

# 西门子 6SE70 变频装置 在泰州电厂卸船机上的应用

**摘要:** 本文介绍了西门子 6SE70 变频装置(包括:整流回馈单元、逆变器)可编程逻辑控制器(PLC)以及 PROFIBUS 技术在泰州电厂卸船机项目中的应用,重点介绍整个卸船机系统的构成以及项目中的难点的实现。系统自运行以来,性能优良便于操作,受到了用户的好评。

**关键词:** 整流回馈 逆变器 可编程逻辑控制器

西门子(中国)有限公司 陈建国

## 1 引言

在国家关停高耗能小电厂以及社会经济高速发展需要更多电能供应的背景下,国电集团泰州发电有限公司新建了泰州电厂,电厂的一期工程总装机容量达 200 万千瓦,日耗煤量上万吨,为了高效并可靠的保证发电所需的煤量供应,此次电厂码头项目共新建两台抓斗式卸船机,均采用西门子控制系统,每台卸船机设计输煤能力达 1500T/小时。本次项目的用户中国国电集团公司主要从事电源的开发、投资、建设、经营和管理,组织电力(热力)生产和销售;从事煤炭、发电设施、新能源、交通、高新技术、环保产业、技术服务、信息咨询等电力业务相关的投资、建设、经营和管理。集团公司可控装机容量

量为 4445 万千瓦,其中,火电装机容量 3978 万千瓦,占 89.49%,水电装机容量 405 万千瓦,占 9.12%,风电装机容量 61.8 万千瓦,占 1.39%。

抓斗式卸船机主要有两种工作模式:抓料模式和推耙机模式。抓料模式又分手动 半自动 自动三种模式,抓料模式下小车可以在海侧限位与料斗停止位之间运行,通过配合开闭 起升等机构的运行,将物料从船舱抓运到料斗,然后物料通过给料机从料斗输送到传输皮带上;推耙机模式下抓斗必须处于闭斗状态,小车可以运行到陆侧限位,然后吊装推耙机到船舱完成清舱任务。卸料及吊装推耙机的操作都可以在司机室实现且卸料过程可以由单个司机完成,卸船机整体结构见图 1。

整个卸船机系统所用的西门子产品主要包括控制和驱动两个部分,驱动部分包括:整流回馈单元 RRU,用于驱动起升俯仰等主要机构电机的 6SE70 逆变器,用于司机室电机驱动的 MM440。控制部分包括:主控制器 CPU 416-2 DP 以太网通讯模块

CP443-1 FM-450 高计数模块等,系统采用基于 PROFIBUS DP 的网络结构,网上共挂了 11 个 ET200M 从站,共包含 960/256 个 DI/DO,8 个 AI,使用的主要产品型号和数量见表 1。

## 2 控制系统构成

卸船机的核心是驱动部分,整个系统也是围绕其进行设计,驱动部分主要依据各机构在带动负载在额定抓料能力(包括各机构转筒的折算速度,物料的额定抓取重量)运行时所需的转矩及电流的大小来进行选型。为了满足系统的节能要求,本系统中采用了两台可以实现能量回馈的整流回馈单元 RRU 配置成 12 脉动主从方式给直流母排提供能量,RRU 回路通过由电动机弹簧储能 的 3WL 负荷开关连接到 470V 低压配电回路上;起升 开闭 大车 小车和俯仰交流电机由西门子 6SE70 系列逆变器采用无级变频调速,所有逆变器均由公共直流母排供电。驱动系统结构如图 2 所示。

为了满足客户线路维护方便 高通讯速度及高可靠性的要求,系统采用了基于 PROFIBUS DP 网络的 PLC 分布式控制方式。卸船机的中央控制器采用的是西门子 S7-400 系列 PLC CPU 416-2 DP,通过 PROFIBUS DP 网络与分布式站点 ET-200M 实现通讯,DP 网络的总线的波特率设置为 1.5 MB/S。电气房的所有 ET-200M 站通过 PROFIBUS



