

基于CPS的设备管理研究与应用

杨曙光

(江苏杰瑞信息科技有限公司, 江苏 连云港 222000)

摘要: 制造企业在智能制造改革过程中的主要目的是降低生产成本,提高生产效益,而当前生产设备的低利用率成为制约其发展的一大重要因素。对制造企业当前面临的生产状况进行分析,并将信息物理系统与企业的实际情况相结合,使用层次化的方法设计了一套设备管理系统。通过系统的建设,改善了数控机床的生产状况,使得生产设备得到了充分的利用,科学有效地提高了企业的生产效率,最终实现降本增效的目的。

关键词: 智能制造; 信息物理系统; 设备管理; 生产效率; 机床

中图分类号: TP39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)08-0206-05

当前,中国工业生产面临产能过剩、供需矛盾、成本上升等诸多问题,传统的研发设计、生产制造、应用服务、经营管理等方式已经不能满足广大用户新的消费需求、使用需求,迫使制造业转型升级,提高对资源配置利用的效率^[1-2]。制造企业需要新的技术应用使得自身生产系统向柔性化、个性化、定制化方向发展^[3-4]。而信息物理系统(cyber-physical system, CPS)正是实现个性化定制、极少量生产、服务型制造和云制造等新的生产模式的关键技术,在大量实际应用需求的拉动下,信息物理系统顺势出现,为实现制造业转型升级提供了一种有效的实现途径^[5-7]。

此外,随着中国产业结构的升级和供给侧改革的不断深化,高端制造业对机床,特别是高档数控机床需求的不断提升,产品高端化和加快整合将是机械加工行业未来发展的主线目标,也是实现发展和跨越的新契机^[8-9]。但是,这也面临一些新问题:一方面,中国机械加工行业多为中小型企业,中小型企业由于规模的限制,企业内、企业间信息交流有限,容易造成信息孤岛;另一方面,中国机械加工行业现在面临的一个较严重的问题是大量的生产设备闲置,得不到充分利用^[10]。据不完全统计,中国中小型生产企业的设备使用率普遍低于30%。这也意味着企业花费大量资金购置的生产设备处于闲置状态,闲置的生产能力无法有效、及时地找到对应的需求,这是对生产资源的极大浪费。这些现象在机械加工业界里所占比例很大,已成为机械

加工业整体发展的瓶颈,也造成了行业发展的不平衡^[11-13]。

对于制造企业来说,通过信息物理系统的应用,可以有效地提升企业运营管理能力、提高车间设备的利用率,从而增强自身的竞争力^[14-16]。

1 信息物理系统

信息物理系统(CPS)近年来成为工业领域关注的焦点,目前普遍认为企业智能制造系统建设的核心是CPS建设,CPS将在智能制造发展过程中起到重要的引领作用^[17]。嵌入式技术和控制系统的发展构成了CPS的相关理论基础,并扩展、延伸成了CPS^[18-19]。然而,随着信息化和工业化的深度融合发展,需要对计算、感知、通信、控制等技术进行更为深度的融合。故而,为解决物理系统的相关问题,传统嵌入式系统所采用的单点解决方案已不能适应新一代生产装备信息化和网络化的需求。因此,在云计算、新型传感、通信、智能控制等新一代信息技术的迅速发展推动下,信息物理系统顺势出现^[20]。

2 离散型制造企业现状分析

以生产新能源、柴油机等配套零部件以及压力容器、工程机械等成套设备的离散型制造企业为例,其生产的产品用到的加工方法包括机加、焊接、装配等,并具有以下特征:生产活动主要以生产设备为中心,属是典型的离散型制造;产品种类和型号多,差异和变化大;围绕销售订单,多品种、小批量生产;业务活动以生产和供应链管理为主。

收稿日期: 2024-01-31

作者简介: 杨曙光(1988—),男,江苏连云港人,硕士,工程师,研究方向为智能制造、自动化产线集成。

近年来,随着企业的生产任务不断增多,对企业运营的精细化、实时化、全要素、全流程管理的需求越来越迫切,但现有的工具和系统难以满足要求。为此,迫切需要从全局的角度,以问题为导向,利用数字化和网络化技术改善现有的管理手段,统一规划、分步实施,实现企业运营管控信息化和数字化,全面提升工厂的运营管控能力和核心竞争力。通过对企业的深入调研,总结其主要存在的问题如下。

