



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材



数控技术应用专业

数控加工 编程与操作 (第2版)

黄志辉 主 编 黄益华 刘 伟 副主编
徐 伟 主 审

010101001
010101001010010101010010101010
010101001010010101
01010100101001010100101010101001
01010100101
0101010010100101010010100
0101010010100101010010100101010
010101001010010101
010101001010010101001010101001
01010100101
0101010010100101010010100
010101001
0101010010100101010010100101010
010101001010010101
010101001010010101001010101001001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
0101010010100101010010100101010
010101001010010101
0101010010100101010010101010010100
01010100101
0101010010100101010010100
010101001



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·数控技术应用专业

数控加工编程与操作

(第 2 版)

黄志辉 主 编

黄益华 副主编
刘 伟

徐 伟 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

全书共分七章,第1章重点介绍了各类数控机床的特点。第2章是数控机床应用人员应该了解的基础工艺知识。第3章结合了国内普遍使用的数控系统,介绍了相应的编程方法。第4、5、6章结合相应的数控机床,分别较为详细地介绍了数控车床、加工中心及慢走丝线切割机床的编程和使用方法。最后一章提供了CAD/CAM技术应用的步骤和一些实例,可以作为CAD/CAM技术应用方面的入门学习材料。因此,本书是一本实用性很强的数控技术应用性教材。

本书可作为高职院校数控技术专业、机电一体化技术专业教学用书。

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

数控加工编程与操作/黄志辉主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2009.4

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材. 数控技术应用专业

ISBN 978-7-121-08563-5

I. 数… II. 黄… III. 数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第044216号

策 划:陈晓明

责任编辑:陈晓明 特约编辑:王 芳

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:16.5 字数:422千字

印 次:2009年4月第1次印刷

印 数:4000册 定价:25.00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 zlts@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

为配合国家紧缺型数控人才的培养,针对数控乃至相关专业高职高专的学生,我们编写了《数控加工编程与操作(第2版)》这本教材。本教材的特点是内容充实、实用性强。目的是使学生能够通过在校较短时间的学习,尽快掌握相应数控设备的编程和操作。

本教材涉及的内容有数控车床、加工中心、线切割机床及CAD/CAM技术应用等。作为一名从事数控机床应用的从业人员,我们认为应该具备这些基本的知识和技能。同时,从实用的角度考虑。书中还着重强调了数控加工工艺方面的知识,这是数控加工编程和操作的基础知识,也是从事数控机床应用的人员必须具备的常识。

为使本教材具有比较广泛的使用价值,教材所涉及到的数控系统有:FANUC-0M、FANUC-0T、华中HNC-21T及西门子SINUMERIK840D/810D等数控系统;涉及到的CAD/CAM软件有MasterCAM和UG软件等,这些都是目前国内正在广泛使用的数控系统和数控自动编程软件。所以本书既是一本高职高专学生的实用性教材,也可以作为数控加工编程和操作人员的学习参考书。

参加本书编著的有:苏州工业园区职业技术学院黄志辉、黄益华、韩立洋、徐文浩,河南漯河职业技术学院刘伟,江西机电职业技术学院顾晔。全书由黄志辉统稿。广东技术师范学院徐伟主审了全书。

从教学角度而言,本教材适合在学生数控车床实训和加工中心实训前使用,结合学校实际情况,可以选用相关章节的内容实施教学。限于编者水平有限,对于书中出现的疏漏和不足,希望读者能够将其宝贵意见和信息反馈给我们,并恳请批评指正。

编 者

2008年10月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院

三峡大学职业技术学院

桂林电子工业学院高职院校

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州经贸职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

