

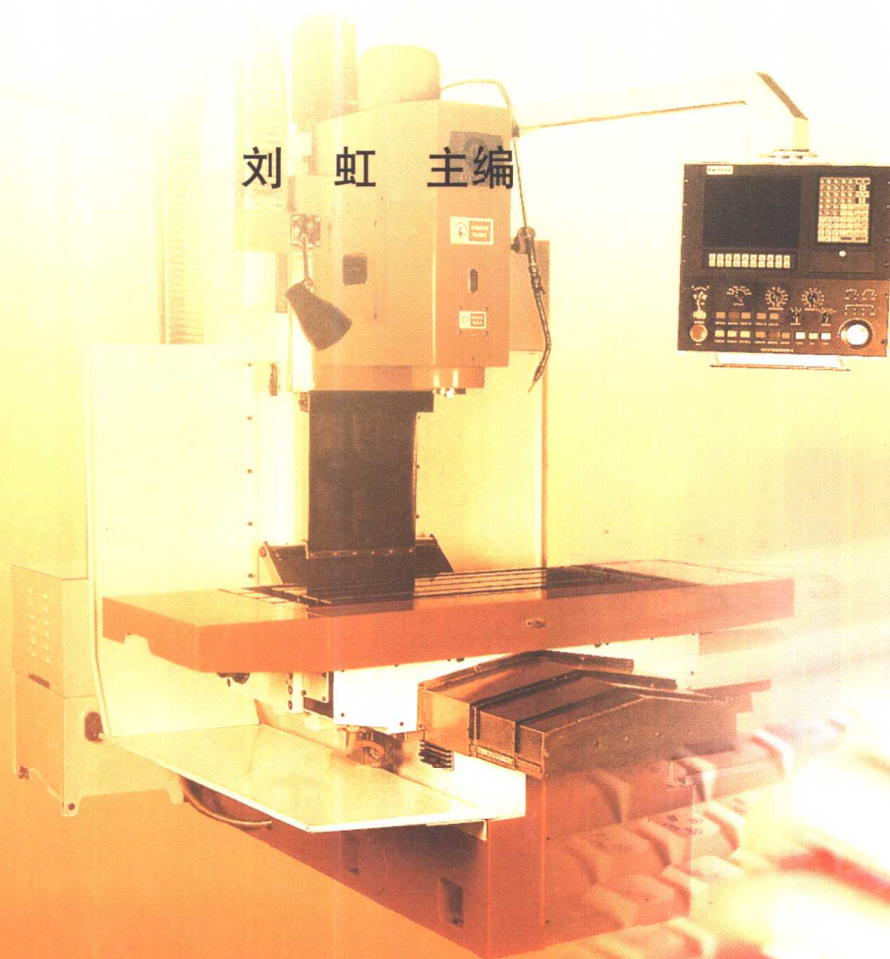


中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控设备与编程

(数控技术应用专业)

刘虹 主编



机械工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育审定委员会审定

数 控 设 备 与 编 程

(数控技术应用专业)

主 编 刘 虹
参 编 贾俊良 赵松涛
 王国良 徐雅玲
主 审 陈洪涛



机 械 工 业 出 版 社

本书着重介绍了数控设备方面的基本内容和基本知识,以及各类常用数控设备的基本编程方法。全书共分七章,内容包括:数控设备的基本知识;数控车床及其程序编制;数控铣床、加工中心及其程序编制;特种加工数控设备及其程序编制;其它数控设备;自动编程;数控设备的应用、维护。本书从培养职业技术型人才的目的出发,注重实用性,强调理论联系实际。教材的各章节内容相对独立,可按模块方式组织教学,以适应当前多种形式、不同层次办学的需要。

本书是中等职业学校数控技术应用专业教材,可作为机电技术应用、机械制造专业的教材,也可供有关专业的师生及从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控设备与编程:数控技术应用专业/刘虹主编. —北京:机械工业出版社, 2002. 2

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-111-09707-6

Ⅰ. 数… Ⅱ. 刘… Ⅲ. 数控机床—程序设计—专业学校—教材 N. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 096011 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:魏俊云

封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·11.75 印张·289 千字

0 001—5 000 册

定价:14.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

面向 21 世纪中等职业学校“数控技术应用”专业教学改革方案研究已于 2000 年 10 月通过专家评审，此教学改革方案代表了当今社会需求和中等职业教育的改革方向。《数控设备与编程》作为“数控技术应用”专业的一门主干专业课程，其教学大纲于 2000 年 12 月通过专家评审。本书是根据该教学大纲的要求，为中等职业学校数控技术应用专业及机电类专业而编写的，并被确定为面向 21 世纪中等职业学校国家规划教材。

本书从培养中等职业技术型人才的目 的出发，介绍了数控设备方面的基本内容和基本知识及各类常用数控设备的基本编程方法。全书共分七章，内容包括：数控设备的基本知识；数控车床及其程序编制；数控铣床、加工中心及其程序编制；特种加工数控设备及其程序编制；其它数控设备；自动编程；数控设备的应用、维护。本书从培养职业技术型人才的目 的出发，注重实用性，强调理论联系实际。教材的各章节内容相对独立，可按模块方式组织教学，以适应当前多种形式、不同层次办学的需要。

本书由重庆工业职业技术学院刘虹主编。其中第一章由华北机电学校徐雅玲编写，第二、五章由刘虹编写，第三、四章由四川工程职业技术学院赵松涛和常州机械工业学校王国良编写，第六、七章由北京市机械工业学校贾俊良编写；由四川工程职业技术学院陈洪涛任本书主审。在审稿会上，河北机电学校刘力群、浙江机电职业技术学院杜红文等提出了许多宝贵的意见。本书又经天津大学朱梦周教授，刘治平副教授和责任主审张世昌教授三位专家的详细审阅，提出了许多宝贵的修改意见，在此深表感谢。

