

doi: 10.7690/bgzdh.2023.05.004

机加车间智能管控技术

邱枫¹, 黄利红¹, 孙科星¹, 侯又清², 徐曼菲¹, 范波¹

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司, 四川 绵阳 621000;

2. 西南计算机有限责任公司保密部, 重庆 400064)

摘要: 为解决机加车间内机加单元、机床生产过程生产任务超期、设备平均利用率低等问题, 对机加车间智能管控技术进行研究。阐述机加车间的单元组成和生产约束分析, 构建机加单元车间数据采集、存储、分析和应用体系, 对实时数据采集存储、任务排产与动态调度、智能管控等关键技术进行分析; 结合某车间实际组成和任务情况, 进行软件开发与实现, 并在该现场进行部署应用。应用结果表明: 该技术实现了机加车间任务、设备等关键生产资源的数字化建模与管理, 提高车间机加设备平均利用率和任务按时完成率, 有力助推智能管控技术在车间赋能, 促进企业数字化转型。

关键词: 机械加工; 智能管控; 智能制造

中图分类号: F253.9; TP319 **文献标志码:** A

Intelligent Management and Control Technology of Machining Workshop

Qiu Feng¹, Huang Lihong¹, Sun Kexing¹, Hou Youqing², Xu Manfei¹, Fan Bo¹

(1. Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China;

2. Security Division, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400064, China)

Abstract: In order to solve the problems of machining unit, machine tool production process, production task overdue and low average utilization rate of equipment in machining workshop, the intelligent management and control technology of machining workshop was studied. The unit composition and production constraint analysis of machining unit workshop are described, and the system of data acquisition, storage, analysis and application of machining unit workshop is constructed. The key technologies of real-time data acquisition and storage, task scheduling and dynamic scheduling, intelligent management and control are analyzed. Combined with the actual composition and task situation of a workshop, the software development and implementation are carried out, and the application is deployed in the field. The application results show that the technology realizes the digital modeling and management of key production resources such as tasks and equipment in the machining workshop, improves the average utilization rate of machining equipment in the workshop and the on-time completion rate of tasks, effectively promotes the empowerment of intelligent management and control technology in the workshop, and promotes the digital transformation of enterprises.

Keywords: machining; intelligent management and control; intelligent manufacturing

0 引言

制造业作为我国国民经济的支柱产业, 是我国工业化的首要驱动力, 是信息化带动工业化的主战场^[1-2]。智能制造监控系统能够保持计划管理层和车间控制层之间的双向通信能力, 实现上层计划管理系统与底层过程控制系统之间的信息交换, 将生产和管理有机地结合起来, 能有效解决制造业在信息化过程中出现的信息孤岛、信息断层等问题^[3-6]。

文献[7]提出一种基于产品制造工艺驱动、适用于可重组生产线的组态监控系统, 主要用于监控生产设备的运行状态(正常加工、故障)。文献[8]加工自动生产线监控集成模型开发的多目标监控系统应用于汽车变速箱齿轮加工自动生产线。文献[9]基于

以太网和 OPC 技术, 实现了与车间内设备的远程实时通信, 对压铸单元进行监控, 能检测出压射异常造成的不合格铸件。文献[10]智能制造单元级智能监控技术研究与应用, 实现了 3 台中心、1 套物流系统的数据采集存储, 单元效率分析和智能管控, 提升了单元智能管控水平。综上所述, 虽然国内外在车间智能管控做了较多的技术研究, 但将任务和设备平均利用率综合考虑优化的管控系统应用和研究相对较少。

针对机加车间设备平均利用率低、任务延期长等问题, 开展数据采集存储、任务排产与调度、智能管控等技术研究, 以解决车间设备平均利用率和缩短任务交付期等问题。

收稿日期: 2023-02-25; 修回日期: 2023-03-28

作者简介: 邱枫(1991—), 男, 四川人, 硕士, 工程师, 从事工业数据采集、智能管控等智能制造领域技术研究。

E-mail: 731385903@qq.com.

