教学论坛

科学教育中的“跨学科”与跨学科概念*

汤晨毅 （华东师范大学第二附属中学 上海 201203）

摘 要 随着《义务教育课程方案(2022年版)》以及各学科课程标准的发布，加强学科关联和综合性、实践性成为课程改革的重要趋势。“跨学科”中包括了综合性内涵和关联性内涵，其综合性内涵能体现学习的完整性，其关联性内涵——跨学科概念可以从知识本质、思维范式中去寻找。跨学科概念作为一系列大概念，在学生的学习过程中能够发挥框架性、基础性、高效性的作用。在课堂教学中，教师可以在教材基础上引导学生对问题进行跨学科的综合性思考，并点明和拓展其中的跨学科概念。

关键词 跨学科概念 跨学科实践

文章编号 1002-0748(2024)2-0002 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

2022年4月，教育部发布了《义务教育课程方案(2022年版)》，提出了“设立跨学科主题学习活动，加强学科间相互关联，带动课程综合化实施，强化实践性要求”[1]。目前所实行的分科科学教育，已经显示出许多弊端，“人为地对学科进行了划分，不利于学生采取更关联的视角来理解科学的整体意义，也局限了学生用多学科知识解决具体问题的可能性。”[2]在国际上，科学教育的分科弊端也引发了广泛的关注和讨论，其结果是以STEM为代表的项目化学习作为新的跨学科教育方式的兴起，以及美国在《Next Generation Science Standard(NGSS)》中提出的跨学科概念[3]。

1 “跨学科”内涵的分析

如果一位教师用中文上了一节生物课，我们并不会认为这是一节语文和生物的跨学科课堂，同时也不会因为在物理课上进行了一些计算而认为这是数学和物理的跨学科课堂。跨学科必须是在两个学科之间有实质性的联系，“把两门或两门以上的学科思想方法、内容知识、活动经验等进行整合、融通”[4]。“跨学科”这个概念在使用时对其实质的认识目前仍有不同的解读，大致可以分为侧重于学科内容知识层面的“跨学科实践”和侧重于学科思想方法层面的“跨学科概念”。

跨学科实践多见于探讨复杂问题，或是工程项目中，借由同一主题或是问题进行的多学科知识整合。此时的跨学科表现为在不同学科参与下对问题的“多维度解释”(科学)或“多重约束条件求解”(工程)，体现了跨学科的综合性内涵。例如火箭的推进剂，从化学角度要考虑燃烧供能，强氧化剂对容器的腐蚀性；从物理角度要考虑推进剂自身质量、体积、液态或是固态；从工程角度要考虑容器设计、药柱形状、保温等多方面。又例如家庭装修中，如果将电线直接用水泥糊进墙里，从物理角度来说并无不可，对于导电和散热没有太大影响；但从化学角度来看就不行，因为水泥有较强腐蚀性，长时间后会造成电线绝缘外层的损坏；从工程角度看也不合适，因为一旦出现问题需要更换，就必须破坏墙面，敲开水泥。因此家庭装修的电线一般采用套管后埋入墙体的办法。在这些真实问题中，各学科从各自学科层面来解释、解决问题，“从单纯的知识整合”进步到“基于问题解决的知识整合”[5]，体现了学习的完整性，但学科之间依然是相互独立的。课程标准中，物理、化学、生物、地理、信息、历史等学科在课程内容中涉及的跨学科实践大多以此种形式呈现。

跨学科概念[6]则侧重于打破学科壁垒，寻找和建立学科之间知识结构上的联系，体现了跨学科的关联性内涵。《义务教育科学课程标准(2022年版)》中提出了“物质与能量”“系统与模型”“结构与功能”和“稳定与变化”四个跨学科概念[7]。以科学

* 基金项目：本文系2023年度上海市教育科学研究一般项目“高中理化生跨学科主题统整式课程开发及教学评一体化实践研究”(课题批准号：C2023102)的阶段性研究成果。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

课程为例，课程的内容是科学，课程的对象是人，因此不同学科之间的跨学科联系主要来源于两个方面：一是知识本体，二是人类思维范式。

从知识本体角度来说，跨学科概念中学科之间的关联，可以分为两种类型：本质关联和形式关联。

所谓本质关联，是指在不同学科中讨论的问题，其本质是相同的（同一种概念或规律），或是存在因果联系。跨学科概念“物质与能量”就是重要的本质关联。在物理、化学、生物、地理等课堂中所讨论的“能量”概念，虽然有不同的表现形式，但本质上就是同一个概念，因此不同学科话语体系下的能量是可以互通的。因为能量本质的相同，所以有度量的统一性（各学科中能量的单位是相同的）、数量的可加性（化学能、生物能、电能、内能都可以相加减）、规律的普遍性（在电池充电时把物理的电能转化为化学能，在放热反应时又将化学能转化为内能，在光合作用中将光能转化为化学能，都符合能量的转化和守恒定律）。

