

全国高等教育自学考试教材（机电一体化专业）

机床数控系统

林其骏 主编



中国科学技术出版社

全国高等教育自学考试教材

机 床 数 控 系 统

林其骏 主编

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书以数控机床为对象,研究计算机数字控制系统的工作原理、组成部分及其在数控机床上的应用。重点讲述机床数控化技术改造和数控机床使用中所必须具备的机械、电子和计算机方面的知识。

全书共分10章,叙述了数控机床的程序编制,数控系统中控制计算机的硬件和应用软件,数控机床的机械部分、电气驱动和位置检测元件,并对数控机床的伺服系统和加工精度也作了相应的阐述。最后以经济型数控系统的开发实例作为本书的小结。

本书体裁新颖、结构紧凑、机电结合,是高等教育自学考试机电一体化工程专业本科段的教材,也可用作全日制高等院校有关专业的教学参考书,以及机电类技术人员从事机电一体化工作时的参考书。

全国高等教育自学考试教材

机 床 数 控 系 统

林其骏 主编

*

中国科学技术出版社出版 (北京海淀区魏公村白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

水电印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 16.5 字数: 385千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数: 1—25000册 定价: 10.30元

ISBN 7-5046-0419-4/TH·9 登记证号: (京)173

前 言

本书是根据全国高等教育自学考试指导委员会1989年制定的机电一体化工程专业本科段《机床数控系统》课程自学考试大纲编写的,是供个人自学和社会助学使用的教材,也可作为有关专业技术人员参考之用。

本书主要是以数控机床为对象,阐述计算机数控系统的基本原理及其在数控机床上的应用。内容上机电密切结合,以期机械类专业的技术人员,通过本课程的学习,可以合理地设计或选用一般数控机械装置的计算机数控系统及其机械结构的方法。为了加深对本书内容的理解和掌握一些基本技能,配合本课程学习,还有两个实践性教学环节——课程实验和课程设计。实验内容和课程设计所需数据和资料,另有两本教材《机电一体化工程实验》和《机床数控系统课程设计指导书》与本书配套。在本书每章之后,列有少量复习思考题,可以帮助学生复习和进一步思考问题。

本书由西安交通大学林其骏教授主编,参加编写工作的有:西安交通大学林其骏(第一、二章),关中民、赵万镒(合写第五章),王光铨(第六、七章),虞鹤松(第八章),唐擢茹(第九章),洛阳工学院吴宏(与林其骏合写第三章和第十章),西北纺织工学院王会燃(第四章)。

本书由西安交通大学史维祥教授和西安电子科技大学杨俊教授主审。参加审稿的还有西北工业大学张民惠,西安交通大学单德根、葛文运,西安电子科技大学王麟森、姜永大。根据审稿会意见,编者作了相应的修改,使编写质量有了很大的提高。

本书编写过程中得到了航天部771研究所周卓岑,青海第一机床厂杨波和西安交通大学薛钧义、赵一丁、林维中同志的指

导和帮助；谨此表示衷心的感谢。由于编者的水平所限，书中难免存在缺点和错误，请读者多提宝贵意见，以利进一步提高教材质量。

编者

1990年8月

出版前言

高等教育自学考试教材建设是高等教育自学考试工作的一项基本建设。经国家教育委员会同意，我们拟有计划、有步骤地组织编写一些高等教育自学考试教材，以满足社会自学和适应考试的需要。《机床数控系统》是为高等教育自学考试机电一体化工程专业组编的一套教材中的一种。这本教材根据专业考试计划，从造就和选拔人才的需要出发，按照全国颁布的《机床数控系统自学考试大纲》的要求，结合自学考试的特点，组织高等院校一些专家学者集体编写而成的。

机电一体化工程专业《机床数控系统》自学考试教材，是供个人自学、社会助学和国家考试使用的。无疑也适用于其他相同专业方面的学习需要。现经审定同意予以出版发行。我们相信，随着高等教育自学考试教材的陆续出版，必将对我国高等教育事业的发展，保证自学考试的质量起到积极的促进作用。

