

AI+实训教学一体化:赋能价值、风险隐忧与改革路径

钟子林,申富林,肖卫国

(广州铁路职业技术学院铁道工程学院,广东广州 511300)

[摘要]人工智能技术的迅猛发展正深刻重塑职业教育实训教学形态,“AI+实训教学一体化”作为职业教育数字化转型的关键路径,其赋能价值与潜在风险的辩证关系已成为学界与实践领域的核心议题。本文系统剖析该模式的多维赋能机制,通过虚拟仿真与数字孪生技术实现实训场景革新,破解资源约束并推动产教场景动态适配;依托全流程数据感知与分析支撑精准育人,实现技能短板定位与个性化训练方案生成;借助智能协同平台重构产教融合生态,激活资源流动与评价闭环效能。同时,该模式亦面临技术理性僭越导致的实训本质异化、数据治理失序引发的伦理风险以及人机关系失衡造成的教育交往弱化等挑战。为此,本文提出强化技术适配以构建人机协同生态、完善治理机制以筑牢数据安全防线、创新“AI+双师型”培养模式、深化产教融合以实现供需精准对接的改革路径,旨在推动技术赋能与教育本真价值的深度耦合,为职业教育实训教学高质量发展提供理论参照与实践指引。

[关键词]AI+实训教学一体化;职业教育;实训改革;人机协同;产教融合

[作者简介]钟子林(1990—),男,广东河源人,广州铁路职业技术学院铁道工程学院讲师,博士,研究方向:新型桥梁结构稳定、轨道交通工程测量、人工智能教育。申富林(1983—),男,湖南邵东人,广州铁路职业技术学院铁道工程学院副教授,博士,研究方向:新型桥梁结构、轨道交通工程稳定及震动。肖卫国(1967—),男,甘肃金川人,广州铁路职业技术学院铁道工程学院教授,硕士,研究方向:职业教育、采矿工程技术。

[基金项目]本文系广州铁路职业技术学院科技创新团队项目“轨道交通线—桥—隧职能监测检测与安全防控技术创新团队”(项目编号:GTXYT2401);广州市科技计划项目“压电智能复合材料拱的非线性动力稳定与主动控制研究”(项目编号:2023A04J0653);广州铁路职业技术学院新引进人才项目“高强度钢拱桥平面外稳定性研究”(项目编号:GTXY2201);广东省教育厅项目“面向轨道交通监测系统自供电技术的拱形俘能器设计与研究”(项目编号:2022KTSCX298)。

[DOI] <https://doi.org/10.62662/kxwxz0208046>

[中图分类号] G434

[本刊网址] www.oacj.net

[投稿邮箱] jkw1966@163.com

随着人工智能技术的迭代演进,虚拟仿真、生成式 AI、数字孪生等技术持续渗透职业教育实训场域:从助产专业借虚拟仿真突破实践教学瓶颈,到电子信息学科以生成式 AI 驱动竞赛教学改革;从建筑室内设计构建“三阶智链·虚实共生”实训体系,到工业互联网技术课程打造虚实贯通场景;从供应链实训依托 VR 实现沉浸式协同,到装备制造类专业借 AI 优化实训模式,AI 赋能实训的多元实践持续拓展边界。

现有研究虽在技术落地、专业适配层面取得突破,但对“AI+实训教学一体化”的系统性解构仍存缺憾:既未对场景革新、精准育人、生态重构等多维赋能机制形成贯通解析,也鲜见结合实训特性,深入挖掘技术理性僭越、数据伦理失范、人机关系失

衡等潜在风险,更未构建涵盖技术适配、治理机制、培养模式与产教融合的改革体系。

鉴于此,本研究立足职业教育数字化转型语境,以“AI+实训教学一体化”为核心,系统阐释其突破资源约束、精准画像育人、重塑产教生态的赋能价值,深度剖析实训本质异化、数据伦理风险、教育交往弱化等隐忧,从构建人机协同生态、筑牢数据安全防线、创新“AI+双师”模式、深化产教精准对接切入,探索技术赋能与育人本质的价值耦合路径,为职业教育实训教学突破传统局限、实现高质量发展提供理论参照与实践指引。

