何从宏观层面表征问题，比如物理专业的学生倾向于将问题抽象为“简谐振动”模型；如果问题情境蕴含学生所擅长、偏好的学科，他们就乐于进行学科整合，也易于发现不同学科视角的关联。刘(Liu, S.Y.)等以具有跨学科性的社会性科学议题为问题情境，以177名大学生作为研究对象，运用定量和定性的混合研究方法，检验议题决策过程中学生的科学认识论观念(scientific epistemological views, 简称SEV)与跨学科思维模式的相关关系。^[69]结果显示，学生的决策过程直接体现了SEV的暂时性和创新性，如认为科学知识是暂定的、会改变，持有这种信念的学生在决策中更倾向于认识问题的复杂性，形成多样化的观点。

另有学者从跨学科学习的社会性维度出发，着重关注身份认同感、平等参与等的影响。比如，今福(Imafuku, R.)运用随意会话发起-回应跟进(initiation-response-follow-up, 简称IRF)序列，以人种志取向的课堂话语分析探查大学生如何参与跨学科学习。结果表明，小组文化氛围、个体文化假设、对不同观点的态度以及对合作学习的直觉意识均会影响学生参与有效的沟通与交流。^[70]

从整体上来讲，谋求学生跨学科素养的发展是当前国际科学教育涵盖K-16(包含高等阶段)的基本目标，并已积累了一定的研究成果。然而已有研究还存在以下不足：首先，从研究对象来看，缺少对中学生尤其是初中生跨学科认知过程、结果的关注和探查；其次，从研究内容来看，现有跨学科素养测评中存在测评目标单一性与素养本身多维性的突出矛盾；再次，从研究方法来看，文本分析、话语分析等质性研究居多，以“大数据”为支撑的定量研究匮乏。

四、对我国发展学生跨学科素养的科学教育的启示

在当前全球以素养为导向的教育改革背景下，科学教育必须回应如何让

学生在离开校园后持续探究综合化的与科学相关的问题,能够在纷繁复杂的日常情境中消费科技信息。反映在现实层面,就是从去情境化的单一学科知识传授转向学科整合下的意义创生,促进学生从不同的视角思考和解决问题,培育学生的跨学科素养。对国际科学教育中跨学科素养的背景、定位与研究进展的分析,启示我国从以下三点探索发展学生跨学科素养的本土化教育实践。

第一,已有研究明确了学科与跨学科互相依存的共生关系,借鉴西方基础教育课程经验,应当重构以学科核心概念和科学大概念为共同主体的课程内容,在当前主导的分科教学中合理搭建跨学科科学实践的机会空间。在设置课程内容时,横向上以交叉概念贯通物理、化学、生物和地理四个学科领域;纵向上随着年级水平递增,学科核心概念的扩展延伸伴随着交叉概念的发展进阶,避免学生深陷零碎知识境脉,使得形成高度关联的知识结构成为可能。在设计课堂教学时,以科学学科内整合、科学与其社会属性和工程整合为载体创设跨学科情境,或者在不同的教学进度节点或学科课堂重复学习相同的科学现象,在交叉概念下引导学生将若干单维的科学片段关联成完整的科学事件,兼顾“动手”与“动脑”,让学生在跨学科科学实践中整体地认识科学现象或系统化地思考解决方案。

第二,已有研究提及在职教师跨学科课程意识和教学理念的欠缺是当前改革中面临的主要困境,“跨学科”导向的科学教学客观上要求学科间教师加强互动合作、转变学科本位意识、具备跨越学科边界的心理倾向,形塑与之匹配的课堂目标与文化。显然,单一学科背景的教师需要应对诸多挑战,比如形成对“跨学科”的正向认知和积极情感,恰当设置异质多元的跨学科问题空间,提供有效的脚手架促进学生调用多样化的学科知识实现认知重组。西方已有的经验做法是组织在职教师参与研修工作坊,具有不同专业背景的教师与科学家共同开展跨学科科学研究项目,提升教师自身的跨学科素养和相关的教学知识。因此,地方和学校应通过多种专业发展路径帮助教师树立与改革取向一致的观念,以观念指导具体行动,促进学科教师在日常教学中建立非正式的合作关系,围绕跨学科的问题式或项目式学习设计进行分享、交流。

