

计算机应用

基于MES+信息化管理系统的钣金加工数字化车间建设

张涛, 资明庚, 蒋鑫强, 邓智平

(珠海格力电器股份有限公司, 广东 珠海 519070)

摘要: 针对离散型钣金车间生产过程中物料流转频繁、信息流通不及时、人员孤岛作业、上层系统与基层设备交互困难等问题, 设计开发了钣金加工车间MES+信息化管理系统, 通过对人员上岗信息、订单数据、工艺图档信息、线体机台状态、物流运输信息、生产管理决策、实时数据采集与设备控制等进行数字化集成, 实现了对钣金加工车间的产能分析、计划调度、作业管理、工艺流转、质量管理等车间生产资源的数字化管理呈现, 改善了车间生产过程中各项资源的组织和管理, 实现了各类资源的优化配置, 降低了生产成本, 提高了实现企业的运营效益。为MES+信息化管理系统在钣金加工数字化车间建设中的应用提供了思路。

关键词: 钣金加工; MES+信息化管理系统; 融合应用; 数字化车间; 数字化集成

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.04.032

中图分类号: TH181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2024) 04-0242-07

Construction of digital workshop for sheet metal processing based on MES+ information management system

Zhang Tao, Zi Minggeng, Jiang Xinqiang, Deng Zhiping

(Gree Electric Appliances, Inc. of Zhuhai, Zhuhai 519070, China)

Abstract: For the problems of frequent material flow, untimely information flow, isolated operation of personnel and difficulty in interaction between upper system and grass-roots equipment in the production process of discrete sheet metal workshop, the MES+information management system of sheet metal processing workshop was designed and developed. Through the digital integration of personnel on-the-job information, order data, process drawing information, line machine status, logistics and transportation information, production management decision-making, real-time data acquisition and equipment control, the digital management of workshop production resources such as capacity analysis, planning and scheduling, operation management, process flow, quality management and so on of sheet metal processing workshop were realized. So the organization and management of various resources in the production process of workshop was improved, the optimal allocation of various resources was realized, the production costs were reduced, and the operational efficiency of the enterprise was improved. Ideas for the application of MES+ information management system in the construction of sheet metal processing digital workshop are provided.

Key words: sheet metal processing; MES+information management system; fusion application; digital workshop; digital integration

随着市场需求的不断更新发展, 客户越来越倾向于高质量、定制化、多样化及快速交付的订单交付模式, 这就要求制造业企业的生产交付标准更高, 高效稳定、柔性化生产的优势更加突显。以商用钣金加工生产为例, 其离散型的生产模式容易形成孤岛作业, 信息无法得到及时流通, 不能有效地帮助管理者快速决策, 生产过程中各种浪费层出不穷, 产品质量得不到稳定、有效的保障, 对于企业的发

展极为不利。近年来, 随着钣金加工行业对制造企业生产过程执行系统 (Manufacturing Execution System, MES) 的研究不断深入, 越来越多的企业引入MES系统作为生产管理的重要工具, 而数字化生产车间的构建更是离不开MES的应用。

车间数字化过程是一个系统化建设项目的全过程, 各业务环节、资源要素环节复杂, 涉及到作业现场、设备管理、数据采集和控制、质量控制、过程管理和输入输出等多个业务环节, 并且受管理者的思维认知与管理方式的影响^[1]。因此, 车间数字化建设需要用到工程学的思维, 对整体目标进行细化分解, 转化为具体的实施计划, 对车间系统层级和数字化实现过程分解, 将固定重复的业务部分尽

收稿日期: 2023-08-18; 修订日期: 2023-11-28

作者简介: 张涛 (1987-), 男, 学士, 工程师

E-mail: zt472762998@126.com

通信作者: 资明庚 (1997-), 男, 学士, 工程师

E-mail: 2587199398@qq.com

可能标准化，将更多的资源投入到柔性组织与创新发展中。

在数字化车间建设中，应用先进技术和制造技术的交叉集成，如数字化表示、信息传输和自动化操作，实现计划、生产、检验、物流等重要环节，以完善和简化高效制造工艺的应用模式^[2]。

数字化车间的基础和核心是标准化建设、信息化管理和自动化设备。通过 MES、企业资源计划系统（Enterprise Resource Planning, ERP）、仓库管理

