

车身喷涂车间的 MES 系统分析与设计

伊永祺,潘松峰,赵相博

(青岛大学 自动化学院,山东 青岛 266071)

摘要:针对汽车生产的喷涂车间存在的各种问题,结合 MES 系统的运行特点,分析喷涂车间的系统需求,阐述喷涂的工艺流程和业务流程。从体系架构、功能模块组成和其他软硬件的集成进行分析。从数据传输、现场监控和生产调度 3 个方面对系统关键技术进行设计,该系统有效地解决了车间生产和管理方面的问题,提高了车身喷涂作业效率。

关键词:汽车;喷涂车间;MES;OPC 技术;RFID 技术;现场监控

中图分类号:TP29 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)02-0148-03

Analysis and Design of MES System in Body Painting Workshop

YI Yongqi, PAN Songfeng, ZHAO Xiangbo

(School of Mechanical Automation, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: To address the problems existing in the current spray workshop of automobile production, the system requirements of the spray shop, by combining the operating characteristics of the MES system, were analyzed with the elaborations of spraying and business processes. Spray MES was studied in the fields of architecture, functional module composition and integration with other software and hardware. The key technologies of the system were designed in the aspects of data transmission, field monitoring and production scheduling. The system proves to be effective in solving production and management problems and efficient in body spray operation.

Keywords: automobile; spraying workshop; MES; OPC technology; RFID technology; on-site monitoring

0 引言

随着我国汽车工业的不断发展,汽车生产规模越来越大,只进行单一车型生产的传统涂装生产线已不能满足生产要求。各汽车厂为了缩短产品制造周期,提高涂装质量及生产效率,降低生产成本,都开始对传统生产线改造升级^[1]。涂装作为整车生产工序(冲压、焊装、涂装和总装)之一,质量影响因素包括:喷涂材料、喷涂工艺、喷涂设备等,所以涂装是汽车生产过程中较为复杂的一个生产环节,作为汽车制造第一印象,主要起到保护作用 and 装饰作用^[2]。

针对当前汽车喷涂车间存在的问题,分析设计了基于汽车喷涂的制造执行系统。MES 系统采用分布式实时数据库结构,模块化编程方法设计而成,将 OPC 技术、Web 网络技术、RFID 识别技术、PMON 通信接口技术等相结合^[3]。射频识别(RFID)具有自动和准确的对象数据捕获功能,因此,如果与制造执行系统(MES)结合使用,可以实现车间执行过程的实时可见性和可控性^[4]。

首先对车身的喷涂流程进行分析与设计,然后分析喷涂 MES 系统的总体架构和功能模块。最后研究相关关键技术,分别从 MES 系统如何与现场设备实现集成,如何对生产现场实时情况进行数据采集,怎样实现车间现场的透明化以及如何对现场进行生产调度等进行研究。

1 喷涂车身的流程分析与设计

1.1 系统需求

1) 车身喷涂各单元生产过程不透明。系统应及时、准确采集生产现场过程数据,包括物料消耗、批次、设备状态、质量数据、班组人员^[5]。

2) 喷涂车间的各单元数据传输与共享困难。由于各单元不同设备的接口之间不兼容、不匹配,导致数据传输困难。

3) 柔性差。喷涂车间的车身车型种类多样,喷涂工艺要求复杂多变,这要求制造执行系统无论在硬件平台搭建还是软件架构设计上都应具有良好的可扩展性^[6]。

1.2 汽车喷涂主要工艺流程

车身喷涂车间是汽车生产的重要环节,也是现代汽车维修部门的主要工作内容。汽车涂装可以使车身呈现出不同的视觉效果,并且起到保护车身的基本作用。车身喷涂流程如图 1 所示。工艺流程主要包括前处理、电泳、PVC 密封、中涂线、面漆和质量检查等环节。

