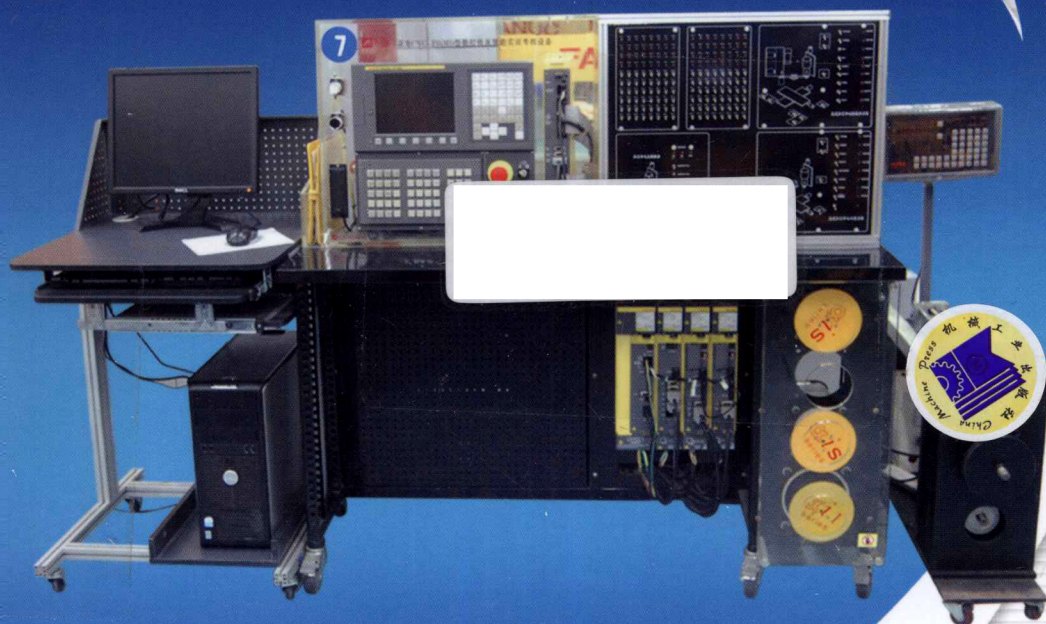


罗永顺 主编

机床数控化 改造技术

JICHUANG SHUKONGHUA GAIZAO JISHU

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机床数控化改造技术

第2版

主编 罗永顺

参编 周 磊 邝治全 梁建玲
李 吉 龙春风 罗燕玲
郭映映



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、关键接口和连接方法,以及改造中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.—2版.—北京:机械工业出版社,2013.3

ISBN 978-7-111-41180-2

I. ①机… II. ①罗… III. ①数控机床 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第009001号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 韩旭东

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

责任印制:邓博

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年4月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.75印张·409千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41180-2

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379733

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

自 2007 年以来,数控机床迅速发展,使数控系统的性能更加丰富,机床附件更为多样化,伺服系统的可选择品种更多。在普通机床的数控化改造中数控系统、伺服电动机和驱动装置可选择的品种更为多样化,因此普通机床的数控化改造需要做一些补充和调整。而且现在大量需要改造的机床已经成为老式的数控机床,改造的重点成为选用新型的数控系统、伺服驱动装置和伺服电动机,以适应高精度和高可靠性的要求。

另外在第 1 版的使用中,也发现了一些问题,如数控系统的选择方法简单、各电器部件接线不够具体详细,伺服参数的选择和使用没有介绍等。这些在第 2 版中做了重点介绍。

在本次修订中,对部分章节的内容进行重写、补充或删减。本次修订的第 1 章由广东技术师范学院的罗永顺编写,第 2 章由广东技术师范学院的李吉和龙春风编写,第 3 章由广东技术师范学院的周磊编写,第 4 章由广东铁路职业技术学院的梁建玲编写,第 5 章由龙春风和广东工程职业技术学院的邝治全编写,第 6 章由广东技术师范学院的李吉和谢健龙编写,第 7 章由广东技术师范学院的罗燕玲编写,第 8 章由广东技术师范学院的郭映映编写。

