

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2024.12.12

基于MES的教学用智能化小组立生产线的工程实践

杨 帅^{1,2}, 张瑞雪^{1,2}, 姚永乐^{1,2}, 周 清^{1,2}, 何泽宇^{1,2}, 祁 超^{1,2}

1. 上海船舶工艺研究所, 上海 200032
2. 船舶智能制造国家工程研究中心, 上海 200032

摘 要: 随着船舶行业自动化、智能化转型升级, 随着船舶行业自动化、智能化转型升级, 对车间技术人员和操作人员提出了更高要求。为缩短企业培训时间, 提高设备投入使用效率, 针对船舶行业小组立生产线的真实情况, 结合主流前沿智能化技术, 开发了基于MES的教学用智能化小组立生产线。该生产线以MES为总控, 涵盖自动切割分拣、智能行车、AGV转运、装配、小组立智能焊接等工位, 并设置总控中心。其中, 小组立智能焊接工位支持离线编程和在线编程两种方式。该生产线模拟真实生产流程, 使学生能够在校园内掌握船舶智能化小组立生产线的理论知识和操作技能, 缩短校园与企业之间的距离, 培养适应新时代的智能制造人才。

关键词: 智能化; MES; 教学; 小组立; 生产线

中图分类号: TG408 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2024)12-0074-08

Engineering Practice of Intelligent Sub-Assembly Production Line for Teaching Based on MES

YANG Shuai^{1,2}, ZHANG Ruixue^{1,2}, YAO Yongle^{1,2}, ZHOU Qing^{1,2}, HE Zeyu^{1,2}, QI Chao^{1,2}

1. Shanghai Shipbuilding Technology Research Institute, Shanghai 200032, China
2. National Engineering Research Center of Ship Intelligent Manufacturing, Shanghai 200032, China

Abstract: With the automation and intelligent transformation of the shipbuilding industry, higher demands are placed on workshop technicians and operators. To shorten corporate training time and improve equipment utilization efficiency, this paper develops an intelligent group assembly production line for teaching based on MES, tailored to the real situation of the shipbuilding industry's group assembly production line, combined with mainstream cutting-edge intelligent technology. The production line is controlled by MES, covering automatic cutting and sorting, intelligent trolley, AGV transfer, assembly, and intelligent group welding stations, and a control center is set up. Among them, the intelligent group welding station supports both offline programming and online programming methods. This production line simulates the real production process, enabling students to master the theoretical knowledge and operational skills of the shipbuilding intelligent group assembly production line on campus, narrowing the gap between campus and enterprises, and cultivating talents suitable for the new era of intelligent manufacturing.

Keywords: intelligence; MES; teaching; group standing; production line

引用格式: 杨帅, 张瑞雪, 姚永乐, 等. 基于MES的教学用智能化小组立生产线的工程实践[J]. 电焊机, 2024, 54(12): 74-81.

Citation: YANG Shuai, ZHANG Ruixue, YAO Yongle, et al. Engineering Practice of Intelligent Sub-Assembly Production Line for Teaching Based on MES[J]. Electric Welding Machine, 2024, 54(12): 74-81.

0 引言

船舶行业作为国家重要的战略性新兴产业, 正经历

着从传统制造向智能制造的转型升级。随着自动化、数字化、智能化技术的不断发展, 船舶制造正逐步迈向自动化、数字化、智能化、柔性化生产。智能

收稿日期: 2024-08-13

作者简介: 杨 帅(1985—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事智能焊接设备与工艺的研究。E-mail: yangsh0925@163.com。

设备、机器人、MES系统等新兴技术被广泛应用于船舶制造,以提高生产效率、降低生产成本、提升产品质量。然而,这些技术的应用也对船舶制造行业的人才培养提出了新的挑战。传统的教学模式难以满足智能化生产对人才的需求,培养具有实际操作能力、能够熟练运用智能化设备的技术人才成为当务之急^[1-5]。

为了顺应船舶行业智能化发展的趋势,满足人才培养的需求,本文提出并实现了一条基于制造执行系统(MES)的教学用智能化小组立生产线。该生产线模拟真实的生产环境,覆盖了船舶智能化生产线的各个环节,并提供实操训练平台。以MES作为中央控制系统,核心工位包括自动切割分拣和小组立智能化焊接,生产线由智能行车、智能切割分拣、AGV转运、装配以及小组立智能焊接等多个工位组成流水线,并设有总控中心。其中,小组立智能化焊接工位可分别采用离线编程和在线编程两种编程模式。该教学用流水线基本涵盖了目前船舶智能化小组立生产线各个方面的先进技术,能够有效促进新时代人才培养^[6-11]。

