

面向网络化制造的 DNC 系统研究

学生：施吉祥

导师：任祖平

（东南大学）

摘 要

随着计算机网络技术的迅猛发展,制造业的功能内涵和运作模式都发生了深刻变化,网络化制造已经成为制造业运作的一种新模式,而作为制造业中的重要资源的数控机床需要实现联网运行。因此,本文着重研究了面向网络化制造的 DNC 通信技术,并针对机电综合训练中心的数控设备及软件系统,完成了面向网络化制造的 DNC 系统平台的体系结构的构建,构建了 NC 代码传输平台。并对其关键技术作了系统的阐述与分析,其中包括:异构数控系统通信、分布式数字控制(DNC)、机床无线通讯网络以及产品全生命周期管理等。最后提出了面向网络制造 CAD/CAPP/CAM/DNC 系统集成的解决方案。在上述技术实施完成的基础上阐述该实验室的应用状况和软件实现体系,并对优化教学模式进行了一定的探索。

论文完成的主要工作如下

- (1) 根据部门特点和现有的软硬件情况,完成中心主干网络的构建,建立机床通讯无线局域网络,对每台机床安装无线接入点,并将其与中心的有线局域网相连接。
- (2) 针对多种数控系统确定接入方式,制作机床连接线,接入智能终端,并进行通讯测试,保证每台机床能够通讯畅通,能够实现数控代码、系统参数的传输,并且对加工过程数控机床的状态进行监控。对通信过程中出现的问题进行分析,并提供解决方案。
- (3) 根据中心教师、学生和管理员等角色进行权限配置,根据设备和产品状况建立产品结构树和机床结构树,对车间中的数控代码、图文档等数据进行网络集中管理,同时为中心所涉及到的教学、加工等工作建立相应的流程,从而对项目或流程控制。
- (4) 对网络化制造模式下的数控教学体系进行一定的探讨,教学过程中模拟对产品设计、制造、工艺的全生命周期管理,并根据所制定的流程将产品加工成型。

关键词: 数控机床, DNC, 串行通信, 以太网, 智能终端

Research on DNC System Oriented to the Networked Manufacturing

Shi Jixiang
Ren Zuping
(Southeast University)

ABSTRACT

With the rapid development of computer network technology in recent years, network manufacturing has become a new running mode of enterprises. Being the important resources, NC tool must be run under network mode to meet the requirement of Networked Manufacturing. Therefore, this paper focuses on study of the DNC communication technologies under Networked Manufacturing condition, and the establishment of network-based system platform of DNC integrated hardware and software in Machinery and Electronic integrated laboratory ,meanwhile, the transmitting platform of NC code is constructed. Then analyses the key technology, such as distributed numerical control (DNC), CNC network system based on wireless communication, the whole life cycle management of the product (PLM) and so on.in the end, systematically the thesis studied in the integrated system of CAD/CAM/CAPP/DNC, discuss the application, software realization infrastructure of the lab and the probe into the optimized teaching mode.

The main contributions include:

1. The trunk network was established first, so was the wireless communication network of machine tools. Every single NC machine tool was fixed with an access point with which to link wire intranet subsequently
2. Making connective line for all the NC machine tools to link the intelligent terminal ,connection test was also made to ensure the fluency when transmission of the NC code and the parameter.As to the problems in communication, solution was put forward.
3. Configuring the titles for teachers and students according to the role they played, and construct the structure tree of the products and machine tools, within which to manage all the data concentratedly such as NC codes、 drawings and documents, and so on.
4. New teaching mode has been probed under the Networked Manufacturing condition .simulate the product life management (PLM) including designation,manufacturing and technics ,finally complete the production following the established flow.

Keywords: NC machine-tool, Distributed Numerical Control, serial communication, Ethernet, Intelligent terminal (serial server)

东南大学学位论文独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得东南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：施吉祥 日期：2008.03.03

东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外，允许论文被查阅和借阅，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名：施吉祥 导师签名：施吉祥 日期：

第一章 绪论

1.1 论文的研究背景

随着我国成功加入 WTO, 目前全球的制造业向中国的快速转移, 中国日益成为世界的制造中心, 我国制造业进入了快速发展的重要机遇期, 先进的设计技术和数控加工技术已经成为市场竞争和企业发展的自觉要求, 先进的数控设备正在以前所未有的速度进入到千千万万中国的各类制造业, 能否快速培养大量掌握现代设计、制造技术的人才就成了摆在我们理工院校面前急需解决的问题。解决此问题的着手点正是建立一个高水平的体现现代先进制造技术的实验基地, 形成一个全方位的教学环境。在软硬件设备都达标的基础上再对教学模式进行一定的探索。

当今制造业中, 一部分企业为把握市场机遇, 急于寻找合适的数控加工设备; 而另一部分企业却为数控设备得不到充分利用甚至闲置而头疼。一部分企业虽有一定数控加工设备, 但软件资源缺乏或缺少高素质的编程人员, 有些高校科研院所虽然有丰富的软件资源和高素质的编程人员, 但缺乏必要的数控设备, 造成资源的浪费。对于企业中存在的问题, 其解决方式是通过网络化制造, 实现数控设备资源的共享, 进行数控资源的配置和重组, 以网络化制造模式进行新产品的研制和加工。也就是说, 企业在缺乏数控加工能力的情况下, 不是一味的增加数控设备的投入, 而是从降低企业投资风险出发, 需求合适的具有数控加工能力的盟友结成企业动态联盟, 在不需要投入大量资金的情况下, 尽可能获得所需要得数控加工资源, 扩大企业得数控加工能力。提高企业快速响应市场, 适应多样化加工的能力, 使合作各方的资源得到充分的利用, 降低生产成本, 争取在局部最优的基础上取得全局最优。网络化制造对数控机床的联网运行提出了要求, 数控机床的通信接口决定了数控的机床的联网模式, 目前, 我国的大多数企业的数控机床只具有串行通信能力, 无法直接接入网络, 只能通过数控机床提供的 RS232 接口实现数控程序的接收和发送。这种信息传输方式也就是所说的 DNC (Direct Numerical Control 或 Distributed Numerical Control), DNC 是车间内部实现数控加工信息集成的一种主要方式。目前对它的研究主要考虑本车间信息的集成和传输, 研究重点主要放在车间内部。采用基于以太网的 DNC 通信系统, 通过在 DNC 控制计算机上集成 NC 代码异地传输平台能够实现车间的信息集成, 也能够实现网络动态联盟之间的设备资源共享, 实现 NC 加工代码的异地传输。DNC 系统通过实现数控加工信息集成, 从而大大提高数控设备利用率, 减少了数控设备可加工时间的相对浪费, 而在 DNC 控制计算机上集成 NC 代码的传输平台可以实现数控设备资源共享和数控设备的重组, 减少了数控设备可加工时间的绝对浪费。本文的研究针对我国企业数控设备的现状以及数控教学过程中出现的问题, 充分结合我国国情, 对于提高数控设备的利用率、提高数控教学成果、快速反映市场机遇具有重要意义。

1.2 数控加工网络化制造技术

国家科技部关于网络化制造^[1]的定义为: 网络化制造是按照敏捷制造的思想, 采用 internet 技术, 建立灵活有效、互惠互利的动态企业联盟, 有效地实现研究、设计、生产和销售各种资源的重组, 从而提高企业的市场快速反应和竞争能力的新模式。使用网络的企业与企业间可进行跨地域协同设计、协同制造、信息共享远程监控及远程服务, 以及企业与社会间的供应销售和服务等内容。在狭义上表现为企业内部的网络化, 即将企业内部的管理部门、设计部门、生产部门在网络、数据库技

术支持下进行系统集成。伴随计算机技术、网络技术在机械制造业的应用，网络化制造已成为制造业发展的必然趋势。网络化具体需要解决的相关技术包括：数控代码的网络传输；工艺参数网络优化与传输；设计与制造的产品数据模型管理；网上交流机制；工艺的设计和定义；工艺计划和调度；车间管理与控制。

1.2.1 数控机床的使用现状

网络化制造过程中的数控机床是组成先进制造业自动化的重要设备。我国数控机床的拥有量在机床中占 25%，数控机床的研究和普及与工业发达国家相比，有很大差距。在我国已经应用自动化技术的企业所使用的数控系统大多数是从国外进口的，国产数控机床使用的数控系统和伺服装置，大部分是 FANUC、三菱、西门子等产品，严重制约了我国先进制造业生产效率的提高以及企业竞争力的增强。

我国的数控机床使用中，有些应用的很好，充分发挥了效益，而大多数却存在开动率和利用率不高、经济效益不理想等问题，造成资源的极大浪费，阻碍了企业竞争力的增强。在使用数控机床设备中又普遍存在五个“不用”的实际问题：

- (1) 不会用，操作、编程复杂，会操作、编程的人员少；
- (2) 不愿用，即使会操作、编程，对于单件小批量生产，由于编程繁琐，技术人员宁愿安排使用普通机床加工；
- (3) 不敢用，编程和控制稍有失误，即造成设备和质量事故，即便采用空车运转和软材料试切，仍不能避免上述问题，特别是复杂或重要零件的加工，往往不敢使用数控机床；
- (4) 不能用，复杂工件的编程量较大，受控制系统容量的限制而不能使用；
- (5) 不好用，某些商品化编程软件，只提供加工理想形状的几何仿真，不考虑工件实际成型的物理仿真和切削过程的仿真，不能提供切削参数的优化功能，遇到大型复杂工件，即使计算机能够自动生成数控代码，操作者仍感到程序调整困难。

技术引进的先进制造设备，有的出现软、硬件不是同一厂家产品现象，造成软件部分功能与硬件不配套，甚至某些动作无法执行，或者系统软件又缺乏硬件的一些功能指令资料及接口软件等，影响了先进制造设备的开发工作。

1.2.2 数控教学的现状

高等职业教育担负着培养人才的重任，要为国家提供高素质的实用型人才，就必须建立一个高水平的能体现现代先进科学技术的实验基地。近几年来，国家加大了对教育的投入，使先进的教学设备进入实验室，各高校机械专业纷纷购进先进的数控设备用于教学实习。随着数控设备数量和品种的增加，如何加强对这些设备的管理，进行合理配置，并在教学中发挥出最大的效益成为数控教学老师面临的重要问题。在实际的编程和加工通讯过程中也遇到很多问题，如下面分析：

- (1) 程序传输，由于数控机床引进的时间不同，从早期 RS-232 串行接口的数控机床，到现在既能提供串行接口又能提供网络接口的新型数控机床，不同的发展阶段，不同的版本，导致数控系统繁杂，各系统之间所用的通信协议(波特率数据位、停止位、奇偶校验、开始符和结束符等)和通信电缆互不一样，造成相互之间不兼容的现状。
- (2) 由于没有通讯网络，只好电脑单机传输程序，频繁的热插拔极易烧坏机床的接口。
- (3) 实验室有一台教学系统，由于内存空间较小，存放程序数量少，大量的加工程序不得不进行反复

删除和键入,使得辅助时间加长,影响了数控机床的加工效率。

(4) 学生手工编写完的零件 G 代码加工程序,在输入数控机床前,需要指导老师检查,由于每个学生的思路方法不同,检查起来很费时间。

(5) 学生在做数控实验时,是分批成组进行,每组学生将自己编写好的程序从控制面板上输入,由于环境嘈杂,极易出错,常常因为输错一个字符造成实验件报废和刀具损坏。

(6) 程序管理,由于传输不便,有许多实验的程序都是在控制面板上现编现用,由于内存空间小,以及误操作等原因,程序经常丢失,管理上缺乏条理。

(7) 所有的数控程序都是用文件夹的方式保存在电脑上,时间长了,哪些是毕业设计的程序,哪些是科研课题的程序,以及平时教学应用的程序,经常要花费大量时间去查找,由于数控系统存在差异,不同版本的程序保存也容易引起混乱。

(8) 电脑上的数控程序和 CAD 模型图、刀具清单等都是独立保存的,时间一长,就难以确认它们之间的对应关系,给再次使用造成麻烦。

(9) 在程序调试阶段,数控机床和电脑不能实时通信,有许多在电脑上编的程序到机床上调试更改后不能及时更新,电脑中保存的仍是老版本的程序,下次调用还需要重新调试修改。

(10) 由于对数控程序没有权限管理,学生在使用电脑时,出于好奇上下查阅电脑中的文件,时常出现挪动和改动的现象。

(11) 程序编辑修改,学生初学编程指令,手工编制零件的加工程序,在修改时,一般是控制面板上或在电脑的记事本中完成,由于还没有用到的数控编程工具,生成的 G 代码程序无法进行比较模拟,出现错误也只能在试切时发现。

上述问题必须通过网络化的制造方式进行解决,网络化制造中的关键通信技术提供一个数控代码的传输平台,学生可以完成自己数控程序的调用和上传,同时借助于协同管理技术完成对自己设计、制造数据的科学管理。

1.2.3 网络化制造技术应用于数控加工中的意义

以 Internet 为代表的网络技术是对 21 世纪人类发展影响最大的技术之一。对制造业来说,Internet 的崛起,既是一场严峻的挑战,也是一个难得的机遇。网络技术、通信技术、计算机技术的结合,正在用一种新的形式把整个社会连接在一起,形成一个全新的网络社会,改变着人类生活的各个方面。在经济领域,网络技术正在使经济活动方式发生极大的变化,促使全球经济一体化,形成一种全新的网络经济。对制造业来说,这恰恰是一个十分难得的机遇。自觉、主动地利用信息技术来改造和强化自身,依托网络实现本地和异地企业信息、资源的共享,改造企业现行不合理的组织结构,采用先进的数字化、信息化、智能化、集成化的制造策略,实现制造过程的低成本运行,努力提高对市场需求的快速响应能力和市场竞争能力,这才是制造业的发展创新之路!开展网络化制造涉及到制造企业从产品市场定位、产品设计、制造、供销、维修服务、管理等各个环节的改造调整,是以现代信息处理技术、网络技术以及自动控制技术和设备,对制造业企业进行全方位、多角度、高效和安全的改造,同时,系统集成产生着新的先进制造技术促进制造技术本身的发展。网络化制造可以实现制造的敏捷、优质、高效、低耗、清洁,是现代制造业的一项前沿技术。因此,与之相关的关键技术、应用技术的攻关,相关产品的开发和产业化、应用服务体系的建立和相关政策环境的建设,企业和行业的应用示范等,必然是网络化制造重要的项目内容。

开展网络化制造工程,对于盘活、用好企业现有资源,提高相关企业的创新能力和市场竞争力,实现区域资源优化与产业结构调整,促进大型集团公司的结构和产业升级,改造和提升传统制造产

业,实现经济增长方式的根本转变,满足我国进入 WTO 后参与国际竞争的需要,具有直接的现实意义。千千万万中国的各类制造业企业正急需掌握这项技能的人才,因此对于数控技能培训的院校,能否在教学实习中使学生真正掌握这项技术,使学生所学满足未来制造业发展的要求,意义重大。而且这对于带动我国制造业整体科技进步,促进区域经济和国民经济持续发展,促进我国先进制造技术发展,促进软件和其他信息产业的发展,实现“以高新技术改造传统产业,以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,实现生产力的跨越式发展”的宏伟目标,具有重大的战略意义。

1.2.4 网络化制造基础工作框架

在网络化制造环境下,企业内部或者企业之间的数控加工以何种方式相互联系,以何种内容进行相互合作,这就需要我们建立基于网络化制造的数控加工模型^[2]。

在企业中,分析数控加工整个过程,可以将其划分为产品设计、工艺编制、数控代码编制、加工、产品数据管理等几个功能环节。为使数控机床与网络连接成一个完整的系统,需要将以上各环节形成功能模块,既要分别实现与网络的集成,建立先进制造数控加工装备的联网,又要实现各功能模块之间的相关连接以及模块内部的网络化。建立先进制造数控加工装备的内联网(Intranet),其中需要应用到 CAD(计算机辅助设计)、CAPP(计算机辅助工艺)、CAM(计算机辅助制造)、PDM(产品数据管理)、故障诊断(检测加工环境、预报机床-刀具-工件加工状态、故障诊断、控制工艺系统稳定性)等重要的先进制造技术。这里以数控加工基础技术为主线,以 TCP/IP(Transfer Control Protocol/Internet Protocol 传输控制协议/网际协议)协议为网络通信平台,开发 CAD/CAM 系统的网络化制造技术,来实现产品设计与加工基础技术的网络化^[3]。将具有自动生成数控代码和代码校验能力的 CAD/CAM 系统集成到企业主干网络上。

网络数控加工基础工作主要是考虑网络化产品加工所需要的最底层、最基本的作业,不考虑数控加工中包含的物理因素,如物料流、产品数据管理、切削力及振动、磨损及精度等。网络化数控加工的基础工作流程如图,它包括产品特征造型、工艺参数优化、走刀轨迹生成、NC 仿真、NC 代码传输、加工及网上交流等工作环节。以该基础工作为依托,建立面向数控加工装备的样板网络。

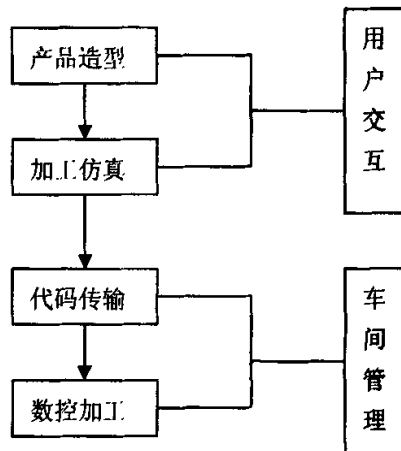


图 1-1 网络化数控加工基础工作流程

图 1-2 所示为实现网络化制造的网络拓扑图,它将数控加工流程的每个环节通过网络连接,构建数控加工的网络化制造环境,为全球化制造环境的形成奠定基础。

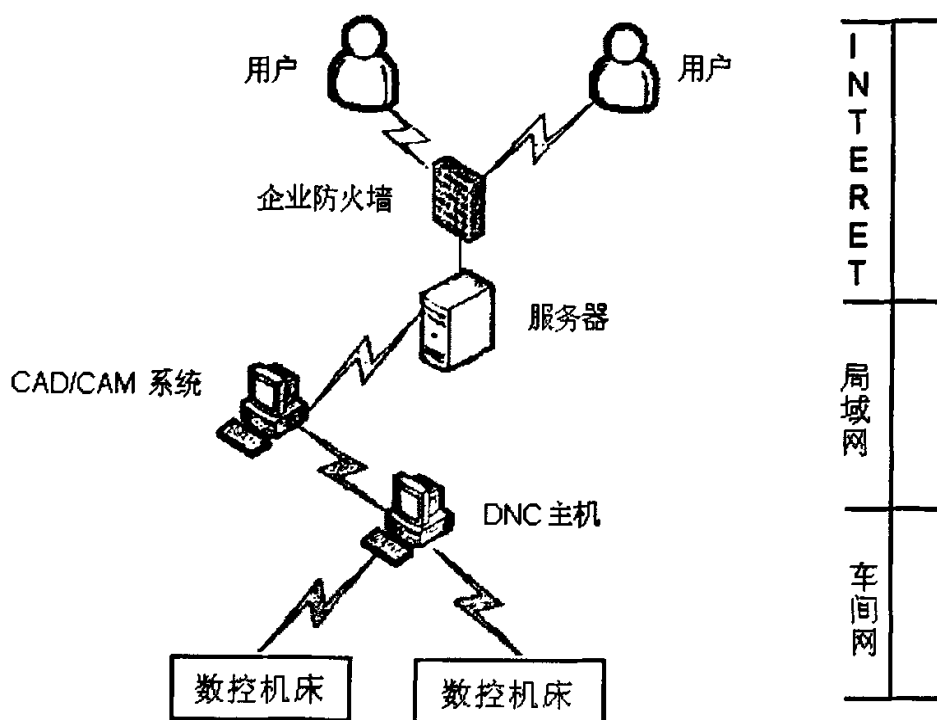


图 1-2 网络化制造的网络拓扑图

1.3 本文研究内容与主要成果

本文结合机电综合训练中心的部门特点和软硬件的特点实现了数控加工的网络化，着重进行了以下一些方面的研究：

(1) 完成中心主干网络的结构设计与建立，建立机床通讯无线局域网，对每台机床安装无线接入点，并将其与中心的有线局域网相连接。

(2) 对于异构数控系统 DNC 通信功能的实现，其中包括 FANUC、Siemens、三菱、广州数控、华中世纪星五种数控车床系统，加工中心有 FANUC、Siemens、西班牙 FAGOR、HAAS、SKY 五种系统。针对各种数控系统制作机床连接线，接入智能终端，并进行通讯测试，保证每台机床能够通讯畅通。

