

数控机床 电气控制



高等职业教育

数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材



主编 刘 颖
王 屹
主审 陈忠贵



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控机床电气控制

主 编 刘 颖 王 屹

主 审 陈忠贵

高等教育出版社

内容提要

本书是高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一。本书主要介绍数控机床的电气控制系统,主要包括:数控机床电气控制系统的基本概念,计算机数控装置的软件、硬件组成,进给及主轴驱动控制与检测系统,可编程控制器及其在数控机床中的应用,接口电路及典型数控系统的连接,数控机床强电控制电路。本书突出数控机床电气控制系统及控制技术的综合应用,分析数控机床电气控制设备中常见的一些故障及其诊断、处理方法,并介绍故障诊断及处理实例。

本书适合作为各类高等职业技术学校、部分普通高等院校二级学院数控技术应用专业技能应用型人才培养用教材,也可作为高职高专院校电气类、自动控制、机电技术应用等专业以及从事数控技术的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制/刘颖,王屹主编. —北京:高等教育出版社, 2005. 6

(数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材)

ISBN 7-04-016345-4

I. 数... II. ①刘... ②王... III. ①数控机床—电气控制—技术培训—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 062771 号

策划编辑 孙鸣雷 责任编辑 李宇峰 封面设计 吴昊 责任印制 潘文瑞

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-82028899	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com

排 版 南京理工出版信息技术有限公司
印 刷 江苏南洋印务集团

开 本	787×1092 1/16	版 次	2005 年 6 月第 1 版
印 张	19.75	印 次	2005 年 6 月第 1 次
字 数	460 000	定 价	26.00 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)82028899 转 6897 (010)82086060

传 真：(010)82086060

E - mail : dd@hep. com. cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

出版说明

为实现党的十六大提出的全面建设小康社会的奋斗目标,落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,促进职业教育更好地适应社会主义现代化建设对生产、服务第一线技能型人才的需要,缓解劳动力市场上制造业和现代服务业技能型人才紧缺状况,教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部决定组织实施“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”(教职成[2003]5号,以下简称《工程》)。《工程》的目标是:“根据劳动力市场技能型人才的紧缺状况和相关行业人力资源需求预测,在数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理等四个专业领域,全国选择确定500多所职业院校作为技能型紧缺人才示范性培养培训基地;建立校企合作进行人才培养的新模式,有效加强相关职业院校与企事业单位的合作,不断加强基地建设,扩大基地培养培训能力,缓解劳动力市场上技能型人才的紧缺状况;发挥技能型紧缺人才培养培训基地在探索新的培养培训模式、优化教学与训练过程等方面的示范作用,提高职业教育对社会和企业需求的反应能力,促进整个职业教育事业的改革与发展。”

《工程》实施启动以来,各有关职业院校在职业教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践,取得了不少成果。为使这些研究成果能够得以固化并更好地推广,从而总体上提高职业教育人才培养的质量,我们组织了有关职业院校进行了多次研讨,根据“教育部办公厅、信息产业部办公厅关于确定职业院校开展数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训工作的通知”(教职成厅[2003]5号)中的两年制高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案,在了解相关企业需求的基础上,确立了“以就业为导向,以企业需求为依据”的宗旨,“以综合职业素质为基础,以能力为本位”的思路,“适应行业技术发展,以应用为目的”的体系,“以学生为主体,体现教学组织的科学性和灵活性”的风格,组织编写了一批“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列”教材。这些教材结合《工程》的指导思想与目标任务,反映了最新的教学改革方向,很值得广大职业院校借鉴。

此系列教材出版后,我们还将不定期地举行相关课程的研讨与培训活动,并聘请一些软件企业共同探讨人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革,为各院校提供一个加强校企合作、交流的互动平台。

“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2005年5月

前 言

本书是根据教育部等国家部委组织实施的“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”中有关数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案的精神,按照高等职业技术教育技能应用型人才的培养目标和基本要求编写的“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材”之一。