编写高等教育自学考试教材是一种新的尝试,希望得到社会各方面的关怀和支持,使它在使用中不断提高和日臻完善。

全国高等教育自学考试指导委员会

1990年8月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 数控机床概述.....	(1)
第二节 数字控制系统.....	(5)
第三节 数控系统的发展及其在机械制造业中的作用.....	(16)
思考题一.....	(35)
第二章 数控机床的程序编制	(37)
第一节 概述.....	(37)
第二节 数控带和代码.....	(39)
第三节 手工编程.....	(55)
第四节 自动编程系统.....	(61)
第五节 数控编程的数学处理.....	(77)
思考题二.....	(96)
第三章 机床数控系统中的计算机	(98)
第一节 概述.....	(98)
第二节 CNC系统中计算机的特点及其组成.....	(105)
第三节 CNC系统控制软件.....	(151)
第四节 微机数控系统的模块化设计	(163)
思考题三	(185)
第四章 插补运算及其实现	(187)
第一节 逐点比较插补法	(188)
第二节 数字积分插补法	(211)
第三节 比较积分和单步追踪插补法	(224)
第四节 硬件插补器结构简介	(226)
第五节 进给信号的产生及坐标变换	(230)

思考题四	(235)
第五章 进给机构的机械传动和导向元件	(238)
第一节 数控机床进给系统机械传动的特点	(238)
第二节 导轨的基本类型及其特点	(239)
第三节 滚动导轨	(247)
第四节 滚珠丝杠螺母副	(266)
第五节 齿轮传动间隙的消除	(291)
第六节 等效转动惯量和等效力矩的计算	(298)
思考题五	(301)
第六章 电气驱动元件	(303)
第一节 直流电动机的调速	(303)
第二节 感应电动机的调速	(311)
第三节 交流伺服电动机	(316)
第四节 步进电动机	(320)
第五节 直线电动机	(334)
思考题六	(339)
第七章 位置检测元件	(341)
第一节 差动变压器	(341)
第二节 光栅	(346)
第三节 感应同步器	(352)
第四节 磁栅(磁尺)	(358)
第五节 旋转变压器	(363)
第六节 光电盘和编码盘	(365)
思考题七	(372)
第八章 数控机床伺服系统	(375)
第一节 概述	(375)
第二节 脉冲比较伺服系统	(382)
第三节 相位比较伺服系统	(388)
第四节 幅值比较伺服系统	(397)
第五节 伺服系统性能分析	(408)

第六节 数控伺服系统的可靠性	(432)
思考题八	(448)
第九章 数控机床精度和误差补偿	(451)
第一节 机床定位精度及其测定	(451)
第二节 定位精度分析及提高定位精度的措施	(458)
第三节 定位误差补偿原理和方法	(465)
第四节 轮廓加工中的跟随精度	(470)
思考题九	(477)
第十章 微机数控系统的开发和应用实例	(479)
第一节 经济型钻床微机控制系统的开发	(479)
第二节 FANUC 7 系统简介	(499)
思考题十	(514)
参考文献	(515)

第一章 概 论

第一节 数控机床概述

随着社会生产和科学技术的迅速发展,机械产品的性能和质量不断提高,改型频繁。目前,机械加工中单件、小批量加工约占80%,对机床不仅要求具有高的精度和生产效率,而且还要具备“柔性”,即灵活、通用,能迅速适应加工零件的变更。数控机床较好地解决了形状复杂、精密、小批、多变的零件加工问题。它具有适应性强、较高的加工精度、稳定的加工质量和高生产效率的优点。所以,数控机床是一种灵活而高效的自动化机床。随着电子、自动化、计算机和精密测试等技术的发展,数控机床在机械制造业中的地位将越来越重要。

一、数控机床的产生

第一台数控机床是适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。1948年,美国Parsons公司在研制加工直升飞机叶片轮廓检查用样板的机床时,提出了数控机床的初始设想。后来受空军委托与麻省理工学院合作开始了将三坐标铣床数控化的研究工作。1952年公开发表了世界上第一台数控机床样机,这是一台直线插补连续控制的三坐标铣床,使用了电子管元件。后来又经过三年的改进与自动程序编制的研究,于1955年进入实用阶段,投产了一百台类似产品。这些数字控制铣床在复杂的曲面零件加工中,发挥了很大的作用。

