

西门子自动化与驱动产品在7.63M焦炉车辆系统中的应用

Application of Siemens Automation and Drive Production in 7.63m Coke Machines

滕海石

(西门子工厂自动化工程有限公司, 北京)

摘要: 本文介绍了西门子 SIMATIC S7-400H PLC、WINCC V6.0、MASTERDRIVES 6SE70 系列变频器 and SCALANCE W 等产品在国内第一套 7.63M 焦炉车辆控制系统中所组成的系统配置和网络结构; 并从软硬件设计方面, 叙述了对关键功能的成功实现。

关键词: 焦炉车辆 速度设定算法 SCALANCE W 主从控制

Abstract: This paper introduces the configuration and network construction that is consisted of Siemens SIMATIC S7-400H、WINCC 6.0 、MASTERDRIVES 6SE70 series invert and SCALANCE etc in the first 7.63M coking machines automatic control system of china. In aspects of hardware and software design, the paper also describes the successful application of main function.

Key Words: Coke machines Speed arithmetic SCALANCE W Master Slave controlling

1 项目简介

随着市场需求、环保要求的提高, 环保型大容积的焦炉系统成为了国内大型钢厂的必然选择。太钢焦化经过多次国外调研考察, 最后引进了德国 UHDE 公司的 PROVEN 技术和夏尔克公司的 7.63M 焦炉车辆。车辆系统由大连重工起重集团与其合作负责技术转化、设备制造、电气系统设计调试。下图一、图二为稳定运行的车辆总图:



图一 推焦车设备总图



图二 拦焦车设备总图

2 设备工艺介绍

焦炉车辆是焦炭生产工艺中的核心设备，主要由推焦机、装煤车、拦焦车、水熄焦车或焦灌车，地面协调系统组成。装煤车主要功能是走行至煤塔，将经过配煤系统配好的混合成分的焦煤接收到本车的煤斗中，然后走行至目标炉号停车定位，打开炉孔将煤斗中的煤按照工艺装煤量的要求装入对应炉孔；推焦车主要功能是打开炉体侧面的炉门，将结焦好的焦炭从炉子的一侧用推焦杆推出炉膛，并负责在装煤车装煤结束前进行平煤操作，以便在炉体内形成良好的煤分布形态。拦焦车的主要功能是负责将推焦车推出的焦炭经过导焦装置引导进熄焦车或焦灌车。如果采用湿法熄焦，熄焦车的功能是将焦炭快速运送到熄焦塔下，经熄焦水冷却后，再运送到放焦台。如果采用干法熄焦，则焦灌车负责运送红焦炭至提升机下，由提升机负责接送焦灌进入干熄焦工艺过程。

3 控制系统构成和产品应用特点，主要软件功能的实现

国内 6M、4.3M、5.5M 设备控制系统基本采用施耐德 MODICON 和 S7-300 系列 PLC，并且采用中央机架扩展配置，由于焦炉设备限位开关多、安装位置分散，大量 I/O 控制线进入一个 PLC 柜，造成系统维修难度加大，7.63M 控制系统完全采用基于 PROFIBUS-DP 网络的分布式 I/O 系统，克服了传统方案的缺点。

PLC 控制系统中 SIMATIC 产品类型及作用特点：

(1) CPU414-4H：基于事件同步机制的 S7-400H 系统的可靠性，确保了系统平均无故障时间在较小的范围内，使得推焦装置，平煤装置等重要机构在故障下长时间停留在 1000 度以上炉膛里耐受高温的危险情况几乎为零。

(2) ET200L、ET200S：经济，灵活，性能卓越的小型分布式 I/O 设备，分布在每个电气柜内和现场机构旁边的操作箱内，大大节省了布线。

(3) ET200M：冗余的 IM153-2 将经济性更好的 S7-300 的 I/O 模块集成到整个 DP 系统，选用有源背板总线，可支持模板热插拔而不会导致 CPU 停机。

