

SIEMENS

技能型紧缺人才培养规划教材

数控铣床 加工中心

JINENGXING
JINQUE
RENCAIPEIYANG
GUIHUAJIAOCAI

胡育辉 编著



技能型紧缺人才培养规划教材

SIEMENS 数控铣床加工中心

胡育辉 编著

辽宁科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

SIEMENS 数控铣床加工中心/胡育辉编著. — 沈阳:
辽宁科学技术出版社, 2009. 6

技能型紧缺人才培养规划教材

ISBN 978 - 7 - 5381 - 5678 - 2

I. S… II. 胡… III. ①数控机床:铣床 - 技术培训 -
教材②数控机床加工中心 - 技术培训 - 教材 IV. TG547
TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 078821 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 19.25

字 数: 433 千字

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2009 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2009 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN - 978 - 7 - 5381 - 5678 - 2

定 价: 35.00 元

编辑部电话: 024 - 23284372

邮购热线: 024 - 23284502 23284357

E - mail: elecom@mail.lnpgc.com.cn

http: //www.lnkj.com.cn

编委会

主 委	任 员	王 强	邹 伟		
		王 强	李 超		
		管俊杰	杨克吴		
		胡育辉	海钦爽		
		赵宏立	栾齐栾		
		陈 立	陈 光		
		敏欣祥	官 成	立远蓉	李学哲
		张张赵	张忠世	关王王	颖素艳
					良

前 言

本书以突出操作技能为主导，立足于应用，在内容组织和编排上，选用了技术先进、占市场份额较大的德国西门子 840D 系统作为典型数控系统进行剖析，介绍数控铣床的编程、操作与维护。从近期企业调研来看，西门子系统的数控机床，从编程、操作及维护角度上都比其他数控系统难度要稍大一些，尤其是用 Pro/E 等自动生成程序的软件与西门子系统机床结合使用，很少有人熟悉，市场也很少有这方面的书籍。本书在内容安排上，力求解决企业中疑难的问题，总结多年的研究与实践经验而编写。全书采用大量的图例及实物照片，便于读者阅读。

在素材的组织上，突出时效实用的特点，所搜集的大量实例，除少数为实训加工的实例，大多是来源于各大企业当前加工的零件，便于读者借鉴。

本书可作为数控铣床、加工中心操作人员的培训教材，也可作为高职高专或本科数控专业、机械制造专业、模具专业及机电技术等专业学生以及从事数控加工技术人员的参考用书。

本书在编写过程中，参考了数控技术方面的诸多论述、书籍和西门子系统编程与操作说明书。作者从事与数控加工教学、生产、实训和培训有关的工作 10 余年，并到英国考察了数控技术的应用。

本书在编写过程中，沈阳机床厂刘宏志、谢林，沈阳鼓风机厂兰阳、沈阳融腾科工贸易公司张万隆等提供了一些典型实例和技术资料，并得到沈阳职业技术学院领导和机械系老师的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

限于作者的水平以及数控技术的迅猛发展，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前 言

第一章 数控系统概述	1
第一节 数控机床的组成及其功能	1
一、数控加工过程	1
二、数控机床的组成及其功能	1
第二节 数控系统的分类	3
一、按数控系统的功能水平分类	3
二、按伺服系统分类	3
三、按数控系统的制造方式分类	4
第三节 西门子数控系统简介	4
一、常用数控系统	4
二、西门子典型数控系统	5
第四节 数控技术的发展和机遇	7
一、数控系统产业化的现状	7
二、数控技术的发展状况	7
三、数控产业发展面临的问题	8
四、数控产业发展的机遇	8
五、我国与世界先进水平的差距	8
第二章 数控加工工艺	9
第一节 数控铣床、加工中心加工对象	9
一、数控铣削对象	9
二、加工中心的加工对象	10
第二节 加工工艺分析方法	11
一、工艺分析	11
二、零件的结构工艺性	12
三、工艺路线设计	14
第三节 定位与装夹	16
一、工件的找正安装	16
二、数控机床夹具介绍	22
三、组合夹具简介	23
四、夹具选择举例	28
第四节 加工方法选择及加工路线的确定	29
一、加工方法的选择	29
二、加工路线的确定	31
第五节 加工工艺参数及在线测量	34