第三,持续开展行之有效的跨学科科学教育必然以测评为参照。诚然,国际范围内已开展了跨学科素养的评价和影响因素研究,但并不充分。以测评引领课程重建,为教育决策提供实证依据,亟待开展以下几方面研究:一是建构凸显跨学科素养多组分、组分间关系和各组分发展水平的测评框架,用一系列可观察的指标反映跨学科素养的丰富内涵。二是在传统纸笔测验的基础上,开发基于信息技术的测验形式,全面诱发学生的认知反应、言语行为和操作行为,针对特定年级或学段进一步丰富评价主题,获得跨学科素养充分的直接外部表现,剖析群组差异,开展持续的横向比较和纵向追踪研究。三是参照既有研究结果,搜集和论证量化数据,确定既有研究中跨学科科学探究经历、科学知识基础、学科偏好、对跨学科的态度等变量与跨学科素养的相关关系和

影响机制,并在此基础上解释、反思数据背后的教育实践。

参考文献:

- [1] Fadel , C. , Bialik , M. & Trilling , B. Four-Dimensional Education: The Competencies Learners Need to Succeed[M]. Boston , MA: Center for Curriculum Redesign , 2015.
- [2] 王光明 ,卫倩平 ,赵成志.核心素养视角下的跨学科能力测评研究[J].中国教育学刊 , 2017(7) : 24-29.
- [3] 夏雪梅.跨学科素养与儿童学习: 真实情境中的建构[J].上海教育科研 , 2017(1) : 5-9.
- [4] ACARA. The Australian Curriculum[EB/OL]. <http://www.australiancurriculum.edu.au/f-10-curriculum/general-capabilities/>.2019-3-8/2019-3-8.
- [5] [39] Finnish National Board of Education. National Core Curriculum for Basic Education 2014 (in English) [M]. Helsinki: Ministry of Education and Culture , 2016: 30.
- [6] Klein , J. T. Typologies of Interdisciplinarity: The Boundary Work of Definition[A]. Frodeman , A. , Klein , J. T. & Mitcham , C. The Oxford Handbook of Interdisciplinarity (2nd ed) [C]. Oxford: Oxford University Press , 2017: 21-34.
- [7] Moran , J. Interdisciplinarity[M]. London: Routledge , 2010: 14-15.
- [8] Vars , G. F. Integrated Curriculum in Historical Perspective [J]. Educational Leadership , 1991(2) : 14-15.
- [9] Hirsch , Jr. , E. D. The Schools We Need: And Why We Don ' t Have Them [M]. NewYork: Doubleday , 2010.
- [10] 孙丹儿.我国综合科学课程内容统整研究[D].上海: 华东师范大学 , 2010.
- [11] National Science Teachers Association. Curriculum Committee. Theory into Action in Science Curriculum Development[M]. Washington , D.C.: National Science Teachers Association , 1964.
- [12] McComas , W. F. & Wang , H. C. A. Blended Science: The Rewards and Challenges of Integrating the Science Disciplines for Instruction[J]. School Science & Mathematics , 1998(6) : 340-348.
- [13] Jacobs , H. H. Interdisciplinary Curriculum: Design and Implementation[M]. Alexandria , VA: Association for Supervision and Curriculum Development , 1989: 14-25+29-30.
- [14] Newell , W. H. Academic Disciplines and Undergraduate Interdisciplinary Education: Lessons from the School of Interdisciplinary Studies at Miami University [J]. European Journal of Education , 1992(3) : 211-221.
- [15] Wright , S. P. Fostering Intellectual Development of Students in Professional Schools Through Interdisciplinary Coursework[J]. Innovative Higher Education , 1992(4) : 251-261.
- [16] Ivanitskaya , L. , Clark , D. , Montgomery , G. et al. Interdisciplinary Learning: Process and Outcomes [J]. Innovative Higher Education , 2002(2) : 95-111.
- [17] MacKinnon , P. J. , Hine , D. & Barnard , R. T. Interdisciplinary Science Research and Education [J]. Higher Education Research & Development , 2013(3) : 407-419.
- [18] Shell , D. F. , Brooks , D. W. , Trainin , G. et al. The Unified Learning Model: How Motivational , Cognitive , and Neurobiological Sciences Inform Best Teaching Practices [M]. Dordrecht: Springer Science+Business Media B. V. , 2010.
- [19] American Association for the Advancement of Science. Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A View for the 21st Century [EB/OL]. <http://www.visionandchange.org/about-vc-a-call-to-action-2011/>.2019-3-10/2019-3-10.
- [20] National Research Council. Developing Assessments for the Next Generation Science Standards [M].

