

机床数控化改造技术

罗永顺 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机床数控化改造技术

主编 罗永顺

参编 梁建玲 范美芳 张秀松
罗燕玲 郭映映 王新玲

机械工业出版社

本书主要介绍了数控机床的基本结构和工作原理,详细阐述了数控系统、伺服系统、机械结构、电气系统、液压系统改造设计中使用的技术、方法及出现的常见问题及解决方法,并简要介绍了数控机床的精度及可靠性的分析与实现。本书能准确、详细地指导学生和技术人员实施对机床的数控化改造。

本书是机电一体化及机械制造各专业的大学本科、专科学生的教材,并可作为从事机电一体化和机床数控化改造的工程技术人员工作的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控化改造技术/罗永顺主编. —北京:机械工业出版社, 2007.5

ISBN 978-7-111-21584-4

I. 机… II. 罗… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第080193号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:周国萍 版式设计:霍永明 责任校对:王欣

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2007年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·7.875印张·304千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21584-4

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

目前,先进制造技术(如 CIMS、FMS、DNC、CNC 等)已广泛应用到工业、民用各个领域,如汽车制造、船舶制造、石油化工等。计算机技术的飞速发展使先进制造技术的发展如虎添翼,并有了质的飞跃。因此,市场对先进制造技术中的生产设备——数控机床的需求也大大提升。

数控机床是装备制造业的工作母机,是实现制造技术和装备现代化的基石,是保证高新技术产业发展和国防军工现代化的战略装备。目前,由于我国数控机床产业发展相对滞后,已经制约了整个装备制造业的发展,直接影响到国防军工产业安全。国内外装备制造业的发展经验表明,发展装备制造业,数控机床是基础。“十五”期间,我国机床工业连续几年快速发展,我国机床产值已从“九五”末期的世界第八位,跃居到 2005 年的世界第三位。在全球倡导绿色制造的大环境下,机床数控化改造成为了热点。它包括普通机床的数控化改造和数控机床的升级改造。

众所周知,我国机电行业(包括机械、电子、汽车、航空、航天、轻工、纺织、冶金、煤炭、邮电、船舶等)拥有的机床结构比较陈旧,操作系统复杂,控制系统落后,生产效率低下,如果靠购置新的数控机床取而代之,显然耗资巨大,不符合国情。因此,采用数控技术对现有机床进行改造,符合国家的产业政策。另外,从市场容量来讲,不论是汽车制造业、模具制造业,还是军工企业,机床数控化改造都蕴藏着无限商机。

机床数控化改造主要是针对数控系统、伺服系统、辅助控制系统和液压系统的改造。由于数控机床本身是机电液一体化、结构复杂的产品,因此在改造中是否按照准确的计算方法计算,是否按照规则、要求选择改造方案和元器件的类型是决定改造后机床的性能、运行精度、加工质量和可靠性的关键因素。

本书着眼于数控机床基本部件的功能、类型,说明了数控机床的改造方法,提供了详细的计算公式、选择原则和选择方案,并对改造中的难点进行了举例说明。同时根据已有的改造案例总结改造中出现的问题,并提出了相

IV

应的解决办法。

本书由罗永顺主编，并编写第1章，广东技术师范学院范美芳编写了第2章，广东技术师范学院张秀松编写了第3章，广东铁路职业技术学院梁建玲编写第4章，广东省国防工业职工大学王新玲编写第5章，广东技术师范学院郭映映编写第6章，广东技术师范学院罗燕玲编写第7、8章。

在编写过程中，作者参考了一些国内外有关的研究成果，还有其他同志一起绘制插图，修改稿件，付出了辛勤的劳动，在此，作者对他们表示衷心的感谢！另外在反复审稿和修改书稿的过程中，家人给了我无私的帮助和支持，在此对我亲爱的父母、先生和孩子表示深深的谢意！