一、AI 赋能实训教学一体化的赋能价值

人工智能技术携带的虚拟仿真、数字孪生等特性,正通过重构实训场域的要组合方式,推动职

业教育实训场景从单一物理空间向虚实共生生态转型。这种融合不仅依托技术特性突破传统实训对设备规模、场地条件、安全阈值的刚性约束,更通过高保真情境创设实现技能训练与产业真实场景的深度耦合,使实训过程从“经验模仿”向“情境建构”进阶,从根本上提升技能培养的针对性与转化效能,形成技术赋能下实训教学的效能放大机制。

(一)场景革新:虚实融合驱动实训效能跃升

以VR/AR为核心的智能仿真技术,通过数字化构建可重复调用、低损耗的虚拟实训场景,将实体实训的资源依赖转化为数字资源的可复制性与共享性,有效消解传统实训中“高价值设备利用率不足”“高危操作安全风险管控难”“新兴产业设备更新滞后于教学需求”等资源约束,降低对实体设备的损耗成本与时空限制,通过高频次、多维度虚拟操作训练实现有限实训资源效能最大化,推动实训资源配置从“硬件依赖”向“数字赋能”转型;数字孪生技术则通过对企业生产场景的全要素数字化复刻与实时数据映射,依托数据交互机制将企业生产线的设备参数、工艺流程、标准规范等动态信息实时接入实训系统,使教学场景与产业现场形成毫秒级响应的动态适配,既解决传统实训内容更新滞后于产业迭代的结构矛盾,又通过“虚拟场景迭代—实体操作验证”的协同流程推动产教场景从静态模拟向动态共生演进,确保技能培养与产业需求的精准咬合。

(二)精准育人:数据感知支撑个性化培养

人工智能技术凭借多源异构数据采集与分析能力构建覆盖实训全流程的感知网络,推动职业教育实训从“经验驱动”向“数据驱动”转型,其核心在于通过捕捉学生操作行为、认知轨迹、情感状态等多维数据构建动态演化的学习模型,实现群体共性技能瓶颈的精准识别与个体能力短板的细粒度诊断,为个性化培养提供科学依据。基于物联网与边缘计算技术的全流程数据采集系统,可实时捕捉实训操作中的行为轨迹、时间分配、错误类型等细粒度信息,经智能算法多维度整合分析,既涵盖群体层面技能掌握的共性薄弱环节,又聚焦个体层面的独特能力缺口,突破传统教学依赖教师主观观察的局限,实现技能短板的量化定位与可视化呈现,为后续干预提供精准靶向。在全流程数据解析基础上,人工智能技术通过整合学生认知水平、技能基础、职业倾向等多维度指标构建动态更新的个体能力画像,该画像既包含显性的操作熟练度数据,又涵盖隐性的思维方式、问题解决策略等深层特征,并依据职业能力发展规律进行预测性分析,据此智

能系统可自动生成阶梯式、个性化的训练方案,使实训内容与学生能力现状精准适配,推动“因材施教”从教育理念转化为可操作的培养路径。

(三)生态重构:协同创新激活产教融合活力

人工智能技术凭借数据互联与智能协同特性,正重塑职业教育产教融合生态格局,通过打破校企信息壁垒与资源边界,推动实训教学要素从“分散孤立”向“系统耦合”转型,其核心在于构建“数据互通—资源共享—协同育人”一体化机制;智能协同平台与大数据技术的应用,有效消解校企实训资源在时空分布、更新速度、标准适配等方面的隔离状态,通过统一数字资源中台实现企业生产案例、技术标准、设备参数与院校实训内容、教学方案、能力指标的实时对接与动态匹配,既解决传统模式下校企资源“供需错位”问题,又通过资源数字化转化提升共享效率与复用价值,形成资源流动良性循环。基于人工智能的动态评价系统整合学生实训表现、企业实践反馈、行业能力标准等多源数据,构建“教学实施—实训验证—企业评价—方案迭代”闭环逻辑,可实时捕捉人才培养偏差并转化为教学调整建议,推动人才培养目标、实训方案、评价标准动态优化,使培养链条与产业发展同频共振,从根本上提升人才输出与市场需求的适配精度。

