

工业机器人系统集成教学创新与应用

——基于 OBE 理念的课程重构与实践创新

段颖妮* 邹存范

西安文理学院机器人工程系

DOI:10.12238/mef.v8i10.13892

[摘要] 本文针对机器人工程专业本科教学中存在的重理论轻实践、企业适配性不足等问题,提出以成果为导向(OBE)理念引导的教学改革框架。构建了“需求分析-课程目标-课程内容重构-教学实施方法创新-评价闭环”五位一体的课程改革模式。在教学设计中深度融合思政、知识、能力与素质培养目标,采用项目驱动教学模式,形成“基础能力-专项技能-综合应用”三阶能力培养链。依托校企共建的产教联合实践教学平台形成“技术攻关-成果转化-教学应用”闭环,实现教育链与产业链的深度耦合,显著提升学生的工程实践能力和岗位胜任力。教学实践表明,改革后学生团队项目完成率达92%,企业实习留用率达78%,课程考核优秀率提高35%。

[关键词] 工业机器人; 系统集成; OBE理念; 产教融合; 思政教育

中图分类号: G642 **文献标识码:** A

Innovation and Application of Industrial Robot System Integration Teaching

—Curriculum reconstruction and practical innovation based on OBE concept

Yingni Duan* Cunfan Zou

Department of Robotics Engineering of Xi'an University, Xi'an

[Abstract] This article proposes a teaching reform framework guided by the Outcome Based Education (OBE) concept to address the problems of emphasizing theory over practice and insufficient adaptability to enterprises in undergraduate teaching of robotics engineering. A five-in-one curriculum reform model of needs analysis-course objectives-course content reconstruction-teaching implementation method innovation-evaluation closed-loop is established. Deeply integrating ideological and political education, knowledge, abilities, and quality development goals in instructional design, adopting a project-driven teaching model to form a three-level ability development chain of basic abilities-specialized skills-comprehensive applications. Relying on the industry education joint practice teaching platform jointly built by schools and enterprises, a technology breakthrough-achievement transformation-teaching application closed loop is formed to achieve deep coupling between the education chain and the industry chain, significantly improving students' engineering practice ability and job competence. Teaching practice shows that after the reform, the completion rate of student team projects reached 92%, the retention rate of enterprise internships reached 78%, and the excellence rate of course assessments increased by 35%.

[Key words] industrial robots; system integration; OBE concept; production-education integration; ideological and political education

引言

随着制造业的转型升级和智能制造的快速发展,对具备机器人集成能力的人才需求与日俱增,面对机器人产业“人才缺口-技术迭代”的双重挑战,传统本科教育暴露三大矛盾:课程体

系滞后性,实践资源结构性失衡,创新能力培养机制缺失,标准化考核体系抑制学生工程创新与跨学科思维。根据猎聘研究院2025年3月发布的《机器人行业人才趋势报告》,全国机器人企业平均岗位招聘周期为42天,远高于制造业整体的27天;其中高

阶技术岗位平均招聘时长甚至超过70天^[1], 凸显教学改革紧迫性。机器人工程专业作为新兴的交叉学科专业, 面临着诸多问题和挑战。机器人工程专业是多个学科交叉, 对教师的专业知识和综合能力要求较高。如对学生的评价方式单一, 则不利于培养学生的综合素质。这些问题亟待解决, 以适应机器人产业对高素质人才的需求。

基于此, 本研究以OBE教育理念、PDCA循环理论为指导, 只有实现时间、空间、价值维度上的有机统一, 才能够对高校教学质量实施全员、全程、全方位的监控、评价与改进^[2,3]。构建“需求导向、能力为本”的新型教学模式, 在内容设计上要充分体现知识、能力和素质三者间的关系设置完善的实践教学体系, 并与企业合作, 开展实习、实训, 培养学生的实践能力和创新能力^[4]。因此以“提升学生工程实践能力与产业适配度”为核心, 基于OBE(Outcome-Based Education)理念构建机器人集成课程新范式, 重点解决通过成果导向重构教学内容与评价体系 and 构建校企协同育人机制以破解资源瓶颈。