1 教学用智能化小组立生产线构成

该教学用智能化小组立生产线由以下8个主要部分构成:智能堆场、智能行车、智能切割分拣、AGV小车转运、小组立装配、小组立智能焊接、组立库、管控中心。由MES进行总控,排定生产计划,并下发至各工位,从而实现工位间的协同作业。同时,也可通过总控服务器进行切割套料、小组立焊接的离线编程等任务,并将各程序文件下发至各工位。具体构成如图1所示。

2 教学用智能化小组立生产线工艺流程

总体工艺流程如图2所示,以A吨散货轮B分段C部件为例,具体工作流程为:

(1)生产部将A吨散货轮B分段C部件生产任务通过MES下发至小组立车间管控中心及设计部

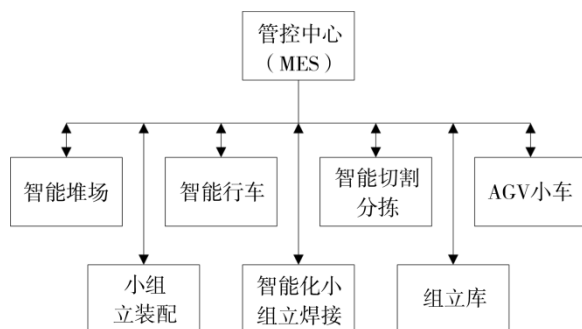


图1 生产线构成

Fig. 1 Component of the production line

门,同时,设计部门将B分段C部件图纸等信息通过MES发送至小组立车间管控中心。

(2)小组立车间管控中心利用MES将C部件的任务相关信息发送至智能堆场、切割分拣工位以及小组立机器人焊接工位。

(3)智能堆场负责将需切割板材吊运至切割工位。

(4)切割分拣工位根据MES下发的切割指令将板材切割成所需零件C1、C2以及余料或其他零件。

(5)切割分拣工位通过行车将零件C1和C2吊运至小组立装配点焊工位等待装配。根据需要,分拣机器人将余料及其他零件吊至托盘,并同时呼叫AGV小车,通过AGV运至待转运工位,使用叉车运至其他车间供其使用。