系统（Warehouse Management System, WMS）、产品数据管理系统（Product Data Management, PDM）、计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）和自动化设备的互联互通，实现高效协同生产。为进一步打造商用钣金生产数字化车间、减少生产管理过程中人员的投入、提高各类异常响应的解决效率，需结合生产实际进一步开发符合商用钣金特点的 MES+信息化管理系统，基于 MES+信息化管理系统的钣金加工数字化车间组织架构如图 1 所示。

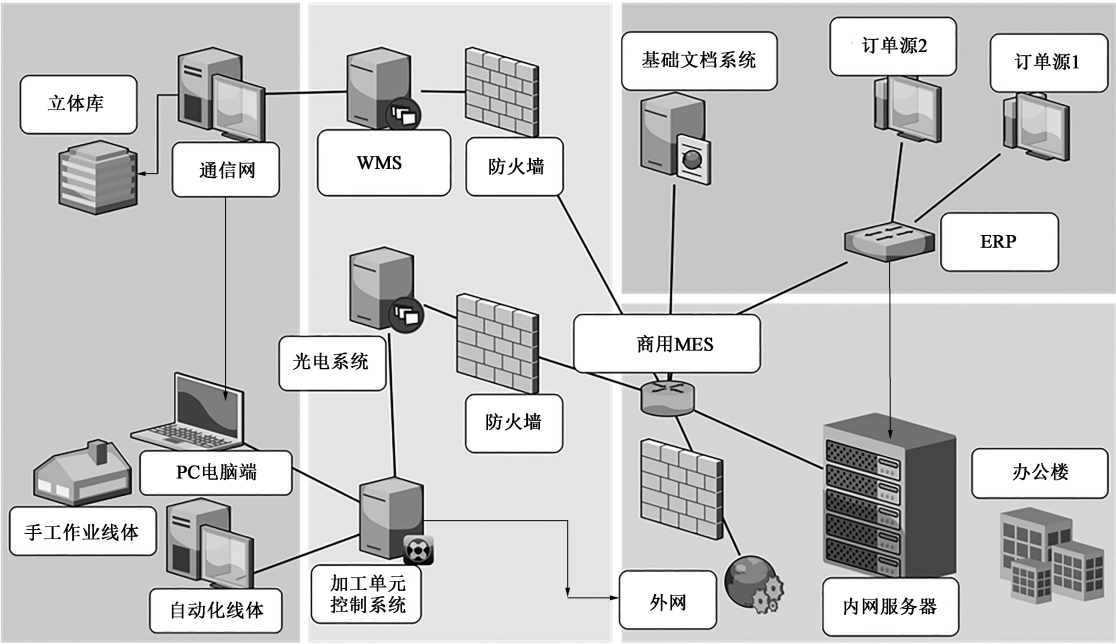


图 1 基于 MES+信息化管理系统的钣金加工数字化车间组织架构
Fig. 1 Organization structure of digital workshop for sheet metal processing based on MES+ information management system

1 数字化钣金生产车间的构建

数字化钣金生产车间的建设基于钣金 MES+信息化管理系统，通过产能分析、车间作业管理、车间管理看板、信息定向推送等功能，帮助管理者实现对自动线体、自动加工中心、手动设备群、物流转运等的指挥决策，并在首页集中展示车间产出工时的数据，以方便生产效率的统筹管理，MES+信息化管理系统数字化车间管理架构如图 2 所示。车间生产任务下达后，车间生产人员、物流人员、质检人员按系统生产计划执行任务，有条不紊地开展加工制造活动，并逐步进行自主自发式的作业，从而实现车间的高效运作^[3]。

1.1 MES+信息化管理系统功能设计

钣金 MES+信息管理系统的执行层包括生产流程管理、实时仓库管理、车间作业、设备管理、绩

效管理和质量管理 6 大功能模块，保证了整个生产系统高效有序的运行。

文献 [4] 中阐述的 MES 的基本组成和重要功能，对钣金加工单元 MES+信息化管理系统的设计有重要参考作用。MES+信息化管理系统的数据库由历史基础文件数据库和动态实时更新数据库两部分组成，为订单生产处理过程中相关的数据信息提供临时可靠的存储空间，可以在设定的时间段内自动完成重要历史数据的备份、清理、恢复，以及动态实时数据调用。系统的运行环境与上层的相关信息系统和下层相应的设备操作系统相结合，确保系统能够充当上下级信息孤岛之间的桥梁，能够实时自动接收、分析和传输上下级系统所需的信息^[4]。

