

# 航空发动机加工现场生产制造 网络化协同系统

乔耀峰<sup>1</sup>, 董 璜<sup>2</sup>, 蒋 波<sup>2</sup>, 刘 剑<sup>2</sup>

(1. 中国航发上海商用航空发动机制造有限责任公司, 上海 201306,

2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

**摘要:** 随着智能工厂、智能制造、工业 4.0 等概念不断成熟, 国家对航空发动机的数字化生产能力, 智能化生产水平, 生产过程管控能力的提高越来越重视, 为解决航空发动机加工现场存在的物料管理手段缺乏、物料无法拉动、生产要素采集少、可视化手段少等问题, 首先对航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统的业务、架构、系统需求进行分析总结, 并以此为基础, 提出了一套面向航空发动机加工现场生产制造过程的网络化协同系统解决方案, 通过对生产过程关键要素数据的采集、追踪、分析和处理, 形成了物料拉动配送系统、生产要素采集系统、可视化看板系统 3 个系统, 实现物料线边拉动优化、数据展示端业务报表优化、生产关键要素信息采集、制造端数据集成等内容。

**关键词:** 加工现场生产制造网络化协同; 物料拉动; 生产要素采集; 可视化看板

## Networked Collaboration System of Manufacturing in Aero-Engine Processing Field

QIAO YaoFeng<sup>1</sup>, DONG Xuan<sup>2</sup>, JIANG Bo<sup>2</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>

(1. AECC Shanghai Comercial Aircraft Engine Manufacturing Co., LTD, Shanghai 201306, China ;

2. China Aerospace Measurement&Control Technology Co. Ltd, Beijing 100041, China)

**Abstract:** With the continuous improvements of intelligent factory, intelligent manufacturing, and Industry 4.0, the country pays more and more attention to the improvements of digital production capacity, intelligent production level, and production process management and control capability of aero-engines. To solve the problems of lacking material management means, non-pull material, little production factor collection, short visualization in the aero-engine processing field. Firstly, the processing business, architecture and requirements of the networked collaborative manufacturing system are analyzed and summarized in the aero-engine processing field. Based on this, a networked collaborative system solution in the aero-engine manufacturing process is proposed. the material pull and distribution system, production factor collection system and visualization dashboard system are obtained by the collection, tracking, analysis and process of the key factor data, the system realizes the optimizations of the material pull, business report in display item, the collection of production factor, and the manufacturing data integration.

**Keywords:** networked collaboration of manufacturing in processing field; material pull; production factor collection; visualization dashboard

## 0 引言

随着智能工厂、智能制造、工业 4.0 等概念不断成熟, 国务院发布了《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》、工业和信息化部发布了《工业互联网发展行动计划(2018~2020年)》等纲领性文件, 为航空发动机行业智能化改造、网络化升级提供政策引导, 行业发展支持, 同时, 边缘计算、大数据、云平台、人工智能、智能化仓库系统、配送系统等内容也为航空发动机行

业智能改造提供了有力的技术支撑。

随着国家对航空发动机行业重视, 如何提高航空发动机生产效率、提高生产过程质量、提高数字化能力、提高智能化水平、提高生产过程管控能力是目前航空发动机行业亟待解决的问题。在实际实施过程中, 选取某航空发动机加工生产过程为业务范围, 梳理业务需求, 分析过程问题, 提出解决方案。具体梳理内容如下:

1) 加工业务旨在提供航空发动机研制所需的核心零部件加工工艺探索及管控, 具体包括增材制造、焊接、打孔

收稿日期: 2022-11-25; 修回日期: 2023-03-10。

作者简介: 乔耀峰(1987-), 男, 河南洛阳人, 工程师, 主要从事数字化制造技术方向的研究。

引用格式: 乔耀峰, 董 璜, 蒋 波, 等. 航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(5): 235-242.

技术探索,零件、工装的返修或补加工等。

2) 加工现场存在生产要素多、加工设备多、数据种类多、物料管理复杂等特点,目前主要方式为人工管理,采用纸质记录方式开展;人机料法环等生产要素未实现全范围、全流程等内容采集;

3) 加工现场已开展制造执行系统(MES)、制造工艺系统(CAPP)的建设,但无法实现通过工单进行物料拉动,物料无法进行提前备货,需要人工进行干预协调;

4) 现场可视化手段少,各岗位人员无法及时和掌握现场生产动态,及时采取措施,进行全范围、全过程管控。

为解决如上问题,需建立一套面向航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统,基于分布式工业云平台,以加工业务在线执行、线边物料配送拉动、生产要素采集、加工工艺规划、业务在线集成及可视化(看板等)等内容进行策划实施,实现业务集成贯穿,形成完整的协同解决方案,进一步提高加工业务的数字化程度,减少加工生产准备、生产执行过程人为参与的环节,有效提高业务效率及质量,具体目标如下。

1) 优化数据采集端信息获取及物料线边拉动:

基于物料编码、立库、AGV、数据分析技术,对商用航空发动机加工生产等环节的物料出入库、物料标识、物料管理、物料配送过程进行数据获取、配送过程数据优化。提高物料配送过程人员使用效率,降低劳动强度。