制造业是各种产业的支柱工业,数控技术和数控机床是制造工业现代化的重要基础,它的广泛应用,给机械制造业的产业结构、产品种类和档次以及生产方式带来了根本性的变化,并直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。21 世纪机械制造业的竞争,在某种程度上是数控技术的竞争。随着制造设备的大规模数控化,企业急需一大批掌握数控机床应用技术的人员。然而目前数控技术人才的奇缺,严重制约着数控机床的使用,影响了制造业的发展。加快数控人才的培养,成为我国制造业当务之急。

根据国内外数控技术和数控机床的应用情况以及国内数控技术应用专业学生偏重于数控机床的操作、编程的实际情况,掌握数控机床电气控制技术是该专业领域及相关专业领域学生知识结构中必不可少的。本书主要介绍数控机床的电气控制技术,并兼顾相关知识的介绍,突出技术的先进性、实例的代表性、理论的系统性和实践的可操作性,力求做到理论与实践的最佳结合。

本书共有七章,每章前面有学习目标和要求,后面有复习思考题。主要介绍数控机床电气控制系统的基本概念,计算机数控装置的软件、硬件组成,进给及主轴驱动控制,常用位置检测装置的结构和原理及其选型应用、检测的基本概念,可编程控制器的一般应用及在数控机床中的应用,接口电路及典型数控系统的连接,数控机床强电控制电路的基本知识等。在每章中介绍数控机床电气控制设备中常见的一些故障及其诊断、处理方法,并介绍故障诊断及处理实例。

本书参考学时 78 学时,学时分配建议如下。有关章节内容可根据专业要求及学时情况酌情调整。

章 号	标 题	学 时 分 配		
		理 论	实 践	小 计
第 1 章	数控机床电气控制系统概述	4		4
第 2 章	计算机数控(CNC)装置	4	2	6
第 3 章	数控机床的伺服驱动	8	4	12
第 4 章	数控机床的检测系统	6	2	8
第 5 章	数控机床的可编程控制器(PLC)	10	12	22
第 6 章	数控机床接口及典型数控系统连接实例	6	4	10
第 7 章	数控机床强电控制电路	10	6	16
总 计		48	30	78

前 言

本书由刘颖、王屹主编,参加编写的还有裴蓓、高芳、刘霞、闫东伟。刘颖负责全书的统稿和定稿。

中国兵器工业集团公司第五研究所、国家重点实验室高级工程师陈忠贵审阅了全书,并对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,本书难免有不足之处,恳请读者给予批评指正,以便进一步修改。

编 者

2005 年 5 月

目 录

第 1 章 数控机床电气控制系统概述	1
1.1 数控机床的产生、发展、特点及分类	1
1.2 数控机床电气控制系统的组成、工作原理及主要功能	23
思考题	30
第 2 章 计算机数控(CNC)装置	31
2.1 数控装置概述	31
2.2 数控装置的硬件结构	36
2.3 数控系统的软件结构	40
2.4 典型数控系统实例	44
2.5 数控装置常见故障及处理	45
2.6 分布式数控简介	48
思考题	51
第 3 章 数控机床的伺服驱动	52
3.1 伺服驱动概述	52
3.2 步进电机概述	57
3.3 直流电动机的伺服系统	70
3.4 交流电动机的伺服系统	80
3.5 伺服驱动系统常见故障及处理	94
思考题	100
第 4 章 数控机床的检测系统	101
4.1 检测系统概述	101
4.2 数控机床常用的位置检测装置	106
4.3 位置检测装置的特性参数及选用原则	123
4.4 检测装置的常见故障及处理	125
思考题	129
第 5 章 数控机床的可编程控制器(PLC)	131
5.1 可编程控制器(PLC)概述	131
5.2 PLC 的构成	136
5.3 PLC 的工作原理	143
5.4 PLC 的程序编制	149

