

新工科背景下传统焊接转向数字化虚拟焊接教学实践优化路径研究

李立国, 林小红, 江朝军

重庆交通大学工程训练中心, 重庆, 中国

【摘要】在新工科建设背景下, 本研究聚焦于传统焊接实训向数字化虚拟焊接教学的转型困境。研究指出, 当前转型面临师资能力匹配、教学内容重构与教学效果评价三大核心挑战。针对师资问题, 提出构建涵盖双轨培训、数据转化工作坊及跨界课程共同体的赋能体系; 针对教学内容, 倡导构建从模块化知识架构、循证式交互机制到项目驱动应用的递进式创建路径; 针对教学评价, 主张建立融合多维度指标、数据驱动机制与学习者反馈闭环的范式重构。最终, 旨在通过系统性优化, 将虚拟焊接教学从单一工具升级为开放共享的数字化教学生态系统, 为新工科人才培养提供理论与实践支持。

【关键词】虚拟焊接 数字化转型 工程训练 师资能力 教学评价

【基金项目】重庆交通大学 2024 年度校级教育教学改革研究项目“教育教学数字化专项”, “面向新工科的数字化虚拟焊接教学方案研究与实践”, 项目编号: 2403032。

新工科建设背景下, 虚拟焊接教学案例目前在国内部分高校已开展了一些实验性教学方案, 它以无烟尘污染、焊接种类集成度高、安全性较好等特点, 逐渐成为国内焊接训练领域较为常见的数字化转型升级教学方案选项。但同时, 虚拟焊接与现实中的传统焊接相比, 存在教学人员应用能力数字化转型不足、参训学员的实践体验感偏弱及获得感不强等方面的问题, 本研究致力于解决焊接训练数字化转型中存在的一系列问题, 为达成契合工程训练实践教育规律的数字化虚拟焊接训练项目提供理论和实践支持。

1. 文献回顾

虚拟焊接技术, 作为在虚拟教学环境中创建的焊接操作技能数字训练方案, 其核心价值远超单纯的技术模拟。国内学者已对虚拟教学环境的内涵进行了深刻阐释。王兴宇(2023)将其定义为在实在的物理空间中, 由数字设备、智能算法衍生的虚拟空间, 各类关系与互动构成的社会关系空间及关注思想、价值、理念的精神空间集于一体的四维环境。罗儒国(2023)立足教师视角, 探讨了技术加速驱动与教学惯例掣肘的对峙、多重任务叠加与数字能力不足的困境、教学活动复杂多变性与技术有限性的矛盾、技术提质增效与工作负荷加重的悖论、技术赋权增能与教学风险衍生的悖离等方面, 从认识驱动、素养培育、范式引领、组织联动、精

准保障等层面探讨了教师教学数字化转型困境的纾解路径。王婀娜(2023)通过对德国应用技术大学数字化教学实施的对策与启示的探讨, 基于德国应用技术大学数字化教学的反馈结果, 提出应当探索数字化教学与学习行动融通模型, 指出我国政府应从宏观、中观和微观三个层面做好应用型大学数字化建设的举措。国内学者相关研究为我国落实数字化教育转型政策、开展虚拟教学场景创造奠定了坚实的理论基础。同时, 对虚拟焊接技术在教学实践中如何实施教学场景打造、锻炼提升师资队伍水平、形成可行性虚拟教学方案提供了有益借鉴。但同时, 具体到虚拟焊接技术在工程训练中的教学实现方式上, 目前存在虚拟焊接场景与真实焊接场景存在体验差异, 如对焊接熔池的观察和体验效果、焊缝质量的控制方式、多个焊接工种之间的异同等方面, 存在许多差异。为增强虚拟焊接的现实体验, 增强焊接教学数字化转型的效果, 对虚拟焊接技术在教学应用中存在的师资队伍、教学内容和评价机制等进行全方位的考察分析, 探讨提升数字化虚拟焊接教学方案的实施效果。

2. 新工科背景下焊接实训教学数字化转型困境

传统工程训练向数字化工程训练转型升级是教育教学数字化转型背景下的必然发展趋势。转型升级过程中, 传统工程训练将面

临来自师资能力、课程创建与实训评价等方面的挑战

2.1 现有师资水平与数字化转型后教学能力需求升级的匹配问题

随着数字化浪潮席卷职业教育领域，虚拟焊接仿真技术正逐渐成为教学改革的关键驱动力。然而，对于长期深耕于传统焊接技艺的实训教师而言，这一转型并非简单的设备更迭，而是一场深刻的职业能力重塑。

