

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2022.03.012

汽车涂装控制系统设计概述

赵宇驰¹, 刘静²

(1. 无锡职业技术学院 控制技术学院, 江苏 无锡 214121; 2. 东北石油大学(秦皇岛校区) 大数据与计算机科学系, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 汽车制造业是国民新兴经济的基础产业之一, 汽车制造工厂包含冲压、焊装、涂装和总装4个车间。汽车涂装车间是汽车制造过程中自动化程度化很高的一个车间, 当今汽车行业的生产模式已经从批量生产过渡到客户订单式生产, 传统的汽车生产线已经不能满足汽车生产的个性化需要, 设计了一个基于射频识别(RFID)和现场总线技术的柔性汽车涂装生产控制系统。文章详细介绍了该汽车涂装控制系统的相关功能, 主要包括视频监控系统、车身识别系统、安灯系统、生产控制系统、生产管理系统。该汽车涂装控制系统已在天津投入运行3 a, 控制效果良好。

关键词: 汽车涂装; 控制系统设计; 射频识别; 现场总线

中图分类号: TP 273

文献标志码: A

文章编号: 2095-0411(2022)03-0086-07

Overview of Automobile Painting Control System Design

ZHAO Yuchi¹, LIU Jing²

(1. Institute of Control Technology, Wuxi Institute of Technology, Wuxi 214121, China; 2. Department of Big Data and Computer Science, Qinhuangdao Campus of Northeast Petroleum University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Automobile manufacturing industry is one of the basic industries in the national emerging economy. An automobile manufacturing plant includes four workshops: stamping, welding, painting and final assembly workshops. Automobile coating workshop is a workshop with a high degree of automation in the process of automobile manufacturing. Nowadays, the production mode of automobile industry has changed from batch production to customer order production, thus traditional automobile production lines can no longer meet the individual needs of automobile production. Therefore we designed a flexible automobile coating production control system based on RFID and fieldbus technology. This paper introduces the related functions of the automobile coating control system in detail, which

收稿日期: 2021-12-26。

基金项目: 秦皇岛市科技局资助项目(202005A010); 东北石油大学资助项目(50010101)。

作者简介: 赵宇驰(1980—), 男, 黑龙江双城人, 硕士, 副教授。通信联系人: 刘静(1978—), E-mail:125459615@qq.com

引用本文: 赵宇驰, 刘静. 汽车涂装控制系统设计概述[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2022, 34(3): 86-92.

mainly includes video monitoring system, body identification system, safety lamp system, production control system and production management system. The automobile coating control system has been put into operation in Tianjin for 3 years, and the control effect is good.

Key words: automobile painting; control system design; RFID; fieldbus

2020年1月13日,中国汽车工业协会发布了2020年汽车产销数据,汽车产销量分别为2 522.5万辆和2 531.1万辆,蝉联全球销量第一。近日,国家统计局发布了工业生产数据,2020年全国规模以上工业企业实现营业收入106.14万亿元,同比增长0.8%,实现利润总额64 516.1亿元,同比增长4.1%;其中,汽车制造业2020年营业收入为81 557.7亿元,同比增长3.4%,实现利润总额5 093.6亿元,同比增长4%。在统计表中,汽车制造业的营业收入仅次于“计算机、通信和其他电子设备制造业”,在41个行业中位居第二,国家统计局新闻发言人刘爱华表示:“汽车行业从长期来看,还会保持比较快的增长潜力”。汽车制造业已经成为国民新兴经济的基础产业之一,中国已经成为世界最大的汽车市场,也是竞争最激烈的市场,汽车制造业的工程技术人员应掌握核心技术,提高核心竞争力。

1 汽车制造工艺流程

汽车制造工厂有4个车间:冲压车间、焊装车间、涂装车间和总装车间,这些车间的基本功能如下。

1) 冲压车间:冲出组成车体框架的各个部分,包括机舱前地板(机舱和前地板合称机舱前地板)、后地板、左右侧围、顶盖和五门一盖(4个车门加后背箱门加上机舱盖)。

2) 焊装车间:把冲压车间中的零散部件焊接成车身,经过焊装后的车身一般叫做白车身,如图1所示。

3) 涂装车间:给白车身打胶、喷涂油漆。

4) 总装车间:把汽车各种各样的零件装配到车身上面,如发动机、座椅、轮胎等,经过这一步汽车的制造基本完成^[1]。

焊装车间和涂装车间是4个车间中自动化水平最高的2个车间,基本实现了全自动化,冲压、焊装、总装的工艺每个品牌都会有自己的特色,而涂装工艺却大体相同。



图1 白车身图

Fig.1 White body

2 汽车涂装工艺流程

汽车涂装的效果主要体现在漆膜的效果上。直接影响涂装质量的是涂料性能、涂装技术和涂装质量管理3个条件,涂装技术和涂装质量管理是发挥涂料性能的必要条件,漆膜的质量不仅取决于涂料本身的质量,更取决于涂装技术和涂装质量管理,正所谓“三分涂料,七分施工”^[2]。汽车涂装工艺流程如图2所示,可分为4部分。