合肥通用职业技术学院

安徽职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

江门职业技术学院

广西工业职业技术学院

广州市今明科技公司

无锡工艺职业技术学院

江阴职业技术学院

南通航运职业技术学院

目 录

第 1 章 数控机床概述	(1)
1.1 数控机床的产生、特点和发展历程	(1)
1.1.1 数控机床的产生	(1)
1.1.2 数控机床的特点	(1)
1.1.3 数控机床的发展历程	(1)
1.2 数控机床的分类	(2)
1.2.1 按工艺用途分类	(3)
1.2.2 按运动方式分类	(3)
1.2.3 按控制方式分类	(3)
1.3 数控机床的工作过程	(5)
1.4 数控机床的种类	(5)
1.4.1 NC 车床	(5)
1.4.2 数控铣床	(7)
1.4.3 加工中心	(7)
1.4.4 数控电火花机床	(8)
1.4.5 数控线切割机床	(8)
1.5 柔性制造系统	(8)
本章小结	(9)
习题 1	(9)
第 2 章 数控加工工艺基础	(10)
2.1 数控加工工艺分析	(10)
2.1.1 机床的合理选用	(11)
2.1.2 数控加工零件的工艺性分析	(11)
2.1.3 加工方法的选择与加工方案的确定	(12)
2.1.4 工艺与工步的划分	(12)
2.1.5 零件的安装与夹具的选择	(13)
2.1.6 刀具的选择与切削用量的确定	(14)
2.1.7 对刀点和换刀点的确定	(14)
2.1.8 工艺加工路线的确定	(15)
2.2 金属切削刀具	(16)
2.2.1 刀具材料及选择	(16)
2.2.2 数控铣削常用刀具	(17)
2.2.3 孔加工刀具的选择	(19)
2.2.4 车削刀具	(20)
2.3 切削用量的选择	(20)

2.4 数控加工工艺设计	(21)
2.4.1 数控车削工艺	(21)
2.4.2 数控铣削工艺	(31)
本章小结	(33)
习题 2	(33)
第 3 章 数控编程基础	(34)
3.1 坐标系与原点	(34)
3.1.1 机床坐标系	(34)
3.1.2 工作坐标系	(35)
3.1.3 附加坐标系	(35)
3.1.4 坐标系的原点	(36)
3.1.5 绝对坐标与相对坐标	(37)
3.2 数控程序结构	(38)
3.2.1 程序号	(38)
3.2.2 程序段	(38)
3.3 手工编程	(41)
3.3.1 加工中心编程 (FANUC 0M 系统)	(41)
3.3.2 数控车床编程 (FANUC 0T 系统)	(51)
本章小结	(70)
习题 3	(70)
第 4 章 数控车床应用	(72)
4.1 SSCK20/500 数控车床 (FANUC-0TE 系统)	(72)
4.1.1 SSCK20/500 数控车床的用途及布局	(72)
4.1.2 SSCK20/500 数控车床的主要技术参数	(73)
4.1.3 SSCK20/500 数控系统的主要技术规格	(73)
4.1.4 SSCK20/500 数控车床编程的特点	(74)
4.1.5 SSCK20/500 数控车床加工准备类指令	(75)
4.1.6 SSCK20/500 数控车床基本加工类指令	(78)
4.1.7 SSCK20/500 数控车床循环加工类指令	(81)
4.1.8 SSCK20/500 数控车床返回类指令	(90)
4.1.9 SSCK20/500 数控车床刀具补偿指令	(92)
4.1.10 SSCK20/500 数控车床子程序指令	(97)
4.1.11 SSCK20/500 数控车床的操作	(98)
4.1.12 SSCK20/500 数控车床程序的输入、检查与修改	(107)
4.1.13 SSCK20/500 数控车床的运转操作	(112)
4.2 世纪星数控车床 (HNC-21T 数控系统)	(114)
4.2.1 HNC-21T 数控系统的编程指令体系	(114)
4.2.2 HNC-21T 世纪星数控车床操作 (华中数控系统)	(143)
4.3 数控车削综合编程实例	(155)