(4) FM350-1：2 通道的高速计数模块，用于连接增量编码器，进行车辆走行距离测量。

(5) Y-LINK：将变频器、ET200L 等单总线从站集成到冗余的 DP 总线网络。

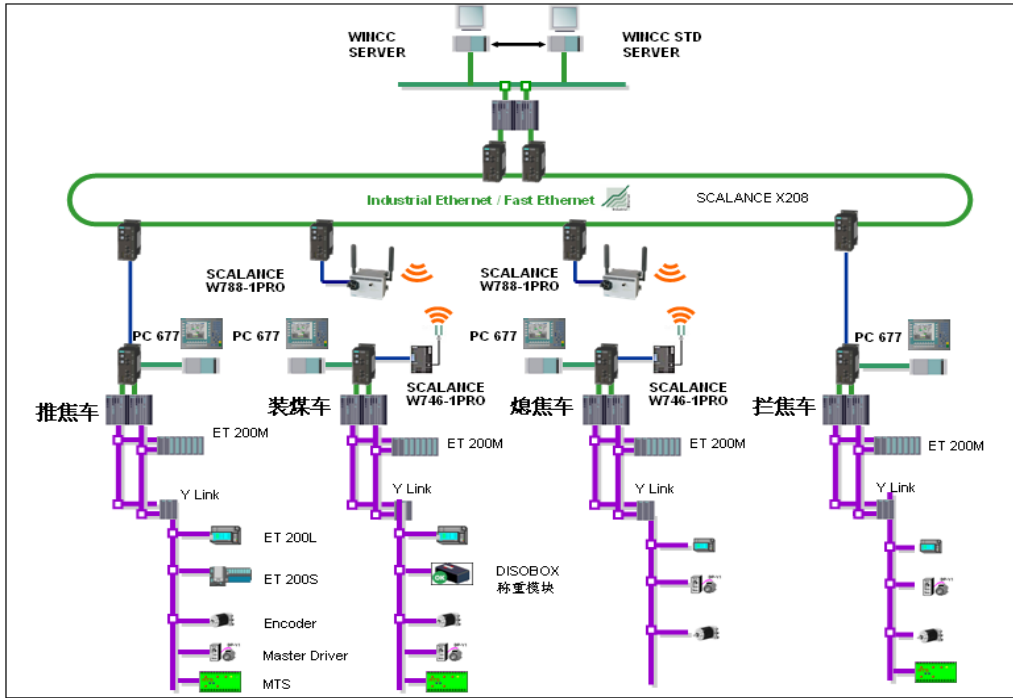
(6) DP-COUPLER：实现两个 DP 网络之间的数据交换。用于熄焦车和焦灌车之间设备运行信息的传递，实现在有驱动的焦罐车上可远程控制无驱动的熄焦车。

3.1 网络结构和配置

7.63M 焦炉四大车辆的 PLC 控制系统原理和结构基本相同，单个车辆 PLC 控制系统主要由 S7-400H 作为主站，将 ET200L、ET200M 分布式 I/O 设备、称重系统、MTS 线性位移传感器 DP 接口模块、变频通信模块集成到安全可靠的 PROFIBUS-DP 网络中。

配有 CP1613 以太网通讯处理器的 SIEMENS 功能键式 PC677 面板通过 SCALANCE X208 交换机链接到 S7-400H PLC 系统，通过 SIMATIC NET 软件的组态控制台 (Configuration Console) 和站组态编辑器 (Station Configurator) 的组态实现了 WINCC PC 站与 S7-400H 系统的通信。

7.63M 系统中四大车与地面协调系统通信采用工业以太网络，通信介质由光纤和无线组成。推焦车、拦焦车通过电缆卷筒供电，所以可以在电缆内部携带一束多模光纤；熄焦车、装煤车工作于高温环境，车上供电通过滑触器方式，因而必须选用无线介质。下图三，为系统网络结构图：



图三 系统网络结构图

3.2 无线解决方案

焦化现场环境粉尘多、污染严重、腐蚀性强、EMC 干扰强，无线网络使用了空间损耗较低的 2.4G 频段，并选用了 SIEMENS 基于 IEEE802.11g 标准的无线产品。无线 AP 选用 SCALANCE W788，其防护等级 IP65 的金属外壳设计和无线通道的可靠性，满足了焦化恶劣环境下对产品的苛刻要求，通过选配功率放大器和全向天线，该产品有效的覆盖了车辆近 100m 的运行范围。无线客户端选用 SCALANCE W746，选配定向天线。

