

doi: 10.7690/bgzd.2019.12.008

## 智能制造单元级智能监控技术研究及应用

邱枫, 刘治红, 王胜, 张晨昊, 张弦弦

(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)

**摘要:** 为解决离散制造过程中智能制造单元级监控困难、手段落后等问题, 对智能制造单元级智能监控技术进行研究。阐述智能单元组成和齿轮连线单元需求, 构建智能单元 KPI 指标体系, 对实时数据采集及监控数据等关键技术进行分析, 结合齿轮连线单元实际布置情况, 实现智能单元系统的现场部署。应用结果表明: 该技术实现了齿轮连线单元的数字化、智能化管理, 减轻了车间管理人员的管理和统计工作量, 提高了齿轮连线单元智能化水平。

**关键词:** 智能制造; 单元级; 采集; 分析

**中图分类号:** TP277 **文献标志码:** A

## Research and Application of Intelligent Monitoring Technology in Intelligent Manufacturing Cell Level

Qiu Feng, Liu Zhihong, Wang Sheng, Zhang Chenhao, Zhang Xianxian

(Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Focus on the difficulty in monitoring the intelligent manufacturing cell level, the backwardness of equipment management methods, and research on intelligent monitoring technology in intelligent manufacturing cell level. Introduce intelligent cell composition and gear on line cell requirement, establish index system of intelligent cell KPI, analysis the key technologies such as real time data collection, monitoring data and so on. Combine the gear on line cell actual location situation, and realize the location of intelligent cell system. The application results show that the technology can realize the digital and intelligent management of gear on line cell, reduce the management and static workload of workshop manager and improve intelligence level of gear online cell.

**Keywords:** intelligent manufacturing; cell level; acquisition; analysis

### 0 引言

《中国制造 2025》是中国制造强国“三步走”战略的第一个 10 年行动纲领。当前, 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<sup>[1-2]</sup>。

信息物理系统 CPS (cyber-physical systems) 是在网络环境下, 将信息单元与物理单元高度有机集成的多维异构复杂智能系统, 具有鲁棒性、实时性、自治和高性能的特点。CPS 最重要的特点是更加注重对有限资源的合理调度分配优化, 可以完成对大型繁复系统的实时动态感知与监控功能, 比传统监控系统更加智能、灵活、高效<sup>[3]</sup>。单元级 CPS, 即智能制造单元是智能产线、智能车间、智能工厂的基石。

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<sup>[4-5]</sup>。文献[6]研发了一套基于 Web 的应用于绞车运行环境的分布式 OPC 远程监控系统, 可以通过 Web 浏览器进行远程监控。文献[7]建立了面向球头铣削过程的智能系统, 通过力传感器采集切削过程变量并传输到计算机进行数据分析, 实现了铣削加工状态的监控和优化。文献[8]建立了面向硬态切削过程的故障检测系统, 采用先进的队列和触发技术采集分析传感数据, 实现了对设备加工故障的监测。文献[9]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[10]使用高效多频率动画对整个发动机生产线的各个工位状态和线上发动机装配过程进行模拟, 以满足监控系统实时性的要求。文献[11]将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

收稿日期: 2019-09-28; 修回日期: 2019-11-08

基金项目: “十三五”国防基础科研项目(JCKY2017209A004、JCKY2018209A001)

作者简介: 邱枫(1991—), 男, 四川人, 硕士, 助理工程师, 从事工业数据采集、制造数据挖掘和可视化监控技术、生产线仿真等智能制造领域相关技术研究。E-mail: 731385903@qq.com。

加工自动生产线。文献[12]以小型数控铣床为例，进行了 CPS 的智能制造单元监测系统的研究与验证系统的开发。文献[13]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。综上所述：虽然国内外在制造监控系统做了较多技术研究和成果，但是针对单元级的监控系统技术研究和应用相对较少。

笔者针对离散制造过程中智能制造单元级监控困难、手段落后等问题，开展智能制造单元级监控相关技术研究，对实时数据采集与异步分表存储技术进行研究，以解决单元级数据采集困难和单元状态、工艺数据存储问题，研究监控数据实时传输与模型数据驱动技术，以解决单元数据流不可靠，数据显示不直观问题。