系统管理操作功能主要应用于用户信息及用户相关操作记录的查询和更新；进度管理功能用于生产订单各项零部件在加工过程中的进度监控；设备

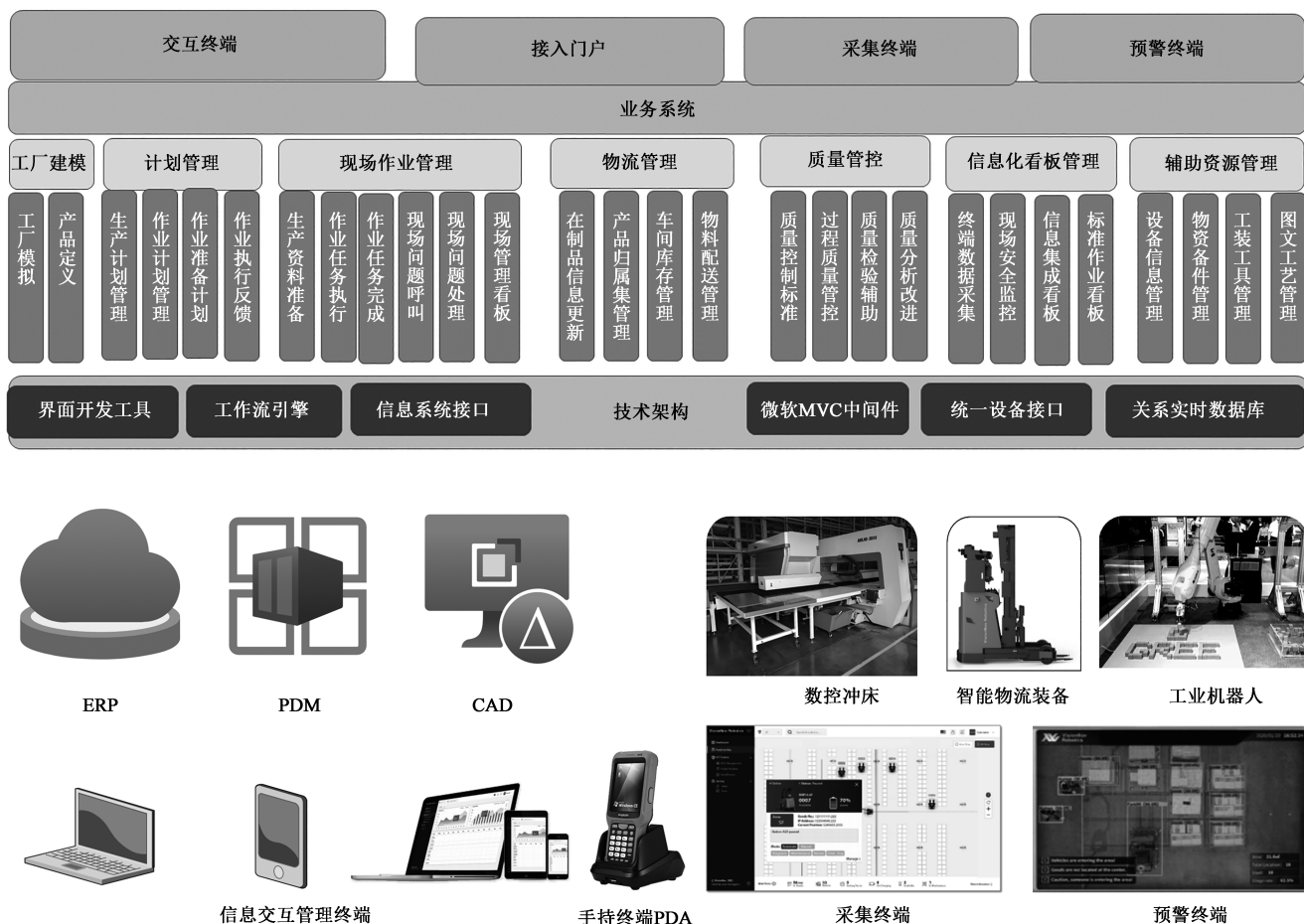


图 2 MES+信息化管理系统数字化车间管理架构

Fig. 2 Management architecture of MES+ information management system digital workshop

管理功能主要实现设备层的生产任务分配及自动化运行控制和对应的能耗状态监控；库存管理功能则用于监管仓库控制系统（Warehouse Control System, WCS）的运行状态；质量管理功能用于收集、对比以及分析各零部件的质量检验数据，并自动将各项数据关联到对应的生产作业计划，在一定程度上实现了自主决策。

