

数控机床运动控制 及应用实例

李茂月 主编



科学出版社

数控机床运动控制及应用实例

主 编 李茂月
副主编 韩振宇 徐 雳
贾冬开 侯端阳
主 审 刘献礼

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书围绕运动控制卡的原理及其应用,按照经济型机床搭建的先后过程,对数控机床的运动控制原理、机械部件和常用低压电器的原理及选型、数控机床本体的搭建和电气控制、数控系统的运动开发技术及编程实例、数控机床的故障排除与维护等进行了详细的介绍。编写过程中加入了实用的现场图片、程序源码,力图通过详细、典型的运动控制实例来使读者真正掌握经济型数控系统的开发方法,使读者不但能够理解数控机床的工作方式,也能在学习后独立完成经济型数控系统的开发工作,并掌握系统维护的基本理论。

本书系统性和实用性强,可作为高等工科院校自动化、机电一体化、机械制造等相关专业本科生或研究生的教材或参考书,也可作为普通高职高专自动化和机电一体化类相关专业教材,还可作为运动控制从业人员的自学或技术培训教材以及机械工程师的参考书。

本书配有电子课件及课后习题答案,免费赠送给使用本书的教师。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床运动控制及应用实例/李茂月主编. —北京:科学出版社,2016.4
ISBN 978-7-03-047984-6

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—运动控制 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 064225 号

责任编辑:朱晓颖 张丽花 / 责任校对:桂伟利

责任印制:霍 兵 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年4月第一次印刷 印张:15

字数:356 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

0205061

前 言

当前,制造业正从传统模式向数字化、网络化、智能化转变,而我国制造业的发展水平参差不齐,在产品研发、产品服务、产品质量和基础、制造业信息化水平等环节都有待提高,传统的加工设备和制造方法已难以适应多样化、柔性化与复杂形状零件的高效、高质量加工要求。因此,发展能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工的数控技术显得尤为重要。

随着人们对产品质量和精度要求的提高,数控机床有了广阔的发展和使用空间。然而不管是国外还是国内的数控机床,其价格动辄十几万到几百万,这对一些对精度要求不是十分苛刻,而且是小批量生产的厂家而言,无疑是一笔巨大的成本。在一些情况下,部分厂家需要的机床性能比较单一和特殊,标准机床的一些功能不但没有得到应用,反而增加了成本,而传统的数控企业可能无法顾及众多不同需求的厂家对机床的特殊要求,这使得非标准数控设备有了很大的需求和市场。购买数控机床所需的部件,然后将各个部件组装起来,完成数控机床的搭建和控制开发,不但可以节省成本,而且对于掌握机床使用性能及后续的维修都非常有意义。

本书以搭建采用工控机和运动控制卡相结合的经济型数控机床为主线,全面、系统地介绍了运动控制系统的基本原理、硬件组成、开发设计、设备验收和维护保养方法。在每一章节,都密切结合实际操作和现场调试等实用技术,在介绍相关部件工作原理的基础上,突出与生产实践相关的内容。例如,在主要运动控制部件一章,除了介绍常见的伺服驱动、电动机、检测装置等内容外,还引入了工控机、数控刀柄、常用低压电器的选型和适用条件;在机床的硬件系统搭建一章,除了介绍机床的布局、传动系统设计、电气控制等内容外,还介绍了软 PLC 技术、数控机床的验收检验等内容;在典型运动方式应用实例一章,结合作者的开发经历,对一台三轴铣床数控开发中的核心内容进行了实例化介绍,使读者可以更加全面地理解和掌握经济型数控系统的原理和开发过程。

本书第 1 章由哈尔滨理工大学的徐雳编写,第 2 章由哈尔滨理工大学的贾冬开编写,第 3、4、6 章由哈尔滨理工大学的李茂月编写,第 5 章由哈尔滨工业大学的韩振宇编写,第 7 章由哈尔滨理工大学的侯端阳编写。此外,哈尔滨理工大学的丁文彬、黄金刚也分别参加了第 3 章、第 4 章部分内容的搜集和整理。全书由李茂月主编并统稿。

哈尔滨理工大学的刘献礼教授审阅了本书,哈尔滨工业大学的富宏亚教授也对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者学识和水平的局限性,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者、同仁批评指正。

编 者
2015 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 运动控制概述及组成	1
1.2 运动控制系统及需求	3
1.3 运动控制卡的分类	8
1.3.1 基于 PC 总线的运动控制卡	9
1.3.2 DSP 和 FPGA 运动控制卡	10
1.4 运动控制技术的应用	11
1.5 运动技术的发展	12
复习题	14
第 2 章 基于运动控制卡的控制技术基础	15
2.1 控制系统的特点	15
2.2 控制系统的基本分类	16
2.2.1 硬件结构体系	19
2.2.2 软件系统方案	21
2.3 控制过程及工作原理	22
2.4 PCI 运动控制卡	24
2.4.1 运动控制卡的基本组成	26
2.4.2 运动控制卡的性能评价	28
2.4.3 运动控制卡的功能及工作方式	30
2.4.4 运动控制卡的选型	34
2.5 Visual C++6.0 环境下控制系统开发步骤	35
复习题	35
第 3 章 数控机床运动控制的主要部件	36
3.1 工控机及选型	36
3.2 伺服单元及选型	39
3.2.1 伺服驱动	39
3.2.2 伺服单元的类型	43
3.2.3 伺服驱动器的主要特性	46
3.2.4 伺服驱动器的选用原则	48

