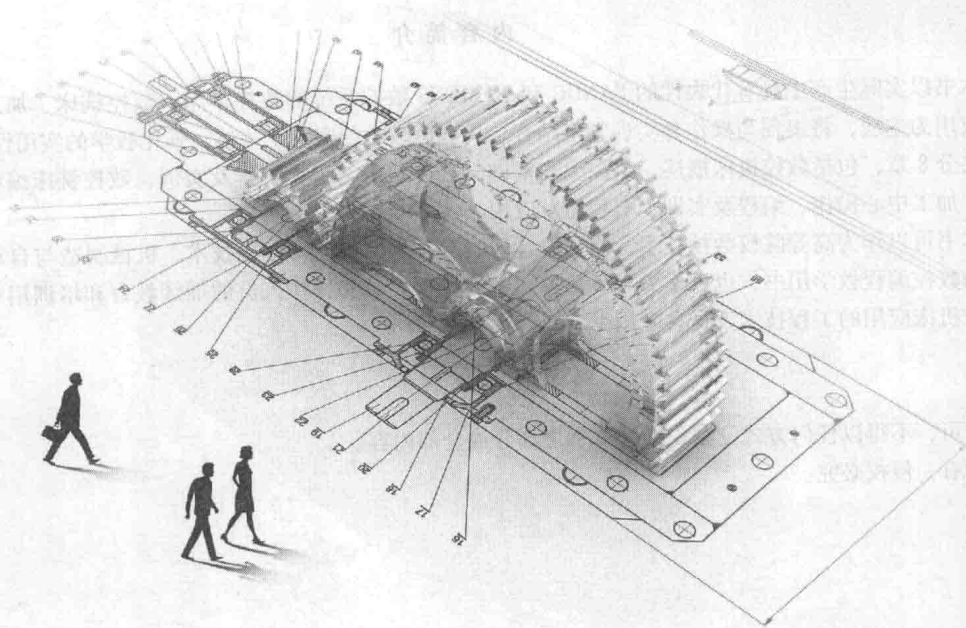


数控机床 编程、操作与 加工实训(第2版)

◎田 坤 聂广华 陈新亚 李纯彬 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



数控机床

编程、操作与加工实训

(第2版)

◎田 坤 聂广华 陈新亚 李纯彬 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以实际生产中具有代表性的 FANUC 和 SIEMENS 数控系统的数控车床、数控铣床、加工中心的编程与应用为主线,将编程与操作和实训紧密结合,集理论教学与实训于一体,强化教学的实用性和实践性。全书共分 8 章,包括数控机床概述,数控编程基础,数控车床编程、操作及实训,数控铣床编程、操作及实训,加工中心操作、编程及实训,宏程序及应用。

本书可以作为高等院校数控技术、模具设计与制造技术、机电一体化技术、机械制造与自动化等相关专业的数控编程教学用书,也可作为从事数控加工的技术人员和操作人员的继续教育和培训用书,还可作为数控机床应用的工程技术人员参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程、操作与加工实训/田坤等编著. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-121-25150-4

I. ①数… II. ①田… III. ①数控机床-程序设计-高等学校-教材 ②数控机床-操作-高等学校-教材 ③数控机床加工中心-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 295848 号

责任编辑:张 剑 (zhang@phei.com.cn)

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:429 千字

版 次:2008 年 3 月第 1 版

2015 年 1 月第 2 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

目前,我国正处于从“世界制造大国”向“世界制造强国”转变的发展时期,许多企业都以先进的数控设备作为保证产品加工质量的重要技术措施,并且因此为企业带来了较大的经济效益。随着数控机床的广泛应用,数控技术在机械制造业中的地位与作用越来越重要,制造业对高素质、高技能数控技术人才的需求也更为迫切。

数控技术的实用性极强。数控技术人才一方面需要具有数控基础理论知识,另一方面还需要具有解决实际问题的能力。因此,如何处理好理论与实践的关系,注重实际应用能力的培养,是造就高素质、高技能数控技术专业人才的关键。本书的编写集理论教学与实训于一体,是工学结合和“教、学、做”一体化教材的有益尝试。

