

大连海事大学

---

硕士学位论文

---

焦炉机械设备控制系统的设计与研究

---

姓名：孙元华

---

申请学位级别：硕士

---

专业：电气工程

---

指导教师：邱赤东;白永昕

---

20100601

## 摘 要

近几年来, 多层网络技术发展的非常迅速, 广泛应用于冶金、纸业、电力等不同的行业。企业现代化建设的衡量标准之一, 就是企业信息化体系的良好构建。因而以多层网络为硬件设计理念, 实现工业过程数据自动采集、存储及实时传输, 以及各项计划特别是生产计划的自动下达与执行; 实现企业产、供、销及管控一体化, 已成为焦炉机械系统控制技术的最新亮点。另外焦炉机械系统控制过程中的模糊 PID、多电机负荷平衡、自动对位多项核心技术, 作为构成系统控制策略的关键因素, 将对设备的生产效率、环保、安全、精度等性能, 起到积极的促进作用。

本文以首钢 7.63 米焦炉机械系统为例, 围绕如何构建焦炉机械自动化控制管理系统, 使它可以实现现场控制层与基础、过程和生产管理控制层之间的无缝隙结合而展开的。同时还包括多项控制策略的研究及论证, 最后设计出监控管理人机界面系统等。

本文主要做了以下几方面的工作:

首先, 从焦炉机械系统控制的开放性、互操作性、可靠性、全数字化及生产工艺要求特点出发, 将各个分散的测量、控制设备以网络节点的方式互相连接在一起, 构建了多层网络硬件结构。因焦炉机械系统控制对象复杂、分散、响应快、集中管理、网络化发展需求等原因, 系统设计中充分体现出网络系统的快速性、扩展性及开放性的优势。针对上述特点, 本文选定现场总线、基础自动化级、过程自动化级、生产控制级网络相融合的多层网络控制结构, 通过现场总线、以太网有线及无线传输和过程控制计算机(简称 L2)的网络搭建手段, 实现了生产连锁管理、生产计划管理、数据采集以及设备的远程设定及控制功能。

其次, 焦炉机械业是一个特殊的行业, 现场环境恶劣、作业频繁、操作安全性及可靠性要求高, 同时为响应国家产业政策对焦炉机械设备的节能、减排标准控制要求, 在焦炉机械控制系统中用于烟尘排放控制的电液比例系统、用于生产效率提高的自动对位系统、用于电机运行特性优化的负荷平衡等多项控制策略成为了系统控制的核心技术。针对上述系统控制要求, 本文运用电液比例阀及模糊 PID

控制策略，实现了油缸推进速度的实时控制，从而保证了取门台车进退、提门、倾斜动作的快速及平稳无冲击运行，不仅很好地缓解了设备冲击，尤其对炉门、炉框起到了良好的密封作用；运用 SIMOLINK 环网及变频矢量控制技术建立了多电机驱动负荷平衡控制系统，较好地解决了焦炉机械因负荷分配不均而导致电流偏差大的实际问题，并使走行机构多电机的负荷实现了自动、实时均匀分布，不仅很好地从控制角度解决了钢结构的扭曲变形及跑偏问题，尤其可实现设备的高速平稳运行，从而提高了生产效率；运用编码识别技术的自动对位系统，能够按照程序设置的 S 速度曲线将车辆设备精确定位在目标位置处，不仅满足了定位误差 $\leq \pm 5\text{mm}$  的控制要求，而且运行控制效果平稳，尤其对设备的安全联锁操作起到了至关重要的控制作用。

最后，从焦炉机械设备结构紧凑可视性差、控制对象多、安全操作要求高、生产集中管理等工艺要求特点出发，将监控管理系统融入到系统控制中，实现了对控制系统操作和运行参数的在线检测、实时诊断、趋势分析、及时发现和预报异常运行情况并提供故障处理信息的控制功能。本文所设计的监控系统，不仅可指导运行人员合理操作，保障了系统运行的安全性，尤其对综合生产管理水平的提高，提供了良好的界面功能。

2008 年 8 月，基于本文所设计的网络结构、控制策略、监控管理系统的首钢 7.63 米焦炉机械项目成功投入生产运营。

**关键词：**焦炉；现场总线；工业以太网；模糊 PID；变频器

## ABSTRACT

In recent years, the development of multilayer network technology is fast. It is used widely in metallurgy, papermaking, electricity, and other various industries. Good construction of enterprise information system is one of the criteria of enterprise modernization. Thus with multilayer network as hardware design concept realizes automatic acquisition、 storage、 real-time transmission of the data and it can make and execute each plan automatically, especially the production plan. It can also realize the integration of the production、 supply 、sale and control of the enterprise. It has become the latest highlights of coke oven machinery system control technology. Otherwise, as the key factor of system control strategy ,the fuzzy PID、 multi-motor load balance、 much core technology on automatic positioning in the process of coke oven machinery system control will play a positive role in production efficiency、 environmental protection、 safety、 accuracy of the equipment.

Taking the 7.63 meters coke oven machinery system of Shougang for example.The thesis focuses on how to construct the automation management system of coke oven machinery, realizing the seamless combination of the on-site control layer and the base、 process and production management control layer. It also includes several control strategy research and demonstration .In the end, monitoring management man-machine interface system is worked out.

The following several aspects are introduced in this thesis:

Firstly, in view of the openness、 interoperability、 reliability、 digitization and the production requirements of the coke oven machinery system control, each of the scattered measurement and control equipment are connected together by the way of network nodes, constructing the multilayer network hardware structure. Because the control object of coke oven machinery system are complicated, scattered and fast response , the system designs fully embodies the quickness, expansibility and openness of the network system . In view of the above feasure, this thesis selects the fieldbus, basic automation layer, process automation layer, production control layer, which are multi-layer network control structure of network combining .The production

chain management, production project management, equipment of remote set data acquisition and control function are realized in the way of building the network by the fieldbus, Ethernet cable , wireless transmission and process control computer (abbreviation as L2).

Secondly, coke oven machinery of industry is a special industry, because of hostile field environments, frequent work and high demand on operation safety and reliability. At the same time, in response to state industrial policies about energy conservation and emission reduction standard of coke oven machinery equipment, various control strategies become the core technology of the system control in the coke oven machinery control system .Those contain the electrohydraulic proportional system for dust emission control, the automatic positioning system for improving the efficiency of production and the load balance for the motor running characteristics of optimization. In view of the above system control requirements, the electrohydraulic proportional valve and fuzzy PID control strategy are used in this thesis. It realized the oil cylinder velocity of real-time control, so as to ensure the door extractor retract , forward and raise, tilt on the smooth running well and quickly. It not only eased the impact of equipment, but also played good sealed box on the furnace door and furnace frame. The multi- motor driving load balance control system are established by using SIMOLINK ring network and the frequency vector control. It solved better the practical problems of big current deviation, which caused by uneven load distribution of coke oven machinery. And the driving multi-motor load realized automation and real-time evenly distribution. The distortion and run badly of the steel structure on control are solved, and the high-speed and smooth operation of equipment are realized, thus the production efficiency are improved. Automatic positioning technology using coding system, can set vehicles equipment with accurate positioning in objective place according to the S curve in procedures. It not only met the control requirements of positioning error less than 5mm or equal to 5mm ,but also had a smooth effect on operation control, especially played a crucial role in control for the equipment interlocking operate safely.

Finally, based on the compact structure, poor visibility ,much control object ,high request on safe operation, and centralized management of the coke oven machinery equipment, the monitor management system is taken into the control system. It realized

the on-line detection, real-time analysis and the trend diagnosis of the control system operation and operation parameters. It can also find and forecast abnormal operation, and provide fault handling information. The monitoring system in this thesis, can guide operation personnel to operate the system reasonable, ensure the safety of system operation, especially provide good interface functions on raise the level of production management.

In August 2008, the 7.63 meters coke oven machinery project of Shougang, which based on the network structure, control strategy, monitoring and management system, was operated successfully.

**Key Words: Coke Oven; The Fieldbus; Industrial Ethernet; Fuzzy PID; Frequency Inverter**

# 大连海事大学学位论文原创性声明和使用授权说明

## 原创性声明

本人郑重声明：本论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果，撰写成硕士学位论文“焦炉机械设备控制系统的设计与研究”。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表或未公开发表的成果。本声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名： 李元华

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解大连海事大学有关保留、使用研究生学位论文的规定，即：大连海事大学有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连海事大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。同意将本学位论文收录到《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》（中国学术期刊（光盘版）电子杂志社）、《中国学位论文全文数据库》（中国科学技术信息研究所）等数据库中，并以电子出版物形式出版发行和提供信息服务。保密的论文在解密后遵守此规定。

本学位论文属于： 保 密  在 \_\_\_\_\_ 年解密后适用本授权书。

不保密  （请在以上方框内打“√”）

论文作者签名： 李元华 导师签名： 印

日期： 2010 年 6 月 28 日

## 引 言

焦炉机械设备是为冶金、化工和煤制气等企业焦炉生产工艺服务的专用移动式机械设备。随着国民经济持续稳定发展，“工业之母”钢铁的需求量也日益增多，在此工业发展的背景下，中国正从钢铁大国逐步向钢铁强国迈进，钢铁企业的发展需要大量优质焦炭的辅助，再加上国家的环保政策的严格要求，基本趋势是冶金行业的焦化厂新建和改扩建需要更大容积的湿式或干式熄焦的焦炉，这是因为大容积焦炉不仅占地面积小，按照产量要求而言，7.63米(单孔46吨/年产220万吨)，7米(单孔27吨/年产125万吨)，6米(单孔20吨/年产90万吨)，相比之下大容积焦炉不仅操作频率减少，烟尘排放量达到了节能减排目的高标准要求，同时年产量也具有绝对的优势。根据国家钢铁发展政策及可持续循环经济发展战略，在“十一五”及未来十年，配套服务于焦炉的机械设备应向大容积、环保、高效、节能、自动化及智能化方向发展，满足设备操作工艺特点及高可靠性、高效率、高科技含量的要求。