4.3.1	FANUC 车削系统编程	(155)
4.3.2	HNC-21T 数控系统编程	(157)
	本章小结	(159)
	习题 4	(159)
第 5 章	加工中心应用	(161)
5.1	数控指令 (SINUMERIK840D/810D/FM-NC 系统)	(161)
5.1.1	准备功能 G 指令	(161)
5.1.2	辅助功能 M 指令	(164)
5.1.3	其他功能代码	(165)
5.1.4	子程序	(165)
5.1.5	镜像指令	(165)
5.1.6	DECKEL MAHO 循环	(166)
5.1.7	循环格式	(166)
5.2	程序举例 (SINUMERIK810D)	(170)
5.3	加工中心操作	(174)
5.4	加工中心操作练习	(178)
	本章小结	(180)
	习题 5	(180)
第 6 章	线切割机床应用	(182)
6.1	线切割加工机床工作原理	(182)
6.2	线切割加工的特点	(183)
6.3	线切割数控原理	(183)
6.4	慢走丝线切割机床组成 (瑞士夏米尔机型)	(184)
6.4.1	主机	(184)
6.4.2	电解液循环系统	(186)
6.4.3	电柜	(186)
6.5	慢走丝线切割编制程序	(187)
6.5.1	G 代码、M 代码	(187)
6.5.2	工件装夹、设置机床坐标系	(189)
6.5.3	选择表文件	(192)
6.5.4	公差处理	(193)
6.6	程序执行方式和标准顺序	(195)
6.6.1	程序执行方式	(195)
6.6.2	多次加工标准顺序	(195)
6.7	参数设置及其他功能	(195)
6.7.1	用户参数	(195)
6.7.2	放电参数	(196)
6.7.3	其他功能	(197)
	本章小结	(198)

习题 6	(198)
第 7 章 CAD/CAM 技术应用	(199)
7.1 CAD/CAM 软件发展过程	(199)
7.2 CAD/CAM 集成数控编程系统的基本原理	(199)
7.2.1 CAD/CAM 系统的组成	(199)
7.2.2 CAD/CAM 系统的基本功能要求	(200)
7.3 CAD/CAM 集成数控编程系统的应用	(200)
7.4 常见的几种 CAD/CAM 软件简介	(202)
7.5 Master CAM 软件应用	(205)
7.5.1 Master CAM 功能简介	(205)
7.5.2 生成刀具轨迹的工作步骤	(207)
7.5.3 后置处理	(215)
7.5.4 2D 刀具轨迹的生成	(215)
7.5.5 3D 刀具轨迹的生成	(221)
7.5.6 用 Master CAM 软件编程举例	(224)
7.6 Unigraphics (UGNX) 软件应用	(228)
7.6.1 UGNX CAM 功能简介	(228)
7.6.2 UGNX 5.0 数控加工的一般流程	(229)
7.6.3 加工前的准备工作	(231)
7.6.4 创建几何体	(232)
7.6.5 创建刀具	(234)
7.6.6 创建加工方法	(236)
7.6.7 创建程序组	(236)
7.6.8 创建操作	(237)
7.6.9 加工实例	(237)
本章小结	(250)
习题 7	(250)
参考文献	(251)

第1章 数控机床概述

1.1 数控机床的产生、特点和发展历程

数控是数字控制 (Numerical Control) 的简称, 其含义是用以数字和符号构成的数字信息自动控制机床的运转, 因此, 数控机床也简称为 NC 机床。

1.1.1 数控机床的产生

数控机床最初是由美国的 T.Parsons 提出设想的, 1947 年, 美国的 Parson 公司在生产直升飞机翼检查样板时, 为了提高精度和效率, 提出了用穿孔卡片来控制机床的方案, 这一方案迎合了美国空军为开发航天及导弹产品, 需要加工复杂零部件的需求, 于是得到了空军的经费支持, 开始研究以脉冲方式控制机床各轴的运动, 进行复杂轮廓加工的装置。

1949 年, 在麻省理工学院伺服机构研究所的合作协助下, T.Parsons 与 MIT (麻省理工学院) 的伺服机构研究所一起, 历时三年, 终于完成了能进行三轴控制的铣床样机, 取名为 “Numerical Control”, 这就是数控机床的所谓第一号机。从此以后, 很多厂家都开展了数控机床的研制开发和生产。1959 年, 美国 Keaney & Treckre 公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台, 可以在一次装夹中对工件的多个面进行钻孔、镗孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等多种加工的数控机床。由于它将钻、铣等多种机床的功能集于一身, 不但省却了工件的反复搬动、安装、换刀等手续, 而且使加工精度大为提高。从此, 数控机床的一个新的种类——加工中心 (Machining Center) 诞生了, 并逐步成为数控机床中的主力。