下表 1 为无线网络系统的主要产品及选件配置：

硬件名称	型号	规格
无线以太网接入点	SCALANCE W788	6GK5788-1ST00-2AA6
无线以太网客户端	SCALANCE W746	6GK5746-1ST00-2AA6
2.4G 功放	AMP2400-1-YT	1W
全向天线	Q2400F12A12T	2.4G 11.5DB
定向天线	ANT793-8DR	6GK5 793-8DR00-0AB6
交换机	SCALANCE X208	6GK5 208-0BA00-2AA3
终端电阻	T1795-1R	6GK5795-1TR00-0AA6
模块化引出插座	IE FC RJ45	6GK1 901-1BE00-0AA3
IE TP XP 软线	IE TP XP 软线 RJ45/RJ45	6XV1870-3RH20
接头	R-SMA, SYV-50-3-1CP	
无线网卡	7515	6GK1 751-5AA00

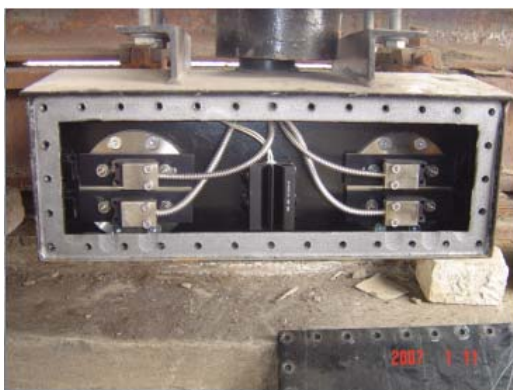
表 1 无线产品选型配置

为了防止装煤车和熄焦车这两个相邻轨道无线 AP 接入点使用同一个频率信道影响数据的响应时间，我们必须对 AP 进行多信道的组态，将每个 AP 接入点设置不同的频率。

整个车辆网络系统最终会接入整个厂区的上层以太网，所以无线网络信息的安全性也是至关重要的。为了防止非授权访问无线网络，我们通过参数设置禁用了 PING、SNMP、TELENT 协议；同时设置两个 AP 的 SSID(网络名)分别为 Charging car 和 Quenching car，并且禁止 SSID 广播功能；在 AP 上对客户端 MAC 进行过滤，保证只有在列表中的 MAC 客户端能够访问无线网络。

3.3 通过 FM350-1 位置检测实现走行自动对位系统中对变频器速度的控制

走行自动对位系统在整个车辆的系统中起着非常重要的作用，自动对位系统硬件上由阅读头(图四)和码盘(图五)装置组成。7.63M 焦炉每座炉子由 70 个炉孔组成，在焦炉端台的下部和炉顶轨道侧面沿着纵向每个炉孔中心处都安装有对应该炉号的码盘。

