

doi: 10.7690/bgzd.2023.12.008

基于实时数据采存分析的数字孪生车间研究及实现

王子焯¹, 邱枫¹, 刘治红¹, 徐曼菲¹, 席静²

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000;

2. 陆装驻北京地区第一军代室, 北京 100072)

摘要: 为解决传统制造企业数字化能力建设不足, 对车间运行状态的监控和科学管理方面缺乏有效底层软件支撑的问题, 开展基于实时数据采存分析的数字孪生车间研究及实现。建立生产车间人、机、料、法、环等现场关键要素的数字化模型; 通过建立生产计划管理模块和生产执行管理模块实现生产制造全生命周期的过程管控; 通过数据采集与监控系统的建立实现制造现场实时数据的采存分析和监控; 通过质量数据与产品的绑定建立质量管理与分析。结果表明: 数字孪生车间的研究及实现过程完成了车间生产制造数据的收集、整合与监控, 实现制造车间数字化转型和智能化提升。

关键词: 数字孪生; 数字化转型; 建模; 实时采集; 质量分析

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A

Research and Implementation of Digital Twin Workshop Based on Real-time Data Acquisition and Storage Analysis

Wang Ziye¹, Qiu Feng¹, Liu Zhihong¹, Xu Manfei¹, Xi Jing²

(1. Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China; 2. No.1 Military Representative Office of General Equipment Department in Beijing, Beijing 100072, China;)

Abstract: In order to solve the problems of traditional manufacturing enterprises, such as the lack of digital capability construction and the lack of effective underlying software support for the monitoring and scientific management of workshop operation status, the research and implementation of digital twin workshop based on real-time data acquisition and storage analysis are carried out. Establish the digital model of the key elements of the production workshop, such as human, machine, material, method and environment; realize the process management and control of the whole life cycle of production and manufacturing through the establishment of production plan management module and production execution management module; realize the acquisition, storage, analysis and monitoring of real-time data in the manufacturing site through the establishment of data acquisition and monitoring system; Establish quality management and analysis through the binding of quality data and products. The results show that the research and implementation process of digital twin workshop completes the collection, integration and monitoring of workshop production and manufacturing data, and realizes the digital transformation and intelligent promotion of manufacturing workshop.

Keywords: digital twin; digital transformation; modeling; real-time acquisition; quality analysis

0 引言

在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中, “数字化”关键词出现了 25 次, “数据”关键词出现了 53 次, 文中明确了需要加快推动数字产业化并且积极推进产业数字化转型。相比历年五年规划, 数字化建设的重要性有了前所未有的提高。

目前, 我国制造业处于转型升级关键时期。据统计, 国内制造企业中超过半数具有自动化生产线, 但其中绝大部分企业配套数字化能力建设不足, 缺少对基于数据制造流程的有效监控, 在车间运行状

态监控和科学管理方面缺乏有效底层软件支撑。近年来提出的数字孪生概念整合了数字化建模、仿真和基于数据融合的数字线程技术等关键技术, 很大程度缓解了这一问题。

数字孪生是在虚拟空间中利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据, 实现集成多学科、多物理量、多概率、多尺度的仿真过程, 反映对应实体装备的全生命周期过程。数字孪生是一种超越现实的概念, 可以被看成一个或多个重要的、彼此依赖的装备系统的数字映射系统^[1-6]。

在制造业中, 数字孪生也常表示在建立厂房前

收稿日期: 2023-08-18; 修回日期: 2023-09-23

基金项目: 国防基础科研项目(JCKY2020209B001)

第一作者: 王子焯(1996—), 男, 四川人, 硕士。

完成数字化建模，之后在虚拟的赛博空间中对工厂进行模拟和仿真，并将真实参数应用于实际的工厂建设。厂房建成以后，二者继续在日常的运维中进行信息交互^[7-9]。

笔者针对传统制造车间数字化智能化程度低，生产制造数据难以收集和监控等问题，以国内某制造车间为对象，以建模、仿真和基于数据融合的数字线程技术 3 项数字孪生核心技术为工具，开展基于实时数据采存分析的数字孪生车间研究及实现过程的探索，以实现制造车间数字化转型和智能化提升^[10]。

