



# STEAM 教育理念下 深度学习测评指标体系构建研究

朱立明 宋乃庆

**摘要:**STEAM 教育核心理念包括跨学科融合、真问题解决与新技术赋能,STEAM 教育与深度学习具有内在耦合性,两者可以相容相契。STEAM 教育理念下深度学习是对学习样态的质性描述,是借助人文的学习方式而进行的一种整体学习过程。本研究借鉴教育评价相关研究中测评指标体系构建的理路,利用文献法、专家咨询法与层次分析法,初步构建了 STEAM 教育理念下深度学习测评指标体系,具体涵盖主题统整、知识构建、情感投入、思维诊断四个一级指标,每个一级指标包括三个二级指标,STEAM 教育理念下深度学习表达式为: $DL=0.11^* \text{主题统整}+0.13^* \text{知识构建}+0.27^* \text{情感投入}+0.49^* \text{思维诊断}$ 。

**关键词:**STEAM 教育理念;深度学习;测评指标

**DOI:** 10.13734/j.cnki.1000-5315.2022.04.015

**收稿日期:**2022-04-22

**基金项目:**本文系教育部人文社会科学研究青年基金项目“高中数学教师核心素养测评模型构建与应用研究”(20YJC880101)、唐山师范学院科学研究基金项目“基础教育教学改革和发展研究”(2020ZB03)阶段性成果之一。

**作者简介:**朱立明,男,河北承德人,教育学博士,唐山师范学院教育学院副教授,E-mail: zhulm647@nenu.edu.cn;  
宋乃庆,男,浙江杭州人,西南大学教育学部教授、博士生导师,研究方向为基础教育、课程与教学论。

STEAM 教育是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、人文(Art)、数学(Mathematics)的英文首字母简称,最早可以追溯到 STS 教育,经历了“STS-STEM-STEAM”三个阶段。STS 是科学(Science)、技术(Technology)与社会(Society)的缩写,始于 20 世纪 60 年代。一方面,20 世纪的科学技术作为一把“双刃剑”,极大地推动了人类社会文明的飞速发展,同时又产生了由于技术运用而带来的诸如环境恶化、资源浪费、道德滑坡等负面影响,使人们不得不反思技术运用于自然开发与社会改造的利弊;另一方面,19 世纪末 20 世纪初的跨学科研究为 STS 教育提供了思路,人们开始不断平衡技术在社会与科学中的渗透,以此解决技术、科学与社会之间的关联问题。STS 教育具有一定的学术背景与实践基础,其学科融合意识成为 STEM 与 STEAM 的关键理念,正如哥伦比亚大学 Nashon 教授所言:“STS 是 STEM 之基础,而且,STEM 中的‘E’亦可包括在 society(社会)之中。”<sup>①</sup>如果说从 STS 教育到 STEM 教育是对工程人才培养的教育实践探索,那么从 STEM 教育到 STEAM 教育就凸显了对人文底蕴与艺术陶冶的价值诉求。

深度学习指向学生主动参与学习,对接学生核心素养体系中的学会学习,以培养学生高阶思维与问题解决为主。STEAM 教育理念与深度学习在价值取向、教育目标和教育过程上高度契合。STEAM 教育理念下深度学习基本架构涵盖主题统整(Topic-integrated)、任务驱动(Task-driven)、目标诊断(Target-diag-

<sup>①</sup>李雁冰《“科学、技术、工程与数学”教育运动的本质反思与实践问题——对话加拿大英属哥伦比亚大学 Nashon 教授》,《全球教育展望》2014 年第 11 期,第 6 页。

nosed)<sup>①</sup>。本研究借鉴教材难度模型<sup>②</sup>、学生课业负担测评模型<sup>③</sup>、学校特色发展测评模型<sup>④</sup>、高中生数学学科核心素养测评指标体系<sup>⑤</sup>等人文社科领域多种测评模型构建的基本思路,首先,利用理论思辨对 STEAM 教育核心理念与深度学习的内在逻辑进行分析,并利用文献法对深度学习测评进行梳理,然后,给出 STEAM 教育理念下深度学习测评指标遴选的主要依据;在此依据下,初步形成测评指标,利用专家咨询法对测评指标体系加以检验;最后,借助层次分析法确定 STEAM 教育核心理念下深度学习测评指标的权重。

