

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

# 摘 要

随着现代控制理论的应用,微处理器和微电子技术的发展,使变频调速控制系统日趋成熟。而桥式起重机作为物料搬运系统中一种典型设备,在企业生产活动中应用广泛作用显著,故对于提高其运行效率,确保运行安全,降低物料搬运成本是十分重要。传统的桥式起重控制系统主要采用继电器接触器进行控制,采用交流绕线串电阻的方法进行启动和调速,这种控制系统存在可靠性差,故障率高,电能浪费大,效率低等缺点。因此根据桥式起重机的运行特点,将可编程序控制器与变频器结合应用于桥式起重机控制系统,其中 PLC 系统则采用 SIEMENS 公司产品,大大提高了操作精度和稳定度;综合保护功能完善,便于及时发现、查找、处理故障;并且节约了能源。

关键词:可编程序控制器;桥式起重机;变频调速;变频器

## 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 摘 要.....                          | I  |
| 第一章 绪 论.....                      | 1  |
| 1.1 桥式起重机简介.....                  | 1  |
| 1.2 本课题设计的意义、主要内容及基本参数.....       | 1  |
| 第二章 矢量控制变频调速.....                 | 4  |
| 2.1 变频调速的基本原理.....                |    |
| 2.2 变频器的基本结构和功能.....              |    |
| 2.2.1 变频器的主电路.....                |    |
| 2.2.2 变频器的控制电路构成.....             |    |
| 2.3 变频调速的控制方式—矢量控制方式.....         | 7  |
| 2.3.1 矢量控制的基本思想.....              | 7  |
| 2.3.2 矢量变换规律.....                 | 8  |
| 2.3.3 矢量变换下异步电动机的数学模型.....        | 11 |
| 2.4 矢量变换控制方程.....                 | 12 |
| 第三章 桥式起重机变频控制系统的硬件设计.....         | 13 |
| 3.1 总体设计方法.....                   | 13 |
| 3.2 PLC 技术简介.....                 | 15 |
| 3.2.1 PLC 概述.....                 | 15 |
| 3.2.2 Siemens S7-200 结构及工作原理..... | 15 |
| 3.3 部件的选择.....                    | 16 |
| 3.3.1 电机的选用.....                  | 16 |
| 3.3.2 变频器的选用.....                 | 18 |
| 3.3.3 PLC 的选用.....                | 21 |
| 3.3.4 常用辅件的选择.....                | 22 |
| 3.4 起重机变频调速系统设计.....              | 23 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 3.4.1 系统控制的要求 .....              | 23 |
| 3.4.2 控制系统的 I/O 点及地址分配 .....     | 24 |
| 第四章 桥式起重机变频调速系统软件设计 .....        | 28 |
| 4.1 S7-200PLC 网络的通信协议 .....      | 28 |
| 4.1.1 S7-200PLC 网络的通信协议的种类 ..... | 28 |
| 4.1.2 本系统通信协议的选择 .....           | 28 |
| 4.2 PLC 程序设计 .....               | 30 |
| 4.2.1 PLC 编程软件概述 .....           | 30 |
| 4.2.2 程序设计 .....                 | 30 |
| 4.3 系统抗干扰措施 .....                | 37 |
| 第五章 结束语 .....                    | 38 |
| 致 谢 .....                        | 39 |
| 参考文献 .....                       | 40 |

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球



# 第一章 绪论

## 1.1 桥式起重机简介

桥式起重机在冶金企业及其它行业有着广泛的应用,其作用主要用来实现物体的升降和转运,桥式起重机工作环境恶劣,工作任务重。它能否正常工作直接影响到生产效率提高和工作任务的完成,甚至关系到人身、设备的安全。经过几十年的发展,我国桥式起重机制造厂和使用部门在设计、制造工艺、设备使用维修、管理方面,不断积累经验,不断改造,推动了桥式起重机的技术进步。但在实际使用中,结构开裂仍时有发生。究其原因原因是频繁的超负荷作业及过大的机械振动冲击所引起的机械疲劳。因此,除了机械上改进设计外,改善交流电气传动,减少起制动冲击,也是一个很重要的方面。

传统的起重机驱动方案一般采用:(1)直接起动电动机;(2)改变电动机极对数调速;(3)转子串电阻调速;(4)涡流制动器调速;(5)可控硅串级调速;(6)直流调速。前四种方案均属有级调速,调速范围小,无法高速运行,只能在额定速度以下调速;起动电流大,对电网冲击大;常在额定速度下进行机械制动,对起重机的机构冲击大,制动闸瓦磨损严重;功率因数低,在空载或轻载时低于 0.2-0.4,即使满载也低于 0.75,线路损耗大。目前串级调速产品的控制技术仍停留在模拟阶段,尚未实现控制系统具有很好的调速性能和起制动性能,很好的保护功能及系统监控功能,所以有时采用直流电动机,而直流电动机制造工艺复杂,使用维护要求高,故障率高。

我们所研究的桥式起重机是电动双梁桥式起重机,该起重机由起重小车、桥架金属结构、桥架运行机构以及电气控制设备等四个部分组成。机构主要指主起升机构、副起升机构、小车运行机构、大车运行机构。在电气控制系统中,其供电一般是通过电缆卷筒将电源输送到中心电器上,起重机机为低压供电系统,电气控制部分集中在操作室和电气房内,安全保护装置装在在适当的位置上。

## 1.2 本课题设计的意义、主要内容及基本参数

传统桥式起重机的控制系统主要采用交流绕线转子串电阻的方法进行启动和调速,继电一接触器控制,这种控制系统的主要缺点有:

1. 桥式起重机工作环境差,工作任务重,电动机以及所串电阻烧损和断裂故障时有发生。
2. 继电一接触器控制系统可靠性差,操作复杂,故障率高。
3. 转子串电阻调速,机械特性软,负载变化时转速也变化,调速不理想。所串电阻长期发热,电能浪费大,效率低。

要从根本上解决这些问题,只有彻底改变传统的控制方式。其中,具有代表性的交流变频调速装置和可编程控制器获得了广泛的应用,为 PLC 控制的变频调速技术在桥式起重机系统提供了有利条

件。变频调速以其可靠性好,高品质的调速性能、节能效益显著的特性在起重运输机械行业中具有广泛的发展前景。

本论文研究了变频调速技术在 20/5t \* 19.5m 通用桥式起重机中的应用,并且根据原有的控制结构,结合组态软件和 PLC 技术,提出了一个改进的系统控制结构,并且采用此体系结构实现了桥式起重机变频调速系统。

本课题桥式起重机基本参数:

该机的起重量为 20/5 吨,其跨度(L)为 19.5m 小车起升速度为 15m/min, 大车起升速度为 7.5m/min. 小车运行速度为 45m/min, 大车运行速度为 75m/min。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

## 第二章 矢量控制变频调速

### 2.1 变频调速的基本原理

$$\text{异步电机的转速公式为: } n = \frac{60f}{p} (1-s) \quad (2.1)$$

其中:  $n$ —异步电动机的转速, 单位为 r/min;

$f$ —定子的电源频率, 单位为 Hz;

$s$ —电机的转速滑差率;

$p$ —电机的极对数。

由上式(2.1)可知, 如果改变输入电机的电源频率  $f$ , 则可相应改变电机的输出转速。

在电动机调速时, 一个重要的因素是希望保持每极磁通  $\phi_m$  为额定值不变。磁通太弱, 没有充分利用电机的磁心, 是一种浪费; 若要增大磁通, 又会使磁通饱和, 从而导致过大的励磁电流, 严重时会因为绕组过热而损坏电机。对于直流电机来说, 励磁系统是独立的, 所以只要对电枢反应的补偿合适, 保持  $\phi_m$  不变是很容易做到的。在交流异步电机中, 磁通是定子和转子合成产生的。

三相异步电动机每相电动势的有效值是:

$$E_g = 4.44 f_1 N_1 k_{N1} \phi_m \quad (2.2)$$

式中:  $E_g$ —气隙磁通在定子每相中感应电动势有效值, 单位为 V;

$f_1$ —定子频率, 单位为 Hz;

$N_1$ —定子每线绕组串联匝数;

$k_{N1}$ —基波绕组系数;

$\phi_m$ —每极气隙磁通量, 单位为 Wb;

由公式可知, 只要控制好  $E_g$  和  $f_1$  便可以控制磁通  $\phi_m$  不变, 需要考虑基频(额定频率)

以下和基频以上两种情况;

#### 1. 基频以下调速

即采用恒定的电动势。由上式可知, 要保持  $\phi_m$  不变, 单频率  $f_1$  从额定值  $f_{in}$  向下调节时, 必须同

时降低  $E_g$  然而绕组中的感应电动势是难以控制的, 但电动势较高时, 可以忽略电子绕组的漏磁阻抗压降, 而认为定子相电压  $U_1 \approx E$ , 则得  $U_1 / f_1 = \text{常值}$ 。低频时,  $U_1$  和  $E_g$  读数较小, 定子阻抗压降所占的份量都比较显著, 不能在忽略。这时, 可以人为的把电压  $U$  抬高一些, 以便近似的不补偿定子压降。

带定子压降补偿的恒功率比控制特性为 b 线 ( $b = \frac{E_g}{f_1}$ ), 无补偿的为 a 线 ( $a = \frac{U_1}{f_1}$ )。如图 2.1 所示:

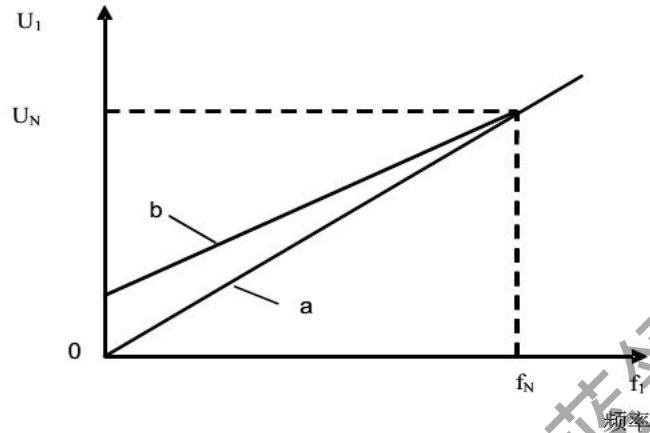


图 2.1 恒压频比控制特性

## 2. 基频以上调速

在基频以上调速时, 频率  $f$  可以从往上增高, 但电压  $u$  磁通与频率成反比的降低, 相当于与直流电机弱磁升速的情况。

把基频以下和基频以上两种情况合起来, 可得到异步电动机的变频调速控制特性, 如图 2.2。如果电动机在不同的转速下都具有额定电流, 则电动机都能在温升容许的条件下长期运行, 这时转矩基本上随磁通变化。在基频以下, 属于“恒转矩调速”的调速, 而在基频以上基本上属于“恒功率调速”。

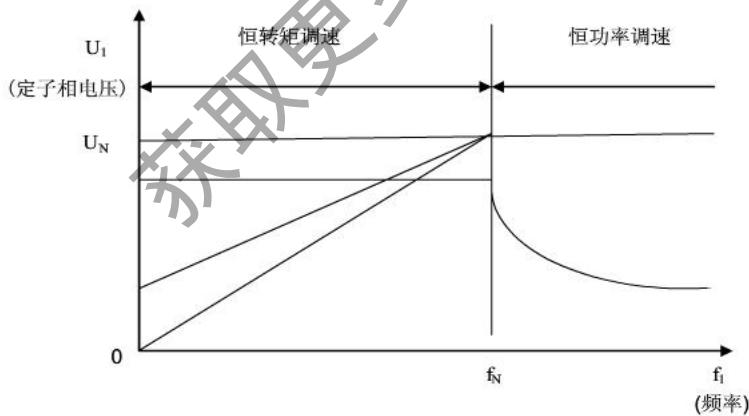


图 2.2 异步电动机变频调速控制特性

## 2.2 变频器的基本结构和功能

变频器的基本结构见图 2.3

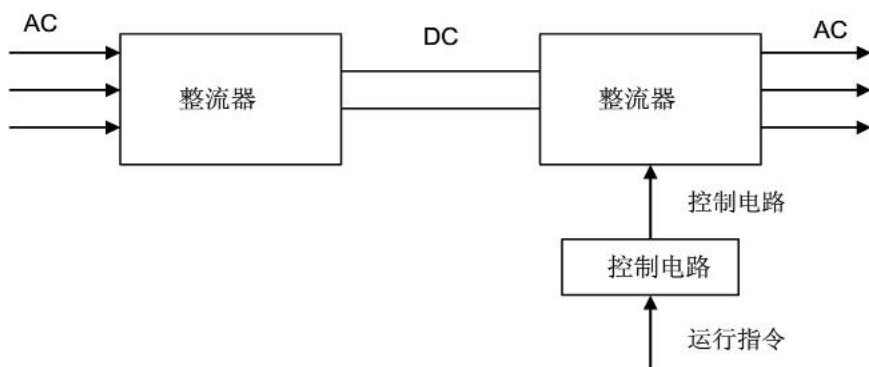


图 2.3 变频器的结构图

变频器的功能是为电动机提供可变频率的电源,实现电动机的无极调速。变频器具备对电机和变频器本身的完善保护功能,如过热、过载、过流、过压、缺相、接地等,从而避免在不正常状态下长时间运行,保护设备不至于损坏。