1 数字化建模

建立数字孪生车间首先需要将生产车间的现场资源进行数字化表征，为人、机、料、法、环等车间现场关键要素建立数字化模型。

1.1 物料数字化模型

数字孪生车间需要为车间内部流转的原料、辅料、半成品、产品等物料生成代表相应批次、品种、状态信息的数字化标签。数字化标签支持使用条码打印机打印、激光刻码、墨水喷码等形式，打印的数字化标签可贴在物料的表面或包装箱、托盘、物料袋等物料的转移载体上，激光刻码和墨水喷码通常发生在物料的表面。

具备数字化标签的物料，可使用车间工位操作终端配置的扫码枪扫描物料的数字化标签，对物料的详情信息进行显示。

检验工位完成检验后，操作者在系统中扫描物料的数字化标签，可实现质量数据和物料的绑定，在系统中为物料建立物料质量档案。

1.2 设备数字化模型

数字孪生车间设备管理员以生产线设备台账为基础，在系统中建立设备档案，实现对设备基础的数字化建模。管理数据内容包含设备编号、设备名称、厂家名称、出厂日期、使用日期、资产原值、安装地点、工位、管理类别、精度等级、设备状态、计量单位、责任人和备注等信息。提供对设备的增加、维护、查询等功能。

1.3 人员数字化模型

数字孪生车间实现对所有用户的统一注册、认证及授权，对系统账号进行管理。管理数据内容包含车间用户账号、姓名、所属部门、是否进行岗前

培训、岗位和技能证书等。提供用户创建、查询、用户基础信息维护、密码修改复位、角色授权等功能。

1.4 数字化工厂建模

对车间进行建模管理，实现工厂内部的层级管理(工厂、车间、产线、工位)，实现对工厂内部各个层级基础信息的新增、维护、查询等功能，支持工位与工序、工位与人员、工位与设备的关联映射。管理数据内容包含工厂名称、工厂负责人、车间名称、所属工厂、车间负责人、车间类型、产线编号、产线名称、所属车间、产线状态、工位名称、工位编号、所属产线、对应工序、工位类型、是否设置终端和备注等。

2 生产过程管控

数字孪生车间通过建立生产计划管理模块和生产执行管理模块实现了生产制造全生命周期的过程管控。

2.1 生产计划管理

生产计划管理模块首先接收上层 ERP 系统传递的短期生产计划和配套的用料计划，分解形成每日的生产和用料计划。系统根据排产策略、单元产能、工时及各项约束条件等进行自动排产，制定出当日工序级生产任务和物料需求计划，经过生产管理组做出调整后下发至生产班组和物流组执行。流程如图 1 所示。

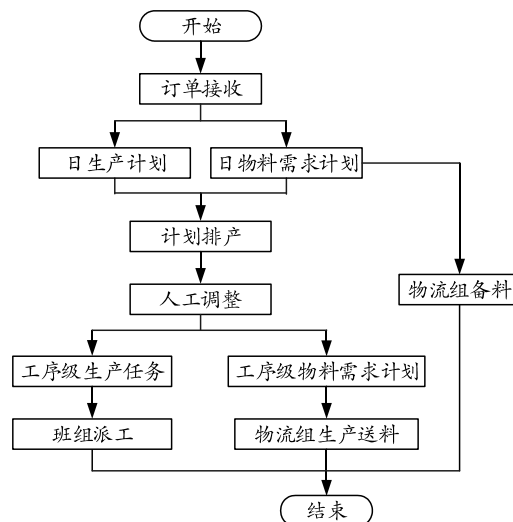


图 1 生产计划管理流程

2.2 生产执行管理

生产执行管理模块是对日生产任务的执行过程进行管理，包括数字孪生车间物料的齐套和叫料、

生产任务开工、物料上料或流转环节扫码、加工产品情况报工、生产任务完工确认等功能。生产执行管理模块可跟踪数字孪生车间生产线上物料、设备、生产进度等关键生产节点，对生产任务的执行情况进行及时调整，并将生产任务的执行完成情况进行在线反馈。其工作流程如图 2 所示。