1.1.2 数控机床的特点

数控机床加工相对于普通机床加工而言, 大致具有如下特点:

- (1) 机床操作人员能在较短的时间内掌握机床的操作和加工方法。
- (2) 数控机床的加工精度稳定, 操作的熟练程度对加工精度影响不大。
- (3) 由于要花时间做编程等准备工作, 数控机床一般适合于中批量规模以上的生产。
- (4) 在形状复杂部件、多工序部件的加工方面, 数控机床的优越性显著。
- (5) 能将工序管理、刀具管理等工作标准化。
- (6) 可长时间自动运行。
- (7) 在设计变化, 减少库存量等方面, 由于是基于计算机进行的, 因而生产管理方便, 易于进行系统化集成。
- (8) 相对而言, 数控设备费用高, 以至于加工成本也相对较高。
- (9) 对程序的依赖易导致放松对工作的改进等不良之处也不容忽视。

1.1.3 数控机床的发展历程

数控机床是以微电子技术发展为推动力的, 先后经历了 20 世纪 50 年代的第一代电子管

数控、60 年代初的第二代晶体管数控、60 年代后期的第三代小规模集成电路数控、70 年初的第四代小型计算机数控和 70 年代末的第五代微型计算机数控等五个发展阶段。具体的开发历程大致如下：

1948 年，T. Parsons 受美国空军的委托，对直升机旋翼桨检查仪制造中需用到的电子控制机床提出设计思想，开始研发工作。

1949 年，在麻省理工学院的协助下，T. Parsons 成功地将铣床数控化。

1952 年，麻省理工学院首次推出数控铣床，并将这种新的控制方式取名为数值控制。

1957 年，东京工大和池贝铁工在日本首次开发出数控车床。

1958 年，Kearney & Trecke 公司推出有自动换刀装置（ATC）的数控机床，加工中心诞生了。

1960 年，日立制作所开发出数控万能机床（带 ATC 的原始加工中心）。

1966 年，富士通公司首次开发出全部采用集成电路的数控装置。

1967 年，英国的 Molins 公司推出 DNC（群控系统）“System24”，这就是 FMS（柔性制造系统）的原型。

进入 20 世纪 80 年代后，数控技术已经应用在各种加工机床上，例如，数控车床、数控铣床、数控冲床、数控齿轮加工机床、数控电火花、线切割、激光加工机床及快通成形机等等。

数控机床已发展到不但具有刀具自动交换装置，而且具有工件自动供给、装卸寿命检测、排屑等各种附加装置，可以进行长时间的无人运转加工。其可靠性和功能也逐步得到了很大的提高，而其价格、体积和能耗却大为下降。

当今的数控机床已经在机械加工部门占有非常重要的地位，是 FMS（Flexible Manufacturing System）即柔性制造系统、CIMS（Computer Integrated Manufacturing System）即计算机集成制造系统的基本构成单位。

近年来，为充分利用通用计算机技术的丰富资源和利于发展延续，基于 PC 的 CNC 技术已经成为发展方向。同时，CNC 技术除进一步向高速度、高精度控制能力发展外，还正向着开放式体系结构发展，以适应下一代的集成化、网络化的先进制造模式的需要，并能及时方便地纳入新技术、新方法。如美国科学制造中心与美国空军共同领导的“下一代工作站/机床控制体系结构”NGC（The Next Generation Work-station/Machine Control）计划、欧共体的“自动化系统中开放式体系结构”OSACA（Open System Architecture for Control within Automation Systems）计划、日本的 OSEC（Open System Environment for Controller）计划等。开放式数控技术具有如下几个重要技术特征：

