

5G移动通信实验室驱动的高校实验教学 改革研究

田亚平*, 张玉凤, 闫亚宾, 陈 洁

江苏师范大学科文学院, 江苏徐州, 221132

摘 要 | 5G技术快速演进以及通信产业数字化、网络化、智能化转型,使高校通信工程实验教学面临设备投入高、实验资源稀缺、课程内容碎片化、校企合作浅层化和评价方式单一化等结构性问题。本文以工程教育和教育数字化转型为背景,构建“虚实融合、产教协同、教研一体”的实验教学改革框架:以“物理层—虚拟层—融合层”三层实验室架构为基础,以“基础—综合—创新”三阶课程群为载体,以“高校教师—企业工程师—科研导师”三师协同为保障,以“动态能力画像”为评价闭环,形成“资源—课程—师资—评价—改进”一体化的实验教学生态。本文可为地方应用型高校电子信息类专业实验教学数字化、工程化和产教协同改革提供可迁移的实践参考。

关键词 | 5G; 虚实融合; 产教协同; 课程群

Copyright © 2026 by the author(s).

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

第五代移动通信技术(5G)以高速率、低时延、大连接和网络智能化为特征,正在推动移动通信从“人与人连接”向“人—机—物”泛在连接演进。随着5G与工业互联网、边缘计算、人工智能、车联网和物联网深度融合,通信工程岗位所需要的能力结构也由单一的通信原理与设备操作,逐步转向网络规划、系统集成、工程实施、数据分析、故障诊断和应用创新等复合能力^[1]。教育部持续推进新工科建设,强调主动服务新技术、新产业、新业

态和新模式,对地方高校工程人才培养提出了更高要求。

教育数字化进一步为实验教学转型提供了技术条件。教育部将教育数字化战略行动作为重要任务,强调以数字技术推动教育教学模式、学生评价和教育治理创新^[2-5]。因此,5G实验教学改革不能简单理解为“购买新设备”,而应从实验空间、课程内容、教学组织、评价机制和校企协同等层面进行系统重构。在物联网通信实验教学方面,徐芳芳从理论、实践与项目创新的结合出发,强调实验教学不能停留在知识验证层面,而应通过项目实践促进学生综合应用能力和创新意识形成^[6]。这一思路

基金项目: 2026 年江苏高等教育“电子信息类专业建设、课程建设、教学研究”课题,(2026JSDZJG31); 2025 年度江苏省高校哲学科学研究课题(2025SJYB0854)。

作者简介: 田亚平,江苏师范大学科文学院电子与通讯专业副教授,研究方向为人工智能算法、教育教学。

文章引用: 田亚平,张玉凤,闫亚宾,陈洁. 5G 移动通信实验室驱动的高校实验教学改革研究[J]. 计算机与智能教育技术, 2026, 1(2): 82-88.

<https://doi.org/10.68070/ergzcz70>

与本文以工程问题解决为导向的改革理念具有一致性，但本文进一步将项目化实验置于5G虚实融合实验室和三阶课程群之中，强调实验资源、课程组织与能力评价之间的系统联动。在软件无线电与移动通信实验平台建设方面，郭晓菲的研究关注基于软件无线电的开放式实验平台，通过平台建设拓展实验教学的开放性和实践性，为移动通信实验从固定设备操作向可配置、可扩展的实验环境转变提供了参考^[7]。戴翠琴、冉海霞、鲍宁海较早从移动通信课程实验教学改革与平台建设角度进行了探索，说明实验平台建设与课程内容重构需要同步推进^[8]。潘子宇进一步围绕移动通信课程实验教学改革与平台建设开展研究，体现出移动通信实验教学对平台化、实践化教学资源的持续需求^[9]。这些研究表明，实验平台是提升通信工程实践教学质量的重要基础，但现有研究较多聚焦单一课程或单个平台，对实体设备、虚拟仿真、企业项目和科研资源如何形成协同机制讨论仍相对有限。在应用型本科通信工程专业实验教学方面，朱晨、王贤凌、田悦从应用型本科人才培养定位出发，讨论了通信工程专业实验教学改革路径，强调实验教学与应用型人才培养目标、工程实践能力之间的衔接^[10]。该研究与本文的应用型本科定位高度相关，但本文进一步将