### 一 STEAM 教育理念与深度学习的内在逻辑

STEAM 教育核心理念主要体现在跨学科融合、真问题解决与新技术赋能三个方面,注重跨学科的整合,强调知识的融会贯通。而深度学习的“深”除了强调学生思想、意识、情感的深层次领悟,也蕴含了教学内容的深度与广度,因为深度学习不是学生的自学,而是在教师引导下基于内容的深度教学活动。深度学习的教学逻辑由学生认知序列、学科内容特征、学科核心素养、学习效果反思四个要素构成。其中,学科内容特征本质上包含了学科发展的来龙去脉,其发展顺序是学生该学科之后获得发展的缩影,蕴含着核心内容群与教学主题,核心内容群与教学主题既可以是学科内容之间的整合,也可以是相关学科之间的内容统整。深度学习指向学生的主动参与学习,对接学生核心素养体系中的学会学习,以培养学生高阶思维与问题解决为主,追求学生的终身学习,要求学习者可以在多种情境下实现知识与技能的运用。在教学活动过程中,深度学习又强调课堂活动的体验,在体验中引导学生积极探索、发现、经历知识的形成过程,以知识体验为前提、以能力提升为中心建立学生与学习内容之间的紧密联系。因此,STEAM 教育与深度学习可以辩证地关联在一起,二者可相容相契<sup>⑥</sup>。

#### (一)STEAM 教育理念为深度学习的发生提供基础

STEAM 教育的跨学科融合、真问题解决与新技术赋能可以为深度学习提供基础。首先,跨学科融合可以完成不同主题内容的凝练,帮助学生形成综合性的知识结构体系,从而构建一种动态生成的知识观。其次,借助实践性与创新性现实问题的解决,为学生提供真实的问题场域,在任务驱动下调动学生参与社会实践活动的兴趣,使学生在知识理解与迁移的基础上具备解决问题的能力。最后,新技术赋能借助现代化信息技术手段,注重对学生思维的关注度,关注对学生学习过程的管理,学生通过在深度学习过程中的参与、体验与理解,构建不同学科内容的联结,从而拓展学生认知结构,提升高级思维能力。

#### (二)深度学习是蕴含 STEAM 教育理念的课堂教学范式

STEAM 教育可以在一定程度上实现素质教育,而深度学习可以帮助学生在 STEAM 教育中生成核心素养。在当前甚至未来社会中,需要具有远大理想、创新思维、数据分析能力、实践能力、问题解决能力与团队协作能力的公民,这是 STEAM 教育的主要目标,深度学习的学习目标可以围绕这些思维与能力进行设定并最终实现。深度学习契合 STEAM 教育的三个核心理念,以学生全面发展为核心,以追求素质教育为目标,培养具备 21 世纪核心技能的创新型人才。

因此,STEAM 教育理念下的深度学习不是两个概念的简单叠加,而是两者之间的相互渗透、融合和超越,形成理论与实践、抽象与具象的关系,这种关系决定了两者之间的层次性与继承性,STEAM 教育理念下的深度学习是质性的学习样态、人文的学习方式与整体的学习过程。

## 二 深度学习测评的研究综述

当前,学界关于深度学习评价的研究主要集中在三个方面。

其一是结果取向的评价。这种评价方式侧重学生学习的结果,针对结果对学生深度学习展开测评,大多

①朱立明、宋乃庆、黄瑾等《STEAM 教育核心理念下的深度学习:理据、架构与路径》,《中国教育学刊》2022 年第 1 期,第 71 页。

②蔡庆有、邝孔秀、宋乃庆《小学数学教材难度模型研究》,《教育学报》2013 年第 5 期,第 97—105 页。

③宋乃庆、杨欣、王定华等《学生课业负担测评模型的构建研究——以义务教育阶段学生为例》,《西南大学学报(社会科学版)》2015 年第 3 期,第 75—81 页。

④范涌峰、宋乃庆《学校特色发展测评模型构建研究》,《华东师范大学学报(教育科学版)》2018 年第 2 期,第 68—78 页。

⑤朱立明《高中生数学学科核心素养测评指标体系的构建》,《教育科学》2020 年第 4 期,第 29—37 页。

⑥朱立明、宋乃庆、黄瑾等《STEAM 教育核心理念下的深度学习:理据、架构与路径》,《中国教育学刊》2022 年第 1 期,第 69 页。

研究都以皮亚杰认识论、SOLO 分类法、布卢姆认知目标分类法等为基础,构建“认知—思维—动作—情感”模式的评价方式。例如, Hay 指出深度、表面和非学习作为学习可感知的描述,可以作为“概念映射”的结果被直接观察,“概念映射”对于追踪学习过程中的变化具有相当大的效用,能够区分有意义变化和无意义变化<sup>①</sup>。Tsaushu 等人提出生物学科深度学习的三种思维技能,即以证据为基础的论证、近距离转移机制的描述、近距离转移机制原理的阐明,并设计相关问题对学生进行评价<sup>②</sup>。