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

罗永顺

目 录

前言

第 1 章 数控机床的概述	1
1.1 数控机床	1
1.1.1 数控机床的概念	1
1.1.2 数控机床的产生及发展简史	1
1.1.3 数控机床的特点	2
1.1.4 数控机床的组成	3
1.1.5 数控机床的分类	4
1.2 机床数控化改造	6
1.2.1 机床数控化改造的意义	7
1.2.2 机床数控化改造的必要性和迫切性	7
1.2.3 经数控化改造后机床的优越性	8
1.2.4 机床数控化改造的内容	8
1.2.5 机床数控化改造的社会和经济问题	10
1.3 机床数控化改造的现状	12
1.3.1 国外数控机床的发展现状	12
1.3.2 国内数控机床的现状	13
1.3.3 机床数控化改造市场研究	13
1.4 机床数控化改造的发展趋势	14
1.4.1 数控化改造后机床性能的大幅提高	14
1.4.2 对机床精度、速度要求的提高	15
1.4.3 辅助装置在数控化改造机床上的使用	16
1.4.4 机床功能的进一步提高	18
1.4.5 我国机床数控化改造的发展趋势和对策研究	18
第 2 章 数控系统的改造设计	21
2.1 数控系统概述	21
2.1.1 数控系统的结构组成	21
2.1.2 数控系统的功能和工作原理	22
2.1.3 数控系统的分类	23
2.2 典型的数控系统	26
2.2.1 FANUC 数控系统	26
2.2.2 SIEMENS 数控系统	33
2.2.3 三菱数控系统	41

2.2.4 华中数控系统	44
2.2.5 其他数控系统	46
2.3 数控化改造中数控系统的选择和调试	49
2.3.1 数控系统的选择	49
2.3.2 数控系统的安装及调试	50
2.3.3 车床数控化改造中数控系统的选择	62
2.3.4 铣床数控化改造中数控系统的选择	63
2.3.5 加工中心数控系统的升级	66
2.4 改造中常见的问题	71
第3章 伺服系统的改造设计	73
3.1 伺服系统概述	73
3.1.1 伺服系统的类型	73
3.1.2 执行元件的类型	74
3.2 步进电动机的选择计算方法及驱动器的选择	85
3.2.1 步进电动机的选用原则	85
3.2.2 步进电动机的驱动	86
3.2.3 步进电动机的计算选择方法	91
3.3 直流伺服电动机的选择计算方法	93
3.3.1 直流电动机及特点	93
3.3.2 直流电动机的选择原则	96
3.4 交流伺服电动机的选择计算方法	98
3.4.1 交流电动机的选择原则和选择计算	99
3.4.2 交流调速方式的选择方法	101
3.5 变频器的选择	102
3.5.1 变频器的分类与特点	102
3.5.2 变频器的选择	104
3.5.3 变频器选择中的注意事项	107
3.5.4 干扰的危害	108
3.6 位置和速度传感器的使用	109
3.6.1 位置传感器概述	109
3.6.2 位置传感器的应用	109
3.6.3 位置传感器的安装和调试	114
3.6.4 速度传感器	114
3.7 主运动伺服系统的改造	121
3.7.1 主轴驱动	121
3.7.2 主运动系统的改造方法	124
3.8 进给伺服系统的改造	125
3.8.1 进给伺服系统的概述	126

3.8.2 进给伺服系统的分析	127
3.8.3 进给系统的改造方法	131
3.9 改造中的常见问题	133
第4章 机械结构的改造设计	134
4.1 数控机床的机械结构特点	134
4.2 典型机械部件的设计和改造	135
4.2.1 卧式车床的数控化改造	135
4.2.2 铣床的数控化改造	149
4.3 改造中的常见问题	151
第5章 电气系统的改造设计	153
5.1 数控机床电气控制系统	153
5.1.1 电气控制技术的发展概述	153
5.1.2 数控机床电气控制系统的组成	154
5.1.3 数控机床电气控制系统的特点	155
5.2 电气系统的设计改造	156
5.2.1 电气系统的改造原则	156
5.2.2 电气控制系统的改造方法	159
5.2.3 电气系统改造中涉及的元件简介	165
5.3 电气控制系统与其他部件的连接	169
5.3.1 在数控机床中与弱电部分的连接	169
5.3.2 强电的接口电路设计和控制面板的连接	169
5.4 对电磁兼容性的考虑	172
5.4.1 数控机床存在的电磁兼容性	172
5.4.2 干扰的排除方法	172
5.5 改造中的常见问题	173
5.6 改造中的注意事项	174
第6章 液压系统的改造设计	176
6.1 数控机床液压系统	176
6.1.1 数控机床液压系统的组成	179
6.1.2 数控机床液压系统的特点	179
6.1.3 液压传动的工作原理	180
6.2 液压系统的设计改造	182
6.2.1 液压系统的改造原则	182
6.2.2 液压工况分析	183
6.2.3 液压系统主要参数的确定	186
6.2.4 液压系统原理图的拟定和方案论证	187
6.2.5 计算和选择液压元件	189
6.2.6 液压系统性能验算	191

