Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 1068-1077
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112475

Hans汉斯

基于高保真虚拟仿真的《PLC控制技术》课程教学改革与实践

雍江枫，张先卓，李君强，何彦德

广东理工学院智能制造学院，广东 肇庆

收稿日期：2026年10月7日；录用日期：2026年11月6日；发布日期：2026年11月17日

摘　要

《PLC控制技术》是机电一体化和自动化类专业的一门理论与实践并重、以工程应用能力培养为目标的核心课程。针对传统教学中理论教学抽象、实训资源不足、学生动手机会有限等问题，文章以高保真虚拟仿真技术理念为指导，构建了基于Factory IO高保真虚拟仿真场景与西门子博途(TIA Portal)工程软件相结合的教学模式，阐述了“虚拟仿真场景－工程组态软件－综合设计任务”三位一体的教学设计思路，并结合视觉分拣、两线抢位合并、单回路液位PID、重量分拣、堆垛机等典型工程案例，探讨了高保真虚拟仿真技术在PLC课堂教学、实践训练和工程能力培养中的应用路径。教学实践与课堂观察初步表明，该模式有助于降低设备门槛、为学生提供更多自主调试机会并支持工程思维培养，其教学成效仍需通过后续对照实验与量化评价进一步验证。

关键词

《PLC控制技术》，高保真虚拟仿真，Factory IO，教学改革

Teaching Reform and Practice of the Course “PLC Control Technology” Based on High-Fidelity Virtual Simulation

Jiangfeng Yong, Xianzhuo Zhang, Junqiang Li, Yande He

School of Intelligent Manufacturing, Guangdong Technology College, Zhaoqing Guangdong

Received: October 7, 2026; accepted: November 6, 2026; published: November 17, 2026

Abstract

“PLC Control Technology” is a core course placing equal emphasis on theory and practice and aiming

文章引用: 雍江枫, 张先卓, 李君强, 何彦德. 基于高保真虚拟仿真的《PLC 控制技术》课程教学改革与实践[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 1068-1077. DOI: 10.12677/ae.2026.16112475

at engineering application ability in mechatronics and automation majors. To address the problems of abstract theoretical teaching, insufficient practical training resources and limited hands-on opportunities for students in traditional teaching, guided by the concept of high-fidelity virtual simulation, this paper constructs a teaching mode combining high-fidelity virtual simulation scenes built with Factory IO with the Siemens TIA Portal engineering software, elaborates the three-in-one teaching design thought of "virtual simulation scene - engineering configuration software - comprehensive design task", and, combined with typical engineering cases such as visual sorting, two-line priority merge control, single-loop liquid level PID, weight sorting and stacker crane, discusses the application paths of high-fidelity virtual simulation technology in PLC classroom teaching, practical training and engineering ability cultivation. Preliminary teaching practice and classroom observation suggest that this model helps lower the threshold for equipment access, provides students with more opportunities for independent troubleshooting, and supports the development of engineering thinking; however, its pedagogical effectiveness requires further validation through subsequent controlled experiments and quantitative evaluation.

Keywords

"PLC Control Technology", High-Fidelity Virtual Simulation, Factory IO, 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

随着"中国制造 2025"与智能制造战略的深入实施，工业自动化与数字化技术正加速融合。PLC (Programmable Automation Controller，可编程逻辑控制器)作为工业控制的核心枢纽，其应用能力已成为机电与自动化类专业学生必备的核心工程技能[1]。《PLC 控制技术》课程作为相关专业的核心课程，承担着培养学生在工业现场环境下进行控制程序设计、调试与集成应用能力的重要任务。

然而，传统 PLC 课程教学普遍面临以下困境：其一，理论教学多以指令讲解与梯形图程序演示为主，内容抽象枯燥，学生难以建立"程序－设备－动作"之间的直观对应关系；其二，实践环节依赖真实 PLC 实训台与产线设备，设备投入成本高、台套数有限、维护教学损耗大，难以保证每一名学生拥有充分的动手机会；其三，真实工业场景进入课堂受限，学生缺乏对工艺对象、传感器、执行机构等系统级工程对象的整体认知。这些问题制约了学生工程实践能力与创新能力的培养。

