

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



数控加工编程与应用

王军 王申银 主编



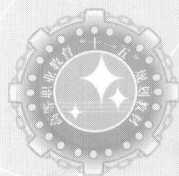
HUKONG JIAGONG BIANCHENG YU YINGYONG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



数控加工编程与应用

主 编 王 军 王申银
副主编 朱鹏程 张玉香



HUKONG JIAGONG BIANCHENG YU YINGYONG

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与应用/王 军 王申银 主编. —武汉:华中科技大学出版社,
2009年2月

ISBN 978-7-5609-5104-1

I. 数… II. ①王… ②王… III. 数控机床-程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 004434 号

数控加工编程与应用

王 军 王申银 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:张 毅

责任校对:刘 竣

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山

邮编:430074

电话:(027)87557437

录 排:武汉正风图文照排中心

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:11

插页:2

字数:255 000

版次:2009年2月第1版

印次:2009年2月第1次印刷

定价:19.80元

ISBN 978-7-5609-5104-1/TG·99

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

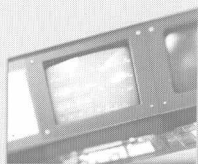
高等职业教育“十一五”规划教材 21世纪高职高专机电类规划教材 编审委员会

顾 问 陈吉红（教授，华中科技大学博导）

委 员 （以姓氏笔画为序）

丁原廉 王 瑞 尹玉珍 刘合群 牟应华 许小明
李传军 李正峰 李振斌 余小燕 苏 明 吴水萍
陆全龙 陈新耘 张晓娟 张 健 张安全 邱文萍
杨继宏 杨晓光 林承全 明志新 周卫东 娄 琳
俞礼钧 洪 霞 贺 剑 郭建农 徐国洪 游英杰
崔梁萍 盛国林 熊裕文 熊光荣 熊建云 管 剑

秘 书 张 毅



内 容 简 介

本书属高等职业教育教材,是根据高等职业教育“理论够用,实践第一”总纲的要求,结合并参照国家相关职业技能鉴定规范及中、高级技术工种等级考核标准编写的。

全书包括:第1章数控机床的基本知识,第2章数控加工编程基础及工艺,第3章数控车床的编程与工艺,第4章数控铣床的编程与工艺,第5章加工中心的程序编制等内容。本书以FANUC和SIEMENS系统为主,将数控加工工艺和数控编程有机地结合在一起,并列举大量实例予以介绍。

本书可作为机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造专业的教学用书或技能培训用书,亦适于有关读者自学。



数控技术是典型的机电一体化高新技术,数控机床具有通用性好、灵活性高、效率高、精度高、质量好的特点。随着我国社会主义市场经济的迅猛发展,各种数控机床在机械制造业的应用日益广泛,成为机械工业技术改造的首选设备。因此,培养大批数控技术高级应用型人才成为社会和企业生产的需要,也成为高职教育的责任。本书是在上述形势下,由双师型教师结合多年高职教学的实践经验,借鉴国内外数控技术的先进资料和经验组织编写。

通过对本书的学习,学生可了解数控机床的工作原理和编程方法,熟悉数控加工工艺,掌握常用数控车、铣、加工中心等加工方法的编程格式、技巧、步骤,并通过实训掌握数控机床的基本操作技能,达到学以致用目的。综合起来,本书有以下特点。

(1) 贯彻“必需、够用”的原则。在知识内容的选择方面,以学生就业为导向,以企业用人标准为依据,以培养能力为主线,以培养生产一线的高素质劳动者和高级专门人才为目标,对数控技术知识进行整体优化,摒弃一些“繁、难、旧”的纯理论内容,加强基本技能训练的力度,不追求所谓的系统性、完整性,而选取数控加工技术最基本的概念、工作原理、常用数控加工方法的编程与工艺及大量编程实例予以介绍。

