

新质战斗力视域下消防“数字电子技术基础”实验体系重构

刘玲^{1,2}

(1.中国消防救援学院, 北京 102202, 2.无人机应急救援技术应急管理部重点实验室, 北京 102202)

摘要: 针对“全灾种、大应急”背景下消防救援队伍对“新质战斗力”生成的迫切需求, 传统“数字电子技术基础”实验教学存在内容滞后于数智化装备发展、教学梯度难以支撑系统创新素养培育的结构性矛盾。教学团队基于“平战教一体化”理念, 构建了以 OBE 成果导向为靶心、PBL 项目驱动为载体、CDIO 工程流程为路径的“三位一体”实验教学理论框架。依托“火灾报警与巡检技术”核心业务主线, 设计“基础认知-综合设计-创新探索”三层递进式实验架构, 构建了一条从底层逻辑门验证向复杂片上系统重构的能力演进链条。教学实践证明, 本次教学改革显著提升了学生解决复杂工程问题的能力, 并有效打通了人才培养的工程链条。该模式为未来向消防行业输送具备底层原理认知与高阶实战素养的复合型数智人才奠定了坚实基础, 对提升应急救援新质战斗力具有重要的支撑作用。

关键词: 新质战斗力; 数字电子技术; 实验教学

基金项目: 中国消防救援学院 2025 年教育教学改革项目 2025JXMS06

DOI: doi.org/10.70693/rwsk.v2i3.307

1. 引言

随着大数据、人工智能、物联网等技术的快速发展, 消防救援现代化建设正全面迈向“全域感知、智能研判、精准协同”的新阶段。在这一宏观语境下, 《教育强国建设规划纲要》所倡导的“教育科技人才一体化”战略, 与《“十四五”国家应急体系规划》中“加快消防信息化建设”的迫切需求形成了深度共振^[1]: 消防战斗力的生成模式正经历从“经验驱动”向“数据智能驱动”的范式转移。回顾重庆山火救援行动, 智能调度系统对数千名救援人员与数千台装备的毫秒级精准投送, 以及“消防救援一张图”对多维力量的可视化指挥^[2], 无不揭示着在“全灾种、大应急”任务需求下, 未来的消防指战员必须具备统筹常态化智慧防控与实战化应急救援的核心素养, 能够将数字技术转化为应急救援的“新质战斗力”。

“数字电子技术基础”课程作为电子信息类专业的专业基础课, 在构建“新质战斗力”这一任务中承载着不可替代的战略价值。从技术支撑维度看, 它是智能监测预警与应急通信系统的“神经末梢”——无论是日常防火中感烟探测器信号的阈值比较, 还是应急联动中复杂逻辑的优先级编码, 其功能实现均建立在严谨的数字逻辑与电路拓扑之上。从思维培育维度看, 该课程是引导学生从“元器件认知”向“系统级思维”跃迁的关键载体^[3]。课程固有的“自底向上”设计范式和模块化思想, 训练学生建立由局部构建整体、由静态映射动态的工程逻辑, 从而推动认知层次的实质性质变。

然而, 面对应急救援“新质战斗力”生成的迫切需求, 现有的实验教学却陷入了内容滞后与形式僵化的双重困境, 难以支撑学员从“基础验证”向“系统创新”的能力跃迁。针对这一结构性错位, 本文提出“平战教一体化”的教学改革理念。研究依据“基础认知-综合设计-创新探索”的能力演进逻辑, 以“火灾报警与巡检技术”为主线重构实验教学体系, 旨在通过将底层硬件原理与“平时防控、战时应急”双重场景深度耦合, 有效破解人才培养供给侧与实战需求侧的矛盾, 为培育复合型数智消防人才提供坚实的教改范式。

2. 课程教学现状与问题分析

2.1 实验内容与平战应用场景的结构性错位

当前, “数字电子技术基础”实验教学存在教学内容与平战应用场景脱节的问题, 使得学生“学”与“用”