(1)以经验式的管理配以经验式的作业。老员工调离导致岗位技能、岗位责任和生产组织意识等受到很大冲击,一些好的生产经验没有得到总结传承,检修组织以经验为主。

(2)生产要素(人、机、料、法、环、信)未能进行合理的配置和优化组合,对现场出现的问题未能快速反应、及时解决。

(3)设备利用率低。因日常维修工作量大,每天在计划维修时间内需要完成的工作多,很多任务都等到停机时来处理;维修工的工作效率参差不齐,效率低的维修工延长了整个计划维修的时间;非计划维修时间过多,操作不规范导致设备故障,设备状态不受控;因调度员的沟通协调问题、人员换班、设备换刀等过程导致的设备空载时间多;因生产指挥不当导致的设备停机时间多,设备应急维修速指挥速度慢。应急维修属应对突发故障时采取的修理行为,属于被动修理。遇到突发状况时,现场管理人员不能够明确自己应该做什么,来解决突发状况。

3 数控设备管理系统设计

针对企业面临的相关问题,构建基于 CPS 的数

控设备管理系统。通过机床联网实现数控机床数据采集和监控、数控程序管理等,改善了企业的生产状况。

系统平台采用浏览器和服务器架构模(browser/server architecture, B/S 架构),完成对现有设备的联网通讯、设备 NC 程序统一管理及设备数据采集监控,为企业的数字化制造奠定底层数据基础。

建设内容包括数字化设备联网通信、数控程序管理、数字化设备数据监控与采集,其中 2 台通过单串口服务器转换进行联网,17 台数控机床通过 RJ45 以太网通信接口进行加工程序传输和运行状态数据的采集和监控。

对于不同品牌型号的机床控制器,每一种都有其相应的数据采集方式,来实现机床的程序上下载和机床运行状态数据采集,或者非机床类设备的数据采集。机床明细如表 1 所示。

3.1 系统架构

整个系统的硬件架构由机床、交换机、客户端、服务器等组成,如图 1 所示。

3.2 系统功能设计

系统实现生产设备联网、数据采集、可视化显示以及程序审核/传输/编辑管理。整个软件系统的功能模块如图 2 所示。其中基础功能提供系统的 B/S 架构、三员管理、制造流程结构模型等功能,数据采集模块为所有业务模块提供数据支持。

表 1 机床类型

序号	机床型号	数量/台
1	西门子 SINUMERIK 802D	3
2	西门子 SINUMERIK 808D	2
3	西门子 SINUMERIK 840D	4
4	西门子 SINUMERIK 840D SL	10

