

# 数控机床主传动系统的控制

## 任务一 认识数控机床主传动系统

### 任务描述

- (1)了解数控机床主传动系统的结构组成。
- (2)理解数控机床对主传动系统的要求。
- (3)掌握主轴变速方式。

### 知识链接

#### 一、数控机床对主传动系统的要求

随着数控技术的不断发展,其加工范围日益扩大,工件复杂程度日益增加,传统的主轴驱动已不能满足数控技术的需要。现代数控机床对主传动系统提出了更高的要求,具体要求如下:

##### 1. 调速范围

各种不同机床的调速范围的要求不同。多用途、通用性大的机床要求主轴的调速范围大,不但有低速大转矩,而且要有较高的速度,如车削加工中心;而专用数控机床就不需要较大的调速范围,如数控齿轮加工机床、为汽车工业大批量生产而设计的数控钻镗床;还有些数控机床不但要求能够加工黑色金属材料,还要求加工铝合金等有色金属材料,这就要求其变速范围大,且能超高速切削。

##### 2. 热变形

电动机、主轴及传动件都是热源。低温升和小的热变形是对主传动系统要求的重要指标。



### 3. 主轴的旋转精度和运动精度

主轴的旋转精度是指装配后,在无载荷、低速转动条件下测量主轴前端和距离前端300 mm处的径向圆跳动值与端面圆跳动值。主轴在以工作速度旋转时测量上述的两项精度称为运动精度。数控机床要求有高的旋转精度和运动精度。

### 4. 主轴的静刚度和抗振性

由于数控机床精度较高,主轴的转速又很高,因此对主轴的静刚度和抗振性要求较高。主轴的轴径尺寸、轴承类型及配置方式、轴承预紧量大小、主轴组件的质量分布是否均匀对主轴组件的静刚度和抗振性都会产生影响。

### 5. 主轴组件的耐磨性

主轴组件必须有足够的耐磨性,以使之能够长期保持良好的精度。凡机械摩擦的部件,如轴承、锥孔等都应有足够高的硬度,轴承处还应有良好的润滑。

为了实现上述要求,在早期的数控机床上多采用直流主轴驱动系统。但由于直流电动机的换向限制,大多数系统的恒功率调速范围都很小,且直流电动机结构复杂,寿命短,维修量大。因此,随着大功率电力电子元件和变频技术的发展,现在的数控机床上大多使用交流主轴驱动系统。

## 二、主轴变速方式

### 1. 分段无级变速

数控机床在实际生产中并不需要在整个变速范围内均为恒功率,一般要求在中、高速段为恒功率传动,在低速段为恒转矩传动。为了确保数控机床主轴在低速时有较大的转矩和主轴的变速范围尽可能大,有的数控机床在交流或直流电动机无级变速的基础上配以齿轮变速,使之成为分段无级变速,如图4-1(a)、(b)所示。

#### 1) 带有变速齿轮的主传动

这是大中型数控机床较常采用的配置方式,通过少数几对齿轮传动可扩大变速范围。由于电动机在额定转速以上的恒功率调速范围为2~5,当需要扩大这个调速范围时,常采用变速齿轮的办法。常用的变速操纵方式有液压拨叉变速和电磁离合器变速两种。

(1) 液压拨叉变速。在带有齿轮传动的主传动系统中,滑移齿轮的移位大都采用液压拨叉或直接由液压缸带动齿轮来实现。图4-2所示为三位液压拨叉的原理图。

通过改变通油方式可以使三联齿轮块获得三个不同的变速位置。该机构除液压缸和活塞杆外,还增加了套筒4。当液压缸1通入压力油,而液压缸5卸压时[见图4-2(a)],活塞杆2便带动拨叉3向左移动到极限位置,此时拨叉带动三联齿轮块移动到左端。当5通压力油,而1卸压时[见图4-2(b)],2和4一起向右移动,在4碰到5的端部后,活塞杆继续右移到极限位置,此时,三联齿轮块被3移动到右端。当压力油同时进入1和5时[见图4-2(c)],由于活塞杆的两端直径不同,压力油使活塞杆处在中间位置。在设计2和4的截面直径时,应使4的圆环面上的向右推力大于2的向左推力。液压拨叉只有换挡在主轴停车之后才能进行,但停车时



拨叉带动齿轮块移动又可能产生“顶齿”现象,因此在这种主运动系统中通常设一台微电动机,它在拨叉移动齿轮块的同时带动各传动齿轮低速回转,使移动齿轮与主动齿轮顺利啮合。

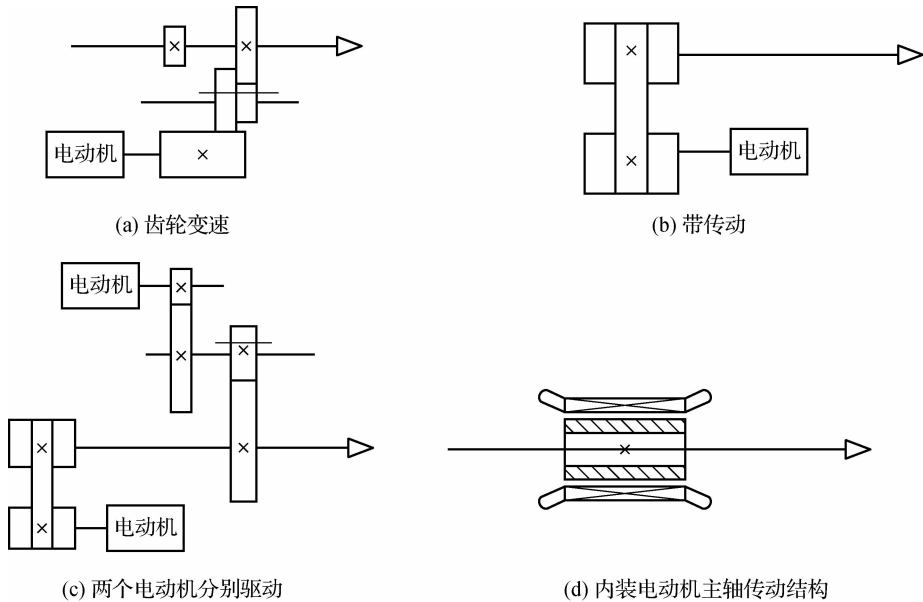


图 4-1 数控机床主传动的四种配置方式

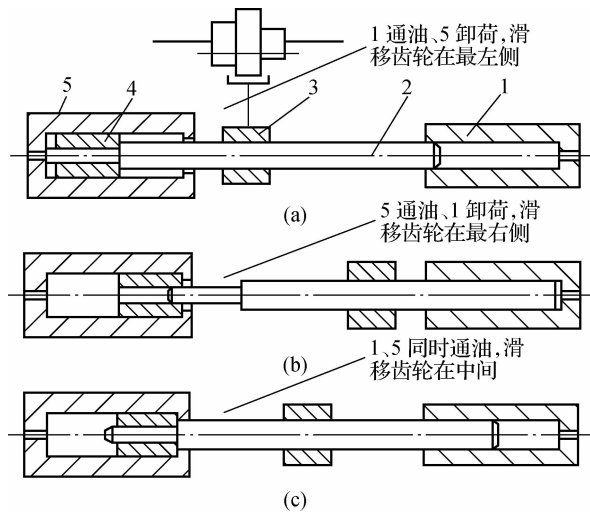


图 4-2 三位液压拨叉的原理图

1,5—缸体; 2—活塞杆; 3—拨叉; 4—套筒

(2)电磁离合器变速。电磁离合器是应用电磁效应接通或切断运动的元件。由于它便于实现自动操作,并有现成的系列产品可供选用,因此已成为自动装置中常用的操纵元件。电磁离合器用于数控机床的主传动时能简化变速机构,便于实现自动化操作,它是通过若干个安装在各传动轴上的离合器的吸合和分离的不同组合来改变齿轮的传动路线,实现主轴



的变速的。电磁离合器变速的主传动系统如图 4-3 所示。

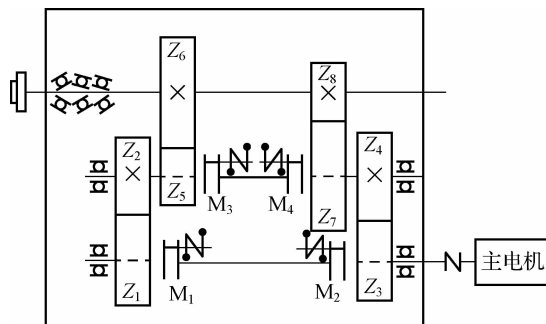


图 4-3 电磁离合器变速的主传动系统

图 4-4 所示为 THK6380 型自动换刀数控铣镗床的主传动系统,该机床采用双速电机和 6 个电磁离合器来完成 18 级变速。

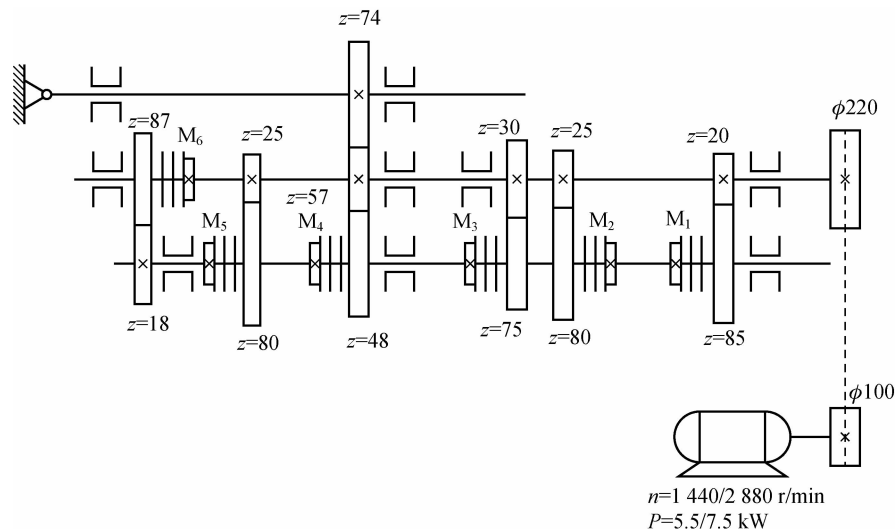


图 4-4 THK6380 型自动换刀数控铣镗床的主传动系统

## 2) 通过带传动的主传动

通过带传动的主传动[见图 4-1(b)]适用于高速、低转矩特性的主轴,电动机本身的调速就能够满足要求,且带传动平稳,可避免齿轮传动时引起的振动与噪声。这种传动主要应用在转速高、变速范围不大的数控车床和中、小型加工中心。其常用的是同步齿形带。通过带传动的主传动如图 4-5 所示。