传统焊接教师所面临的挑战是复合型的。首先是操作鸿沟问题，虚拟设备虽模拟了氩弧焊、手弧焊等多种工艺，但其操作逻辑与传统焊接相比，存在较大差异，教师熟悉的肌肉记忆与手感经验，在数字化的交互界面和力反馈系统面前成为实践成效的完成阻力，更需要一系列重新校准与适应。二是由传统实践向虚拟焊接教学的范式重构挑战。传统的言传身教的实践教学模式，正在被虚拟设备的数据化、即时反馈特性所颠覆。如何将抽象的焊接要领（如电流、电压、速度的匹配）转化为学生可理解的虚拟参数与视觉提示，是对教师知识讲解能力的全新考验。三是对虚拟焊接课程体系的再构建存在试错困境。教师不仅要掌握单一设备的操作，更需具备在不同虚拟焊接场景间自如切换、设计综合性教学项目的能力。这要求他们从“技能传授者”转变为“数字化教学设计师”，系统性地重构教学方案与评估体系，成为课程体系再构建试错困境所亟待解决的新问题。

2.2 传统焊接实训向数字化虚拟焊接转型后教学内容应如何创建的问题

在传统焊接实训向数字化虚拟焊接教学的范式转换中，教学内容的系统性重构是核心议题。这一重构过程遵循由基础到应用、由静态到动态的逻辑递进路径，具体可从以下三个层面展开：

首先，教学内容的重构基础在于构建一个模块化、可扩展且自适应的课程架构，以解决虚拟场景下教学内容的多样性与灵活性问题。该架构必须超越单一技能的模拟，系统性地涵盖氩弧焊、手弧焊、气保焊等多种主流焊接方法，并融入不同材料（如碳钢、不锈钢、铝合金）与工艺参数（如电流、电压、气体流量）的组合。更重要的是，其模块化设计允许教学内容根据学习者的认知水平和技能发展阶段进行动态重组，实现从基础操作训练到复杂工艺应用的个性化学习路径定制，从而满足差异化教学的需求。

其次，在坚实的课程架构之上，必须建立一个高保真、即时反馈的交互式教学机制，以激活学生的学习主体性。虚拟焊接平台的核心优势在于其能够将抽象的焊接过程转化为可量化、可视化的数据流。因此，平台应具备精密的人机交互界面与力反馈系统，模拟真实的焊接手感。同时，其内置的评估引擎需提供形成性评价功能，对焊缝成型、熔深、缺陷率等关键指标进行实时分析与诊断。

最后，教学内容重构的最高层次，是实现与产业实践深度融合的项目驱动式教学，以提升学生应对复杂工程挑战的综合能力。虚拟环境的最大价值在于其能够零成本、零风险地模拟真实工作场景中的复杂任务。因此，教学内容的开发应引入源于制造业、航空航天、能源装备等领域的真实工程案例，设计成综合性、挑战性的虚拟项目。学生在执行这些项目的过程中，不仅锻炼了焊接操作本身，更培养了工艺规划、质量检测、问题分析与解决等高阶工程素养。

2.3 数字化转型后的虚拟焊接教学实践效果的评价问题

在传统焊接实训向数字化虚拟焊接教学的转型进程中，教学成效的评价范式亦面临深刻的重构。传统以工件质量为核心的终结性评价模式，虽直观，但其评价维度单一、且受制于安全与环境成本等固有弊端。虚拟焊接教学虽规避了上述物理局限，却催生了构建顺应数字化教育规律的多元化、过程性评价体系的迫切需求。

构建此评价体系，其核心在于三大支柱的协同运作。其一，是确立科学化、多维度的评价指标。这不仅涵盖可量化的技能习得度（如操作精准度、效率），更应延伸至实践能力迁移与复杂工程问题解决能力等高阶素养的评估。其二，是建立基于学习分析的数据驱动机制。通过系统化采集学生在虚拟环境中的过程性行为数据与结果性成绩数据，运用算法模型进行深度挖掘与分析，从而实现对教学效果的精准画像与教学策略的动态调优。其三，是构建以学习者为中心的反馈闭环。学生的参与度、沉浸感与主观反馈是衡量教学有效性的关键软指标，通过优化交互设计与激励机制，并将学生反馈作为迭代优化教学内容与模式的重要输入，能够有效提升教学认同感。

3.新工科背景下虚拟焊接实践教学数字化转型优化路径

3.1 构建赋能体系：焊接师资数字化转型能力匹配的优化路径

为跨越教师面临的“操作鸿沟”，应实施“认知-操作”双轨并进的混合式脚手架培训。此模式并非简单适应，而是通过解构传统与虚拟操作的差异，建立“经验-参数”的映射关系，将隐性的肌肉记忆显性化。

