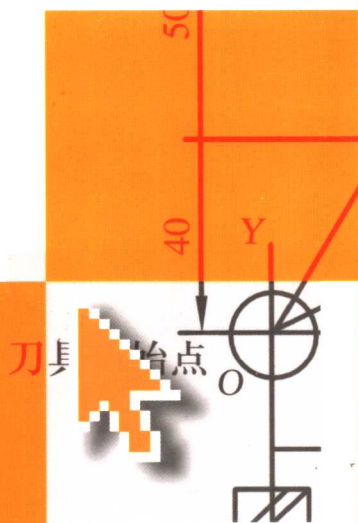
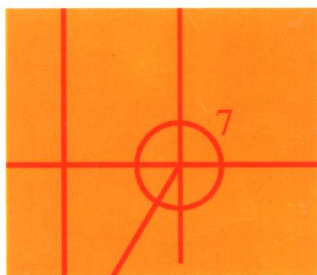


实用数控技术系列培训教程

数控加工中心 编程与操作实用技术

董丽华
罗红霞
胡东方
编著



本书附光盘1张



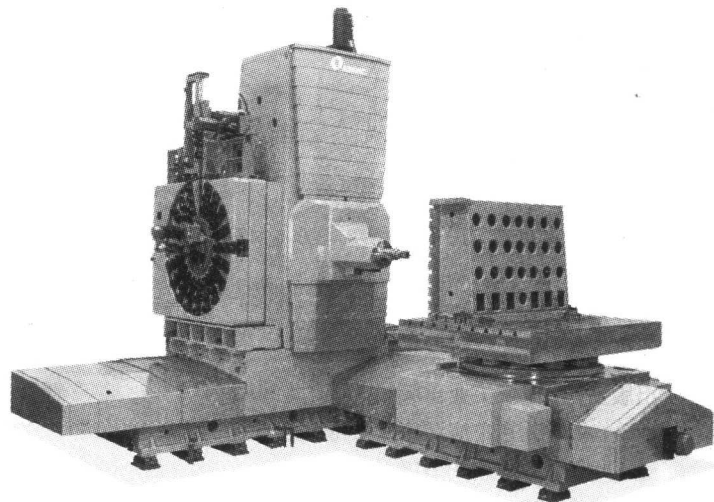
電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

数控加工中心编程与 操作实用技术

董丽华 罗红霞 胡东方 编著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共分8章,主要包括:数控技术基础、加工中心的结构、加工中心的加工工艺设计、加工中心的编程方法、加工中心计算机辅助编程、加工中心的操作、加工中心操作中的常见问题及处理办法和加工中心典型零件加工等内容。

在编写过程中,本书采用理论与实际相结合的方式,重点在于应用,并注重结合实际操作,列举了一些典型编程实例以供读者参考。

本书可作为加工中心操作者的自学教材、高等院校或中等技术学校机械类专业学习数控加工技术的专业教材或参考书,也可供工厂、科研院所从事机械制造的工程技术人员学习参考。

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

数控加工中心编程与操作实用技术/董丽华,罗红霞,胡东方编著. —北京:电子工业出版社,2006.5
(实用数控技术系列培训教程)

ISBN 7-121-02429-2

I. 数… II. ①董… ②罗… ③胡… III. 数控机床加工中心—程序设计—技术培训—教材
IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第025634号

责任编辑:李 洁

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

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

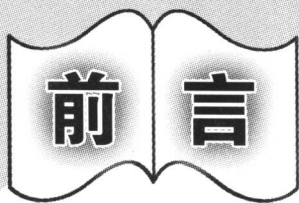
经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:14 字数:310千字

印 次:2006年5月第1次印刷

印 数:5000册 定价:27.00元(含光盘1张)

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。



加工中心 (Machining Center) 是典型的集高新技术于一体的机械加工设备, 它的发展代表了一个国家的设计、制造水平, 因此在国内外企业界均受到高度重视。如今, 加工中心已成为现代机床发展的主流方向, 随着加工中心的普及应用, 急需一大批掌握加工中心编程、操作和维修的应用型人才。