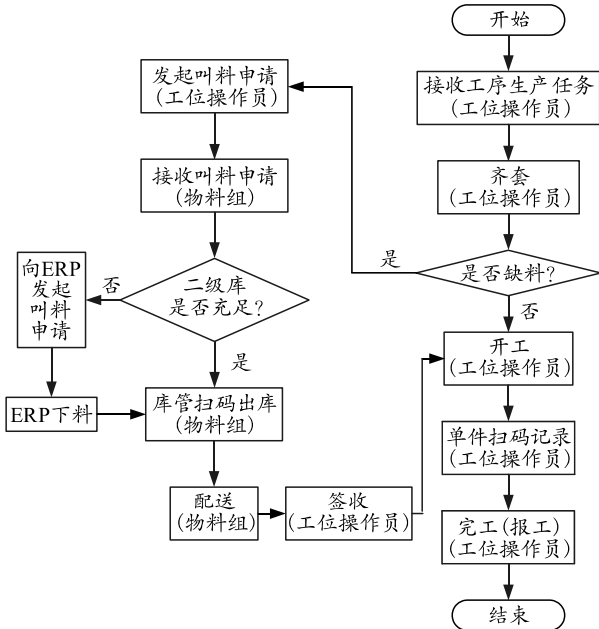


图 2 生产任务执行流程

3 数据采集与监控系统

系统主要对数字孪生车间现场的实时数据进行采存分析和展示，再经过处理提炼出有效生产数据指导数字孪生车间进行实际生产作业。主要功能包括：与各生产设备的控制系统对接，实现系统与设备间的数据往来通信；以数据存储和处理相结合的数据管理功能，实现与 MES 等业务系统对接，为其提供底层数据基础^[11]。

系统包含数据采集服务、数据库、机床程序分发、管理客户端模块、设备监控。

服务层：采用数据采集服务实现与设备层的通信，采集数字孪生车间内各设备的实时数据，并把采集到的数据保存到数据层中；机床程序分发支持 $n \times 256$ 台数控机床和 DNC 服务器之间通信，并且实现了 DN 程序的收发。

数据层：采用 sqlserver、oracle、mysql 等关系型数据库，将数字孪生车间采集到的数据进行保存并实现内部在读过程管理。

业务层：管理客户端实现对数字孪生车间采集的数据进行监控、分析的功能，并向 DNC 代码管理提供人机界面。

系统的功能模块如图 3 所示。

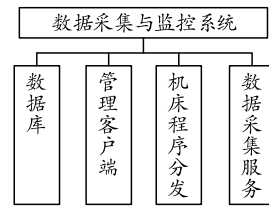


图 3 数据采集与监控系统功能模块

4 质量管理与分析

4.1 在线检验

自动对产线上检测设备的检验数据进行采集，实现质量数据的实时监控，便于实现产品质量的统计分析。主要业务流程如图 4 所示。

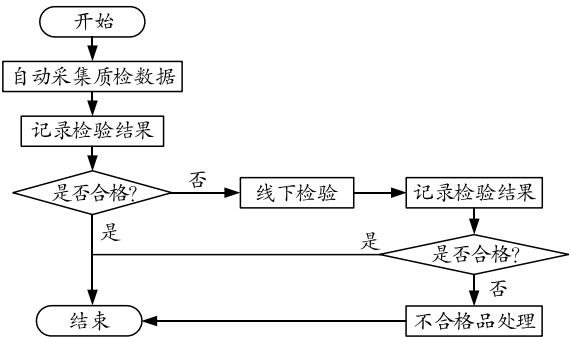


图 4 在线检验流程

提供功能：质量数据自动采集、检验记录的浏览、查询。管理数据项：生产线、工序号、班组、产品编号、产品类型、检验时间、检测项、检测值、检验结论(合格、不合格、其他)等。

4.2 线下检验

线下检验包括首检、过程检、出厂检。首检指操作工人及质检员对每天开班的首件产品进行检验；过程检指操作工人及质检员按照工艺要求，在生产过程中对在制品进行自检和巡检；出厂检指质检员对要下线出厂的产品进行检验；首检、过程检、出厂检通过抽检的方式进行。每种检验通过手持终端或 WEB 终端记录检验结果^[12]。

业务流程如图 5 所示。

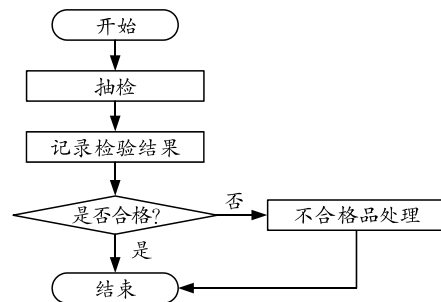


图 5 线下检验流程

管理数据项：质检单号、质检类型(首检、过程检、出厂检)、生产线、工序号、班组、质检产品、检验项、检验参数、检验结论(合格、不合格、其他)、检验员、检验时间等。功能：检验记录的增加、维护、查询等。

