

继电器控制技术

本章介绍数控机床电气控制系统的基本知识,介绍机床常用的低压电器、电气控制的基本环节以及电气线路分析的有关知识,为学习本书后续内容作必要准备。

1.1 绪论

1.1.1 数控机床电气控制系统的组成

数控机床按其结构和原理可分为机械系统(包括液压、气动)和电气控制系统两大部分。机械部分指机床机械结构本体及其辅助装置。机床机械本体(MT)主要由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等组成;辅助装置包括回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液控制装置、排屑、自动换刀装置及自动交换工作台装置等。

数控机床电气控制系统由电气操纵部分(I/O)、数控系统(CNC)、伺服系统(SERVO)(进给伺服和主轴伺服)、机床强电控制系统(可编程序控制器(PLC)和继电器-接触器控制系统)等组成,如图 1-1 所示。

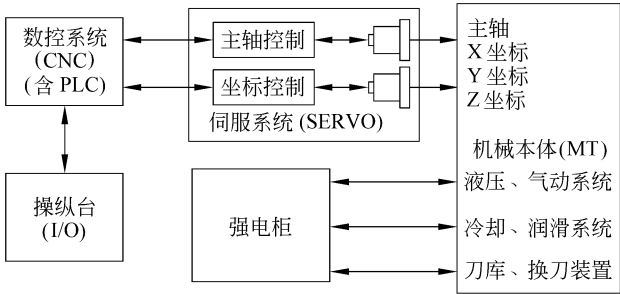


图 1-1 数控机床电气控制系统组成

数控系统(CNC)是数控机床的核心,是数控电气控制系统的控制中心。它能自动处理输入的数控加工程序,并将数控加工程序的信息按两类控制分别输出。如图 1-2 所示,一类是坐标轴运动的位置控制,是由 CNC 控制的连续数字信息,送往伺服系统;另一类是数控机床运行过程的顺序控制,是由 PLC 实现的逻辑离散(开关量)信息,送往机床强电控制系统,最终实现 M(辅助)功能、S(主轴转速)功能、T(刀具)功能并对机床操作面板及各种开关进行控制,从而协调控制机床各部分运动,实现数控机床的加工过程。

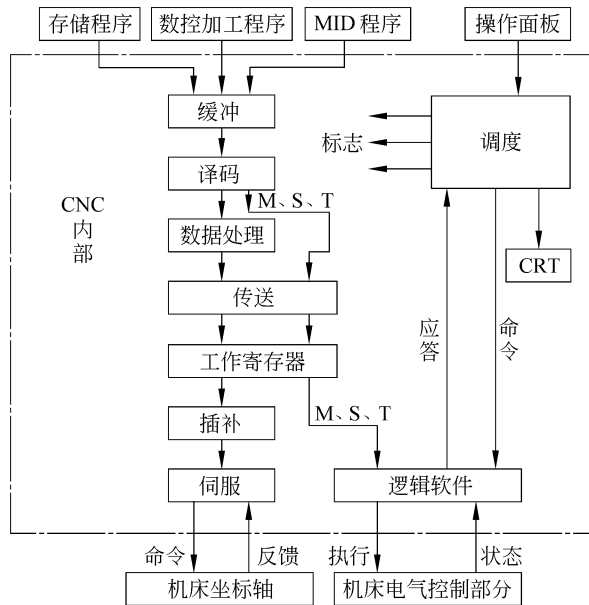


图 1-2 数控装置的信息流

伺服系统(SERVO)由伺服电动机(含检测装置)和伺服装置(或称伺服放大器)组成,分为进给伺服系统和主轴伺服系统。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和运行速度;主轴伺服系统实现主轴的转速调节和控制,还可提供主轴定向等功能。

机床强电控制系统,除了对机床辅助功能的控制外,还对操作面板上所有元件(包括各种按钮、操作指示灯、波段开关等)、保护开关、各种行程限位开关进行检测和控制。其中,PLC 在润滑、冷却、气动、液压和主轴换刀等系统的逻辑控制中起着重要作用。