（1）迅速运用高速发展的计算机技术、信息技术、网络技术。

（2）用户可以在较大范围内根据需要选择和配置硬件，如主轴轴数、伺服轴数和 PLC-I/O 点数等。

（3）用户可以在开放式环境下扩充系统的功能，例如，开发最适合自己用途的人机界面，或者利用标准 NC 控制功能开发自己的专有控制功能。

（4）系统能够直接运行其他标准应用软件，如 CAD、数据库等，利用现有软件开发出能满足自己产品要求的最佳控制系统。

1.2 数控机床的分类

数控机床的种类很多，其分类方法尚无统一规定，通常可按以下几种方式分类。

1.2.1 按工艺用途分类

按工艺用途分类，数控机床可分为数控钻床、车床、铣床、镗床、磨床和齿轮加工机床等，还有压床、冲床、弯管机、电火花切割机、火焰切割机、凸焊机也都采用数字控制。

加工中心是带有刀库及自动换刀装置的数控机床，它可以在一台机床上实现多种加工。工件一次装夹，可完成多种加工，既节省辅助工时，又提高加工精度。加工中心特别适用于箱体、壳体的加工。车削加工中心可以完成所有回转体零件的加工。

1.2.2 按运动方式分类

1. 点位控制 PTP (Point to Point)

点位控制就是保证单点在空间的位置，而不保证点到点的路径精度的控制。如图 1.1 (a) 所示。这种控制方法用于数控冲床、数控钻床、数控点焊设备中，还可用在数控坐标镗铣床上。

2. 点位直线控制

点位直线控制就是既要求点的位置精度，又要求走直线的精度。如图 1.1 (b) 所示。在数控镗铣床上使用这种控制方法，可在一次装夹箱式零件中对其平面和台阶完成铣削，然后再进行钻孔、镗孔加工，这样可以大大地提高生产率。

3. 轮廓控制系统 CP (Control Path)

轮廓控制是对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制。如图 1.1 (c) 所示。它不仅能保证各点的位置，而且要控制加工过程中各点的位移速度，也就是刀具移动的轨迹。既要保证尺寸的精度，还要保证形状的精度。在运动过程中，同时要向两个坐标轴分配脉冲，使它们能走出所要求的形状来，这就叫插补运算，它是一种软仿形，而不是靠硬仿形。所以极大地缩短了生产准备时间，更重要的是这种软仿形的精度要比硬仿形高很多倍。

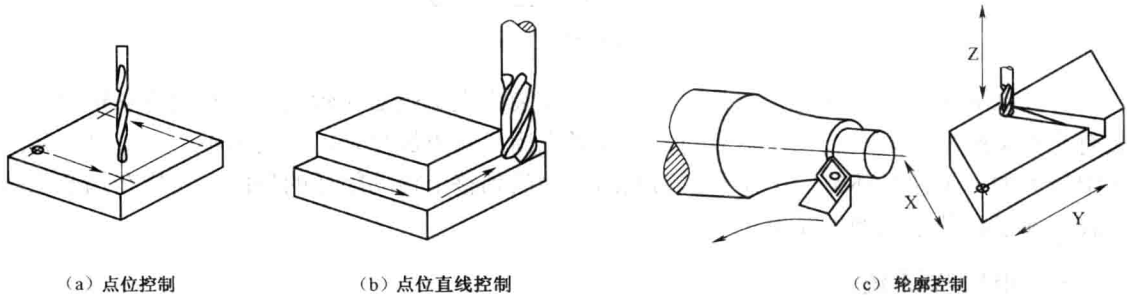


图 1.1 数控机床运动方式分类

1.2.3 按控制方式分类

1. 开环控制

开环控制示意图如图 1.2 所示，它是无位置反馈的一种控制方法，它采用的控制对象、执行机构多半是步进式电动机或液压转矩放大器（即电液脉冲马达）。这种控制方法在 20 世纪 60 年代应用很广泛，但随着机械制造业的发展，它逐渐不能适应要求。例如，精度要求愈来愈高，功率也愈来愈大，步进电动机做不成大功率；用电液脉冲马达，机构就相当庞大，

所以目前逐渐被其他控制方式所取代。但开环系统由于结构简单、控制方法简便，价格也相对便宜。对要求精度不高，且功率需求不太大的地方，还是可以用的。经济型简易数控车床的应用就是一例。