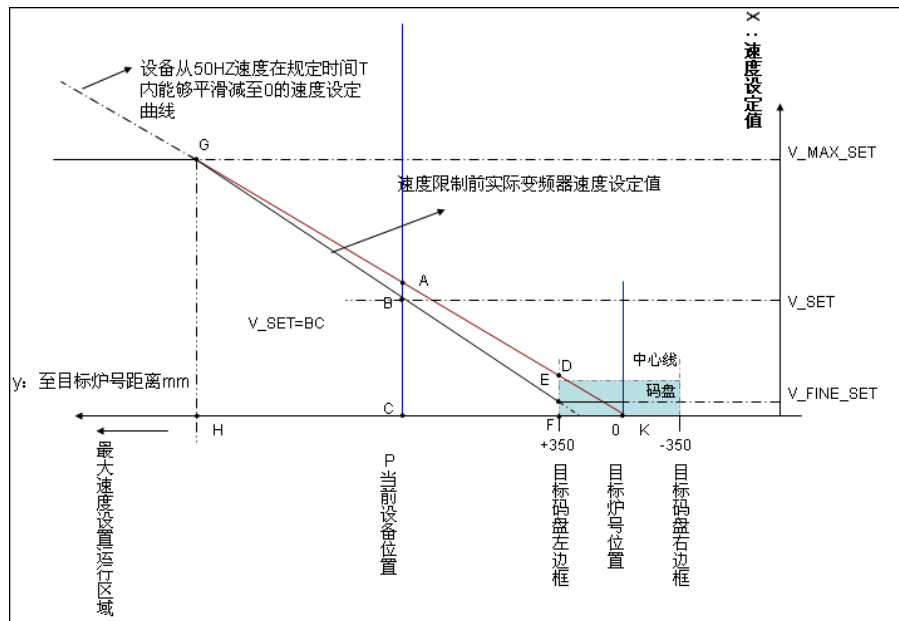


图四 阅读头



图五 码盘

在车辆运行中安装在车辆下部中心轴位置的阅读头通过码盘的时候，能够读出当前的炉号位置，并能给出车辆对准位置信号用于控制设备停车。只有准确定位在目标炉号位置，才能进行其它机构的操作运行。走行定位系统采用 FM350-1 高数计数模块，通过记录增量编码器的脉冲信号，经过比例变换来测得车辆距离原点（参考点）的距离，然后根据此距离值按照速度设定算法去控制变频器的速度给定值。关于 FM350-1 的硬件接线原理和软件设置，请参考相关手册。下面主要介绍一下速度设定的控制算法，如下图六所示：



图六 自动对位系统变频器速度设定算法图

V_{MAX_SET} :最大速度，已知量。

V_{FINE_SET} :进入码盘时的速度限制值，已知量。

V_{SET} :根据目标距离计算的实时速度设定值，要求出的量。

上图中，由于走行驱动电机的驱动能力已经确定，设备的运行过程中需要克服的阻力基本是一定的，那么变频器 50HZ 时设备最大运行速度值 V_{MAX_SET} 根据实际计算和测量可作为已知值。

设备在最大速度运行过程中，为了能够在规定的时间 T （考虑设备安全停车和工作周期等条件综合确定）内将设备能够安全平稳的将速度降下来，并且满足此时设备刚好步行到目标位置，那么应按照 GD 直线进行速度设定，但是同时为了确保通过抱闸制动能够平稳的停车定位，停车前速度必须限制到理想速度 V_{FINE_SET} 。在时间 T 确定的条件下，GD 直线已经确定，但是又必须满足理想速度的要求，所以实际变频器速度设定值应按照 GE 直线设定。

无理想速度限制前，设备运行的减速度即 GD 的斜率为 a ， HK 为在时间 T 内行程的距离。

根据物理学公式：

$$a = V_MAX_SET / T$$

$$HK = 1/2 * V_MAX_SET * T$$

按照上图所显示，根据几何关系：

$$\square GAB \cong \square GDE$$

$$\square GHFD \cong \square ACFD$$

由上图形相似得：

$$AB / ED = HC / HF$$

带入已知量：

$$ED = \sqrt{2a * FK} - V_FINE_SET = \sqrt{2a * 350} - V_FINE_SET$$

$$HC = HK - CK = 1/2 * V_MAX_SET * T - P$$

$$HF = HK - KF$$

$$HF = \sqrt{2aV_MAX_SET} - 350$$

$$AB = (\sqrt{2a * 350} - V_FINE_SET) * (1/2 * V_MAX_SET * T - P) / (\sqrt{2aV_MAX_SET} - 350)$$

变频器的速度设定值 BC 可由下式得到：

$$BC = AC - AB$$

$$BC = \sqrt{2aP} - (\sqrt{2a * 350} - V_FINE_SET) * (1/2 * V_MAX_SET * T - P) / (\sqrt{2aV_MAX_SET} - 350)$$

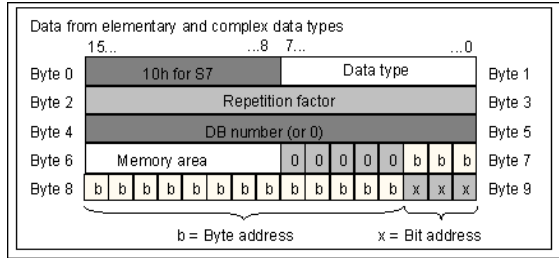
具体的程序由于篇幅关系在此不列出。以下两个方面的细节必须特别的注意：

(1) 由于轨道不平，车辆走行轮在行进过程中经常出现打滑，颠簸等因素，难免会对测量结果形成累计误差，这将大大影响了对位系统的精度和可靠性。为此，我们在 OB35 循环中断组织块程序中，在每一次有效精确对准某一目标炉号后，将该位置的参考值进行脉冲数转换后对 FM350 进行同步校正。