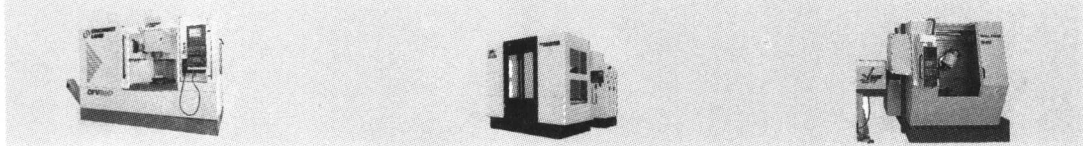
《数控加工中心编程与操作实用技术》就是在上述情况下为广大工程技术人员和技术工人学习加工中心编写的。全书共分 8 章, 分别介绍了加工中心的特点、加工中心的结构、加工工艺、编程和操作以及操作中常见的问题等核心内容, 同时还附有大量的典型零件的加工实例, 突出了其系统性和实用性。

本书可作为加工中心操作者的自学教材、高等院校或中等技术学校机械类专业学习数控加工技术的专业教材或参考书, 也可供工厂、科研院所从事机械制造的工程技术人员学习参考。

全书由董丽华、罗红霞和胡东方编著。在编写过程中, 参阅了国内外专家的有关资料和文献, 同时还得到了许多同行的支持和帮助, 在此一并表示感谢。

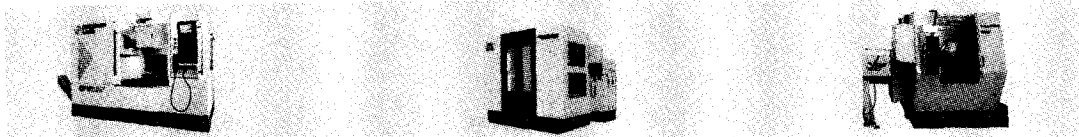
由于编写经验不足, 加之编者水平有限, 书中难免有错误和不妥之处, 恳切希望广大读者提出宝贵的意见以供修改, 编者将不胜感激!

编 者
2006 年 3 月

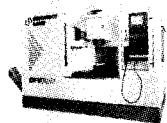


目 录

1 数控技术基础	(1)
1.1 数控机床的发展现状	(1)
1.1.1 数控机床的基本概念	(1)
1.1.2 数控机床的特点	(1)
1.1.3 数控机床的工作原理	(4)
1.2 数控机床的种类	(4)
1.3 数控技术的发展趋势	(7)
2 加工中心的结构	(11)
2.1 加工中心的特点及种类	(11)
2.1.1 加工中心的特点	(11)
2.1.2 加工中心的种类	(12)
2.2 加工中心的结构	(16)
2.2.1 加工中心的构成	(16)
2.2.2 加工中心对结构的要求	(17)
2.3 加工中心的主传动系统	(18)
2.3.1 加工中心主传动系统的特点	(18)
2.3.2 加工中心的主轴部件的结构	(19)
2.4 加工中心的伺服与进给系统	(21)
2.4.1 主轴伺服系统	(21)
2.4.2 进给伺服系统	(22)
2.5 加工中心的其他装置	(22)
2.5.1 加工中心的支撑系统	(22)
2.5.2 加工中心刀库及自动换刀装置	(23)
2.5.3 位置检测装置	(31)
2.5.4 对刀装置	(42)
3 加工中心的加工工艺设计	(44)
3.1 加工中心的工艺特点及适用范围	(44)
3.1.1 加工中心的工艺特点	(44)
3.1.2 加工中心的适用范围	(45)