一直到50年代末,由于价格和技术上的原因,数控机床局限在航空工业中应用,品种也多为连续控制系统。到了60年代,由于晶体管的应用,数控系统提高了可靠性且价格开始下降,一些民用工业开始发展数控机床,其中多是钻床、冲床等点位控制机床。数控机床发展至今已有30多年的历史,它与电子技术、特别

是计算机技术的发展密切相关。

数控机床是一种高度自动化机床，技术复杂，成本较高。从其使用时的经济效果出发，在目前阶段，仍然多用于精度高、形状复杂的中小批量零件加工。随着数控技术的普及和电子器件成本的降低，特别是计算机数控系统的出现与微型计算机的迅速发展，数控机床正在不断地扩展适用范围。

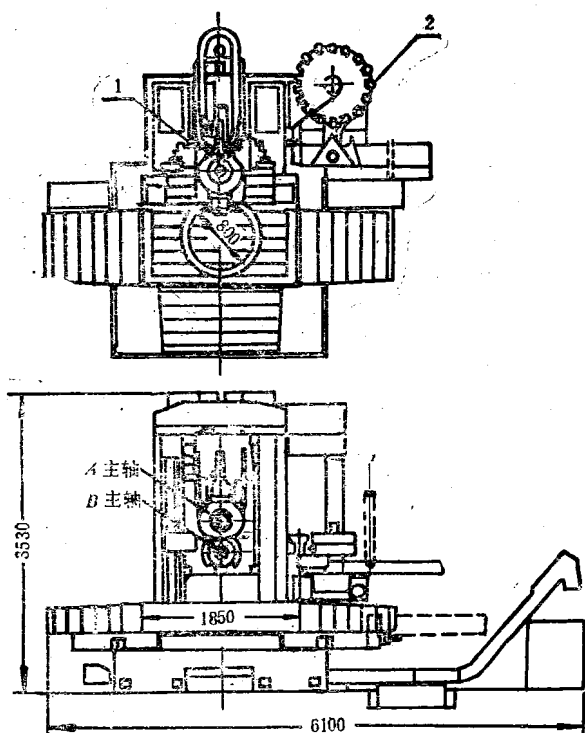


图 1-1 有两主轴的加工中心

图1-1所示为一大型数控机床——加工中心。它有两根主轴。主轴A的直径较小，使用的刀具具有立铣刀、钻头、丝锥和铰刀等。它的上部有一刀库1，可收纳36把刀具，按需要自动更换。主轴B的直径较大，使用诸如镗刀头、端面铣刀等刀具，它的刀

库2可放15把刀，也可自动换刀。由于A、B主轴使用的刀具尺寸不同，扩大了机床加工范围。

二、国内外数控机床发展情况

自从第一台商品数控机床问世以来，到1965年，世界主要工业国家的数控机床已进入批量生产阶段。1970年前美国处于领先地位。1971年苏联生产数控机床2538台，一举超过美国(1238台)名列世界第一。1977年以前，苏联一直保持产量优势。以后，日本的半导体技术及计算机技术迅猛发展，促进了数控机床的生产。到1981年仅用了四年时间便超过了其它各国而成为世界上最大的数控机床生产国。到1988年，日本年产数控机床约为50 000台，数控化率达70%。

近年来，我国重新明确了要尽快发展数控机床的政策，实行对外开放后，鼓励引进技术。1980年后，我国第一次引进了日本FANUC 5系列和7系列数控装置、直流伺服电机、直流主轴电机、可编程控制器制造技术，建立了北京数控设备厂，对引进技术进行消化掌握。仅用两年时间就投入批量生产，几年来经过生产使用的考验，证明国产的FANUC-BESK系统性能稳定可靠，功能符合使用要求，平均无故障时间已达33个月以上，这将大大促进我国机床数控技术的发展与普及。此外，我国又陆续引进了美国G.E.公司和德国西门子公司等机床数控系统，在我国数控机床中得到日益广泛的应用。