## 1 齿轮连线加工单元

### 1.1 单元组成

齿轮连线单元主要实现 4 种类型的齿轮轴的自动化生产。单元包含 2 台数控机床(HARDINGE GS150PLUS)、1 台数控滚齿机(YGS3612BCNC-II)、1 台机械臂(MH24)、1 台气动刻字机和 1 条物流传送线。齿轮连线单元工艺流程：工艺开始→操作人员将装有工件的托盘放置在物流系统上→物流系统将托盘运至上下料装置→机器人抓取工件放入数控机床 1→机器人从数控机床 1 中抓取工件放入数控机床 2→机器人从数据机床 2 中抓取工件置入高压清洗箱→清洗后机器人抓取工件放入数控滚齿机→机器人从数控滚齿机中抓取工件放入气动刻字机→机器人抓取工件放入物流系统托盘上的空位置→工艺结束。齿轮加工单元布局如图 1 所示。

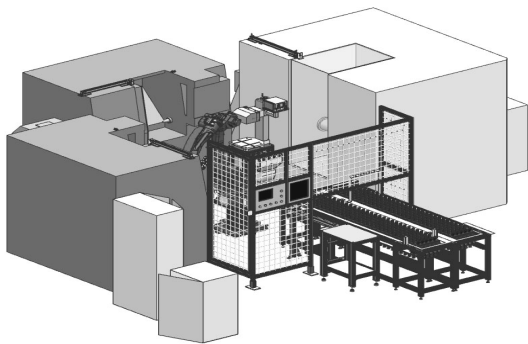


图 1 齿轮加工单元布局

### 1.2 单元级监控需求

齿轮连线单元通过引入机械臂和自动物流线

等自动化设备，减少了齿轮加工过程中的人工工作量，极大地降低了劳动强度。由于齿轮连线单元内部部分设备陈旧，不具备互联互通能力，导致对单元内部陈旧设备管理较为困难，同时，由于设备使用采用人工统计分析，工作量大，费时费力，且齿轮加工单元加工过程中，生产现场可能没有操作人员。综上所述，对齿轮连线单元需求进行整理如下：

- 1) 支持通过单元防护网显示器或者远端 PC 计算机对单元设备运行状态和产量进行实时监控，以满足人员对单元实时数据监控的需求。
- 2) 支持单元设备产量、设备运行率、设备 MTBF、设备 MTTR 等进行统计分析，支持分析结果文本导出，以降低人工统计工作量以及辅助维修人员进行设备保养。
- 3) 支持通过接口与 MES、SCADA 等系统集成，以便后期与其他单元和生产线、车间集成。
- 4) 采集数据保存期限大于 15 a，以满足产品质量异常后追溯的需要。

## 2 系统总体设计

### 2.1 系统总体架构

智能监控系统处于设备层和管控层之间，是 SCADA 系统、MES 系统的有效支撑。智能监控系统由数据采集与控制服务、数据分析服务和可视化监控软件 3 部分构成。系统总体框架如图 2 所示。