1.2 MES+信息化管理系统的开发

钣金 MES+信息化管理系统采用目前行业内主流的信息化管理系统开发平台 Microsoft Visual Studio 进行主体开发，结合已有制造业 MES 相关插件进行架构辅助，以提高整体开发效率，通过 SQL Sever 数据库进行更新存储，同时采用网络服务器进行备份，保障系统的稳定优化及迭代。MES 的体系架构根据用户需求控制载体的不同，可分为 C/S、B/S 架构及两者混合架构^[4]，混合架构中 C/S 架构与 B/S 架构可以分别控制，且此种架构的组合方式对应的系统升级、更新会更加方便，因此，钣金 MES+信息化管理系统采用 C/S、B/S 混合体系架构。

系统数据量最大也是最复杂的部分为计划排程部分，其涉及到物料的齐套、图文齐套、加工程序齐套、人员资源配置、设备资源配置、物料工序流、瓶颈工序、车间整体产能工时、各类异常处理级别等多个维度。在保障客户需求顺序的同时，为实现车间生产资源的最优利用，本系统订单的计划排程对应的编程逻辑采用了应用广泛的约束理论（Theory of Constraints, TOC），TOC 解释了瓶颈因素是制约订单生产进度的关键，瓶颈过程的生产节奏可以决定整个系统的生产安排，并对异常情况进行特殊排程处理^[4]。

翟颖妮等^[5]对 TOC 的大规模作业车间调度问题进行了研究，并验证了 TOC 对于车间作业管理的有效性及其可行性^[6]。徐海等^[7]就智能工厂集成方法进行了相关研究，提出了生产资源的集中管理相关理论，这对钣金加工数字化车间的 MES+信息化管理系统的功能细化提供了思路。结合以上学者的研究理论依据，钣金加工数字化车间的 MES+信息化管理系统对瓶颈前后工序分别采用精益推

拉式生产方式安排各订单生产，以生产瓶颈作为约束条件，调动资源进行最佳的生产排程，为保障整个车间的生产高效运行打下坚实的任务基础。

2 钣金生产车间数字化管理应用

2.1 产能数字化分析

车间产能状况是在规定期限内保障生产交付的基础保障，而车间产能涉及到人员、设备、物料、工装、运力、仓储等多个维度的资源综合配置，订单提前期、系统能力约束、相关资源配置等各种随机出现的干扰情况，会导致整体计划的排程调整变得更加频繁^[8]，因此，实际生产过程中想要统筹评

估好整个车间的产能，并发挥出资源的最大效益，钣金通常作为企业生产加工的最后一道工序，缓冲周期较短，加工过程变化较大，对管理者准确判断资源的可靠性的水平要求极高^[9]。而 MES+信息化管理系统的产能分析功能主要是基于对异常资源的数字化管控，对可能影响订单齐套的因素进行分析预判，并将设备异常、人员出勤异常、工装运力异常等部分转换成生产工时，结合历史累计数据对异常资源影响的工时进行平衡扣减，从而推算出车间的实际产能状况，为计划排程优化调整提供基础数据支撑，MES+信息化管理系统的产能齐套数据管理界面如图 3 所示，是产能分析的重要依据。



图 3 MES+信息化管理系统产能齐套数据管理界面

Fig. 3 Production capacity data management interface of MES+ information management system

原材料、工装运力等的异常也同样如以上模型异常处理过程。所有真实和可能影响产能的异常资源，MES+信息化管理系统均将其汇总为产能损失比例，管理者点击产能损失比例图，展开后可得到具体的损失原因，管理者对异常作进一步分析，标记原本可挽回损失的数据，并补充解决方案，系统对关键数据进行储存，后续类似异常将推送至具体的责任人，以便快速解决问题，恢复车间产能。

2.2 车间作业数字化管理

钣金加工数字化车间的 MES+信息化管理系统通过特定的信息接口在企业 ERP 系统获取订单数据，并且自动生成钣金加工订单排程，钣金加工车间所在的订单执行层接到对应的生产任务，生产任务则需要系统车间作业功能以完成报工生产^[10]。车间作业涉及到手工设备群生产与自动线生产，由于手动设备群的加工受人员操作的影响，因此，MES+信息化管理系统对于手动设备群的作业数字化管理也区别于对自动线体的管理^[11]。