第 2 版是在第 1 版的基础上改写的,并利用了第 1 版的部分资料,在此谨向第 1 版书的编者表示衷心感谢。

由于内容涉及较广,加之编者水平有限,难免还存在不妥与疏漏之处,恳请读者批评指正。编者邮箱:lysteacher@yeah.net。

罗永顺

第1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

第2版前言

第1版前言

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 2

1.1.5 数控机床的分类 4

1.2 机床数控化改造 5

1.2.1 机床数控化改造的意义 6

1.2.2 机床数控化改造的必要性和迫切性 6

1.2.3 经数控化改造后机床的优越性 6

1.2.4 机床数控化改造的内容 7

1.2.5 机床数控化改造的社会和经济问题 8

1.3 机床数控化改造的现状 9

1.3.1 国外数控机床的发展现状 9

1.3.2 国内数控机床的现状 10

1.3.3 机床数控化改造市场研究 11

1.4 机床数控化改造的发展趋势 11

1.4.1 数控化改造后机床性能的大幅提高 11

1.4.2 对机床精度、速度要求的提高 12

1.4.3 辅助装置在数控化改造机床上的使用 13

1.4.4 机床功能的进一步提高 15

1.4.5 我国机床数控化改造的发展趋势和对策研究 15

第2章 数控系统的改造设计 17

2.1 数控系统概述 17

2.1.1 数控系统的结构组成 17

2.1.2 数控系统的功能和工作原理 18

2.1.3 数控系统的分类 19

2.2 典型的数控系统 21

2.2.1 FANUC 数控系统 21

2.2.2 SIEMENS 数控系统 27

2.2.3 三菱数控系统 34

2.2.4 华中数控系统 36

2.2.5 其他数控系统 38

2.3 典型数控系统的接口技术及其参数设置 40

2.3.1 FANUC Oi 数控系统各主要单元接口及其参数设置 40

2.3.2 SIEMENS 数控系统各主要单元接口及其参数设置 48

2.4 数控化改造中数控系统的选择、安装和调试 55

2.4.1 数控系统的选择 55

2.4.2 数控系统的安装及调试 56

2.4.3 车床数控化改造中数控系统的选择 66

2.4.4 铣床数控化改造中数控系统的选择 66

2.4.5 加工中心数控系统的升级 69

2.5 改造中常见的问题 73

第3章 伺服系统的改造设计 75

3.1 伺服系统概述 75

3.1.1 伺服系统的类型 75

3.1.2 执行元件的类型 76

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 90

3.3 直流伺服电动机的选择计算方法 92

3.3.1 直流电动机及特点 92

3.3.2 直流伺服电动机的技术数据 94

3.4 交流伺服电动机的选择计算方法 97

3.4.1 交流电动机的选择原则和选择计算 97

3.4.2 交流伺服电动机的技术数据 99

3.5 变频器的选择 101

3.5.1 变频器的分类与特点	101	5.3.2 FANUC Oi 系统中 PMC 介绍	184
3.5.2 变频器的选择	102	5.4 SIEMENS 系统与 PLC	186
3.5.3 变频器选择中的注意事项	105	5.4.1 SIEMENS 系列数控系统	186
3.5.4 干扰的危害	105	5.4.2 SIEMENS 810 系列数控系统	186
3.6 位置和速度传感器的使用	106	5.5 华中数控系统的 PLC	187
3.6.1 位置传感器概述	106	5.6 电气控制系统与其他部件的连接	188
3.6.2 位置传感器的应用	106	5.6.1 在数控机床中与弱电部分的 连接	188
3.6.3 位置传感器的安装和调试	110	5.6.2 强电的接口电路设计和控制 面板的连接	188
3.6.4 速度传感器	111	5.7 对电磁兼容性的考虑	191
3.7 主运动伺服系统的改造	116	5.7.1 数控机床存在的电磁兼容性	191
3.7.1 主轴驱动	116	5.7.2 干扰的排除方法	191
3.7.2 主运动系统的改造方法	119	5.8 改造中的常见问题	192
3.8 进给伺服系统的改造	120	5.9 改造中的注意事项	192
3.8.1 进给伺服系统的概述	120	第 6 章 液压系统的改造设计	194
3.8.2 进给伺服系统的分析	122	6.1 数控机床液压系统	194
3.8.3 进给系统的改造方法	125	6.1.1 数控机床液压系统的组成	196
3.9 伺服参数的设定	126	6.1.2 数控机床液压系统的特点	197
3.9.1 伺服系统参数设定的准备条件	127	6.1.3 液压传动的工作原理	198
3.9.2 FANUC 伺服系统参数的设定	128	6.2 液压系统的设计改造	199
3.9.3 SIEMENS 伺服系统参数设定	131	6.2.1 液压系统的改造原则	199
3.9.4 通过 OPIS 进行参数输入	135	6.2.2 液压工况分析	199
3.9.5 华中 HSV-160 系列伺服系统参 数设置	137	6.2.3 液压系统主要参数的确定	202
第 4 章 机械结构的改造设计	145	6.2.4 液压系统原理图的拟定和方 案论证	203
4.1 数控机床的机械结构特点	145	6.2.5 计算和选择液压元件	204
4.2 典型机械部件的设计和改造	146	6.2.6 液压系统性能验算	206
4.2.1 卧式车床的数控化改造	146	6.2.7 液压回路的设计	208
4.2.2 铣床的数控化改造	158	6.2.8 液压系统的安装	216
