

职工高等工业专科学校试用教材

数控原理与编程

薛彦成 主编



机械工业出版社

职工高等工业专科学校试用教材

数控原理与编程

主 编 薛彦成

郭云山
副主编 朱解生

参编 金国屏 黄 智 华慧明

李 珉 朱盛全 李清新

主审 薛祖德



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

本书是职工高等工业专科学校机电一体化专业的试用教材,是根据中国机械工程学会员工高等教育学会推荐的教学计划及大纲组织编写的。

本书包括两大部分,第一部分介绍数控原理,包括逻辑基础、输入装置、点位及直线控制、连续控制、检测元件、驱动元件及软件控制。第二部分介绍数控编程,包括编程基础、数值计算、数控指令及编程实例。各章后都备有习题,最后介绍数控原理线路实践。

本书不仅适用职工大学、业余大学机电各类专业师生使用,也可供各类高等院校师生和工矿企业工程技术人员参考。

数控原理与编程

薛彦成 主编

责任编辑:王世刚 版式设计:李松山

封面设计:姚毅 责任校对:孙志筠

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 17.5·字数 437 千字

1994 年 9 月北京第 1 版·1994 年 9 月北京第 1 次印刷

印数 00 001—4800 定价:13.50 元

*

ISBN 7-111-04252-2/TP·225 (G)

序 言

随着机电一体化技术与产品在世界范围内的兴起与发展,教育必须紧紧跟上形势及经济发展的需要。1990年4月我学会受原机械电子工业部教育司委托,组织了全国部分成人高等学校的专家、教授在天津编写了“机电一体化”等专业指导性教学文件。对本专业的研究与发展起了一定的推动和示范作用。编写组的这项工作获得1991年全国学会工作成果奖。

1992年我会机械制造专业委员会桂林年会发起编写“机电一体化”成套教材,以解决本专业当前教学急需。经过一年多的工作,重新编写了“机电一体化”专业教学计划(分为应用型和技艺型两类)及各科教学大纲,并在部分职工高校试用。在此同时,着手组织编写教材及出版工作。鉴于这套教材涉及几个专业委员会的教学研究领域,为保证编写质量,加快出版进程以及工作上的方便,自1993年5月济南会议起,由学会秘书处统一组织工作,并委托我会学术委员会具体负责本次编辑出版的协调和实施工作。

这套教材以我会学术委员会、机械制造专业委员会、工程材料专业委员会、技术基础课委员会、基础学科委员会为主,集中我会全国学术骨干力量,在三年内分两批出齐。第一批共计出版:①工程材料与金属工艺学;②金属切削机床与数控机床;③伺服系统与机床电气控制;④机械制造工艺与机床夹具;⑤计算机绘图;⑥微机与可编程控制器;⑦数控原理与编程;⑧电子技术;⑨8089单片机原理与应用;⑩高等数学;⑪工程数学;⑫工程力学等十二种教材。其余教材将于第二批进行出版,以供全国职工高校试用。

中国机械工程学会
职工高等教育专业学会
1994年元月

前 言

本书是根据中国机械工程学会职工高等教育专业学会推荐的机电一体化专业教学计划和大纲进行编写的,是作为职工高校机电一体化专业数控原理与编程课程的试用教材。

本书根据职工高校的特点进行编写,力求贯彻少而精的原则。授课时,根据不同的课时数,可单独讲授数控原理部分或全部讲授。

本书共分十二章及一个附录。第一章及附录由上海机床总公司职工大学薛彦成编写;第二章由上海机床总公司职工大学金国屏编写;第三章由鞍山钢铁公司职工工学院黄智编写;第四章由苏州市职工大学华慧明编写;第五章由唐山大学郭云山编写;第六章由贵州机械职工大学朱盛全编写;第七章由济南机械职工大学李清新编写;第八章由薛彦成编写,其中第三节由黄智编写、第六节由李清新编写;第九、十二章由上海机床总公司职工大学李珉编写;第十、十一章由苏州机械职工大学朱解生编写,其中第十一章第四节由李珉编写。