作者简介: 刘玲(1995—), 女, 博士, 讲师, 研究方向为应急通信、高等工程教育。

通讯作者: 刘玲

出现明显错位, 学生能力难以满足“全灾种、大应急”任务背景下的岗位任职需求。具体而言, 验证性实验占比过高, 技术代际滞后于一线需求。当前实验内容多围绕门电路、触发器等基础单元电路展开, 实验过程停留在功能验证层面。具体实验内容包括利用 74LS138 译码器实现三人表决电路, 利用 74LS74 双 D 触发器控制发光二极管闪烁等通用案例。此类实验虽然能够帮助学生巩固理论基础, 但是由于缺乏真实、鲜活的行业工程背景, 学生难以将课堂所学知识与“常态化智慧防控”或“实战化应急救援”的平战场景建立有效关联^[4-5]。此外, 现代智慧消防广泛以多传感器融合技术、物联网架构及边缘计算等新兴技术作为支撑, 且呈爆发式增长态势。而基于分立元件构建的传统电路架构算力有限、集成度低, 难以承载智能消防装备的复杂业务逻辑。当前实验教学没有充分引入现场可编程逻辑门阵列 (Field-programmable gate array, FPGA)、硬件描述语言等现代电子设计工具, 落后于技术迭代。学生因此对数智消防装备背后的核心硬件逻辑与底层支撑技术认知模糊, 这也进一步加剧了人才培养与行业需求之间的结构性矛盾。

2.2 教学形式与创新素养培育路径的结构性失衡

教学形式在难度梯度设置和课堂组织形式上存在明显短板, 对学生高阶能力的培养造成了较大阻碍。一方面, 实验任务的类型较为单一, 教学梯度设置扁平, 难以充分锻炼学生的工程思维和创新素养。高阶能力的培养应循序渐进, 实验任务的难度梯度应逐渐上升, 才能有效地为学生搭建从知识学习到系统创新的上升阶梯^[5-6]。但目前基础验证层实验占比过大, 学生根据指导书依葫芦画瓢即可, 耗费过多精力在手工连线、检查连线等与工程能力培养无关的重复操作上; 综合设计层实验仅占实验课时的 25%, 学生进行由下向上逐层设计的训练时间较少, 深度思考的空间不足, 后续几乎无法进行创新探索实验。这种“重验证、轻设计、无创新”的梯度设置切断了转化理论到实践的路径, 难以培养出学生解决复杂实战问题的能力。另一方面, 由于线下课时有限、师生比失衡等客观限制, 课堂组织步调单一, 限制了学生的差异化发展。在时间有限且师资有限的情况下, 教师难以实施细颗粒度的全程监控与指导, 只能采用统一步调、统一标准的粗放模式。而事实上, 学生的理论基础和实践能力存在显著的个体差异。观察课堂表现可以看到, 在综合设计环节, 仅有约 20% 的学生能够自主完成设计, 但是只要教师给予适当提示, 有大约 60%~70% 的学生可完成任务。这充分说明绝大部分学生只是缺乏差异化引导, 而非能力不足。这种僵化的教学形式加剧了学生能力的两极分化^[7-8]。当跨度较大时, 基础薄弱的学生容易产生畏难情绪, 陷入“认知超载”的困境; 当跨度设置较小时, 能力突出的学生则因缺乏具有挑战性的任务而处于“认知饥渴”状态。教学供给与学生需求之间的错位, 既不能充分激活不同层次学生的潜能, 也削弱了学生主动探索的内驱力和创新自信。

3. 课程改革研究内容

3.1 实践教学理论构建

针对上述痛点, 课程教学团队重新构建了“三位一体”的实验教学理论体系。团队引入 OBE (Outcome-Based Education) 成果导向理念明确培养目标, 采用 PBL (Problem-Based Learning) 项目驱动组织教学内容, 并遵循 CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate, 即构思-设计-实现-运行) 工程流程规范实施步骤, 旨在打通战、训、教一体化工程链条。

基于 OBE 理论锚定行业需求。针对“新质战斗力”生成需求, 教学团队实施成果导向的反向设计。将“全灾种、大应急”任务下对消防信息化建设人才的需求解构为可观测的实验教学产出指标, 并将响应时效性、系统鲁棒性等指标细化为实验任务的具体考核要点。这一环节解决了“学什么”的问题, 确保了课程内容的行业适配性。

依托 PBL 理论构建层次化框架。遵循认知负荷理论与能力进阶规律, 课程教学团队将消防信息化建设中的典型场景, 转化为难度递增的三阶项目库。基础认知层设置验证性项目, 夯实单元电路基础; 综合设计层设计“8 路火灾探测器巡检控制器”等综合性项目, 强化系统集成能力; 创新探索层开放“基于 FPGA 的多通道火灾报警控制器”等研究性课题, 激发高阶思维。这种设计利用问题的复杂度差异, 构筑了清晰的逻辑框架, 使学生在解决进阶问题的过程中实现能力的螺旋上升。