3.2	加工中心加工的工艺性分析	(46)
3.3	加工中心常用的刀具和夹具	(49)
3.3.1	加工中心用刀具系统	(49)
3.3.2	加工中心用夹具系统	(52)
3.4	加工中心加工的工艺路线设计	(53)
3.4.1	工序的划分	(53)
3.4.2	工步的划分	(54)
3.4.3	加工顺序的安排	(55)
3.4.4	加工中心工序与普通工序的衔接	(56)
3.5	加工中心的工艺规程	(57)
3.5.1	零件的工艺分析	(57)
3.5.2	加工中心的选用	(59)
3.5.3	零件的工艺设计	(66)
4	加工中心的编程方法	(71)
4.1	数控编程基础	(71)
4.1.1	数控编程的步骤	(71)
4.1.2	数控编程的方法	(73)
4.1.3	数控程序结构	(74)
4.1.4	常用数控代码及程序编制	(75)
4.1.5	常用的 G 指令及其功能	(80)
4.1.6	常用的 M 指令及其功能	(84)
4.2	加工中心坐标系统	(85)
4.3	加工中心编程	(87)
4.3.1	加工中心编程基础	(88)
4.3.2	基本编程与刀具补偿	(92)
4.3.3	加工中心常用编程功能与编程实例	(101)
5	加工中心计算机辅助编程	(108)
5.1	计算机辅助编程软件简介	(108)
5.1.1	Pro/ENGINEER 软件	(108)
5.1.2	UG II 软件	(109)
5.1.3	CAXA 制造工程师软件	(110)
5.2	Pro/ENGINEER 数控加工自动编程模块	(110)
5.3	Pro/ENGINEER 数控加工自动编程过程	(115)
6	加工中心的操作	(151)
6.1	数控系统控制面板	(151)
6.1.1	FANUC 系统操作面板及功能	(151)



6.1.2	SIEMENS 系统操作面板及功能	(156)
6.2	加工中心手动操作	(158)
6.2.1	数控加工中心操作前的准备工作	(158)
6.2.2	数控加工中心的基本操作	(158)
6.3	加工中心自动操作	(161)
6.4	加工中心刀具参数设置与自动换刀	(163)
6.5	加工中心的对刀	(166)
6.5.1	对刀点与换刀点的确定	(166)
6.5.2	对刀方法	(166)
6.6	加工中心安全操作	(171)
6.6.1	日常维护保养	(171)
6.6.2	安全操作规程	(172)
7	加工中心操作中常见问题及处理办法	(175)
7.1	加工中心的安装与调试	(175)
7.1.1	机床的初就位	(175)
7.1.2	机床的连接	(175)
7.1.3	通电试车	(176)
7.1.4	机床精度和功能的调试	(177)
7.1.5	加工中心的试运行	(179)
7.2	加工中心的故障及特点	(179)
7.2.1	数控系统的维护	(180)
7.2.2	机械部件的维护	(180)
7.2.3	加工中心的故障及特点	(182)
7.2.4	综合分析故障的原因	(183)
7.2.5	加工中心常见机械故障的例子	(184)
7.3	机械系统故障诊断	(185)
7.3.1	数控机床机械故障诊断方法	(185)
7.3.2	典型机械部件的故障诊断方法	(186)
8	加工中心典型零件的加工	(191)
8.1	概述	(191)
8.2	凸轮加工	(192)
8.3	轴类零件的加工	(198)
8.4	箱体类零件的加工	(201)
参考文献		(216)



1.1 数控机床的发展现状

数控技术是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术，它已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。可以说，数控技术水平的高低和数控设备的拥有量，是体现一个国家综合国力水平、衡量工业现代化的重要标志之一。

1952年，美国帕森斯公司（Parsons）和麻省理工学院（MIT）合作研制成功了世界上第一台数控机床（三坐标数控铣床），那时采用的是由电子管元件（而不是今天的半导体元件及大规模集成电路）构成的专用计算机，以及用电子电路连接成的逻辑运算与控制部件。1955年，该类机床进入了实用化阶段。我国从1958年开始研制数控机床。到20世纪80年代初，开始引进国外的数控装置和伺服系统为国产主机配套，这使得我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前，在数控领域中，我国和先进的工业国家之间还存在着一定的差距，我国数控机床的生产还远远满足不了国内生产的需要，更不能满足出口的要求。在现有数控机床中，还有待进一步提高其利用率。随着我国加入WTO，并将成为世界制造中心，各行各业对数控机床的需要将会增大，数控机床也必然将在国家建设中发挥更大的作用。

