

“光”照产线，“谱”育能力：仪器分析实验课程的产教融合改革

邱笛^{1*}, 谭超¹, 周鑫¹, 邹琴¹, 田婧¹, 陈立²

¹宜宾学院, 过程分析与控制四川省教育厅高校重点实验室, 材料与化学工程学院, 四川 宜宾

²和光同程光伏科技(宜宾)有限公司, 四川 宜宾

收稿日期: 2026年9月7日; 录用日期: 2026年10月8日; 发布日期: 2026年10月15日

摘要

针对仪器分析实验教学内容与产业脱节、实训场景单一、考核模式固化等问题, 本文依托光伏企业校外实习基地, 构建产业真实问题驱动的产教融合教学体系。以紫外-可见光谱、傅里叶变换红外光谱技术为载体, 将光伏玻璃透光率检测、EVA胶膜组分分析等企业质检项目融入实训环节, 从教学内容、实训平台、双师队伍、评价机制四方面完成课程重构。实践表明, 该模式有效打通教学与产业应用壁垒, 提升学生实操能力与岗位适配度, 可为新能源领域同类实验课程改革提供参考。

关键词

仪器分析实验, 光伏材料, 产教融合, 教学改革

“Light” Illuminates Production, “Spectra” Builds Capability: An Industry-Education Integration Reform of the Instrumental Analysis Laboratory Course

Di Qiu^{1*}, Chao Tan¹, Xin Zhou¹, Qin Zou¹, Jing Tian¹, Li Chen²

¹Key Lab of Process Analysis and Control of Sichuan Universities, School of Materials Science and Chemical Engineering, Yibin University, Yibin Sichuan

²Heguang Tongcheng Photovoltaic Technology (Yibin) Co., Ltd., Yibin Sichuan

Received: September 7, 2026; accepted: October 8, 2026; published: October 15, 2026

*通讯作者。

文章引用: 邱笛, 谭超, 周鑫, 邹琴, 田婧, 陈立. “光”照产线, “谱”育能力: 仪器分析实验课程的产教融合改革[J]. 教育进展, 2026, 16(10): 458-466. DOI: 10.12677/ae.2026.16102131

Abstract

Aiming at prominent drawbacks in conventional instrumental analysis experimental teaching, including disconnection between curriculum content and industrial demands, monotonous practical training scenarios and rigid assessment frameworks, this study constructs an industry-education integrated teaching system driven by authentic industrial engineering problems with the support of an off-campus practical training base cooperating with photovoltaic enterprises. Relying on ultraviolet-visible spectroscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy, routine industrial quality inspection items such as transmittance measurement of photovoltaic glass and compositional quantification of EVA encapsulant films are embedded into practical training modules. Curriculum reconstruction is systematically implemented from four dimensions: teaching content optimization, practical platform construction, dual-qualified faculty development and diversified assessment system formulation. Practical implementation verifies that the proposed teaching mode effectively bridges the gap between classroom teaching and industrial application, improves students' hands-on proficiency and post adaptability, and provides a feasible reference for the curriculum reform of analogous experimental courses in the new energy industry.

Keywords

Instrumental Analysis Experiment, Photovoltaic Materials, Industry-Education Integration, Teaching Reform

Copyright © 2026 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

在“双碳”战略引领下，我国光伏产业发展迅速，已成为清洁能源领域的核心支柱。从原料提纯、材料制备到组件封装，产业链各环节均需依托仪器分析技术开展质量管控与性能表征，行业对具备工程检测能力的复合型人才需求日益迫切。仪器分析实验是新能源、材料、应用化学等专业的核心实践课程，承担着培养学生精密分析应用能力的重要职能，是衔接课堂理论与产业岗位的关键纽带[1]。传统教学以验证性实验为主，内容偏向通用化，实训场景脱离行业实际工况；教学资源局限于校内设备，高端专项分析仪器配置不足；师资结构单一，授课教师缺乏一线光伏企业从业经验；考核评价侧重实验报告与操作流程，忽视工程思维与产业适配能力考核，难以适配光伏企业差异化、专业化的人才招聘标准[2]，形成“高校育人与产业用人双向错位”的行业困境(图 1)。