(6)在小组立装配点焊工位,人工将零件C1和C2装配成C部件。将装配好的C部件通过行车吊至小组立机器人焊接工位的上料工位,地面输送系统再将待焊工件运至焊接工位。

(7)小组立机器人焊接工位根据MES提供的C部件三维模型进行离线编程(离线编程自任务最初下达时已经开始),自动生成可执行的机器人运动轨迹并匹配焊接工艺。

(8)小组立机器人焊接系统对C部件进行全自动焊接。

(9)焊接完成后,地面输送系统将焊接完成的工件运至卸料工位,使用行车将焊接完成的C部件吊至托盘,随后通过叉车运送至小组立库待用。

在此过程中,管控中心作为小组立车间的信息中心,实时与各设备进行信息交互,主要负责监控设备状态和任务状态。



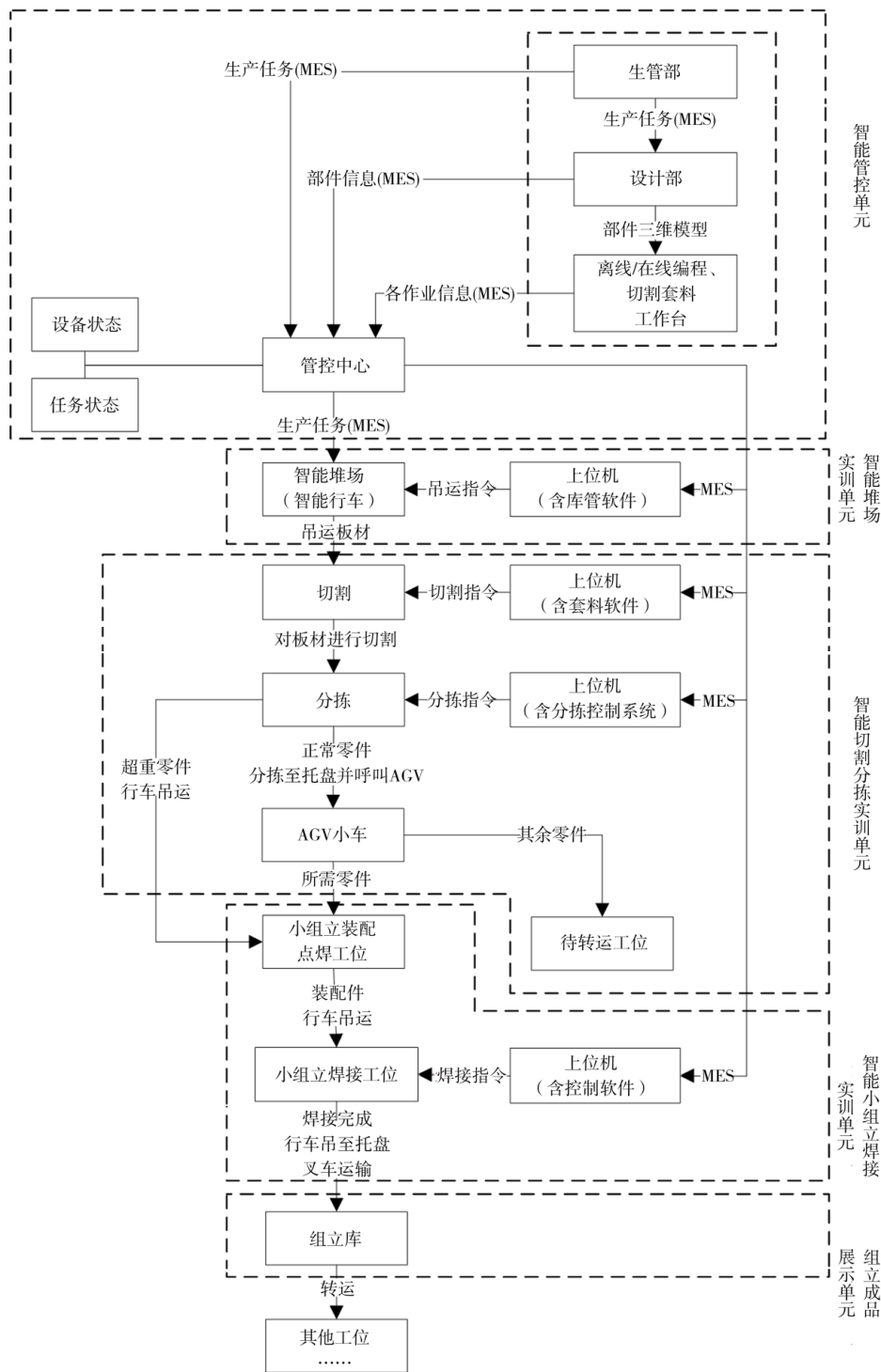


图2 总体工艺流程

Fig. 2 The general technological process

3 生产线主要单元

生产线主要单元包括智能管控单元(MES)、智能堆场(智能行车)实训单元、智能切割分拣实训单元、智能小组立焊接实训单元。

元、智能小组立焊接实训单元。

3.1 智能管控单元(MES)

智能管控单元负责整条流水线的任务指令下达、信息下发、信息采集,以及实时显示生产状态,



图3 管控中心(MES)现场

Fig. 3 The picture of control center

如图3所示。

该单元主要由以下5部分组成;

(1)服务端。部署于管控中心工作站,提供各类服务接口,包括基础数据服务、计划反馈服务、互联互通服务、物流管控服务和决策支持服务等。

(2)管控端。部署于管控中心工作站,提供PC版客户端,具备基础数据维护、计划排产、任务下发和完工反馈等功能。

(3)工控端。部署于堆场、切割、分拣和小组等工位的工控机,提供PC版客户端,可用于查看工位生产任务并进行完工反馈。

(4)设计端。部署于管控中心工作站,提供模型处理、导出产品模型和产品数据、离线编程、套料等功能。

(5)生产看板。部署于堆场、切割、小组等工位的触控一体机,提供Web版客户端,可查看工位生产任务、当前生产状态和监控设备实时状态等。

管控中心的系统功能主要如下:

(1)与智能行车、切割设备、分拣机器人和小组立焊接机器人等智能设备集成并采集实时状态信息,通过生产看板可实时监控组立生产线状态。

(2)提供生产任务下发和完工反馈接口,统计各工位生产任务的完工状态。

(3)接收零件切割分拣任务时,通过设计系统提供的产品模型和产品数据进行套料,并将套料程序上传至管控系统,随切割任务下发。

(4)接收小组立焊接任务时,通过设计系统提供的产品模型和产品数据进行离线编程,并将离线

程序上传至管控系统,随小组立任务下发。

(5)提供AGV小车调度服务(物流管控服务),各工位可通过服务接口呼叫或派送AGV小车,实现中间产品在各工位进行流转。

3.2 智能堆场(智能行车)实训单元

智能堆场(智能行车)实训单元如图4所示,主要负责钢板的堆放及吊运,是钢板的入库、出库、翻板区域。本单元配备的库管软件分为入库和出库两个流程,负责储存和更新钢板的信息,包括尺寸、材质、数量、位置等。当有任务指令通过MES到达本工位时,库管软件会根据对象要求,自动查找对应钢板的位置,并自动进行吊运。



图4 智能堆场和智能行车现场

Fig. 4 Intelligent steel stacking yard and bridge crane

3.2.1 智能堆场入库流程

入库流程如下:首先,通过库管软件进行钢板入库操作,录入钢板编号、长宽、厚度、密度等数据。接着,使用与库管软件联网的打码机生成钢板编号二维码,并将贴放置钢板上。

钢板信息录入完成后,库管软件根据堆场状况自动分配堆位,操作员通过点击库管软件的启动吊运入库按钮,智能行车启动,将吸盘移动至待入库钢板上方,缓慢下降并启动电磁吸装置,实现吊运至分配堆位。钢板放置至指定堆位后,库管系统自动保存并更新相关数据,包括钢板信息、堆位信息、入库信息等。

3.2.2 智能堆场出库流程

出库流程如下:当有切割任务时,MES系统下发出库作业至堆场的看板上,操作员接收任务并开始执行出库作业;通过库管软件判断堆场是否有相



关钢板,如果没有则通知采购进行采购;如果有相关钢板,通过库管系统自动选择待出库钢板,执行出库作业;此时,智能行车获取钢板的堆位信息,自动运行至待出库钢板上方,进行吊运至切割或卸料工位;吊运完成后,库管系统自动更新堆位信息和出库信息等,并把相关状态反馈至MES系统。

3.3 智能切割分拣实训单元

智能切割分拣实训单元如图5所示,总共包含MES下发任务、套料、切割、分拣、AGV转运等工序。



图5 智能切割分拣转运现场

Fig. 5 Picture of intelligent cutting, sorting and transport

3.3.1 套料切割

首先,切割工控机接收来自智能管控单元(MES)的任务,获取待加工信息,包括待切割板材规格、长宽、厚度及所切割的零件形状、数量等参数。然后,通过切割控制软件进行套料:先根据待切割板材的数据编辑母版,再根据零件数据编辑零件形状和数量,对零件进行套料与排版。在套料时,需另编辑零件号并将其零件的编号放置在零件中心位置,方向与零件主体方向一致,满足分拣工位机器人分拣

吸盘排列,以供分拣机器人定位。切割完成后,将套料数据保存为指定格式文件至特定的共享文件夹下,供分拣工位使用(详见3.3.2),同时,切割控制端实时将切割状态数据上传至MES系统。为保证零件的可追溯性,在切割完成后将零件二维码贴在零件表面。套料工序既可在管控中心进行并可通过MES传输切割工控端,也可在工控端之间进行。

3.3.2 智能分拣

激光切割机在其工控机上运行激光切割控制系统软件进行套料切割后,将排样的结果复制到底图中,另存为DXF格式文件,如图6、图7所示,将排版结果图保存为xxx.dxf文件,并将此文件放置在切割机工控机上特定的共享文件夹中。分拣控制系统通过此路径进行切割数据文件读取和解析。