1 机加车间综述

伴随着某机加产品的发展，产品多元化的情况也在逐渐加剧，机械加工车间由最开始的大规模、大批量生产模式逐渐演变成小批量、多品种生产模式，并且在制品积压、设备故障率控制、生产安排合理性、现场管理等方面已成为摆在企业发展面前的难题，主要体现在如下方面：

1) 产品种类繁多，机械加工车间生产线切换频率上升。目前车间常态化产品数量达到 30 余种，非常态化小众品类多达百余种。为满足订单计划，车间需要经常性地换产，而换产就要调整设备和工装夹具，由此损失的时间成本和设备成本、物料成本，将严重影响车间的生产加工效率和质量。

2) 在零部件检测和加工过程中，仍然采用传统的数据记录方式进行手工记录，现有设备没有联网，大部分只能由人工读取，工作量大，信息孤岛严重，不能进行深层次地挖掘，缺乏对现场信息有效的分析利用，不能为产品生产持续优化提供决策性的建议。

2 智能管控

在构建车间互联互通网络基础上，对生产单元实时数据进行采集、处理、存储。将采集的制造过程数据作为机加零部件大批量多品种混线生产智能排产技术的边界条件，用于建立生产线的资源条件约束，进而进行混线生产自动排产和动态调度，构建大批量多品种混线生产智能排产与集成管控平台，实现智能排产、数据采集与交互、智能管控、可视化监控等功能的一体化运行。

2.1 生产任务自动排产与调度

机加零部件生产具有多品种、大批量、长流程、混线生产的特点，在排产调度约束方面具有突出的自身特点。机加生产过程排产约束分析如表 1 所示。

综合考虑 4 方面的约束：1) 订单交货期、生产数量、工艺流程、工时等基本约束；2) 订单整体分批、过程分批等订单柔性组织约束；3) 订单整体流水、过程流水、单一工艺工序拆分到多设备上的并行生产等周转组织约束；4) 车间所具有的加工关联牵引的协调生产约束等。主要采用启发式规则和智能优化算法相结合的思路，在人机交互方面，采取支持工作日制调整、更换设备、更换队列等方式，支持充分发挥调度人员的经验以及排产安排习惯，

生成更加符合实际的适用性排产方案。基于自动排产与人机交互的多品种混线生产智能排产与动态调度技术方案如图 1 所示。

表 1 机加生产排产约束分析

序号	描述
1	订单交货期约束
2	订单数量约束
3	订单工艺流程约束
4	是否存在外协工序
5	工序-资源-工时约束
6	订单执行前整体分批
7	订单执行中过程分批
8	工艺工序分解为多个调度工序并行生产约束
9	订单执行中整体流水式生产约束
10	生产扰动约束：插单
11	生产扰动约束：开工完工偏差
12	生产扰动约束：刀夹量准备不到位、原材料采购不到位或存在质量问题
13	生产扰动约束：技术状态变更(订单挂起或工艺调整)
14	生产扰动约束：加工质量不合格
15	生产扰动约束：设备损坏或维修

机加生产中存在较为突出的大批量生产型订单，一般属于批产性订单，采用压件式周转和设备组分配的方法，为大规模批产性订单提供流水式生产周转保证。其中：压件策略将采用平行顺序移动的处理方式计算前后关联工序的开始-结束时间得以实现；并行策略采用基于可用设备列表以及考虑前后工序生产节拍的均衡性进行分配和计算。

针对在执行过程中存在大量各种形式的生产扰动，基于执行状态反馈的动态调度技术通过分析生产扰动事件的影响调整方式，采取分类模块化的处理思路，实现对作业排产方案及时有效的动态调整。通过对典型生产扰动事件进行分析可知对排产调度方案的影响主要体现为：移动调整、插入调整、删除调整、追加调整 4 种基本调整方式，从而为后续分类模块化的处理方式提供了支持。

为满足生产任务快速响应调整的要求，根据不同生产扰动事件对当前作业排产方案的影响范围及程度分析，将其体现为移动调整、插入调整、删除调整、追加调整 4 种基本处理方式，如表 2 所示，通过算法模块的固化及其组合应用，实现生产扰动事件的快速高效处理。基于分类模块化处理机制的动态调度技术方案如图 2 所示。