目 录

5.5 数控机床中的 PLC 概述	169
5.6 数控机床 PLC 指令与编程	176
5.7 数控机床 PLC 故障诊断与故障实例分析	197
思考题	202
第 6 章 数控机床接口及典型数控系统连接实例	203
6.1 数控机床接口概述	203
6.2 数控机床常用接口电路器件和电路	206
6.3 接口电路的抗干扰	214
6.4 典型数控系统各组成部分之间的连接实例	222
思考题	235
第 7 章 数控机床强电控制电路	236
7.1 数控机床强电控制电路的组成及功能	236
7.2 强电控制电路常用电器	239
7.3 数控机床的控制电路	266
7.4 电气控制系统的维护及常见故障与处理	284
7.5 数控机床电气控制电路综合分析	294
思考题	303
参考文献	305

第 1 章 数控机床电气控制系统概述

学习目标与要求:

了解数控机床的产生和发展,熟悉数控技术的基本概念,对国内外数控机床主要生产厂家的基本情况以及数控机床的发展趋势有所了解。

掌握数控机床的基本组成、特点、分类和技术指标,掌握数控机床电气控制系统的组成及各组成部分的功能和作用。

1.1 数控机床的产生、发展、特点及分类

一、数控机床的产生

随着科学技术的不断发展,机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高。因此,对加工机械产品零部件的生产设备——机床也相应地提出了高性能、高精度和高自动化的要求。

在机械制造业,诸如汽车、拖拉机、家用电器等零件的生产属于大批量生产的产品,在 20 世纪 80 年代以前,这类产品广泛采用专用的工艺装备、自动化机床和自动生产线进行生产,实行多刀、多工位、多面同时加工,以期达到高效率和高自动化。尽管需要较大的初始投资及较长的生产准备时间,但在大批量的生产条件下,由于分摊在每一个工件上的费用较低,经济效益十分显著。但是近年来,由于市场竞争越来越激烈,各个生产厂家不仅面临着要不断提高产品质量,精益求精,而且还面临着产品必须改变长期一成不变的做法,进行频繁改型,以满足市场不断变化的需要。这样,就使这些专用生产设备在大批量生产中日渐暴露出其不足之处,例如,进行生产准备周期长,产品改型不易,而且使新产品的开发周期延长。

另一类机械产品,属于单件小批量生产,尤其是一些宇航、造船、国防、重型机械等部门的零件,不仅精度要求高,形状也很复杂,而且改型频繁,加工批量又小,以往一般均通过通用机床进行生产。通用机床的自动化程度低,基本上由人操作,生产效率低,劳动强度大,特别是一些由曲线、曲面组成轮廓的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率受到很大的限制;而且当产品发生改变时,工艺装备,甚至机床均需作相应的变换和调整。

针对上述种种问题,数控机床(Numerical Control Machine Tools)应运而生,它在缩短新产品的开发周期、解决复杂型面零件的加工、保证产品质量等方面提供了强有力的自动化加工手段。

数控机床与普通机床的区别在于:

金属切削机床加工零件时,是操作者根据图纸要求,手动控制机床操作系统,不断改变

刀具与工件相对运动参数(位置、速度),使刀具从工件上切除多余材料,最终获得符合技术要求的尺寸、形状、位置和表面质量的零件。

而数控机床加工工件时,加工的全过程是由数字指令控制的。在加工前要用指定的数字代码对工件图样(形状、尺寸)和加工过程所需要的各种操作(如主轴变速、工件夹紧、进给、启停、刀具选择、冷却液供给等)编制出程序,然后输入到数控系统中去,由数控装置对这些输入的信息进行逻辑处理和运算,发出各种控制指令,实现要求的机械动作,自动完成加工任务。当被加工工件改变或加工作业变换时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需更换程序,不需要对机床做任何调整。

1948年,美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升飞机叶片轮廓检验用样板的机床时,提出用计算机控制机床来加工样板曲线的设想,后与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作进行研制,于1952年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式数控铣床。尽管该数控铣床实质上仍属于一个实验性的数控加工系统,但它综合了电子计算机、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,可用于加工复杂曲面零件,它的研制成功是机械制造行业中的一次重大的技术革新,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。