(4) 分析各种数控系统的通讯和编程差异，能够实现数控代码、系统参数的传输，并且对加工过程数控机床的状态进行监控。对通信过程中出现的问题进行分析，并提出解决方案。

(3) 根据中心教师学生等角色进行权限配置，根据设备和产品状况建立产品结构树和机床结构树，对车间中的数控代码、图文档等数据进行网络集中管理对车间中的数控代码、图文档等数据进行网络集中管理，同时对中心所涉及到的教学、加工等工作建立相应的流程，从而对项目或流程的控制。实现内部的网络化，即内部的管理部门、设计部门、生产部门在网络、数据库技术支持下进行系统集成。

(5) 对网络化制造模式下的数控教学体系进行一定的探讨，教学过程中模拟对产品设计、制造、工艺的全生命周期管理，并根据所制定的流程将产品加工成型。

第二章 中心主干网络结构设计

计算机网络是网络化制造的基础,随着计算机的普及与发展,它已经深入到制造业的每个角落。主干网络的建立包括选用网络硬件组建局域网、配置协议、测试网络,使各个部门能够进行相互之间的信息访问等,网络化制造中的各项主要技术都是以计算机网络为支撑的。

主干网络的设计需满足 DNC 系统的需求,结合东南大学机电综合训练中心网络化制造实验室的设备资源以及数据服务器、计算机客户端,本文提出了基于以太网的网络化制造技术。数控设备的数据传输首先通过串口服务器(智能终端)转换为以太网数据包,然后通过有线或者无线传输的方式进入主干网络,其逆过程原理相同。而产品的设计、工艺和数控程序的编制等等其流程也是基于以太网的,整个中心的教学图纸、数控程序也都可以通过网络进行内部交流。

随着计算机技术的飞速发展和网络通信技术的不断完善,数据的传输将更加快速、稳定。本章将从计算机网络体系结构组成的各个部分出发,进行相应的分析、选材,完成网络的结构设计并将其搭建,保证网络连接畅通。

2.1 计算机局域网的组成

随着计算机技术和计算机网络技术的发展,计算机连网已成为企业和车间的一般要求,计算机局域网的发展也为车间、企业的信息集成带来了可能。计算机局域网在集成的 DNC 系统中可用于工厂层、车间层、单元层和工作站层的计算机连网。过去,单元控制器与工作站的连接多采用串行通讯,随着网络技术的发展和价格的下降,现在更多的考虑采用局域网方式。

2.1.1 DNC 系统中常见的局域网和网络通讯协议

DNC 系统中常见的局域网有 Ethernet 和 DECnet 等。其中, Ethernet(以太网)是 DNC 系统中使用最多的一种计算机局域网。它以 CSMA/CD 方式工作,采用同轴电缆作为总线传输媒体。以太网由美国 Xerox 公司 ALTO 研究中心和 Stanford 大学合作研制,1980 年 9 月,DEC、Intel 和 Xerox 三个公司合作制定有关以太网的工作标准。由于以太网标准由上述三个公司制定,所以又被称为 DIX 规范,该规范被工业界广泛接受,成为事实上的工业标准,目前,以太网技术发展非常快,已出现了快速以太网、超高速以太网等。

DNC 系统使用的网络通讯协议主要有 TOP/MAP^[13]和 TCP/IP 等。

TOP(技术和办公协议)是美国波音公司 70 年代研究的用于办公自动化的网络开放系统体系结构,用来连接公司多种类型和厂家的微机、小型机、工作站、终端以及打印机和绘图仪等,并提供文字处理、文件传输、电子邮件、图形传输、数据库访问和事务处理的服务标准。MAP(制造自动化协议)是美国通用汽车公司 80 年代初为了实现制造系统、单元控制器、工作终端、可编程逻辑控制器(PLC)、材料加工系统、机器人以及其他自动化设备之间的通信而研究的一种用于制造自动化的网络通讯协议。

MAP 是通道存取方式为令牌总线的宽带局域网,符合 IEEE802.4 标准。所有智能化了的设备都可以通过一个统一的接口与该网络连接,以避免不同控制系统与计算机系统之间信息交换而造成的耗费。它以开放式系统和 ISO 参考模型为基础,在 ISO 规定的范围内允许多种协议方式以满足不同的

应用场合。MAP 在每一个 12MHz 频宽的通道内,以传输速度 10M bps 进行信息传递。MAP 共有 3 个 12MHz 通道可供选择。此外,它还提供了优先级和“立即响应”作为选择方案。总之,MAP 将宽带技术、总线技术和无源工作站耦合融为一体,从而高度保证了信息无错传输。1984 年通用汽车公司和波音公司参加由美国国家标准局召开的计算机会议 NCC,并在会上达成协议:将 TOP 扩充为 MAP 的办公室技术版本。于是出现了 TOP / MAP 的结合,形成了一套即可支持生产、又可支持办公的完整的网络体系结构(MAP/TOP 体系结构),广泛应用于各种不同类型的企业,并被选为支持企业 CIMS 过程的计算机网络标准。互联网协议 IP 和传输控制协议 TCP 一起构成著名的 TCP/IP 协议,它是事实上的网络互连标准,目前绝大部分网络操作系统都支持它,如 Netware、Windows NT Server、LAN Server、Linux 等。

2.1.2 TCP/IP 协议简介

国际标准化组织 ISO 的开放系统互联 OSI(International Standard Organization / Open System Interconnection)参考模型将网络分为:应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层七个层次。TCP/IP^[5]是计算机网络中常用的,也是 Internet 网络中使用的一种通信协议。对照 OSI 七层参考模型,可以把 TCP/IP 分为四个层次:应用层、传输层、因特网层、网络接口层。采用分层模型的方法有利于网络的描述和结构化,下面简单介绍一下:

(1) 应用层

应用层最容易理解,它对应于我们非常熟悉的网络应用程序,如 WWW 浏览器,FTP 程序,Email 电子邮件程序等等。

(2) 传输层

网络应用层中需要传输的数据,并不由应用程序直接发送到网络接口卡或网络线缆中传输,而是将它们传送到传输层,传输层负责将数据分段并将其组织成数据流,这些段被按顺序编号后发送到目的主机,如果有的段在传输过程中丢失了,目的主机会要求源主机丢失发送的段。在 TCP/IP 分层模型中提供了两个协议用于数据输:TCP 和 UDP。

(3) 因特网层

因特网层提供了三个主要功能:寻址、打包和路由选择,IP 协议就驻留在这一层,IP 地址也在这一层被封装。当信息从传输层到达时,IP 协议给信息加上该层的标题,标题包括:源主机 IP 地址、目的主机 IP 地址、传输协议(TCP 或 UDP)、检验和以及生存期(Time-to-live)等信息。

(4) 网络接口层

网络接口层接受因特网层的数据包,并加上帧标题使之成为数据帧。帧标题包括:源主机的 MAC 物理地址、目的主机或缺省网关的 MAC 物理地址以及循环冗余校验等,然后将数据帧以二进制位的形式放到传输线上传输。

在 TCP/IP 协议分层模型的传输层,提供了两个协议用于数据传输:传输控制协议 TCP(Transmission Control Protocol)和客户数据报协议 UDP(User Data gram Protocol),TCP 提供面向连接的通信,它是可靠的、有保证的传输协议;UDP 协议提供无连接的服务,它不能保证目的主机一定接受到数据。IP(Internet Protocol)协议提供主机的逻辑寻址,网络中的每一台主机有一个唯一的 IP 地址,IP 协议通过子网掩码把目的计算机和它自己的 IP 地址比较,确定数据包是经过路由器发送(两台主机不在同一个网段中),还是直接发送到目的主机。在计算机网络中,数据被采用包分组交换(Packet switching)的方式,即要传输的数据被分解成一系列的数据包(Data gram,或者称为包 Packet),这些数据包带有源计算机和目的计算机的地址,经过一个或者多个网络,最后到达目的计算机,目的计

算机将收到的数据包进行重组还原成原来的数据。为了使两台计算机之间能够正确地进行数据通信，同一网络中的主机必须遵守相同的协议。

2.1.3 计算机网络的拓扑结构

网络中各结点相互连接的方法和形式称为网络拓扑^[6]。在计算机网络中，计算机作为结点、通信线路作为连接可构成相对位置不同的几何图形。

常用的网络拓扑结构有总线型、环形、星型、分布式星型、树型等。

(1) 总线型

网络上所以计算机都共享一条单一电缆，这就是总线型结构，如图所示。特点是网络中共享一条数据通道，该通道为所有连接的结点提供双向传输能力。各结点之间无优先级，采用分布式控制。通过本身的信息传递按照广播方式工作，信息从源结点出发后，连接在总线上的所有的结点都能够收到信息。

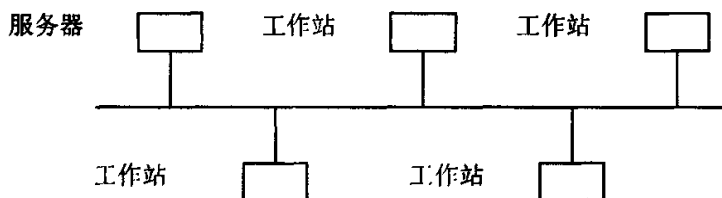


图 2-1 总线型网络结构

总线型的优点：结构简单、安装方便、成本低、需要铺设的电缆最短。在总线上增加、删除结点不必进行大量的连接工作，因此其实现容易些，而且也不因为增加结点，或者因为某个结点本身的故障而影响其他站点的工作。

(2) 星型

总线型中，如果用户的网络中各计算机没有整齐的排列成一行，那么这种网络实现就比较困难，如图所示。例如，一个遍布整栋建筑物的网络就不适合使用总线型拓扑，而用星型物理拓扑就更好。星型采用点对点链路和中心站相连，优点是结构简单、容易实现，而且容易在网络中增加新的站点，数据的安全性和优先级容易控制，容易实现网络监控。但是，星型的主要缺点是：可靠性差、站点数少、须依赖中心站工作。如果中央控制出了故障，整个网络就会停止工作。

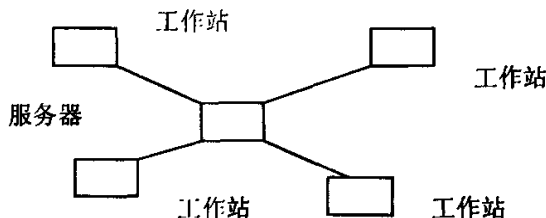


图 2-2 星型网络

(3) 环形

环形网络是用一条传输链路将一系列结点连成一个封闭的环路，如图所示。信息在闭环上的传输方向都是单方向从一个结点传向下一个结点，它的缺点是可靠性较差。为了提高可靠性，一般采

用旁路电路来解决因一个结点出故障而产生的断环现象，即分布式，不需要中央控制站，如图所示。

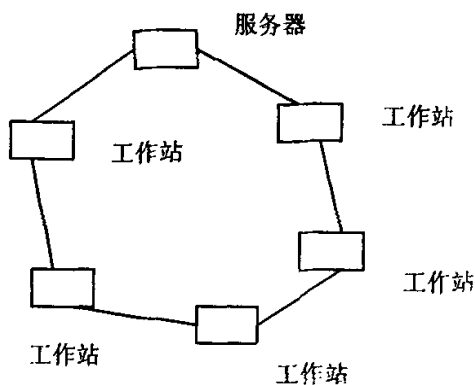


图 2-3 环形

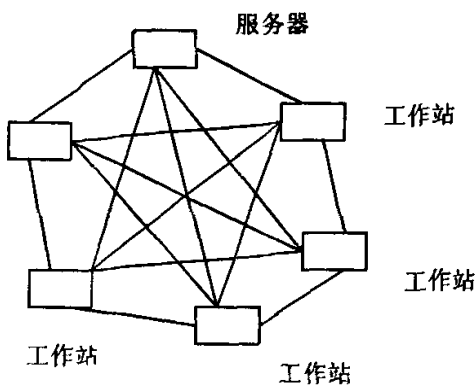


图 2-4 分布式

以上几种网络拓扑都是基本结构，在一个实际的网络中，可能是上述几种网络结构的混合。

2.2 网络拓扑结构设计

根据各部门实现的功能、运行状况设计 DNC 网络结构如图 2-5，系统以工业以太网^[44]为网络平台，工业以太网的抗干扰设计保证了在车间恶劣环境下的通信畅通及实时性，且易于与管理层集成。系统采用“总线+星型”的拓扑结构，企业主干网采用总线结构^[5]，易于组成冗余环网。车间层采用星型结构，避免了某一台设备的故障影响其他设备。

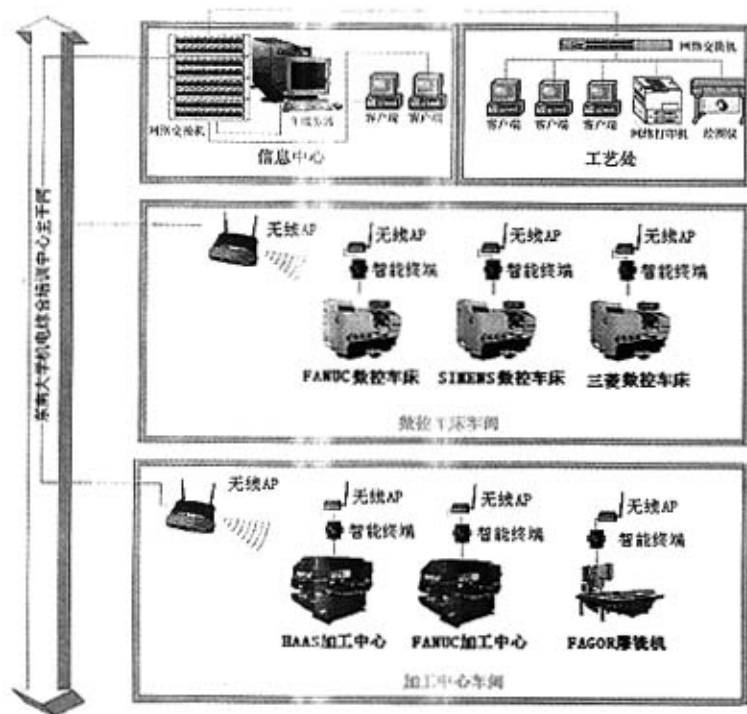


图 2-5 中心主干网络拓扑结构

车间内的数控设备通过智能终端与 DNC 服务器相连，并由 DNC 服务器统一控制和管理，数控程序

经 CAD/CAM 系统产生后,从编辑、仿真、管理到最后通过串口发送到机床进行加工,由一体化的软件进行统一管理。软件驻存在 DNC 服务器内,实现 NC 数据的管理和通信,DNC 软件我们选用大方科技有限公司的 CAXA 网络 DNC 及其管理模块^[1]。

其中相关的网络设备介绍及具体要求如下:

(1) 智能终端也叫终端服务器、异步串口服务器,是一个带有 CPU 和嵌入式 OS 及完整 TCP/IP 协议栈的独立智能设备,作用是将数控设备的 RS232 接口转换为以太网络的 RJ45 接口,完成串行数据和网络 IP 包之间的数据转换。

(2) 无线接入点 (Access Point) 是用于组建无线局域网,并将智能终端有线网络连接到无线网络的设备。机床通过智能终端接入无线局域网,使得服务器到微缩智能终端的通信速率可达到 11Mbps,远远大于标准串行通信接口。

(3) 通信服务器端,作为计算机硬件基础平台其要求: Intel PIII800 CPU、256M 内存、10G 硬盘、VGA 显示器、VGA 显卡、10-100 兆网卡或多串口卡、CD ROM、键盘、鼠标等基本配置(具体配置视需要管理的数控设备节点数量而定)。计算机软件系统平台要求为: MS 中文 Win98SE 或 MS 中文 Win2k 系列。

(4) 管理模块服务器端,计算机硬件基础平台配置要求: Intel PIII800 CPU、256M 内存、20G 硬盘、VGA 显示器、VGA 显卡、10-100 兆网卡、CD ROM、键盘、鼠标等基本配置(具体配置视需要管理的数控设备节点数量而定)。计算机软件系统平台: MS 中文 Windows2000 Server 系列操作系统以及 MS SQL Server2000 数据库的支持,浏览器要求 MS IE6,对系统环境的特殊需求: 安装服务器端的硬盘分区需要 NTFS 分区格式。

本网络中通信和管理模块安装在同一台服务器上,并保证其关联,这样数控程序的设计进入协同管理软件的流程中,并保存至其电子仓库 (Valut),可以直接被数控机床调用。

(5) 管理、通信客户端软件,计算机硬件基础平台: Intel PIII800 CPU、256M 内存、20G 硬盘、VGA 显示器、VGA 显卡、10-100 兆网卡、键盘、CD ROM/鼠标等基本配置,客户端主要应用于 CAD/CAPP/CAM 的教学应用,数量可视教学需求而定。计算机软件系统平台要求为 MS 的中文 Windows98SE 或 Windows2000、WindowsXP 等操作系统、MS IE6。

网络中软件部分包括服务器操作系统: WIN2000 SERVER SP4, 数据库: 一般 SQL SERVER 2000SP4, 计算机端局域网采用 TCP/IP 协议。

2.3 机床通信无线网络设计

数控机床与主干网络的连接采用无线的方式是考虑无线的优点,并首先满足传输稳定性的前提,实施的过程包括无线网络设备的选择、网络建立、配套管理软件的设置等等步骤,并且对网路中出现的问题进行相应的解决。

2.3.1 无线通信方式的优点

(1) 容易实现,有线通信方式的建立必须架设电缆,较为繁琐;而机床采用无线传输方式则只需要在每台机床终端连接无线接入点,并将无线主接入点架设适当高度就可以了。相比之下用无线数据传输方式,节省了人力物力。当然在一些近距离的数据通讯系统中,无线的通讯方式并不比有线的方式成本低,但是有时候实际的现场环境难以布线,并且考虑美化网络制造实验室的实习环境,还是有必要选用无线的方式来实现通讯。

(2) 实施的周期短、便于维护,无线的方式可以迅速容易的组建起通信链路,工程周期大大缩短。出现故障时则能快速找出原因,恢复线路正常运行。

(3) 适应性好, 在一定的空间范围内, 如工厂或学生实习的车间, 有线通讯的局限性较大, 机床的空间布局等因素将对有线网络的布线工程有着极强的制约, 而无线方式将不受这些限制, 同时能够保证数据传输的稳定, 所以说用无线通信方式建立机床通信网络将有比有线通信有更好的更广泛的适应性。

(4) 扩展性好, 组建好一个通讯网络之后, 如果系统需要增加新的节点或更多的机床实现网络 DNC。如果采用有线的方式, 需要重新布线, 施工比较麻烦, 而且还有可能破坏原来的通讯线路, 采用无线方式, 只需在新增机床上增加无线接入点就可以实现网络 DNC 系统的扩充了, 相比之下有更好的扩展性。