2.2.1 手工设备群作业管理

在接到系统分配的生产任务后，手动设备组对应的操作人员应首先检查属于订单的原材料是否已送到岗位，然后根据系统编程信息完成相应模具的调整更换和零件程序图的验证。在替换并确认全套订单信息后，操作人员应按照系统显示的加工调度指令操作，手动操作设备加工钣金件。系统作业管理模块对各工序已在系统维护的设备群进行集成状态管理，手工折弯设备集成产出状态看板如图 4 所示。操作人员按照订单对应的零件编号在系统操作报工，手动加工完成的首件零件的质检需求则自动推送至辖区质检员，质检员直接点击零件编号，系统自动跳转至产品生命周期管理（Product Lifecycle Management，PLM）系统对应的图文信息和质量管理体系（Quality Management System，QMS）对应的质量标准信息，便捷式完成零件的首次检验。检验合格的零件编号则在系统突出显示，设备操作员可继续生产；检验不合格则将质量异常数据上传至系统质量异常信息库，由系统对照历史质量数据库，找到异常原因，若系统未记录

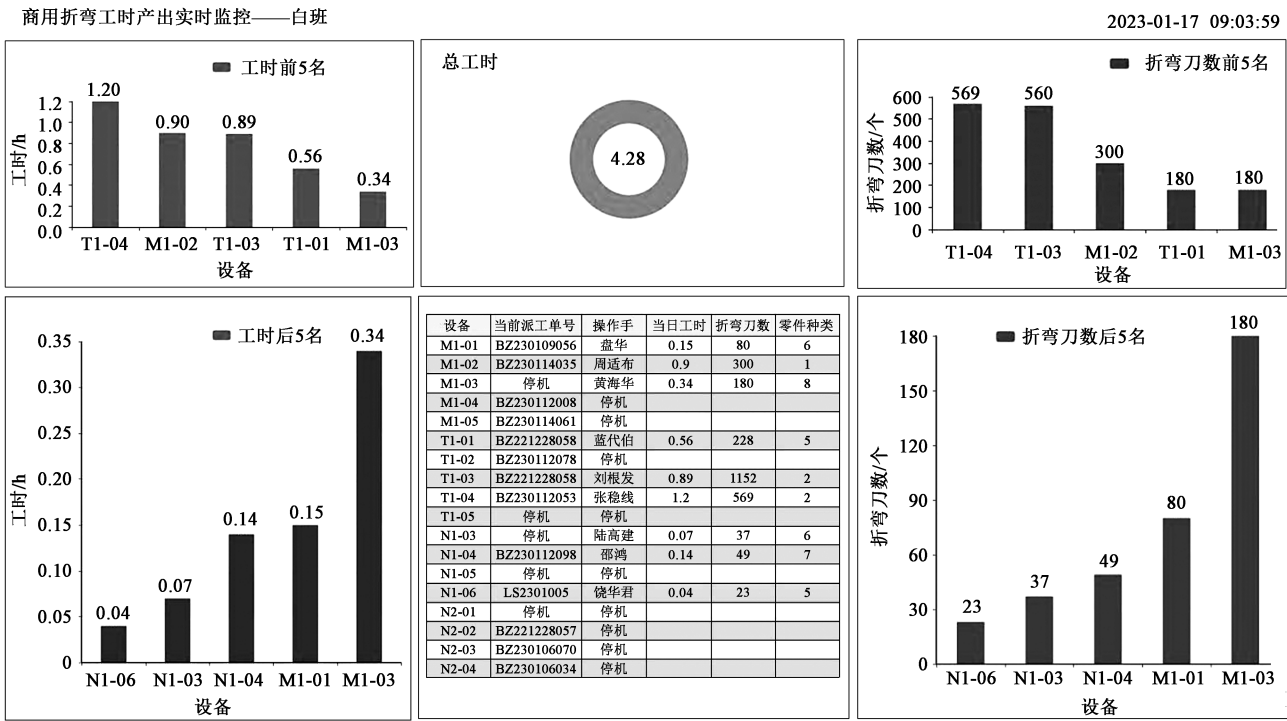


图 4 折弯设备集成产出状态看板
Fig. 4 Integrated output state Kanban of bending equipment

过类似质量异常处理的方案，则由质量技术人员解决异常后维护相应的方案至系统质量数据库，下次类似的质量异常即可立刻处理。

2.2.2 自动线体作业管理

自动线对应的为具备自动上下料功能、零件码垛分拣功能的自动加工单元，自动线的订单由 MES+信息化管理系统依据 TOC 的限制条件，按照优先级顺序逻辑，筛选出批量、非首次加工的零件订单，且按照立体库原材料进行任务排序^[12]。自动线接到 MES+信息化管理系统派发的生产任务后，员工只需