国内外针对仪器分析类课程产教融合已有较多研究与实践。国外高校多依托校企联合实验室开展 PBL 项目式学习[3]，以科研任务驱动学生自主探究，但受教育体制影响，企业大多仅提供课题资源，较少深度参与课程大纲编制、实训教学设计和全过程考核，面向产业质检岗位的完整实验课程改革案例较为稀缺。国内现有改革多集中于岗课赛证融合、课堂案例植入，部分院校将企业检测案例引入课堂，但多数仅做到案例简单移植，缺少校企共建实景实训平台、企业工程师全流程参与教学的闭环设计。产教融合、校企协同是破解应用型课程教学瓶颈、打通人才培养供需壁垒的核心路径。本文依托校企共建光伏企业校外实习基地，以 PBL 项目式学习、情境学习理论作为底层理论支撑，以情境学习理论指出专业能力需要嵌入真实工作场景进行建构，结合产教协同育人思想。深挖仪器分析实验课程与光伏产业的契

合点，推行真实产业问题驱动式实训，将企业真实任务转化为教学实验项目，打破校内校外教学边界，重塑课程教学逻辑、教学内容、实训场景与考核体系，实现实验教学从“课本验证”向“产业实战”转型升级。

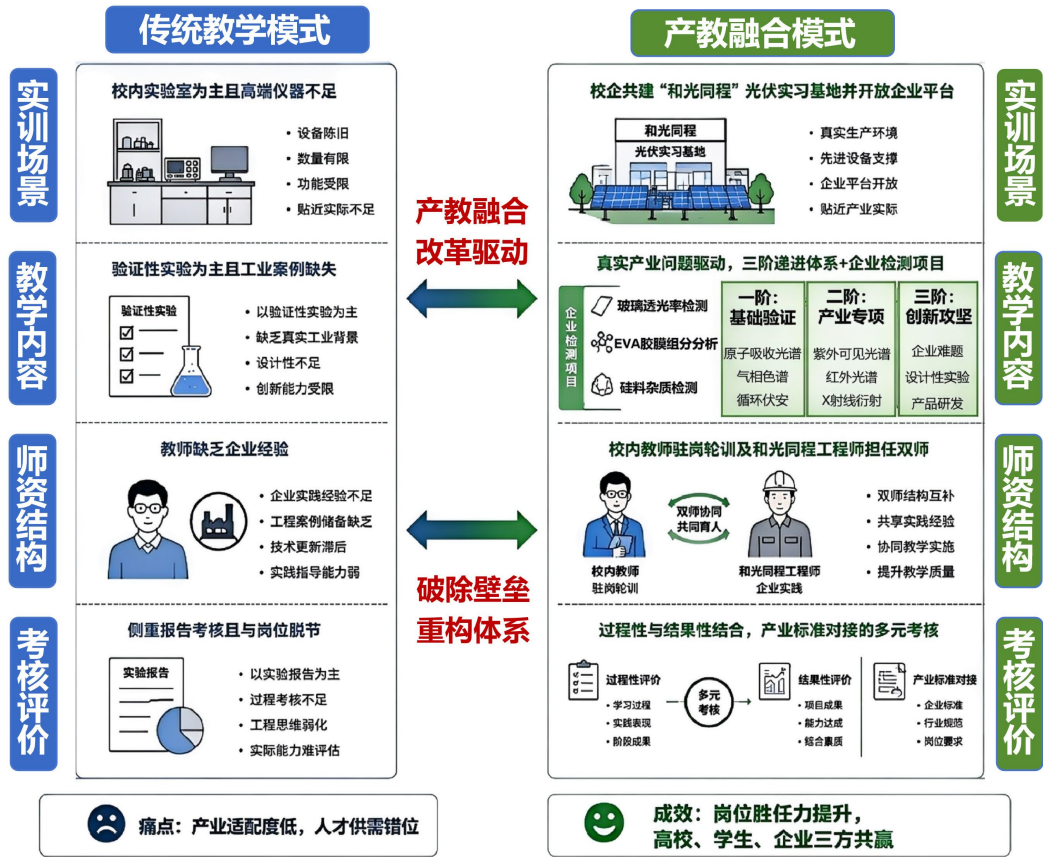


Figure 1. Diagram of the misalignment between traditional instrumental analysis teaching and the supply-demand of talent in the photovoltaic industry
图 1. 传统仪器分析教学与光伏产业人才供需错位关系图