改革对象从课程层面扩展至“实验室—课程群—师资—评价—产业”协同系统，并尝试以动态能力画像形成持续反馈闭环。

基于上述研究现状，本文的研究缺口和边际贡献主要体现在三个方面：第一，将已有的虚拟仿真、软件无线电平台、项目创新和应用型人才培养研究进行系统整合，提出“虚实融合、产教协同、教研一体”的整体改革框架；第二，以“物理层—虚拟层—融合层”三层实验室、“基础—综合—创新”三阶课程群和“高校教师—企业工程师—科研导师”三师协同形成纵向能力递进与横向资源协同；第三，引入动态能力画像，将理论知识、操作技能、系统思维、创新能力和工程规范纳入同一评价框架，并结合企业参与和过程数据构建反馈改进机制。与已有单课程、单平台改革相比，本文更加关注实验教学改革的系统性、协同性和可持续迭代。

2 研究问题与改革目标

2.1 核心问题

5G移动通信实验教学的主要问题及改革目标如表1。

表1 5G移动通信实验教学的主要问题及改革目标

问题维度	传统实验教学表现	改革要解决的核心问题
实验资源	高价值5G设备昂贵、更新快，学生使用机会有限	如何在有限投入下提升设备利用率和实验覆盖面
课程体系	验证性、碎片化实验较多，端到端系统认知不足	如何形成从原理解到系统设计、再到创新实践的递进路径
校企合作	设备捐赠、参观和讲座多，课程嵌入不足	如何把企业标准、真实项目和工程约束嵌入教学全过程
教师队伍	理论教学、工程实践、科研前沿能力难以由单一教师全部覆盖	如何形成多元主体协同育人的组织机制
教学评价	偏重实验报告和结果，过程数据利用不足	如何实现过程性、多维度、可反馈的能力评价

2.2 总体目标

围绕应用型本科通信工程人才培养定位^[11]，改革以“学生工程能力发展”为主线，以真实产业需求为牵引，以数字化实验资源为支撑，以虚实融合实验室为载体，以项目化课程为抓手，以多元师资协同为保障，以动态能力评价为闭环，构建可持续迭代的5G实验教学生态。总体目标可以概括为“五个转变”：实验资源由“设备中心”向“资源生态”转变，实验内容由“知识验证”向“能力进阶”转变，校企合作由“外围参与”向“共同育人”转变，教师角色由“单一授课”向“协同导师”转变，教学评价由“结果判定”向“过程赋能”转变。

3 理论基础与改革逻辑

3.1 新工科视域下的工程能力培养

新工科建设强调面向产业需求、面向世界和面向未来，要求高校主动适应新技术、新产业和新模式变化，更新人才培养内容与方法。对通信工程专业而言，5G实验教学正是连接学科知识、工程实践和产业需求的重要载体。实验课程应从“做实验”转向“解决工程问题”，让学生在真实或高度拟真的约束条件下经历需求分析、方案设计、参数配置、测试验证、问题诊断和迭代优化^[12]。

3.2 教育数字化与虚实融合

教育数字化并不等于简单地把线下实验搬到线上,而是通过数据、平台和智能技术重塑资源供给、学习过程和评价方式。5G实验具有设备昂贵、系统复杂、配置风险高等特点,虚拟仿真能够承担高频练习、方案试错和复杂场景构造,实体实验则承担真实连接、设备操作、信号观测和工程规范训练,二者通过联控系统形成互补。

3.3 产教协同与科教融合

企业参与不应局限于提供设备或举办讲座,而

应进入人才培养方案、实验项目、工程案例、课程评价和能力认证。与此同时,高校科研团队掌握5G/6G前沿技术,应把科研问题转化为学生能够理解和实施的创新实验,使科研资源成为课程持续更新的重要来源。目前本校已形成与武汉凌特、中信科移动、华为等企业的产学研合作网络,并探索将企业认证标准嵌入课程评价。