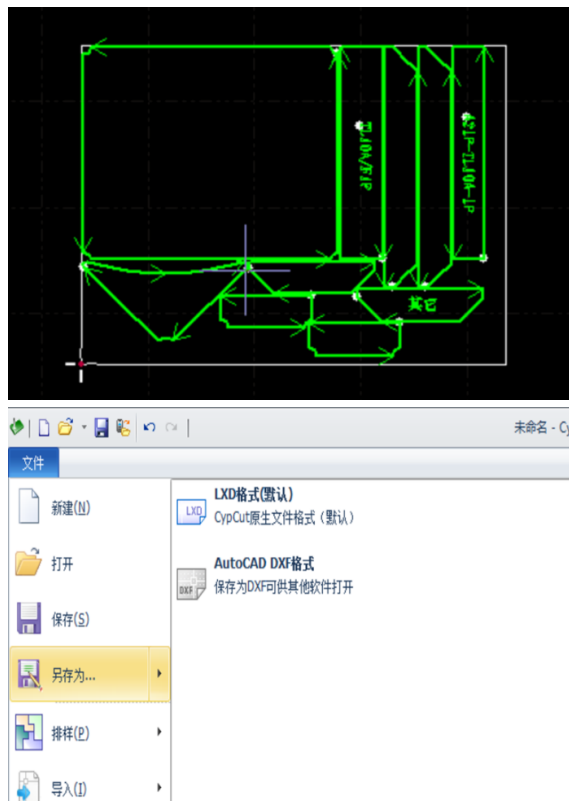


图6 分拣信息的储存

Fig. 6 The storage of sorting information

分拣控制系统部署在分拣工位旁的工控机上,具体功能包括:(1)与激光切割机工控机进行文件交互、数据提取;(2)与MES通信,获取分拣任务信息,包括分拣的零件编号、零件流向、切割机切割状态(切割完成、正在切割等、空闲);(3)与分拣机器

人进行通信控制,包括轴数据读取、末端姿态读取、机器人轴控制(含外部轴)、吸盘控制、切割零件自动抓取分拣控制;(4)与AGV小车通信,通过与MES交互,对AGV进行任务呼叫、发送AGV任务流向,获取AGV工作状态等。

分拣系统具体流程如下:

(1)分拣系统通过特定共享目录获取切割的零件信息(.dxf格式),解析dxf文件中的零件号文本、文本坐标。

(2)分拣系统自动从MES接受任务,拉取分拣任务包,包括待分拣的零件号、零件工位流向。此时系统比对MES任务与实际切割任务的零件列表,将MES任务包中的零件且dxf文件存在的零件加入待分拣列表,并分配抓取顺序。

(3)分拣系统通过MES呼叫AGV小车就位。当AGV小车就位后,分拣系统通过dxf文件获取的位置与零件信息,控制机器人抓取姿态,先将外部轴运行到待分拣零件附近位置,然后运行机器人本体,将吸盘放置在待分拣零件上,控制吸盘抓取零件,接着控制机器人将零件放置在转运料架上。

(4)分拣系统通过MES向AGV小车下发零件放置完成信号,并发送零件流向信息等指令,通知AGV小车进行运输。

(5)分拣系统向MES反馈分拣抓取状态。

3.3.3 AGV小车运输系统

AGV小车往返在各工位之间,完成中间产品自动运输工作。整条智能化小组立生产线布置5个站点,具体站点位置如下:

(1)AGV小车充电站点。位于产线中部,在AGV小车无工作任务或低于特定电量时,会自动移动到此位置进行充电,等待任务指令。

(2)智能堆场站点:位于智能堆场旁边,为型材及小件分拣专用站点,在分拣机器人将型材或成品小件分拣至转运料架上后,待AGV小车转运。

(3)切割零件分拣站点:位于切割机旁边,为切割零件分拣专用站点,在分拣机器人将切割后的零件分拣至转运料架上后,待AGV小车转运。

(4)小组立点焊站点:位于小组立焊接系统附近,为小组立结构点焊专用站点,在切割完后,由AGV小车将待焊零件转运至此处,待后续使用。

(5)成品库站点:位于生产线下游,为成品库专用站点。AGV小车将型材、成品小件以及切割后不需要用于小组立焊接的零件转运至此站点,进行存放和管理。

AGV小车通过管控系统提供的AGV小车服务接口进行调度,采用主动呼叫和自动派送两种驱动方式。AGV小车配备平板电脑,并部署安卓应用,可查看小车实时运行状态,当转运完成后可进行完工反馈,并上传至MES。