本设计课题来源于首钢搬迁改造工程之一的大容积7.63米焦炉机械项目，总投资3亿多元。本人作为该项目电气主任设计师，完成了电气系统的设计及现场调试工作，目前首钢7.63米焦炉机械装备已投入生产运营。

根据项目的相关背景和技术发展状况，针对大容积焦炉机械控制和生产要求设计开发了基于现场总线及以太网的多层网络控制系统。该系统采用现场总线技术与工业以太网相结合的控制结构，实现了对生产数据的实时采集、对生产过程的监控和管理，整个系统构成灵活易于扩展，可靠性高，具有很强的通用性和工程推广性。

## 第1章 绪论

### 1.1 焦炉机械设备的工艺特点

焦炉机械设备配套服务于焦炭及煤气的生产工艺，目前已形成系列化。焦炉机械设备主要由装煤车、推焦车、拦焦车、电机车、焦炉车辆协调管理系统等单体设备组成。

装煤车工作在焦炉顶部，主要完成启闭装煤孔盖，向碳化室内部添加煤粉操作。

推焦车工作在焦炉的机侧位置，主要完成开闭炉门、推焦、平煤操作。

拦焦车工作在焦炉的焦侧位置，主要完成开闭炉门、导焦操作。

电机车工作在焦侧位置，牵引熄焦车运行。

焦炉车辆协调管理系统，完成四大机车安全联锁操作。

焦炉机械设备整体布置如图1.1所示。

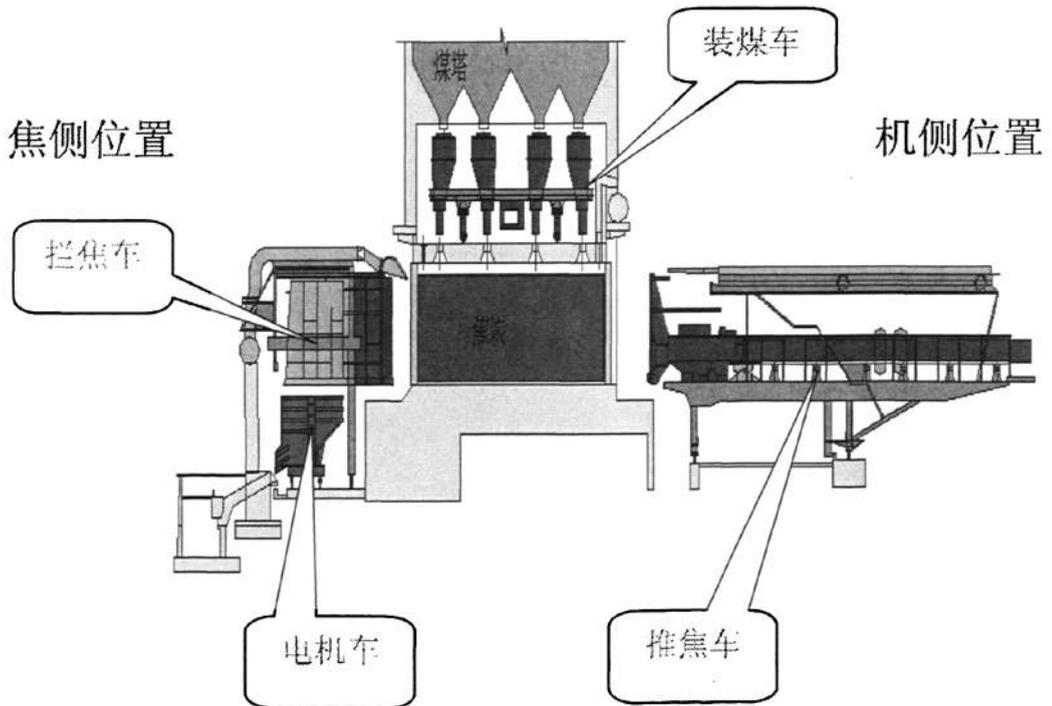


图 1.1 焦炉机械设备整体布置

## 1.2 焦炉机械设备的工艺流程

为能够使焦炉机械设备装煤车、推焦车、拦焦车、电机车按照生产工艺、管理计划要求；有序、安全、可靠的完成预定生产任务，焦炉机械控制系统必须按照下列工艺流程进行安全联锁操作，其中主要包含如下图所示的推焦及装煤工艺流程。