1 OBE理念下的课程框架及思政规划

1.1 重构课程框架。基于OBE理念的教学采用反向设计机制^[5,6], 建立“毕业要求→课程目标→教学环节”的映射关系。首先根据毕业要求明确课程的学习目标, 学习目标覆盖了从基础层—能力层—素养层的全过程, 旨在培养学生掌握系统集成的核心知识和技能, 具备解决实际工程问题的能力。基于学习目标制定学习成果, 并设计具体的评估标准, 以衡量学生是否达到学习成果, 学习成果可分为知识掌握、技能应用和综合能力三个维度, 每一个维度都有它的评估标准。接下来围绕学习成果, 重构课程内容。教学内容实施中引入实际工程项目案例, 项目应覆盖课程的主要知识点, 使理论知识与实践相结合, 并鼓励学生进行创新设计, 让学生在项目中内化所学知识。最后采用多元化的评估方式定期收集学生反馈, 及时调整教学计划, 见图1。

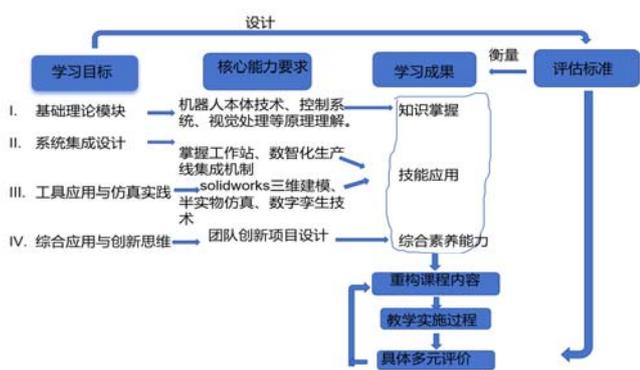


图1 OBE理念下的课程设计框架

成果导向的三级目标体系中, 基础层: 掌握机器人本体结构、运动控制、视觉处理等核心知识, 达标率要求大于等于90%; 能力层: 具备系统方案设计、故障诊断、跨平台编程等工程能力, 掌握工作站、数智化生产线集成的机制和方法, 通过项目完成度大于等于85%体现; 素养层: 培养创新思维、行业伦理、终身学习意识, 通过团队创新项目设计使企业满意度大于等于80%

来体现。

1.2 思政教育。将工业机器人系统集成课程与思政教育深度融合, 是培养德才兼备、担当民族复兴大任的卓越工程人才的重要途径。在教学中, 着重从以下方面结合:

科技报国与责任担当: 在讲解机器人核心技术(如核心零部件、控制系统)时, 融入我国在该领域的发展历程、取得的成就与面临的“卡脖子”挑战, 引导学生认识科技自立自强的战略意义, 激发学生投身科技强国建设的使命感和责任感。

工匠精神与职业素养: 实践环节(如方案设计与安装调试、故障排除)中, 强调精益求精、一丝不苟、追求卓越的工匠精神, 培养学生严谨细致、团队协作、勇于创新的职业素养和敬业态度。

2 OBE理念下的教学模式重构

为契合OBE理念, 机器人集成课程的教学内容一方面, 要紧跟行业前沿, 更新理论知识体系^[7,8]。及时引入最新的机器人技术, 如人工智能在机器人中的应用、先进的控制算法等, 让学生了解行业发展趋势, 掌握前沿知识。摒弃过时、冗余的内容, 确保教学内容的时效性与实用性。另一方面, 加强实践教学环节, 构建层次清晰的实践项目体系, 凸显工业机器人系统集成中PLC控制器的核心控制作用^[9]。还可根据企业实际需求, 开展校企合作项目, 让学生在真实的工作场景中实践, 提高解决实际问题的能力。

2.1 模块化课程支撑技术体系。综合多维度教学要素与行业需求, 《工业机器人系统集成》课程内容重构详细方案设计如表1。工业机器人系统集成在技术深度与学科广度上的交叉特性, 其本质是通过多领域技术整合实现生产系统的高效、智能与柔性化。技术进阶模块中讲授智能制造产线集成, 前沿技术拓展中增设协作机器人安全控制(ISO/TS 15066标准)、机器视觉引导(Halcon图像处理、YOLOv8目标检测)等新兴技术单元。跨学科融合模块中引入深度学习框架(TensorFlow/PyTorch)训练机器人分拣模型, 实现缺陷检测与自适应抓取功能。