一、主轴转速的确定	34
二、进给速度的确定	34
三、背吃刀量的确定	34
四、在线测量	35
第六节 加工中心工艺规程	35
第三章 数控铣床及加工中心的结构	38
第一节 数控铣床及加工中心的分类	38
一、数控铣床的类型	38
二、加工中心的类型	38
第二节 数控机床的主轴结构及控制	39
一、数控机床的主传动及主轴组件	39
二、主轴驱动装置的工作原理	42
三、主轴准停控制方法	45
第三节 数控铣床的进给机构	47
一、进给系统概述	47
二、滚珠丝杠螺母副	48
三、传动齿轮间隙的消除	53
四、联轴器	56
五、数控铣床常用导轨	58
第四节 数控铣床、加工中心的其他装置	61
一、加工中心自动换刀装置	61
二、位置检测装置	64
三、对刀装置	69
第五节 数控铣床及加工中心常用刀具	70
一、数控铣床常用铣刀	70
二、数控铣床加工中心常用孔加工刀具	77
第四章 西门子 840D 系统数控铣床及加工中心的操作	82
第一节 西门子 840D 系统加工中心的操作	82
一、西门子 840D 系统操作面板及按键说明	82
二、参数设置	89
三、程序管理操作	92
四、图形模拟	94
五、JOG 模式	94
六、MDA 操作	96
七、自动加工操作	97
八、DNC 自动加工	98
九、通过 RS232 接口进行数据输出	99
第二节 加工中心的对刀方法	100
一、采用杠杆百分表（或千分表）对刀	100

二、采用碰刀或试切方式对刀	101
三、采用寻边器对刀	102
四、采用机外对刀仪对刀	103
五、刀具 Z 向对刀	104
第三节 加工中心的操作步骤	105
第五章 西门子 840D 数控铣床的编程	107
第一节 数控铣床编程基础	107
一、数控系统的功能	107
二、坐标系	110
第二节 西门子 840D 数控系统的编程方法	114
一、基本编程指令	114
二、固定循环	120
三、子程序	128
四、坐标系的转换	130
第三节 西门子系统数控铣床、加工中心编程实例	134
一、轮廓零件编程实例	134
二、槽类零件编程实例	140
三、孔类零件编程实例	147
四、型腔类零件编程实例	161
第六章 自动编程	164
第一节 自动编程概述	164
一、自动编程发展过程	164
二、自动编程的操作步骤	164
三、常见自动编程软件	164
第二节 CAXA 制造工程师软件自动编程	166
一、基本概念与基本操作	166
二、零件的典型加工方法	173
三、CAXA 制造工程师加工实例	188
第三节 Pro/E 软件生成西门子程序实例	204
一、Pro/E 软件实体造型简介	204
二、Pro/E 软件铣削加工方法	209
三、制作适合西门子系统铣床的后处理选配文件	222
四、Pro/E 生成西门子程序实例	231
第七章 数控铣床、加工中心的使用、保养和维修	242
第一节 数控铣床、加工中心的选择与日常维护	242
一、数控铣床、加工中心的选择	242
二、数控铣床、加工中心使用中应注意的问题	244
三、数控铣床、加工中心的维护	245
第二节 数控铣床、加工中心的安装与调试	247

第三节 数控铣床、加工中心的检测与验收·····	249
一、机床外观的检查·····	250
二、机床几何精度的检查·····	250
三、机床定位精度的检查·····	251
四、机床切削精度的检查·····	252
五、随动精度与工艺装备精度的检查·····	252
六、机床性能及数控系统性能检查·····	252
七、其他的检查项目·····	254
第四节 数控机床的故障分类·····	254
一、按故障性质分类·····	255
二、按故障类型分类·····	255
三、按故障产生后有无报警显示分类·····	255
四、按故障发生的部位分类·····	256
五、按故障发生时破坏程度分类·····	257
第五节 西门子系统数控铣床、加工中心维修实例·····	257
一、西门子3系统的维修·····	257
二、西门子8系统维修实例·····	262
三、西门子810/820故障分析及排除·····	268
四、西门子850/880系统的维修·····	279
五、西门子805系统的维修·····	285
六、西门子840C系统的维修·····	286
七、西门子840D系统的组成·····	290
参考文献·····	299