(2) 为了使变频器的速度受 PLC 给定值控制，而不是按照变频器内部参数设置的斜坡函数下降曲线减速，所以变频器斜坡下降时间参数的设置必须小于走行对位算法中的参数 T。

3.4 通过 Any 复杂数据类型，实现 DB 内间接寻址来产生独立位置数据，实现对各机构更准确的控制。

由于各炉孔的热胀系数不同，各炉门的相对位置有所差别，工艺要求根据不同的定位炉号，来独立的产生在这个位置时的各油缸动作机构的前限和后限位置限制值。因此，在 STEP 7 软件程序中，将 1 号至 70 号炉孔的位置实测数据保存到了一个 DB 块中，在编程中通过将 DB 块中第一个炉号位置数据所在 DB 中的地址传递给一个 ANY 类型的参数，实现 DB 内间接寻址的方法满足了此工艺要求。



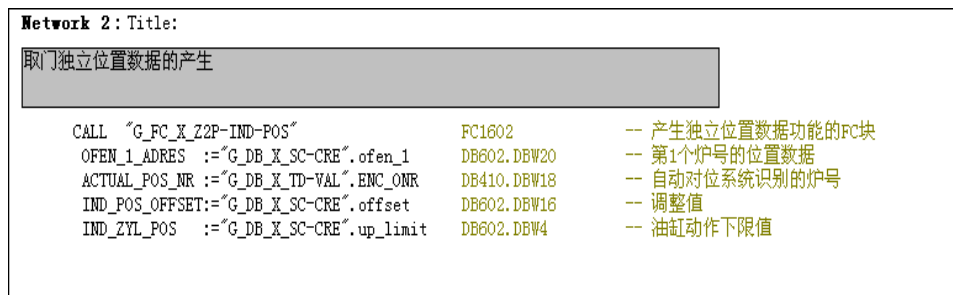
图七 ANY 类型参数的数据结构

如上图七所示，ANY 作为形式参数类型在 PLC 中占十个字节的地址空间，通过对 ANY 参数所获得的数据结构进行分析，可得到 DB 号和 DBW 字节等信息，最后再根据当前炉号进行地址偏移，得到对应炉号位置数据。

下面以设备在 5 号炉孔时，某个动作机构下限位置数据值的产生程序为例，介绍一下类似工艺要求的实现：

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	max_stroke	INT	300	最大行程值
+2.0	down_limit	INT	10	油缸动作上限值
+4.0	up_limit	INT	260	油缸动作下限值
+6.0	delay_down	INT	1	下限到位延时设定值
+8.0	delay_up	INT	2	上限到位延时设定值
+10.0	run_time	INT	10	全形成运行时间设定值
+12.0	no_move	INT	3	油缸未移动时间设定值
+14.0	balance	INT	103	平衡值
+16.0	offset	INT	8	调整值
+18.0	IDNNDIVIDUELLE_VORNE_POS	BOOL	FALSE	以下是各炉号的实际位置数据
+20.0	ofen_1	INT	260	第1个炉号的位置数据
+22.0	ofen_2	INT	266	第2个炉号的位置数据
+24.0	ofen_3	INT	263	第3个炉号的位置数据
+26.0	ofen_4	INT	268	第4个炉号的位置数据
+28.0	ofen_5	INT	267	第5个炉号的位置数据
+30.0	ofen_6	INT	264	第6个炉号的位置数据
+32.0	ofen_7	INT	260	第7个炉号的位置数据
+34.0	ofen_8	INT	260	第8个炉号的位置数据
+36.0	ofen_9	INT	260	第9个炉号的位置数据
+38.0	ofen_10	INT	260	第10个炉号的位置数据
+40.0	ofen_11	INT	260	第11个炉号的位置数据
+42.0	ofen_12	INT	260	第12个炉号的位置数据