2.3.2 机床无线通信局域网的建立

传统的 WLAN (无线局域网)^[9]通信方式是接入就近的无线 AP, 经 AP 的控制器 (AC) 传到有线网络, 根据寻址方式转交相应的 AP。这种方式在家庭和办公环境以及一些公共场所得到广泛的应用。机床无线通讯网络正是鉴于此组建起来, 无线 AP 的信号强度将直接影响到无线网络的覆盖范围, 而无线网络的覆盖范围又将影响到无线信号的收发与传输。目前, 主流无线 AP 的室内覆盖范围可达 120 米, 实际有效直线通信距离为 80 米左右。无线网络客户端需要每台机床设置一台, 放在机床顶部。其与主无线 AP 的距离不要超过 100 米。对于超过 100 米的距离, 建议增加无线 AP 的数量来补偿。且该接入方式对于企业车间内部建筑结构有一定要求, 百米以内应当尽量避免有大的建筑隔离墙, 如果有隔离墙, 也需增加无线 AP。如图:

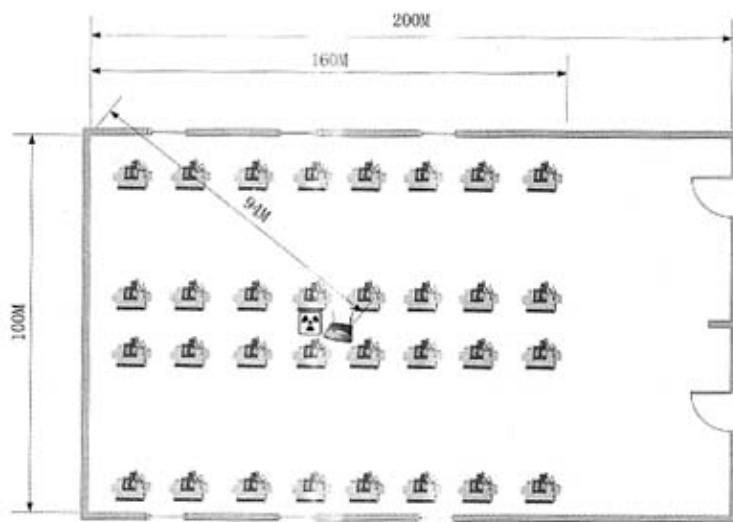


图 2-6 车间层布局图

上图中的车间结构, 一般只需要布置一台无线 AP 就可以覆盖所有数控设备。

决定无线网卡 AP 信号强度和覆盖范围的内部因素有很多, 其中发射功率是最大的一个。一般来说, 功率越大的产品, 信号强度越好, 覆盖范围越广。目前主流产品的发射功率在 30mW-200mW 之间。故选用 D-Link 公司的 DWL-3200AP 作为中心无线访问点 AP, DWL-2100AP 与机床相连, DWL-3200AP 的输出功率是 802.11g 21dBm (128 mW) / 802.11b 22dBm (160 mW), 覆盖范围可达三百米左右, DWL-2100AP 功率稍低为 15dBm (32mW)。

数控车床车间中机床较多, 占地面积大, 无线通信方式可选择 AP Client 客户端模式。中心的无线访问点 DWL-3200AP 工作模式设置成为 Access Point^[10]模式, 提供中心有线局域网的连接和自身

无线覆盖区域的无线终端接入；机床端连接的无线访问点 DWL-2100AP 设置成 AP Client 模式，通过中心无线访问点就可以连接 DNC 服务器所在的局域网了。

对于机床较少的车间 (≤ 8 台)，则全部选用 DWL-2100AP，通信方式设为 WDS (无线分布式系统) 网桥模式，可作为一种低成本扩展无线的方案。选择一个 AP 作为主 WDS 为中心点发送无线信号，其他接入点作为辅 WDS 进行信号接收并与机床相连。DLink 无线 AP 在一对多点桥接模式时，最多支持八个远程点的接入。

网络 DNC 实施完成后就可以进行应用，启动 DNC 通讯软件 (CAXADNC)，就可以在服务器与数控机床之间进行双向全自动的数控程序交换。通过软件还可以实现对机床进行监测和信息采集、在线加工等等功能。

2.3.3 网络 IP 地址分配

主干网络采用 TCP/IP 协议，IP 地址是运行 TCP/IP 协议机器的通用标识，用于标识网络上的设备以及它与它相连的网络。局域网中每台计算机都需要安装一块网卡，并用它来接入网络。在接入时，每一块网卡必须分配唯一的主机名和 IP 地址，本网络中需要设置的网络设备包括通信服务器、管理客户端、智能终端、无线 AP 等，为保证与学校校园网的连接，故选用学校网络中的一个“C 类”网段 10.8.1.1~255，服务器和管理客户端从中任选。

数控机床车间中需要连网的数控机床 24 台，通信方式无线分布式系统采用 Access Point 模式，主无线 AP DWL-3200 与客户端 DWL-2100 的作用相当于计算机的网卡，IP 值可以保持为默认值，需要在同一范围内。具体设置如下表：

表 2-1 无线接入点模式下 IP 分配

	IP 地址	网关
主 DWL-3200AP	192.168.0.100	192.168.0.100
DWL-2100AP (24 台)	192.168.0.1~24	192.168.0.100
智能终端 (24 台)	10.8.1.1~24	10.8.0.1

对于采用无线网桥模式，需要连接的机床数量有 7 台，在主无线接入点中输入需要连接的 AP (7 台) 的 MAC 地址，并确认这七台从 AP 以设定成网桥工作模式以建立多点无线网桥连接。采用和接入点模式相同的设置，在实际连接时则出现了无法通信的现象。主要是网桥与交换机之间的网络中有冗余，网桥内部由于同时有多条链路产生环路、形成广播风暴，从而导致网络瘫痪。解决的方法是增加路由器，利用路由器连接两个不同的网段并隔离广播，路由器采用一对一静态映射 (NAT) 方式，如图：

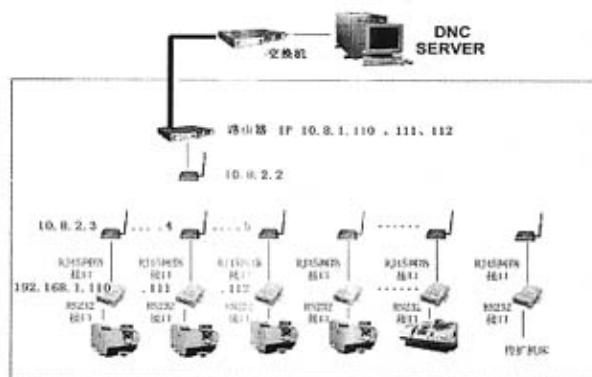


图 2-7 网桥模式连接图

表 2-2 无线网桥模式下 IP 分配

	IP 地址	网关
主 DWL-2100AP+A	10.8.2.2	10.8.0.1
DWL-2100AP (7 台)	10.8.2.3~9	10.8.0.1
智能终端 (7 台)	192.168.1.3~9	192.168.0.100
路由器	192.168.1.1	192.168.0.100

机床的无线连接主要是采用以上两种方案，数控代码的传输过程较流畅，没有出现数据丢失、连接失败等情况。

2.4 小结

为了适应网络化制造的需要，本章针对不同的数控机床提出了经济、可行的数控系统联网集成解决方案以及其网络拓扑结构。主干网络从结构和实现的功能上进行整体把握。数控设备则充分利用 WDS（无线分布式系统）的各种工作模式，实现不同工作环境下的联网通信。

第三章 数控机床通信关键技术研究

DNC 通信平台的程序由两部分组成:一是 DNC 服务器通过网络发送数控程序至 DNC 串口服务器(智能终端),DNC 串口服务器把接收到的数控程序通过串口发送到数据机床,完成数控程序的下传;二是 DNC 服务器通过网络接收 DNC 串口服务器从数控机床串口发送的数控程序,完成数控程序的上传。DNC 通信还包括机床参数的传输、加工状态的监测等,其中以传输数控程序功能最为重要,在此以 DNC 通信平台的发送数控程序为例说明了 DNC 通信实现。

机床通信所应用的商业化的 DNC 软件有 CIMCO-DNCMAX(北京兰光创新有限公司)、Predator DNC(上海盖勒普工程技术有限公司)、JCS DNC、Power DNC、NET-DNC(北京华洋宏软件开发有限责任公司)、Multi DNC、CAXADNC(北京数码大方有限公司)等等。此外一些 CAD/CAM 软件也提供 DNC 接口,能够完成数控程序的传输,如 MasterCAM。本文是在 CAXADNC 的基础上对各类数控系统的通信过程进行测试和研究。

3.1 串行通信基础知识

数控机床联网的方法很多,主要有串行通讯 RS-232C^[11]模式、以太网、现场总线(Field Bus)以及高档数控的 MAP(制造自动化协议)接口通信方式。它们各有特点,其中 RS-232C 串行通讯方式应用最为广泛,但是以太网、现场总线和 MAP 模式则是数控机床网络化的应用和发展方向。现场总线可靠性和实时性较高,能够长距离连接多种现场设备,但是必须有自己的专用协议,必须采用相应的开发工具和开发平台;而基于 MAP 接口的数控机床在国外应用较广泛,国内企业出于实际和节约成本考虑,并没有购买这些组件。基于以上存在的问题,我们选用以太网的方式,利用串口服务器(智能终端)完成串口数据包向以太网流数据的转换,最终实现数控机床与上层服务器的通信。RS232 线路属于一种技术比较落后的通信方式,其抗干扰能力较差。目前使用 RS232 通信的设备由于此类原因的限制,其传输速度远远无法和以太网络相比。

大多数车间电器设备会产生的大量电磁波,尤其是具有数控电加工设备的车间,此中现象非产严重,导致 RS232 线路通信的不稳定。系统将传统的长 RS232 线路缩短到最小,取代之抗干扰性能很好的以太网络。大大减少了通信线路上受到干扰的机会。使系统数据传输的稳定性得到保证。



图 3-1 多串口卡工作方式

传统使用多串口卡设备^[19]的系统, 由于计算机处理串口的速度有限, 以及操作系统多任务处理能力的限制, 使用多串口卡进行 DNC 在线加工, 服务器同时处理多个串口通信进程能力受到很大制约。故使用传统多串口卡通信的系统, 无法处理大量的机床在线加工。

3.1.1 一根导线的数据传输

串行通信通常可采用并行或串行两种传输方式, 并行传输抗干扰能力差, 不宜用于长距离传输, 尤其是在环境较恶劣的加工车间。串行方式使用线路少, 单向的串行传递只要一条信号线, 串口起止式异步通信方式是大多数数控设备常用的通信方式。它的特点是采用一根数据线进行数据传输。而并行传递方式中传送每一位都要一条信号线。串行方式比较经济, 可避免在多条线路的线间干扰和耦合。其中加工中心中应用较多, 在线加工中可以方便操作者观察传输和加工过程, 具有一定的优点。

(1) 一根数据线的电平信号只有两种: 高、低。信号逻辑“0”或“1”用电平“高”或“低”表示, 其约定有正逻辑和负逻辑之分:

表 3-1 数据线电平信号逻辑

	逻辑 0	逻辑 1
正逻辑	低电平	高电平
负逻辑	高电平	低电平

约定单位时间内的电平高低代表一个位, 约定用多个位代表一个字符, 这位数的约定即数据位长度。一般位长度的约定根据系统的不同有: 5 位、6 位、7 位、8 位几种。

表 3-2 数据位长

数据位长	图示	可表示编码数
5 位	□□□□□	32
6 位	□□□□□□	64
7 位	□□□□□□□	128
8 位	□□□□□□□□	256

如使用 8 位数据位长, 当传输一个 ASCII 字符“G”时情况如下:

首先 ASCII 字符“G”, 用 16 进制表示为: “47”, 用二进制表示为: “1000111”。该字符在 RS232 异步通信方式传输过程中通过一根数据线传输, 数据线的电平高低代表二进制的“1”和“0”(由正负逻辑确定), 传输时将从低位到高位进行传输。

为增强传输的稳定性, 在数据前加上约定的起始位, 数据后加校验位和停止位, 这样就形成了一个完整的“帧”传输。一帧即代表一个字符。传输格式如下:

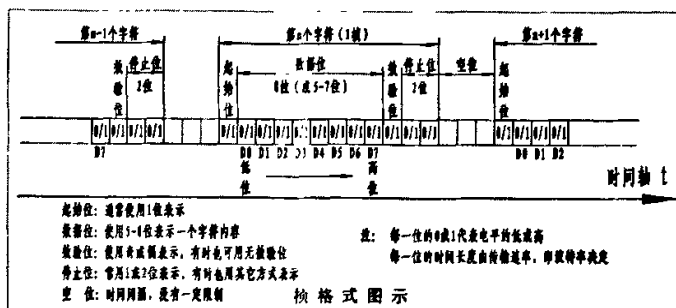


图 3-2 一帧数据的传输格式

(2) 起始位、停止位和空位，传输过程中每个字符数据头尾加上的用以识别字符数据起始和结束的标示。起始位和停止位的约定，随不同的系统标准而不同。如通常约定起始位为 1 位，低电平（“0”），停止位约定为 1 位或 2 位高电平（“1”）或（“11”），空位是在停止位后面的空闲位，空闲位的个数不定，一般也以高电平为有效。参见图表 1 所示。

(3) 校验位，所谓奇偶校验，是指在代码传送过程中用来检验是否出现错误的一种方法，一般分奇校验和偶校验两种（无效验情况除外）。奇校验规定：正确的代码一个字节中 1 的个数必须是奇数，若非奇数，则在效验位置“1”；偶校验规定：正确的代码一个字节中 1 的个数必须是偶数，若非偶数，则在效验位置“1”。

(4) 波特率，即数据传送速率，表示每秒钟传送二进制代码的位数，它的单位是位 / 秒。传送波特率在 75 到 460800 之间。机床 RS232 常用波特率：4800、9600、19200、38400、115200 等。

表 3-3 波特率列表

字符实际传送速度				
波特率	位长 7，停止 1	位长 7，停止 2	位长 8，停止 1	位长 8，停止 2
4800	480 个/秒	436 个/秒	436 个/秒	400 个/秒
9600	960 个/秒	872 个/秒	872 个/秒	800 个/秒
19200	1920 个/秒	1745 个/秒	1745 个/秒	1600 个/秒
115200	11520 个/秒	10472 个/秒	10472 个/秒	9600 个/秒
起始位 1，无校验位，不同位长停止位下，各常用波特率字符实际传送速度				
波特率	位长 7，停止 1	位长 7，停止 2	位长 8，停止 1	位长 8，停止 2
4800	533 个/秒	480 个/秒	480 个/秒	436 个/秒
9600	1066 个/秒	960 个/秒	960 个/秒	872 个/秒
19200	2133 个/秒	1920 个/秒	1920 个/秒	1745 个/秒
115200	12800 个/秒	11520 个/秒	11520 个/秒	10472 个/秒

针对不同的数控系统应选用相关的波特率，波特率设置太高或太低都可能导致无法通信。

3.1.2 通信编码

数控系统的编码有很多种，如 ASCII 码、ISO 码、EIA 码、JISK 码等。现在最常用的为 ISO 码、ASCII 码。目前计算机中用得最广泛的字符集及其编码，是由美国国家标准局(ANSI)制定的 ASCII 码（American Standard Code for Information Interchange，美国标准信息交换码），它已被国际标准化组织（ISO）定为国际标准，称为 ISO 646 标准。适用于所有拉丁文字字母，ASCII 码有 7 位码和 8 位码两种形式。

因为 1 位二进制数可以表示 $(2^1=)$ 2 种状态：0、1；而 2 位二进制数可以表示 $(2^2=)$ 4 种状态：00、01、10、11；依次类推，7 位二进制数可以表示 $(2^7=)$ 128 种状态，每种状态都唯一地编为一个 7 位的二进制码，对应一个字符（或控制码），这些码可以排列成一个十进制序号 0~127。所以，7 位 ASCII 码是用七位二进制数进行编码的，可以表示 128 个字符。第 0~32 号及第 127 号(共 34 个)是控制字符或通讯专用字符。如控制符：LF（换行）、CR（回车）、FF（换页）、DEL（删除）、BS（退格）、BEL（振铃）等；通讯专用字符：SOH（文头）、EOT（文尾）、ACK（确认）等；第 33~126 号(共 94 个)是字符，其中第 48~57 号为 0~9 十个阿拉伯数字；65~90 号为 26 个大写英文字母，97~122 号为 26 个小写英文字母，其余为一些标点符号、运算符号等。

3.1.3 流控制

一根导线即可作数据的传输，其实这是一种极端情况，最基础的至少还要有一根地线，如果想要作双向数据传输，数据线就要再增加一条。这样一个基本的 RS232 通信条件就形成了：三线制 RS232 通信架构。

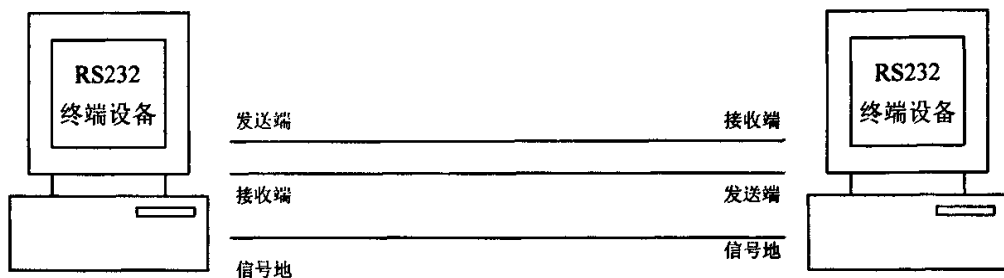


图 3-3 软握手协议数据通讯规程

在三线 RS232 基本通信当中，要想进行完整的通信过程，还有好几个问题必须解决，如：

- (1) 发送的一方在发送数据前需要知道接收一方是否做好了接收准备
- (2) 接收方在接收前需要通知发送方是否可以发送，让发送方收到请求发送的信号后开始发送
- (3) 发送方在发送完毕后需要通知接收方法送完了，好让接收方结束接收
- (4) 接收方在接收过程中要想暂停，也需要通知发送方停止发送等等诸如此类的约定信息

解决上述问题的方法，就需要确定一些约定，这样的约定就是常说的握手信号或握手协议，也就是后来的流控制——数据流的启/停控制。

3.1.3.1 软握手协议

所谓的软握手协议就是指采用基本的三线制 RS232 传输过程中，在各自一条的收、发数据线传输过程中，通过事先约定的字符来确定各种启停信息。常用的为“Xon/Xoff”协议——在传输过程中，增加两种约定指令：启/停指令，即 DC1、DC3 码。请求发送指令“Xon”——DC1 码，使用十进制的“17”即十六进制的“11”表示，请求停止指令“Xoff”——DC3 码，使用十进制的“19”即十六进制的“13”表示

终端 A 和终端 B 之间，通过软握手协议进行通信的过程描述：

- (1) 终端 A 方，决定要通过己方的发送端向终端 B 方的接收端发送数据，它打开己方的 RS232 串行口后，不是马上发送，而是先读己方的接收端，看是否有终端 B 发来的请求信号“Xon”。
- (2) 终端 B，在打开己方的 RS232 串口后，在读取接收端口的同时，也通过己方的发送端向终端 A 的接收端发送一个请求发送信号“Xon”。
- (3) 终端 A 在读到终端 B 发送来的“Xon”请求后，立即通过己方的发送端口向终端 B 的接收端口发送数据。
- (4) 终端 B 接收数据，当终端 B 的读入缓冲区满时（一般 RS232 软件设定为缓冲区大小的 % 数，如达到 75% 时视为满），通过己方的发送端向终端 A 发送一个请求终止信号“Xoff”。
- (5) 终端 A 在发送数据的同时，也读己方的接收端，当终端 A 接收到终端 B 发来的请求中断信号“Xoff”，则立即停止向终端 B 发送数据。