3.3 伺服电动机	49
3.3.1 伺服电动机的分类及特点	49
3.3.2 伺服电动机的性能指标和参数	55
3.3.3 伺服电动机的选用原则与计算	57
3.4 机械与反馈装置	58
3.4.1 数控机床主体结构的特点及要求	58
3.4.2 数控机床主轴部件	59
3.4.3 数控刀柄	60
3.4.4 数控机床导轨	62
3.4.5 数控回转工作台	63
3.4.6 检测反馈装置	64
3.5 低压电器及接线板	72
3.5.1 常用低压电器技术指标	72
3.5.2 低压电器的特性和应用范围	78
3.5.3 接线板的工作要求	95
复习题	96
第4章 数控机床的硬件系统搭建	97
4.1 机械结构方案设计	97
4.1.1 硬件配置与连接方法	97
4.1.2 机床本体的整体设计	98
4.1.3 主要部件安装与平台搭建	112
4.2 电气控制系统与 PLC 设计	117
4.2.1 数控机床电气控制系统的组成	117
4.2.2 电气控制电路的设计	123
4.2.3 运动控制系统的接线	124
4.2.4 PLC 编程	132
4.3 数控机床的验收	136
复习题	140
第5章 经济型数控系统控制功能的开发与调试	141
5.1 运动控制卡的安装及驱动	141
5.1.1 运动控制卡的安装	141
5.1.2 运动控制卡的驱动	143
5.2 初始参数的设置	146
5.2.1 脉冲设置	146
5.2.2 计数设置	147
5.2.3 限位及急停设置	148

5.2.4	回原点设置	150
5.2.5	I/O 设置	152
5.3	运动控制卡的通信建立	152
5.4	控制系统开发方法简介	154
5.4.1	Windows 平台下控制系统功能结构	154
5.4.2	控制软件操作界面开发	156
5.4.3	控制卡初始化参数及接口函数调用	158
5.4.4	数控系统译码功能的开发	158
5.4.5	运动控制功能的实现	164
5.4.6	特殊信号相关函数	165
5.4.7	数控系统仿真功能的开发	166
5.5	其他控制功能简述	170
5.5.1	扩展模块功能	170
5.5.2	锁存功能	171
5.5.3	“帮助”功能	172
5.6	数控系统的调试	173
5.6.1	驱动调试	173
5.6.2	机床调试	178
	复习题	179
第 6 章	三轴铣床典型运动方式应用实例	180
6.1	功能分析	180
6.1.1	商用数控系统界面功能分析	180
6.1.2	数控系统开发的功能分析	181
6.2	系统功能实现基础	181
6.2.1	机床的限位与急停	181
6.2.2	回原点运动	184
6.2.3	轴 I/O 的映射	187
6.2.4	单轴运动与速度控制	188
6.2.5	多轴运动控制	194
6.2.6	手轮运动	198
6.3	功能实现的实践	201
6.3.1	经济型数控铣床操作界面	201
6.3.2	操作界面的功能分析	201
6.3.3	实际操作过程中可能遇到的问题	209
6.4	数控系统功能验证	211
	复习题	211

第 7 章 数控机床故障排除与维护	212
7.1 电气控制系统故障	213
7.1.1 电磁式电器共性故障判别与维修	215
7.1.2 低压电器故障检测与维修	217
7.1.3 供电设备和线缆故障判别与维修	218
7.2 软件系统故障	222
7.2.1 运动控制系统通信故障	223
7.2.2 应用软件运行异常	223
7.2.3 运动控制卡驱动失败	223
7.2.4 运动控制函数库失效	225
7.3 数控机床工作环境要求与日常维护	226
复习题	231
参考文献	232

第 1 章 概 论

近年来，数控技术越来越受到重视，数控系统也在不断地完善。随着科学技术的飞速发展和经济竞争的日趋激烈，产品更新速度越来越快，多品种、中小批量生产的比重明显增加。同时，随着航空工业、汽车工业和轻工业产品的高速增长，复杂形状的零件越来越多，精度要求也越来越高。此外，激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短，传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效、高质量加工要求。因此世界各国十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工的数控加工技术。

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的 CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)、FMS (Flexible Manufacture System)、CIMS (Computer Integrated Manufacturing Systems)、智能化技术等，都是建立在数控技术之上的，离开了数控技术，先进制造技术就无从谈起。同时，数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。专家们曾预言：机械制造的竞争，其实质就是数控的竞争。