1.3 车身喷涂业务流程分析设计

白车身从焊接单元到喷涂单元,需要一定的计划和排产调度,从而生成生产计划,下达到喷涂单元的每个具体

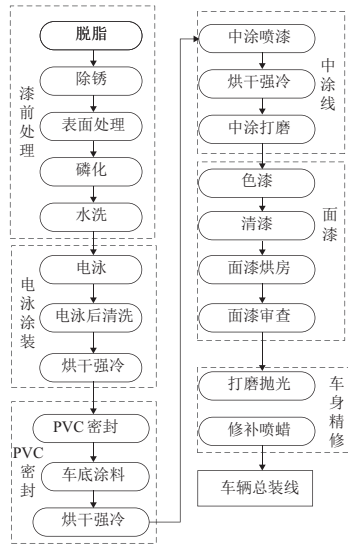


图1 车身喷涂工艺流程

的生产单元,车间生产信息通过条形码传达到相应的数据库。具体流程如图2所示。

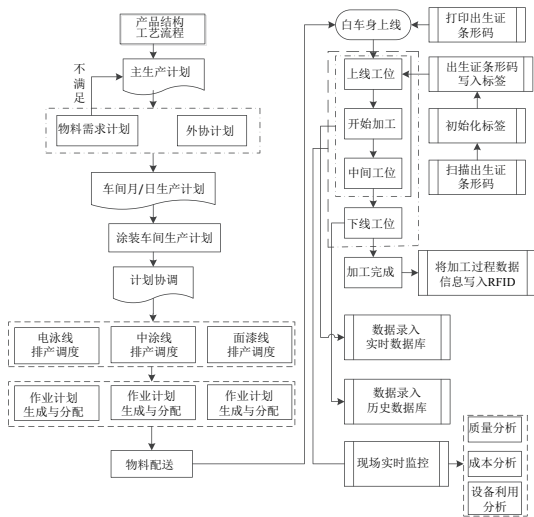


图2 喷涂业务架构流程

2 车身喷涂 MES 的设计

2.1 车身喷涂 MES 的体系架构

车身喷涂 MES 系统采用浏览器-服务器模式(B/S),它是由浏览器、Web 服务器以及数据库组成的三层架构模式,以.NET 为开发平台。这种架构模式是采用浏览器发出 Http 请求,Web Server 对用户身份进行认证,接受浏览器的请求,执行相关程序并与数据库进行数据交互^[7]。

2.2 喷涂 MES 的功能模块设计

车身喷涂 MES 系统的功能是设计工艺流程、实时采集和传输数据以及对数据进行统计与分析,并对现场实时情况进行监控。将 MES 系统功能分为基础资料模块、计划调度管理模块、生产管理模块、现场监控模块、质量管理模块、设备管理模块、统计分析模块。如图3所示。

1)基础资料模块存储着当前车间设备的使用情况、人员的流动情况和仓储情况等数据。计划调度可以根据此模块来进行设计。

2)计划调度管理是喷涂车间排产调度的中心环节。其中包含产品资料、生产计划、加工单三个子模块。支持多订单下单,可对已派工单进行撤销、暂停等操作。

3)生产管理模块,实时跟踪喷涂车间的生产进度和生产情况,当有突发事件发生时能够及时报警并做出相应补救措施。

4)现场监控模块是对现场车身喷涂状况和设备使用情况进行监控,并通过车间触摸屏和上位机进行显示。

5)设备管理模块是对现场的喷涂机器人、滑撬等现场设备进行的管理,保证设备的正常使用和车间的生产效率。

6)质量管理模块。主要包括生产过程中的质量监控模块和生产结束后的报表分析,实现对生产中的故障监控和分析^[8]。该模块分为过程质量缺陷、产品质量档案、SPC(统计过程控制)。

7)统计分析模块。主要是对车间生产过程信息进行综合处理,包括对车间设备利用率分析、计划完成率统计、产品合格率统计等方面^[9]。包括喷涂车身质量分析和 OEE(设备综合效率)分析。OEE 分析是在生产过程中对设备的状态、可用率、表现性、良品率进行分析计算,最后得出设备的 OEE 结果。

