

[文章编号] 1003-4684(2021)02-0070-06

基于 RFID 技术的 PC 构件厂数据采集系统设计

王淑婧¹, 高伟康¹, 王彬¹, 卢仲兴², 韩冰³

(1 湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068;

2 中建三局绿色产业投资有限公司, 湖北 武汉 430056; 3 中建科技武汉有限公司, 湖北 武汉 430415)

[摘要] 为解决 PC 构件厂生产过程中数据采集困难、各类 BOM 数据提取繁琐、动态生产数据无法共享等问题, 在分析其工艺流程及生产特点的基础上, 明确数据采集的内容, 提出构建基于 RFID 技术的 PC 构件厂信息采集系统。对系统的逻辑结构和功能模块进行了总体设计, 其中生产管理模块是核心, 主要包括项目订单管理、生产计划管理、生产执行管理、物料管理和 BOM 数据管理。通过对生产车间动态数据的实时采集、存储及共享应用, 可有效解决由于车间底层数据缺失导致的信息断层, 为计划和生产提供数据纽带, 推进生产车间信息化的落地应用。

[关键词] PC 构件; RFID 技术; 数据采集系统; 信息化

[中图分类号] TU17 **[文献标识码]** A

装配式建筑以资源浪费少、节能环保、质量优、建造周期短等特点成为我国建筑业转型升级的重要方向。近年来, 在政策的引导和大力推动下, 装配式建筑市场不断扩大, 其中住宅项目以预制混凝土构件(Precast Concrete, PC)为基本组成单元, 大力发展装配式建筑的地区对 PC 构件的需求量大。PC 构件厂作为 PC 构件的生产方, 与设计方和施工方沟通协调密切, 其生产方式和管理水平直接影响着 PC 构件的质量和成本, 进而影响建筑工业化水平。

在装配式建筑发展初期, PC 构件的生产具有多项目同时生产、多品种小批量生产、生产流程长以及生产管理复杂等离散型制造业的特点。信息化管理可以通过信息的采集、处理、共享和应用辅助 PC 构件生产管理, 提高构件生产效率以及信息协同效率。当前, PC 构件厂都有不同程度的信息化建设, 但车间信息化是薄弱环节, 生产现场从订单投入到产品完成这个过程中的数据信息主要以人工采集为主, 不能及时得到更新, 管理者不能实时用准确的信息来指导生产, 不能迅速判断生产与需求之间的关系, 影响工厂运作效率。如何及时准确地采集构件生产数据, 对于 PC 构件厂而言, 是亟待解决的问题。

RFID 技术是一种基于射频原理的非接触式自动识别技术, 为制造业的数据采集提供了一种高效、可靠的实时数据采集方法。国内外学者也将 RFID

技术应用于装配式建筑信息采集的不同方面: Yan Liu 等人针对预制构件物流管理中存在的问题, 建立了基于 RFID 技术的预制构件物流管理系统, 实现了对预制构件位置的数据收集和跟踪^[1]。Razavi 等通过在关键节点设置有源 RFID 设备, 跟踪物料的位置, 并通过“两层次法”提高了构件定位的准确性^[2]。胡珉将 RFID 技术应用到 PC 构件生产中, 并结合移动设备、互联网等技术设计了 PC 构件生产智能管理系统, 实现了对生产进度和质量进行实时管理^[3]。曹新颖等针对 PC 构件生产质量管理问题, 提出了构建 BIM-RFID 数据信息系统, 解决质量数据采集和共享问题^[4]。邹小伟等针对装配式建筑施工现场存在数据采集感知方法不足的问题, 采用 RFID 技术建立安全预警平台, 及时对风险因素进行数据采集和分析, 保证了施工现场的安全性^[5]。综上所述, 已有研究较为宏观, RFID 技术的应用主要集中在对物料的跟踪以及辅助进度和质量管理方面, 专门针对生产车间数据采集的研究较少。

以中建科技某公司 4 个 PC 构件厂的数据采集系统建设为背景, 在充分调研的基础上, 结合其生产流程及特点, 提出了基于 RFID 技术的 PC 构件厂信息采集系统。该系统旨在解决生产过程中数据采集的滞后性、各类 BOM 数据的缺失及信息应用的可拓展性, 对于 PC 构件厂信息化和建筑工业化的发展具有重要意义。