1954年,在Parsons专利的基础上,美国本迪克斯公司(Bendix Co.)生产出世界上第一台工业实用性的数控机床。

从第一台数控机床问世到现在的50多年中,数控技术的发展非常迅速,集计算机技术、现代控制技术、微电子技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光电子技术以及传统的机械制造技术为一体,得到了广泛的应用,在飞机、汽车、船舶、家电、通信设备等的制造方面以及在机器人、绘图机械、坐标测量机、激光加工机、等离子切割机、注塑机等机械设备的应用中大显身手。在制造业中,数控机床不断更新换代,向高速度、多功能、智能化、开放型以及高可靠性等方面迅速发展。尤其是随着计算机数控(CNC——Computerized Numerical Control)机床的产生和发展,相继出现的自动换刀数控机床,即加工中心(MC——Machining Center)、分布式数控(DNC——Distributed Numerical Control)、自适应控制(AC——Adaptive Control)、柔性制造单元(FMC——Flexible Manufacturing Cell)、柔性制造系统(FMS——Flexible Manufacturing System)、计算机集成制造系统(CIMS——Computer Integrated Manufacturing System)等,更进一步说明,数控机床已经成为组成现代机械制造生产系统实现计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助检验(CAT)与生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。数控机床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,其水平高低和拥有量多少是衡量一个国家工业现代化的重要标志,在国防建设上亦具有重要的战略意义。

二、数控机床的特点

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing)第五技术委员会对数控机床作了如下定义:“数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑

地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序。”换句话说,数控机床就是一种采用计算机、利用数字进行控制的高效且能自动进行加工的机床。它能够按照生产厂家的数字和文字编码方式,把各种机械位移量、工艺参数(主轴转速、切削速度)和辅助功能(刀具变换、切削液自动供停等)等用数字、文字符号表示出来,输入数控系统,经过数控系统的逻辑处理和运算,发出各种指令,自动完成加工任务。它集中了专用机床的高效率性、精密机床的高精度性和万能机床的高柔性,是一种灵活性强、技术密集度以及自动化程度高的机电一体化加工设备。具体地说,数控机床一般具有如下特点:

(1) 加工精度高

数控机床在设计制造主机时,通常采用了许多措施,使其机械部分达到较高的精度。数控系统脉冲当量小,位置分辨率高,脉冲当量一般都达到了 0.001 mm ,它能实现比普通机床更精确的定位;具备误差自动补偿功能,进给传动系统的反向间隙与丝杠的螺距误差等均可由数控系统进行实时检测反馈,自动补偿误差;数控机床的传动系统和机床结构设计具有更高的刚度和稳定性;采用自动加工方式,避免了加工过程中的人为干扰,因此,加工的零件一致性好,产品质量稳定。

目前,对于普通的中、小数控机床,其定位精度一般都可以达到 0.02 mm ,重复定位精度达到 0.01 mm 。

(2) 柔性强

在数控机床上,当产品的品种改变时,只要重新编制零件的程序,就能实现对新零件的自动加工,有利于产品的更新换代,为多品种、小批量生产加工提供了便利;采用计算机插补技术和多坐标轴联动技术,具备曲面、曲线的加工能力,尤其是普通机床难以加工或无法加工的复杂工件,数控机床都可以充分发挥其功能,可以实现螺旋桨、汽轮机叶片等具有复杂空间曲面的零件加工,从而扩大了数控机床的应用范围。

(3) 自动化程度高,劳动强度低

数控机床是按照所编程序自动完成零件加工的,加工过程中操作者只要进行极为简单的操作,就可以完成零件的自动加工,例如,输入、调试程序,装卸工件、更换刀具等,大大减轻了操作者的体力劳动强度。另外,数控机床一般都具有很好的安全防护、自动排屑、自动冷却、自动润滑等装置,很好地改善了操作者的劳动条件。