第一章 数控系统概述

第一节 数控机床的组成及其功能

一、数控加工过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-1 所示，主要内容如下。

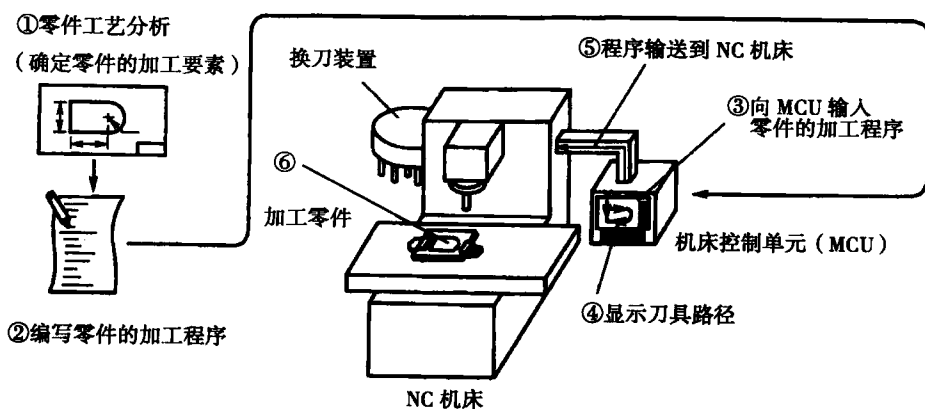


图 1-1 数控加工过程示意图

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单，或用自动编程软件进行 CAD/CAM 操作，直接生成零件的加工程序代码文件。
- (3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入，由编程软件生成的程序，可以通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的控制单元 (MCU)。
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序进行试运行、刀具路径模拟等操作。
- (5) 通过对机床的正确操作进行自动运行，首样试切。
- (6) 检验加工的零件。

二、数控机床的组成及其功能

数控机床一般由数控系统、包含伺服电动机和检测反馈装置的伺服系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成，如图 1-2 所示。

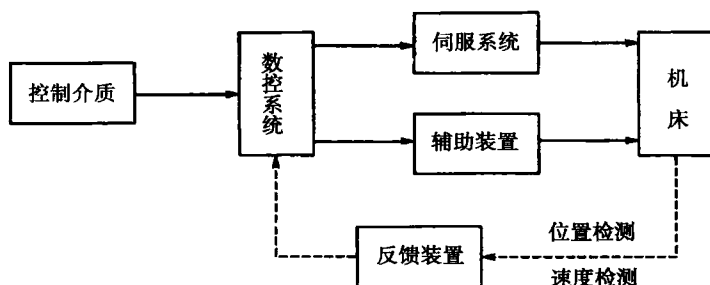


图 1-2 数控机床的组成框图

1. 控制介质

要对数控机床进行控制，就必须在人与机床之间建立某种联系，这种联系的媒介物称为控制介质。在控制介质上保存着加工零件所必需的数控代码。控制介质可以是穿孔纸带、磁带和磁盘，从更广的意义上理解，计算机直接控制（DNC）也可属于控制介质之列。

2. 数控装置

数控装置主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成。其中，控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等处理后，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号的比较，从而控制机床各坐标轴的位移。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节，主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动系统的功率放大后，驱动电动机运转，通过机械传动装置带动工作台或刀架运动。

脉冲当量是衡量数控机床的重要参数。数控装置每输出一个脉冲信号使机床工作台移动的位移量叫做脉冲当量。一般的数控机床脉冲当量可达到 0.001mm/脉冲，精密机床要求达到 0.0001mm/脉冲。

4. 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置（ATC，Automatic Tool Changer）、自动交换工作台机构（APC，Automatic Pallet Changer）、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

5. 机床本体

数控机床的本体指其机械结构实体。它与传统的普通机床相比较，同样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成，但由于数控机床具有加工精度高、加工效率高等特点，因此，对机床床身的刚度和抗震性也提出了更高的要求，其设计要求比普通机床更严格，制造要求更精密。

第二节 数控系统的分类

一、按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高档三类。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期，划分标准也会不同。就目前的发展水平看，可以根据表 1-1 的一些功能及指标，将各种类型的数控系统分为低、中、高档三类。其中，中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。经济型数控属于低档数控，主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μ m	1 μ m	0.1 μ m
GOO 速度	3 ~ 8m/min	10 ~ 24m/min	24 ~ 100m/min
伺服类型	开环及步进电机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2 ~ 3	2 ~ 4	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232 或 DNC	RS232、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT：图形、人机对话	CRT：三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大的内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器