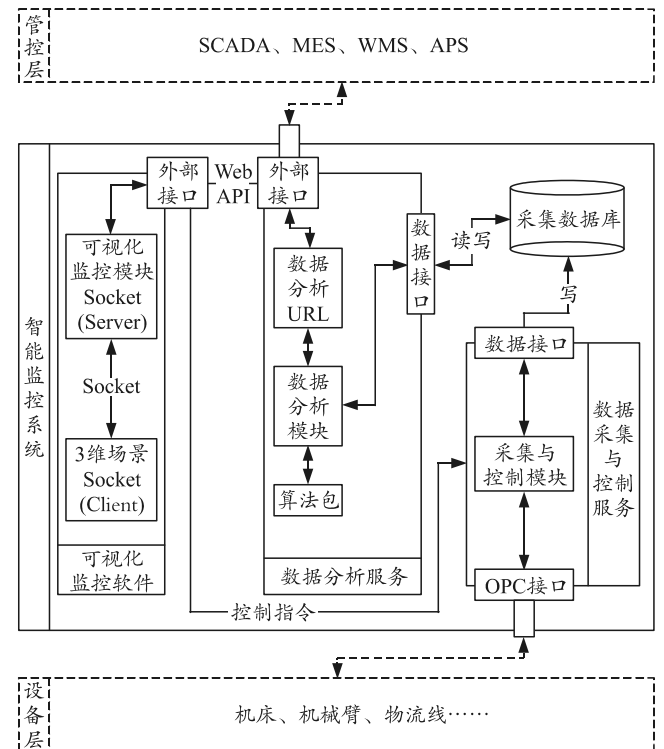


图 2 系统总体架构

### 1) 数据采集与控制服务。

由于齿轮连线单元部分设备陈旧，部分设备需支付高昂的授权费才开放数据接口进行采集；因此，数据采集与控制服务除包含通过软件形式以 OPC 接口采集外，还包含设备硬接线内容，通过齿轮连线单元主控 PLC 增加扩展模块、继电器，以 I/O 口形式实现各机床、机械臂、物流线状态、报警数据采集。数据采集及控制服务具备与设备层进行通信、进行数据库读写的能力，采集数据时，通过 OPC 协议获取设备的实时数据信息，并放入缓存区，之后，按预设时间间隔将数据从缓存区中取出并写入数据库中，完成采集数据的任务；需要反向进行控制时，接受来自可视化监控软件的控制指令，并通过 OPC 协议将该控制指令发送到指定设备。

### 2) 数据分析服务。

数据分析服务通过数据接口载入采集数据库中的历史数据，调用内部算法对该数据进行筛选、去空值、统计等操作，实现数据的过滤和分析，分析结束后，将结果推送给数据分析界面，采用图表形式进行数据展示。同时，数据分析提供外部数据接口，用于外部业务系统数据交互。

### 3) 可视化监控软件。

可视化监控软件是智能监控系统的核心组成部分，用户通过该软件的操作界面实现系统功能的使用。可视化监控软件内部含有可视化监控模块、接口模块和 3 维场景模块 3 个部分。可视化监控模块实现对接口模块和 3 维场景模块的管理，对系统的所有服务、进程进行统一调度和管理，接口模块实现可视化软件所需的实时数据的查询和分析报表的加载管理，3 维场景模块通过 Socket 协议实现与可视化监控模块之间的数据和操作交互。

## 2.2 单元级 KPI 指标体系

20 世纪 70 年代，日本在吸收了国际先进的维修策略及自身实践提出了全员生产维护 TPM (total productive maintenance) 体系。由于 TPM 在一些企业具体问题定义不明确，同时，部分企业认识、投入不足，导致 TPM 推行困难。为弥补上述问题，我国结合中国企业实际特点，于 1998 年推出了全面规范化生产维护体系 TnPM (total normalized productive maintenance)。经过近 20 年的发展，目前该体系在国内得到越来越多的行业实践，理论框架和方法也越来越完善。为确保智能监控系统数据分析项能够全面、真实地反映智能单元内部设备状

况，结合单元监控需求，参考 TnPM 体系中设备管理相关内容<sup>[14]</sup>，构建智能单元 KPI 指标体系。智能监控系统 KPI 体系如图 3 所示。

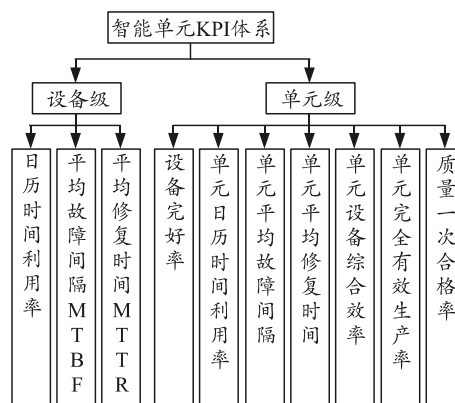


图 3 智能监控系统 KPI 体系

### 1) 设备级：

- ① 日历时间利用率：实际工作时间/日历时间；
- ② 平均故障间隔 MTBF：统计周期无故障运行总时间/故障次数；
- ③ 平均修复时间 MTTR：统计周期维修总时间/维修次数。

### 2) 单元级：

- ① 设备完好率：完好设备数/设备总数；
- ② 单元日历时间利用率：(实际工作时间/日历时间)平均值；
- ③ 单元平均故障间隔：(统计周期无故障运行总时间/故障次数)平均值；
- ④ 单元平均修复时间：(统计周期维修总时间/维修次数)平均值；
- ⑤ 单元设备综合效率 OEE：合格品产量/计划工作时间的理论产量；
- ⑥ 单元完全有效生产率 TEEP：合格品产量/日历时间的日历产量；
- ⑦ 质量一次合格率：一次产品合格数量/维修总次数。