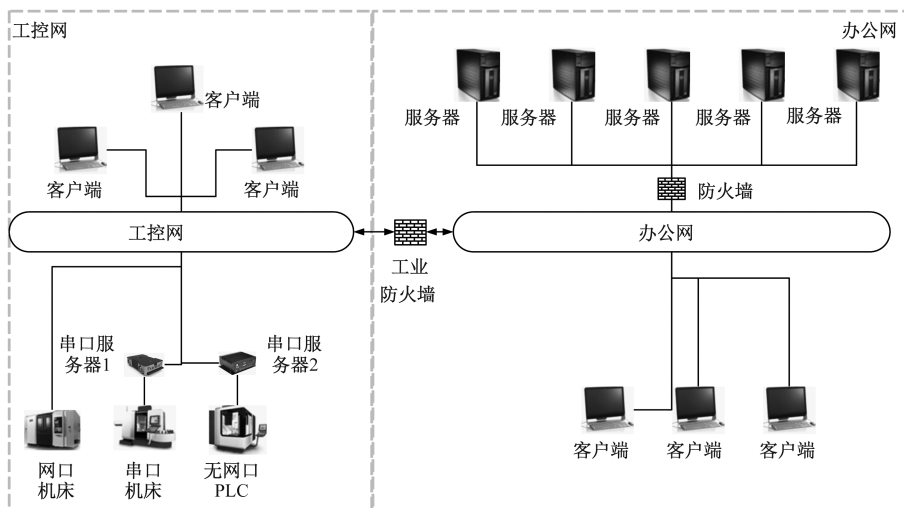


图 1 系统硬件架构

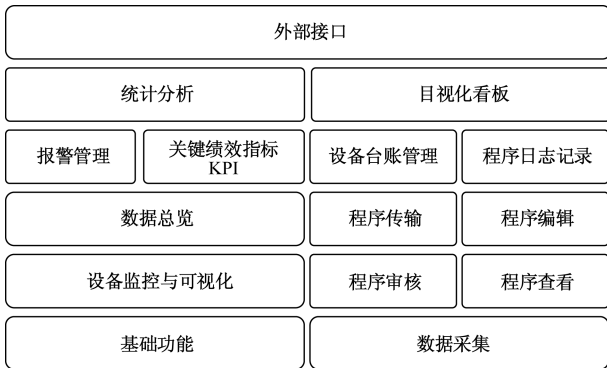


图 2 系统功能模块

3.2.1 基础功能

系统采用目前主流的 B/S 架构,支持自定义菜单栏,根据不同的用户权限设置不同的菜单和启动模块,导航界面可按用户不同操作习惯自行配置。

(1)基础数据——产品定义。系统定期自动同步生产执行系统(manufacturing execution, MES),自动更新当前系统产品的物料清单(bill of material, BOM)。或者通过人工在系统中创建产品结构树,并指定产品对应的加工工序和流程步骤。另外,可以从 MES 系统获取该相应产品工艺信息和对应的加工数控(numerical control, NC)程序名称。

(2)基础数据——台账列表。具有设备台账列表功能,支持手动或自动维护设备名称、型号、固定资产编号、厂家、投入时间、设备图片、设备精度等信息。

3.2.2 数据采集

1)连接状态

在连接状态页面中,能够查看系统所连接的所有设备之间的连接情况,例如设备名称、设备描述、连接通信的基本参数、当前的连接状态和最近同步时间信息等。

2)设备采集方案

根据机床型号的不同,其数据采集的方式与采集内容也会不同,具体如下:

(1)802D/810D 型机床。①数据采集方式:串口服务器连接机床串口,进行程序传输;数据采集卡连接机床输入/输出(input/output, IO),进行数据采集。②采集数据内容:程序上下载;机床运行状态;设备自定义报警信号;所有 IO 点信号;可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)信号。

(2)808D 型机床。数据采集方式:串口服务器连接机床串口,进行程序传输;数据采集卡连接机

床 IO,进行数据采集。采集数据内容:程序上下载;机床运行状态;设备自定义报警信号;所有 IO 点信号; PLC 信号。

(3)840D 串口 无网口型机床。①数据采集方式:串口服务器连接机床串口,另外一端以太网接入工厂工控网,进行数据采集与程序传输。②采集数据内容:程序上下载;机床运行状态;轴类数据;程序数据;刀具数据;机床报警; PLC 信号。

(4)840D SL 有网口型机床。①数据采集方式:直接连接机床网口,进行数据采集和程序传输。②采集数据内容,包括程序上下载、机床运行状态、轴类数据、程序数据、刀具数据、机床报警、PLC 信号。

3)设备数据项

设备可以采集的数据如表 2 所示。

表 2 设备数据采集项

设备类型	数据类	数据示例
机床类	程序上下载	NC 程序下发、回传、程序名称、NC 程序内容、程序存储器空间
	机床运行状态	开机/关机、运行/空闲、运行模式、急停
	机床轴类运行数据	轴转速/进给速度、倍率
	机床轴类伺服数据	电流、负载、扭矩、温度报警
	机床加工程序数据	当前运行的程序名称、当前行号
	机床设备报警	报警发生时间/结束时间、文本、报警编号、类型、报警等级
机床 PLC 信号	根据电气原理图或 PLC 源程序查看有意义的监控 PLC 地址点	

3.2.3 设备监控与可视化

系统具有的数字化设备状态统计,可查看到机床运行、停机、故障中等相关信息。具有车间布局图功能。

数据监控界面采用分级形式,包括工厂视图、车间视图、设备视图三级监控。工厂视图显示所有车间的状态统计信息,点击车间区域进入车间视图,车间视图显示该车间内所有设备的状态汇总,点击具体设备后进入设备视图,该视图显示详细的动态设备参数。

根据客户车间布局及设备位置,建立数字化车间模型,可在客户端浏览器查看;与采集的设备状态/报警/产量数据绑定,实时动态显示;动态轮播各个生产线/设备加工运行状态。

主要实现数控机床生产运行状态的实时监测,主轴等关键部件的电流、功率、负载的实时采集与

曲线分析;显示各个设备当前运行状态,自动推送设备报警类型及报警文本、发生时间等内容;实时采集机床电流、负载、实际转速、设定转速、倍率、刀具数量、刀具号及程序号等 NC 数据;并通过表格、曲线、仪表盘、进度条等方式数据可视化;自动存档数据,并自动计算数据的最大、最小、平均值,并根据用户设定的上下限值,自动生成设备运行异常报警。例如伺服轴负载超过设定限制,自动报警,提醒生产/维修人员。