因编者水平和经验有限，本书难免有不妥或错误之处，敬希读者指正。

编 者
于重庆

目 录

中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一章 数控设备基本知识	1
第一节 数控技术的应用与发展	1
第二节 数控设备的组成及工作 原理	2
第三节 数控设备的分类及特点	4
第四节 数控设备的机械装置	8
第五节 数控设备程序编制的基本 知识	13
习题与思考题	20
第二章 数控车床及其程序编制	21
第一节 概述	21
第二节 数控车床的机械结构特点	25
第三节 数控车床的程序编制	30
第四节 车削中心及其程序编制	58
第五节 经济型数控车床及其 程序编制	64
习题与思考题	67
第三章 数控铣床、加工中心及其 程序编制	69
第一节 数控铣床概述	69
第二节 数控铣床的主要部件结构	71
第三节 数控铣床的程序编制	73
第四节 加工中心概述	83
第五节 立式加工中心的主要部件 结构	85
第六节 立式加工中心的程序编制	92

第七节 卧式加工中心的主要部件 结构	105
第八节 卧式加工中心的程序编制	111
习题与思考题	116
第四章 特种加工数控设备及其 程序编制	117
第一节 数控电火花线切割机	117
第二节 数控电火花成形机	132
第三节 数控激光切割机	133
习题与思考题	133
第五章 其它数控设备	135
第一节 数控冲床	135
第二节 工业机器人	141
第三节 其它数控设备	143
习题与思考题	146
第六章 自动编程	147
第一节 概述	147
第二节 CAD/CAM 软件的使用	148
习题与思考题	165
第七章 数控设备的应用、维护	167
第一节 数控设备的选用	167
第二节 数控设备的安装、调试 与验收	171
第三节 数控设备的维护、保养	176
习题与思考题	181
参考文献	182

第一章 数控设备基本知识

第一节 数控技术的应用与发展

一、数控技术及应用

数控技术是指用数字信号构成的控制程序对某一对象进行控制的一门技术，简称 NC (Numerical Control)。它所控制的一般是位移、角度、速度等机械量，也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量。

数控设备则是采用了数控技术的机械设备，就是采用数字信号对该设备的工作过程进行自动控制。随着数控技术的发展，数控技术不仅在宇航、造船、军工等领域广泛使用，而且也进入了汽车、机床等民用机械制造行业，例如造船行业的数控火焰切割机、飞机制造行业的数控弯管机、机械制造行业的数控机床以及数控绘图机、数控测量机、数控雕刻机、电脑绣花机、衣料开片机、工业机器人等等。

现代数控设备综合应用了微电子技术、计算机、自动控制、精密检测、机械设计与制造技术等多方面的最新成果，是典型的机电一体化产品。这些高新技术的结合，相对于常规工艺在横向上有了明显的拓宽。而且数控技术是计算机技术在设备上的应用，它由信息技术替代人工操作，使传统的机械加工技术在纵向上有了质的飞跃和提高。

二、数控技术的发展

1. 数控设备的产生

随着科学技术和生产力的发展，机械产品日趋精密、复杂，而且改型频繁。长期以来，这类产品都在通用机床上加工，基本上是由人工操作，劳动强度大，而且难以提高生产效率和保证产品质量。对一些复杂的曲线、曲面所构成的零件，手工操作甚至根本无法加工。

数控机床就是为了解决单件、小批量、精度高、复杂型面零件加工的自动化要求而产生的。数控机床的研制最早始于 20 世纪 40 年代末的美国帕森斯公司和麻省理工学院。1952 年研制出第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。该铣床的研制成功是机械制造行业的一次技术革命，使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。

2. 数控技术的发展状况

从第一台数控机床问世至今的 40 多年中，随着微电子技术的不断发展，特别是计算机技术的发展，数控系统也在不断更新换代，先后经历了电子管（1952 年）、晶体管（1959 年）、小规模集成电路（1965 年）、大规模集成电路及小型计算机（1970 年）和微处理器或微型计算机（1974 年）等五代系统。其中前三代称作硬接线数控，简称 NC 系统；后二代称作计算机软件数控，也称 CNC 系统（Computerized NC）。

NC 系统的控制逻辑（数控功能），是由固定接线的硬件电路组成的专用计算机来实现的，制成后就不易改变，柔性差。CNC 系统是由硬件和软件组成。通过改变软件很容易更改或扩展其功能，NC 系统被 CNC 系统所代替是一个总的趋势。

在系统不断更新换代的同时,数控设备中的典型代表——数控机床的品种得以不断发展,几乎所有品种的机床都实现了数控化。1956 年日本富士通公司研制成功数控转塔式冲床,美国帕克工具公司研制成功数控转塔钻床,1958 年美国 K&T 公司研制出带自动刀具交换装置的加工中心 MC (Machining Center)。随着 CNC 技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,为单机数控化向计算机控制的多机制造系统自动化发展创造了必要的条件,在 20 世纪 60 年代出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统 DNC (Direct NC); 1967 年出现了由多台数控机床联接成可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System)。1978 年以后加工中心迅速发展,各种加工中心相继问世。80 年代初又出现以 1~3 台加工中心或车削中心为主体,再配上工件自动装卸的可交换工作台及监控检验装置的柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell)。近 10 多年来 MC、FMC、FMS 发展迅速,在 1989 年第 8 界欧洲国际机床展览会上,展出的 FMS 超过 200 条。目前,已经出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System),以谋求实现整个企业生产管理的现代化,实现工厂自动化。目前,世界数控机床的年产量近 15 万台,产值超过 200 亿美元,数控机床总拥有量达 100 万台以上,品种已超过 1500 种,几乎覆盖全部机床的品种类别。