二、AI+实训教学一体化的风险隐忧

(一)技术理性僭越与实训本质异化

人工智能技术的工具理性若过度渗透于实训教学场域,可能引发技术逻辑对教育本质的僭越。当智能系统主导实训流程设计、操作规范制定与能力评估标准时,实训教学易陷入“技术依赖”的路径锁定,教师的实训指导权与学生的自主探究空间被算法逻辑压缩,导致实训过程异化为标准化技术操作流程的机械复刻。这种技术规训下,职业教育实训所强调的“做中学”本质被弱化,学生的实操创造力、问题解决灵活性及职业认同感在程式化训练中逐渐钝化,最终使实训教学偏离培养高素质技术技能人才的核心目标,陷入“效率优先而育人弱化”的异化困境。

(二)数据治理困境与伦理失范风险

AI+实训教学中多模态数据的采集、存储与分析环节,潜藏着数据治理体系不完善与伦理边界模糊的双重风险。实训过程中产生的操作行为、生理反馈等敏感数据,若缺乏明确的采集权限界定与安全防护机制,易引发隐私泄露风险;基于历史数据训练的智能评价模型,可能因算法偏见固化对学生技能水平的片面判定,导致评价结果偏离真实能力状态,形成“数据标签”对学生发展的隐性约束。此

外,数据共享过程中校企权责划分的模糊性,可能使实训数据被商业性复用或不当流转,既破坏教育数据的公共属性,也削弱师生对技术应用的信任基础,引发职业教育数字化转型的合法性危机。

(三)人机关系失衡与教育交往弱化

智能设备与虚拟系统的过度介入,可能打破实训教学中“师生互动—生生协作”的天然交往平衡,导致教育场域的情感连接与价值传递功能弱化。当学生的操作指导、问题解答过度依赖虚拟导师或智能反馈系统时,教师的临场示范、纠错点拨等具身性指导被技术中介化,师生间基于实操场景的即时性情感共鸣与经验传递被数据流交互替代。同时,虚拟实训场景的沉浸性可能减少学生间的面对面协作机会,使团队协作能力、沟通表达等职业素养的培养在技术隔离中被边缘化。这种人机关系的失衡,不仅消解了实训教学的人文温度,更可能阻碍学生人格社会化进程,使职业教育沦为单纯技能训练的工具化场域。

三、AI+实训教学一体化的改革路径与人才培养模式创新

AI+实训教学一体化的改革并非简单的技术叠加,而是职业教育实训生态从“技术应用”向“系统重构”的质变过程。在人工智能技术深度渗透实训场域的背景下,实训教学要素的数字化重组、人才培养链路的动态优化以及产教融合维度的纵深拓展,共同构成改革的核心逻辑。这一过程既要破解传统实训中资源约束、效率低下、适配不足等现实难题,又要规避技术异化、伦理失范等潜在风险,最终实现“技术赋能”与“育人本质”的价值耦合。唯有通过技术适配的精准化、治理机制的系统化、培养模式的创新化以及产教融合的深度化,才能构建起兼具效率与温度、兼顾技术与人文的AI+实训教学新生态,为高素质技术技能人才培养提供可持续的路径支撑。

(一)强化技术适配:构建“人机协同”的实训生态

构建“人机协同”的实训生态,其核心前提在于明确人工智能在实训教学中的辅助性定位——技术是延伸实训效能的工具,而非替代教师主导权与学生主体性的载体。这要求在实训场域中建立清晰的“人—机”功能边界:AI承担重复性操作示范、标准化数据采集、高频次错误诊断等机械性任务,教师则聚焦实训目标设计、复杂问题指导、职业素养培育等创造性工作,形成功能互补的协同机制。

为实现这一目标,需构建“技术认知—场景融合—动态迭代”的三阶适配体系。在技术认知层

面,高职院校应依托《职业院校数字校园建设规范》,开展全员性AI实训工具认知培训,通过技术原理解析、典型案例推演等方式,帮助师生理解智能仿真、数字孪生等技术的适用场景与局限性,避免陷入“技术万能论”的认知误区。在场景融合层面,需根据不同专业实训特性设计差异化协同模式:对于操作规范性要求高的工科类实训,采用“AI预演+教师纠错”模式,即学生先通过虚拟仿真完成基础操作训练,教师再针对关键步骤进行现场指导;对于创新性要求强的商科类实训,则采用“教师命题+AI拓展”模式,教师设定核心任务目标,AI生成多维度拓展方案供学生自主探究。