2. 融合锚点：光伏产业中仪器分析技术的场景映射

要实现有效融合，首先需要建立课程知识点与光伏产业应用场景之间的清晰映射关系(图 2)。根据光伏检测的实际流程，可在以下维度实现对接：

2.1. 成分分析：ICP-MS 与硅料杂质检测

光伏产业链的上游需要硅料，对纯度要求极高。ICP-MS 能够检测硅料中 Fe、Cu 等金属杂质，精度可达 ppb 级。这一检测任务完全可以设计为仪器分析实验的综合案例：学生以光伏企业提供的硅料为载体，进行样品前处理、ICP-MS 进样操作、质谱图解析和杂质含量计算，最终出具符合行业标准的检测报告。传统的 ICP-MS 实验往往以标样为对象，学生做完实验只得到一个数字；而以光伏硅料为对象，学生需要判断“这批硅料是否达到太阳能级标准，实验过程具有明确的问题指向和职业意义”[4]。

2.2. 结构分析：FTIR 与 XRD 在封装材料与晶体表征中的应用

EVA 胶膜是光伏组件中关键的封装材料，其分子结构直接决定了组件的长期可靠性。FTIR 红外光谱

可鉴定 EVA 胶膜中醋酸乙烯酯的含量,这一参数直接影响胶膜的交联度和耐老化性能。XRD 衍射则用于分析钙钛矿等新型光伏材料的晶体结构纯度,判断是否存在杂相、晶粒尺寸是否均匀。在拉曼光谱方面,XRD 与拉曼光谱的联用成为光伏薄膜材料研究手段,两者相互印证、共同确定材料的物相和晶格振动[5]。上述内容均可转化为仪器分析实验的教学模块:学生利用 FTIR 判断不同 EVA 胶膜样品的醋酸乙烯酯含量差异;利用 XRD 分析不同退火条件下钙钛矿薄膜的结晶质量;利用拉曼光谱确认物相并识别特征峰。

2.3. 光学性能测试: UV-Vis 光谱与透光率/反射率评估

光伏玻璃和封装胶膜在 300~1200 nm 波段的透光率要求达到 93.5%以上,绒面硅片的反射率则应控制在 10%以下。学生可以用 UV-Vis 光谱仪对不同类型的光伏玻璃进行透射光谱扫描,计算平均透光率,并与 IEC 标准对照判断样品是否合格[6][7]。不仅训练了 UV-Vis 光谱仪的操作技能,还涉及光谱数据的处理、标准曲线的运用以及行业标准的理解。

2.4. 电学性能测试: 四探针法与硅片电阻率测量

四探针法用于测量硅片电阻率,是太阳能电池制造过程中的关键质检环节。这一实验可以纳入仪器分析实验的电分析模块,学生在光伏企业工程师的指导下完成硅片电阻率的测量和数据统计分析,了解电阻率与电池效率之间的关联,并掌握四探针法在半导体材料表征中的典型应用[8]。



Figure 2. Internal logic diagram of industry-education integration reform
图 2. 产教融合改革内在逻辑图