近年来，虚拟仿真技术在高职与应用型本科 PLC 课程教学中的应用日益广泛。在国内，众多院校围绕基于 Factory IO 与西门子博途(TIA Portal)的虚拟仿真教学开展了探索：文献[2]-[4]分别从虚拟仿真教学改革、可编程控制器课程教学、自动化生产线课程应用等角度，验证了虚拟仿真在缓解实训设备不足、提升学生工程实践能力方面的作用；王苗苗等[5]将数字孪生技术引入 PLC 课程教学，刘永刚等[6]在智能制造生产线技术课程中实践虚拟仿真教学，均取得了良好成效。在宏观教学理念与体系建设层面，陈东毅等[7]基于"大工程观"提出了虚拟仿真类课程实践教学的综合改革路径，强调实践创新教育新构念、教学新内容与培养新模式的一体化设计；王子辉等[8]面向智能制造产业对工程实践能力的用人需求，构建了符合工程教育专业认证要求的多层递进式虚拟仿真实践教学体系，将能力培养融入课堂教学、课内实验、课程设计和竞赛培训等环节，形成了从课程支撑、能力整合到量化评估的闭环运行机制。在国外，面向工程教育的仿真研究也日益受到重视：Negahban [9]系统综述了工程教育中从实物实验向数字沉浸式仿真学习环境转变的研究进展，指出仿真能够以低成本、无风险的方式替代或增强真实的探索性实践，

为学习者提供知识技能习得的实验平台，同时也揭示了仿真教学与学习理论整合不足、有效性评估有限等问题。总体来看，现有研究或侧重于单一仿真场景、单环节应用，或着眼于宏观教学理念与体系建设，面向“仿真场景–工程组态软件–综合设计任务”三位一体的系统性课程重构，以及从资源建设、教学组织到考核评价一体化设计的研究仍相对不足。将高保真虚拟仿真场景引入《PLC 控制技术》课程，能够在无真实工业设备或设备不足的条件下，为学生提供近似真实、可反复调试的控制系统训练环境，为破解上述教学困境提供了新的思路。

需要说明的是，虚拟仿真教学的价值，在于通过低成本、无风险的数字仿真环境替代或增强真实的实验探索，使学习者在近似真实的场景中获得知识习得与技能训练的机会[10]。严格意义上的数字孪生则强调物理实体与虚拟实体之间的实时双向映射与数据驱动[11]，两者在数据交互深度与技术目标上存在本质差异。本文所构建的以 Factory IO 虚拟仿真软件为核心的教学环境，侧重于通过高保真虚拟场景实现“以虚代实”的教学训练，尚不追求物理–虚拟实体的实时双向数据映射，故本文统一以“高保真虚拟仿真”界定本教学模式的核心技术特征。

据此，本文的主要贡献在于：围绕《PLC 控制技术》课程的工程能力培养目标，将虚拟工业场景、PLC 工程编程与综合设计任务相衔接，并结合模块化教学内容与课程考核，探索基于高保真虚拟仿真的课程实践应用路径。与已有围绕 Factory IO 虚拟仿真开展的单场景、单环节教学研究相比，本文并非以引入新的仿真工具或场景本身为创新点，而是侧重形成覆盖“资源建设–教学实施–考核评价”的一体化应用路径，并验证其在应用型本科 PLC 课程中的可行性与教学价值。

本文以《PLC 控制技术》课程为例，探讨基于高保真虚拟仿真的 PLC 课程教学模式改革，构建“虚拟仿真场景 + 工程组态软件 + 综合设计任务”三位一体的教学体系，并通过多个典型工程案例的应用实践，总结教学改革的实施路径与成效。相较于现有研究，本教学模式的主要特点在于：一是构建了覆盖资源建设、教学组织与考核评价的一体化教学体系，虚拟仿真资源库配置完整；二是设计了“过程性 + 终结性”相结合的考核评价方式，实现理论考查与实践考核并重；三是立足应用型本科院校设备投入有限、学生工程实践机会不足的实际，以可批量部署的高保真虚拟仿真场景实现人手一套的实训条件，具有较好的院校适用性与可推广性。