二、按伺服系统分类

1. 开环控制系统

开环控制系统结构简单，没有测量反馈装置。同时，数控装置发出的指令信号流是单向的，调试方便，工作比较稳定，维修简便，成本也较低，但因为无位置反馈，所以精度不高。

2. 半闭环控制系统

这类系统的位置检测装置安装在电动机或丝杠轴端，通过角位移的测量间接得出机床工作台的实际位置，其工作原理如图 1-3 所示。半闭环控制系统的特点是精度及稳定性

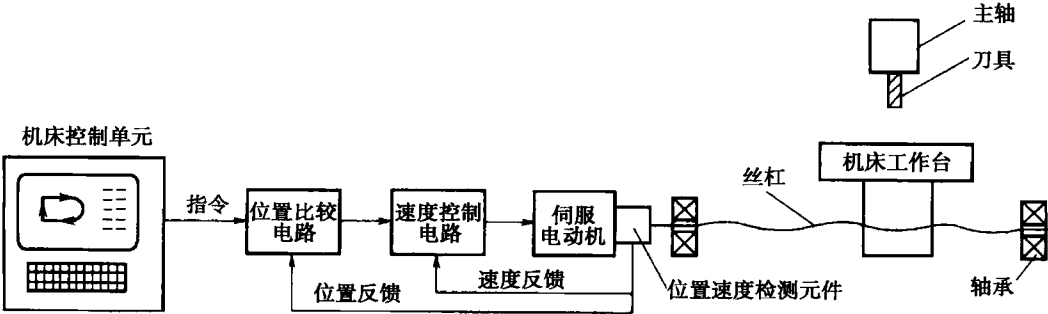


图 1-3 半闭环控制系统工作原理框图

较高，价格适中，调试维修也较容易，目前应用比较普遍。

3. 闭环控制系统

这类系统的位置检测装置安装在机床工作台上，将工作台的实际位置检测出来，并与 CNC 装置的指令位置进行比较，用差值进行控制。闭环控制系统的特点是加工精度高，但调试和维修比较复杂，稳定性难以控制，成本也比较高。

三、按数控系统的制造方式分类

1. 专用型数控系统

这类数控系统是各制造厂家专门设计和制造的，布局合理，结构紧凑，专用性强，但硬件之间彼此不能交换和替代，没有通用性。SIEMENS 数控系统、FANUC 数控系统及我国一些数控系统生产厂家生产的数控系统等都属此类。

2. 通用型数控系统

这类数控系统是以 PC 机作为 CNC 装置的支持平台，再由各数控机床制造厂根据数控的需要，插入自己的控制卡和数控软件，构成相应的 CNC 装置。其通用性强，易于实现升级换代，且抗干扰能力强。

第三节 西门子数控系统简介

一、常用数控系统

日本 FANUC、德国 SIEMENS、西班牙 FAGOR、德国 HEIDENHAIN、日本 MITSUBISHI 等公司的数控系统及相关产品，在数控机床行业占据主导地位，我国的数控产品以华中数控、航天数控为代表，也已将高性能数控系统产业化。

第八届中国国际机床展览会期间，中国机床工具工业协会数控系统分会组织了对参展机床所配置的数控系统装置情况的调查。表 1-2 为参展机床使用数控系统调查表。

表 1-2 参展机床使用数控系统调查表

序号	系统生产商	数量（台）	比例	序号	系统生产商	数量（台）	比例
1	FANUC	166	45.23%	11	大森	3	0.82%
2	SIEMENS	97	26.43%	12	DYNA	3	0.82%
3	三菱	28	7.63%	13	BROTHER	2	0.54%
4	FIDIA	6	1.63%	14	NUM	2	0.54%
5	海德汉	6	1.63%	15	KND	2	0.54%
6	HAAS	6	1.63%	16	台湾	2	0.54%
7	广州数控	5	1.36%	17	航天数控	1	0.27%
8	华中数控	4	1.09%	18	清华数控	1	0.27%
9	FAGOR	4	1.09%	19	其他	25	6.81%
10	大隈	4	1.09%				