工艺曲线监控:设备加工工艺关键数据的异常监控,如监控异常负载、过大电流,并转发异常报警给加工人员。

3.2.4 车间生产效率

KPI 即关键绩效指数(key performance indicator)。企业衡量车间生产效率的各种数据理论上都可使用 KPI 工具进行分析。系统以班次为基本单位计算 KPI,并能按照日、周度、月度、季度、年度等单位进行 KPI 聚合计算。

(1)KPI 分类。从设备产量、设备故障、时间信息等采集得来的数据或者计算所得的数值作为 KPI 的来源。KPI 可按照统计周期分为实时 KPI 和班次 KPI。实时 KPI 即在生产过程中实时变化的 KPI,该值在当前班次中实时统计如设备利用率、设备开动率、CPK 值等计算值;班次 KPI 是在班次结束后才能统计的数据,如班次产量值、产量、能耗、维修时长等。

(2)设备综合效率(OEE)计算公式为时间开动率、性能开动率、合格率三个 KPI 的乘积,即

$$OEE = FTQ \times LE \times QR \quad (1)$$

式中:FTQ 为时间开动率,用来评价停工所带来的损失,其中包括引发计划生产发生停工的任何时间,时间开动率=净生产时间/净工作时间;LE 为性能开动率,用来评价生产节拍上的损失,包括任何导致生产不能以理论加工节拍生产运行的因素,性能开动率=净开动率×速度开动率,其中,净开动率=加工数量×实际加工节拍/开动时间,速度开动率=理论加工节拍/实际加工节拍,性能开动率 LE=加工数量×理论加工节拍/开动时间;QR 为合格率,用来评价质量的损失,反映没有满足质量要求的产品,QR=合格品数量/加工数量。

系统可以自由定义与工厂/设备相关的 KPI,如生产时间、停机时间、产量、利用率、OEE、平均维修时间(MTTR)或平均故障间隔时间(MTBF)。在

系统的基础框架中,自带有部分标准 KPI 的计算,计算公式可根据实际需要进行修改。另外,对于系统中没有的 KPI,也可根据企业需求进行定义添加。

3.2.5 NC 程序管理

(1)程序审核。机床程序经过严格的审核确认后才能入库。NC 编程人员创建 NC 程序,并导入 NC 程序文件,提交审批,系统按照审批流程,自动将审批事项推送给相关人员,审核完成后,该程序将正式录入系统,可供查看和下载。每一个 NC 主程序,可以添加对应的附件,附件在系统中只能上传、下载、删除,不能进行编辑和版本管理操作。

(2)程序查看。系统可将 NC 机床端程序上传,并与服务器端同名 NC 程序进行版本、创建、修改时间比较。

(3)程序传输。程序传输页面,可以查看系统端的所有程序,选中程序后,可以指定下载的机床执行程序下载。

(4)程序编辑。对于系统中的 NC 程序,可以对程序内容进行查看、编辑、删除等操作;编辑完成的程序,需要重新进入“程序更新/上传审核流程”。

4 效果分析

通过建立的数控设备管理系统,企业制定相应的标准化生产管理流程,将好的生产经验传承下来,并取得了以下的效果。

(1)新员工根据流程作业,减少老员工调离产生的冲击。

(2)建立的标准化应急维修流程,减少指挥不当导致的停机,加快了设备应急维修指挥速度。

(3)制定的针对性管理措施,明确各岗位标准化工作职责和具体的负责范围,做到每个区域、每件物品都有责任人和达标标准,生产过程中实现动态达标。

(4)生产现场的所有状态都以简单明了的方式表现了出来,使人能够快速反应。

(5)通过实行的柔性检修组织、加大并行作业等措施提高维修效率,并根据系统的运行效果制定标准化快速维修的方案:①规范操作,避免造成故障,使得流程、参数标准化,操作规范化。标准化作业是给操作者一个详细的、连续性最好的工作指导。②加强点检管理,状态受控。完善点检制度,形成点检体系;细化点检标准;规范点检操作。③加快故障响应,缩短故障处理时间。超前准备,完善备品备件管理,加强调度;快速判断,一般故障自主检修,较大故障及时汇报;快速更换或维修,按标

