



离散型智能工厂教学平台建设与实践研究

梁玉娇¹, 李红莲¹, 苏丹丹¹, 梁 俞², 庞 彬¹

(1. 河北大学 质量技术监督学院, 保定 071000; 2. 北京中盛恒信工程检测科技有限公司, 北京 100081)

摘要: 为适应一流本科教育和工程认证的需求, 河北大学以鼠标电池装配自动化产线为依托, 设计了由 4 台工作站组成的离散型智能工厂教学平台。依托该平台, 与现有课程融合, 增设机器人原理与控制实训课程, 完善教学体系; 扩展了校内实习实训平台, 与校外实习基地互补互融; 为学生参加竞赛提供技术和场地支持, 引导学生主动参与学习、培养积累知识的意识。实践表明, 离散型智能工厂教学平台的建设有助于培养学生解决复杂工程问题的实践能力和探究创新的思维意识, 提升学生的工程素养, 促进一流本科人才的培养。

关键词: 工业机器人; 教学平台; 工程实践; 实验室建设

中图分类号: G482; G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230342

Research on the Construction and Practice of the Discrete Smart Factory Education Platform

LIANG Yujiao¹, LI Honglian¹, SU Dandan¹, LIANG Yu², PANG Bin¹

(1. College of Quality and Technical Supervision, Hebei University, Baoding 071000, China;

2. Beijing ZhongshengHengxin Engineering Measurement and Detecting Technology Co., Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: A discrete intelligent factory teaching platform composed of four workstations is designed for mouse battery assembly at Hebei University to meet the requirements of first-class undergraduate education and China Engineering Accreditation. A practical training course in robot principles and control is proposed and integrated with existing courses based on this platform, which improves the teaching system. The platform has also expanded the on-campus practice and training platform and achieved complementarity and integration with off-campus practice bases. It provides technical and venue support for students to participate in competitions, guiding students to actively engage in learning and knowledge accumulation. This practice indicates that the construction of the discrete intelligent factory teaching platform is conducive to cultivating students' practical ability to solve complex engineering problems and their exploration ability and creativity, enhancing students, engineering literacy, and promoting the cultivation of first-class undergraduate talents.

Key words: industrial robot; education platform; engineering practice; laboratory construction

习近平总书记关于教育的重要论述和党的二十大报告中强调要培养新时代的工匠精神, 全面实施“技能中国行动”。实践教学是工匠精神培育的手段, 实验室是工匠精神培育的基地。在一流本科教育、新工科和工程认证建设背景下, 高校加大了本科教育在实践能力培养方面的投入力度^[1]。

离散型智能工厂需要实现设备物联网化、生产数据可视化、生产文档无纸化、生产过程透明

化、生产现场无人化, 离不开机器人的助力^[2]。随着工业机器人研究向更深更广方向的发展^[3], 机器人的应用范围还在不断地扩大。因此迫切需要培养工业机器人方向的应用技术人才, 以应对中国制造产业技术进步和产业升级带来的应用技术人才的大量需求^[4-8]。河北大学质量技术监督学院与西门子工厂自动化工程有限公司合作, 清晰洞察行业最新发展动态, 主动服务国家创新驱动发展和“一带一路”“中国制造 2025”等重大战略实

收稿日期: 2023-07-10; 修回日期: 2024-07-04

基金项目: 河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2022GJJG022, 2022GJJG023); 2024 年度河北省实验教学和教学实验室建设研究项目; 教育部产学研合作协同育人项目(230801195170930)。

作者简介: 梁玉娇(1988-), 女, 硕士, 实验师, 主要从事实验室建设与管理工。E-mail: liang.yu.jiao@163.com

施, 加快工程教育改革创新, 共同设计了一套具有鲜明专业特色的机器人离散型智能工厂教学平台, 将企业中实际的生产线建设到高校实验室中, 打造工程实景实验室, 给学生创造一个真实的具有工程背景的实验平台, 成为提高学生综合实践能力与创新能力的重要载体, 以适应社会主义现代化要求^[9-12]。

1 平台硬件建设与功能介绍

河北大学机器人离散型智能工厂教学平台于 2019 年建设完成, 占地面积 70 m²。平台建设参照工业现场要求实景建设, 所有专业实验仪器设备均与当前各行业领域应用的仪器设备相同, 学生

可以了解最新的西门子控制系统的配置、编程和故障诊断知识, 动手实践能力能得到全面真实的训练, 解决了与实际脱节问题^[13]。

1.1 机器人离散型智能工厂教学平台构成

机器人离散型智能工厂教学平台以鼠标的电池装配自动化产线作为设计背景, 同时采用西门子最先进控制技术和电器技术, 融合了西门子全集成自动化(totally integrated automation, TIA)的理念。教学平台由 4 台自动化工作站构成, 分别位于送料工位、电池装配工位、电池盖装配工位和下料工位。4 个工位组成一条完整的自动化生产线, 配合工业机器人离线编程仿真软件实现工业机器人的复杂轨迹及动作应用, 如图 1 所示。