本书由薛彦成副教授任主编,郭云山、朱解生任副主编,上海第二工业大学薛祖德教授任主审。本书于1994年元月进行审定,参加审定会议的还有第二工业大学潘震苍副教授。

本书在编写过程中得到上海机床总公司职工大学、上海第二工业大学以及各参加教材编写学校领导的大力支持,特在此表示衷心感谢。

由于水平有限,经验不多,诚恳希望广大读者在使用过程中能对本书不足之处及错误提出宝贵意见。

编 者

1994年元月

目 录

序言	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 数控机床的产生及特点	1
一、机床控制技术的发展	1
二、数控机床的产生	1
三、数控机床的特点	2
四、数控机床的适用范围	2
第二节 机床数控系统的组成与分类	3
一、机床数控系统的组成	3
二、机床数控系统的分类	5
第三节 机床数控系统的展望与主要技术动向	6
一、数控加工中心机床及其特点	6
二、自动编程	6
三、计算机数字控制 (CNC) 与微型计算机的应用	6
四、自适应控制 (AC)	7
五、直接数字控制 (DNC)	7
六、柔性制造系统 (FMS)	7
七、计算机设计、制造、检测一体化 (CAD/CAM/CAT)	7
八、计算机集成制造系统 (CIMS)	7
九、简易数控机床	7
第二章 逻辑代数及逻辑部件	8
第一节 机床数控系统的数制	8
一、数制	8
二、数在机器中的表示法	10
第二节 逻辑代数基础	11
一、基本逻辑运算	11
二、逻辑代数的基本公式及运算规则	15
三、逻辑函数的化简	17
第三节 基本逻辑部件	20
一、半加器和全加器	21
二、比较器	22
三、译码器	23
四、变补器	25
五、寄存器	28
六、计数器	29
七、节拍脉冲发生器	36

习题二	38
第三章 输入装置	40
第一节 数控带和代码	40
一、穿孔带	40
二、穿孔带代码标准	41
三、NC 机床的坐标轴与运动方向的规定	44
四、程序段格式	46
第二节 输入装置	50
一、光电式纸带阅读机	50
二、输入装置框图结构	51
三、缓冲寄存器	51
第三节 输入线路	52
一、光电转换电路	52
二、输入寄存器	53
三、读入脉冲信号电路	54
四、奇偶校验电路	54
五、译码电路	55
六、十翻二运算电路	57
习题三	58
第四章 点位控制与点位/直线切削控制	60
第一节 概述	60
一、点位控制系统	60
二、直线切削控制系统	60
三、程序编制的增量值方式与绝对值方式	60
四、原点	61
五、点位控制系统与点位/直线控制系统的结构	61
第二节 位置计算与比较线路	62
一、位置计算与比较线路的各种方案	62
二、计算比较线路	63
三、消除增量值方式累积误差的方法	64
四、使用绝对值编程方式的位置计算与比较线路结构	65
第三节 点位/直线切削机床的其他功能	66
一、主轴准停功能	66
二、自动换刀功能	66
第四节 补偿机能	71
一、齿隙补偿	71
二、螺距补偿	73
习题四	75
第五章 连续切削控制	76
第一节 概述	76
一、脉冲增量插补	76
二、数字增量插补	76

第二节 逐点比较法	77
一、逐点比较法直线插补	77
二、逐点比较法圆弧插补	82
第三节 数字积分法	88
一、基本原理	88
二、数字积分法直线插补	89
三、数字积分法圆弧插补	90
四、数字积分插补的进给速度分析	94
第四节 数据采样法	95
一、插补周期的选择	95
二、直线插补算法	97
三、圆弧插补算法	98
第五节 平面高次曲线及空间曲线的数控加工	100
一、平面高次曲线的数控加工	100
二、空间曲线的数控加工	101
第六节 刀具半径补偿	102
一、刀具半径补偿的概念	102
二、刀具半径补偿计算	103
三、C 功能刀具半径补偿	104
第七节 CNC 装置加减速控制	110
一、概述	110
二、前加减速控制	110
三、后加减速控制	113
习题五	116
第六章 位置检测装置	117
第一节 概述	117
一、增量式和绝对式	117
二、数字式和模拟式	117
三、直接检测和间接检测	118
第二节 旋转变压器	118
一、结构和工作原理	118
二、旋转变压器的应用	119
三、磁阻式多极旋转变压器简介	119
第三节 感应同步器	120
一、结构和工作原理	120
二、工作状态	121
三、感应同步器的检测系统	122
四、感应同步器的种类和特点	126
五、感应同步器安装使用的注意事项	127
第四节 光栅	127
一、工作原理	127
二、光栅检测装置	129
三、光电盘	131

