

文章编号:1000-582x(2001)01-0012-04

# 基于 Internet 的网络化制造集成技术

陶桂宝, 刘飞, 王时龙

(重庆大学机械工程学院, 重庆 400044)

**摘要:** 网络化集成制造作为一种新兴的先进制造模式正愈益受到重视。文中着重探讨网络化制造集成技术, 即底层设备通信技术、DNC 系统通信竞争、基于软插件技术的异构数控系统集成、基于 Internet 的网络化制造。在此基础上构筑了网络化制造集成系统, 系统经实际运行效果良好, 能够满足产品远程设计制造和无纸化生产要求。

**关键词:** 通信; DNC; 软插件; Internet; 网络化制造

**中图分类号:** TH 166

**文献标识码:** A

制造业是国家经济的发展支柱, 制造技术是制造业的技术基础, 是提高企业国际竞争力和创新能力的根本途径。传统制造技术已难以适应现代化生产需要, 因此现代制造企业纷纷采用先进制造技术, 以增强企业的制造水平和市场竞争能力, 但这些制造技术的应用很多仍处于单项技术应用水平, 它们之间没有很好集成, 信息的交换往往采用硬拷贝。例如, 很多企业尽管应用 CAD/CAM 系统和加工中心, 但由 CAD/CAM 系统生成复杂零件的 NC 程序仍采用手工或微机辅助分段输入、分段加工的方法, 生产效率低, 又往往无法满足加工质量要求。随着计算机和网络技术的飞速发展, 特别是 Internet 的广泛应用, 实现网络化集成制造成为可能。近年来, 敏捷制造、分散网络化制造、虚拟企业、动态联盟等成为国际研究热点问题<sup>[1]</sup>, 研究目标是如何实现制造资源共享, 如何快速响应多变的市場以争取更大的市场份额, 如何在规定时间完成订单等。本文旨在探讨如何利用网络技术, 实现 CAD/CAE/CAM 系统与底层数控加工设备的集成, 达到产品的远程设计制造和无纸化生产目的。

## 1 网络化制造集成技术

### 1.1 底层设备通信技术

80 年代以来, 我国引进和自制了多种类型的数控

加工设备, 如加工中心、线切割机、电火花成型机、三坐标测量机、机器人、柔性制造系统等, 近年来数控加工设备在我国机械制造业的占有率呈快速上升趋势, 但这些数控加工设备大多处于单机运行方式, 采用手工或微机辅助分段输入、分段加工的方法, 设备利用率普遍较低。随着数控加工设备增多和现代生产管理需要, 众多制造企业纷纷提出要求, 将数控加工设备联网, 构成 DNC 系统, 实现集成化控制和管理, 近几年国内外对 DNC 系统的研究非常活跃<sup>[2]</sup>。要实现此目标, 首先要解决计算机与数控加工设备的通信问题。

计算机与数控加工设备的通信方式取决于数控系统的通信接口和通信协议。数控系统提供的通信接口和通信协议有以下几种<sup>[3]</sup>: 1) 录音接口, 该接口为国产老式经济型数控系统的通信接口; 2) 纸带阅读机输入接口和纸带穿孔机输出接口, 早期引进的数控系统通常具备该接口, 如 FANUC 7M 系统, 新开发的数控系统已基本淘汰此接口, 但我国企业中还有一定数量包含此接口的数控加工设备; 3) 异步串行通信接口, 如 RS232、RS422、RS485 等, 这是应用最普遍的一种通信接口, 新开发的数控系统几乎都包含此类接口, 采用 XON/XOFF、3964R、简化 3964R 等通信协议; 4) DNC 接口, 如 FANUC DNC2 接口, 这种接口可实现远距离通信, 具有出错反馈与在线实时修改功能, 便于远程管

收稿日期: 2000-11-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59805021); 重庆大学机械工程学院科研发展基金资助项目(9904)