本书以“理论知识够用,教学内容实用,实训项目驱动”为宗旨,以实际生产中应用较为广泛的FANUC和SIEMENS数控系统的数控车床、数控铣床、加工中心为主线,对其编程和操作进行详细介绍,并将编程与操作实训紧密结合,强化教学的实用性和实践性。

本书精选了大量的典型案例,取材适当,内容丰富,理论联系实际。所有实训项目都经过实践检验,所给程序的程序段都进行了详细、清晰的注释说明。本书的结构符合读者的认知规律,采用模块化讲授方式,每章均是一个独立的功能模块,读者可根据具体需要进行组合或取舍。本书的讲解由浅入深,图文并茂,通俗易懂。

本书编写中注重引入本学科前沿的最新知识,体现了数控加工编程技术的先进性。本书参考了国内外相关领域的书籍和资料,也融汇了编者长期的教学实践和研究心得,尤其是在数控技术专业教学改革中的经验与教训。

全书共分8章,其中第1章和第2章由田坤编写,第3章和第4章由陈新亚编写,第5章和第6章由李纯彬编写,第7章和第8章由聂广华编写,全书由田坤统稿。本书主要内容包括数控机床概述,数控编程基础,数控车床编程、操作及实训,数控铣床编程、操作及实训,加工中心操作、编程及实训,宏程序及应用。

由于编者水平有限,书中难免有错误之处,恳请读者批评指正。

编 著 者

目 录

第1章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的产生及发展	1
1.2 数控机床的工作原理和组成	2
1.2.1 数控机床的工作原理	2
1.2.2 数控机床的组成	2
1.3 数控机床的分类	4
1.3.1 按加工工艺方法分类	4
1.3.2 按控制运动方式分类	4
1.3.3 按所用进给伺服系统的类型分类	5
1.3.4 按所用数控装置类型分类	6
1.3.5 按数控装置的功能水平分类	7
1.4 数控机床的特点和应用范围	7
1.5 数控机床的发展趋势	9
习题	11
第2章 数控编程基础	12
2.1 数控编程概述	12
2.2 数控编程规则	14
2.2.1 数控机床坐标系	14
2.2.2 数控编程代码	17
2.2.3 数控加工程序的结构	24
2.2.4 数控机床的最小设定单位	26
2.3 数控加工工艺分析	26
2.3.1 数控加工的合理性分析	27
2.3.2 零件的工艺性分析	27
2.3.3 确定数控加工的工艺过程	27
2.3.4 选择走刀路线	28
2.3.5 工件装夹方式的确定	29
2.3.6 对刀点与换刀点的确定	30
2.3.7 加工工具的选择	30
2.3.8 切削用量的确定	31
2.3.9 程序编制中的误差控制	32
2.4 数控编程中的数值计算	32
2.4.1 直线和圆弧组成的零件轮廓的基点计算	33
2.4.2 非圆曲线的节点计算	34

2.4.3	列表曲线的数学处理方法	37
2.4.4	空间曲面的加工	39
2.5	计算机辅助数控编程	41
	习题	43
第3章	数控车床编程 (基于 FANUC 0i 系统)	44
3.1	数控车床的编程基础	44
3.2	数控车床编程的基本指令	48
3.2.1	FANUC 0i—T 数控系统的指令表	48
3.2.2	数控车床的 F、S、T 功能	49
3.2.3	与工件坐标相关的指令	50
3.2.4	返回参考点 (G28) 和返回参考点检查 (G27)	51
3.2.5	与运动方式相关的 G 指令	51
3.2.6	刀尖圆弧自动补偿功能	57
3.3	数控车床编程的循环指令	59
3.3.1	单一固定循环指令	59
3.3.2	复合固定循环指令	61
3.3.3	螺纹加工	65
3.3.4	子程序	70
	习题	72
第4章	数控车床的操作及实训	74
4.1	数控车床的控制面板	74
4.2	数控车床的基本操作	78
4.2.1	机床的开启和停止	78
4.2.2	手动操作机床	79
4.2.3	自动运行	80
4.2.4	程序的编辑	81
4.2.5	刀具补偿值的输入	82
4.2.6	工件原点偏移值的输入	83
4.2.7	图形模拟	84
4.2.8	对刀	84
4.3	数控车床编程实例	88
4.3.1	轴类零件的加工	88
4.3.2	套筒类零件的加工	91
4.3.3	盘类零件的加工	96
	习题	99
第5章	数控铣床编程	101
5.1	数控铣床概述	101
5.2	数控铣床编程基础	102
5.3	数控铣床编程 (SIEMENS802D)	104
5.3.1	SIEMENS802D 的 NC 编程基本结构	104