图八 DB 的数据结构



图九 FC 的调用

FC 内部具体程序如下:

```

L    P##OFEN_1_ADRES //OFEN_1_ADRES : IN 参数、数据类型 ANY,将指针指向形参首地址。
LAR1 //把该参数的地址装入地址寄存器 1。
L    D [AR1,P#6.0] //对首地址进行偏移 6 个字节后,装入 10 个 byte 中后 4 个字节中含有字
节地址信息的数据。
T    #BEREICHSZEIGER // BEREICHSZEIGER: TEMP 参数、数据类型 INT,将上述值装入临时变量
L    #BEREICHSZEIGER
SRW 3 //右移 3 位,主要是去除 bit address 信息。
T    #WORD_NR //WORD_NR: TEMP 参数、数据类型 INT,将右移后的值装入 WORD_NR,即为第一个炉号位
置数据所在 DB 中的字节号 20。
L    #ACTUAL_POS_NR // ACTUAL_POS_NR: IN 参数、数据类型 INT,载入当前的炉号位置,本例中为: 5。
L    2
*I
L    2
-I
L    #WORD_NR
+I
T    #WORD_NR //以上几步程序作用为通过相加当前炉 5,计算出 5 号炉位置数据在
DB 中的字节号,即为 28。
L    W [AR1,P#4.0] //将寄存器 1 中的地址偏移 4 个字节,载入 DB 号的值,在这里是 602。
T    #DB_NR
OPN DB [#DB_NR] //打开 DB602。
LAR1 P#DBX 0.0 //将 DBX0.0 的地址装入地址寄存器 1。
L    #WORD_NR //载入字节号 28。
SLW 3
+AR1
L    DBW [AR1,P#0.0] //通过还原为符合 DB 寻址的数据结构形式后,提取出当前炉号的位置数
据,即 DB602.DBW28 中的内容 267。
T    #IND_ZYL_POS // IND_ZYL_POS: OUT 参数,数据类型 INT,将结果值传递给 OUT 参数。 L
#IND_ZYL_POS
L    #IND_POS_OFFSET // IND_POS_OFFSET: IN 参数,数据类型 INT,调整值。
-I
T    #IND_ZYL_POS //将经过调整后的值输出,即为该动作下限位置的。
    
```

4. HMI 系统功能特点

PC677 功能键式操作面板,分体式的结构,使得在移动车辆震动较大的场合将主机布置在相对稳固的壁挂电气箱内。WINCC V6.0 强大的功能使整个 HMI 系统更加灵活,主要功能和特点如下:

(1) 设备机构动作动态化：基于 C 脚本强大的功能，通过项目函数实现了根据设备状态动态改变图形背景颜色，使操作员一目了然设备状态。

(2) 操作员动作记录：通过组态按钮触发报警，巧用报警记录控件，使操作顺序记录归档，便于对操作质量的管理。

(3) LISTVIEW 控件显示推焦计划：基于 WinCC 开放性，通过 VBS 脚本可直接访问网络服务器上的推焦计划，节省计划传达环节的物质和人员浪费。

(4) 画面结构：基于 PICTURE WINDOW 画面窗口功能，使整个画面分为四个区域，利用函数动态改变画面的切换。

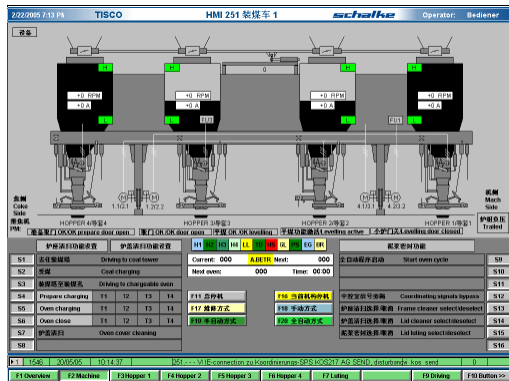
(5) 时间同步：利用 SYSTEM INFO 通道，实现用 PLC 时间同步 HMI 时间，保证推焦计划的时间一致性。