1.1.1 数控机床的基本概念

数控机床（Numerical Control Machine Tools）的工作原理是将加工过程所需的各种操作和步骤以及刀具与工件间的相对位移量都用数字化代码来表示，通过控制介质将数字信息送入计算机，由计算机对输入的信息进行处理与运算，然后发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件，使机床自动加工出所需要的工件。

1.1.2 数控机床的特点

1. 数控机床的加工特点

- （1）适应性强，适合加工单件或小批量复杂工件



在数控机床上改变加工工件时,只需要重新编制程序,就能实现新工件的加工。数控机床加工工件时,只需要简单的夹具,因此当加工工件改变后,不需要制作特别的工装夹具,更不需要重新调整机床。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。对于那些通过手工操作的、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。

(2) 加工精度高,产品质量稳定

数控机床是按程序指令进行加工的。由于数控机床的脉冲当量普遍达到了 0.001mm ,而且传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,工件加工精度高,进给系统采用消除间隙措施,反向间隙与丝杠螺距误差等由数控装置进行自动补偿,所以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 。特别是数控机床加工完全是自动进行的,消除了操作者人为产生的误差,使同一批工件的尺寸一致性好,加工质量十分稳定。

(3) 自动化程度高,劳动强度低

数控机床对工件的加工是按事先编好的程序自动完成的,工件加工过程中不需要人为的干预,加工完毕后自动停车,使操作者的劳动强度与紧张程度大为减轻。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。

(4) 生产效率高

工件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床能有效地减少这两部分的时间。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大,使得它能选用最有利的切削用量。由于数控机床的结构刚性好,能使用大切削用量的强力切削,从而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空行程运动速度快,工件装夹时间短,辅助时间比一般机床少。

(5) 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵,分摊到每个工件上的设备费用较高,但用数控机床加工工件可以节省许多其他费用,如可以节省画线工时,减少调整、加工和检验时间,节省了直接生产的生产费用;数控机床加工不需设计制造专门的工装夹具,节省了工艺装备费用;数控机床加工精度稳定,废品率低,使生产成本下降。另外,数控机床还可以一机多用,节省厂房面积,减少建厂投资。因此,使用数控机床加工可以获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化

数控机床加工工件,能准确地计算零件加工工时和费用,有效地简化检验工装夹



具和半成品的管理工作,有利于生产管理现代化。

2. 数控机床的使用特点

(1) 对操作维修人员的技术水平要求较高

数控机床采用计算机控制,伺服系统技术复杂,机床精度要求很高。因此,要求操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。

数控机床是根据程序进行加工的。程序编制人员既要有一定的技术理论又要有一定的技巧。程序可由操作人员手工编写,也可以使用计算机辅助编制。加工程序的编制直接关系到数控机床功能的开发和使用,并直接影响数控机床的加工精度。因此,数控机床的操作人员除了要有一定的工艺基础知识外,还应对数控机床的结构特点、工作原理以及程序编制进行专门的技术理论培训和操作训练,经考试合格后才能上机操作,以防止操作使用时发生人为事故,还要能正确编写或快速理解程序,对数控加工过程中出现的各种情况做出正确的综合判断和处理。

正确的维护和有效的维修是提高数控机床效率的基本保证。数控机床的维修人员应有较高的、较全面的数控理论知识和维修技术。如机修人员应有比较广泛的机、电、液专业知识,才能综合分析、判断故障根源,缩短故障停机时间,实现高效维修。因此,数控机床维修人员也必须经过专门的培训才能上岗。

使用数控机床,不但要对从事数控加工和维修的人员进行培训,而且对于数控机床有关的工作人员都应该进行数控加工技术知识的普及,以利于数控机床高效发挥其作用。

(2) 对夹具和刀具的要求较高

数控机床对夹具的要求是:单件生产时,一般采用通用夹具;批量生产时,为节省加工工时,应使用专用夹具,而且夹具应该定位可靠,能自动夹紧或松开工件,具有良好的排屑、冷却结构。