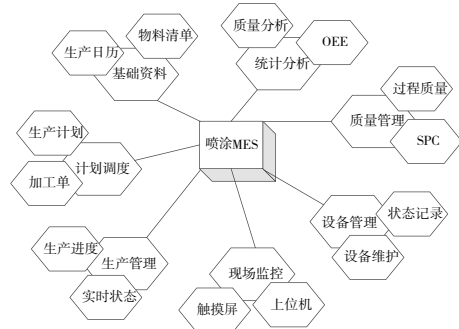


图3 MES 功能模块图

2.3 车身喷涂 MES 软硬件集成

车间喷涂 MES 系统是一个软件系统与硬件系统深度融合的生产管理系统。现对总体业务进行分析,如图4所示。MES 系统从现场采集的数据经过处理分析形成质量报表、设备报表等,并且与上层的 ERP 系统进行交互。经过处理的数据信息经由现场触摸屏和上位机进行显示。现场运行状态由 MES 监控中心实时监控。

3 车身喷涂 MES 设计的关键技术

3.1 喷涂车间数据传输与采集

系统应用 OPC 技术,通过建立有效的数据交互接口来解决现场设备控制层与 MES 系统层之间的通信问题。数据采集与现场设备以 SIMATIC.NET 为媒介,完成 OPC 服务器的配置,通过 OPC 客户端实现对现场生产数据的实时采集。

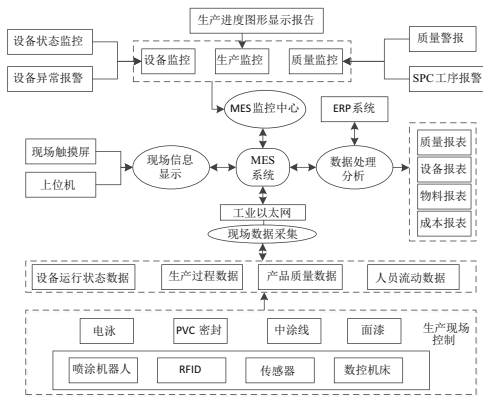


图4 喷涂车间 MES 集成架构

如图5所示,数据传输系统包括四大部分,分别是过程控制层、数据采集层、Web 服务器层和客户端层。采用 Socket 技术,实现异构环境下数据采集终端和 Web 服务器之间的数据通信;采用 WebSocket 技术,实现 Web 服务器与浏览器之间数据的即时通信。

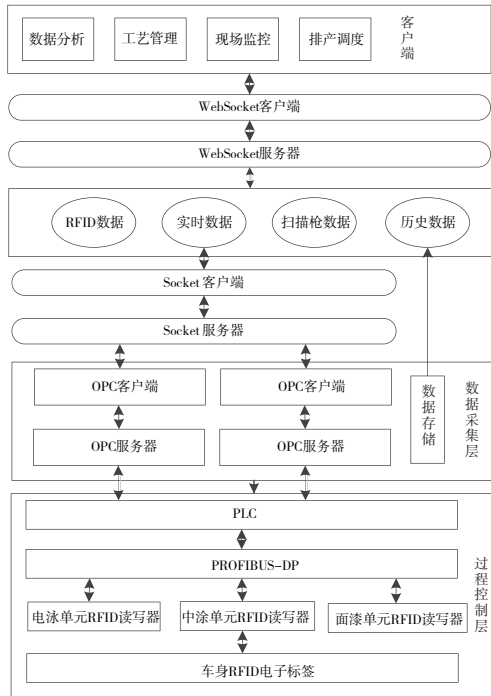


图5 数据传输架构图

喷涂车间数据的采集主要依靠 RFID,相对于以前的条形码数据采集方式,RFID 具有耐高温、耐腐蚀和存储信息量大等优点。

RFID 标签中储存有 VIN 码(车辆识别码)、车型数据、颜色代码等各种数据信息^[10]。当运载车身的滑撬到达指定站点时,读写器向电子标签读写信息,然后把数据传输给 PLC 控制器。RFID 电子标签与主站 PLC 之间通过 MODBUS 协议进行通信和数据交互。

3.2 车身喷涂监控系统

车身喷涂车间的监控系统发挥着非常重要作用,能够实时查看生产车间的生产状况。车间是用触摸屏监控系统,

远距离是用上位机监控系统。

触摸屏作为一种人机界面,使用在电泳、PVC、中涂和面漆等喷涂单元的各个生产线。实时显示每个生产单元的实时数据和突发的故障情况。工作人员可以通过触摸屏实时查看各个工序的实时状态。当发生故障时可以借助触摸屏对设备进行控制,从而及时排除故障。