4 “虚实融合、产教协同、教研一体” 总体改革框架

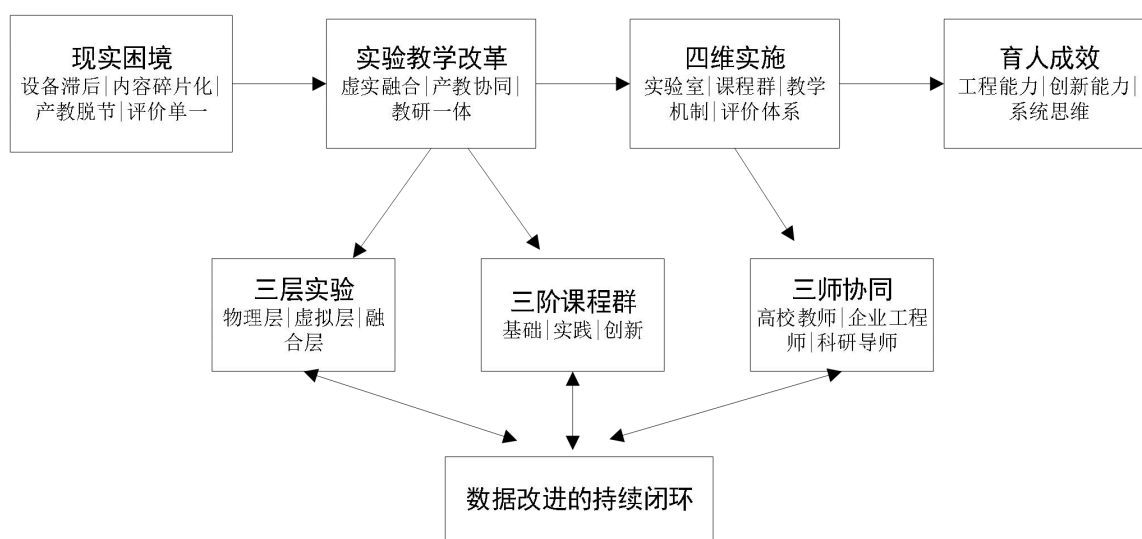


图1 “虚实结合、产教协同、教研一体” 5G 实验教学改革总体框架

图1所示改革框架以“问题—改革—实施—成效—反馈”构成逻辑主线。其关键不是增加若干零散教学活动,而是将实验室、课程、师资、企业和评价机制视为相互耦合的系统。本文将实验室架构、课程体系、教学机制和评价体系概括为四个改革维度。

5 实施路径：从实验室到课程、从课堂到产业

5.1 构建“三层”虚实融合实验室

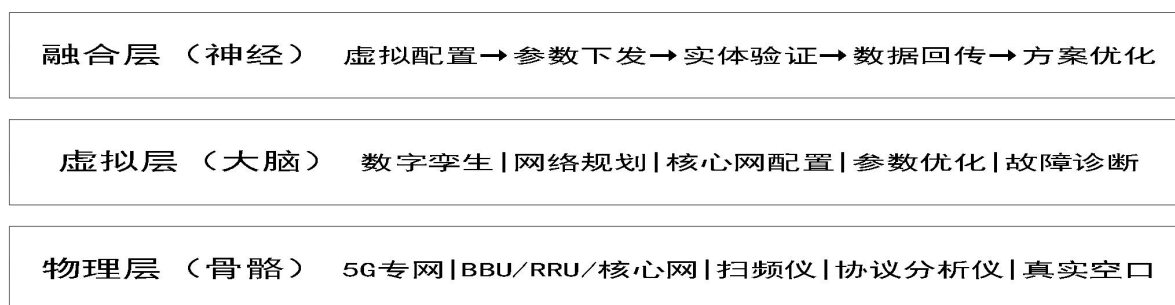


图2 “三层”实验室的虚实融合逻辑

物理层承担真实性训练,配置5G独立专网、BBU/RRU、核心网、扫频仪、协议分析仪等设备,使学生能够完成线缆连接、设备启动、信号采集和真实网络测试;虚拟层承担可重复、低风险和大规

模训练,通过数字孪生模拟核心网配置、基站部署、网络优化和故障诊断;融合层通过虚实联控实现“虚拟设计—实体验证—数据反馈—迭代优化”。本文明确提出三层架构,并强调虚拟层不是实体层

的替代，而是与实体层协同增效。

表2 “三层”实验室架构及其教学功能

层级	主要资源	典型实验	教学价值
物理层	5G 专网、BBU/RRU、核心网、测试仪表	组网、信号测试、协议抓包	真实感、工程规范、具身认知
虚拟层	数字孪生、网络仿真、虚拟核心网	规划、配置、参数优化、故障诊断	低成本、可重复、可扩展
融合层	联控接口、数据采集与反馈系统	虚拟方案下发、实体验证、闭环优化	打通虚实、训练系统思维

