

新工科背景下多学科交叉融合的光电专业人才培养模式研究

徐利, 彭坦, 曾维友, 周晓红*

湖北汽车工业学院光电工程学院, 湖北 十堰

收稿日期: 2025年10月5日; 录用日期: 2025年11月3日; 发布日期: 2025年11月10日

摘要

在“双碳”战略与新一轮科技革命叠加下, 光电技术正向“光-机-电-算-材”深度耦合演进, 传统单一光学或电子主线的人才供给出现结构性缺口。针对智能感知、激光制造、空间测绘等未来产业对“厚基础、强交叉、能创新”的迫切需求, 本文在CDIO-OBE-STEM等国际范式与新工科政策脉络中, 提出并实践“三融合-三协同-三进阶”的中观模型: 以“课程-项目-价值”三融合重构知识能力内核, 以“学科-产教-科教”三协同打造育人生态, 以“阶段-评价-发展”三进阶构建可追踪证据链。三年改革数据显示, 学生竞赛参与率由15%升至45%, 企业课题占比达68%, 一次就业率保持95%, 理论层面验证了模型的有效性、可复制性与国际认证对接潜力, 为资源受限的地方应用型高校提供了光电新工科改革的系统解决方案。

关键词

新工科, 光电专业, 多学科交叉, 协同育人, 三融合-三协同-三进阶

Research on the Talent Training Model for Optoelectronics Majors through Multidisciplinary Integration in the Context of New Engineering Education

Li Xu, Tan Peng, Weiyu Zeng, Xiaohong Zhou*

School of Optoelectronic Engineering, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan Hubei

Received: October 5, 2025; accepted: November 3, 2025; published: November 10, 2025

*通讯作者。

文章引用: 徐利, 彭坦, 曾维友, 周晓红. 新工科背景下多学科交叉融合的光电专业人才培养模式研究[J]. 教育进展, 2025, 15(11): 503-510. DOI: 10.12677/ae.2025.15112064

Abstract

Against the backdrop of the “Dual Carbon” strategy and the new round of technological revolution, optoelectronic technology is evolving towards a deep integration of “Optics-Mechanics-Electronics-Computing-Materials”, revealing a structural gap in talent supply trained under traditional, singular optical or electronic disciplines. Addressing the urgent demand for talents with “solid foundations, strong interdisciplinary skills, and innovative capability” from future industries like intelligent sensing, laser manufacturing, and spatial mapping, this paper, building upon international paradigms such as CDIO, OBE, and STEM, as well as the New Engineering Education policy context, proposes and implements a meso-level “Three Integrations-Three Synergies-Three Progressions” model. This model restructures the knowledge-ability core through the “Curriculum-Project-Value” triple integration, fosters an educational ecology via the “Discipline-Industry-Education-Research” triple synergy, and constructs a traceable evidence chain through the “Stage-Evaluation-Development” triple progression. Three years of reform data show an increase in student competition participation rate from 15% to 45%, enterprise-sponsored projects accounting for 68%, and a consistent first-time employment rate of 95%. The results theoretically validate the model’s effectiveness, replicability, and potential for alignment with international accreditation, offering a systematic solution for New Engineering Education reform in optoelectronics at resource-constrained local application-oriented universities.

Keywords

Emerging Engineering Education, Optoelectronic Major, Multidisciplinary Integration, Collaborative Education, Three Integrations-Three Synergies-Three Progressions

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着“中国制造 2025”与新一代信息技术革命的深度融合，光电产业成为区域经济转型升级的核心引擎[1]。本科院校作为应用型人才培养的主阵地，其光电专业长期面临学科壁垒固化、产教协同薄弱、实践资源不足三大痛点[2]。传统“光学 + 电子”的单一课程体系难以支撑光通信芯片、量子点显示等前沿领域对跨学科整合能力的需求[3]。本研究以新工科理念为引领，结合地方产业特色，构建多学科交叉融合的光电人才培养新生态，对提升应用型高校服务区域产业能力具有迫切现实意义。