### 2.2.1 变频器的主电路

#### 电力电子开关器件

电力半导体器件已经历了以晶闸管为代表的分立器件,以可关断晶闸管(GTO),巨型晶体管(GTR),功率 MOSFET、绝缘栅双极晶体管(IGBT)为代表的功率集成器件(PID),以智能化功率集成电路(SPIC),高压功率集成电路(HVIC)为代表的功率集成电路(PIC)等三个发展时期。从晶闸管发展到 PID, PIC 通过门极或栅极控制脉冲可实现器件导通与关断的全控器件。在器件的控制模式上,从电流型控制模式及发展到电压型控制模式,不仅大大降低了门极(栅极)的控制功率,而且大大提高了器件导通与关断的转换速度,从而使器件的工作频率不断提高。在器件结构上,从分立器件发展到由分立器件组合成功率变换电路的初级模块,继而将功率变换电路与触发控制电路、缓冲电路、检测电路等组合在一起的复杂模块。

#### 整流电路

一般的三相变频器的整流电路由三相全波整流桥组成。它的主要作用是对工频的外部电源进行整流,并给逆变电路和控制电路提供所需要的直流电源。整流电路按其控制方式,可以是直流电压源,也可以是直流电流源。

#### 逆变电路

逆变电路是利用六个半导体开关器件组成的三相桥式逆变电路,有规律的控制逆变器中的主开关

元器件的通与断,得到任意频率的三相交流电输出。它的主要作用是在控制电路的控制下,将平滑电路输出的直流电源转换为频率和电压都任意可调的交流电源。逆变电路的输出就是变频器的输出,它被用来实现对异步电动机的调速控制。

## 2.2.2 变频器的控制电路构成

包括主控制电路、信号检测电路、门极驱动电路、外部接口电路以及保护电路等几个部分,是变频器的核心部分。控制电路的优劣决定了变频器性能的优劣。控制电路的主要作用是完成对逆变器开关控制、对整流器的电压控制以及完成各种保护功能。

随着电力半导体器件和微型计算机控制技术的迅速发展,促进了电力变频技术新的突破性发展,70年代后期发展起来的脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)技术成了现在最常用的变频器功率开关器件的控制策略。SPWM(Sinusoidal PWM)则是较为常用的技术。其通常是采用调制的方法,即把正弦波作为调制信号,把接受调制的信号作为载波,通过对载波的调制即可得到SPWM波形。通常采用等腰三角波作为载波,因为等腰三角波上下宽度与高度线性关系,且左右对称,当它与正弦波调制信号相交时,如在交点时刻控制电路中开关器件的通断,就可以得到宽度正比于正弦波幅值的脉冲,这正好符合SPWM控制的要求。三角载波的频率 $f_c$ 和正弦调制波的频率 $f_r$ 之比即 $f_c / f_r = N_c$ 称为载波比。用生成的SPWM波控制逆变器开关器件的通断,可得到等幅且脉冲宽度按正弦规律变化的矩形脉冲列输出电压。正弦调制波的频率 $f_r$ 即是逆变器的输出频率 $f_1$ 改变 $f_r$ ,便可改变 $f_1$ 三角载波的幅值为恒定,因而改变正弦调制波的幅值就改变了矩形脉冲的面积,由此实现输出电压幅值的改变。

## 2.3 变频调速的控制方式—矢量控制方式

### 2.3.1 矢量控制的基本思想

矢量控制的基本思想是:将异步电动机的物理模型等效变换成类似直流电动机的模型,再仿照直流电动机去控制它,等效的原则是在不同坐标中产生的磁动势相同。

由电动机原理可知,异步电动机三相定子绕组电流在空间产生一个角速度为 $\omega_1$ 的旋转磁场。若有两个互相垂直的M绕组和T绕组与旋转磁场同步旋转,绕组中分别通以直流电流 $i_M$ 和 $i_T$ ,产生的磁动势可以与三相合成磁动势等效且两个磁动势有相同的幅值、转速和方向。又令M绕组的轴线与三相合成旋转磁场方向平行,则 $i_M$ 相当于电动机的励磁电流分量 $i_T$ ,相当于电动机的转矩电流分量,调节 $i_M$ 的大小可以在磁场一定时改变转矩。由这样绕组组成的电动机其控制原理与直流电动机控制原理相同。

在实际的等效变换中,先将异步电动机在三相静止坐标系下的定子电流 $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$ 通过三相/两

相变换, 等效变换, 等效为两相静止坐标系下的交流电流  $i_\alpha$ 、 $i_\beta$  再通过磁场定向的旋转变换, 等效为同步旋转坐标系下的直流电流  $i_M$ 、 $i_T$ 。等效的电动机绕组模型如图 2.4 所示。

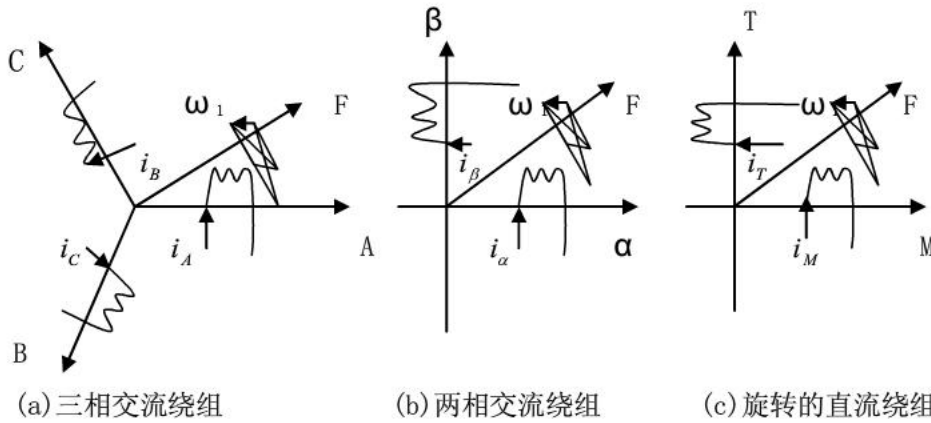


图 2.4 等效的交流电机绕组和直流电机绕组物理模型

通过控制  $i_M$ 、 $i_T$  大小也就是电流矢量  $i$  的幅值和去向去等效的控制三相电流  $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$  瞬时值, 从而调节电动机的磁场与转矩达到调速的目的。

### 2.3.2 矢量变换规律

如上所示, 通过坐标系的变换, 可以得到交流三相绕组的等效绕组, 现在的问题是如何求出  $i_A$ 、 $i_B$ 、 $i_C$  与和  $i_M$ 、 $i_T$  之间的准确等效关系, 也就是按等效原则进行坐标变换, 而且要求这些变换都必须是可逆的。坐标变换电路通常有三类: 即三相/两相变换, 直角坐标/极坐标变换和同步旋转坐标/静止两相左标变换。

#### 2.3.2.1 三相/两相变换 ((3/2) 变换)

A, B, C 三相坐标是以电动机定子三相绕组轴线为轴的静止平面坐标系, 现设置一个  $\alpha \sim \beta$  两相坐标系中的交流分量。为了保证三相电动机变换成两相电动机后所产生的磁势不变, 需要考虑这两种坐标变换的折算因子  $2/3$ 。根据图 2.2,

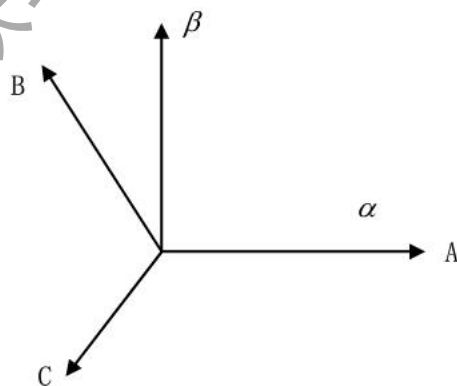


图 2.5 三相/两相坐标变换



以电流的变换为何可以得出如式 (2.3) 的变换矩阵表达式。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} &= \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos 0^\circ & \cos(-120^\circ) & \cos(120^\circ) \\ -\sin 0^\circ & -\sin(-120^\circ) & -\sin(120^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \\ &= \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.3)$$

应用坐标变换方法可求得式 (2.3) 的逆变换，即两相/三相坐标变换表达式。

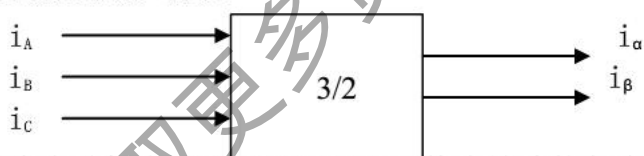
$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

对于三相星型不带零线的接法，有  $i_C = i_A \sim i_B$  则上面两式简化为，

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{2}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

三相/两相变换符号为，



对于异步电动机电压和磁通的坐标变换表达式均与电流的变换式相同。

### 2.3.2.2 静止坐标与旋转坐标变换 (VR 变换)

两相的  $\alpha \sim \beta$  静止直角坐标系和同步旋转直角坐标系轴系之间的变换属于同步旋转变换，如图

2.6 所示  $\alpha \sim \beta$  是一个静止的直角坐标系，而 M-T 则是一

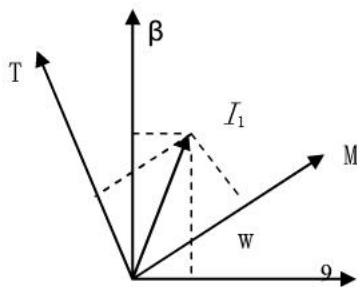


图 2.6

个同步角速度 $\omega$ 旋转的直角坐标系。设 M 轴与 $\alpha$  轴之间的夹角为 $\varphi$ ，则 $\alpha \sim \beta$  坐标系上的分量和坐标系上的分量之间的变换关系如下；

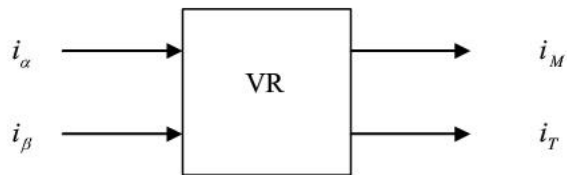
$$\begin{bmatrix} i_M \\ i_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_M \\ i_T \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

式中 $\varphi$  为 $\alpha$  轴的夹角，

$$\varphi = \int \omega_1 dt \quad (2.9)$$

同步旋转变换符号为：



注意：对于异步电动机在两相静止坐标系中的分量 $i_\alpha$ 、 $i_\beta$  是随时间变化的交流量，而经过同步旋转变换到 M-T 坐标系后得到的分量 $i_M$  和 $i_T$  则是直流量。

### 2.3.2.3 直角坐标与极坐标变换(K/P 变换)

在矢量变换控制系统中，有时需要将直角坐标变换成极坐标，用参量的幅值及相位来表示矢量。例如由 $i_\alpha$  和 $i_\beta$  几求出 $I_1$  和 $\theta$  就属于 K/P 变换。众所周知，直角坐标与极坐标的变换关系为：

$$I_1 = \sqrt{i_\alpha^2 + i_\beta^2} \quad (2.10) \quad \theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{i_\beta}{i_\alpha}$$

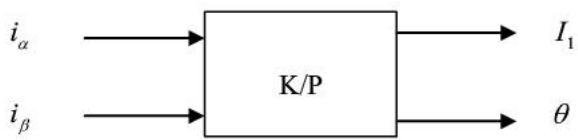
(2.11)

由于 $\theta$  取不同值时， $\operatorname{tg} \theta$  的变换的变化范围是 $0 \sim \infty$ ，这个变化幅度太大，在实际电路中难以实现，因此在实际电路中，电流的相位角 $\theta$  通常采用其正弦值和余弦值来表示

$$\cos \theta = \frac{i_\alpha}{i_1} \quad (2.12)$$

$$\sin \theta = \frac{i_\beta}{i_1} \quad (2.13)$$

直角/极坐标变换符号为：



### 2.3.3 矢量变换下异步电动机的数学模型

#### 2.3.3.1 原型电机的电压方程

异步电动机的数学模型是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统。因此常作以下假设:忽略空间谐波;忽略磁路饱和,各绕组的自感和互感是恒定的;忽略铁芯损耗;不考虑频率和温度变化对电阻的影响。