其二是过程取向的评价。这种评价方式侧重学生学习的过程,以学生发展为中心的评价,强调教师在教学过程中体会“深度”的标准,对知识进行深刻解读。促进深度学习需要表现性评价,例如,周文叶指出表现性评价评的是居于课程核心的、需要持久理解的目标,这些目标需要通过真实情境中的任务来落实和检测,传统的纸笔测验无能为力。正是因为表现性任务是真实世界中的任务,具有情境性、复杂性,评价的是复杂的学习结果,所以学生在完成任务时必须进行建构反应,而不是简单的选择反应<sup>③</sup>。殷常鸿等结合概念转变理论与 SOLO 分类体系,从学习者思维的角度入手,对学习“当下”的状态进行描述,溯源学习者思维的深度层次,并以此构建了“皮亚杰-比格斯”深度学习评价模型及其评价量化标准<sup>④</sup>。

其三是融合取向的评价。这种评价方式兼顾了学生学习的过程与结果,强调了深度学习中批判性高阶思维提升、知识建构、有效的迁移应用及真实问题解决的融合。例如,张浩等以深度学习目标为导向,运用调查、测验、统计分析等方法,对深度学习过程及结果做出价值判断,以非结构化的深层知识、高阶认知技能、高阶思维能力和高水平动作技能等的形成为深度学习评价的现实标准,构建认知、思维结构、动作技能和情感四位一体的深度学习评价体系<sup>⑤</sup>。

综上所述,已有学者从量化与质性两个方面对深度学习进行了研究与讨论,并取得了一定的研究成果。这些成果大部分都是基于皮亚杰认识论、SOLO 分类法、布卢姆认知目标分类法等基础提出的,尚没有一个统一的标准评价范式。现有的评价大多集中于认知层面,尤其是知识的掌握内化和迁移运用,对反思批判能力以及社会交往层面的能力关注不够,而且基于 STEAM 教育理念深度学习的测评研究也较少,因此,如何从 STEAM 教育核心理念出发,科学、全面地对学生深度学习进行测评成为亟待解决的问题。

### 三 STEAM 教育理念下深度学习测评指标遴选依据

STEAM 教育核心理念下深度学习测评指标的遴选,应参照其时代性、学理性与方法论方面的依据。其中,时代性依据提供了价值引领与目标诉求,学理性依据提供了逻辑联结与基本架构,方法论依据提供了操作方案与可行路径。

#### (一)时代性依据

STEAM 教育自 1986 年发展至今,经历了从 STEM 到 STEAM 的嬗变。这种改变是社会的需要和时代的诉求,目前,STEAM 教育取得了一系列研究成果,其核心理念也被运用于相关教育教学的研究中。例如,2022 年 4 月,教育部印发《义务教育科学课程标准(2022 年版)》,凝练了科学观念、科学思维、探究实践、态度责任等核心素养,其中科学观念涉及了科学、技术、工程、社会、环境等领域内容<sup>⑥</sup>。这也说明了我国基础教育开始关注学生问题解决驱动下的跨学科学习,尤其是近年来核心素养的提出,同样推动了跨学科学习目标,而深度学习则是实现这一目标的有效路径。

2020 年 10 月,中共中央、国务院印发了《深化新时代教育评价改革总体方案》,要求深入贯彻落实习近平关于教育的重要论述和全国教育大会精神,完善立德树人体制机制,扭转不科学的教育评价导向,坚决克

① David B. Hay, “Using Concept Maps to Measure Deep, Surface and Non-Learning Outcomes,” *Studies in Higher Education* 32, no. 1 (February 2007): 39.

② Masha Tsaushu et al., “Peer Learning and Support of Technology in an Undergraduate Biology Course to Enhance Deep Learning,” *CBE—Life Sciences Education* 11, no. 4 (Winter 2012): 408.

③ 周文叶《促进深度学习的表现性评价研究与实践》,《全球教育展望》2019 年第 10 期,第 90 页。

④ 殷常鸿、张义兵、高伟等《“皮亚杰—比格斯”深度学习评价模型构建》,《电化教育研究》2019 年第 7 期,第 13—20 页。

⑤ 张浩、吴秀娟、王静《深度学习的目标与评价体系构建》,《中国电化教育》2014 年第 7 期,第 51—55 页。

⑥ 中华人民共和国教育部制定《义务教育科学课程标准(2022 年版)》,北京师范大学出版社 2022 年版,第 4 页,中华人民共和国教育部网站,2022 年 4 月 21 日发布,2022 年 5 月 24 日访问,http://www.moe.gov.cn/srscite/A26/s8001/202204/W020220420582355009892.pdf。