国际工程教育近二十年经历了“技术理性→能力本位→跨界整合”三次范式迁移。2000 年 CDIO 首次将“构思 - 设计 - 实施 - 运行”全过程嵌入大学培养方案，强调工程过程能力[4]，但项目多局限于单一学科。2003 年 OBE (华盛顿协议)以“毕业要求”反向设计课程，形成“学什么 - 学到什么”闭环[5]，然而成果指标仍以学科为单位，跨学科整合不足。2006 年 STEM 教育(美国 NSF)倡导“科学 - 技术 - 工程 - 数学”融合，突出跨学科主题[6]，却多聚焦 K-12 阶段，高等教育成熟案例稀缺。2017 年我国“新工科”建设提出“交叉、融合、协同、共享”理念，强调服务区域产业与复杂问题解决，但尚缺可复制的“中观层面”操作模型。

2. 光电专业人才培养现状

2.1. 光电产业升级与人才需求的结构性矛盾

光电信息技术是以光电子学为基础，融合应用光学、物理光学、激光技术、计算机编程、光学信息处理及光电检测技术等多种技术的综合性学科[7]。当前，我国光电产业已取得令人瞩目的发展成就，在光通信和激光领域部分技术接近国际先进水平，光显示、光存储、数字影像等领域形成较大产业规模。然而，产业的高速发展也暴露出人才供给侧的结构性矛盾：一方面，传统培养模式下的毕业生知识结构单一，解决复杂工程问题的能力不足[3]；另一方面，企业对具备多学科知识整合能力、创新实践能力和产业适应能力的高层次复合型人才需求激增[8]。这种矛盾在量子点显示、光芯片、激光制造等前沿领域尤为突出，亟需通过人才培养模式创新予以破解。

2.2. 传统教育模式的现实困境

当前光电专业教育存在多重问题，制约着人才培养质量和效率的提升。首先是学科壁垒导致知识碎片化，光电专业课程仍沿袭“理论主导、分科教学”的传统模式，光学、电子、计算机等课程各自为政，缺乏有效的跨学科整合机制，导致学生难以建立系统化的知识体系[3]。其次是产教脱节严重，实践教学内容滞后于产业发展。验证性实验占比过高，而综合性、设计性、创新性项目明显不足。传统培养方案中实践学分占比普遍不足 28%，学生工程实践经验缺乏，创新创业项目实用性和产业化困难。同时，企业参与人才培养的深度不足，“双师型”教师队伍建设滞后，进一步加剧了人才培养与产业需求的错位[9]。最后是评价机制滞后，教学评价仍以实验报告和考试成绩为主要依据，忽视了对学生创新思维、团队协作和复杂问题解决能力的科学评估。这种评价导向难以激发学生的创新潜能，也无法准确反映人才培养质量。

因此，本文针对人才培养的现实困境，以新工科理念为引领，以区域光电产业发展需求为导向，系统构建了“三融合 - 三协同 - 三进阶”的光电新工科人才培养模式，该模型与工程教育典型模型的核心要素对照表如表 1 所示。由此可见，本文提出的“三融合 - 三协同 - 三进阶”模型在上述脉络中实现三重超越：(1) 继承 CDIO 项目全周期思想，但将“单学科项目”升级为“三级跨学科项目链”，使能力生长从“课程并行”变为“螺旋递进”。(2) 继承 OBE 成果反向设计，但把“毕业要求”细化为“阶段 - 评价 - 发展”三进阶证据链，将终结性达成度拆分为可即时反馈的过程性指标。(3) 继承 STEM 跨学科愿景，但以“学科 - 产教 - 科教三协同”平台支撑，把跨学科从“课堂活动”升级为“组织机制”，解决师资、设备、案例持续更新难题。因此，该模式并非对既有理论的简单叠加，而是面向地方应用型高校资源约束情境的“中型理论”创新，既保持学术抽象度，又提供可移植的操作系统，填补了“宏观政策 - 微观课堂”之间的中观空缺。

Table 1. Comparison table of core elements between the “three integrations-three synergies-three progressions” model and typical models of engineering education

