



21 世纪高职高专系列规划教材

高职高专“十一五”规划教材



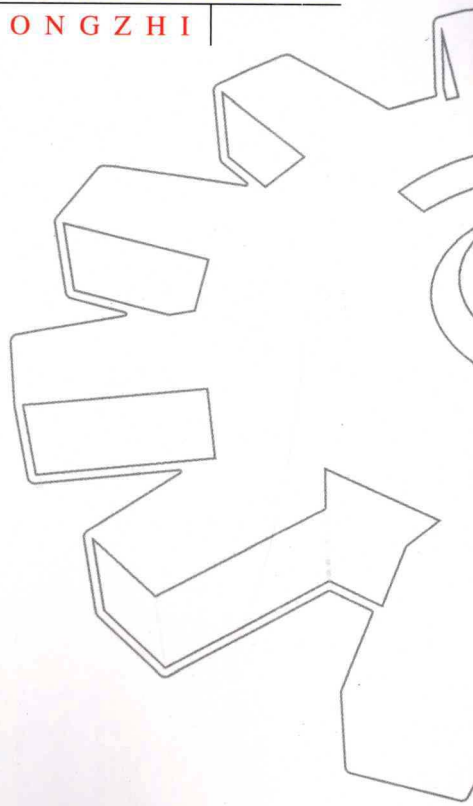
数控机床

电气控制

SHUKONG JICHANG

DIANQI KONGZHI

主编 陈西平



 吉林大学出版社

内容提要

本教材以数控机床的核心——电气控制部分为对象进行较全面、系统地介绍。首先讲述了数控机床的基本组成、各部分主要功能和特点等；然后介绍数控机床电气控制回路的各个重要组成部分，包括常用低压电器、伺服驱动单元、位置检测单元和可编程控制器单元等；再后结合具体实例对数控机床电气控制应用系统进行了分析、改造，重点介绍了 Z3040 普通钻床和 T68 镗床的数控化改造回路、CK6150 经济型数控车床设计和 V80 加工中心电气控制分析；最后对数控机床维修方面的知识进行了简要的介绍，力求反映整个数控机床电气控制的全貌。通过本教材的学习，使得学生对数控机床的电气控制有一个全面而深入的掌握，为以后的工作打下坚实的基础。

本教材可作为高职、高专、成人高校及本科举办的二级职业技术学院机电类专业教材，也可供从事数控技术应用的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床电气控制/陈西平主编. —长春: 吉林大学出版社, 2008. 11

(21 世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5601 - 4002 - 5

I. 数… II. 陈… III. 数控机床—电气控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 178449 号

书 名: 21 世纪高职高专系列规划教材

数控机床电气控制

作 者: 陈西平 主编

责任编辑、责任校对: 邵宇彤

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 毫米 1/16

印张: 13.75 字数: 270 千字

ISBN 978 - 7 - 5601 - 4002 - 5

封面设计: 超视觉工作室

北京市彩虹印刷有限责任公司 印刷

2008 年 12 月 第 1 版

2008 年 12 月 第 1 次印刷

定价: 22.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 421 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-88499826

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

出版说明

作为高等教育的重要组成部分，高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力，面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育，是职业技术教育的高等阶段。目前，高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育，培养职业技术人才的大纲要求，我们组织编写了这套《21 世纪高职高专系列规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向，以能力为本位，以服务学生职业生涯发展为指导思想，以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度，相对于普通高等教育的“学科性专业”，高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成，这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性，而且突出知识的实用性、综合性，把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度，现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”，教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”，考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况，本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容，加强实践性教学环节，注重案例教学，注重能力的培养，使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时，使公共基础类教材突出职业化，强调通用能力、关键能力的培养，以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度，高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此，本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求，纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时，为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况，教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准，同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养，力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则，本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律，又有较强的实践技能。同时，我们还聘请生产一线的技术专家来审稿，保证教材的实用性、先进性、技术性。总之，该套教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果，希望本套教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

前 言

随着国民经济的增长和教育水平的不断提高,以及公众投资教育热情的不断升温,我国的高等教育已经从精英教育发展为大众教育。教育部提出的大力发展高等职业技术教育的思路,经过高等教育界几年来的竭诚努力,在很大程度上缓解了教育市场的供需矛盾,为国家经济建设输送了大批人才,为我国社会的和谐发展做出了有目共睹的贡献。

为配合高等职业技术教育的开展,数年来,高教界大批精英为高等职业技术教育的教材建设尽了最大的努力,由此而产生了一批各具特色的专业教材,尤其是规划教材,满足了高等职业技术教育发展初期的教材急需,解了燃眉之急。然而,任何事物的发展都不可能一蹴而就,目前,高等职业技术教育在我国仍处于需大力推进阶段,对这一教育模式和方法也仍需深入研究,这当然也包括有针对性的教学教材改进。高等职业技术教育有着不同于普通高等教育的特殊规律,教材建设理所应当围绕其培养目标,体现自己的特色。高等职业技术教育的教材建设,应该遵循“够用为度”的指导性原则,然而,我们怎样才能把握好“度”呢,这在很大程度上是要依靠实践来解决问题的。另外,我国高等教育长期以来的不平衡(这种不平衡可能还将长期存在下去)也使得没有统一的“度”可供参考。可喜的是,经过数年的努力探讨,我们对这一教育模式已经有了许多较为成熟的认识,因而,我们的教材建设理应及时跟进,反应这一教育模式的规律。这正是本书编写之初衷,希望本教材切实能够对这一教育事业有所裨益。