图 1 机器人离散型智能工厂教学平台生产线

自动化产线 4 个工位可以独立运行, 每个工位都可以实现搬运码垛、轨迹、焊接等程序的自动化, 可独立完成 PLC/HMI(programmable logic controller/human machine interface)技术、驱动技术、工业机器人技术、网络技术, 互不干扰。在运行整线自动模式下, 主要完成 3 大工艺, 包括仓储出料工艺、电池装配工艺、成品入库工艺, 由 4 个工位来实现, 且依次有各自的定位, 功能无法切换。

在整线运行时, 4 个工位的运行过程如下。

1) 送料工位为自动化产线第一工位, 由机器人和存储仓组成。机器人更换对应抓手后, 前往存储仓中夹取鼠标装配底盘, 将其搬运到 G120 变频器控制的输送带上, 输送带上传感器检测到底盘到达输送带, 启动电机, 将底盘输送到电池装配工位。

2) 电池装配工位由上一站的 G120 变频器输送工件到达 V90 伺服控制区后, 机器人前去搬运至装配平台, 然后将电池装入鼠标内部, 并安装

到位后再搬运至 G120 传送带上输送到电池盖装配工位。

3) 电池盖装配工位将上一工位装配好电池的鼠标输送到 V90 伺服控制电机上, 机器人将其搬运至鼠标盖装配平台上, 由工业机器人配合气动吸盘夹具实现电池盖的安装并搬运至 G120 输送上, 输送至下料工位。

4) 下料工位将装配完成后的鼠标由机器人搬到物料存储仓中, 完成鼠标的生产。

教学平台不同模式切换及运行过程如图 2 所示, 根据教学目标需要设置并运行不同模式。

1.2 主要设备功能介绍

机器人离散型智能工厂教学平台每个工位都由井式送料机构、圆柱送料机构、工件检测区、颜色识别区、V90 伺服控制区、G120 变频器输送区、搬运码垛输送线、圆形工件输送设备、工件存放区、TCP 练习区、ABB IRB120 小型工业机器人、实训台等机构组成, 主要机构如图 3 所示。