- Washington , D.C.: National Academies Press , 2014.
- [21] Liu , O. L. , Lee , H. S. , Hofstetter , C. et al. Assessing Knowledge Integration in Science: Construct , Measures , and Evidence[J]. *Educational Assessment* , 2008(1) : 33-55.
- [22] [28] Fortuin , K. K. , van Koppen , C. K. & Kroeze , C. C. The Contribution of Systems Analysis to Training Students in Cognitive Interdisciplinary Skills in Environmental Science Education [J]. *Journal of Environmental Studies and Sciences* , 2013(2) : 139-152.
- [23] Klein , J. T. A Conceptual Vocabulary of Interdisciplinary Science [J]. *Practising Interdisciplinarity* , 2000: 3-24.
- [24] [42] Mansilla , V. B. & Duraising , E. D. Targeted Assessment of Students’ Interdisciplinary Work: An Empirically Grounded Framework Proposed [J]. *The Journal of Higher Education* , 2007(2) : 215-237.
- [25] Hulse , R. A. Preparing K-12 Students for the New Interdisciplinary World of Science [J]. *Experimental Biology and Medicine* , 2006(7) : 1192-1196.
- [26] Kachalov , N. , Kornienko , A. , Kvesko , R. et al. Interdisciplinary Competences and Their Status Role in the System of Higher Professional Education [J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* , 2015(41) : 429-433.
- [27] Mansilla , V. B. Learning to Synthesize: the Development of Interdisciplinary Understanding [A]. Frode man , A. , Klein , J. T. & Mitcham , C. *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity* (2nd ed.) [C]. Oxford: Oxford University Press , 2010: 288-306.
- [29] Laugksch , R. C. Scientific Literacy: A Conceptual Overview [J]. *Science Education* , 2000(1) : 71-94.
- [30] Miller , J. D. Scientific Literacy: A Conceptual and Empirical Review [J]. *Daedalus* , 1983(2) : 29-48.
- [31] American Association for the Advancement of Science. Science for All Americans: Summary , Project 2061 [M]. New York: Oxford University Press , 1989.
- [32] Feinstein , N. Salvaging Science Literacy [J]. *Science Education* , 2011(1) : 168-185.
- [33] 肖思汉.论科学素养的“日常实践”转向 [J].*全球教育展望* , 2017(11) : 12-20.
- [34] [48] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices , Crosscutting Concepts , and Core Ideas [M]. Washington , D.C.: National Academies Press , 2012: 9.
- [35] Petrie , H. G. Do You See What I See? The Epistemology of Interdisciplinary Inquiry [J]. *Educational Researcher* , 1976(2) : 9-15.
- [36] Klein , J. T. & Newell , W. H. Advancing Interdisciplinary Studies [A]. Newell , W. H. *Interdisciplinarity: Essays from the Literature* [C]. New York: College Entrance Examination Board , 1997: 3-22.
- [37] 杜惠洁 舒尔茨.德国跨学科教学理念与教学设计分析 [J].*国外职业教育* 2005(4) : 32-35.
- [38] Christopher , D. , Jenny , B. & Ana , S. Researching the Competence-based Curriculum: Preface to a Case Study of Four Urban Secondary Schools [J]. *Curriculum Journal* , 2013(3) : 321-334.
- [40] Zhang , D. & Crawford , B. Learning and Teaching Crosscutting Concepts from Cognitive Perspectives [R]. Pittsburgh , PA: the National Association for Research in Science Teaching (NARST) , 2014.
- [41] Nikitina , S. Pathways of Interdisciplinary Cognition [J]. *Cognition and Instruction* , 2005(3) : 389-425.
- [43] Woods , C. Researching and Developing Interdisciplinary Teaching: Towards a Conceptual Framework for Classroom Communication [J]. *Higher Education* , 2007(6) : 853-866.
- [44] Shen , J. , Sung , S. & Zhang , D. Toward an Analytic Framework of Interdisciplinary Reasoning and Communication (IRC) Processes in Science [J]. *International Journal of Science Education* , 2015(17) : 2809-2835.
- [45] King , P. M. & Kitchener , K. S. Developing Reflective Judgment: Understanding and Promoting Intellectual Growth and Critical Thinking in Adolescents and Adults. Jossey-Bass Higher and Adult Education Series and Jossey-Bass Social and Behavioral Science Series [M]. San Francisco , CA , CA Jossey-Bass , 1994.
- [46] National Research Council. National Science Education Standards [M]. Washington , D. C.: National Academies Press , 1996: 104.