3.4 智能小组立焊接实训单元

智能小组立焊接单元如图7所示,为此生产线的核心工位。在小组立结构焊接前,小组立系统上位机软件实时从MES拉取焊接作业任务包,并将作业任务列表及信息显示在界面上,包括任务名、加工工件列表、工件上道工序状态、离线编程文件等。本工位共分为离线编程和在线编程两种工作方式,是目前行业中主流的编程方式。



图7 智能小组立焊接系统

Fig. 7 Intelligent welding robot system

3.4.1 离线编程

离线编程作业方式是在焊接作业前,根据待焊结构的三维模型,利用离线编程软件对机器人的运动路径和焊接轨迹进行编辑的一种作业方法。离线编程过程可在管控中心进行,并将离线编程好的程序文件,通过MES传输至小组立焊接工位工控机上。

离线编程作业方式具体流程如下:

(1)操作员根据MES反馈的焊接加工任务,从小组立装配点焊工位将待焊接的工件吊运至组立进料辊道。通过组立上位机控制辊道将工件运送



至焊接区域。

(2)操作员进行工件标定,根据设计图纸信息,将工件摆放至所设计的加工位置,包括工件位置、工件放置方式等。

(3)操作员加载MES分配的离线编程焊接作业任务,并进行焊接。

(4)焊接完成后,操作员通过控制组立上位机将工件输送至出料轨道,同时组立上位机将焊接的作业状态反馈给MES系统。

3.4.2 在线编程

在线编程作业方式是利用设备上的视觉系统,在焊接作业前对待焊结构进行扫描,然后根据扫描获取的工件结构,实时生成机器人的运动路径和焊接轨迹的一种作业方法。在线编程的工作方式需在小组立焊接工位工控机上进行操作。

在线编程作业方式具体流程如下:

(1)操作员接受MES下发的在线编程焊接任务,从小组立装配点焊工位将待焊接的工件吊运至组立进料辊道。通过组立上位机控制辊道将工件运送至焊接区域。

(2)操作员控制上位机软件启动线激光扫描。此时,系统打开线激光扫描器,控制设备门架以一定速度沿着X方向进行移动,同时自动记录线激光位置数据和X轴数据。

(3)通过扫描获得的数据,上位机软件通过分析、计算距离和角度数据对焊缝进行判断识别,并生成焊缝数据和焊接程序。

(4)上位机下发生成的焊接作业程序,机器人执行焊接任务。

(5)焊接完成后,操作员通过控制组立上位机将工件输送至出料轨道,同时组立上位机将焊接的作业状态反馈给MES系统。

4 生产线的教学意义

本条生产线侧重于教学应用,旨在应对船企生产制造过程智能化水平的提升,并结合国家产业升级的大背景,紧密联系实际生产现状,培养企业急需的针对性人才。

该生产线的各个工位均包含了目前主流船企

正在使用或计划使用的绝大部分先进技术。与船企实际生产线相比,仅在产线规模、设备功率等方面进行了一定比例的缩小,而在功能技术方面则进行了更全面的覆盖。这种设计使让学生在无需离开校园,仅通过本生产线的实践学习,便能掌握船舶小组立结构智能化生产线的相关理论知识和操作技能。此举不仅丰富了学生的技能储备,确保了教学的安全性,还降低了教学成本。学生在毕业前就能获得一定的实操能力,显著提升了学生在就业市场上的竞争力。

5 结论

本文构建了一条基于MES的教学用智能化小组立生产线,为船舶行业智能制造人才的培养提供了新的平台。该生产线模拟了船舶小组立结构智能化生产的全流程,涵盖了计划排产、指令下达、钢板匹配吊运、套料切割、AGV转运、小组立机器人焊接(含离线编程与在线编程)以及成品库储存等环节。

(1)小组立焊接机器人系统和切割分拣系统是生产线核心,集成度和智能度与实际生产紧密贴合。小组立焊接工位支持离线编程和在线编程,为学生提供灵活的编程学习体验。学生可进行实际操作,在校园内获得与真实生产线相似的实操经验。

(2)生产线为培养适应船舶行业智能化发展趋势的人才提供了平台。学生提前掌握相关技能,缩短了企业培训时间,提高了企业生产效率。生产线规模和设备功率均缩小,降低了教学成本,使更多学校能够开展智能制造教学。

(3)未来展望:优化MES系统功能,更好地满足教学 and 实际生产需求;开发更多的教学模块,如设备维护、故障排除等,使学生获得更全面的技能培训。加强与船企的合作,将生产线用于企业员工培训,提升企业员工技能水平。

参考文献:

- [1] 李博. 新工科背景下工程训练教学中焊接实训的改革与实践[J]. 电焊机, 2021, 51(9): 107-110.