本书在教学内容的编排上,采取了宏观体现系统,微观注重实用的思路。虽然讲求系统性和完整性,但没有过多地讲述对专业基础要求较高的理论知识,尽量采用把复杂问题简单化的方法。这样做希望能够让读者既能在得到知识的同时得到方法,培养素质,又不至于感到晦涩难懂、高不可攀而产生畏惧心理。如何伺服系统部分,充分考虑读者的实际情况,略去了自动控制理论基础要求较高的理论推导和分析细节,而强调从宏观动作原理出发去思考。通过我们在教学过程中的实践,这是有效的。

基于以上考虑,本书对教学内容作了精心安排。首先,介绍数控机床的基本组成部分,并概要介绍各部分的主要功能;其次,分别介绍数控机床电气控制各部分功能和基础知识;最后,对一些有代表性的机床电气控制实例和数控机床电气维修方面的基础知识进行介绍。

本教材共分八章,分别由童景琳副教授(第一章和第三章),浮红霞(第二章)、刘志忠副教授(第四章),唐道旭(第五章)、聂立新副教授(第六章)和陈西平博士、副教授(第七章实例部分和第八章)执笔完成。由陈西平任主编,并完成全书的统稿。

尽管各位参编者呕心沥血、尽心竭力地工作,但由于时间和水平的限制仍难免有误,望读者对书中不当之处不吝赐教,不胜感激!

编者于 2008 年 7 月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 数控机床的基本组成及各部分功能	1
第二节 数控机床电气控制系统的原理和功能	4
第三节 数控机床的分类和特点	8
第四节 数控机床的产生及发展	12
思考题	16
第二章 数控机床低压电器	17
第一节 数控机床低压电器概述	17
第二节 控制继电器	22
第三节 其他低压电器	29
第四节 数控机床电气控制设计基本原则和画法规则	38
思考题	47
第三章 计算机数控系统(CNC 系统)	48
第一节 概 述	48
第二节 CNC 系统的硬件结构	53
第三节 CNC 系统的软件结构	56
第四节 CNC 系统的输入/输出与通信功能	66
第五节 开放式数控系统的结构及其特点	79
思考题	84
第四章 数控机床的伺服驱动系统	85
第一节 数控机床伺服驱动系统概述	85
第二节 数控机床伺服驱动元件	89
第三节 数控机床伺服驱动系统速度控制	97
第四节 数控机床伺服驱动系统位置控制	108
思考题	111
第五章 数控机床的检测装置	112
第一节 检测装置概述	112
第二节 常用位置检测装置	112
第三节 位置检测装置的特性参数及选用原则	129

第四节 位置检测装置的维护和故障诊断与排除	131
思考题	136
第六章 数控机床的可编程控制器控制	137
第一节 可编程控制器的概念	137
第二节 可编程控制器的组成与结构	138
第三节 可编程控制器的工作原理	140
第四节 可编程控制器的软件编制	141
第五节 数控机床的 PLC 控制技术	151
第六节 数控机床的 PLC 及控制指令	154
思考题	162
第七章 数控机床电气控制电路设计实例	163
第一节 数控机床电气控制电路设计原则	163
第二节 Z3040 电气控制的数控化改造电路分析	166
第三节 T68 卧式镗床电气控制的数控化改造电路分析	174
第四节 CK6150 经济型数控车床控制系统分析	183
第五节 V80 加工中心电气控制分析	188
思考题	196
第八章 数控机床电气故障维修基础	197
第一节 数控机床电气故障维修的基本要求	197
第二节 数控机床故障诊断概述	201
第三节 数控机床故障诊断的一般方法	207
思考题	209
参考文献	210

第一章 概述

第一节 数控机床的基本组成及各部分功能

一、数控机床的定义

数字控制（Numerical Control NC）是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程（如加工、测量、装配等）进行可编程控制的自动化方法。

数控技术（Numerical Control Technology）是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自动控制的技术。数控技术就是利用数字化信号进行控制的技术。

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是采用数控技术对机床的加工过程进行控制的机床。具体地说，凡是将刀具相对于工件的运动轨迹和相关的工艺信息用代码进行编程，然后送入数控系统经过数字运算、处理，并通过高性能的驱动单元控制机床的刀具与工件的相对运动，加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

实际上，数控机床就是一种具有数控系统的自动化机床。它是集机、电、液、气、光高度一体化的产品，是最典型的机电一体化产品。

二、数控加工过程

数控机床工作时根据输入的数控加工程序（NC 程序），由数控装置控制机床部件的运动形成零件加工轮廓，从而满足零件形状的要求。机床运动部件的运动轨迹取决于所输入的数控加工程序。数控加工程序是根据零件图样及加工工艺要求编制的。