1) 前处理部分

前处理系统可以满足铝合金、冷轧板、热镀锌和电镀锌车身的前处理要求,涂装前处理主要包括除油脂、除锈以及磷化3部分(括号内容表示的是处理方式):预脱脂1(洪流+喷+洪流)、预脱脂2(喷)、主脱脂3(洪流+浸+喷)、水洗1(喷)、水洗2(喷+浸+喷)、新鲜工业水喷淋、水洗3(喷+浸+喷,RO1)、新鲜RO1喷淋、薄膜(浸+喷)、新鲜RO2喷淋、水洗4(喷,RO2)、水洗5(喷+浸+喷,RO2)、水洗6(喷+浸+喷,RO2)、新鲜RO2喷淋和空槽沥水^[3]。

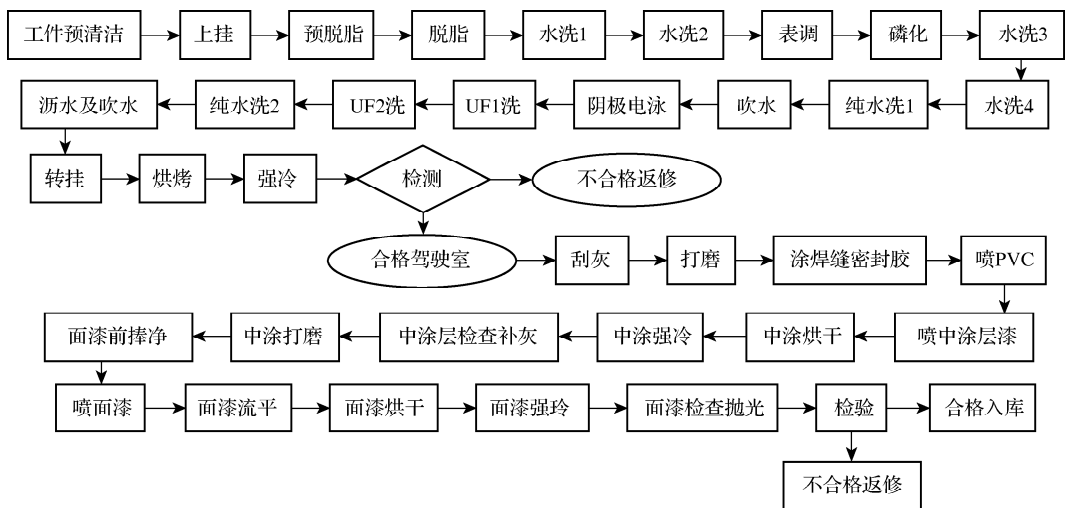


图 2 汽车涂装工艺流程图

Fig.2 Car painting process flow diagram

2) 电泳部分

电泳是一种特殊的涂漆方法,仅适用于电泳涂装专用的水性涂料(简称电泳涂料)。目前一般采用阴极电泳方式,将导电的白车身浸渍在电泳涂料槽中作为阴极,并在涂料槽中设置与其对应的阳极,两极间通以直流电,在白车身上析出均匀的涂膜,电泳的主要目的是为白车身涂装一层防锈涂料^[4]。大概分为如下阶段:电泳(浸+喷)、UF1(喷)、UF2(喷+浸+喷)、UF3(喷+浸+喷)、新鲜 UF 喷淋、水洗 1 (喷+浸+喷,RO2)、水洗 2(喷,RO2)、新鲜 RO2 喷淋、空槽沥水、压缩空气吹扫、沥水和电泳烘干。

3) PVC 密封部分

PVC 起密封作用,胶条焊缝密封(GAD)保证车身焊缝密封完整,不出现漏水,扇面底板密封(UBS)主要作用是防腐,UBS 要求覆盖整个底板,根据车身不同部分的防腐性能要求厚度不同,大概分为胶条焊缝密封(GAD)、扇面底板密封(UBC)和密封胶烘干 3 个阶段^[5]。