准作业,处变不惊,合理分工,明确职责。

通过系统的建设以及建立的相关制度,提高了企业智能制造管理水平,实现了无纸化办公,减少了人工纸质单据审批、现场 NC 程序编程调试造成的效率低下、产能无法真正提升等问题,最终实现全厂生产计划自动下发至车间,整个工厂设备加工过程状态实现显示,NC 程序统一管理,自动生成生产和设备统计分析报表,达到透明化数字工厂的水平。

5 结语

在企业数字化转型的过程中,将信息物理系统与企业现状结合起来,所建立的数控设备管理系统,提升了企业的生产效率,增强了企业在市场中的竞争力,并对其他行业的发展有着一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 王金芳,郭渊博. 基于攻击图的物理信息系统网络安全风险评估[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(28): 12175-12181.
- [2] 崔伟业,刘畅,杨琪. 信息物理系统在数控机床智能诊断中的应用[J]. 机床与液压, 2023, 51(24): 169-175.
- [3] 白华,尹丹云,李凡. 面向 CPS 的制造执行系统的六维管控(3)[J]. 制造业自动化, 2023, 45(9): 217-220.
- [4] 林佳麒,杨威,谢鹏志,等. 基于信息物理系统的智能产线构建方法[J]. 新型工业化, 2024, 14(1): 30-39.
- [5] 李宏伟. 基于 CPS 的钢铁企业电网智能管控[J]. 冶金能源, 2023, 42(3): 53-57.
- [6] 李帅,张立博,王凯,等. 基于 CPS 的异构数据交互模型设计研究[J]. 通信与信息技术, 2024(1): 55-59.
- [7] 齐文秀,丁志刚,郑树泉,等. 基于 CPS 的生产线质量管理架构与应用[J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(1): 112-117.
- [8] 李月,李明颖,王德权,等. 精益生产的发动机装配线看板管理研究与应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(3): 154-157.
- [9] 孙嘉玉,李奇颖,王颖,等. 面向 CPS 的制造执行系统实验平台验证[J]. 制造业自动化, 2023, 45(6): 200-202.
- [10] 张大伟,王涛,李俊涛. 基于精益生产的雷达装备 MES 管控模型研究[J]. 制造技术与机床, 2018(8): 49-53.
- [11] 中国电子技术标准化研究院. 信息物理系统(CPS)典型应用案例集[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.
- [12] 陈容,陈映波. 基于 CPS 的智能控制生产线框架设计[J]. 电子设计工程, 2017, 25(11): 97-101.
- [13] 张益,冯毅萍,荣冈. 智慧工厂的参考模型与关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(1): 1-12.
- [14] 周娜,舒帆,宓为建. 基于精益生产的线束产品过程改进[J]. 上海海事大学学报, 2017, 38(2): 77-81.
- [15] 梁军. 基于 CPS 的分布式能源管理研究[J]. 山东化工, 2018, 47(14): 92-93.
- [16] 傅磊,曲晓峰. 基于 CPS 的车间设备物联网架构及技术研究[J]. 机械工程师, 2022(5): 104-107.
- [17] 郭磊,张红旗,吴钱昊,等. 基于物联网的电子装备组装线信息化管控设计与实现[J]. 制造技术与机床, 2023(4): 36-43.
- [18] 刘献礼,于秀明,陈强,等. 制造业信息物理系统参考体系结构研究[J]. 信息技术与标准化, 2016(11): 12-16.
- [19] 孟柳,延建林,董景辰,等. 智能制造总体架构探析[J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 23-28.
- [20] 王翔. 基于 CPS 的智能制造单元监测系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.

Research and Application of Equipment Management System Based on CPS

YANG Shuguang

(Jiangsu Jari Information Technology Co. Ltd., Lianyungang 222000, Jiangsu, China)

Abstract: The main purpose of manufacturing enterprises in the process of intelligent manufacturing reform is to reduce production costs and improve production efficiency, but the low utilization rate of production equipment has become an important factor restricting its development. The current production situation of manufacturing enterprises was analyzed, cyber-physical systems were combined with the actual situation of enterprises, and a set of equipment management system by using hierarchical method was designed. Through the construction of the system, the production status of CNC machine tools is improved, the production equipment is fully utilized, the production efficiency of enterprises is scientifically and effectively improved, and the purpose of reducing costs and increasing efficiency is finally realized.

Keywords: intelligent manufacturing; CPS(cyber-physical systems); equipment management; productivity; machine tool