第五节 磁栅	132
一、磁性标尺	133
二、磁头	133
第六节 激光测量	135
一、激光器原理	135
二、激光干涉仪	136
三、激光测量的应用	137
习题六	137
第七章 数控机床的伺服系统	139
第一节 概述	139
第二节 开环伺服系统	139
一、步进电动机	140
二、步进电动机的驱动	142
第三节 闭环和半闭环伺服系统	145
一、系统的组成	145
二、驱动元件	146
三、速度调节	148
四、反馈比较环节	151
习题七	153
第八章 软件数控程序	154
第一节 逻辑运算软件程序	154
一、或门逻辑软件程序	154
二、与门逻辑软件程序	154
三、非门逻辑软件程序	155
四、异或门逻辑软件程序	155
五、组合逻辑软件程序	155
第二节 算术运算软件程序	155
一、加法运算	155
二、减法运算	156
三、数制转换	156
第三节 键盘输入及接口	158
一、键盘输入概述	158
二、键盘接口电路	159
三、键盘程序	160
第四节 显示及其接口	163
一、显示器的字符控制	163
二、显示器的数位控制	164
三、七段显示的控制程序	166
第五节 PIO 通用接口	168
一、PIO 的体系结构	168
二、PIO 在同步传送中的应用	168
三、PIO 同步传送举例	170
第六节 步进电机驱动程序	172

一、软件分配脉冲	172
二、举例	173
第七节 直线及圆弧插补程序	174
一、直线插补	175
二、圆弧插补	179
习题八	185
第九章 数控编程概述	186
第一节 机械零件加工工艺过程	186
第二节 数控加工程序编制	186
一、编程概述	186
二、程序编制的内容和步骤	187
第三节 程序编制中的误差问题	188
一、程编误差的种类	188
二、程编误差的分布形式	189
三、其它误差和程编误差的控制	189
习题九	190
第十章 数控编程中的数值计算	191
第一节 基点和节点的计算	191
一、基点的计算	191
二、节点计算	191
第二节 工件廓形为非圆曲线的数值计算	192
一、等间距直线逼近的节点计算	192
二、等步长直线逼近的节点计算	193
三、等误差直线逼近的节点计算	194
四、圆弧逼近的节点计算	195
第三节 工件廓形为列表曲线的数值计算	196
一、三次样条曲线拟合	196
二、圆弧样条拟合	197
三、双圆弧样条拟合	197
第四节 工件廓形为三坐标立体型面的数值计算	198
一、行切法简介	198
二、行距和有效半径的确定	198
第五节 刀具半径补偿和棱角过渡的处理	199
一、刀具半径补偿的方法	199
二、棱角过渡的处理	200
习题十	201
第十一章 数控指令及编程方法	202
第一节 常用数控指令的编程方法	202
一、准备性工艺指令	202
二、辅助性工艺指令	207
第二节 数控车床的编程基础	208
一、数控车床的编程特点	208