- LI B. Reform and practice of welding training in engineering training and teaching under the background of new engineering[J]. Electric welding machine, 2021, 51(9):107-110.
- [2] 杨润党,续爱民,甄希金,等. 船舶薄板平面分段产线技术发展及应用现状[J]. 船舶工程, 2022, 40(10): 16-23.
- YANG R D, XU A M, ZHEN X J. Development and Application Status of Ship Thin Plate Plane Segmentation Production Line Technology[J]. Ship Engineering, 2022, 40(10):16-23.
- [3] 陈悦. 挑战与应对:新工科背景下工程实践教育的思考[J]. 南京航空航天大学学报:社会科学版, 2017, 19(4):89-91.
- CHEN Y. Reflections of Engineering Practice Education under Background of Emerging Engineering Education: Challenges and Strategies [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences), 2017, 19(4):89-91.
- [4] 朱苏,丛焕武,刘鹏,等. 船体平面分段智能制造流水线工艺装备技术[J]. 造船技术, 2021, 49(4):81-85.
- ZHU S, CONG H W, LIU P. Process Equipment Technology of Intelligent Manufacturing Assembly Line in Hull Flat Section[J]. Marine Technology, 2021, 49(4): 81-85.
- [5] 姜晓坤,朱泓,李志义. 新工科人才培养新模式[J]. 高教发展与评估, 2018, 34(2):17-24+103.
- JIANG X K, ZHU H, LI Z Y. A New Mode of Talents Training under the Background of New Engineering Education [J]. Higher Education Development and Evaluation, 2018, 34(2):17-24+103.
- [6] 朱昱颖,孙宏伟,朱加雷,等. 船舶中小组立焊接机器人的发展与应用现状[J]. 船舶工程, 2022, 44(1): 104-111.
- ZHU Y Y, SUN H W, ZHU J L, et al. Development and Application Status of Small and Medium Sized Assembly Welding Robot in Ship[J]. Ship Engineering, 2022, 44(1):104-111.
- [7] 赵德鑫. 应用焊接机器人小组立流水线的关键技术分析[D]. 江苏:江苏科技大学, 2017.
- ZHAO D X. Analysis of the key technology of the sub assembly production line using welding robot [D]. Jiangsu: Jiangsu University of Science and Technology, 2017.
- [8] 杨帅,郑惠锦,苏娟娟. 船舶典型板架结构机器人焊接系统[J]. 造船技术, 2017(3):72-75.
- YANG S, ZHENG H J, SU J J. Robot Welding System for Typical Ship Plate Structures [J]. Marine Technology, 2017(3):72-75.
- [9] 吉永军,朱玉龙,刘建峰. 小组立机器人装焊生产线总体设计研究[J]. 船舶与海洋工程, 2017, 33(6):44-48.
- JI Y J, ZHU Y L, LIU J F. Study on the Overall Design of the Robot Production Line for Sub Assembly[J]. Naval Architecture and Ocean Engineering, 2017, 33(6): 44-48.
- [10] 喻天祥,王冬梅,祁超,等. 面向船舶智能制造的工艺数字化管理技术[J]. 造船技术, 2020(2):69-71+76.
- YU T X, WANG D M, QI C, et al. Process Digital Management Technology for Shipbuilding Industry Intelligent Manufacturing [J]. Marine Technology, 2020(2): 69-71+76.
- [11] 魏世海,陈千,姚飏,等. 基于流水线的船厂管加工车间MES设计与应用[J]. 造船技术, 2023, 51(3): 86-92.
- WEI SH H, CHEN Q, YAO B, et al. MES Design and Application of Shipyard Pipe Processing Workshop Based on Assembly Line [J]. Marine Technology, 2023, 51(3):86-92.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>