(2) 重点突出、通俗易懂。在编写方式上,本书针对数控加工技术,较全面地介绍了数控编程基础知识和数控加工工艺;在机床使用方面,以常用加工方法为主介绍;在系统使用方面,以 FANUC 和 SIEMENS 系统为主介绍;在编程方式方面,以手工编程为主介绍,并将自动编程一章另立成书。

遵从高等职业技术学院学生的认知规律,在结构安排和表达方式上,强调由浅入深、循序渐进,语言力求简练、通俗易懂,将机床说明书上难以理解的表述用最简单的语句加以说明,使学生便于自学,体现师生互动和学生自主学习思想。

(3) 突出实用性、综合性和先进性。本书从数控编程的总体特点到不同数控系统的具体要求,详细阐述了手工编程的步骤和方法,同时对零件的加工工艺、刀具等方面知识作了适当介绍,为便于学生更好地掌握,工艺部分不再独立成章,而是与具体的加工方法、例题结合起来,有助于学生较好掌握数控编程技术基础。另外,为突出实用性和新技术应用,本书在上述内容基础上增加了宏程序等新内容。

(4) 学、考、产结合。本书内容及难度的选择参考了国家相关职业技能鉴定规范及中、高级技术工种等级考核标准,学生在课程结束后,经过一段时间的实训,可直接参加相关的工种考试并取得职业资格证书。

本书第 1、2 章由山东济宁职业技术学院技师、副教授王申银编写,第 3 章由技师、实验师张玉香编写,第 4 章由高级工程师、副教授王军和讲师袁卫华编写,第 5 章由南山职业技术学院工程师、讲师朱鹏程和讲师姜丽军编写。所有编写教师均系双师型教师。



在此书的编写过程中,承蒙山东济宁职业技术学院有关院系领导和老师的指导和帮助,承蒙山东博特丝杠有限公司与山东矿山集团有限公司有关领导和技术人员的指导和协助,对此,我们深表感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在一些缺点,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2008 年 11 月

第 1 章 数控机床的基本知识	(1)
1.1 数控机床及其特点	(1)
1.2 数控机床的基本组成	(3)
1.3 数控机床的分类	(5)
1.4 数控技术的发展	(8)
思考与练习题	(10)
第 2 章 数控加工编程基础及工艺	(11)
2.1 数控编程的步骤和方法	(11)
2.2 数控机床的坐标系	(13)
2.3 数控加工程序的结构和指令	(17)
2.4 数控编程的工艺基础	(29)
思考与练习题	(37)
第 3 章 数控车床的编程与工艺	(38)
3.1 数控车床简介	(38)
3.2 数控车床工艺基础	(40)
3.3 数控车床坐标系统的设定和对刀调整	(46)
3.4 数控车床的编程特点和基本编程指令	(49)
3.5 数控车床固定循环指令的应用和子程序的编写	(59)
3.6 数控车床螺纹车削程序的编写	(73)
3.7 数控车床刀具补偿功能及其编程	(80)
3.8 数控车床综合编程实例	(86)
思考与练习题	(92)
第 4 章 数控铣床的编程与工艺	(95)
4.1 数控铣床及其工艺基础	(95)
4.2 数控铣削编程基础	(99)
4.3 典型零件的加工举例	(122)
思考与练习题	(128)



第 5 章 加工中心的编程与工艺	(131)
5.1 加工中心简介	(131)
5.2 SIEMENS 系统固定循环功能	(140)
5.3 FANUC 系统 B 类宏程序应用	(146)
5.4 SIEMENS 系统宏程序应用	(155)
5.5 加工中心综合编程实例	(159)
思考与练习题	(165)
参考文献	(167)

第 1 章 数控机床的基本知识

1.1 数控机床及其特点

1.1.1 数控机床及其发展

数字控制(numerical control, NC)技术, 简称为数控技术, 是利用数字指令来控制机器的动作。数控技术是为了解决复杂型面零件加工的自动化而产生的。采用数控技术的控制系统, 称为数控系统。数控机床是采用了数控技术的机械设备, 是通过数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制, 实现要求的机械动作, 自动完成加工任务。数控机床是典型的机电一体化产品。