二、常用 G 指令在数控车床上的应用	209
第三节 数控铣床的编程基础	213
一、平面轮廓加工简介	213
二、立体轮廓加工简介	215
第四节 自动编程简介	217
一、编程的分类和自动编程的必要性	217
二、自动编程的工作原理	217
三、自动编程的发展概况	218
四、用 MAPL 语言编写零件源程序	219
习题十一	223
第十二章 数控机床编程实例	224
第一节 数控车床功能	224
一、机床的用途	224
二、机床的主要技术规格	224
三、编程	224
第二节 车削典型零件编程实例	233
第三节 数控铣床功能	237
一、主要技术参数与机能	237
二、程序编制	239
第四节 铣削典型零件编程实例	251
习题十二	256
附录 数控原理开环系统实践	258
第一节 数控原理实践目的的要求	258
一、实践目的	258
二、实践要求	258
三、实践器材	258
四、实践项目	258
五、预习要求	258
六、实践步骤	258
七、安全要求及注意事项	258
第二节 NCL-ⅢA 型数控原理线路板使用说明	260
一、NCL-ⅢA 型线路板介绍	260
二、元件使用说明	260
第三节 实践项目及要​​求	260
一、实践一, 第一象限逐点比较法直线插补	260
二、实践二, 第一象限逐点比较法逆圆插补	261
三、实践三, 第一象限数字积分法直线插补	261
四、实践四, 第一象限数字积分法逆圆插补	261
第四节 第一象限逐点比较法直线插补线路设计及过程说明	262
一、第一象限逐点比较法直线插补线路	262
二、过程说明	262
第五节 功率放大等线路连接	264
一、功率放大等线路框图	264

二、步长放大器	264
三、环形分配器	265
四、功率放大器	265
五、面板接线	266
参考文献	266

第一章 绪 论

第一节 数控机床的产生及特点

一、机床控制技术的发展

随着科学技术和社会生产的迅速发展,机械产品日趋精密复杂,特别在宇航、造船、军工和计算机工业中,它们的零件精度高、形状复杂、批量小、经常改进变动,使加工困难、生产效率低、劳动强度大、精度难以保证。为解决这些困难,人们采用了各种自动控制机床的办法进行机械加工。

(1) 采用机械自动化机床,如靠模机床、凸轮自动机床,它借助靠模和凸轮自动加工出比较复杂的零件,但靠模凸轮的制造、安装调整也要化很大的劳动量,对小批量或单件生产要经常更换靠模、凸轮很不经济。

(2) 采用电气自动化,借助挡块、限位开关、插销板等元件,按预定的程序控制刀具与工件的相对运动进行切削加工,对不太复杂的零件加工有一定的通用性,但精度不高,准备及调整工时也较长,使用不方便。

(3) 大批量生产可采用自动化单机、组合机床以及由它们组成的加工自动线,加工效率高,但对小批量、单件零件加工就不宜采用这些“刚性”自动化设备。

(4) 随着生产和技术的发展,人们要求机床不仅能自动加工而且能适应零件频繁变化,加工零件时也不需要更换专用工夹具和进行专门调整。因此人们在靠模机械自动化,电气限位开关自动化的基础上发展了一种由数字控制的自动化机床,用数字代替靠模或限位开关,它的精度较高,而且当零件变更时只要改变数字量即可达到控制要求,而不需要对机床作复杂的调整,这就是数字控制机床。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题,是一种灵活高效能的自动化机床,它是机床控制技术的一个重要发展。随着电子、自动化、计算机及精密机械与测量等技术的发展,数控机床也得到迅速发展,逐渐成为机床行业的发展方向。

二、数控机床的产生

1948年美国巴森兹公司在研制加工直升飞机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初始设想,后来与麻省理工学院合作开始了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的样机试制成功,它采用电子管元件,可作直线插补。1955年经改进后进入实用阶段,在加工复杂的曲面零件中发挥了很大的作用。

在50年代由于价格上和技术上的原因数控机床局限于航空工业中应用,到60年代由于晶体管的发展,提高了数控系统的可靠性、价格也开始下降,民用工业开始使用数控机床,其中多数是数控钻床,数控冲床等点位控制机床。数控机床的发展至今已有几十年的历史,它与电子技术、自动化技术、计算机技术的发展密切相关。

我国在60年代初也已开始了数控机床的研制,如北京第一机床厂在原一机部北京机床研

究所、清华大学等单位的协助下研制了数控铣床,上海第三机床厂在上海精密机床研究所、交通大学、上海科技大学等单位的协助下研制了数控坐标镗床。但由于众所周知的历史原因使我国数控机床的研制工作停滞不前,以致使我国的数控技术至少落后于先进国家 10~20 年。近年来我国正在大力发展机床数控技术,如北京、上海、江苏、山东及辽宁等地的机床行业都纷纷进行技术改造,大力发展精密、高效、数控自动化机床。相信在对外开放、对内搞活的改革开放政策指导下,我国数控技术将会得到飞跃的发展。