随着电子技术、信息技术的不断发展，大规模定制、面向订单生产、快速更新加工工艺与生产能力、缩短产品生命周期与供应链、产品多样化与个性化已成为新型制造系统的主要特点，并且对制造系统的核心部件——数控系统，提出了更高的技术要求，如超高速、超精密、集成、复合、智能化等。如今的数控技术，可以采用超硬材料的刀具，通过极大地提高切削速度和进给速度来提高材料切除率、加工精度和加工质量。加工精度方面已进入亚微米级加工阶段，且正在向纳米级加工技术发展。智能制造也逐渐由理论走向实际，它是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统，在制造过程中能进行智能活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事，去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动，并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承和发展。

机床的运动控制性能直接影响到机床的加工精度和加工效率，要提高该性能，必须保证机床的硬件具备良好的特性，例如尺寸精度、几何精度、可靠性、刚度、强度等；另外，机床的控制系统也应具有丰富的功能，如实现对定位精度及空间精度的补偿、对运动轨迹的前瞻控制等。

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。在全球制造业格局面临重大调整，我国经济发展环境发生重大变化，建设制造强国任务艰巨而紧迫的情况下，我国提出了实施制造强国战略第一个十年的行动纲领《中国制造 2025》。在未来更加注重创新、更加注重质量、更加注重绿色发展的制造业中，数控技术必将占有很重要的一席之地。

1.1 运动控制概述及组成

运动控制一般是指在比较复杂的条件下，将设定的控制目标转变为期望的机械运动。运

动控制系统是将被控制的机械运动实现精确的位置控制、速度控制、加速度控制、力或力矩的控制,以及对这些被控制机械量实现综合控制。运动控制技术涵盖了微电子技术、计算机技术、检测技术、控制技术、伺服驱动技术等工业控制的最新技术,是自动化技术的重要组成部分。

传统的运动控制就是电气传动。早期的电气传动是直流电气传动。随后出现直流调速系统。但直流电动机结构复杂,成本较高,电刷和换向器的维护工作量较大。20 世纪 60 年代研制出了交流变频器,使交流调速系统具有了高精度、大量程、快速反应等技术性能,达到了直流调速系统水平。另外,交流调速产品的成本和维护费用较低,所以目前的调速产品 80% 以上均采用交流调速技术。21 世纪,工业制造业开始采用“大量生产方式”的新技术,即在零件加工中大量使用专用机床,在装配工序中采用流水线作业,形成了“刚性生产线”。在这期间,运动控制技术逐渐从位置控制、速度控制发展到加速度控制和运动轨迹控制等。运动

控制系统通过单轴或多轴控制使机械零部件在空间的运动轨迹符合控制要求,或者在被加工零件的表面形成复杂的曲面。

对于数控技术的载体数控机床,在国内一般指的是计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)机床和加工中心(Machining Center, MC)。计算机数控机床用小型或微型计算机代替普通数控机床的专用计算机,用可编程逻辑电路代替普通数控机床的固定逻辑电路。由于存储在计算机内的控制程序是可以改变的,只要改变控制程序,即可改变控制功能。因此, CNC 机床比普通机床具有更大的通用性和灵活性,如图 1-1 所示。

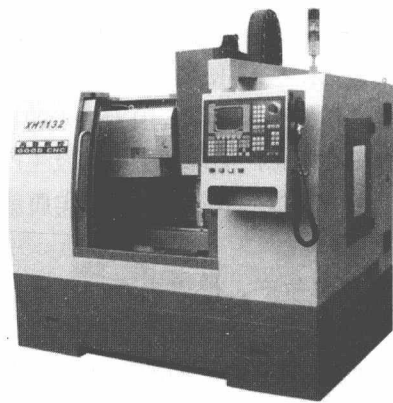


图 1-1 计算机数控机床

计算机数控机床的特点如下。

- (1) 存储容量大。可同时存储数十个或更多零件的加工程序,以便根据需要逐一调用。
- (2) 可对零件原有的加工程序直接修改和编辑。
- (3) 控制功能强。控制机床部件和元件的运动数目可达 10 多个或更多;可进行加工过程的图形显示;可利用诊断和监测程序在加工过程中进行故障检测并显示停机原因,以加快维修工作。
- (4) 某些 CNC 机床在加工过程中,还可为其他待加工零件编制加工程序。

加工中心是具有自动刀具交换系统和自动工作台交换系统的多功能数控机床,在工件一次装夹后可自动转位、自动换刀、自动调整转速和进给量、自动完成多工序的加工。加工中心的种类很多,最主要的有用于加工箱体类零件的立式和卧式镗铣加工中心,以及用于加工回转体零件的车削加工中心。图 1-2 所示为卧式镗铣加工中心,它可对工件自动进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺

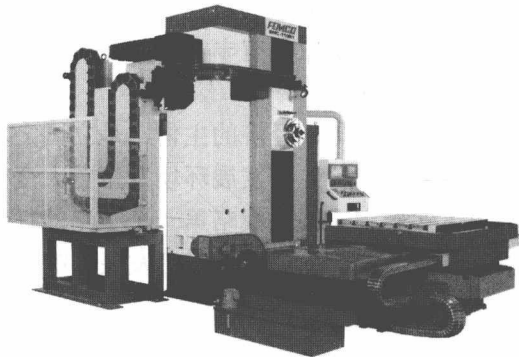


图 1-2 卧式镗铣加工中心

纹等多种加工。图 1-2 中加工中心的自动刀具交换系统由回转刀具库和机械手组成。刀库中可容 40~80 把刀具,每把刀具都有编号,当一种刀具工作完成后,机床主轴停止转动并上升至换刀位置,主轴孔内的刀具夹紧机构自动松开,机械手即可将已用的刀具取下,换上下一种加工所需的刀具,继续进行切削加工直至工件所有表面加工完毕。

加工中心由于可以实现多功能的自动化和多种加工,从而可大大简化工艺设计,减少零件运输量,提高设备的利用率和生产率,并可简化和改善生产管理。此外,还可以利用其他计算机与加工中心的接口直接进行通信,将计算机中的加工信息直接输入加工中心。这为实现 CAD、CAPP (Computer Aided Process Planning) 和 CAM 一体化提供了重要的支持。

数控加工对于产量小、品种多、产品更新频繁、要求生产周期短的零件加工有明显的优越性,因而应用广泛。目前数控加工的种类有很多,如数控车、数控铣、数控钻、数控镗、数控磨和数控电火花线切割等,它们的加工特点如下:

(1) 具有灵活加工的适应性。改变加工对象时,除装夹新工件及更换刀具外,只需重新编程便可自动地完成新零件的加工。

(2) 能加工普通机床难以加工的形状复杂的零件,避免了人工操作的误差并保证加工精度。闭环控制系统(有反馈设置)比开环控制系统(无反馈设置)有更高的加工精度和重复性。

(3) 能有效地减少生产准备时间,提高机床的利用率,缩短新产品的研制周期。

(4) 可减轻劳动强度、改善劳动条件、提高生产率。

计算机数控技术是现代制造技术的基础,数控系统是数控技术的核心,也是数控发展的关键技术,其功能强弱、性能优劣直接影响着数控设备的加工质量和效能发挥,对整个制造系统的集成控制、高效运行、更新发展都具有至关重要的影响。数控系统支配并决定数控机床的运动,实现了对机床的运动控制。

1.2 运动控制系统及需求

运动控制的实现是建立在生产自动化的基础上的。随着计算机的普遍应用,在制造企业中出现了许多自动化系统,如由多台数控加工设备、机器人以及物料储运系统集成的柔性制造系统。借助计算机辅助设计(CAD)的二维及三维图形制定出计算机辅助工艺计划(CAPP),然后由 CAM 自动形成数控代码,最后由 FMS 完成产品的制造。

发展到现在,运动控制系统的定义可以定为以机械运动的驱动设备——电动机为控制对象,以控制器为核心,以电力电子功率变换装置为执行机构,在自动控制理论的指导下组成的电气传动自动控制系统。这类系统控制电动机的转矩、转速和转角,将电能转换为机械能,实现运动机械的运动要求。对运动控制器进行简化和提炼,就形成了运动控制卡。

数控机床的运动控制系统有三种基本类型:定位控制、直线控制和轮廓控制。在定位控制中,控制系统的目的是将刀具移动到预定的位置。在这类控制里完成运动的速度和路径并不重要,机床一旦达到预定位置,机械加工操作就在此处被完成。直线控制系统是控制刀具以一个适当的速度作平行于某一直角坐标轴的运动。轮廓控制是数控系统中最复杂、最灵活和成本最高的机床控制形式,它既有定位控制的功能,也有直线控制的功能。轮廓控制的一个最显著的特点是它能同时控制机床多于一个坐标轴的移动,即能连续地控制切削刀具的运

动轨迹，加工出工件所要求的几何形状。因此轮廓控制也被称为连续轨迹控制。轮廓控制能加工出任何方向的直线、平面、曲线，也能加工出圆、圆锥曲线以及各种能用数学方式定义的图形。定位控制是数控机床切削刀具与被加工工件之间的一种最简单的控制方式，而轮廓控制则是一种最复杂的控制方式。

时至今日，国外的数控技术已相对成熟，技术含量高，产品附加值大。国外数控系统厂家一贯注重创新与研发，其产品的总体发展趋势如下：①新一代数控系统向 PC 化和开放式体系结构方向发展。②驱动装置向交流、数字化方向发展。③增强通信功能，向网络化发展。④数控系统在控制性能上向智能化发展。

国外掌握着先进数控系统制造技术的厂家有很多，熟知的有德国的西门子、日本的法那科等。

西门子较早地敏锐捕捉到数控机床业界对开放性的需求，率先开放 NC 数控自定义功能，公布 PC、PMC(Programmable Machine Controller)开放式软件包，为其赢得广大的原始设备制造商(OEM)奠定了基础，使其产品在很多数控设备上得到了应用。目前西门子数控系统(见图 1-3)的主要产品有：SINUMERIK 840Di 系统、SINUMERIK 840D sl 系统和 SINUMERIK 802D sl 系统等。

