数控机床网络化改造

李华新，王昆，曹连静，李汉龙
南京电子器件研究所　江苏南京　210016

摘要：针对车间数控设备和生产现状，分析联网改造需求，结合设备特点和管理痛点制定改造目标，研究了机床联网改造解决方案，实现了数控设备网络互联、加工状态数据采集，为设备现场监控提供有效手段。制定了程序管理流程和命名规则，实现程序线上传输、存储和集中管理。

关键词：DNC；数控机床；设备监控；程序管理

1　序言

当前，全球正加速从传统制造向信息化、自动化、集成化、智能化和柔性化的现代先进制造过渡。数控技术作为先进制造技术的核心已经被广泛使用，给传统的机械制造行业加工方式、管理方式和产业结构等带来新的思考[1]。为了追求更高的生产效率，数控机床由单机加工逐渐发展为网络化加工。DNC（Direct Numerical Control 或者Distributed Numerical Control）称为直接控制或者分布式控制，是利用计算机与具有数控装置的机床群组成的分布在车间中的数控系统，是构成网络化制造的基础技术[2]。DNC是ERP、MES等信息系统平台与机床设备联接的重要手段，是工业机床设备实现互联的先决条件和核心环节。本文中的机械加工车间数控设备网络化改造项目正是基于DNC技术，在有线局域网内实施。

2　现状分析

某机械加工车间的数控设备型号、系统种类和版本较多，设备的通信协议和通信接口存在较大差异。技术方案难点在于需要兼容不同系统以及不同硬件的通信协议。由于该机械加工车间生产节奏快、产品价值高，对系统稳定性和可靠性要求高，因此技术方案需要具备高的软硬件兼容性和系统稳定性。

（1）数据传输　该机械加工车间的数据传输现状如下。

1）程序传输采用CF卡或U盘等移动存储介质，在编程计算机和机床之间进行传输。

2）部分机床内存容量较小（128K），当程序容量大于机床存储空间时，只能采取在线加工，即将CF卡插在机床卡槽内实时读取加工程序的加工方式。

3）使用移动存储介质传输程序，频繁拔插接口，容易导致设备接口故障、传播计算机病毒。数控设备系统无可用的杀毒软件，数据传输带来的病毒对设备会造成威胁[3]。

（2）程序管理　该机械加工车间的程序管理现状如下。

1）编制的程序离散存储在编程人员本地计算机内，没有共享和查询手段，造成大量重复性劳动，成熟的经验无法继承和利用。

2）程序缺少生命周期管理，程序一旦执行完成后，若没有有效的存档手段，当产品出现问题时，则难以追溯相应的加工程序。

（3）数据采集　该机械加工车间的生产数据采集现状如下。

1）生产过程的基础数据来自于人工采集，时效性差，数据的真实性难以追溯。

2）无法实时了解生产设备当前的生产状况。无法实时准确获知数控设备的利用率、待机时间分布及待机原因。

3）大量有效信息沉积在生产一线，造成信息冗余，而管理层信息获取不畅。缺乏有效手段进行生产信息分析，无法用于提升产能。

3 实施目标

制定实施目标不仅要解决现有的痛点问题，还要充分考虑生产管理现状。该车间当前生产管理现状：线上生产管理系统的使用经验为零；生产周转的全过程主要依赖人工管理，每个节点都需要人工决策，过程中调整变化的情况较多；生产的产品主要类型为小批量多品种，生产周期短，排产和周期变更频繁，需要生产灵活性很高。

综合考虑该车间的现状，搭建MES等生产信息系统平台的实施难度大，推行和使用维护的难度更大。一是该车间管理流程较复杂，无法梳理出对应的线上流程，系统很难覆盖各种复杂情况；二是依靠人工决策的环节较多，系统很难做到与管理完全匹配，容易形成生产节奏跟随系统设定的情况，以及线上流程的教条化和复杂化，最终造成系统的搁置。综上，制定实施目标如下。