核对加工程序无误、生产环境安全，启动设备加工即可，折弯中心将按照程序 NC 代码进行自动换模准备，MES+信息化管理系统同步派发对应订单的原材料出库任务给立体库，原材料由自动单元取料加工，系统同步对设备进行能耗监控，以便提前发现设备的异常运行趋势，自动化线体实时能耗数字化监控如图 5 所示。系统自动获取自动线体的加工信息，无需员工进行报工维护操作，若无异常，整个生产过程中 MES+信息化管理系统均将指挥线体自发完成订单。

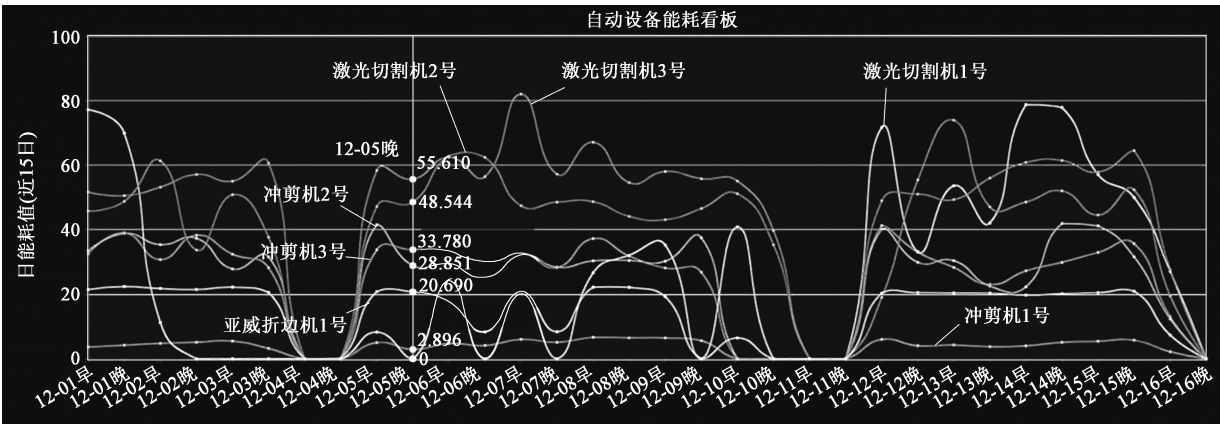


图 5 自动化线体实时能耗数字化监控界面
Fig. 5 Real-time energy consumption digital monitoring interface of automatic wire body

3 数字化仓储运输管理应用

有序的物料流转是推动车间有条不紊进行持续生产的动力，精准高效的物流方式一直都是制造业探求的重点方向，陆国强^[13]对 MES 系统促进精益生产进行了相关论述。为保障车间物料的精准高效流转，除了精益化的设备布局规划设计、自动化的运输机构系统投入，物料运输的数字化管理也同样重要。

钣金车间数字化运输管理体系的构建基于物流调度系统与 MES+信息化管理系统的互联互通，按照车间作业指导对应的订单逻辑自动生成设备流、工艺流，MES+信息化管理系统通过自动调度逻辑运行，将转运需求经无线网传输至物流调度系统，物

流调度系统将处理好的运输指令通过无线电信号的方式发送至自动引导车辆（Automated Guided Vehicle, AGV）设备控制器，整个调度过程操作人员只需确认订单已完工即可，钣金车间数字化运输管理系统构建如图 6 所示。为规范标准化运输过程，针对不同尺寸范围的零件订单自动匹配对应的标准工装载具，物流调度系统对运输因素进行综合识别，只有各项转运条件达标齐套后才会下达运输指令，精准地对多台 AGV 进行实时的调度指挥，实现设备之间点对点的高效运输，各订单的转运信息实时显示在 MES+信息化管理系统的物流运输集中管理看板，涉及转运指令的设备机台终端显示对应的订单状态，生产人员能够在第一时间掌握将要生产的零件信息，从而提前查看零件图纸、模具等生产辅助配套资料，真正做到物料流转信息指导并推动生产。