(4) 生产效率高

零件加工效率主要取决于零件的机动时间(即实际加工时间)和辅助加工时间。数控机床的刚性好、功率大,主轴转速高,进给速度范围大,允许机床选择最合适的切削用量和进行大切削量的强力切削,提高了数控机床的切削效率,节省了实际加工时间;移动部件的空行程运动速度远高于普通机床,刀具定位时间非常短,节省大量的辅助加工时间;采用自动换刀、自动交换工作台,可在同一台数控机床上进行车、铣、钻、镗等粗精加工,工序集中,减少了零件周转和装夹次数,节省了辅助加工时间;数控机床可实现精确、快速定位,加工时免去划线工序,节省加工过程的中间检验时间;加工零件的尺寸一致性好,质量稳定,只做首件检验或工序间关键尺寸抽样检验即可,节省了停机检验时间。

因此,与普通机床相比,采用数控机床可提高生产效率 $2\sim 3$ 倍,尤其对复杂零件的加工,如果采用数控加工中心,生产效率可提高十几倍甚至几十倍。

(5) 利于现代化管理

数控机床能准确计算并自动记录加工过程,有效地简化了检验、工装和半成品的管理工作,有利于生产管理的现代化;利用通信接口与计算机连接,实现计算机辅助设计、制造及管理一体化,成为柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的基础。

三、数控机床的分类

目前,数控机床的种类很多,结构、功能各不相同,但就其控制原理及主要性能来看,通常可以按下列4种方法进行分类。

1. 按机床运动控制轨迹分类

(1) 点位控制数控机床(Point to Point Control System)

对一些孔加工的数控机床,如数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机、数控折弯机、数控坐标磨床和数控冲床等,采用的就是点位控制,即控制上只要求获得准确的孔系坐标位置,即只控制移动部件由一个位置到另一个位置的准确定位,而对它们运动过程中的轨迹没有严格要求,在移动和定位过程中不进行任何加工。点位控制系统对定位精度和定位时间要求较高,因为二者关系到工件的加工质量和生产效率,通常采用快速趋近、减速定位的方法,以满足在保证定位精度的前提下尽量缩短定位时间。该类数控系统结构较为简单,价格也相对低廉。

(2) 直线控制数控机床(Straight Cut Control System)

对于像数控车床、数控镗铣床、加工中心等,控制上不仅要求准确的定位,而且还要控制刀具相对于工件运动的两个相关点之间的准确位置(即距离)、移动速度和轨迹,该控制系统控制刀具或工作台以适当的速度按平行于坐标轴的方向直线移动并进行切削,或按 45° 进行斜线切削。

同时具有点位控制功能和直线控制功能的点位/直线控制系统,主要应用在数控镗铣床、加工中心机床上。

(3) 轮廓控制数控机床(Contouring Control System)

大多数数控机床都具有轮廓控制功能,用于加工曲面和曲线的数控机床必须采用轮廓控制系统,如可加工曲面的数控车床、数控铣床和数控加工中心等。这类机床又称为连续控制或多坐标联动数控机床,其控制系统可以控制几个坐标轴同时协调运动(即坐标轴联动),使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动,从而完成连续切削加工,形成所需的直线、斜线或曲线、曲面。

2. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环数控系统

数控系统将被加工的零件程序进行运算处理后,输出数据指令给伺服系统,驱动加工设备运动。该系统结构简单,没有检测反馈装置,控制信号的流程是单向的,不存在系统稳定

性问题。由于无位置检测,所以精度不高,其精度主要取决于伺服驱动系统的性能。

典型的开环数控系统如图 1-1 所示,其伺服驱动元件为步进电机或电液脉冲电动机。其工作过程如下:

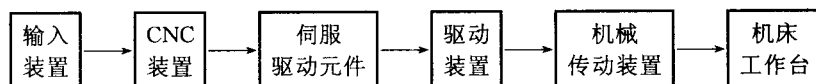


图 1-1 开环控制系统框图

首先将控制机床工作或刀架运动的位移距离、位移速度、位移方向以及位移轨迹等参量通过输入装置输入给 CNC 装置,CNC 装置将编制的零件加工程序及指令进行运算和处理,输出指令脉冲信号(其中,脉冲个数对应位移距离,脉冲频率对应位移速度,脉冲方向对应位移方向,脉冲输出的次序对应位移轨迹),然后经过功率放大,输出控制信号驱动步进电机,控制机床工作台或刀架移动,加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