4) 喷涂部分

主要承担车身面漆喷涂任务,分为喷色漆、色漆烘干、喷清漆和清漆烘干 4 个阶段。

3 汽车涂装控制系统总体设计方案

设计一个净节拍为 30 辆/h 的涂装车间自动控制系统,涂装车间进行混线生产(生产 2 种车型),其中有 50% 的双色车。汽车涂装生产线是典型的多工种、多工艺、多物料的大规模生产过程,涂装车间共有 107 个工位,每个工位都拥有 1 个或多个电气控制柜完成本工位的控制功能,本控制系统拥有近 300 个电气控制柜,控制柜采用 PLC 作为主控设备,并根据需要选配触摸屏,控制柜示例如图 3 所示。

涂装车间控制系统内是一个规模宏大、设备繁多、控制复杂的自动控制系统,涂装车间的自动控制系统包含了大量的运动控制和过程控制。

白车身在机械运输过程中涉及大量地面链、悬



图 3 电泳干燥炉控制柜

Fig.3 Control cabinet for electrophoretic drying oven

链、运转车、转台和升降机等控制;汽车的打胶、喷涂过程由工业机器人完成,这是主要的运动控制部分。

在前处理、电泳过程中拥有大量的温度、液位、pH 的信息采集以及大量化工泵、清水泵、电动调节阀和电磁阀自动控制任务;在烘干房、喷涂车间环境需要大量温度、湿度和正压力的检测、控制任务;在“三废”处理的生产线上也有大量 pH、挥发性有机化合物(VOC)和重金属的检测任务以及大量的电动阀、电磁阀和计量泵等控制任务;还需设计各种纯水、超滤、反渗透、涂胶和输调漆的成套自动控制系统。

107 个工位、数十万个设备需要协调配合才能喷涂出质量优良的车身,这对控制系统设计提出了极高的要求,现场总线的分布式结构能够满足汽车涂装的控制要求,每个工位拥有一个或者多个电气控制柜,控制本工位的所有设备,控制柜安装在受控设备附近,控制机械化输送系统、前处理、电泳、密封、打磨、双色、面漆、检查抛光、点修补、注蜡和相关附属设备等,所有控制柜和中央控制室(CCR)采用工业以太网通讯^[6]。CCR 对涂装车间的所有设备进行实时监控及数据采集分析,涂装车间控制系统结构如图 4 所示。本控制系统按功能可分为两部分:一是涂装车间生产控制系统,包含了底层 IO、电气控制柜和 CCR;二是涂装车间生产管理系统,包含生产管理、物料管理、质量管理和设备管理 4 部分,二者相辅相成,为涂装出合格的车身,提高生产效率,降低企业成本提供了有利的保障。