三、数控机床的特点

数控机床在机械加工中得到广泛的应用,概括起来采用数控机床加工有以下几方面的特点。

(一) 加工精度高

数控机床加工精度一般在 $0.005\sim0.100\text{mm}$ 之间,更重要的是数控机床加工精度不受零件形状复杂程度的影响,数控机床加工消除了操作者的人为误差,提高了同批零件加工尺寸的一致性,使产品质量稳定可靠。

(二) 生产效率高

使用数控机床加工,对工模具的要求降低了,省去了划线工作,使加工准备时间缩短。在加工中由于数控机床有较高的重复精度,可以只作首件检验及抽检,简化了检验工作,节省了检验时间。在零件变更时只要更换纸带节省调整时间。刀具也可自动更换,使多道工序可连续加工,缩短加工周期,这些方面都使数控机床加工的生产效率显著提高。

(三) 改善劳动条件

数控机床调整好后,输入纸带可自动连续加工直至加工完毕自动停车,简化了工人的操作,减轻了工人的劳动强度。

(四) 有利于生产管理

数控机床根据程序进行加工,能正确计算出加工工时,简化了检验工作,减轻了工模具管理及半成品流转运输工作,减少了废品及刀具定期进行更换,这些都有利于管理水平的提高。

(五) 有利于向计算机控制和管理发展

数控机床是用标准代码和数字量信号输入,最宜于与数字计算机联接,进行计算机直接管理与控制。

数控机床优点显著,但另一方面,它技术复杂成本较高,目前国外发展较快,数控机床已占机床总数 $30\%\sim40\%$ 的比例。在国内目前尚处于发展中,只使用于精度高、形状复杂的中、小批量零件加工,但随着数控技术的普及和电子器件,计算机成本的降低,数控机床将扩大它的使用范围和迅速得到发展。

四、数控机床的适用范围

一般可根据加工工件的批量及工件的复杂程度进行选择,如图 1-1 所示。

(1) 小批量、复杂程度不高的零件可采用普通机床加工。

(2) 大批量生产可采用专用机床。

(3) 复杂程度高、批量不大的零件最宜采用数控机床。

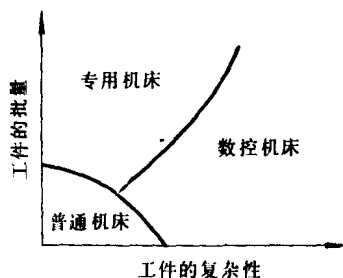


图 1-1 数控机床适用范围示意

第二节 机床数控系统的组成与分类

一、机床数控系统的组成

机床数控系统由四部分组成,如图 1-2 所示。其工作过程首先将被加工零件的形状、尺寸、工艺要求等信息记录在信息载体穿孔带上,然后把信息输入数控装置,由它对信息进行计算和处理,根据计算结果向各坐标的伺服系统分配进给脉冲并发出必要的动作信号,伺服系统接到进给脉冲和动作信号后要进行转换和放大再去驱动机床的工作台或刀架进行定位移动或按某种轨迹移动,并配以各种机械动作,按照要求的形状和尺寸完成切削加工。

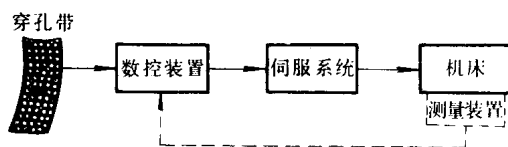


图 1-2 机床数控系统的组成

(一) 信息载体

又称输入介质,常用的载体有穿孔带、穿孔卡、磁带、磁盘,其中以穿孔带用得最普遍见图 1-3。它载有在数控机床上加工一个零件所必需的各种信息,就是根据图样要求和工艺过程,将加工过程分成许多程序段,每段加工一个尺寸或一段形状所有的加工信息都逐段记录在载体上。

这些信息包括文字、数字和符号,用纸带上的不同孔数和不同的位置排列来表示。这些排列的规定称为代码。数控机床普遍采用两种代码,即国际上通用的 EIA 代码和 ISO 代码。