4.3 改造中的常见问题	160	6.3 机床润滑系统的改造	218
第 5 章 电气系统的改造设计	161	6.3.1 润滑系统的改造原则	218
5.1 数控机床电气控制系统	161	6.3.2 普通机床的润滑系统	218
5.1.1 电气控制技术的发展概述	161	6.3.3 润滑系统改造方案介绍	219
5.1.2 数控机床电气控制系统的组成	161	6.3.4 机床自动润滑系统介绍	220
5.1.3 数控机床电气控制系统的特点	163	6.3.5 润滑系统改造实例	222
5.1.4 PLC 在数控机床中的应用	163	6.4 机床冷却系统的改造	224
5.1.5 PLC 程序	167	6.4.1 冷却系统的改造原则	224
5.2 电气系统的设计改造	171	6.4.2 普通机床的冷却系统	224
5.2.1 电气系统的改造原理	171	6.4.3 冷却系统的改造方案介绍	224
5.2.2 电气控制系统的改造方法	174	6.4.4 新型冷却系统改造介绍	225
5.2.3 电气系统改造中涉及的元件 简介	178	6.4.5 冷却系统改造实例	226
5.3 FANUC PMC 技术	181	6.5 设计缺陷分析及补救措施	227
5.3.1 FANUC PMC 技术概述	181		

第 7 章 数控机床的精度及可靠性

分析	231
7.1 数控机床的精度	231
7.1.1 数控机床的精度指标	231
7.1.2 经济型数控机床的定位精度分 析	232
7.1.3 经济型数控机床定位误差的补 偿方法	233
7.1.4 改造后数控机床精度的测量和 误差的补偿	233
7.2 数控机床的精度检查	236
7.2.1 机床几何精度的检查	236
7.2.2 机床定位精度的检查	237
7.2.3 机床切削精度的检查	238
7.3 数控机床的可靠性	240
7.3.1 我国数控机床的可靠性	240
7.3.2 影响数控机床可靠性的因素	242
7.4 数控化改造中影响数控机床性能	

的因素	243
-----------	-----

7.4.1 滚珠丝杠装配精度的影响	243
7.4.2 丝杠螺距误差的影响	244
7.4.3 反向间隙的影响	244
7.4.4 数控系统的影响	245
7.4.5 进给驱动电动机的影响	245

第 8 章 数控机床的验收和日常维护 ... 247

8.1 数控机床的验收	247
8.1.1 机床外观检查	247
8.1.2 机床性能及数控功能试验	248
8.1.3 机床几何精度检查	250
8.1.4 机床定位精度检查	251
8.1.5 机床切削精度检查	251
8.2 数控机床的日常维护	252
8.2.1 数控机床的操作维护规程	252
8.2.2 数控机床的日常维护和保养	254

参考文献 257

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

数控系统是一种控制系统，它能控制机床的运动和加工过程。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。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中，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，需要人工进行操作，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。至今，数控系统经历了两个阶段和六代的发展变化。

第一阶段：数控（NC）阶段（1952—1970）。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——晶体管时代和 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—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（mi-croprocessor），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了日益广泛的应用，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，只要改变数控程序即可，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，数控机床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的，可以避免人为的误差。因此，数控机床不但加工精度高，而且加工质量稳定。

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，采用数控机床能较好地完成这些曲面的加工。能实现复杂型面的加工是数控机床突出的优点。

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

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。

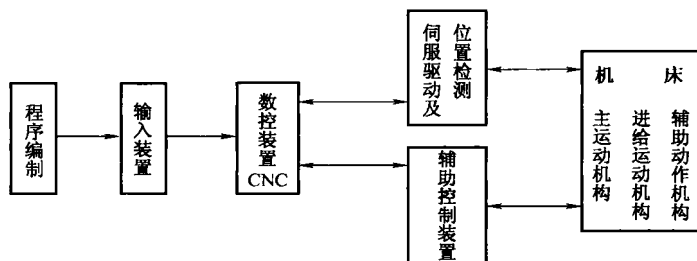


图 1-1 数控机床机构框图

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中。

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、润滑的起停、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至数控装置进行处理。