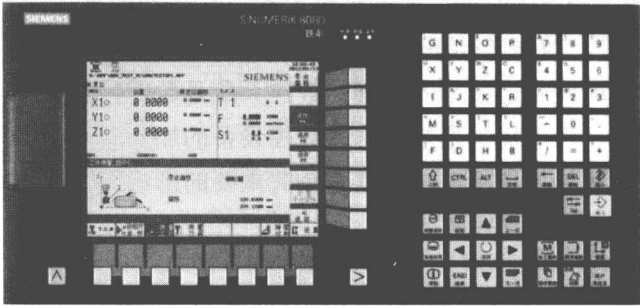


图 1-3 西门子数控系统

结合西门子这几款控制系统，可以发现有着 50 多年数控系统控制经验的西门子公司旗下的数控产品有以下几个特点。

(1) 产品性能优越。例如 840D sl 集成了 SIMATIC S7-300 PLC 系统，与结构紧凑、模块化设计的 SINAMICS S120 驱动系统相结合，可匹配同步电动机、异步电动机或直线电动机，并且为用户提供了高效的网络集成功能，从而发挥机床和车间生产线的最大效力。

(2) 类型覆盖面广。西门子有适于模拟驱动器和工艺创新的理想控制器 SINUMERIK 802C，有结构简单、调试简单并且全数字驱动的中低档系统 SINUMERIK 802D，还有总体性能介于 SINUMERIK 802D sl 与 SINUMERIK 840D 之间的 SINUMERIK 828D。

(3) 模块化结构易于安装。例如 SINUMERIK 840D sl 所配套的驱动系统接口采用西门子公司全新设计的可分布式安装以简化系统结构的驱动技术，这种新的驱动技术所提供的 DRIVE-CLiQ 接口可以连接多达 6 轴数字驱动。外部设备通过现场控制总线 PROFIBUS DP 连接。这种新的驱动接口连接技术只需要最少数量的几根连线就可以进行非常简单而容易的安装。SINUMERIK 840D sl 为标准的数控车床和数控铣床提供了完备的功能，其配套的模块化结构的驱动系统为各种应用提供了极大的灵活性。

(4) 技术创新性强。SINUMERIK 840D sl 的各种功能体现了西门子公司最新的产品创新技术。例如, 高度开放的 HMI(Human Machine Interface) 和 NCK(Numerical Control Kernel) 能满足不同客户的个性化需求, 利用 SINUMERIK MDynamics(3 轴/5 轴) 铣削工艺包、优异的同步功能, 80 位浮点数纳米(NANOFp) 计算精度、空间补偿系统(VCS) 等创新技术可以实现最佳的加工质量。

日本 FANUC(法那科) 公司的数控系统(见图 1-4) 具有高质量、高性能、全功能、适用于各种机床和生产机械的特点, 在市场上具有极高的占有率。法那科数控系统的特点如下。

(1) 模块化结构易于拆装。各个控制板高度集成, 可靠性高, 且便于维修、更换。

(2) 提供大量丰富的 PMC 信号和 PMC 功能指令。这些丰富的信号和编程指令便于用户编制机床侧 PMC 控制程序, 增加了编程的灵活性。

(3) 具有较强的 DNC 功能。系统提供串行 RS232C 传输接口, 使通用 PC 计算机和机床之间的数据传输能方便、可靠地进行, 可实现高速 DNC 操作。

(4) 可控制轴数多。例如, FANUC 30i MODEL A 型数控系统的软件可配合控制 40 轴, 24 轴联动控制, 同时执行 10 个不同的 CNC 程序。

西门子和法那科数控系统都是比较知名的品牌, 两者的数控系统都发展的较早, 一直占据着中国数控系统的高档市场。就价格而言, 对于具有相同或相似功能的同一档次的两种品牌的产品, 西门子要稍显昂贵一点, 但后期的养护维修简单一点, 费用也少一点。法那科在购买时相对较便宜, 但一旦出现问题, 需要维修时所需维修费用较高。在系统功能方面, 法那科是功能按键操作, 西门子是荧屏窗口操作, 对于不同习惯的人, 这两种操作方式各有利弊。再有, 法那科由于固化硬件较多, 安装调试复杂一点, 西门子由于是安装型系统, 调试起来就较容易。法那科数控系统很适合中国的电网环境, 而西门子对电网的要求非常高, 这在使用中增加了电网维护方面的费用。

我国的数控技术起步尚不算晚, 但最初阶段只是封闭式的开发阶段, 进展远没有国外的

数控技术发展快, 差距也渐次拉开。但是随着制造业的兴起, 数控制造技术得到了很大的进步, 获得了较快的发展。现已基本掌握了现代数控技术, 建立了数控开发、生产基地, 培养了一批数控专业人才, 初步形成了自己的数控产业。目前, 国内较具规模的数控企业有华中数控、广州数控等, 生产了具有中国特色的经济型、普及型数控系统。

华中“世纪星”数控系统(见图 1-5) 在功能和配置方面远优于国外普及型数控系统。特别是在多轴(9 轴) 联动、三维图形显示、动态仿真、大容量程序内存、双向螺距补偿、汉字界面、网络功能、