- [47] Harlen , W. Working with Big Ideas of Science Education. The Science Education Programme of IAP [EB/OL]. www.interacademies.net/activities/projects/12250.aspx.2019-3-8/2019-3-8.
- [49] National Research Council. Next Generation Science Standards: For States , by States [M]. Washington , D.C.: National Academies Press ,2013.
- [50] Nargund-Joshi , V. , Liu , X. , Chowdhary , B. et al. Understanding Meanings of Interdisciplinary Science Inquiry in an Era of Next Generation Science Standards [R]. Rio Grande , Puerto Rico: National Association for Research in Science Teaching ,2013.
- [51] Krajcik , J. , Reiser , B. , Fortus , D. & Sutherland , L. Investigating and Questioning Our World through Science and Technology (2nd ed) [M]. Greenwich , CT: Sangari Active Science ,2013.
- [52] Bestelmeyer , S. V. , Elser , M. M. , Spellman , K. V. et al. Collaboration , Interdisciplinary Thinking , and Communication: New Approaches to K-12 Ecology Education [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment* ,2015(1) : 37-43.
- [53] Regents of the University of Colorado. Construction Technologies: Creat the Strongest Bridge [EB/OL]. https://www.teachengineering.org/activities/view/wpi_bridge_joy_act.2019-4-15/2019-9-23.
- [54] Newell , W. H. Powerful Pedagogies [A]. Smith , B. L. & McCann , J. In *Reinventing Ourselves: Interdisciplinary Education , Collaborative Learning , and Experimentation in Higher Education* [C]. Rancho Cucamonga ,CA: Anker Press ,2001: 196-211.
- [55] Nagle , B. Preparing High School Students for the Interdisciplinary Nature of Modern Biology [J]. *CBE-Life Sciences Education* ,2013(2) : 144-147.
- [56] Chowdhary , B. , Liu , X. , Yerrick , R. et al. Examining Science Teachers’ Development of Interdisciplinary Science Inquiry Pedagogical Knowledge and Practices [J]. *Journal of Science Teacher Education* ,2014 (8) : 865-884.
- [57] Biasutti , M. & EL-Deghaidy , H. Interdisciplinary Project-Based Learning: An Online Wiki Experience in Teacher Education [J]. *Technology ,Pedagogy and Education* ,2015(3) : 339-355.
- [58] Dillon , P. A Pedagogy of Connection and Boundary Crossings: Methodological and Epistemological Transactions in Working across and between Disciplines [J]. *Innovations in Education and Teaching International* ,2008(3) : 255-262.
- [59] Brassler , M. & Dettmers , J. How to Enhance Interdisciplinary Competence-Interdisciplinary Problem-Based Learning versus Interdisciplinary Project-Based Learning. [J]. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning* ,2017(2) .
- [60] Martinez , F. , Herrero , L. C. & Pablo , S. D. Project-Based Learning and Rubrics in the Teaching of Power Supplies and Photovoltaic Electricity [J]. *IEEE Transactions on Education* ,2011(1) : 87-96.
- [61] Brassler , M. Interdisciplinary Problem-Based Learning — A Student-Centered Pedagogy to Teach Social Sustainable Development in Higher Education [A]. Filho , W. L. & Pace , P. *Teaching Education for Sustainable Development at University Level* [C]. Cham: Springer ,2016: 245-257.
- [62] Koslowski , B. Theory and Evidence: The Development of Scientific Reasoning [J]. *British Journal of Educational Psychology* ,1996(2) : 574-575.
- [63] Mansilla , V. B. Assessing Student Work at Disciplinary Crossroads [J]. *Change: The Magazine of Higher Learning* ,2005(1) : 14-21.
- [64] Schaal , S. , Bogner , F. X. & Girwidz , R. Concept Mapping Assessment of Media Assisted Learning in Interdisciplinary Science Education [J]. *Research in Science Education* ,2010(3) : 339-352.
- [65] Shen , J. , Liu , O. L. & Sung , S. Designing Interdisciplinary Assessments in Sciences for College Students: An Example on Osmosis [J]. *International Journal of Science Education* ,2014(11) : 1773-1793.
- [66] You , H. S. , Marshall , J. A. & Delgado , C. Assessing Students’ Disciplinary and Interdisciplinary Understanding of Global Carbon Cycling [J]. *Journal of Research in Science Teaching* ,2018 (3) : 377-398.