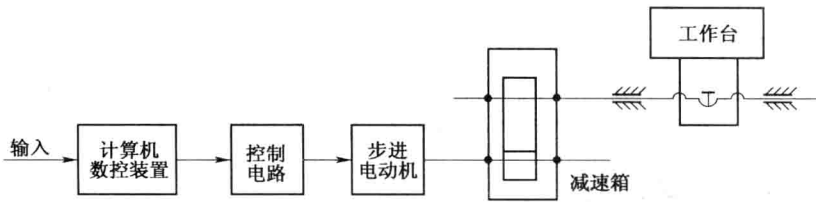


图 1.2 开环控制驱动方式

2. 半闭环控制系统

半闭环控制系统示意图如图 1.3 所示，它是在丝杠上装有角度测量装置（光电编码器、感应同步器或旋转变压器）作为间接的位置反馈。因为零件的尺寸精度应由刀架的运动来测量，但半闭环控制系统不是直接测量刀架的实际位移，而是测量带动刀架的丝杠转动了多大角度，然后，根据螺距进行计算，计算出它的位置。这种方法显然是有局限性的，必须要求丝杠加工的精确，确保在丝杠上的螺母只有很小的间隙。当然还可以通过软件进行补偿，但是对这些器件的精度与传动间隙的要求也是必要的。

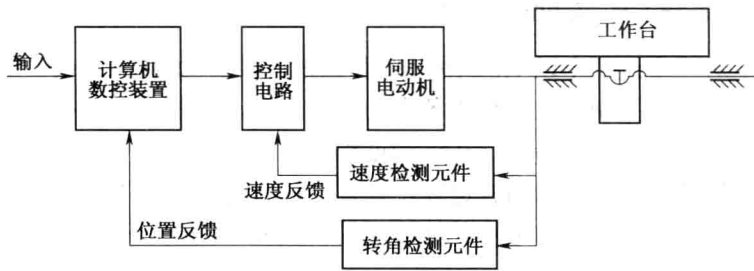


图 1.3 半闭环控制驱动方式

为什么采用这种方法呢？一是在电动机上安装光电编码器比较简单，甚至电动机出厂已装有光电编码器，要安装一个感应同步器或者光栅尺就更加复杂，投资也不小。二是把传动环中最大的一个惯量环节，工作台或刀架的移动放到整个传动闭环的外面，这样在调节上就比较方便了，使系统调试简单。

3. 闭环控制系统

闭环控制系统示意图如图 1.4 所示，它是对机床的移动部件的位置直接用直线位置检测装置进行检测，再把实际测量出的位置反馈到数控装置中去，与输入指令比较是否有差值，然后用这个差值去控制移动部件，使移动部件按实际需要值去运动，从而实现准确定位。这种方法，其精度主要取决于测量装置的精度，而与传动链的精度无关，因此这种控制要比半闭环精度高。

虽然如此，闭环控制系统对机床的要求，以及对机床的传动链仍然要求非常高，因为传动系统刚度不足、传动系统有间隙或机床导轨摩擦力大引起运动副爬行，这些不仅使调试困难，还会使系统出现振荡现象。