引入 CDIO 理论铺设能力培养路径。在上述分层框架内, 教学全程嵌入“构思-设计-实现-运作”的完整工程周期。构思阶段对接“平”、“战”痛点提出设计目标; 设计阶段完成原理图及测试方案; 实现阶段执行虚拟预研、实体验证、故障排查的混合流程; 运作阶段进行反思复盘与项目答辩这一流程弥补了学生只懂原理、不懂工程的短板, 确保其掌握从需求分析到系统落地的全链路方法论, 实现从知识内化到素质外化的实质性跃迁。

3.2 实践教学内容改革

教学团队以“火灾报警与巡检技术”为贯穿主线, 设计了如图 1 所示的“基础认知-综合设计-创新探索”三层递进式实验架构。该架构遵循任务增量原则, 由简至繁, 由点及面, 形成了一条从逻辑门到片上系统的能力演进链条。具体实验体系如表 1 所示。基础认知层聚焦组合逻辑应用, 解决单点、静态判定问题; 综合设计层引入

时序控制以解决多点动态巡检问题；创新探索层植入智能算法与可编程技术，解决实战高可靠组网难题。这三层框架层次递进，共同构筑了支撑数智消防装备研发的完整知识图谱。

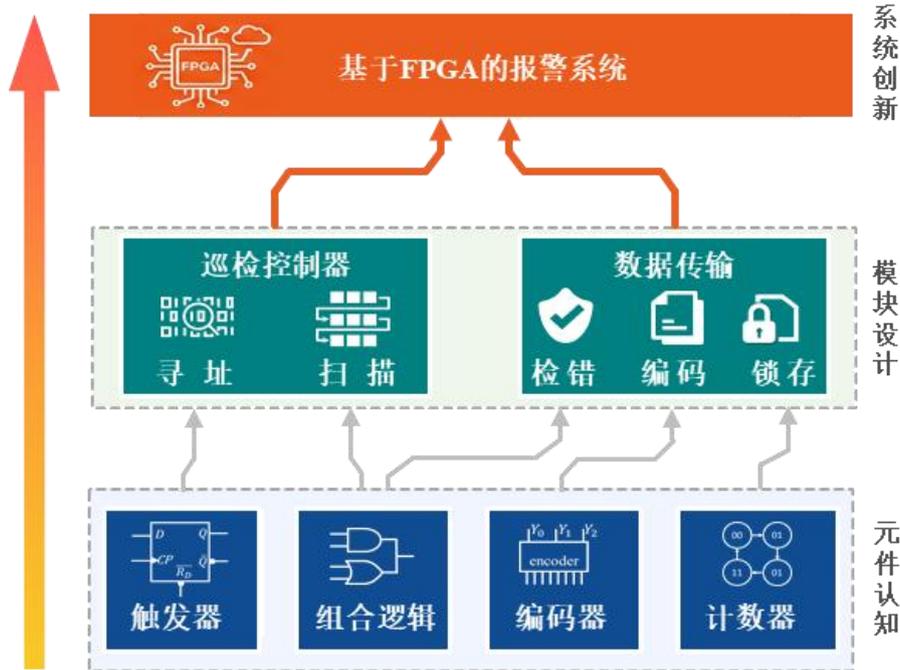


图1 三层递进式实验架构示意图

表1 基于平战教一体化的“火灾报警与巡检技术”主线实验教学体系设计

实验层级	代表性实验主题	消防情境映射
基础认知层	1.消防声光报警逻辑控制电路设计	报警信号的逻辑判断
	2.消防报警数据奇偶校验电路设计	火场强干扰下的数据传输检错
	3.多路消防报警信号优先编码电路设计	集群通信模式呼叫优先级的仲裁
	4.消防设备故障状态锁定电路设计	瞬态故障信号的捕捉与保持
	5.消防水泵启停计数监测电路设计	消防设施的常态化巡检记录
综合设计层	1.8路火灾探测器巡检控制器	回路巡检中的时分多路复用技术
	2.带奇偶校验的抗干扰数据传输接口	恶劣环境下通信链路从检错、锁定、到报警的闭环
创新探索层	基于FPGA的多通道抗干扰报警系统	解决实战中大规模节点管理与高误报率痛点，实现智能化消防主机设计