制度层面需建立“双轨制”保障机制:一方面,出台《AI+实训教学应用指南》,明确智能系统的操作权限、数据使用范围及教师主导权的底线条款,如规定AI不得替代教师对学生职业态度、协作能力等非技术性素养的评价;另一方面,构建“人机协同实训效果评估指标体系”,从技能达标率、创新解决方案数量、师生满意度等多维度动态监测协同效能,定期迭代优化协同模式。通过这种分层适配策略,既能最大化发挥AI在提升实训效率、突破时空约束上的优势,又能守住教师在育人过程中的核心地位,使实训教学在技术赋能中始终锚定“培养人”而非“训练机器”的本质目标。

从长效发展来看,需建立“人机协同”的持续进化机制。这包括两个维度:一是实训内容与AI工具的动态适配,即根据产业技术迭代与学生认知特征变化,定期更新AI仿真场景、训练任务库及评价模型,确保技术应用与实训需求的实时匹配;二是教师与AI的能力共生,通过“AI辅助教师成长”计划,让教师借助智能系统分析自身指导过程中的短板,并通过AI生成的个性化提升方案实现专业能力迭代。这种机制使“人机协同”从静态的模式设计转向动态的生态进化,确保实训生态始终保持活力与适应性。

(二)完善治理机制:筑牢数据安全与伦理防线

AI+实训教学一体化推进中,数据安全与伦理规范是技术赋能不偏离育人本质的核心保障。实训场景中多源异构数据的采集、流转与应用,需构建“顶层设计—院校实施—全程监督”的全链条治理体系,兼顾技术安全与教育伦理。顶层制度设计层面,教育管理部门应牵头制定《职业院校AI实训数据治理规范》,明确实训数据的权属、采集范围、存储标准与共享边界。针对实训数据特殊性,实施分级分类管理,基础操作数据可用于教学优化,敏感行为数据需学生书面授权且仅限本地存储,生物

特征数据原则上禁止采集,确需使用须经伦理审查并去标识化。同时,联合多部门出台 AI 实训工具数据安全认证标准,要求智能系统通过加密、访问控制、异常监测等安全测试,从源头阻断泄露风险。

高职院校需构建“集中管理+分布式防护”架构。搭建校级统一数据中台,对实训数据集中存储、清洗与脱敏,借助区块链实现全生命周期溯源,确保数据操作可追踪、可审计;二级学院设数据治理专员,制定并公示“数据采集清单”,明确用途与期限,赋予学生数据查询、更正、删除权,保障数据主权。技术上部署“边缘计算+联邦学习”架构,使敏感数据本地处理,仅传脱敏特征信息用于模型训练,规避跨域流转风险。

伦理规范嵌入需构建“预防—评估—纠偏”机制。制定《AI 实训伦理准则》,明确“最小必要采集”“知情同意”“目的限制”原则,数据采集以教学为导向,避免过度获取;采集前向学生说明用途、存储方式及期限,通过电子授权确保知情同意真实;数据使用限实训教学,禁用于商业开发。组建含伦理学家、职教专家、技术人员及师生代表的“AI 实训伦理审查委员会”,定期评估数据采集方案、智能评价模型等,排查算法偏见、隐私侵犯、价值误导等问题,形成报告并督促整改。

此外,强化全主体素养培育。对教师开展“数据伦理专项培训”,通过案例分析、情景模拟提升数据边界认知;面向学生开设“AI 实训数据素养”课程,讲解安全知识与权利,培养伦理敏感性;建立“数据治理听证会”,让师生共参政策修订,形成“人人参与、人人监督”的治理氛围。唯有将安全与伦理融入各环节,方能守住教育底线,为技术赋能实训筑牢“防护墙”。

(三)创新培养模式:推动“AI+双师型”育人体系落地

“双师型”教师队伍作为职业教育连接教育与产业的核心纽带,其能力素养的迭代升级是 AI+实训教学一体化改革的关键支撑。在人工智能技术重塑实训场景的背景下,传统“双师型”教师的能力结构面临技术适配不足和产业协同滞后等新挑战,亟需构建“AI+双师型”育人新体系,实现教师从技能传授者向人机协同领航者的角色跃迁,这既是破解当前实训教学中产教两张皮的重要路径,也是推动职业教育高质量发展的必然要求。从教师能力进阶维度,需构建 AI 素养与双师能力的融合培养体系。高职院校应依托《教师数字素养》标准,设计三阶九维培训课程。基础阶聚焦 AI 工具操作能力,通过虚拟仿真平台实操、智能评价系统应用等模块使