- [67] UNESCO. Global Media and Information Literacy Assessment Framework. [EB/OL]. <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002246/224655e.pdf#page=40>. 2019-3-20/2019-3-20.
- [68] Zhang, D. & Shen, J. Disciplinary Foundations for Solving Interdisciplinary Scientific Problems [J]. *International Journal of Science Education*, 2015(15) : 2555-2576.
- [69] Liu, S. Y., Lin, C. S. & Tsai, C. C. College Students' Scientific Epistemological Views and Thinking Patterns in Socioscientific Decision Making [J]. *Science Education*, 2011(3) : 497-517.
- [70] Imafuku, R., Kataoka, R., Mayahara, M. et al. Students' Experiences in Interdisciplinary Problem-Based Learning: A Discourse Analysis of Group Interaction [J]. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 2014(2) : 1-19.

Interdisciplinary Competencies in International Science Education: Background, Orientation, and Trends in Research

SONG Ge & WANG Zuhao

(Institute of Curriculum and Instruction, School of Teacher Education, East China Normal University, Shanghai, 200062, China; Department of Education, Henan Normal University, Xinxiang, 453007, China; Institute of Curriculum and Instruction, School of Teacher Education, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

Abstract: The critical issue concerning the transformation of international science education is cultivating interdisciplinary thinkers and doers for the 21st century in interdisciplinary science education. The essence is further expansion and extension of scientific competencies. Beyond that, the complementary structure of interdisciplinary competence (IC) and disciplinary competence has been the holistic framework to support students' self-development. IC is the effective action performed by synthesizing multidisciplinary knowledge, with attitude transcending disciplinary boundaries and the cognitive mechanism of multidimensional integration. Moreover, in middle school science, interdisciplinary contexts are generally rooted in integration among Science disciplines, connection between science and social life, links with science and engineering. Interdisciplinary contexts drive and guide students to the transfer, interaction, and integration of different disciplinary concepts, theories, and methods through scientific practices. Also, students make problem-solution in the time and space crossing disciplinary boundaries and construct a systematic knowledge network. The related research can provide a reference for the localization of developing students' IC in science education in China.

Keywords: scientific competencies; interdisciplinary competencies; scientific practices; integration

(责任校对: 王冰如)