在上述假设下,通过坐标变换的方法,就可以建立交流电动机的电路数学模型。

依据电机的双轴理论,定子有两个集中绕组,DD为直轴绕组;QQ为交轴绕组。转子上有分布绕组,dd为直流绕组;qq为交轴绕组。这四个绕组上分别加上电源电压 $U_D$ 、 $U_Q$ 、 $U_d$ 、 $U_q$ ,则原型电机的电压方程为:

$$\begin{bmatrix} u_D \\ u_Q \\ u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_D + PL_{DD} & 0 & PL_{Dd} & 0 \\ 0 & R_Q + PL_{QQ} & 0 & PL_{Qq} \\ PL_{Dd} & \omega L_{Qq} & R_d + PL_{dd} & \omega L_{dq} \\ -\omega L_{Dd} & PL_{Qq} & -\omega L_{dd} & R_q + PL_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_D \\ i_Q \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

#### 2.3.3.2 坐标变换后的异步电动机数学模型

由上可知,等效到 $\alpha$ 、 $\beta$ 坐标系上的异步电动机和原型电机结构完全一致,因此原型电机的电压方程也适用于两相异步电动机。两种电机的参数有如下对应关系:

$$\begin{aligned} R_D = R_Q = r_1 & & R_d = R_q = r_2' \\ L_{DD} = L_{QQ} = L_1 & & L_{Dd} = L_{Qq} = L_M & & L_{dd} = L_{qq} = L_2' \end{aligned}$$

其中 $r_1$ 、 $L_1$ 为定子绕组电阻和电感; $r_2'$ 、 $L_2'$ 为转子绕组电阻和电感的折和值; $L_M$ 为互感。由于转子绕组是短路的,所以“ $u_{\alpha 2}$ 、 $u_{\beta 2}$ 均为零。这样,对照原型电机的电压矩阵方程式(2.12)即可得到异步电动机变换到 $\alpha$ 、 $\beta$ 轴的电压方程式(2.16)

$$\begin{bmatrix} u_{\alpha 1} \\ u_{\beta 1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + PL_1 & 0 & PL_M & 0 \\ 0 & r_1 + PL_1 & 0 & PL_M \\ PL_M & \omega L_M & r_2' + PL_2' & \omega L_2' \\ -\omega L_M & PL_M & -\omega L_2' & r_2' + PL_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha 1} \\ i_{\beta 1} \\ i_{\alpha 2} \\ i_{\beta 2} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

接着可得到异步电动机变换到M-T轴上的电压方程式(2.17)。

$$\begin{bmatrix} u_{M1} \\ u_{T1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + PL_1 & -\omega_0 L_1 & PL_M & -\omega_0 L_M \\ \omega_0 L_1 & r_1 + PL_1 & \omega_0 L_M & PL_M \\ PL_M & -\omega_3 L_M & r_2' + PL_2' & -\omega_3 L_2' \\ \omega_3 L_M & PL_M & \omega_3 L_2' & r_2' + PL_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{M1} \\ i_{T1} \\ i_{M2} \\ i_T \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

为了进一步简化方程式(2.15),可选择M轴与电机转子磁链 $\psi_2$ 的方向重合,T轴逆时针转 $90^\circ$ ,与 $\psi_2$ 垂直。通过这种设定,就得到转子磁通定向的异步电动机电压方程式(2.18),也就是矢量控制所依据的异步电动机数学模型。

$$\begin{bmatrix} u_{M1} \\ u_{T1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 + PL_1 & -\omega_0 L_1 & PL_M & -\omega_0 L_M \\ \omega_0 L_1 & r_1 + PL_1 & \omega_0 L_M & PL_M \\ PL_M & 0 & r_2' + PL_2' & 0 \\ \omega_3 L_M & 0 & \omega_3 L_2' & r_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{M1} \\ i_{T1} \\ i_{M2} \\ i_T \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

## 2.4 矢量变换控制方程

在矢量控制中,被控制的物理量是定子电流,因此必须从数学模型中找到定子电流各分量与其它物理量的关系。

由式(2.18)矩阵的第三行得

$$0 = PL_M i_{M1} + (r_2' + PL_2') i_{M2} = r_2' i_{M2} + (PL_M i_{M1} + PL_2' i_{M2}) \quad (2.19)$$

上式括号部分:

$$PL_M i_{M1} + PL_2' i_{M2} = P \varphi_{M2} \quad (2.20)$$

所以有

$$0 = r_2' i_{M2} + P \varphi_{M2}$$

$$i_{M2} = -P \varphi_{M2} / r_2' \quad (2.21)$$

将式(2.21)代入式(2.20)的方程中,可解得 $i_{M1}$ ,即

$$\varphi_{M2} = L_M i_{M1} + L_2' i_{M2} = L_M i_{M1} - L_2' \frac{P \varphi_{M2}}{r_2'} \quad (2.22)$$

$$i_{M1} = \frac{(1 + PL_2' / r_2') \varphi_{M2}}{L_M} = \frac{1 + T_2 P}{L_M} \varphi_{M2} \quad (2.23)$$

式中, $T_2 = L_2' / r_2' = L_2 / r_2$ 为转子回路时间常数。而

$$\varphi_{M2} = \varphi_2 \quad (2.24)$$

$$\therefore i_{M1} = \frac{1+T_2P}{L_M} \varphi_2 \quad (2.25)$$

再从式(2.18)第四行得

$$\begin{aligned} 0 &= \omega_3 L_M i_{M1} + \omega_3 L_2 i_{M2} + r_2 i_{T2} \\ &= \omega_3 (L_M i_{M1} + L_2 i_{M2}) + r_2 i_{T2} \\ &= \omega_3 \varphi_2 + r_2 i_{T2} \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$\therefore i_{T2} = -\frac{\omega_3 \varphi_2}{r_2'} \quad (2.27)$$

又因为  $L_M i_{T1} + L_2 i_{T2} = 0$ ，则将式(2.27)代入得

$$i_{T2} = -\frac{L_2 \varphi}{L_M} i_{T1} = \frac{\omega_3 T_2}{L_M} \varphi_2 \quad (2.28)$$

由此可得式(2.25)和式(2.28)为矢量变换控制所用得方程式，并画出矢量变换的控制结构如图2.7所示：

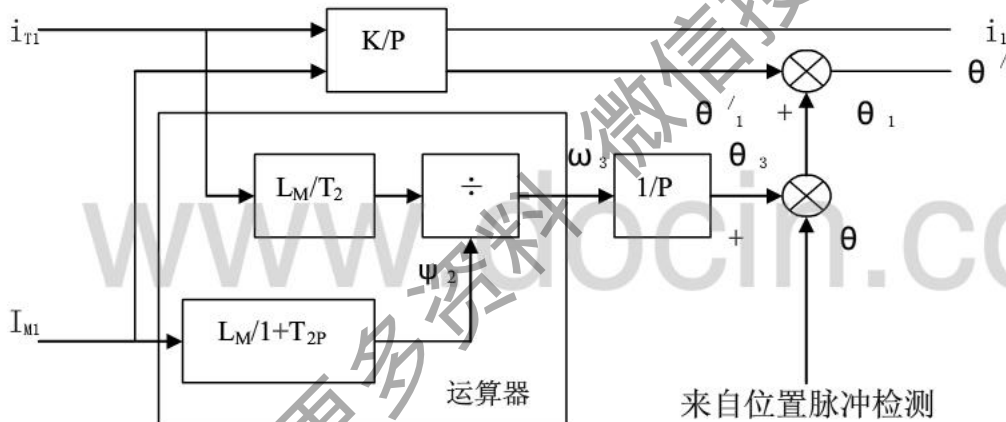


图 2.7 矢量变换控制的结构图

### 第三章 桥式起重机变频控制系统的硬件设计

#### 3.1 总体设计方法

控制系统由 PLC 控制，四大机构调速均采用变频调速。桥式起重机变频调速系统主要由上位机（工业触摸屏系统）、下位机（PLC 控制系统）、变频调速系统组成。系统结构图如图 1

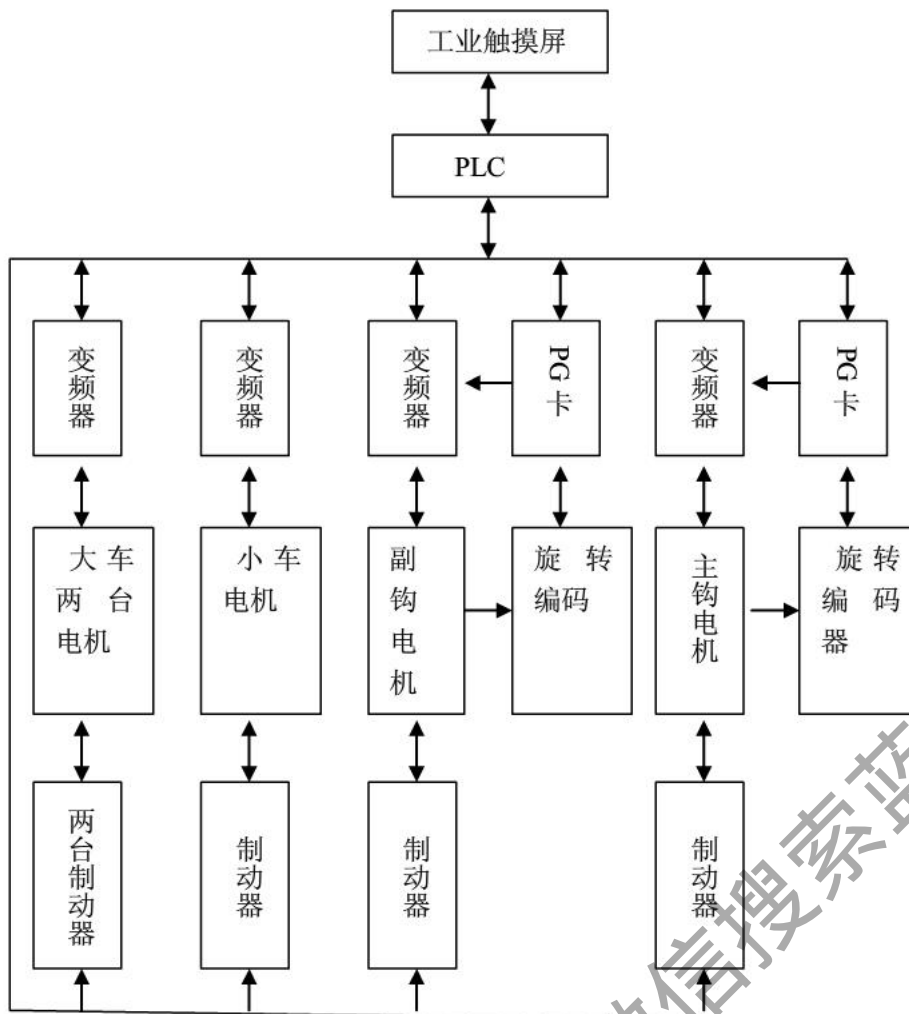


图 3.1 控制系统结构图

下面分别对各主要机构调速控制进行说明。

### 1、起升机构

起升机构属位能负载机构。主起升和副起升两台电机各使用一个变频器。变频器的选择，应以选择变频器的额定电流为基准，一般以电动机的额定电流，负载率，变频器运行的效率为依据。

控制方式选用带 PG 的矢量控制方式。PLC 接受电机的旋转编码器经数模转换卡送达的反馈信号，避免吊钩的下滑。

### 2、运行机构

大车运行机构中两台电机用一个变频器；考虑到运行机构的工作频率较少，为节省成本，在调速中运行机构共用一台变频器。变频器的选择，一般以电动机的额定功率作为选择的依据。通常选额定功率大一级的变频器。

控制方式选用无 PG v/f 的变频控制方式。

## 3.2 PLC 技术简介

### 3.2.1 PLC 概述

可编程程序控制器(Programmable Controller), 也称为 PLC(programmable Logic controller), 即是可编程逻辑控制器。其采用计算机结构, 主要包括 CPU, 存储器、输入、输出接口及模块、通讯接口及模块、编程器和电源六个部分。如图 4.1 所示, PLC 内部采用总线结构, 进行数据和指令的传输。外部的各种开关信号、模拟信号、传感器检测的各种信号均作为 PLC 的输入变量, 他们经 PLC 外部输入端子输入到内部寄存器, 经 PLC 内部逻辑运算或其他各种运算处理后送到输出端子, 作为 PLC 的输出变量, 对现场设备进行各种控制。