受影响工序关联树建立：当一个工序发生扰动事件时，其后续的影响工序包括零件内后驱工序和设备内后续工序；因此，将受影响工序组织为受影响工序关联树的形式，以发生动态调度的工序为根节点，以其零件内后驱工序和设备内后续工序为

一阶子节点,逐层建立后续的多阶受影响工序节点,直至作业计划中不存在受影响后续工序。受影响工

序遍历及其关联树的构建是动态调度调整的核心,决定了调整的范围和深度。

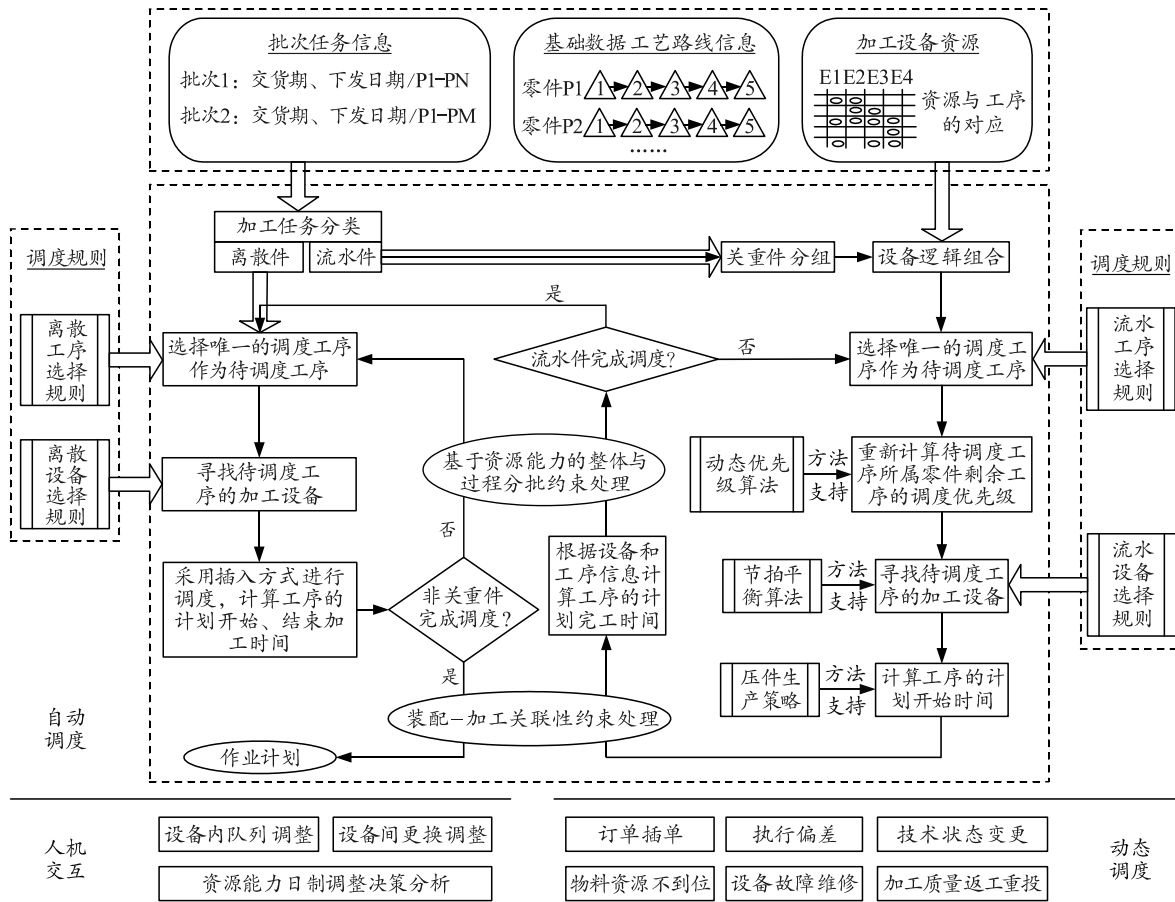


图 1 生产智能排产与动态调度技术

表 2 机加生产过程的典型扰动事件及其影响分析表

扰动来源	现场执行状态 (反馈事件)	动态调度影响分析
订单变化层 次扰动	急件插入	在时间节点后插入新任务,调整时间节点后的作业计划,原有的作业计划也会受到影响
	任务分批	一个批次按原开始时间重新计算结束后前移受影响工序,另一个批次以插入或追加或并行方式添加到作业计划中
技术状态层 次扰动	工艺添加	以追加方式将新添加工艺增加到作业计划中
	工艺修改	将原有工序从作业计划中删除,前移受影响工序,以追加方式将新添加工艺增加到作业计划中
资源状态层 次扰动	生产准备不足	将原有工序从作业计划中删除,前移受影响工序
	设备故障/维护调整、工作日制/日历调整	对受影响工序的开始和结束加工时间进行重新设置,包括前移和后移等调整操作