2. 基于高保真虚拟仿真的 PLC 课程教学改革总体设计

2.1. 高保真虚拟仿真在 PLC 教学中的适切性

高保真虚拟仿真技术的核心优势，在于通过三维建模构建与真实工业现场高度一致的虚拟对象，使学生在无实体设备的条件下直观观察并控制设备的运行状态。在 PLC 教学中，这一特性与“用虚拟场景仿真真实产线”的需求高度契合。通过构建与真实工业现场相一致的虚拟仿真场景，学生可以在虚拟环境中完成从硬件选型、线路规划、程序编写到调试联动的完整训练，实现与控制程序的高效交互。

Factory IO 是一款面向工业自动化教学的高保真三维虚拟仿真软件，内置传送带、传感器、执行机构、控制面板等多类沉浸式工业部件，并支持与西门子博途(TIA Portal)、CODESYS 等主流 PLC 工程软件进行在线联机，模拟真实 PLC 的输入输出控制。将 PLC 程序与实际虚拟场景联动，学生程序的每一段逻辑都能通过场景中传感器、执行器的实时动作得到即时的可视化反馈，这一“所见即所得”的特性，能够有效弥补传统教学“程序与设备脱节”的不足。

2.2. 教学改革的基本思路

本课程教学改革以“虚实结合、任务驱动、工程导向”为基本原则，围绕 PLC 控制系统核心能力培养目标，构建三位一体的教学模式。图 1 给出了该模式的结构示意图。

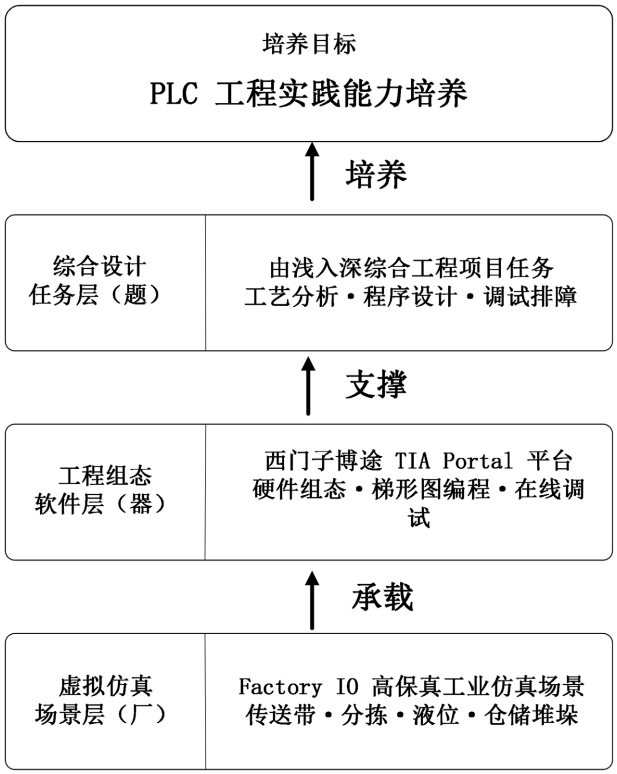


Figure 1. Block diagram of PLC course teaching mode based on high-fidelity virtual simulation
图 1. 基于高保真虚拟仿真的 PLC 课程教学模式框图

1) 虚拟仿真场景层。以 Factory IO 构建的高保真工业仿真场景为载体，覆盖物料输送、分拣、液位控制、仓储堆垛等多类典型工业工况，作为学生开展控制程序设计与调试的对象和平台。

2) 工程组态软件层。以西门子博途为编程与组态平台，学生完成 PLC 的硬件组态、程序编写、模拟运行与在线调试，实现 PLC 程序与虚拟场景的实时关联运行。

3) 综合设计任务层。面向工程实际设置由浅入深、层层递进的综合设计任务，将指令运用、工艺分析、程序设计、调试排障等能力目标融入具体工程项目，驱动学生在“做中学、学中做”。

三者相互贯通，虚拟场景提供“厂”、组态软件提供“器”、设计任务提供“题”，共同构成一个能支撑 PLC 课程系统化教学与实训的完整闭环。

2.3. 教学模式与传统教学的对比(表 1)