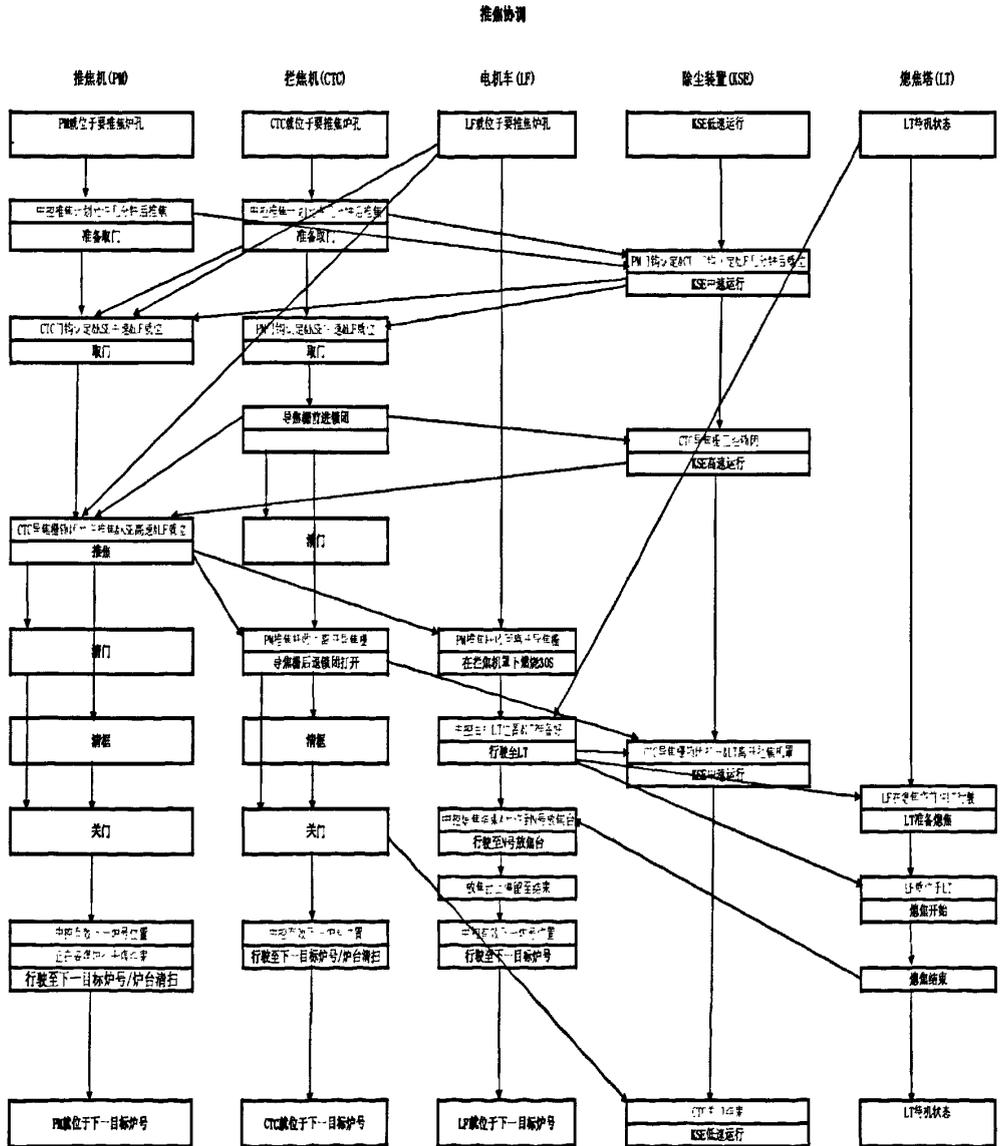


图1.2 焦炉机械推焦工艺流程

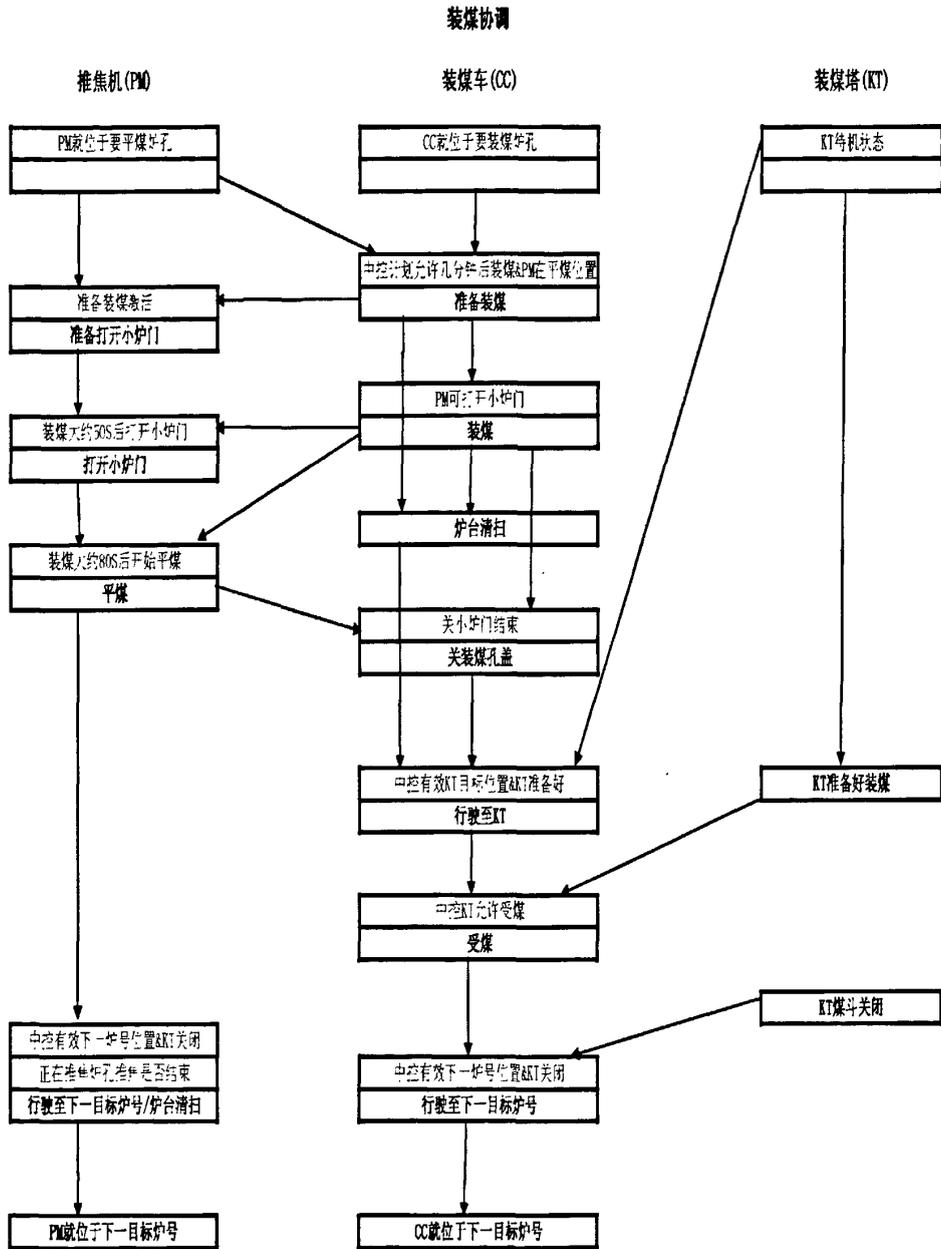


图 1.3 焦炉机械装煤工艺流程

### 1.3 焦炉机械设备的控制要求

焦炉机械业是一个特殊的行业，现场环境恶劣、作业频繁、程序复杂、人工操作的机车一旦造成失误将使得红焦落地，可能造成车毁人亡的重大事故发生。经分析整个控制系统具有容量大、控制分散、控制规律复杂、控制精度高、控制参数多等典型特征，因此设计一个先进可靠的控制系统尤为重要。结合焦炉机械工艺特点和工业现场条件该控制系统应具备以下特点及要求：

(1) 传统的现场级设备与控制器之间的连接是单一的测控点，这种控制系统存在底层数据不全、信息集成能力不强、系统开放性集成性差、可靠性低、可维护性不高等诸多缺点。因此为了克服传统控制系统的缺点，控制网络应设置为基于以太网及PROFIBUS-DP结构，面向设备的现场总线控制网络和面向自动化的主干控制网络的接入节点形式，从而保留现场总线与工业以太网各自优点，并互为补充。

(2) 由于焦化厂环境恶劣，存在高温、灰尘、腐蚀性气体及焦炉移动车辆的频繁移动和工艺上的对位精度 $\leq \pm 5\text{mm}$ 的要求，需根据目标距离通过变频器对走行电机进行高要求的速度控制，同时应结合变频器的速度特性设置最优的电机速度运行控制曲线，满足对位精确、运行平稳的控制功能。

(3) 焦炉机械运行机构繁多，每个单元机构均由多个油缸组成，且每个油缸的工艺动作流程均有连贯性，另外受设备的工艺布置要求限制，大部分机构的可视性差，上述工艺特点要求控制系统应设置一个开放的可视化的过程控制环节，将生产和过程自动化集成为一个系统，使操作与监控的设计成为可能，并应具备故障报警、记录操作数据、记录事件数据、详细说明操作及维修的信息及趋势等生产管理功能。

(4) 考虑到生产和网络技术、传感器技术、无线通讯技术、计算机技术的迅猛发展，控制系统应具有良好的可扩展性，控制系统可通过设备层网络采集编码器与油缸位移传感器等数据信号，实时控制电机与油缸的行程动作。

具备上述要求特点的控制系統，不仅可保证系统的可靠性、可扩展性，提高了数据的传输速率，同时实现了控制单元的分散布置和工艺流程的集中控制，减少了电缆的数量，降低了控制系统的成本，提高了系统的可维护性。

## 1.4 焦炉机械设备控制系统的结构

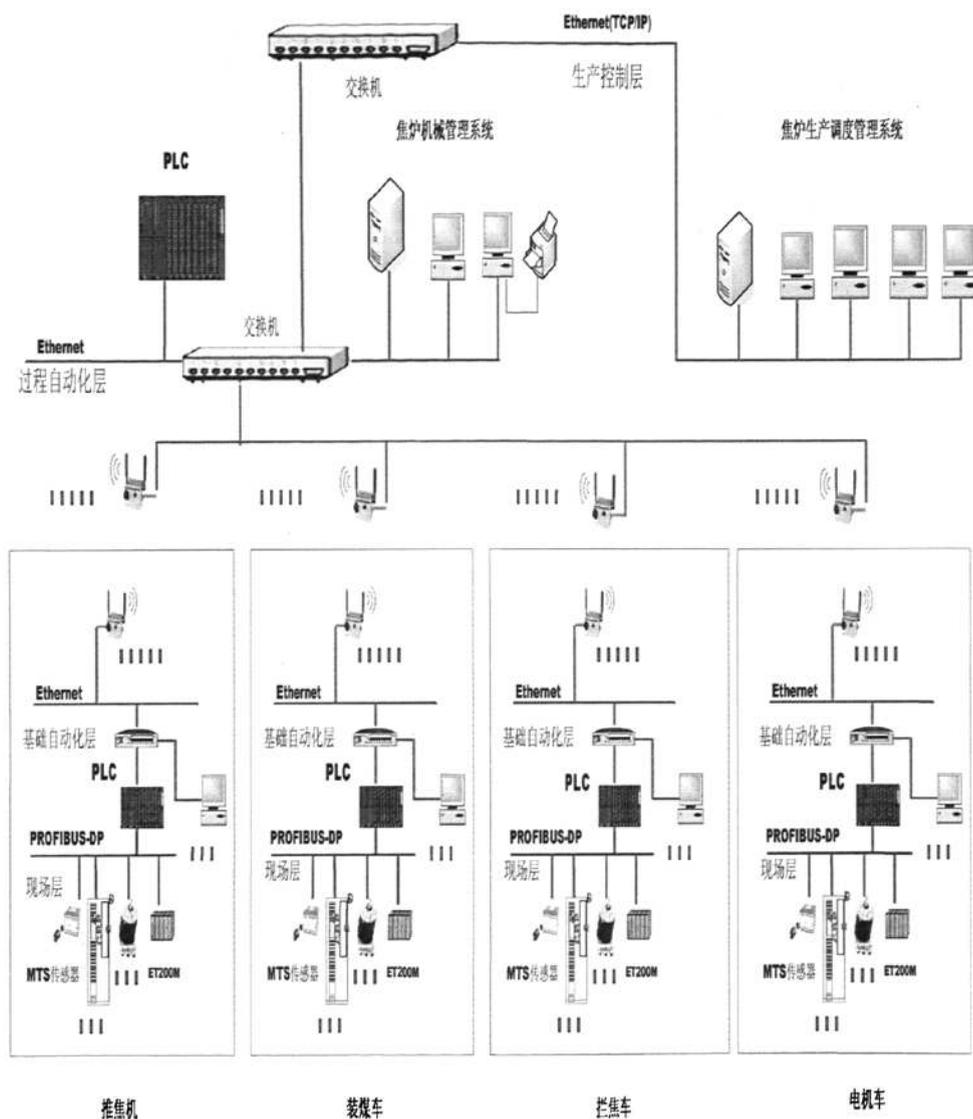


图1.4 焦炉机械控制系统多层网络

结合焦炉机械工艺和系统控制要求，本项目控制系统按照“集中管理，分级控制”的原则，设计构建了如图1.4所示的基于以太网及PROFIBUS-DP现场总线形式的多层网络控制系统。