我国数控机床的研制始于 1958 年,到 1985 年我国的数控机床的品种累计达 80 多种,包括加工中心、数控车床、铣床、磨床等。数控机床进入了实用阶段。

近 10 年 (1986 年~1995 年) 是我国数控机床大发展时期。目前我国已有几十个厂家在从事不同层次的数控机床的生产和开发,形成了具有小批量生产能力的生产基地。数控机床的品种已超过 500 种,其中金属切削机床品种的数控化率达 20%。

在数控机床全面发展的同时,数控技术在其它机械行业中得以迅速发展,数控绘图机、数控坐标测量机、数控激光与火焰切割机等数控设备得到广泛的应用。

我国数控机床近年来确已取得重大进展,但在产品水平和技术水平方面与国外先进水平相比,仍有一定差距。为了赶超世界先进水平,国家在“十五”期间,再一次把“数控技术”确定为国家高技术重点研究项目,这一重大决策必将大大增强我国在国际经济竞争中的实力和地位。

第二节 数控设备的组成及工作原理

一、数控设备的组成及作用

数控设备主要由输入输出设备、数控装置、伺服系统和受控设备四部分组成,基本结构框图如图 1-1 所示。

1. 输入输出设备

输入输出设备的主要功能是编制程序、输入程序和数据、打印和显示。这一部分的硬件,简单的可能只有键盘和发光二极管显示器,一般的可再加上纸带、光电读带机、磁带、磁盘输入机、人机对话

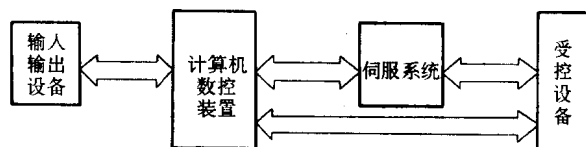


图 1-1 数控设备基本结构框图

编程操作键盘和 CRT 显示器，高级的可能还包含有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2. 数控装置

数控装置是数控设备的控制指挥中心。它是根据输入的程序和数据，完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制、轨迹插补等功能。目前数控设备的数控装置一般采用微型计算机控制。

3. 伺服系统

伺服系统是数控装置与受控设备之间的电传动联系环节。其主要功能是将数控装置插补产生的脉冲信号，经系统功率放大器放大后，驱动伺服电动机运转，从而通过机械传动装置拖动受控设备的执行机构运动。伺服系统由伺服控制电路、功率放大电路、伺服电动机组成。常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。伺服系统的性能是决定数控设备加工精度和生产效率的主要因素之一。

4. 受控设备

受控设备是被控制的对象，是数控设备的主体，一般都需要对它进行位移、角度和各种开关量的控制。

受控设备包括机床行业的各种机床和其它行业的许多设备，如火焰切割机、电火花加工机、冲剪机、压力机、绘图机、弯管机、雕刻机等等。在受控设备上一般装有检测装置，以便将位置和各种状态信号反馈给数控装置，实现闭环控制。

二、数控设备的工作原理

数控设备工作时，都是根据所输入的工作程序，由数控装置控制该设备的执行机构的运动轨迹，并使其满足给定的图样要求。执行机构的运动轨迹取决于所输入的工作程序，而输入的工作程序是根据图样要求编制的。

不同的数控设备，其执行机构以及由执行机构所完成的轨迹运动均有所不同，如数控机床的执行机构使刀具相对于工件运动完成零件的切削加工，达到零件图样的要求；数控切割机的执行机构带动切割枪嘴相对于板材运动，切割出图样所要求的板材；数控绘图仪的执行机构带动绘图笔相对于图纸运动，绘出所要求的图样。下面以数控机床加工零件的过程为例，介绍其工作原理。

1. 工作程序编制

数控机床的工作程序编制就是零件加工程序编制，即加工前，首先根据被加工零件工作图中所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等，确定零件加工的工艺过程、工艺参数（包括加工顺序、切削用量和位移数据），然后根据编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单（即编程卡片）。

对于较简单的零件，通常采用手工编程；对于形状复杂的零件，则要在编程机上进行自动编程或计算机编程。

2. 程序输入

要将编制好的加工程序单输入数控装置，必须把程序单中的全部数据和指令，制作在一个信息载体上，这种信息载体又被称为控制介质，它是联系人与机床之间的桥梁。常见的控制介质有穿孔纸带、数据磁带、软磁盘等。根据控制介质不同，程序输入的方式也不同。

3. 轨迹插补

加工程序输入到数控装置后，在数控装置内部的控制软件支持下，进行一系列的处理与

计算（如轨迹插补运算等）。同时，将结果以脉冲信号的形式送往机床的伺服系统。

一个零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其它非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动，但输入的零件加工程序只能是各线段的轨迹的起点和终点的坐标值等有限数据。所谓轨迹插补，就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号。

4. 伺服控制和机床加工

伺服控制的作用是根据不同的控制方式（如开环、闭环等），把来自数控装置插补输出的脉冲信号经过功率放大器放大，通过驱动元件（如步进电动机、直流伺服电动机等）和机械传动机构，使机床的执行机构（运动部件）带动刀具相对于工件按规定的轨迹和速度进行加工。