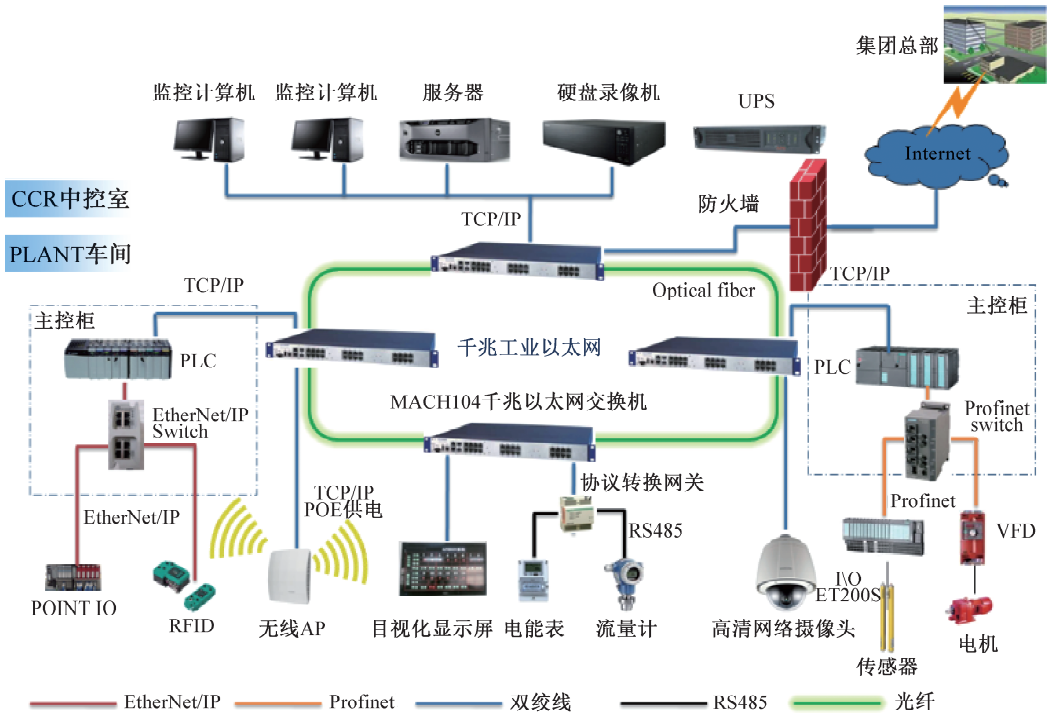


图 4 控制系统结构图

Fig.4 Control system diagram

4 涂装车间生产控制系统和生产管理系统主要功能

4.1 涂装车间生产控制系统主要功能

4.1.1 视频监控系统

涂装车间的生产控制系统在主要工艺段、危险位置能实现对设备及车辆的实时视频监控,监控主要包括以下区域:涂装入口、前处理入口/出口、电泳入口/出口、各烘炉出口、车间内所有滑橇更换点、自动内部密封、自动底盘密封、色漆内喷、色漆外喷、清漆内喷、清漆外喷、涂装完成点和涂装车间出口,共计

拥有摄像头近 50 个,特殊区域的视频监控系统可满足现场防爆、防水等的要求。视频监控主要有以下功能:① 生产线画面视频监控;② 在滑撬更换点拍摄车身信息,远程录入 RFID 信息;③ 在滑撬解锁、锁紧站进行滑撬锁紧状态对比,可调取视频画面进行人工对比和录入操作。

4.1.2 车身信息识别系统

随着人民对汽车个性化需求的发展,汽车的生产模式已经由生产者主导逐渐转变为由消费者主导,且车型更新换代越来越快。混线生产、双色喷涂、订单化生产、生产准备周期短、投放市场速度快,这些变化对汽车的从业者提出了更高的要求,汽车企业需要进行个性化生产、柔性化生产。要实现这个过程首先要知道被加工车身的信息(如车型、颜色),车身识别系统将通过控制系统采集每辆车所包含的生产信息,然后组织生产并进行产后管理,所以车身识别系统也是生产管理重要组成部分。

射频识别(RFID)是无线电技术在自动识别领域中的应用,它利用射频方式进行非接触双向通信,自动识别并交换数据,再通过现场总线可进一步实现对物体识别信息的采集、处理及远程传送等管理功能。射频识别技术利用无线电波来传送识别资料,因此可不受空间的限制,识别工作无须人工干预,适用于各种恶劣环境,快速进行物品追踪、资料交换、分类、统计、分析等工作^[7]。控制系统 RFID 读码器安装位置如图 5 所示,读码器功能见表 1。