教师掌握实训数据采集分析及智能工具基础使用;进阶阶强化 AI 与教学融合能力,开设 AI+专业实训工作坊引导开发人机协同方案;高阶阶侧重 AI 驱动的创新力,通过科研合作培养解决复杂实训问题的能力。同时建立 AI 双师认证机制,将 AI 应用能力纳入评聘与考核以激发内生动力。

在校企协同维度,需借助 AI 技术重构双师型教师成长的实践场域。搭建校企共建的 AI 双师发展平台,通过实时数据交互实现企业技术专家与校内教师的无缝协作。企业端推送最新生产技术、案例及岗位要求,校内教师上传实训数据与学生画像,双方依托 AI 分析工具共同研判适配度并动态调整培训内容。建立旋转门机制,利用 VR 远程实训系统使教师无需离岗即可参与企业虚拟实践,企业专家也可通过智能终端远程指导校内实训,实现线上协同备课与线下实操带教的常态化融合,打破传统培养中的时间空间资源约束。从教学模式创新维度,需打造人机协同加双师引领的实训范式。教师主导设计 AI 辅助加双师主导的流程,课前智能系统分析生成个性化任务单,课中校内教师负责理论与工具指导、企业导师借 AR 介入实操,课后 AI 汇总数据双师共判短板并制定方案,兼具技术精准度与教育温度。

从生态构建维度,需健全 AI 赋能加双师发展的保障机制。高职院校应联合行业企业、科研机构组建 AI 双师协同创新中心,共同开发实训资源库、AI 工具及评价标准;建立双师型教师 AI 应用能力动态监测体系,通过 AI 工具使用率、协同项目参与度、学生技能提升幅度等指标定期评估效能;设立专项激励基金,表彰突出成果并支持校企联合项目。唯有通过能力培养、协同机制、评价保障的多维度发力,才能使 AI+双师型育人体系落地生根,推动实训教学实现技术赋能与育人本质的深度融合。

(四)深化产教融合:实现实训与产业需求的精准对接

深化产教融合是 AI+实训教学一体化改革的核心抓手,目标在于打破教育与产业壁垒,通过人工智能技术构建实训教学与产业需求的动态适配机制,实现从人才供给到需求响应的精准咬合。这一过程需超越传统校企合作的形式化局限,依托技术赋能构建数据互通、资源共享、标准共通的实质性协同生态,使实训教学始终与产业发展同频共振,从根本上解决人才培养与市场需求脱节的结构性矛盾。

平台搭建层面需构建校企共建的智能产教融合实训平台,依托数字孪生与大数据技术实现产业

现场与实训课堂的无缝对接。该平台应具备三大核心功能,一是实时数据交互,将企业生产线的设备运行参数、工艺流程标准、质量检测数据等实时接入实训系统,使学生在虚拟环境中接触真实产业数据;二是动态资源更新,通过AI算法自动抓取行业技术迭代信息,将企业最新案例、新兴技术标准转化为实训教学内容,确保教学资源的前沿性;三是协同开发模块,校企双方可基于平台共同设计实训项目,企业技术专家远程参与项目指导,院校教师则将教学反馈转化为企业人才需求建议,形成“产业实践—教学转化—需求反哺”的闭环。

机制创新层面需建立基于AI分析的产教需求动态匹配机制。通过构建产业岗位能力图谱与实训内容数据库,利用智能算法定期比对两者的适配度,精准识别偏差领域。当某一岗位技能要求因技术升级发生变化时,系统可自动预警并推送调整建议,引导院校更新实训模块;针对区域产业集群特征,平台可生成个性化实训方案,使不同院校的实训体系与地方产业特色精准耦合。同时推行学分银行+技能认证双轨制,将企业实践经历、行业认证资质纳入实训学分体系,通过区块链技术实现校企成果互认,打通学生从实训到就业的通道。

