

指向深度学习的创新性工科实验教学路径与策略

李鑫辉

摘要:针对当前工科教育中存在的“重理论轻实践”“实验教学内容局限”“形式与方法单一”等问题,本研究基于深度学习理论,从实验教学设计、学习策略和评价机制三个方面对工科实验教学进行创新性改革,提出促进学生在创新性实验中从浅层学习进入深度学习的教学路径与措施。具体措施包括:采用问题引导、情境创设、自我学习和协作探究等方法;构建线上线下结合、现实和虚拟交互的教学模式;依据学生在实验中的过程表现评估其学习成果等。本研究旨在通过有效的实验教学引导学生从事深度学习活动,不断生成与建构知识,从而培养具有实践创新能力的跨学科复合型人才。

关键词:实验教学;新工科;深度学习;创新性实验;教学实践

1. 引言

新工科以“工程教学新理念、学科专业新结构、人才培养新模式、教育教学新质量和分类发展新体系”为主题,目标是培养具有实践创新能力的跨学科复合型人才^[1]。因此,新工科教育中,实践教学居于核心位置,是培养学生工程实践能力、创新创业能力的重要途径,为工程人才的职业发展打下关键基础^[2]。实验教学作为工程实践的重要环节,与理论教学一起承担着培养适应未来挑战的多元化、创新性、复合型交叉工程人才的重任。然而,目前我国普通高等院校的工科专业课程在教学过程中大多仍采用以教师讲授为主的传统教学方法,过于重视理论知识的传授而忽视学生工程实践能力的培养,理论教学与实践教学割裂,学生的课堂参与度严重不足^[3]。此外,当前新工科教育中的实验教学本身也存在诸多问题:

一是实验教学内容存在一定局限性,以经典验证性实验为主^[4]。研究显示,某专业大一年级的实验课内容有 86.4% 是验证性实验,而综合性、探究性实验仅占 13.6%,然而高达 52% 的学生却更青睐后者^[5]。验证性实验是指学生按照实验教材、手册或者教师安排的实

作者简介:李鑫辉,男,博士,上海交通大学生物医学工程学院助理研究员,研究方向为分子生物学和系统生物学,邮箱为 xhli@sjtu.edu.cn。

基金项目:上海交通大学 2024 决策咨询课题重点项目“数字化视域下设计性生理学实验改革探索”资助(项目编号 JCZXSJA2024-02)。

验内容,依次完成一系列实验项目,侧重于对原有理论知识的验证或复原经典的实验过程。这类实验侧重于培养学生的实际操作、观察记录或数据处理技能,所得到的结果大多是稳定的、确切的、可重复的^[6]。但这样的实验课内容安排无法完全匹配学生的求知需求,也不利于拔尖创新人才的培养。

二是实验教学方法较为传统,由教师讲解或演示,学生依样按部就班完成全部实验流程,获得数据^[7]。课堂上,教师细致讲解实验原理、实验操作流程、实验试剂和仪器的使用方法等。学生无须查阅相关资料或改良实验流程,按照教师提供的完整实验步骤操作即可。这种实验课教学模式不利于学生对实验原理的深刻理解,也限制了学生对未知领域的探索兴趣。

三是实验考核方式比较单一,学生在规定的时间内完成实验内容,课后提交整齐规范的报告,重格式而轻内涵^[8]。实验课教师在进行考核时给予学生的多为终结性评价,几乎没有诊断性评价和形成性评价^[9]。学生在完成实验报告时往往也只限于了解实验目的、原理、方法,以及分析实验现象和结果。本研究对2020年至2024年期间某工科专业学生修读“解剖与生理”“近代显微学”“生物材料”“生物医学工程课程设计”“生物医学图像处理”等五门专业课时提交的实验报告进行抽样分析(共抽取495份),结果显示,绝大部分学生会记录实验数据并统计结果,仅有约25%的学生会对实验结果进行比较、分析和讨论,能够对实验作出较为深刻总结和反思的学生不足5%。可见,学生在实验课学习中注重实验结果,缺乏深入分析,无法达到高阶学习目标。