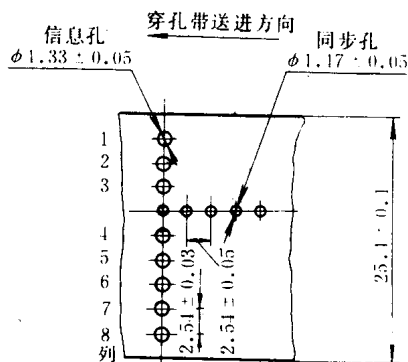


图 1-3 纸带穿孔型式

程序的编制和穿孔带等信息载体的准备很花费时间,在一定程度上影响了数控机床的使用效率,采用计算机(微机)进行自动编程是解决此问题的途径。

(二) 数控装置

数控装置接受载体送来的信息经计算和处理后去控制机床的动作,当然这些计算和处理的步骤都是预先安排好的,这种安排可以用专用计算机固定接线的硬件结构来实现(称为硬线数控或硬联接数控),也可用预先放在小型通用计算机或微机内的系统程序来实现(称为软线数控或软联接数控)。

1. 数控装置控制机床的动作可概括分为

- (1) 主轴的起动、停止、转向和速度选择。
- (2) 坐标进给有点位、直线、圆弧、循环进给的选择,坐标方向和进给速度的选择。
- (3) 刀具的选择和刀具的补偿(长度、半径)。
- (4) 辅助操作,工作台的锁紧和松开,工作台的旋转与分度和冷却泵的开、停等。

2. 根据对机床的控制方式不同,数控装置可分为三类

(1) 点位控制系统 点位系统只控制机床移动部件的终点位置,而不管其移动时所走的轨迹如何,可以一个坐标移动也可二个坐标同时移动,在移动过程中不进行切削,为了保证

移动的定位精度，可在移动过程中采用如图 1-4 所示的 a) 分级降速，b) 连续降速，c) 单向定位等方法提高定位精度。

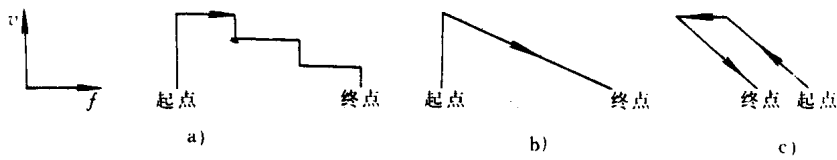


图 1-4 点位控制定位方式

a) 分级降速 b) 连续降速 c) 单向定位

数控钻床、数控镗床、数控冲床等都属于点位控制系统。

(2) 直线切削控制系统 直线切削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可对工件进行切削，这类系统也能按 45° 进行斜线切削，但不能按任意斜率进行切削，简易数控车床属于直线切削控制系统。也可将点位控制系统和直线切削控制系统结合在一起成为点位/直线切削控制系统，数控镗床属于这一系统。

(3) 连续控制系统 连续控制系统又称轮廓控制系统，如图 1-5 所示，它能对刀具与工件相对移动的轨迹进行连续控制，能加工曲面、凸轮、锥度等复杂形状的零件、数控铣床、数控车床、数控磨床等均采用连续控制系统。连续控制系统的核心装置就是插补器，插补器的功能是按给定的尺寸和加工速度用脉冲信号使刀具或工件走任意斜线或圆弧，分别称为直线插补器和圆弧插补器，少数连续控制系统的插补器能进行抛物线等高次曲线的插补。

在图 1-5 中还可看出刀具中心移动的轨迹要比工件轮廓大出一个刀具半径值，在编制程序时是按工件轮廓计算的因此还要增加一个刀具半径的补偿线路，使连续控制系统比较复杂。数控装置可以说是数控机床的神经中枢，数控机床的可靠性很大程度上取决于数控装置。

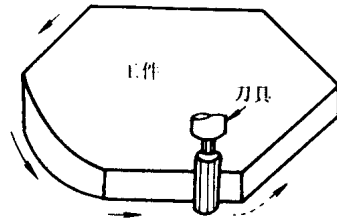


图 1-5 轮廓控制系统的刀具相对运动

(三) 伺服系统

伺服系统包括驱动机构和机床移动部件，它是数控系统的执行部分，它的关键问题是它的响应速度和精度。如果说整个系统的可靠性主要取决于数控装置的话，那么整个系统的精度和快速性主要取决于伺服系统。