评价优化与生态保障层面,需构建以产业标准为核心的多元协同评价体系,引入企业真实生产指标作为实训考核基准,借助AI评价系统实时采集学生实训数据,结合企业导师的过程性反馈、行业协会的标准认证,形成三维度评价报告。同时完善政校企研协同推进机制,政府出台专项扶持政策,行业协会制定跨区域标准,院校与企业建立长效合作机制,推动产教融合从浅层合作向深度共生演进,最终实现实训教学与产业需求的无缝对接。

四、结论

AI+实训教学一体化作为职业教育数字化转型的核心范式,通过虚拟仿真、数字孪生等技术实现

场景革新,依托数据感知支撑精准育人,借助智能协同重构产教融合生态,有效突破了传统实训的资源约束与效能瓶颈。但技术理性僭越导致的实训本质异化、数据治理困境引发的伦理风险,以及人机关系失衡造成的教育交往弱化等问题,凸显了技术应用与育人本质平衡的重要性。通过构建人机协同实训生态、筑牢数据安全与伦理防线、创新“AI+双师型”育人体系、深化产教精准对接,可系统性化解风险,推动实训教学从技术叠加向生态重构跃升,为职业教育破解资源约束、提升人才培养与产业需求适配度提供可持续框架,助力高素质技术技能人才培养生态发展。

参考文献:

- [1] 黄玉婷,陈斐,潘美娟,等. 育训结合背景下高职院校AI实训教学探索与实践研究[J]. 现代商贸工业, 2025(15): 30-32.
- [2] 秦兴盛. 生成式AI对本科电子信息专业实训课程改革的影响与探索[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(13): 154-156.
- [3] 姜晓丽,邵明晖,石晶. “AI+数字孪生”赋能高校智慧教育——迭代融合、应用场景与实践进路[J]. 黑龙江工程学院学报, 2025, 39(1): 66-70, 80.
- [4] 王雪,陈冲. AI赋能建筑室内设计教学的创新实践探索——以浙江长征职业技术学院“建筑室内设计综合实训”课程为例[J]. 房地产世界, 2025(6): 71-73.
- [5] 张钰梅,邓彦芳,张玲红. AI赋能高职工业互联网技术课程综合实训教学探讨[J]. 中国设备工程, 2025(2): 44-46.
- [6] 张红坚,姜斌远. 基于AI技术下供应链实训课程沉浸式教学探索[J]. 中国设备工程, 2024(14): 254-256.
- [7] 孙云云,孙艺凌. AI技术在装备制造类专业实训教学中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(11): 225-227.
- [8] 刘传兵,左丽. AI在职业教育实训场景下的创新应用[J]. 大众文艺, 2024(19): 156-158.

AI+Integration of Practical Training Teaching: Empowering Value, Potential Risks, and Reform Paths

ZHONG Zi-lin, SHEN Fu-lin, XIAO Wei-guo

(School of Railway Engineering, Guangzhou Railway Polytechnic, Guangzhou Guangdong 511300, China)

Abstract: The rapid development of artificial intelligence technology is profoundly reshaping the form of practical training teaching in vocational education. As a key path for the digital transformation of vocational education, the dialectical relationship between the empowering value and potential risks of “AI + Integration of Practical Training Teaching” has become a core issue in academic and practical circles. This paper systematically analyzes the multi-dimensional empowering mechanisms of this model; realizing the innovation of practical training scenarios through virtual simulation and digital twin technology, overcoming resource constraints, and promoting the dynamic adaptation of industry-education

scenarios; supporting precision education by relying on full-process data perception and analysis, thus identifying skill shortcomings and generating personalized training plans; and reconstructing the industry-education integration ecosystem with the help of an intelligent collaboration platform, activating resource flow and the effectiveness of the evaluation closed-loop. Meanwhile, this model also faces challenges such as the alienation of the essence of practical training caused by the transgression of technical rationality, ethical risks arising from disorder in data governance, and the weakening of educational interaction due to the imbalance in human-machine relations. To address these, this paper proposes reform paths, including strengthening technical adaptation to build a human-machine collaborative ecosystem, improving governance mechanisms to consolidate data security defenses, innovating the "AI + double-qualified" training model, and deepening industry-education integration to achieve precise supply-demand alignment. These efforts aim to promote the in-depth coupling of technological empowerment and the authentic value of education, providing theoretical reference and practical guidance for the high-quality development of practical training teaching in vocational education.

Key words: AI + Integration of Practical Training Teaching; vocational education; practical training reform; human-machine collaboration; industry-education integration