数控机床对刀具的要求是:精度较高、寿命长、尺寸稳定、变化小;能实现机外预调、快速换刀;刀柄应为标准系列;能很好地控制切屑的折断、卷曲和排出;具有良好的可冷却性能。

(3) 数控机床的应用范围

数控机床具有一般机床所不具备的许多优点。其应用范围正在不断扩大,但它目前并不能完全代替普通机床,也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、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;需要最短周期的急需零件;批量较大、精度要求高的零件。



由于机械加工劳动力费用的不断增加,数控机床的自动化加工又可减少操作工人(可以实现一人多台),生产效率高。因此,大批量生产的零件采用数控机床(特别是经济型数控机床)加工,在经济上也是可行的。

考虑到上述种种原因,在决定选用数控机床加工时,需要进行科学的技术经济分析,使数控机床能发挥其最好的经济效益。

1.1.3 数控机床的工作原理

数控机床与普通机床相比,其工作原理的不同之处在于数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。

数控机床加工零件,首先要将被加工零件的图样及工艺信息数字化,用规范的代码和程序格式编写加工程序,然后将所编程序指令输入到机床的数控装置中。数控装置再将程序进行译码、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,驱动机床各运动部件,控制所需要的辅助运动,最后加工出合格的零件。

1.2 数控机床的种类

数 控机床的种类很多,根据其加工工艺、控制原理、功能和组成,可以从几个不同的角度进行分类。

1. 按加工工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床

该类机床的品种与传统的通用机床一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、加工中心等,而每一种又有很多品种和规格。例如,加工中心是一种带有自动换刀装置,工件经一次装夹后,能进行铣削、钻削、攻丝、镗削、铰孔等多道工序的复合型数控机床。加工中心目前主要有两类:一类是在镗、铣床基础上发展起来的,称为铣削加工中心;另一类是在车床的基础上发展起来的,称为车削加工中心。

(2) 金属成型类数控机床

如数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等。

(3) 数控特种加工机床

如数控线切割机、数控电火花成型机床、数控冲床、数控激光切割机等。

(4) 其他类型数控机床

如数控三坐标测量机等。



2. 按数控运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床

这类机床只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

该类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以及循环进给加工等辅助功能。这种控制常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床

该类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的圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。该类机床常用于加工曲面、凸轮及叶片等形状复杂的零件。

轮廓控制数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

3. 按所用进给伺服系统的类型分类

(1) 开环步进控制数控机床

开环步进控制数控机床运动部件的位移设有检测反馈装置，如图 1-1 所示，数控装置发出信号是单向的，通常采用功率步进电机作为位移的伺服机构。数控装置发出的指令脉冲信号，通过环形分配器和驱动电路控制步进电机转过相应的角度（控制电路每变换一次指令脉冲信号，电动机就转动一个步距角），再经过减速器带动丝杠转动，从而使工作台移动。位移的精度主要决定于该系统各有关零部件的制造精度。

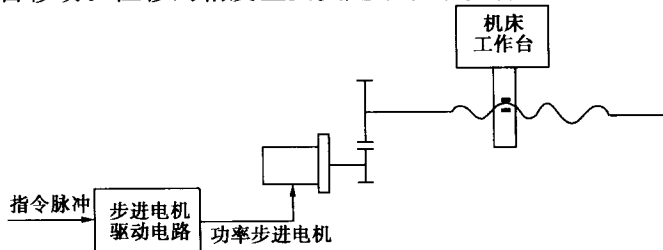


图 1-1 开环步进控制系统

开环数控系统具有工作稳定、调试方便、维修简单、成本较低的特点，适用于精度要求不高、驱动力矩不大的场合。经济型数控机床一般都采用开环数控系统。

(2) 闭环控制数控机床

闭环控制数控系统的特点是在机床的运动部件上安装有直线位移测量装置，如图 1-2 所示，将测量出的实际位移值反馈到数控装置中与输入的指令位移值相比较，用差值进行控制，直至差值为零。所以，能实现运动部件的精确定位。从理论上讲，闭环控制系统的运动精度主要决定于检测装置精度，而与传动链中的误差无关。但闭环控制系统对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨移动的灵敏性等都提出了严格的要求。否则会增加调试困难，甚至使伺服系统产生振荡。