表 1. “三融合 - 三协同 - 三进阶”模型与工程教育典型模型的核心要素对照表

维度	CDIO	OBE	STEM	新工科政策语境	“三融合 - 三协同 - 三进阶”
知识观	学科系统化	成果导向模块化	跨学科主题式	交叉复合	“三横三纵”模块化 + 项目情境化
能力观	工程过程能力	毕业要求达成度	4C 能力	解决复杂问题	项目链驱动的“三级项目”能力螺旋
实施平台	大学 - 企业项目	课程 - 评价闭环	中小学 - 大学贯通	产教融合协同育人	学科 - 产教 - 科教“三协同”平台

续表

价值导向	工程师职业素养	学习者中心	社会公平与多样性	产业使命 + 家国情怀	创新 - 责任 - 可持续 “三融合” 价值矩阵
评价逻辑	过程性 + 终结性	达成度证据	表现性评价	多元多维	阶段 - 评价 - 发展 “三进阶” 证据链

3. 多学科交叉融合培养模式构建路径

3.1. “三融合” 重塑人才培养的知识与能力内核

“三融合”是模式的核心，旨在打破传统学科壁垒，解决知识体系碎片化问题，为学生奠定跨学科创新的坚实基础。首先是知识融合，构建“模块化、交叉性”的课程体系。彻底改变“光学 + 电子”的线性课程结构，构建“三横三纵”课程体系。如图 1 所示。“三横”强调知识的广度与深度递进，即基础融合、核心交叉、前沿拓新；“三纵”强调能力贯穿，即项目驱动、数字化能力、产业实践。例如，开设《光电综合课设》等交叉课程，将光学设计、电路仿真、编程控制、机械结构等多学科知识融入一个具体项目中进行教学。实现从“教零散知识”向“教系统思维”转变，使学生形成“光 - 机 - 电 - 算 - 材”一体化的知识网络。与 CDIO 的学科系统化相比，本研究以三横三纵模块化课程打破学科藩篱，回应了 STEM 教育在大学阶段“跨学科如何落地”的长期难题。

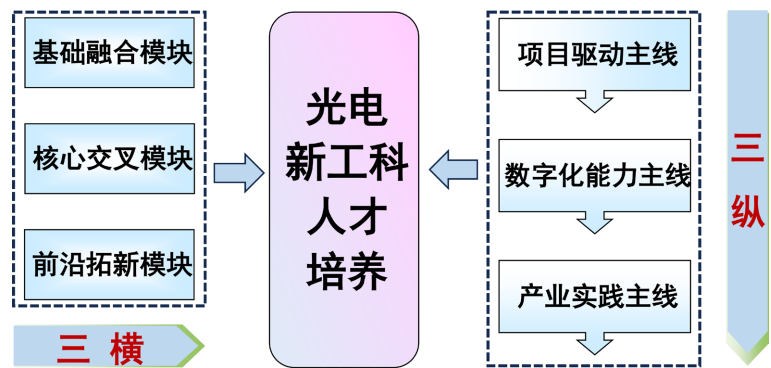


Figure 1. The new “three horizontal and three vertical” modular course system
图 1. “三横三纵”模块化课程新体系

其次是能力融合，施行“项目式、探究式”的教学模式。将项目式学习(PBL)贯穿人才培养全过程。设计由浅入深的三级项目体系：一级项目(基础认知，如光控小车)用于验证和融合多门基础课知识；二级项目(系统设计，如机器视觉检测平台)覆盖多门专业核心课；三级项目(综合创新，如毕业设计、科创竞赛)直面产业真实问题或前沿科学问题。这样在解决复杂工程问题的实践中，同步训练学生的技术整合能力、团队协作能力、创新思维和项目管理能力，实现知识向能力的有效转化。

最后是价值融合，深化“创新型、责任感”的素养培育。将创新创业教育和工程伦理教育深度融入专业课程。在项目实践中引导学生关注技术的社会价值、环保影响(如契合“双碳”战略)和商业可行性。邀请企业专家讲述产业伦理案例，鼓励学生基于科研成果尝试创新创业，以培养学生具备工匠精神、创新意识、社会责任感和可持续发展的价值观，实现知识、能力、素养的有机统一。