1.1.2 数控机床主要性能指标及要求

1. 数控机床的运动性能指标

(1) 数控机床的可控轴数和联动轴数

数控机床的可控轴数是指数控机床能够控制的坐标轴数量。数控机床可控轴数与数控

系统的运算处理能力、运算速度及内存量有关。目前,高档数控装置的可控轴数可达 24 轴。

数控机床的联动轴数是指数控机床能同时进行控制的坐标轴数。目前有 2 轴联动、2 轴半联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等。2 轴半联动主要用于可控轴数 3 轴以上机床的控制,其中 2 根轴可以联动,而另 1 根轴可以做周期性进给。3 轴联动数控机床能进行三坐标联动,可以加工空间复杂曲面。4 轴联动、5 轴联动数控机床可以加工飞机叶片、螺旋桨等零件。

(2) 快速移动速度(G00 速度)及进给速度

快速移动速度也称为 G00 速度,是指坐标轴快速移动的最高速度(单位 m/min),直接影响零件加工的生产效率。目前数控机床的坐标快速移动速度可达到 $40\sim 70\text{m}/\text{min}$ 。

进给速度是指机床切削时坐标轴的移动速度(单位 mm/min),是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素。它受数控装置运算速度、机床运动特性、刚度等因素的限制。目前数控机床的进给速度可达到 $15\,000\sim 40\,000\text{mm}/\text{min}$ 。

(3) 主轴转速

主轴转速是指数控机床主轴的旋转速度(单位 r/min)。数控机床的主轴一般采用交流伺服电动机或交流变频电动机驱动(直流伺服电动机逐渐被取代),而高速电主轴也在不断地应用。目前,数控机床主轴转速已普遍达到 $5000\sim 10\,000\text{r}/\text{min}$ 。采用高速电主轴,主轴转速能达到 $40\,000\text{r}/\text{min}$ 以上,这有利于提高零件加工精度和表面质量,更适于加工各种小孔。

(4) 坐标行程

坐标行程通常是指数控机床坐标轴(如 X 轴、Y 轴、Z 轴)的行程大小,它是直接体现机床加工能力的指标参数,决定了数控机床的加工范围,即加工零件的尺寸范围。

(5) 刀库容量和换刀时间

刀库容量是指加工中心刀库能存放的刀具数量。中小型加工中心刀库容量多为 $16\sim 60$,大型加工中心可达 100。

换刀时间是指将主轴上的刀具与刀库中的刀具进行交换所需要的时间(单位 s)。目前加工中心换刀时间多为 $5\sim 8\text{s}$,少数可达 0.7s 。刀库容量和换刀时间这两个指标对数控机床的生产效率有着直接的影响。

2. 数控机床的精度指标

(1) 定位精度

定位精度是坐标轴在数控系统控制下的位置精度,是衡量实际位置与指令位置准确程度的指标。

定位误差是指数控机床移动部件(如工作台)实际移动位置与指令位置之间的误差,包括驱动此坐标轴的控制系統(如伺服系统、检测系统)的误差及移动部件的几何误差等。定位误差直接影响零件加工的位置精度。

(2) 重复定位精度

重复定位精度是指在同一台数控机床上,应用相同程序加工一批零件,所得到的连续结果的一致性程度,也称为精密度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统间隙、刚性及摩擦特性等因素影响。

(3) 分辨率与脉冲当量

分辨率是指两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔。对数控机床电气控制系统而言,分辨率是可控制的最小位移增量。其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。

脉冲当量是数控装置发出一个脉冲信号,机床移动部件的位移量。脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一,脉冲当量越小,数控机床的加工精度和加工表面质量越高。目前高精度或超高精度数控机床的脉冲当量可达 $0.1\mu\text{m}$ 。

1.1.3 数控机床系统分类

数控机床的分类方法很多,按其数控系统的功能水平可分为低档、中档和高档。各档次的界线是相对的,随着数控技术的发展,划分的标准也是不同的。现阶段不同档次数控机床的部分指标见表 1-1。