二、西门子典型数控系统

西门子数控系统 SINUMERIK 发展了很多代, 主要有 SINUMERIK3/8/810/820/850/880/805/802/840 系列。目前广泛使用的有 802、810、840 等。

1. SINUMERIK 802S/C

用于车床、铣床等, 可控制 3 个进给轴和 1 个主轴, 802S 适用于步进电机驱动, 802C 适用于伺服电机驱动, 具有数字 I/O 接口。

2. SINUMERIK 802D

具有免维护性能的 SINUMERIK 802D, 其核心部件——PCU (面板控制单元) 将 CNC、PLC、人机界面和通讯等功能集成于一体。可靠性高, 易于安装。SINUMERIK 802D 可控制 4 个进给轴和 1 个数字或模拟主轴。通过生产现场总线 PROFIBUS 将驱动器、输入/输出模块连接起来。模块化的驱动装置 SIMODRIVE611Ue 配套 1FK6 系列伺服电机, 为机床提供了全数字化的动力。通过视窗化的调试工具软件, 可以便捷地设置驱动参数, 并对驱动器的控制参数进行动态优化。SINUMERIK 802D 集成了内置 PLC 系统, 对机床进行逻辑控制。采用标准的 PLC 的编程语言 Micro/WIN 进行控制逻辑设计。并且随机提供标准的 PLC 子程序库和实例程序, 简化了制造厂设计过程, 缩短了设计周期。

3. SINUMERIK 810D

在数字化控制的领域中, SINUMERIK 810D 第一次将 CNC 和驱动控制集成在一块板子上。快速的循环处理能力, 使其在模块加工中独显威力。SINUMERIK 810D NC 软件选件有一系列突出优势, 例如提前预测功能, 可以在集成控制系统上实现快速控制。另一个例子是坐标变换功能。固定点停止可以用来卡紧工件或定义简单参考点。模拟量控制模拟信号输出; 刀具管理也是另一种功能强大的管理软件选件。样条插补功能 (A、B、C 样条) 用来产生平滑过渡; 压缩功能用来压缩 NC 记录; 多项式插补功能可以提高 810D/810DE 的运行速度; 温度补偿功能使数控系统在高技术、高速度运行状态下保持正常温度。此外, 系统还提供了钻、铣、车等加工循环。

4. SINUMERIK 840D

西门子 840D 是全数字化数控系统, 具有高度模块化及规范化的结构, 它将 CNC 和驱动控制集成在一块板子上, 将闭环控制的全部硬件和软件集成在 1cm^2 的空间中, 便于操作、编程和监控。

840D 与西门子 611D 伺服驱动模块及西门子 S7-300PLC 模块构成的全数字化数控系统, 能实现钻削、车削、铣削、磨削等数控功能, 也能应用于剪切、冲压、激光加工等数控加工领域。

840D 系统的主要性能及特点有以下几个方面。

(1) 控制类型。采用 32 位微处理器, 实现 CNC 控制, 可用于系列机床, 如车床、钻床、铣床、磨床, 可完成 CNC 连续轨迹控制以及内部集成式 PLC 控制。

(2) 机床配置。可实现钻、车、铣、磨、切割、冲、激光加工和搬运设备的控制, 备有全数字化的 SIMODRIVE611 数字驱动模块。最多可控制 31 个进给轴和主轴, 进给和快速进给的速度范围为 $10 \times 10^{-3} \sim 999\text{mm/min}$ 。其插补、三阶多项式插补、控制值互联和曲线表插补功能为加工各类曲线、曲面类零件提供了便利条件。此外, 还具备进给轴和主

轴同步操作的功能。

(3) 操作方式。主要有 AUTOMATIC (自动)、JOG (手动)、TEACH IN (交互式程序编制)、MDA (手动过程数据输入)。

(4) 轮廓和补偿。840D 可根据用户程序, 进行轮廓的冲突检测、刀具半径补偿的接近和退出策略及交点计算、刀具长度补偿、螺距误差补偿和测量系统误差补偿、反向间隙补偿、过象限误差补偿等。

(5) 安全保护功能。数控系统可通过预先设置软极限开关的方法, 进行工作区域的限制, 程序进行减速, 对主轴的运行还可以进行监控。

(6) NC 编程。超程时可以触发 840D 系统的 NC 编程, 符合 DIN 66025 标准, 具有高级语言编程特色的程序编辑器, 可进行公制、英制尺寸或混合尺寸的编程, 程序编制与加工可同时进行, 系统具备 1.5 兆字节的用户内存, 用于零件程序、刀具偏置、补偿的存储。