[收稿日期] 2020-07-27

[基金项目] 国家十三五重点研发计划项目(2016YF30702000)

[第一作者] 王淑婧(1981-), 女, 河北安国人, 工学博士, 湖北工业大学副教授, 研究方向为建设项目信息化管理

[通信作者] 高伟康(1990-), 男, 河南项城人, 湖北工业大学硕士研究生, 研究方向为建设项目信息化管理

1 PC 构件厂数据采集系统需求分析

1.1 业务流程分析

PC 构件厂的生产业务流程从接收订单开始,经过初步设计、深化设计、制订生产计划、模具制造、物

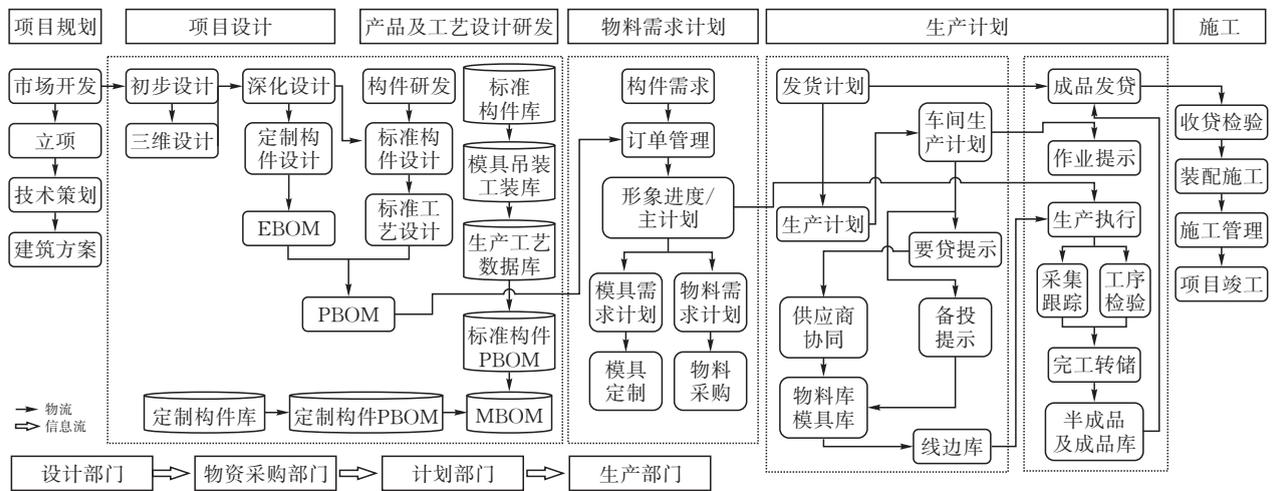


图 1 PC 构件生产过程业务流程图

物流是 PC 构件从无到有,经过物资采购、构件生产、构件入库、出库和运输,依次流经各个环节,由操作人员进行相关处理,最后到达施工现场的过程。信息流是 PC 构件生产过程中各种数据产生以及各部门之间相互传递的过程。首先,由设计院提供 PC 构件的深化设计图纸及设计物料清单(Engineering Bill of Materials, EBOM),包括产品名称、材料明细表、材料汇总表等信息;其次,工艺设计部门以 EBOM 数据为基础,制订工艺计划、工序信息,生成计划物料清单(Planning Bill of Materials, PBOM),发送至物资采购部和计划部,再由物资采购部和计划部根据项目施工进度和车间生产能力制订生产计划和物资采购计划,同时将此计划下发给车间生产部门;最后,车间生产部门根据已生成的 PBOM(Planning Bill of Materials)信息,结合生产线和工艺流程生成制造物料清单(Manufacturing Bill of Materials, MBOM),主要包括构件生产顺序、构件所需材料、每个工位所需时间以及相关的设备等信息,指导车间生产。物流和信息流贯穿于构件生产的全过程,两者相辅相成最终实现生产的统一。