图 1-4 FANUC 数控系统

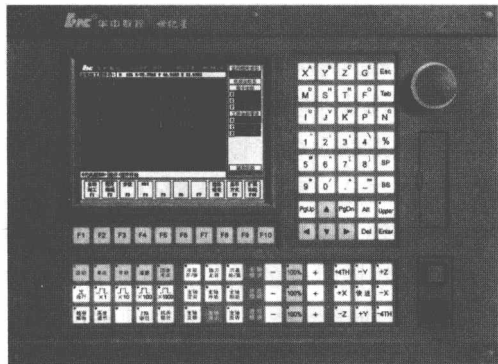


图 1-5 华中“世纪星”数控系统

开放体系结构等配置方面,已达到国外高档系统的水平。华中“世纪星”系列数控系统包括世纪星 HNC-18i、HNC-19i、HNC-21 和 HNC-22 四个系列产品,均采用工控机(Industrial Personal Computer, IPC)作为硬件平台的开放式体系结构的创新技术路线,充分利用 PC 软、硬件的丰富资源,通过软件技术的创新,实现数控技术的突破。例如,大容量存储器、高分辨率彩色显示器、多媒体信息交换、联网通信等技术,使数控系统可以伴随 PC 技术的发展而发展,从而长期保持技术上的优势。

广州数控成立于 1991 年,公司致力于提供先进的机床数控系统、伺服驱动、伺服电动机“三位一体”的成套解决方案。近年来公司先后投产了 GSK983M-V、GSK980MD 铣床数控系统、GSK980TDa、GSK928TEII、GSK980TB1、GSK218TB 车床数控系统、DAP03 主轴伺服驱动、ZJY208、ZJY265 主轴伺服电动机等产品。最新研发的 GSK218MC 系列加工中心系统的最大控制轴数为 12 轴,联动轴数为 5 轴,PLC 控制轴数为 3 轴,可适配加工中心、磨床、滚齿机、螺杆铣、等离子切割等机床,采用高速样条插补算法,使加工精度、速度、表面粗糙度得到大幅度的提升。

国产数控系统在近几年升级换代很快,在高端市场也取得了跨越式进展,但只占据小部分特殊的行业市场,大部分数控产品的市场还是被国外品牌占据。与国外的差距主要在高速、高精、多通道等软件的功能上,以及配套的电主轴、直线电动机、力矩电动机等功能部件。

目前就我国市场的经济型数控系统来说,国产性价比高,而国外系统不能及时维修、维修费用相对较高,性价比低。国内外普及型数控系统在技术性能上差别不大,都可以实现 4 联动控制及各种曲线插补功能。国产系统开放性好,可根据实际情况扩展功能,便于进行二次开发,与国外系统差距主要在硬件的稳定性、可靠性,以及配套驱动和电动机的性能。

随着我国制造业的不断发展,人们对产品的质量要求和精度要求都在不断地提高。这就给数控机床的发展和使用带来了广阔的空间。然而不管是国外还是国内的数控机床,其价格动辄就是十几万到几十万,这对一些对精度要求不是十分苛求,而且是小批量生产的厂家而言,这无疑是一笔巨大的成本。而且在很多情况下,厂家需要的数控机床的性能比较单一和特殊,标准机床多余的作用不但没有得到应用,反而增加了成本。在科学技术飞速发展、产品需求水平提高和制造业全球化趋势加剧的今天,对数控机床的多品种小批量的需求趋势也日益明显。传统的数控企业可能无法顾及众多不同需求的厂家对机床的特殊要求。这就使非标准设备的制造有了很大的市场,并且是不少厂家的迫切需求。

非标准设备简称为非标设备,是指不是按照国家颁布的统一的行业标准和规格制造的设备,而是根据自己的用途需要,自行设计制造,且外观或性能不在国家设备产品目录内的设备。

购买数控机床各个部件,然后再自行将各个部分总装起来,完成数控机床的搭建,这对于节省成本甚至是掌握机床使用性能及后续的维修都是非常有意义的(见图 1-6)。由于数控机床中数控系统所占的费用比较大,购买现成的整套商用数控系统



图 1-6 搭建的非标数控机床

就和购买整个现成的数控机床的费用相差无几。所以如果购买数控机床时成本和特殊要求是考虑的首要因素，那么购买数控系统各部分的非标设备然后再总装是明智选择。

随着微处理器芯片应用到计算机数控系统上，计算机的价值在数控系统上得到充分体现，现在的不少数控系统生产商几乎直接将 PC 应用到数控机床中，充分利用 PC 软、硬件的丰富资源。数控系统的一种比较经济的构成方法是将 PC 与包含插补、加减速控制等函数的运动控制卡结合起来而共同实现对数控机床的控制。