1948 年, 美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓用检查样板的机床时, 提出了数控机床的设想, 在麻省理工学院的协助下, 于 1952 年试制成功了世界上第一台数控机床样机。后又经过三年时间的改进和自动程序编制的研究, 数控机床进入实用阶段。

1959 年, 美国克耐·杜列克(Keaney & Trecker)公司首次成功开发了带有自动换刀装置的加工中心(machining center, MC), 它可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。

20 世纪 60 年代末, 出现了直接数控系统(direct numerical control, DNC), 即由一台计算机直接管理和控制一群数控机床。此后, 又出现了由多台数控机床连接而成的柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)。

近几年, 出现了以数控机床为基本加工单元的计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems, CIMS), 它是利用计算机通过信息集成实现现代化的生产制造, 以提高企业的生产效率。

我国于 1958 年开始研制数控机床, 近 50 年的发展历程大致可分为三个阶段。

第一阶段从 1958 年到 1979 年, 即封闭式发展阶段。在此阶段, 由于国外的技术封锁和我国的基础条件的限制, 数控机床的发展较为缓慢。

第二阶段是在国家的“六五”、“七五”期间以及“八五”的前期, 即引进技术、消化吸收、初步建立起国产化体系阶段。在此阶段, 由于改革开放和国家的重视, 以及研究开发环境和国际环境的改善, 我国数控机床的研究、开发以及在产品的国产化方面都取得了长足的进步。

第三阶段是在国家的“八五”后期和“九五”期间, 即实施产业化的研究、进入市场竞争的阶

段。在此阶段,我国国产数控装备的产业化取得了实质性进步。航天 1 型、华中 1 型、华中-2000 型等高性能数控系统,实现了高速、高精度和高效经济的加工效果,能完成高复杂度的五坐标曲面实时插补控制,可加工出较复杂的整体叶轮及复杂刀具。

随着微电子技术、计算机技术的发展,数控系统也在不断进步。近 50 年来,数控系统经历了两个阶段、六个时代的发展历程。

数控系统发展的第一个阶段称为 NC(数字逻辑控制)阶段。在这个阶段数控系统的发展经历了三个时代,即电子管时代、晶体管时代和中小规模集成电路时代。

自 1970 年小型计算机开始用于数控系统,数控技术进入发展的第二个阶段,称为 CNC(计算机数字逻辑控制)阶段,这是第四代数控系统;从 1974 年微处理器开始用于数控系统,数控系统发展到第五代。经过几年的发展,数控系统从性能到可靠性都得到了根本性的提高,自 20 世纪 70 年代末到 80 年代初,数控技术在全世界范围内得到了大规模的发展和应用,实际上迄今为止,在生产中使用的数控系统大多数都是第五代数控系统。

从 20 世纪 90 年代开始,微电子技术和计算机技术的发展突飞猛进,个人计算机即 PC 机的发展尤为突出,在软硬件以及外围器件等各个方面的进展日新月异,计算机所用芯片集成化程度越来越高,功能越来越强,而成本却越来越低,原来在大、中型计算机上才能实现的功能,现在在微型机上就可以实现。在美国首先出现了所谓在 PC 机平台上开发的数控系统,即 PC 数控系统,也就是现在说的第六代数控系统,它的特点是计算机的兼容性。

1.1.2 数控机床的特点

1. 数控机床的优点

数控机床有许多优点,因而发展很快,逐渐成为机械加工的主导机床。

(1) 加工精度高。数控机床采用程序控制,从而避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,加工质量稳定。

(2) 加工生产率高。在数控机床上使用的刀具通常是不重磨装夹式刀具,且都有很硬的表面涂层,因而切削速度较高。采用对刀仪对刀,加工中心的刀库有足够数量的刀具,自动换刀速度很快,空行程的速度在 15 m/min 以上,有的可达 240 m/min,因而辅助时间短。与普通机床相比,数控机床的生产率可提高 23 倍或更高。