1.2 生产特点分析

目前 PC 构件厂主要由四条生产线组成:叠合板和外墙生产线、钢筋加工线、内墙生产线和固定模台生产线。能满足常用 PC 构件和异形构件的生产,其生产特点如下:

1)多源订单生产。PC 构件厂的生产订单来源于不同施工方,根据各类订单吊装需求统筹安排生产,在一个生产周期内供应多个项目,每次生产 1—

料采购、工厂生产、堆场堆放和运输的过程,涉及设计、物资采购、计划和生产多个部门。该业务流程实质上是物流和信息流在工厂内外,以及生产线上流动的过程(图 1)。

2 层的构件,遇到赶工的项目还需要调整生产计划“插队”完成加急订单,排产情况不一而足,生产压力大。

2)构件种类繁多、尺寸不同。当前装配式建筑的发展处于初级阶段,PC 构件的标准化程度低,构件种类繁多,尺寸多样,差异化较大。根据生产部门下发的 MBOM,研究每类构件的尺寸和各种可能的组合方式,进行模具重组。

3)生产过程复杂。PC 构件的生产方式分固定模台生产和流水线生产。固定模台主要生产异形构件和部分加急构件,流程较为简单,而流水线生产较为复杂,以叠合板为例,从清理模具到入库验收要经过 17 个工位的流水作业,涉及 140 多项作业内容。

4)信息种类多,信息量大。构件的生产过程会产生多维度信息,除构件本身的信息外还包括人员、工具、设备、物料、时间、质量等信息。

1.3 信息化需求

近年来,湖北省大力推进装配式建筑的发展,从 2016 年至 2019 年 11 月,全省装配式建筑项目从 8 个增长到 114 个,增长了 13.25 倍;建筑面积也从 82.47 万 m²增长到 555.13 万 m²,增长了 5.7 倍,预测 2019 年年底将会突破 600 万 m²[6]。装配式建筑的快速发展促使 PC 构件的需求量增大,部分 PC 构件厂的生产也趋于饱和状态,加强信息化建设以提高生产效率成为必然选择。对于目前 PC 构件生产企业,车间信息化是一个薄弱环节,工厂各部门很难通过信息化途径来获取准确的 BOM 信息,车间信息不能及时反馈到企业的管理层,极大地影响了企业

决策的及时性和科学性。经过调查分析,目前工厂内普遍存在以下问题:

1)生产车间数据采集有效性差。目前主要使用纸制二维码技术进行信息采集,在被外界环境破坏或工人忘记扫描时,生产过程中的信息会缺失,很多数据无法获取。

2)生产过程信息不透明。在PC构件生产过程中,中间环节无跟踪记录,工人凭借自身经验来判断是否达到合格标准,有时会出现部分预埋件漏装现象,造成返工导致生产效率降低或构件质量不合格等严重后果。

3)生产进度信息不能及时反馈。目前构件生产计划的制订和调整依赖于车间管理人员的个人经验,当出现加塞订单或紧急调整生产计划时,车间生产进度信息不能及时采集和汇总,无法快速适应市场变动。

4)生产车间人员、工位信息得不到监控。缺少对工人、设备以及生产区物料的管理,车间人员较多,流动性较大,每个工人可能有多个操作工位,或者每个工位有多个操作人员,当制品出现问题时无

法明确追溯到责任人。

当前生产车间的底层数据采集系统缺失,导致信息断层,以先进的信息采集技术为依托,构建PC构件生产车间数据采集系统,实现生产过程中数据的实时采集、分类、传递和应用,为企业已的ERP和MES系统提供数据来源,真正发挥出辅助管理、提高效率的作用。

2 技术适用性分析和信息采集的内容

2.1 RFID技术的适用性分析

工厂数据采集的方式主要有两种:手动采集和自动采集。手动采集包含两种情况:1)操作人员通过手工记录生产数据,再将数据录入生产管理系统;2)通过可编辑逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)采集信息,操作人员在电脑或触摸屏上手动保存数据。自动采集包括条形码扫描方式,二维码采集方式和RFID电子标签采集方式^[7]。根据PC构件生产线工艺流程和需要采集的数据特点,对上述采集方式进行对比(表1)。