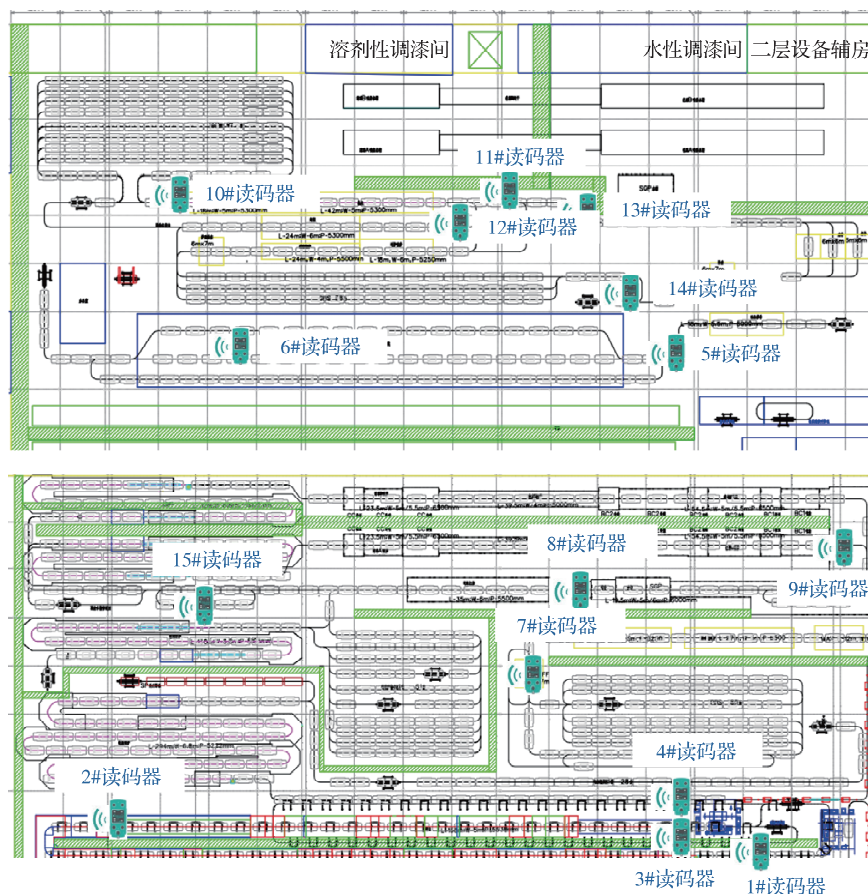


图 5 读码器位置图

Fig.5 Code reader position

4.1.3 安灯系统

安灯系统是指工厂分布于车间各处的声光报警系统以及收集生产线上相关设备信息的信息管理工具。安灯系统能够实现车间现场的目视管理:每个设备或工作站都配有呼叫灯,如果生产过程中出现问题,设备会自动将灯点亮(也可操作员手动)。汽车涂装生产线包括上百个工位,任何工位发生故障,操

作员就必须停止整条生产线,安灯系统可以使生产过程中的问题得到及时处理^[8]。控制系统的安灯系统布局在前处理线、电泳线、电泳打磨线、夹具线、密封胶线、面漆线、面漆检查精修线、面漆修补区、注蜡线、办公室和中控室中。

表 1 RFID 功能描述
Table 1 RFID function description

编号	工位	功能描述
1 #	投入	扫描 VIN 码,将 GALC 服务器中的车身信息存储在 RFID,将信息存储在 CCR 中
2 #	电泳	读取 PA-ON 车身信息,将车型信息发送给电泳整流器,与 CCR 中的信息校验
3 #	吊具转载	读取 ED-IN 的车身信息,在移栽完成后将车身信息写入台车,并将信息存储在 CCR
4 #	台车转载	读取 No. 3 读码器传来的数据,台车接受信息,作为首个工位传递信息
5 #	密封胶	读取车身的 MTOC(车型、车种、派生、颜色等)信息及 VIN 号,进行数据传递
6 #	UBC	扫描点读取 RFID 信息与 CCR 的信息校验,发送车型信息给机器人,校验
7 #	擦拭	扫描点读取 RFID 信息与 CCR 的信息校验,发送车型信息给机器人,校验
8 #	上涂	从输送设备获取车身 MTOC 信息及 VIN 号,记录到服务器,再传送至机器人
9 #	检查	读取输送车身数据记录于数据库,传送至 GALC,记录车身移动数据
10 #	GBS	接收车身信息,存储到服务器
11 #	返修	扫描点读取的 RFID 信息与 CCR 数据库的信息校验,并记录车身通过记录
12 #	PBS-IN	扫描点发送车型信息给输送设备行车身的排序,将信息存储在 CCR 并在电脑显示
13 #	交车	扫描点发送车型信息给 CCR 校验后发送信息给 ALC,ALC 回馈信息后到总装
14 #	电泳炉出口	区分电泳 A 炉或 B 炉出口的车,能够自动判断车身的去向
15 #	空台车返回	记录车身信息

4.1.4 生产监控系统

- 生产监控系统主要功能为：
- 1) 对所有的工艺参数进行实时监控,如前处理和电泳各槽内液体的温度、液位,喷漆室的温度、湿度和压力,电泳槽内的车身电压和电流,输调漆系统的参数,烘房温度等;
 - 2) 改变生产运行状态,可切换手动、自动和调试 3 种模式;
 - 3) 显示报警信息,如前处理、电泳槽温度异常报警,风机故障报警,泵、电机故障报警,输送线故障报警,传感器和开关故障报警,烘房温度异常报警,输调漆系统故障报警,机器人喷涂系统故障报警等;
 - 4) 完成 PLC 组网后,能满足接入工厂总控的需要,并能与厂区生产管理系统进行实时数据交换;
 - 5) 有查询和统计功能,如车身数量和车身位置等,所有报表(如生产报表和故障统计报表)和重要的工艺信息在本地保存至少 3 个月,并定期自动上传云端。