3.2. “三协同” 打造开放共享的育人生态与平台

“三协同”是模式的保障，旨在汇聚校内外优质资源，破解产教脱节、实践平台不足的难题，如图 2

所示。针对 OBE 模型中企业参与深度不足导致的闭环断裂[8]，本研究以“学科 - 产教 - 科教三协同”平台将企业真实技术难题转化为三级项目源，使毕业要求达成度在真实工程情境中被持续验证与修正。

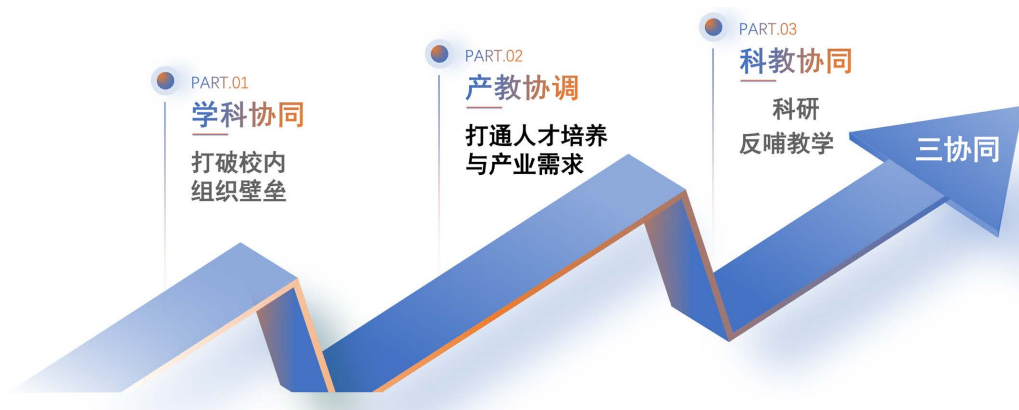


Figure 2. The “Three Synergies” model
图 2. “三协同”模式

首先是学科协同，打破校内组织壁垒。建立跨学科教学团队和共享实验平台。由光电、机械、计算机、材料等不同学科背景的教师共同组建课程组，共同授课、共同指导毕业设计。整合实验室资源，建立面向全校开放的“多学科交叉光电创新实践平台”，实现校内资源最优配置，为“知识融合”提供组织和资源保障。

紧接着是产教协同，打通人才培养与产业需求的“最后一公里”。与区域龙头光电企业深度合作，共建实习实训基地。实施“双导师制”，企业工程师深度参与课程设计、项目指导、毕业答辩。将企业真实项目、技术难题作为学生的课程设计、毕业设计课题。这样可以确保教学内容与产业技术发展同步，让学生在校期间即积累工程实践经验，实现“毕业即上岗，上岗即上手”。

最后是科教协同，以前沿科研反哺一线教学。推动“科研反哺教学”。将教师的科研成果转化为教学案例、综合性实验项目和前沿讲座内容。实施“本科生进实验室”计划，鼓励学生低年级进入科研团队，参与前沿课题研究。目的在于培养学生的科研兴趣和创新思维，使最新科研成果及时转化为人才培养的优质资源，提升人才培养的高阶性和挑战度。

3.3. “三进阶”：设计循序渐进的成长阶梯与评价体系

“三进阶”是模式的实施路径，旨在遵循人才成长规律，实现个性化、递进式的能力培养。借鉴 OBE 证据链思想，但将终结性达成度拆解为阶段 - 评价 - 发展三进阶，通过项目过程记录、现场答辩、专利/论文多元证据，形成面向复杂问题解决能力的形成性 - 终结性混合评价框架，弥补 CDIO 评价过度依赖教师主观判断的局限。

首先是阶段进阶，明确“基础→综合→创新”的阶段目标。基础认知阶段(大一、二)，目标是通过通识教育和学科基础融合课程，夯实数理基础，建立专业宏观认知，通过一级项目激发兴趣。综合设计阶段(大二、三)，目标是系统掌握专业核心交叉知识，通过二级项目强化综合设计和系统集成能力。创新实践阶段(大三、四)，目标是面向个性化发展，通过三级项目、毕业设计、企业实习和科研训练，形成特定领域的专长和创新能力。