为解决上述工科实验教学中的现实问题,本文以创新性工科实验教学为例,基于深度学习(deep learning)理论,从教、学、评三个维度探索提升实验教学高阶性、创新性和挑战度的实施路径与策略。

2. 深度学习理论

美国教育心理学家马顿(Marton)和萨尔乔(Säljö)在《学习的本质区别:结果和过程》一文中指出,深度学习是一个知识迁移的过程,而这个过程有助于学习者提高解决问题并做出决策的能力^[10]。深度学习通过学习者能动地学习,旨在培育包括认知性、伦理性和社会性能力,以及教养、知识和体验在内的通用能力。因此,发现学习、问题解决学习、体验学习、调查学习等,均属于深度学习的范畴^[11]。与深度学习相对的是浅层学习,即学习者对知识采取死记硬背的简单加工方法,着眼于局部内容,被动、机械地接受知识,孤立地存储信息,把学习重点放在互不相关的部分^[12]。国内外一些学者陆续从心理学和教育学等角度对深度学习展开了深入研究,对马顿和萨尔乔的理论进行了补充和发展^[13,14,15,16]。

目前,深度学习的内涵已得到学界广泛认可。通常认为,深度学习是在教师引导下,学生围绕具有挑战性的学习主题,全身心投入、积极参与、体验成功并获得发展的有意义学习过程^[15]。有学者将深度学习的内涵划分为五个维度:①驱动动机,即深度学习由学生的内

在学习需求驱动,并以理解为基础;②高阶思维,即学生运用批判性思维和分析能力学习新思想和新知识;③知识整合,即学生将新知识与已有知识体系整合,构建整体认知;④创造性解决问题,即学生能够在不同情境中灵活应用知识解决问题;⑤元认知调控,即学生通过自我反思和调控策略,学习效果达到专家学习的水平^[17]。从上述维度来看,深度学习的内涵是丰富的,深度学习意味着学习者要掌握学科核心知识,理解学习过程,把握学科本质及思想方法,形成积极的内在学习动机、高级的社会性情感、积极的态度和正确的价值观,成为既具独立性、批判性、创造性又有合作精神、基础扎实的优秀学习者,并成长为未来社会历史实践的主人。

学者们普遍认同深度学习具有突出的情境化特征,面向的是有挑战性的学习目标,更强调理解性地学习、知识体系建构和整体联通^[18]。该内涵与工科实践对动手能力和创新能力的培养要求相契合,尤其是与创新性工科实验所要求的探究性与挑战性相契合。深度学习情境中的创新性实验要求学习者既要掌握概念、原理等结构化的浅层知识,还要理解复杂概念、情境问题等非结构化知识,最终形成结构化与非结构化兼具的认知结构体系,并灵活地结合各种具体情境来解决问题,实现从理解到创造的跨越^[19]。那么在具体的实验教学中,如何让深度学习发生?本文将从创新性工科实验的教学设计、学习策略和评价方式三个方面加以阐释。

3. 教学设计:创设问题情境,驱动学生通过生成性学习实现知识重构

一般来说,理论知识与实验操作之间存在不小距离,学生难以自动建立两者之间的联系,而通过深度学习可以跨越这一鸿沟。有学者认为,为实现深度学习,学生在实验课上不仅仅是接收新信息或重复经典实验以验证已有理论,而是需要将已有的理论知识(旧知识)与全新的实践技能(新知识)有机融合,并真正理解新知识,将其纳入自身的知识结构体系中^[20]。即深度学习强调学习者对知识的自主建构与生成。任务导向的学习可以帮助学生将学到的知识应用于实际情境^[21],实现知识的内化与意义建构。换言之,教师可以通过提出问题或任务,让学生在解决问题的过程中主动生成和建构新知识。基于上述理念,创新性工科实验教学设计以问题为引擎,驱动学生在实践探索中完成知识的生成性建构。

3.1 “问题驱动”的教学流程设计

以问题为核心的教学模式不仅能驱动学生的学习动机,还能通过教师的引导教会学生认识、调节和监控自身的认知过程。这种教学模式流程基于教师引导、学生体验等原则展开,遵循学生认知的基本规律。课前,教师根据课程内容中的知识点,结合科学探究和实际应用需求,创设相关情境并提出问题,引导学生思考探索解决方案。实验课过程中,教师引导学生把自主学习与合作探究相结合,鼓励学生积极动手实践,大胆采用新技术、新方法,通过自我反思和同伴交流不断迭代和优化实验方法,并利用过程性评价调动学生的学习积极