本文给出了“降低50%设备投入成本、扩大300%实验覆盖面”的阶段性测算。由于目前材料主要呈现方案与阶段性实践，本文将其作为课题测算值而非独立验证的实验结论，正式发表时建议补充设备采购清单、实验人时、学生覆盖率和成本核算口径。

5.2 重构“基础—综合—创新”三阶课程群

表3 “基础—综合—创新”三阶课程群设计

层级	能力目标	内容组织	教学组织	成果形式
基础	懂原理、会操作	帧结构、随机接入、RRC、HARQ、波束管理	案例反推+虚拟演练+实体验证	实验记录/分析报告
综合	能整合、善应用	5G+边缘计算、AGV 调度、网络规划与优化	项目制+小组协作+企业工程师指导	系统方案/原型/测试报告
创新	敢创新、会研究	智慧农场、工业互联网、前沿通信课题	真实问题+真实数据+真实约束	创新项目/论文/竞赛/专利等

5.3 以“案例反推法”提升复杂协议学习效果

针对5G协议抽象程度高、学生容易停留在公式和概念记忆层面的特点，可采用“现象/数据—问题—信令—原理—验证”的逆向学习链。首先给出真实或仿真的信令抓包、网络性能异常或业务现象；

课程群以能力进阶为核心，将原来以单个知识点为中心的验证性实验重构为“基础—综合—创新”三级。基础层解决“懂原理、会操作”，综合层解决“能整合、善应用”，创新层解决“敢创新、会研究”。目前已完成5个基础实验模块开发，包括5G帧结构解析、随机接入过程仿真、波束管理等，并采用“案例反推法”。

其次提出需要解释的工程问题；再次引导学生定位相关协议流程；最后通过虚拟和实体实验验证解释是否成立。该方法把抽象协议知识置于可观察的数据环境中，有利于培养证据意识和工程诊断思维。

5.4 建立“三师协同”教学机制

表4 “三师协同”教学机制及职责

角色	核心职责	嵌入环节	评价重点
高校教师	课程设计、理论讲授、基础实验、教学组织	基础层及全过程	知识掌握、学习过程
企业工程师	工程案例、项目约束、行业标准、工程规范	综合层和创新层	方案可实施性、工程质量
科研导师	前沿问题、研究方法、创新训练	创新层、科研项目	问题意识、创新性、研究规范

三师协同不是三类人员轮流授课，而是围绕同一能力目标形成角色互补：高校教师保证学科知识的系统性，企业工程师保证工程实践的真实性，科

研导师保证知识的前沿性。将企业工程师固定嵌入综合层和创新层，并通过科研项目招募、创新工作坊等形式引导本科生接触学科前沿。

5.5 构建“动态能力画像”评价体系

评价改革从“评价学习结果”向“促进学习发生”转变。将采集实验操作日志、代码质量、设计方

案、团队协作和专家评分等多源数据，并从理论知识、操作技能、系统思维、创新能力、工程规范五个维度生成能力评价体系。

表 5 动态能力画像评价指标体系

评价维度	建议权重	主要证据	评价方式
理论知识	20%	测试、概念解释、协议分析	机考+教师评价
操作技能	20%	设备操作、配置记录、故障处理	过程日志+实操考核
系统思维	20%	架构设计、方案论证、性能分析	项目评价+答辩
创新能力	20%	方案创新、研究问题、迭代次数	专家评价+成果评价
工程规范	20%	代码、文档、团队协作、安全规范	企业工程师+教师评价

需要强调的是，上表属于对现有评价思想的教学化细化方案，并非已经完成的实证权重。正式实施时可通过专家咨询、层次分析法或基于课程数据的统计分析校准权重，并建立学生、教师、企业和管理者多主体反馈机制。