服唯分数、唯升学、唯文凭、唯论文、唯帽子的顽瘴痼疾,提高教育治理能力和水平,加快推进教育现代化、建设教育强国、办好人民满意的教育<sup>①</sup>,进而建立科学的、符合新时代要求的教育评价制度和机制。STEAM教育理念下深度学习及评价是新时代教学变革的必然趋势,是新时代教育评价改革的具象体现,是基础教育课程改革的时代诉求,因此,STEAM教育理念下深度学习测评指标体系的构建应遵循当前教育教学与评价的时代性依据。

## (二)学理性依据

深度学习的动机是对所学内容的内在兴趣,而一致性策略是通过广泛阅读、与已有知识相互联系等途径发现意义并获得相应能力<sup>②</sup>。在此基础上,美国国家研究委员会颁布的《培养21世纪可迁移的知识和能力》指出,深度学习可以促进认知领域、人际交往领域和个人内在领域等21世纪技能发展<sup>③</sup>。富兰等认为深度学习是获得六大全球素养的过程,即品格教育、公民素养、有效沟通、合作能力、创造力与批判性思维<sup>④</sup>。美国学者认为,深度学习是学生为敏锐理解学科内容并将知识用于解决课堂和工作中的问题而必须掌握的一系列素养,包括核心学科内容、批判性思考解决复杂问题、有效沟通、协作、学会学习、学科思维等素养<sup>⑤</sup>。STEAM教育理念下深度学习是学生在教师引领下,围绕具有挑战性、融合性与思想性的主题内容,能动地、愉悦地、交互地参与教学活动,在原有经验基础上实现知识的理解、联结与迁移,并将其运用于真实情境下的问题解决,最终形成批判性与创造性的高阶思维能力。

STEAM教育在信息技术手段支撑下,以整合的教育方式解决具有现实背景的真问题,其核心理念主要体现在跨学科融合、真问题解决与新技术赋能三个方面,注重跨学科的整合,强调知识的融会贯通,而深度学习指向学生的主动参与学习,追求学生的终身学习,要求学习者可以在多种情境下实现知识与技能的运用。STEAM教育与深度学习具有耦合性,两者各要素之间能够打破原界限,将关联的要素重构成一个新的系统。基于STEAM教育理念的深度学习测评指标体系构建应寻找STEAM教育与深度学习之间的结合点,注重STEAM教育与深度学习在学习主题上具有同质性,在学习方法上具有一致性,在学习目标上具有关联性。因此,基于STEAM教育理念的深度学习测评指标体系构建需要观照学理性依据。

## (三)方法论依据

从指标构建的逻辑顺序来说,指标体系构建有三种方式。第一种,自上而下的方式。由研究者根据一定的理论基础和文献研究的结果初步构建指标和框架,再深入实践征求专家和有关人士的意见和建议,对初步指标和框架进行修订和完善。第二种,自下而上的方式。由研究者在实践中广泛征求专家和有关人士的意见和建议,并提炼出指标体系。第三种,混合式。即综合“自上而下”和“自下而上”两种思路,在开展理论研究的同时,广泛征求专家和有关人士的意见和建议<sup>⑥</sup>。测评指标上下混合的构建范式是指综合考量“自上而下”和“自下而上”两种构建范式的优点,兼顾理论与实践的双重取向形成测评指标体系,使整个研究过程具有开放性、民主性与实践性,既可以形成对测评指标较为全面的认识,又可以确保测评指标体系具有较强的科学性和操作性。

无论遵循何种构建范式,测评指标体系的构建都不是随意开展的,而是从操作性定义出发按照一定的逻辑架构形成。在具体操作方法上包括文本分析法、德尔菲法和层次分析法。文本分析法主要针对已有研究文献开展研究,如张莹等通过文本分析法提取关键词,以词频分析和文献整理构建核心素养的测评体系<sup>⑦</sup>。

①《深化新时代教育评价改革总体方案》,人民出版社2020年版,第1—2页。

②John Biggs, "The Role of Metacognition in Enhancing Learning," *Australian Journal of Education* 32, no. 2 (August 1988): 129.

③James W. Pellegrino, Margaret L. Hilton, eds. *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century* (Washington, DC: National Academies Press, 2012), 111.

④Michael Fullan, Joanne Quinn, Joanne McEachen, eds. *Deep Learning: Engage the World Change the World* (Thousand Oaks, California: Corwin, a Sage Publishing Company, 2018), 16.

⑤Betul C. Czerkawski, "Designing Deeper Learning Experiences for Online Instruction," *Journal of Interactive Online Learning* 13, no. 2 (Winter 2014): 30.