第三节 数控设备的分类及特点

一、数控设备的分类

数控设备的品种规格繁多，分类方法不一，各行业都有自己的数控设备和分类方法。在机床行业，根据数控机床的功能和结构，通常按下面四种方法进行分类。

1. 按机床运动的控制轨迹分类

（1）点位控制数控机床 其特点是只要求控制机床移动部件从一点移动到另一点的准确定位，至于点与点之间移动的轨迹（路径和方向）并不严格要求，各坐标轴之间的运动是不相关的，并且在移动过程中刀具不进行切削。为了实现既快又精确的定位，两点间位置的移动一般是先以快速移动到终点附近位置，然后以低速准确移动到终点定位位置，以保证良好的定位精度。这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床和数控测量机等。

（2）直线控制数控机床 其特点是除了控制移动部件从一点到另一点之间的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和路线（即轨迹），但其路线只是与机床坐标轴平行的直线，也就是说同时控制的坐标轴只有一个（即数控系统内不必具有插补运算功能），且在移动过程中刀具能以指定的进给速度进行切削，一般只能加工矩形，台阶形零件。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床等。

（3）轮廓控制数控机床 轮廓控制数控机床也称为连续控制机床，其控制特点是能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制。在这类控制方式中，要求数控装置具有插补运算的功能，即根据程序输入的基本数据（如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径），通过数控系统内插补运算器的数学处理，把直线或曲线的形状描述出来。并一边运算，一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求轮廓相符，在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削，可以进行各种斜线、圆弧、曲线的加工。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控切割机、加工中心等。

2. 按伺服控制方式分类

（1）开环控制数控机床 图 1-2 是开环控制系统框图。这类机床的进给伺服驱动是开环的，即没有检测反馈装置，指令信号单方向传送，并且指令发出后，不再反馈回来，故称开环控制。其驱动电动机采用步进电动机，这类电动机的主要特征是控制电路每变换一次指令

脉冲信号,电动机就转动一个步距角,通过齿轮、丝杠传动使工作台移动一定距离。因此,工作台的位移量与步进电动机转动角位移成正比,即与进给脉冲的数目成正比。改变进给脉冲的数目和频率,就可以控制工作台的位移量和速度。因此,该控制方式的最大特点是控制方便,结构简单,容易维修,价格便宜,但由于机械传动误差不经过反馈校正,位移精度一般不高。目前,国内大力发展的经济型数控机床或旧设备数控改造,普遍采用开环数控系统。

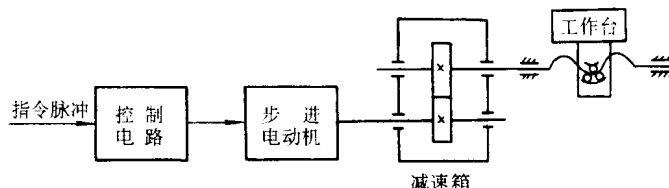


图 1-2 开环控制系统框图

(2) 闭环控制数控机床 图 1-3 是闭环控制系统框图。闭环控制系统是在机床移动部件工作台上直接装有直线位置检测元件,将检测

到的实际位移反馈到数控装置的比较器中,与所要求的位置指令进行比较,用比较后的差值进行控制,直到差值消除为止,达到精确定位,从而使位移精度大大提高。速度检测元件的作用是将伺服电动机的实际转速转换成电信号送到速度控制电路中,进行反馈校正,保证电动机转速保持恒定不变。常用速度检测元件是测速发电机。

闭环控制系统的特点是定位精度高(一般可达 $\pm 0.01\text{mm}$,最高可达 0.001mm),主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。由于这类系统采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件,电动机的控制线路比较复杂,检测元件价格昂贵,因而结构复杂,调试和维修比较困难,成本高。

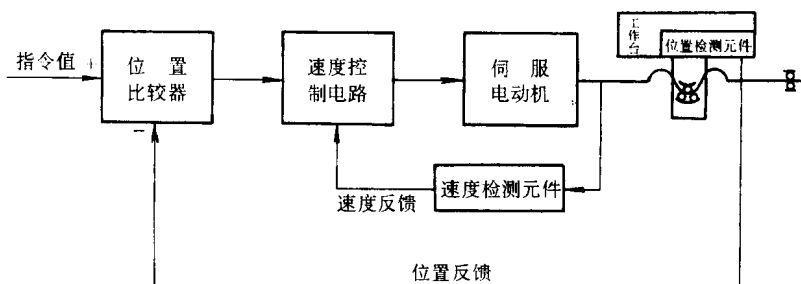


图 1-3 闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制数控机床 图 1-4 是半闭环控制系统框图。半闭环控制系统不直接检测工作台的位移量,而是采用转角检测元件,该元件直接安装在伺服电动机或滚珠丝杠端部,通过检测伺服电动机的转角或滚珠丝杠的转角,推算出工作台的实际位移量,然后反馈到数控装置的比较器中,与输入原指令位移值进行比较,用比较后的差值进行控制,直到差值消除为止。由于半闭环控制系统没有将工作台和滚珠丝杠包括在内,所以滚珠丝杠螺母副的误差仍然会影响移动部件的位移精度,但可获得较稳定的控制特性。

半闭环控制精度较闭环控制差,但稳定性好,成本低,调试维修也较容易,兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点,目前应用比较广泛。