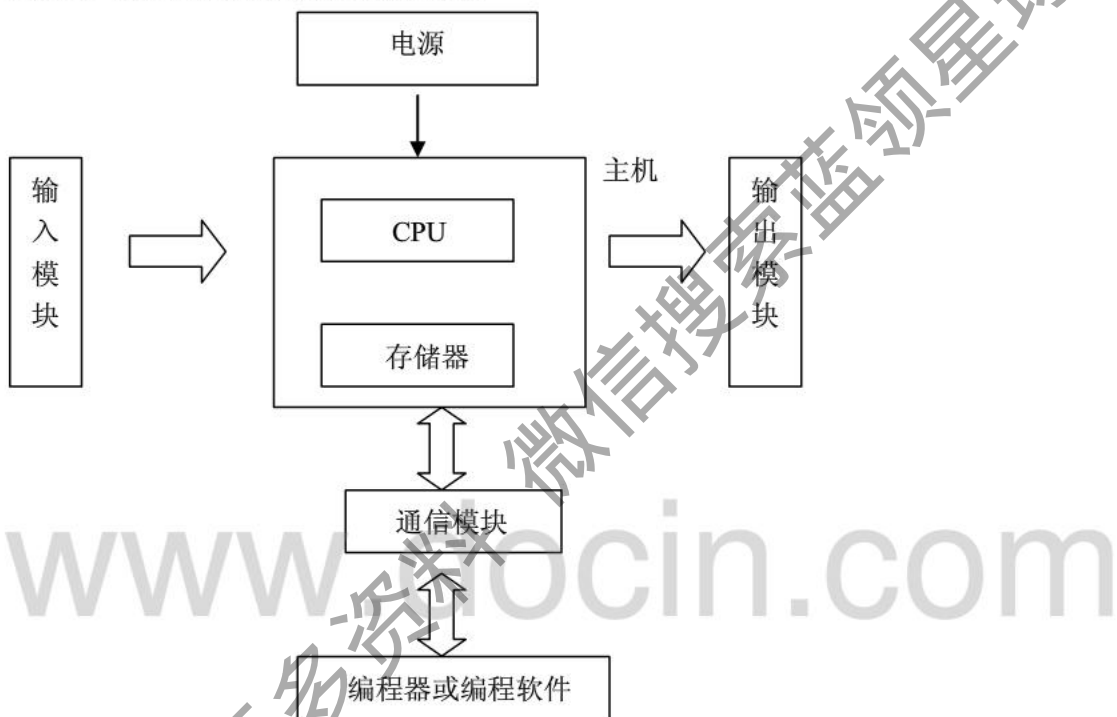


图 3.2 可编程控制器基本结构示意图

### 3.2.2 Siemens S7-200 结构及工作原理

#### (1) S7-200 系列 PLC 介绍

S7-200 系列 PLC 功能强、速度快、具有模块化、具有极高的可靠性、极丰富的指令集、实时特性、良好的通信能力等。

它的强大功能使其无论是在独立运行中, 或相连成网络都能实现复杂控制功能。可以根据对象的不同, 选用不同的型号和不同数量的模块。并可以将这些模块安装在同一机架上。

#### (2) Siemens S7-200 主要功能模块介绍

## 1. CPU 模块

S7-200 的 CPU 模块包括一个中央处理单元、电源以及数字 I/O 点, 这些都被集成在一个紧凑、独立的设备中。CPU 负责执行程序, 输入部分从现场设备中采集信号, 输出部分则输出控制信号, 驱动外部负载。从 CPU 模块的功能来看, CPU 模块为 CPU222。这里介绍 CPU222。

CPU222 它有 8 输入/6 输出, I/O 共计 14 点。和 CPU 221 相比, 它可以进行一定的模拟量控制和 2 个模块的扩展, 因此是应用更广泛的全功能控制器。

## 2. I/O 扩展模块

当 CPU 的 I/O 点数不够用或需要进行特殊功能的控制时, 就要进行 I/O 扩展, I/O 扩展包括 I/O 点数的扩展和功能模块的扩展。典型的数字量 I/O 扩展模块有: 输入扩展模块 EM221, 有两种: 8 种 DC, 8 点 AC 输入; 输出扩展模块 EM222 有三种: 8 点 DC 晶体管输出, 8 点 AC 输出、8 点继电器输出。输入/输出混合扩展模块 EM232 有六种: 分别为 4 点(8 点、16 点)DC 输入/4 点(8 点、16 点)DC 输出、4 点(8 点、16 点)DC 输入/4 点(8 点、16 点)继电器输出。

## 3. 功能扩展模块

当需要完成某些特殊功能的控制任务时, CPU 主机可以扩展特殊功能模块。如要求进行 PROFIBUS-DP 现场总线连接时, 就需要 EM277 PROFIBUS-DP 模块, 在这里主要介绍模拟量输出模块 EM232。

EM232 模块提供了有 2 输出模拟量通道, 具有 12 位的分辨率, 且具有多输入, 输出信号范围。其内部集成了 D/A 转换器、放大器等多种功能的电路, 可用于复杂的控制场合。它能够不用外部放大器而与传感器直接相连, 可根据输出模拟量的大小, 通过其外置的 DIP 开关选择不同的档位及分辨率, 且模拟量的输出可作为测量传感器的恒流源使用。

Siemens S7-200 PLC 的工作原理:

各种 PLC 具体工作原理大同小异都采用扫描工作方式。Siemens S7 - 200PLC 的工作过程: PLC 上电后, 首先进行初始化, 然后进入循环工作过程。一次循环过程可归纳为公共处理、程序执行、扫描周期计算处理、I/O 刷新和外设端口服务五个工作阶段, 一次循环所用的时间称为一个工作周期(或扫描周期), 其长短与用户程序的长短以及 PLC 机本身性能有关, 其数据级 ms 级, 典型值为几十 ms。

## 3.3 部件的选择

### 3.3.1 电机的选用

#### 一、变频调速对电机的要求

采用变频调速时, 由于变频器输出波形中高次谐波的影响以及电机转速范围的扩大产生了一些



与在工频电源下传动时不同的特征。主要反映在功率因数、效率、输出力矩、电机温升、噪音及振动等方面。随着高开关频率的 IGBT 等电力电子器件的使用、PWM 调制、矢量控制、增强型 V/f 控制方法的应用、使变频器输出波形、谐波成份、功率因数及使用效率得到了很大的改善,有效地提高了变频控制电机的低速区转矩。同时由于变频控制软件的优化使用,使电机可以避开共振点,解决了系统在大调速区间内可能发生的共振问题。

## 二、变频起重机系统中电机的选型

起重机起升和运行机构的调速比一般不大于 1:20,且为断续工作制,通常接电持续率在 60%以下,负载多为大惯量系统。严格意义上的变频电机转动惯量较小,响应较快,可工作在比额定转速高出很多的工况条件下,这些特性均非起重机的特定要求。普通电机与变频电机在不连续工作状态下特性基本一致;在连续工作时考虑到冷却效果限制了普通电机转矩应用值,普通电机仅在连续工作时的变频驱动特性比变频电机稍差。

## 三、电机冷却

西门子变频器在调速比为 1:20 的范围内能确保起重机上普通电机有 150%的过载力矩值。电机在起动过程中可承受 2.5 倍额定电流值,远大于变频起动要求的 1.5 倍值,运行机构的电机在以额定速度运行时电机通常工作在额定功率以下,因此高频引起的 1.1 倍电流值可不予考虑。但若电机要求在整个工作周期内在大于 1:4 的速比下持续运行则必须采用他冷式电机。

## 四、电机效率

国外以 4 极电机作变频电机首选极数,因此时电机有最好的功率因数和最高的工作效率,使能耗降为最低。目前,国内用于起重机械的 4 极电机有强迫通风冷却的 YZFXX-4 型电机等。

## 五、电机起动转矩及电机运行的功率因数

起重机运行机构的转动惯量较大,为了加速电机需有较大的起动转矩,故电机容量需由负载功率  $P_f$  及加速功率  $P_a$  两部分组成。一般情况下  $P_a > P_f$ ,电机容量  $P$  为

$$P \geq (P_f + P_a) / \lambda_{ms}$$

式中  $\lambda_{ms}$  —电机平均起动转矩倍数

起重机起升机构的负荷特点是起动时间短(1-3s),只占等速运动时间的较少比例;转动惯量较少,占额定起升转矩的 10%-20%。其电机容量  $P$  为

$$P = C_p g v / (1000 \eta) \quad (\text{kw})$$

式中  $C_p$  —起重机额定提升负载, kg

$v$  —额定起升速度, m/s

$g$  —重力加速度,  $g=9.81\text{m/s}^2$

$\eta$  —机构总效率

为使电机提升 1.25 倍试验载荷,能承受电压波动的影响,其最大转矩值必须大于 2,否则必须让电机放空,从而降低电机在额定运行时的工作效率。

通过利用上述公式的计算,选用改造后的桥式起重机各执行机构的电机参数如表 3.1 所示:

表 3.1 各执行机构电机参数

|        | 电机型号       | 电机功率    |
|--------|------------|---------|
| 主起升机构  | YZR250M1-8 | 30KW    |
| 副起升机构  | YZR200L-8  | 15KW    |
| 大车运行机构 | YZR160M1-6 | 2*5.5KW |
| 小车运行机构 | YZR160L-6  | 5.5KW   |

### 3.3.2 变频器的选用

#### 一、变频器选型

本系统选用西门子变频器,西门子变频器具有较合理的价格,完整的理论计算书及辅件推荐值,有利于用户合理选用。

#### 二、变频器容量选择

##### 2.1 起升机构

起升机构平均起动转矩一般来说可为额定力矩值的 1.3-1.6 倍。考虑到电源电压波动因素及需通过 125%超载试验要求等因素,其最大转矩必须有 1.8-2 倍的负载力矩值,以确保其安全使用的要求。等额变频器仅能提供小于 150%超载力矩值,为此可通过提高变频器容量(Yz 型电机)或同时提高变频器和电机容量(Y 型电机)来获得 200%力矩值。此时变频器容量为

$$1.5P_{CN} \geq \frac{K}{\eta_M \cos \varphi} \times \frac{C_P g v}{1000 \eta} = \frac{K}{\eta_M \cos \varphi} P \quad (\text{KVA})$$

式中  $\cos \varphi$  —电机的功率因数,  $\cos \varphi = 0.25$

$P$  —起升额定负载所需功率, kw

$\eta_M$  —电机效率,  $\eta_M = 0.85$

$P_{CN}$  —变频器容量, KVA

$K$ —系数,  $K=2$

起升机构变频器容量依据负载功率计算,并考虑 2 倍的安全力矩。若用在电机额定功率选定的基础上提高一档的方法选择变频器的容量,则可能会造成不必要的放容损失。在变频器功率选定的基础上再作电流验证,公式如下:

$$I_{CN} > I_M$$

式中  $I_{CN}$ —变频器额定电流, A

$I_M$ —电机额定电流, A

## 2.2 运行机构

当运行电机在 300s 内有小于 60s 的加速时间的并且起动电流不超过变频器额定值的 1.5 倍时变频器容量可按下式计算。

$$1.5P_{CN} \geq \frac{K}{\eta_M \cos \varphi} \left\{ \frac{\frac{TN}{973} + \frac{1}{973}}{\sum \frac{GD^2 N^2}{375 t_A}} \right\} = \frac{K}{\eta_M \cos \varphi} (P_j + P_M)$$

式中  $K$ —电流波形补偿系数, PWM 方式  $K=1.05 \sim 1.1$

$T_i$ —负载转距, N.m

$\sum GD^2$ —总转动惯量对电机轴的折算值, kg.m

$t_A$ —加速时间, s

$N$ —电机额定转速, r/min

当运行电机在 300s 内电机有大于 60s 加速时间时,变频器容量按下式取值:

$$P_{CN} \geq \frac{K}{\eta_M \cos \varphi} (P_j + P_M)$$

( kVA )

电流验证:

以上公式均以负载功率作为变频器容量计算的基本参数,相同功率不同极数的电机有不同的额定电流。故最终尚需验证电机和变频器额定电流,即  $I_{CN} > I_M$

## 2.3. 多电机驱动时变频器容量的选择

电压型变频器可以一台变频器驱动多台电机,其并联运行且变频器短时过载能力为 150%、60% 时,如电机加速时间在 300s 内有小于 60s 的加速时间,则

$$1.5P_{CN} \geq \frac{KP_M}{\eta \cos \varphi} [n_T + n_s(K_s - 1)] = P_{CN} \left[ 1 + \frac{n_s}{n_T}(K_s - 1) \right]$$

$$I_{CN} \geq \frac{2}{3} n_T I_M \left[ 1 + \frac{n_s}{n_T}(K_s - 1) \right] \times 1.1$$