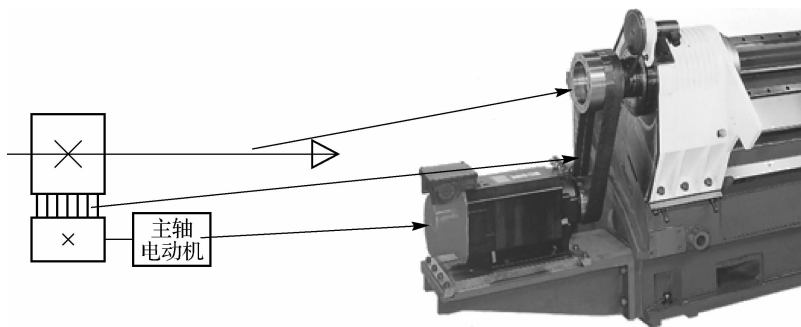


图 4-5 通过带传动的主传动

### 3) 用两个电动机分别驱动主轴

用两个电动机分别驱动主轴是上述两种方式的混合传动,具有上述两种性能[见图 4-1(c)]。在高速时,主轴由一个电动机通过带传动;在低速时,主轴由另一个电动机通过齿轮传动,齿轮起到降速和扩大变速范围的作用,这样就使恒功率区增大,扩大了变速范围,解决了低速时转矩不够且电动机功率不能充分利用的问题。但两个电动机不能同时工作,也是一种浪费。

## 2. 调速电机直接驱动主轴传动

数控机床一般采用直流或交流主轴伺服电动机来实现主轴无级变速。电动机与主轴通过联轴器连接。交流主轴电动机及交流变频驱动装置(笼型感应交流电动机配置矢量变换变频调速系统)因为没有电刷,不产生火花,所以使用寿命长,且性能已达到直流驱动系统水平,甚至噪声还有所降低,因此目前应用较为广泛。

精密联轴器连接结构紧凑,传动效率高,但主轴的转速和扭矩与电机完全一致,低速性能的改善是其广泛应用的关键。主轴传递的功率或扭矩与转速之间的关系如图 4-6 所示。当机床处在连续运转状态下时,主轴的转速在  $437 \sim 3\,500 \text{ r/min}$ ,主轴传递电动机的传递功率为  $11 \text{ kW}$ ,这称为主轴的恒功率区域 II (实线)。在这个区域内,主轴的最大输出扭矩 ( $245 \text{ N} \cdot \text{m}$ )随着主轴转速的增高而变小,主轴转速在  $35 \sim 437 \text{ r/min}$ ,主轴的输出扭矩不变,称为主轴的恒转矩区域 I (实线)。在这个区域内,主轴所能传递的功率随着主轴转速的降低而减小。图中虚线所示为电动机超载(允许超载  $30 \text{ min}$ )时的恒功率区域和恒转矩区域。电动机的超载功率为  $15 \text{ kW}$ ,超载的最大输出扭矩为  $334 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

## 3. 内装电动机主轴变速

这种主传动是电动机直接带动主轴旋转,如图 4-7 所示,因此大大简化了主轴箱体与主轴的结构,有效地提高了主轴部件的刚度;但主轴输出扭矩小,电动机发热对主轴的精度影响较大。

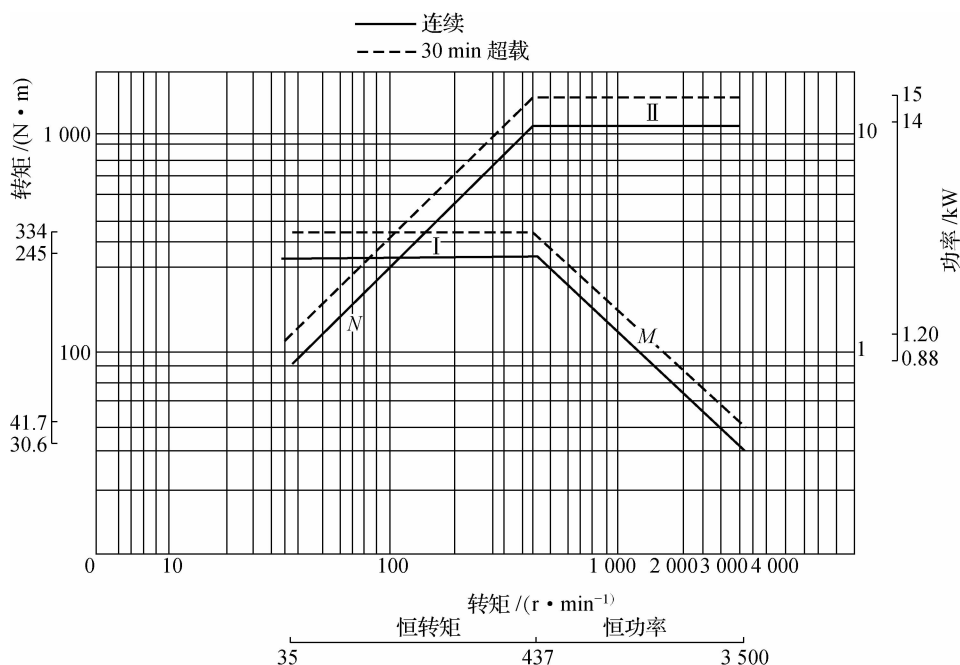


图 4-6 主轴传递的功率或转矩与转速之间的关系

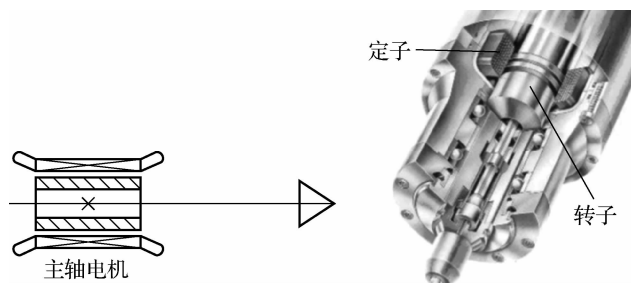


图 4-7 内装电动机主轴变速

随着电气传动技术的迅速发展和日趋完善及高速加工的要求,高速数控机床主传动的机械结构已得到极大的简化,基本上取消了带轮传动和齿轮传动。机床主轴由内装式电动机直接驱动,从而把机床主传动链的长度缩短为零,实现了机床主运动的“零传动”。将主轴与电机合为一体,电机轴是空心轴转子,即主轴本身,而电机的定子被嵌入主轴头内。这种内装式主轴电动机俗称电主轴。由于当前电主轴主要采用的是交流高频电动机,因此也称为高频主轴。

电主轴一般采用交流异步电动机。电主轴是一种智能型功能部件,不但转速高、功率大,还有一系列控制主轴温升与振动等运行参数的功能,以确保其高速运转的可靠性与安全性。虽然将电动机内置在安装上会带来一些麻烦,但在高速加工时采用电主轴几乎是唯一的,也是最佳的选择。这是因为:



(1)传统的主轴电动机通过带轮或齿轮等方式传动,在高速运转条件下会产生振动和噪声,势必影响高速加工的精度和加工表面粗糙度。而电主轴取消了这些齿轮、带轮等机械传动机构,也就消除了由这些传动机构产生的振动和噪声。

(2)实现主轴“零传动”,将主轴的转动惯量减至最小,使主轴回转时可以具有极大的角加、减速度,在最短时间内实现高转速的速度变化。

(3)由于没有中间传动环节,主轴在高速运行中没有中间传动冲击而更为平稳,使主轴轴承寿命得到延长。

电主轴不是一根主轴套筒,而是在数控系统监控下的一个子系统。它包括电动机驱动器(高频变频器)、轴承润滑部件、压缩空气密封、电动机及轴承的冷却部件,主轴刀具锥孔吹净装置及控制,电动机的温升报警、油-气润滑系统监控、刀具夹紧状态检测,等等。

当前,国内外专业的电主轴生产厂家已可供应几百种规格的电主轴。其套筒直径为32~320 mm,转速为10 000~150 000 r/min,功率为0.5~80 kW,转矩为0.1~300 N·m。最近还出现了流体静压轴承和磁悬浮轴承电主轴及交流永磁同步电动机电主轴,电主轴的制造及控制技术正在趋于完善,其应用也在日渐发展。