数控机床的工作过程，通常包括以下几个步骤，如图 1-1 所示：

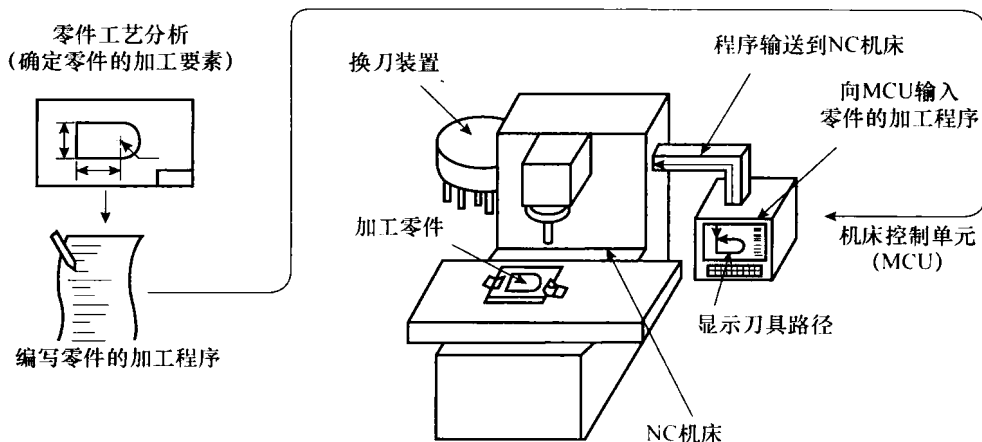


图 1-1 数控加工的过程

(1) 数控加工程序的编制。在零件加工前，首先根据被加工零件图样进行工艺分析，确定加工的工艺过程、工艺参数、几何参数以及切削用量等，然后根据机床编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序。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，则在编程机上进行自动编程，或者在计算机上用 CAD/CAM 软件直接生成零件加工程序。

(2) 程序的输入。输入的任务是把零件程序、控制参数和补偿参数输入到数控装置中去。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入程序；由编程软件产生的程序，通过计算机的串行接口直接传输到数控机床的数控单元（MCU）。

(3) 将输入或传输到数控单元的加工程序，进行试运行、刀具路径模拟等，如没有错误，则发出相应的控制指令，并送往机床的伺服机构。

(4) 伺服机构驱动机床的运动部件，使机床按程序规定的轨迹运动，从而实现零件的数控加工。通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件的加工。

三、数控机床的基本组成

数控机床主要由控制介质（信息载体）、输入/输出装置、数控装置、驱动装置（进给和主轴伺服系统）、检测装置、机床本体等部分组成，其基本组成结构如图 1-2 所示。

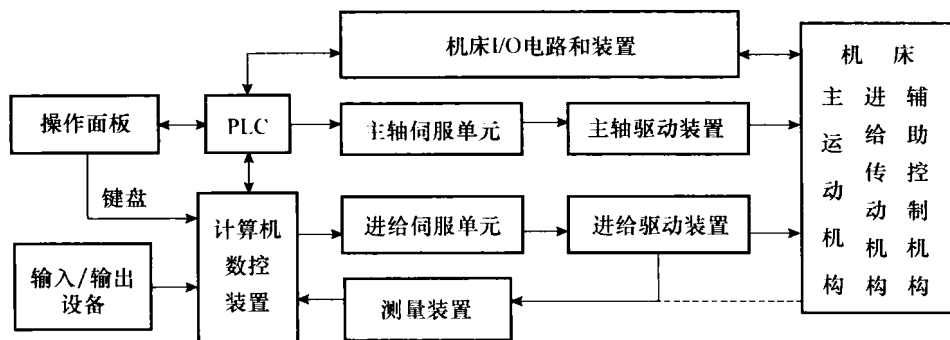


图 1-2 数控机床的基本结构

1. 操作面板

它是操作人员与数控装置进行信息交流的工具。主要有按钮站、状态灯、按键阵列（功能与计算机键盘一样）和显示器组成，它是数控机床特有部件。

2. 输入/输出设备

输入设备的主要功能是将零件加工程序、机床参数及刀具补偿等数据输入到计算机数控装置。具体地说，数控机床上的输入设备主要有键盘、光电阅读机、磁盘及磁带接口、通讯接口等。输出设备主要是将零件的加工过程和机床的运行状态等打印或显示输出，以便于工作人员操作。数控机床输出设备主要有 CRT 显示器、LED 显示器、LCD 显示器以及各种信号指示灯、报警蜂鸣器等。RS-232 接口是一种标准串行的输入、输出接口，能够实现零件加工程序的打印、数控机床之间或数控机床与计算机之间的数据通讯等。

3. 电气控制系统

数控机床的电气控制主要有运动控制和逻辑控制两种基本形式。其中，运动控制有位移、速度、加速度三要素及其组合控制。例如，机床各伺服轴的插补运动控制，主轴速

度、主轴定位控制及主轴和各轴的插补控制等。

逻辑控制分为简单逻辑输入、输出控制和组合逻辑控制。例如，对主轴电动机的正反转、停止控制，冷却泵电动机的启动与停止控制，机械原点限位开关信号的检测等，都属于简单逻辑控制，可以通过控制系统的逻辑编程来实现。而定时润滑、刀库控制、主轴管理等属于组合逻辑控制，需要用 PLC 来实现。

各机床生产厂家在完成了机床机械本体的制造之后，就需要配上电气控制系统。电气控制系统包括数控系统和辅助动作（除了机床坐标轴的运动外，机床的其他动作均称为辅助动作）控制两大部分。

CNC 装置，PLC，CRT 显示器，I/O 装置等电子电路属于弱电部分，而继电器、接触器、开关、熔断器、电源变压器、电动机、电磁铁、行程开关等电气元器件及其所组成的电路则属于强电部分。