并要求

式中  $P_M$  — 负载所要求的电机轴输出功率

$n_T$  — 并联电机的台数

$n_s$  — 同时启动的台数

$\eta$  — 电机效率,  $\eta = 0.8$

$K_s$  — 电动启动电流与电机额定电流之比值

$k$  — 电流波形的修正系数, PWM 方式取 1.05-1.1

$P_{CN}$  — 变频器容量, KVA

$I_{CN}$  — 变频器额定电流, A

#### 2.4、电机变频驱动选择

根据起重机电机驱动的特性和技术要求, 采用带测速反馈接口的 MASTERDRIVE6SE70 系列变频器作为主、副起升机构的电机驱动, MASTERDRI Vector 6SE440 系列变频器作为大、小行车行走机构的电机驱动, 6SE440 系列是一种通用性高性能矢量控制型变频器, 功能强, 价格低, 完全满足行走机构的需求, 因此我们推荐用户选用该系列变频器。

通过利用上述公式的计算, 桥式起重机各执行机构的变频器如表 3.2 所示:

表 3.2 各机构的变频器参数

|        | 变频器型号          | 额定功率/电流     |
|--------|----------------|-------------|
| 主起升机构  | 6SE70272-ED61  | 37KW/48A    |
| 副起升机构  | 6SE70274-7ED61 | 22KW/47A    |
| 大车运行机构 | 6SE6440-2AD31  | 15KW/30A    |
| 小车运行机构 | 6SE6440-2AD25  | 5.5KW/11.6A |

#### 2.5、变频器主要参数设置

首先将所用电机铭牌数据输入 P80\_ P85, 大车变频器应输入几个电机的总电流及总功率, 并且大车变频器带有几个电机时应运行于线性频率/电压特性, 速度变化采用固定频率的迭加, 同时利用变频器的制动器接通、断开功能由 RL2 输出继电器触点控制机械制动器, 使行走机构在电机停止时不

会由于外力而随意移动。如表 3.3 所示：

表 3.3 变频器参数设置

| 参数号   | 参数值 | 说明            |
|-------|-----|---------------|
| P002  | 6   | 加减时间秒         |
| P003  | 6   | 减速时间秒         |
| P005  | 5   | 1 档速度         |
| P006  | 3   | 附加数字给定        |
| P007  | 0   | 开关量输入控制       |
| P051  | 6   | 固定频率 5 开关     |
| P052  | 6   | 固定频率 4 开关     |
| P053  | 6   | 固定频率 3 开关     |
| P054  | 10  | 故障复位          |
| P055  | 1   | 运行右转          |
| P0356 | 2   | 运行左转          |
| P046  | 5   | 固定频率 5        |
| P044  | 15  | 固定频率 4        |
| P043  | 25  | 固定频率 3        |
| P061  | 6   | 故障            |
| P062  | 4   | 外部制动控制        |
| P077  | 0   | V/f 特性(大车多电机) |
| P077  | 1   | FCC 特性(小车单电机) |

### 3.3.3 PLC 的选用

目前 PLC 使用性能较好的有 SIEMENS 公司、日本的三菱、欧姆龙、美国的 AB 公司。根据性价比的选择,根据被控对象的 I/O 点数以及工艺要求、扫描速度、自诊断功能等方面的考虑,我们采用 SIEMENS 公司的 S7-200 系列 PLC。

SIMATIC S7-200 系列是西门子公司小型可编程序控制器,可以单机运行,,由于它具有多种功能模块和人机界面(HMI)可供选择,所以系统的集成非常方便,并且可以很容易地组成 PLC 网络。同时它具有功能齐全的编程和工业控制组态软件,使得在完成控制系统的设计时更加简单,几乎可以完成任何功能的控制任务,同时具有可靠性高,运行速度快的特点,继承了和发挥了它在大、中型 PLC

领域的技术优势,有丰富的指令集,具有强大的多种集成功能和实时特性,其性能价格比高,所以在规模不太大的领域是较为理想的控制设备。

### 3.3.4 常用辅件的选择

变频器系统器件由断路器、接触器、电抗器、变频器、制动电阻及制动单元组成。

#### 1、断路器

为避开变频器投入时直流回路电容器的充电电流峰值,为此变频器配置的断路器容量应为电机额定电流的 1.3~1.4 倍,整定值为断路器额定值的 3~4 倍。

#### 2、接触器

接触器在变频器主回路中仅在变频器辅助器件或控制回路故障时起断开主回路的作用,一般不作回路开断器件用,故可按电机额定电流选用接触器容量,无须按开断次数考核其寿命。

#### 3、交流电抗器

在变频器的输入端加接交流电抗器,以抑制变频器造成的高频峰值电流,或电容器开断造成的峰值电流对变频器的危害。同时,交流电抗器的接入还可起到降低电机噪声、改善起动转矩、在电机轻载时改善电机功率因数的作用。

#### 4、制动单元

为减小大惯性系统的减速时间,解决变频器直流电路上的过电压问题。常在其直流电路中加接一检测直流电压的晶体管。一旦直流回路电压超过一定的界限,该晶体管导通,并将过剩的电能通过与之相接的制动电阻器转化为热能耗。在能量消耗的同时加速了转速的减小,该能量消耗得愈多,制动时间愈小,此装置即为变频器的制动单元。

#### 5. 制动电阻器

借助制动单元,消耗电机发电制动状态下从动能转换来的能量。

##### 5.1 电阻值的计算

$$R_{BO} = \frac{U_c^2}{1.047(T_R - 0.2T_M)n}$$

式中  $U_c$  一直流回路电压, V

$T_R$  一制动转矩, N.m

$T_M$  一电机额定转矩(在附加电阻制动的情况下,电机自损耗约为电机额定功率的 20%左右),

N.m

$n$  一电机额定转速(在附加电阻制动的情况下,电机额定转速), r/min

在制动晶体管和制动电阻构成的能耗回路中最大电流受晶体管许用电流  $I_c$  的限制, 因此在选择制动电阻值时不可小于其最小制动电阻值  $R_{\min}$ , 即

$$R_{\min} = U_c / I_c \quad (\Omega)$$

式中  $U_c$ —直流回路电压, V

$I_c$ —制动晶体管允许的最大电流, A

因此, 制动电阻应  $R_B$  按  $R_{BO} > R_B > R_{\min}$  的关系选用。

## 5.2 制动转矩 $T_B$ 的计算

$$T_B = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2)(n_1 - n_2)}{375 t_b} - T_L$$

式中  $GD_M^2$ —电机转子飞轮转矩之和, N.m

$T_L$ —负载转矩, N.m

$n_1$ —减速开始时转速, r/min

$n_2$ —减速结束时转速, r/min

$t_b$ —减速时间, S

## 6. 电缆选择

由于高次谐波的驱动效应, 电缆的实际使用面积减少, 单位实际工作电阻增大, 电缆压降有增大的趋势, 故所配电缆一般大于常规使用值。

## 3.4 起重机变频调速系统设计

### 3.4.1 系统控制的要求

对桥式起重机变频调速控制系统的基本要求

(1) 主、副机构升降速度调节;

(2) 运行机构运行速度调节;

(3) 保护功能: 主副机构上升限位、下降限位、大车限位、小车限位、主副机构及大小车电机的保护等。

控制系统应由 PLC、继电器、操纵台各主令控制器、开关、按钮、指示灯及各部位限位开关等组成。

### 3.4.2 控制系统的 I/O 点及地址分配

根据控制系统的要求,控制系统应具备的输入/输出点数,名称、代码及地址编号如表 4.1 所示。

表 4.1 控制系统参数

| 名称        | 代码    | 地址编码 |
|-----------|-------|------|
| 输入信号      |       |      |
| 起动输入点     | QA1   | I0.0 |
| 停止输入点     | TAI   | I0.1 |
| 主钩超重输入点   | CK1   | I0.2 |
| 副钩超重输入点   | CK2   | I0.3 |
| 主钩变频故障输入点 | BRL11 | I0.4 |
| 副钩变频故障输入点 | BRL21 | I0.5 |
| 小车变频故障输入点 | BRL41 | I0.6 |
| 大车变频故障输入点 | BRL31 | I0.7 |
| 大车故障输入点   | KR3   | I1.0 |
| 主钩故障输入点   | KR1   | I1.1 |
| 副钩故障输入点   | KR2   | I1.2 |
| 小车故障输入点   | KR4   | I1.3 |
| 安全开关输入点   | AK    | I1.4 |
| 主接触器应答输入点 | KM0   | I1.5 |
| 主钩起升一档输入点 |       | I2.0 |
| 主钩下降一档输入点 |       | I2.1 |
| 主钩二档输入点   |       | I2.2 |
| 主钩三档输入点   |       | I2.3 |
| 主钩四档输入点   |       | I2.4 |
| 主钩五档输入点   |       | I2.5 |
| 主钩上升限位输入点 | XK11  | I2.6 |
| 主钩下降限位输入点 | XK12  | I2.7 |
| 副钩起升一档输入点 |       | I3.0 |
| 副钩下降一档输入点 |       | I3.1 |



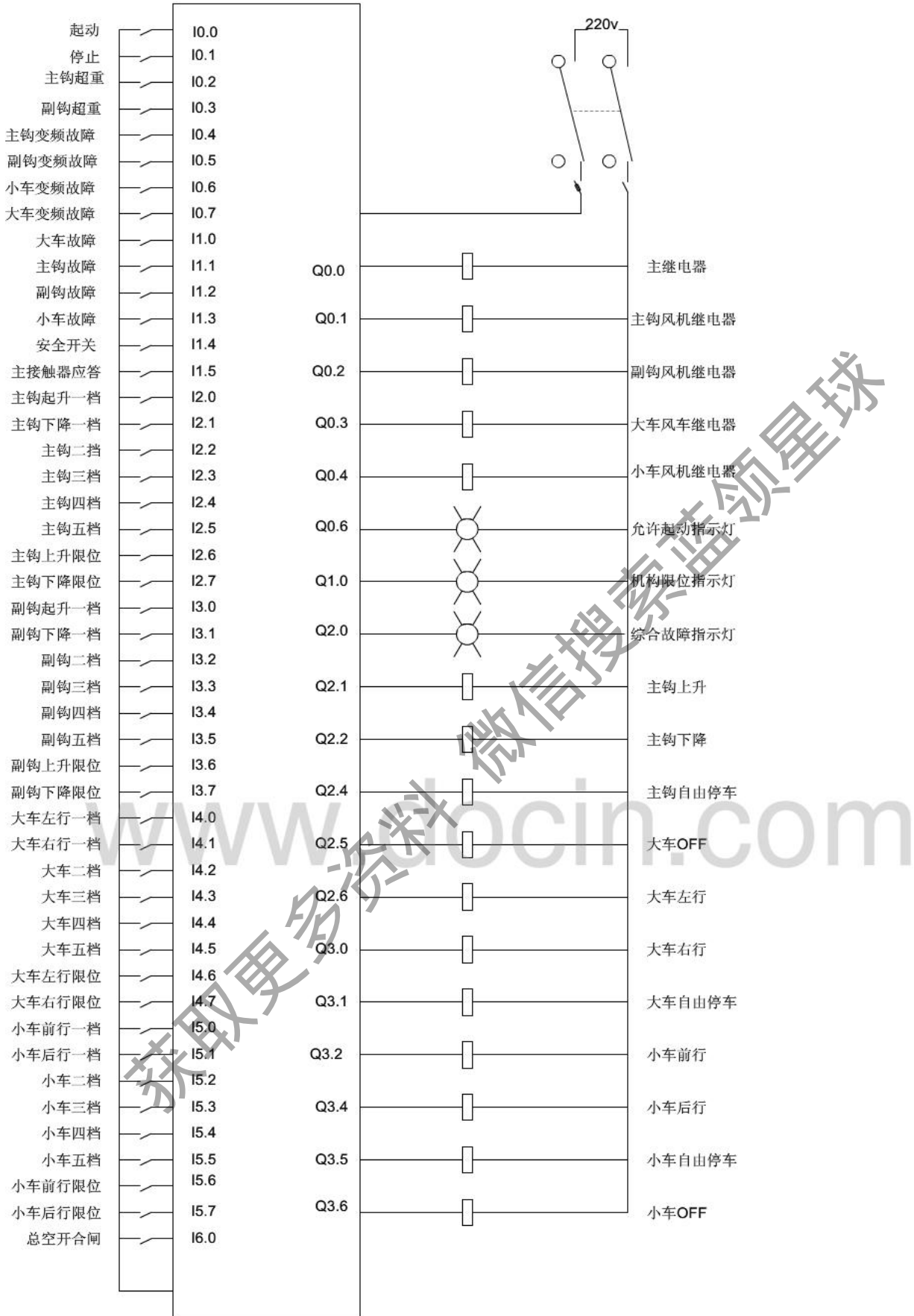
|           |      |      |
|-----------|------|------|
| 副钩二档输入点   |      | I3.1 |
| 副钩三档输入点   |      | I3.2 |
| 副钩四档输入点   |      | I3.3 |
| 副钩五档输入点   |      | I3.4 |
| 副钩上升限位输入点 | XK21 | I3.5 |
| 副钩下降限位输入点 | XK22 | I3.6 |
| 大车左行一档输入点 |      | I3.7 |
| 大车右行一档输入点 |      | I4.0 |
| 大车二档输入点   |      | I4.1 |
| 大车三档输入点   |      | I4.2 |
| 大车四档输入点   |      | I4.3 |
| 大车五档输入点   |      | I4.4 |
| 大车左行限位输入点 | XK31 | I4.5 |
| 大车右行限位输入点 | XK32 | I4.6 |
| 小车前行一档输入点 |      | I4.7 |
| 小车后行一档输入点 |      | I5.0 |
| 小车二档输入点   |      | I5.1 |
| 小车三档输入点   |      | I5.2 |
| 小车四档输入点   |      | I5.3 |
| 小车五档输入点   |      | I5.4 |
| 小车前行限位输入点 | XK41 | I5.5 |
| 小车后行限位输入点 | XK42 | I5.6 |
| 总空开合闸输入点  | QF0  | I5.7 |
| 输出信号      |      |      |
| 主继电器      | K0   | Q0.0 |
| 主钩风机继电器   | K12  | Q0.1 |
| 副钩风机继电器   | K22  | Q0.2 |
| 大车风机继电器   | K32  | Q0.3 |
| 小车风机继电器   | K42  | Q0.4 |
| 允许起动指示灯   | SE01 | Q0.6 |