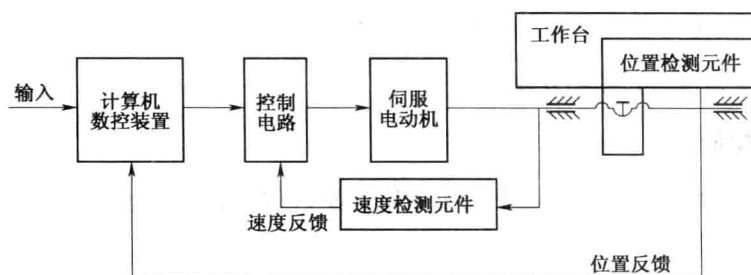


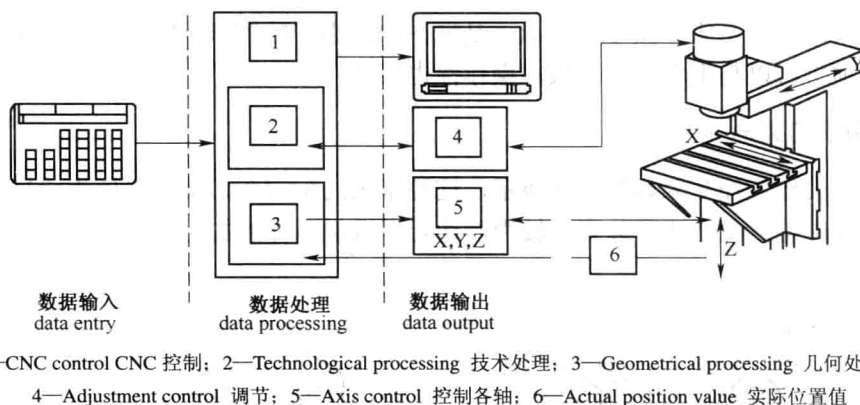
图 1.4 闭环控制驱动方式

4. 混合环控制

这实际上是半闭环和闭环系统的混合形式，内环是速度环，控制进给速度。外环是位置环，主要对数控机床进给运动的坐标位置进行控制。

1.3 数控机床的工作过程

数控机床加工零件时，要预先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具位移数据，再按编程手册的有关程序指令规定，编写零件加工程序。或者利用 CAD/CAM 软件进行编程，然后将程序通过磁盘输入机、串行口等输入设备输入到数控系统，由数控系统对程序进行处理和计算。并且发出相应的命令，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，进行零件的切削加工。如图 1.5 所示。



1—CNC control CNC 控制；2—Technological processing 技术处理；3—Geometrical processing 几何处理；
4—Adjustment control 调节；5—Axis control 控制各轴；6—Actual position value 实际位置值

图 1.5 数控机床工作过程示意图

1.4 数控机床的种类

数控技术发展到现在，几乎所有的机床种类都向着实现数控化的方向发展。在机械加工中有数控车、铣、钻、磨；在塑性加工机床中有数控冲床、弯管机等；在特种加工方面则有数控电火花、线切割、激光加工机床等；在其他方面也有很多数控机床的应用实例，如数控缠绕机等等。本节中主要介绍在切削加工中常用的一些数控机床的形式和特点。