作者简介: 陶桂宝(1967-), 男, 浙江义乌人, 重庆大学机械工程学院讲师, 博士研究生。主要从事机械制造、机电一体化、CAD/CAM、车间集成控制管理研究。

理,但结构复杂、通信软件开发难度大,价格高,因此我国很少引进;(5)网络通信接口,主要有 MAP 接口、以太网接口、现场总线接口,这类接口通信速率高、可靠性高,新开发的开放式数控系统大多具有以太网接口选项,但我国引进的数控系统中很少配备网络通信接口。MAP 网采用 MAP2.1 和 MAP3.0 制造自动化协议,是目前应用较广泛的工业网,它将宽带技术、总线技术和无源工作站耦合为一体,从而保证信息无错传输,但要求 MAP 实现与加工同步传输 NC 程序时,它很难达到实时性要求,这是由于 MAP 采用完整的七层协议,网络存取费用高,传输效率低,实时性差,因此不适宜于数控加工设备的联网。由上分析可知,异步串行通信接口 RS232 是最常用的数控系统通信接口,几乎所有的数控系统都包含此接口,因此本文将主要以 RS232 接口来论述。

对于通信距离短、组成 DNC 系统的数控加工设备数量少的小型系统可采用点对点式通信联接(图 1)。该联接方式结构简单,但连线多,易出故障,通信距离短(RS232 通讯距离一般为 15 m 以内),不适宜较大范围的 DNC 系统。另外,通信竞争问题(多台数控加工设备同时申请与主控计算机通信,主控计算机如何最优处理)也一直是阻碍其推广应用的主要原因之一。

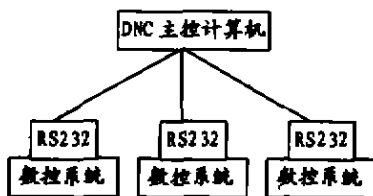


图 1 DNC 传统通信拓扑结构

为延长通信距离,使较分散的数控加工设备也能联网,北京机床研究所研制了数控机床集成器和智能通信单元,通过它们连接 DNC 主控计算机和多台数控加工设备,完成加工程序传送及机床状态采集上报和部分生产管理功能,成果具有国内领先水平,改进后的 DNC 通信拓扑结构如图 2 所示。这种通信结构必须针对具体数控系统研制专门的 DNC 智能通信单元,开发周期长,成本高。

90 年代开始,我国部分企业采用一台数控机床与一台工控微机相连<sup>[3,4]</sup>(即点对点式),所有工控微机再通过局域网络与 DNC 主控计算机相连的通信模式。这种 DNC 通信模式存在以下问题:1) 工控微机置于生产现场,环境粉尘与温度变化造成 DNC 系统故障率

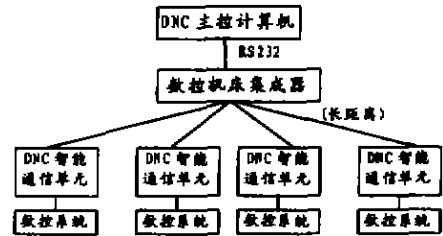


图 2 改进型 DNC 通信拓扑结构

高、可靠性差;2) 对操作工人要求较高,管理与维护工作量大;3) 加工之前,NC 程序需通过网络传送至下位工控微机,多台机床先后加工一批零件时,若在 DNC 主控计算机中修改了 NC 程序,会造成零件加工不一致;4) 操作工人需双侧操作工控微机与机床面板,操作复杂,效率低;5) 没有全局广播功能。