2) 优化数据展示端业务报表:

针对运行数据,优化报表呈现及数据展示关系。对物料出入库、设备利用情况、人员工时统计、物料资源使用情况,计划进度完成情况,形成可视化报表进行数据展示,完善管理端的数据呈现,提升管理可视化程度。

3) 开展生产关键要素信息采集研究:

基于图像识别、数据采集技术,实现对生产过程关键的人、机、料、法、环等关键数据进行采集。

4) 优化制造端数据集成:

开展应用部署建设,并实现制造端数据的集成打通,优化数字化业务推送模式及执行记录。

## 1 加工现场生产制造网络化协同系统业务及架构

加工现场生产制造网络化协同系统为车间管理人员、车间工艺人员、车间调度人员、库房管理人员、操作人员、货物运输人员等不同人员提供了一个基于网络的生产调度协同系统。

加工现场生产制造网络化协同系统实现了从工艺设计、生产准备、加工执行、质检、库房管理、生产报工等一系列业务内容,关联业务内容如图 1 所示。

为满足加工现场协同工作业务流程复杂、人员众多等需求,同时考虑系统维护升级便利性、分布式办公等需求,加工现场生产制造网络化协同系统结合 B/S 系统成熟的技术实现策略,可以满足跨硬件平台、跨操作系统的要求。

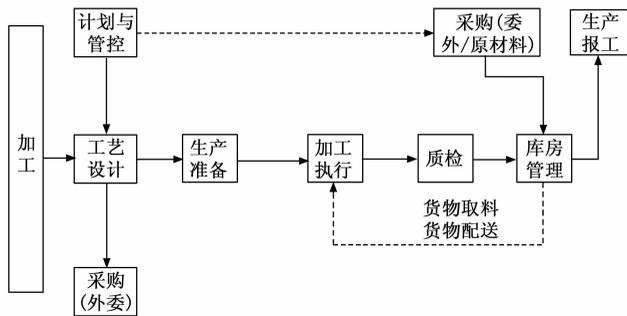


图 1 加工业务范围

在技术体系中采用分层架构设计,包括设备层、系统层、数据层、服务层、应用层、用户层等六个方面的内容。其中,最底层是设备层,主要包括云基础设施、监控看板、工业网设施、商密网设施等基础设施,设备层是综合监控的硬件基础;设备层之上是系统层,操作系统为 Windows Server 或用户指定的操作系统;从实时数据采集系统、生产控制系统、设备管理系统等获取的数据在数据层进行统一的存储和处理,数据库采用 MySQL/MONGODB;数据层上面是服务层,提供用户管理服务、日志服务、消息服务、报表服务、缓存服务等服务,支持 KONG-API REST-FUL,支持消息队列等接口方式;应用层实现各类应用功能,包括数据展示、系统管理、系统监控等;最顶层是用户层,为不同的用户分配用户权限,实现不同用户的业务应用需求。

## 2 航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统需求分析

本文结合某型航空发动机加工业务特点,梳理其加工业务在线执行、线边物料配送拉动、生产要素采集、业务在线集成及可视化等方面的需求。

1) 加工业务在线执行:

基于当前已有的加工 MES 系统开展建设, MES 系统涵盖生产计划管理、质量管理、生产执行、线边库、Andon 系统、与其他系统的集成等功能。通过各系统之间的信息集成交互,实现产品从原料进厂到交付使用的全生命周期管理,按照加工过程的推进,结合各系统里的物料领用消耗和设备及人员信息采集,逐步收集产品 BOM 数据的完成情况,实时跟踪加工完成进度,最终完成产品生产谱系构建,方便未来的追溯。

2) 线边物料配送拉动:

建设完整的线边物料配送拉动方案,通过仓库控制系统(WCS)的建设及集成,实现立体库、刀具库、AGV 小车联动协同,实现加工制造过程物料资源的自动分拣、物料准备、实时配送等。通过自动化立库系统,提升物料存取效率,同时通过 AGV 小车,将物料配送至各机场生产线边库;通过物流配送管理系统,协助库管人员,降低库管

人员劳动强度;

3) 生产要素采集:

项目生产要素采集需结合已有的 MES、SCADA 系统开展, 实现人员、设备、物料、方法、环境、测量信息的实时采集及记录, 包括安装红外传感器, 对区域范围进行管控; 通过图像识别、录屏等方式识别设备报警信息、测量设备示数信息的采集及自动录入; 加装环境监测传感器, 如氧含量、温湿度、烟雾报警等内容。

4) 业务在线集成及可视化:

通过与 SCADA、PLM、ERP、WMS、WCS、MES 等系统的集成, 将各类业务数据进行提取整合, 并在数据中心进行存储管理, 作为加工业务可视化系统的数据源, 实现加工业务的可视化。