(3) 对加工对象改型的适应性强。同一台机床上可适应不同品种及尺寸规格零件的自动加工,只要更换加工程序,就可改变加工零件的品种。为单件小批量零件加工及试制新产品提供了极大的便利。

(4) 减轻了操作工人的劳动强度。操作者不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度大大减轻。

(5) 能加工复杂型面。数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。

(6) 有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件,能精确地估算零件的加工工时,有助于精确编制生产进度表,有利于生产管理的现代化。

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. 数控机床的不足之处

数控机床的不足之处如下。

- (1) 提高了初始阶段的投资。
- (2) 由于系统本身的复杂性,增加了维修的技术难度和维修费用。
- (3) 对操作人员的技术水平要求较高。

3. 适合数控机床加工的零件

数控机床最适合加工以下零件。

- (1) 几何形状复杂的零件。从图 1.1 可以看出,数控机床非常适合加工形状复杂的零件。
- (2) 多品种小批量零件。如图 1.2 所示,表明了通用机床、专用机床和数控机床加工批量与成本的关系。从图中可以看出,数控机床比较适合加工中小批量的零件。

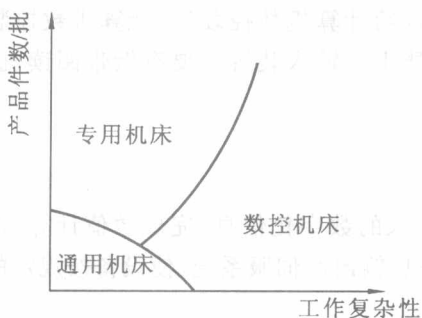


图 1.1 各种机床的使用范围

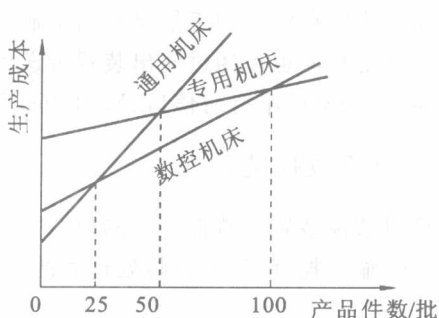


图 1.2 各种机床的加工批量与成本的关系

- (3) 精度要求高的零件。数控机床特别适合加工贵重的、不允许报废的关键零件和必须严格要求公差的零件。
- (4) 需要频繁改型的零件。

1.2 数控机床的基本组成

数控机床主要由数控系统和机床主体组成,如图 1.3 所示。此外数控机床还有许多辅助装置,如自动换刀装置(automatic tool changer, ATC),自动工作台交换装置(automatic pallet changer, APC),自动对刀装置,自动排屑装置及电、液、气、冷却、防护、润滑等装置。

数控系统包括程序及载体、输入/输出装置、计算机数控装置(CNC)、伺服驱动系统等。

1. 程序及载体

用数控机床加工零件之前,首先要根据零件图纸上的要求制定合理的加工工艺,然后编制加工程序。将零件加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上,如穿孔纸带、软磁盘或录音磁带等,通过数控机床的输入装置,将程序输入到数控装置内。