图 1 卸船机整体结构

表1 核心器件配置表

订货号	数量	设备描述	用途/控制对象
6ES7 416-2XK04-0AB0	1	416-CPU	主控制器
6GK7 443-1EX11-0XE0	1	CP 443-1 以太网模块	与上位机通讯
6ES7 431-1KF00-0AB0	1	8输入模拟量模块	料斗称重
6ES7 450-1AP00-0AE0	2	FM450高速记数模块	起升/开闭/小车的位置反馈
6ES7 153-1AA03-0XB0	11	ET200M	分布式站点
6ES7 321-1BH02-0AA0	46	16点数字输入模块	现场信号反馈
6ES7 322-1BH01-0AA0	17	16点数字输出模块	现场信号反馈
6ES7 321-1BL00-0AA0	7	32点数字输入模块	控制输出
6SE7041-8EK85-1AA0	1	整流回馈单元RRU	12脉动应用时做主
6SE7041-8EK85-1AD0	1	整流回馈单元RRU	12脉动应用时做从
6SE7041-8TS85-5JA0	2	过电流保护装置OCP	RRU应用时, 可以防止烧快熔
6SE7037-0TJ60-Z	1	6SE70逆变器	用来驱动小车或俯仰机构
6SE7033-77G60-Z	1	6SE70逆变器	用来驱动大车电机
6SE7041-3TL60-Z	2	6SE70逆变器	用来驱动起升和开闭机构
6SE7026-0ED61-Z	1	6SE70变频器	用于驱动料斗平台给料机
6SE60440-2AD25-5CA1	1	MM440 变频器	用于驱动司机室电机
6AV7802-OBC10-1AA0	1	PC677上位机	用作系统监控及数据归档

连接到CPU,司机室的ET-200M站通过光电模块(OLM)以及光缆连接到电气房OLM再连到CPU。交流驱动6SE70及MM440通过PROFIBUS通讯板CBP2由PROFIBUS通讯电缆连接到PLC,PLC除了通过数据总线向驱动机构传输计算好的速度给定值 控制字,还要接收各机构的状态字。系统硬件配置如图3所示。

为了实时直观的了解系统的状态,卸船机配置了上位机监控系统,电气室

及司机室均配有监控设备, PLC通过CP443-1以太网模块与它们通讯,电气室采用PC677做上位机,司机室用触摸屏MP370,监控系统采用先进的WINCC及WINCC Flexible组态软件,除了可以方便的组态变量与PLC通讯用来监控卸船机状态 反映详细的故障信息之外,还可以将重要的运行数据进行归档,作为以后系统优化的依据,图4为上位机监控主界面。

### 3 方案确定

#### (1) 方案一

采用AFE装置来为直流母排提供能量,用绝对值编码器来做小车,起升机构和开闭机构的速度及位置的反馈。

#### (2) 方案二

用RRU整流回馈单元加过电流保护装置OCP来为直流母排提供能量;用普通的增量式编码器做小车,起升机构和开闭机构的速度反馈,用FM450高计数模块通过累计编码器的脉冲数并结合机构的运转方向来计算小车,起升和开闭的位置。

方案二与方案一比较,RRU对电网的稳定性要求高,相对AFE装置回馈时对电网的谐波干扰大;利用FM450计数模块来记录位置时,在系统断电以后需要设置确定各机构的参考零位置。但是由于RRU配备了过电流保护装置OCP,对电网的稳定性有所降低,能够有效避免回馈过程中由于电网掉电而烧