1）完成机床的DNC联网改造，实现机床设备互联。这是设备统一管理的基础，也是生产信息系统平台搭建的先决条件。

2）实现程序的集中编制，远程上传、存储和传递、调用。实现数控程序的全生命周期管理，加工程序的创建、编辑和存档在系统中均有详细的记录，实现程序的可追溯。

3）实现对机械加工数控设备的生产加工状态参数采集。数据采集是后台监控，不需要人员操作，不影响现有的生产流程。监控数据可以直观地反映设备运行状态，为设备效率和产能的提升提供技术支撑。

4 实施方案

4.1 系统通信方案

DNC功能的实现首先要建立数控设备与系统间的数据通信，目前DNC数据采集计算机与数控系统互联的拓扑结构有点到点式、现场总线式、局域网式和无线通信式4种[4]。点到点式是由采集主机与数控系统通过点对点通信互联实现数据采集功能，但存在连接设备有限、通信距离短、通信速率低以及可靠性差等问题。现场总线式是DNC采集主机与数控系统之间通常通过现场总线接口板进行数据交换，存在初期投资大、系统开放性差、系统维护和扩充困难等问题。局域网式的通信原理是通过一条公用的通信介质将分散的机床系统联接起来。局域网技术自身具有一套完整的差错控制、检错功能，为DNC采集系统提供了很高的可靠性。局域网很容易扩充，系统灵活性高，方便分阶段实施。此外，局域网为数据采集系统提供了计算机资源的共享，使得DNC数据采集系统可以与生产管理、计划调度、物流管理以及刀具管理相结合，形成一个完整的系统[5]。无线通信式具有更强的灵活性，突破了线路铺设的限制，但因其安全性问题，无线通信方案是不允许采用的，因此本次实施采用局域网式的互联拓扑结构。

实施的通信网络拓扑结构如图1所示，接入的设备包括机床、计算机和触控一体机。现场只需设置网络端口，机床设备、计算机和触控一体机通过网口接入同一个局域网，现场网络通过交换机与服务器进行通信。触控一体机设置在机床旁，方便现场执行一些简单操作，操作人员不再需要往返于加工现场和编程室之间。

4.2 数据采集方案

DNC的数据采集有硬件实现、软件实现和软硬结合实现3种途径。硬件采集方法涉及到对设备的硬件改造，可靠性强、实时性高，但实现过程复杂；软件采集主要通过编写采集软件程序来实现，其采

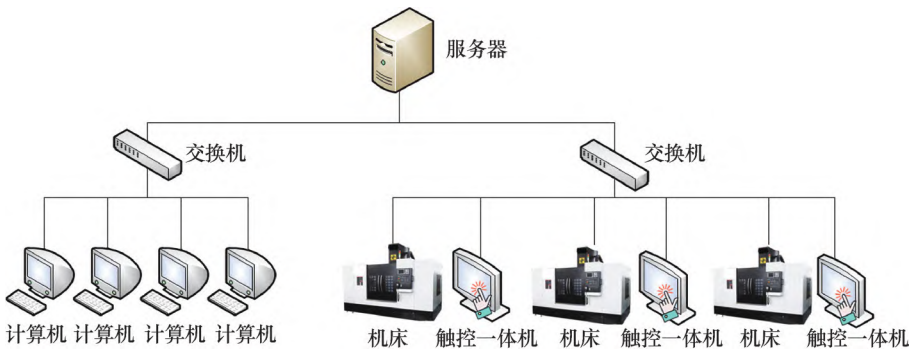


图1 通信网络拓扑结构

集数据完全依赖于机床的开放性，可采集的数据项有限。本次采用软硬结合方法，对于适宜硬件采集的机床信息采用硬件采集，对于适宜软件采集的机床信息采用软件采集，兼顾硬件实现和软件实现的优点。将现场设备的控制系统型号和通信接口类型进行分类，并选择了不同的通信方案，见表1。