该系统具有维修方便、价格低廉、稳定性好、调试方便等优点,在精度和速度要求不高的场合得到广泛应用。一般适用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

(2) 全闭环数控系统

全闭环数控系统带有工作台位置检测装置,伺服驱动装置不仅接受数控系统的驱动指令,还同时接受由工作台上的检测元件测出的实际位置反馈信息,将位移的实际值反馈回输入端与输入指令比较,用比较后的差值去控制,直至差值消除时才停止修正动作。

该系统的采样点是从机床的运动部件上直接引出,将工作台纳入了控制环,通过对工作台运动部件的实际位置的检测可以消除整个传动环节的误差、间隙,因而能够获得很高的加工精度。但是,由于位置环内包含了很多机械传动环节,如丝杠副、导轨副的摩擦特性,各部件的刚度以及传动精度等都是可变值,是非线形的,直接影响伺服系统的调节参数,容易造成系统的不稳定及调试困难。

全闭环数控系统如图 1-2 所示,检测装置采用的是直线位移检测元件(目前一般采用光栅尺)。其工作过程如下:

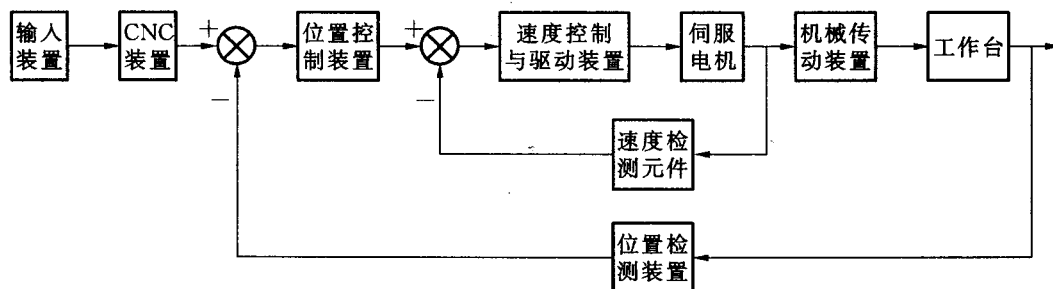


图 1-2 全闭环控制系统框图

将编制好的工件加工程序和指令通过输入装置输入给 CNC 装置,CNC 装置对其进行

运算和处理,发出位移指令脉冲信号,经过功率放大,输出控制信号驱动伺服电机,经过机械传动装置控制机床工作台或刀架移动,而安装在移动部件上的位置检测装置把工作台的实际位移量转变为电量,反馈到输入端,与输入信号相比较,得到的差值经过放大和变换,再去控制伺服电机,最后驱动工作台或刀架向减少误差的方向移动。如果指令脉冲不断输入,则移动部件就不断运动,直到差值为零,工作台才停止移动,此时移动部件的实际位移量与指令的位移量相等。

在该控制系统中除了装有位置检测装置外,还装有速度检测元件,组成速度闭环控制,对电动机运转速度随时进行校正,从而减少因负载等因素变动而引起的进给速度的波动,改善位置环的控制质量。

全闭环控制系统的精度高,速度调节快,但是由于该控制系统在技术上要求较高,成本也很高,调试和维修也比较复杂。机床的结构、传动装置以及传动间隙等非线性因素都会影响其控制精度,严重时系统会产生振荡,降低系统的稳定性。另外用于位置检测的直线位移检测元件的价格比较昂贵,所以该系统主要用于一些精度要求很高的数控镗铣床、超精车床和超精铣床。

(3) 半闭环数控系统

目前,大多数数控机床采用半闭环伺服控制系统。半闭环数控系统与全闭环控制系统的区别在于,直接检测的不是工作台的实际位置,而是通过安装在伺服电机轴端或丝杠轴端的角位移检测装置(如旋转变压器、脉冲编码器、圆光栅等),检测伺服电机的旋转角度或丝杠转角,间接测得工作台的实际位移量。由于这种控制系统的闭环回路中不包括工作台传动链,所以称为半闭环数控系统。