6 实践基础、阶段性成效与改革创新点

6.1 实践基础、阶段性成效

为了满足5G移动通信实验教学研究，目前企业需求调查样本为3家，岗位需求覆盖5G网络规划、基站运维、应用开发和网络优化四个方向。实验室方案采用三层架构，基础层已开发5个实验模块；2024—2026年“大唐杯（现更名信科赛）”相关赛事中，学生获得国家二等奖1组、国家三等奖2组、省一等奖6组。上述数据能够说明改革已形成一定的实施基础和阶段性成果，但由于缺少改革前基线、同期对照组、学生样本量及统计检验，尚不能据此计算改革带来的净提升幅度。本文因此将相关结果界定为阶段性实践证据，并把前后测成绩、实验完成率、学习投入度、企业评价和毕业去向等作为下一

阶段重点补充指标。现有阶段性成效与证据边界见表6。

在后续实证研究中，将课程改革前后学生作为配对样本，围绕理论知识、操作技能、系统思维、创新能力和工程规范建立统一量表，并采用前测—后测比较、效应量分析及必要的显著性检验；同时设置同期未实施改革的班级作为对照，以降低学生基础差异和外部因素对结果解释的影响。企业评价可进一步采用统一量表，分别评价方案可实施性、工程规范、问题解决能力和岗位适配度，从而形成“学生学习数据+教师评价+企业评价+成果数据”的多源证据链。

教学改革按照“课前诊断—虚拟训练—实体验证—综合项目—创新实践—反馈改进”的流程实施。数据来源包括前测与学习记录、虚拟实验操作日志、实体设备测试数据、项目文档与答辩记录、企业工程师评价以及竞赛和成果记录等。因此，本文现阶段主要采用描述性证据与过程性证据进行分析：一方面通过实验模块、课程项目和资源建设数量反映改革实施程度；另一方面通过竞赛获奖、企业参与和平台建设等材料呈现阶段性结果，并明确区分“实施证据”和“效果证据”。

表 6 阶段性实践成效与证据边界

成效维度	阶段性证据	教改意义	后续建议
学生竞赛	2024—2026 “大唐杯（现更名信科赛）”获国家二等奖1组、国家三等奖2组，省一等奖6组	说明改革与竞赛型工程能力训练具有一定关联	增加改革前后对照组及统计检验
教师发展	围绕5G 实验教学发表教研论文	推动教师技术理解与教学转化	建立教师企业实践学时与能力档案
校企合作	大唐移动固定参与实践教学	合作由设备捐赠向课程共建深化	统计企业参与稳定性、学生岗位适配度
资源建设	完成实验室技术方案和基础实验模块	形成可持续教学资源基础	建立资源版本、使用率和更新机制

6.2 改革创新点

5G实验教学改革的主要创新点如表7。

表7 5G实验教学改革主要创新点

创新点	传统做法	本文改革	核心价值
实验空间创新	实体设备中心	物理—虚拟—融合三层架构	提高资源利用与实验可及性
课程组织创新	知识点验证	基础—综合—创新阶梯式课程群	形成系统能力递进
教学主体创新	单一教师	高校教师+企业工程师+科研导师	实现知识、工程、科研三维协同
评价机制创新	报告和结果导向	多源数据+动态能力画像	评价即诊断、评价促学习
资源更新创新	教材周期更新	产业需求+科研成果持续反哺课程	增强课程持续进化能力

7 面临挑战与优化策略

第一，教师能力转型仍是关键瓶颈。三师协同并不能替代高校教师自身能力提升，建议建立教师企业实践、技术认证、科研转化和教学成果相结合的教师发展机制。第二，虚拟仿真平台开发成本较高。可采取“核心场景先行、模块化迭代”的方式，优先开发高频、危险、高成本和难以重复的实验场景，而非追求一次性构建全协议高保真系统。第三，动态能力画像涉及数据标准、隐私保护和算法公平，应明确数据采集边界、授权规则和评价解释机制。也可以将教师能力转型、仿真精度和评价数据治理列为关键挑战。

第四，企业参与需要制度化。建议以课程共建协议、企业导师聘任、企业真实项目库、企业评价标准和学生岗位能力画像为抓手，把企业参与从“活动型”变为“机制型”。

第五，要处理好5G与6G教学内容的关系。在5G教学基础上前瞻布局太赫兹通信、智能超表面、通感算智一体化等6G实验资源。更可行的策略是采用“5G基础能力+6G前沿模块”的双层结构，避免过早以尚未成熟的技术替代本科阶段的基础训练。