表1 数据采集方式对比

对比内容	采集方式			
	人工手动采集	条形码采集	二维码采集	RFID电子标签采集
操作方式	人工手动记录、填写	手持PDA扫描获取信息	手持PDA扫描获取信息	RFID读写器自动读取、自动上传
读写性	读、写	读	读	读、写
反应速度	慢	较快	快	很快
读取数量	1个	1个	1个	多个
标签成本	很低	低	低	较高
是否可以反复利用	否	否	否	是
标签信息量	大	小	小	较大
产品信息录入方式	手工	手工、人工扫描	手工、人工扫描	自动机读
标签耐久度	短	短	短	长

由表1可以看出RFID电子标签采集方式在反应速度、重复利用、标签信息量和耐久度方面优于其他三种。RFID主要由电子标签、读写器、天线和中间件组成,可通过阅读器来识别特定范围内带有标签的对象,获取所需的各类数据信息^[8]。在物料采购阶段,将带有物料基本信息的RFID电子标签嵌入材料中,能够在生产阶段获取物料的使用量,比如预埋件、钢筋数量信息,实现物料跟踪。在生产阶段,将RFID电子标签与模台信息进行绑定,当模台流动时,工位旁的阅读器可以自动获取在制构件的基本信息和生产进度信息。

2.2 生产车间信息采集的内容

随着PC构件在生产线上流动,各类信息不断增加,数据的采集伴随着整个生产过程^[9]。按信息的内容可分为以下10类(图2)。按数据的类型可

分为静态信息和动态信息。静态信息是基础信息,相对变化较小、在一定时间内较为稳定;动态信息是生产过程中所产生的数据,随着生产过程的进行而改变,需要及时采集更新。



图2 PC构件生产数据类型

1)员工信息。指生产车间产业工人信息,包括:员工姓名、工号、工种等,属于静态数据,员工上下班时间、安全状态、运动轨迹等属于动态数据。

2)工装信息。指生产加工中涉及的扎钩、清理

铲、扫帚等工装和辅助工具信息。主要包括编号、名称、类型、生产厂家、当前状态、维护情况等数据。

3) 模具信息。模具的数量制约着流水线生产安排,模具在生产线流转时对应唯一构件,其信息包括:模具编码,模具名称,模具尺寸规格、侧模出筋方向等信息。

4) 模台信息。模台信息与构件信息相关联,每个模台对应所生产的构件,包括所在工位信息、开始时间、结束时间以及PC构件的数量。

5) 工艺信息。指PC构件从上线到下线过程中完成的所有工艺流程,需要对每个工位的工艺进行动态采集。

6) 物料信息。指生成PC构件成品的原材料信息,包括:物料名称、编码、生产厂家、生产日期等静态数据,物料的转运、运输状态、运输时间等属于动态信息,是实现物料跟踪的重要数据。

7) 设备信息。指PC构件生产过程中的各类设备相关的信息,是重要的生产要素信息,如清扫机、喷涂机、混凝土下料机、堆垛机等设备,包括:设备名称、编号、生产厂家、负责人等静态数据,设备的运转状态、运转时间等属于动态数据。

8) 构件信息。PC构件分为半成品和成品,其信息包括:构件名称、构件编码、构件尺寸、生产日期、生产时间、所属项目、楼层、楼栋等静态数据,以及在生产过程中产生的其他维度动态信息。

9) 生产进度信息。统计每个构件在各个工位的开始时间,结束时间和持续时间,属于动态信息。

10) 构件质量信息。主要指物料和构件的质量检查信息。包括来料检查、生产过程质量检验、构件成品检验。采集的信息有合格数量、返修数量等。

3 数据采集系统总体设计

3.1 系统设计目标

为满足PC构件厂数据采集、处理、共享及应用需求,明确该系统设计目标如下:

1) 以RFID数据采集技术为基础,及时获取构件生产过程中动态信息,为系统的应用提供数据来源;

2) 准确生成不同阶段的各类BOM,为物料管理和生产成本核算提供信息支撑;