6.2.7 液压回路的设计	193
6.2.8 液压系统的安装	202
6.3 设计缺陷分析及补救措施	205
第7章 数控机床的精度及可靠性分析	209
7.1 数控机床的精度	209
7.1.1 数控机床的精度指标	209
7.1.2 经济型数控机床的定位精度分析	210
7.1.3 经济型数控机床定位误差的补偿方法	211
7.1.4 改造后数控机床精度的测量和误差的补偿	212
7.2 数控机床的精度检查	215
7.2.1 机床几何精度的检查	215
7.2.2 机床定位精度的检查	216
7.2.3 机床切削精度的检查	218
7.3 数控机床的可靠性	219
7.3.1 我国数控机床的可靠性	219
7.3.2 影响数控机床可靠性的因素	222
7.4 数控化改造中影响数控机床性能的因素	224
7.4.1 滚珠丝杠装配精度的影响	224
7.4.2 丝杠螺距误差的影响	225
7.4.3 反向间隙的影响	225
7.4.4 数控系统的影响	226
7.4.5 进给驱动电动机的影响	227
第8章 数控机床的验收和日常维护	228
8.1 数控机床的验收	228
8.1.1 机床外观检查	228
8.1.2 机床性能及数控功能试验	229
8.1.3 机床几何精度检查	231
8.1.4 机床定位精度检查	233
8.1.5 机床切削精度检查	233
8.2 数控机床的日常维护	234
8.2.1 数控机床的操作维护规程	234
8.2.2 数控机床的日常维护和保养	236
参考文献	241

第1章 数控机床的概述

1.1 数控机床

1.1.1 数控机床的概念

数控机床是装备了数控系统的机床，既包括 NC 机床，也包括 CNC 机床。数字控制机床 (Numerical Controlled Machine Tool)，简称 NC 机床。数控系统是一种控制系统，它能控制机床的运动和加工过程。计算机数控机床 (Computerized Numerical Controlled Machine Tool)，简称 CNC 机床，是利用具有专门存储程序的计算机来实现对机床的全部或部分控制功能。工作原理是：将数控加工程序输入到数控装置，再由数控装置控制主运动的变速、起停、进给运动的方向、速度和位移大小，以及诸如刀具的选择、交换、工件夹紧、松开和冷却的起、停等动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格按数控程序的要求进行工作。

1.1.2 数控机床的产生及发展简史

1. 数控机床的产生

随着科学技术的发展，机械产品的结构越来越合理，其性能、精度和效率日趋提高，因此对加工机械产品零部件的生产设备——机床也相应地提出了高性能、高精度与高自动化的要求。

在机械产品中，单件与小批量产品占到 70% ~ 80%，这类产品一般都采用通用机床加工，当产品改变时，机床与工艺装备均需作相应的变换和调整，而且通用机床的自动化程度不高，基本上需要人工操作，难以提高生产效率和保证生产质量。特别是一些由曲线、曲面轮廓组成的复杂零件，只能借助靠模和仿形机床，或者借助划线和样板手工操作的方法来加工，加工精度和生产效率受到很大的限制。

数字控制机床就是为了解决单件、小批量，特别是复杂型面零件加工的自动化，并保证质量要求而产生的。

2. 数控机床的发展简史

1946 年诞生了世界上第一台电子计算机。6 年后，即在 1952 年，计算机技术应用到了机床上，在美国诞生了第一台数控机床。从此，传统机床产生了质的变化。近半个世纪以来，数控系统经历了两个阶段和六代的发展。