表1　通信方案

序号	控制系统型号	通信接口类型	通信方案
1	FANUC 0*i*-MD	RS232/CF	CF卡槽拓展网口
2	FANUC 0*i* -MC	RS232/CF	
3	FANUC 0*i* -MD	RS232/CF/RJ45	网口通信
4	FANUC 0*i* Mate-MD	RS232/CF/RJ45	
5	新代SYNTEC 10MA	RS232/CF/RJ45/USB	
6	FANUC 31*i* -MODLE B	RS232/CF/RJ45/USB	
7	FANUC 0*i* -MF PLUS	RS232/CF/RJ45/USB	
8	Heidenhain iTNC530	RS232/ RJ45 / USB	
9	Siemens 810D	RS232/USB	增加硬件

（1）具备局域网功能的机床　针对FANUC和Heidenhain系统具备局域网功能且有网络接口的机床，直接使用数控系统以太网接口组成数控机床网络，服务器通过数控系统厂商提供的网络功能包访问数控系统，读取机床运行的状态信息，根据数控系统厂家的不同，需要配备相应的SDK 软件开发包及其驱动接口访问数控系统信息[6]。主要采集的信息包括：设备的实时状态（运行、空闲、故障和关机等状态）、机床倍率、进给速度及主轴转速等。

（2）不具备局域网功能的机床　针对实施现场没有网口的FANUC系统机床，利用操作面板上的CF卡槽，通过安装PCMCIA网卡的方式拓展出网络接口，实现网络功能。主要采集的信息包括：设备的实时状态（运行、空闲、故障和关机等状态）、机床倍率、进给速度及主轴转速等。

针对系统版本为Siemens 810D的机床，需要加装串口服务器完成串口通信与以太网通信的转换。通过增加外置信号采集硬件来实现数据采集，增加S7300 PLC采集模块，主要采集的信息包括：设备的实时状态（运行、空闲、故障和关机等状态）。

5　应用

5.1　数据采集应用

（1）设备状态一览　以列表的形式展示车间所有设备的运行状态概况，通过查看当前运行、调试、空闲和关机的设备数量可掌握车间设备运行总体情况。可以点击单台设备，快速查看每一台设备的当前运行状态，查看当前设备运行的程序名称、机床倍率及主轴转速等信息。

（2）设备运行状态切片　设备的运行状态以切片的形式在时间轴上展示，包含设备开机、运行、手动调试、报警和关机5类状态。通过查看设备状态切片图，精确查询设备在某一时间段的运行状态，同时可以查看各状态的时间占比，从而掌握设备的运行情况。

（3）设备产出统计　对于加工单一零件的设备，可以通过统计固定程序的循环次数来自动统计设备产出量。管理员设定生产节拍，对比实际产出值和预设值，当实际产出值偏离预设值较大时能够及时预警，方便暴露出生产问题。

（4）设备效率分析　通过统计分析设备各种运行状态的时间，计算出设备的时间稼动率。统计分析所有设备的稼动率，可以快速掌握车间整体运行情况。统计不同班组内设备的稼动率，可对比不同班组的设备利用率。定位效率较低的设备或班组，分析产生的原因，进而制定调整策略以帮助提升设备使用效率。

5.2　程序管理流程

设备联网改造的实施使得该车间具备了程序线上存储、调用和查询的基础条件。要实现程序管理，还需要可执行的程序管理流程。该车间生产任务主要分为研发和批产两类，研发类任务的特点是种类多、批量小和周期短，批产类任务的特点是产品数量少、批量大和生产周期长。对于研发类产品的程序管理，需要流程简单易操作，实现程序追溯。对于批产类产品，需要程序固化统一，保障产品质量稳定，确保不同批次间产品的一致性。

根据生产现状制定程序管理流程。研发类程序的管理流程如图2所示，程序上传后需经班组长审批，审批通过后即可调用试加工，首件试制合格后

就可以用于正式产品加工并存档。

批产类程序的管理流程如图3所示，程序上传后同样需要班组长审批才能调用，程序经首件验证后可用于小批量试制。此时需要对批产程序进行归档，经审批通过后程序变为归档状态。程序完成归档后，该批量产品的生产只允许调用已归档的程序进行加工。如果需要对归档程序进行修改，需要上传新版程序并重新提交审批流程，审批通过后系统将对归档程序进行版本更新。归档程序的历史版本会在系统中保留备查，但不能调用加工。