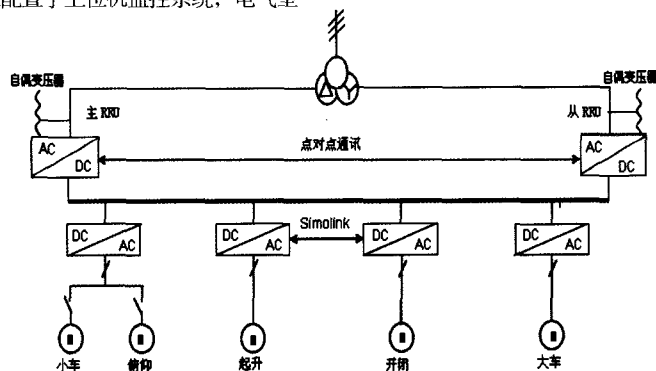


图2 驱动系统结构图

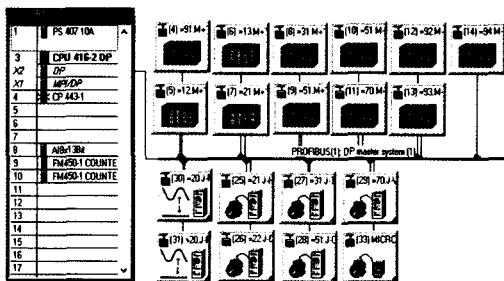


图3 系统硬件配置图

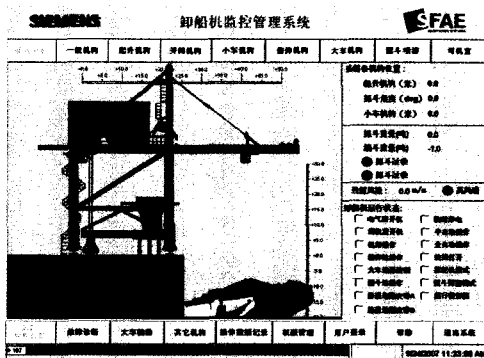


图4 上位机监控界面

段快熔；而采用FM450也可以避免绝对值编码器易损坏的缺点，此外方案二中系统硬件的价格也较方案一有较大的优势，所以在满足系统性能的基础上最后采用了方案二。

#### 4 控制系统完成的功能

卸船机完成的主要功能是抓卸货物，其整体的性能指标是能够在半自动、自动及手动三种工作方式下完成抓煤能力1500吨/小时，并且在半自动和自动控制模式下循环周期≤50秒。此外

表2 起升和开闭的技术数据

加速时间0-100%	3 秒
减速时间100-0%	3 秒
上升最大速度	130 米/分
下降最大速度	160 米/分
减速区速度	10 %
点动速度	10 %

对于起升 开闭 小车 俯仰等主要结构也有具体的功能及指标要求，现分述如下：

#### 4.1 起升及开闭机构

抓斗起升和开闭机构的机械结构是一样的，各由一个交流电机驱动，交流电机由数字式逆变器6SE70驱动。起升及开闭的速度检测通过安装在电机非输出轴的脉冲编码器来实现，脉冲编码器测量的速度值通过DTI板连接到SIMOVERT作为速度闭环控制的速度反馈；起升开闭的位置测量也通过此脉冲编码器来实现，编码器信号通过DTI板连接到高速计数模块FM450进行处理。

其运行指标见表2。

动作要求：当抓斗没有张开或闭合动作时，抓斗上升或下降的过程中起升和开闭以同样的速度上升或下降（参见后面技术难点之电流平衡）。在抓斗上升过程中开斗时起升运行在100%的弱磁速度而开闭运行在额定速度，在抓斗下降过程中开斗时开闭运行在100%的弱磁速度而起升运行在额定速度。在抓料闭斗过程中，使起升运行在不同于开闭的速度，实现起升钢丝绳的松绳功能，松绳实现参见后面技术难点之松绳补偿。

停车：在正常停车过程中，电机首先是电气减速，当速度降到大约最大速度的3%时PLC关断刹车的接触器进行刹车将电机停止。电机刹车之后SIMOVERT经过1.5秒的延时再停止工作。在起升开闭电机的非输出端各装有一个离心式超速开关，用于起升开闭的

超速保护，当起升或开闭检测到超速时起升和开闭都会急停，PLC关闭刹车硬件回路自锁，负荷开关跳闸，必须复位后才能恢复正常。当起升或开闭的上下凸轮停止限位开关动作时，二者也都会停车。

开闭与起升均有三种操作模式：点动 手动 自动。手动，自动模式可以从司机室右操作台的操作手柄进行操作，可以往前后左右推动操作手柄来生成起升或者开闭的速度限制值和速度方向并通过ET200M传输至PLC（手柄功能如图5），在抓斗运行过程中起升，开闭的速度由PLC内部的PID位置控制器根据初始位置和目的位置来计算，其值在经操作手柄产生的速度限制后送入驱动装置。点动从机房就地操作面板操作，就地操作时首先从就地操作站起卸船机，将选择开关本地，就能操作起升或开闭，在一模式下运行速度为最大速度的10%，由PLC将速度值送往驱动装置。当抓斗调整钢丝绳或更换钢丝绳可以使用就地操作方便实现，当选择点动操作时所有的手动和自动操作被封锁。

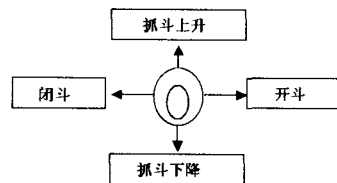


图5 手柄功能

#### 4.2 小车驱动

小车由一台交流电机驱动，电机由6SE70逆变器驱动。小车的速度及位置检测方法同起升机构一致，不在赘述，其运行技术指标见表3。

动作要求：小车将抓斗在料斗和船舱之间移动。小车的移动区间由软件限位开关和硬件限位开关来限制。在小车轨道的前后两端各有一减速检查限位开



## 应用案例 · APPLICATION CASES

时间等,需要根据实际情况进行调整。

以上涉及到的自由功能块时间片均设为T4。

### (2) 抓斗特殊操作

在开闭斗的过程中,为了消除机械和电气的冲击,需要实现抓斗的自动开闭控制,在本项目中抓斗的自动开闭由PLC的位置控制器来实现,通过司机室右操作台的选择开关“抓斗调整模式”和开关“抓斗开”“抓斗闭”来获得抓斗开闭的值即开闭和起升的位置差X1,X2,当有开闭斗命令时,就会以目标位置X1或X2为控制量,以当前位置差为反馈量送入PID位置控制器,PID控制器输出开闭运行的速度值,然后将此速度值通过DP网络传入开闭驱动器,将收到的PZD值作为速度源连到(P443),以此实现抓斗的自动开闭。