3. 光伏实习基地赋能课程改革内在逻辑

立足于校企双方供需关系、技术契合性、实训模式革新与资源整合四个层面，阐释依托光伏实习基地开展课程改革的内在逻辑，论证该改革路径的可行性与合理性(图 3)。

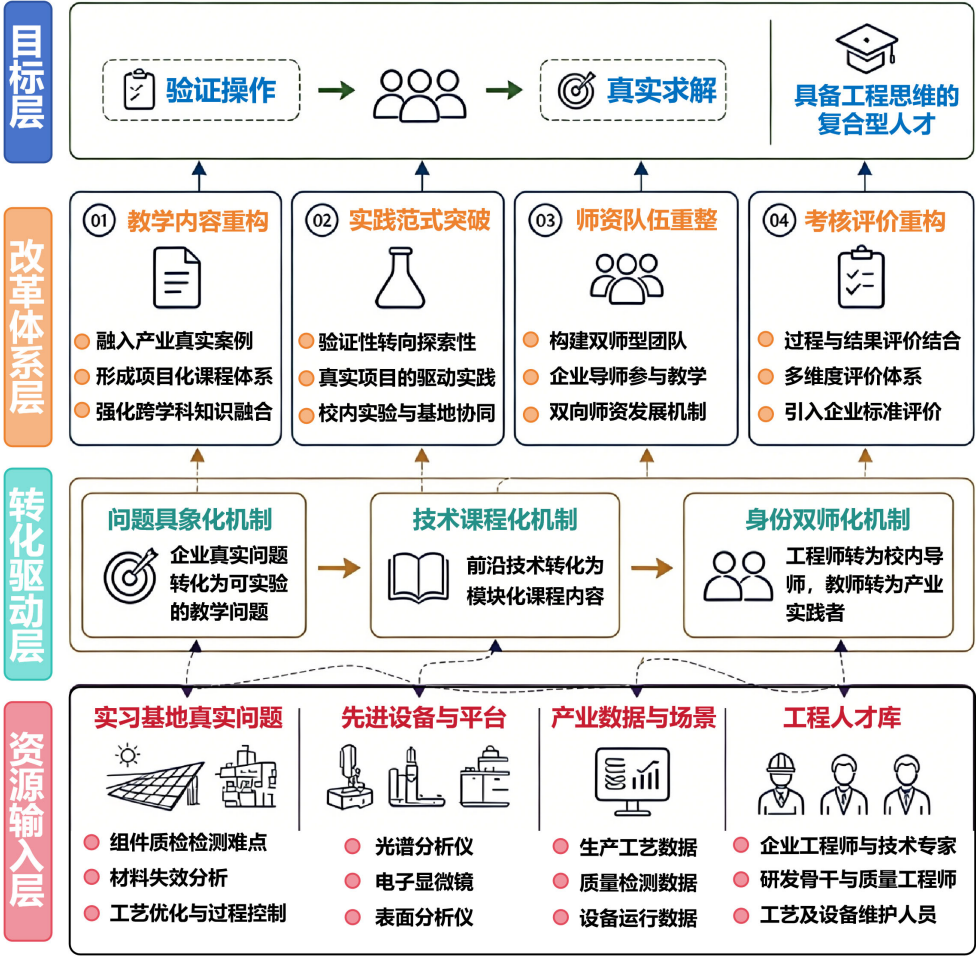


Figure 3. Internal logic of how a photovoltaic internship base empowers the reform of instrumental analysis experimental teaching

图 3. 光伏实习基地赋能仪器分析实验教学的内在逻辑

3.1. 供需契合：双向适配夯实改革根基

从高校育人层面来看，仪器分析实验课程亟需突破校内教学资源瓶颈，依托光伏企业实习基地补齐高端设备、产业项目、实景实训场景短板，丰富综合性、创新性实验项目，推动课程从通识化教学向专业化、产业化教学转型，提升新能源方向人才培养质量。从企业用人层面而言，光伏企业亟需适配岗位需求的高素质基层技术人才，通过深度参与教学改革，可前置人才培养标准，定向培育熟悉企业生产流程、适配检测岗位的储备人才，降低人才引进与岗前培训成本。二者供需互补、利益共生，为产教深度融合改革提供坚实基础[9]。