### 三、主轴的控制功能

数控机床的主轴的控制功能包括速度(转速)控制、位置控制和多主轴控制三大类。

(1)主轴的速度(转速)控制包括S代码输出、倍率调节、传动级交换、线速度恒定控制、主轴转速波动检测等。

(2)主轴的位置控制包括主轴能在特定角度上准确停止和方向准停(spindle orientation)、主轴可以在 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 任意定位的主轴定位(spindle positioning)、刚性攻丝、主轴可参与基本坐标轴的插补运算的CS轴控制(CS spindle control)等。

(3)多主轴控制包括多主轴速度控制、位置控制与主-从同步控制等。

下面主要讨论主轴的速度(转速)控制功能的实现方法。

在CNC中,主轴转速通过S指令进行编程,S指令通过数控系统处理可以转换为模拟电压或者数字量信号输出,因此主轴转速有两种控制方式,即利用模拟量进行控制(简称模拟主轴)和利用串行总线进行控制(简称串行主轴)。

在使用模拟主轴时,CNC通过内部附加的数模转换器自动将S指令转换为 $0\sim\pm 10\text{ V}$ 的模拟电压。CNC所输出的模拟电压可通过主轴驱动装置实现主轴的速度控制。主轴驱动装置总是严格地保证给定的速度信号与电动机输出转速之间的对应关系。例如,在一台机床中,当速度给定输入电压为10 V时,如果电动机的转速为6 000 r/min,则在输入电压为5 V时,电动机的转速就为3 000 r/min。

在数控机床中,模拟量主轴驱动装置主要应用于中、低档数控机床,一般采用通用变频器来实现主轴电动机控制。所谓的通用变频器包含两层含义:一是该变频器可以和通用的笼型异步电动机配套使用,二是具有多种可供选择的功能。

为了提高主轴的控制精度和可靠性,适应现代信息技术发展的需要,从CNC输出的控



制指令通过网络或总线方式进行传输,在 CNC 与主轴驱动装置之间建立通信,这种通信一般使用 CNC 的串行接口,因此称为串行主轴控制。串行主轴控制是利用网络通信的手段来实现主轴控制功能,在 FS-0iC/D 中,主轴的网络通信使用的是 I/O Link 总线,它是一种独立于 PMC I/O Link 总线和 CNC FSSB 总线的专用串行总线。

模拟主轴和串行主轴的区别详见表 4-1。

表 4-1 模拟主轴和串行主轴的区别

项 目	模拟主轴	串行主轴
主轴转速输出	0~±10 V 的模拟量	通过串行通信传输的内部数字信号
主轴驱动装置	模拟量控制的主轴驱动单元(如变频器等)	数控系统专用的主轴驱动装置
主轴电动机	普通的三相异步电动机或者变频电动机	数控系统专用的主轴伺服电动机
主轴参数设定	在主轴驱动装置上设定与调整	在 CNC 上设定与调整,并利用串行总线自动传送到主轴驱动装置中
主轴位置检测连接	直接由编码器连接到 CNC	从编码器到主轴驱动装置,再从主轴驱动装置到 CNC
主轴正、反转起动与停止控制	利用主轴驱动装置上的外部接点输入信号进行控制	利用 CNC 与 PMC 之间的内部信号进行控制

### 工作任务单 4-1

项目:数控机床主传动系统的控制
工作任务:认识数控机床主传动系统
任务描述及记录:
1. 画出实训室中数控机床上主传动结构的示意图
2. 写出机床上的主传动系统的每个组件的名称





实训中遇到的问题	解决方法
总结	

## 任务二 变频器的连接

### 任务描述

- (1)变频器操作面板、前盖板的拆卸与安装。
- (2)变频控制柜的安装。
- (3)通过查阅变频器手册,按照给定的变频器控制系统电气线路图正确接线。

### 知识链接

#### 一、变频调速原理

根据电机学的理论,交流电动机的转速  $n$  为

$$n = \frac{60f_1}{p}(1-S) = n_0(1-S)$$

式中,  $f_1$  为定子供电电源频率;  $p$  为电动机磁极对数;  $S$  为转差率;  $n_0$  为旋转磁场同步转速。

由上式可见,调速方法可分为两类。第一类是改变同步转速  $n_0$  的调速,它可通过两种方法实现:一是改变极对数  $p$ ,但这种方法只能得到级差很大的有级调速,不能满足数控机床的要求;二是改变电源频率  $f_1$ ,可得到平滑的无级调速,这种调速方法效率高,调速范围宽、精度高,是数控机床上常用的调速方法。第二类是改变转差率  $S$  的调速,它包括调压调速和电磁调速,但这种调速方法机械特性软、效率低、损耗大,也不适合数控机床使用。

从以上分析可知,改变电源频率  $f_1$  的调速是一种最有前途的调速方法。只要改变  $f_1$ ,同步转速  $n_0$  得到改变,  $n$  随之改变。但在实际应用时,单纯改变频率是不行的。因为交流异



步电动机当旋转磁场以  $n$  的速度切割定子绕组时,在定子的每相绕组上产生的感应电势为

$$U_1 \approx E_g = 4.44 f_1 N_1 k_{N1} \Phi_m$$

式中,  $N_1$  为定子每相绕组有效匝数;  $\Phi_m$  为每极磁通量;  $U_1$  为定子相电压;  $k_{N1}$  为基波绕组因数,一般  $0.9 < k_{N1} < 1$ 。

如果在变频调速中只改变  $f_1$ ,如使  $f_1$  减小而  $U_1$  不变,则  $\Phi_m$  将增大。在一般电动机中,  $\Phi_m$  值是在额定电压和频率的运行条件下确定的,为了充分利用电动机的铁心,减小电动机体积,都把  $\Phi_m$  选在接近磁饱和的数值上,若  $\Phi_m$  再上升,则将导致铁心过饱和而使励磁电流迅速上升,铁心过热,功率因数下降,电动机带负载能力降低。因此,必须在降低频率的同时适当降低电压,以保持  $\Phi_m$  不变,这就是所谓的恒磁通变频调速。因此,交流电动机的变频调速控制兼有调频和调压的功能;并且,根据电动机所带负载的特性,它有恒转矩调速、恒功率调速和恒最大转矩调速三种控制方式,此处介绍前两种。

### 1. 恒转矩调速(保持 $U_1/f_1$ 为常数)

由转子电流与主磁通作用而产生的电磁转矩  $T$  的物理表达式为

$$T = C_T \Phi_m I_2 \cos \varphi_2$$

式中,  $C_T$  为转矩常数;  $I_2$  为折算到定子上的转子电流;  $\cos \varphi_2$  为转子电路功率因数。

由公式可知,  $T$  与  $\Phi_m$ 、 $I_2$  成正比,要保持电磁转矩  $T$  不变,则需保持  $\Phi_m$  不变,即要求  $U_1/f_1$  是常数。此种调速方法称为恒转矩调速,其机械特性曲线如图 4-8 所示。由图可见,这些特性曲线的线性段基本平行,类似于直流电动机的机械特性。但最大转矩  $T_m$  随着  $f_1$  的下降而减小。这是因为  $f_1$  高时,  $U_1$  值也大,此时由定子电流在定子绕组中造成的压降与  $U_1$  相比所占比例很小,可以认为  $U_1 \approx E_1$ ; 而当  $f_1$  很低时,  $U_1$  值小,由于电动机转速降低,  $E_1$  值减小,定子绕组压降所占比例增大,因而  $\Phi_m$  减小,从而使  $T_m$  略有下降。

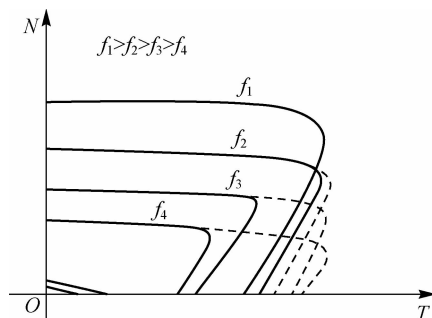


图 4-8 恒转矩调速机械特性曲线

### 2. 恒功率调速( $U_1$ 不变,只调 $f_1$ )

为了扩大调速范围,可以使  $f_1$  大于额定频率,得到额定转速以上的调速。由于定子电压不能超过额定电压,因此若  $f_1$  升高而  $U_1$  不变,  $\Phi_m$  将减小,以致电磁转矩  $T$  也减小,得到近似恒功率的调速特性,如图 4-9 所示。

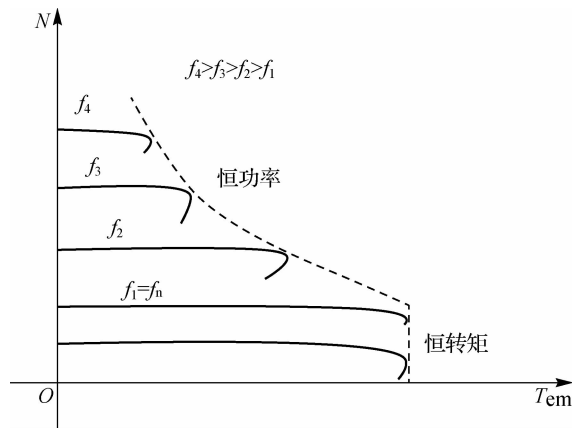


图 4-9 恒转矩和恒功率变频调速时的机械特性

## 二、通用变频器的构造

### 1. 主回路

通用变频器的主回路包括整流部分、直流环节、逆变部分、制动或回馈环节等部分，如图 4-10 所示。其中， $D_1 \sim D_6$  是全桥整流电路中的二极管； $D_7 \sim D_{12}$  为续流二极管，其作用是消除三极管在开关过程中出现的尖峰电压，并将能量反馈给电源； $T_1 \sim T_6$  是晶体管开关元件，开关状态由基极注入的电流控制信号来确定。