执行过程层 次扰动	执行时间、数量偏差	对受影响工序的开始和结束加工时间进行重新设置,包括前移和后移等调整操作
	加工出现质量问题或废品	原订单执行数量发生变化,废品件需采用插入的方式进行补投

分类模块化的扰动处理技术:利用基本调度算法的综合作用,对车间内部的生产扰动按照固定流程进行响应。其中,插入算法、移动算法和撤销算法属于面向当前已形成的扰动状态的动态调整算法,主要用于调整后一段时间内不会产生持续扰动的情况下对原作业计划进行微调。

2.2 分布式数据采集与存储

针对机加车间,构建统一的工业以太网实现设

备等设施的互联互通。在此基础上研制安全、可靠、准确的数据采集模块,实现数据的实时采集、共享、处理,实现生产单元运行状态的实时感知和集中监控。

1) 数据采集与交互技术。

机加车间设备提供对外通信接口,车间现场层通过通信接口提供制造执行过程数据,数据采集与交互层通过协议解析,实现设备数据的自动采集,包括:开停机状态、坐标、主轴转速、报警、忙闲

等设备状态数据；工艺步骤、工艺参数等工艺数据；合格/不合格数量等在制品相关数据。通过数据融合处理将数据分发给上层管控系统，同时接收管控系统的生产指令及相关工艺参数文件，分发给现场的设备进行加工。

为在各项资源到位的同时系统能够获得相关数据，数据的采集点覆盖机加车间所有设备，主要涉及加工中心数据采集和 NC 程序传输管理。结合目前主流的数控加工中心通信方案，选用基于以太网的局域网通信。加工中心数据采集项如表 3 所示。