Table 1. Comparison of the traditional teaching mode with the mode based on high-fidelity virtual simulation
表 1. 传统教学模式与基于高保真虚拟仿真的教学模式对比

对比维度	传统教学模式	基于高保真虚拟仿真的教学模式
教学环境	真实实训台/单纯理论讲授	三维虚拟仿真场景 + 工程软件联机
资源投入	设备购置、维护成本高，台套有限	软件仿真，成本低、可批量部署
学生动手	受设备台套限制，机会不均	每人可独立反复调试，机会充分
工程认知	阶段割裂，程序与设备脱节	虚实联动，程序－设备－动作直观对应
学习反馈	反馈滞后，学生被动	即时的可视化动感反馈，激发主动性
能力培养	偏指令记忆与单点练习	覆盖工艺分析－设计－调试的系统能力

3. 教学内容的数字化重构与典型案例设计

3.1. 教学内容体系的模块化重构

结合虚拟仿真教学特点，将《PLC 控制技术》课程内容重构为基础指令、功能指令、综合应用三大模块，并逐模块配置对应的虚拟仿真实验，形成“理论学习–仿真实验–综合设计”的学习路径(表 2)：

Table 2. Modular reconstruction of course content and corresponding simulation tasks
表 2. 课程内容模块化重构与配套仿真任务

教学模块	主要内容	配套仿真任务
模块一：基础逻辑控制	PLC 基础知识、位逻辑指令、定时器/计数器	传送带启停、物料到位检测、计数控制
模块二：功能指令应用	顺序控制、数据运算、模拟量处理	液位 PID、称重信号处理
模块三：综合工程应用	对象工艺分析、多工况综合设计、调试排障	视觉分拣、两线抢位合并、堆垛机

3.2. 教学内容的典型案例设计

为使理论知识与工程应用深度融合，本课程围绕真实工业对象设计了系列由易到难、能力递进的典型案例。以下选取代表性案例作介绍。

案例一 视觉分拣控制系统(综合逻辑控制 • 入门型)

本案例以 Factory IO 视觉分拣工位为对象，依托视觉传感器识别物料颜色(绿色/蓝色)，学生需完成物料输送、颜色判别、分流导轨动作的综合控制，如图 2 所示。

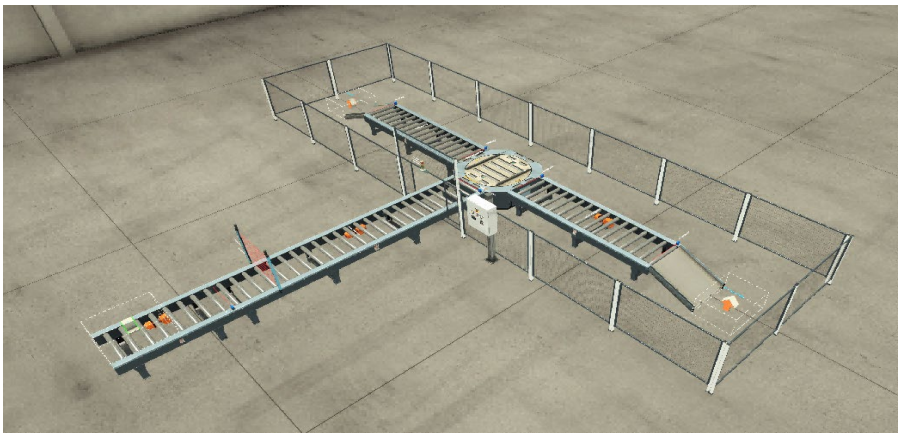


Figure 2. Scene of the visual sorting control system
图 2. 视觉分拣控制系统场景

该案例贴近快递物流分拣等典型工业场景，覆盖位置传感器、视觉传感器、传送带驱动器、分流机构等对象的编程控制，是学生建立“传感器-PLC-执行器”系统概念、掌握综合逻辑控制能力的代表性入门任务。教学中由浅入深地安排单物料分拣、多物料连续分拣、条件分流等递进任务，帮助学生在反复调试中理解程序扫描与动作的时序关系。

案例二 两线抢位合并控制系统(优先级与状态机 • 进阶型)