⑥范涌峰、宋乃庆《大数据时代的教育测评模型及其范式构建》,《中国社会科学》2019年第12期,第149页。

⑦张莹、冯虹《基于核心素养的教育质量评价指标体系的构建与应用》,《教育探索》2016年第7期,第62页。

德尔菲法主要根据专家对指标的重要性排序,通过剔除不重要指标和保留重要指标的方式,确定测评指标。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)通过两两比较,区分出各级指标反映评价对象数量要求的相对重要程度,给出以数值表示的判断,构成判断矩阵,然后经过运算确定同级指标相对重要程度次序的权重<sup>①</sup>。本研究借鉴 AHP 方法构建 STEAM 教育理念下深度学习测评指标的权重值。

#### 四 STEAM 教育核心理念下深度学习测评指标体系构建

##### (一)测评指标初遴选

##### 1. STEAM 教育核心理念下深度学习核心词析取

综合考虑 STEAM 教育中跨学科融合、真问题解决与新技术赋能核心理念,通过文献梳理,对深度学习的评价维度进行研判。分析核心期刊所发表的深度学习的成果,获取其相关核心词,并对其进行词频分析。在核心词获取过程中,遵循代表性原则与匹配性原则。代表性原则既保证测评指标的全面性,又确保指标的重要性,而匹配性原则是将相近的核心词进行归类,例如,我们将“学习内容”、“核心内容”、“教学主题”、“主题内容”等都划入“学习主题内容整合”,由此,得到深度学习的核心词分布,如图 1 所示。关于深度学习的核心词主要包括高阶思维发展(15.4%)、问题解决能力(13.5%)、学习主题内容整合(11.5%)、学习情境创设(8.65%)、知识理解与迁移(8.65%)、学习情感投入(7.69%)、创新能力培养(7.69%)、知识构建(6.73%)、学习活动参与(6.73%)、关键能力培养(5.77%)、批判思维提升(3.85%)、学科本质理解(3.84%)。

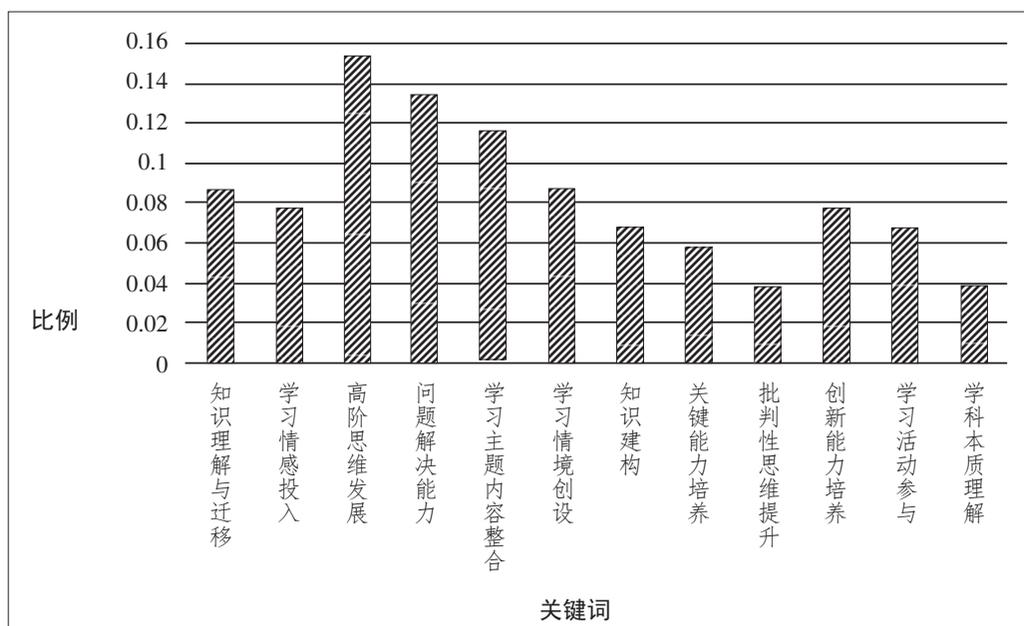


图 1 STEAM 教育理念下深度学习核心词分布

##### 2. 专家意见咨询与测评指标调整

以上述 12 个核心词为基础编制问卷,问卷采用李克特五级量表的形式,通过专家咨询,对 STEAM 教育理念下深度学习的测评指标进行收敛整合。所选专家均从事 STEAM 教育研究或是深度学习研究,包括高校教育研究者和一线教师,问卷采用线上发送的方式,共发出问卷 33 份,得到回复问卷 31 份,问卷回收率为 93.9%,结合问卷结果与对专家的访谈,专家意见大体可归纳为三类。第一类是指标之间存在包含、重复的关系。例如,有专家指出:“知识理解与迁移,知识构建两个指标存在包含关系,知识构建的过程就涵盖了对知识的理解,而知识迁移是知识构建过程中的非常重要的一环,这两个指标之间存在相互交叉的问题。”第二类是针对 STEAM 教育与深度学习之间的关系。例如,有的专家认为:“目前所提的深度学习的维度难以看出与 STEAM 教育之间的关系,比如高阶思维能力、问题解决能力,即使不在 STEAM 教育理念之下,深