第一阶段：数控（NC）阶段（1952～1970年）。早期采用数字逻辑电路组合成一台机床，专用计算机作为数控系统，被称为硬件连接数控（HARD-WIREDNC），简称为数控（NC）。随着元器件的发展，这个阶段经历了三代，即1952年的第一代——电子管时代；1959年的第二代——晶体管时代；1965年的第三代——小规模集成电路时代。

第二阶段：计算机数控（CNC）阶段（1970年～现在）。到1970年，通用小型计算机作为数控系统的核心部件，从此进入了计算机数控（CNC）阶段。到1971年，美国INTEL公司第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器，采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上，称之为微处理器（MICROPROCESSOR），又可称为中央处理单元（简称CPU）。

到1974年，微处理器被应用于数控系统。到了1990年，PC的性能已发展到较高的水平，从8位、16位，发展到32位，可以满足作为数控系统核心部件的要求。数控系统从此进入了基于PC的阶段。总之，计算机数控的发展也经历了三代。即1970年的第四代——小型计算机；1974年的第五代——微处理器和1990年的第六代——基于PC（国外称为PC-BASED）。必须指出，数控系统发展到了第五代以后，才从根本上解决了可靠性低、价格极为昂贵、应用很不方便（主要是编程困难）等极为关键的问题。因此，数控技术经过了近30年的发展才走向普及应用。

1.1.3 数控机床的特点

数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用，是因为它具有如下特点：

1) 能适应不同零件的自动加工。数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行加工的，当改变加工零件时，只要改变数控程序，不必用凸轮、靠模、样板或钻镗模等专用工艺装备。因此，生产准备周期短，有利于机械产品的更新换代。

2) 工序集中。数控机床在结构和功能设计时，就充分考虑了工序集中，使机床在粗加工时有足够的刚度，在精加工时又有可靠的精度。因此，一次装夹可实现粗加工到精加工的不同工序，减少了机床、夹具的数量，也减少了因重新装夹造成的误差，同时能够缩短等待和装夹等辅助时间。

3) 生产效率和加工精度高、加工质量稳定。在数控机床上，可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。还有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短，而且无需工序间的检验与测量。所以，比普通机床的生产率高3～4倍，甚至更高。同时，由于数控机床的精度较高，可以利用软件进行精度校正和补偿，又因为它是根据数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差。因此，不但加工精度高，而且质量稳定。

4) 能完成复杂型面的加工。数控机床几乎可以实现任何轨迹的运动和任何形状的空间曲面的加工, 如用普通机床难以加工的螺旋桨、汽轮机的叶片等空间曲面, 采用数控机床则能较好地完成这些曲面的加工。能实现复杂型面加工是数控机床较突出的优点。

5) 减轻工人的劳动强度。由于数控机床实现自动化或半自动化加工, 许多辅助动作均由机床完成, 因此工人的劳动量减少。

1.1.4 数控机床的组成

如图 1-1 所示, 数控机床由以下几个部分组成。

1. 程序编制及程序载体

数控加工程序是数控系统自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上, 确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置, 即零件在机床上的安装位置; 刀具与零件相对位置的尺寸参数; 零件加工的工艺路线或加工顺序; 主运动的起、停、换向、变速; 进给运动的速度、位移大小等工艺参数, 以及辅助装置的动作。然后应用标准的由文字、数字和符号组成的数控代码, 按规定的方法和格式, 将零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息, 编制成零件加工的数控程序单。