3.2. 技术互通：学科交叉搭建融合桥梁

仪器分析技术与光伏产业技术具备高度适配性与互通性，二者技术耦合点贯穿光伏全产业链。依托

上述技术契合点,可将企业真实检测项目转化为教学实验项目,实现教学内容与产业技术无缝对接,搭建学科交叉、产教互通的融合桥梁。让学生直面光伏材料检测中的各类工程问题,理解仪器参数调控、样品预处理、环境误差控制对检测结果的影响,促使学生从“被动操作”转变为“主动解决问题”,从根源上解决实训内容空洞、知行脱节的教学难题。

3.3. 平台共建：资源共享激活育人动能

校企共建校外实习基地并非简单的学生实习派驻,而是教学资源与产业资源的全方位整合共享。高校向企业输出基础教学师资、通识化实验教学方案、学生生源资源;企业向高校开放研发实验室、生产线检测平台、高端专项仪器设备,委派资深工程师担任企业导师。双方共建专属实训平台、共享师资团队、共创教学项目、共用考核标准,打破校内外资源壁垒,构建“校内基础实训+企业实景进阶”的双层育人平台,最大化盘活产教资源,激活实验课程育人新动能[10][11]。

4. 基于光伏实习基地的课程改革策略

本节从教学内容、实训案例、实训平台、师资团队、考核体系五大模块,详细介绍具体改革举措,构建完整、可落地的课程改革实施方案,是全文核心实践部分。

4.1. 对标产业需求,双向重构三阶课程教学内容

秉持“基础固本、产业赋能、分层育人、问题驱动”的内容重构原则,构建“基础验证-专项实测-创新攻坚”三阶递进式实验教学内容体系[12][13]。

一阶为基础验证模块,依托校内实验室开展教学,保留原子吸收光谱、气相色谱、循环伏安测试等经典基础实验,夯实学生仪器基本原理、基础操作、数据处理等底层能力,为产业实景实训筑牢理论与实操根基;二阶为产业专项模块,依托光伏实习基地开展教学,联合企业技术人员,深挖企业来料检测、制程质控、成品抽检真实问题,开发定制化实景实验项目,覆盖光伏玻璃、EVA胶膜、硅料、电池片、封装背板五大主流光伏材料;三阶为创新研发模块,以企业技术难题、研发课题为载体,鼓励学生组建创新小组,在双师指导下开展设计性实验,培养学生创新研发与工程问题解决能力。

4.2. 聚焦真实问题,植入光伏专项实景实训案例

依托合作光伏企业日常来料检验、制程质控等实际工作任务,选取两项典型检测项目作为核心实训内容,以产业真实问题驱动实训开展,摒弃传统理想化验证实验,实现教学内容与企业岗位需求精准对接[14]。

(1) 项目 1: 紫外-可见光谱法测定不同工业光伏玻璃透光率

光伏玻璃透光性能直接影响组件光电转换效率,本实验选用工业量产普通超白玻璃、增透镀膜玻璃、磨砂玻璃为试样,设定扫描波长范围 300~1100 nm,以透光率为核心检测指标,通过紫外-可见分光光度计采集透射光谱,对比分析三类玻璃的光学性能差异,同时结合行业标准完成样品合格性判定与材料选型分析(图 4)。该项目可训练学生固体样品检测、仪器参数调试、光谱图谱解析与工程研判能力。

(2) 项目 2: 傅里叶变换红外光谱法测定 EVA 胶膜醋酸乙烯酯含量

EVA 封装胶膜中醋酸乙烯酯(VA)含量决定组件粘结性能与耐老化水平,企业常采用红外光谱法开展快速无损抽检。实验利用 ATR 衰减全反射模式,基于内标法定量原理,依据特征吸收峰计算 VA 含量,并按照企业质控标准(合格区间 28%~33%)完成样品筛查(图 5)。学生可掌握高分子材料无损检测、红外官能团识别与工业快速质控方法,贴合企业质检岗位实操要求。