表 1-1 不同档次数控机床的功能及指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
G00 速度/(m/min)	3~8	10~24	24~100
伺服类型	开环	半闭环	闭环
电动机类型	步进电动机	交流伺服电动机/直流伺服电动机(早期)	交流伺服电动机(近年用直线电动机、高速电主轴等)
运动控制类型	点位或点位直线运动控制	轮廓控制	轮廓控制
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
主轴转速	2000r/min 以下	8000 ~10 000r/min 以下	10 000r/min 以上
通信功能	无	RS-232 或 DNC	RS-232、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT;图形人机对话	CRT;三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大或开放式系统
主 CPU	8 位、16 位	16 位、32 位	32 位、64 位
CNC 结构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器

1.1.4 数控机床电气控制系统的发展状况

数控机床电气控制系统的发展与数控系统、伺服系统、可编程序控制器的发展密切相关。

1. 数控系统的发展状况

随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展,数控系统的功能不断增多,柔性不断增强,性能价格比不断提高。当前数控系统正朝着以下几个方向发展。

(1) 高速度、高精度、高可靠性

随着微处理器位数和运算速度的提高,数控系统的处理能力和处理速度也在大幅度提高,使伺服电动机能够高速、准确地运转。另外,主轴转速、刀具交换、工作台交换的高速度化,使整个生产系统也实现高速度化。

当前国外数控装置的平均无故障时间 MTBF 值已达 6000 小时以上,驱动装置达 30 000 小时以上。

(2) 智能化

数控系统应用了许多智能化技术,使数控机床的使用更宜人化、智能化。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统,使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化调整参数。

(3) 网络化

数控系统的网络化,主要指数控系统与其他控制系统或上位计算机进行网络连接和网络控制。数控系统一般首先面向生产现场和企业内部的局域网,然后再经由因特网通向企业外部(即 Internet/Intranet 技术)。

随着网络技术的成熟和发展,越来越多的国内用户在进口数控机床时要求具有远程通信服务等功能,即所谓的数字制造(又称“e-制造”),它是机械制造企业现代化的标志之一,是国际先进机床制造商当今的一种标准的配置供货方式。

数控系统的网络化进一步促进了柔性自动化制造技术的发展,现代柔性制造系统从“点”(数控单机、加工中心和数控复合加工机床)、“线”(柔性制造单元 FMC、柔性制造系统 FMS、柔性自动线 FTL、柔性加工线 FML),向“面”(自动化工厂 FA)、“体”(计算机辅助制造 CIMS、分布式网络集成制造系统)的方向发展。

(4) 标准化、通用化和模块化

现代数控系统的性能越来越完善,功能越来越多样,促使数控系统的硬件和软件结构实现标准化、通用化和模块化。选择不同的标准化模块可组成各种数控机床的控制系统,

能方便地移植计算机行业或自动化领域的成果,也便于现有数控系统的进一步扩展及升级。

一般的数控系统都具有 RS-232C 和 RS-442 高速远距离串行口,可以按照用户级的格式要求,同上位计算机进行数据交换。

(5) 复合化

柔性制造范畴的机床复合加工概念是指将工件一次装夹后,机床便能按照数控加工程序,自动进行同一类工艺方法或不同类工艺方法的多工序加工,以完成一个复杂形状零件的主要乃至全部车、铣、钻、镗、磨、攻丝、铰孔和扩孔等多种加工工序。

复合化的要求促使数控系统功能的整合。目前,主流的数控系统开发商都能提供高性能的复合机床数控系统。

(6) 开放性

基于 PC 的开放式数控系统已成为数控技术发展的重要方向。其硬件、软件和总线规范都是对外开放的,数控系统制造商和用户可以根据这些开放的资源进行系统集成。它也为用户根据实际需要灵活配置数控系统带来极大方便,促进了数控系统多档次、多品种的开发和广泛应用,开发生产周期大大缩短。同时,这种数控系统可随 CPU 升级而升级,而结构可以保持不变。