3) 为各级管理部门提供车间生产数据,构建信息收集、存储及共享管理平台,分级过滤多余信息,形成各管理部门相互独立又紧密联系的协同模式。

4) 系统的可拓展性:能够实现与企业已有的MES和ERP系统的对接,促使信息化管理系统落地应用。

3.2 系统逻辑结构设计

数据采集系统主要由4部分组成:电子标签层、数据采集层、数据库层和应用层(图3)。

1) 电子标签层。处于系统的最底层,由各采集对象的基本信息编码组成,形成RFID电子标签,嵌入被采集对象上,经车间RFID阅读器读取。

2) 数据采集层。通过部署在车间各工位的RFID设备进行人员状态、物料使用、设备运行、工装使用、构件生产进度、构件质量等的信息采集,并向系统传输实时动态信息。

3) 数据库层。是车间各类数据的集聚处,是信息向应用层传输的桥梁,从而实现数据应用^[10]。

4) 应用层。拟采用B/S模式,将基础数据与实际应用相结合,满足物资采购部门、计划部门和构件生产部门的应用需求^[11]。

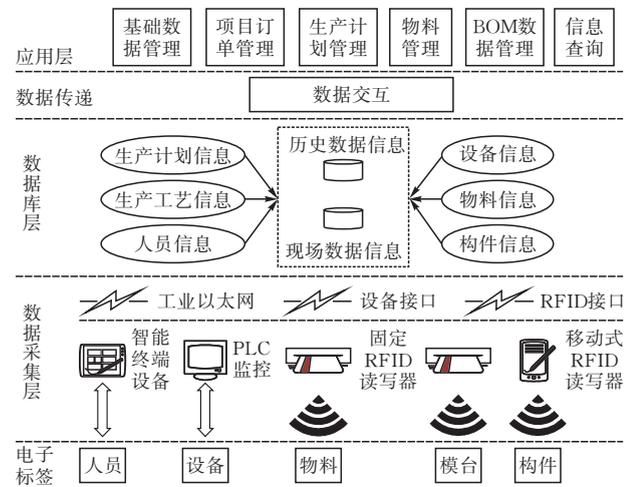


图3 系统逻辑结构图

3.3 系统功能模块设计

基于RFID的数据采集方法,结合生产车间信息采集的内容,将系统分为4个模块:基础数据管理模块、生产管理模块、信息查询模块和系统管理模块(图4)。其中基础数据管理模块主要实现数据的分类存储;系统管理模块主要包括用户管理、系统日志、数据备份和数据恢复等功能,保障系统的可靠性和安全性;生产管理模块是本系统的核心功能模块,主要实现项目订单管理、生产计划和执行管理、物料管理及各类BOM数据的生成及应用;信息查询模块辅助各管理部门检索信息。

3.3.1 生产管理模块 生产管理模块是本系统的核心功能模块,辅助生产过程中订单管理、生产计划和执行管理、物料动态信息管理及各类BOM数据的生成及应用,涉及多个应用部门。