由上述网络结构图可以看出，整个控制系统分为四层结构，各层所担负的控制任务如下所述：

(1) 生产控制层的基本任务是根据焦炭成熟及炉内温度制定推焦、装煤计划，以及除尘、熄焦、焦碳的排放运输管理等。

(2) 过程自动化层的基本任务是完成数据采集、通讯及焦炉机械四大车的协调生产工作，使现场设备根据生产计划管理要求，有序、安全、可靠完成预定生产任务之外，还通过装煤数学模型进行平煤次数及装煤量的设定计算。

(3) 基础自动层的基本任务是根据生产控制级、过程自动化级的指令要求，对单机设备控制系统进行操作，同时负责运行参数的在线检测、实时诊断，及时发现和预报异常运行情况，提示故障处理信息。

(4) 现场设备层的基本任务是接受基础自动化级的控制指令，驱动各机构完成预定动作之外，还通过现场总线获取现场设备状态，传送至上级用于控制决策。

借助网络控制朝着开放系统、统一标准方向发展的强劲优势，将多层网络集成在焦炉机械控制系统中，不仅打破了传统的一对一的本地控制模式，同时使不同网络能够充分发挥各自优势，更好地完成预定生产控制任务之外，还十分有利于现场设备的扩展应用及结构搭建的灵活性。

## 1.5 本章小结

本章介绍了该设计项目的背景及意义；介绍了焦炉机械工艺特点、流程及控制要求；叙述了焦炉机械控制系统结构与各层的基本任务；阐明了网络技术的发展方向及应用在焦炉机械控制系统中的优越性。

## 第 2 章 基于多层网络的焦炉机械设备控制系统的构建

### 2.1 系统多层网络控制方案

随着通信网络和自动化控制等技术的发展，信息处理正在迅速覆盖从工厂的现场设备层到控制、管理的各个层次。信息技术的飞速发展，引起了自动化系统结构的变革，逐步形成以多层网络集成自动化系统为基础的信息系统。为顺应这一形式，控制方案若仅为单独的现场总线系统，虽然符合现代工业控制的核心思想：“控制分散，信息集中”的现代企业对底层控制网络的基本要求，实现了真正的全分布式系统控制，但是由于它存在难以在整个车间范围内实现全自动化控制的缺点，很难实现企业对管控一体化的控制目标。为弥补上述现场总线系统的局限性，本系统方案将以太网技术融于控制网络当中，从而实现了控制网络的底层为 PROFIBUS-DP 的现场总线系统，负责传动电机的变频调速，实现测控信号在现场设备与控制设备之间的实时双向传递等功能，而工业以太网作为控制网络的上层，通过 TCP/IP 协议，在整个车间范围内实现了实时数据交换，为车间实现管控一体化提供了可能。

鉴于上述原因，同时结合系统控制要求，本项目采用了面向设备的现场总线控制网络和面向自动化的控制网络，自动化控制网络由基础、过程、生产等多层以太网构成，从而充分保留了各自优点，互为补充，实现了系统的网络化，提高了系统的性能和开放性。依据上述原则所构建的焦炉机械系统多层网络控制方案如图 2.1 所示。

### 2.2 PROFIBUS-DP 网络的构建

根据国际电工委员会 IEC1158 定义，现场总线是安装在生产过程区域的现场设备、仪表与控制室内的自动化控制装置系统之间的一种串行、数字式、多点通信的数据总线<sup>[3]</sup>。或者说，现场总线是以单个分散的、数字化、智能化的测量和控制设备作为网络节点，用总线相连接，实现相互交换信息，共同完成自动控制功能的开放式、数字化多点通讯的底层控制网络。

2000 年 1 月 4 日通过的 IEC1158 现场总线国际标准一共包含 8 种类型现场总线，考虑到 PROFIBUS 现场总线横向相对于其他总线的优势及设备控制系统全部

采用 SIEMENS 控制器等因素, 采用 PROFIBUS 总线为底层十分便于系统的系统整体配置, 因此本系统设计方案采用了 PROFIBUS 现场总线作为系统底层网络。

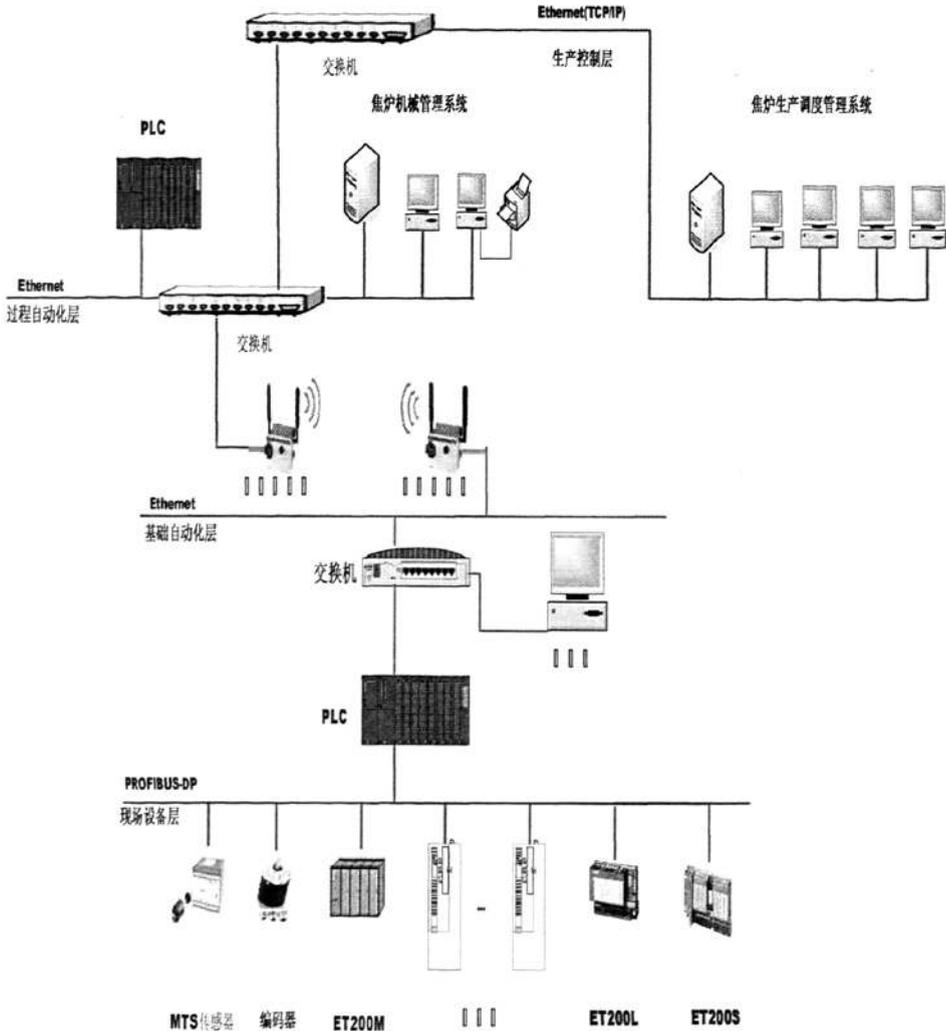


图 2.1 系统多层网络控制方案图

PROFIBUS(Process Fieldbus)是一种国际性的、开放的、已在世界范围内得到广泛应用的现场总线。它于89 年成为德国标准DIN 19245, 于96 年成为欧洲标准EN50170 V.2, 于99年底成为国际标准IEC 61158 的组成部分(TYPE3)。目前国际上许多公司的产品支持PROFIBUS总线协议, 现场总线仪表系列齐全, 市场占有率第一, 德国西门子公司则是PROFIBUS 产品的主要供应商。PROFIBUS 根据应用

特点分为 PROFIBUS-DP(Decentralized Periphery), PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification), PROFIBUS-PA(ProcessAutomation)三个兼容版本。<sup>[10]</sup>其中 PROFIBUS-DP 是一种经过优化的高速通信连接,专为自动控制系统和分散I/O 设备之间通信设计,用于分布式控制系统的高速数据传输,其传输速率可达12Mbit/s,一般构成单主站系统,并以PROFIBUS-DP现场总线为底层联系纽带,将多个分散在现场的带集成PROFIBUS-DP通讯能力的远程扩展PLC单元、变频器、编码器、位移传感器作为从站网络节点,采用公开、规范的通讯协议,将它们连接成可以相互沟通信息,共同完成自控任务的网络系统。

### 2.2.1 PROFIBUS-DP 网络的结构与硬件配置

如上所述,PROFIBUS有3种版本,分别针对不同的应用对象和应用要求。其中PROFIBUS-DP应用场合为现场层,用于设备级自动控制系统与分散的外围设备之间的通讯连接。DP为Decentralized Periphery的缩写,意为“分散化外围设备”。<sup>[11]</sup>它专为自动控制系统和设备级分散I/O之间通讯设计,非常适合焦炉机械系统设计,本项目控制系统的底层部分正是基于PROFIBUS-DP网络而展开的。SIMATIC S7-400系列是德国SIEMENS公司近几年来广为流行的用于工业控制的产品,它能够实现高速、复杂的控制任务,系统的实时性好,能够实现开环和闭环的过程控制和计算,针对不同的控制要求,可以实现各种控制功能。<sup>[4]</sup>