通过 PC 机上的扩展槽，如 PCI (Peripheral Component Interconnect) 插槽将运动控制卡或整个 CNC 单元插入到计算机中。这种结构的数控系统开发较灵活，运动控制卡上有丰富的 API 函数库，能实现直线或圆弧插补等多轴联动。PC 机作非实时处理，实时控制由运动控制卡或 CNC 单元来承担。此外，运动控制卡还提供很多通用的 I/O 接口，用户可以根据自己的加工环境和需求来分配各运动轴，还可以在 PC 机上开发自己的软件控制系统。基于运动控制卡的数控硬件系统如图 1-7 所示。

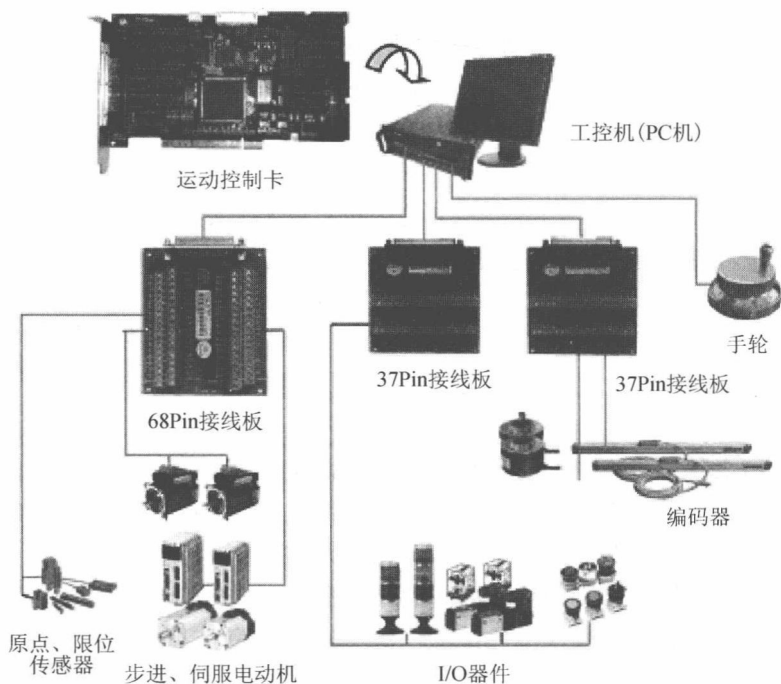


图 1-7 “PC+运动控制卡”硬件系统

(1) PC 机为上位机，运动控制器为下位机。PC 机通过通信总线与运动控制器进行通信。常用的通信接口有 PCI、USB 接口，串行通信接口等。其中 PCI 接口通信最为可靠，实时性最好。USB 接口虽然比串行接口速度快，但抗干扰能力差一些，容易掉线。此外，还有以太网接口、CAN 总线接口等。运动控制系统的上位机程序在 PC 机上运行。人机交互界面、系统参数配置、数据管理、复杂控制模型的解算、系统运动状态的监控保护等功能都由该程序来实现。这部分程序需要用户自己进行开发。

(2) 运动控制器的功能可分为运动控制功能和 I/O 功能两大部分。运动控制功能部分通过编码器反馈通道、D/A 输出通道以及脉冲输出通道与外部驱动控制设备相连接，伺服电动机与驱动控制卡构成一个控制回路。伺服电动机一般都有编码器，电动机驱动器通过编码器获

得电动机转子的位置信息,从而可以对电动机进行精确控制。同时,电动机驱动器又将该位置信号通过编码器反馈通道反馈给运动控制器,由运动控制器对该信号进行处理,调整控制信号的输出。D/A 输出通道和脉冲输出通道均是控制信号的输出通道。伺服电动机驱动器通常支持两种控制方式:模拟量控制和数字脉冲控制。D/A 输出通道一般输出的是标准电压信号($-10\text{V}\sim+10\text{V}$)。在速度控制或力矩控制中常用这种控制方式,这时,应将运动控制器的 D/A 输出通道与电动机驱动器的控制信号输入端连接在一起。一般在对运动控制系统进行位置控制时最常用的是“脉冲+方向”控制方式。在该方式中由脉冲(PULSE)信号来控制位置,由方向(DIR)信号来控制运动方向。为了增强抗干扰能力,脉冲信号、方向信号以及编码器信号都采用差动方式,由屏蔽双绞线进行传送。

整个运动控制系统中所涉及的外部辅助器件,如限位开关、行程开关、编码器、光栅尺以及继电器、接触器、信号指示灯等都与运动控制器的 I/O 功能部分相连接。一些运动控制器的 I/O 接口部分没有集成在运动控制器的主板上或主板上只集成有限的 I/O 端口,这就需要通过扩展 I/O 接口板来实现与外围部件的连接。

(3) 低压配电系统为整个控制系统提供电力支持。在进行低压配电系统设计时要注意不同类型部件应分别供电以提高系统的可靠性。如伺服电动机中电磁抱闸的电源就应该单独配置一路电源。由于电磁抱闸在通、断时有较大的冲击电流,如果其他电子电路(如运动控制器、I/O 接口板、传感器等)和它共用一个电源,很有可能造成一些器件的故障,甚至损坏。