### 3 航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统设计

在分析某型航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统需求基础上, 下面进行系统的设计和实现。

#### 3.1 系统工作流程

生产管理人员进行生产加工工艺内容的编辑、加工生产计划的管理和调度, 下达生产任务。系统根据生产作业计划、生产进度数据创建的物流配送计划。

在加工现场, 业务人员登录终端设备, 系统将提示显

示今天的作业任务, 业务人员根据物料需求进行物流配送计划的调整, 并发送物料需求, 进行物料拉动, 物料到位后, 业务人员开始进行物料加工操作, 在整个系统执行过程中, 将对生产过程中的人、机、料、法、环等数据进行采集, 实现物料监控、机床设备监控、安防监控、视频监控、环境监控等功能; 加工完工后, 进行成品入库; 同时, 对于采集的数据汇总到数据中心, 后续可在加工可视化看板中进行集中浏览。

在仓储区域, 库管员在 MOM-线边管理系统以及可视化看板读取物料要求信息, 在立库以及非立库拣选需求的物料内容, 通过 AGV 小车或叉车进行物流配送。

加工现场改进应用工作流程如图 2 所示。

#### 3.2 总体结构

本项目的主要建设内容是在先期已开展建设的制造执行系统 (MES)、制造工艺系统 (CAPP) 的基础之上, 构建线边物流配送系统, 通过软硬件接口开发, 并与立体库、AGV 等硬件设备高度集成, 提供一整套加工现场网络化协同改进解决方案。同时考虑加工业务在线执行、线边物流配送拉动、生产要素采集、业务在线集成及可视化 (看板等) 等内容进行策划实施, 实现业务集成贯穿, 形成完整的协同解决方案。项目主体实施物理范围覆盖加工业务区域。系统总体结构如图 3 所示。