用于PLC网络系统中进行数据链接系统控制的站称为主站,主站上设有CPU及通讯处理器负责对网络进行通讯管理,通讯处理器是将PLC连接到PROFIBUS-DP网络的特殊功能模块,在部分S7-300/400系列PLC中,部分CPU模块所带缺省PROFIBUS-DP主站或从站接口功能,使得以低成本优势直接将PLC集成为PROFIBUS-DP主站或从站,本项目正基于上述原因及可满足程序容量和较高要求的多种因数,选用集成PROFIBUS-DP网络接口的S7-400(SIEMENS)系列CPU 414-3DP为主站控制器模块,并以高达12Mbit/s数据传输率,对PROFIBUS网络中的从站进行数据读/写与参数设定,高效快捷的满足生产工艺的实际控制任务要求。本设计项目中CPU414-3作为DP一类主站,与DP从站分布式I/O模块ET-200M(液压系统)、ET-200L模块(自动对位系统)、MTS位移传感器接口模块、编码器、

变频器等硬件共同构成了如图2.2所示的PROFIBUS-DP 现场总线设备级底层网络控制结构。

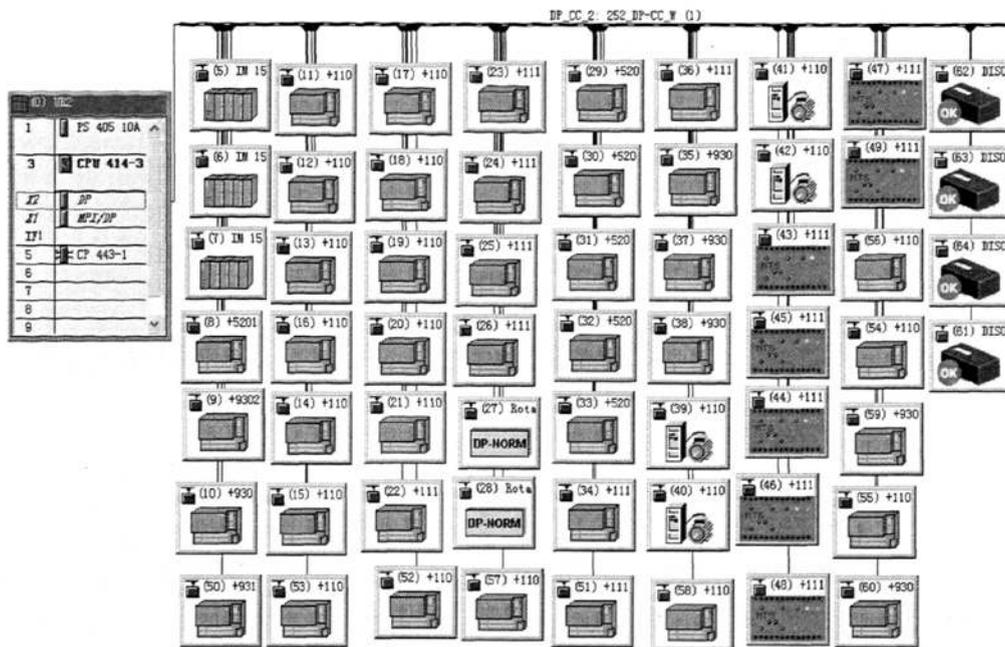


图 2.2 PROFIBUS-DP 现场总线网络结构图

按照上述网络结构及焦炉机械现场级设备的控制要求，而被集成构建 PROFIBUS-DP 网络硬件的相关技术性能描述如下：

#### (1) PROFIBUS-DP主站控制器

主站控制器CPU 414-3适用于满足程序容量和处理速度要求较高的场合，因其具备的强大优势被选定为本项目的主站控制器。

① CPU处理功能强大，不仅指令执行时间仅为每个二进制指令0.04微妙，而且用户及程序数据存储RAM容量分别为1.4MB，能够充分体现执行用户程序的快速性这一优点。

② 扩展功能灵活，最多可扩展至131072点数字量和81932点模拟量输入/输出。

③ 主站DP和组合的MPI/DP双接口形式，十分有利于系统的网络配置，PROFIBUS-DP主站接口，可以用来实现分布式自动化组态，数据传输率高达12Mbit/s,能够满足生产工艺的实际控制任务要求，而组合MPI/DP接口，可用来不同网段的DP组态配置或编程调试之用。

④ 专门设置的环形缓冲器，用来保存故障和中断事件，提高了系统的故障辨识率。

#### (2) PROFIBUS-DP从站ET-200M

从站ET-200M是一种模块化的分布式I/O站，通过IM-153接口与PROFIBUS-DP现场总线连接，并且允许配置最大I/O模块的数量为8个。它就近布置于被控元件处，不仅减少了故障率，提高了系统的可靠性和数据传输率，同时也节省了大量的电缆连接成本。

#### (3) PROFIBUS-DP从站ET-200L

从站ET-200L是一种集成DP接口紧凑型的分布式I/O模块，它可与被控制元件一同布置在控制柜内，具有最低的布线成本，另外可不受导轨大小的限制任意增加模块数量极大方便了系统的配置，同时端子块可以容纳电气模板，可以承接接线，在更换电气模板时，无需拆卸电缆极大方便了元件组装。

#### (4) PROFIBUS-DP从站位移传感器模块与编码器

从站位移传感器模块与编码器是集成DP接口的行程测量单元，它将位移信号转换为网络数字信号输入至控制系统内参与控制，另外控制系统也可根据实际工艺对编码器进行校准数据写入工作，编码器所具备的可读、写的功能极大方便了现场实际控制应用。

#### (5) PROFIBUS-DP从站变频器

从站变频器（SIMOVERT MASTERDRIVES）矢量控制装置，可以通过通讯板CBP2(Communication Board PROFIBUS DP)，方便连接至PROFIBUS-DP网络中，另外在实时要求较高的多传动控制系统中，可通过SLB(SIMOLINK Board)通讯板实现传动设备间的快速数据交换的目的。

### 2.2.2 PROFIBUS-DP 网络的组态

网络的构成除了进行正确的物理连接之外，还要对整个网络进行组态，也就是对网络进行逻辑上的连接。这种逻辑上的组态要与实际的物理连接相同，否则整个网络无法工作。PROFIBUS-DP网络组态工作主要是确定硬件型号、节点地址、网络通讯速率等。当根据系统技术性能要求选定好主站PLC系统后，还需对网络及主站参数做进一步设定，方可称之为完整的网络组态，完成所有元件的硬件配置后都要下载到网络的各个节点中，并且只有下载成功方能建立起来真正的网络通信。关于所涉及网络组态相关参数的详细步骤，表述如下。

#### (1) 主站的创建

网络组态的第一步，一般是首先创建PROFIBUS网络主站，主站创建需要建立项目、确定CPU型号、配置机架、电源模块、I/O模块、通讯模块等基本操作。按照上述步骤创建好名称为“shougang”的项目后，再根据实际系统设计配置机架，选用CPU型号、电源模块、I/O模块、通讯模块后，最终完成的主站硬件配置页面如图2.3所示。

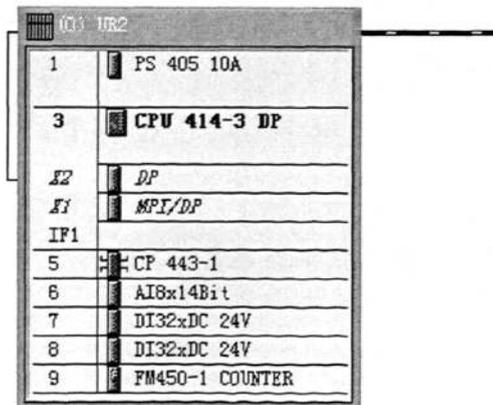


图 2.3 主站硬件配置图

#### (2) PROFIBUS-DP网络传输速率与协议的设定

主站配置完成后，保存配置并退出到项目编辑页面，右键单击“shougang”项目图标，可弹出如图2.4所示项目文件编辑子菜单。

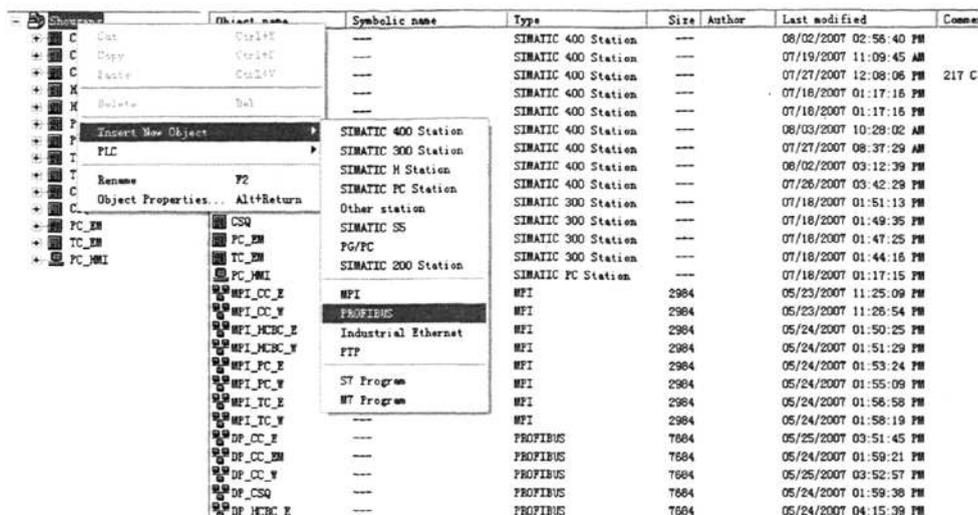


图 2.4 PROFIBUS-DP 网络编辑器菜单

根据上述子菜单所示，选择“Insert New Object”（插入新项目），并在下级子菜单中选择“PROFIBUS”，即可在编辑页面的“对象显示区”中自动增加缺省 PROFIBUS 网络连接图标“PROFIBUS(1)”，然后根据实际设备命名需要可将缺省“PROFIBUS(1)”网络，重新命名为 DP\_CC\_1 (No.1 装煤车)，按照同样的操作流程，可分别对该成套项目中的不同设备的 PROFIBUS 网络进行创建及属性的设定。另外双击组态界面中的 PROFIBUS 网络连接线，右键单击网络线并选择“对象属性 (Object Properties)”选项，即可自动弹出如图 2.5 所示 PROFIBUS 设定基本对话框。