喷涂车间上位机用来显示整个喷涂生产车间的生产情况,工作人员在中控室可以查看现场生产状况。汽车喷涂车间上位机监控系统有多种监控系统。其中工艺设备监控系统包含电泳、中涂和面漆等多种工艺,现主要对界面进行设计。面漆界面结构如图6所示。

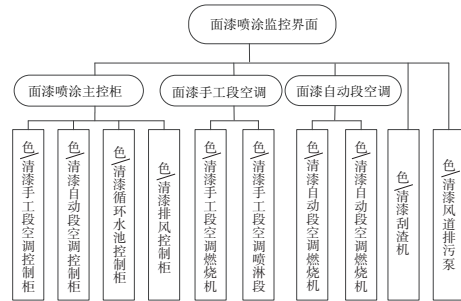


图6 面漆界面结构图

3.3 生产调度的建模与算法选择

假设有 M 种车身,每种车身有 N 道喷涂工序,一共有 K 个加工设备。由于相同的喷涂工序可以由不同的喷涂设备对车身进行喷涂,所以每种喷涂任务可以有多种选择,而每种选择的加工时间和成本消耗是不同的,每个加工设备对同一生产工序的加工时间和成本消耗也是不同的,所以需要通过生产调度建模与算法来达到生产时间最短或成本消耗最少。

首先根据喷涂车间的生产状况,建立一个符合车间生产调度的数学模型。其中加工任务 $i \in m = \{1, 2, \dots, m\}$, 生产工序 $j \in n = \{1, 2, \dots, n\}$, 设备 $p \in k = \{1, 2, \dots, k\}$ 。引入变量 x_{ij}^p ; $x_{ij}^p = \begin{cases} 1, & 1 \text{ 表示加工任务 } i \text{ 的第 } j \text{ 道生产工序在设备 } p \text{ 上加工,} \\ 0, & 0 \text{ 表示不在设备 } k \text{ 上执行。} \end{cases}$ 设 q_{ij} 为加工任务 i 的第 j 道生产工序, t_{ij}^p 为加工任务 i 的第 j 道工序在设备 p 上执行所需要的时间, ct_{ij}^p 是 q_{ij} 在设备 k 上开始加工的时间, o^p 是设备 p 的单位加工时间所需要的成本。生产调度过程中的优化目标是设备加工工序的最长加工时间最短、每台设备最大负载最小、全部设备最大负载最小、生产线车间加工成本最小^[11]。

设备加工工序的最长加工时间最短函数为:

$$f_1 = \max(ct_{ij}^p + \sum_{p=1}^k x_{ij}^p t_{ij}^p)$$

每台设备最大负载最小函数为:

$$f_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^p t_{ij}^p$$

全部设备最大负载最小函数为:

$$f_3 = \sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^p t_{ij}^p$$

(下转第 162 页)

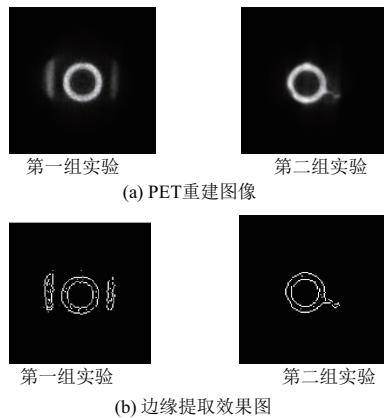


图9 实验效果图

地反映出被测件的轮廓信息。图10(b)能清晰地显示出设计模型的膨胀与裂纹缺陷,尽管边缘图像会在被测物内部产生部分误判亮点,但是并不影响图像边缘的整体提取效果。这表明在FPGA上能很好地实现图像边缘检测操作,提取出的图像边缘符合检测要求。经多组重复实验可知,在FPGA上对单张重建图像进行预处理所需的平均时间为 $276\mu\text{s}$,与仿真结果基本一致。边缘检测算法在CPU上的执行时间由MATLAB给出,对两组实验图像进行了10次重复实验,得到平均执行时间为 0.19s ,因此在FPGA上可实现对边缘检测算法700倍的加速。