本案例模拟自动化产线中两条并列传送带向同一出口汇流的物流场景，核心任务是通过程序控制实现两条产线上物料的优先级仲裁与有序合并，场景如图 3 所示。场景包含两条并列滚筒传送带、两个 Transfer 转送机构、出口传送带及多个位置传感器与接近开关。

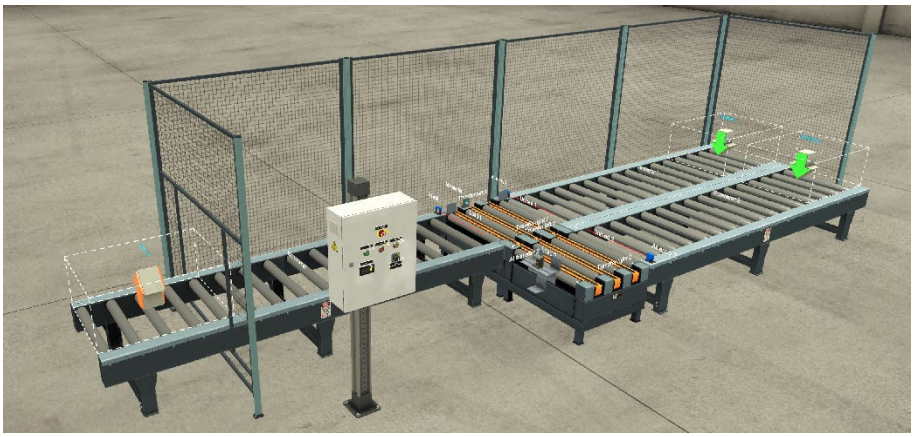


Figure 3. Scene of the two-line priority merge control system
图 3. 两线抢位合并控制系统场景

其核心难点在于优先级仲裁算法：当两路传感器检测到物料出现先后时，遵循“先到先响应”原则，一次仅放行一路物料进入出口产线，并在该路物料通过后自动切换响应另一路；当两路物料同时到达时，默认优先响应左侧产线。该任务涵盖物料到位判定(上升沿)、物料通过判定(下降沿)、转移机构多步动作顺序控制与手自动模式切换，是训练学生状态控制思维与逻辑设计能力的重要进阶案例。

案例三 单回路液位 PID 控制系统(过程控制 • 提高型)

本案例以 Factory IO 单回路液位控制场景为对象，系统由透明液位工艺罐、进料阀(Fill Valve)、出料阀(Discharge Valve)、直读式液位标尺、液位探测传感器及电气控制箱等部件构成，液位反馈信号实时传输至 PID 控制器，学生需编制程序通过 PID 闭环控制实现液罐液位稳定在设定值，如图 4 所示。案例引入西门子博途 PID_Compact 工艺对象，实践比例–积分–微分(PID)控制、参数整定(采用衰减曲线法等工程整定方法，指导学生通过观察响应曲线调整比例、积分参数)、设定值与测量值处理及阶跃扰动下的鲁棒性测试。

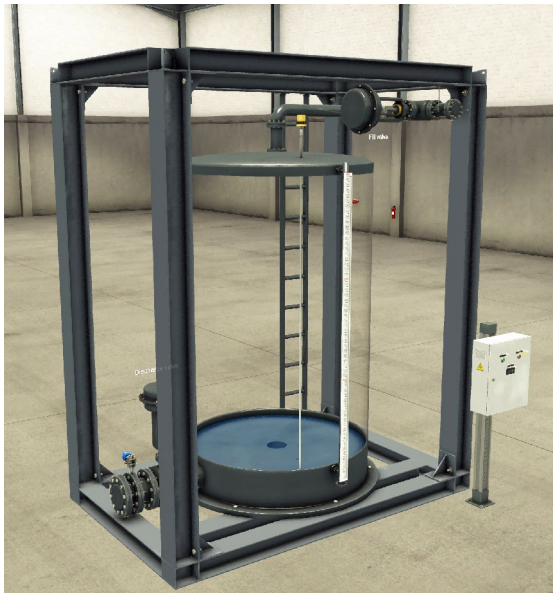


Figure 4. Single-loop liquid level PID control model
图 4. 单回路液位 PID 控制模型

在工程参数整定环节，学生通过观察系统在阶跃输入下的响应曲线，分析和调整比例、积分参数，以获得超调量合理、响应平稳的工程可接受调节品质，并加深对过程控制整定方法的理解，并检验系统在设定值阶跃扰动下快速、准确、稳定的调节能力。该案例将《PLC 控制技术》课程与《自动控制原理》等课程知识深度贯通，是学生理解并实践工业过程控制的核心提高型任务。