(1) 第一层：基础认知层

本实验层是数字逻辑认知的起点，核心是使学生建立从信号输入、逻辑判定、到功能实现的映射。以实验1消防声光报警逻辑控制为例，要求学生利用74LS153或74LS00，处理感烟与感温信号，实现双重触发报警、单一触发报警预警的复合逻辑控制。在此基础上，课程同步设置了利用74LS86保障数据完整的奇偶校验实验、利用74LS148处理多路冲突的优先编码实验等内容。通过该层级实验，学生不仅能够掌握芯片级的工程应用，更能够深入理解业务规则转化为物理电路的过程。这些看似独立的实验，共同构成了后续实验的基石：在综合设计层中它们将被复用、重组、构成巡检与传输子系统，在创新探索层实验中其逻辑将被重构为FPGA核心算法，支撑着学生工程素养的螺旋式上升。

(2) 第二层：综合设计层

本层实验对基础层知识点进行深度重组,引导学生将零散的知识点串联成线,完成从单一节点的逻辑判定到系统整体架构设计的工程升级。

综合设计实验1要求学生构建一个时分复用系统。利用基础认知实验4相关知识,将计数器从单纯记录次数的模块演变为能生成000-111连续地址码的地址发生器,实现从“数数”到“寻址”的认知升级。利用基础认知实验1的相关知识,将数据选择器从静态通道选择模块演变为可依次扫描8路探测器状态的动态扫描模块,实现从静态到动态的认知升级。此外,通过引入负反馈逻辑,在发现火警时自动封锁时钟,实现故障通道的精准锁定。这一过程不仅复用了底层模块,还使学生深刻理解现代消防控制器以时间换空间的核心巡检原理。

针对信号传输过程中的完整性问题,课程并行设置了综合设计实验2,要求学生将基础认知层中孤立的优先编码器、奇偶检错电路和故障状态锁定电路有机串联,构建一条具备编码、检错、锁定功能的完整信息链条。这一过程进一步强化了学生将离散功能模块集成为特定功能子系统的工程综合能力。

(3) 第三层:创新探索层

本层实验旨在实现从“连点成线”到“织线成面”的系统级重构。尽管综合设计层实现了巡检和传输两大功能子系统,但面向工程应用时,传统分立元件的方案暴露出扩展性差与抗干扰能力弱两大短板。因此,课程引入创新探索层实验“基于FPGA的多通道抗干扰报警系统”,引导学生利用现代电子设计技术进行系统重构与升级。

在本实验中,学生需基于FPGA平台,将综合层中孤立的巡检逻辑与通信接口进行深度融合。首先,利用FPGA编写模64以上的计数器逻辑,将扫描通道从8路扩展至64路以上,模拟大型单体建筑的报警主机,并同步完成从优先编码、奇偶校验到故障锁定的全流程并行处理。其次,针对火场电磁干扰,学生需摒弃传统的硬件RC去抖思维,转而设计可参数化的数字滤波器模块,通过统计信号连续N个时钟周期的稳定性来智能判定报警真伪。此外,通过设计三段式有限状态机,统筹管理巡检、判别、锁定、通信等复杂 workflows,实现对系统核心时序的精准调度。

上述软件定义硬件的重构过程,实质上是对学生工程创新素养的深度锻造。在广度上,学生不再局限于孤立子系统的设计,而是实现了从采集、处理到传输的完整信息链条,完成了系统级的逻辑闭环。在深度上,通过将74LS161重构为计数变量、将74LS151重构为数组索引逻辑,深度融合逆向工程思维训练,使学生深刻理解了硬件芯片内部的运行机理,填补了其底层硬件架构认知的空白。在维度上,通过引入数字信号处理算法,学生领悟如何通过FPGA的高速算力来弥补物理信号抖动与干扰的缺陷。这种三层递进的架构,最终实现了从验证知识到解决复杂工程问题的能力跃迁,可有力支撑消防信息化人才对高阶创新素养的迫切需求。

4 改革成效

前述改革举措已依托中国消防救援学院飞行器控制与信息工程专业全面落地。教学团队选取改革前2022级(2024年实施, N=70)和改革后2023级(2025年实施, N=97)两个教学班级为样本,开展两轮对比追踪研究。如图2所示,改革组2023级实验成绩的平均分为89.42分,较对照组2022级提升了4.85分。进一步分析实验成绩的离散程度,可以看出成绩分布发生了结构性优化。改革后实验成绩的标准差从6.08收敛至3.83,表明学生的实验能力发展趋于均衡。79分以下分段人数大幅减少,印证三层递进式实验架构对基础薄弱学生实现了有效托底;同时,优秀率(实验成绩 ≥ 90 分)从27.14%显著攀升至45.36%。低分段消失、高分段涌现的现象表明,改革既夯实了全员核心技能,又通过高阶挑战成功激发了学生的工程潜能。