为应对“教学范式重构”的挑战，必须构建“数据-知识-教学”转化工作坊，提升教师的数据阐释与教学转化能力。通过系统化培训，使教师能将虚拟系统生成的复杂数据图表与焊接底层原理相关联，并共同开发标准化的教学阐释课程体系。在此基础上，建立同伴观摩与集体备课机制，通过集体智慧加速整个团队从“言传身教”向“数据驱动”的教学范式迭代，实现知识传递方式的现代化升级。

为破解“课程体系再造”的试错困境，应组建由教师、行业专家、教学设计师构成的跨界“项目驱动”课程开发共同体。该共同体以真实产业项目为载体，建立结构化的“虚实映射”知识传递模型，系统性地解决虚拟与现实效果的对比与传递问题。通过将开发成果转化为模块化、可复用的数字化课程资源，能够极大降低个体教师的试错成本，促进教学成果的快速转化与规模化应用，从而系统性地完成课程体系的现代化再造。

3.2 从架构到应用：虚拟焊接教学内容创建的递进式路径

为奠定数字化教学内容的坚实基础，应优先构建一个基于模块化知识图谱的自适应课程架构。此架构要求对焊接领域的核心知识进行系统性解构，将不同的焊接方法、材料特性与工艺参数封装为独立的知识元。通过智能算法，这些知识元能够根据学习者的认知模型与技能水平进行动态重组与个性化推送，从而形成从基础操作到复杂工艺的定制化学习路径。此举不仅从根本上解决了教学内容的多样性与灵活性问题，更为高阶教学活动提供了可扩展、可复用的知识底座。

其次，在稳固的知识架构之上，应着力打造一个闭环交互与即时反馈的循证式教学机制。该机制依赖于高保真物理引擎与多模态数据采集系统，将抽象的焊接过程转化为可量化的数据流。通过内置的学习分析算法与形成性评价模型，系统能对学生的操作行为与焊接结果进行实时诊断，并提供精准的、可视化的改进建议。这种数据驱动的反馈闭

环，将传统的“经验式”学习模式转变为高效的“循证式”精进过程，极大地激活了学生的学习主体性，实现了技能的精准塑造。

最终，教学内容设计的升华在于实现与产业实践深度融合的跨学科项目驱动模式。建议通过逆向工程等方法，将制造业、航空航天等领域的真实工程案例转化为虚拟教学项目。学生在执行这些综合性任务时，不仅锻炼了焊接操作本身，更在解决复杂问题的过程中，培养了工艺规划、质量检测、成本控制与团队协作等高阶工程素养。

3.3 构建多维闭环：虚拟焊接教学效果评价的范式重构

在传统焊接实训向数字化虚拟焊接教学的转型进程中，教学成效的评价范式亟待系统性重构。以最终工件质量为唯一标尺的终结性评价模式，其评价维度固化为单一的产品导向，且受制于安全与环境成本等固有弊端。虚拟焊接教学虽规避了物理局限，却对构建顺应数字化教学规律的多元化、过程性评价体系提出了内在要求。

虚拟焊接教学效果的评价并非静态的终点，而是一个动态的、持续优化的循环过程。工程训练中心与教学团队需建立常态化的评估与反思机制，形成“评价-反馈-改进”的螺旋式上升闭环。通过定期审视评价数据，精准诊断教学瓶颈，并采取针对性措施进行干预与优化，方能确保教学质量在持续的自我革新中实现螺旋式提升，最终实现与新工科人才培养目标的深度耦合，为数字化工程训练的转型升级提供坚实的评价保障。

参考文献

- [1]何峰,雷毅.基于金属焊接虚拟实验的自主式开放创新实践[J].实验室研究与探索,2023,42(04):241-245.
- [2]谢本凯,张笑笑,蔡水涌,等.虚拟焊接训练技术研究进展[J].焊接,2022,(05):43-51.
- [3]李阳,罗曼乐兰,庞盛永.基于数值模拟的高能束焊接虚拟仿真实验教学[J].实验技术与管理,2021,38(08):110-113+122.
- [4]李美艳,雷毅,韩涛,等.卓越计划背景下虚拟实验室在金属焊接实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2015,32(08):112-113+117.
- [5]甄舒,刘伟红.虚拟现实焊接培训模拟系统在焊工培训中的应用[J].焊接,2015,(01):64-66+72.