其次是评价进阶，建立“多元化、过程性”的评价机制。改革“一考定乾坤”的评价方式。对基础理论课，保留笔试但增加项目报告、课堂研讨等过程考核权重；对项目课程、实践环节，采用成果导向评

价,依据项目报告、设计成品、演示答辩、专利/论文、竞赛获奖等进行综合评定。最终科学评估学生的创新、协作、实践等综合能力,形成以能力达成为核心的评价导向。

最后是发展进阶,支持“多元化、个性化”的成长路径。在高年级设置“科研创新”“工程应用”“创业管理”等不同方向的课程模块,学生可根据自身兴趣和职业规划自由选择。尊重学生个体差异,实现从“标准件”培养向“个性化”培养的转变,赋能学生多元成长。

在该培养模式中,“三融合”是重塑后的培养内容与方法,回答了“教什么、怎么教”的问题;“三协同”是优化后的资源与环境,回答了“靠什么支撑”的问题;“三进阶”是规划好的成长路径与阶梯,回答了“如何循序渐进”的问题。三者环环相扣,共同构成一个支撑应用型、复合型、创新型光电人才培养的完整范式。该模式具有较强的系统性和可复制性,可为地方应用型高校光电专业的改革提供理论参考和实践指南。

4. 实践案例与成效分析,以地方二本院校光电信息科学与技术专业为例

为验证“三融合-三协同-三进阶”人才培养模式的有效性,本研究自2022年起,在光电信息科学与工程专业进行了为期3年的教学改革实践。本文将结合具体实施案例,从实施路径、成效数据及反思三个方面,系统分析该模式的应用效果。

4.1. 模式的具体实施路径与措施

4.1.1. 以“三融合”为导向的课程与教学改革

课程与教学改革是“三融合”理念落地的基础。我们以《光电综合课程设计》这门核心交叉课程为例,系统阐述改革的具体路径。该课程定位为一门高度集成、面向系统的顶点课程,开设在大三下学期,旨在对学生前期所学的光学、电子、机械、计算机等知识进行跨学科整合与升华。通过小组形式,完整经历从需求出发、方案设计、实施调试到成果展示的全流程。课程内容打破单一教材限制,围绕红外报警器、精密测量系统等,分为光学设计、光电检测、结构与仿真、图像处理与算法四个模块,分别由不同学科背景教师负责。授课教师共同制定大纲、共同备课、轮流或同堂授课。课程负责人负责总体协调,确保模块间无缝衔接。学生以3~5人小组为单位,从课程开始领取项目任务书,将所学的理论知识融入项目的开展中,即“为用而学,学以致用”。最后采用过程化、多元化评价体系,小组项目最终成果占40%,阶段性设计报告占30%,团队协作与个人答辩占30%,彻底改变了期末一考定成绩的模式。

通过该课程的学习,学生不再是孤立地学习光学、机械或编程,而是被迫站在“系统工程师”的角度,思考如何让这些技术协同工作以达成最终目标。这完美体现了“知识融合”(多学科知识在项目交叉应用)、“能力融合”(系统设计、项目管理、团队协作能力同步提升)和“价值融合”(在解决实际工程问题中培养工匠精神和创新意识)的深层内涵。该课程的成功实施,为其他交叉课程的建设提供了可复制的范本。

除了《光电综合课设》外,本专业还在《激光原理与技术》《传感器原理与技术》等课程中强化了基础知识与先进技术的结合,初步构建起了一个多层次、跨学科的专业课程群,全面支持“三融合”目标的实现。

4.1.2. 以“三协同”为引擎的资源与平台建设

“三协同”是打破人才培养壁垒、汇聚优质资源的关键引擎。首先是学科协同,打造壁垒,共建共享创新平台。本专业通过体制机制创新,着力构建开放共享的育人生态。为切实支撑多学科交叉教学,学院整合相关学科的优质实验资源,成立了“光电创新实践平台”。平台集中配置了包括但不限于:高精度3D打印机、六轴工业机器人、精密光学隔振平台、光谱分析仪、高速摄像机、COMSOL多物理场