(7) PLC 编程。840D 的集成式 PLC 完全以标准 SIMATIC S7 模块为基础, PLC 程序和数据内存可扩展到 288KB, I/O 模块可扩展到 2048 个输入/输出点, PLC 程序可以极高的采样速率监视数字输入, 向数控机床发送运动停止/启动等命令。

(8) 操作部分硬件。840D 系统提供有标准的 PC 软件、硬盘、奔腾处理器, 用户可在 MS—Windows98/2000 下开发自定义的界面。此外, 2 个通用接口 RS - 232 可使主机与外部设备进行通信, 用户还可通过磁盘驱动器接口和打印机并行接口完成程序存储、读入及打印工作。

(9) 显示部分。840D 提供了多语种的显示功能, 用户只需按一下按钮, 即可将用户界面从一种语言转换为另一种语言, 系统提供的语言有中文、英语、德语、西班牙语、法语、意大利语。显示屏上可显示程序块、电动机轴位置、操作状态等信息。

(10) 数据通信。840D 系统配有 RS - 232C/TTY 通用操作员接口, 加工过程中可同时通过通用接口进行数据输入/输出。此外, 用 PCIN 软件可以进行串行数据通讯, 通过 RS - 232 接口可方便地使 840D 与西门子编程器或普通的个人电脑连接起来, 进行加工程序、PLC 程序、加工参数等各种信息的双向通讯。用 SINDNC 软件可以通过标准网络进行数据传送, 还可以用 CNC 高级编程语言进行程序的协调。

当前, SINUMERIK 810D/840D 数控系统已被大量机床生产厂家所采用, 表 1 - 3 列举了几个实际应用的例子。

表 1 - 3 选用 SINUMERIK 810D/840D 数控系统数控机床举例

机床名称	机床型号	生产厂家
数控车床	CK1440A	南京数控机床有限公司
数控铣床	XKA5750	北京第一机床厂
立式加工中心	TH56 系列	江苏多棱数控机床股份有限公司
五联动加工中心	KHV1050	自贡长征机床有限责任公司
五轴车铣中心	SSCKZ63 - 5	沈阳数控机床有限责任公司
卧式铣镗加工中心	TH6940	中捷机床有限公司
数控立式车床	CKZ5125	沈阳第一机床厂

续表

机床名称	机床型号	生产厂家
龙门镗铣加工中心	XH24 系列	济南二机床集团有限公司
自动数控内圆磨床	MZK2110	无锡机床股份有限公司
数控液压转塔冲床	J92Y 系列	济南二机床集团有限公司

第四节 数控技术的发展和机遇

数控系统是数控产品的核心技术之一，我国从 1958 年开始研究数控技术，开发数控产品，经过不断的调整、优化、重组、开拓，通过自行研究、引进合作、独立开发、推进产业化进程，国产数控系统已经取得重大突破。现在，我国的数控产业已经开始在产业化的道路上开拓前进，但也面临着更严峻的挑战。

一、数控系统产业化的现状

目前，我国数控机床生产厂有 100 多家，能批量生产的企业有 42 家（国有企业 30 家，民营企业 5 家，合资、独资企业 7 家），每家企业平均年产量 40 ~ 50 台，几家重点企业年产量可达 400 ~ 700 台；数控系统（包括主轴和进给驱动单元）生产企业约 50 家，其中，生产具有一定批量的企业有 8 家（国有企业 3 家，民营企业 2 家，合资、独资企业 3 家）；生产数控机床配套产品的企业共计 300 余家，产品品种包括 8 大类 2000 种以上。我国数控系统分为 3 种类型，即经济型、普及型和高级型。这是根据当前市场需求的实际情况，按技术应用不同领域和复杂程度进行的阶段性标准来划分的。在经济型数控系统中具有很大优势，当前每年数千台经济型数控车床和电加工机床的市场上，国产数控系统是“一花独秀”（有 10% 左右的是合资企业产品）。在普及型数控系统的市场中正在取得进展。进入 20 世纪 90 年代以来，我国数控系统的各方面研究力量在集中优势、突破关键、以我为主、发展产业的原则基础上，逐步形成了以航天数控集团、机电集团、华中数控、蓝天数控等以生产普及型数控系统为主的国有企业，以及北京—法那科、西门子数控（南京）有限公司等合资企业的基本力量。当然，拥有我国自主知识产权的数控系统在市场开拓上仍要尽更大的力量。