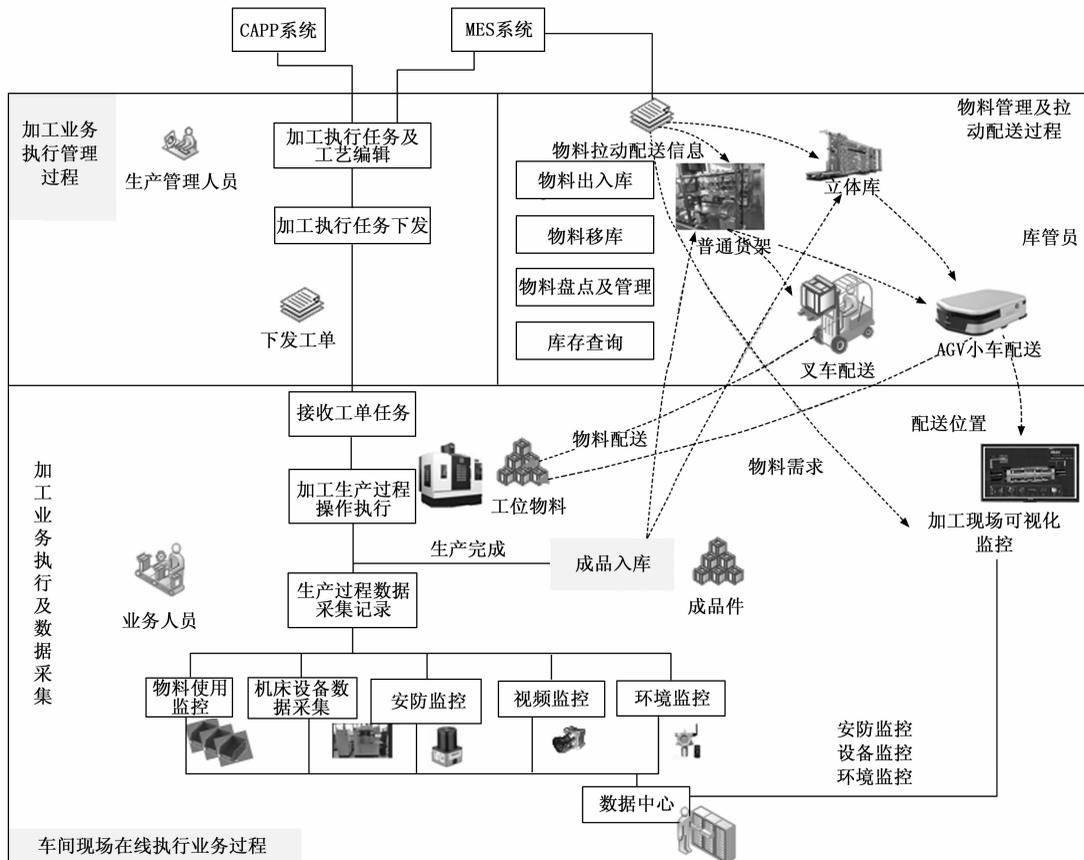


图 2 加工现场改进应用工作流程

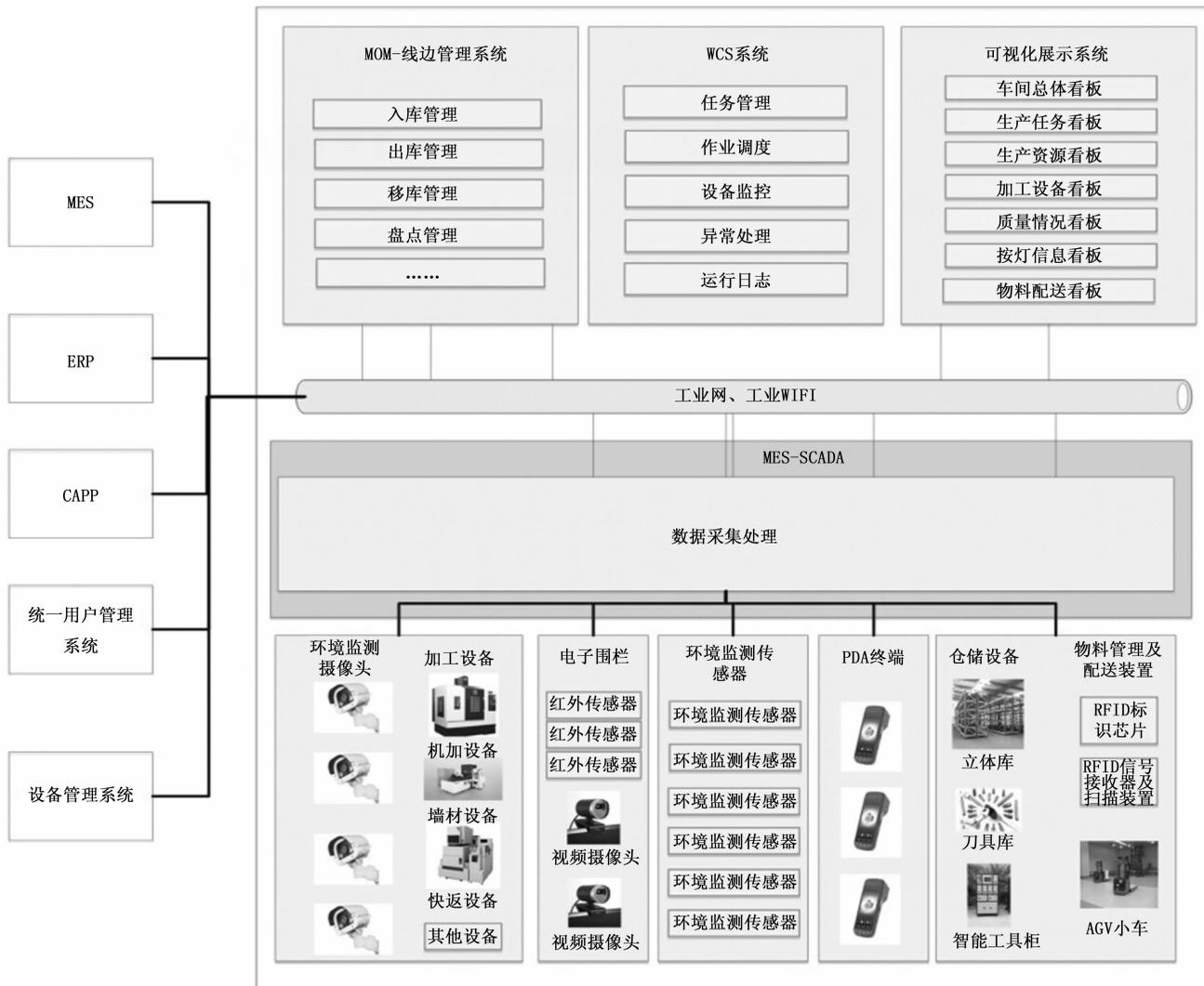


图 3 总体结构

本系统基于现有的现场网络基础设施和云服务设施，进行加工现场改进试点应用设备设施的改进建设，包括软硬件设施的改进建设，形成更加智能化、网络化的加工现场协同生产制造环境，提高加工业务的数字化程度和生产制造效率。

3.3 网络拓扑

航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统以无线网络和有线网络作为信息流转的主要渠道，以云服务器系统、现场看板及控制台计算机为主要运行、处理、存储的核心，其网络拓扑结构如图 4 所示。

3.4 系统组成

航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统包括线边物料拉动配送系统、生产要素采集系统、可视化看板系统三部分内容。

3.5 线边物料拉动配送系统设计方案

线边物料拉动配送系统作为系统最重要的一个模块，提供仓储物流管理的基础功能。

项目需建设完整的线边物料配送拉动方案，通过 MOM-线边管理系统（仓储管理系统）的建设及集成，实现立体库、刀具库、AGV 小车联动协同，实现加工制造过程物料资源的自动分拣、物料准备、实时配送等。