数控机床代表着机械制造业现代科学技术发展的方向和水准。目前，我国数控机床的发展不仅从技术水平上已研制出五坐标的数控铣床、加工中心、CNC系统和自动编程系统等，同时也拥有了一定数量的数控机床专业队伍，并正在积极培训更多的专业技术人材。但也应看到我国目前对数控机床的开发、生产、使用以及拥有量等都与世界上的先进国家有较大差距，要达到世界先进水平，还需迅速发展我国数控机床行业。

三、数控机床的组成部分及其工作原理

数控机床是一种利用数控技术，准确地按照事先安排的工艺

流程,实现规定动作的金属加工机床。它由输入介质、数控装置、伺服系统、反馈系统和机床等部分组成,如图1-2所示。各部分的工作原理如下所述。

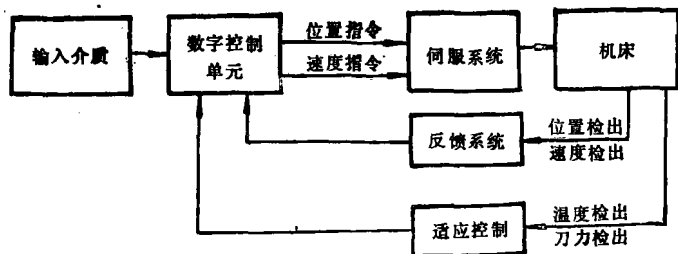


图 1-2 数控机床的组成

1. 输入介质

在操作数控机床前,先要根据零件图纸上规定的形状、尺寸和技术条件,编出零件的加工程序,加工零件时刀具相对于工件的位置和机床的全部动作,按照规定的格式和代码记录在信息载体上,输入数控装置。这种信息载体称为输入介质,它可以是穿孔带、磁带和软磁盘等。

2. 数控装置

数控装置由输入、信息处理和输出三部分构成。输入介质通过输入单元(例如阅读穿孔带的光电读带机)后,转换成可以识别的信息,由信息处理单元按照程序的规定,将接收的信息加以处理后,通过输出单元发出位置、速度等指令(脉冲信号)给伺服系统。

3. 伺服系统

伺服系统的作用就是把来自数控装置的各种指令,转换成机床移动部件的运动。相对于每一个脉冲信号的机床部件的位移量称为最小设定单位,它的大小视机床的精度而定,一般为 $0.01 \sim 0.0005\text{mm}$ 。最小设定单位又称为脉冲当量,它的值取得越小,加工精度越高。由于伺服系统直接决定刀具和工件的相对位置,所以伺服系统的性能是决定数控机床加工精度和生产率的主要因素

素之一。

4. 反馈系统

反馈系统的作用是将机床的实际位置、速度等参数检测出来，转变成电信号，输送给数控装置，使数控装置能够校核机床的实际情况是否与指令一致，并由数控装置发出指令纠正所产生的误差。

5. 适应控制

针对机床当前的环境，如温度、振动、摩擦和切削力等因素的变化，加以检测，将信号输入数控装置，及时作出补偿，以期提高加工精度或生产率。适应控制仅用于高效率 and 加工精度较高的数控机床，一般数控机床很少采用。

6. 机床

数控机床是高精度和高生产率的自动化机床，与普通机床相比，应具有更好的刚性和抗振性，特别是相对运动面的摩擦系数要小，传动部件之间的间隙要小。所以数控机床的结构必须根据数控技术的特殊要求进行专门设计，才能充分发挥数控机床的性能。

第二节 数字控制系统

一、数字控制系统的组成和分类

1. 机床数控系统的组成

数字控制系统 (Numerical Control System) 简称为数控系统 (NC System)，是一种能够控制机器动作的装置。它不但能控制金属切削机床，而且能控制诸如线切割机、冲床、气切割机和机器人等。这些机器的数控系统与机床数控系统极为相似，根据各自控制对象的不同，增减一些功能。