5.3.2	SIEMENS SINUMERIK 802D 数控系统编程指令	105
5.3.3	基本指令和运动指令	107
5.3.4	坐标变换指令	113
5.3.5	刀具及刀具补偿指令	117
5.3.6	主轴和进给指令	120
5.3.7	子程序	120
5.3.8	固定循环	121
	习题	134
第6章	数控铣床操作及实训	137
6.1	数控铣床操作	137
6.1.1	数控控制面板	137
6.1.2	开机和回参考点	138
6.1.3	JOG (手动) 运行方式	139
6.1.4	MDA 手动输入方式	140
6.1.5	程序输入	141
6.1.6	模拟图形	143
6.1.7	输入刀具参数及刀具补偿	143
6.1.8	零点偏置	145
6.1.9	NC 自动加工	147
6.2	数控铣切削加工实训	148
6.2.1	数控铣床的对刀操作	148
6.2.2	孔的加工	151
6.2.3	轮廓加工	154
6.2.4	挖槽加工	156
6.2.5	综合加工	159
	习题	164
第7章	加工中心操作、编程及实训	168
7.1	加工中心基本操作及实训	168
7.1.1	加工中心的自动换刀装置	168
7.1.2	加工中心的换刀指令	169
7.1.3	加工中心操作面板	170
7.1.4	基本操作实训	173
7.2	加工中心对刀操作及实训	176
7.2.1	机床坐标系与工件坐标系	176
7.2.2	与对刀有关的操作实训	178
7.2.3	对刀实训	178
7.3	基础指令、子程序及矩形槽实训	183
7.3.1	基础指令	183
7.3.2	子程序 M98、M99	187
7.3.3	矩形槽实训	187

7.4	圆弧插补及圆弧槽实训	191
7.4.1	圆弧插补指令 G02、G03	191
7.4.2	用 G02、G03 指令实现空间螺旋线进给	193
7.4.3	圆弧槽实训	193
7.5	刀具半径补偿及轮廓实训	195
7.5.1	刀具半径补偿	195
7.5.2	用程序输入补偿值指令 G10	197
7.5.3	轮廓实训	198
7.6	刀具长度补偿、钻孔循环及实训	201
7.6.1	刀具长度补偿	201
7.6.2	固定循环	201
7.6.3	钻孔类循环控制指令	203
7.6.4	钻孔实训	204
7.7	攻螺纹、镗孔循环及实训	208
7.7.1	攻螺纹、镗孔循环	208
7.7.2	固定循环指令表	211
7.7.3	攻螺纹、镗孔及铣孔实训	211
7.8	简化编程指令及实训	214
7.8.1	比例缩放指令 G50、G51	214
7.8.2	坐标系旋转指令 G68、G69	215
7.8.3	可编程镜像指令 G50.1、G51.1	216
7.8.4	简化编程实训	216
7.9	综合实训	220
7.9.1	综合实训一	220
7.9.2	综合实训二	222
	习题	228
第 8 章	宏程序及其应用	230
8.1	FANUC 0i 系统 B 类宏程序基础知识	230
8.1.1	宏程序的概念	230
8.1.2	变量	231
8.1.3	算术和逻辑运算	234
8.1.4	控制语句	235
8.1.5	宏程序调用	237
8.1.6	宏程序语句的处理	239
8.1.7	宏程序的使用限制	240
8.2	FANUC 0i 系统 B 类宏程序应用	240
8.2.1	椭圆轮廓的铣削加工	241
8.2.2	方程曲线轮廓的数控车削精加工	243
8.2.3	方程曲线轮廓的数控车削粗、精加工	244
8.2.4	螺纹铣削加工	246