3. 按数控系统的功能水平分类

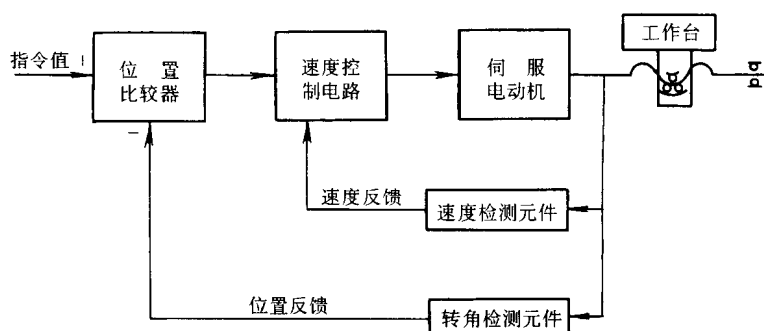


图 1-4 半闭环控制系统框图

按数控系统的功能分类，通常把数控系统分为低、中、高档三类。这种分类方法，在我国用的较多。低、中、高三档的界线是相对的，不同时期，划分的标准也会不同。

目前中、高档一般称为全功能或标准型数控机床。经济型数控属于低档数控，是指由单片机和步进电动机组成的数控系统，或其它功能简单、价格低的数控系统。

4. 按工艺用途分类

(1) 普通型数控机床 为了不同的工艺需要，与传统的通用机床一样，有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控钻、镗床等，而且每一类又有很多品种，例如数控铣床就有立铣、卧铣、工具铣及龙门铣等。这类机床的工艺性能与通用机床相似，所不同的是它能自动地加工精度更高、形状更复杂的零件。

(2) 数控加工中心 数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。典型的机床有镗铣加工中心和车削加工中心。

数控加工中心又称为多工序数控机床。在加工中心上，可使零件一次装夹后，进行多种工艺、多道工序的集中连续加工，这就大大减少了机床台数。由于减少了装卸工件、更换和调整刀具的辅助时间，从而提高了机床效率，同时由于减少了多次安装造成的定位误差，从而提高了各加工面间的位置精度。因此，近年来加工中心得以迅速发展。

(3) 数控特种加工机床 这类机床主要有数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控火焰切割机床、数控激光切割机床等。

二、数控设备的特点

1. 适应性强

在数控设备上改变加工工件时，只需要重新编制新工件的加工程序，就能实现新工件的加工。数控设备加工工件时，只需要简单的夹具，所以改变加工工件后，也不需要制作特别的工装夹具，更不需要重新调整机床。因此，数控设备特别适合单件、小批量及试制新产品的工件加工。

2. 加工精度高

由于数控设备是按照预定的程序自动加工，加工过程不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的误差，使同一批工件的尺寸一致性好，加工质量稳定。而且数控设备的传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，进给系统采用消除间隙措施，并对反向间隙与

丝杠螺距误差等由计算机软件实现自动补偿，所以加工精度高。

3. 生产率高

工件加工所需时间包括机动时间和辅助时间，数控设备能有效地减少这两部分时间。

数控设备（如数控机床）主轴转速和进给量的调整范围都比普通设备的范围大，机床刚性好，可采用较大的切削用量，快速移动和停止采用了加速、减速措施，因而既能提高空行程运动速度，又能保证定位精度，有效地降低了加工时间。

数控设备更换工件时，不需要调整机床，同一批工件加工质量稳定，无需停机检验，故辅助时间大大缩短。特别是使用自动换刀装置的数控加工中心，可以在同一台机床上实现多工序连续加工，生产效率的提高更加明显。

4. 劳动强度低

数控设备的工作是按照预先编制好的加工程序自动连续完成的，操作者除输入加工程序或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间测量及观看设备的运行之外，不需要进行繁重的重复手工操作，这就使工人的劳动条件大为改善。

5. 良好的经济效益

虽然数控设备的价格昂贵，分摊到每个工件上的设备费用较大，但是使用数控设备可节省许多其它费用。特别是不需要设计制造专用工装夹具，加工精度稳定，废品率低，减少了调度环节等，所以整体成本下降，可获得良好的经济效益。

6. 有利于生产管理的现代化

采用数控设备能准确地计算产品生产的工时，并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作。数控设备使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是在数控设备上使用计算机控制，为实现生产过程自动化创造了条件。

三、数控设备的应用范围

数控设备与普通设备比较具有许多优点，应用范围还在不断扩大。但是，数控设备初始投资费用较高，技术复杂，对操作维修人员和管理人员的素质要求也较高。在实际选用时，一定要充分考虑其技术经济效益。根据国内外数控机床应用实践，数控加工的适用范围可用图 1-5 和图 1-6 进行定性分析。

图 1-5 所示为随零件复杂程度和生产批量的不同，三种机床的应用范围的变化，图 1-6 表明了随生产批量的不同，采用三种机床加工时，总加工费用的比较。由两图可知，在多品种、中小批量生产情况下，使用数控机床可获得较好的经济效益。零件批量的增大，对选用数控机床是不利的。