<sup>①</sup>吴钢《现代教育评价基础》(修订版),学林出版社 2004 年第 2 版,第 139 页。

度学习也包含这样的目标,需注意 STEAM 教育理念下深度学习测评指标的独特性。”第三类是针对深度学习的关键要素,无需面面俱到,抓住关键测评点即可。例如,有专家认为:“深度学习本身所包含的内容很多,有指向(学生学习)过程的,有指向学习结果或者目标的,因此,在一个测评中,难以也没有必要将所有的内容都涵盖进去,抓住关键矛盾,能够解决一个问题就可以了。”基于以上建议和结果,本研究对测评指标进行调试与整合,如表 1 所示。

表 1 STEAM 教育理念下深度学习测评指标初构

一级指标	指标描述	二级指标
内容统整	学生能够借助跨学科融合理念,对相关或相近学科领域中所具有共同要素的关键能力进行整合。	挑战性
		融合性
		素养性
知识构建	学生能够在问题解决任务驱动下,对知识的意义及其所蕴含的学科思想进行理解与运用,形成综合的、生成的、动态的知识观。	理解性
		关联性
		迁移性
情感投入	学生能够在信息化教育手段下,发挥其主观能动性,积极主动地参与学习活动,并在学习过后获得知觉、意志、价值观等情感体验。	能动性
		愉悦性
		交互性
问题解决	学生能用运用所学知识,分析实际问题情境,并从中提取相关有用信息,通过对信息之间的关系的逻辑分析,用多种方法解决问题。	情境性
		开放性
		多样性
目标诊断	学生能够形成高阶思维,突出学科本质的理解与核心素养的落实,把握相关学科之间的联系,具备运用知识与方法解决问题的能力。	批判性
		持续性
		高阶性

## (二)测评指标再验证

根据表 1 编制量表,并再次进行专家咨询,在指标评分方面,通过集中度(即专家对测评指标适合度测评的平均分)、离散度(即专家对测评指标适合度测评的离散程度)、变异系数(即离散度与集中度的比值)3 个统计量对专家反馈结果进行分析。一级指标和二级指标的平均分均在 4.1 以上,各测评指标标准差都在 0.8 以下,变异系数在 0.116—0.225 之间,表明专家对测评指标认可度与一致性程度较高。在意见征询方面,共收集到 23 条指标修改意见,通过对修改意见整理分析,最终采纳 21 条。大部分建议是针对一级指标命名及其含义的阐释,二级指标命名不当,综合意见后共删除 1 项一级指标,将两个一级指标整合,并对部分二级指标命名进行修改,具体如表 2 所示。

需要说明的,STEAM 教育理想下的深度学习具备跨科学融合、真问题解决与新技术赋能三个核心理念,因此,基于 STEAM 教育理念的深度学习蕴含了教师指导下跨学科内容的整合之“深”,教育技术介入学习后学生学习体验之“深”,任务驱动下现实问题解决策略的层次之“深”。深度学习是在“教”与“学”的矛盾之中发生的,矛盾的主要方面是“学”,即学生对一定主题和内容进行深层次学习,而教师“教”的最终目的也是为了实现学生的“学”。在学生深度学习过程中,只有通过学生自身的学习活动才能达到教学目标,其他任何人无法替代学生的认知活动和情感体验。STEAM 教育理念深度学习是对学习样态的质性描述,是借助人文的学习方式而进行的一种整体学习过程。在这个过程中,学生在教师引领下,围绕具有挑战性、融合性与思想性的主题内容,能动地、愉悦地、交互地参与教学活动,在原有经验基础上实现知识的理解、联结与迁移,并借助教育信息化技术手段,将其运用于真实情境下的问题解决,最终形成批判性与创造性的高阶思维能力。