8.2.5	外球面粗、精加工	247
8.2.6	内椭圆球面粗、精加工	249
8.3	SIEMENS 数控系统参数编程与应用	252
8.3.1	参数 R	252
8.3.2	程序跳转	253
8.3.3	凹球面参数编程应用实例	254
8.3.4	凹圆柱面参数编程应用实例	256
8.3.5	过渡斜面参数编程应用实例	257

第1章 数控机床概述



1.1 数控机床的产生及发展

1. 数控机床的产生

随着科学技术的发展,机械产品的结构日趋复杂,其精度日趋提高,性能不断改善,因此对制造机械产品的生产设备——机床,必然会相应地提出高效率、高精度和高自动化的要求。

在机械产品中,单件与小批量产品占到70%~80%。由于这类产品生产批量小、品种多,而且当产品改型时,机床与工艺设备均需做较大的调整,因此这类产品的生产不仅对机床提出了“三高”要求,而且还要求机床应具有较强的适应产品变化的能力。这类产品的零件一般都采用通用机床来加工,而通用机床的自动化程度不高,基本上是由人工操作来完成的,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面组成的复杂零件,只能借助划线和样板采用手工操作的方法来加工,或者利用靠模和仿形机床来加工,其加工精度和生产效率都受到很大的限制。要实现这类产品生产的自动化,已成为机械制造业中长期未能解决的难题。

数控机床就是为了解决单件、小批量,特别是高精度、复杂型面零件加工的自动化要求而产生的。1952年,美国PARSONS公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床,它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果,是一种新型的机床,可用于加工复杂曲面零件。该铣床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个崭新的阶段。

2. 数控机床的发展

从第一台数控机床问世到现在的半个多世纪中,数控机床的品种得以不断发展,几乎所有的机床都实现了数控化。1956年,日本富士通公司研制成功数控转塔式冲床,美国帕克工具公司研制成功数控转塔钻床;1958年,美国K&T公司研制出带自动刀具交换装置的加工中心(Machining Center, MC),1978年以后,加工中心迅速发展,各种加工中心相继问世。在20世纪60年代末期,出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统(Direct Numerical Control, DNC)。1967年出现了由多台数控机床连接而成的可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。目前已经出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS),以实现生产自动化。

数控机床的应用领域已从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等机械制造行业，出现了金属成型类数控机床，如数控折弯机、数控弯管机；特种加工数控机床，如数控线切割机、数控火焰切割机、数控激光切割机床等；其他还有数控绘图机、数控三坐标测量机等。

综上所述，数控机床已经成为组成现代机械制造生产系统，实现设计（CAD）、制造（CAM）、检验（CAT）和生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。

3. 数控机床的概念

数控机床就是采用数字信息控制的机床。具体地讲，凡是用代码化的数字信息将刀具移动轨迹的信息记录在程序介质上，然后送入数控系统，经过译码、运算，从而控制机床刀具与工件的相对运动，加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

数控技术（Numerical Control, NC）是指用数字信号构成的控制程序对某个对象进行控制的一门技术。它所控制的一般是位移、角度、速度等机械量，也可以是温度、压力、流量等物理量。这些量的大小不仅是可以被测量的，而且还可以经 A/D 转换用数字信号来表示。



1.2 数控机床的工作原理和组成

1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床加工零件的步骤如下所述。

- (1) 根据被加工零件的图样与工艺规程，用规定的代码和程序格式编写加工程序。
- (2) 将所编写的程序指令输入机床数控装置。
- (3) 数控装置将程序代码进行译码、运算后，向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号，以驱动机床的各运动部件，并控制所需要的辅助动作，最后加工出合格的零件。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床的组成如图 1-1 所示。

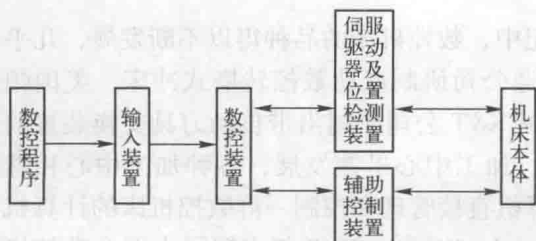


图 1-1 数控机床的组成

1. 数控程序

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令的集合。通过对零件进行工艺分析，得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息，然后用标准的由文字、数字和符号组成的数控代码，按规定的方法和格式编制零件加工的数控程序。