1) 项目订单管理。项目订单是生产车间任务的来源,一方面实现对订单基本信息的管理,包括客户名称、项目名称、构件种类和数量、发货地址和订单

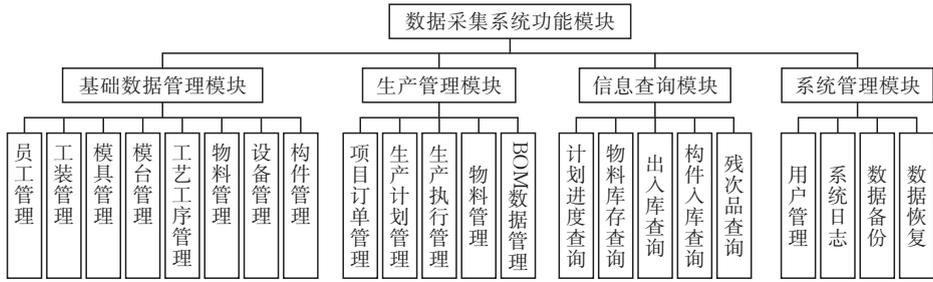


图4 系统功能结构图

数量等;另一方面,将订单信息细化至每个构件,包括构件所属标段、楼栋、楼层及吊装进度,便于生产车间根据每个项目的吊装计划统筹制订车间生产计划。

2)生产计划管理。根据订单信息,结合生产车间生产要素的实际情况(人员、物料、设备、工艺等),科学制订生产计划,指导车间生产。

3)生产执行管理。根据生产计划自动生成每日工单,指导车间工人生产使用。工单信息包含生产工序、具体操作、图纸、三维模型及钢筋预埋件等信息。

4)物料管理。实现对钢筋、预埋件、混凝土、保温板等主要材料库存状态的监测和对物料需求的下发管理,保证生产线上物料供应的稳定和及时。

5)BOM数据管理。BOM数据是连接设计与生产的桥梁,各类BOM数据的生成过程如图5所示。可归为两种BOM数据来源:1)源头BOM数据,由设计院、工艺设计部门、物资采购部门、生产计划部门和车间生产部门完成,包括EBOM, PBOM和MBOM,用于指导构件生产;2)实时BOM数据,生产过程中产生的实际数据,用于计划和生产物料消耗的对比及管理。

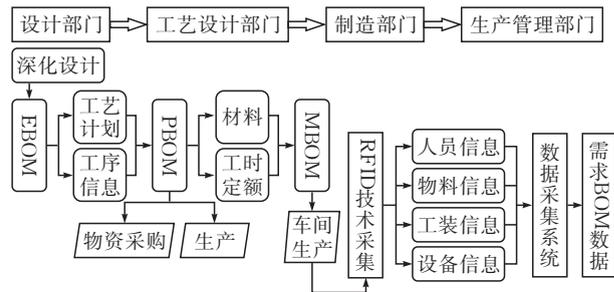


图5 各类BOM数据生成过程图

3.3.2 信息查询模块 各部门对生产进度、物料库存等信息进行查询。

1)计划进度查询。用于查询构件的主生产计划、月生产计划和日生产计划。

2)物料库存查询。为制订生产计划提供基础信息,包括物料类别、名称、存放位、库存总量、剩余库存等信息。

3)物料出入库查询。包括物料出入库的种类、名称、数量、以及流向等信息查询。

4)构件入库查询。用于对成品构件入库信息的查询。

5)残次品查询。对质量不合格构件的残次品信息查询,为下达整改通知单提供依据。

3.4 系统的拓展设计

目前,中建科技某公司的PC构件厂都有不同程度的应用ERP和MES系统,由于缺乏统一信息化建设规划,都是独立运行,无法真正将计划和生产阶段的信息融合,在管理中发挥的作用有限。数据采集系统主要面向车间动态生产数据进行管理,在系统设计阶段考虑与ERP和MES系统的接口,为ERP和MES系统提供底层实际生产数据,将车间信息化建设提升至企业管理层面(图6)。

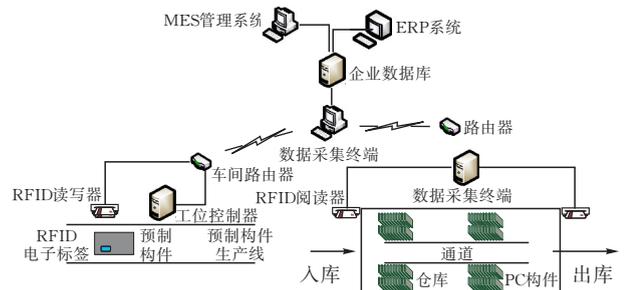


图6 数据采集系统与ERP和MES系统结合

1)与ERP系统的结合。针对ERP系统仓储管理,通过在堆场进出口处安装RFID阅读器,识别每次进出口构件的基本数据信息,上传至数据库,企业管理者在ERP系统中能够看到构件的库存情况。达到提高效率、减少人力、节约成本、精益管理的仓储管理效果。

2)与MES系统的结合。通过数据采集系统将生产数据传送至MES系统,可以实现企业管理层对车间生产状况的掌握,对车间人员、构件、设备等信息及时获取和使用,提高管理层对生产车间的管理能力。