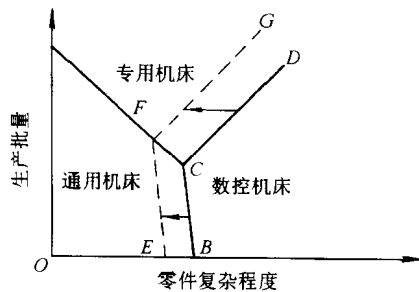


图 1-5 零件复杂程度与生产批量的关系

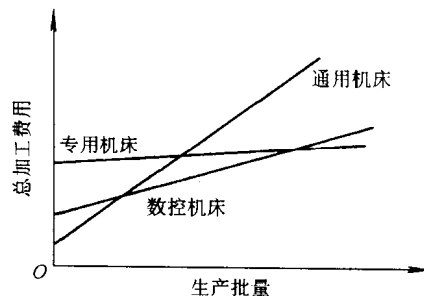


图 1-6 生产批量与总加工费用的关系

第四节 数控设备的机械装置

数控设备的机械系统是指数控设备的主机部分,它包括主运动传动系统、进给运动传动系统、刀具系统、工作台、床身、导轨及立柱等。数控设备发展的最初阶段,是在普通的机械设备上进行修改或局部的改进设计,再装备上数控装置。但随着现代数控设备的工作特点的变化和工作性能的提高,它的外观造型、整体布局、传动系统、刀具系统、辅助系统及操作机构等方面都发生了很大变化,对主机性能、结构设计等方面提出了更高的要求。因此,普通机械设备的一些弱点(如结构刚性不足、抗振性差、滑动面的摩擦阻力较大及传动元件中的间隙等)就越来越明显地暴露出来,它的某些基本结构限制着数控设备技术性能的发挥。近年来,数控设备已经由原来的改装设计转变为针对数控设备的要求对其主机进行全新的设计,出现了不少完全新颖的结构及元件,以满足数控设备机械系统的高刚度、高灵敏度、高抗振性、良好的热稳定性、高的可靠性和高效率等方面要求。本节将讨论数控设备机械系统中的一些共性典型机构和部件。

一、齿轮传动副

在数控设备的进给驱动系统中,考虑到惯量、转矩或脉冲当量的要求,有时要在电动机到丝杠之间加入齿轮传动副,而齿轮传动副存在的齿侧间隙,会造成进给运动反向时丢失指令脉冲,使运动滞后于指令信号,并产生反向死区而影响其传动精度和系统的稳定性。因此,为了提高进给系统的传动精度,必须消除齿轮副的间隙。下面介绍几种实践中常用的减小或消除齿轮传动间隙的结构形式。

(1) 偏心套调整法 图 1-7 所示为偏心套消除间隙结构。电动机 1 通过偏心套 2 安装到机床壳体上,通过转动偏心套 2,就能够方便的调整两齿轮的中心距,从而消除齿侧间隙。

(2) 锥度齿轮调整法 图 1-8 所示为带有锥度的齿轮来消除间隙的结构。在加工相互啮合的两个齿轮 1 和 2 时,将假想的分度圆柱面制成带有小锥度的圆锥面,使齿轮齿厚在轴向稍有变化,调整时,只需要改变垫片 3 的厚度,使齿轮 2 作轴向移动,调整两齿轮在轴向的相对位置,从而达到消除齿侧间隙的目的。

以上两种调整方法的特点是结构比较简单,传动刚度好,能传递较大的扭矩,但齿轮磨损后齿侧间隙不能自动补偿,这种调整法又称为刚性调整法。

(3) 双片齿轮错齿调整法 图 1-9 是双片齿轮周向可调弹簧错齿消除间隙结构。两个齿数相同的薄片齿轮 1、2 与另外一个宽齿轮啮合。薄片齿轮 1、2 套装在一起,并可作相对回转运动。每个薄片齿轮分别开有两条周向圆弧槽,并在齿轮 1、2 的槽内装有短圆柱 3,用来安装弹簧 4。装配时使弹簧 4 具有足够的拉力。由于弹簧 4 的作用使齿轮 1、2 错位,使两个薄片齿轮的左右面分别与宽齿轮的齿槽左右面贴紧,消除了齿侧间隙。

双片齿轮错齿法调整间隙,在齿轮传动时,无论正向或反向旋转因为分别只有一个齿轮承受转矩,因此承载能力受到限制,设计时须计算弹簧的拉力,使它能克服最大转矩。

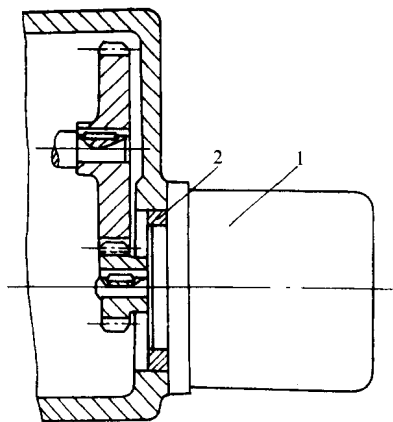


图 1-7 偏心套式消除间隙结构

1—电动机 2—偏心套

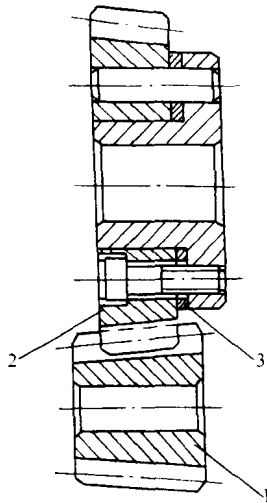


图 1-8 锥度齿轮消除间隙机构

1、2—齿轮 3—垫片

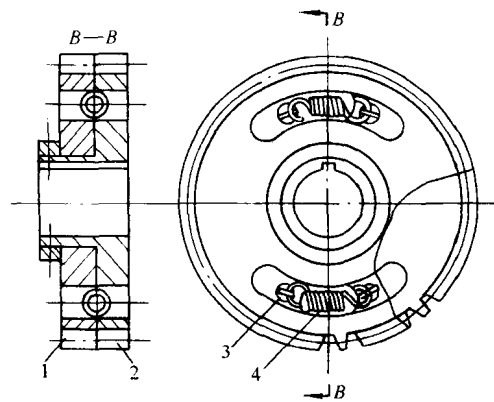


图 1-9 双片齿轮周向弹簧错齿消除结构

1、2—薄齿轮 3—短圆柱 4—弹簧

这种调整法结构较复杂，传力刚度低，不宜传递大转矩，但结构装配好后齿侧间隙能自动消除（补偿），可始终保持无间隙啮合，这种调整法又称为柔性调整法。

直齿圆柱齿轮，斜齿圆柱齿轮、锥齿轮、齿轮齿条等传动副均能对传动间隙进行调整。

二、滚珠丝杠副

滚珠丝杠副是在丝杠和螺母间以钢球为滚动体的螺旋传动元件。它可将旋转运动转变为直线运动，或者将直线运动转变为旋转运动。因此，滚珠丝杠副是直线运动与旋转运动相互转换的新型理想传动装置，在数控设备上得到了广泛的应用。