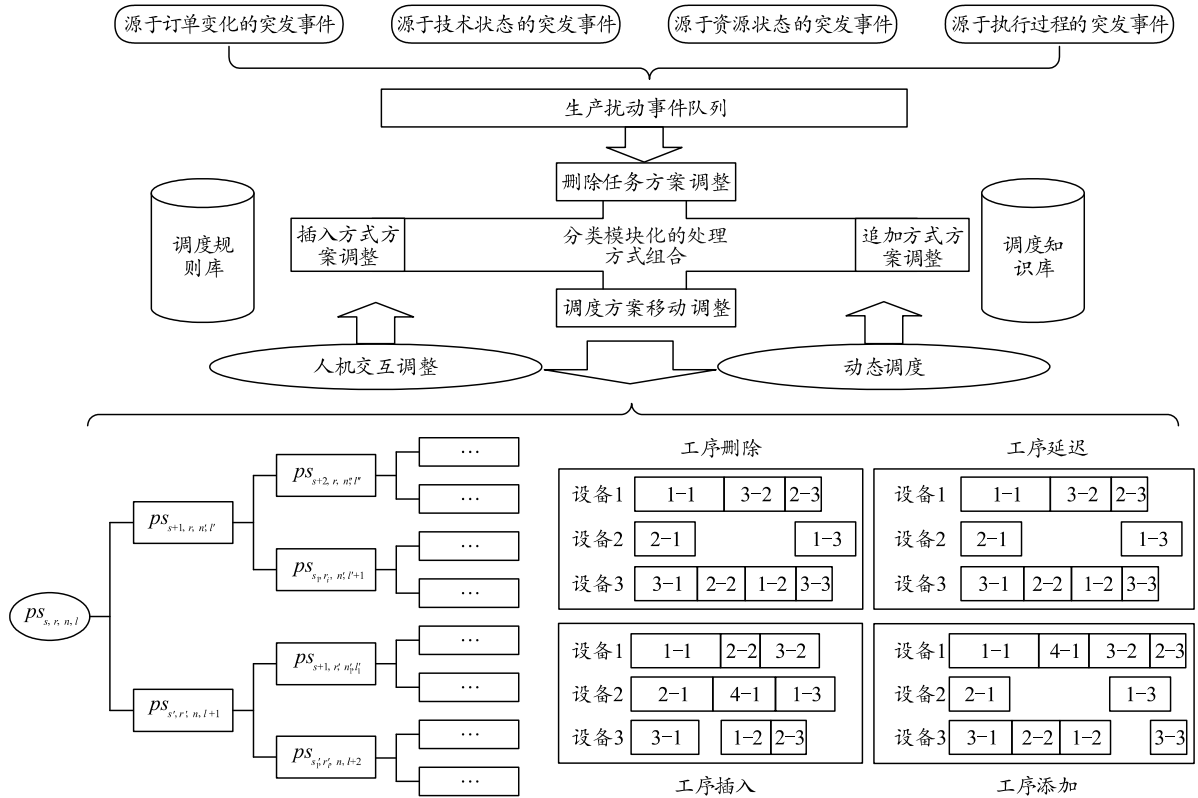


图 2 基于分类模块化处理机制的动态调度技术

表 3 机加车间典型设备数据采集方式

序号	采集与交互对象	数据项	采集交互方式
1	加工中心	运行/停止状态，报警状态	带串口或 RJ45 网口，通过驱动程序进行采集
		NC 程序程序	
		运行时间，主轴转速	
		开关门状态	
2	5 轴机器人	运行/停止状态，报警状态	通过总控 PLC 进行采集
		夹具状态	
		机械臂抓取位置	
3	加工中心缓存装置	缓存容量	通过总控 PLC 进行采集
4	上下料装置	运行/停止状态	通过总控 PLC 进行采集
		上线数量	
		下线数量	

2) 制造执行过程数据管理。

生产过程中涉及的设备数据具有数据量大的特点，主要包括计划数据、设备数据、质量数据等。建立制造执行数据中心，用以存储和管理制造过程现场的实时数据和非实时数据，实现数据的分类、分级、统一管理，为制造执行过程管控提供统一的

数据源，指导和优化生产过程。

数据分类管理：采用数据库对采集的数据进行存储管理，按业务类型对生产相关数据进行分类存储，形成不同业务数据库，如生产任务数据库、设备数据库等。数据中心预留数据接口，为上层管控系统提供基础数据。管控系统根据需从数据中心提取数据，进行数据查询、对比分析、生产过程可视化监控等公共操作，实现设备运行监控和管理功能。

数据分级管理：针对设备运行状态、加工参数等实时性要求高、数据量大的数据，存放在实时数据库中；针对上层管控系统计划、设备管理等业务数据，存放在业务数据库中。通过对实时数据库中的数据进行融合、抽取、处理、装载等操作，实现两级数据库的数据转换、共享。

2.3 生产作业智能管控

在计划执行过程中，需要接收设备智能管控系

统反馈的计划执行状态相关信息，实现生产异常的快速响应和计划的动态调整，通过对生产线上数据设备状态、生产进度、质量情况等数据的自动采集，实现生产全过程产量、质量、资源、设备等数据的贯通，建立存储各类生产数据的数据中心，实现对生产任务执行情况、设备运行情况等实时管控，将生产过程数据多维度分析与展示，实现生产过程的可视化监控。生产过程智能管控流程如图 3 所示。