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。每个作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,系统首先高速运行,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轴联动数控机床等。

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 这类数控机床将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产生的精度误差,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) 金属成形类数控机床 金属成形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 这类机床不是使用普通刀具切削工件材料,而是直接利用能量进行加工的,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。该种分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、不同国家的含义是不一样的。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 年才只有 1.9%,而日本在 1994 年就已达 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,它比传统机床具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, 更好地调节了机床的加工状态。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”, 通过改造手段将其改造成为具有数控机床功能的、且与同类新数控机床性能相近的数控机床, 其改造的主要内容如下:

1. 精度恢复和机械传动部分的改进

随着机床使用役龄的增加, 机床的机械传动部件, 如导轨、丝杠、轴承等都有不同程度的磨损。因此, 机床改造过程中的首要任务是对旧机床进行类似于通常的机床大修, 以恢复机床精度, 达到新机床的制造标准。但机床数控化后对机床精度的要求与普通机床的大修是有区别的, 即整个机床精度的恢复与机械传动部分的改进, 都要为满足数控机床的结构特点和数控自动加工的要求来进行, 并应具有批量大修的特征。

2. 选定数控系统和伺服系统

根据要进行数控化改造机床的控制功能要求, 选择合适的数控系统是至关重要的。选择时, 除了考虑各项功能满足要求外, 还一定要确保系统工作的可靠性。一般以性能价格比来选取, 并适当考虑售后服务和故障维修等有关情况。如选用企业内已有数控机床中相同型号的数控系统, 将对以后操作、编程、维修等带来较大的方便。伺服驱动系统的选取, 也按改造数控机床的性能要求决定。若采用同一家公司配套供应的数控系统和伺服驱动系统, 则改造产品的质量和维修更容易得到保证。

3. 数控机床辅助装置的选取

辅助装置指的是数控机床的一些必需的配套部件, 如冷却系统、空气过滤器、自动换刀装置、排屑装置等。

4. 电控柜的设计和制作

在进行机床数控化改造时,原机床的电器控制部分一般只能报废,重新按数控化改造要求进行设计制作。数控机床的强电控制部分设计时要特别注意的是,数控系统各接口信号的特点和形式要相配,并且在设计过程中应尽量简化强电控制线路。

5. 整机联接调试

旧机床上述各个部件的改造过程完成后,就可对组装后改造机床的各个部件进行调试。一般先对电气控制部分进行调试,看单个动作是否正常,然后再进入联机调试阶段。

由于机床数控化改造有多种方案,机床类型不同,改造的内容也不同,所以上述机床改造内容并非一成不变,而要根据实际情况选取合适的方式,以使普通机床数控化改造后的性能与新的同类数控机床相近或相同。另外,在机床数控化改造完成后,还应注意培训数控机床的操作人员和编程人员,以使改造后的数控机床能够尽快发挥作用。

1.2.5 机床数控化改造的社会和经济问题

1. 数控化改造经济效益分析

(1) 资金投入少,改造周期短 数控机床按其功能及性能可分为经济型、普及型和高档型三大类,三者的价格相差悬殊。一般而言,经济型数控机床的价格为普通机床的数倍,而高档的全功能数控机床则要高达十几倍,甚至几十倍。同购置新机床相比,数控改造的机床一般可节省 60% ~ 80% 的费用,大型、特殊机床则可节约更多。一般大型重型机床改造,只需新机床购置费用的 1/3。采用自行改造或与专业公司联合的方法,可使改造周期缩短。在一些特殊情况下,如增设高速主轴、刀具自动交换装置、托盘自动交换装置等,其制作与安装虽然较费时、费钱,使改造成本提高,但与新购置机床相比,还是能节省投资的 50% 左右。

(2) 节省培训操作与维修的经费 由于旧设备已使用多年,机床操作者和维修人员已对其性能和结构了解透彻,对机床的加工能力也心中有数。另外,在机床数控化改造时,可根据企业自身的技术力量和条件,自行改造或委托专业公司进行改造,但都可以采用与原设备维修人员相结合的方法。这样,既可在数控机床改造过程中提高相关人员的数控技术水平,又便于合理选择机床设备中需要更换的部分元器件,更主要是通过改造可大大提高企业自身对数控机床维修的技术能力,并大大缩短机床操作和维修方面的培训时间。机床一旦改造调试完毕,即可很快投入正常生产。