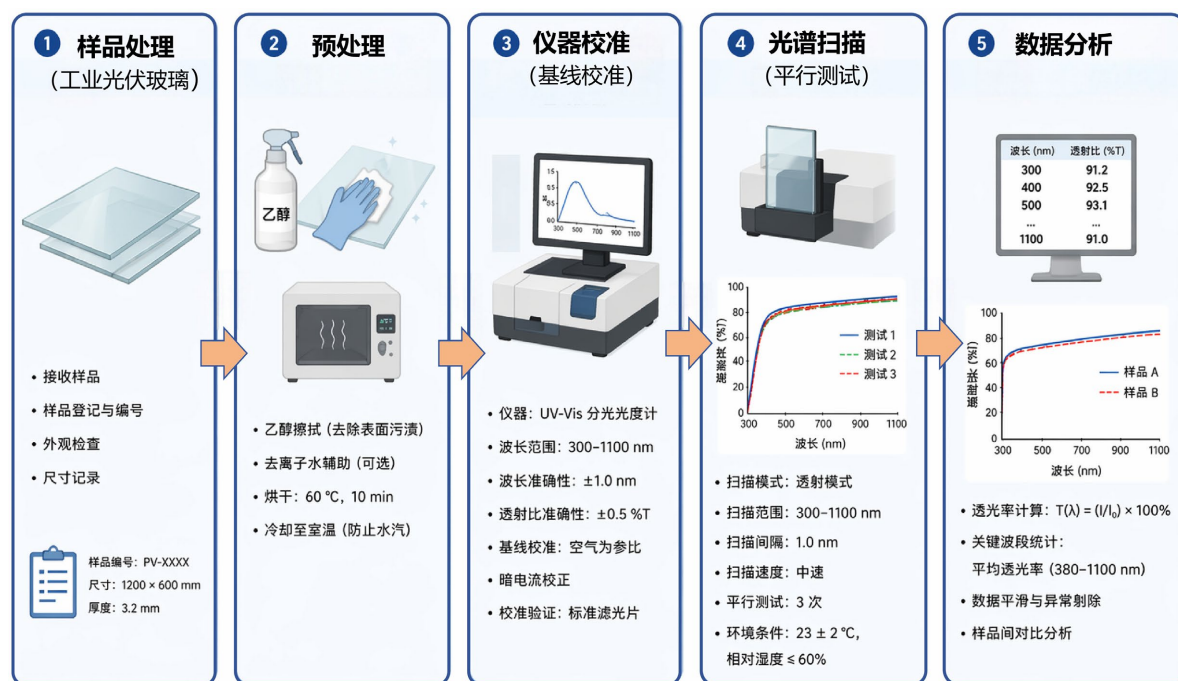


Figure 4. Reform diagram for on-site transmittance testing of photovoltaic glass

图 4. 光伏玻璃透光率实景检测改革图

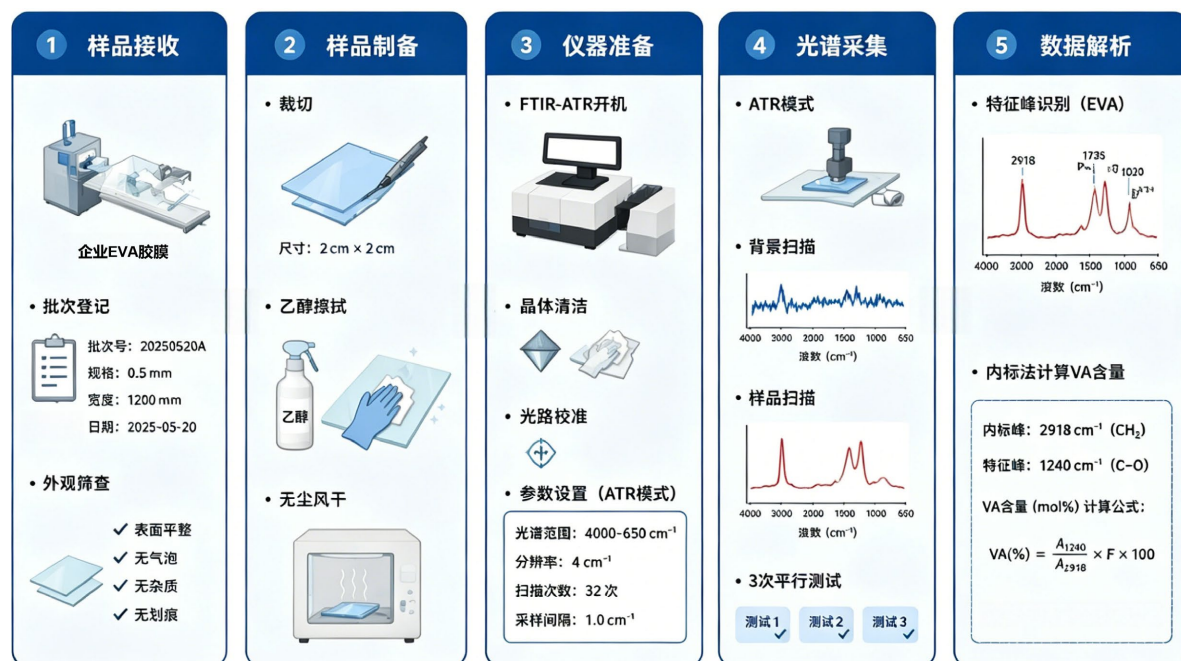


Figure 5. Determination of EVA encapsulant film content by FTIR method

图 5. FTIR 法测定 EVA 胶膜含量

4.3. 共育双师团队，双向赋能夯实师资底座

打破师资壁垒，构建“校内教师 + 企业工程师”双向互通、协同育人的双师型教学团队，整合校内标准化实验室与校外光伏实训基地产业实验室。一方面，推行校内教师企业驻岗制度，定期选派课程教

师入驻光伏合作企业，参与生产线检测、产品研发、质量管控等实际工作，深耕光伏检测技术，同步参与企业技术攻关项目，补齐产业实践短板，培育兼具教学能力与产业视野的双师型专任教师；另一方面，聘任企业资深技术总监、高级工程师等担任校外教师，全权负责实景实训项目实操指导、产业标准解读等教学工作，并优化授课逻辑与教学方法，适配课堂教学节奏。共同打磨教学大纲考核方案，实现师资资源双向赋能。

5. 挑战与反思