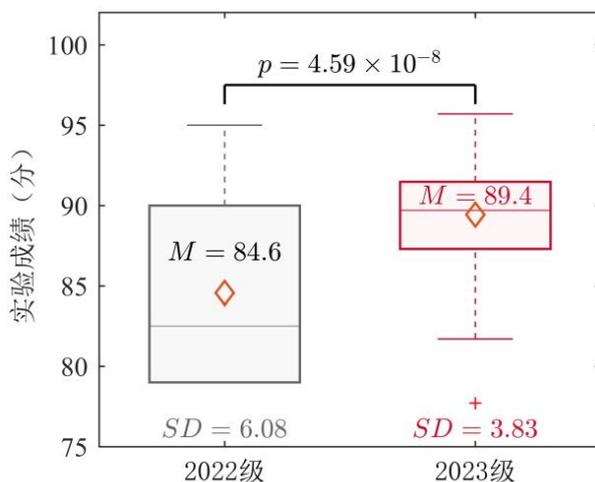


图2 实验成绩分析

成绩的提升与结构优化,源于学生认知动力的改变。2023级学生的课程调查问卷显示,场景化教学有效破解了“学”与“用”的断层问题,激活了学生的学习动机。如图3所示,学生对实验总体认同度高达93.42% (“同意”与“很同意”占比之和),对消防情境关联的认可度达89.47%,并且学生表示,对火灾探测与报警系统(63.9%)、数字化救援与战训装备(19.4%)和智能灭火与联动控制(16.7%)主题兴趣浓厚。从课堂观察来看,学生的学习状态发生了明显转变。学生不再被动地接受教师讲授的内容,也不再满足于简单的模仿,而是抱着“我要学”的探索精神,开始查阅数据手册,主动讨论、分析电路。这份主动探索的内驱力直接推动了2023级实验教学成效的提升。不仅如此,三层递进式实验架构为学生搭建了能力上升的阶梯,提升了学习自信。调查显示,92.1%的学生认为改革后的实验层次设计符合自身认知节奏,这与低分段人数显著减少的现象共同印证了改革后的实验教学梯度设置合理,它能保证基础薄弱的学生也能拾级而上,实现自我突破。再者,86.85%的学生认为自己明确掌握了数字电子技术在消防中的应用,89.48%的学生反馈实验过程增强了独立解决问题的信心。在面对突发电路故障时,学生不再茫然无措或第一时间向教师求助,而是自主利用示波器与逻辑分析仪等工具展开系统级排查,根据信号流向锁定故障点。这一变化标志着学生完成了从依赖外部的求助者到独立工程师的角色蜕变。