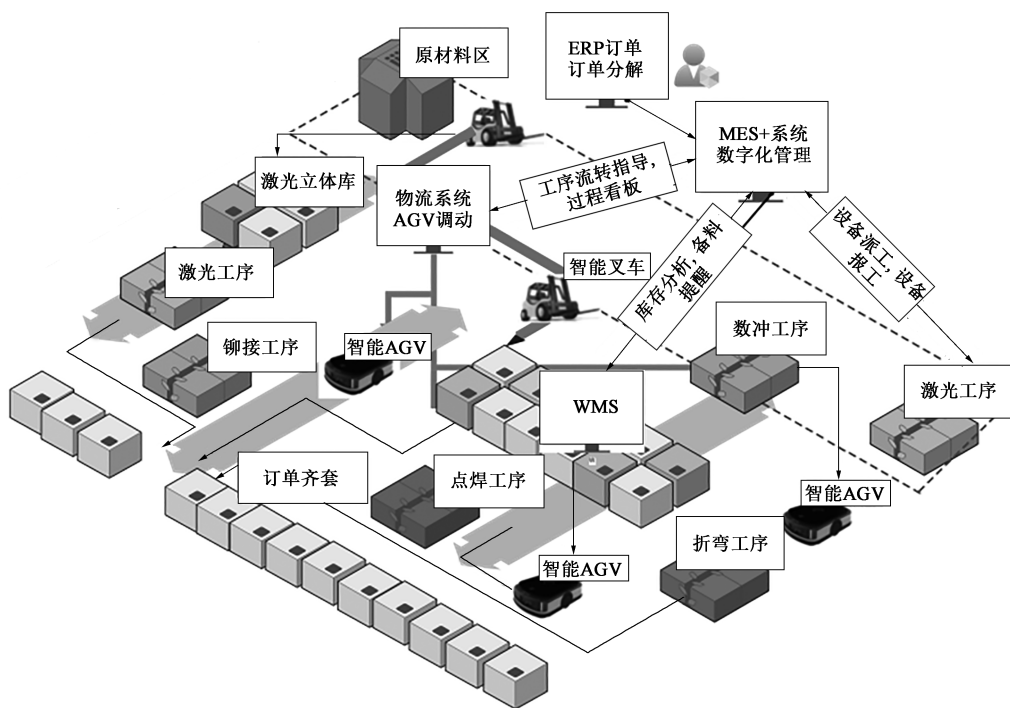


图6 钣金车间数字化运输管理系统构建

Fig. 6 Construction of digital transportation management system for sheet metal workshop

对于达成齐套入库的订单，则需 WMS 进行信息对接，完成物料的规范出入库管理。而传统的仓储模式为平面库人工运维模式，该类以铁框架划分库位的仓储模式需大量的运维人员与机动叉车，物料的查找、分拣、齐套均依靠人工进行操作，出入库记录大多使用纸质工单进行记录，很难做到信息化、数字化的高效管理，导致库位利用率低。对此，合肥工业大学的朱华炳等^[6]就制造业生产物流系统

规划与调度技术进行了相关理论研究，这为钣金数字工厂物流仓储系统的集成提供了参考思路。WCS 不仅具有三维仓库本身的存储信息，还可以与 MES+信息化管理系统提供的前后端数据相连接，自动获取外包工厂的物料库存情况、物料中心的物料仓库情况以及输送至喷涂车间和总装车间的物料信息。根据这些关于成品和在制品的相关信息，对订单进行物料自动关联，对生产过剩的订单计划进行

扣款管理,并根据总装上线时间对订单出库进行提示,在保证库存安全的同时最大限度地提高车间的整体生产能力^[14]。除了实时的物流仓储管理,MES+信息化管理系统物流管理板块还能在设定周期对经系统的历史物料进行落地反冲盘点,确保钣金板块对应的物料能够被准确地定额收支^[3]。

4 结语

基于 MES+信息化管理系统的钣金加工数字化车间建设,通过构建与公司 ERP、WMS 等系统的数据交互与数字化管理模块,实现生产过程中各类数据的实时更新与数字化集中管理,兼容了自动化生产与手动作业生产两种模式并存,实现客户订单排程、生产作业管理、设备信息管理、质量信息管理、物流转运管理、仓储调动管理、人员工时管理、生产管理看板等生产保障的多个维度数字化,并具备一定的数据分析汇总与辅助决策功能,促进钣金车间生产自发性开展,帮助管理者快速科学决策,减少了过程管理人员的投入,最终实现企业的高效益运营。