(7) 多轴联动化

各大系统开发商正不遗余力地开发 5 轴、6 轴联动数控系统,随着 5 轴联动数控系统和编程软件的成熟和日益普及,5 轴联动控制的加工中心和数控铣床已经成为当前的一个开发热点。最近,国外主要的系统开发商在 6 轴联动控制系统的研究上已经取得很大进展,在 6 轴联动加工中心上可以使用非旋转刀具加工任意形状的三维曲面,且切深可以很薄,但加工效率太低,一时尚难实用化。

2. 伺服系统的发展状况

伺服系统是数控系统的重要组成部分,伺服系统的静态和动态性能直接影响数控机床的定位精度、加工精度和位移速度。当前伺服系统正朝着以下几个方向发展。

(1) 全数字伺服控制系统

早期的数控机床多采用晶闸管直流驱动系统,由于受机械换向的影响和限制,使系统适应性差,维护困难,调速范围小。20 世纪 80 年代以后,随着交流调速理论、微电子技术和大功率半导体技术的发展,交流数字伺服系统已经基本取代了直流驱动系统。

传统的位置控制是将位置控制信号反馈至 CNC,与位置指令比较后输出速度控制模拟信号到伺服驱动装置;而全数字式交流伺服系统的位置比较是在伺服驱动装置中完成的,CNC 仅输出位置指令信号(数字信号)。其位置环、速度环和电流环等参数均实现了数字化,实现了几乎不受负载变化影响的高速响应伺服系统。

(2) 高分辨率的位置检测系统

现代数控机床的位置检测大多采用高分辨率的光栅和光电编码器,加上采用细分电路,使数控机床的分辨率进一步提高。

(3) 多种补偿功能

数控机床通过参数设置对伺服系统进行多种补偿,如位置环增益、轴向运动误差补偿、反向间隙补偿及丝杠螺距累积误差补偿等,提高了数控机床的精度。此外,新型的伺服系统还具有自动补偿机械系统静、动摩擦非线性的控制功能。

(4) 前馈控制

传统的伺服系统是将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令,经伺服驱动装置拖动伺服电动机。这种方式总是存在着位置跟踪滞后误差,使得在加工拐角及圆弧时加工情况恶化。通过前馈控制,使跟踪滞后误差大为减小,提高了位置控制精度。

3. 可编程序控制器的发展状况

1960年,美国出现第一台可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)。经过多年的发展,PLC现已成为一种可靠性高、应用场合最多的重要工业控制微型计算机,应用于从继电器控制系统到监控计算机之间的许多过程控制领域。可编程序控制器已与数控技术及工业机器人并列成为工业自动化的三大支柱。

初期 PLC 只是用于逻辑控制,替代继电器控制系统。随着微电子技术的发展,PLC 以微处理器为核心,适用于开关量、模拟量和数字量的控制,并进入过程控制和位置控制等领域。目前,可编程序控制器既保留了原来可编程序逻辑控制器的所有优点,又吸收和发展了其他控制装置的优点,使其在数控技术领域的应用越来越强大。今后的 PLC 将朝着以下几个方向发展。

(1) 小型化、高性能、低成本、方便灵活

近年来,小型 PLC 的应用十分普遍,超小型 PLC 的需求日趋增多。为满足工业生产的不同需要,小型机的功能也不断增加,如模拟量处理、与上位机联网通信等。在结构上,还采用了一些框架式结构,用户可根据需要,方便灵活地选择所需的模块。

(2) 大型化、网络化、多功能

许多大型企业的生产自动控制需要功能更强的大型 PLC。目前世界各 PLC 生产厂家正不断研制、开发大型的网络化 PLC 系统,可以通过工业以太网、MAP 网和工业现场总线构成一个多级分布式 PLC。