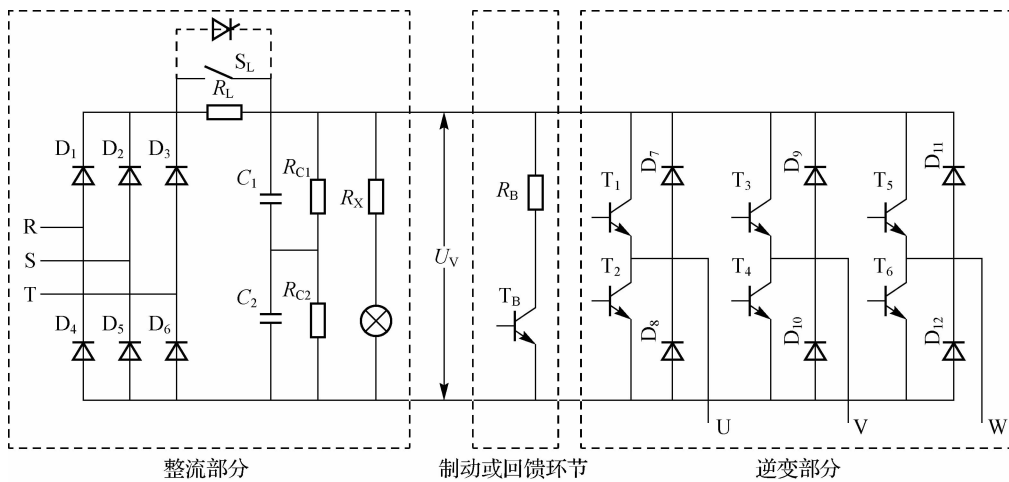


图 4-10 通用变频器的主回路结构

#### 1) 整流部分

整流部分通常又称为电网侧变流部分，其作用是把三相或单相交流电整流成直流电。常见的低压整流部分是由二极管构成的不可控三相桥式电路或由晶闸管构成的三相可控桥



式电路,而中压大容量的整流部分则采用多重化 12 脉冲以上的变流器。

如电源的进线电压为  $U_L$ ,则三相全波整流后的平均直流电压  $U_D$  为  $U_D=1.35U_L$ 。我国三相电源的线电压为 380 V,故全波整流后的平均直流电压为  $U_D=1.35U_L=1.35 \times 380=513$  V。

### 2) 直流环节

由于逆变器的负载是异步电动机,属于感性负载,因此在中间直流部分与电动机之间总会有无功功率的交换,这种无功功率的交换一般都需要中间直流环节的储能元件(如电容或电感)来缓冲。其中,滤波电容  $C_1$  和  $C_2$  的作用是滤平全波整流后的电压纹波;当负载变化时,使直流电压保持平稳。

在变频器闭合上电的瞬间,滤波电容  $C_1$  和  $C_2$  上的充电电流比较大,过大的冲击电流将可能导致三相整流桥损坏。为了保护整流桥,在变频器刚接通电源的一段时间里,电路内串入缓冲电阻  $R_L$ ,以限制电容  $C_1$ 、 $C_2$  上的充电电流。当滤波电容  $C_1$ 、 $C_2$  充电电压达到一定程度时,另一触头开关  $S_L$  接通,将  $R_L$  短路掉。

### 3) 逆变部分

逆变部分通常又称负载侧变流部分,它通过不同的拓扑结构来实现逆变元件的规律性关断和导通,从而得到任意频率的三相交流电输出(见图 4-11)。常见的逆变部分是由六个半导体主开关器件组成的三相桥式逆变电路。

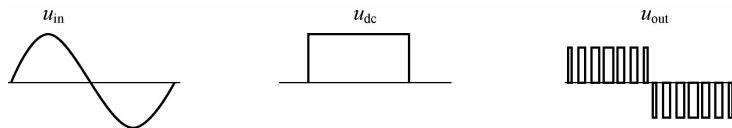


图 4-11 变频器的波形图

### 4) 制动或回馈环节

制动形成的再生能量在电动机侧容易聚集到变频器的直流环节而形成直流母线电压的泵升,需及时通过制动环节将能量以热能形式释放或者通过回馈环节转换到交流电网中。

制动环节在不同的变频器中有不同的实现方式,通常小功率变频器都内置制动环节,即内置制动单元,有时还内置短时工作制的标配制动电阻;中功率变频器可以内置制动环节,但属于标配或选配,需根据不同品牌变频器的选型手册而定;大功率变频器的制动环节大多为外置回路。回馈环节大多属于变频器的外置回路。

## 2. 控制回路

控制回路由变频器的核心软件算法电路、检测传感电路、控制信号的输入输出电路、驱动电路和保护电路组成,它包括以下几个部分:



### 1) 开关电源

变频器的辅助电源采用开关电源,具有体积小、效率高等优点。电源输入为变频器主回路直流母线电压或将交流 380 V 整流。通过脉冲变压器的隔离变换和变压器副边的整流滤波可得到多路输出直流电压,其中 +15 V、-15 V、+5 V 共地,±15 V 给电流传感器、运放等模拟电路供电,+5 V 给 DSP 及外围数字电路供电。相互隔离的四组或六组 +15 V 电源给 IPM 驱动电路供电。+24 V 为继电器和直流风机供电。

### 2) DSP

TD 系列变频器采用的 DSP(数字信号处理器)为 TMS320F240,主要完成电流、电压、温度采样和六路 PWM 输出,各种故障报警输入,电流电压频率设定信号输入,以及电动机控制算法的运算等功能。

### 3) 输入输出端子

变频器控制电路的输入输出端子包括:

- (1) 输入多功能选择端子、正反转端子、复位端子等。
- (2) 继电器输出端子、开路集电极输出多功能端子等。
- (3) 模拟量输入端子,包括外接模拟量信号用的电源(12 V、10 V 或 5 V)及模拟电压量频率设定输入和模拟电流量频率设定输入。
- (4) 模拟量输出端子,包括输出频率模拟量和输出电流模拟量等,用户可以选择 0~1 mA 直流电流表或 0~10 V 直流电压表,显示输出频率和输出电流;也可以通过功能码参数选择输出信号。

### 4) SCI 口

TMS320F240 支持标准的异步串口通信,通信比特率可达 625 kb/s。它具有多机通信功能,通过一台上位机可实现多台变频器的远程控制和运行状态监视功能。

### 5) 操作面板部分

DSP 通过 SPI 口与操作面板相连,完成按键信号的输入、显示数据输出等功能。

## 三、变频调速系统连接

### 1. 变频调速系统的硬件组成

变频器在设计时已经考虑了产品的通用性,对其最低要求是只需要进行电源、变频器和电动机的连接即可正常工作,但出于安全与可靠性方面的考虑,在实际使用时可根据系统的要求选用部分配件。变频器的配件分内置选件和外置选件两类,内置选件直接安装在变频器内部,必须是变频器生产厂家的产品;外置选件一般由用户自行配置。

#### 1) 外置选件

变频器的常用外置选件如图 4-12 所示,各部分的作用如下:

- (1) 断路器。通用变频器内部一般无主回路短路保护器件,因此主回路必须安装短路保



护的断路器或熔断器。

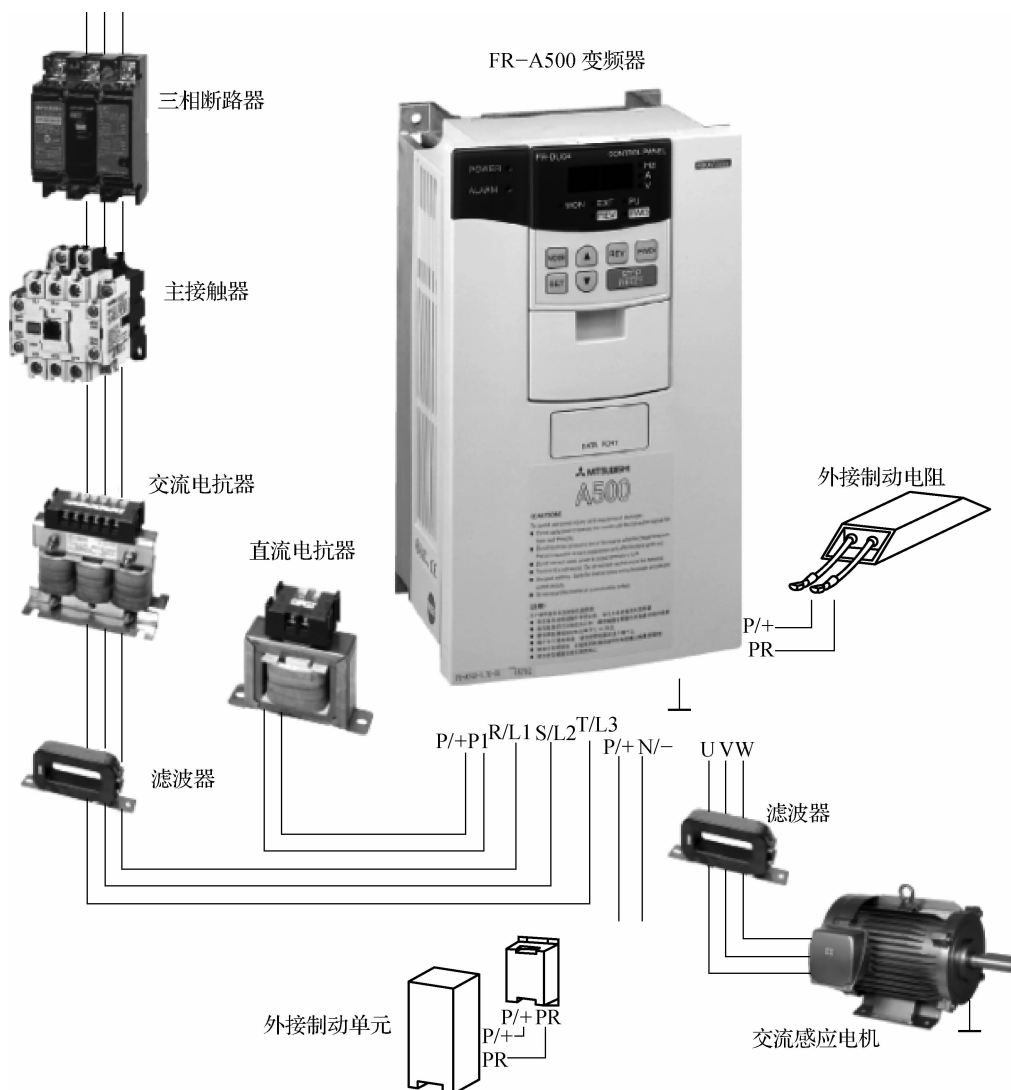


图 4-12 变频器的常用外置选件

(2)主接触器。主接触器用于变频器输入主电源的通/断控制,断开主接触器可中断变频器的电能输出,使电动机停止。但在正常情况下,电动机的运行与停止应通过变频器控制信号来控制,变频器不允许利用主接触器来频繁控制电机起/停,其通断的频率不能高于1次/30 min。

(3)交流电抗器。交流电抗器根据使用地方的不同分为输入电抗器和输出电抗器。输入电抗器串联在电源进线与变频器输入侧(R、S、T),用于抑制输入电流的高次谐波,减少电源浪涌对变频器的冲击,改善三相电源的不平衡性,提高输入电源的功率因数;输出电抗器串联在变频器输出侧(U、V、W)与电机之间,限制电机连接电缆的容性充电电流和电机绕组



的电压上升率,减小变频器功率元件动作时产生的干扰和冲击。

(4)滤波器。在变频器输入、输出电路中有许多高频谐波电流,滤波器用于抑制变频器产生的电磁干扰噪声的传导,也可抑制外界无线电干扰及瞬时冲击、浪涌对变频器的干扰。滤波器根据使用位置的不同可以分为输入滤波器和输出滤波器。

(5)直流电抗器。直流电抗器又称平波电抗器,串联在直流中间环节母线中(端子 P1、P+)。其主要作用是减小输入电流的高次谐波成分,提高输入电源的功率因数。直流电抗器可与交流电抗器同时使用,只有变频器功率大于 30 kW 时才考虑配置直流电抗器。

(6)外接制动单元与制动电阻。在变频器停止和降速时,由于电机的惯性,电机处于再生制动状态,产生的再生能量回馈给直流回路,消耗在内置制动电阻上。如果减速时间设定较短,造成直流母线电压升高过快,能量来不及消耗掉,可能超过电容的耐压或开关元件的容许电压,造成变频器损坏。因此,生产厂家为不同规格的变频器配备外接制动电阻或制动单元。用户在使用变频器时将制动电阻(P1、DB)或制动单元(P、N)连接在直流母线两端,以便在直流母线电压升高到一定值时,通过制动电阻或制动单元来消耗掉多余的能量,保护变频器。

### 2) 内置选件

变频器的内置选件包括 I/O 接口扩展模块和通信接口扩展模块两大类,前者用于变频器输入/输出信号的扩展,后者用于通信与网络控制。

(1)I/O 接口扩展模块。变频器的 I/O 接口扩展模块一般有闭环控制模块和 DI/DO 扩展模块两类,前者用于闭环控制的变频器,可以连接速度检测编码器,实现闭环控制;后者用于变频器控制输入与状态输出的扩展。

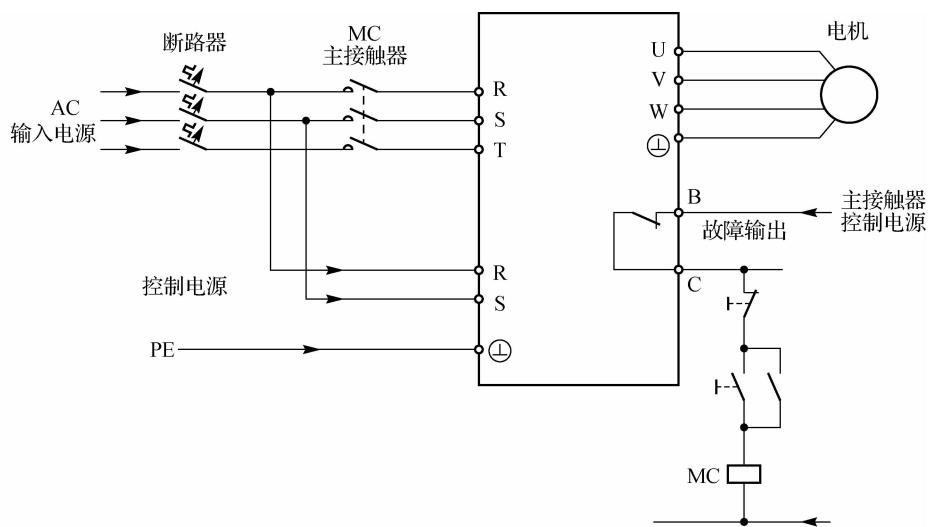
(2)通信接口扩展模块。变频器可通过增加 RS485 标准串行接口与 PROFIBUS-DP、DeviceNet、CC-Link、Modbus Plus 等网络接口,连接计算机、PLC 等外部设备或作为网络控制系统的从站。

## 2. 主回路连接

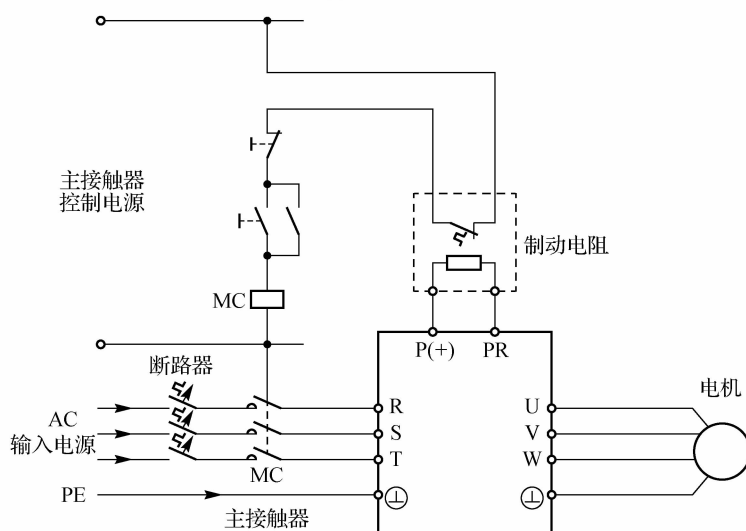
变频器的主回路连接要求与交流伺服驱动器基本相同,主回路滤波器和零相电抗器的连接要求可参见产品手册等相关说明。

一般而言,在普通型与紧凑型小功率变频器上,变频器的控制电源在内部已经与主电源连接;但对于中大功率或高性能变频器,可通过主接触器将控制电源与主电源分离。

当控制电源与主电源分离时,一般应按图 4-13(a)所示,首先加入控制电源,在确认变频器内部无故障(故障触头 B-C 接通)后才能加入主电源。如果变频器需要使用外置式制动电阻,外部制动电阻或者制动单元应与直流母线的引出端 P(+)、PR、N(-)连接。当主回路设计时必须按图 4-13(b)所示的要求,利用制动电阻或者制动单元的热保护触头来控制主接触器,或将热保护触头串联到图 4-13(a)的故障触头中。



(a) 主接触器的控制



(b) 热保护触头的控制

图 4-13 主电源控制电路设计

### 注意

必须使用专用的制动电阻。

### 3. 控制回路连接

变频器控制回路包括开关量控制输入(DI)、开关量状态输出(DO)、速度模拟量输入等,具体要求如下:





1)DI 信号的连接

一般变频器的 DI/DO 点数固定、外部连接要求相同,但功能可以因驱动器参数的设定而改变,故称为多功能 DI/DO。变频器 DI 信号一般采用“直流汇点输入”连接形式,DO 信号有 NPN 型集电极开路输出和继电器接点输出两种形式。DI/DO 的外部连接要求、接口电路原理与 PLC 的汇点输入/汇点输出类似。DI 信号为外部提供的变频器运行控制信号、常用信号及其功能如下。

(1)正/反转与停止控制。变频器的正/反转与停止控制(STF/STR/STOP)信号需要从 DI 连接端加入,连接端一般不可以通过参数来改变,变频器的转向与起停控制通常可采用以下几种方式。