上述 PROFIBUS 属性显示界面中，涉及“常规 (General)”与“网络设定 (Network Settings)”两个选型标签。

“常规 (General)”选项标签，主要包含网络名称 (Name)、S7 子网 ID 码 (S7 Subnet ID)、项目途径 (Project Path)、项目存储区域 (Storage location of the project)、以及项目创建时间等参数。

点击“网络设定 (Network Settings)”选项标签，即可进入图 2.6 传输速率与协议设定页面，在该界面可以设定 PROFIBUS 网络的传输速率 (Transmission Rate, 默认为 1.5Mbit/s)、传输协议 (Profile, 默认为 DP) 等参数。

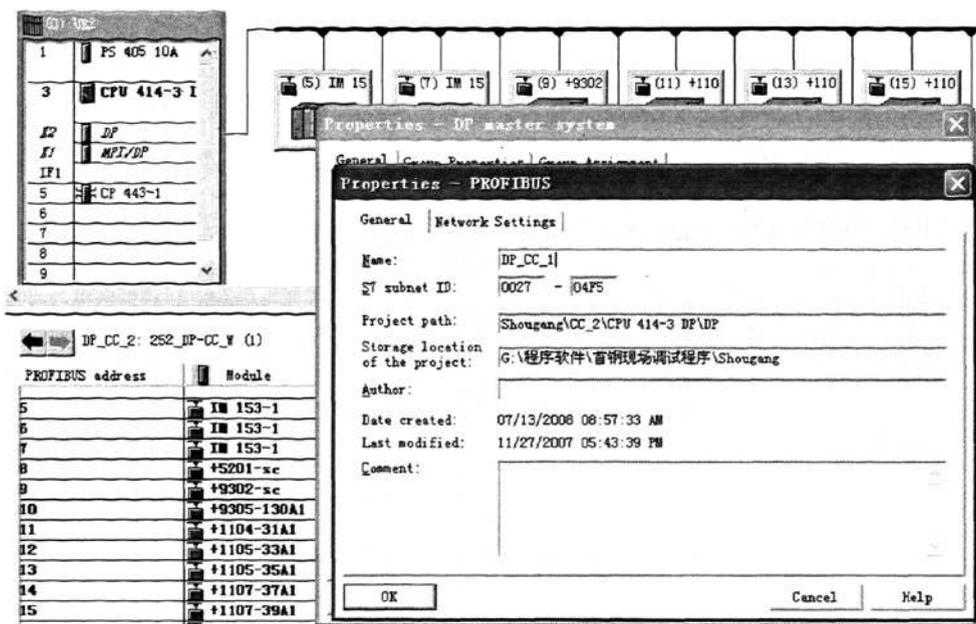


图 2.5 PROFIBUS 属性显示界面

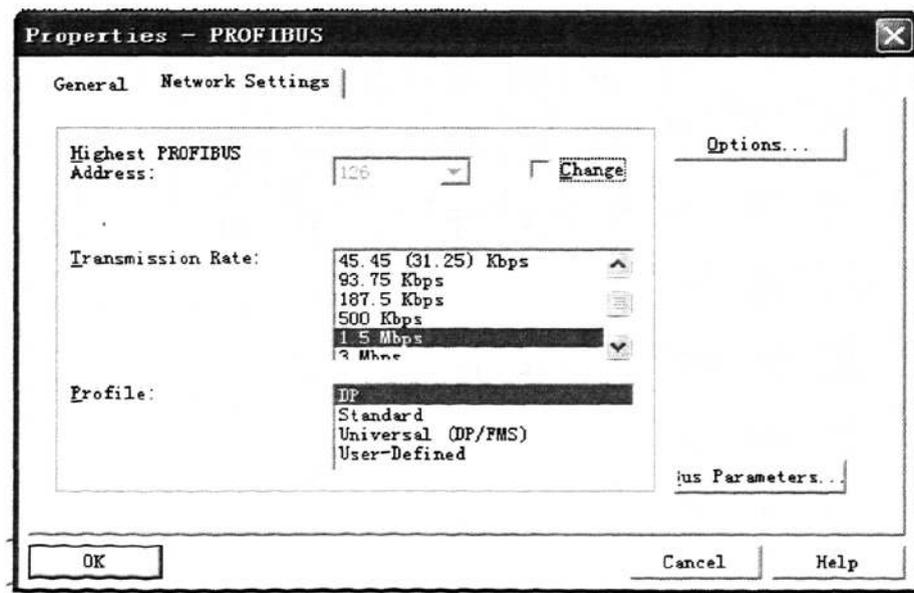


图 2.6 传输速率与协议设定界面

### (3) PROFIBUS-DP主站地址设定

PROFIBUS网络的基本参数设定完成后，保存返回到系统的硬件配置页面，右

键单击CPU-DP子模块并选择“对象属性 (Object Properties...)”选项，即可弹出如图2.7 所示CPU-DP“属性”设定基本对话框，然后点击Properties项，即可对PROFIBUS-DP主站地址进行设定。

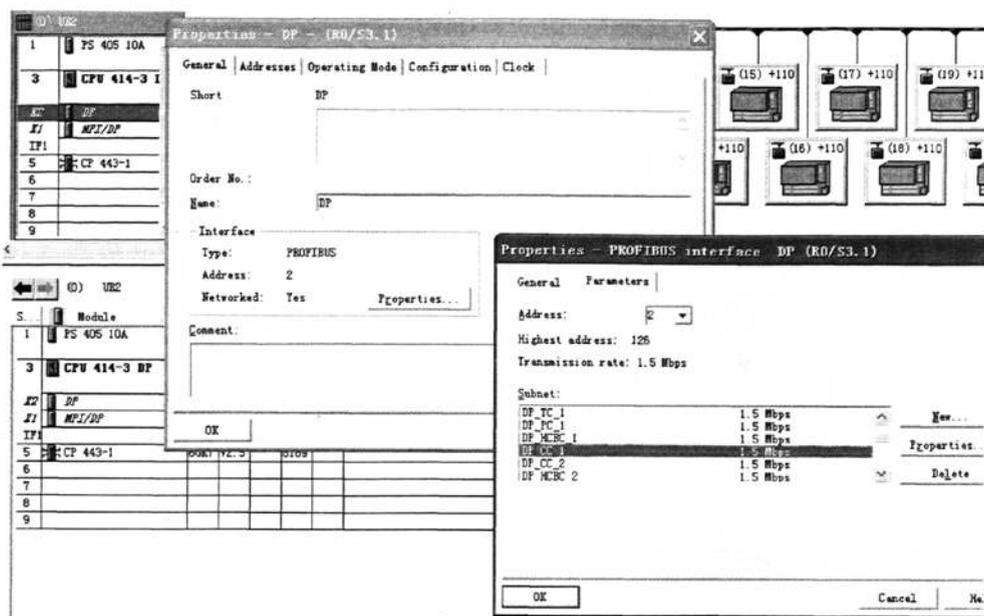


图 2.7 PROFIBUS-DP 主站地址设定界面

上述PROFIBUS-DP主站地址设定界面，涉及“地址 (Address)”与“操作方式 (Operating Mode)”两个重要标签项。

“地址 (Address)”标签项，用来设定主站地址，本设计选用系统默认的主站地址“2”，不需要改变。

操作方式 (Operating Mode) 标签项，用来选择工作模式是主站或从站，对于本设计选用如图2.8 所示主站操作模式选项。

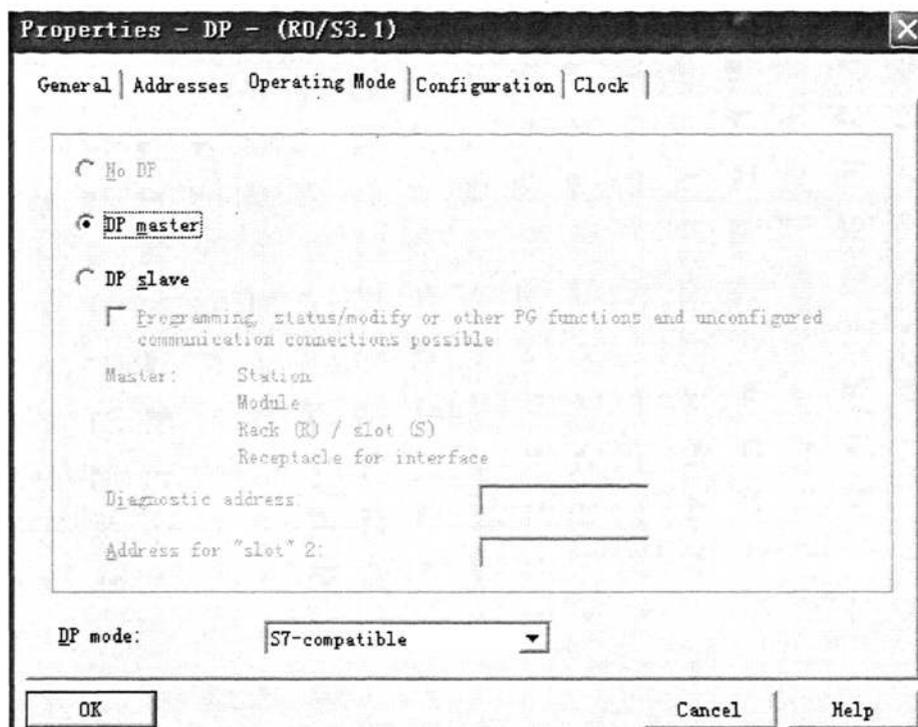


图 2.8 PROFIBUS-DP 主站工作模式设定界面

## 2.3 以太网的构建

本项目的设计中，依据系统控制要求所构建的整体网络，是一个以 PROFIBUS-DP 现场总线为底层联系纽带。但就整个公司生产整体管理、监控以及设备管理维护的要求，整个系统的信息流不能单单在控制系统底层进行交换流通，而生产计划的下达、完成的情况、设备运行状况等信息都需要传递给上一级，所以系统控制网络中必须引入工业以太网技术，增加多层以太网络。