编制程序的工作可由人工进行，或者在数控机床外部用自动编程计算机系统来完成，比较先进的数控机床可以在它的数控装置上直接编程。

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、磁卡、磁盘等。采用哪一种存储载体，取决于数控装置的设计类型。

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信号，并将其传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、录放机或磁盘驱动器。有些数控机床不用任何程序存储载体，而是将数控程序的内容通过数控装置上的键盘，用手工方式（MDI方式）输入，或者将数控程序由编程计算机用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，它接受输入装置送来的电信号，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来控制机床的各个部分完成规定的、有序的动作。在这些控制信号中，最基本的信号是由插补运算决定的各坐标轴（即做进给运动的各执行部件）的进给位移量、进给方向和速度的指令，经伺服驱动系统驱动执行部件做进给运动。其他信号还有主运动部件的变速换向和启/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，工件和机床部件的松开、夹紧及分度工作台的转位等辅助指令信号。

4. 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置（电动机）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。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。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。在半闭环和闭环伺服驱动系统中，使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给位移，然后与指令位移进行比较，最后按闭环控制原理将其差值转换放大后控制执行部件的进给运动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启/停、刀具的选择和变换，以及其他辅助装置动作等指令信号，经必要的编译、逻辑判别和运算，再经功率放大后直接驱动相应的电器，带动机床机械部件和液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外，机床上的限位开关等开关信号经它处理后，送数控装置进行处理。可编程控制器（PLC）已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控机床本体由主运动部件、进给运动执行部件、床身和工作台，以及辅助运动部件、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。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。数控机床的组成与普通机床相似，但其传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗震性等方面的要求更高，而且其传动和变速系统便于实现自动化控制。



1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，可以根据其加工工艺、控制原理、功能和组成等角度进行分类。

1.3.1 按加工工艺方法分类

1. 普通数控机床

为了不同的工艺需要，与传统的通用机床一样，普通数控机床分为数控车床、铣床、钻床、镗床及磨床等，而且每一类又有很多品种，如数控铣床就有立铣、卧铣、工具铣及龙门铣等，这类机床的工艺性能与通用机床相似，所不同的是它能自动地加工出精度更高、形状更复杂的零件。

2. 数控加工中心

数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。典型的数控加工中心有镗铣加工中心和车削加工中心。

数控加工中心又称为多工序数控机床。在加工中心上，可以使零件一次装夹后，进行多种工艺、多道工序的集中连续加工，这就大大减少了机床台数。由于减少了装卸工件、更换和调整刀具的辅助时间，从而提高了机床效率；同时由于减少了多次安装造成的定位误差，从而提高了各加工面之间的位置精度，因此，近年来数控加工中心得以迅速发展。

3. 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，即使用三坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋桨、飞机机翼曲面等，这就需要3个以上坐标的合成运动才能加工出所需的曲面形状。于是出现了多坐标联动的数控机床，其特点是数控装置能同时控制的轴数较多，机床结构也较复杂。坐标轴数的多少取决于加工零件的复杂程序和工艺要求，现在常用的有四、五、六坐标联动的数控机床。

4. 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机床等。

1.3.2 按控制运动方式分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床仅控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位，在移动过程中不进行加工，对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可以沿多个坐标同时移动，也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度，一般先快速移动，当接近终点位置时，再减速缓慢靠近终点，以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、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

直线控制数控机床不仅要控制点的准确定位，而且要控制刀具（或工作台）以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择及循环进给加工等辅助功能。这种机床常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制，使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。这类机床常用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的零件。

轮廓控制数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

1.3.3 按所用进给伺服系统的类型分类

1. 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。开环控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机，如图 1-2 所示。数控系统每发出一个进给指令脉冲，经驱动电路功率放大后，驱动步进电动机旋转一个角度，再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环控制。