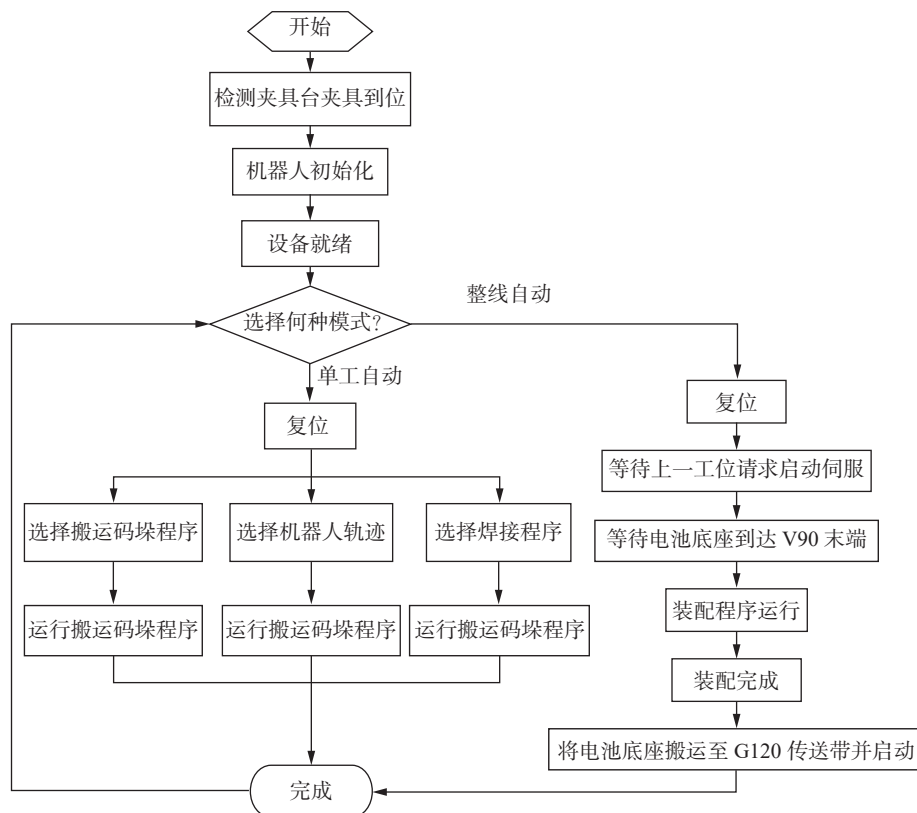


图 2 机器人离散型智能工厂教学平台运行图

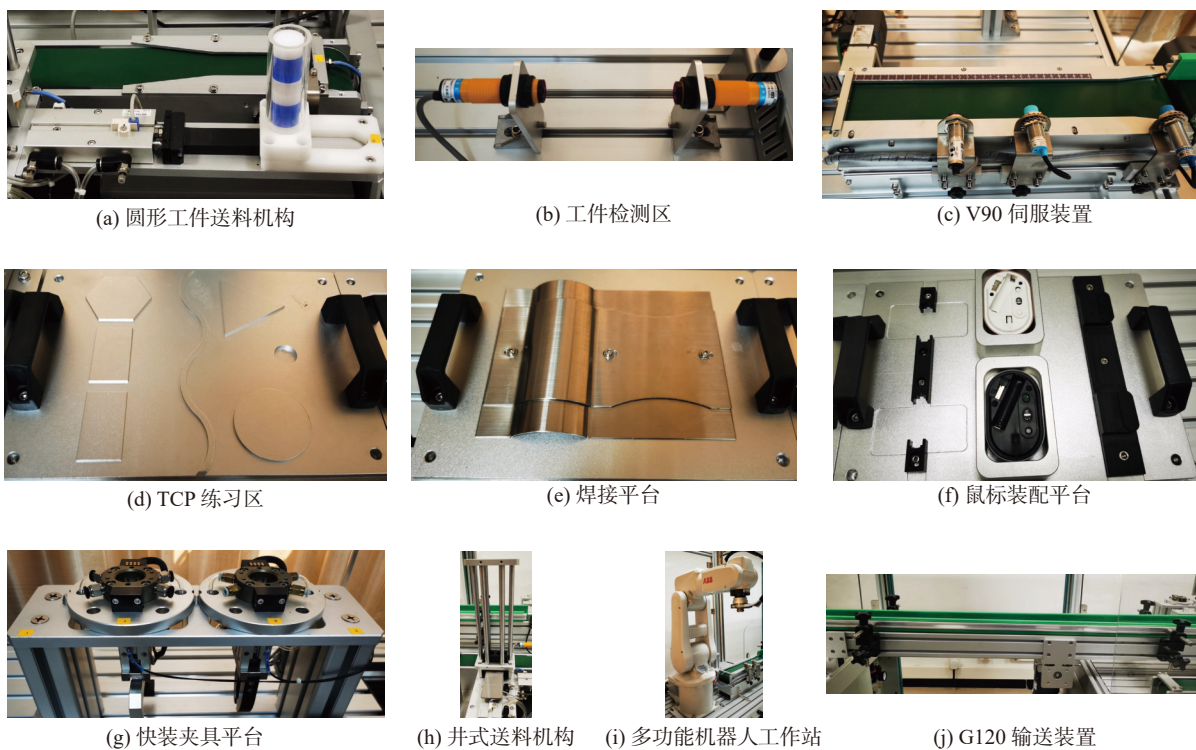


图 3 主要机构实物图

图 3(a)用于对圆形工件进行送料操作, 送料完成后由机器人到达送料位置取走圆形工件, 将

其与其他工件实现组装装配; 图 3(b)用于对机器人的夹取结果进行检查, 判断机器人是否成功完

成物料的夹取,以保证机器人物料搬运的可靠性;图 3(c)用于产线中鼠标底座运输,也可单独使用,进行 V90 伺服控制练习,实现传送带的精确定位控制等功能;图 3(d)所示 TCP 练习区中的角度随意可调,对机器人多种不同的轨迹的编程进行练习,可以熟练掌握机器人的基础编程与轨迹编程;图 3(e)所示为该平台实现机器人的焊接仿真练习,机器人依照预定轨迹完成焊接任务;图 3(f)用于完成鼠标装配工作,在此平台上,可以用单独一台机器人完成鼠标整体的装配工作,也可以 4 个平台协作一起完成鼠标的装配工作;图 3(g)所示为该平台配备了 4 个气动夹具,放置于夹具台上,可根据不同的任务需求换装不同类型的夹具,完成不同的生产任务;图 3(h)用于实现物料的定向送料,根据 PLC 指令控制,当光纤传感器检测到料仓中存在方形工件时,送料气缸将方形工件送到搬运码垛输送线上进行定向传送;图 3(i)所示工作站由一台 6 轴小型工业机器人、工作台以及配套组件构成,可以实现工业机器人的基础知识、相关配置、手动操作、示教编程及应用的教學,是工业机器人基础知识课程和工业机器人应用基础课程的实训硬件平台,可配合工业机器人离线编程仿真软件实现工业机器人的复杂轨迹及动作应用。