性,培养他们的创新精神和实践能力。课后,师生一起分析教与学的结果,进行反思和改进。以问题驱动学生进行生成性学习是一种能够有效引导学生主动探究、培养其实践及创新能力的教学方法,更符合课程“高阶性、创新性和挑战度”的建设要求。

3.2 问题设计的原则

上述教学流程的基础在于创设问题情境,问题设计应当基于专业课程体系,同时注重相关知识点之间的交叉互动与有机融合,才能吸引学生的注意力,调动他们的兴趣。一个足够吸引人的问题至少具备以下特征:第一,新颖性。问题应保持即时更新,定期融入学科专业前沿的科研成果,利用年轻人对新事物的好奇心来吸引他们的注意力,同时问题的挑战性又不能完全超出学生的能力水平。第二,实用性。问题要能够结合行业发展、临床诊疗或创新竞赛等实际应用场景,具有满足现实需求的潜在价值。第三,交叉性。问题涉及的知识点与相关交叉学科或专业融合,使问题多样化、多元化,满足专业发展和人才培养的需求。

3.3 教师角色的转变

教师通过创设问题情境,引导学生进入探究状态,促使学生主动开展学习活动。在这一过程中,教师的角色从知识的传播者转变为引导者和促进者,旨在帮助学生亲身体验探究过程。学生在探究过程中,教师需要在关键时刻进行适当的点拨和引导。引导需注重把握“度”,即介入的时机和深度。如果指导过早,学生尚未充分自主探究,就会丧失自主发现的机会;如果引导不及时,学生可能长时间处于困惑状态,就无法顺利进行深入探究。在探究活动结束后,教师应对学生的实验探究过程及学习成果进行分析和评价,同时指导学生反思并总结自主探究所得,最终实现对知识的生成性建构。

4. 学习策略:指向知识生成的自主与协作学习

在以解决问题为目标的学习活动中,教师需要注意每个步骤的设计性,始终以学生为中心,将设计理念贯穿整个学习过程,尊重学生的原创性,重点培养他们的创新思维^[22]。当学生被要求设计并制作出需要理解并应用知识的作品时,他们会更深入地学习^[23]。这主要因为学生在进行基于设计的学习活动时,须整合先验知识,并根据新的情境尝试建立多层次的知识联系,通过不断反思实现知识的生成与建构。因而,教师的任务在于创设能够促进学生不断建构与生成知识的实验活动,引导学生以独立或协作的方式去构建理论与实践之间的多重逻辑联系,查明原因和结果,检验设计的合理性与有效性,再进行迭代修改,在不断反复的过程中最终解决实验问题。

4.1 学习内容:基于实际需求情境的设计和开发

新工科教育注重学生创新创造、创业能力的培养,要考虑到跨学科融合、多学科协作、校

企合作、产学研结合、教研学一体等创新模式和人才培养需求,根据每个学生的具体情况,尽可能提供个性化的培养方案^[24]。以“生物医学工程”为例,它是典型的学科交叉专业,融合了生物学、医学和工程学三大学科的知识,对学生的创新和实践能力提出了更高要求。一是专业发展的需求。新的工程教育范式要求工程教育不仅要体现“回归工程实践”的要求,与新工业革命、科技革命、大学范式高度融合,对工程人才培养的指导思想、认识与定位等理念层面的内容均应从创新的角度来要求和实现^[25]。实验教学作为学生实践能力培养的重要环节,需充分考虑多学科交叉与多专业融合的特点,为学生提供整合性和实践性强的学习体验。二是产教融合的需求^[26]。在“大众创业、万众创新”的社会背景下,传统工科课程面临升级与改革。新工科教育更加注重培养多元化、创新型工程人才,以适应社会转型和产业升级的需要。这种教育模式将工程教育与产业需求深度结合,旨在培养兼具卓越工程能力和创新精神的复合型人才。三是临床转化的需求。转化医学模式强调基础医学与临床应用之间的紧密衔接,旨在实现“从实验室到病床”(bench to bedside)与“从病床到实验室”(bedside to bench)的双向转化研究,减少两者脱节^[27]。在生物医学工程专业的实验教学中融入转化医学理念,可以让学生尽早接触真实的临床案例,这不仅能够激发学生的学习兴趣,还能培养他们解决实际临床问题的意识与能力,为未来的学术研究与实践应用奠定扎实基础。