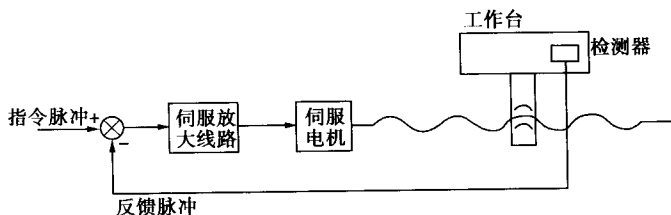


图 1-2 闭环控制系统

目前，闭环控制系统需用的伺服机构主要是直流伺服电机或交流伺服电机。闭环系统的特点是位移精度高，但调试、维修都较复杂，成本较高，一般适用于精度很高的数控机床，如镗铣床、超精车床、超精磨床、大型数控机床等。

(3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控系统如图 1-3 所示，其位置反馈采用转角检测装置，如圆光栅、光电编码器及旋转式感应同步器等，直接安装在伺服电机或丝杠端部。该系统不是直接测量工作台位移量，而是通过检测丝杠转角，间接地测量工作台位移量，然后再反馈给数控装置。由于工作台位移没有完全包括在控制回路中，故称为半闭环控制系统。伺服电机采用宽调速直流力矩电机，其传动方式可直接与丝杠相连。所以，目前

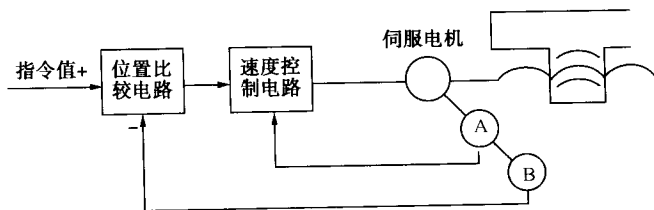


图 1-3 半闭环控制系统



已将角位移检测器与伺服电机设计成一个部件,使系统结构简单,安装、调试都比较方便。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。这种控制系统的精度没有闭环系统高,但采用精密的滚珠丝杠或采用丝杠螺距误差的补偿措施,丝杠等机械传动误差虽然不能通过反馈来随时校正,但是可采用软件定值补偿的方法来适当提高其精度。

目前,大多数中小型数控机床广泛采用半闭环控制系统。

4. 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、高档三类。这种分类方式,在我国使用的较多。低、中、高档的界限是相对的,不同时期的划分标准不同。就目前的发展水平来看,可以根据表 1-1 的一些功能及指标,将各种类型的数控产品分为低、中、高档三类,其中高、中档一般称为全功能数控或标准性数控。在我国还有经济型数控属于低档数控,是由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统和其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控装置主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控装置的分类

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μm	1 μm	0.1 μm
进给速度	8~15m/min	15~24m/min	24~100m/min
伺服进给类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服电机	闭环及直、交流伺服电机
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: 三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU

1.3 数控技术的发展趋势

为了满足市场和科学技术发展的需要,达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求,当前世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面。

1. 高速、高效、高精度、高可靠性

要提高加工效率,首先必须提高切削和进给速度,同时,还要缩短加工时间;要确保加工质量,必须提高机床部件运动轨迹的精度,而可靠性则是上述目标的基本保

证。为此,必须要有高性能的数控装置作保证。

高速、高效 机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有着广泛的适用性。

新一代数控机床(含加工中心)只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高其生产率。超高速加工特别是超高速铣削加工与新一代高速数控机床特别是高速加工中心的开发应用紧密相关。20世纪90年代以来,美、日及欧洲各国争相开发应用新一代高速数控机床,加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速为 $15\,000\sim 100\,000\text{r/min}$)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度 $60\sim 120\text{m/min}$,切削进给速度高达 60m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具、大功率高速电主轴、高加/减速度直线电机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和防护装置等一系列技术领域关键技术的解决,开发应用新一代高速数控机床具有非常广阔的前景。