表 2 STEAM 教育理念下深度学习测评指标体系

一级指标	指标描述	二级指标	指标描述
主题统整	教师通过对相关学习内容的整合,帮助学生借助跨学科融合理念,实现相关或相近学科领域中主题的整合,对知识的意义及其所蕴含的学科思想进行理解与运用,形成综合的、生成的、动态的知识观。	挑战性	学习主题应具有一定的广度与深度,能够激发学生的认知冲突。
		融合性	学习主题应打破学科边界,实现多元学科文化的融合,形成教育合力。
		导向性	学习主题内容应指向核心素养导向,有助学生具备动态知识观,感悟学科思想。
知识构建	学生能够在教师的指导下运用所学知识,分析实际问题情境,并从中提取相关有用信息,通过对信息之间的关系的逻辑分析解决问题,完成学习任务。	理解性	对知识的本质、类属及其之间逻辑关系的理解,形成与发展基本技能。
		关联性	构建不同学科知识之间的相互联结,形成核心知识群。
		迁移性	将知识迁移到不同的情境中去,促进新知识的学习或不同情境下的问题解决。
情感投入	学生通过参与教师设计的社会综合实践活动,发挥其主观能动性,积极主动地参与学习活动,并在学习之后获得知觉、意志、价值观等情感体验。	能动性	调动学生参与综合实践活动的积极性,强化学生社会性交往。
		趣味性	激发学生参与学习活动的兴趣,使学生获得学习愉悦感,增强学习效果。
		交互性	注重教师与学生在学习活动过程中的话语交流,关注学生直接经验积累。
思维诊断	学生能够借助信息技术手段,在问题解决过程中形成理性思维、工程思维、计算思维等高阶思维能力,突出科学技术学科与人文学科本质理解,促进学生心智发展。	思辨性	使学生能够具备辩证的眼光分析问题,理清事物之间的联系。
		持续性	能及时地、不间断地对学生思维进行培养与监测,注重思维的形成过程。
		高阶性	参与非常规性、情境性、开放性特征的高认知水平教学任务,形成高阶思维。

### (三)指标权重终确定

第三次通过专家咨询,利用层次分析法,对测评指标的权重值进行计算。所咨询专家来自北京师范大学、东北师范大学、西南大学、中国教科院基础所、上海师范大学、东南大学、广西师范大学、浙江省教育厅、浙江大学教科院等 20 余所高校或研究所,均为目前国内 STEAM 教育领域权威专家或资深学者,或是学校科创 STEAM 教育带头人,保障了指标体系权重值的科学性与合理性。本次共发放问卷 41 份,回收 41 份。下面对专家权重赋值进行分析。

#### 1. 构建判断矩阵

选择其中一位专家对 STEAM 教育核心理念下深度学习测评指标的评分为例,其中同等重要、略微重要、重要、非常重要、极端重要赋分依次为 1、3、5、7、9,而两者之间赋分为 2、4、6、8,例如同等重要与重要之间赋分为 2,其判断矩阵如表 3 所示。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/4 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 4 & 3 & 1 & 1/3 \\ 3 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

表 3 某专家对 STEAM 教育理念下深度学习一级指标的判断矩阵

指标名称	主题统整	知识构建	情感投入	思维诊断
主题统整	1	1/2	1/4	1/3
知识构建	2	1	1/3	1/5
情感投入	4	3	1	1/3
思维诊断	3	5	3	1

## 2. 计算特征向量

首先,需要对判断矩阵  $A$  的每列元素进行归一化处理,其元素的一般项为:  $\alpha_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{k=1}^4 \alpha_{kj}}$ , ( $i, j = 1, 2, 3,$

4)。其中  $\alpha_{ij}$  为原始数据,将处理后判断矩阵的每一行元素进行相加,  $\overline{w}_i = \sum_{j=1}^4 \alpha_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), 计算出判断矩阵的特征向量  $\mathbf{W} = (w_1, w_2, w_3, w_4)^T$ , 其中  $w_i = \frac{\overline{w}_i}{\sum_{j=1}^4 \overline{w}_j}$  ( $i, j = 1, 2, 3, 4$ ),  $\mathbf{W} = (0.10, 0.12, 0.28, 0.50)^T$ , 因

此,该专家认为主题统整、知识构建、情感投入与思维诊断四个一级指标的权重依次为 0.10, 0.12, 0.28, 0.50。

## 3. 相容程度检验

下面对测评指标一致性进行检验,标准如下: 如果  $CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$  时, 其中  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ,  $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^4 \frac{(AW)_i}{n w_i}$ , 满足一致性要求, 否则, 需要对指标的权重加以重新修整。根据该专家赋分,  $\lambda_{\max} = 4.244$ ,  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.081$ , 当  $n$  为 4 时, 随机一致性变量  $RI$  值为 0.90,  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.081}{0.90} = 0.09 < 0.10$ , 故该专家在四个一级指标权重判断上满足一致性要求<sup>①</sup>。