MOM-线边管理系统应具备良好的管理控制机制，可单件、批量的进行货物的分拣、配送，可与物流设备如堆垛机、AGV 小车进行通信，实现与设备接口通信、调度和监控。

MOM-线边管理系统结合一维、二维条码技术，通过入库管理、出库管理、移库管理、盘点管理等功能，实现对库房物料的集中管理应用，实现对仓库物料的有效控制和追踪。

1) 软件架构：

MOM-线边管理系统的软件架构如图 5 所示。

MOM-线边管理系统采用层次化结构，主要包括如下层次结构。

数据/资源层：包括数据库服务器和网络，提供 MOM-

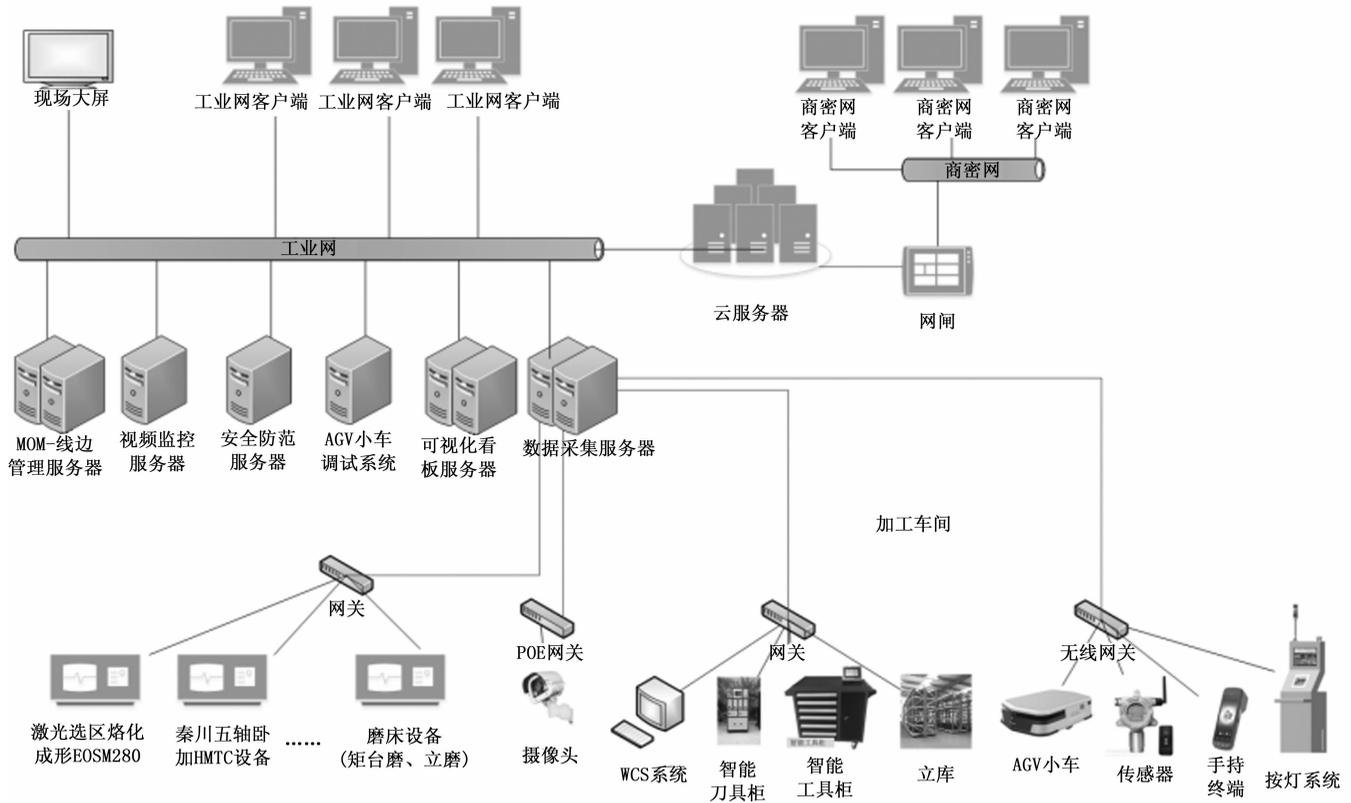


图 4 网络拓扑

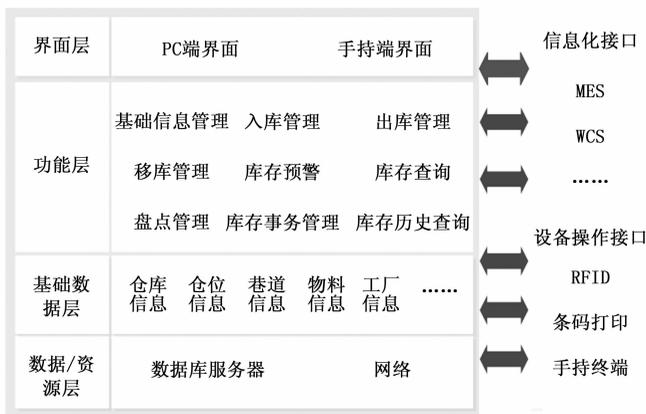


图 5 MOM-线边管理系统层次结构

线边管理系统相关数据的存储硬件支撑, 并通过工业网络实现对自动化仓库的运行管理;

**基础数据层:** 包括 MOM-线边管理系统的业务数据和信息, 如仓库信息、仓位信息、巷道信息、物料信息、供应商信息等各类信息;

**功能层:** 包括基础信息管理、入库管理、出库管理、盘点管理、库存预警、上架管理、下架管理、调拨管理、移库管理等功能;

**界面层:** 提供用于不同用户角色的界面, 同时支持 PC

端界面和手持端界面的界面展现。

MOM-线边管理系统提供与其他系统的信息化接口, 用于与 MES 系统、WCS 系统等系统的集成; 同时提供设备操作接口, 用于与 RFID、条码打印、手持终端等设备的集成。