案例四 重量分拣与堆垛机系统(多对象协同・综合型)

本案例面向仓储物流自动化的综合应用，将重量分拣工位与堆垛机工位结合设计。重量分拣场景通过输送线秤采集物料重量，按重量标准将物料箱分流，如图 5 所示；堆垛机场景则完成物料箱的自动入库、堆叠码垛与出库取货，如图 6 所示。两任务均需对输送线、称重装置、升降机构、巷道堆垛机等多类对象进行协同控制，综合考验学生的对象工艺分析与多设备联动程序设计能力。

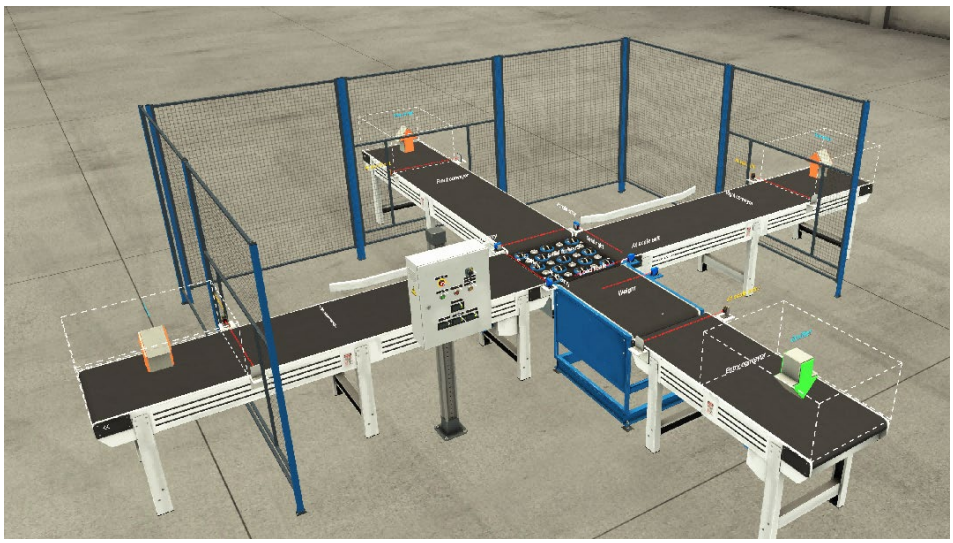


Figure 5. Scene of the weight sorting control system
图 5. 重量分拣控制系统场景

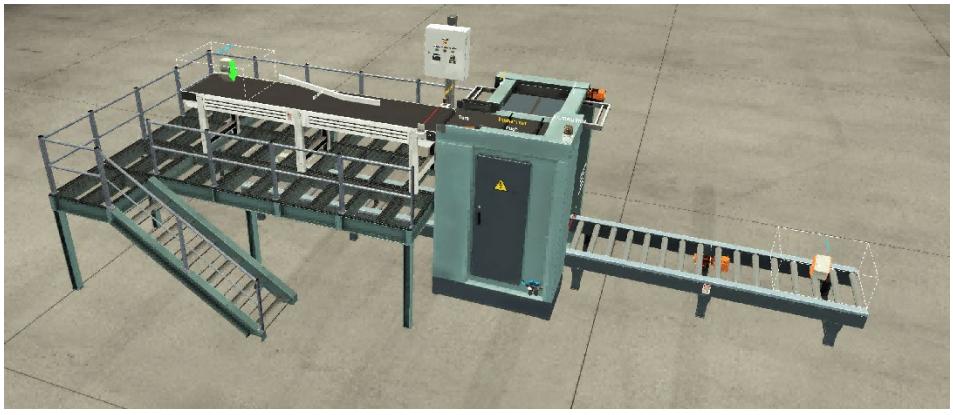


Figure 6. Scene of the stacker crane system
图 6. 堆垛机系统场景

五个案例(含视觉分拣、两线抢位合并、单回路液位 PID、重量分拣、堆垛机)在设计上遵循“由易到难、由单一到综合、由逻辑到过程”的梯度递进原则，覆盖了 PLC 应用中的位逻辑、顺序控制、数据处理、过程控制与系统集成等多层次能力目标，为不同基础的学生提供了分层可选的学习路径。