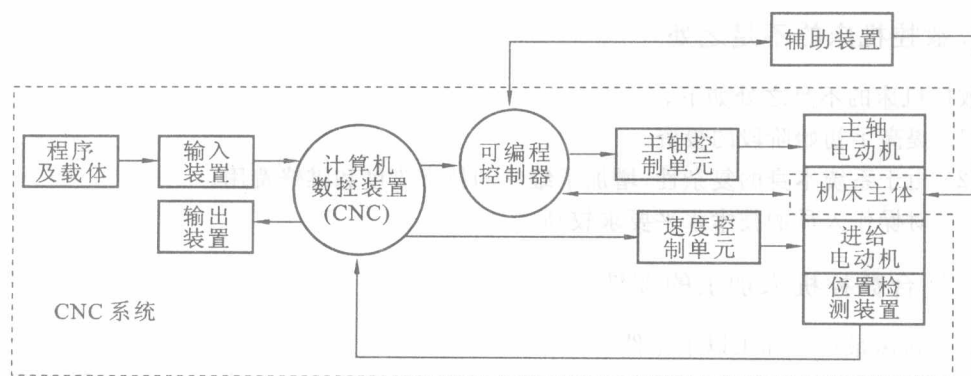


图 1.3 数控机床的组成

2. 输入/输出装置

存储介质中存储的加工信息必须由输入装置输送给计算机数控装置,计算机数控装置中存储的加工程序也可通过输出装置传送到程序介质上。输入装置主要有纸带阅读机、软盘驱动器、RS-232C 串行通信口、MDI 方式等。

3. 计算机数控装置

计算机数控装置是数控机床的核心,它可根据输入的数字化信息,完成数值计算、逻辑判断、输入/输出控制等功能,将处理后的各种指令信息输出给伺服系统,使设备按规定的动作执行。

4. 伺服驱动系统

伺服驱动系统的作用是把来自计算机数控装置的指令信息,经功率放大后严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件的运动,以加工出符合要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率等指标的重要因素之一。常用的伺服驱动元件有直流伺服电动机、交流伺服电动机、电液伺服电动机等。

5. 检测装置

检测装置的作用是将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来,并经反馈系统输送到机床的计算机数控装置中,计算机数控装置对反馈来的实际位移值与设定值相比较,计算出实际位置与指令位置之间的偏差,并发出指令,纠正所产生的误差。检测元件从检测方式上可分为直接测量和间接测量,在数控机床中常采用的直接测量元件有光栅和直线感应同步器,常采用的间接测量元件有光电编码器和旋转变压器。

6. 机床主体

数控机床的主体包括床身、立柱、工作台、主运动机构和进给运动机构等机械部件。主体结构的特点是结构刚度和抗振性能高,热变形小,传动链短,具有更高的传动精度,且可实现无级变速。



1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多,品种已达数千种,结构、功能也各具特色,归纳起来可以用下面的几种方法来分类。

1.3.1 按工艺用途分类

按工艺用途分类大致如下:

- ① 数控车床(含有铣削功能的车削中心);
- ② 数控铣床(含铣削中心);
- ③ 数控镗床;
- ④ 以铣镗削为主的加工中心;
- ⑤ 数控磨床(含磨削中心);
- ⑥ 数控钻床(含钻削中心);
- ⑦ 数控拉床;
- ⑧ 数控刨床;
- ⑨ 数控切断机床;
- ⑩ 数控齿轮加工机床;
- ⑪ 数控激光加工机床;
- ⑫ 数控电火花切割机床(含电加工中心);
- ⑬ 数控板材成型加工机床;
- ⑭ 数控管料成型加工机床;
- ⑮ 其他数控机床(如三坐标测量机等)。

1.3.2 按运动方式分类

1. 点位控制数控机床

这类数控机床只控制刀具相对工件从某一加工点移到另一个加工点之间的精确坐标位置。而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制,且移动过程中不作任何加工。通常采用这一类型的数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床等,图1.4表示数控钻床的刀具运动。

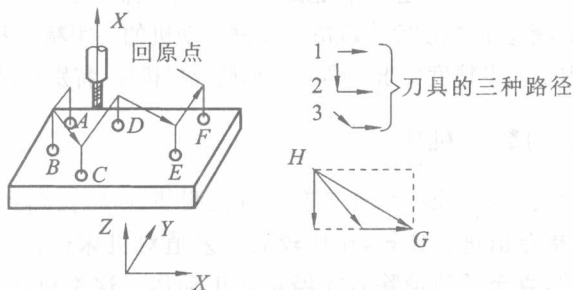


图 1.4 点位控制系统

2. 直线控制数控机床

这类数控机床不仅要控制点与点的精确位置,还要控制两点之间的移动轨迹是一条直线,且在移动过程中按给定的进给速度进行加工。采用这种类型的数控机床有数控车床、数控铣床等。