①具有“自保持”功能的转向与起停控制:变频器的正反转信号为脉冲输入,变频器的停止通过 STOP 输入端来控制,具体的信号功能与连接要求如图 4-14 所示。

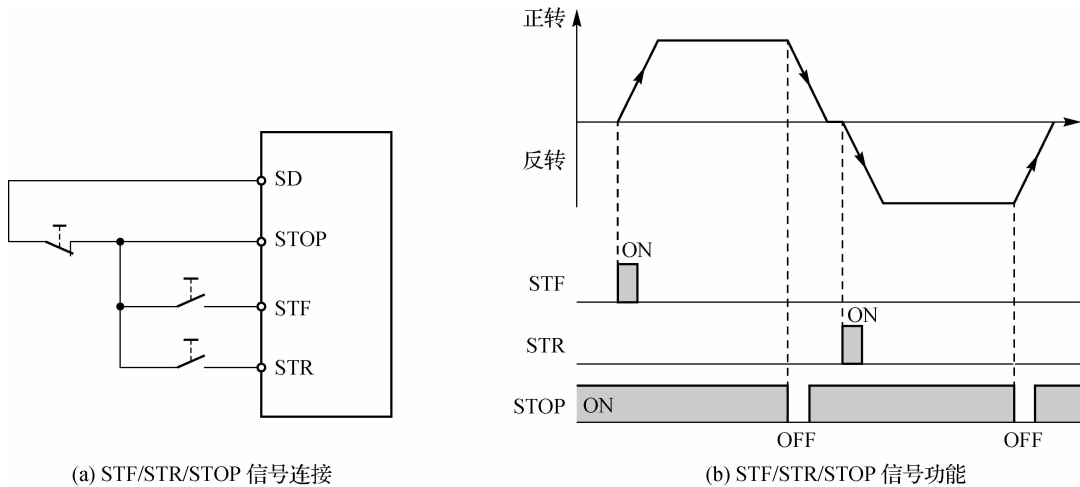


图 4-14 变频器具有自保持功能的转向与起停控制

②利用转向信号直接控制起停:变频器不使用停止信号,正反转信号为保持型电平信号输入,如 STF 为“1”则变频器正转起动;STR 为“1”,变频器反转起动;两者同时为“0”,则变频器停止(具体见图 4-15)。

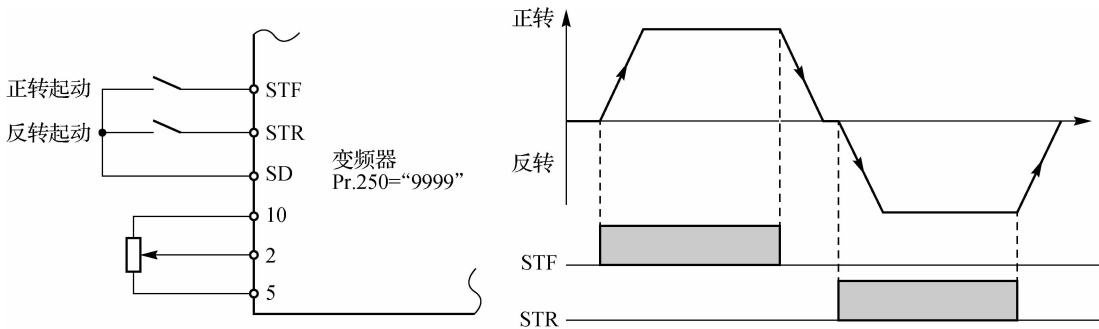


图 4-15 利用转向信号直接控制起停



③使用起停控制与转向选择信号:变频器的 STF、STP 连接起动与停止输入控制信号,STR 连接保持型转向选择信号。如 STR 为“0”,信号 STF 起动变频器正转并保持;如 STR 为“1”,信号 STF 起动变频器反转并保持;断开 STOP 信号,变频器停止(具体见图 4-16)。

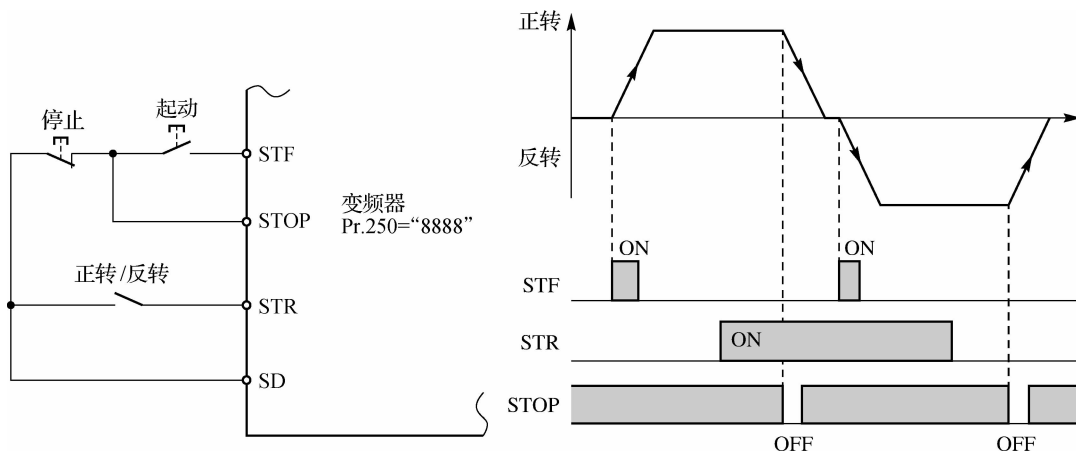


图 4-16 使用起停控制与转向选择信号

(2)输出关闭信号 MRS。输出关闭信号 MRS 用于关闭变频器逆变功率管的输出。当信号有效时功率管关断,被控制的电机进入自由停车状态。

输出关闭信号 MRS 与停止信号 STOP 的区别在于:当 STOP 信号生效时,电机将在变频器的控制下减速停车,在整个停车过程中,电机始终具有制动转矩;而在使用 MRS 信号关闭变频器逆变功率管后,电机为自由停车。MRS 信号常用于带机械制动装置的调速系统,以防止机械制动时的变频器过载;如果需要,该信号也可用来作为变频器的起动互锁。

(3)多电机切换控制。变频器的切换控制信号 RT 可转变变频器的加减速特性、转矩提升等参数,使之能与不同控制要求的电机匹配,满足一台变频器通过电路切换来控制不同电机的要求。电机切换信号功能在不同的变频器上差异较大,如三菱的 FR-E500 系列变频器只能在 V/f 控制方式下进行第 2 电机的切换;FR-A500 系列变频器可在 V/f 控制方式下进行第 2 电机、第 3 电机的切换;而 FR-A700 系列变频器不但可以进行第 2 电机、第 3 电机的切换,而且第 2 电机也可以使用开环矢量控制方式(第 3 电机只能是 V/f 控制方式)等。

除以上信号外,变频器常用的输入控制信号还有运行频率选择、复位、瞬时停电自动起启动功能选择等,其功能与要求可参见相关说明书。

#### 2)DO 信号的连接

变频器的内部状态可以通过参数的“功能代码”进行设定,在指定的输出端输出。在不同的变频器上可使用的信号有所不同,常用的 DO 信号如下:

(1)准备好与运行信号。一般而言,变频器的电源在接通后如果没有硬件或软件故障,即输出变频器准备好信号;而在转向信号加入后变频器输出运行信号。

(2)报警信号。变频器的报警通常以触头形式输出。报警输出具有保持功能,它只有在变频器报警被清除、变频器恢复正常运行后才能重新输出“0”。

(3)频率(速度)到达信号。变频器可以根据需要输出频率(速度)到达信号,信号的比较



基准可由变频器的参数进行设定,被比较值可以是实际输出频率、按照电机模型预测的电机转速或实际速度反馈值。

(4)电流检测信号。电流检测信号可用于过载检测或外部机械制动器的控制。过载检测在变频器输出电流大于参数设定值且保持时间超过规定值时动作,零电流检测在变频器输出电流小于参数设定值且保持时间超过规定值时动作。

### 3)模拟量输入/输出连接

变频器的频率给定通常以 DC 0~5 V/10 V 模拟电压或者 DC 4~20 mA 模拟电流的形式给定。为了便于使用电位器等给定器件,变频器有 DC 5 V/10 V 电压输出端,用来连接阻值大于 1 k $\Omega$  的给定电位器。

## 工作任务单 4-2

项目:数控机床主传动系统的控制	
工作任务:变频器的连接	
任务描述及记录:	
1. 画出变频器连接线路图	
2. 描述变频器在机床上的作用	
实训中遇到的问题	解决方法
总结	



## 任务三 变频器的调试与参数设置

### 任务描述

用给定的变频器操作面板进行参数设置,并能在各个模式之间进行切换,同时根据工艺要求进行调试。

### 知识链接

#### 一、变频器的频率给定方式

在使用一台变频器的时候,目的是通过改变变频器的输出频率,即改变变频器驱动电动机的供电频率,从而改变电动机的转速。如何调节变频器的输出频率呢?关键是必须首先向变频器提供改变频率的信号,这个信号就称为频率给定信号。所谓频率给定方式,就是调节变频器输出频率的具体方法,也就是提供给定信号的方式。

变频器常见的频率给定方式主要有操作器键盘给定、接点信号给定、模拟量给定、脉冲给定和通信给定等。这些频率给定方式各有优缺点,必须按照实际的需要进行选择与设置;同时,也可以根据功能需要来选择不同频率给定方式之间的叠加和切换。

##### 1. 操作器键盘给定

操作器键盘给定是变频器最简单的频率给定方式,用户可以通过变频器的操作器键盘上的电位器、数字键或上升下降键来直接改变变频器的设定频率(见图 4-17)。

操作器键盘给定方式的最大优点是简单、方便、醒目(可选配 LED 数码显示和中文 LCD 液晶显示),同时兼具监视功能,即能够将变频器运行时的电流、电压、实际转速、母线电压等实时显示出来。如果选择键盘数字键或上升下降键给定,则由于是数字量给定,因而精度和分辨率非常高,其中精度可达最高频率 $\times \pm 0.01\%$ ,分辨率为 0.01 Hz。如果选择操作器上的电位器给定,则属于模拟信号给定,精度稍低;但由于无须像外置电位器的模拟量输入那样另外接线,因而实用性非常高。