2 依托平台,改革实验教学

依托离散智能工厂教学平台,整合现有课程,增设机器人原理与控制实训课程,完善了教学体系,扩展校内实习实训平台,为学生竞赛活动提供助力。实践表明,离散型智能工厂教学平台的建设有助于培养学生解决复杂工程问题的实践能力和探究创新的思维意识,提升学生的工程素养。

2.1 整合现有课程,促进学科交叉融合

实验室是工科人才培养的重要基础条件,是工程教育的重要方式和手段,而当前符合产业需求的工程人才培养更需要参照工业现场建设的实验室^[14]。机器人离散型智能工厂教学平台为学生提供真实的鼠标制作环境,在平台上可丰富电路理论、模拟电子技术、机械原理、单片机原理、PLC 编程技术、机械创新设计、传感器与检测技术、自动控制原理、机械综合设计、机械制造课程设计等课程的教学内容。

以上课程原来均是独立的模块或者单元,实

践内容仅仅停留在原理验证和认识层面,与实际工程脱节,课程之间没有必然的沟通联系,缺少系统性和工程性的实验平台,亦缺少跨课程、跨专业的综合性实践平台^[15-17]。通过机器人离散型智能工厂教学平台,有效地将课程之间的内容关联到一起,在进行某一个项目的过程中,需要同时应用不同课程中的知识点。如机械原理实验在平台建设前,基本上都是单独的模型展示与验证性实验,平台建设后就可以让学生直观地在实验室近距离了解到机械原理在机器人自动化生产线上的应用场景,而不仅仅是传统场景的应用,拓宽了眼界,拉进了与企业的距离。又如“PLC 控制机器人”实验项目则为 PLC 编程与机器人课程结合的综合性实验项目,需要两门课程学习后才能完成,实验项目将两门课程紧密关联在一起,加强了课程在实际环节中的应用;在实验过程中也将两门课程不同的学习效果进行互补搭配,个人编程能力与机器人操作可以不用同时最强也能达到最优效果,团队合作能力得到提高,将取长补短、优势互补的组合发挥到极致。

此外,在进行综合性设计性项目时,需要借鉴测控技术与仪器专业相关课程知识,有效地把测量与设计制造融合,促进了学科交叉、专业融合,强化了学生工程实践能力、工程设计能力与工程创新能力,加强跨专业、跨学科的复合型人才的培养。

2.2 增设实训课程,完善教学体系

机器人离散型智能工厂教学平台建设后,为之前没有实践环节的课程提供了条件。如机器人原理与控制课程,在平台基础上新开设了实训课程,以理论课程为第一课堂,完成相关工业机器人的理论教学;以实训环节为第二课堂,通过理论教学与实践操作训练,使学生通过方案论证、程序编写、系统联调,全方位培养学生解决复杂工程问题的能力。理论课程与实训课程同期开始,相辅相成。

在实训环节,共设 9 个实验单元,以单元实验为课程实施的载体,每个单元实验针对理论课程的一个典型知识点,以任务驱动的方式设置每个单元实验的内容^[18]。在实验内容上采用启发式设置实验任务,倡导学生勤于思考和举一反三的学习方法,让学生做学习的主人。在实验内容的完成过程中训练学生发现问题并学会解决问题,