鉴于以上通信方式存在的缺陷,我们提出一种实时、高速、可靠、廉价的新型 DNC 通信系统,可实现远距离通信,具有操作方便、开放性好的特点,其网络拓扑结构如图 3 所示:每台数控加工设备配备一台通信前端单元,各通信前端单元与 DNC 主控计算机间采用廉价的双绞线连接,系统具有良好的扩展性,增加一台数控加工设备,只需增加一台通信前端单元和一小段双绞线。通信前端单元主要起数据缓冲和协议转换作用,它与 DNC 主控计算机间以 CAN 协议通信,与数控加工设备间以串行通讯协议通信。通信前端单元体积小,可集成在数控系统控制柜中,且本身能适应恶劣的粉尘生产环境和较高温度的工作现场,有很好的电磁兼容性,可靠性高。CANBUS 的远距离传输特性使 DNC 主控计算机远离生产现场,能置于恒温恒湿的良好工作环境,保证了系统的整体可靠性。新型 DNC 通信系统彻底改变原来的双侧操作方式,实现数控系统单侧操作,操作工人只需根据生产计划和数控作业指导书操作数控系统面板直接申请 NC 程序,系统即可分配 NC 程序到相应的数控系统。另外,新型 DNC 通信系统与数控系统的通信速率提高到 19 200 bps,可完成高质量表面零件的加工。

新型 DNC 通信系统的核心是以 CANBUS 现场总线作为数控系统集成化控制的通信平台,从而实现一台 DNC 主控计算机控制多台数控加工设备,主控计算机与多台数控加工设备间可实时、高速、可靠传输加工程序,能够满足多台数控加工设备同时以 DNC 方式(边传程序边加工方式)加工。CANBUS 现场总线的优越性能使新型 DNC 通信系统具有以往系统不具备的显著优点。

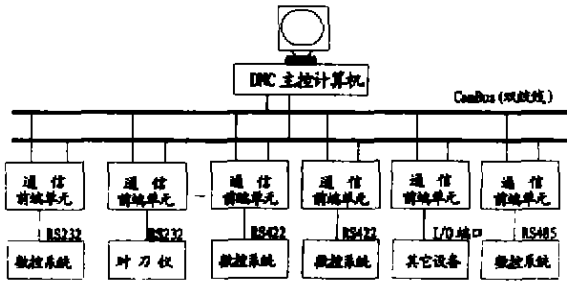


图 3 新型 DNC 通信网络拓扑结构

1.2 DNC 系统通信竞争

新型 DNC 通信系统中,当多台数控加工设备同时加工复杂零件时,由于 NC 程序庞大,数控系统的内存无法存放整个 NC 程序,只能采取 DNC 传输方式加工,这就有可能出现数控加工设备因暂时缺乏 NC 程序而加工停顿的现象,这种现象称为“通信竞争”。通信竞争在实际生产中往往不允许,例如:汽车覆盖件冲压模具精加工的中途停顿会造成覆盖件局部“聚光”现象,直接影响冲压零件质量。

引起通信竞争的因素大致有:1)联网数控加工设备的数量  $m$ ,数量越多,引起通信竞争的可能性越大;2)CAN 现场总线传输速率  $v$ 、传输效率  $c$ 、节点切换服务时间  $t$ 、传输效率指传输有效字节数占总传输字节的比例,CAN 采用短帧传输,传输效率较低;3)各数控加工设备的通信传输速率  $v_i$ ,传输效率  $e_i$  ( $i=1 \sim m$ ), $v_i$  通常为 9 600 bps,但复杂型面型腔精加工则要求  $v_i$  达到 19 200 bps 以上;4)数控系统程序消耗率  $p_i$ ,即数控系统每秒执行程序的位(bit)数, $p_i$  波动较大,但每个系统都有一个较确定的最大  $p_i$  值;5)数控系统通信数据缓冲区 BUFFER 的大小  $Q$ ;6)各 DNC 通信前端单元数据缓冲区 BUFFER 的大小  $S_i$ , $S_i$  是需要优化的量。

解决通信竞争问题就是利用以上因素构建数学模型,优化  $S_i$ ,使  $S_i$  达到极大,达到极大可保证 DNC 主控计算机通信服务切换次数少,工作效率高。建立的数学模型如下:

优化目标:

$$\text{maximize } \sum_{i=1}^m S_i \quad (i=1 \sim m)$$

约束条件 1:  $v_i \cdot e_i > p_i$  (1)