### (3) 起升,开闭机构速度与电流的平衡

在抓斗上下运行过程中没有开闭斗动作时,起升和开闭机构需要保持速度一致,在抓取物料闭斗之后抓斗上升或下降时,为了确保在运行过程中抓斗保持闭合,还需要实现起升开闭的电流平衡。当抓斗闭合以后再起升抓斗时将自动启动电流平衡功能,有时候抓斗不可能完全闭合,这时候司机可以通过按住起升/开闭主令操作手柄上方的“电流平衡”按钮来手动启动电流平衡功能,同时用起升和开闭机构将抓斗从物料中拖出来。

系统工艺的实现思想:以起升机构做主,开闭机构做从,起升机构将转矩预控制输出经转矩限幅之后的输出

K0165和实际转速K0148通过两台逆变器之间的SIMOLINK通讯传送至开闭机构,开闭机构将收到的K0148作为与起升联动时的速度源,经限幅之后送入附加给定2(P0438)来实现速度同步;同松绳控制类似,用自由功能块工艺控制器搭建PID运算模块来实现起升开闭电流的平衡,开闭机构将收到的K0165乘以比例因子1.22作为PID控制器的给定,将速度控制器输出(K0153)为反馈,PID的输出结果与K0148经过加法器叠加后一起作用到开闭的附加给定2(P0438)上。按如上原理所说的功能图搭建可以在起升开闭速度同步的基础上和实现二者的电流平衡。与速度和电流平衡功能有关的主要参数设定如下:

起升:

P740.1=0 作为SIMOLINK通讯的分配器

P743.1=2 有两个节点

P745.1=2 有2个通道的数据传输

P751.1=K0165 转矩限幅输出送入通道1低字

P751.4=K0148 速度反馈送入通道2 高字

开闭:

P740.1=1 作为SIMOLINK通讯的收发器,地址为1

P743.1=2 有两个节点

P749.1=0.0 接收0节点通道1数据

P749.2=0.2 接收0节点通道2 数据

U108.1=K7001 将通道1低字传入乘法器1通道

U108.2=U006(122%) 比例因子送入乘法器2通道(比例因子是为了使

开闭和起升的出力比为55/45,这样开闭在运行中出力较起升大,可以保证抓斗不在运行中打开)

\*U352=K0468 作为PID控制器的设定值

\*U355=K0153 作为PID控制器的反馈值

\*U350=B3400 由PLC传输给开闭的电流平衡开始信号,用作使能PID控制器

U176=B3401 由PLC传输给开闭的速度跟踪信号,

U177.1=KK0000 选择器1通道

U177.2=KK7033 通道1的值(起升传来的K0148)送入选择器2通道

U090.1=K0588 PID控制器的输出送入加法器通道1

U090.2=KK0526 选择器输出送入加法器通道2

U130.2=K0450 加法器输出送入限幅功能块

P0438=K0501 限幅功能块输出送入附加给定2

\*号表示参数所在图纸为792,参见矢量大全

以上涉及到的自由功能块时间片均设为T4

### (4) 防摇

众所周知,在系统运行的过程中由于小车的运行会引起抓斗的摇晃,会极大的影响整个卸船机的效率,如何防止摇晃是所有起重机均要处理的共同问题。好的“防摇”措施将会大大提高机械的生产效率。目前采用的主要有几种方式包括机械式 液压式 电子式以及用司机“手动跟钩”方式,此次卸船机项目采用防摇技术是电子式的,其控制思想主要来自于钟摆原理,根据钟摆的周期公式:当摆长一定时,摆动周期是一定的,在卸船机中抓斗和钢丝绳可以看