3.3. 教学内容的虚拟仿真资源库

依托上述设计案例，逐步建成《PLC 控制技术》课程虚拟仿真资源库，内容包括：Factory IO 三维仿真场景(含视觉分拣、两线抢位合并、单回路液位 PID、重量分拣、堆垛机等工位)、配套的西门子博途工程程序、操作说明文档与演示视频，以及用于过程控制的 PID 参数整定参考资料。资源库支持学生课内学习与课后自主拓展，实现教学资源的开放共享与可持续更新。

4. 教学组织模式与考核评价

4.1. “仿真－编程－调试”三位一体的教学组织

在教学组织实施上，将课堂教学、仿真实验与综合设计有机结合，形成“仿真－编程－调试”三位一体的组织模式：

1) 仿真认知阶段：教师借助虚拟仿真场景直观呈现工业对象与工艺过程，帮助学生建立系统化工程认知，明确控制任务与技术指标，为程序设计奠定对象基础。

2) 编程实现阶段：学生在西门子博途平台完成硬件组态与梯形图学习(选用西门子 S7 系列 PLC)，将控制思路转化为具体程序，自主完成程序编写与组态配置。

3) 联调验证阶段：通过软件实现 PLC 程序与虚拟仿真场景的实时联机，观察程序的逻辑控制效果，分析并解决调试中出现的各种问题，在“试错－修正－再验证”的循环中深化理解。

三个环节环环相扣、虚实贯通，实现从对象认知、程序实现到工程验证的完整能力训练链条。

4.2. 过程性与综合性相结合的考核评价

为客观反映学生工程实践能力，课程考核采用过程性评价与综合性评价相结合的方式：

1) 过程性评价(占比 30%)：涵盖课堂参与、理论作业与随堂测验、仿真实验完成度、程序设计规范性、调试排障能力等，重点考察学生在各教学环节中表现出的学习过程与工程素养。

2) 综合性评价(占比 70%)：由期末理论考试与综合设计项目两部分构成。其中，期末理论考试(占比 50%)围绕基础指令、功能指令、梯形图程序设计、程序阅读与改错及工艺分析等理论知识进行系统考核，检验学生对 PLC 控制理论、编程方法与典型工艺逻辑的掌握程度；综合设计项目(占比 20%)以综合设计任务为载体，要求学生独立或分组完成一个完整 PLC 工程项目的方案设计、程序实现与仿真调试，并提交设计报告与成果演示，综合考察学生运用所学理论与方法解决实际工程问题的能力。

5. 教学实践与实施要点

5.1. 实施要点

推进虚拟仿真教学改革应注意以下要点：

1) 坚持虚实结合、真实设备辅助。虚拟仿真教学不能替代所有实践，应将虚拟仿真训练与周期性真实设备实训相结合，避免“重虚轻实”。

2) 注重软件版本与场景适配。Factory IO 与西门子博途存在版本兼容要求，需统一软件环境，并对场景进行必要的本地化修改，以保证仿真联机稳定可靠。

3) 强化工程规范与安全意识。在虚拟仿真中同样应强调工程规范，如急停保护、手自动切换、安全互锁等控制安全设计的训练。

4) 发挥混合式教学优势。依托虚拟仿真资源库，支持学生课前预习、课后自主拓展与重复练习，实现随时随地可学可练。

5.2. 教学成效与反思

基于 Factory IO 虚拟仿真与工程组态软件相结合的课程教学改革实践表明，该模式在降低设备门槛、激发学习兴趣与强化工程思维等方面取得了初步成效：

1) 有效缓解了实训设备不足问题。虚拟仿真场景可批量部署，学生得以人手一套独立完成仿真实验，从根本上缓解了真实 PLC 实训设备台套有限、实训机会不均的问题。

2) 提升了学习兴趣与主动参与度。三维仿真场景与即时动态反馈增强了学习沉浸感，多数学生能够主动利用课外时间反复练习和拓展设计。

3) 强化了工程能力训练。学生在“仿真－编程－调试”完整链条中，对工艺分析、程序设计与排障调试等工程能力得到了较为充分的锻炼，综合设计任务的完成质量较以往有所提升。