(6) 当终端 B 的读入缓冲区清空(一般由 RS232 软件设定降低到缓冲区的某个最低百分数,如 25%),通过终端 B 的发送端,向终端 A 的接收端发送“Xon”

(7) 终端 A 收到终端 B 的发送请求“Xon”后,继续向终端 B 发送数据

(8) 终端 A 发送结束后,向终端 B 的接收端发送文件发送结束代码(如 ISO 码的“EOT”指令,用十六进制的“04”表示)。

(9) 终端 B 收到终端 A 发来的文件结束符,结束接收关闭 RS232 端口。

软握手协议的缺点是如果传输的是二进制数据,协议中使用的控制字符,如十六进制的“11”“13”“04”等标志字符,也有可能在被传输的主数据中出现,从而引起控制失误。

3.1.3.2 硬握手协议

为避免软握手协议的缺陷,在 RS232 三线制的基础上进行改进,再增加一对专用协议线,解决传输数据中有与协议信号重码的问题,因此产生了硬协议。

硬握手协议常用的有 RTS/CTS 流控制和 DTR/DSR(数据终端就绪/数据设置就绪)流控制。

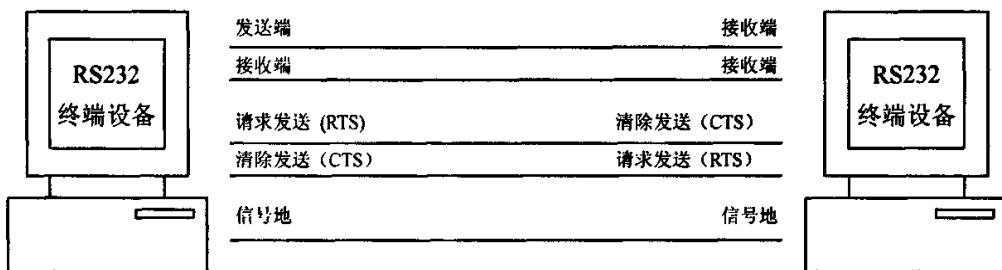


图 3-4 硬握手协议数据通讯规程

在 RS-232 串行通信时,可有两种握手方式,即硬件握手和软件握手。硬件握手是指通信双方通过电缆连线中某些信号线电平的高低来进行握手,在数控机床行业,RS-232 通信的硬件握手信号约定为 RTS/CTS,即 RS-232C 25 针 D 型插头的 4、5 引脚作为硬件握手信号线。软件握手与硬件握手的不同在于软件握手是通过通信双方传输约定的字符进行联络,而不是通过信号线握手。我们知道,在 RS-232C 通信标准中,2、3 引脚分别是发送数据线和接收数据线,由于发送数据线和接收数据线占有不同的传输线,这使得通信双方可一边发送数据同时一边可接收对方传来的传输的数据,即通信可 是全双工方式。在全双工方式下软握手在通信领域里应用是非常广泛的。软件握手一般通过双方相互传递 XON/XOFF 字符来进行,XON 代表字符 ASCII 字符集中的控制字符 DC1 (ASCII 值为 17),XOFF 代表 ASCII 字符集中的控制字符 DC3 (ASCII 值为 19)。XOFF 为阻止字符,当发送方接收到对方传来 XOFF 字符后,发送方将停止发送,直到接收到对方传来 XOFF 字符后,发送方将停止发送,直到接收到对方传来 XON 字符后,再继续发送。在选择握手信号参数时,一般要与数控系统相一致。

3.2 通信过程概述及具体调试过程

机床的通信主要利用其 RS232C 接口,不同的系统其接口以及和计算机(智能终端)的连接方式又有很大区别,故必须对每种系统、每台机床分别焊接相应的数据线,在硬件连接的基础上,利用通信软件进行相应的测试,选择合适的通信参数,直至数据能够成功传输。对于机床的通信过程必

须满足以下基本要求:

- (1) 波特率不能太低、延时不能太长,尤其是在线加工中,否则会导致加工过程中的钝刀现象。
- (2) 保证传输时接收和发送已经查看目录的功能都能实现,并且手动和自动传输也都能实现。
- (3) 数据传输过程中不能出现丢包现象,即数控代码的丢失,一般情况下只要程序头和程序尾完整,整个程序应该不会有问题。

机床出厂后,很多参数可能都不处于使能的状态,如跟机床通信相关的一些系统参数,有些数控系统可以通过说明书查阅,而有些需和机床厂商联系获得。

3.2.1 机床通信及测试过程概述

3.2.1.1 通信测试准备工作

机床通信前首先必须了解机床通信情况,查看现有的单机通信,收集机床资料,准备通信线,了解通信参数、传输文件格式等等相关工作。其中车间情况列表如下,车间 CNC 的数控机床总量达到了 31 台,机床的型号及使用的操作系统如下表:

表 3-4 所要通信的数控机床情况

机床名称	系统型号	数量
数控车 CKA6136I	FANUC Oi-MTB/C	4 台
数控车 CKA6136	SIMENS 802C	4 台
数控车 CKA6136	三菱 E60	4 台
数控车 CKA6136	广州数控 980TA	4 台
数控车 CKA6136	华中 21 世纪星	4 台
立式加工中心 VC600	FANUCOI-MC	1 台
立式加工中心 VC1000	FANUCOI-MT	1 台
立式加工中心 XH714	SIMENS 802D	1 台
立式加工中心哈斯 V1	HASS V1	1 台
雕铣机-790 型	FAGOR8055	1 台
雕铣机 16-250 型	FAGOR8055	1 台
雕铣机 12-800 型	FAGOR8055	1 台
数控车削中心 715 型	FANUC Oi	2 台
四开雕铣机 5050 型	四开系统	1 台
数控铣床(四开-5 型)	四开系统	1 台

所要通信的数控机床都具备 RS232 通讯接口进行串行通信。准备好客户通信用计算机(保证计算机系统、网络正常)。测试用计算机准备准备设备包括 CAXA 技术支持用笔记本,一定要有 RS232 串口、以太网口;操作系统要使用 Win2k 系列(禁用 Win98/Xp)。其次是考察机床、设备布局,清楚每台设备的具体位置和名称、编号,确认机床串口位置及硬件(智能终端)安装位置;网线接入到机床内部位置;智能终端的电源位置,由于采用无线方案,必须确定无线网桥安放位置,保证整个网络无线信号的覆盖。实施现场要求需要调试的机床能够正常启动,不能将程序设置为写保护状态。将网络线布到机床串口位置的机柜内,并将电源(智能终端变压器用的 220V 电源插座)准备好,从每台机床上取 220V 电源,安装插座后方到指定的位置上,以供智能终端使用,从而保证机床和智能终端电源使用的一致性。串口服务器采用 NC601,根据整体安排,给定每个智能终端的 IP 地址,

并在智能终端上粘贴标签。事先拟好串口线的布线方案，并且要注意串口线的信号屏蔽。制作网络 DNC 通信线，即机床串口到智能终端的数据线。一般的数控系统的 RS-232C 接口常用的有 25 脚和 9 脚两种。标准 RS-232C 25 针 D 型接头定义：

表 3-5 标准 RS-232C 25 针 D 型接头定义

引脚编号	信号名称	方向	说明
1	GND	---	信号地线
2	TXD	输出	数据发送
3	RXD	输入	数据接收
4	RTS	输出	请求发送
5	CTS	输入	清除发送
6	DSR	输入	数据设备就绪
7	SGD		信号线
8	DCD	输入	数据载波检测
20	DTR	输出	数据终端就绪
22	RI		振铃检测

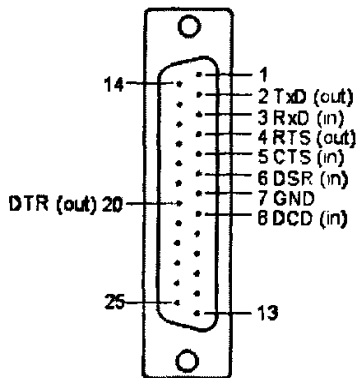


图 3-5 阳口（针）

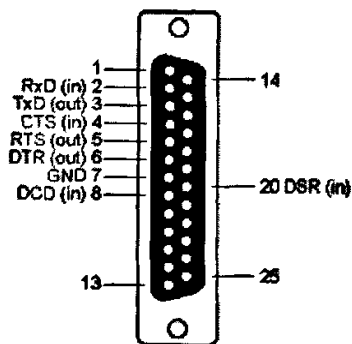


图 3-6 阴口（针）

表 3-6 标准 RS-232C 9 针 D 型接头定义

引脚编号	信号名称	方向	说明
1	DCD	输入	数据载波检测
2	RXD	输入	数据接收
3	TXD	输出	数据发送
4	DTR	输出	数据终端就绪
5	SGD	---	信号地线
6	DSR	输入	数据设备就绪
7	RTS	输出	请求发送
8	CTS	输入	清除发送
9	RI	输入	振铃检测

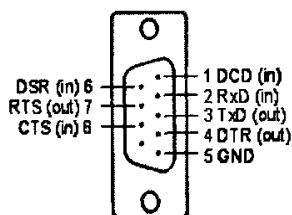


图 3-7 阳口（针）

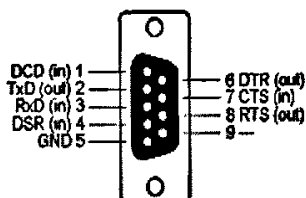


图 3-8 阴口（针）

其中数控系统 RS232 传输常用线有：TXD/RXD、RTX/CTX、DTR/DSR 三对线 加 GND 线，共七条。有时会额外加一条保护地线。

3.2.1.2 通信用串口服务器 NC601 串口端定义

NC601 的串口管脚为标准 DB9 的管脚，与标准计算机 RS-232C9 针 D 型接头定义相同，其中智能终端也叫终端服务器、通讯服务器、访问服务器、异步串口服务器，是一个带有 CPU 和嵌入式 OS 及完整 TCP/IP 协议栈的独立智能设备，作用是将数控设备的 RS232 接口转换为以太网络的 RJ45 接口，完成串行数据和网络 IP 包之间的数据转换。现在市场上主流型号有 CanHigher 公司的 NC601 和 MOXA 公司的 D211 和 A5110 及 DIGI。

详细考察了机床分布、车间布局、各机床控制系统类型、各机床的结构，并且比较智能终端之间的性能及差异后，确定了如下方案：整个系统采用 NC601 智能终端将所有机床接入以太网，让每个机床具有一个固定的 IP 地址并设置固定的网关及密码（智能终端内部设置）。用以太网代替 RS232 网络，获得高稳定性，用网关及密码保证系统免受非法侵入，智能终端采用非 Microsoft 系统，同时屏蔽二进制文件传入机床，以此保证机床系统免受病毒感染。

表 3-7 NC601D 型串口针脚定义

引脚编号	信号名称	方向	说明
1	DCD	输入	数据载波检测
2	RXD	输入	数据接收
3	TXD	输出	数据发送
4	DTR	输出	数据终端就绪
5	GND	---	信号地线
6	DSR	输入	数据设备就绪
7	RTS	输出	请求发送
8	CTS	输入	清除发送
9	RI	输入	振铃检测

表 3-8 NC601 规格说明

规格	说明
CPU	32 位 100M
内存	2M
以太网网络	10/100M 自适应
保护电压	内嵌 1.5kv 电磁隔离
串口	1 个 RS232 接口
串口形式	D 型 9 针接口
串口信号	TxD/RxD/RTS/CTS/DTR/DSR/DCD/GND
串口速率	110bps - 460.8Kbps
支持操作系统	Win2k/Xp
电源	DC 5V/2A
工作环境温度	0 - 55℃
工作环境湿度	5 - 95%
存储温度	-20 - 85℃
存储湿度	5 - 95%
认证	3C
重量	约 100g

机床通过智能终端直接接入以太网。数据从服务器到机床前的传输速率可达到 10M，甚至 100M。在大量数据传送时，与多串口卡系统比，其优势不言而喻。对于无线局域网络接入方式，其服务器到微缩智能终端的通信速率可达到 11 兆左右，也远远大于标准串行通信接口。

每台机床通过智能终端设置一个主机名和 IP 地址作为识别它们的唯一的标志，机床 IP 地址与服务器在同一子网中。

服务器与机床的连接是基于以太网的，两者之间的网络连接状态可以通过 TCP/IP 测试来进行检查，主要检测配置 TCP/IP 是否成功。

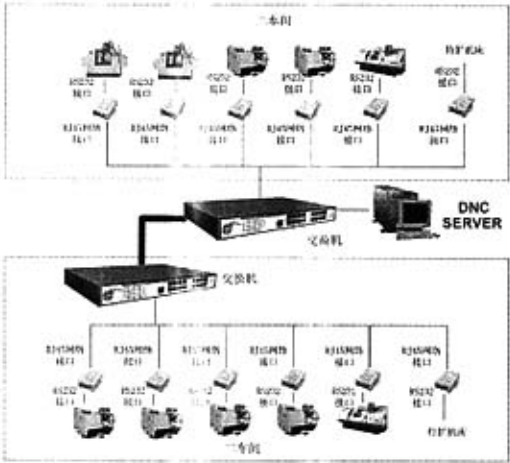
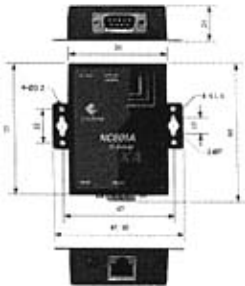


图 3-9 智能终端的连接方式

智能终端首先是基于 TCP/IP 网络协议的网络设备，IP 地址是必不可少的。而其他相关的参数也必须进行设置，如 100M 全双工 100f、串口参数等。实践证明，相关参数的设置对 DNC 通信也会带来一定的影响。

3.2.1.3 通信测试步骤

在焊接制作完每台机床串口连接线，完成硬件连接的情况下就可以利用 DNC 软件进行通信测试，其具体的步骤包括如下：

- (1) 确认机床启动、操作正常；
- (2) 确认单台机床和标准 PC（笔记本）串口间能够进行 RS232 通信；
- (3) 确认机床到服务器的网络畅通；
- (4) 查找机床接入电源；
- (5) 关闭机床电源；
- (6) 连接智能终端和机床的 RS232 串口线；
- (7) 连接智能终端所需的变压器到机床电源的连线（220V，由电工来完成）；
- (8) 开机床电源；
- (9) 测量智能终端变压器输出端电压及直流正负极向；
- (10) 给智能终端通电；
- (11) 智能终端接入网络；
- (12) 从服务器 Ping 该机床智能终端 IP，确认能够 Ping 通；
- (13) 用 CAXA 通信模块接收机创发送来的代码；
- (14) 用 CAXA 通信模块向机床发送代码；
- (15) 自动应答测试；
- (16) 关闭机床电源再重新启动，确认机床是否操作正常。

其中硬件安装在关闭机床电源情况下操作，拆下机床 RS232 接头（机床机柜上的），如果该机床的 RS232 接头没有在机柜上而是在主板上，则此项可免。将智能终端安放在机柜中（建议使用原 RS232 接头的安装螺孔，一个即可），如果没有合适的位置，则要在机柜上钻一个安装孔。无线接入点的安装一定要安放在机床外部高处，网桥安放处最好能够直视到无线 AP。网桥到智能终端的网络线、网桥到机柜内的电源线都要从机柜内穿到机柜外，穿线孔尽可能利用机柜的吊装孔。如果没吊装孔或该孔不合适，则要求重新打孔。如果机床环境恶劣，建议将无线网桥用非金属箱罩住，使其免除尘埃、油烟侵扰。

3.2.2 DNC 软件相关参数设置

CAXADNC 中相关参数的设置需针对具体的机床，具体问题具体分析。不同的数控系统不一定能够接受相同的参数或协议，通信所涉及到的参数包括：

- (1) “机床名”——机床名称，每台机床建立一个唯一标识的名称，同时“机床名”必须和管理产品“产品名称”和“产品代号”一致。
- (2) “IP”——该机床上智能终端的 IP 地址。当“传输设备”为非“通用串口”时有效。
- (3) “参数类型”——分为“发送”和“接收”，允许某机床和计算机之间发送和接收采用不同参数设

置。

(4) “文件后缀”--文件名称的后缀。对于机床加工数控代码后缀可以设为“.CUT”

(5) “XON-DC”--软件握手方式下，接收的一方在代码传输的过程中，用该字符控制发送方开始发送的动作信号。

(6) “XOFF-DC”--软件握手方式下，接收的一方在代码传输的过程中，用该字符控制发送方暂时停止发送的动作信号。

(7) “接收前发送 XON 信号”--系统在从发送状态转化到接收状态之后发送的 DC 码信号。

(8) “发送前等待 XON 信号”--软件握手方式下，接收一方在代码传输起始时，控制发送方开始发送的动作信号。勾选后，计算机发送数据时，先将数据发送到智能终端，等待机床给出 XON 信号后，智能终端才开始向机床发送数据。

(9) “自动应答收发间隔”--在自动应当状态下，系统从接收状态切换到发送状态或者从接收状态切换到另一个文件的接收状态中间间隔的时间。一般设置为 1000MS。

(10) “波特率”--数据传输速率，表示每秒钟传送二进制代码的位数，它的单位时位/秒，常用的波特率为 4800、9600、19200。波特率的选择一般与传输距离有关，一般传输距离越远，波特率应选择的越低。在选择波特率时一般还要根据 NC 机床数控系统的要求来选择。在 DNC 传输时，CNC 控制器通过握手信号来通知计算机何时发送及何时停止，一般在 4800 和 9600 波特率下均能满足 CNC 系统对 DNC 传输的要求。我们的经验显示，CNC 系统的 DNC 加工效率一般取决于 CNC 系统内部本身的接收文件和处理效率，而不是取决于 RS-232 传输的波特率。

(11) “数据位”--串口通信中单位时间内的电平高低代表一位，多个位代表一个字符，这个位数的约定即数据位的长度。一般位长度的约定根据系统的不同有：7 位、8 位。

(12) “数据口”--智能终端当前正常工作的端口，默认为“1”。

(13) “奇偶校验”--代码在传送过程中用来检验是否出错的一种方法。

(14) “停止位数”--传输过程中每个字符数据传输结束的标示。

(15) “换行符”--传输过程中用来标示传输代码每行结束的字符。

(16) “反馈字符”--接收一端在收到每个（或者某个特殊字符）时，往发送端返回一个确认字符。

(17) “握手方式”--接收和发送双方用来建立握手的传输协议。

(18) “结束代码”--传输过程中用来标示传输代码文件全部结束的字符。

(19) “接收前发送字符串”--系统在从发送状态转化到接收状态之后发送的字符串。

(20) “发送前发送字符串”--系统在发送一个文件之前发送的字符串。

(21) “发送尾发送字符串”--系统在发送一个文件之后发送的字符串。

(22) “发送文件列表前发送字符串”--系统在发送目录列表之前发送的字符串发送的字符串。例如 FANUC 系统设置为：%。并要增加“回车”。

(23) “接收指令起始字符”--自动应答方式传输时，软件解析自动传输命令的起始标示字符。

(24) “接收指令终止字符”--自动应答方式传输时，软件解析自动传输命令的结束标示字符。

(25) “传输延时”--传输代码中每个字符之间的延时。

(26) “超时次数”--计算机发送代码到机床端，软件检测机床反馈字符次数大于“超时次数”时，计算机结束等待，继续发送下一个字符。当“反馈字符”为单字符或特殊字符时，该项有效。