尽管本产教融合模式取得初步育人成效，但在落地实施过程中仍面临多重现实阻碍。校企层面，企业生产排期、安全生产制度制约实训开展，生产设备与教学使用存在冲突，样品耗材、厂区管理带来的额外成本仅依靠企业无偿投入难以长效运行；双师队伍存在磨合难题，校内教师产业实操经验不足，企业工程师缺乏教学训练，双方在教学目标、授课尺度上容易出现分歧。同时学生个体基础差异显著，部分学生面对非理想化工业样品、异常检测谱图时工程研判能力不足，实景实训的快节奏容易造成基础薄弱学生产生畏难情绪。针对上述问题，可通过组建校企联合工作组统筹实训排期，推行“企业现场实操+校内样品复刻测试”混合模式，探索基地专项经费分担损耗成本；落实定期集体备课，明确“校内教师主理理论、企业工程师负责实操”的分工；课前增设产业案例微课，设置梯度化实训任务，依托分组互助、针对性辅导缩小学生能力差距。

本改革模式对本地光伏产业资源依赖性较强，受行业周期、企业经营变动影响较大，完整落地需要企业深度投入人力、设备与物料，对于缺乏合作企业和专项经费的院校直接复制难度较高。对此可采用“虚实结合”思路弱化地域条件约束，在维系现有校企合作的同时，开发标准化教学案例包，依托企业实拍视频、原始检测数据集、虚拟仿真资源，让不具备实景实训条件的院校也可开展数据分析、报告撰写等训练。后续将持续拓展钙钛矿、储能材料相关实训案例，完善双师建设长效机制，共享教学资源库，并将工业安全、工程风险评估、岗位职业素养纳入考核体系，进一步完善从课堂学习到产业岗位的人才培养链条。