|          |      |      |
|----------|------|------|
| 机构限位指示灯  | SE02 | Q1.0 |
| 综合故障指示灯  | SE03 | Q2.0 |
| 主钩上升输出点  |      | Q2.1 |
| 主钩下降输出点  |      | Q2.2 |
| 主钩自由停车命令 |      | Q2.4 |
| 大车 OFF   |      | Q2.5 |
| 大车左行输出点  |      | Q2.6 |
| 大车右行输出点  |      | Q3.0 |
| 大车自由停车命令 |      | Q3.1 |
| 小车前行输出点  |      | Q3.2 |
| 小车后行输出点  |      | Q3.4 |
| 小车自由停车命令 |      | Q3.5 |
| 小车 OFF   |      | Q3.6 |

外部接线图如下:

图 3.3 系统外部接线图

www.docin.com



## 第四章 桥式起重机变频调速系统软件设计

### 4.1 S7-200PLC 网络的通信协议

#### 4.1.1 S7-200PLC 网络的通信协议的种类

S7-200CPU 支持多种通信协议。根据所使用的 S7-200CPU, 网络可以支持一个或多个协议, 包括通用协议和公司专用协议。专用协议包括点到点 (point-to-point) 接口协议 (PPI)、多点 (Multi-Point) 接口协议 (MPI), Profibus 协议、自由通信协议和 USS 协议。

##### 1. PPI 协议

PPI 通信协议是西门子专门为 S7-200 系列 PLC 开发的一个通信协议。主要应用于对 S7-200 的编程、S7-200 之间的通信以及 S7-200 与 HMI 产品的通信。可以通过 PC/PPI 电缆或两芯屏蔽双绞线进行联网。支持的波特率分别为 9.6KB/s, 19.2KB/s 和 187.5KB/s。PPI 是一个主/从协议, 在这个协议中, S7-200 一般作为从站, 自己不能发送信息, 只有当主站, 如西门子编程器、TD200 等 HMI, 给从站才进行响应。

##### 2. MPI 协议

S7-200 可以通过接口连接到 MPI 网上, 主要应用于 S7-300/400CPU 与 S7-200 通信的网络中。应用 MPI 协议组成的网络, 通信支持的波特率为 19.2KB/s 或 187.6KB/s。通过此协议, 实现作为主站的 S7-300/400CPU 与 S7-200 的通信。在 MPI 网中, S7-200 作为从站, 从站之间不能通信, S7-300/400 作为主站, 当然主站也可以是编程器或 HMI 产品。在这里是 HMI 产品。

##### 3. Profibus 协议

Profibus 协议通常用于实现分布式 I/O 设备 (远程式 I/O) 的高速通信。许多厂家生产类型众多的 Profibus 设备。这些设备包括从简单的输入或输出模块到电机控制器和可编程控制器。S7-200CPU 可以通过 EM277 Profibus-DP 扩展的方法连接到 Profibus-DP 协议支持的网络中。协议支持的波特率为 9600KB/s 到 12MB/s。

#### 4.1.2 本系统通信协议的选择

本系统采用工业触摸屏监控起重机变频调速系统主要由上位机、下位机, 经 MPI 多点接口卡与 PLC 连接, 组成一个小型的 MPI 网。S7-200 向人机界面产品提供全局数据服务, 其数据传输速率位 187.5kB/s。

人机界面产品 (HMI) 选用 Siemens 公司 TP170B 型触摸屏, 使用组态软件 Protool/pro 进行图形编

程,提供菜单方式操作和全中文显示,用以对变频器的状态、各机构运行情况及故障报警等信息进行实时监控。

上位机和 PLC 之间的通信如下:

硬件:上位计算机(PC)通过 CP5611 卡与可编程控制器(PLC)的串行通信接口连接,对 PLC 进行集中监视和管理。

软件:PLC 和 PC 是通过变量来实现的,变量是上位机与 PC 之间用于数据交换的最重要的通讯方式。变量有两种类型:全局变量和局部变量。全局变量是带有 PLC 链接的变量,它在 PLC 上占据一个定义的存储器地址,从上位机与 PLC 都可以对之进行读与写访问。它是通信的关键。局部变量不连到 PLC 上,他们仅在上位机上可用,系统变量表如表 5.1。

表 5.1 系统变量表

| Symbol  | control | Address | Datatype | Initialvalue | comment     |
|---------|---------|---------|----------|--------------|-------------|
| DC-PI   | PLC_1   | VW14    | WORD     | 0            | 驱动大车频率设置    |
| DC-YOU  | PLC_1   | Q3.1    | BOOL     | 0            | 驱动大车右行输出点   |
| DC-ZHUO | PLC_1   | Q3.0    | BOOL     | 0            | 驱动大车左行输出点   |
| DCBP-BJ | PLC_1   | I0.7    | BOOL     | 0            | 大车变频器故障信号   |
| DCGZ-BJ | PLC_1   | I1.1    | BOOL     | 0            | 大车故障信号      |
| DC-TI   | PLC_1   | Q3.6    | BOOL     | 0            | 闭合大车电机的继电器  |
| DC-SX   | PLC_1   | VW12    | WORD     | 0            | 大车电机速度输出值   |
| FG-PI   | PLC_1   | VW0     | WORD     | 0            | 驱动副钩电机频率设置  |
| FG-SS   | PLC_1   | Q2.4    | BOOL     | 0            | 驱动副钩上升输出点   |
| FG-SX   | PLC_1   | VW2     | WORD     | 0            | 副钩电机速度输出值   |
| FG-TI   | PLC_1   | Q2.6    | BOOL     | 0            | 闭合副钩电机的继电器  |
| FG-XJ   | PLC_1   | Q205    | BOOL     | 0            | 驱动副钩电机下降输出点 |
| FGBP-BJ | PLC_1   | I0.5    | BOOL     | 0            | 副钩变频器故障信号   |
| FGCZ-BJ | PLC_1   | I0.3    | BOOL     | 0            | 副钩超重报警信号    |
| FGGZ-BJ | PLC_1   | I0.3    | BOOL     | 0            | 副钩故障信号      |
| XC-HOU  | PLC_1   | Q3.5    | BOOL     | 0            | 驱动小车后行输出点   |
| XC-PI   | PLC_1   | VW4     | WORD     | 0            | 驱动小车频率设置    |
| XC-QI   | PLC_1   | Q3.4    | BOOL     | 0            | 驱动小车电机前行输出点 |
| XC-SX   | PLC_1   | VW6     | WORD     | 0            | 驱动小车电机速度输出值 |

|         |       |      |      |   |             |
|---------|-------|------|------|---|-------------|
| XC-TI   | PLC_1 | Q3.6 | BOOL | 0 | 闭合小车电机的继电器  |
| XCBP-BJ | PLC_1 | Q0.6 | BOOL | 0 | 小车变频器故障信号   |
| XCGZ-BJ | PLC_1 | I1.3 | BOOL | 0 | 小车故障信号      |
| ZG-PI   | PLC_1 | VW8  | WORD | 0 | 驱动主钩电机频率设置  |
| ZG-SS   | PLC_1 | Q2.1 | BOOL | 0 | 驱动主钩电机上升输出点 |
| ZG-SX   | PLC_1 | VW10 | WORD | 0 | 驱动主钩电机速度输出值 |
| ZG-TI   | PLC_1 | Q2.2 | BOOL | 0 | 驱动主钩电机继电器闭合 |
| ZG-XJ   | PLC_1 | Q2.0 | BOOL | 0 | 驱动主钩电机下降输出点 |
| ZGBP-BJ | PLC_1 | I0.4 | BOOL | 0 | 主钩变频器故障信号   |
| ZGCZ-BJ | PLC_1 | Q0.2 | BOOL | 0 | 主钩超重报警信号    |
| ZGGZ-BJ | PLC_1 | Q1.0 | BOOL | 0 | 主钩故障报警信号    |

## 4.2 PLC 程序设计

### 4.2.1 PLC 编程软件概述

S7-200 的编程语言是 STEP 7-micro/win32, 它是用于 S7-200 系列 PLC 进行编程、调试的全新软件, 它是在国际标准工 EC1131-3 的基础上建立的, 可以用 LAD, FBD 和 STL 来编程。

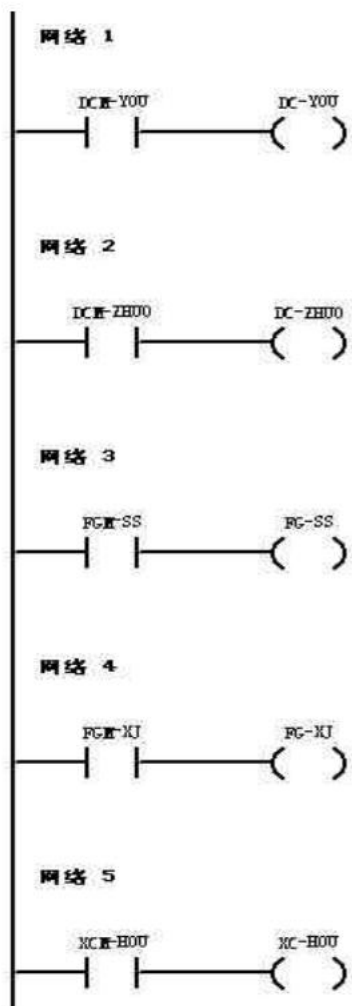
STEP 7--micro/win32 软件的一个特点是调试功能很强大, 不仅能在线读取数据, 而且能在线修改过程数据, 对于调试大型复杂控制程序非常有效。STEP 7-micro/win32 软件还附带一些控制程序模块, 如 PID 调节模块, 这些模块可以从主控制程序中直接调用, 以便实现不同的功能。STEP 7-micro/win32 软件工具包采用模块化的程序设计方法, 它采用文件块的形式管理用户编写的程序及程序运行所需的数据。该工具软件包为 S7-200CPU 与其它系统部件(如触摸屏、变频器)的使用提供了便利。