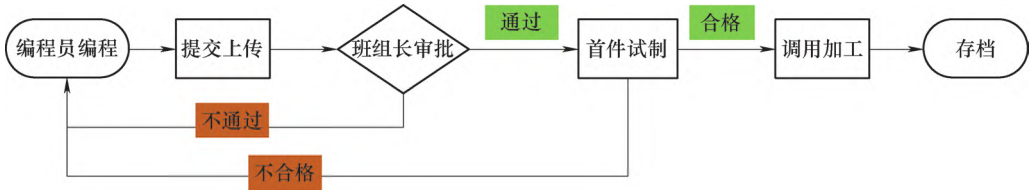


图2　研发类程序管理流程

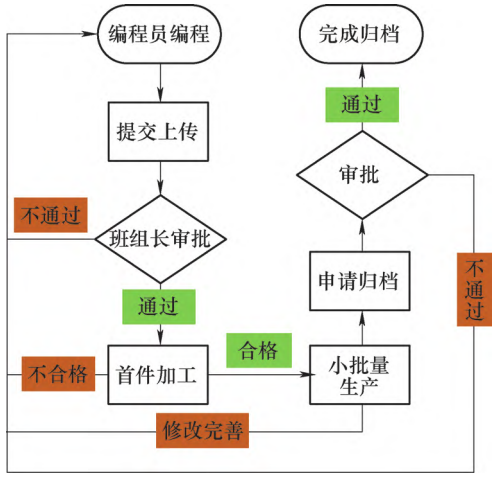


图3　批产类程序管理流程

5.3　程序命名规则

要对程序进行生命周期管理，由于每条程序对应的程序名称必须是唯一的，因此必须制定规范统一的程序命名规则。根据该生产车间的现状，针对研发任务和批产任务分别制定程序命名规则。

研发程序按照图样“生产计划号”和“图样页数”两个要素进行规范命名，确保每个程序号名称唯一且可追溯。该车间每个生产任务都对应有生产计划号，生产计划号唯一且不重复。每个生产计划号中含有多张图样，每张图样对应一个零件生产任务，只要明确了生产计划号和图样页数就能找到唯一对应的零件。图4所示为研发类程序的名称组成，计划号和页数确定了唯一的产品。单个产品可能需要多次装夹，存在多个加工程序，用最后一位数字进行区分。

批量产品会多次下达生产任务，对应多个生产计划号，但是由于批量产品只能调用唯一的归档程序，因此不能使用生产计划号来命名。每张图样都对应有唯一的“图号”，程序按照图样图号进行命名，可以确保每个程序号名称唯一且可追溯。图5所示为批量类程序的名称组成，图样图号明确了唯一的产品。同样用一位数字来区分不同面的加工程序。该车间机床型号较多，不同系统间的程序不能互用，最后用两位字母区分机床型号。

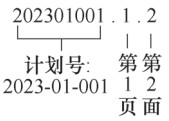


图4　研发类程序命名规则示意

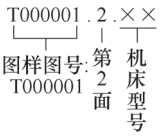


图5　批量类程序命名规则示意

程序存档后，编程人员需提交程序清单，程序清单包含程序名称、产品名称、加工面、工装夹具、刀具清单和坐标系设置。调用程序时需对照程序清单进行操作。

5.4　实施效果

系统上线后，各项实时监控数据均以看板形式在车间现场不间断轮播，设备实时运行状态的公开展示，可对员工起到很好的督促提醒作用，员工私自调整机床倍率的情况基本消失，设备停机时员工能够主动及时上报停机原因。程序名称规范命名后，操作人员调用程序出错的情况大幅减少。重复