2) 主要功能:

MOM-线边管理系统的主要功能包括如下。

(1) 基础信息管理:

基础信息管理主要包括物料信息、供应商信息、仓库信息、库位信息等内容。

(2) 入库管理:

入库管理分为外来入库、完工入库等, 提供对各类资源的入库管理, 入库内容包括物料编号、物料名称、物料规格、入库数量、物料单位等信息内容等。

(3) 出库管理:

出库操作可分为生产消耗、完工报交、物料报废、借用出库、物料遗失等, 提供各类资源的出库管理, 对出库的物料或其他资源进行扫描登记, 系统自动进行数据记录, 同时对物料库存量进行更新。

(4) 盘点管理:

支持库存的盘点功能, 按照企业盘存规则, 生产各类资源的库存盘点数量, 配合仓库管理人员的移动终端, 对

库存进行扫描盘点统计。

(5) 物料移库管理:

移库操作包括生产移库、物料移库、借用移库、定检移库、生产领用等;物料移库可由业务人员发起,通知库管员进行执行,实现不同仓库间物料的移动。

(6) 库位调整管理:

在中心库房内进行物料移动,从一个库位移动到另一个库位,库位移动后,在本系统中需进行位置更新。

(7) 库存预警:

制定库位的库存数量上限数量、下限数量、订货点数据,在各类资源库存数量变更时做库存数量的校验,对资源缺货、超储发出预警,并在库存数量达到订货点时自动发出订货预警,提醒库管员或业务人员安排要料或订货。

(8) 系统数据备份:

系统数据备份模块的功能包括数据备份和数据库维护两方面。

(9) 信息系统接口:

信息系统接口通过 webservice 接口或专用接口,与 MOM-生产执行系统、WCS 系统等进行通信,实现数据交换。

3.6 生产要素采集系统设计方案

生产要素采集系统实现多种不同源数据的采集、存储等功能。在实现不同类型数据(比如实时数据或文件数据)进行处理时,需对数据进行归一化。数据采集软件的总体结构如图 6 所示。

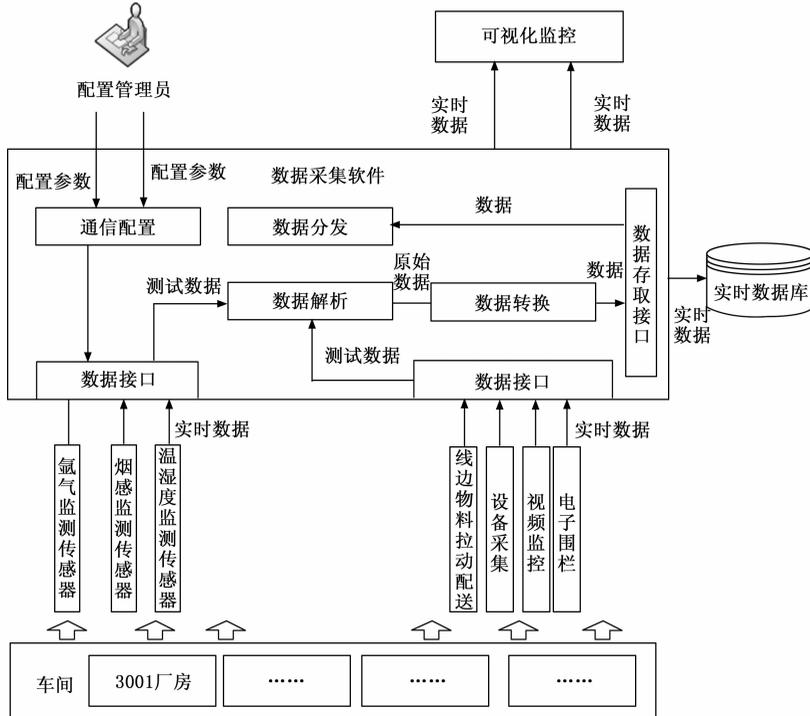


图 6 数据采集软件

根据图 6,数据采集软件通过数据接口对车间的环境传感器、车间设备、监控视频、电子围栏等设备进行数据采集、数据解析、数据转换,之后一方面将数据存入数据库中,另一方面,将数据推送给可视化监控模块进行数据展示。

数据采集软件包括通信配置管理、数据通信、数据解析、数据转换、数据存储等功能<sup>[1]</sup>。

1) 通信配置管理:

通信配置管理功能主要实现对不同采集设备以及传感器数据的管理以及通信参数的配置,包括配置目标 IP、通信端口、数据采集频率等。

2) 数据通信:

数据通信主要采用网络协议通信模块。

在实时数据包接收和记录时,根据系统配置通过给定的网络端口分别接收实施设备状态监测数据,并以文件方式在定制的存储路径下进行记录,具体网络接收模式、网络地址和端口、记录文件路径、单个文件最大记录长度等都可以通过配置设定。