4. 位置检测装置

位置检测装置在数控机床中有着相当重要的作用。位置检测装置通过传感器对机床的转动及进给实际位置进行检测，并将角位移或直线位移转换成电信号，反馈到计算机数控装置，与给定位置进行比较。计算机数控装置针对反馈量与理论值进行比较，进而向伺服系统发出运动指令，对产生的误差进行补偿，以确保机床的移动部件能够精确地移动到所要求的位置。

5. 机床本体

机床本体就是用来完成各种切削加工的机械部分，是数控机床的主体部分。机床本体具有以下特点：

(1) 数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统，机械传动结构简单，传动链较短。

(2) 数控机床机械结构具有较高的刚度，阻尼精度及耐磨性，热变形小。

(3) 它更多地采用高效传动部件，如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

数控机床的机械结构，除了主运动系统、进给系统以及如液压、气动、冷却和润滑部分等一般辅助部分外，还有一些特殊部件，如刀库、自动换刀装置等。

四、数控机床的适用范围

数控机床是一种可编程的通用加工设备，但是因设备投资费用较高，还不能用数控机床完全替代其他类型的设备，因此，数控机床的选用有其一定的适用范围。图 1-3 可粗略地表示数控机床的适用范围。从图 1-3 (a) 可看出，通用机床多适用于零件结构不太复杂、生产批量较小的场合；专用机床适用于生产批量很大的场合；数控机床对于形状复杂的零件尽管批量小也同样适用。随着数控机床的普及，其适用范围也越来越广，对一些形状不太复杂而重复工作量很大的零件，如印制电路板的钻孔加工等，由于数控机床生产率高，也已大量使用。因此，数控机床的适用范围已扩展到图 1-3 (a) 中阴影所示的范围。

图 1-3 (b) 表示当采用通用机床、专用机床及数控机床加工时，零件生产批量与零件总加工费用之间的关系。据有关资料统计，当生产批量在 100 件以下，用数控机床加工具有一定复杂程度零件时，加工费用最低，且能获得较高的经济效益。

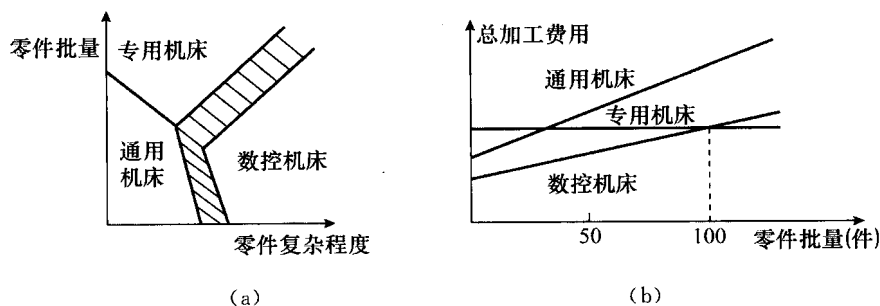


图 1-3 数控机床的适用范围

由此可见，数控机床最适宜加工以下类型的零件：

- (1) 生产批量小的零件（100 件以下）；
- (2) 需要进行多次改型设计的零件；
- (3) 加工精度要求高、结构形状复杂的零件，如箱体类，曲线、曲面类零件；
- (4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件；
- (5) 价值昂贵的零件，这种零件虽然生产量不大，但是如果加工中因出现差错而报废，那么将产生巨大的经济损失。

第二节 数控机床电气控制系统的原理和功能

数控机床的电气控制系统由数控装置（CNC）、伺服系统、可编程控制器（PLC）、信息载体、输入/输出与通信接口、机床电器柜（即强电控制柜）以及输入/输出（I/O）装置等组成，如图 1-4 所示。

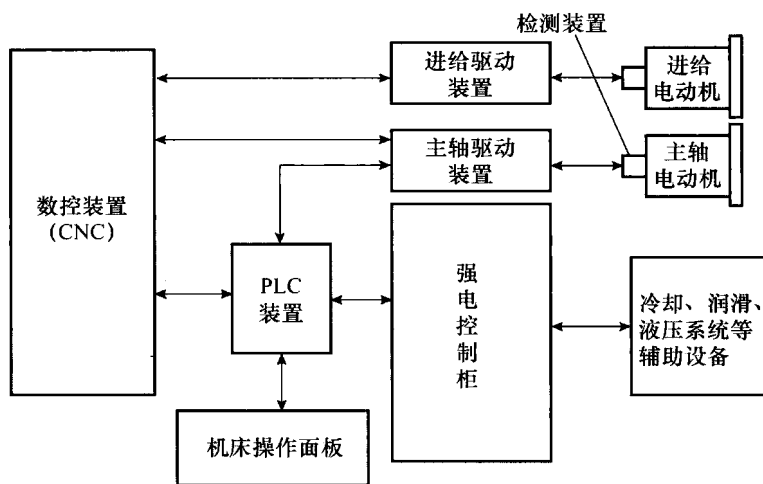


图 1-4 数控机床电气控制系统组成

1. 数控装置（CNC）

数控装置是数控机床电气控制系统的控制中心。它能够自动地对输入的数控加工程序进行处理，将数控加工程序信息按两类控制量分别输出：一类是连续控制量，送往伺服系统；另一类是离散的开关控制量，送往机床强电控制系统，从而协调控制机床各部分的运