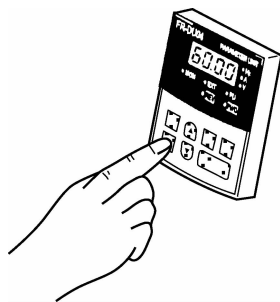


图 4-17 操作器键盘给定方式

##### 2. 接点信号给定

接点信号给定就是通过变频器的多功能输入端子的 UP 和 DOWN 接点来改变变频器的设定频率值。该接点可以外接按钮或其他类似于按钮的开关信号[如 PLC 或 DCS(distributed control system, 分布式控制系统,在国内自控行业又称为集散控制系统)的继电器输出模块、常规中间继电器]。具体接线如图 4-18 所示。

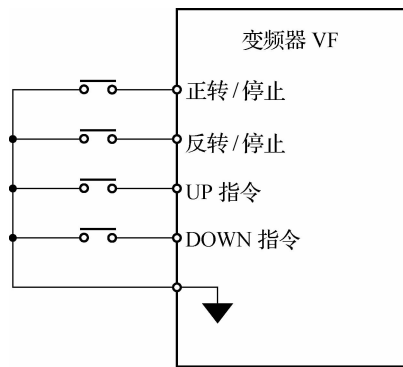


图 4-18 接点信号给定

需注意以下几点：

(1)多功能输入端子需分别设置为 UP 指令或 DOWN 指令中的其中一个,不能重复设置,也不能只设置一个,更不能将 UP/DOWN 指令和保持加减速停止指令被同时分配。

(2)端子的 UP/DOWN 速率必须被正确设置,速率单位为 Hz/s。有了正确的速率设置,即使 UP 上升接点一直吸合,变频器的频率也不会一下子窜到最高输出频率,而是按照其上升速率上升。

图 4-19 所示为接点频率给定方式下的变频器运行时序图。

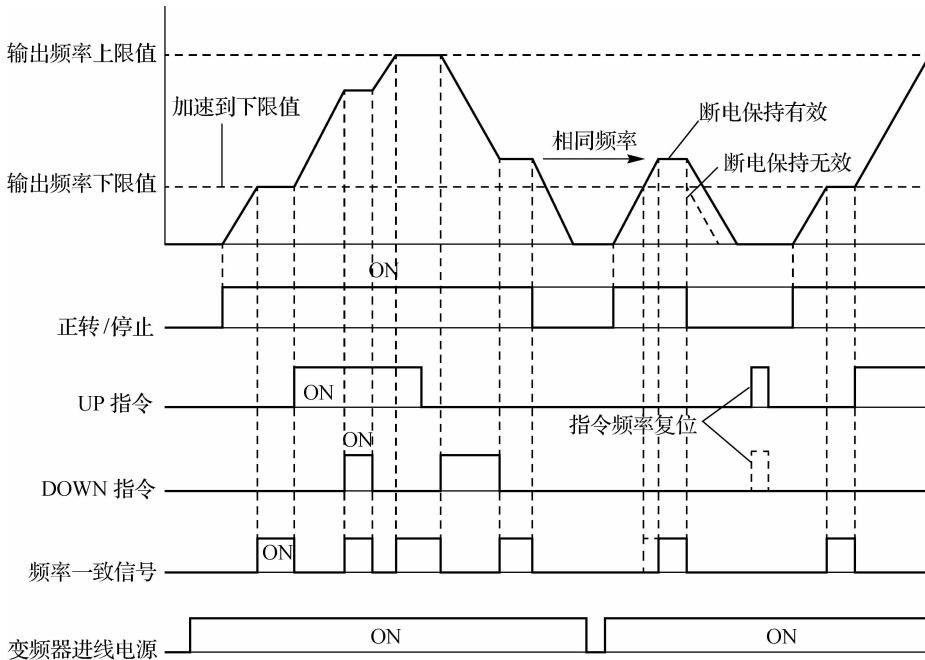


图 4-19 接点频率给定方式下的变频器运行时序图



### 3. 模拟量给定

模拟量给定方式即通过变频器的模拟量端子从外部输入模拟量信号(电流或电压)进行给定,并通过调节模拟量的大小来改变变频器的输出频率。在模拟量给定中通常采用电流或电压信号,常见于电位器、仪表、PLC 和 DCS 等控制回路,如图 4-20 所示。

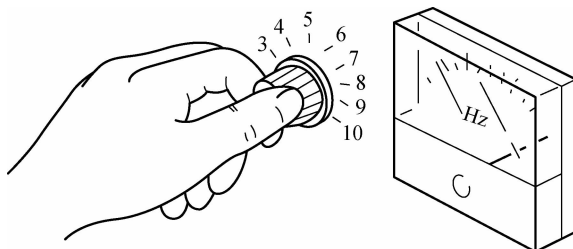


图 4-20 模拟量给定方式

变频器通常会有两个及其以上的模拟量端子(或扩展模拟量端子),图 4-21 所示为三菱变频器的模拟量输入端子(端子 2、4、1 分别为电压输入、电流输入和辅助输入端子)。

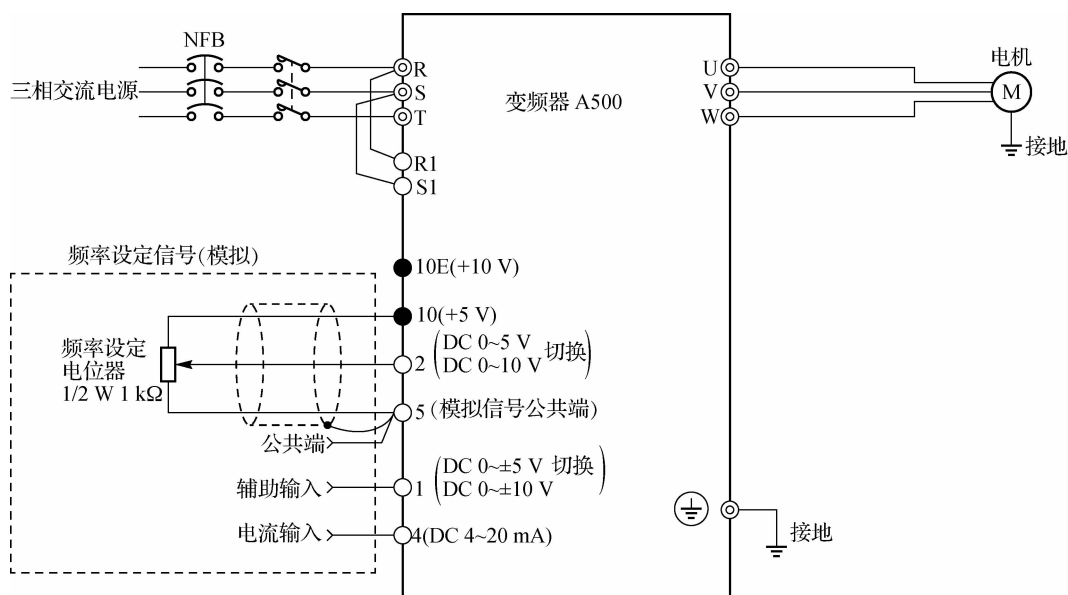


图 4-21 三菱变频器的模拟量输入端子

有些模拟量端子可以同时输入电压和电流信号(但必须通过跳线或短路块进行区分),因此在对变频器选择好模拟量给定方式后,还必须按照以下步骤进行参数设置:

- (1) 选择模拟量给定的输入通道。
- (2) 选择模拟量给定的电压或者电流方式及其调节范围,同时设置电压/电流跳线,注意必须在断电时进行操作。
- (3) 选择模拟量端子多个通道之间的组合方式(叠加或者切换)。



(4)选择模拟量端子通道的滤波参数、增益参数和线性调整参数。

#### 4. 脉冲给定

脉冲给定方式即通过变频器的特定高速开关端子从外部输入脉冲序列信号进行频率给定,并通过调节脉冲频率来改变变频器的输出频率。不同的变频器对于脉冲序列输入都有不同的定义,以安川 VS G7 变频器为例(见图 4-22):脉冲频率为 0~32 kHz,低电平电压为 0.0~0.8 V,高电平电压为 3.5~13.2 V,占空比为 30%~70%。

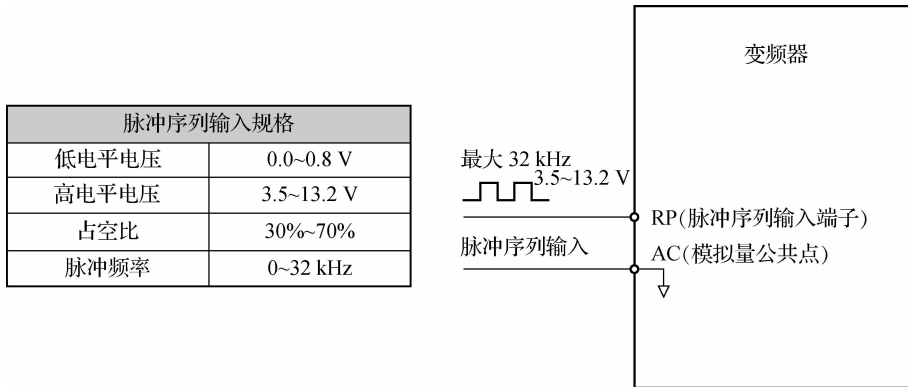


图 4-22 脉冲给定方式

#### 5. 通信给定

通信给定方式是指上位机通过通信口按照特定的通信协议、特定的通信介质将数据传输到变频器,以改变变频器设定频率的方式。上位机一般指计算机(或工控机)、PLC、DCS、人机界面等主控制设备,如图 4-23 所示。