（下转第77页）

表2　两种改进方案影响对比

工况	回油电磁阀上开孔	回油单向阀上开孔
正常供油	部分燃油会通过回油电磁阀上的小孔流回至主油箱，但是由于该部分燃油的流量按实测值为30mL/min，低于回油流量传感器测量范围的下限，导致该部分回油量无法测量，从而导致全机油量不准确	正常双泵供油时，即使由于两台泵出口压力细微差别导致燃油通过活门上小孔由一边供油路窜至另一边供油路，但是由于泄漏量小，故也不影响发动机和供油泵的正常工作
负过载供油	1）燃油测量不准确，同正常供油的情况 2）负过载供油时燃油由倒飞油箱提供，由于倒飞油箱容积固定，通过回油电磁阀上的小孔流出的燃油未流回至倒飞油箱，导致供发动机使用的燃油量减少，但是由于0.2mm的孔实测泄漏量为30mL/min，负过载的最长时间为20s，因此，对负过载供油时间基本无影响	负过载供油为双泵供油，同正常供油的情况，不影响发动机和供油泵的正常工作
回油	回油电磁阀打开，正常工作，无影响	回油单向阀打开，正常工作，无影响

根据以上对比分析，因在回油电磁阀上开孔会降低燃油测量精度，故采用在回油单向阀活门上开ϕ0.2mm孔的改进方案。

6　结束语

本文对回油电磁阀产品在机上系统中出现漏油的问题，通过建立故障树，归纳问题关键方向，建立严谨的逻辑思维模式展开分析，通过逐层排除疑问，找出问题关键，进而采取措施，提高产品可靠性。通过该问题的处理，使得我们对产品在机上系统的使用有了更深入的认识，督促我们在今后的设计、问题处理过程中，要进行深入系统地整体考虑，坚持问题导向、目标导向和效果导向，疏通各类问题的堵点，从而取得技术上的新突破。

参考文献：

[1] 史定华，王瑞松. 故障树分析技术方法和理论[M]. 北京：北京师范大学出版社，1993.
[2] 梁杰，饶天贵. 基于故障树的机车故障诊断系统设计[J]. 计算机应用与软件，2020，37（6）：328-333.
[3] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2010.

MW 20240320

（上接第73页）

下达的任务，可以直接调用保存的程序，减少了重新编程和试制的时间。对于批量生产任务，有了程序使用的监控手段，避免私自修改程序的情况，产品质量更加稳定。设备开机率等监控数据，为生产管理人员提升设备效率和产能提供了有效的数据支撑。系统运行半年后，生产质量问题数量下降了约15%，数控机床开机率提高了约30%。

6　结束语

本文分析了该车间的数控机床现状和改造需求，充分考虑该车间数控机床型号、系统种类和版本较多的情况，制定了系统通信和数据采集的方案。通过联网改造实现了设备互联、加工状态参数采集，实现了程序的集中编制和远程上传、调用。通过制定程序管理流程和命名规则，实现了数控程序的全生命周期管理。系统监控数据可直观地反映设备运行状态，为设备效率和产能的提升提供有力的技术支撑，帮助该车间有效提升设备运行效率与生产管控能力。本次实施也为同样有数控机床联网升级改造需求的厂家提供参考。

参考文献：

[1] 王爱玲，杨福合，张福生，等. 数控机床故障诊断与维修[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2013.
[2] 张秀娟. 基于DNC技术的数控车间网络化改造项目研究[D]. 南昌：南昌大学，2014.
[3] 张霞. 企业数控机床DNC系统构建及安全保护的研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2015.
[4] 李波. 基于串口的DNC信息采集系统的研究[D]. 南京：南京航空航天大学，2007.
[5] 武国峰. DNC 数据采集系统的研究与开发 [D]. 南京：南京航空航天大学，2003.
[6] 宓方玮，黄贤超，陈滨. 数字化制造设备信息采集技术方案[J]. 机床与液压，2016（2）：28-32，36.

MW 20240310