3. 连续控制数控机床

这类机床的控制系统又称为轮廓控制系统或轨迹控制系统。这类系统能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制,它不仅控制每个坐标的行程位置,同时还控制每个坐标的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合,精确地协调起来连续进行加工,以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面,如图 1.5 所示。采用此类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心、电加工机床、特种加工机床等。

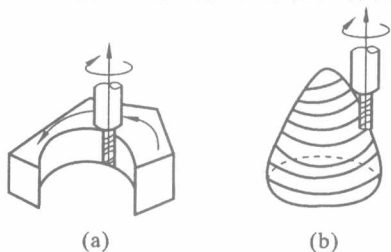


图 1.5 轮廓控制系统

1.3.3 按控制原理分类

1. 开环控制系统的数控机床

这类机床的控制系统没有位置检测装置,即不能将位移的实际值反馈后与指令值进行比较修正,通常使用功率步进电动机作为执行元件,系统控制信号的流程是单向的。开环控制系统的原理如图 1.6 所示。

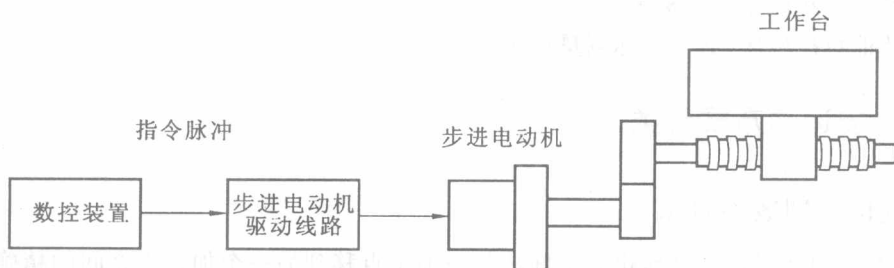


图 1.6 开环控制系统

开环控制系统结构简单,反应迅速,工作稳定可靠,成本较低。但是,由于系统没有位置反馈装置,不能进行误差校正,系统的精度完全取决于步进电动机的步距精度和机械传动的精度。因此,开环数控系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床,特别是简易经济型数控机床。

2. 闭环控制系统的数控机床

如图 1.7 所示,这类机床的控制系统带有位置检测装置,将检测到的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令值进行比较,用比较后的差值对机床进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,直至差值消除时才停止修正动作。这类机床一般采用直流伺服电

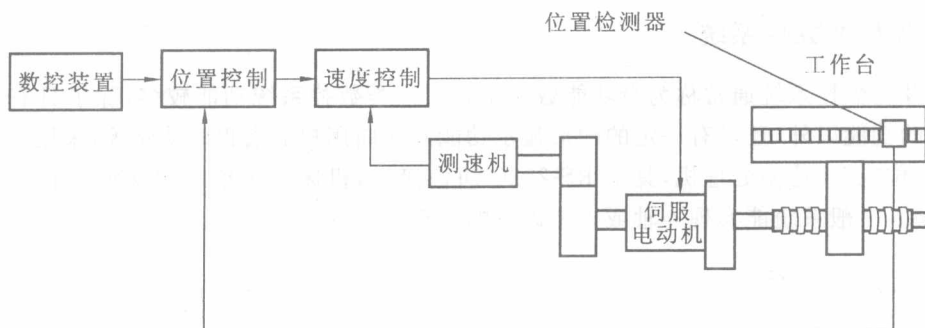


图 1.7 闭环控制系统

动机或交流伺服电动机驱动。位置检测元件有直线光栅、磁栅、同步感应器等。

该类数控机床加工精度高、速度快,对机床的结构以及传动链提出了比较严格的要求,由于传动系统的刚性不足及间隙的存在、导轨的爬行等各种因素将增加调试的困难,甚至会使数控机床的伺服系统产生振荡。