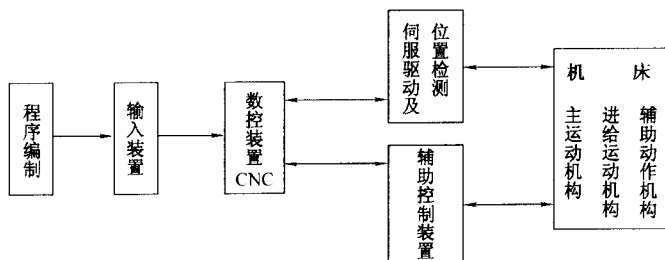


图 1-1 数控机床机构框图

编好的数控程序存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上, 它可以是穿孔纸带、软磁盘等, 采用哪一种存储载体, 取决于数控装置的类型; 也可以在它的数控装置上直接编程。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号, 传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同, 输入装置可以是录音机或软盘驱动器。有些数控机床, 不用任何程序存储载体, 而是将数控程序单的内容通过数控装置的键盘, 用手工方式 (MDI 方式) 输入, 或者将数控程序用计算机以网络通信方式传送到数控装置。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心，它接收输入装置送来的脉冲信号，经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令控制机床的各个部分，进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是：经插补运算决定的各坐标轴（即做进给运动的各执行部件）的进给速度、进给方向和位移量指令，送伺服驱动系统驱动执行部件做进给运动。其他还有主运动部件的变速、换向和起停信号；选择和交换刀具的刀具指令信号；控制冷却、润滑的启停、工件和机床部件松开、夹紧、分度工作台转位等辅助指令信号等。

4. 辅助控制装置

辅助控制装置也称为强电控制装置，是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统，其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号，经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件，以完成指令所规定的动作。此外，还有开关信号经它送数控装置进行处理。

5. 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统又由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。每个做进给运动的执行部件，都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。位置检测装置检测位移和速度，发送反馈信号，构成闭环或半闭环控制。

6. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括主运动部件，进给运动执行部件（如工作台），拖板及其传动部件和床身立柱等支承部件，此外，还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗振性等方面要求更高，而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

1.1.5 数控机床的分类

按照不同的分类方式，数控机床有不同的类型。目前，数控机床品种齐全，规格繁多。为了研究数控机床，可以从不同的角度和按照多种原则来进行分类。

1. 按控制系统的特点分类

（1）点位控制数控机床 这类数控机床的数控装置只要求精确地控制一个坐标点到另一个坐标点的定位精度，而不限制从一点到另一点的运动轨迹，且在移动过程中不进行任何加工。为了精确定位和提高生产率，首先系统高速运行，然后进行1~3级减速，使之慢速趋近定位点，减小定位误差。这类数控机

床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

(2) 直线控制数控机床 这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且要求从一点到另一点之间按直线运动进行切削加工。其路线一般是由和各轴线平行的直线段组成(也包括 45° 的斜线)。运动时的速度是可以控制的,对于不同的刀具和工件,可以选择不同的切削用量。这一类数控机床包括:数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制的数控机床 这类数控机床的数控装置能同时控制两个或两个以上坐标轴,具有插补功能。对位移和速度进行严格的不间断的控制,具有轮廓控制功能,即可以加工曲线或者曲面零件。轮廓控制数控机床包括两坐标及两坐标以上的数控铣床,可加工曲面的数控车床、加工中心等。现代数控机床绝大部分都具有两坐标或两坐标以上联动的功能。

按照联动(同时控制)轴数分,可以分为2轴联动、2.5轴联动、3轴联动、4轴联动、5轴联动等数控机床。

2. 按伺服系统的类型分类

(1) 开环控制数控机床 这类数控机床没有检测反馈装置,数控装置发出的指令信号的流程是单向的,其精度主要决定于伺服系统的性能,这类机床比较稳定,调试方便。该类机床主要是经济型、中小型机床。

(2) 闭环控制数控机床 这类数控机床的数控装置中插补器发出的指令信号与工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较,根据其差值不断控制坐标轴运动,进行误差修正,直至误差消除为止。采用闭环控制的数控机床可以消除由于传动部件在制造中存在的精度误差给工件带来的影响,从而得到很高的精度。但是,由于很多机械传动环节包括在闭环控制的环路内,各部件的摩擦特性、刚性以及间隙等都是非线性量,直接影响伺服系统的调节参数。因此,闭环控制数控机床主要是一些精度要求很高的加工中心、镗铣床、超精车床、超精磨床等。

(3) 半闭环控制数控机床 大多数数控机床采用半闭环控制系统,它的检测元件装在电动机或丝杠的轴端。这种系统的闭环环路内不包括机械传动环节,因此可以获得稳定的控制特性和较好的调节性能。由于采用高分辨率的测量元件(如脉冲编码器),又可以获得比较满意的精度与速度。

3. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床 这类机床和传统的通用机床产品属同种类型,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。加工中心是带有自动换刀装置,在一次装夹后,可以进行多种工序加工的数控机床。

(2) 金属成型类数控机床 金属成型加工是指利用压力加工设备或模具对坯料施加压力,使之产生塑性变形而获得所需形状和尺寸的制作方法。如数控

折弯机、数控弯管机、数控回转压力机等。

(3) 数控特种加工机床 这类机床不使用普通刀具切削工件材料,而是直接利用能量进行加工。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控火焰切割机等。

4. 按照功能水平分类

按照功能水平可以把数控机床分为高、中、低(经济型)档三类。该方法没有一个确切的定义,但可以给人们一个清晰的一般水平的概念。数控机床水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来决定。以下几个方面可作为数控机床档次的参考条件。

(1) 分辨率和进给速度 分辨率为 $10\mu\text{m}$,进给速度为 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$ 属低档;分辨率为 $1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 24\text{m}/\text{min}$ 属中档;分辨率为 $0.1\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 100\text{m}/\text{min}$ 属高档。

(2) 多坐标联动功能 低档数控机床最多联动轴数为 $2\sim 3$ 轴,中、高档则为 $3\sim 5$ 轴以上。

(3) 显示功能 低档数控机床一般只有简单的数码管或简单的阴极射线管 CRT (Cathode Ray Tube) 字符显示。中档数控机床有较齐全的 CRT 显示,不仅有字符,而且还有图形、人机对话、自诊断等功能。高档数控机床还有三维动态图形显示。

(4) 通信功能 低档数控机床无通信功能,中档数控机床有直接数控(也称群控) DNC (Direct Numerical Control) 或 RS232 接口。高档数控机床有制造自动化协议 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 等高性能通信接口,具有联网功能。

(5) 主微处理单元 CPU (Central Processing Unit) 低档数控机床一般采用 8 位 CPU,中、高档数控机床已经由 16 位 CPU 发展到 32 位、64 位 CPU,并使用具有精简指令集的 RISC 处理单元。

此外,进给伺服水平以及可编程序控制器 (PLC) 的功能也是衡量数控机床档次的标准。

经济型数控机床是相对于标准数控机床而言的,不同时期,不同国家含义是不一样的。经济型数控机床是根据机床的实际使用要求,合理地简化系统功能、降低成本的产物。区别于经济型数控机床的是把功能比较齐全的数控机床称为全功能数控机床,或称为标准型数控机床。

1.2 机床数控化改造

机床数控化改造,顾名思义就是在机床上增加微型计算机控制装置,使其

具有一定的自动化能力,以实现预定的加工工艺目标。它是根据生产实际需要提出,并随着机床行业以及技术的不断进步而发展起来的,它的内容是应用成熟数控技术和经验,以适应生产的具体要求为目的,对现有机床的局部结构进行改造,并安装上新部件、新装置、新附件,用计算机控制机床的工作,提高机床的技术性能指标,使之全部或局部达到新数控机床的水平。

1.2.1 机床数控化改造的意义

众所周知,制造业是国民经济的基础产业和支柱产业,是推动国家技术进步的主要力量。加入WTO之后,我国制造业正面临极大的考验和挑战。我国制造业水平与发达国家相比,总体水平偏低,这直接影响到我国工业产品质量的提高和制造成本的降低,影响到我国工业产品的国际市场竞争力。为改变这种落后状况,必须提高制造业的装备水平,特别是机床的数控化率。购置数控机床是提高机床数控化率的途径;对旧机床进行数控化改造,也是提高机床数控化率的重要途径之一。

我国机电行业(包括机械、电子、汽车、航空、航天、轻工、纺织、冶金、煤炭、邮电、船舶等)拥有的机床结构比较陈旧,操作系统复杂,控制系统落后,生产效率低下,如果靠购置新的数控机床取而代之,显然耗资巨大,不符合国情。因此,采用数控技术对现有机床进行改造,符合国家的产业政策。另外,从市场容量来讲,不管是汽车制造业、模具制造业,还是军工企业,机床数控化改造都蕴藏着无限商机。