### 4.2.2 程序设计

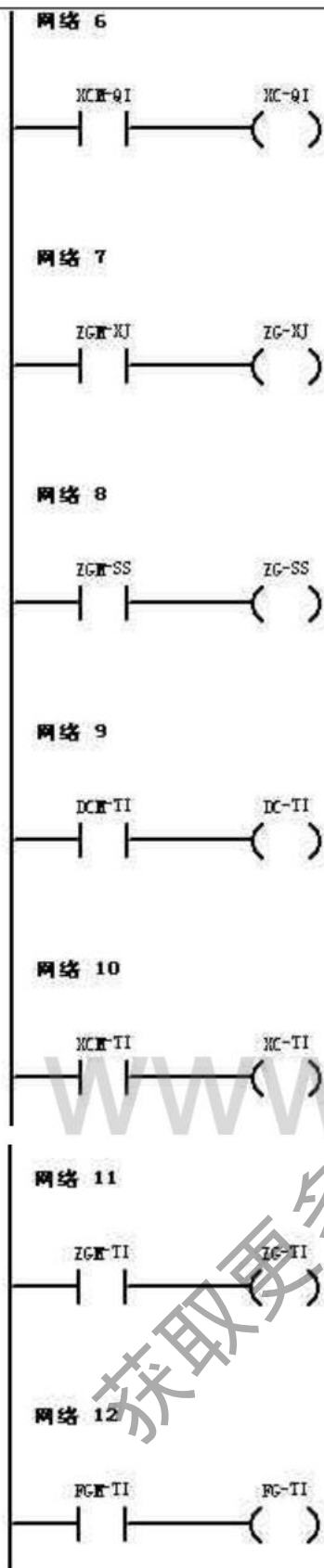
在本系统中, PLC 程序设计的主要任务是接受外部开关信号(按钮、继电器)的输入, 判断当前的系统状态以及输出信号去控制接触器、继电器等器件, 以完成相应的控制任务。除此之外, 另一个任务就是接受上位机的控制命令, 以进行自动采样。PLC 的软件设计部分我们采用模块化的方法, PLC 程序设计共有四个模块:按钮处理模块、通信模块、PID 控制模块、故障报警模块。

其中按钮模块主要处理各电机和电磁阀的启停控制。

#### (一) 按钮处理模块的梯形图



获取更多资料 微信搜索 蓝领星球  
www.docin.com



## (二) 通信模块

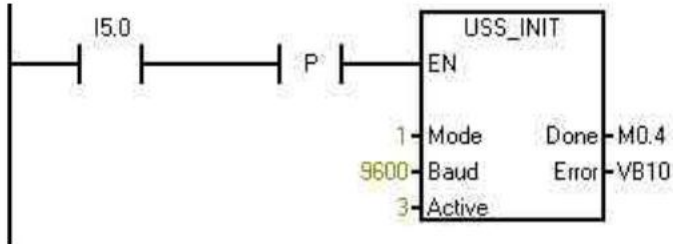
由于我们用 MicroMaster 变频器对起重机电机进行调速，所以本系统中对起重机的调速，实际上就是对其 MicroMaster 变频器的控制。STEP 7-Micro/Win32 软件工具包提供了 LISS 通信协议，从减



少软件的工作量和提高可靠性出发，我们采用 LISS 协议来完成 PLC 与变频器的通信。与变频器的通信，对 PLC 的 CPL!扫描是异步的，完成一个变频其通信事务通常需要几次 CPU 扫描。这取决于连续的变频器数目，波特率，以及 CPU 的扫描时间。

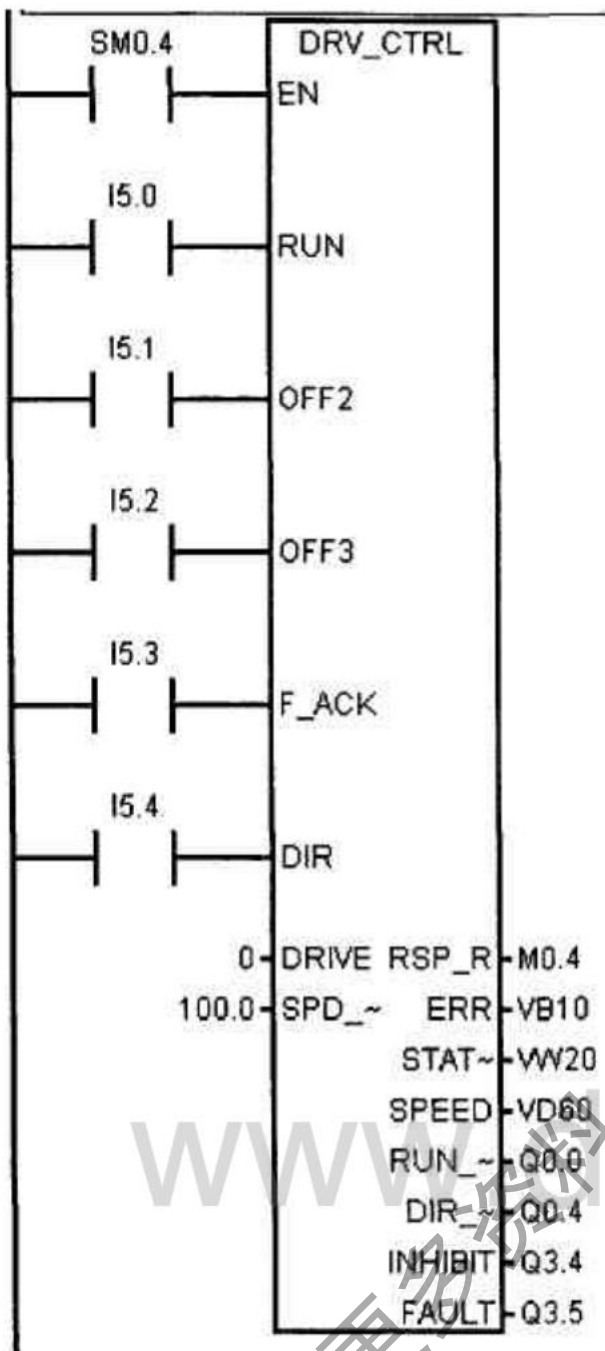
使用 USS 协议的编程顺序如下：

通过调用 USS\_ IN IT 指令以改变 USS 通信参数，如启用或禁止 USS 协议、设定波特率，指示哪些地址的变频器是激活的(即可与之通信)。标志为激活的任何变频器都自动地在后台进行轮询控制，汇集状态，并防止变频器的串行链路超时。

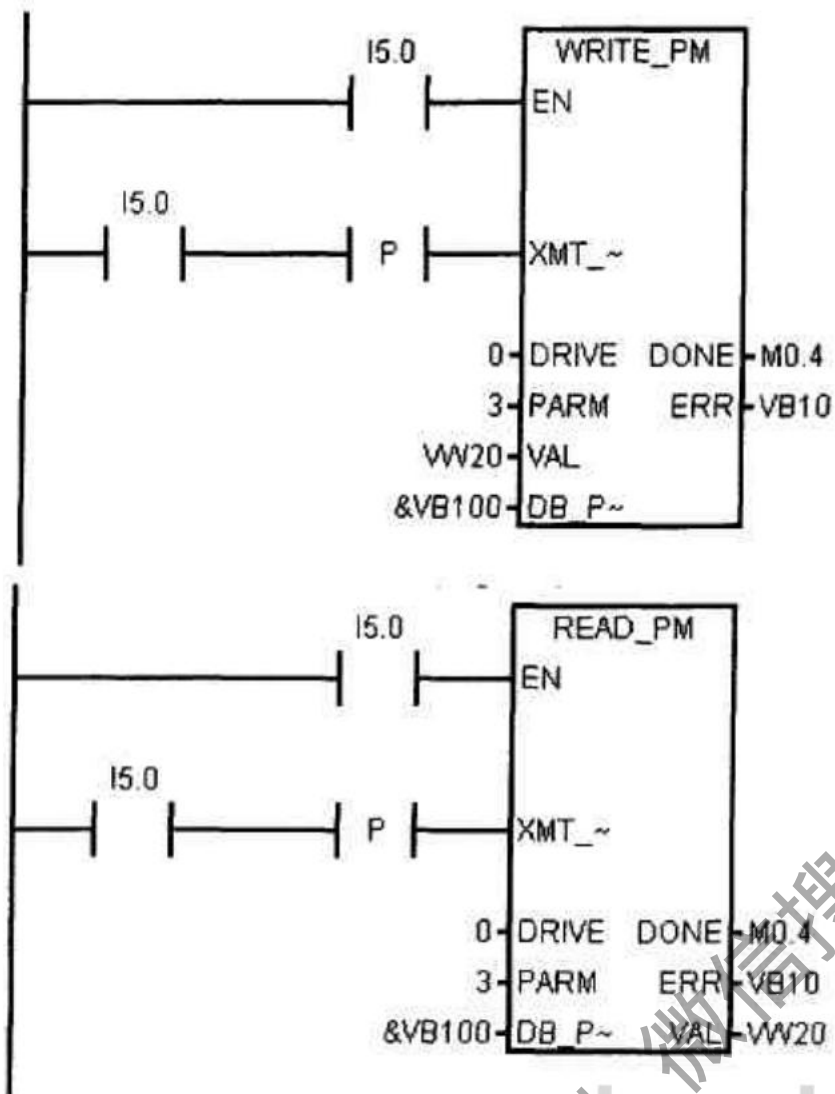


(2)把 V 存储器地址分配给 USS 协议。

doc i 豆丁  
www.docin.com  
获取更多资料 微信搜索 索蓝领星球



(3) 通过调用 DRV\_CTRL 指令来控制指定的变频器，如启停，控制方向，设定速度，查询变频器返回的状态字等。



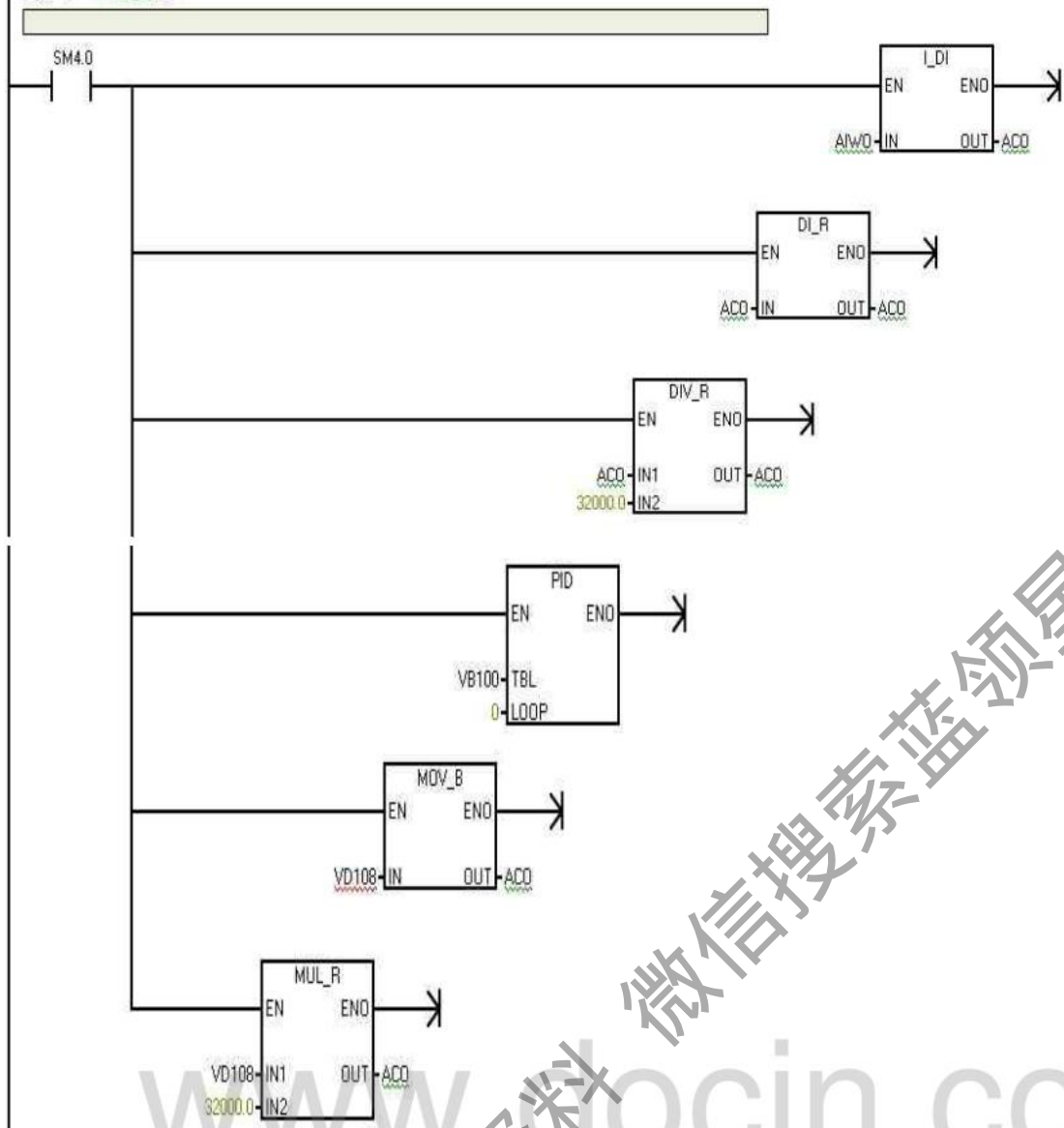
(4)同时调用 READ\_PM 或 WRITE\_PM 指令来读取或写变频器参数，以便于设置变频器参数，程序中所用的波特率和地址相匹配。

采用上述方法，我们可以很好地控制网带的速度并查询变频器的状态，把诊断信息反馈给 PLC.