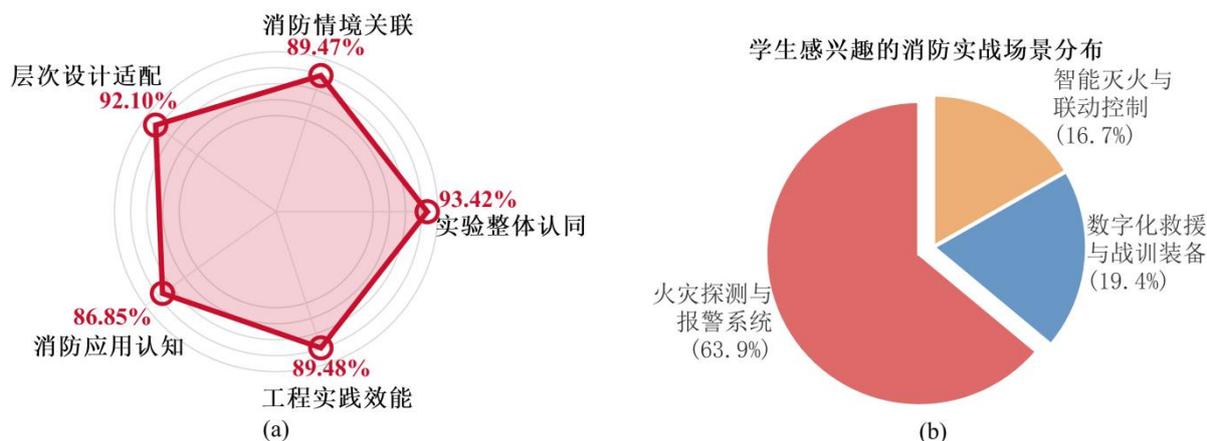


图3 实验教学改革效果问卷分析结果

(a) 课程核心指标评价, (b) 实验场景兴趣分布

5 总结

本文在“新质战斗力”视域下,探讨了消防院校“数字电子技术基础”实验教学改革和思考的具体实践。教学团队以“全灾种、大应急”任务需求为导向,将火灾报警与巡检核心业务贯穿始终,重构了“基础认知-综合设计-创新探索”三层递进式实验体系。实践证明,这种层层递进的培养模式有效打通了教学理论逻辑到工程实战的转化路径,并强化了学生解决复杂实战问题的工程思维与高阶能力。未来,该模式将持续输送“懂原理、能实战、会创新”的复合型数智人才,有力支撑应急救援事业的现代化转型。

参考文献:

- [1] 中共中央国务院. 教育强国建设规划纲要(2024-2035) [EB/OL]. (2025-01-20)[2025-10-19]. https://www.gov.cn/gongbao/2025/issue_11846/202502/content_7002799.html.
- [2] 重庆日报. 机制创新强根基 数字赋能提质效——重庆探索超大城市安全韧性治理新路径[EB/OL]. [2025-12-02]. https://admin.cq.gov.cn/zt/szzqjs/fngxnzl/yjgl/yjzhdd/202512/t20251202_15202454.html.
- [3] 何锋, 张有光, 李峭, 等. 新工科背景下“数字电路与系统”课程系统观实践[J]. 高等工程教育研究, 2025, (4): 61-67.
- [4] 陈曦, 于金鹏. 基于 OBE-CDIO 理念的“数字电子技术”实验教学设计[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(1): 200-203.
- [5] 孙艳丽, 李廷军, 张海波, 等. 军校数字电路课程教学改革探索[J]. 中国现代教育装备, 2023, (21): 153-156.
- [6] 郑江, 詹洪陈, 张志俭. 黑盒与逆向工程概念在数字电路基础实验教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(05): 106-110.
- [7] 朱雪秦, 王亚男, 胡秋琦, 等. “数字电子技术实验”的创新人才培养改革[J]. 电气电子教学学报, 2024, 46(04): 15-19.
- [8] 魏继增, 王建荣, 李幼萌, 等. 面向系统能力的数字逻辑与数字系统课程实践教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(10): 179-183, 190.

Reconstruction of the Fundamentals of Digital Electronics Experiment Teaching in Fire Engineering: A New Quality Combat Capability Perspective

Liu Ling^{1,2}

¹ *China Fire and Rescue Institute, Beijing, China;*

² *Key Laboratory of UAV Emergency Rescue Technology, Ministry of Emergency Management, Beijing, China*

Abstract: Within the paradigm of "all-hazard and comprehensive emergency", the new-quality combat capabilities are urgently required by China Comprehensive Fire and Rescue Force. However, traditional experimental teaching of Fundamentals of Digital Electronics exhibits structural limitations: the teaching content lags behind the development of digital and intelligent equipment, and the pedagogical hierarchy inadequately supports the cultivation of systematic innovation competencies. Therefore, a "three-in-one" theoretical framework for experimental teaching is proposed based on the "Peace-War-Teaching" integration. This framework adopts OBE as the orienting philosophy to anchor learning outcomes, employs PBL as the curricular vehicle to orchestrate instructional content, and institutes CDIO as the engineering pathway to standardize experimental workflows. In addition, a three-tier progressive experimental architecture anchored in the core mission of fire alarm and patrol technology is designed, featuring the basic cognition, comprehensive design, and innovative exploration layers. This framework establishes a capability evolution chain extending from fundamental logic gate verification to complex System-on-Chip reconstruction. The teaching practice proved that students' ability to solve complex engineering problems is significantly enhanced, thereby effectively bridging the engineering training chain for future professionals. This model establishes a closed-loop cultivation system that bridges theoretical cognition and practical combat literacy. It ensures the continuous supply of composite professionals equipped with digital intelligence, thereby underpinning the evolution of new quality combat capabilities required for complex emergency rescue tasks.

Keywords: New Quality Combat Capabilities; Digital Electronic Technology; Experimental Teaching