## 2.3 关键技术

### 1) 实时数据采集与异步分表存储技术。

齿轮连线单元中 2 台机床陈旧，不能通过网口和串口进行数据采集。1 台机床和 1 台机械臂需支付授权费用才提供数据接口进行采集。1 条物流线和 1 台刻字机为非标设备，控制器规格不同，软件采集实现困难。结合单元本身加工控制需求，以及数据采集数据项需求，采用继电器硬接线加软件协议集成的形式进行单元数据采集。通过 PLC 增加扩

展模块，以 PLC 作为采集的硬件核心，通过 16 路 I/O(8 入、8 出)实现 3 台机床、1 条物流线、1 台刻字机的状态数据、报警数据的采集，通过 32 路 I/O(16 入、16 出)实现机械臂当前位置数据、状态数据和报警数据的采集。通过 PLC 连接的 HMI 实现当前加工产品的相关数据采集。单元所有数据均通过主控 PLC 以 OPC 协议形式上传至上位机数据采集软件。实时数据采集时，实时采集与控制单元软件获取设备注册文件中的设备配置信息，读取设备数据项，通过接口读取设备实时数据信息，并将该信息存入到采集序列中，采集序列将该数据推送到采控调度单元，采集单元通过 I/O 单元将该数据写入到实时库的实时表中，并在实时表判断当前数据项与已有数据项是否相同，相同，则不进行处理；不同，则将该数据写入到实时库的历史表中和分析库的历史表中。历史表最大数据存储量为设置为 1 个月(确保小于百万条)。当该表存储数据时间差超过 1 月后，历史表对 1 月前的数据进行删除操作。分析库中的历史表按月进行分表存储，以提高查询效率。需要进行设备控制时，控制 I/O 单元接受控制指定，通过采控调度单元将该数据下发到控制序列，控制序列将按顺序执行该指令，控制 I/O 记录由采集调度模块写入到日志文件中。实时数据采集与异步分表存储如图 4 所示。

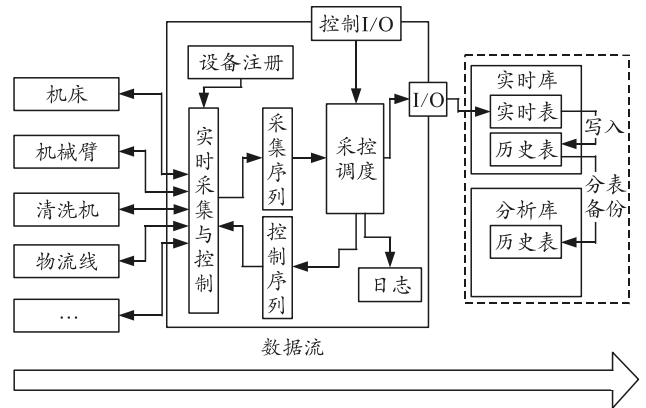


图 4 实时数据采集与异步分表存储

2) 监控数据实时传输与模型数据驱动技术。

监控数据实时传输与模型驱动是指在用户发起监控请求<sup>[3]</sup>后，通过控制中心单元对数据进行打包<sup>[4]</sup>，主动将该数据以 HTTP 请求<sup>[5]</sup>发送至数据调度单元，数据调度单元接收该数据后<sup>[6]</sup>，建立与数据库连接<sup>[7]</sup>，从数据库中获取数据<sup>[8]</sup>，将查询结果返回值缓存区内<sup>[9-10]</sup>，缓存区将该查询结果主动推送回控制中心单元<sup>[11-13]</sup>，控制中心单元通过获取配置文件中的模型注册信息，调用模型数据驱动单元对模型状态和对应属性进行刷新<sup>[14]</sup>。整个传输与模型驱动进程开启后，各单元按用户设定刷新频率对监控数据进行实时刷新和驱动。监控数据实时传输与模型驱动如图 5 所示。