半闭环数控系统如图 1-3 所示,检测装置采用的是角位移检测元件。

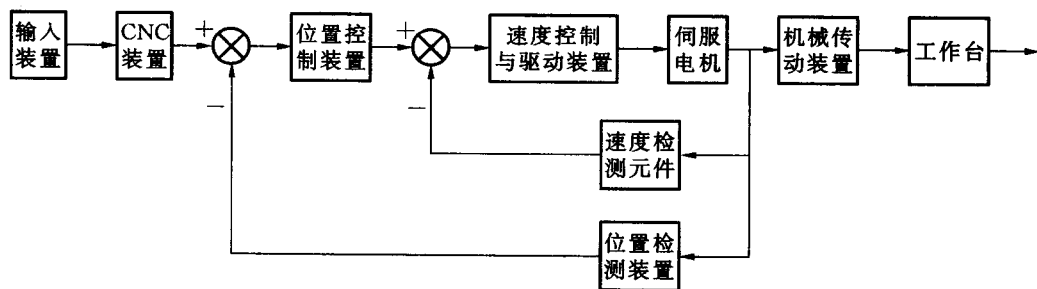


图 1-3 半闭环控制系统框图

半闭环数控系统环路内不包括或只包括少量机械传动环节,因此系统控制稳定。角位移检测装置可与伺服电机设计成一个整体,使系统的结构简单,安装调试也很方便。

由于该系统的检测装置采样的是伺服电机的旋转角度而不是工作台的实际位置,机械传动环节的误差无法通过反馈得到校正和消除,但大部分可以通过误差补偿的方法消除,另外只要检测装置的精度高,分辨率高,丝杠螺母机构的精度高,再加上可靠的误差间接消除措施,半闭环控制系统仍然能获得较高的控制精度。

从理论上讲,半闭环数控系统的控制精度低于全闭环数控系统,但因其调试方便、稳定

性好、角位移的测量元件结构简单、价格低廉,所以配备了传动精度较高的齿轮和丝杠的半闭环数控系统得到了广泛的应用。

3. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床

是指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床,如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床、数控刨床以及加工中心等。其中,数控加工中心的主要特点是具有自动换刀机构的刀具库,工件经一次装夹后,通过自动更换各种刀具,在同一台机床上对工件各加工面连续进行铣(车)、镗、铰、钻、攻丝等多种工序的加工,如车削中心、镗铣削中心、磨削中心和钻削中心等。

(2) 金属成型类数控机床

是指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床,如数控压力机、数控弯管机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机、数控组合机床等,这类机床起步晚,但目前发展很快。

(3) 特种加工类数控机床

数控激光加工机床、数控电火花成型机床、数控电火花线切割机床、数控火焰切割机等。

(4) 测量绘图类数控机床

数控绘图仪、数控坐标测量仪、数控对刀仪等。

4. 按数控系统的功能水平分类

按照数控系统的功能水平,数控系统可以分为经济型(低档型)、普及型(中档型)和全功能型(高档型)三种。这种分类方法在我国应用较多,高、中、低三档没有明确的定义和确切的分类界线,并且不同时期、不同国家的划分标准也不同。目前,按数控机床的功能水平的完善程度,具体划分及介绍如下。

(1) 低档经济型(简易型)数控机床

在我国,经济型数控机床是指具有针对性加工功能、功能比较简单、价格低廉的数控机床,它通常由单板机、单片机和步进电机组成,主要用于车床、线切割机床和传统机床的数控化改造上。这类数控机床通常仅能满足一般精度要求的加工,能加工形状较为简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零件,在我国有一定的生产批量。