3.3 异构数控系统通信功能的实现

现有 FANUC、Siemens、三菱、广州数控、华中世纪星五种数控车床系统，加工中心也有 FANUC、

Siemens、西班牙 FAGOR、HAAS、SKY 五种系统。各类系统在结构组成上大同小异，但是编程和通信的差异较大，相同的参数不能应用于不同的数控系统，需要分别测试。虽然通信方式已经向标准化方向发展，但机床和数控厂商出于自身因素的考虑提供的通信接口差别还是很大，并且在实现了通信的基础上所能完成的功能也有很大差异。各类机床的应用差别也很大，如加工中心通常采用自动编程和在线加工，通常的做法是在机床旁配备 PC，利用 RS232C 串行接口进行传输，这样一方面是资源的浪费，也不能保证数控程序从服务器统一的调用和管理。

3.3.1 FANUC Oi-TC/TB 系统通信

此类系统主要应用于数控车床，由于数控机床与智能终端是基于 RS232C 标准连接的，RS232C 收发数据的工作过程是在各条控制线的状态（“ON”为逻辑“0”，“OFF”为逻辑“1”）有序地配合下进行的。为实现 CNC 与 PC 串行通信，我们将 FANUC 的 DB-25MALE 和智能终端 DB-9FEMALE 用网络线连接，根据 RS232C 接口通信的规程特性，接线方式如图：

表 3-9 FANUC 系统数据线连接

	智能终端 (NC601A) (通讯线接头为 9 阴口)	接机床端 RS232 端 (通讯线接头为 25 阳口)
针脚号	2	2
针脚号	3	3
针脚号	5	7
		4、5 脚短接
		6、8、20 脚短接

表 3-10 FANUC 系统通信参数

参数项名称	参数	备注
波特率	4800 或 9600	
奇偶校验	偶 (e)	
数据位长	7	
截止位	2	
反馈字符	无	
握手方式	XON/XOFF	
结束代码	有	参数为“20”
换行符	CR	
文件后缀	.CUT 或任意	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	不选	
发送前接收	选	

在 FANUC 系统数控机床端可以通过输入以下代码，直接调用电脑服务器上的加工代码。

(1) 机床请求服务器发送程序

上载或下载文件首先需要设置正确的“接收指令起始字符”和“接收指令终止字符”参数，该参数不能和机床使用的代码发生重码，且不要使用“%”、“-”、“+”等特殊字符，尽量使用不常用的字符串。服务器端在某机床参数中，“接收指令起始字符”设置为“Q”，“接收指令结束字符”设置为“V”。设置正确的“结束代码”，如果结束代码与机床的不吻合，CAXA DNC 系统在收到机床上传的文件后，无法自动存盘，此时就需要人工手动停止该机床的监测，系统才能将刚收到的文件存储。则当机床的操作人员在机床上编辑了一个如下请求发送“test.cut”代码文件的 G 代码后，系统将自动从该机床对应的计算机路径下找到该文件，并将其发回机床。机床编写请求程序 O1234，代码如下：

```
%
O1234
N10 Q2test.cutV;
%
```

“Test.cut”首先被保存在通信端设置的工作路径下发送给机床端。

(2) 机床请求服务器发送程序列表

服务器端在某机床参数中，“接收指令起始字符”设置为“Q”，“接收指令结束字符”设置为“V”。而且该机床的操作人员在机床上编制了这样一个代码：

“Q3 V”

并将此代码发送至服务器端，服务器收到此信息后，会将该“产品名称”及“机床名”对应路径下的文件作一个列表发送回机床。

(3) 机床请求服务器接受机床发送的程序

服务器端在某机床参数中，“接收指令起始字符”设置为“Q”，“接收指令结束字符”设置为“V”。机床端想要将某程序发送至机床并以“test.cut”为文件名称，保留在服务器相应的路径下，则机床操作者只需要先发送一个代码文件：“Q4test.cutV”，然后再发送所要上传的文件，服务器将会把上传的文件以“test.cut”名称存入相应的“工作路径”下，同时自动将该文件上载到网络 DNC 管理端。如果服务器上，CAXA DNC 中设置的“结束代码”与机床上的结束代码不符合，当从机床上传文件时，CAXA DNC 也将文件接收了，并在服务器上创建了“test.cut”，但是字节数为“0”，只有当手动停止该机床的自动传输，文件才正常收到。

其他数控系统通讯操作方式相同，将不再赘述

(4) 机床加工记录的信息采集

如果使用 CAM 软件进行编程，在机床后置中设置了加工信息反馈宏指令，当机床加工这些程序时，且 CAXA 网络 DNC 系统对这台机床处于自动传输模式，则机床加工过程中反馈的信息能够被 CAXA 网络 DNC 通信模块所接收并记录。

以 FANUC Oi 系统为例：如 CAXA 系统设置“接收指令起始字符”为“Q”、“接收指令终止字符”为“V”、“指令内容分割字符”为“K”、代码图号为“CHE-23”、代码名称为“CHE.CUT”以及代码文件大小为“5162”字符。

则需要反馈的代码编写如下：

表 3-11 机床加工记录的信息采集

序号	程序	说明
1	%	程序起始符
2	POPEN	打开串口
3	DPRNT[Q6CHE-23KCHE.CUTK5162V]	向服务器反馈代码信息（图号、文件号、文件大小），并记录为开始
4	G54G90G00.....	程序正文
5	.	
6	.	
7	.	
8	DPRNT[Q7TEL-123KTEL.CUTK5162V]	向服务器反馈代码信息（图号、文件号文件大小），并记录为结束
9	PCLOS	关闭串口
10	M30	程序结束
11	%	程序结束符

当服务器监测机床时，机床一旦加工上述程序，服务器将获得此机床加工了这个程序、大小信息及其起始/终止时间。

（5）常见报警信号及解决

机床报警 075——程序保护，企图注册一个被保护的程序，FANUC 0i 系统常见，程序保护状态下，企图传入程序；

机床报警 085——通信参数错误（波特率、校验或格式错误）；

机床报警 086——外部设备未准备好（数据线未接或，数据线 6、8、20 未短接）；

机床报警 087——缓冲区溢出，即在利用 RS232C 接口读入时，从送出 DC3（停止代码）开始超过 10 个字符的数据被输入。（终止指令后，超过了十个字节，数据仍然在输入）。

3.3.2 FANUC 0i-MateC 系统通信

此类系统与前面数控车床 TB/TC 不同，主要应用于加工中心，有沈阳机床厂的 VMC-0640、VMC-1000 立式加工中心等，其通信方式也存在一定的差异，FANUC 0i-MateC 为了与外部输入/输出设备或计算机进行数据传输，提供如下两种接口：I/O 设备接口（RS-232C 串行口 1、2）、DNC2 接口（在线加工）。数据也可以通过 FOCAS1/HSSB 数控卡接口进行上下传输，FANUC 0i-MateC 也提供 FOCAS1/Ethernet 以太网口备以后升级使用。

进行 DNC 通信时，首先要确认通信方式，系统#0020 参数代表 I/O 通道类型的选择，其设定值 0、1 代表使用 RS-232C 串行口 1；设定值 2 的意义为 RS-232C 串行口 2，使用不同的串口需在系统母板内部更改相应的插槽；4 代表存储卡接口。FANUC 0i-MateC 通信^[51]连接线以及通信参数与 FANUC 0i-TB 系统相似，可参照本章 3.3.1。

由于自动编程后的数控代码数据较大，比如模具的加工，直接存储到系统中后加工会导致数据溢出，所以必须采取在线加工的方式。当然如果通过 DNC 远程调用服务器端的程序，操作人员可能不能通过计算机直观的了解加工状态，通常的做法是在机床旁边配置一台计算机，利用 RS-232C 标准进行通信，由于通信距离较短（一两米以内），数据的稳定性能够保证。当然这样的加工方式不是网络化的制造方式，虽然它为实际的加工操作带来一定的便利。

为保证加工中心既要方便加工，又要实现网络功能，可以采用串口转化器（serial hub）

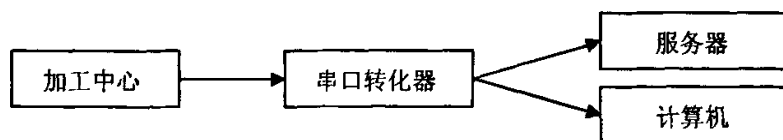


图 3-10 串口转换器连接示意

3.3.3 SIEMENS802C/S、840 系统通信

表 3-12 西门子系统通信连接

	智能终端 (NC601A) (通讯线接头为 9 阴口)	接机床端 RS232 端 (通讯线接头为 9 阴口)
针脚号	2	3
针脚号	3	2
针脚号	4	6
针脚号	5	5
针脚号	6	4
针脚号	7	8
针脚号	8	7

表 3-13 西门子系统通信参数

参数项名称	参数	备注
波特率	19200 或 9600	
奇偶校验	无	
数据位长	8	
截止位	1	
反馈字符	无	
握手方式	RTS/CTS	
结束代码	有	参数值“26”
换行符	CR+LF	
文件后缀	CUT	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	不选	
发送前接收	不选	

(1) 注意事项:

西门子系统数控程序程序头比较特殊, 必须按格式书写, 否则机床不接收。格式如下:

第一行

“%_N_M133_MPF” 注释: %为起始符号, N 为程序名起始符, M133 为程序名称, MPF 为程序文

件格式（扩展名，MPF 及西门子默认的加工代码）。

第二行（也可以不要）

“; \$PATH=/_N_MPF_DIR”注释：“;”为西门子注释，“\$PATH”为路径起始符号，N 为名称起始，此处的 MPF 为目录名称，DIR 为类型（西门子系统中 DIR 代表目录）

代码格式：

```
%_N_999_MPF
```

```
; $PATH=/_N_MPF_DIR
```

```
N5G90G71
```

```
.....      （加工程序代码）
```

```
N25M30
```

```
%
```

相应的程序头，如果是手工编程的话可以手动输入至程序代码前，对于自动编程可以在后置设置中的“说明”选项中添加，则将生成所符合的数控代码；对于查看文件目录的请求“Q3V”来说，需要在“发送文件列表前发送”选项中添加：“%_N_LIST_MPF; \$PATH=/_N_MPF_DIR”

（2）延时功能使用说明

现代 PC 的处理速度很快，反应也快，与老控制系统存在一定差异。SIEMENS 和华中系统就存在这样的问题，如传输过程中，通信参数双方都一致、在排除通信线路及机床的问题之后，发现如下现象：即从机床向 PC 传输没有任何丢数据的现象，无论文件多大，这种传输都很稳定；唯独从 PC 向机床传输过程中，始终传输不稳定，即使降低波特率也没用，而以前使用一台老 PC 在 DOS 下通信一切都正常，此时即可怀疑是新 PC 与老系统之间存在速度不匹配的原因。

原因如下，通信过程中，当机床的老控制系统接收到一个代码后，向 PC 给出一个请求信号，请求 PC 发送下一个代码，而新 PC 收到该请求后立即向老系统发送了代码信号，新 PC 的这个过程非常快，而此时老系统还未作好准备接收，或者正处于临界状态（也有可能在这个瞬间存在一定的干扰），致使老系统接收到的信号发生错位变化，从而导致传输中断（目前我们测试到此类中断现象，大多是随机发生的，关键就在于它属于一种临界状态）。

解决的办法即：在 PC 端，每发送一个字符后，加一定的延时，待老控制系统作好充分准备，再发送下一个字符。即将相应的自动应答收发间隔时间设长。

注：这种使用延时的方法，很难给出那种系统该使用多少延时时间，只能在现场测试，得出合适的延时时间。

3.3.4 MITSUBISHIELECTRIC（三菱）E60 系统通信

三菱系统数据线连接如表：

表 3-14 三菱系统通信连接

	智能终端（NC601A） （通讯线接头为 9 阴口）	接机床端 RS232 端 （通讯线接头为 25 阳口）
针脚号	2	2
针脚号	3	3
针脚号	5	7

表 3-15 三菱系统通信参数

参数项名称	参数	备注
波特率	9600	
奇偶校验	偶	
数据位长	7	
截止位	1	
反馈字符	无	
握手方式	XON/XOFF	
结束代码	无	
换行符	CR+LF	
文件后缀	.CUT 或任意	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	不选	
发送前接收	选	

三菱系统数据连接线 4、5 脚必须短接，6、8、20 脚短接。如要进行 DNC 通信需将传输设置中“准备”功能#6541 号参数（通信使能）设置为“00010000”状态。其传输操作格式与 FANUC 系统相同，只是机床面板操作不同。

3.3.5 华中世纪星 HNC-21/22T 系统通信

华中世纪星数控车床自身配备 4 种系统，分别为 V6.0、V6.1、V6.2、V6.3 版，不同的系统版本之间的通信差异很大。本中心所要联网的华中数控车床均为 V6.0 版，机床安装软件为 LATHE70.EXE。考虑到整个实验室 DNC 联网的统一性，华中数控的传输不采用厂家自带的通信传输软件，而采用 PCIN 通信小程序，它的优点是可以在 DOS、Windows98 系统下运行，并且结合 CAXA 的 DNC 通信模块可以实现数控代码的自动传输，而华中自带的串口通信软件则不能实现以上功能。华中系统在启动后：ALT+X 可以强退到 DOS，但是需要键盘操作，软驱是所有机床通用的，软驱靠一根 15 针的线供电和传输数据。

接线图：

表 3-16 华中系统通信连接

	智能终端 (NC601A) (通讯线接头为 9 阴口)	接机床端 RS232 端 (通讯线接头为 9 阴口)
针脚号	2	2
针脚号	3	3
针脚号	5	5
针脚号		4、6 短接
针脚号		7、8 短接

表 3-17 华中系统通信参数

参数项名称	参数	备注
波特率	9600	
奇偶校验	无	
数据位长	8	
截止位	1	
反馈字符	无	
握手方式	XON/XOFF	
结束代码	无	
换行符	CR+LF	
文件后缀	.CUT 或任意	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	不选	
发送前接收	不选	

华中系统由于在 DOS 系统下开发，通过 DOS 命令查看系统文件，所有传输的文件存放于 C:\HNC-21TD\PROG 文件夹中。

@ECHO OFF

NCBIOS/EXIT

:LOOP

NCBIOS

LATHE70.EXE

IF REEORLEVEL 40 GOTO DNC

IF REEORLEVEL 30 GOTO BLUE

IF REEORLEVEL 20 GOTO PLC

IF REEORLEVEL 10 GOTO NET

:DNC

NCBIOS/EXIT

DNC LISTEN

GOTO LOOP

:BLUE

BLUE.EXE

GOTO LOOP

:PLC

CD PLC

CALL P.BAT

CD..

GOTO LOOP

:NET

NET USE X:/DELETE

GOTO LOOP

```
:END
NCBIOS/EXIT
```

其中 DNC 需修改为

```
:DNC
    cd prog
    Pcin.exe
    cd..
    GOTO LOOP
```

华中系统握手方式很特殊，所以如果波特率错误，机床没有任何反应，因为他没有接收到正确的握手数据。但是由于 RTS/CTS 信号正确，所以软件端可以发出，但是此时机床无任何反应。华中数控系统数控程序文件的存储格式很特殊，程序名分为外部文件名和程序内部文件名，外部文件名必须以 O 开头，否则虽只存放在系统的“C:\HNC-21TD\PROG ”文件夹中，而不显示在机床的操作面板 MDI 中；程序内部文件名必须以%开头，后面跟数字，数字任意，不能有字母。为保证编写的数控程序符合上述要求，在“发送文件列表前发送”选项中写入：%1234，即可保证。

有些数控系统通信方式比较特殊，传输时必须使用特殊的传输格式，如华中世纪星、广州数控等。此类机床需要在发送前或接受前，设置计算机或服务器向机床发送特定的指令（即引导符）来进行触发相应的命令。

通信程序在发送文件正文前需要发送特殊的十六进制程序头，大小为 40 个字符，共 80 位，需要写满，否则华中数控系统将提示解包错误。其头部指令说明如下。

指令表：

表 3-18 引导符指令表

指令（16进制）	字符	含义	机床接收到此指令后的回复	机床接收到此指令后的提示
主指令				
52	R	请求机床方接收	52	
73	S	请求机床方发送	0A	
文件类型说明				
30	0	普通文件		
31	1	参数文件		
32	2	PLC文件		
开始准备指令				
3F	?	通知对方准备启动		
格式说明				
49	I			
41	A			
00	空字符			

十六位程序头的格式为：

表 3-19 十六位程序头的格式

00000000h	52	30	3f	49	41	00	4f	31	32	33	34	00	00	00	00	00
字符串	R	0	?	1	A	空	O	1	2	3	4					
	请 求	普 通 文 档	标识符				外部文件名（计算机上的名字），共占用32个字符									
00000001h	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
字符串																
00000002h	00	00	00	00	00	00	10	06	00	00	3f	49	41	00	25	4f
字符串															%	O
							文件大小				标识符				后正文	

注：文件大小由 4 位组成，最大文件字节数为 FF FF FF FF，即“4294967295”字节。排列方式从左至右，由低到高位，被发送的程序正文格式如下：

%O123 (“%”文件引导符号，“O123”文件名)

.....

.....

% (“%”文件结束符号)

例：

如一个文件大小为“79921”字节的代码，其内容大致如下：

“%O1234”

“G01;”

.....

.....