动,完成数控机床所有运动的控制,实现数控机床的加工过程。

数控装置也是机床实现自动加工的核心,数控机床的功能主要取决于数控装置。主要包括微处理器(CPU)、存储器、总线、外围逻辑电路和输入/输出控制等。

CNC装置接收的是输入装置送来的脉冲信号。信号经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令,控制机床的各部分,使其进行规定的、有序的动作。

2. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的运动指令进行放大处理,驱动伺服电动机运转,通过机械传动装置拖动机床工作台或刀架按规定的轨迹运动,加工出符合要求的产品。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。数控机床对伺服系统要求是具有很好的快速响应性能,能够准确、灵敏地跟踪指令。

伺服系统是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节,也是数控机床的执行部分。伺服系统包括驱动装置和执行装置两大部分,常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机。伺服系统主要由伺服电动机、驱动控制系统和位置检测反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件,驱动控制系统是伺服电动机的动力源,分为主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(包括速度控制和位置控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置等。

在伺服电动机(或机床的执行部件)上,安装有检测反馈装置,该装置包括速度、位置检测元件及相应电路,它能及时地将信息反馈回来,构成闭环控制。常用检测装置有测速发电机、旋转变压器、脉冲编码器、感应同步器、光栅、磁性检测元件等组成的系统。

进给伺服系统由进给伺服电动机(一般内装速度和位置检测器件)和进给伺服装置组成。进给伺服系统驱动机床各坐标轴的切削进给,提供切削过程中所需要的转矩、运转速度。主轴伺服系统包括主轴电动机(含速度检测器件)和主轴伺服装置,实现对主轴转速的调节控制,有的主轴伺服装置还含有主轴定位控制功能。

3. 可编程控制器(PLC)

数控机床的控制需要通过CNC装置和PLC的协调配合来共同完成。

数控机床的控制分为两大部分:一部分是对坐标轴的进给进行位置伺服控制,该控制由CNC装置完成;另一部分是对数控机床加工过程的顺序控制,即对机床的主轴、刀具和各种开关信号进行控制(例如,主轴的正反转、起停,换刀,工件夹紧和放松,工作台交换以及切削液的开、关和润滑系统的启动等),顺序控制的信息主要是开关量信号,而没有轨迹上的具体要求,故可由可编程控制器(PLC)来完成。

PLC处于NC侧和MT侧(机床侧)之间,对NC侧和MT侧的输入、输出信号进行处理。一方面,PLC接收CNC装置的控制代码M(辅助功能)、S(主轴转速)、T(选刀、换刀)等顺序动作信息,通过译码,将其转换成对应的控制信号,传送到MT侧,用以控制辅助装置完成机床相应的开关动作,如工件的装夹、刀具的更换、冷却液的开关等;另一方面,PLC还接收机床操作面板的指令,直接控制机床的动作或者将一部分指令送往CNC装置用以加工过程的控制。

用于数控机床的PLC,一般分为两类:

一类是CNC系统的生产厂家为实现数控机床的顺序控制,而将CNC和PLC综合起

来设计,称为内装型 PLC (或称集成式、内含式)。内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分,它与 CNC 中 CPU 的信息交换是在 CNC 内部进行的。这种类型的 PLC 一般不能独立工作,它是 CNC 装置的一个功能模块,是 CNC 装置功能的扩展,两者是不能分离的。在硬件上,内装型 PLC 既可与 CNC 装置共用一个 CPU,如西门子的 SINUMERIK810,820 等数控系统;也可以是单独的 CPU,如 FANUC 的 0 系统和 15 系统、美国 A-B 公司的 8400 系统和 8600 系统等。由于 CNC 装置的功能和 PLC 的功能在设计时就统一考虑,因而这种类型的 PLC 在硬件和软件的整体结构上合理、实用,性能价格比高,适用于类型变化不大的数控机床。由于 PLC 与 CNC 之间的连线较少,且 PLC 内的信息也能通过 CNC 装置的显示器显示,使 PLC 的编程更为方便,而且故障诊断的功能也得到提高,从而提高了 CNC 系统的可靠性。

另一类是由专业化生产厂家生产的 PLC 产品来实现顺序控制,称为“独立型” PLC,或称为“通用型” PLC。独立型 PLC 是独立于 CNC 装置的,具有完备的硬件和软件功能,能够独立完成规定的控制任务。在数控机床选用独立型 PLC 时,主要考虑能满足以下要求:输入/输出信号接口技术规范、输入/输出点数、程序存储容量以及运算和控制功能等。由于这种类型的 PLC 的生产厂家较多,品种、类型丰富,使用户有较大的选择余地,来选择自己熟悉的产品,而且其功能扩展也较方便。独立型 PLC 与 CNC 装置之间是通过输入/输出接口连接的。国内已引进应用的独立型 PLC 有:西门子公司的 SIMATIC S5 和 S7 系列产品;A-B 公司的 PLC 系列产品;FANUC 公司的 PMC-J 系列产品等。

4. 机床电器柜 (即强电控制柜)

机床强电控制系统包括可编程控制器控制系统和继电器—接触器控制系统。机床强电控制系统,除了对机床辅助运动和辅助动作 (包括电动系统、液压系统、气动系统、冷却系统及润滑油箱等) 的控制外,还包括对保护开关、各种行程极限开关和操作盘上所有元件 (包括各种按键、操作指示灯、波段开关) 的检测和控制。在机床强电控制系统中,可编程控制器 (PLC) 可替代机床上传统的强电控制中大部分机床电器,从而实现对润滑、冷却、气动、液压和主轴换刀等系统的逻辑控制。