面对上述新工科教育的现实需求,实验课教学内容亟须做出改革,以确保学生能够运用深度学习理论有效掌握实践技能。实践技能作为一种“隐性知识”,需要学习者通过动手实践来获得,这不仅需要知识传授,还需要实践情境的创设。情境认知理论强调学习应在与实际相似的复杂社会环境中进行,以便学生能将学到的知识与现实世界联系起来^[28]。基于这一理论框架,教师需要创设与现实应用紧密关联的情境,这种情境不仅能引发学生的情感反应,还能激发他们的内在动机,使他们在学习过程中主动构建知识。

以生理学实验“尿生成的调节”这一节的教学为例,传统教学通常要求学生预习家兔解剖的有关知识,以便实验时能够节省时间并顺利完成插管,这种方法缺乏适当的情境,很少有学生能够高质量地完成实验。改革后的实验教学注重启发性情境的创设,让学生通过视频学习和线上作业等形式预习糖尿病的相关知识,包括病理、病因和临床表现。同时,要求学生讨论并回答导致糖尿病患者“三多一少”症状的生理过程及糖尿病肾炎的病因,促使学生思考这种代谢性疾病对能量转化效率和泌尿系统的影响。借助情境学习,学生能够进一步查找消化系统、能量代谢以及泌尿系统的关联知识,完整地掌握相关机理,并在自我学习过程中将生理学理论与现实疾病病理联系起来。此外,教师可以基于实际需求情境设计一些能够鼓励学生进行生成性学习的任务,如要求学生结合能量代谢章节的知识点“为糖尿病患者设计一份控糖营养餐计划”。这样的学习任务不仅与临床症状相关,还能有效激发学生对相关生理过程的探索兴趣。基于跨学科的课程设计,教师还可以设置挑战性任务,让学生以小组为单位尝试设计一种全天候 24 小时监测血糖的可穿戴设备,小组可结合兴趣和特长决定设计内容,硬件、软件的新设计或针对现有产品的升级方案均可。完成该设计任务不仅

需要医学知识,还涉及计算机科学和工程技术的交叉融合。这种设计类学习任务不仅能促进学生的情感投入和自主学习,还能强化他们的跨专业协同创新能力。

4.2 学习主体:从自我学习到他人协作

通常情况下,教师提出问题或布置任务让学生自学寻求答案的做法难以实现深度学习^[29]。深度学习不是单纯的个体学习,而是群体交互环境中的共同学习。协作探究是深度学习发生的重要条件,协同教学情境是协同探究发生的基础^[30]。也就是说,深度学习的发生需要协同教学情境的支持。协同教学情境是指能够有效支持共同学习、协作探究,实现师生之间、生生之间知识共享与交流的教学情境^[31]。针对具有一定深度和复杂度的话题,教师不是答案的唯一持有者,也不一定要提供标准的解决方案。不同的学生个体因为对知识的理解程度有差异,所以单凭个体常常不能完全掌握知识的全貌,这也是自我学习的局限性。想要在短时间内克服这种局限,有效的办法就是创设协同教学情境,使学生在与他人的互动中实现知识的建构与生产。