4 结论

针对PC构件厂生产车间数据采集困难,数据

交流不及时和信息共享不便捷等问题,分析了预制构件生产过程信息化管理的需求,提出了一种基于RFID技术的PC构件生产数据采集方法,并在此基础上构建了该系统的逻辑结构、主要功能和拓展功能。通过对这些生产数据的采集和跟踪,可以为ERP和MES系统提供底层数据来源,从而加强管理层对生产车间信息的掌握,实现高效生产,有效提高工厂的生产效益和经济效益,对于促进企业级信息化建设水平,推动PC构件生产车间智能化和信息化管理具有重大意义。当前PC构件厂调研和系统总体设计已完成,下一步的工作将进入数据采集系统开发阶段,后续工作将以PC构件厂信息采集系统为基础,以PC构件生产计划为核心,研究PC构件生产的智能调度,更好地发挥信息采集系统的作用。

[参 考 文 献]

- [1] Yan Liu, Lin Qi, Yingbo Ji. Initial logistics management system of prefabricated component based on BIM and RFID technology[C]. ICCREM 2019: Innovative Construction Project Management and Construction Industrialization-Proceedings of the International Conference on Construction and Real Estate Management, 2019:135-143.
- [2] Saiedeh N. Razavi, Carl T. Haas. Using reference

- RFID tags for calibrating the estimated locations of construction materials[J]. Automation in Construction, 2010, 20(6):101-106.
- [3] 胡珉,陆俊宇.基于RFID的预制混凝土构件生产智能管理系统设计与实现[J].土木工程信息技术, 2013, 5(3):50-56.
- [4] 曹新颖,鲁晓书,王钰.基于BIM-RFID的装配式建筑构件生产质量管理[J].土木工程与管理学报, 2018, 35(4):102-106+111.
- [5] 邹小伟,张丹,马辉.基于BIM和物联网的装配式建筑施工作业安全预警平台的建立[J].工程管理学报, 2019, 33(2):124-129.
- [6] 潘卫华,装配绿色荆楚 建设美丽湖北[N].湖北日报, 2019-11-28(8).
- [7] 李玉娟. PC构件预制工厂MES的研究与开发[D].石家庄:石家庄铁道大学, 2017.
- [8] 曹伟,江平宇,江开勇,路平.基于RFID技术的离散制造车间实时数据采集与可视化监控方法[J].计算机集成制造系统, 2017, 23(02):273-284.
- [9] 高欢,王少华,张亮星.离散型车间生产过程中的物料实时跟踪与管理[J].机械设计与制造, 2018(5):269-272.
- [10] 罗国富,刘海东,姜宗品.基于RFID的离散型制造物联网实时数据采集系统的研究与开发[J].制造业自动化, 2015, 37(21):135-140.
- [11] 韩静,吴智慧.板式定制家具企业制造执行系统的构建与应用[J].林业工程学报, 2018, 3(6):149-155.

Design of Data Acquisition System for PC Component Factory Based on RFID Technology

WANG Shuqiang¹, GAO Weikang¹, WANG Bin¹, LU Zhongxing², HAN Bing³

(1 School of Civil Engin., Architecture and Environment, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China;

2 China Construction Third Bureau Green Industry Investment Co. Ltd, Wuhan 430056, China;

3 China Construction Science & Technology Co. Ltd, Wuhan 430415, China)

Abstract: In order to solve the problems in the production process of PC component factories, of data collection difficulties, cumbersome extraction of various BOM data, and inability to share dynamic production data, etc, based on the analysis of its process flow and production characteristics, this paper aims to clarify the content of data collection, and proposes to build a PC component factory information acquisition system based on RFID technology. The logical structure and functional modules for the system is designed, of which the production management module is the core, including project order management, production planning management, production execution management, material management and BOM data management. Through the real-time collection, storage and sharing of dynamic data in the production workshop, it can effectively solve the information fault caused by the lack of data at the bottom of the workshop, provide a link for planning and production to promote the application of informatization in the production workshop.

Keywords: PC factory; RFID technology; Data Collection Systems; Informatization

[责任编辑:裴 琴]