所谓形式关联，指虽然本质不同，但在表现形式上有相似性。例如，万有引力和电磁力本质不同，但万有引力定律的公式 $F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$ 和库仑定律公式 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 在形式上高度相似，其作用表现亦然。原子中的核外电子处于原子核的“引力场”中，类似于地球上的物体处于地球的引力场中。在理论力学中，把万有引力和库仑力在数学上统一作为“有心力”来处理，既可解释天体运动，也可解释α粒子散射。

从思维范式角度来说，对于不同的问题，人类可能采用相似的认知逻辑。如果仔细思考“场”这个概念的意义，可以发现其包括两个层面：一是以“场”为名的特定实体，如电场、磁场；二是对某种量的数值分布的描述，如温度场、浓度场或流体力学中的流场。高中物理中的电场强度和磁感应强度同时具有上述两层意义，有时候作为对特定实体的描述，如点电荷电场、长直通电导线磁场；有时又是对分布的描述，如匀强磁场、匀强电场。

就“场”的第二层面的意义而言，数值分布的描述就是一种具有跨学科意义的科学思维，对应于“系统与模型”的跨学科概念。例如，在人教版初中地理七年级上册教材第一章第四节“地形图的判读”和该册书第三章第二节“气温的变化与分布”中分别提出了“等高线”图和“等温线”图。而在人教版高中物理必修三第十章第二节“电势差”中，就利用了“等高线”图来帮助同学理解“等势线”这种相对较为抽象的概念。这种将某个量（高度、温度、电势等）的数值相等的点用线连接起来，形成一种直观形象的图像表示的“等值线图”方法就是在认知逻辑上表现出的一种形式关联。进一步地，还可以从等值线的分布情况整理、类比出更多的信息。例如，等值线排列密集的区域是相应的量变化较快的区域，等高线密集代表地形陡峭、高度变化快，等温线密集代表温度变化快，等势线密集代表电场强度大等。

形式关联使我们得以逐渐从具体的学科事实性内容中脱离出来，进入更接近哲学的思维层面，为跨学科概念等大概念的建立提供了途径。跨学科概念是对各学科知识与规律的共性部分的抽象与凝练所形成的结构性框架，是其中具有重要意义与价值的部分。

2 “跨学科概念”的作用分析

人类正处于一个前所未有的“知识爆炸”时代，在科学领域各种新知识以极高的速度累积，而被替换或淘汰的旧知识只有很少一部分。对于一个学生而言，从懵懂无知到科学、技术前沿之间的距离日益加大，同时也意味着学生需要学习的知识总量在不断增加。在人类的生物学基础没有发生大的变化的前提条件下，在教育中我们正面临学生需要学习的内容不断增加（例如1946年第一台电子计算机才诞生，1969年互联网才出现，而信息科技现在已经是义务教育阶段的课程之一），而学习时长有限的根本性矛盾。

另一方面，在信息科技和互联网如此发达的当下，人们已经可以很方便地从网络上搜索到自己所需要的信息而不必经过艰苦的学习过程。但这样一种缺乏理解与结构的“知识”并不能带来能力的提升，能够搜索到的都是既有知识，面对新问题和新挑战需要的是思索能力而非搜索能力。

在这种情况下，科学课程必须实现从教授知识为主的模式向集中于核心大概念、突出思维方式与实践能力、为学生的终身学习打下良好基础的模式转变。跨学科概念与学科核心概念同属于大概念的范畴，在教学中能够起到的作用有：

（1）帮助学生建立知识框架（框架性）

已有的研究指出，目前教学实践中的一些普遍性问题就是知识零碎、松散，“学生较少在一个连续的整体中去建构知识”，表现为学到的知识“散”“低”“浅”[8]。通过大概念的整合引领建构起知识框架，学生就能够“将原本零碎的知识遵照一定的思维逻辑统整到一个更大的结构中”[9]，“这一结构能帮助学生记忆、理解、迁移和跨学科运用”[10]。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（2）成为理解现象、解决问题的出发点（基础性）