4 结语

本文在FPGA上设计了一种基于中值滤波的多方向

Sobel边缘检测算法,实现了对PET图像边缘的快速提取,在得到清晰图像边缘信息的同时,可在 $276\mu\text{s}$ 内完成对图像边缘的提取,相比于同等价位CPU提升了上百倍的算法执行速度。

参考文献:

- [1] KURIMOTO Y, NAKAMURA K. Development and applications of a multi-purpose digital controller with a system-on-chip FPGA for accelerators[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2016, 840: 160-167.
- [2] 杨康,卫敏,孙磊.基于FPGA的自适应阈值边缘检测系统设计[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(12): 96-99.
- [3] CHEN P Y, KUO Y T, LIN S H, et al. Live demonstration: hardware defogging method for real-time applications [C]//2018 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Florence, Italy: IEEE, 2018: 1.
- [4] HERNÁNDEZ EXPÓSITO D, COBOS CARRASCOSA J P, RAMOS MAS J L, et al. Image compression on reconfigurable FPGA for the SO/PHI space instrument[C]//SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation. Austin, Texas, USA: Proc SPIE 10707, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy V, 2018: 10707.
- [5] 王拯洲,王伟,王维,等.基于多尺度自适应梯度的图像边缘检测方法[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(7): 2442-2446.
- [6] 吕彦斌. 图像边缘检测及模式识别技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [7] 石桂名,魏庆涛,孟繁盛. 基于Canny算子的图像边缘检测算法[J]. 现代电子技术, 2015, 38(12): 92-93, 97.

收稿日期: 2020-01-13

(上接第150页)

车间加工成本最小函数为:

$$f_4 = \sum_{p=1}^k \left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^p t_{ij}^p \right) o^p \right]$$

针对该离散车间生产,排产功能实质是一个并行柔性作业的车间问题。对此类问题的求解,遗传算法(GA)是一种研究较多的、具有通用性、易于通过程序实现的方法^[12]。本文以遗传算法为主体算法框架结合其他算法的混合算法来解决车间排产调度问题。通过建模和遗传算法的选择和应用,能够更好地解决喷涂车间生产调度问题。

4 结语

文中针对当前车身喷涂车间存在的一些生产管理问题,设计了喷涂车间MES系统。对喷涂车间进行工艺分析和业务流程设计,而后从体系架构、功能模块和与其他软硬件系统的集成设计了喷涂MES系统。重点对喷涂车间相应关键技术进行论述。该系统应用于汽车喷涂车间,有效地解决了车间生产和管理方面的问题,提高了车身喷涂作业效率。对车身喷涂MES系统的进一步研究有着一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 尹志勇. 汽车涂装生产线的柔性化关键技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.

- [2] 郭义荣. 乘用车柔性涂装生产线的智能控制技术研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.
- [3] 王小维. 汽车工厂MES系统设计和实现[D]. 上海: 华东理工大学, 2016.
- [4] WANG M L, QU T, ZHONG R Y, et al. A radio frequency identification enabled real time manufacturing execution system for one of a kind production manufacturing: a case study in mould industry [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2012, 25(1): 20-34.
- [5] 许涛,黄辉先,李康. 基于工业现场数据的制造执行系统应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(10): 132-136.
- [6] 马天明,蒋庆,毛翎,等. 面向离散制造业的制造执行系统的设计与实现[J]. 制造业自动化, 2016, 38(8): 77-81.
- [7] 张贵军,陈凯,徐建明,等. MES实时数据监测系统设计与开发[J]. 浙江工业大学学报, 2017, 45(4): 401-408.
- [8] 程浩,袁红兵. 基于智慧工厂实验平台的制造执行系统(MES)软件系统设计[J]. 制造业自动化, 2017, 39(7): 142-146.
- [9] 陈轩,孔建寿,彭忆炎. 面向数字化车间的SCADA系统设计开发[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(4): 109-112.
- [10] 钟辉. 无线射频识别在整车生产制造执行系统中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [11] 潘颖. 离散制造业MES系统建模与调度研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [12] 王露. 制造执行系统中数据挖掘关键技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2017.

收稿日期: 2020-01-22