3. 半闭环控制系统的数控机床

这类数控机床的控制系统的控制原理如图 1.8 所示。它与闭环控制系统的不同之处在于,将检测元件装在传动链的旋转部位,如安装在驱动电动机的端部或传动丝杠的端部。它所检测得到的不是工作台的实际位移量,而是与位移量有关的旋转轴的转角量,能自动进行位置检测和误差比较,可对部分误差进行补偿控制,故其精度比闭环系统稍差,比开环伺服系统要高。由于这种系统结构简单,便于调整,检测元件价格也较低,因而是广泛使用的一种数控系统。

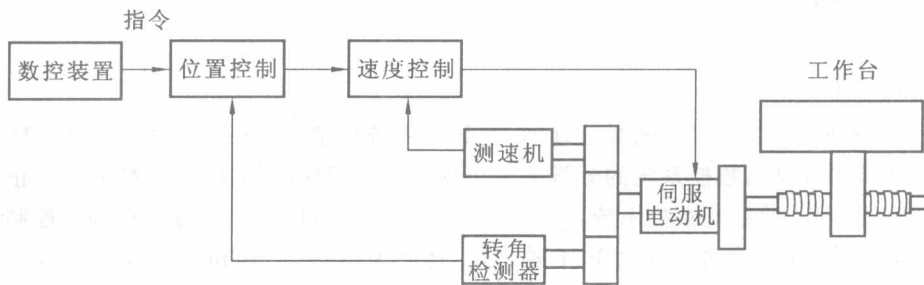


图 1.8 半闭环控制系统

1.3.4 按数控系统类型分类

1. 经济型数控系统

经济型数控系统又称简易数控系统。这一档次的数控机床仅能满足一般精度要求的加工,能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹的零件,采用的微机系统为单板机或单片机系统,具有数码显示和 CRT 字符显示功能,机床进给由步进电动机实现开环驱动,控制的轴数和联动的轴数在 3 轴或 3 轴以下。

2. 普及型数控系统

普及型数控系统通常称为全功能数控系统。这类数控系统功能较多,除了具有一般数控系统的功能以外,还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等,采用的微机系统为 16 位或 32 位微处理机,具有 RS-232C 通信接口,机床的进给多用交流或直流伺服电动机驱动,一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下的联动控制。

3. 高档数控系统

采用的微机系统为 32 位以上微处理机系统,机床的进给大多采用交流伺服电动机驱动,除了具有一般数控系统的功能以外,应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制。具有三维动画图形功能和宜人的图形用户界面,同时还具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能,还有很强的智能诊断和智能工艺数据库,能实现加工条件的自动设定,且能实现与计算机的联网和通信。

4. 基于 PC 的开放式数控系统

用通用微机技术开发数控系统可以得到强有力的硬件与软件支持,这些软件和硬件的技术是开放式的,此时的通用微机除了具备本身的功能外,还具备了全功能数控系统的所有功能。

1.4 数控技术的发展

1.4.1 性能发展方向

1. 高速化

数控系统采用 32 位以上的微处理器,使数控系统的输入、译码、计算、输出等环节都在高速下完成,并可提高数控系统的分辨率及实现连续小程序段的高速、高精加工。正在开发的采用 64 位 CPU 的新型数控系统,可实现快速进给、高速加工、多轴控制功能,控制轴数最多可达 24 个,同时联动轴数可达 3~6 轴,进给速度为 20~24 m/min,最快可达 60 m/min。

2. 高精度化

科学技术的发展促使数控机床的精度不断提高。数控机床的精度主要体现在定位精度和重复定位精度。新型、高速、多功能的数控系统,其分辨率可达 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,有的可达 $0.01\text{ }\mu\text{m}$,实现了高精度加工。伺服系统采用前馈控制技术、高分辨率的位置检测元件、计算机的补偿功能等,保证了数控机床的高精度加工。

3. 柔性化

柔性化包含两个方面:一是数控系统本身的柔性,数控系统采用模块化设计,功能覆盖面大,可裁剪性强,便于满足不同用户的需求;二是群控系统的柔性,同一群控系统能依据不同生产流程的要求,使物料流和信息流自动进行动态调整,从而最大限度地发挥群控系统的效能。