图 1-2 开环控制系统

开环控制系统的优点是结构较简单、成本较低、技术容易掌握。但是，由于受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响，难以实现高精度的位置控制，进给速度也受步进电动机工作频率的限制。因此开环数控机床一般适用于中、小型控制系统的经济型数控机床，特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 闭环数控机床

闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环控制原理工作的。闭环控制系统如图 1-3 所示。这类控制系统带有直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机和交流伺服电动机。图中的 A 为速度测量元件，C 为位置测量元件。当位移指令值发送到位置比较电路时，若工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使得伺服电动机转动，通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中位移指令值进行比较，用比较后得出的差值进行位置控制，直到差值为零时为止。这类控制系统，因为把机床工作台纳入了控制环节，所以称为闭环控制系统。该系统的优点是可以消除包括工作台传动链在内的传动误差，因而定位精度高。其缺点是由于工作台惯性大，对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等都提出了严格的要求，否则会对系统稳定性带来不利的影 响。同时，调试和维修都较困难，系统复杂，成本高，一般适用于精度要求高的数控机床，如数控精密镗铣床。

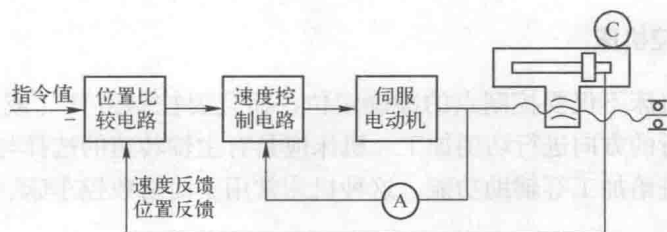


图 1-3 闭环控制系统

3. 半闭环数控机床

半闭环控制系统如图 1-4 所示。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于它采用了角位移检测元件，检测反馈信号不是来自工作台，而是来自与电动机相联系的角位移检测元件 B。通过测速发电机 A 和光电编码盘（或旋转变压器）B 间接检测出伺服电动机的转角，进而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用其差值来实现控制。从图 1-4 中可以看出，由于工作台没有包括在控制回路中，因而称之为半闭环控制。这类控制系统的伺服驱动部件通常采用宽调速直流伺服电动机，目前已将角位移检测元件与电动机设计成一个整体，系统结构简单、调试方便。半闭环控制系统的性能介于开环控制系统与闭环控制系统之间，其精度没有闭环控制系统高，调试却比闭环控制系统方便，因而得到广泛应用。

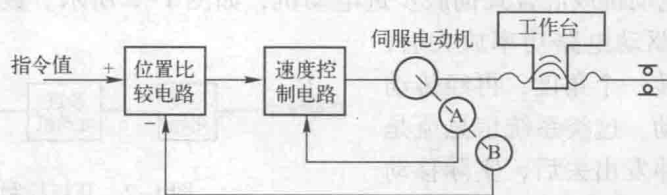


图 1-4 半闭环控制系统

1.3.4 按所用数控装置类型分类

1) 硬件式数控机床 硬件式数控机床（NC 机床）使用硬件式数控装置，它的输入、插补运算和控制功能都由专用的固定组合逻辑电路来实现，不同功能的机床，其组合逻辑电路也不相同。改变或增/减控制、运算功能时，需要改变数控装置的硬件电路。因此其通用性、灵活性差，制造周期长，成本高。20 世纪 70 年代初期以前的数控机床基本上都属于这种类型。现代数控机床已不再采用硬件式数控系统。

2) 软件式数控机床 这类机床使用计算机数控装置（CNC）。这种数控装置的硬件电路是由小型或微型计算机再加上通用或专用的大规模集成电路制成的。数控机床的主要功能几乎全部由系统软件来实现，所以不同功能的机床其系统软件也不同，而修改或增/减系统功能时，不需改变硬件电路，只需改变系统软件即可，因此它具有较高的灵活性。同时，由于硬件电路基本是通用的，这就有利于大量生产，提高质量和可靠性，缩短制造周期和降低成本。20 世纪 70 年代中期以后，随着微电子技术和微型计算机的出现，以及集成电路的集成度不断提高，计算机数控装置才得到不断的发展和提高，目前几乎所有的数控机床都采用了计算机数控装置。