表1 课程内容重构

技术领域	关键内容	应用场景
基础理论模块	机器人本体: 轻量化结构设计、运动学建模、关节伺服驱动设计、传感器数据处理; 系统控制技术	solidworks 机械设计、机械臂关节驱动与控制、轨迹规划与示教; PLC 技术、工业现场总线通信技术、力觉/视觉反馈控制
技术进阶模块	系统协同集成机制和方法; PLC 编程、虚拟调试工具、数字孪生技术; 机器视觉算法、协作机器人安全控制; 柔性生产系统设计	高精度装配与搬运任务、单个工作站集成、生产线多工作站集成、基于视觉伺服的自动化生产线集成。结合特定行业工艺需求(如汽车焊接、电子装配), 定制化集成加工设备、工装夹具及物流系统, 构建可快速切换的柔性产线
跨学科融合	智能化技术融合: 人工智能与机器学习; 物联网、工业以太网与数据互联; 编程与仿真技术	应用深度学习算法优化机器人路径规划, 通过视觉识别技术提升分拣、检测等场景的作业精度; 采用工业互联网(IoT)、工业以太网实现设备间的通信, 结合大数据分析优化生产流程与设备维护策略; 基于 ROS(机器人操作系统)等平台开发控制程序, 利用离线编程工具模拟复杂工况下的机器人动作逻辑

2.2 能力导向的单元教学设计。系统设计能力的单元部分采用项目驱动式学习: 将“汽车轮毂装配线集成”分解为需求分析(产能计算)、硬件选型(机器人负载匹配)、软件配置(PLC与机器人I/O映射)等子任务, 要求学生输出完整技术方案。

调试与优化能力单元部分分虚拟仿真训练: 通过RobotStudio

平台验证打磨抛光单元的末端执行器可达性, 优化工具姿态参数, 模拟仓库取料、打磨的轨迹规划, 实时监测TCP精度误差并修正程序代码。通过离散事件仿真分析生产节拍瓶颈, 调整工作站布局减少物料转运时间, 记录节拍时间、能耗数据并优化程序逻辑。在真实设备实操方面完成轮毂装配线集成产线的调试。故障诊断能力单元方面建设案例库: 收集企业典型故障案例(如机器人零点丢失、气路泄漏), 设计故障树分析(FTA)训练任务。构建动态诊断系统: 集成AR远程协作系统, 扫描设备二维码即可调取3D爆炸图与维修手册。

2.3动态更新的内容迭代机制。建立企业级案例库: 引入特斯拉超级工厂四大制造环节——冲压生产线、车身中心、烤漆中心以及组装中心中的机器人冲压线升级项目, 解析柔性化改造中的通讯协议重构与安全防护设计。联合固高(派动)智能科技有限公司企业, 共建“AGV+机械臂”智能仓储系统调试案例资源包。技术同步机制方面, 每学期更新行业技术白皮书(如国际机器人联合会(IFR)全球机器人报告), 纳入课程技术动态专题模块。建立校企技术共享平台, 实时获取协作机器人力矩控制、数字孪生调试等新技术文档。赛教融合方面, 以学科竞赛为驱动, 反哺教学, 将全国职业技能大赛“汽车轮毂打磨”等赛项转化为教学项目, 重构工艺参数优化, 提升学生对先进制造工艺的适应性。

3 教学改革实施方式及案例

以“智能码垛机器人开发”为例, 智能码垛机器人开发流程可分为六个核心阶段, 每个阶段均需融合算法开发、硬件集成与软件协调。

3.1需求分析与系统规划。明确码垛场景需求, 包括货物规格(尺寸公差±0.5mm)、堆叠模式(行列式/金字塔式)、节拍要求(如1200件/小时)等关键参数; 制定安全标准: 设置碰撞检测阈值(如30N瞬时冲击力)、急停响应时间(≤200ms)等技术指标。规划系统架构, 确定PLC、机器视觉、机械臂等子系统的通信协议(如EtherCAT/Modbus TCP)和同步机制。