4) 初步实现了教学资源共建共享。虚拟仿真资源库支持课程资源的共建共享与迭代更新，为课程的持续建设奠定了基础。

受课程实施周期与本校样本范围所限，本阶段改革仍存在不足：一方面，虚拟仿真虽能有效降低设备门槛，但难以完全替代真实设备在电气接线、器件选型与现场排障等环节的实操体验，后续需与周期性真实设备实训相结合，形成虚实互补；另一方面，改革整体成效目前主要基于教师课堂观察与作业完成情况，尚未开展系统的对照比较，教学效果的实证支撑有待增强。

鉴于此，后续将采用学生问卷调查并设置对照班开展对比实验，从学业成绩、学习兴趣、工程实践能力等维度对教学成效进行量化评估，持续检验并优化教学改革方案，为 PLC 课程信息化教学改革提供更充分的实证依据。

6. 结语

数字化转型为职业教育的教学改革带来了新的契机。本文将高保真虚拟仿真技术引入《PLC 控制技术》课程，构建了“虚拟仿真场景－工程组态软件－综合设计任务”三位一体的教学模式，并通过视觉分拣、两线抢位合并、单回路液位 PID、重量分拣、堆垛机等典型工程案例的教学实践，探索出一条面向工程能力培养的 PLC 课程信息化改革路径。实践初步表明，该模式为降低设备门槛、激发学习兴趣、强化工程思维提供了可行的教学路径，但相关成效仍有待后续教学数据进一步验证。后续将进一步丰富虚拟仿真案例库，探索虚实联动与真实产线对接，持续提升 PLC 课程教学质量和学生工程实践能力。

基金项目

广东理工学院课堂教学改革项目(校级)：《PLC 控制技术》(项目编号：KTJXGG202510)。广东理工学院高等教育教学改革项目(校级)：《基于 OBE 理念的 PLC 控制技术课程改革与实践》(项目编号：JXGG2025016)。

参考文献

[1] 教育部等九部门关于加快推进教育数字化的意见[EB/OL]. 2025-04-11. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/202504/t20250416_1187476.html, 2026-10-10.

[2] 王强, 黄迎辉, 陈章宝, 等. 基于 Factory IO 与 PLC 虚拟仿真教学改革与探索[J]. 蚌埠学院学报, 2026, 15(2): 117-121.

[3] 尹斌, 赵涵硕, 任天乐. 基于 Factory IO 的可编程控制器课程教学研究[J]. 农机使用与维修, 2025(1): 147-150+154.

[4] 王艳平, 冯军磊. Factory IO 虚拟仿真在《自动化生产线安装与调试》课程中的应用分析[J]. 中国设备工程, 2025(9): 272-274.

[5] 王苗苗, 蒋燕, 林伊婷, 等. 数字孪生技术在“PLC 技术及应用”课程中的应用研究[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2024, 23(4): 54-58.

[6] 刘永刚, 姚立权, 朱虹. 数字孪生虚拟仿真在智能制造生产线技术课程中的实践[J]. 科技资讯, 2023, 21(4): 203-207.

[7] 陈东毅, 王武, 林建新, 等. 面向大工程观培养的虚拟仿真类课程实践教学综合改革[J]. 电气电子教学学报, 2025, 47(2): 43-48.

[8] 王子辉, 康敏, 费正顺. 智能制造虚拟仿真实践教学模式构建[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(4): 227-230.

[9] Negahban, A. (2024) Simulation in Engineering Education: The Transition from Physical Experimentation to Digital Immersive Simulated Environments. *SIMULATION*, **100**, 695-708. https://doi.org/10.1177/00375497241229757

[10] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1): 1-18.

[11] 刘大同, 郭凯, 王本宽, 等. 数字孪生技术综述与展望[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(11): 1-10.