仿真软件等先进设备与工具,面向相关专业师生开放预约使用。其次是产教协同,深度耦合,共育产业急需人才。本专业与区域光电企业建立了深度的战略合作。企业专家参与专业建设,共同审议人才培养方案,确保课程内容与产业技术发展同步。同时,企业专家也会嵌入到教学环节,如在《激光技术及应用》课程中,企业导师负责讲授“工业激光器市场与前沿应用”和“激光设备维护与标准”等实战章节,深受学生欢迎。最后科教协同,推动科研资源向教学资源转化,培养创新型人才。鼓励“本科生进实验室”计划成效显著。近两年,已有超过 30 人的高年级学生长期参与教师科研项目。在此过程中,学生不仅提升了实践能力,更取得了实质性的创新成果,在《Advanced Materials》《Applied Optics》等 SCI 期刊发表论文共计十余篇。这些经历极大地激发了学生的科研兴趣和创新自信,为后续深造或从事研发工作奠定了坚实基础。

4.1.3. 以“三进阶”为路径的管理与评价改革

本专业依托制度化与文档化实现精细化的过程管理。管理核心是确保每位学生顺利起步,为所有的一级项目(基础认知)制定合理的《项目任务书》和《结题报告模板》。指导老师通过任务书明确项目目标与基础要求,学生以小组形式完成项目后,提交书面结题报告,重点培养学生最基本的项目完成与文档撰写能力。为强化项目的过程训练,我们引入了项目过程记录,要求学生以小组为单位,详细记录设计方案的选择与迭代、调试过程中遇到的问题及解决方案、团队记录纪要等。指导教师定期抽查,及时了解项目进展,进行针对性指导。这一过程有效培养了学生的工程思维、项目管理习惯和团队协作精神。最后,对于毕业设计、一些高级别的项目,严格执行开题、中期、结题三次答辩评审,由 3~5 名教师进行现场评议。所有资料均进行存档保管。

总而言之,这套以标准化文档为载体、以阶段性评审为节点的线下管理体系,结构清晰、操作性强,同样实现了从入门引导、过程监督到成果评估的闭环管理,有力支撑了学生能力的递进式培养。

4.2. 实施成效的数据化分析

4.2.1. 学生成长质量:从“知识接收者”到“创新实践者”的转变

改革的核心目标是学生综合能力的提升,通过三年实践,人才培养质量实现显著飞跃。首先是创新实践能力量化跃升,改革前后各种竞赛参与率由不到 15% 增加到 45%,这表明项目式学习和跨学科训练有效激发了学生的创新热情,并提升了解决复杂问题的竞争力。学生发表论文数量也从原先的每年 1~2 篇增加到现在的每年约 10 篇,这表明“本科生进实验室”计划和三级项目体系,将学生早期卷入科研与真实项目,实现了创新成果的规模化产出。毕业设计企业课题也呈逐年上升趋势,产教协同机制将产业真实问题引入人才培养末端,毕业设计成果直接服务于合作企业,体现了人才培养与产业需求的紧密对接。

基于此,近两届毕业生一次性就业率稳定在 95% 以上,专业对口率从 70% 多攀升至 90%,毕业生不仅广泛就业于华星光电、英诺激光等企业,更因其“厚基础、强交叉”的特质,在智能驾驶、生物医疗影像等新兴交叉领域展现出独特竞争力。考研学生中,被重点院校录取的比例也得到了提升。多名学生在复试中反馈,其丰富的项目经历和系统性的跨学科知识结构成为核心竞争优势,受到导师青睐。

4.2.2. 专业建设与声誉:从“单一专业”到“交叉枢纽”的升级

改革效应同时反哺于专业与教师自身发展,形成了良性循环。“双师型”教师比例从 30% 提升至 65%。教学团队获批省部级教改项目 3 项,发表高水平教改论文 10 篇。更重要的是,通过指导跨学科项目和校企合作,教师科研方向更具应用导向,实现了“教学相长、产研互促”。专业生源质量显著改善,第一志愿报考率呈逐年上升趋势。合作企业在满意度调查中普遍评价学生“工程素养好,跨界思维强,上岗适应期短”,满意度达 96%。