(3) 合理选用数控功能,发挥资源最大效能 合理选用数控功能,就是要依据数控机床类型、改造的技术指标及性能选择相应的数控系统。本着全面配置、长远考虑的基本原则,对数控功能的选择应进行综合比较,以经济、实用为目的,对一些价格增加不多,但给使用带来较多方便的附加功能,应尽可能配置齐全,以保证机床改造后具有较多功能,但不能片面追求新颖,避免增加不必要的费用。相对购买通用型数控机床来说,采用改造方案可灵活选取所要的功能,也可根据生产加工要求,采用组合的方法增添某些部件,设计制造成专用或专门化数控机床。在选用功能时,要把需要的功能一次考虑周全,避免功能缺少而降低改造机床性能。

(4) 机床数控改造后经济效益明显 机床数控化改造后,具有加工对象适应性强、精度高、质量稳定、生产效率高的特点,并能实现复杂零件的加工,有利于实现现代化生产管

理。由于数控机床的生产效率高,可相应减少设备数量。这样既减少了生产所需的厂房面积,又减少了设备维修保养的经费。同时数控机床的自动化程度高,一人可操作多台数控机床,减少了生产所需的人员。

2. 数控化改造社会效益分析

由于机床本身的特点,机床改造所利用的床身、立柱等基础件多数都是重而坚固的铸铁构件,而不是焊接构件。以车床为例,结构与质量占机床大部分的床身、主轴箱、尾座等零件都能再利用。而这些铸铁件年代越久,自然时效越充分,内应力的消除使得稳定性比新铸件更好。另一方面,机床大部分铸铁件的重复使用,节约了社会资源,减少了重新生产铸铁时对环境造成的污染。

改造机床还可以充分利用原有地基,不需要重新构筑地基,同时工具、夹具、样板及外围设备也能利用,可节约大量社会资源。

但并不是所有的普通机床都能适合改装成数控机床,是否适宜于数控化改造需要进行技术经济分析和论证。

(1) 机床基础零部件必须具有足够的刚度 数控机床属于高精度机床,工件移动或刀具移动的位置精度要求很高,一般在 $0.001 \sim 0.01\text{mm}$ 之内。高的定位精度和运动精度要求机床基础件具有很高的静刚度和动刚度。基础件稳定性不好,受力后易变形的机床不适宜于数控化改造。这要求改造前的机床基础件刚度高。

(2) 机床数控化改造必须有合理的经济性 机床数控化改造的费用构成,主要包括两部分:一是维修改造机械部分,二是用新的数控系统代替旧机床的控制系统。如果机床数控化改造的费用仅为同类规格设备价格的 $20\% \sim 50\%$,则该机床的数控化改造在经济上才算合理。由于数控系统价格较高,从经济性考虑,一般来说,大、中型机床,尤其是重型机床、专用机床最适宜于数控化改造。

(3) 机床电气系统改造较为复杂 机床电气系统改造主要为主轴与进给部分的控制改造。对于中、小型机床,主轴驱动部分保持原有系统,集中对进给控制部分进行改造,数控系统的主要任务是实现对进给传动的控制。数控系统的控制方式基本上可分为开环、闭环和半闭环三种方式。机床数控化改造采用哪种方式,需根据具体的设备情况决定。一般小型机床或精度要求较低的机床,多采用开环控制系统;大、中型机床多采用半闭环控制系统。在机床数控化改造中,小型机床多采用步进电动机驱动系统,这种系统价格低、结构简单,但控制精度和速度低;大、中型机床则多采用交流伺服系统。位置测量装置是数控系统中的一部分,用来测量运动部件按指令值移动的位移量,并将其反馈给数控系统。测量反馈装置的引入,有效地改善了系统的动态特性,大大提高了零件的加工精度。目前,在数控机床中最广泛使用的为旋转型测量装置,其中光电脉冲编码器和旋转变压器得到了广泛使用。

1.3 机床数控化改造的现状

1.3.1 国外数控机床的发展现状

数控机床出现至今已有 60 年,在这 60 年中,随着科技的进步,特别是微电子、计算机技术的进步,数控机床得到了长足的发展。目前在数控机床的科研、设计、制造和使用上,