在实时数据包解析和转发时,根据各设备所属系统具体的数据包格式,根据系统配置进行必要的数据包解析,获得所需的数据帧,通过网络以网络包的方式实时发送给数据处理模块。具体的数据包解析要求、转发的数据内容、发送目的的主机的网络地址和端口等可通过配置设定。

对于数据通信,需要考虑多个传感器并发等问题。对于数据通信,可考虑采用 Kafka 的数据通信方式。

3) 数据解析:

数据解析模块在收到通信数据后,会自动触发文件解压函数,自动将文件解压到指定的位置,之后对数据帧进行解析,包括从数据帧各位置提取参数内容,形成参数原始值,之后可将参数传递给数据转换模块,进行转换。

4) 数据转换:

数据转换模块根据预定义的公式、表达式、曲线等计算方法,对原始数据进行转换处理,得到工程值,同时,在转换过程中,可进行数据的插值处理等内容。

5) 数据存储:

数据存储支持对海量的、各种类型数据的统一存储,包括物流数据、设备运行实时数据、设备诊断数据等内容,对于不同类型的数据,存入相应数据库中。

对于业务关联数据,比如物流业务关联数据,系统将其存入到关系数据库中,基于 Oracle 或 MySQL 数据库进行数据存储;对于实时数据,存入时序数据库中,利用时序数据实现数据快速存取;对于文件数据,可将文件数据存入服务器文件系统中,后续应用时,再对

文件进行解析。

### 3.7 可视化看板系统设计方案

可视化看板系统部署于用户已有的云服务基础设施之上, 为中央控制室、工业网、高密网的各类用户提供各类监控、报警服务。

可视化看板系统将相关的应用划分为实时应用和非实时应用, 实时应用主要是数采设备状态和各类监控报警应用, 包括设备运行状况、物流流转情况、按灯状态等内容的实时监控; 非实时应用包括数据统计信息等。从相关系统获取数据后, 根据实时应用和非实时应用的不同, 数据请求服务引擎调用实时数据请求服务, 以满足实时监控的快速响应需求; 调用非实时数据请求服务满足统计等应用需求。

过程中的信息追溯, 决策制定针对性措施, 以提升物流作业效率, 减少不必要的成本; 帮助管理人员设计最优的物料运输方案, 改善物料运输流程, 提高物料流转效率。

## 4 航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统实现

目前已基于商用发动机加工车间实现线边物料拉动配送、生产要素采集、可视化看板等内容, 具体实现如下:

1) 线边物料拉动配送: 以 MOM-线边管理系统为基础, 通过与仓库控制系统 (WCS) 的联动, 实现与立体库、AGV 小车、刀具库、工具库联动协同;

系统能够准确地展示物料流转情况、实时跟踪物资位置以及各环节的作业耗用时间, 方便物流转移过程中的信息追溯, 决策制定针对性措施, 以提升物流作业效率, 减少不必要的成本; 帮助管理人员设计最优的物料运输方案, 改善物料运输流程, 提高物料流转效率。

MOM-线边管理系统实现界面如图 7 所示。

2) 生产要素采集: 以数据物联软件为基础, 实现了人 (人员数据)、机 (机床数据)、料 (物料数据)、法 (生产工艺路线)、环 (环境数据) 等内容的采集。

其中, 对于激光选区熔化成形设备数据采集的实现方式为通过激光选区熔化成形设备工控机设备的 VGA 接口进行图像 PC 视频数据的采集, 采集完成后进行图像的自动识别, 提取执行任务名称、关键参数等内容, 同时控制摄像头采集频率为 1 s, 进行加工过程图像采集, 整个过程完成后, 从采集参数中提取关键点, 并根据关键点的时间提取加工过程图片, 数据打包后进行存储。设备图像识别原理如图 8 所示。

数据采集内容包括如下。

打印开始: 计时从 00: 00: 00 开始增加表示打印开始;

打印暂停: 打印时间不再增加并且 Z 轴高度与设定值不等, 说明打印暂停;