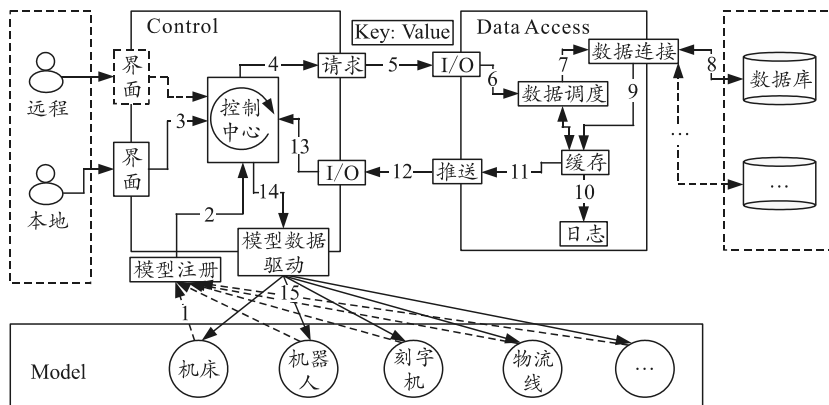


图 5 监控数据实时传输与模型数据驱动

3 系统实现与部署

3.1 技术路线

结合齿轮连线单元实际布置情况，将智能单元系统安装于 12.1 寸工控机，固定在单元盘防护网上。系统基于 Windows 平台的 NET 4.5 运行环境，采用 C#编程语言在 Visual Studio 2013 中进行监控系统主功能界面的开发，3 维场景插件通过 Socket 协议与主功能界面进行数据交互，采用 C#语言基于

开源 3D 引擎 Godot3.0 进行开发。Godot 引擎采用类似 Unity 的架构，支持几乎所有主流平台。与单纯的拖拽编程“引擎”不同，Godot 可用做框架，即使不使用编辑器也能够使用，可以通过 C++ API 扩展引擎。Visual Studio 是微软公司研发的一套由组件构成的开发工具，包含用于生成功能强大、性能完善的应用程序的 IDE。VB、C++以及 Visual C++ 都可使用相同的集成开发环境<sup>[15]</sup>。程序主进程自调用关系如图 6 所示，数据请求调用关系如图 7 所示。



分析数据库主要用来存储备份的历史数据。实时库和分析数据库中包含分别用于产量统计、设备/生产线开机率统计、平均故障间隔时间统计、平均故障恢复时间统计的储存过程。

智能单元数据采集频率为 1 次/s，单次采集数据量约为 60 条。通过模拟可得 217 万条模拟数据占用数据库空间约 82 MB，得出单条数据量约占  $3.77 \times 10^{-5}$  MB。该智能单元每天产量约 500 件，平均每件加工时间约 150 s，按 1 月工作 22 d，1 a 工作 12 月，可得 1 a 最大数据增量约为 1.2 亿万条，1 a 数据占用硬盘空间约 453 MB，15 a 数据量占用硬盘空间约为 6.8 GB，远远小于系统剩余硬盘空间 135 G。

### 3.2 验证系统实现

智能监控系统上电自动运行，系统实现通过虚拟按键在 3 维场景内漫游，实现对齿轮连线单元设备细节的 360°观察。通过 3 维场景内模型上方动态信息标签，实现设备和单元重要信息显示，通过帮助按钮显示电子版帮助文档，关机按钮实现系统关机操作。系统状态显示，通过 3D 模型颜色显示当前系统各模块功能实时状态。系统运行主界面如图 9 所示，平均故障分析报表如图 10 所示。

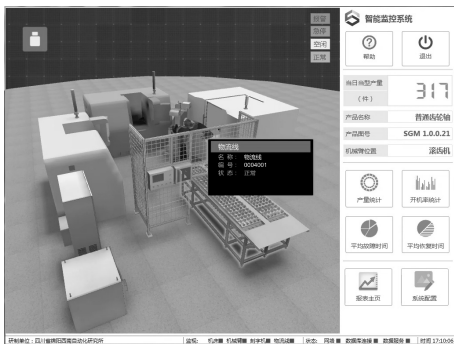


图 9 系统运行主界面



图 10 平均故障分析报表界面

### 3.3 现场部署

智能监控系统在某车间齿轮连线单元进行部

署，经过近 3 个月的现场运行，系统性能稳定。实现了预定数据的实时采集、存储和分析功能。智能监控系统现场部署如图 11 所示。



图 11 智能监控系统现场部署

## 4 结束语

笔者基于实时数据采集与异步分表存储技术和监控数据实时传输与模型数据驱动技术，开发出智能制造单元级智能监控系统，解决了齿轮连线单元设备管理不透明，统计设备性能指标工作量大、不准确等问题，提高了齿轮单元的设备管理水平和生产过程透明度。通过近半年时间的系统试运行，系统整体运行稳定，在实现对技术验证的同时，也验证了智能监控系统在工业现场的可靠性。