约束条件 2:  $T_i < \frac{S_i - Q_i}{p_i}$  (2)

其中:  $T_i = \sum_{i=1}^m \left( \frac{S_i}{v \cdot c} + t \right) - \frac{S_i}{v \cdot c}$  (3)

约束条件 3:  $\frac{S_i}{v \cdot c} < \frac{Q_i}{p_i}$  (4)

约束条件 4:  $S_i > 0$  (5)

式(1)是保证数控系统的数据缓冲区中有加工程序,使加工不出现中间停顿。式(3)为第  $i$  台数控加工设备相邻两次从 DNC 主控计算机获取 NC 程序的等待时间。式(2)、式(4)是保证数控系统在执行完上一批从 DNC 主控计算机得到的加工程序前,DNC 主控计算机已将下一批加工程序段送入 DNC 通信前端单元,即始终保持 DNC 通信前端单元和数控系统的数据缓冲区中都有 NC 加工程序,直至整个 NC 加工程序执行完毕。

将以上数学模型的求解用于实际 DNC 通信,可保证不出现 DNC 通信竞争,因为模型求解时代入的  $p_i$  值为数控系统的最大加工程序消耗率,而数控系统实际工作时加工程序消耗率都低于最大值;另外,模型求解时代入的  $m$  值为联网数控加工设备的总数目,而同时与 DNC 主控计算机通信的数控加工设备数目通常少于总数目。上述数学模型最终可求得  $S_i$  和  $v_i$ ,假如新型 DNC 通信系统中各数控系统相同,即  $Q_i, p_i, v_i$  一致,分别以  $Q, p, e$  替换,则由式(1)得:

$$v_i > p/e$$

由式(2)、式(4)、式(5)可得:

$$0 < \frac{(p \cdot m \cdot t + Q) \cdot v \cdot c}{v \cdot c - (m - 1) \cdot p} < S < \frac{Q \cdot v \cdot c}{p} \quad (6)$$

由式(6)可得:

$$m < \frac{Q \cdot v \cdot c}{p^2 \cdot t + p \cdot Q} \quad (m \text{ 为整数}) \quad (7)$$

由式(6)可知,DNC 通信前端单元数据缓冲区  $S$  的上限与  $Q, v, c, p$  相关; $Q, v, c$  大, $p$  小,则  $S$  上限大; $S$  的下限还与  $m, t$  相关, $m, t$  越小,则  $S$  的下限越小。式(7)说明新型 DNC 通信系统连接相同数控加工设备而又不发生通信竞争的最大数量。 $v, c$  越大, $p, t$  越小,则  $m$  越大。新型 DNC 通信系统联网的数控加工设备台数不满足式(7),则该系统一定会出现通信竞争,这时只能降低所有或部分数控加工设备的进给速度等以减小加工程序的消耗率  $p$ 。由式(6)可知,DNC 通信前端单元的数据缓冲区大小可以是一个范围,取值大则 DNC 主控计算机通信服务切换次数少,效率高,相反则切换次数多,但实时性高。因此,可根据系统的实时性要求决定通信前端单元数据缓冲区的大小。DNC 通信系统模型能很好地解决通信竞争问题,为新型 DNC 通信系统的设计提供了理论指导。

### 1.3 基于软插件技术的异构数控系统集成

由于许多机械制造企业购置的数控加工设备类型、厂地厂家、生产时间不同,配置的数控系统不尽相同,其数据传输接口和通信协议也不相同。如何实现异构系统集成化控制是一个值得研究的技术难题。目前世界各国数控系统制造商已在积极寻找一条解决通信协议标准化问题的途径,在通信协议标准化之前,很多机械加工车间的数控加工设备集成控制都只能靠研制“DNC装置”实现。“DNC装置”通常为专门开发的单片机硬件设备及专门的接口标准,主要依靠硬件装置实现异构系统的通信。“DNC装置”开发周期长、费用高、适应性差,因此其应用有局限,很难推广。