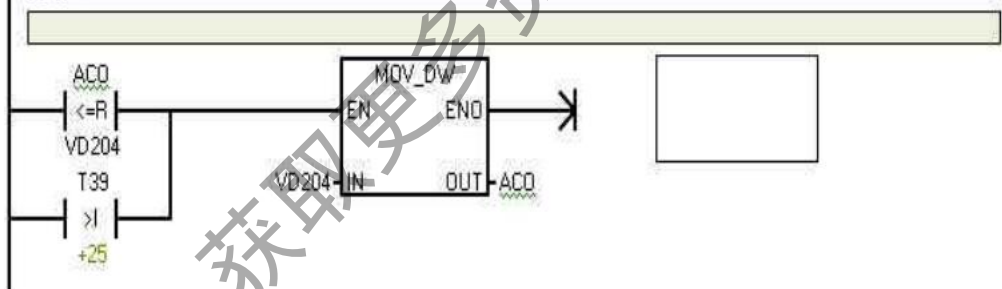
### (三) PID 控制模块

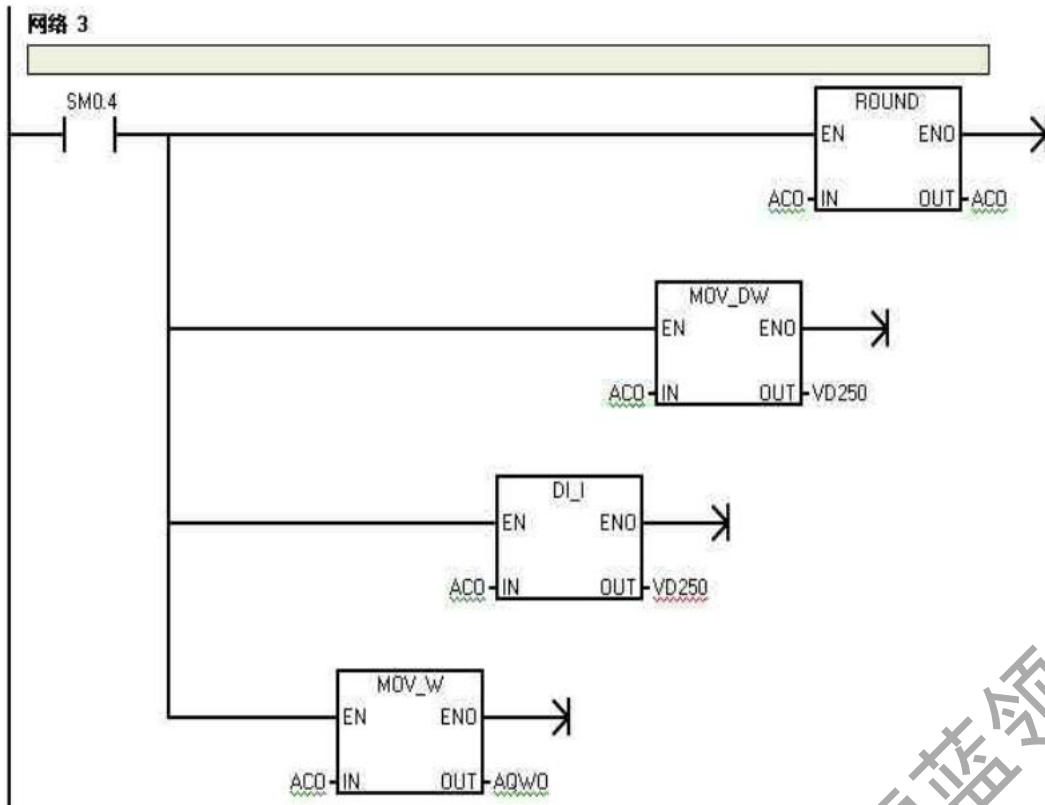
桥式起重机主副起升机构速度的控制，是一现很重要的技术指标，本系统由通过旋转编码器测得电机速度，由数模转换卡转换成数字量，传递给变频器，与设定速度进行比较，采用常规的 PID 算法在控制效果上就能够达到较为理想的结果，所以，本系统起升机构控制方案为常规的数字 PID 算法并结合 PLC 中的 PID 控制模块来控制。

网络 1 PH控制程序



网络 2





#### (四) 故障报警模块

为了实时通知操作员故障消息,以便尽快地排除故障,确保整个系统正常运行,本控制系统具有良好的故障报警措施。所以在 PLC 程序中始终对相应的传感器输入信号进行扫描,一旦有诸如变频器故障,超重等故障,应马上切断该设备,并启动蜂鸣器,进行报警。考虑到工业现场可能的干扰,(1)我们在程序中采用延迟报警,即只有当报警信号持续一定的时间(一般为几十毫秒到几百毫秒),才认为有故障。(2)在启动设备时,逐步开启报警;而在停止设备时,逐步阻塞报警。上述两个措施可有效的防止误报警。报警处理由画面元素和 PLC 变量直接对应,无需编程。

### 4.3 系统抗干扰措施

可编程控制器的主要应用场合是工业现场,工作环境中各种干扰对系统设备的正常运行存在着严重的影响。所以在本系统中也不例外,有必要考虑 PLC 的抗干扰措施。

抗干扰的主要措施有;

- (1)输入信号电缆、输出信号电缆和电力电缆都要分开敷设,不能扎在一起。
- (2)必要时需选用带有屏蔽层的输入和输出信号电缆,并注意一端接地。
- (3)多芯电缆中的备用芯线也要一端接地,一则扩大屏蔽作用,二则抑制芯线间的信号串扰及外部干扰。
- (4)为避免干扰,同一电平等级的信号才能用一条多芯电缆传输。所以,对数字信号和模拟信号,

在任何情况下,都必须分开电缆进行传输。低电平信号线应与其它信号线分开。尽量缩短模拟量 I/O 信号线的长度,并采用双芯屏蔽线作为信号线。

(5) PLC 电柜应有独立的接地线,接地电阻小于 10 欧姆。

(6) 引至 PLC 柜的电缆要尽量远离那些会产生电磁干扰的装置。

(7) 一般要将 PLC 装于专门的电柜中,且 PLC 四周留有 50mm 以上的净空间,保证良好的通风环境。尽量不要将 PLC 安装在多尘、有油烟、有导电灰尘、有腐蚀性气体、振动、热源或潮湿的地方。

## 第五章 结束语

本论文主要为桥式起重机设计一套将可编程序控制器与变频器结合应用于桥式起重机控制系统,同时实现起重机电机速度的可调节,以节约能源和适应生产的需要。

根据要求,此系统要能达到现场的运行状况、运行数据都可以在司机控制室掌握,用户在控制室可以通过人机界面来设置变频器的运行频率、启动和停止电机,并且变频器的故障信息可以在人机界面上反映出来,以用来提示用户。采用变频器实现起重机电机的调速运行,结合 PLC 的强大功能、可靠性以及基于组态软件所开发出来的良好人机界面和通信能力,实现在司机控制室对电机的远程控制运行参数调节。上位机选择触摸屏主要完成系统的组态、监控、参数设置和开关量置位。下位机采用 PLC 来实现各电机的启、停、电磁阀的开关,数值的转换、速度的检测。

重点解决了系统中的监控画面、PLC 程序设计的问题以及上下位机之间的通信问题。同时根据 STEP-7 MICRO/WIN32 软件工具包的结构化程序设计特点，大量采用代码重用的方法，大大减少了系统的开发和维护；同时利用西门子公司的 Protool/pro 组态软件设计良好的人机界面以下载至触摸屏，以及实现其与 PLC 的通信。

## 致 谢

在论文完稿之际，谨向教导和帮助我的师长、朋友、同学，以及默默支持和鼓励我的亲人们致以最诚挚的谢意和最衷心的祝福！

感谢导师 1234 老师！老师严谨踏实的研究作风，渊博深厚的知识，孜孜不倦的诲人，我感到由衷的敬佩。导师以其严谨、求实的治学态度、高度的责任心和敬业精神，给予我极大的帮助与鼓励；导师踏实认真、开拓创新的治学作风将使我终生受益；导师给我提供了良好的学习环境、以及社会实践的机会。本论文从选题到完成无不浸透着恩师的心血。在此期间，老师多次询问我的课题进度，提醒我该注意的问题，并在我课题遇到困难时，给予了我耐心的指导和帮助。借此论文的完成之际，谨向我的恩师表达我衷心的感谢和崇高的敬意！感谢恩师不厌其烦的教诲和一丝不苟的严谨作风，在学习、生活和以后的工作中给我树立了为学为人的榜样。并希望在今后的学习和工作中继续得到导师的教导。

感谢 1234 学院机电系的各位老师在这三年学习生涯中给予我的关心和帮助。也感谢我在 123 求学期间结识的好友，给予我的帮助、鼓励和支持，在此一并感谢。

最后，我要深深感谢我的父母和兄弟，多年来，正是由于他们对我学业上的支持、理解和鼓励，



对我一如既往的殷切期望和无私奉献,给予了我无尽的关爱和动力,才使得我得以顺利完成学业!

某人谨致

2010 年 6 月 2 日

## 参考文献

1. 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
2. 张桂香. 电气控制与 PLC 应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
3. 王淑英. 电器控制与 PLC 控制技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
4. 李永乐. 交流电机数字控制系统[M]. 机械工业出版社, 2002.
5. 韩安荣. 通用变频器及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.
6. 赵洪恕, 王忠石, 简维新. PLC 控制交流调速控制系统在电梯中的应用, 基础自动化[J]. 2002 年 2 月第七期
7. 许正军, 曾献辉, 陈瑞琦. 变频器的 PC 控制[J]. 电气自动化, 2000.
8. 马寅. 起重机的变频调速[J]. 起重运输机械, 2001.
9. 韩安荣. 通用变频器及其应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.
10. 王兆义. 小型可编程控制器实用技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
11. 刘晓庆. 基于 PLC 控制的变频调速在桥式起重机中的应用[M]. 机械工业出版社, 2001.
12. 吴中俊, 黄永红. 可编程序控制器原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2003.
13. 张燕宾. SPWM 变频调速应用技术[M]. 北京:机械工业出版社(第 2 版), 2002.



14. 倪远平. 现代低压电器及其控制技术[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003.
15. 汪道辉编著. 逻辑与可编程控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
16. 汪志锋. 可编程序控制器原理与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
17. 张万忠主编. 可编程控制器应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
18. 李俊秀, 赵黎明主编. 可编程控制器应用技术实训指导[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
19. 郁汉琪. 电气控制与可编程序控制器应用技术[M]. 南京: 东南大学出版社, 2003.
20. 张进秋等. 可编程控制器原理及应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
21. 黄云龙等. 可编程控制器教程[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
22. 齐从谦等. PLC 技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
23. SIEMENS 公司. SIMATIC S7-200 可编程序控制器系统手册[Z]. 2002.
24. SIEMENS MICROMASTER 操作手册(电子版)[Z]:54-58.
25. SIEMENS. 标准驱动产品通讯手册(电子版)[Z]:2-17.
26. SIEMENS 公司. 自动控制系统的工业通讯网络(电子版)[Z]:40-80.
27. SIEMENS 公司. STEP-7micro/win32 使用手册(电子版)[Z]
28. SIEMENS 公司. SIMATIC protocol /pro 6.0 使用手册[Z].2002.08.
29. Chin,c-m. Dynamics and control of ship-mounted cranes JVCIJournal of Vibration and control, v7, n6, September, 2001, p891—904
30. Anon. Frequency control of crane hoist speed .steel Times international, v27, n5,ju 1 y, 2003, P23
31. Wans, Jiaming. Real world Implementation of Fuzzy Anti—swing control A Behavior—based intelligent crane system a IEEE international conference on intelligent robots and systems, v2, 2003

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球  
docin 豆丁  
www.docin.com