近年来,美国、日本、德国、英国等发达国家,在制造大量数控机床的同时,也非常重视对普通机床的数控化改造,机床的技术改造市场十分活跃。在美国,机床改造业被称为机床再生(Remufacturing)业;在日本,机床改造业被称为机床改装(Retrofitting)业。机床改造业正逐步从机床制造业中分化出来,形成了用数控技术改造机床和生产线的新的行业和领域。

1.2.2 机床数控化改造的必要性和迫切性

从宏观上看,在20世纪70年代末、80年代初,工业发达国家的军、民机械工业,已开始大规模应用数控机床。其本质是,采用信息技术对传统产业进行技术改造。除在制造过程中采用数控机床、FMC、FMS外,还包括在产品开发中推行CAD、CAE、CAM、虚拟制造,在生产管理中推行MIS(管理信息系统)、CIMS等,以及在其生产的产品中增加信息技术,包括人工智能等的含量。由于采用信息技术对国外军、民机械工业进行深入改造(称之为信息化),最终使得他们的产品在国际军用品和民用品的市场上竞争力大为增强。而我国在信息技术改造传统产业方面比发达国家落后约20年。如在我国机床拥有量中,数

控机床的比重（数控化率）到 1995 年只有 1.9%，而日本在 1994 年已达 20.8%。随着我国现代化制造不断推进，每年都有大量机电产品进口。这也就从宏观上说明了机床数控化改造的必要性和迫切性。

从微观上看，数控机床本身是高科技产品，它比传统机床有很多突出的优越性，这些优越性的发挥，使数控机床的性能有了质的提高，大力推动了制造业的发展。传统机床经过改造后，得到了近似于数控机床的性能，也意味着我国制造业整体水平的提高。

1.2.3 经数控化改造后机床的优越性

经数控化改造后机床的优越性如下：

1) 机床数控化改造可以提高零件的加工精度和生产效率。数控机床不但设计精度较高，而且加工精度还可以靠闭环控制系统的反馈来校正和补偿。因此，可以获得高的加工精度。例如：东方电机厂 $\phi 6.3\text{m}$ 立车数控化改造后，加工球体轴承座零件 S5900mm，其直径偏差在 0.03mm 以内，极大地满足了原设计直径偏差小于 0.09mm 的要求，过去加工该零件需 120 个工时（包括打磨处理），数控化改造后缩短为 20 个工时（不需打磨），生产效率为改造前的 6 倍。

2) 机床数控化改造可以提高机床的性能和质量，加工出普通机床难以加工或者不能加工的复杂型面零件，如航空发动机叶片、整体涡轮等。

3) 机床数控化改造后可以实现加工的柔性自动化，效率可比传统机床提高 3~7 倍。传统机床靠凸轮或挡块等可实现刚性自动化，且只有进行大批量生产时才经济合算；而数控机床只要更换一个程序就可以实现另一工件加工的自动化，从而使单件和小批量生产得以自动化，故称之为“柔性自动化”。

4) 可实现多工序的集中，减少零件在机床间的频繁搬运，降低工件的定位误差。这是自动化带来的效果，如加工中心在工件装夹好后，可实现钻、铣、攻螺纹、扩孔等多工序的加工。这些多工序是在同一基面、同一次装夹下实现的，提高了相关的加工精度。现已出现的多种工序集中的机床，如车削中心、车铣中心、磨削中心等，更是在一台机床上实现了车、铣、钻、铰孔、扩孔的功能。

5) 拥有自动报警、自动监控、自动补偿等多种自检功能，更好地调节了机床加工状态。还可以提示操作者机床故障或编程错误等机床运行中出现的问题。

6) 数控加工降低了工人的劳动强度，节省了劳动力，减少了工装，缩短了新产品试制周期和生产周期，并可对市场需求做出快速反应。

1.2.4 机床数控化改造的内容

机床数控化改造是指以可使用的普通旧机床作为“毛坯”，通过改造手段将