6. 结论与展望

以光伏企业真实检测问题为驱动，依托校外实习基地重构仪器分析实验实训体系，是新能源产业浪潮下应用型高校实践课程转型升级的必然趋势，也是破解传统实训内容空洞、产教脱节、育人低效的核心手段。本次改革以产业需求为导向，植入 UV-Vis 光伏玻璃透光检测、FTIR 胶膜组分测定两类落地性极强的实景项目，从教学内容、实训平台、师资团队等维度全方位革新，打通校内教学与产业实操的壁垒，构建产教耦合、项目驱动、实景育人的新型实验教学生态。该模式既有效提升学生专业实操能力、数据研判能力与岗位适配度，夯实学生就业核心竞争力，也助力高校优化新能源类专业人才培养体系，同时为光伏企业输送高质量储备人才，实现高校、学生、企业三方共赢。

基金项目

2026 年度本科工程项目(宜宾学院 - 和光同程先进材料实践教育基地)。

参考文献

- [1] 徐一凤, 吴泽颖, 商贵芹, 丁琳琳, 刘福燕, 张欢, 蒋夫花. 产教深度融合背景下仪器分析与实验课程的教学改革与实践[J]. 大学化学, 2025, 40(3): 285-290.
- [2] 李振华, 苏琼, 孙初锋, 刘娟丽, 向晓明, 哈斯其美格, 于京, 庞少峰, 魏小红, 卢永娟. 面向创新实践能力培养的仪器分析四轮融合教学创新[J]. 大学化学, 2023, 38(9): 25-31.

-
- [3] 陈红云, 李国然. 开放式 PBL 教学法的仪器分析实验教学改革[J]. 实验室科学, 2023, 26(5): 99-104.
- [4] 李思. 双碳背景下基于岗课赛证的教学改革探究——以“光伏电站运行与维护”课程为例[J]. 电工材料, 2024(2): 62-65.
- [5] 冯全友, 邹辉, 解令海. “双碳”目标背景下太阳能电池技术课程教学改革与探索[J]. 大学教育, 2024(19): 45-48, 58.
- [6] 刘晓宇, 周志鹏, 杨彤, 杨玉露, 李馨雨, 陈林夕, 张恒. 柔性太阳能电池的制备及应用研究进展[J]. 化工科技, 2023, 31(3): 73-78.
- [7] 马任永, 刘学超, 江合佩, 裴会莲. 大概念统摄下跨学科项目式教学设计与实践——以“探究硅太阳能电池的发电原理”为例[J]. 化学教学, 2025(1): 50-55, 69.
- [8] 杜文汉, 肖进, 陈磊, 等. 光伏电池原理与工艺课程产教融合教学改革实践探索[J]. 现代职业教育, 2021(31): 80-81.
- [9] 杨孝容, 吴亮, 陈稼轩, 等. 以应用型人才培养为核心的“仪器分析实验”示范课程建设与应用[J/OL]. 大学化学: 1-10. <https://link.cnki.net/urlid/11.1815.O6.20260526.0933.002>, 2026-10-08.
- [10] 张蕊, 刘淮, 贾文龙, 等. 新工科背景下轻化工程专业仪器分析课程教学改革路径[J]. 科教文汇, 2026(9): 119-123.
- [11] 徐科, 甄承, 班睿, 等. 项目式重构与实践探索: “三阶进阶·四维联动”模型下《仪器分析》课程教学创新[J]. 贵州教育, 2026, 47(4): 73-76.
- [12] 徐静静, 桑宏庆, 杨剑婷. 新时代背景下现代仪器分析实验课程教学改革的探索[J]. 食品工业, 2026, 47(3): 241-244.
- [13] 孙浩, 袁君, 马翔宇. 产教融合背景下的环境工程专业仪器分析课程教学改革探索[J]. 大学教育, 2026(4): 82-86.
- [14] 许攀, 付敦, 巩伟, 等. 新工科背景下高校现代仪器分析课程实验教学改革[J]. 广西开放大学学报, 2025, 36(6): 88-93.