按照上述步骤,依次对另 40 位专家赋分进行计算,其中有 7 位专家的赋分未通过检验,因此,实际有效的专家评分共 34 个。通过计算 34 位专家对一级指标权重的平均值,最终得到主题统整、知识构建、情感投入与思维诊断的权重依次为 0.11, 0.13, 0.27, 0.49。同时,对二级测评指标权重进行计算与检验,主题统整中挑战性、融合性与导向性的权重依次是 0.23, 0.26, 0.51; 知识构建中理解性、关联性与迁移性的权重依次是 0.21, 0.24, 0.55; 情感投入中能动性、趣味性与交互性的权重依次是 0.32, 0.23, 0.45; 思维诊断中思辨性、持续性与高阶性的权重依次是 0.31, 0.29, 0.40。

表 4 STEAM 教育理念下深度学习测评指标体系权重

STEAM 教育理念下深度学习一级测评指标	权重	二级测评指标	权重
主题统整	0.11	挑战性	0.23
		融合性	0.26
		导向性	0.51
知识构建	0.13	理解性	0.21
		关联性	0.24
		迁移性	0.55
情感投入	0.27	能动性	0.32
		趣味性	0.23
		交互性	0.45
思维诊断	0.49	思辨性	0.31
		持续性	0.29
		高阶性	0.40

由此,我们得到 STEAM 教育理念下深度学习的线性表达式:

$$\text{深度学习} = 0.11 * \text{主题统整} + 0.13 * \text{知识构建} + 0.27 * \text{情感投入} + 0.49 * \text{思维诊断}$$

其中:

$$\text{主题统整} = 0.23 * \text{挑战性} + 0.26 * \text{融合性} + 0.51 * \text{导向性}$$

①吴钢《现代教育评价基础》(修订版),第 142 页。

知识构建 =  $0.21 * \text{理解性} + 0.24 * \text{关联性} + 0.55 * \text{迁移性}$

情感投入 =  $0.32 * \text{能动性} + 0.23 * \text{趣味性} + 0.45 * \text{交互性}$

思维诊断 =  $0.31 * \text{思辨性} + 0.29 * \text{持续性} + 0.40 * \text{高阶性}$

## 五 研究结论与讨论

本研究借鉴教育测评指标体系构建的基本理路,运用文献法、专家咨询法与层次分析法,基于学理分析和实证研究,构建了 STEAM 教育理念下深度学习测评指标体系,包括主题统整、知识构建、情感投入与思维诊断四个测评指标,并获得线性系表达式,即深度学习 =  $0.11 * \text{主题统整} + 0.13 * \text{知识构建} + 0.27 * \text{情感投入} + 0.49 * \text{思维诊断}$ 。通过检验,该测评指标体系具有较好的有效性和可靠性,可以用以指导量表的编制。教师可以据此测评指标体系,结合自身教学实践,淡化形式,注重实质<sup>①</sup>,对学生深度学习进行测评与监管,并基于具有时效性的动态数据,有针对性地进行教学设计,引导学生在 STEAM 教育理念下深度学习的真实发生。诚然,由于 STEAM 教育理念下深度学习及其评价研究较少,本研究初步构建的 STEAM 教育理念下深度学习测评指标体系,仍需加强后续研究。

# Construction of Deep Learning Evaluation Indicator System under the Concept of STEAM Education

Zhu Liming<sup>1</sup>, Song Naiqing<sup>2</sup>

(1. School of Education, Tangshan Normal University, Tangshan, Hebei 063000, China;

2. Faculty of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The core concepts of STEAM education include interdisciplinary integration, real problem solving and new technology empowerment. STEAM education and deep learning are inherently dependent and compatible as deep learning under the concept of STEAM education provides the qualitative description of learning mode, which is an integrated learning process via the human way of learning. The paper draws on the rationale for the construction of evaluation indicator systems in other education evaluation-related research and applies literature analysis, expert consultation and hierarchical analysis to construct a preliminary evaluation indicator system for deep learning under the STEAM education concept. The system covers four primary indicators, namely thematic integration, knowledge construction, emotion engagement and thinking diagnosis, each of which includes three secondary indicators. The expression of the deep learning under the STEAM education concept is  $DL = 0.11 * \text{thematic integration} + 0.13 * \text{knowledge construction} + 0.27 * \text{emotion engagement} + 0.49 * \text{thinking diagnosis}$ .

**Key words:** the concept of STEAM education; deep learning; evaluation indicator

[责任编辑:罗银科]

<sup>①</sup>宋乃庆、陈重穆《再谈“淡化形式,注重实质”》,《数学教育学报》1996年第2期,第15页。