在协作探究的学习情境中,如分组讨论、话题辩论、同伴学习等,学生通过知识输出与互动实现深度学习。一方面,学生要参与讨论或辩论,就必须整理归纳自身知识,形成体系,以便有效表达和阐释自己的观点;另一方面,学生在倾听并理解他人观点时,个体知识与他人知识相互碰撞,形成新的联系,这一过程拓展了学生的认知视角,促进批判性反思,从而构建更全面的知识体系,使浅层学习转化为深度学习,意味着生成性学习的发生。为确保实验教学过程学生协作探究的效果,教师需采取科学的分组策略。自由选择分组往往导致组间能力不均,组内成员对知识的理解程度和投入的努力存在差异,这些因素可能对团队的合作和整体进展产生负面影响^[31]。异质性合作学习分组就是一种有效方法,这有助于平衡各组的能力水平,减少由学生自选分组引起的偏差^[32]。为进一步促进有效的协作探究,教师应持续跟进各实验小组的工作进度,及时提供反馈和指导。教师还可以通过定期的小组讨论和反馈会议帮助学生理解团队成员间如何更好地协作以及如何共同解决问题。此外,引导学生在小组内采用正确的知识建构方法也至关重要。教师应教授学生如何有效地交流思想、批判性地分析问题和共同构建解决方案,这不仅能够提高学生的社交技能,还能促进他们的生成性学习。

4.3 学习形式:现实与虚拟交互的混合式学习

深度学习以知识迁移应用和问题解决为标识,以思维的连续进阶为路径,以高阶思维的形成为目标。^[33]发展高阶思维必须由教师创造特定的教学情境,只有依赖复杂且具体的实践教学情境,才能让学生将所学知识与真实世界进行有效联通,实现知识由抽象到具体、由惰性到活化、由理论到实践的转化。概言之,要促进学生高阶思维和能力的发展,实验课上学生的学习形式要进行变革。具体到工科实验课程,创新性实验更强调学生的主观能动性,允许并鼓励一些“脑洞大开”的实验猜想和设计,不管这些猜想或者设计有多么“离经叛道”,

其实质都是学生在教师的引导下,主动运用已有的知识结构进行实践探究,解决各种复杂问题,应对各种挑战,实现跨学科知识结构的情境整合,形成多元化复合型知识结构体系,并将其转化为批判、评价、合成、创造等高阶能力。

在人工智能(AI)技术高速发展的今天,实验教学的形式也可以借力拓展得更加丰富。基于 AI 可以尝试各种现实与虚拟融合交互的混合式实验教学设计,进行多维的实验条件设计、自动化的实验数据处理和分析,搭建交互式个性化的学习系统,利用远程协作和实时反馈,实现迭代学习和跨地域及文化交流^[34,35]。AI 赋能的混合式实验教学模式可以极大地增强学生的学习体验,促进对知识的深层次理解和迁移。AI 赋能实验教学的关键在于其能够处理和分析大规模复杂数据,为学生提供精确的实验模拟和结果预测。这不仅减少了实验的资源消耗,还允许学生在安全模拟环境中探索可能的实验失败或危险实验操作。此外,AI 也能为协作学习创造独特的社交情境。通过 AI 技术支持的通信平台,学生可以与世界各地的同伴进行实时互动和讨论,共同解决问题,并分享各自的见解和方法。这种跨文化和跨地域的协作互动不仅扩展了学生的视野,而且通过多维度的思维碰撞深化了学生对科学概念的理解。总之,人工智能技术在现实与虚拟结合的混合式实验教学中扮演着核心角色,不仅优化了学习过程,提高了学习效率,还通过提供个性化与协作化的学习环境,强化了学生的问题解决能力和创新思维,促进了深度学习和知识迁移的有效发生。

5. 评价机制:基于 SOLO 分类理论的过程状态分层评价

普通考试或考核通常用量化方法评测学生对知识点的理解和熟悉程度,而实验课评价则聚焦于学生获得数据是否齐全、分析是否到位、提交的报告是否完整等^[9]。过程性评价方法则集中观察学生实验操作是否规范、步骤是否恰当、结果是否准确等课堂表现^[36]。但无论上述哪种方法,都很难考查学生深度理解、知识建构、协作探究等深度学习行为。因此,对于学生创新性实验学习成果的评价应重点关注深度学习的状态和效果,也就是从“量”的评价转向“质”的评价,考查学生的学习过程,其思维和行动表现如何,而不是只关心学生是否给出了正确答案或规范操作。