“M05M30”

“%”

发送 16 进制程序头应当如下：

00000000h	52	30	3F	49	41	00	4F	31	32	33	34	00	00	00	00	00
00000001h	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00000002h	00	00	00	00	00	00	10	06	00	00	3F	49	41	00	25	4F
00000003h	31	32	33	34	00	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30
00000004h	31	38	00	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30	31	38
00000005h	00	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30	31	38	00	00
00000006h	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47
00000007h	30	32	3B	00	00	0A	47	30	32	3B	00	00	0A	47	30	32
00000008h	47	39	31	58	31	30	2E	31	30	30	38	00	00	0A	47	30
00000009h	32	38	00	00	0A	47	30	32	38	00	00	0A	47	30	32	38
0000000ah	00	00	0A	47	30	32	38	00	00	0A	47	30	31	40	30	38
0000000bh	3B	00	0D	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30	31	38	00
0000000ch	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A
0000000dh	47	30	31	38	00	00	0A	47	30	31	38	00	00	0A	47	30
0000000eh	31	38	00	00	0A	47	30	32	38	00	00	0A	47	30	32	38
0000000fh	00	00	0A	47	30	32	38	00	00	0A	47	30	32	38	00	00

图 3-11 十六进制程序头

图中第一行“52”代表需要机床接收，“30”代表要发送普通文件，“3F”代表要机床做好接收准备，“49 41 00”为固定标识符，“4F 31 32 33 34”标识发送计算机上文件名称为“O1234”的文件，后面的“00 00 00 00 00”及第二行、第三行的 6 组“00”都是填位用的（文件名共 32 位）。图中第三行蓝色标记处即为文件大小（“31 38 01 00”共 4 位）。其后“3F 49 41 00”又为固定标识符，其后开始全部为所要发送的文档内容。

在传输华中程序的过程中，必须按照华中的格式传输，否则就会报错。



图 3-12 华中系统通信高级参数设置

Sky 系列数控铣床和数控雕刻机采用基于 Windos98 系统下的工控机进行控制，其通信可以采取和华中系统相同的方式，其具体测试和通信过程将不再赘述。

3.3.6 广州数控 GSK-980TA 系统通信

广数系统通信功能较弱，RS232C 的连接采用硬握手协议，以保证数据传输的稳定，具体连接方式如下^[52]。接线图：

表 3-20 广数系统通信数据线连接

	智能终端 (NC601A) (通讯线接头为 9 阴口)	接机床端 RS232 端 (通讯线接头为 25 阳口)
针脚号	2	3
针脚号	3	2
针脚号	5	5
针脚号	6	1、4、6 短接
针脚号	1	7、8 短接
针脚号	7、8 短接	

表 3-21 广数系统通信参数设置

参数项名称	参数	备注
波特率	2400	
奇偶校验	偶	
数据位长	7	
截止位	1	
反馈字符	无	
握手方式	RTS/CTS	
结束代码	无	
换行符	CR+LF	
文件后缀	无或. cut	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	选	
发送前接收	选	

广数系统和华中一样，由于系统性能较低，通信前需要在“发送前发送命令序列”中发送一定的引导符，用以触发相应的通信协议，机床响应后才能开始传输文件。如图：



图 3-13 广数系统通信高级参数设置

注意事项：

- (1) 因为在广州数控系统 980TA 上没有 V 字符的输入方法，所以在请求程序中使用 R 来代替，R 字符后面的数字没有影响，但因为数控系统的要求，在字母后面必须带有数字
- (2) 广州数控系统 980TA 在接受服务器发送来的代码程序时，必须要求程序头去除%和 OXXXX 程序名，否则在读入时出错。

3.3.7 西班牙 FAGOR8055 系统通信

FAGOR8055 系统^[20]RS232C 的连接方式有 Simplified connection(软握手协议)和 Full connection(硬握手协议)两种, 两种的通信差异不大, 按软握手协议接线如下。

表 3-22 FAGOR 系统通信连接线

	智能终端 (NC601A) (通讯线接头为 9 阴口)	接机床端 RS232 端 (通讯线接头为 9 阴口)
针脚号	2	2
针脚号	3	3
针脚号	5	5
针脚号		

机床端通信参数号使用: P0、P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7、P8、P9、P10。串口通信参数表 (Fagor 8055):

表 3-23 FAGOR 系统通信参数

参数项名称	参数	备注
波特率	115200	参数 P0, 值为 “11”
奇偶校验	无校验	参数 P2, 值为 “0”
数据位长	8	参数 P1, 值为 “1”
截止位	1	参数 P3, 值为 “11”
反馈字符	无	
握手方式	XON/XOFF	参数 P10, 值为 “On”
结束代码	有	参数值为 “4”
换行符	LF	参数 P8, 值为 “0”
文件后缀	任意	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	不选	
发送前接收	不选	

其中 P4 为通信协议参数, 值 “0” 为通用协议状态, 值 “1” 为 DNC 协议 (在线加工) 状态, 值 “2” 为 FAGOR 软驱连接状态, 故网络 DNC 传输时一般设置为 “0”。和 FANUC 加工中心一样, FAGOR 同样采用串口转换器

注意事项:

(1) 在使用 CAXA 网络 DNC 系统前, 请首先务必确认机床参数 P4 的数值为 “0”, 即为通用外部 RS232 接口状态, 如果为 “1” 则需要进行修改后重新启动系统;

(2) 因为在 FAGOR 数控系统中, 指令 V 代表了特殊的意思, 所以在请求指令中使用 D 作为结束符号;

(3) 在拷贝到串口时, 因为格式的要求, 必须在 P 后面输入一个数值才能够启动执行拷贝命令, 此时输入的数值内容不影响操作, 因此可以任意输入。

3.3.8 HAAS V1 系统通信

HAAS 数控系统也是应用较广泛的一种数控系统，尽管其加工中心会采用不同的制造厂家的机床本体和数控系统，可每台机床的系统统一，数字控制及通信部分相同。

表 3-24 HAAS 系统通信连接线

	智能终端 (NC601A) (通讯线接头为 9 阴口)	接机床端 RS232 端 (通讯线接头为 25 阳口)
针脚号	2	2
针脚号	3	3
针脚号	5	7
针脚号		4、5 短接
针脚号		6、8、20 短接

表 3-25 HAAS 系统通信参数

参数项名称	参数	备注
波特率	38400	
奇偶校验	偶	
数据位长	8	
截止位	2	
反馈字符	无	
握手方式	XON/XOFF	
结束代码	无	
换行符	CR+LF	
文件后缀	无或 .cut	
DC1	17	
DC2	19	
接收前发送	不选	
发送前接收	不选	

3.4 小结

本章从通信线路和通信方式的分析出发，对各类数控系统建立通信模型，对数据传输中出现的问题进行分析解决，借助于商业化的 DNC 软件，完成不同数控系统的通信功能。

通信中可能出现的问题主要有三类，第一种是数控系统与服务器的通信参数不匹配，参数的设置需根据数控系统的实际情况来确定，必须考虑到数控机床的接受能力，比如波特率的设置等等；其二是由于服务器端的数控程序不规范导致，比如西门子和广数系统等，西门子系统的程序头有严格的格式，否则下载到机床端将无法保存，而广数系统程序头则不能有“O”或“%”字符等；第三，RS232C 接线错误也会导致通信失败，如 FANUC、三菱等系统，除了要保证发送针脚、接受针脚、

信号地线连接外，如不将其他不用的线短接则也会带来问题。

通过将数控机床进行 DNC 联网通信，最终就可以实现目标：

- (1) 实现了数控机床网络化、长距离通信，彻底摆脱了手工或单机录入程序的局面
- (2) 远程调用功能使操作者直接在机床控制面板上就可得到服务器上的程序清单，并可直接调用；
- (3) 程序需要从机床向服务器上传时，服务器能够自动接收，并完成对程序的命名，保存和备份工作，无须专人值守；
- (4) 多台机器可同时上传下载，互不影响；
- (5) 每次传输可产生成功/失败报告，及时向操作者反馈传输状况；
- (6) 在网络上的任何 PC 都可以通过 IE 浏览服务器，了解到数控机床开关情况、通信情况，通过特殊宏指令还可以了解程序运行情况；
- (7) 提供一个高效的程序编辑、修改和仿真的平台，程序在上机床前，利用其轨迹和实体仿真功能对学生编制的程序进行模拟，及时发现和修改程序，避免在加工中出现错误。

第四章 数据协同管理平台的构建

通过以上对各类数控系统单机通讯的测试，完成了网络 DNC，从而保证制造数据能够从设计或工艺部门流向车间层，并将设计思想转换为实物生产出来。网络 DNC 为企业将设计、工艺信息数字化延伸到生产加工车间提供了完整解决方案，对于产品产生前的部分，如数据和文档管理、过程管理等需要建立相应的数据协同管理平台来完成。

本章主要完成中心制造部门数据的数据协同管理，并且基于中心的主干网络实现内部 CAD/CAM/CAPP 的网络化。借助协同管理工具实现一种宏观管理和控制所有产品相关的信息的机制和框架，并利用其流程管理功能实现内部应用系统 CAD/CAM/CAPP/DNC 的集成。

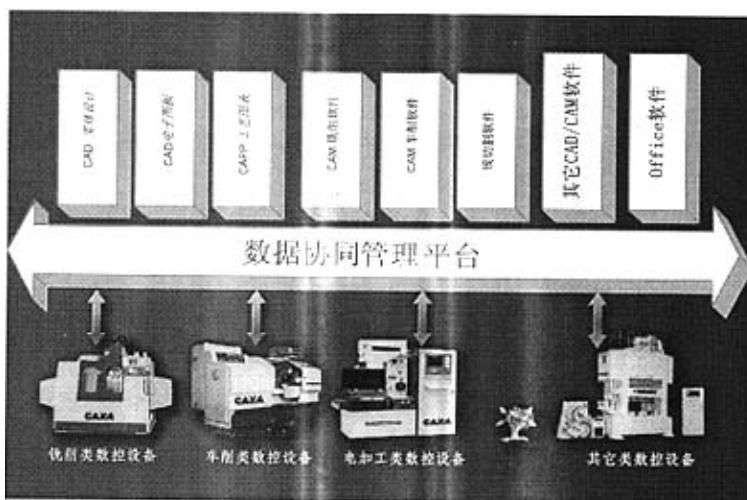


图 4-1 数据协同管理流程图

4.1 产品数据管理功能的实现

网络 DNC 系统在中心里将成为一个平台软件。因为在企业中作为一个管理系统，不仅要能够管理机床、与机床的通信，还要能够承上启下，管理与加工零件相关的一系列文档资料，如加工图纸、代码文档、工艺文档、说明、工艺流程控制、使用刀具状况、加工工时、机床效率等等，对于这些文档资料，必须按照企业内部各个部门、各个角色限定一定的权限，所以平台本身应具有强大的用户权限管理、安全管理能力。企业的文档资料一般按照产品线进行管理，车间里每台数控机床加工的零件代码需要在权限的控制下与对应机床通信，从而完成加工任务，对于企业的管理者，必须要实时了解每个人员、机床负荷、加工流程、工时、数控机床状态信息，从而对加工过程中的各种状况做出迅速反应，所以在这个平台中还必须提供相关信息分析汇总的功能。

4.1.1 产品结构的创建与维护

按照产品的结构、功能或装配关系表示所有组成产品的零部件之间关系的树状结构。有了产品结构树后，可以把这些表示产品组成的节点与具体定义零件的设计图纸、工艺文件、数控加工代码、技术说明等文档关联起来，这样就可以建立起表示产品完整信息的一种信息模型，如图 4-1，中心的

系统中是以机床为节点来建立产品结构的，保证管理与通信的关联，通信端中创建的机床名称要和管理端相应的产品代号保持一致，这样才能完成传输操作。

由于联网机床的数量或生产项目量的增加，可以创建新的产品结构树，也可以对原来的产品进行维护。并不是每一个用户都可以对产品结构进行更改或创建，只有拥有“产品结构维护”权限的用户才允许对相应的产品结构进行管理和维护。

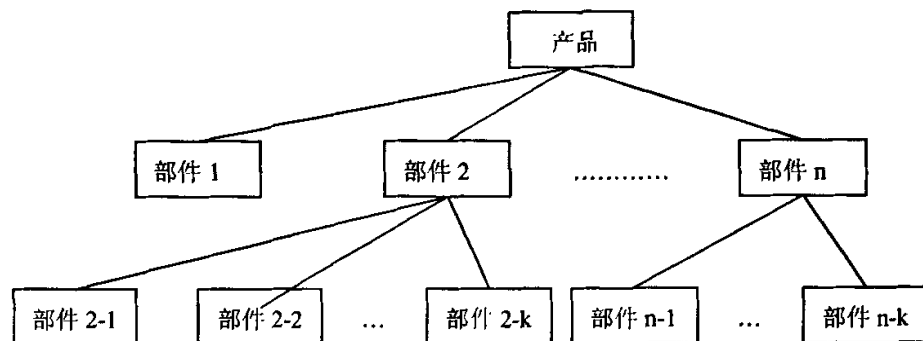


图 4-2 产品零部件树状结构

4.1.2 内部数据的安全管理

网络 DNC 系统管理模块采用服务器/客户端 (C/S) 方式进行数据管理。系统中的每个用户登录时必须输入用户名和密码，只有经过确认的合法用户才可以登录系统，享受管理员或上级领导赋予的权利。所有被管理的数据置于服务器数据库中，系统的重要文档在中心的服务器中存储，同时保障硬件服务器的安全保证数据安全。由于重要文档需要备份，系统必须提供备份功能。

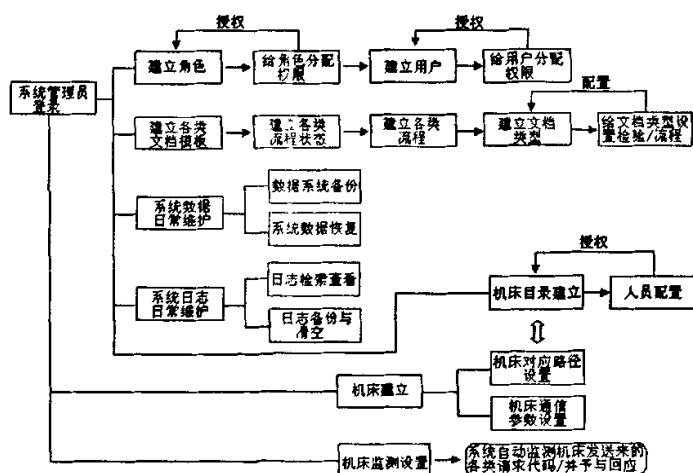


图 4-3 协同管理平台系统管理员应用流程

安全管理主要包括以下：

- (1) 用户管理:按照企业人员情况建立用户登陆系统的名称、密码及备注描述信息。只有系统中已经开具的用户才可以登陆该系统。此项将保证系统的第一道安全关。
- (2) 角色管理:按照企业行政或技术职位建立一套企业适用的角色，并给各角色设立操作权限。不同的人分配不同的角色，即具有不同的权限，此即为系统的第二道安全关。
- (3) 设置产品/机床相关人员。即以产品/机床划分人员的权限。如果某人对产品/机床不具有参与权，

该人进入系统后将无法从产品结构树中看到该产品/机床，此即系统安全的第三关。



图 4-4 产品、机床人员配置

4.1.3 任务的产生及定义

产品结构的创建首先是以任务的定义及产生作为出发点，系统的任务是以对文档各类状态的操作为单位。每个文档的生成过程按照流程都可以拆分为多个任务，如“设计、校对 1、校对 2、审核 1、审核 2、批准”这样一系列的任务，每个任务对应一个任务负责人。其发生过程是在文档、代码创建时产生的，任务责任人也是在文档、代码创建是由用户选择。系统针对同类型的文档/代码，可产生默认的用户责任人，免去每次选择责任人的繁琐操作。



图 4-5 任务的定义及产生

其次是通过 workflow 或过程管理，用来定义和控制数据操作的基本过程，它主要管理当用户对数据进行操作时会发生什么，人与人之间的数据流向以及一个项目的生命周期内跟踪所有事务和数据的活动。

以电子仓库 (Vault) 为底层支持，把定义最终产品的所有工程数据和文档联系起来，实现产品数据的组织、控制和管理，并在一定目标或规则约束下向用户或应用系统提供产品结构的不同视图和

描述。在任务创建时预设文档、代码的完成时间,新文档(文件、代码文件等)创建时,系统会要求用户给定此文档要求完成的时间,该时间将作为后续项目进度统计使用。时间的设定,系统提供一个日历表供用户选择,用户可以选某年某月某日,要求完成该文档。如图

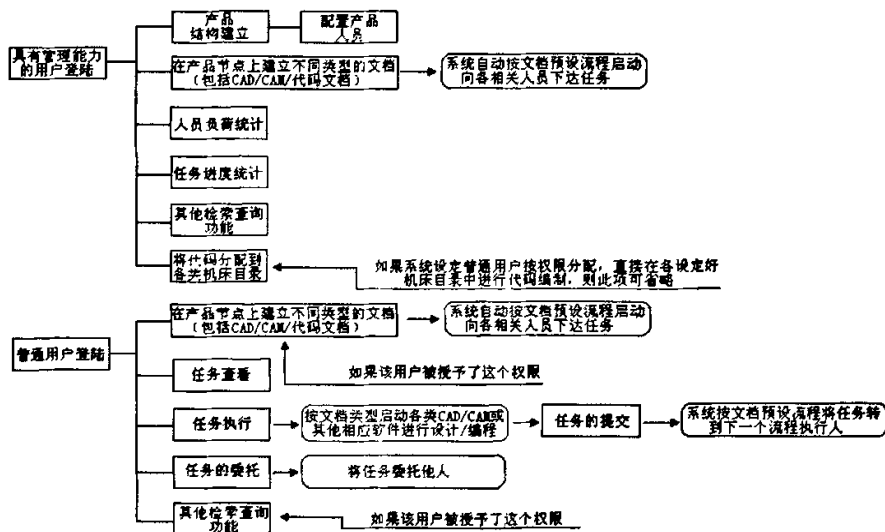


图 4-6 协同管理平台用户应用流程

任务的处理包括如下

(1) CAXA 机床网络系统还能够自动调用操作系统所能识别的任何执行程序,如 MS OFFICE 系列软件、CAXA 系列软件、PRO/E Windows 版系列等,可以使相关的 CAD、CAM、CAPP 软件进入管理流程。

(2) 协同管理系统能够实现委托任务,包括任务的委托及责任人的强制更改。机床网络管理系统允许两种任务责任人的更改方式,一种是任务责任人自己采用委托方式,另一种是其上级主管强行修改。任务责任人本人由于某种原因,如需要请假等,不能完成此任务,此时他可以使用委托功能,将此任务委托给本产品、机床下的其它同事处理,委托后,此任务将自动转到其被委托人的任务栏内。上级领导认为其责任人不适合时,或其责任人因某事不能继续时,可以从该文档流程中强行更改任意未启动的任务责任人。

4.2 CAD/CAM/CAPP 的集成

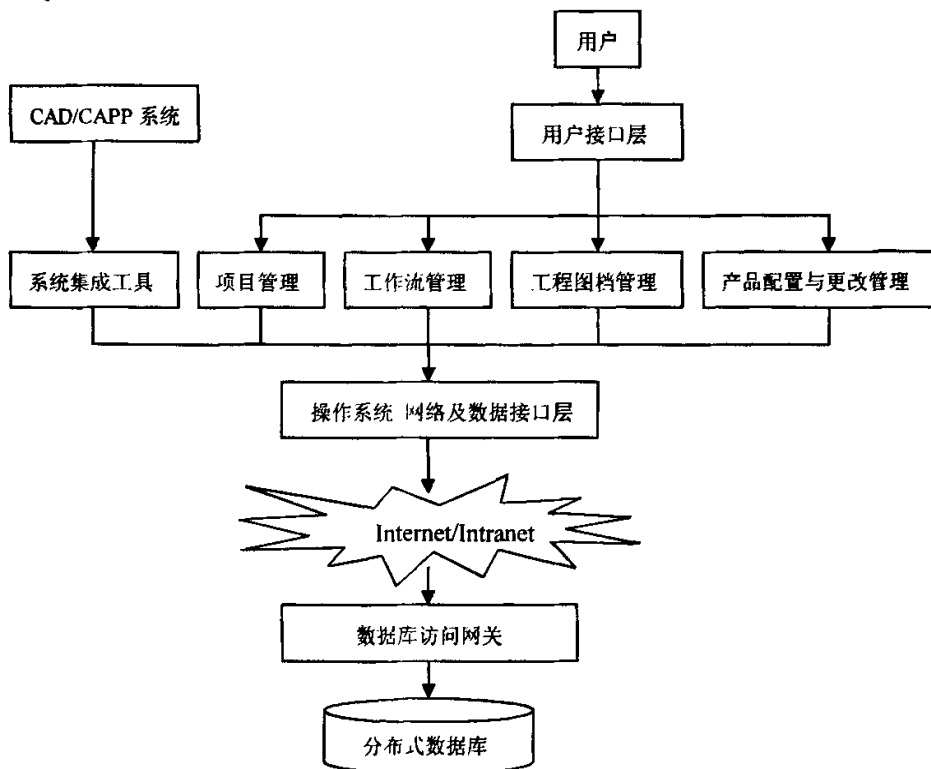
协同管理系统作为一个系统集成平台,在这个平台的基础上,将内部的 CAD/CAM/CAPP 等等各个孤立的软件与生成加工数控机床联系起来。它不但可以集成包括 CAXA 加工、设计、工艺系列软件,而且还可以集成微软环境中的其他 CAD/CAM、MS OFFICE 等软件。同时,在这个平台上,可以实现对各种数控机床的控制。

4.2.1 协调管理平台的关键技术

协同管理(PDM)原型系统(如图 4-6)以网络环境下的分布式数据处理技术为支撑,采用客户端/服务器(Client/Server)体系机构和面向对象(Object Oriented)的设计方法,需要有数据库技术保证数据的存储和管理,需要有网络技术提供数据的传输和通信,以实现产品全生命周期的信息

管理 (PLM), 协调控制工作流程和项目进展, 在企业范围内建立一个并行化的产品开发写作环境。

这里采用 Microsoft 的 SQL Server 2000 作为系统的后台数据库。SQL Server2000 是一种网络数据库管理系统, 其主要任务是存贮数据、管理数据和提供数据, 以满足客户端连接数据库和存贮数据的需要, SQL Server2000 支持多种操作系统平台, 容易使用, 性能可靠。