以此开发学生个人的学习潜能。整个实训过程围绕单元内容呈现学习、实践、再学习的良性循

环,具体的实验内容、教学目标与最终的培养目标如图4所示。

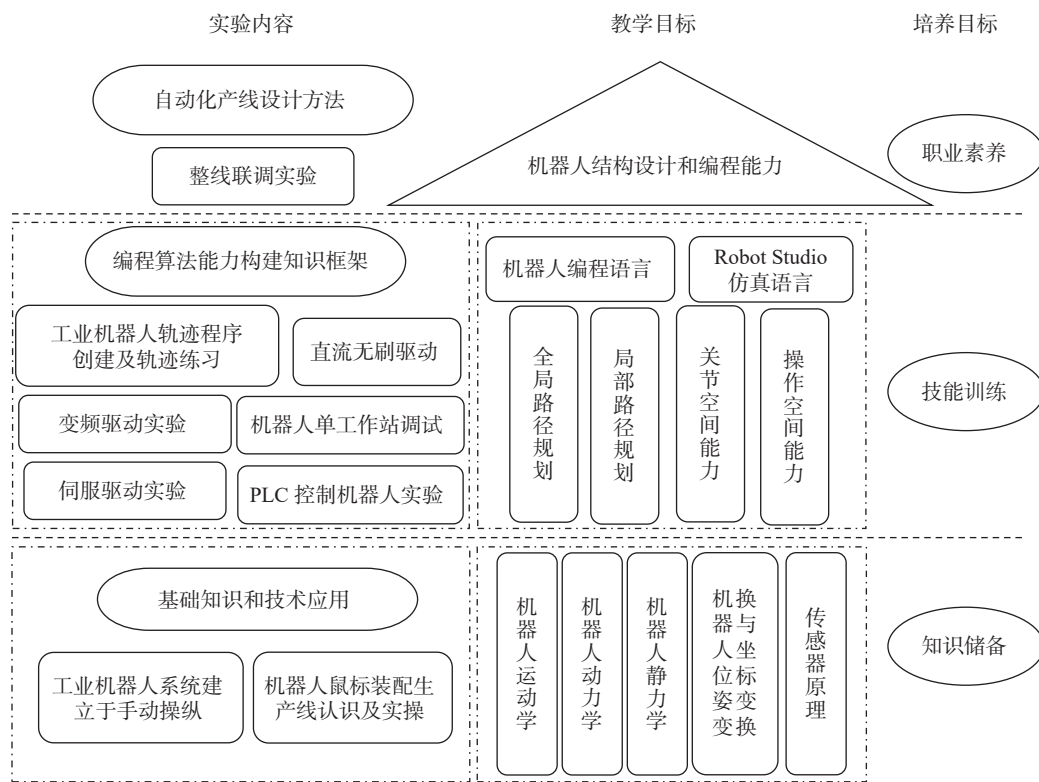


图4 课程内容与培养目标联系图

在实训课程学习过程中,首先是进行基础知识和技术应用的储备,通过机器人系统和生产线的认识和手动实操,将理论课程中的机器人运动学、动力学、静力学、位姿变换与传感器等再次巩固实践,并清楚知晓基础知识在整个系统中的位置与实现的功能。然后通过机器人轨迹程序及练习、单台机器人的PLC控制等实验,学生逐步掌握Robot Studio编程和PLC控制机器人方法,实现机器人全局路径、局部路径、关节空间、操作空间等的控制,训练实践技能,为后面产线联调奠定技术能力。最后,整线联调实验是学生逐步通过单工作站的PLC程序设定、HMI设置、HMI触摸屏调试、机器人程序设置,在工作站之间建立通信,搭建起工作交互信号,进行PLC整线信号通信调试,手动运行程序到实现整线的自动化生产,得到一个自己亲手实现的可现场直接使用的鼠标。

以机器人仿真与轨迹设计为例,学生需要学习Robot Studio仿真软件、ABB机器人基础操作和学习机器人的基础编程,实现按轨迹移动。该

项目涉及知识点为机器人在空间中运动主要有关节运动、线性运动、圆弧运动和绝对位置运动4种方式,以及机器人编程常用指令:I/O控制指令、Offs功能的指令和MoveAbsj指令参数设置。具体的实验步骤如图5所示。

整个实训环节从简入手,层层递进,以学生为主,以学生的创新、实践、思维等能力培养为主轴,以项目完成和问题解决为逻辑,强调知识、能力、素质的综合培养,建立面向新工业革命的多元人才培养模式,着力提升人才培养质量。

2.3 工程实景实验室,拓展校内实习平台

离散型智能工厂教学平台既是学生的实验室,同时也是按照行业机构的要求建设的,所用仪器设备均与当前各行业领域应用的仪器设备相同,生产线的设置与企业工厂环节一致,所用操作系统、培训资源与西门子实际应用是同一版本,教师也是通过西门子专业技术培训考核合格的专业人员,无论从硬件,还是软件资源和人员,离散型智能工厂教学平台都是符合行业机构要求的,是缩小版的“企业实验室”,是工程实景实验室^[19]。