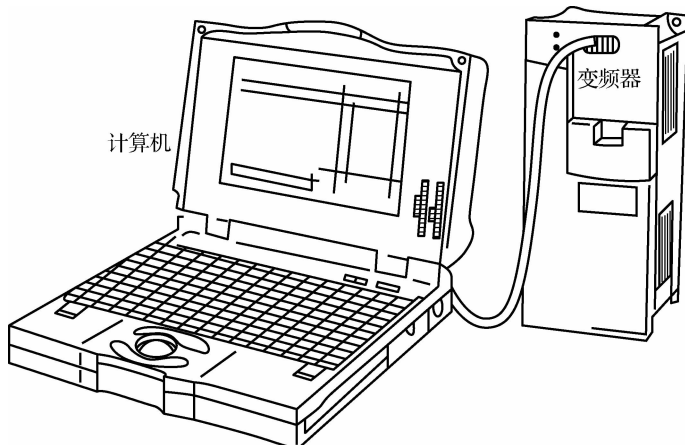


图 4-23 通信给定方式



## 二、变频器的运转指令方式

变频器的运转指令方式是指如何控制变频器的基本运行功能,这些功能包括启动、停止、正转与反转、正向点动与反向点动、复位等。与变频器的频率给定方式一样,变频器的运转指令方式也有操作器键盘控制、端子控制和通信控制三种。这些运转指令方式必须按照实际需要进行选择与设置,同时可以根据功能进行相互之间的方式切换。

### 工作任务单 4-3

项目:数控机床主传动系统的控制	
工作任务:变频器的调试与参数设置	
任务描述及记录:	
1. 描述变频器接线及面板操作步骤	
2. 记录参数的修改过程	
3. 描述用变频器调节转速的过程	
实训中遇到的问题	解决方法
总结	





## 任务四 串行主轴的设定与调整

### 任务描述

通过本任务,学习串行主轴的引导操作和串行主轴的速度设定,能够熟练调整参数,使主轴正确工作。

### 知识链接

#### 一、串行主轴的引导操作

##### 1. 引导操作的目的

进行串行主轴引导操作的目的是自动选择并生成电动机匹配参数。通过电动机匹配参数,驱动器可以根据电动机的特性确定所需要的控制与调节参数(如电压、电流、转速、PWM载频、滤波器常数等),以实现驱动器与电动机之间的最佳匹配及系统的最优控制。CNC对与驱动器实际配套的电动机型号和规格无法从总线中获取,因此必须通过电动机代码参数(PRM4133)告知 CNC,才能建立与实际电动机所对应的正确参数。

##### 2. 电动机代码

主轴电动机的代码与电动机的型号有关,应根据主轴电动机代码表查出相关型号的电动机代码,i系列主轴电动机代码参见表 4-2。

表 4-2 i 系列主轴电动机代码

型号	$\beta 3/10000i$	$\beta 6/1000i$	$\beta 8/8000i$	$\beta 12/7000i$		$\alpha 15/6000i$
代码	332	333	334	335		246
型号	$\alpha 1/6000i$	$\alpha 2/6000i$	$\alpha 3/6000i$	$\alpha 6/6000i$	$\alpha 8/6000i$	$\alpha 12/6000i$
代码	240	241	242	243	244	245
型号	$\alpha 0.5/10000i$	$\alpha 1/1000i$	$\alpha 1.5/10000i$	$\alpha 2/10000i$	$\alpha 3/10000i$	$\alpha 6/10000i$
代码	301	302	304	306	308	310
型号	$\alpha 8/8000i$	$\alpha 12/7000i$	$\alpha 15/7000i$	$\alpha 18/7000i$	$\alpha 22/7000i$	$\alpha 30/6000i$
代码	312	314	316	31S	320	322
型号	$\alpha 40/6000i$	$\alpha 50/4500i$	$\alpha 1.5/15000i$	$\alpha 2/15000i$	$\alpha 3/12000i$	$\alpha 6/12000i$
代码	323	324	305	307	309	401



续表

型号	$\alpha 8/10000i$	$\alpha 12/10000i$	$\alpha 15/10000i$	$\alpha 18/1000i$	$\alpha 22/10000i$	
代码	402	403	404	405	406	
型号	$\alpha 12/6000ip$	$\alpha 12/8000ip$	$\alpha 15/6000ip$	$\alpha 15/8000ip$	$\alpha 18/6000ip$	$\alpha 18/8000ip$
代码	407	407, N4020=8000 N4023=94	408	408, N4020=8000, N4023=94	409	409, N4020=8000, N4023=94
型号	$\alpha 22/6000ip$	$\alpha 22/8000ip$	$\alpha 30/6000ip$	$\alpha 40/6000ip$	$\alpha 50/6000ip$	$\alpha 60/6000ip$
代码	410	410, N4020=8000, N4023=94	411	412	413	414

### 3. 引导操作步骤

- (1)解除 CNC 参数的写保护。
- (2)进入系统参数界面,在参数 4133 中输入主轴电动机代码。
- (3)设定参数 4019.7=1,进行串行主轴的初始化。
- (4)断开 CNC 与主轴驱动器的电源,并重新上电起动。

## 二、串行主轴的速度控制

主轴速度控制是主轴最基本的控制功能。通过对主轴转速的控制,用户可以控制刀具的切削速度,因此无论控制系统采用何种主轴配置、何种驱动器,都必须具备主轴转速控制功能。

### 1. 参数的设定

- (1)各主轴所属通道的参数设定。

参数 0982——各主轴所属的通道号

当将该参数设定为 0 时,该主轴属于第一通道。

参数 3717——各主轴对应的放大器号

0iD 有效 0:放大器没有连接。

1:使用连接于 1 号放大器的主轴电动机。

2:使用连接于 2 号放大器的主轴电动机。

.....

$n$ :使用连接于  $n$  号放大器的主轴电动机。

- (2)所使用的主轴放大器的种类选择。

参数 3716  $\neq 0$ ——A/S

0iD 有效 0:使用模拟主轴。

1:使用串行主轴。

- (3)S 代码允许位数的设定。

参数 3031——S 代码允许位数



(4) 主轴电动机上、下限转速设定。

参数 3736——主轴电动机的上限转速(r/min)

$$\text{设定值} = \frac{\text{主轴电动机的上限速度}}{\text{主轴电动机的最高转速}} \times 4\ 095, \text{不使用该功能时设定为 } 4\ 095$$

例:额定转速为 10 000 r/min 的电动机在 8 000 r/min 以下使用时的设定

$$\frac{8\ 000}{10\ 000} \times 4\ 095 = 3\ 276$$

参数 3735——主轴电动机的下限转速(r/min)

$$\text{设定值} = \frac{\text{主轴电动机的下限速度}}{\text{主轴电动机的最高转速}} \times 4\ 095, \text{不使用该功能时设定为 } 0$$

例:额定转速为 10 000 r/min 的电动机在 100 r/min 以上使用时的设定

$$\frac{100}{10\ 000} \times 4\ 095 = 41$$

参数 3772——各主轴电动机的上限转速(r/min)

在指定了超过主轴上限转速,以及在主轴速度倍率使主轴转速超过上限转速的情况下,实际主轴转速被钳制在不超过参数中所设定的上限转速上。

## 2. 主轴转速倍率信号 SOV

如果使用 FANUC 标准机床操作面板,那么可通过倍率开关进行转速调节,调节挡位为 50%、60%、70%、80%、90%、100%、110%和 120%。当调节控制面板上的 8 位二进制主轴转速倍率开关时,CNC 将编程转速信号与主轴转速倍率开关信号输入 SOV,计算出加入倍率后的指令转速值。在攻丝循环和螺纹切削方式时,倍率信号无效。

		#7	#6	#5	#4	#3	#2	#1	#0
地址	Gn030	SOV7	SOV6	SOV5	SOV4	SOV3	SOV2	SOV1	SOV0

可对指令的主轴转速,以 1 为间隔乘以 0~254 的倍率。

### 工作任务单 4-4

项目:数控机床主传动系统的控制
工作任务:串行主轴的设定与调整
任务描述及记录:



根据实验(实训)室内的 FANUC 实际设备进行主轴参数设定,满足以下技术要求:

- (1) 主轴电动机的最高、最低钳制转速设置:最高为 5 000 r/min,最低为 50 r/min。
- (2) 根据设定过程填写下表。

主轴参数设定表

参数	设定值	意义说明	

实训中遇到的问题

解决方法

总结

### 项目四思考题

1. 变频器如何实现点动? 其点动的频率和加速时间在哪里进行设置?
2. 要实现变频器从正转快速向反转运行,应该如何设置参数? 在设置参数过程中碰到了哪些问题?
3. 变频器在调试过程中,输入短路和输出短路各会造成什么影响?
4. 调节变频器的输出频率有哪些常用的方式? 请举例说明。
5. 在变频器运行中,哪些参数可以改,哪些参数不能改? 为什么?
6. 变频器的组合操作模式有哪些? 请画出具体线路图和参数设置表。