1.4.1 NC 车床

NC 车床是切削加工中应用最为广泛的机床之一，图 1.6 所示的数控车床是最为常见的一

种类型。数控车床按刀架的位置和刀架的功能也可分为很多种类。

1.4.1.1 按刀架的位置分类

1. 水平刀架形

水平刀架形数控车床是在床身上水平放置刀架，与普通机床形式基本相同，刀架主要有方形和六角形等形式。

2. 垂直刀架形

垂直刀架形数控车床如图 1.7 所示，由于刀具从工件上方开始切削，因而切屑可以直接落到床身底部，排屑效果最好。



图 1.6 友嘉 FTC30 数控车床

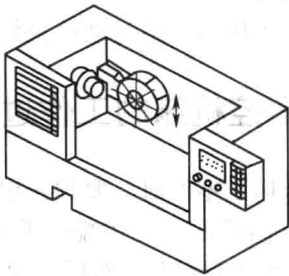


图 1.7 垂直刀架形数控车床

3. 倾斜刀架形

倾斜刀架形数控车床如图 1.8 所示，是现在中、小型数控车床中最为广泛采用的一种，排屑容易，顶尖可以与主轴轴线一致，操作性也很好。

4. 梳齿状刀架形

梳齿状刀架形数控车床如图 1.9 所示，这种车床的车刀在刀架上以梳齿状排列，刀架可以纵横两方向进给。此方式可装刀具较少，适合于批量零件的加工。

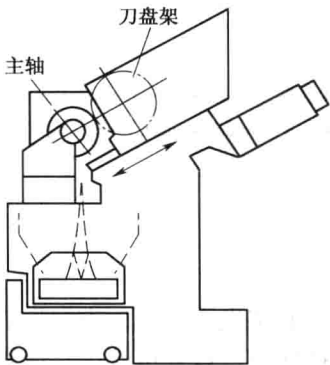


图 1.8 倾斜刀架形数控车床

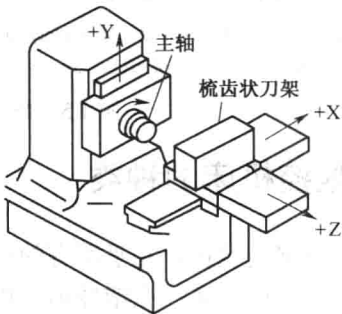


图 1.9 梳齿状刀架形数控车床

1.4.1.2 按刀架的功能分类

1. 高效率车床

高效率车床主要有一个主轴两个回转刀架及两个主轴两个回转刀架等形式。这种机床的

特点是加工效率较高。

2. 高精度车床

高精度车床主要用于加工类似 VTR 的磁鼓、磁盘的合金铝基板等需要镜面加工并且形状、尺寸精度都要求很高的零部件，可以代替后续的磨削加工。这种机床的主轴采用超精密空气轴承，进给采用超精密空气静压导向面，主轴与驱动电动机采用磁性联轴器等。床身采用高刚性厚壁铸铁，中间填砂处理，支撑也采用空气弹簧三点支撑。总之为了进行高精度加工，在机床各方面均采取了很多措施。

3. 车削加工中心

车削加工中心除可以进行一般车削加工外，还可以进行铣削、钻削、攻螺纹等多种加工。它是在转盘式刀架的刀座上安装上驱动电动机，可进行回转驱动，主轴可以进行回转位置的控制（C 轴控制）。车削加工中心可进行四轴（X、Y、Z、C）控制，而一般的数控车床只是两轴（X、Z）控制。

图 1.10 所示是一个由数控车床、机器人等构成的一个柔性加工单元。它除了具备数控车床的基本功能外，还能实现工件的搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化。

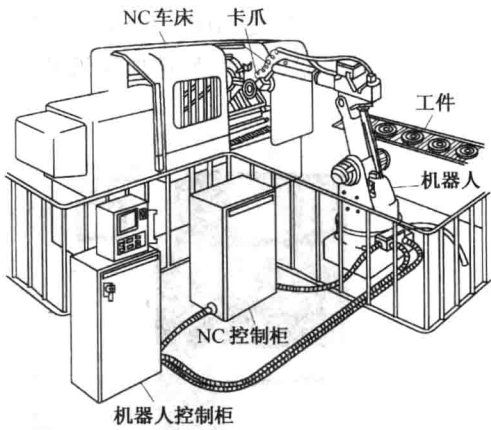


图 1.10 FMC 车床

1.4.2 数控铣床

数控铣床是首先实现数控化的机床种类，但随着加工中心的兴起，数控铣床的应用已经逐渐减少。

数控铣床从构造上分类主要有工作台升降式和主轴头升降式两种。

主轴头升降式数控铣床在精度保持、承载重量、系统构成等方面具有很多优点，已成为数控铣床的主流。

另外，数控仿形铣床在复杂自由曲面的加工中应用也很广泛。

1.4.3 加工中心

加工中心一般是指具有自动换刀功能的数控铣床，它可以在一次装夹中同时进行钻削、镗削、铣削等多种加工。加工中心是数控机床上应用最广、数量最多的机床，也是构成 FMS 和工厂自动化所不可缺少的机床种类之一。

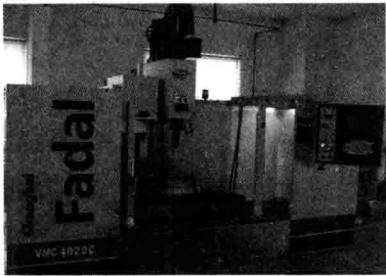


图 1.11 立式加工中心

加工中心按主轴的方向可分为立式和卧式两种，立式加工中心的主轴是垂直的，如图 1.11 所示，主要用于重切削和精密加工，适合复杂型腔的加工。卧式加工中心的主轴是水平的，一般具有回转工作台，可进行四面或五面加工，特别适合于箱体零件的加工。除此之外，还有用于精密加工的龙门形构造加工中心等等。