众所周知,在计算机总线槽上插入硬件板卡(称之为硬插件),计算机就能实现相应功能。例如,计算机插入解压卡能实现解压功能。在计算机硬件性能更高、软件更丰富、价格更便宜的今天,系统功能逐渐依靠软件实现,目前个人计算机通常不配置解压卡,而由解压软件实现解压功能。据此,DNC硬件装置的功能也可通过软件实现,因DNC装置的核心功能是由硬件完成通信协议的转换和接口匹配,通信协议的转换完全可由软件实现。但不同数控系统其通信协议不同,这就要求编写不同的、模块化的通信协议转换程序,构成通信协议转换程序库,针对不同数控系统只需配置相应的通信协议转换程序,即可实现异构数控系统通信,此即“软插件技术”,通信协议转换程序库即为“软插件库”。

“软插件技术”一改传统异构系统集成利用硬件DNC装置的研究思路,利用软插件技术实现异构数控系统的集成控制,显然可缩短系统开发时间,节约成本,且系统具有很好的适应性和可扩展性,软插件库不断丰富,构筑新的异构数控集成控制系统将变得极为方便,因此,软插件技术相对硬插件技术具有显著优越性。图3所示的新型DNC通信系统中,DNC主控计算机的软插件库可存放不同通信协议(如3964R、XON/XOFF等),以满足不同数控系统的通讯要求,联网时可将数控系统所需的通信协议通过CAN总线下载到前端通信单元的EEPROM中,完成软插件过程,因此基于软插件技术的新型DNC系统使用非常方便。

### 1.4 基于 Internet 的网络化制造

随着计算机技术、网络技术的飞速发展和 Internet 的广泛应用,世界变得越来越小,网络作为一种最基本的信息交换途径正被各阶层所重视。网络技术已开始应用于机械制造领域,但笔者认为,真正意义上的网络化制造应是以 Internet 网作为顶层网的分层网络

化制造,制造网络的顶层为 Internet 网,中间层为 Intranet 网或局域网,底层为现场总线网。如此网络化制造系统可充分发挥 Internet 的功能,制造信息的交换完全不受地域和时间限制,可实现异地设计和异地制造。基于 Internet 的网络制造系统可实现企业间设计和制造信息共享以及优势制造资源的互补,因此虚拟制造企业诞生的数量将不断增加,诞生和消亡的频率也将不断加快。

制造信息有很多种,但对于数控加工而言,主要的制造信息有:NC程序、生产计划和数控作业指导书等,另外还有数控加工设备运行状况以及加工过程监视信息,这些信息都可通过 Internet 网传输,随着 Internet 网带宽增加,可实现实时传输高清晰和高音质加工过程监视视频和音频信号。Internet 网传输信息的方式有很多种,可根据实时性要求选择采用:Email 是一种既简单实用又便宜快捷的信息交换方式,但实时性较差;FTP 是另一种信息交换方式,它的实时性比前者好,但费用也比前者高。总之,无论采用何种 Internet 信息交换方式,其实时性均较差,它只能保证信息无错传输。对于中间层和底层网络,由于传输速率高,可采用文件访问方式,其实时性和可靠性均能满足要求。

## 2 运行效果

### 2.1 网络化制造集成系统

图4为应用上述网络化制造集成技术构筑的网络化制造集成系统,该系统为重庆大学机械学科“211工程”项目建设的重点内容。现有日本发那科株式会社赠送的 $\alpha$ -T10A 钻削中心一台(配备 FANUC 16MA 系统)和 FANUC 0-TD、FANUC 0-MD 系统各一套,另计划购置立式加工中心和快走丝线切割机各一台,这些数控加工设备都只提供 RS232 通讯接口,因此以上设备与校园网、CIMSNET 网,乃至 Internet 网的连接只能通过一台 DNC 主控计算机实现。系统的底层以 CAN 现场总线为通信平台,以软插件技术实现异构系统集成,网卡 3 为 CAN 现场总线控制网卡。DNC 主控计算机内还插有另外两块网卡,网卡 1 与校园网连接,可通过校园网上 Internet 获取制造信息;由于 CIMSNET 的西南站点设在重庆大学机械工程学院,因此 DNC 主控计算机可方便地通过网卡 2 与 CIMSNET 相连并可上 Internet;另外,当校园网和 CIMSNET 网不正常时,还可通过 Modem 和电信网上 Internet 获取制造信息,因此该网络化集成制造系统可以很灵活地从 Internet 获取制造信息。