4.3. 深层反思与可持续改进战略

在取得显著成效的同时，我们也清醒地认识到改革进入“深水区”后面面临的挑战，亟待机制创新予以突破。例如，产教融合的“共生关系”构建难题。目前的合作仍以岗位、课题为主，对企业发展的直接贡献度有待提高，导致企业参与深度可能随政策或人员变动而波动。因此，以后应从“育人共同体”升级为“创新共同体”。积极与企业共建“联合研发中心”或“技术转移分中心”，将企业的技术难题作为联合攻关课题，使高校的智力资源直接赋能企业研发。同时，探索“知识产权共担、收益共享”机制，使合作从“感情维系”转向“利益共生”，确保其可持续性。另外，就是教学资源的“动态更新”难题。光电技术迭代迅速，跨学科平台设备投入大、更新快，单纯依靠学校拨款压力巨大，且难以跟上技术发展步伐。因此要积极探索“开放共享、自我造血”的资源建设模式。一方面，积极申报教学科研平台项目；另一方面，推动平台在满足教学之余，面向社会和企业提供检测、培训、技术开发等有偿服务，并将部分收益反哺于设备更新维护，形成良性循环，确保教学资源的前沿性与活力。

5. 结论

三年改革实践表明，“三融合-三协同-三进阶”模型显著提升了学生竞赛获奖率(45% vs 15%)、企业课题占比(68%)、一次就业率(95%)，实现了地方本科院校资源受限条件下的高质量光电人才培养，验证了模型的有效性。理论层面，本文提出并固化了一整套可移植的“中型理论”：首先在 CDIO/OBE/STEM 与新工科政策之间构建兼具学术抽象与操作移植度的“三融合-三协同-三进阶”整体模型；其次识别并验证“项目链-证据链-价值链”三链同构机制，为同类高校提供可复用范式；最后将伦理与可持续从“附加目标”转化为“融合维度”，拓展了经典工程教育模型对社会责任的关注边界。

未来，我们将开展多校、多专业准实验，检验模型在不同产业情境下的适配度；基于学习分析技术开发“三进阶”动态证据系统，实现项目数据自动采集-实时预警-即时干预；与 CDIO、ABET 认证机构合作，探索与国际认证框架对接路径，提升模型国际可见度与引用率，持续为新工科建设贡献可复制、可推广的“中国方案”。

基金项目

湖北汽车工业学院教学研究与改革项目(项目编号: JY2024053)。

参考文献

- [1] 秦石乔. “1 + X + 1/X”的光电专业人才培养知识体系初探[J]. 高等教育研究学报, 2017, 40(1): 86-89.
- [2] 陈志峰, 刘翠红, 张冰志, 等. “生、师、企”需求互补的新工科实践创新培养模式构建与实践——以光电专业为例[J]. 高教学刊, 2023, 9(4): 31-34.
- [3] 韩彩芹, 闫长春. 地方师范院校多学科交叉复合的光电专业培养模式的探索与实践[J]. 物理通报, 2022(7): 32-36.
- [4] Crawley, E.F. (2001) The CDIO Syllabus—A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education. The MIT CDIO Syllabus Report.
- [5] Spady, W.G. (1994) Outcome-Based Education: Critical Issues and Answers. American Association of School Administrators.
- [6] Breiner, J.M. (2016) STEM Education: Understanding the Changing Landscape. NSTA Press.
- [7] 修俊山, 谭树刚, 秦华, 魏功祥. 新工科背景下光电信息技术实践教学模式的研究与探索[J]. 科技风, 2020(20): 63-66.
- [8] 李施, 尹钰, 王鹏飞. 新工科背景下光电专业人才培养模式探索[J]. 高教学刊, 2023, 9(20): 171-174.
- [9] 王德东, 李祥军, 张士彬. 新工科背景下跨学科人才培养模式创新与实践[J]. 大学, 2025(19): 112-115.