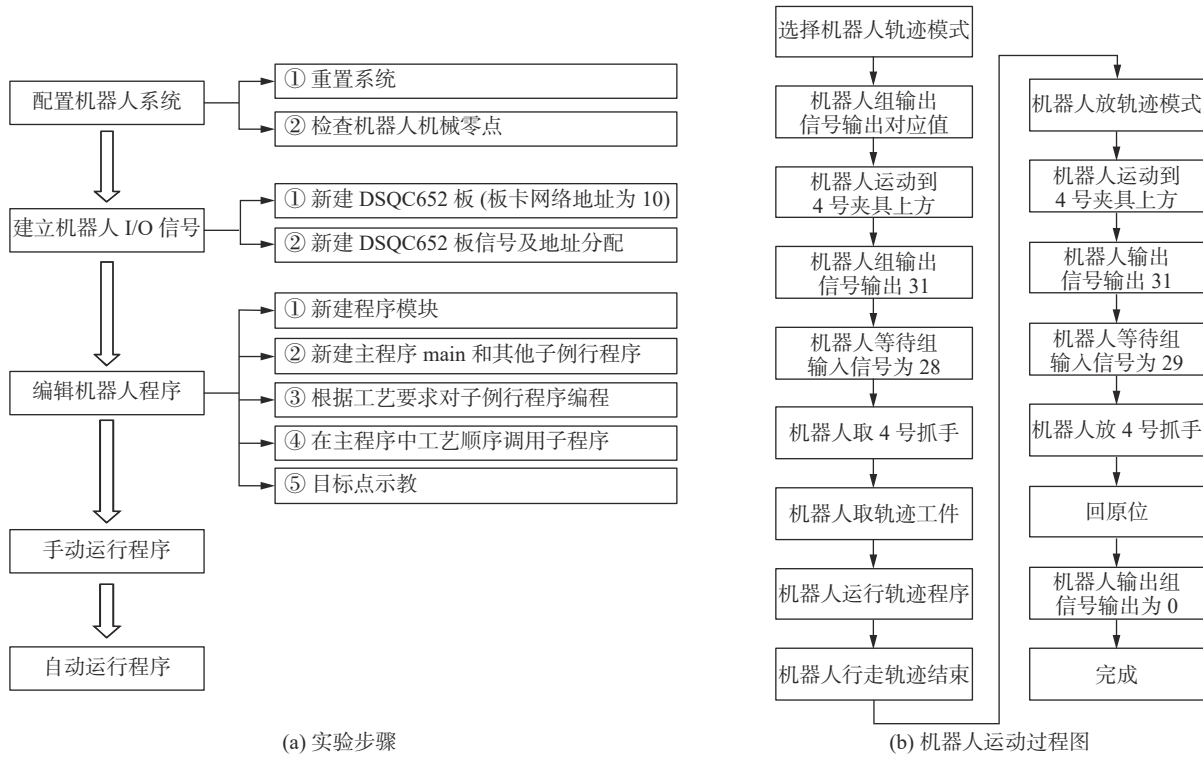


图 5 机器人轨迹练习实验步骤及运动过程图

随着人才培养目标的调整，学生实习实践环节的比重越来越大。在平台建设之前，学生的实习课程如表 1 所示，是分阶段进行的，从二年级的企业认知实习，三年级的金工实习、企业实践、专业生产实习到毕业时的设计实践，建立了“阶梯递进融合式”的实践能力的培养体系。以上课程，除金工实习是在校内工程训练中心进行，其他实习课程均需要外出到企业进行。由于学生人数较多，能接待的企业较少，实习时间为一周，但是具体实习时间需要多方面沟通协调，师生无法自我掌握，受实习单位限制较大。因为实习内容较多，场地分散，时间紧张，尤其是机器手臂、机器人等的训练非常少，所以学生无法沉浸式的深入了解，自己动手实习部分较为薄弱。

表 1 实习课程列表

实习阶段	实习课程	实习时间	年级
认知阶段	企业认知实习一	1周	二年级
	企业认知实习二	1周	
综合阶段	金工实习	3周	三年级
	企业实践	1周	
	专业生产实习	1周	
高级阶段	测控仪器设计	3周	四年级
	工厂自动控制实践	2周	

在平台建设之后，拓展了校内实习平台，学生不用出校就能进入产学研一体化可共享的校内

工程实景实验室，与校外实习基地互补互融。该平台为学生提供了充足的时间和指导，减少学生外出实践的不安全因素。学生在校期间可通过近一年的实习时间进行锻炼，解决了学生去企业实习时间短，无法深入了解的弊端。同时，该平台与西门子公司是对接的，可以跟企业进行线上参观和线下实验室同时进行，开创线上线下混合教学模式，让学生更清晰的了解实验室与企业现场的差距。通过与企业的无缝对接，大大缩短了教学与企业的“最后一公里”，使学生可以更好地适应企业，使企业快速拥有合适的人才。

2.4 课余时间全开放，助力学生参加竞赛

机器人离散型智能工厂教学平台开展本科教学实践课程之外，其余时间完全对师生开放，采取门禁权限管理方式，师生在预约时间段可自主进入，方便快捷，成为机械专业师生继工程训练中心之后实践能力提升的主要场所。