3.2虚拟仿真调试。使用RobotStudio 对工作站进行三维建模(见图2), 导入IRB系列机器人模型并进行轴参数校准, 构建输送带动态模型, 设定物料本地原点, 通过捕捉中心点确保坐标对齐精度±0.5mm, 创建Smart 组件实现夹具动作仿真, 配置LinearMover组件模拟物料输送过程。对建立好的模型进行运动学验证(重复定位精度≤±0.1mm)和节拍优化, 进行异常工况模拟, 测试90%负载突变、通讯中断等极端情况。

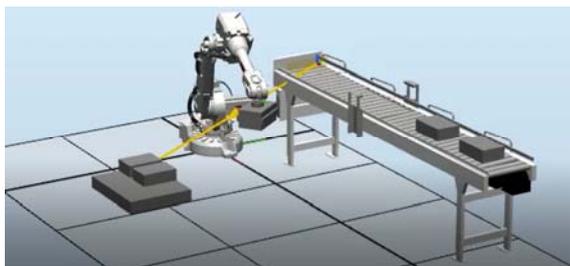


图2 RobotStudio对工作站三维建模

3.3硬件平台搭建。核心组件选型: 选择机械臂, 机械臂负载需覆盖最大抓取重量, 设置150%安全系数。根据物料特性设计能快速切换的末端夹具: 真空吸盘(真空度≥-90kPa)、电磁夹具(吸力≥150N/cm²), 夹具内测集成压力传感器阵列, 曲面贴合精度达±0.5mm, 破损率<0.02%。

气动系统(气源处理、气动控制、执行元件、辅助元件)、工具端(吸盘和吸盘座)组成的。两个气缸由PLC信号控制, 吸盘夹具由机器人信号控制吸盘夹具由机器人信号控制。气缸采用SMC微型气缸, 在气缸两端分别连接两个节流阀, 可通过调节节流阀流量大小, 可以对气缸伸出和缩回速度进行控制, 直至气缸速度达到实验预期, 满足推料时气缸对上层物料顶料设计。

感知器和执行器: 工业相机, 安全防护设置光栅(响应时间≤10ms)。光纤位置传感器, 光电漫反射传感器, 变频器, 三相异步电机。

根据控制流程, 一系列工序对应硬件如图3:

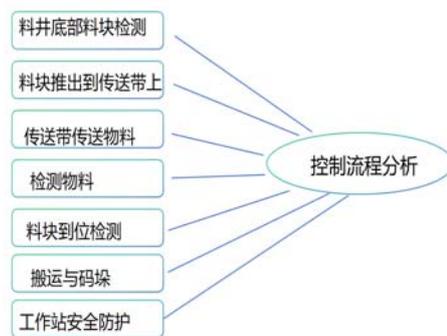


图3-1 工序图



图3-2 传感器、执行器、控制器

3.4软件系统开发。实时控制系统中基于EtherCAT总线(控制周期≤2ms), 整合PLC与ROS框架, 硬件拓扑结构: 西门子PLC作为EtherCAT主站, 通过EtherCAT转Profinet网关破解异构网络融合, 通过EtherCAT总线连接伺服驱动器/IO模块; ABB机器人控制器作为EtherCAT从站, 执行任务; 监控端: 工业PC运行ROS2节点, 通过ros2_control框架实现硬件抽象层, ros2_control与PLC进行通信, 获取状态信息或发送控制指令。PLC、ABB机器人控制器与工业PC通过EtherCAT菊花链连接, 同步时钟精度需<1 μs。

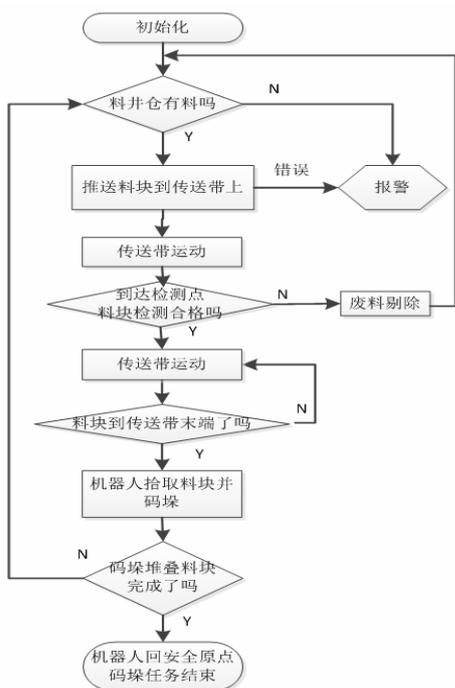


图4 PLC控制自动化运行流程图

3.5系统集成测试。首先标定流程,经过手眼标定(Ax=XB算法)建立视觉系统与机械臂坐标系之间空间映射关系,实现两个坐标系对齐。当编码器分辨率≥2048PPR时,对输送带动态补偿。系统72小时不间断连续运行验证系统稳定性。