二、数控技术的发展状况

20 世纪 80 年代以来，国家对数控机床的发展十分重视，经历了“六五”、“七五”期间的消化吸收引进技术和“八五”期间科技攻关开发自主知识产权数控系统两个阶段，为数控机床的产业化奠定了良好基础，并取得了长足的进步。“九五”期间，数控机床发展已进入实现产业化阶段。数控机床新开发品种 300 个，有一定的覆盖面。新开发的国产数控机床产品大部分达到国际上 20 世纪 80 年代中期水平，部分达到 20 世纪 90 年代水平，为国家重点建设提供了一批高水平数控机床。在技术上也取得了突破，如高速主轴制造技术（12000 ~ 18000r/min）、快速进给（60m/min）、快速换刀（1.5s）、柔性制造、快速成形制造技术等，为国产数控机床的发展奠定了基础。当前，我国数控系统正处在由研究开

发阶段向推广应用阶段过渡的关键时期，也是由封闭型系统向开放型系统过渡的时期。从生产规模上看，已有航天数控集团、华中数控系统有限公司、北京机床研究所等可实现批量生产的产业化基地。

三、数控产业发展面临的问题

(1) 缺乏产业规模。在一段时间里，我国数控机床产品品种相对较少，开发和交货周期较长，由于没有按市场需求进行开发，批量不大，不能满足市场需求，市场占有率较低。

(2) 缺乏发展数控产业的政策和技术配套体系，对国产数控机床的必要保护显得过于单薄。

(3) 缺乏技术创新、产品更新和产业调整的内在动力。

(4) 面临国外强手竞争的巨大压力。进入 20 世纪 90 年代以来，我国国内市场对数控机床和数控系统的需求量迅速增长，成为工业发达国家竞相争夺的目标。面对强手如林的国际竞争对手，国内数控机床和数控系统无论是性能、质量，还是价格，都难以与发达国家产品相抗衡，面临着进口冲击的强大压力。

四、数控产业发展的机遇

我国数控机床从 20 世纪 80 年代以来有了迅速发展，平均年产量增长 20% 以上。另外，随着制造业的全球化，制造业大量向我国转移和集中，加之我国加入世界贸易组织 (WTO)，我国制造业和制造科学研究与开发人员正面临着前所未有的机遇和挑战。在这种情况下，数控技术作为对传统制造技术进行技术提升的手段，得到了前所未有的发展机遇。

五、我国与世界先进水平的差距

目前，德国和瑞士的机床精度最高。综合起来，德国的水平最高，日本的产值最大。中国、韩国基本属于同一水平。就门类、种类多少而言，我们应该能进世界前 4 名，但我们的技术水平与世界先进水平还有一定的差距。

首先是精度普遍不够。只有少数几种产品达到欧洲标准定位精度。精度差距只是表面现象，其实质是基础技术差距。如普遍未进行有限元分析，未做动刚度试验；大多未采用定位精度软件补偿技术、温度变形补偿技术、高速主轴系统的动平衡技术等。

其次是基础材料开发方面的差距。

第三是高动静刚度主机结构和整机性能开发的差距。高速机床主机结构设计方向是增强刚性和减轻移动部件重量，如国际普遍采用龙门式、框式、O 形整体结构，箱式结构，L 形床身，三轴移动移出机身，侧挂箱式卧式加工中心等。我们则大多未开发。

还有一个就是应用技术的差距。如国外已开始普及的远程服务技术，我们尚待开发；交钥匙工程——从机床选择、工艺装备（刀、夹、附、检具）配置与提供到切削用量的确定，尚待开发；展出的高速机床，普遍不能做硬切削、干切削表演，高速切削机制及切削数据库的研究我国近乎空白；不能提供高速切削软件包等。

当然，关键配套件，特别是新兴配套件差距较大。如电主轴、高速滚珠丝杠副、直线电机、高速高精全数字式数控系统、高精度高频响的位置检测系统等。