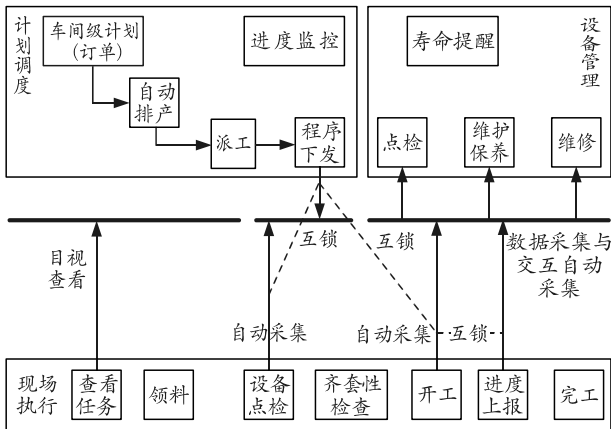


图 3 生产管控流程

系统包含内部集成和外部集成 2 部分，内部集成包含数据采集存储模块、排产模块和智能管控模块共 3 个软件模块的数据集成，模块之间通过共享数据库和 HTTP 接口进行集成，外部集成通过定制数据接口实现与车间 TCM 系统和质量管理系统集成。系统集成关系如图 4 所示。

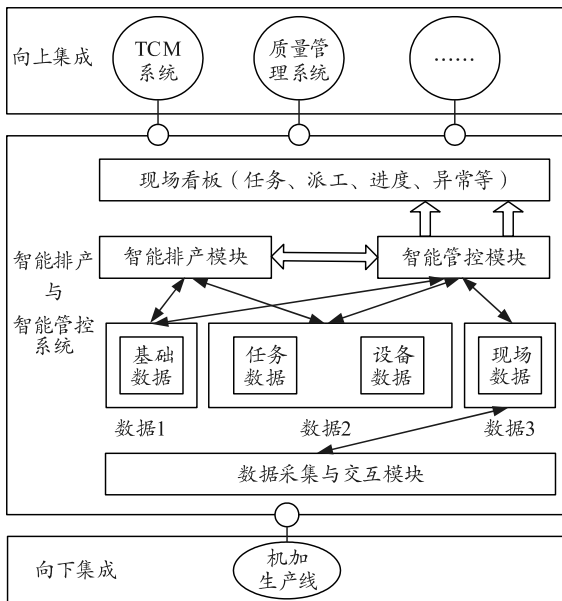


图 4 系统集成关系

3 应用对象

设备组成及流程：某机加车间包含 18 台数控机床，其中分为 2 个成组单元和 6 台离散机床。机床主要为 Fanuc 0i-td/0i-md 数控系统。设备布局如图 5 所示。

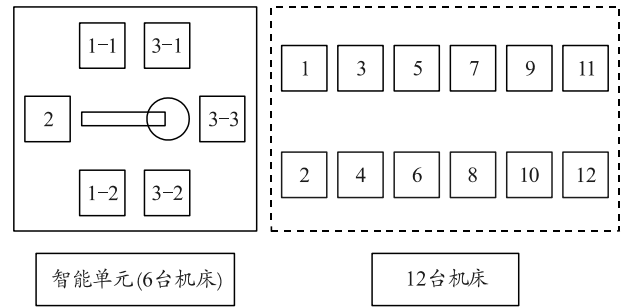


图 5 设备布局

针对某机加车间某产品主要分为 4 类，产品存在多种型号批次轮番生产，典型产品工艺流程如表 4 所示。

表 4 工艺流程

产品名称	工序序号	工序名称	单件工时	可用设备集合	准备时间 min
产品 1	1	铣两端，初定全长，钻铰孔等	12	加工中心	2.0
产品 1	2	车杆部、台阶外圆	5	数控车床	3.0
产品 1	3	铣全身、螺旋等	23	加工中心	1.5
产品 2	1	铣两端，初定全长，钻铰孔等	12	加工中心	2.0
产品 2	2	车杆部、台阶外圆	2	数控车床	3.0
产品 2	3	铣全身、螺旋等	34	加工中心	1.5

4 系统实现与部署

4.1 技术架构

如图 6 所示，系统采用基于 Java EE 技术和 B/S 架构开发的 WEB 类应用，可快速移植到国产化操作系统，采用 Spring Application Framework+Hibernate 等组件，采用表现层 (UI)、业务流程层 (BPL)、业务逻辑层 (BLL)、数据访问层 (DAL) 相分离的先进多层架构设计，采用“浏览器+应用服务器+数据库服务器”的多层架构，能够将表现逻辑、业务处理逻辑和数据访问逻辑分离开来，支持大量用户访问和海量数据的存储、检索和管理，同时确保应用系统的安全性和可靠性。