机床电器柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件。一方面它为数控装置、伺服系统等一类弱电控制系统提供输入电源以及各种短路、过载、欠电压等电气保护;另一方面它主要在 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起连接桥梁作用,控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。此外,它也与机床操作台的相关手动按钮连接。

机床电器柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成,它与一般普通机床的电气类似,但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性,要求各类频繁启动的电动机或频繁切换的接触器等电磁感应器件必须并接阻容吸收器;对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

5. 输入/输出 (I/O) 装置

输入/输出 (I/O) 装置是人机之间进行信息交流和对话以及实现机床辅助动作而必须具备的交互设备。

输入装置能够将数控机床加工程序和其他各种控制信息变成相应的电脉冲信号,输入到数控装置;数控机床中最直观的输出装置是显示器,它能够显示正在编辑的程序、坐标

值、报警信号等信息。

数控机床常用的输入/输出装置有：键盘、磁盘驱动器、光电阅读机、控制面板、打印机以及 CRT 显示器和彩色液晶显示器等。

控制面板是操作人员控制、操作机床的最主要介质。一般由 MDI 面板和机床操作面板组成。MDI 面板一般由键盘和显示器面板组成，主要用于手工程序的输入、编辑等；机床操作面板主要用于手动方式下对机床的操作以及自动方式下对机床的操作或干预。

6. 输入/输出与通信接口

由专用或通用计算机构成的数控系统与外围设备之间的信息交换不是直接进行的，而是通过接口实现的。数控机床的接口是指连接两个不同设备或系统使之能够进行信息传送和控制的交接部分，一般将计算机与外部连接的接口称为输入/输出接口，即 I/O 接口。

数控装置的 I/O 接口是 CNC 装置和机床、操作面板之间进行信息交换的转换接口，CNC 装置与机床之间的来往信号，不能直接连接，而是要通过 I/O 接口电路连接起来。通过输入接口，接收机床操作面板上的开关和按钮信号、机床的各种限位开关信号；通过输出接口，把各种机床工作状态显示在机床操作面板的指示灯上，把控制机床的各种动作信号送到机床电器柜等。

现代 CNC 装置都带有标准串行通信接口，能够方便地与编程器或计算机相连接，进行点对点通信，实现零件程序、参数的传送。

数据在设备之间的传送可用串行方式或并行方式。相距较远的设备数据传送采用串行方式，串行接口将机内的并行数据转换成串行信号后再传送出去，将接收的串行数据经过缓冲器转换成并行数据送至机内进行处理。

串行传送分为同步传送和异步传送两种，异步串行传送在数控机床上应用比较广泛，主要接口标准有 RS-232C，RS-449，RS-423 以及 RS-422 等。

随着工厂自动化（FA—Factory Automation）和计算机集成制造系统（CIMS）的发展，CNC 装置作为分布式数控系统（DNC）及柔性制造系统（FMS）的重要基础部件，应具有与 DNC 计算机或上级主计算机直接通信的功能或网络通信功能，便于系统的管理和集成。

DNC 技术是连接数控设备与上层控制计算机的基本方法，从 DNC 通信接口功能的角度可以将其分为基本 DNC、狭义 DNC 和广义 DNC 三种。基本 DNC 通信接口的主要功能是下传 NC 程序；狭义 DNC 通信接口的功能是不仅能下传 NC 程序，还能上传 NC 程序；广义 DNC 通信接口的功能在此基础上增加了系统状态采集、远程控制功能等。

早期的一些数控系统没有 RS-232C 串行通信接口，要想实现基本 DNC 功能，需要外加 DNC 接口板；目前使用的数控系统大多带有 RS-232C 串行通信接口，利用 RS-232C 接口可以直接实现狭义 DNC 和数控程序的上、下传功能，但要实现系统状态采集和远程控制功能，同样必须外接 DNC 接口板；20 世纪 90 年代国外各大数控公司生产的数控系统多带有 DNC 通信接口，有的还配置了 MAP3.0 网络接口，这些数控系统只要配置了相应的 DNC 接口硬件，就可以实现广义 DNC 功能。

CNC 装置的网络通信接口，是 CNC 装置中专用的通信微处理器的通信接口，担任

网络通信任务。它将 CNC 装置和各种系统中的设备通过工业局域网 (LAN) 联网, 以构成 FMS 或 CIMS, 由于联网时要求保证高速和可靠地传送数据和程序, 故一般采用同步串行传送方式。近年来, 制造自动化协议 (MAP——Manufacturing Automation Protocol) 已成为应用于工厂自动化的标准工业局域网协议, 如 MAP2.1 和 MAP3.0 网络通信接口。

综上所述, 数控机床的电气控制系统的工作过程可概括如下: 通过标准程序输入 CNC 装置控制机床中各坐标轴的运动及主轴的速度, 同时伺服电动机内置的位置检测装置反馈机床的实际位置, 形成闭环控制。CNC 同时发出相应的辅助功能 (M, S, T) 指令, PLC 根据 CNC 指令和检测开关、控制按钮的状态, 协调整机动作, 从而保证机床能正确、可靠地实现操作者所需要的各种动作。