4.3 不合格品处理

不合格品处理模块主要针对生产现场检验中发现的不合格品(包含无法确定是否报废的疑品)。现场操作人员在加工或检验过程中发现不合格品后进行报送,班组长和工艺人员进一步确认后记录处理结果形成不合格品审理单据,系统将不合格品审理单据自动推送至 OA 系统进行后续审理。不合格品处理包括让步接收、返工返修、直接报废。业务流程如图 6 所示。

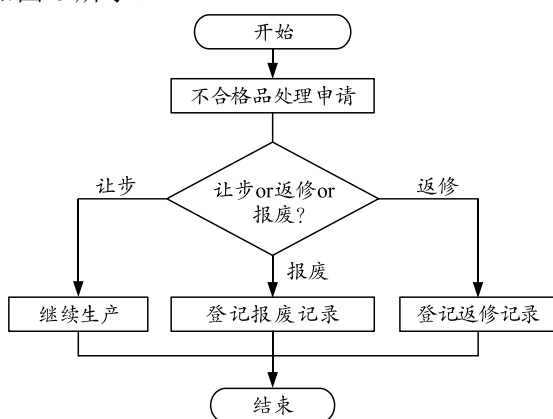


图 6 不合格品处理流程

提供功能：报废登记、返修登记、记录编辑、记录查询、记录删除等。管理数据项：不合格品审批单号(OA 中的不合格品审批流程单)、不合格产品编号、生产班组、操作员、生产线、工序号、原因、处理人、处理时间、处理意见、处理类型、处理结果等。

5 结束语

笔者以基于实时数据采存分析的数字孪生车间为对象,通过对车间现场关键要素的数字化模型、生产制造的全过程管控、现场实时数据的采存分析

监控和质量管理分析,建立基于实时数据采存分析的数字孪生车间。

数字孪生车间的研究及实现过程完成了车间生产制造数据的收集、整合与监控,实现重大安全源全面管控、车间药量实时库存监控,显著提升了车间生产效率,为实现国内制造企业数字化转型和智能化提升起到了一定作用。

参考文献:

- [1] 赵荣泳,张浩,樊留群,等. 数字化工厂与虚拟制造的关系研究[J]. 计算机集成制造系统, 2004(S1): 46-50, 55.
- [2] 宁汝新,刘检华,唐承统. 数字化制造中的建模和仿真技术[J]. 机械工程学报, 2006(7): 132-137.
- [3] 孙俊义,刘治红,郭延涛. 基于数字孪生的关键工装寿命预测综述[J]. 兵工自动化, 2022, 41(6): 7-13.
- [4] 朱春明,何仁平,周末. 基于数字孪生的总装车间质量智能管控决策应用技术[J]. 兵工自动化, 2022, 41(6): 24-30.
- [5] 邱枫,赵智聪,刘连喜,等. 基于数字孪生的装配车间资源实时监控方法[J]. 兵工自动化, 2022, 41(11): 18-23.
- [6] 胡才旺,刘治红. 基于数字孪生的质量管控技术研究进展[J]. 兵工自动化, 2023, 42(1): 26-32.
- [7] 刘晓冰,王姝婷,白朝阳. 基于科学知识图谱的数字孪生发展可视化分析[J]. 计算机集成制造系统, 2022(6): 1673-1684.
- [8] 吴俊君,陈海初,张清华,等. 基于数字孪生技术的智能制造实训教学模式研究[J]. 工业和信息化教育, 2022(2): 72-76.
- [9] 葛勇,赵光艺. 基于数字孪生的智能制造技术应用研究[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(7): 189-191, 207.
- [10] 刘志峰,张月泽,杨聪彬,等. 面向智能制造的通用分布式四域数字孪生系统[J]. 中南大学学报(英文版), 2022, 29(1): 209-225.
- [11] 陆剑峰,夏路遥,白欧,等. 智能制造下产品数字孪生体全生命周期研究[J]. 自动化仪表, 2021, 42(3): 1-7.
- [12] 陈川,陈岳飞,曾麟,等. 数字孪生在智能制造领域的应用及研究进展[J]. 计量科学与技术, 2020(12): 20-25.