目前,学者们已对深度学习的评价进行了多种探索。早期的一种代表性理论是 SOLO (structure of the observed learning outcome,可观察的学习成果结构)分类理论,其将学生的学习成果划分为五个递进层级:“前结构”“单点结构”“多点结构”“关联结构”“抽象扩展结构”^[37]。这五个层级由浅入深,分别对应不同水平的学习成果。大量来自实验课堂、实验报告的观察和统计数据显示,很多学生的学习成果水平常处于“多点结构”和“关联结构”层级,其表现为能操作实验设备,可以按照既有实验步骤完成既定实验内容,也能收集实验数据并简单计算结果,但学生缺乏对实验内容的深入探索和反思,不能做到举一反三,针对实际问题自主设计实验并进行验证的能力依旧不足。借助 SOLO 分类理论的分层评价体系,通过分析学生在学习过程中的表现,能够科学地评估学生的学习成果水平。这种过程性分层评

价可以指导学生开展更合适的学习活动,基于自身状态提出合理的学习期望,从而有效地搭建起知识框架^[38]。如表1所示,基于SOLO分类理论的学习过程状态评估能够为教师提供教学问题诊断与教学设计优化依据,进而引导学生从浅层学习向深度学习转化。

表1 基于SOLO分类理论的学生学习过程、表现和教师角色对应表

SOLO 层级	学习过程的能力	思维操作	学习阶段	行为举例	教师角色
前结构	无能力	无操作	无学习	简单听课,但无法建立知识关联	引导学生加强对知识的理解和应用
单点结构	简单描述和列举	零散记忆	浅层学习	能辨认仪器设备的大体结构并进行功能匹配	帮助学生完成知识点整合
多点结构	解释单个和多个知识点	理解、简单比较和概括	浅层学习	能解释设备结构和功能,并对各部分的差异进行简单比较和总结	了解学生概念形成的过程,查错纠偏
关联结构	整合多个知识点并建立新的联系	分析、关联和论证	部分深度学习	根据提示完成实验流程,收集、分析数据并论证结果	带领学生进行更多的基于设计的学习实践活动
抽象扩展结构	能够组织、归纳、整合知识,并解决真实问题	评估、构建和创造	完全深度学习	主动设计新实验验证理论猜想,并能根据实验结果发展新理论	大胆放手,鼓励创新和挑战

当学习成果水平处于“单点结构”和“多点结构”两个层级时,意味着学生依然进行着浅层学习。学生能够识别单个或多个独立的知识概念,但难以理解概念之间复杂的关联性,也无法利用这些联系进行深层次的对比与论证,或主动探究以获取新的答案。这主要是因为他们的工作记忆被大量用于存储和回忆零散知识点。如果学习任务仅局限于复述或查漏补缺,学生的学习过程更像是“知识检索”,即对已记忆的知识点进行简单的比较与验证,就难以超越浅层学习的范畴。因此,在教学设计中,教师需提出带有复合性且嵌入多重任务情境的问题,引导学生基于已有知识主动进行比较、整合和归纳,从而生成新的知识来解决复杂问题。同时,教师应密切关注学生在概括相关知识点过程中的表现,及时纠正偏差并引导其形成正确的知识框架,以此促进学生向深度学习阶段迈进。

当学习成果水平达到“关联结构”和“抽象扩展结构”等层级时,意味着学生已经进入深度学习阶段,他能够探索不同知识点之间的联系,认识到各知识点的相对重要性,并逐步建立起更加完善的知识结构。其中,“关联结构”层级对应深度学习的初级阶段,该阶段学生尚未完全具备“专家构建”的特征,他们通常难以全面评估学习过程中的挑战,也缺乏运用所学知识解决实际问题的能力,即知识的应用能力尚未完全形成。因此,教师需要提供更多实践导向的引导或支持,促进学生从“关联结构”向“抽象扩展结构”跃迁。例如,展示关键实验步骤或针对学生在实验中遇到的难题提供即时解决方案。这些方式有助于学生迅速调整思维,适应新的学习要求,并在已有知识和新知识之间建立实质性联系,进而建构和生成知识。