(6) 变量归档：实现了对推焦电流、平煤电流、装煤重量等重要工艺参数的归档，作为对对焦时间确定的重要参考。

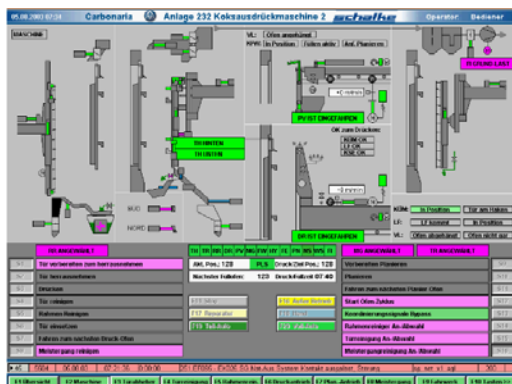
下面图显示了设备的操作台和运行画面：



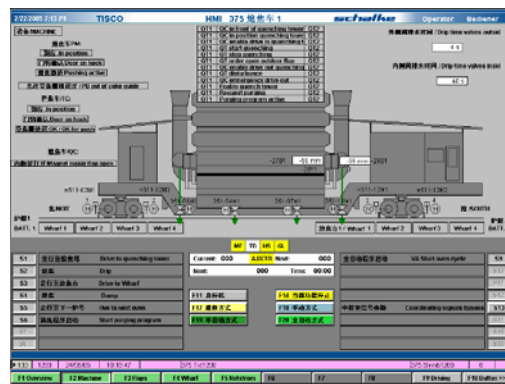
图十 操作台



图十一 装煤车运行总画面



图十二 推焦车运行总画面

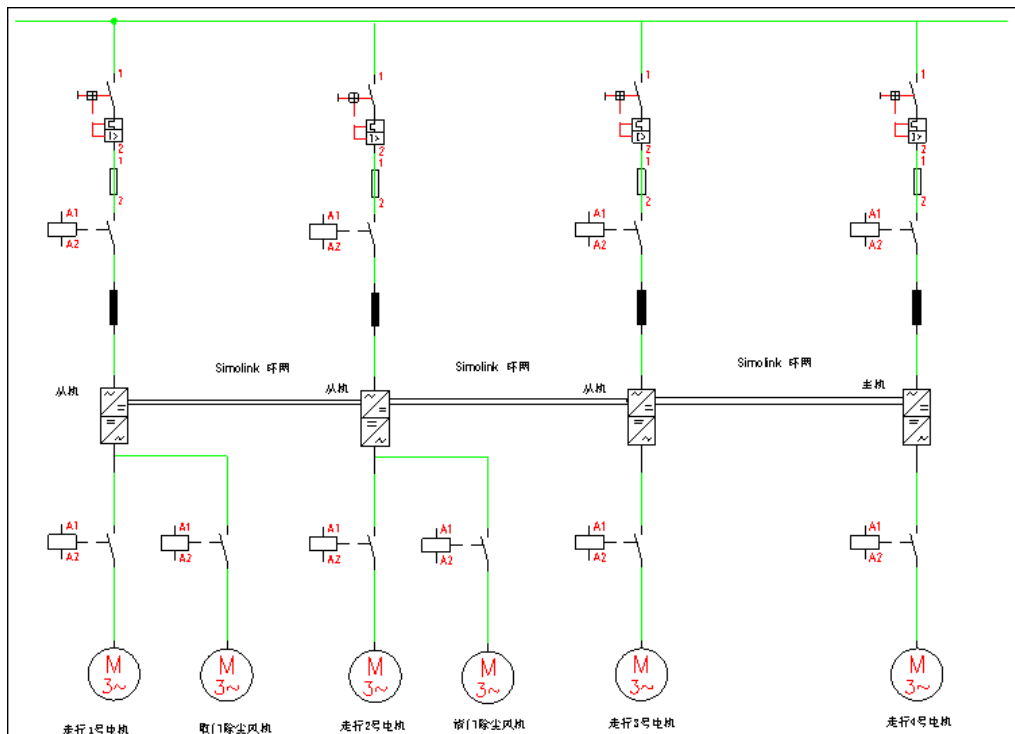


图十三 熄焦车运行总画面

5 传动控制系统的组成和特点

在 7.63m 的传动方案中，选用了 SIMOVERT MASTERDRIVE 6SE70 系列的装机装柜矢量型变频器。其灵活的 BICO 技术使整个传动方案的设计成本显著下降。

在设计中对不同时工作的两个传动机构，对变频器容量要求在同一功率范围内时，采用两个机构共用一台变频器。对于变频器的控制，正常情况下通过 PROFIBUS-DP 网络控制，在网络中断的情况下要求切换到端子给定控制（为了能够无扰切换需设置 P781=0 屏蔽通信故障。下图十四，为拦焦车的传动方案的典型配置：