数控机床的伺服系统按其控制原理可分为以下三类。

1. 开环伺服系统

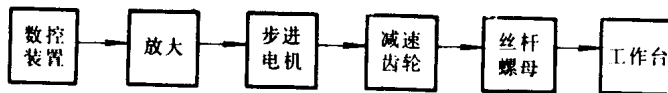


图 1-6 开环伺服系统方框图

典型的开环伺服系统如图 1-6 所示，是采用步进电机的伺服系统，对于数控装置发来的每一个进给脉冲经驱动线路放大并驱动步进电机转动一个步距（即一个固定的角度如 1.5° ）再经减速齿轮带动丝杠旋转，并通过丝杠螺母副传动工作台移动。可以看出工作台的移动量与进给脉冲的数量成正比。显然这种开环系统的精度完全依赖于步进电机的步距精度及齿轮、丝

杠的传动精度，它没有测量反馈校正措施，所以对高精度的数控机床往往不能满足要求，但开环系统的结构简单、调试容易、造价低，在数控机床的发展过程中占有一定的重要地位，现在仍普遍采用。

2. 闭环伺服系统

如图 1-7 所示，采用直线位移测量元件，测量机床移动部件工作台（或主轴箱）的位置，并将测量结果送回与数控装置命令的移动量相比较，二者不相等有差值时，将此差值放大控制伺服电机带动工作台继续移动，直至测量值与命令值相等差值为零或接近于零时停止移动。从理论上讲闭环伺服系统的精度取决于测量元件的精度，但实际上机床的结构、传动装置以及传动间隙等非线性因素都会影响精度，严重的还会使闭环伺服系统的品质下降甚至引起振荡。

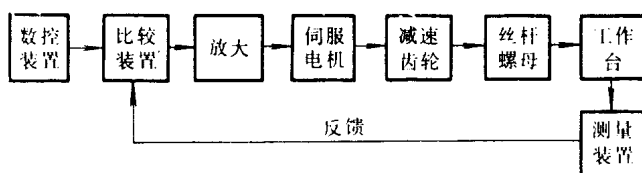


图 1-7 闭环伺服系统方框图

3. 半闭环系统

如图 1-8 所示，采用装在丝杠上或伺服电机轴上的角位移测量元件，测量丝杠或电机轴的转动量间接地测量工作台的移动量。它的优点就是不论工作台位移的长短，角位移测量元件是制成 360° 可循环使用。

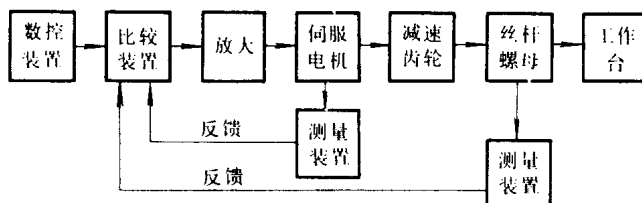


图 1-8 半闭环伺服系统方框图

关闭环的意思就是用丝杠（或电机轴）的转动量与数控装置的命令量相比较（闭环），而另一部份丝杠—螺母—工作台的移动量不受闭环控制（开环），故称为半闭环，显然，从理论上讲半闭环的精度低于闭环，但半闭环调试方便（大惯量的工作台不在闭环内），稳定性好，角位移的测量元件简单、价廉，所以配备件动精度较高的齿轮、丝杠的半闭环系统应用也很普遍。

（四）数控机床

它是在普通机床的基础上发展起来，但也作了很多改进和提高，如采用轻巧的滚珠丝杠传动，采用滚动导轨或贴塑导轨消除爬行，采用刀库及机械手的自动换刀装置，并对机床结构进行改进以提高刚度和适应数控需要。

二、机床数控系统的分类

根据以上数控系统的介绍，可以从不同的角度对机床数控系统进行分类

（1）按机床加工方式分，可分为点位控制系统，直线切削控制系统和连续切削控制系统。