1. 滚珠丝杠副的工作原理、特点及类型

图 1-10 是滚珠丝杠副的结构原理示意图，当丝杠相对于螺母旋转时，滚珠在滚道内既自转又沿滚道循环转动，因而迫使螺母（丝杠）轴向移动。

在传动时，滚珠与丝杠、螺母之间基本上是滚动摩擦，所以具有很多优点：

1) 摩擦损失小，传动效率高。滚珠丝杠副的传动效率很高可达 92%~98%，是普通丝杠传动的 2~4 倍；

2) 摩擦力小。因为动、静摩擦系数相差小，因而传动灵敏，运动平稳、低速不易产生爬行现象，随动精度和定位精度高；

3) 磨损小，使用寿命长，精度保持性好。滚珠丝杠副采用优质合金钢制成，其滚道表面淬火硬度高达 60~62HRC，表面粗糙度值小，另外，因为是滚动摩擦，故磨损很小；

4) 丝杠螺母之间预紧后，可以完全消除间隙，传动精度高、刚度好；

5) 运动具有可逆性。不仅可以由旋转运动转变为直线运动，也可以由直线运动转变为旋转运动。

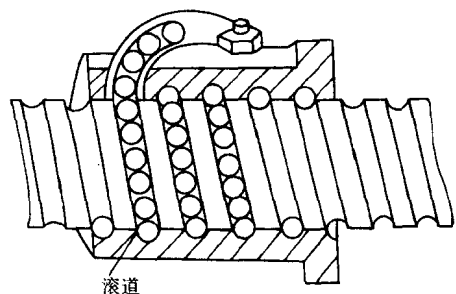


图 1-10 滚珠丝杠副的结构原理示意图

因为滚珠丝杠副具有这些优点，所以现在各类中、小型数控机床的直线进给系统普遍采用滚珠丝杠。但是滚珠丝杠也有如下缺点：

- 1) 制造工艺复杂，成本高；
- 2) 不能实现自锁。由于其摩擦系数小不能自锁，当垂直安装时，为防止因突然停断电而造成主轴箱下滑，必须附加制动装置。

国产的标准滚珠丝杠副分为两类：定位滚珠丝杠副（P类），即通过旋转角度和导程控制轴向位移量的滚珠丝杠副；传动滚珠丝杠副（T类），即与旋转角度无关，用于传递动力的滚珠丝杠副。

此外，滚珠丝杠副通常还可根据其特征进行分类，按滚珠的循环方式分为：外循环式和内循环式两类；按螺旋滚道型面分为：单圆弧型面和双圆弧型面两类；按预加负载形式分为：单螺母无预紧、单螺母变位导程预紧、单螺母加大钢球径向预紧、双螺母垫片预紧、双螺母齿差预紧、双螺母螺纹预紧六种。

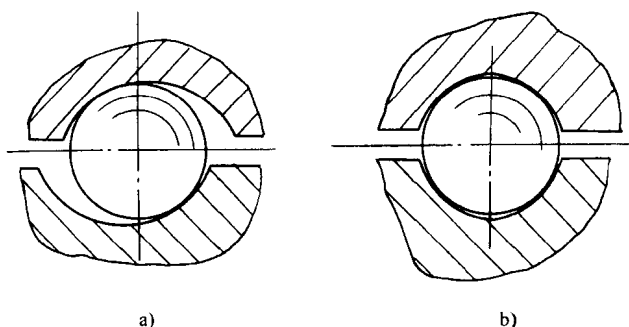


图 1-11 滚珠丝杠副螺旋滚道型面的形状

a) 单圆弧型面 b) 双圆弧型面

2. 滚珠丝杠副的结构

目前国内外生产的滚珠丝杠副，尽管在结构上各种各样，其主要区别是在螺旋滚道型面的形状、滚珠的循环方式以及轴向间隙的调整和预加负载的方法等方面。

(1) 螺旋滚道型面的形状 螺旋滚道型面（即滚道法向截面）的形状有多种，常见的截面形状有单圆弧型面和双圆弧型面两种，如图 1-11 所示。

单圆弧型面，工艺简单，应用较少。双圆弧型面，性能较好，应用较广。

(2) 滚珠丝杠副的循环方式

常用的循环方式有外循环和内循环两种。滚珠在循环过程中有时与丝杠脱离接触的称为外循环；始终与丝杠保持接触的称为内循环。

1) 外循环 外循环滚珠丝杠副按滚珠循环时的返回方式主要有插管式和螺旋槽式。图 1-12 所示为常用的插管式，由于其用弯管作为返回管道，故称为插管式。若不用弯管，在螺母外圆上铣出螺旋槽，槽的两端钻出通孔并与螺纹滚道相切，形成返回通道，则称为螺旋槽式，外循环式使用较广，其缺点是滚道接缝处很难做得平滑，影响滚珠滚动的平稳性。