1.3.5 按数控装置的功能水平分类

按数控装置的功能水平通常把数控机床分为低、中、高档3类。这种分类方式在我国用得较多。低、中、高3档的界限是相对的,不同时期的划分标准也不尽不同。就目前的发展水平来看,可以根据表1-1中所列的一些功能及指标,将各种类型的数控产品分为低、中、高档3类。其中,高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法。经济型数控属于低档数控,是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统,以及其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控装置主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

表1-1 不同档次数控功能及指标表

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	8~15	15~24	24~100
伺服进给类型	开环及步进电动机	半闭环及直/交流伺服	闭环及直/交流伺服
联动轴数	2~3轴	2~4轴	5轴或5轴以上
通信功能	无	RS-232C或DNC	RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:二维图形、自诊断
内装PLC	无	有	强功能内装PLC
主CPU	8位CPU	16位或32位CPU	32位或64位CPU



1.4 数控机床的特点和应用范围

1. 数控机床的特点

【加工精度高】数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。目前数控机床的脉冲当量普遍达到了 0.001mm ,而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。此外,数控机床传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,制造精度高,数控机床的自动加工方式避免了人为干扰因素,同一批零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

【对加工对象的适应性强】在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制(更换)程序,就能实现对新的零件的加工,这就为复杂结构的单件、小批量生产及试制新产品提供了极大的便利。对那些普通手工操作的一般机床很难加工或无法加工的精密复杂零件,数控机床也能实现自动加工。

【自动化程度高,劳动强度低】数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了安放穿孔带或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间检测及观察机床运行外,不需要进行繁杂的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,加上数控机床

一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置，操作者的劳动条件也大为改善。

【生产效率高】 零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床的大，因此数控机床的每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床的结构刚性好，因此允许进行大切削量的强力切削，这就提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件的空行程运动速度快，工件装夹时间短，辅助时间比一般机床的少。

数控机床更换被加工零件时，几乎不需要重新调整机床，因此节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定，一般只做首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验，因此节省了停机检验时间。在加工中心上进行加工时，一台机床实现了多道工序的连续加工，生产效率的提高更为明显。

【良好的经济效益】 数控机床虽然设备昂贵，加工时分摊到每个零件上的设备折旧费高，但在单件、小批量生产情况下，使用数控机床加工可节省划线工时，减少调整、加工和检验时间，节省了直接生产费用；使用数控机床加工零件一般不需制作专用工装夹具，节省了工艺装备费用；数控机床加工精度稳定，减少了废品率，使生产成本进一步降低。此外，数控机床可实现一机多用，节省厂房面积、节省建厂投资。因此，使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

【有利于现代化管理】 采用数控机床加工，能准确地计算出零件加工工时和费用，并有效地简化了检验工装夹具、半成品的管理工作，这些特点都有利于现代化的生产管理。

数控机床使用数字信息与标准代码输入，最适宜于数字计算机联网，成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

2. 数控机床的应用范围

数控机床具有一般机床所不具备的诸多优点，数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替普通机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。

数控机床最适合加工具有以下特点的零件。

☺ 多品种、中小批量生产的零件。

☺ 形状结构比较复杂的零件。

☺ 需要频繁改型的零件。

☺ 价值昂贵、不允许报废的关键零件。

☺ 设计制造周期短的急需零件。

☺ 批量较大、精度要求较高的零件。

根据国外数控机床的应用实践，数控加工的适用范围可用图 1-5 粗略表示。

图 1-5 (a) 所示为随零件复杂程度和生产批量的不同，3 种机床的应用范围的变化。当零件不太复杂且生产批量又较小时，宜采用通用机床；当生产批量很大时，宜采用专用机床；而随着零件复杂程度的提高，数控机床越来越显得适用。目前，随着数控机床的普及，应用范围正由 BCD 线向 EFG 线复杂性较低的范围扩大。

图 1-5 (b) 所示为通用机床、专用机床和数控机床零件加工批量与生产成本的关系。从图中可以看出，在多品种、中小批量生产情况下，采用数控机床总费用更为合理。