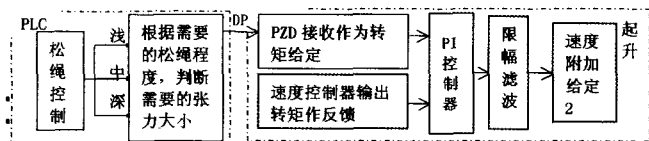


图7 松绳控制

作是一个钟摆，他的摆长可以通过起升的位置反馈求得，那么可以计算出抓斗在一定绳长时的摆动周期，将此周期经过加权运算之后经过PROFIBUS网络送入起升逆变器中作为控制参数，可以有效实现防摇的目的。由于防摇的控制与抓斗初始的摇摆状态有关，如果自动开始时如果抓斗有摇摆，那么在自动循环过程中将更加严重，所以司机在开始自动循环之前必须通过手动方式使抓斗几乎没有摇摆。

## 5 项目运行

泰州电厂一号卸船机已于2007年8月1日起投入使用，运行情况良好，至今已圆满的完成了累积近10万吨煤的卸

煤任务。该卸船机项目，不仅时间短，技术难度大，而且也是整个电厂运行的起点，能否成功，直接

影响泰州电厂发电目标的实现，经过多方努力，我们最终按期完成了调试任务，同时稳定的运行效果也得到了用户的肯定和好评。

## 6 应用体会

通过参加卸船机项目使我对6SE70



图8 俯仰抬起动作

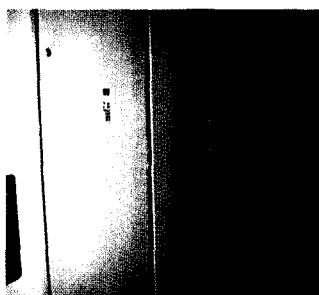


图9 电气房一角

系列变频装置有了进一步地认识，其稳定性和可靠性在项目中得到了很好的体现。对PROFIBUS总线的分布式控制系统可以极大的减少现场布线工作量和维护工作量也有了更直观的体会。

## 参考文献 (略)

(上接第8页)

图10为水泵的流量 $Q$ 与压力 $H$ 的关系曲线。图中曲线 $n_1$ 为水泵在转速 $n_1$ 下管压—流量( $H-Q$ )的特性；曲线 $n_2$ 为水泵在转速 $n_2$ 下管压—流量( $H-Q$ )的特性；曲线 $R_1$ 、 $R_2$ 为管阻特性。假设水泵在标准工作点A点效率最高，输出水量 $Q$ 为100%，功率 $P_1$ 与 $AH_1OQ_1$ 包围的面积成正比。根据生产工艺要求，当水量需从 $Q_1$ 减小到 $Q_2$ 时，如果采用调节阀门方法(相当增加管阻)，使管阻特性从曲线 $R_1$ 变到 $R_2$ ；系统由原来的标准工作点A变到新的工作点B运行。此时水泵的管压增加，轴功率 $P_2$ 与面积 $BH_2OQ_2$ 成正比。如果采用变频器控制方式，水泵转速由 $n_1$ 降到 $n_2$ ，在满足同样流量 $Q_2$ 的情况下，管道压力 $H_3$ 大幅降低，轴功率 $P_3$ 与面积 $CH_3OQ_2$ 成正比。轴功率 $P_3$ 和 $P_1$ 、 $P_2$ 相比将显著减小，节省的功耗 $\Delta P$ 与面积 $BH_2H_3C$ 成正比，节能的效果是十分显著的。

转速下降后，其实际功率将会下降很多，实现了节能。

当然转速的下降也会引起效率的降低及附加控制装置的效率影响等，假定效率为80%。

根据实际应用，变频改造后，两泵循环控制，频率基本运行在42Hz就可满足要求，经综合测算，节电率在35%左右。

## 6 结束语

发电厂除向外输送电能外，自身也是一个耗能大户，每年的耗电量也在几亿kW·h。随着国家节能减排力度的不断加大，电厂的节能改造也迫在眉睫。根据以上实践，采用变频控制将是改造的首选。

变频改造后，节能效果是十分明显的，其次还能带来很多其他的效益。

变频调速器以其良好的可靠性和调速范围广且调速平滑，能满足工艺要

求，启动电流小，亦可以减少对电网的冲击。

变频调速系统各种保护功能可靠、齐全，具有短路、过流、过压、欠压、温升过高等保护，从而消除了因电机过载或单相运行而烧毁电机的现象，确保了安全运行。

减少了设备的维护和维修工作量，降低了维修费用。

减少了调节阀门的开关次数，降低了员工的劳动强度。

改造后，精简了控制程序，使操作更加方便，提高了生产效率，从而达到了节能降耗的目的，其综合效益是特别明显的。

## 作者简介

张文勇 男 毕业于莱阳农学院机电工程学院电气化与自动化专业，现在山东新风光电子科技发展有限公司从事技术支持工作。