以太网(Ethernet)起源于1975年美国Xerox公司建造的一个219Mbps的CSMA/CD(载波监听多路访问/冲突检测)系统，它以无源电缆作为总线来传送数据，在1000m的电缆上连接了100多台计算机，并以曾经在历史上表示传播电磁波的以太(Ether)来命名，这就是如今以太网的鼻祖。以太网是IEEE802.3所支持的局域网标准，按照国际标准化组织开放系统互连参考模型(ISO/OSI)的7层结构，

以太网标准只定义了数据链路层和物理层，作为一个完整的通信系统。它需要高层协议的支持。A2PARNET 在制定了TCP/IP 高层通信协议，并把以太网作为其数据链路和物理层的协议之后，以太网便和TCP/IP 紧密地捆绑在一起了。以后，由于国际互连网采用了以太网和TCP/IP 协议，人们甚至把如超文本连接HTTP 等TCP/IP 协议组放在一起，俗称为以太网技术。20世纪80年代产生和发展起来的现场总线技术使得工业企业管理控制一体化成为可能。由于以太网的广泛应用，许多工业厂商开始将传统的现场总线架构在以太网上。<sup>[31]</sup>

所谓工业以太网，是指技术上与商用以太网(即IEEE802.3 标准)兼容，但在产品设计时材质的选用、产品的强度、适用性以及实时性等方面能满足工业现场的需要。简言之，工业以太网是将以太网应用于工业控制和管理的局域网技术。传统的控制系统在信息层大都采用以太网，而在控制层和设备层则采用不同的现场总线或其他专用网络。随着互联网技术的发展与普及推广，Ethernet 技术也得到了迅速的发展，Ethernet 传输速率的提高和Ethernet 交换技术的发展，给解决Ethernet 通信的非确定性问题带来了希望，目前以太网已经渗透到了控制层和设备层，开始成为现场控制网络的一员。基于IEEE802.3 标准，工业以太网提供了针对制造业控制网络的数据传输的以太网标准。将以太网高速传输技术引入到工业控制领域，使得企业内部互联网(Intranet)、外部互联网(Extranet)和国际互联网(Internet)提供的技术和广泛应用已经进入生产和过程自动化。这种应用推动了自动化技术与互联网技术的结合，是未来制造业电子商务技术的网络技术雏形，也是自动化技术的发展趋势。<sup>[36]</sup>

### 2.3.1 以太网的结构与硬件配置

传统的工业以太网，可用来进行不同网络之间的集成。现在以太网已经与控制网络构成了集成系统，企业网络一般包含处理企业管理与决策信息的信息网络和处理企业现场实时测控信息的控制网络两部分。控制网络主要位于企业中下层，处理实时的、现场的信息，具有协议简单、容错性强、安全可靠、成本低廉等特征。信息网络一般处于企业中上层、处理大量、变化的、多样的信息，具有高速、综合的特征。因此，企业网络是控制网络与信息网络的集成，实现集成的、统一的企业网络成为企业综合自动化与信息化的努力目标。另外因焦炉机械的频繁移

动性、作业环境恶劣等原因，在设计中引用了基于以太网的无线通讯技术用于设备之间的通讯联络，它与有线工业控制网络结合，在工业控制系统中应用了现场总线技术、以太网技术、嵌入式技术等，实现了系统的网络化，提高了系统的性能和灵活性，十分便于系统的扩展，为改善以太网通讯效果起到了积极的推荐作用。

本设计结合焦炉机械的生产工艺及控制要求，选定了下层基础自动化层经无线网络方式与上层过程自动化级及生产控制级网络相融合的形式，构建了如图2.9所示的整套焦炉机械设备以太网控制网络结构。

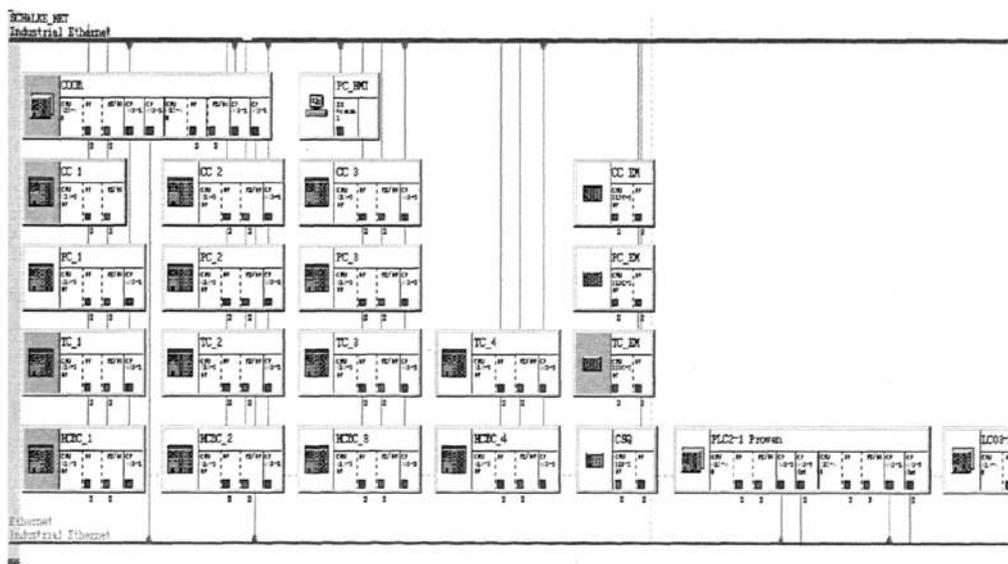


图 2.9 以太网网络结构图

### 2.3.1.1 下层基础自动化级控制网络

下层设备单体基础自动化层控制网络为能够实现单体设备的在线监控、实时控制，配备了上位机监控系统完成与PLC之间的数据交换，控制网络中的节点可以通过交换机或无线设备与过程自动化级及生产控制层网络进行相连。结合上述网络集成的控制要求，本项目设计构建了如图2.10所示的下层设备单体基础自动化级控制网络，服务于单体设备的操作及生产运行管理。

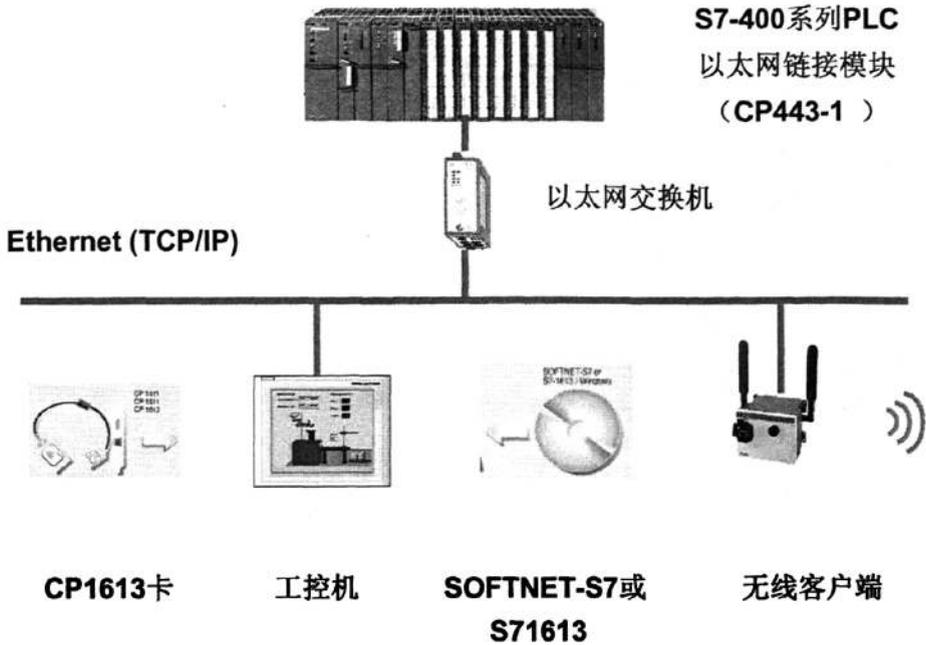


图 2.10 焦炉机械设备单体以太网控制网络

按照上述网络结构及焦炉机械现场级设备的控制要求，而被集成构建的下层设备单体基础自动化级控制网络硬件的相关技术性能描述如下：

#### (1) PLC以太网链接模块

PLC以太网链接模块的作用是将PLC以“站”的形式接入以太网中。一般来说，PLC与以太网的链接需要通过专门的通讯处理模块进行，本次设计选用S7-400系列以太网通讯模块CP443-1来完成接入以太网的链接任务。CP443-1是SIMATIC S7-400用于工业以太网总线系统的通讯处理器，它本身具有自己的微处理器，因而能减轻CPU的通讯任务和进一步扩展连接，同时可自适应及自动切换10/100Mbit/s全双工连接，并具备多种RJ45、ITP、AUI物理接口形式。另外CP443-1处理器除可独立处理经过工业以太网的数据业务之外，还具备如下通讯处理优势。