第三节 数控机床的分类和特点

一、数控机床的分类

数控机床的种类很多, 从不同角度对其进行考查, 就有不同的分类方法。

1. 按运动轨迹分类

(1) 点位控制系统

它的特点是刀具在相对工件的移动过程中, 不进行切削加工, 对定位过程中的运动轨迹没有严格要求, 只要求从一个坐标点到另一个坐标点的精确定位。如数控镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机和数控测量机等都采用此类系统。如图 1-5 (a) 所示。

(2) 直线控制系统

这类控制系统的特点是除了控制起点与终点之间的准确位置外, 而且要求刀具由一点到另一点之间的运动轨迹为一条直线, 并能控制位移的速度, 因为这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工。直线控制系统的刀具切削路径只沿着平行于某一坐标轴方向运动, 或者沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向进行直线切削加工。如图 1-5 (b) 所示。采用这类控制系统的机床有数控车床、数控铣床等。

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、铣床和加工中心机床上。

(3) 轮廓控制系统

也称连续控制系统。其特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点位置, 而且还要控制两点之间每一点的位置和速度, 使机床加工出符合图纸要求的复杂形状 (任意形状的曲线或曲面) 的零件。它要求数控机床的辅助功能比较齐全。CNC 装置一般都具有直线插补和圆弧插补功能。如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控电加工机床、数控绘图机等都采用此类控制系统。

这类数控机床绝大多数都具有两坐标或两坐标以上的联动功能, 不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能, 而且还具有机床轴向运动误差补偿, 丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能, 如图 1-5 所示。

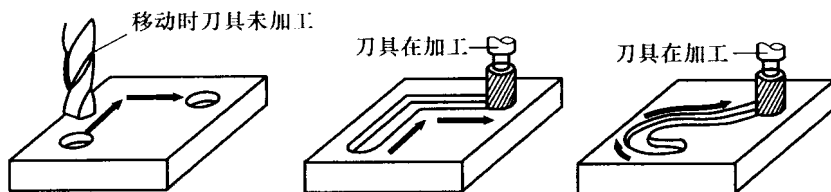


图 1-5 数控系统控制方式

2. 按伺服系统控制方式分类

按数控机床的进给伺服系统有无位置测量反馈装置可分为开环数控机床和闭环数控机床。在闭环数控系统中，根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环数控两种。

(1) 开环伺服系统

这种控制方式不带位置测量元件。数控装置根据信息载体上的指令信号，经控制运算发出指令脉冲，使伺服驱动元件转过一定的角度，并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副，使执行机构（如工作台）移动或转动。图 1-6 为开环控制系统的框图。这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号，对执行机构的动作情况不进行检查，指令流向为单向，因此被称为开环控制系统。

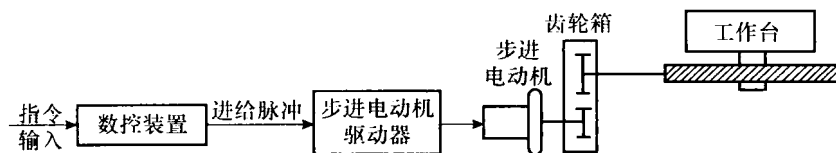


图 1-6 开环控制系统框图

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统。这种控制系统的特点是系统简单，调试维修方便，工作稳定，成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性，因此控制精度较低。目前国内多用于经济型数控机床，以及对旧机床的改造。

(2) 闭环伺服系统

闭环进给伺服系统的框图如图 1-7 所示，其位置检测元件直接对工作台的实际位置进行检测，理论上讲，可以消除整个驱动扣传动环节的误差、间隙和失动量，具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的，很容易造成系统不稳定。因此，闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度，对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求，价格昂贵。这类系统主要用于精度要求很高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精磨床以及较大型的数控机床等。

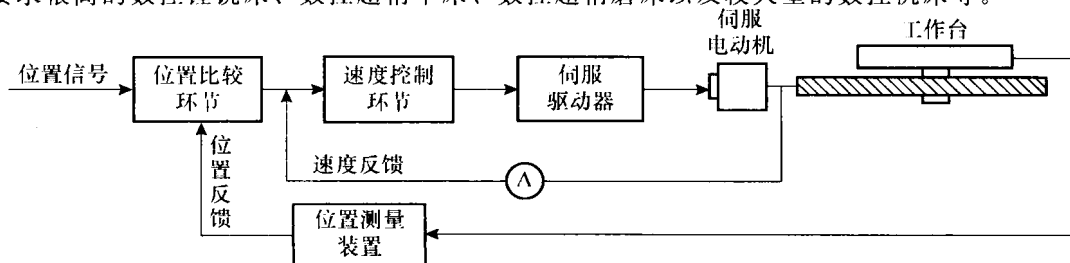


图 1-7 闭环控制系统框图

(3) 半闭环伺服系统

半闭环进给伺服系统框图如图 1-8 所示。半闭环数控系统的位检测点是从驱动电动机（常用交、直流伺服电动机）或丝杠端引出，通过检测电动机和丝杠旋转角度来间接检测工作台的位移量，而不是直接检测工作台的实际位置。这种系统中滚珠丝杠螺母副和工作台均在反馈环路之外，其传动误差等仍会影响工作台的位置精度，故称为半闭环控制系统。