机械专业的学生参加的科技竞赛主要有大学生机器人竞赛、大学生机械创新设计大赛和大学生工程训练综合能力竞赛^[20]。自平台建设 3 年多来，机械专业师生在以上竞赛中共获得了省级奖项 15 项，国家级 3 项，获奖列表如表 2 所示，部分竞赛项目与训练内容如图 6 所示。

表2 学生竞赛获奖成果列表

序号	比赛项目	获奖等级	主办单位
①	2019年河北省大学生工程训练综合能力竞赛	一等奖1项, 二等奖2项	河北省教育厅
②	2019第十四届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛	国家二等奖	教育部高等学校自动化类专业教学指导委员会
③	2020第九届全国大学生机械创新设计大赛河北省赛	获特等奖、一等奖、二等奖、三等奖各1项	河北省教育厅
④	2021年第四届中国高校智能机器人创意大赛	国家二等奖	中国高校智能机器人创意大赛组委会
⑤	“卓然-科新杯”第十二届过程装备实践与创新赛	二等奖、三等奖各1项	中国机械工程学会
⑥	2021第七届河北省大学生工程训练综合能力竞赛	一等奖2项, 三等奖1项	河北省教育厅
⑦	2022第十届全国大学生机械创新设计大赛	国家三等奖	全国大学生机械创新设计大赛组委会
⑧	2022年河北省机械创新设计大赛	一等奖2项, 二等奖1项	河北省教育厅

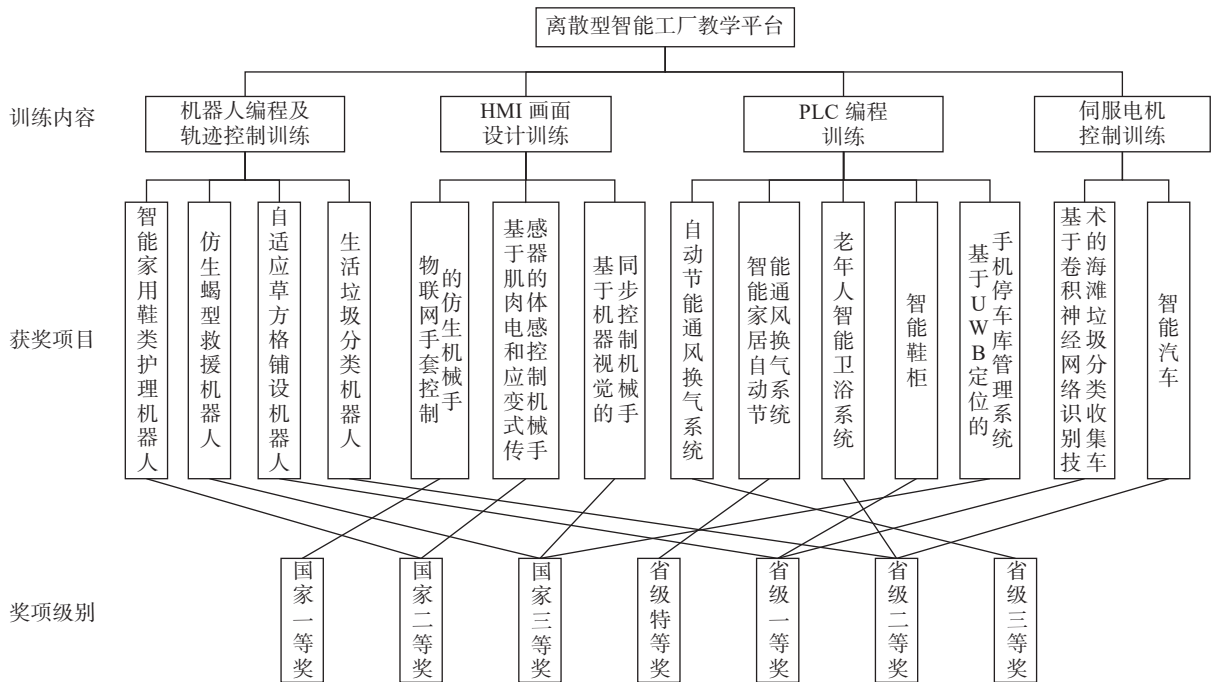


图6 部分竞赛项目与平台训练项目联系图

通过参加竞赛, 学生将理论知识应用到实践当中, 通过竞赛反馈到教学, 树立创新观念, 充分调动了学生学习的主动性、积极性和创造性, 激发了学生的创新思维和创新意识, 让学生学会思考问题、解决问题的方法, 在动手实践中提高了多角度解决问题、分析问题的能力, 逐步达到独立解决科研问题的目标。特别是在机器人大赛中, 学生团结协作, 在平台上实践机器人的控制与管理、机械结构设计与工艺的综合, 进一步彰显了平台建设的必要性, 增加了实验室利用率。