4.2.2 网络化 CAM 技术

CAM 作为整个集成系统的重要一级, 向上与 CAD、CAPP 实现无缝集成, 向下方便、快捷、智能、高效的为数控生成服务。其具体实现的功能如下

- (1) 具有 CAD 软件的绘图功能和完善的外部数据接口。
- (2) 直接利用零件的轮廓曲线生成加工轨迹指令, 提供轮廓加工和区域加工的功能, 在生成轨迹时, 进退刀和下刀方式的选择。可以安排从粗加工、半精加工到精加工的加工工艺路线。
- (3) 可以方便的控制加工过程, 可以控制切削方向以及轨迹形状的任意细节。
- (4) 通过运用知识加工, 可以方便进行快速编程; 并可以将加工工艺经验进行记录、保存和从用。
- (5) 提供轨迹仿真手段以检验数控代码的正确性, 可以通过实体真实感仿真模拟加工过程。
- (6) 提供后置处理器, 无需生成中间文件就可以直接输出 G 代码指令。提供常见的数控系统后置格式, 并可以自定义专用的数控系统后置处理格式。

其中数控加工走刀运动仿真可以检验 NC 代码程序控制的刀位轨迹是否符合加工的要求, 避免耗时、费力的试切过程。后置处理^[50]的目的是在生产了所需的刀位轨迹后, 根据不同数控系统的编程特点生成相应的数控代码。要求结合特定的机床把系统生成的二轴或三轴刀具轨迹转化为机床能够识别的 G 代码, 生成的 G 指令可以直接输入数控机床加工, 无需修改, 这就是 CAM 系统的最终目

的。考虑到中心的数控车床和加工中心有多种系统，这就要求在对不同数控系统的编程差异完全了解的情况下，对其相应的后置进行相应的设置。包括对 G 代码的设置，说明、程序头、换刀、程序尾。

同时网络化 CAM 技术还要研究计算机辅助制造的网络化，包括数控代码的网络校验、数控加工信息的网络传输等问题，这部分是通过 CAM 软件与协同管理软件、DNC 软件集成实现的。

4.2.3 网络化 CAPP 技术

工艺管理模块是通过采用 CAXA 工艺图表软件经协同管理软件以工作流的方式实现的。工艺管理模块的功能主要有两个方面：第一是工艺卡片的打印、预览功能。根据此功能，用户可以预览、打印任何一张工艺卡片，并可以打印相应的工艺附图或附表。第二是工艺卡片的审核功能，项目主管对已经编制完成的工艺卡片进行审核，通过审核的工艺卡片转存到工艺库，可以作为正式文件使用，并且任何人无权对其进行修改，没有通过的返回并提出修改意见，工艺人员可以在修改时查看修改意见并进行修改。工艺管理模块还提供一些辅助功能，比如汇总统计功能，用户通过指定各种统计方式，就可以获得相应的统计信息。

网络化 CAPP 系统对于实现 CAD/CAPP/CAM 之间的无缝集成提供了重要的信息流通途径，使设计部门的设计图纸可以直接被工艺部门调用，生成的工艺文件又可以直接为生产部门使用或转化为数控加工程序输入到生产部门。网络化 CAPP 的实现也将促进网络化制造和协同设计的发展。

4.3 小结

利用协同管理工具控制整个产品的开发设计过程,通过建立虚拟的产品模型,有效、实时、准确地控制整个产品生命周期中的各种复杂的数字化信息,最终形成完整的产品描述、生产过程描述以及生产过程控制数据。在产品形成的过程链的开始,即产品的开发和设计阶段,形成了零件基本记录、工程图等产品的基本信息,协同管理系统负责对这些数据进行管理。在第二阶段,即工艺过程规划阶段,工艺人员需要对由开发设计部门或人员发放的工程图和物料清单进行访问,然后利用这些信息编制工作计划、装配计划、数控程序等文档。整个工作流程基于网络完成,最终提交至服务器,客户端可以查询和读取零件基本信息、工程图、NC 程序、工艺过程规划和其他的 PDM 资料。接着进入过程链的制造和装配阶段,需要将工作分配到有关的制造和装配部门,NC 程序可以通过网络直接传送到 DNC 服务器,直至被机床调用进行加工。

第五章 网络化制造的应用

随着信息技术的飞速发展,社会正迈入信息时代。信息技术的发达程度已成为衡量现代科学技术水平的重要标志。信息革命使世界制造业面临巨大的转变,以信息化制造技术为代表的先进制造技术正在实现对传统制造业的改造,特别是数控技术及其网络化制造的产生、发展和在制造业中的广泛应用,更加引发了一场传统制造业的重大变革,网络化制造加速了制造业的信息化。

5.1 网络化制造教学环境

数字化设计及网络化制造实验室的软件构成如图,集成了 CAD、CAM、CAPP、DNC 以及 PDM 等相关的软件,其中 CAD 部分二维设计包括 AUTOCAD、CAXA EB,三维创新设计有 CAXA Solid、SolidWorks、Pro/E、UG 等;CAM 相关软件按照其应用有 CAXA 数控车、制造工程师、MasterCAM 等;产品设计开发过程中 CAD、CAM、CAPP 的流程则通过数据协同管理软件来管理,同时将产生的设计数据、工程图纸、数控程序、工艺规程等大量数据进行统一、科学的管理;最后数控程序基于网络 DNC 传输至数控机床,进入车间层,完成最终的制造以及装配。

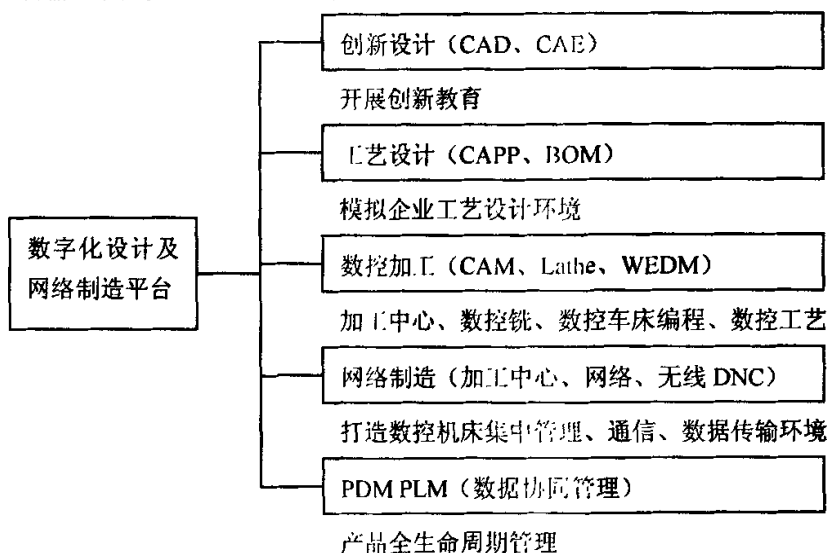


图 5-1 网络化制造平台软硬件构成

硬件部分包括车间层的数控车床、数控铣床、加工中心等设备以及服务器、客户端计算机。网络化制造实验室形成软硬结合的全方位教学环境,将设计、工艺、制造的教学与生产现场相联系,注重课本知识与实践的结合,大大增强学生的感性认识,提高了学生的学习兴趣。

学校如何培养企业所需要的人才,就必须了解企业是如何工作的。企业首先根据社会需求决定新品开发的总体方案,然后经过产品设计部门进行创新设计,或是根据客户需求进行变型设计。工艺设计部门则完成工艺设计、NC 编程以及工装模具设计,最后数据传至数控设备完成产品制造。利用网络化制造平台可以模拟企业的生产环境以及各部门之间的工作流程。以数控车床的实训为例,教学流程可以安排如下:

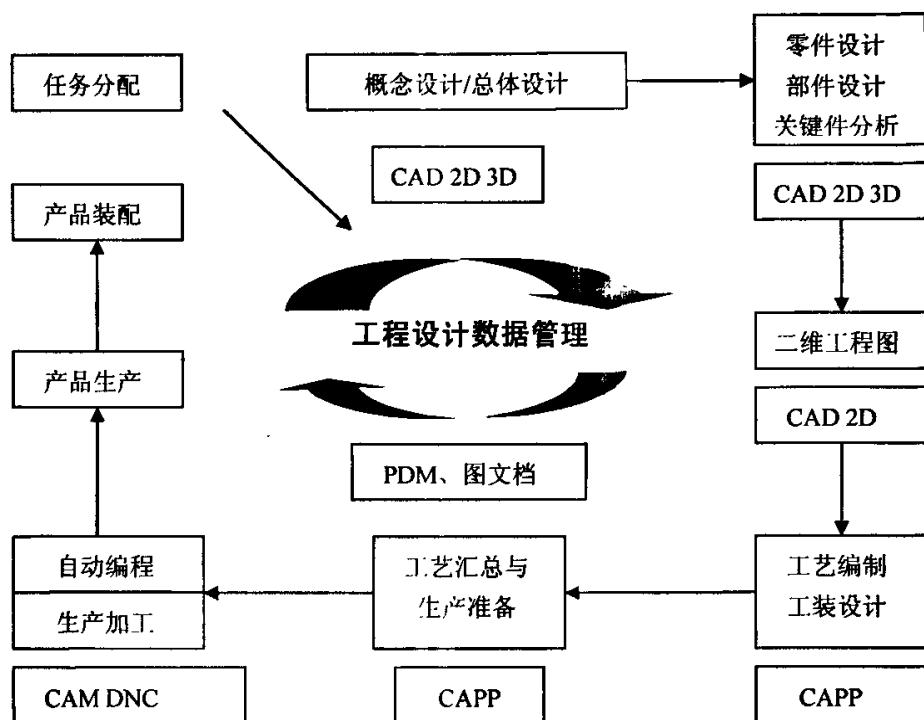


图 5-2 教学应用流程

(1) 指导老师按照教学要求开始立项过程。老师登录进入系统的协同管理模块中，分配学生不同的角色权限，并且明确每个人的任务。学生可以在中心主干网络的任何一台计算机上登录，查看并完成自己的任务。教师随时查看到学生的设计状态，通过版本控制，监测学生的修改过程，便于掌握学生的设计思路，为进一步指导学生提供依据。

通过对 CAXA 协同管理软件的应用学习，使学生了解到企业管理产品设计、制造过程中图档和文档等数据的流程，加深对数据协同管理、知识管理等概念的认识。

(2) 设计部分 网络化制造平台提供从二维绘图到三维设计的创新设计工具，指导学生完成产品的概念、外观、结构、零部件和整体设计等，并提供对国标的设计标准、设计文档和经验的知识管理和共享平台。

学生通过协同管理客户端或任务箱登录，了解自己的任务状况之后进行三维零部件设计，同时生成二维工程图，设计完成后提交，等待审核。如果出现设计问题，将退回给设计学生进行修改。

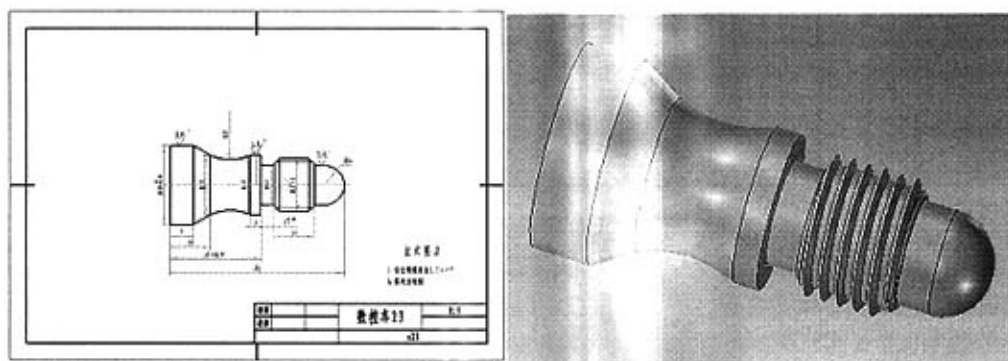


图 5-3 零件设计（二维、三维）

(3) 工艺编制过程 学生零件设计完成后，选取自制件的二维图进行工艺路线的编制，同时填写工序卡片。最终由指导教师则将所有的设计零件、工艺数据进行分类汇总，并输出报表。

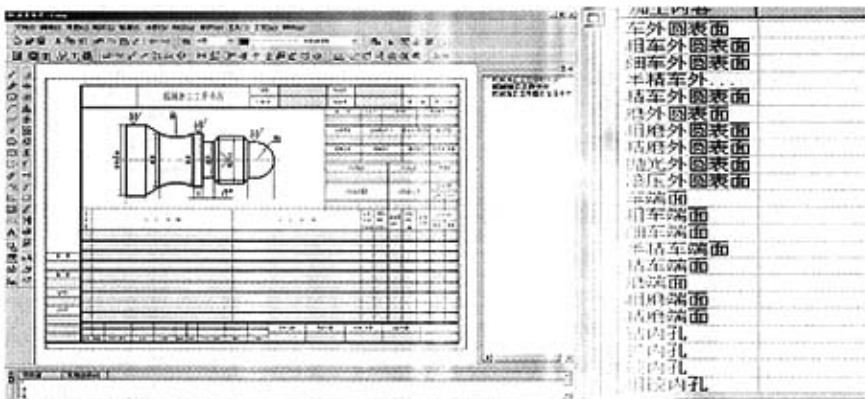


图 5-4 工艺编制

结合工艺软件,使学生掌握如何编制工艺、建立企业工艺知识库、提高工艺编制和工装设计的效率以及生成材料清单和工艺汇总数据等方面的内容,可以作为机械制造工艺学教学过程中的有益补充。

(4) 数控编程及 CAM 部分 建立代码编制任务, 学生可以手动编程, 也可以自动编程, 导入加工模型, 定义毛坯、加工工艺参数, 并根据自己实习使用的数控系统设置相应的机床后置处理, 最后生成可执行数控代码。生成的数控代码根据协同管理所设定的相关审批流程, 转至相关的同学或老师进行审核校验, 最终修改正确后, 提交上传至数据服务器进行统一管理。同时因为提供了一个高效的程序编辑、修改和仿真的平台, 程序在上机床前, 学生可对程序进行其轨迹和实体仿真, 便于及时发现问题和修改程序, 避免在加工中出现错误。

中心的数控技能培训过程中,数控编程的教学实习以手工编程为基础,已逐步加大自动编程的比例。尤其对于数控车床的实习,配备独特的数控车CAM软件,可以灵活方便的针对各种数控系统进行配置,学生造型、后置处理后生成的程序可以直接用于加工,而无需进行修改。教学过程中,学生在掌握了手工编程的各种代码的基础上学习自动编程,可以了解它们的差异,同时可以满足部分同学的创新要求。改变数控车床实习中传统的手工编程、手工输入的固定操作模式,可以提高了学生在实习过程中的效率,具有重要的现实意义。

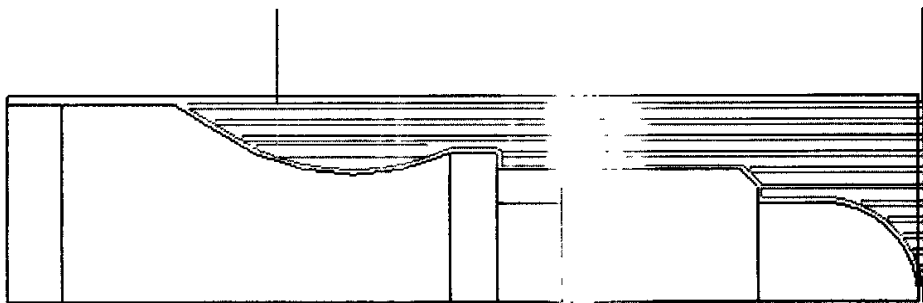


图 5-5 自动编程生成刀具轨迹

(5) 网络 DNC 传输 网络 DNC 是学生设计的数据流入加工环节、加工成实物的关键。所有的程序均集中在服务器上,把机床只是作为一个终端用于加工作用。数控设备基本不需存贮数控程序,实习过程中数控程序的输入可以通过网络 DNC 直接调用。学生只需要编写简单的调用程序就可以下载数控代码至机床进行加工,也可以实现上传数控程序至服务器等。这样就改变了手工输入较繁琐的方式。



图 5-6 DNC 传输

(6) 学生机床操作 经网络 DNC 传输得到所需的数控程序后，学生只需在机床端进行简单的对刀后就可以直接加工。网络 DNC 也可以支持在线加工。学生在机床端将主要完成机床界面的操作学习，而无需花费时间在程序的修改以及程序的拷贝输入方面。同时加工过程中加工的状态可以通过网络 DNC 反馈至服务器，便于了解学生的进度以及对教学课时的统计。五种不同系统的数控车床，可使学生了解不同数控系统间的编程、操作以及通讯方面的差异，满足社会对不同数控人才的需求。

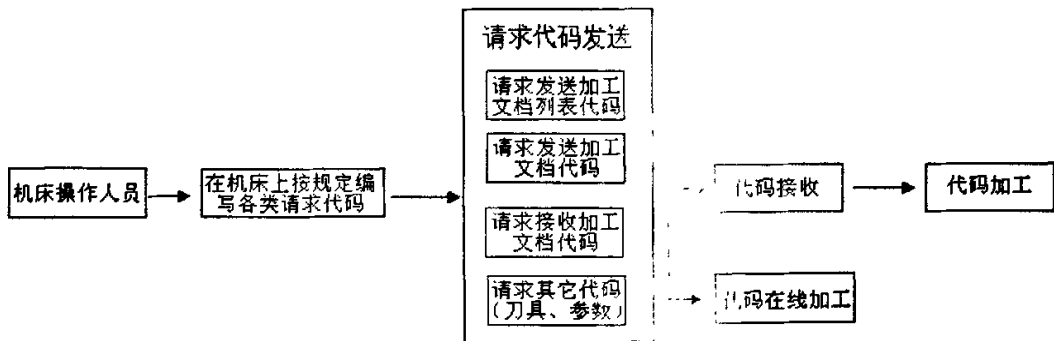


图 5-7 机床端操作流程

(7) 数据的协同管理 在整个流程中，学生所完成的零件设计、编程图、工艺文件、CAM 文件以及生成的 NC 代码都存放在 Vault 中具体机床的文件夹中，借助协同管理对相关产品的所有信息进行同一归类管理，并且指导老师能够清楚的把握学生作业的整个流程，提高了管理水平。

整个数控教学过程把机床操作实习与一体化的设计、制造、管理、培训相结合，并让学生灵活运用，使学生全面深入的掌握数字化设计及网络制造的流程以及其中的各项关键技术，促进学生综合能力的提高。同时基于网络对学生实习的整个过程进行控制和管理，有效的提高了教学水平。

5.2 网络 DNC 使用前后比较

网络 DNC 的实现对院校的数控技能培训的影响是重大的，一方面对学生的实习过程进行有效的控制，包括机床的使用效率、教学过程、学生的实习安全、生产进度的控制等等；另一方面从未来

制造业的信息化发展角度, 让学生的数控技术有更深刻的认识, 学到更为先进的东西, 从而满足社会对高水平数控人才的需求。网络 DNC 实施的效果通过其应用前后的比较, 可以更直观的了解。

5.2.1 网络 DNC 应用前学校中常见的问题

网络 DNC 应用前, 学校数控机床的使用主要有以下几个问题:

(1) 已有程序难以共享, 机床上面已经编好的程序不能传送到其他机床进行加工, 一旦本机床已有零件在加工或因故停机, 需要换机床加工, 程序不能传送。只能通过重新编程或将程序手工敲入的方式。在机床已有程序的情况下, 这样操作大量的占用了机床的加工时间, 降低了设备利用率。而且在手工输入存在安全隐患, 使用手工输入代码, 如果代码输错了一个小数点, 或者漏输、少输了一行代码, 轻则打坏刀具、破坏工件, 重则导致出现人身安全的事故。手工输入代码不可避免的会出现错误, 而且很多错误相当隐蔽难以查出, 而一旦发生问题就会造成非常严重的后果;