依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行高精密度、高响应速度的实时处理,由于采用了新型刀具,车削和铣削的切削速度已达到 $5000\sim 8000\text{m/min}$ 以上;主轴转速在 $30\,000\text{r/min}$ (有的高达 10^6r/min)以上;工作台的移动速度(进给速度),在分辨率为 $1\,\mu\text{m}$ 时,为 100m/min (有的到 200m/min)以上;在分辨率为 $0.1\,\mu\text{m}$ 时,为 24m/min 以上;自动换刀速度在 1s 以内;小线段插补进给速度达到 12m/min 。

高精度 从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10\text{nm}$),其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工(三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出新的要求。新材料及新零件的出现,更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的发展。

目前,机械加工高精度的现状如下:普通的加工精度提高了一倍,达到 $5\,\mu\text{m}$;精密加工精度提高了两个数量级,超精密加工精度进入纳米级($0.001\,\mu\text{m}$),主轴回转精度要求达到 $0.01\sim 0.05\,\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\,\mu\text{m}$,加工表面粗糙度 $R_a=0.003\,\mu\text{m}$ 等。

精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高普通机电产品的性能、质



量和可靠性,减少其装配时的工作量从而提高装配效率的需要。随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。为了满足用户的需要,近10多年来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\ \mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\ \mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm 3\sim 5\ \mu\text{m}$,提高到 $\pm 1\sim 1.5\ \mu\text{m}$ 。

高可靠性 是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性并在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠,因为是商品,故受性能价格比的约束。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在16h内连续正常工作,无故障率 $P(t) = 99\%$ 以上,则数控机床的平均无故障运行时间MTBF就必须大于3000h。MTBF大于3000h,对于由不同数量的数控机床构成的无人化工厂差别就大多了。我们只对一台数控机床而言,如主机与数控系统的失效率之比为10:1(数控的可靠性比主机高一个数量级),此时数控系统的MTBF就要大于33333.3h,而其中的数控装置、主轴及驱动等的MTBF就必须大于100 000h。

当前国外数控装置的MTBF值已达6000h以上,驱动装置达30 000h以上。

2. 模块化、智能化、柔性化和集成化

模块化、专门化与个性化 为了适应数控机床多品种、小批量的特点,机床结构实行模块化,数控功能专门化,机床性能价格比显著提高并加快优化。个性化是近几年来特别明显的发展趋势。

智能化 智能化的内容包括在数控系统中的各个方面。

为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如自适应控制,工艺参数自动生成;为提高驱动性能及使用连接方面的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程,智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控方面的内容,更加方便系统的诊断及维修等。

柔性化和集成化 数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是:从点(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、线(FMC、FMS、FTL、FML)向面(工段车间独立制造岛、FA)、体(CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展,另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标;注重加强单元技术的开拓、完善;CNC单机向高精度、高速度和高柔性方向发展;数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与CAD、CAM、CAPP、MTS连接,向信息集成方向发展;网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

3. 开放性

为适应多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求，最重要的发展趋势是体系结构的开放性 & 设计生产开放式的数控系统，例如美国、欧共体及日本的发展开放式数控的计划等。

4. 出现新一代数控加工工艺与装备

为适应制造自动化的发展，向 FMC、FMS 和 CIMS 提供基础设备，要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能，而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头（有时带坐标变换）、自动误差补偿、自动诊断和联网等功能，广泛地应用机器人、物流系统；大力发展 FMC，FMS Web-based 制造及无图纸制造技术；围绕数控技术、制造过程技术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面和高速电主轴、直线电机、软件补偿精度等单元技术方面先后有所突破。在并联杆系结构的新型数控机床中，以虚拟轴数控机床用软件的复杂性代替传统机床机构的复杂性，开拓了数控机床发展的新领域；以计算机辅助管理和工程数据库、互联网等为主体的制造信息支持技术和智能化决策系统。对机械加工中海量信息进行存储和实时处理。应用数字化网络技术，使机械加工整个系统趋于资源合理支配并高效地应用。

由于采用了神经网络控制技术、模糊控制技术、数字化网络技术，机械加工正向虚拟制造的方向发展。