仍以前述“物质与能量”这一跨学科概念为例，物理、化学、生物、地理乃至人类社会，运动与发展都离不开物质与能量的供应。笔者曾在上海中国航海博物馆里看到一段关于“鲸落”现象的科普视频。在阳光不能到达的深海海底，生物的能量来源是如何的？巨鲸沉到海底的尸体，供养了一片繁盛的“海底绿洲”。与受制于水源的沙漠绿洲结合，可以发现支持生命系统的底层依旧是物质与能量。相信大部分本文的读者都没有听说过“鲸落”这一现象，虽然只需通过网络简单的搜索就能够获取相关的知识，但从能量的角度来讨论这一现象就能很好地加深对“物质与能量”概念的理解。在地理课堂里探讨工业区位置，英国第一次工业革命前期沿河建立工业带，德国著名的鲁尔工业区发源于鲁尔煤矿，都是人类社会的发展受能量供应制约的实例。从物质与能量的角度出发进行思考，就是马斯克的“第一性原理”思考[11]，这种思考方式造就了Tesla和Space X等具有革命性的科技公司的成功。

（3）提高学生的学习效率（高效性）

心理学研究已经确认，人类工作记忆的容量有限，能够拓展相关记忆能力的方法就是将新刺激与已有的长时记忆中的知识内容建立联系。在长时记忆中也存在类似关系。所以整体而言，为学生提供新知识与已有知识的联系，能够有效帮助学生记忆和理解新的知识。

在《National Science Education Standards》中提出鼓励改进的方向之一是减少主要依赖记忆的“事实性”内容，而代之以核心观念和探究能力[12]。当学生有了核心观念的基石和知识框架的结构，就容易将新的知识吸纳进已有体系之中，从而为将来新的学习和解决新的问题打好基础。仍以化学盖斯定律和物理“势能变化与路径无关”两者为例，从认知心理学的角度来说，当学生认识到二者的内在同一性，就能只消耗一份认知资源来学会两个不同学科的不同知识点，真正起到“减负增效”的作用。

跨学科概念可以在目前分科教育的基础上以拓展和融合的方式来应用[13]，跨学科实践更适合课题、项目化学习等方式。除非是有意识地以跨学科概念为主题，否则单次课中跨学科更多以跨学科实践的面貌出现，但教师可以点明和显化其中的跨学科概念，通过在各学科和各学段对跨学科概念的接触，使学生的跨学科概念得以螺旋式上升和深化。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部. 义务教育课程方案（2022年版）[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022：4.

[2] 钱旭红. 是时候锻造新的科学教育了[N]. 中国科学报 2022-6-21(1).

[3] NGSS Lead States. Appendix G-Crosscutting Concepts [EB/OL]. (2013-4)[2022-06-30]. https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/Appendix%20G%20-%20Crosscutting%20Concepts%20FINAL%20edited%204.10.13.pdf.

[4] 中国教育科学研究院课程与教学研究所课题组. 中小学跨学科课程融合的问题与对策[J]. 课程·教材·教法，2022(10)：60-69.

[5] 安桂清. 论义务教育课程的综合性与实践性[J]. 全球教育展望，2022(5)：14-26.

[6] National Research Council. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas [M]. Washington, DC: National Academies Press, 2012：83-84，218.

[7] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准（2022年版）[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022：16.

[8] 李松林. 以大概念为核心的整合性教学[J]. 课程·教材·教法，2020(10)：56　61.

[9] 祝钱. 从零散到系统：物理教学中知识结构化的主张[J]. 中小学教材教学，2022(1)：35　39.

[10] 布鲁纳. 布鲁纳教育论著选[M]. 邵瑞珍，张渭城，等译. 北京：人民教育出版社，2018：33.

[11] 王馨，李平. 东西融合之悟性思维：伊隆·马斯克的隐喻谜团[J]. 外国经济与管理，2018(1)：124　140.

[12] National Research Council. National Science Education Standards [S]. Washington, DC: National Academy Press, 1996：113.

[13] 李瑞雪，王健. 美国科学课程中的跨学科概念：演进、实践及启示[J]. 外国教育研究，2021(4)：102　117.

（上接第75页）

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准（2017年版）[S]. 北京：人民教育出版社，2018.

[2] 张玉峰. 以大概念、大思路、大情境和大问题统领物理单元教学设计[J]. 中学物理，2020(5)：2　7.

[3] 陈娴，梁玲. 美国高中多样化物理教科书初探[J]. 物理教学，2014(11)：75　79.

[4] 杨友为，陆建隆. 中学物理教材章导页的必然、应然与实然——基于对中美高中物理教材章导页的量化评估[J]. 物理教师，2023(10)：74　77.

[5] 金邦建. 美国高中物理主流教材阅读材料赏析与启示[J]. 物理教学，2021(5)：75　77.

[6] 姜雨婧，刘小贤. 基于ISM法对中美两版物理教材“电路”部分的结构分析[J]. 物理教师，2022(12)：68　71.

[7] 郭玉英，姚建欣，彭征. 美国《新一代科学教育标准》述评[J]. 课程·教材·教法，2013(8)：118　127.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net