4.2 涂装车间生产管理系统主要功能

MES 是美国 AMR(Advanced Manufacturing Research)公司在 20 世纪 90 年代初提出的,意为“上层的计划管理系统和底层的工业控制之间的面向车间层的信息管理系统”。制造执行系统协会 MESA (Manufacturing Execution System Association)对 MES 所下的定义为: MES 能通过信息传递对从订单下达到产品完成的整个生产过程进行优化管理。当工厂发生实时事件时,MES 能对此及时做出反应、报告,并用当前的准确数据对它们进行指导和处理^[8]。

系统通过工业互联网构建设备、人、物料和信息系统的基础网络,实现对车间相关数据的感知、传输和实时分析,并形成科学决策和实现智能控制,能够为企业降低生产成本,提高生产效率,系统分为 4 大部分:

1) 物料管理系统

能够实现对汽车厂规模巨大的原材料的数量、质量和去向的管控,物料低于阈值时会提醒后勤系统对相关物料进行补给。

2) 能耗监控系统

对烘干炉、工艺空调、废气处理和暖通空调进行天然气流量监控,对前处理电泳、工艺空调、暖通空调和余热回收进行热水流量监控,对前处理电泳、温控系统、烘干房和喷房系统进行冷水系统流量监控,对工业水进行流量监控,对前处理电泳、喷房系统、烘干系统、机器人、废气处理系统、暖通系统和作业线照明系统进行电能监控,对全车件的压缩空气进行流量监控,对纯水进行流量监控,对高耗能的风机、电机、机器人、燃烧器、冷冻机、油漆循环泵、照明等单台设备进行能耗的监控,实现精细化在线监控,具备报表功能,可导出任意时段、任意设备的能源消耗报表,可按生产班次、日、周、月、年等导出能耗报表,可显示能耗的变化趋势,结合设备运行时序图进行分析,可计算单台能耗并与目标值对比^[9]。

3) 设备管理系统

采集设备的电压、电流、温度、声音、振动、转速等信息,存储至 CCR 和云服务器中,依据大数据分析形成报表、趋势图等,通过运行时间、电机转动轴温度、振动等信息预测电机故障时间,形成设备维护计划,根据大数据分析结果实时更新,给出维护建议,包括维护内容、维护方法、维护周期等,并支持导出维护工单,可在线确认维护效果,具备维护查询及定时提醒功能。

4) 质量监控、追溯系统

在每条线的末端设立一个人工质量录入系统,对车辆状况进行录入,可以根据车辆信息,查询到过线设备信息,所有设备的信息和工艺参数可根据需要自动保存到系统;所有数据具备自动备份及上传云端功能,具备故障信息分析功能。

5 结 论

随着射频识别技术和现场总线技术的发展,工业控制网络化和识别自动化已经成为工业控制的发展趋势。文章设计了基于 RFID 和现场总线技术的汽车涂装控制系统,且已在天津工厂投入运行 3 a,客户整体反馈良好。汽车行业已经从批量生产过渡到客户订制的生产模式,愈发注重生产的质量控制和管理,文章汽车涂装自动控制系统具有较好的推广和借鉴价值。

参考文献:

- [1]王锡春.最新汽车涂装技术[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [2]覃漓丽.汽车车身涂装工艺及其质量控制[J].化工管理,2018(32):75-76.
- [3]臧昶.天津一汽夏利涂装前处理及电泳工艺管理[D].长春:吉林大学,2009.
- [4]袁汉平.ED-5 阴极电泳漆的应用和工艺管理[J].汽车工艺与材料,2004(3):29-31.
- [5]孙亦炯,高水彬.机器视觉系统在车底密封涂胶机器人中的应用[J].现代涂料与涂装,2014,17(12):6-8.
- [6]武雷民.汽车涂装网络控制系统设计与关键技术研究[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [7]王海鹏.汽车涂装生产线车身识别系统的研究与开发[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [8]张慧敏.江铃按灯系统的研究与应用[D].南京:南京理工大学,2007.
- [9]彭振云,高毅,唐昭琳.MES 基础与应用[M].北京:机械工业出版社,2019:207-215.
- [10]叶永伟,江叶峰,陈贵,等.涂装车间烘房系统能耗研究[J].机械制造,2010,48(2):59-62.

(责任编辑:李艳,周安迪)