当学习成果水平达到“抽象扩展结构”层级时,说明学生进行着深层次的学习活动,能够系统整理并归纳知识,主动构建复杂的知识网络,甚至将这些知识应用于实际情境中解决问题,完成从知识理解到知识应用的跨越。这类学生通常表现出较高的元认知能力,能够灵活掌握和调整任务执行过程。在遇到问题时,他们能够精准分析并选择最有效的应对策略,从而高效解决问题,充分体现出深度学习的核心特征。在此阶段,教师的任务更多集中于提供支持与激励,充分鼓励学生进行独立操作和自由探索,引导他们迈向更广阔的自主学习与创新领域。

6. 结语

本研究基于深度学习理论,针对工科实验教学进行深度分析并提出创新性改革的方向,从教学设计、学习策略和评价机制三个方面提出能够促进学生生成性学习的教学路径与策略。首先,教学设计以问题为引擎,驱动学生在实践探索中完成知识的生成性建构,从而弥合理论学习与实验操作之间的缝隙。其次,学习策略以生成与建构知识为根本,强调学生的主动探索和协作交流,通过项目驱动和问题解决的教学方法,促进学生的批判性思考和创新性生成。最后,评价机制应从终结性评价转向过程性和形成性评价,重视学生在学习过程中的表现和进步,以及他们将知识应用于实际问题解决的方法。新工科实验教学实践表明,深度学习导向的实验教学路径与策略,不仅增强了学生的专业技能,而且培育了他们面对未来挑战时的创新能力和适应性,也为新工科背景下创新型人才培养提供了可资借鉴的实验教学实施路径。

参考文献

- [1] 教育部高等教育司. 关于开展新工科研究与实践的通知[EB/OL]. (2017-02-23)[2025-03-01]. http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201702/t20170223_297158.html.
- [2] 唐林轩,魏克湘,徐运保,等. 地方工科院校实践教学改革的方法与路径[J]. 中国高等教育,2023(2): 74-76.
- [3] 魏楚亮,吴涛,康全礼. 问题创设及导向的新工科实践环节教学研究[J]. 高等工程教育研究,2019(6): 30-36.
- [4] 胡绍彬,郭玲玲,刘小双. 混合式教学模式下提升验证性实验“两性一度”的探索与实践[J]. 实验科学与技术,2024,22(4):54-58.
- [5] 徐丹悦. 大学化学专业学生化学实验学习障碍的研究[D]. 扬州:扬州大学,2009.
- [6] 蔡鹰,李思东,吴湛霞,等. 高校验证性实验教学质量的控制[J]. 实验技术与管理,2016,33(8):14-17.
- [7] 刘宇雷,余明. “新工科”背景下高校实验教学体系建设探索[J]. 实验技术与管理,2019,36(11):19-21.
- [8] 刘静,陈国华. 新工科背景下的实践课程体系构建及评价研究:以基于学生能力供给效果的高分子专业实践体系为例[J]. 教育教学论坛,2022(52):27-31.
- [9] 范芳. 高校实验教学评价体系现状与分析[J]. 实验科学与技术,2016,14(4):173-174,183.