8 结论与推广价值

5G移动通信实验教学改革的本质不是实验设备更新，而是人才培养范式的系统重构。本文基于研究实践，形成“虚实融合、产教协同、教研一体”的改革逻辑：以虚实融合解决资源约束，以三阶课程群解决能力碎片化，以三师协同解决师资复合性不足，以动态能力画像解决评价单一化，以企业和科研资源持续输入保证课程内容迭代。该体系与新工科强调的面向产业、面向未来和强化工程实践相契合，也与教育数字化所倡导的数字资源、数据评价

和教学模式创新相衔接。

从推广角度看，该模式具有较好的模块化特征。资源条件较好的高校可以建设完整三层实验室；资源有限的高校可先建设虚拟层，再通过共享实验中心补充实体实验；企业资源较强的高校可优先推进课程共建和企业项目导入；科研基础较强的高校可进一步建设6G前沿创新模块。由此形成“低成本起步—模块化扩展—数据化评价—持续迭代”的改革路径。

总体而言，通信工程实验教学应从“让学生完成实验”转向“让学生经历工程问题解决过程”。只有把真实设备、虚拟环境、产业项目、科研问题和学习数据真正连接起来，才能形成面向复杂工程问题的能力培养闭环。

参考文献

[1] 颜倬航, 谢春梅, 胡志欣. 数字经济促高质量发展理论与人力资源实践研究[M]. 辽宁科学技术出版社: 2024.

[2] 教育部办公厅. 关于推荐新工科研究与实践项目的通知[EB/OL]. 2017-07-04.

[3] 教育部. 教育部2022年工作要点[EB/OL]. 2022-02-08.

[4] 教育部. 对十三届全国人大四次会议第7020号建议的答复[EB/OL]. 2022-01-10.

[5] 教育部. 以数字化助力教育强国建设[EB/OL]. 2023-02-11.

[6] 徐芳芳. 基于理论与实践与项目创新的物联网通信实验教学改革[J]. 科教导刊, 2024(16): 59-61.

[7] 郭晓菲, 李世宝. 基于软件无线电的移动通信实验平台建设与实验教学改革[J]. 教育教学论坛, 2018, (45): 277-278.

[8] 戴翠琴, 冉海霞, 鲍宁海. 移动通信课程实验教学改革与平台建设[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(2): 144-147.

- [9] 潘子宇. 移动通信课程实验教学改革与平台建设研究[J]. 中国新通信, 2024, 26(19): 121-123.
- [10] 朱晨, 王贤凌, 田悦. 应用型本科通信工程专业实验教学改革探索[J]. 高教学刊, 2025(14): 33-37.
- [11] 田亚平, 闫亚宾, 高昕. 应用型本科院校电子信息类专业人才培养改革探究[J]. 教育研讨, 2025, 7(3): 339-342.
- [12] 吴世娥, 贺鹏飞. 基于创新能力培养的虚拟仿真教学改革与探索——以“移动通信网络规划课程设计”为例[J]. 科教文汇, 2025(1): 119-123

Research on Experimental Teaching Reform in Universities Driven by 5G Mobile Communication Laboratories

Tian Yaping*, Zhang Yufeng, Yan Yabin, Chen Jie

Kewen College, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221132

Abstract: With the rapid evolution of 5G technology and the digital, networked, and intelligent transformation of the communications industry, experimental teaching in communication engineering programs at universities is facing a range of structural challenges, including high equipment investment costs, scarce experimental resources, fragmented course content, superficial university - industry collaboration, and overly simplistic assessment methods. Against the backdrop of engineering education and educational digital transformation, this paper develops an experimental teaching reform framework integrating virtual and physical environments, industry - education collaboration, and the integration of teaching and research. Specifically, a three-layer laboratory architecture consisting of the physical layer, virtual layer, and integrated layer serves as the foundation; a three-level curriculum system covering basic, comprehensive, and innovative experiments serves as the primary vehicle; a collaborative teaching model involving university faculty, industry engineers, and research mentors provides the necessary support; and a dynamic competency profile is adopted as a closed-loop assessment mechanism. These elements collectively form an integrated experimental teaching ecosystem encompassing resources, curricula, faculty, assessment, and continuous improvement. This study provides a transferable practical reference for the digitalization, engineering-oriented development, and industry - education integration of experimental teaching in electronic information-related programs at local applied universities.

Keywords: 5G; integration of virtual and physical environments; industry-education collaboration; curriculum system