(3) 与其他系统的兼容,实现软、硬件的标准化

目前,生产 PLC 的厂家很多,但各厂家的 PLC 几乎无法通信。1978 年起国际电工委员会(IEC)已制定和公布了 5 种国际标准,以规范 PLC 产品。另外,PLC 生产厂家除了研制 PLC 与 PLC 的兼容性外,还研制了 PLC 与计算机的兼容性。今后的 PLC 将采用速度更快、功能更强的 CPU,容量更大的存储器,并将更充分地利用计算机的软件资源。

(4) 与 CNC 配合完成机床数字控制

数控机床中的 I/O 状态都是由 PLC 进行控制的。其输入/输出点数和容量的增加,满足了直接数字控制系统(DNC)和柔性制造单元(FMC)的控制要求。

1.2 机床常用电器及选择

普通机床一般都是由电动机来拖动的,而电动机尤其是三相异步电动机是由各种电器元件组成的电气控制线路来进行控制的。虽然机床的电气控制线路各不相同,但其控制的基本环节都是相同的。本节介绍常用低压电器及电气控制线路的基本环节。

1.2.1 开关电器

1. 刀开关

刀开关(俗称闸刀开关),主要用来接通和断开长期工作设备的电源。常用的刀开关有胶盖开关、铁壳开关等。

(1) 胶盖开关

常用的 HK 系列胶盖开关也称为开启式负荷开关,其结构简单,主要由操作手柄、刀片触点、静刀片触点、熔丝和底板等组成,如图 1-3 所示。

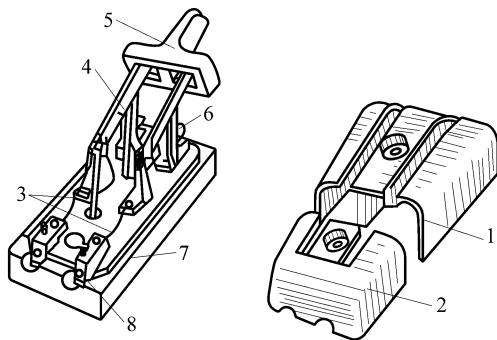


图 1-3 胶盖开关结构图

1—上盖；2—下盖；3—熔丝；4—静夹刀；5—瓷手柄；
6—进线座；7—瓷底板；8—出线座

刀开关安装时,手柄要向上,不得倒装或平装。如果倒装,拉闸后手柄可能会因自重下落而引起误合闸,造成人身及设备安全事故。接线时较为安全的做法是:将电源线接在刀开关的上端,负载线接在其下端。

胶盖刀开关分单极、双极和三极。机床上常用的三极开关,其长期允许通过的电流有 100A、200A、400A、600A、1000A 五种,常用的产品型号有 HD(单投)和 HS(双投)等

系列。

(2) 铁壳开关

常用的 HH 系列铁壳封闭式负荷开关也称为铁壳开关,它把快断刀闸的刀开关与熔断器组合在一起,主要由操作机械、刀开关、熔断器、灭弧罩和速断弹簧等组成。如图 1-4 所示,三把闸刀(三极)固定在一根绝缘方轴上,由手柄操作,操作机械有机械联锁,使盖子打开时手柄不能合闸而手柄合闸时盖子不能打开,以确保安全。铁壳开关常用来控制小容量异步电动机的不频繁起动和停止。