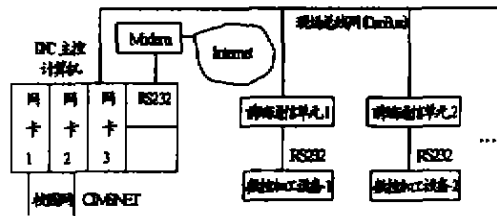


图4 基于 Internet 的网络化集成制造系统

## 2.2 运行效果

我们为上述网络化集成制造系统编写了相应的软插件和通信程序,并进行了网络的实际连接。DNC 主控计算机先与机械学院网连接,因此整个网络分为四层,由底到顶依次为 CAN 现场总线网、机械学院网、校园网、Internet 网。网络调试完成后,在  $\alpha$ -T10A 钻削中心上进行华陶集团陶瓷模具的实际加工。陶瓷模具 CAD/CAM 在机械学院网的其它计算机上完成,采用的 CAD/CAM 软件为 Mastercam 8.0,生成的 NC 程序存放在院网服务器上,采取 DNC 主控计算机直接访问院网服务器的方式边传程序边加工,整副模具的加工时间长达 10 小时,加工中没有出现因传输速度不够而停顿或 NC 程序传输出错的现象,后经多次可靠性试验,系统均运行正常。由此说明,基于上述网络化制造集成技术构筑的网络化制造集成系统能够满足产品远程设计制造和无纸化生产目的,系统运行可靠,操作

方便。

## 3 结束语

网络化集成制造作为一种新兴的先进制造模式正越来越受到重视。笔者认为,真正意义上的网络化集成制造应以 Internet 网作为顶层网的分层网络化制造,而底层数控加工设备的互连可采用实时性好、可靠性高、连接方便的现场总线网。本文在探讨网络化制造集成技术的基础上构筑了网络化制造集成系统,系统经实际运行达到预期研究目标,系统运行可靠,操作方便。

### 参考文献:

- [1] 张志超,王知衍 敏捷制造的发展现状及其问题探讨[J] 机械研究与应用,1999,12(2):3-4.
- [2] TOH K T K. The Future Role of DNC in Metalworking SMEs[J] International Journal of Production Research, 1996,34(3):863-877.
- [3] 吴锋.低成本 DNC 系统构成与控制结构[J] 机械与电子,1994,(2):34-35.
- [4] FLVIO TESTI. DNC SYSTEMS. A Story That Never Ends[J]. Journals of Society of Engineers,1996,77(3):31-43.
- [5] 王朝阳 DNC 在现代制造车间的实现[J] 机械与电子,1993,(2):3-4

# Research on Network Manufacturing Integrated Technology Based on Internet

TAO Gui-bao, LIU Fei, WANG Shi-long

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** As a kind of rising advanced manufacturing mode, network manufacturing is being gotten more and more attention to. This paper explores emphatically the network manufacturing integrated technology, such as the bottom equipment communication technology, DNC system communication competition, different numerical control system integration based on plugged-in software technology, network manufacturing based on Internet. On the basis of above technologies, this paper constructs the network integrated manufacturing system which practical running effects be very well and be able to meet the demands of designing and manufacturing over as well as non-paper manufacturing.

**Key words:** communication; DNC; plugged-in software; Internet; network manufacturing

(责任编辑 成孝义)