机床数控系统在输入某种介质载有的、以规定格式记录的指令后，能自动译解指令，并使所控制的装置执行指令，有时还能监控其执行结果，以保证得到要求的精度和功能。机床数控系统

一般由输入介质、数控装置和伺服系统组成。对于较高级的机床数控系统还包括反馈系统和适应控制系统（图1-2）。这些组成部分的功能如前所述。

2. 机床数控系统的类型

机床数控系统有许多类型，以适应各种不同的用途需要。根据伺服系统，机床数控系统可分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。根据运动方式可分为点位控制系统、点位/直线控制系统和连续控制系统。根据坐标值的表示方式可分为增量坐标控制系统和绝对坐标控制系统。

二、开环和闭环控制系统

1. 开环控制系统

图1-3为开环控制系统的框图。输入介质的信息进入控制装置的解读器后，编译成计算机能识别的机器码，存入存储器内，在需要时发送指令至电动机驱动单元，使伺服电机作相应的转动。由于开环系统没有反馈装置，所以不能纠正伺服系统的误差。

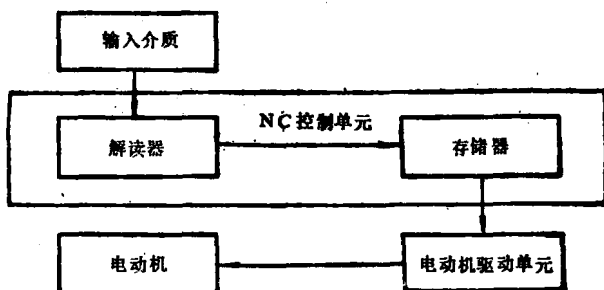


图 1-3 开环控制系统

开环伺服系统中，多采用功率步进电动机作为伺服电机。因为步进电机根据电脉冲动作，输入一个电脉冲，步进电机转动一个步距角，通过传动部件，能使机床工作台相应地得到一定的位移量（一个脉冲当量）。

2. 半闭环控制系统

图1-4为半闭环控制系统的框图。它与开环系统的主要区别在于电动机轴或传动丝杠上装有表示其角位移量的编码器，以及数控装置内增加了比较电路。当数控装置发出指令使电机转动时，编码器即将电机轴的实际角位移量变成电信号返回比较电路，与正确的指令值比较后，如果发现误差，则发出指令以减少误差直到零为止。

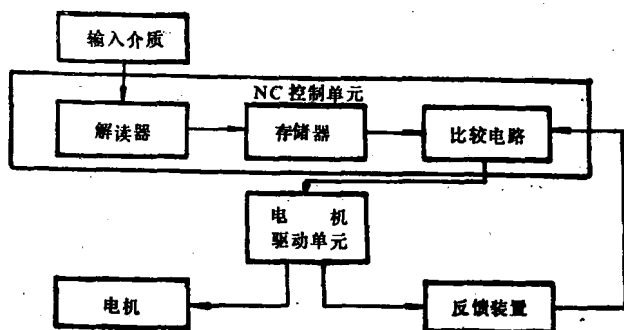


图 1-4 半闭环控制系统

半闭环系统多采用功率较大的直流伺服电机。近年来，逐渐发展为采用异步交流电动机作为变速伺服电机，它比直流伺服电机的功率更大，更有前途。此外，电液伺服电机多用于大型数控机床。

对于数控机床，上述系统虽然能精确控制伺服电机的角位移量，但是它不能纠正机床传动部件带来的误差，所以称为半闭环控制系统。

3. 闭环控制系统

闭环系统又称为全闭环系统，它的工作原理与半闭环系统相类似，但是闭环系统的反馈装置不是装在电机轴上，而是装在机床的移动部件上。这类反馈装置的位移传感器有光栅尺、感应同步器等。传感器将实际位移量变成电信号传给数控装置的比较电路，如果发现误差，则由数控装置发出信号纠正误差。

闭环系统主要是使用直流伺服电机作为动力源，从发展趋势上也有采用交流伺服电机的。近年来，由于功率步进电机技术的