4 改革成效与挑战

4.1多元化评价模型。教学评价方式的改革是实现OBE理念的关键环节。要构建多元化的评价体系,将学生自评、互评与教师评价相结合。评价内容应全面覆盖知识掌握、能力提升和素质养成三个方面。能力提升上,重点评价学生的实践操作能力、项目完成质量、团队协作表现等;素质养成方面,加强思政教育,关注学生的创新意识、职业素养、终身学习能力等。注重过程性评价,将评价贯穿于整个教学过程。评价结果要充分反馈给学生,让学生明确自己的学习成效和改进方向,同时教师也应根据评价结果调整教学策略和方法。

表2 多元化评价模型

维度	评估指标	权重	数据来源
知识掌握	理论考核(AT评分系统)	30%	在线测试+期末卷面
实践能力	项目完成度+代码规范性	40%	实验日志+答辩评审
创新素养	方案创新性+专利/论文产出	15%	项目文档+第三方认证
职业能力	团队协作+安全规范	15%	360°互评+企业导师反馈

4.2改革成效。经过几年的改革,学生年均就业率提升,其中85%毕业生进入对口行业就业。学生创新能力显著增强,2021年至今团队教师指导学生在机器人ROBCON比赛、西门子杯智能制造挑战赛、智能车竞赛、电子设计竞赛、光电设计大赛等多个A

类赛事中,获得二十余项国家级、省级奖项,指导学生获批多项国家级、省级、校级大创项目,指导学生申请专利授权量增多。学生考研率逐年上升,2021届机器人工程专业毕业生22.8%的学生考上控制类研究方向的研究生的研究生继续深造。虽然有比较显著的成效,但也存在挑战,高端设备维护成本高,中小企业项目案例获取难度较大;自主学习能力差异导致项目进度分化,需构建动态分组机制。今后改进的方向:引入AI教学助手实现个性化学习路径推荐;认可企业实训与竞赛成果;联合行业协会制定机器人集成能力标准,推动产教双向认证。

5 结论与展望

本研究通过OBE理念重构机器人集成课程,实现了从“知识传递”到“能力养成”的范式转型。对标IEEE机器人教育标准,构建国际化人才培养体系。该模式为智能制造领域工程教育改革提供了可复制的实践路径,助力破解“产业升级-人才供给”的结构性矛盾。

[基金项目]

2024年教育部产学研合作协同育人项目(编号:241104701114351);2024年教育部供需对接就业育人项目(编号:2024013049930)。

[参考文献]

[1]机器人行业人才趋势报告[S].2025.
 [2]Spady W G. Outcome-Based Education: Critical Issues and Answers[M].1994.
 [3]韩冬,曹占鸿,潘建衡,等.基于OBE理念的地方高校教学质量监控体系构建研究[J].教育教学论坛,2020(44):384-385.
 [4]中国工程教育专业认证协会.工程教育认证标准[S].2022.
 [5]张辉,李积武.基于OBE的机器人综合实训教学模式改革与成效[J].实验室研究与探索,2021,40(03):231-234.
 [6]施晓秋.遵循专业认证OBE理念的课程教学设计与实施[J].高等工程教育研究,2018(05):154-160.
 [7]邵欣,姚雯,王峰,等.OBE理念下的“工业机器人技术”实训项目探索[J].实验技术与管理,2018,35(03):177-180.
 [8]陈文科,朱志伟.基于OBE的“机器人系统集成”实训项目开发[J].装备制造技术,2023(06):141-143.
 [9]梁进.基于PLC的模块化自动生产线设计分析[J].电子技术与软件工程,2020(20):109-112.

*通讯作者:

段颖妮(1976--),女,汉族,陕西西安人,副教授,硕士研究生,研究方向:智能感知工程、机器人技术。