(3) 刀开关的选用

刀开关主要根据电源种类、电压等级、电动机容量、所需极数及使用场合来选用。如果用来控制不经常起停的小容量异步电动机时,其额定电流不要小于电动机额定电流的 3 倍。

刀开关的图形符号及文字符号如图 1-5 所示。

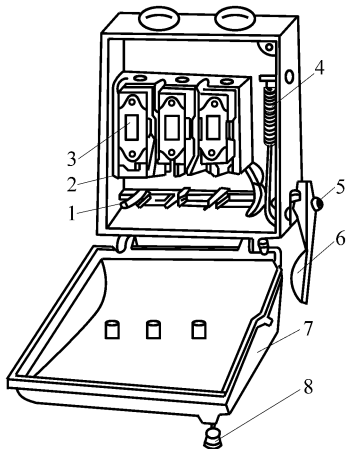


图 1-4 铁壳开关结构图

- 1—U 形动刀; 2—静夹座; 3—瓷插式熔断器; 4—速断弹簧;
5—转轴; 6—手柄; 7—开关盖; 8—开关盖锁紧螺钉

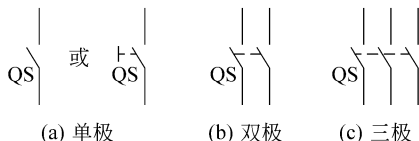


图 1-5 刀开关的图形符号及文字符号

2. 自动开关

自动开关又称自动空气断路器或自动空气开关。它不但能用于正常工作时不频繁接通和断开的电路,而且当电路发生过载、短路或欠压等故障时,能自动切断电路,有效地保护串接在它后面的电气设备。因此,自动开关在机床上的使用越来越广泛。

如图 1-6 所示为 3VE4 型自动开关的外观图。

(1) 自动开关的工作原理

如图 1-7 所示,自动开关的主触点是靠操作机构手动或电动合闸的,并由自由脱扣机

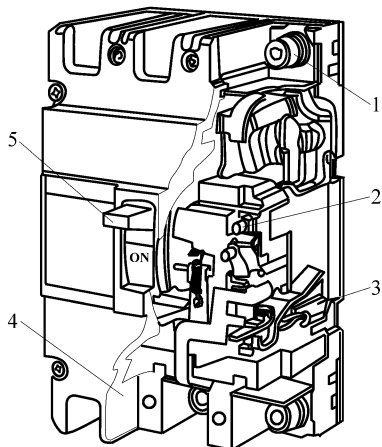


图 1-6 3VE4 型自动开关外观图

1—接线柱；2—脱扣指示按钮；3—过电流脱扣器；
4—外壳；5—操作手柄

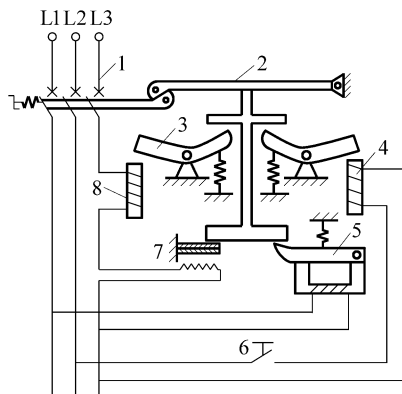


图 1-7 自动开关工作原理图

1—主触点；2—自由脱扣机构；3—衔铁；4—分离脱扣器；
5—欠压脱扣器；6—按钮；7—热脱扣；8—过电流脱扣器

构将主触点锁在合闸位置上。如果电路发生故障，自由脱扣机构在有关脱扣器的推动下动作，使钩子脱开，则主触点在弹簧作用下迅速分断。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠压脱扣器的线圈与电路并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁被吸合，使自由脱扣机构动作。当电路过载时，热脱扣器的热元件产生的热量增加，使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠压时，欠压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。分离脱扣器则作为远距离控制分断电路之用。

(2) 自动开关的选用

选择自动开关时，其额定电压和额定电流应不小于电路正常工作的电压和电流。热脱扣器的整定电流与所控制的电动机的额定电流或负载额定电流一致。过电流脱扣器的整定电流选择参见熔断器部分(见 1.2.2 小节)。

机床上常用的自动开关有 DZ5-20、DZ5-50、DZ10、3VE1、3VE3 和 3VE4 等系列，适用于交流电压 500V、直流电压 220V 以下的电路。表 1-2 为 3VE 系列自动开关的主要技术数据。

自动开关的图形符号及文字符号如图 1-8 所示。

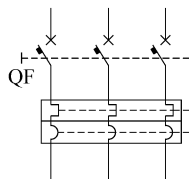


图 1-8 自动开关的图形符号
及文字符号