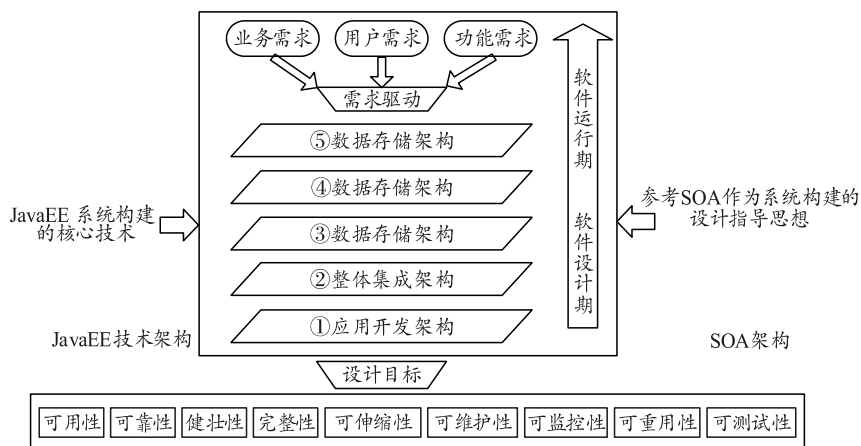


图 6 管控平台技术框架

4.2 现场部署

系统以某机加车间为实施应用对象，以车间生产组织过程为依据，开发大批量多品种混线生产智能排产与集成管控系统，数据采集与存储模块实现现场 18 台设备 420 项数据的秒级采集与存储，任务排产与调度实现现场 10 余项任务的排产与调度，智能管控模块实现任务、进度、产量等 6 项业务功能的数字化建模和集中管理。

5 结束语

机加车间智能管控技术通过对现场数据进行实时采集和存储，任务订单排产与动态调度，生产过程资源智能管控，开发智能管控系统，解决了现场任务管理时间滞后长、现场异常处理慢等问题，提高了机加车间智能管控水平和生产过程透明度。通过在现场的 24 h 不间断运行，系统运行稳定，累计采集机床数据 60 余万条，任务相关数据 1 000 余条，与原有生产相比，关键零部件生产周期计划满足率达 90% 以上，单元内设备利用率提高 20% 以上。

智能管控系统通过对现场设备进行组网和数据采集、分析，起到了现场实时管控的作用。系统将数据进行统一存储、备份和管理，通过内嵌业务逻辑和数据分析算法，实现设备利用率、平均故障间隔等设备效能分析，具备与其他系统集成接口，便于与工厂级 MES 系统集成。下一步，将深度挖掘现场造成生产时间损失的原因，进一步优化生产过

程，提高机加车间设备利用率和生产效率，推进智能制造在车间级的落地，助推企业数字化转型。

参考文献：

- [1] 黄群慧, 贺俊. 中国制造业的核心能力、功能定位与发展战略—兼评《中国制造 2025》[J]. 中国工业经济, 2015(6): 5-17.
- [2] 江泽民. 新时期我国信息技术产业的发展[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(10): 1589-1607.
- [3] 肖力塘, 苏宏业, 苗宇, 等. 制造执行系统功能体系结构[J]. 化工学报, 2010, 61(2): 359-364.
- [4] 党森, 王娜. 水果智能分拣产线的现状与发展趋势[J]. 兵工自动化, 2021, 40(5): 18-21.
- [5] 程志伦, 范玉青. 钢铁企业基于组件的柔性制造执行系统设计[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(3): 490-496.
- [6] 程虹霞, 向俊, 张博. 新一代信息技术与智能制造先进生产模式融合[J]. 兵工自动化, 2021, 40(11): 55-59.
- [7] 徐立云, 陈俊, 李爱平, 等. 产品制造工艺驱动的可重组生产线监控系统的设计与研究[J]. 现代制造工程, 2011(1): 21-25, 77.
- [8] 陈凯. 智能制造实时监控系统设计及开发[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2017.
- [9] 张驰, 李培杰, 张百在. 压铸单元远程监控系统的开发与应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34(9): 944-947.
- [10] 邱枫, 刘治红, 王胜, 等. 智能制造单元级智能监控技术研究及应用[J]. 兵工自动化, 2019, 38(12): 31-37.