这类数控机床的特点是:脉冲当量(分辨率)为 $10\ \mu\text{m}$,进给速度为 $4\sim 15\ \text{m/min}$;采用开环伺服驱动系统和步进电机进给系统;联动轴数一般为 2 轴,不超过 3 轴;只有数码管显示或简单的 CRT(阴极射线管)显示字符;主芯片 CPU(Central Processing Unit)多为 8 位芯片;无通信功能,无内装可编程控制器(Programmable Logic Controller,简称 PLC)。

(2) 中档普及型(标准型)数控机床

普及型数控机床应用广泛,品种多,几乎覆盖了各种机床类别,并且价格适中,具有自动加工所需的各种功能,但辅助功能不完善,功能水平不够高。该类型数控机床虽功能较多,但不追求过多功能,以实用为准。

这类数控机床的特点是:分辨力为 $1\ \mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 24\ \text{m/min}$;采用半闭环直流或交流伺服系统;联动轴数为 $2\sim 4$ 轴;具有较齐全的 CRT 显示系统,可以显示字符和图像,

有人机对话和自诊断功能;主芯片 CPU 为 16 位或 32 位芯片;具有 RS-232 或 DNC(Direct Numerical Control 直接数控)通信接口,内装 PLC,输入/输出的控制一般由 PLC 来完成,能进行辅助功能控制。

(3) 高档全功能型数控机床

全功能型数控机床具有能加工复杂形状工件的多轴控制系统,工序集中、自动化程度高,功能完善,具有较高的柔性,但价格昂贵。例如,具有 5 轴以上的数控机床,大、重型数控机床,五面加工中心,车削中心,柔性加工单元等。

这类数控机床的特点是:分辨力为 $0.1\sim 1\ \mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 100\ \text{m/min}$;采用闭环或半闭环控制方式,进给大多采用交流伺服驱动;联动轴数为 $3\sim 5$ 轴以上;除了中档系统显示功能外,还具有三维动画图形功能和宜人的图形用户界面;主芯片 CPU 为 32 位或 64 位芯片,或者具有精简指令集的高速中央处理单元,用以提高运算速度;具有 RS-232 通信接口、DNC 通信接口以及 MAP(Manufacturing Automation Protocol,制造自动化协议)通信接口,具有联网功能,具有功能很强的内装 PLC 和多轴控制扩展功能;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,还具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。

四、数控机床的发展

1. 数控机床的发展概况

从 1952 年美国第一台数控铣床问世至今,经过半个世纪的不断改进、开拓与发展,数控机床已形成品种齐全、种类繁多、性能完善与外观造型完美的自动化生产设备,庞大的数控制造设备家族包括车、铣、磨、冲压、电加工以及各类专用机床等。

从 1952 年到 1970 年,分立元件、电子管、印制电路板、晶体管、中小规模集成电路先后在数控系统中得到应用,构成了“硬联接”数控阶段。该阶段数控系统的功能均由硬件实现,存在设计周期长、结构复杂、可靠性差、编程困难、没有自诊断功能、成本高等问题,发展相对缓慢,其应用受到限制。这种数控系统,即 NC(Numerical Control)系统。

20 世纪 70 年代初期,大规模集成电路、半导体存储器、微处理器的问世,给数控行业带来勃勃生机。用软件实现机床的逻辑控制、运动控制功能,具有较强的灵活性和适应性,数控机床进入以软件为主要标志的“软联接”数控阶段。该阶段数控系统的许多功能依靠编制专用程序存放于计算机的存储器中,构成了控制软件而加以实现,提高了数控系统的可靠性及灵活性。这种数控系统,即计算机数控(CNC——Computer Numerical Control)系统。

进入 20 世纪 90 年代以来,随着微电子技术、计算机技术的发展,以个人计算机(PC——Personal Computer)技术为基础的 CNC 正在发展成为世界的潮流,它是自有数控技术以来最有深远意义的一次飞跃。以 PC 为基础的 CNC 通常是指运动控制板或整个 CNC 单元(包括集成的 PLC)插入到 PC 机标准插槽中,使用标准的硬件平台和操作系统。

(1) 数控机床的发展所经历的 2 个阶段、6 代历程

第一阶段——硬件数控阶段(NC——Numerical Control)