- [10] Marton F, Säljö R. On Qualitative Differences in Learning: I-Outcome and Process [J]. British Journal of Educational Psychology, 1976(46): 4-11.
- [11] 钟启泉. 解码教育[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2020: 163-164.
- [12] 钟启泉. 深度学习: 课堂转型的标识[J]. 全球教育展望, 2021(1): 14-33.
- [13] Biggs J B. Individual Differences in Study Processes and the Quality of Learning Outcomes [J]. Higher Education, 1979(8): 381-394.
- [14] Entwistle N J, Ramsden P. Understanding Student Learning [M]. London: Croom Helm, 1983.
- [15] 付亦宁. 深度学习的教学范式[J]. 全球教育展望, 2017(7): 46-56.
- [16] 郭华. 如何理解“深度学习”[J]. 四川师范大学学报(社会科学版), 2020(47): 89-95.
- [17] 付亦宁. 本科生深度学习过程及其教学策略研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [18] 何克抗. 深度学习: 网络时代学习方式的变革[J]. 教育研究, 2018(5): 111-115.
- [19] 安富海. 促进深度学习的课堂教学策略研究[J]. 课程·教材·教法, 2017, 34(11): 57-62.
- [20] 许锋华, 余乐. 深度学习的教育学研究: 缘起、内涵与展望[J]. 广西师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 58(5): 147-156.
- [21] 马向真. 论威特罗克的生成学习论[D]. 南京: 南京师范大学, 1994.
- [22] 多琳·盖里·纳尔逊. 设计型学习法——教学与学习的重新构想[M]. 王伟, 译. 北京: 中国青年出版社.
- [23] 冯锐, 缪茜惠. 探究性高效学习的意义、方法和实施途径: 对话美国斯坦福大学 Linda Darling-Hammond 教授[J]. 全球教育展望, 2009(10): 3-6.
- [24] 顾佩华. 新工科与新范式: 概念、框架和实施路径[J]. 高等工程教育研究, 2017(6): 1-13.
- [25] 李茂国, 朱正伟. 工程教育范式: 从回归工程走向融合创新[J]. 中国高教研究, 2017(6): 30-36.
- [26] 吴爱华, 侯永峰, 杨秋波, 等. 加快发展和建设新工科——主动适应和引领新经济[J]. 高等工程教育研究, 2017(1): 1-9.
- [27] Zerhouni E. The NIH Roadmap [J]. Science, 2003, 302(5642): 63-72.
- [28] 张浩, 吴秀娟. 深度学习的内涵及认知理论基础探析[J]. 中国电化教育, 2012(10): 7-11, 21.
- [29] 赵德成. 什么样的作业是好作业: 作业设计新理念[J]. 课程·教材·教法, 2023, 43(6): 45-53.
- [30] 颜晓程. 深度学习视域下的教学情境反思与建构[J]. 当代教育科学, 2022(11): 48-54.
- [31] 何玲, 黎加厚. 促进学生深度学习[J]. 现代教学, 2005(5): 29-31.
- [32] R. 布鲁斯·威廉姆斯. 合作学习有讲究[M]. 谭文明, 译. 北京: 教育科学出版社, 2021.
- [33] 陈明选, 周亮. 数智化时代的深度学习: 从浅层记忆走向深度理解[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2023, 41(8): 53-62.
- [34] 陆吉健, 周美美, 张霞, 等. 基于 MR 实验的“多模态+人机协同”教学及应用探索[J]. 远程教育杂志, 2021(6): 58-66.
- [35] 袁群惠, 张兴文, 邱业君, 等. 基于数字化教学空间的无机化学课程建设与实践[J]. 大学(教学与教育), 2024(10): 64-67.
- [36] 刘静, 王光明. 过程性评价对学生学业成绩影响研究: 基于 63 项实证研究的元分析[J]. 中国考试 2024 (1): 72-82.
- [37] 约翰·B. 彼格斯, 凯文·F. 科利斯. 学习质量评价[M]. 高凌飏, 张洪岩, 译. 北京: 人民教育出版社, 2011.
- [38] 马志强, 沈诗淼, 杜鸿羽. 基于 SOLO 分类理论的思维发展表现性评价研究[J]. 远程教育杂志, 2024 (3): 52-58, 67.

An Innovative Engineering Experimental Teaching Paths and Strategies Guided by Deep Learning

Li Xinhui

Abstract: Addressing the challenges in engineering education at many higher education institutions—such as an overemphasis on theory over practice, limited experimental teaching content, and simplistic teaching methods—this study introduces a problem-centered generative learning strategy based on deep learning theory. This approach is explained through three key aspects: experimental teaching design, learning strategies, and evaluation methods. Its primary aim is to facilitate students' transition from surface learning to deep learning in innovative experiments. Specific measures include: adopting problem-oriented approaches, creating contextual learning environments, and promoting self-directed and collaborative inquiry-based methods. The strategy also integrates online and offline teaching modes, combining real and virtual interactive elements. Student learning is evaluated through their performance at various stages of the experiment, with teachers providing personalized guidance to help students gradually progress toward deeper learning. Ultimately, this strategy seeks to cultivate interdisciplinary, well-rounded talents with strong practical and innovative abilities.

Key words: experimental teaching; new engineering education; deep learning; innovative experiments; teaching practice