智能监控系统通过将智能单元产生的海量数据进行筛选和分析，起到了边缘计算的作用。系统将大部分低价值原始数据存放在单元内部，将重要的数据以接口形式提供给 MES、SCADA 等产线级、车间级系统，可降低服务器端的 I/O 占用和存储空间浪费，对智能车间的落地实施起到了不可缺的作用。下一步，笔者将在智能监控系统中引入机器学习算法，基于存储的工艺数据、设备运行数据进行深度挖掘，实现生产过程的工艺自优化和单元的预测性维护，进一步提高企业制造过程智能化水平。

## 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] 吕志. 基于 CPS 的工业 4.0 智能制造研究[J]. 河南教育学院学报(自然科学版), 2015(2): 36-38.
- [4] 肖力庸, 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.
- [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] BEINARTS I, GRUNDE U, JAKOVICS A. Distributed Multi-Sensor Real-Time Building Environmental Parameters Monitoring System with Remote Data Access[J]. Electrical, Control and Communication Engineering, 2014(7): 41-46.
- [7] CUS F, MILFELNER M, BALK J. An intelligent system for monitoring and optimization of ball-end milling process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 175(1-3): 90-97.
- [8] SHI D, CINDY N N. Development of an online machining process monitoring system: application in hard turning[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2007, 135(2): 405-414.
- [9] 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.
- [10] 王德权, 邓云霓. WPF在发动机生产线监控系统中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(4): 83-85.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 张驰, 李培杰, 张百在, 等. 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.
- [14] 李葆文. TNPM: 全员规范化生产维修适合中国企业现状的设备管理模式[J]. 中国设备管理, 1999(6): 7-9.
- [15] 刘奇, 林岗. 基于 Visual Studio 2010 的 UG 二次开发研究[J]. 自动化技术与应用, 2015, 34(1): 40-41, 46.
- \*\*\*\*\*

(上接第 23 页)

### 3 结束语

针对目前数控系统存在的信息交互难、综合管理程度低和程序管理复杂等问题, 笔者提出了一套简洁实用的解决方案。目前该系统已投入使用, 生产管理操作方便, 流程简洁, 增加了数控机床管理的安全性及可靠性。使用结果表明, 该系统的网络拓扑与总体软件架构能满足 DNC 系统网络通信和安全、高效使用的要求。该系统将数据采集与机床管理 2 大模块分开设计, 降低了系统的复杂度, 提高了系统运行的可靠性。该 DNC 软件实现了机床通信、数据读写、状态监控、程序管理、数据展示、机床管理、效能分析、日志管理和程序管理 9 大模块的统一管理, 具有典型性和代表性, 方便推广应用到其他类似数控机床。

### 参考文献:

- [1] 张宏帅. 基于 TCP/IP 协议的 FANUC-DNC 系统研究与

- 开发[D]. 郑州: 郑州大学, 2016: 15-16.
- [2] 王小姣. FANUC 数控机床故障智能诊断系统研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013: 21.
- [3] 姚鹏. 基于以太网的异构数控机床 DNC 系统的研究与实现[D]. 郑州: 郑州大学, 2018: 28-30.
- [4] 姚钦, 刘雅辉, 刘淑梅. 基于 DNC 的数控机床网络化管理[J]. 上海工程技术大学学报, 2014, 28(2): 136-140.
- [5] 朴成道, 尹凤哲. CF 卡在 FANUC 18i 数控系统数据管理中的应用[J]. 机床与液压, 2015, 43(4): 162-164.
- [6] 梁栋. DNC 系统的构建与应用[J]. 技术改造, 2017, 6(2): 62-63.
- [7] 刘永富. 腔体类零件数控切削加工单元智能升级[J]. 兵工自动化, 2018, 37(8): 27-31.
- [8] 雷兵, 姜其成, 刘江. 网络 DNC 系统数据处理技术研究[J]. 制造技术与机床, 2012(2): 135-138.
- [9] 牛序枫, 钱永刚. 基于计算机软件技术的 DNC 研究[J]. 科技致富向导, 2013(11): 340-340.