3 教学反馈, 持续改进

2019级机械专业学生对平台上进行的实践课程进行了教学评价与反馈, 如图7所示。



图7 学生反馈词云图

通过反馈评价可以看到, 通过离散型智能工厂教学平台将所学知识很好地进行了工程应用, 理论知识得到了更好地掌握, 动手能力得到了很大提高; 在平台的实训过程中, 团队合作加强了学生之间的互动; 激起了学生对智能机器人的兴

趣,对学科前沿的兴趣,很多同学选择会继续深入学习研究,培养了其研究探索精神;同时,同学们也意识到该行业需要庞大的理论知识水平,自己所掌握知识仍有不足,会主动进行学习,查漏补缺,改变之前被动的学习状态。

4 结束语

河北大学机器人离散型智能工厂教学平台建设,将企业中实际的生产线引入高校实验室,给学生创造一个真实的工程场景和重要平台,使其可以更好地参与综合实践活动。通过工程实景平台不同单元的柔性组合,满足学生个性化学习的需要,培养学生系统、集成、科学地应用现代工程知识的能力和再创造能力,以企业所需的产品作为生产对象,以企业的生产管理模式培训学生,全面真实训练学生的动手实践能力。离散型智能工厂教学平台的支撑也助力机械专业申报河北省“一流本科”专业。机器人离散型智能工厂教学平台上工程的集成与创新特征,大力推进了工程教育的人才培养模式,为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定人力资源优势。

参考文献

- [1] 陈海俊,温玉,郝英.“双一流”建设背景下地方本科院校高质量发展探析[J]. 创新创业理论研究与实践, 2021, 4(24): 60-62.
- [2] 罗卫强,唐斌,陈勇军. 智能终端精密外观结构件离散型智能工厂规划[J]. 机电工程技术, 2022, 51(9): 142-146.
- [3] 卢青,郭建国.“新工科”背景下的机器人轨迹规划实验教学系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(5): 147-150.
- [4] 熊隽,陈运军,陈林. 机器人自动化综合实验教学平台设计[J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(5): 182-186.
- [5] 袁林江,何桂霞,刘福庆等. 智能制造专业实践教学创新路径的探究[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(1): 109-113.
- [6] 朱海荣,吴瑜. 基于“专业认证+新工科”的类人机器人实验室建设[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(5): 176-180.
- [7] 孙明晓,栾添添,尤波,等. 新工科背景下机器人工程专业创新实践体系分析与思考[J]. 高教学刊, 2022, 8(18): 33-36.
- [8] 周晓迪,万翔. 工业机器人应用人才培养探索[J]. 时代汽车, 2022, 382(10): 81-82.
- [9] 高党寻,姚启明,杨建新,等. 弧焊机器人实践教学平台的建设与规划[J]. 焊接技术, 2020, 49(8): 79-82.
- [10] 卢亚平,刘和剑. 应用型本科工业机器人实验室建设研究和管理理念探索[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(11): 270-273.
- [11] 钟冲,张抒.“双一流”背景下高水平实验室新体系建设研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(2): 151-156.
- [12] 魏鸿磊,商业彤,孙松,等. 基于机器视觉的工业机器人分拣实验平台设计[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(2): 138-142.
- [13] 王承业,吴峰华,杨哲海,等. 工业机器人实验室在应用型本科专业建设中的探索与实践[C]//第十八届沈阳科学学术年会论文集. 沈阳: 沈阳市周易研究会, 2021: 253-259.
- [14] 王华,王敏,公伟庆. 基于 OBE 理念的高校创新创业实验室建设与管理[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(11): 278-281.
- [15] 张伟民,杨宇航,靳家豪,等. 机器人实践教学体系综合探索与实践[J]. 中国电化教育, 2022, 426(7): 115-119.
- [16] 白一鸣,牛小兵,赵永生. 面向自动化类专业的智能机器人实验室建设[J]. 中国现代教育装备, 2022, 393(17): 45-46,56.
- [17] 柯文德,融亦鸣,路冬,等.“课程—项目—竞赛”驱动的机器人方向教学方法[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(9): 211-214.
- [18] 王帅,王军义,贾子熙,等. 基于新工科的移动机器人控制实验设计和教学实践[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(6): 33-37.
- [19] 葛亚明,苗志怀,薛睿,等. 满足学生个性化发展需求的实验教学研究及课程建设[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(12): 212-215.
- [20] 陈飞,范扬波,魏碧霞.“机器人及智能制造”专业群的工程实践创新实验室建设探索[J]. 高教学刊, 2017, 71(23): 22-24.

编辑 张俊