参考文献:

- [1] 张锋,何燕平,张玉琪. 车间数字化实现过程探讨 [J]. 中国管理信息化, 2020, 23 (20): 61-62.
Zhang F, He Y P, Zhang Y Q. Discussion on digitization process of workshop [J]. China Management Informationization, 2020, 23 (20): 61-62.
- [2] 武迪,王妮,张文雯. 基于 MES 系统的智能工厂研究应用 [J]. 中国设备工程, 2021, (6): 26-27.
Wu D, Wang N, Zhang W W. Research and application of intelligent factory based on MES system [J]. China Plant Engineering, 2021, (6): 26-27.
- [3] 资明庚,林培杰,蒋鑫强. 三维激光加工在商用空调底盘生产中的应用 [J]. 锻造与冲压, 2023, (20): 32-35.
Zi M G, Lin P J, Jiang X Q. Research and application of 3D laser machining in the production of commercial air conditioning chassis [J]. Forging & Metalforming, 2023, (20): 32-35.
- [4] 方喜峰,陆蓓蕾,朱成顺,等. 基于钣金加工单元的 MES 系统研究与开发 [J]. 制造业自动化, 2019, 41 (4): 19-23.
Fang X F, Lu B L, Zhu C S, et al. Research and development of MES system based on sheet metal processing unit [J]. Manufacturing Automation, 2019, 41 (4): 19-23.
- [5] 翟颖妮,王军强,褚崑,等. 基于 TOC 理论的大规模作业车间调度问题研究 [J]. 机械科学与技术, 2015, 34 (8): 1222-1228.
Zhai Y N, Wang J Q, Chu W, et al. Research on large-scale job shop scheduling based on TOC Theory [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34 (8): 1222-1228.
- [6] 朱华炳. 制造业生产物流系统规划与调度技术研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
Zhu H B. Research on Planning and Scheduling Technology of Manufacturing Production Logistics System [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2005.
- [7] 徐海,徐庆波. 数字工厂集成方法研究 [J]. 电子测试, 2016, (4): 154-157.
Xu H, Xu Q B. Research on digital factory integration method [J]. Electronic Testing, 2016, (4): 154-157.
- [8] 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.
Ma T M, Jiang Q, Mao Y, et al. Design and implementation of manufacturing execution system for discrete manufacturing industry [J]. Manufacturing Automation, 2016, 38 (8): 77-81.
- [9] 梁磊,林彤,冯军,等. 基于 MES 系统的智能车间实施方案 [J]. 信息技术与信息化, 2019, (12): 61-64.
Liang L, Lin T, Feng J, et al. Implementation plan of intelligent workshop based on MES system [J]. Information Technology and Informatization, 2019, (12): 61-64.
- [10] 朱先萌,姜兆亮,魏清月,等. 多品种小批量产品冲压计划排程多目标优化 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23 (9): 1907-1916.
Zhu X M, Jiang Z L, Wei Q Y, et al. Multi-objective optimization of stamping scheduling for multi-variety and small-batch products [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2017, 23 (9): 1907-1916.
- [11] 王献红,史国权. 一种基于单元化制造及时间任务总线的计划调度模式构建 [J]. 中国机械工程, 2015, 26 (5): 637-640.
Wang X H, Shi G Q. A planning and scheduling model based on unitized manufacturing and time task bus [J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26 (5): 637-640.
- [12] 叶峰,周炳海. APS 技术在注塑机企业钣金车间的应用 [J]. 机械制造, 2016, 54 (8): 98-101.
Ye F, Zhou B H. Application of APS technology in sheet metal workshop of injection molding machine enterprises [J]. Machinery Manufacturing, 2016, 54 (8): 98-101.
- [13] 陆国强. MES 系统实现精益生产 [J]. 新技术新工艺, 2012, (7): 2-3.
Lu G Q. MES system for lean production [J]. New Technology & New Process, 2012, (7): 2-3.
- [14] 秦志伟,王新民,王丽芳. 基于 MES 的生产管理系统应用 [J]. 航空计算技术, 2008, (1): 81-84, 88.
Qin Z W, Wang X M, Wang L F. Production management system application based on MES [J]. Aeronautical Computing Technique, 2008, (1): 81-84, 88.