现在市场上有很多专门生产运动控制卡的公司,像整套数控系统的品牌格局一样,国外的运动控制卡制造商基本上垄断了高中档市场,而国产运动控制卡只能在低档技术层面抢占有限的市场。

1.3 运动控制卡的分类

商业化的数控系统,由于科技含量高,核心技术被垄断,在整个数控机床中所占的成本比例较大。对于经济型数控系统,最实际最普遍的做法是将 PC 机和运动控制卡结合起来,既充分利用 PC 丰富的软、硬件资源,又可调用运动控制卡内的各种函数。

运动控制卡可根据运动控制的要求和传感器的信号,进行必要的逻辑、数字运算,其性能好坏对整个控制系统有决定性作用。目前,常用的运动控制卡可以分为三种类型:

(1) 以专用芯片(ASIC)作为核心处理器的运动控制器。这类运动控制器结构比较简单,大多只能输出脉冲信号,工作在开环控制模式。这类控制器对单轴的点位控制是基本满足要求的,但不能满足高速多轴协调运动和轨迹插补控制的需求。

(2) 以单片机或微处理器作为核心的运动控制器。这类运动控制器的精度不高,成本相对较低。在一些只需要低速点位运动控制和对轨迹要求不高的轮廓运动控制场合应用。

(3) 基于总线的以 DSP(Digital Signal Processing)和 FPGA(Field-Programmable Gate Array)作为核心处理器的开放式运动控制卡。其充分利用了 DSP 的高速数据处理功能和 FPGA 的超强逻辑处理能力,具有多轴协调运动控制及轨迹规划的能力,可实现实时误差补偿、伺服滤波算法。这类运动控制卡以 DSP 芯片作为运动控制卡的核心处理器,以 PC 机作为信息处理平台,构成“PC+运动控制卡”的模式。这种方案将 PC 机的信息处理能力和开放式的特点与运动控制卡的运动轨迹控制能力有机地结合在一起,具有信息处理能力强、高度的开放性、精确的轨迹控制、良好的通用性等特点。

第一类运动控制器由于其性能的限制,只能占有小份额的市场,主要应用于一些单轴简单运动的场合,往往还面临同 PLC 厂商提供的定位控制模块的激烈竞争。第二类运动控制器因其结构简单、成本低,占有一定的市场份额。目前市场上主要采用第三类运动控制器来满足一系列运动控制需求。对于经济型数控机床的搭建,既要充分满足一定的运动控制功能,又要将成本控制在一定范围内,所以基于 PC 总线的以 DSP 和 FPGA 作为核心处理器的开放式运动控制卡是数控系统搭建的最佳选择。以下就这类运动控制卡按其不同的方面分别进行介绍。

1.3.1 基于 PC 总线的运动控制卡

所谓总线就是在模块和模块之间或设备与设备之间的一组进行互连和传输信息的信号线,信息包括指令、数据和地址。对于连接到总线上的多个设备而言,任何一个设备发出的信号可以被连接到总线上的所有其他设备接收。如果两个以上的设备同时在总线上发出自己的信号,则会发生信号混乱。因此,在同一时间段内,连接到总线上的多个设备中只能有一个设备主动进行信号的传输,其他设备只能处于被动接收的状态。

计算机的总线按其层次结构来分,可以分为 4 类。需要指出的是,随着计算机技术的发展,总线的功能也形成了交叉,所以这里的 4 级总线的分法仅供参考。

1. CPU 总线

CPU 总线也称为主总线(Host Bus),位于微处理器的内部,作为 ALU 和各种寄存器等功能单元之间的相互连接。目前,CPU 总线也开始分布在 CPU 外,提供系统原始的控制和命令等信号,是计算机系统中速度最快的总线。

2. 局部总线

局部总线是在 CPU 总线和系统总线之间的一级总线,如 PCI 总线,它的一侧直接面向 CPU 总线,另一侧面向系统总线,分别由桥片连接。由于局部总线是直接连接 CPU 总线的 I/O 总线,因此外部设备通过它可以快速地与 CPU 之间进行数据交换。

3. 系统总线

系统总线又称为 I/O 通道总线,是用来与扩展槽上的各种扩展卡相连接的总线。比如,ISA (Industry Standard Architecture) 总线和 EISA 总线等。以前计算机系统主要是利用系统总线来连接扩展卡,现代计算机系统为了加快总线速度,多用局部总线 PCI 来连接扩展卡,保留的系统总线主要还有 ISA 总线。

4. 通信总线

通信总线也有称为外部总线的,是计算机系统之间或计算机与外部设备之间进行通信的总线。如计算机和计算机之间可以使用 RS232C 总线,计算机和智能仪表之间可以使用 IEEE—488 总线,以及现代计算机上很流行的 USB 和 IEEE 1394 通用串行总线。

由于数控系统采用的是将运动控制卡通过扩展槽插入 PC 来组成一个控制整体,所以运动控制卡与 PC 机之间的连接以前是通过系统总线现在是通过局部总线来完成的。

PC/104 是一种专门为嵌入式控制而定义的工业控制总线,近年来在国际上广泛流行,是