由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，可获得较稳定的控制性能，其系统稳定性虽不如开环系统，但比闭环系统要好。另外，在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正，位置环外不能直接消除的，如丝杠螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差等，可通过软件补偿这类误差来提高运动精度，因此在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

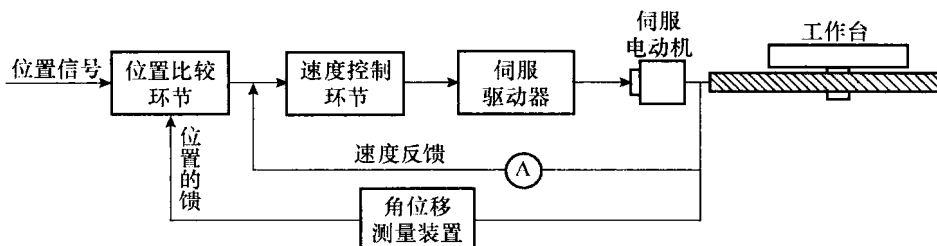


图 1-8 半闭环控制系统框图

半闭环伺服系统介于开环和闭环之间，由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单，因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛应用。目前已经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件，使用起来十分方便。半闭环伺服系统的加工精度虽然没有闭环系统高，但是由于采用了高分辨率的测量元件，这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。系统调试比闭环系统方便，稳定性好，成本也比闭环系统低，目前，大多数数控机床采用半闭环伺服系统。

3. 数控机床按工艺用途分类

(1) 切削加工类

切削加工类即具有切削加工功能的数控机床，如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗、数控齿轮加工机床、数控螺纹加工机床、数控电加工及超声波加工机床、数控磨床等。还有工艺范围更宽的车削中心、加工中心、柔性制造单元（FMC）等。目前，国内外开发的新品种特别多，分类也越来越细。

(2) 成形加工类

成形加工类是指具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床，如数控折弯机、数控冲床和数控压力机等。

(3) 特种加工类

特种加工类是指具有特种加工功能的数控机床，如数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、带有自动换电极功能的“电加工中心”、数控激光切割机床、数控激光热处理机床、数控激光板料成形机床、数控等离子切割机等。

(4) 其他类型

其他类型是指一些数控设备，如数控装配机、数控测量机、机器人等。

4. 按功能水平分类

按数控系统的功能水平可以分为经济型（低档型）、普及型（中档型）和高性能（高档型）三类，这种分类没有明确的定义和界限，通常可用下述指标作为评价数控系统档次的参考条件：主 CPU 档次、分辨率和进给速度的高低、联动轴数的多少、伺服水平、通信功能、人机界面等。

(1) 经济型数控系统（又称简易数控系统）

这一类型的数控系统一般为开环控制，采用的 CPU 为单板机或单片机，用数码管显示或单色小液晶显示或 CRT 字符显示，联动轴数为三轴或三轴以下，快速进给速度小于 10 m/min ，进给分辨率为 $10 \mu\text{m}$ ，内存小于 100 KB 。这种系统只能满足一般精度要求的加工，如直线、斜线、圆弧及带螺纹类的零件。典型的系统有西门子 802S 等，主要适用于经济型数控车床、数控铣床及数控磨床等。

(2) 普及型数控系统（又称全功能数控系统）

这类系统一般为半闭环控制，采用 16 位或 32 位 CPU，9 in (228.6 mm) 单色显示器 ($1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$)，具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等，内存约 150 KB ，有 DNC 或 RS-232C 通信接口，用交流或直流伺服驱动，联动轴数 3~4 轴，进给分辨率为 $1 \mu\text{m}$ ，快速进给速度为 $10 \sim 20 \text{ m/min}$ ，其输入/输出的控制一般可由可编程逻辑控制器来完成，因此系统有较强的可靠性和控制的灵活性，典型的国外系统有 FANUC0，SIEMENS 810 和 802D，国产系统有华中世纪星 HNC-21 系列等，主要适用于价格较低的数控车床、数控铣床和加工中心等，它追求的是经济实用。

(3) 高性能数控系统

这类系统一般为全闭环控制，采用的微型计算机为 32 位以上的 CPU，显示器为彩色 CRT 或 TFT 液晶显示器，内存大于 150 KB ，进给大多采用数字式交流伺服驱动，联动轴数在五轴以上，进给分辨率为 $0.1 \mu\text{m}$ ，最大快速移动速度达到 100 m/mm 或更高。具有三维动画图形功能和清晰的图形用户界面，同时还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；还有较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和 DNC 及网络通信。这类系统的功能齐全，价格昂贵，主要适用于高速度、高精度的加工中心，车削中心，柔性加工单元及五轴以上的数控铣床，典型系统有 SIEMENS 840D 系列和 MAZARK640 系列等。

二、数控机床的特点

与通用机床和专用机床相比，数控机床具有以下主要特点：

(1) 加工精度高，质量稳定。数控系统每输出一个脉冲时机床移动部件的位移量称为脉冲当量，数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm ，高精度的数控机床可达 0.0001 mm ，其运动分辨率远高于普通机床。另外，数控机床具有位置检测装置，可将移动部件实际位移量或丝杠、伺服电动机的转角反馈到数控系统，并进行补偿。因此，可获得比机床本身精度还高的加工精度。数控机床加工零件的质量由机床保证，无人为操作误差的影响，所以同一批零件的尺寸一致性好，质量稳定。