图十四 典型传动系统配置图

由于设备跨度较大，避免产生啃轨和振动现象，走行变频速度要求进行同步操作，本方案中采取了基于 SIMOLINK 光纤环网的主从通信。

主从方案主要有两种：

(1) 主装置包含正常的速度环和电流环，而从装置只拥有电流环，接受主装置的速度环输出作为电流环给定，即主从装置同时采用主装置的速度环。

(2) 采用转矩限幅的方式，即主装置电流环的输出作为从装置的电流环的转矩限幅。

采用方法一时，从装置不带编码器时，会出现电流过高的现象，这时可以通过把主装置的电流附给从装置的 P275 来限制从装置的电流，但这样通过观测从装置的实际速度曲线发现从装置的实际速度和给

定速度相比波动很大，可能是从装置没有带编码器的原因造成的速度环为开环，实际速度在不停的跟踪给定速度，时大时小，所以有波动。

采取方法二时，主从速度给定和实际值波动小，但从装置的启动和制动电流非常的大，因此用 P278 来调节从装置的启动、制动电流，把 P278 的值调小，但如果过小，从装置的转矩就会随之变小，速度虽然跟上了，但转矩却降下来了，因此这个值在调节时要反复的进行测试。

综合考虑后，采取了方法一的主从控制方案，下表 2 是主从装置的主要参数设置：

	主机参数				从机1参数				
	第1组参数	参数值	第2组参数	参数值	第1组参数	参数值	第2组参数	参数值	
SLB节点地址DISPATCHER	P740.1	0			SLB节点地址Transceiver	P740.1	1	P740.2	0
根据主从之间的距离选择	P742.1	1			根据主从之间的距离选择	P742.1	1		
通道数量	P745.1	2			通道数量	P745.1	2		
主控制字	P751.1	K30			接收地址0的通道0数据	P749.1	0		
速度环输出的转矩设定	P751.2	K153			接收地址0的通道1数据	P749.2	0.1		
设置为主	P587.1	0			设置为从	P587.1	1		
					电流环设定值	P486.1	K7002		
ON/OFF1的命令	P554.1	B3100	P554.2	B0012	ON/OFF1的命令	P554.1	B7100	P554.2	B3100
OFF2	P555.1	B0022	P555.2	B0022	OFF2	P555.1	B0022	P555.2	B0022
逆变器使能	P561.1	B3103	P561.2	B0001	逆变器使能	P561.1	B7103	P561.2	B3103
设定值使能	P564.1	B3106	P564.2	B0001	设定值使能	P564.1	B7106	P564.2	B3106
故障复位1	P565.1	B2107	P565.2	B2107	故障复位1	P565.1	B2107	P565.2	B2107
故障复位2	P566.1	B3107			故障复位2	P566.1	B7107	P566.2	B3107
					FDS选择位0	P576	B3400		
					FDS选择位1	P577	B3401		
					MDS选择位0	P578	B3402		
					MDS选择位1	P579	B3403		
BDS选择位	P590	B0020			BDS选择位	P590	B3415		
主给定值	P443.1	K3032	P443.2		主给定值			P443.2	3032
状态字1	P734.1	K32			状态字1			P734.1	K32
速度	P734.2	K148			速度			P734.2	K148
直流母线电压	P734.3	K0240			直流母线电压			P734.3	K0240
输出电流	P734.4	K22			输出电流			P734.4	K22

表 2：变频器参数设置

五 项目运行、应用体会

亚洲第一套 7.63m 大型焦炉在太钢的顺利投产，引起了国内业界的高度关注。鉴于其的成功，随后马钢、武钢、沙钢、首钢京唐港相继引进了该环保型焦炉设备。

在项目实际调试过程中，SIEMENS 产品的灵活性、开放性、完善的技术文档、良好的技术支持，使现场调试时间得到了有利保证，缩短了项目成本。

参考文献：

- [1] 赵欣：西门子工业网络交换机应用指南（机械工业出版社）
- [2] STEP 7 V5.4 Help Contents
- [3] WinCC V6.0 Help Contents
- [4] SIMOVERT MASTERDRIVES 矢量使用大全