(2) 机床存储空间太小, 数控机床的程序存储空间有限, 不利于程序保护。通常设备本身的存储量都比较小, 尤其是以前的老数控设备更是如此, 例如: FANUC 0i 系统的内存只有 32k;

(3) 输入方法复杂, 老式的传输方法, 每台加工中心旁边都需要配置专门的计算机进行数据传送, 如果有多台设备就需要很多台计算机, 增加企业硬件投入的费用。而且在车间环境下计算机设备非常容易出现故障, 使设备、维修的成本增大;

(4) 学习掌握困难, 由于中心有多种数控设备, 其控制系统也都种类繁多, 对应不同的数控系统需不同的传输软件, DOS 版及英文界面使得操作非常复杂, 且不同机床间通用性差, 每台设备都需要专门学习;

(5) 操作复杂, 普通的传输方法, 如下载、上传程序传输需由两人同时操作, 或一人分别在计算机端和数控端进行连续操作才能完成;

(6) 传输距离有限, 使用计算机通过串口传输只能进行 NC 程序传输, 且传输距离在局限在 15 米以内;

(7) 程序缺乏互换性, 由于控制系统不一样决定程序头尾都不一样, 程序本身不能互相通用。给 funac 系列编的程序不能应用于 SIEMENS 系列, 由于该问题引起的操作不便也直接导致辅助工时的增加;

(8) 在线加工问题, 多台设备的 DNC 加工需多台计算机, 尤其是对于加工中心的实习, 如果需要在线加工, 对计算机的稳定性会有一个很高的要求, 如果出现计算机死机情况, 需要重新进行加工, 难以实现断点续传;

(9) 设备安全, 加工中心使用的 RS-232 接口经常插拔, 硬件容易损坏, 维修代价昂贵, 而且如果出现故障导致机器停止使用, 则会耽误教学进度, 影响设备的使用率;

(10) 程序难以保密 程序管理为开放式, 不利于技术保密, 程序代码不能很好的管理起来, 时间一长就可能找错代码或找不到代码, 程序代码是数控加工的必须文档, 对代码的管理不善会导致程序查找困难, 使用错误代码引起加工零件报废等各类问题;

(11) 系统难以集成, 不能与 CAD/CAM/CAPP 或 PDM 系统联接, 现在数控车间里, 加工需要的 NC 代码与零件图纸和工艺文件之间难以实现关联, 相对独立, NC 代码一般在每次加工时都重新进行编制, 没有实现重复, 降低了操作人员、机器设备的工作效率。

5.2.2 网络 DNC 使用后的效果

在网络化制造中, 网络 DNC 为企业将设计、工艺信息数字化延伸到生产加工车间提供了完整解

决方案,是制造解决方案的重要构件之一。而协同管理则从整体数据把握,对内部数据实现安全、科学的管理。

(1) 程序共享,已有的机床程序上传到服务器上进行管理,其他机床上直接下载使用,一个程序可以让多台设备共享。

(2) 存储空间,海量存储空间,所有程序均可保存在计算机硬盘上,可以根据需要再进行扩展,这个空间实际是无限大的。

(3) 输入方法,使用网络 DNC 后,计算机可以进行集中放置,统一管理。不需要很多台电脑就能够控制全部机床的数据,减少了计算机设备的投入,同时也可以避免计算机设备长期在生产环境中工作带来的故障。

(4) 管理方式,计算机自动进行管理,可以实现长期无人职守,提高工作效率,无人力资源占用。

(5) 传送方法,操作人员只在数控端操作,输入调用程序指令后,直接就可以读取所需程序,大大节省了时间,提高了工作效率,节省了人力资源。

(6) 系统集成,可与企业局域网无缝联接,实现 CAD/CAM/CNC 的集成,将设计图纸工艺文件和加工的 NC 代码有机的联系起来,对 NC 代码、刀具、夹具等信息实现数据统一调用和修改,提高代码的重复利用率。

(7) 传输距离,不仅可以传输 NC 程序,同时还可以传输刀具参数、生产管理等信息,传输距离可以扩展到 2-10 千米。

(8) 设备安全,RS-232 接口永久性连接,硬件不易损坏。

(9) 程序管理,程序管理开放式,封闭式可由用户选择,技术资料保管安全,在管理模块每个人都被分配了不同的权限,对机床代码、机床信息、文件等等信息进行操作、管理,系统会进行自动的记录。

(10) 在线加工,一台服务器可以控制多台机床进行同时加工,服务器性能稳定,可以长期在线工作,即使出现了故障也可以使用断点续传功能从故障点开始继续加工,而不必重头再来。

(11) 管理信息,可为企业的生产管理提供多种所需基础数据,轻松掌握设备的开机、运行,方便生产计划的安排。

(12) 人员要求,编程人员专门负责进行编程,并将编程文件和工艺清单文件进行统一管理,操作人员通过调用文件就可以直接进行机床上的操作。提高了企业编程的水平,并大大提高了工作效率,也减少了企业技术人员的工作量。

(13) 程序互换,根据客户的需要,可以订制模块,提供工具实现不同系统间程序代码的格式更换。

5.2.3 网络化制造对于企业的意义

网络化制造之于企业的意义主要体现在生成效率和管理水平的提高上

(1) 从工作效率上看,网络化制造技术能将提高生产制造部在各种操作上的工作效率,而且大大提高了生产制造部各部门之间协同工作效率,减少了出错可能。使用网络 DNC 系统在数控代码传输管理、任务通知、刀具库管理等各方面的流转,在高效率操作上得到了很大的提升。通过网络 DNC 的实施,达到一台服务器控制多台数控设备的程序传输和 DNC 加工,实现加工数据的双向发送和接收,对文件远程调用,使所有被连接的具备 DNC 功能的数控设备同时实现远程 DNC 操作,提供数控文件的编辑、比较和数控文件轨迹绘图功能,服务器在 24 小时开机的状态下做到无人看守;配合车间技术管理的要求,对数控程序进行管理。机床操作者在机床一侧可以自动调用远程计算机上的 NC 程序,节约时间,显著提高效率。

(2) 方便各类部门间的沟通, 为企业今后信息化建设打下良好基础

生产制造部实施该解决方案后, 可以确保内部各部门数据在部门之间流转、与公司内相关单位数据交流安全、可靠、高效, 为企业的信息化建设(如 ERP、OA、电子商务等)打下良好基础。

(3) 经济效益分析 车间层中如果因为查找文件、传输程序、重复编写代码、等方面效率不高而导致机床处于不使用状态, 有时甚至整天处于停机状态, 这对企业会带来巨大的损失。同时因为操作人员工作效率下降、相关管理人员工作量加大、人员增多等原因, 也会增加企业费用的损耗; 使用人工方式传输代码, 有可能因输入错误, 打坏刀具、夹具、甚至机床, 软盘方法输入易造成软盘损坏和机床中病毒, 频繁的插拔 RS-232 接口经常插拔, 更容易导致硬件的损坏, 维修代价上升, 且耽误生产周期。相关问题利用网络 DNC 以及企业数据协同管理都能很好的得到了解决, 为企业创造的经济效益是显而易见的,

5.3 小结

东南大学网络化设计与制造平台正在探索在教学过程中将各种资源优化配置并充分发挥作用, 该平台将信息管理技术、计算机网络技术成功运用于设计制造流程各环节之中。并融合了网络化制造中的关键通信技术、网络 DNC、一体化设计制造、制造车间信息管理等多项技术。实践证明, 其提高了教学效果, 对理工类院校数控实训实验室的建设、工厂的协同设计制造信息集成以及数控车间集成化控制与管理也具有一定的参考价值。

第六章 总结

6.1 论文的主要贡献

在对东南大学工培中心整个网络 DNC 的实施过程中,使我对网络 DNC 产品认识有了更深刻的了解。以及对整个流程的把握,其中包括单台机床的调试、数据线的焊接、网络线的布置联接、软件的安装、参数的设置、整体系统的调试。在这次网络布线过程中,因学校数控实训中心网络布线没有布置,使我以前学到网络知识得到了应用,很顺利完成了网络布线,也使我了解到更多的网络硬件,在以后的硬件选型中多了更大的把握。但这次实施中也遇到了一些问题,比如对有些系统不熟悉等,网络硬件品种的不了解等,通过自己的研究以及多方寻求帮助,得到了解决,并最终完成论文。论文的主要贡献主要有以下几点:

(1) 根据机电综合训练中心的部门特点和现有的软硬件情况,完成中心主干网络的构建,建立机床通讯无线局域网络,对每台机床安装无线接入点,并将其与中心的有线局域网相连接。同时采用 C/S 结构,构建了数控代码的传输平台。

(2) 针对各种数控系统制作机床连接线,接入智能终端,并进行通讯测试,保证每台机床能够通讯畅通,能够实现数控代码、系统参数的传输,并且对加工过程数控机床的状态进行监控。对通信过程中出现的问题进行分析,并提供解决方案。

(3) 根据中心教师学生等角色进行权限配置,根据设备和产品状况建立产品结构树和机床结构树,对车间中的数控代码、图文档等数据进行网络集中管理,同时对中心所涉及到的教学、加工等工作建立相应的流程,从而对项目或流程的控制。

(4) 对网络化制造模式下的数控教学体系进行一定的探讨,教学过程中模拟对产品设计、制造、工艺的全生命周期管理,并根据所制定的流程将产品加工成型。

(5) 本课题研究和实现的内容是针对学校的教学以及职业技能培训,与企业的大生产环境有很大的区别,故所实现的网络化只局限于狭义上的内部的网络化,即内部的管理部门、设计部门、生产部门在网络、数据库技术支持下进行系统集成。

6.2 进一步研究展望

在这两年多时间中,作者有幸参与了国家 863 基金项目“数字化设计及网络制造实验室软硬件项目平台”建设的全过程。在完成课题的过程中结合机电综合训练中心软硬件的特点实现了数控加工的网络化,取得了一定的成果,使得车间层不再是个孤立的部分、中心的数据不再相对分散,对整体的管理能力有了很大的提高,并且通过研究各类数控系统联网方法的普遍性与特殊性,对以后类似机床网络 DNC 的实施具有参考意义。在以上功能实现的基础上还有不少问题或工作有待进一步的完成和探讨,如:

(1) 实现机电综合训练中心其他数控设备的网络 DNC 功能,包括线切割机床、快速成型等等设备。其中线切割机床几乎完全采用 CAM 编程,且应用广泛,故更有必要实现其网络化功能。

(2) 向广义网络化方向进一步扩展,使学校与使用网络的院校或企业间可以进行跨地域协同设计、协同制造、信息共享远程监控及远程服务,以及与社会间的供应销售和服务等内容。

(3) 进一步研究网络监控技术在机床上的应用,特别是机床在线状态数据的实时采集,完成对数控

设备的安全控制以及故障的远程诊断。

致 谢

本论文是在导师任祖平教授的精心指导下完成的。导师渊博的知识、敏锐的判断力和对课题研究方向的高瞻远瞩，以及严谨求实的治学态度和宽以待人的胸怀，使我受益匪浅，终生难忘。感谢导师在我两年多的学习生活当中，给予的各方面教诲和启迪，使我顺利的完成学业。在此即将毕业之际，向任老师致以最诚挚的谢意。

同时，我要感谢工培中心的杨恒琴老师、朱志勇老师、诸月民老师、季红等老师，他们在实际工作、生活中给了笔者许多无私的帮助，使我受益良多，在此也祝工培中心事业蒸蒸日上。

在我这两年多的学习中，感谢陈建松博士、陈大林两位师兄，以及朝夕相处、共同学习的张保、李晶同学，也感谢骆号，他们曾给我的学习和生活提供了许多帮助，也给我带来了许多快乐，在此一并感谢。同时，感谢北京数码大方有限公司的潘培山、徐俊工程师，在与他们的共同努力下，使得各种困难迎刃而解。

感谢爱我的、并我之深爱的家人和亲戚朋友，在多年的求学过程中，他们给予我不断的支持和鼓励，使得我能够完成我的学业，没有他们就不可能有我的今天。在此，对所有爱护和关心我的人表示由衷的感谢。

最后衷心感谢各位老师百忙中抽出宝贵时间对本论文进行评阅和评议。

参考文献

- 1 李健, 刘飞. 基于网络的先进制造技术[J]. 中国机械工程, 2001, 12(2): 154-158.
- 2 林楠, 孟飏, 范玉青, 陈鲲. 面向网络化制造的数控车间组织模式[J]. 北京航空航天大学学报. 2005.31(9): 1023~1026
- 3 H.A.Akkermansa, Managing IT infrastructure standardization in the networked manufacturing firm, In.J.Production Economics, 2002
- 4 闫伟国, 王敏杰, 王敏锐等. 基于以太网和 TCP/IP 的 DNC 通信技术研究[J]. 大连理工大学学报, 2003.43(1): 77~81
- 5 姚传利, 唐华. 基于 RS232 通信接口的 DNC 方案[J]. CAD/CAM 与制造业信息化. 现代制造, 2003(12): 77~78
- 6 蔡理, 陆启建. 基于以太网的数控机床集成系统. 制造技术与机床[J], 2003(11): 69-71.
- 7 王黎辉, 周宏根, 张胜文. 数控车间管理控制系统研究与开发 [J]. 机械设计与制造, 2006.2(2): 74~76
- 8 刘照国, 赵光伟. DNC 网络管理通信系统解决方案[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2003(11): 100-1021
- 9 钱玲, 汪惠芬, 张友良, 等. 基于 Web 的数控机床远程控制系统[J]. 制造技术与机床, 2002(11): 24-25.
- 10
- 11 陈道君. 基于 eXtremeDNC 的数控机床网络通信技术[J]. 计算机辅助设计与制造, 2002(6): 31-32, 361
- 12 任义, 陈欣, 牛连强等. 基于以太网的数控机床通信系统研究[J]. 微计算机信息, 2005.21(5): 196~198
- 13 杜功儒, 张旭辉. 网络化制造中的数控单元及关键技术[J]. 西安科技大学学报. 2005.25(1): 76-80
- 14 饶运清, 朱传军, 张超勇, 左革成, 严治雄. 支持网络化制造的车间资源集成与执行系统[J]. 计算机集成制造系统, 2003.12: 1120-1125
- 15 严隽琪. 制造系统信息集成技术[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2001: 48~70.
- 16 倪中华, 易红, 汤文成. 基于 WEB 的数控编程系统的研究[J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2002, 8(5): 419-422
- 17 易红, 倪中华. 适用于网络制造模式的数控系统的研究[J]. 东南大学学报, 2002, (5): 387-391.
- 18 陈志伟, 易红, 倪中华. 基于 Internet 的 CAD/CAPP 并行设计系统的研究 [J], 2001, 23(4): 49-52
- 19 李伟, 鄂明成. 集成 DNC 系统无线通信方式的研究 [J]. 设计与研究, 2005 (3): 91~93
- 20 南京斯沃技术有限公司 FAGOR8050/8055 连接说明书(硬件) 2005.278~280
- 21 刘锦兴, 秦叶, 李荣彬等. 基于信息网络的异地协同设计与制造系统研究 [J], 中国机械工程, 1999, 10(8): 882-887
- 22 H.-P.Wiendahl, K.Helms, M.H6big. Management of Variable Production Networks- Visions, Management and Tools-[J], Annals of the CIRP, 1998, 47(2): 549-555
- 23 韩江, 赵福民, 王治森等. 网络数控系统的概念及其技术内容[J], 中国机械工程, 2001, 12(10): 1141-1144
- 24 Sabine Van Huffel.. High-performance numerical software for control: Developing reliable and efficient software for control applications. IEEE Control Systems Magazine. 2004, 24(1): 60-76
- 25 汪木兰. 数控技术与系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- 26 徐晓飞. 未来企业的组织形态——动态联盟[J]. 中国机械工程, 1996, 7(4): 15-20.
- 27 王隆太, 李吉中, 李雪峰. 基于网络化制造模式的数控系统的研究[J]. 中国制造业信息化. 2004, 33(2): 98-100

- 28 F.L. Krause, T.Kiesewetter, S.Kramer. Distributed Product Design[J],Annals ofCIRP,1994,43(1):149-152
- 29 张曙,李爱平,王家海等.分散网络化制造的总体结构及实施技术[M],上海:同济大学现代制造技术研究所,2000,1-55
- 30 杨叔子,吴波,胡春华等.网络化制造与企业集成[J].中国机械工程,2000,(2):41-43.
- 31 何杰,孙庆鸿,陈南等基于 WEB 的机床设计 CAD/CAE 信息集成系统研究 [J],2001,23(3):29-33
- 32 李荣彬.分散网络化制造产生的背景及在广东和香港的应用[M],香港:香港理工大学制造工程系,2000,1-16
- 33 张曙.分散网络化制造[M],北京:机械工业出版社,1999,1-310.
- 34 张旭梅,刘飞,但斌.基于集成 DNC 技术的车间运行模式研究[J].中国机械工程,1999:10(3):321~323
- 35 杨文通,王蕾,刘志峰等.数字化网络化制造技术[M].北京:电子工业出版社,2004. 70-287
- 36 Wain Wrightcer, Harrison D K.CAD/CAM and DNC links as a strategy for manufacture implication for CAPM[J].ComputerControlEng,1992,3(2):82-87.
- 37 伍小虎,基于网络的数控加工信息管理系统的研究与实现[D]. [博士学位论文]. 北京:北京航空航天大学,2004
- 38 赵日强.国外工业王概述[M],北京:机械科学研究院,2000,1-18
- 39 毛期俭,丁杰,余奇.基于 TCP/IP 串口数据流的实现[J].中国数据通讯,2003(11):47-53.
- 40 刘利锋,王敏杰,赵晶.面向模具制造的多功能 DNC 通信系统开发[J].模具工业,2001(4):7-9.
- 41 汪宇,刘世平,张洁等.车间管理控制系统发布式控制方式构造研究[J].机械与电子,2001,1: 28-31
- 42 杨小明,郑力,张智海等.基于 Web 的敏捷车削参数规划系统[J].中国机械工程,2001,12(6):643-646
- 43 LYNCHM. Understanding DNC systems[J].Cutting Tool Eng,1994,46(6):26-32.
- 44 缪学勤.工业以太网技术最新进展[J].电气时代,2004(2):24-27.
- 45 刘锦兴,秦叶,李荣彬等.基于信息网络的异地协同设计与制造系统研究[J],中国机械工程,1999,10(8):882-887
- 46 方水良.柔性制造系统的应用研究两层局域网柔性 DNC 系统的研究和开发[D].南京:南京航空学院,1990.
- 47 A.J. A'lvares, J.C.E. Ferreira, Web-Machining: Implementation of a Collaborative CAD/CAPP/CAM System for e-Manufacturing through the Internet. The 38th CIRP – International Seminar on Manufacturing Systems. Florianopolis, SC, 2005.
- 48 周本华,杨华馥.基于 PDM 的数控机床网络管理 DNC[J].制造技术与机床,2004(5):78-81.
- 49 张旭梅,杨萍,刘飞,等.DNC 中数控系统的集成方法研究[J].制造技术与机床,1998(3):17-19.
- 50 卢红,黄文华.DNC 网络数控加工及后置处理技术的研究与应用[J].机械制造.2005,43(9): 34-35
- 51 广州数控设备有限公司 GSK980TA 车床数控系统产品说明书 四-2-8
- 52 BEIJING-FANUC BEIJING-FANUC 0i Mate-C 系统参数说明书 12-15

作者在攻读硕士期间论文发表情况

1. 施吉祥¹任祖平², 基于网络化制造实验室的数控网络化技术研究与实现 [J], 《机械制造与自动化》, 2007 年 10 月
2. 王月英¹施吉祥²任祖平³, 网络化制造实验室探索研究[J], 《实验室研究与探索》, 2008 年 3 月