打印结束: 打印 Z 轴高度和设定值比较, 如果一致则



图 7 MOM-线边管理系统

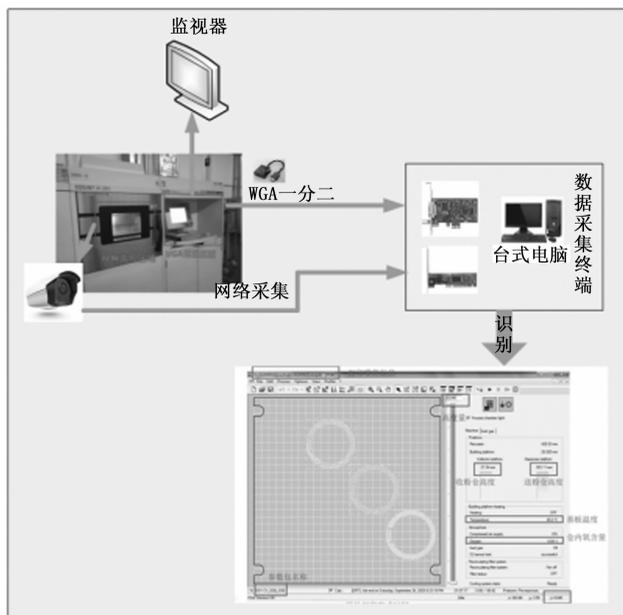


图 8 设备图像识别原理

为打印结束; 停止按钮由黑色并变为灰色则停止。

3) 可视化看板: 通过加工业务可视化展示技术, 实现对车间的集中管控展示平台, 以制造为中心, 以及上下相关环节的业务关键核心指标的集中展示和发现异常的快速

应对处理,实现车间级别的管理驾驶舱,并与公司级管理驾驶舱进行集成展示。

系统通过综合看板、任务看板、物流看板、设备看板、质量看板、按灯看板、安全看板等几个维度全面进行数据信息的展示。



图 9 综合信息展示

图 9 为航空发动机加工现场生产制造网络化协同系统中综合信息展示页面,在其中展示了如下信息:

- 1) 车间信息:以某车间为背景,展示车间的总体情况;
- 2) 生产订单信息:展示生产任务的完成情况,包括未开始、进行中、预期进行等不同状态;
- 3) 设备信息:展示设备的工作状态,包括运行状态、停机状态、待机状态、报警状态等;
- 4) 安灯报警信息:展示工作中设定的安灯报警信息;
- 3) 人员信息:展示人员总体数量和人员列表的展示;
- 4) 设备信息:展示位于当前厂房的设备总数和和设备列表;
- 5) 人脸识别及安防报警信息:展示区部区域授权及未授权人员进入情况。

## 5 结束语

生产制造网络化协同加工现场改进系统目前已在航空发动机某加工车间得到应用,在应用过程中,对生产现场带来了如下方面的效果:

- 1) 优化和提升了加工现场的数字化能力,以加工车间工业互联网基础设施为基础实现对加工现场人机料法环等生产要素进行全范围、全过程、全要素的数据集中化管控,进行了数据共享方式创新及优化。
- 2) 优化和提升了数据采集端信息获取及物料线边拉动环节,通过采用智能化仓库、智能配送、智能仓库管理等手段,减少加工生产准备、生产执行过程人为参与的环节,提高物料配送过程人员使用效率,有效提高业务效率及质量;
- 3) 优化和提升了数据展示端业务报表,以加工车间业务需求为背景,以不同岗位人员关注目标为出发点,梳理报表呈现及数据展示关系,完善管理端的数据呈现,提升

管理可视化程度。

## 参考文献:

- [1] 张博,徐跃,马英杰.基于时域测试的传导骚扰分析系统[J].计算机测量与控制,2022,30(7):91-109.
- [2] 马汉武,贡文伟,陈骏.设施规划与物流系统设计[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [3] 韩崇昭,朱洪艳,段战胜,等.多源信息强合[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [4] LI Y M, BAI L, WANG L. Design and Implementation of the Logistics Management System Based on J2EE Technology [J]. Trans Tech Publications, Switzerland, 2012, 6-7.
- [5] CHRYSOLOURIS G, MAVRIKIOS D, PAPAKOSTAS N, et al. Digital manufacturing: History, perspectives, and outlook [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, 2009, 223(5): 451-462.
- [6] 李凯.基于“工业4.0”的航空发动机智能制造建设模式研究[J].科技展望,2016,26(21):10-11.
- [7] 王彦蕾.智能制造推动航空制造业转型发展[J].经济视野,2016(112):117-118.
- [8] 张家谔,杨建军.面向复杂作业车间的交互式两级调度方法[J].控制与决策,2020,35(9):2285-2291.
- [9] 周亚琴.现代物流信息管理系统的设计与实现[D].成都:电子科技大学,2013.
- [10] 齐恒.基于物联网的物流企业智能仓储管理系统设计[J].实验技术与管理,2013,30(12):133-135.
- [11] 徐慧剑.基于物联网RFID技术的智能仓储系统的设计与实现[J].制造业自动化,2012,34(4):139-141.
- [12] 于海斌,朱云龙.协同制造——e时代的制造策略与解决方案[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [13] 章瑾,孙玉昕.基于物联网的仓储管理系统设计[J].武汉船舶职业技术学院学报,2012(5):61-63.
- [14] 刘顺财.浅谈物联网技术发展现状及其应用[J].网络安全技术与应用,2016(4):93-94.
- [15] 聂志.基于物联网的数字化车间制造过程数据采集与管理研究[D].南京:南京航空航天大学,2014.
- [16] 吴澄.现代集成制造系统导论——概念、方法、技术和应用[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [17] 于海斌,朱云龙.协同制造——e时代的制造策略与解决方案[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [18] 周华.面向装备制造业的协同制造平台[D].重庆:重庆大学,2010.
- [19] 杨平,廖宁波,丁建宁.数字化设计制造技术概论[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [20] 吴衍.智能物流系统在物流管理中的应用研究[J].信息与电脑,2016(13):146-147.
- [21] 杨俊涛.面向数字化车间的质量管理研究及系统开发[D].沈阳:沈阳理工大学,2015.
- [22] 王金庆.数字化工厂及其关键技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2001.