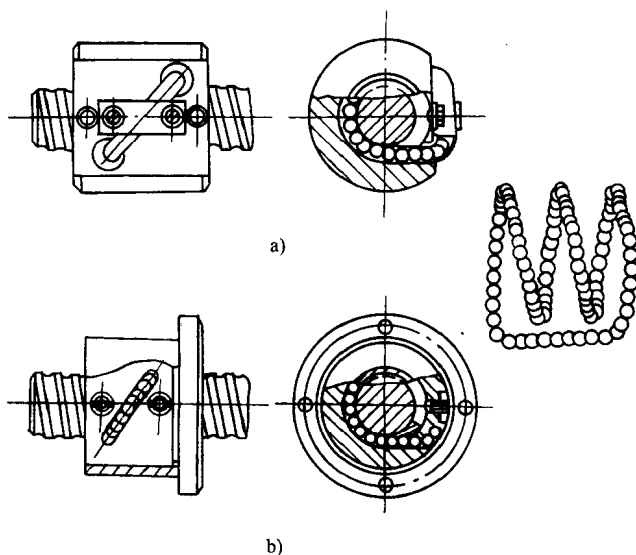


图 1-12 插管式外循环方式原理图

a) 插管式 b) 螺旋槽式

2) 内循环 内循环均采用反向器实现滚珠循环, 反向器有两种型式, 如图 1-13 所示。反向器铣有 S 形回珠槽, 将相邻两螺纹滚道联接起来, 滚珠从螺纹滚道进入反向器, 借助反向器迫使滚珠越过丝杠顶牙进入相邻滚道, 实现循环。

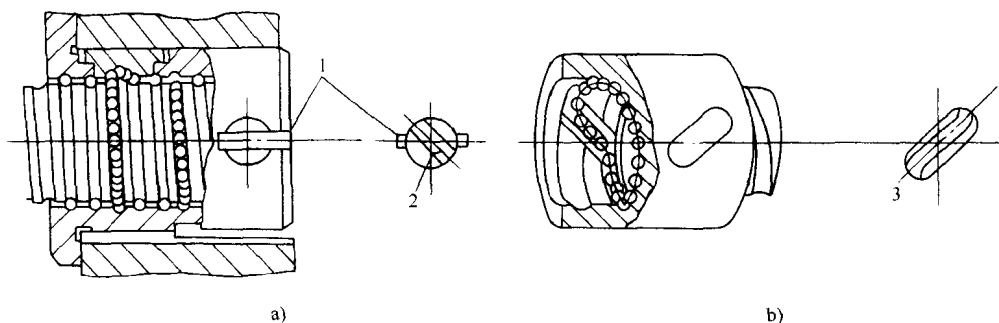


图 1-13 内循环方式原理图

a) 圆柱凸键反向器 b) 扁圆镶块反向器
1—凸键 2、3—反向槽

内循环和外循环相比, 其结构紧凑、定位可靠、刚性好、且不易磨损、返回滚道短、不易发生滚珠堵塞、摩擦损失也小。其缺点是反向器结构复杂、制造困难、且不能用于多头螺纹传动。

(3) 滚珠丝杠副轴向间隙的调整和预紧方法 滚珠丝杠副的轴向间隙, 是指负载时滚珠与滚道型面接触的弹性变形所引起的螺母位移量和螺母原有间隙的总和。滚珠丝杠副的轴向间隙直接影响其传动刚度和传动精度, 尤其是反向传动精度。因此, 滚珠丝杠副除了对本身单一方面的进给精度有要求外, 对其轴向间隙也有严格的要求。滚珠丝杠副轴向间隙的调整和预紧, 通常采用双螺母预紧方式, 其结构形式有三种。基本原理是使两个螺母间产生轴向位移, 以达到消除间隙和产生预紧力的目的。

1) 垫片调隙式 图 1-14 所示结构是通过改变垫片的厚度, 使螺母产生轴向位移。这种结构简单可靠、刚性好、装卸方便, 但调整费时, 很难在一次修磨中调整完成, 且不能在工作中随意调整, 调整精度不高, 仅适用于一般精度的数控机床。

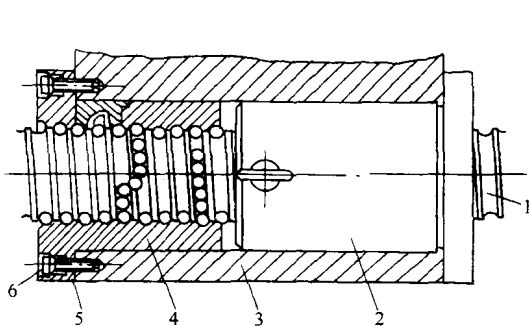


图 1-14 双螺母垫片调隙式结构

1—丝杠 2、4—螺母 3—螺母座 5—垫片 6—螺钉

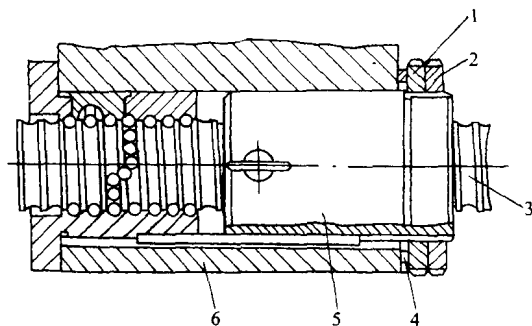


图 1-15 双螺母螺纹调隙式结构

1、2—圆螺母 3—丝杠 4—垫片 5—螺母 6—螺母座

2) 螺纹调隙式 图 1-15 所示为利用螺纹来实现预紧的结构, 左右两个螺母以平键与螺母座相联, 平键可限制螺母在螺母座内转动。其中右边的一个螺母外伸部分制有螺纹, 并用两