##### ① ISO和TCP/IP多重协议传输

以太网链接模块CP443-1模板除具有自身处理器之外，其OSI参考模型处理层1~4符合国际标准，因此能够承担ISO、TCP/IP传输协议的多重传输任务。

## ② PG/OP 通讯

PG/OP 通讯支持S7系列PLC与编程器、人机界面之间的通信。在S7系列PLC中, PG/OP功能已经集成在操作系统, 可完成通过编程器的STEP7工具进行用户程序的编辑、下载与状态的在线监控功能, 同时也可利用人机操作界面(HMI设备)完成变量与参数的自动读取与写入功能。

## ③ S7 路由

通过S7路由, PG/OP通讯可以实现多种网络之间的路由。

## ④ S7 通讯

通过CP443-1连接到S7-300(仅限于服务器)、S7-400(服务器和客户机)、HMI设备和带有S7-1613或CP1613卡的PC机。S7通讯是使用STEP7的标准通讯功能块(FB)与系统功能块(SFB)进行的数据交换功能。在S7系列PLC中, S7通讯已经集成在操作系统中, 并可最大的数据量64KB的数据从一个以太网节点传送到另一个以太网节点。另外通过S7通讯可将时间传送到网络上, 反之也可以为S7-400 CPU提供当前网络时间, 达到控制网络时间实时同步目的。

## ⑤ S5 兼容通讯

该通讯基于OSI参考模型第4层, 具备优化的数据通讯接口。利用这一接口, 可完成ISO、TCP、UDP等不同形式的协议传输功能。其中ISO通讯基于参考模型的传输层, 为了提高传输速率, ISO通讯可以通过建立多个连接, 使得数据分流的方式进行报文的传输; TCP通讯支持符合RFC793(TCP)与RF791(IP)的任何通讯对象之间的数据发送与接收, TCP通讯方式下可以将最大8KB的连续数据块从一个以太网节点传送到另一个以太网节点; UDP通讯支持符合RFC768的任何通讯对象之间的数据发送与接收, UDP是一种简单跨网络数据传输方式, 可以将最大2KB的连续数据块从一个以太网节点传送到另一个以太网节点, 但UDP通讯形式在数据传输中不发送校验信息, 发送数据的正确性无法得到完全保障。

### (2) 以太网交换机

以太网交换机和网桥一样, 也属于第二层设备, 有时也称其为多端口网桥。交换机与集线器的区别在于, 它可以根据所要传递数据中包含的目的物理地址做出转发的操作, 而集线器根本不作任何决定, 而直接对所有端口进行“广播”。

另外交换机的运行机制使得局域网的运行效率更高，由于只把数据交换到正确主机的连接端口，所以大大提高了局域网的数据传输效率，杜绝了由于“广播”效应而造成的数据传输效率低的现象。因为对于集线器而言，其根据“广播”到所有端口，对所连接的主机而言，它们对所接收的数据均进行了处理。鉴于上述技术性能特点，本次系统设计选用了以太网交换机用于网络管理、控制的基本单元。

### (3) 工控机链接网卡

顾名思义，工控机链接网卡的作用是将工控机、服务器等标准计算机设备连接到工业以太网中的网卡。SIEMENS NET用于工业计算机链接网卡，有早期的CP1612、CP1615与最新的CP1613、CP1616等。本次设计根据项目技术性能要求，选定CP1613网卡作为工控机的以太网接口。

CP1613是带处理的PCI以太网卡，CP1613可以通过AUI/ITP接口或RJ-45接口，将工业用计算机PG/PC连接到以太网中。CP1613可以实现时钟同步，通过配套的软件包，CP1613可以支持ISO和TCP/IP协议、PG/OP、S7、S5兼容、TF协议、OPC等方式的通讯功能，另外由于集成了处理器，CP1613有恒定的数据吞吐量，支持“即插即用”和自适应10Mbit/s与100Mbit/s传输数率功能，同时还可支持大型网络的冗余通讯。

### 2.3.1.2 上层过程自动化级控制网络

上位机管理及四大车生产调度即上层过程生产管理协调技术代表焦炉机械设备自动化水平的一个重要指标。该系统由地面中控室与推焦车、拦焦车、装煤车、熄焦车等单体控制网络共同组成系统过程自动化级网络。根据上述性能要求焦炉机械控制系统采用网络结构化设计，设置了位于地面焦炉车辆中控室的焦炉机械协调系统，配有上位计算机和 PLC，上位计算机以网络数据为接口，位于中央控制室监控四大车的运行状态，其中主要包括根据四大车的位置，建立横向炉组连锁；同时完成按照推焦、装煤计划，建立自动推焦、装煤操作及数据记录；事件记录、操作指引等功能，PLC 通过有线或无线以太网络承担与四大车之间的数据的采集、传送、安全连锁操作任务。因焦炉机械车辆的移动工艺操作要求，本体基础自动化级与焦炉机械协调过程自动化级的以太网链接以采用无线控制网络方式为主。

### (1) 无线控制网络配置

随着通讯技术的不断发展，人们充分享受着移动通讯给我们生活所带来的便捷，从原来的固定电话到寻呼机再到现在极为普遍的便携式手提移动电话（手机）无线通讯已被人们充分认可和接受。随之机械装备业内人士对移动设备的自动化管理控制水平要求也大幅度提高，为我们的移动设备装备上“手机”，利用无线网络技术使移动设备自动化管理控制水平与国际先进水平接轨，这一想法已不再是遥不可及。移动通讯采用了与自动化设备和工业终端设备的无线通讯，有助于实现更高的灵活性，因而在普遍提高竞争力方面具有更高的灵活性，无线通讯为工业的集成创造了广泛的机会，而这些机会在以前通过有线解决方案则是无法获得的。

无线控制网络是以自由空间作为传输介质，信息通过电磁波形式发送的往来系统，它十分适用于移动控制的场合。为能够将移动车辆的信息以无线的方式传送到对方，需构建无线局域网。无线局域网是任何一个使用高频无线电波的节点之间进行通讯的局域网络，当无线联网技术出现后，为了适应和推动网络技术的发展，定义了全世界默认的WLAN标准即IEEE 802.11标准，运行频率可高达2.4GHz和5GHz，数据传输速率最高可达到54GMBit/s。<sup>[21]</sup>

IEEE 802.11标准是一组规范，并且有几个版本的标准适应了特定的无线通讯技术的需求和需要，下表2.2对802.11WLAN标准以及它们的操作特性进行了详细表述。

表 2.1 无线 IEEE 802.11 标准

标准	射频频段	速率
802.11	红外 (IR) 或2.4GHz	1Mbps或2Mbps
802.11a	5GHz	54Mbps
802.11b	2.4GHz	11Mbps
802.11g	2.4GHz	54Mbps
802.11n	5GHz	100Mbps

在802.11工作组内,成立了许多任务组来专门制定特定领域的无线LAN规范和标准,其详细内容如表2.2 所表述。

表 2.2 无线 IEEE 802.11 标准

任务组	负责的领域
802.11a	54Mbps, 5GHz标准
802.11b	802.11的增强版
802.11c	MAC层网桥版
802.11d	全球兼容性
802.11e	服务质量
802.11f	接入点之间的漫游协议
802.11g	和802.11b兼容的54Mbps, 2.4GHz标准
802.11h	兼容欧洲的5GHz动态信道/频率选择(DCAS/DFS)和传输功率控制(TPC)
802.11i	安全性增强
802.11IR	红外(IR)联网
802.11j	用于日本的标准扩展
802.11K	无线资源度量和报告
802.11m	802.11标准维护
802.11n	较高吞吐量改进
802.11r	具有IP电话(VOIP)功能的快速漫游无线
802.11s	扩展操作范围的网状联网

根据上述定义标准及结合项目实际应用需要,本次设计选用符合IEEE802.11b/g标准的SIEMENS公司无线产品SCALANCE W700系列作为系统构建硬件基础。该系列产品通过高可靠性设计与防水的金属外壳(IP65),可以在-20℃~60℃的恶劣环境下进行无线通讯。SCALANCE W700无线产品通过定义可预测的吞吐时间和数据传输速率来满足无线通讯在可靠性与性能上的严格要求,为了有效预防无线

电波的衰减，无线接收器模块采用了双天线设计，保证了信号的可靠接收。该系列产品还提供了先进的用户识别和数据加密措施，提高了产品安全性。

本次设计无线网络主要由接入点模块、无线客户机模块、无线网卡等组件，集成了如图2.11所示的无线控制网络链接方式。



依据焦炉机械无线通讯的控制要求，而被集成无线通讯网络组件的相关硬件功能特性表述如下：

### ① 接点机模块

接点机模块是将无线网与以太网链接的接口模块，它同时也是一种无线网络交换机，可以接收/发射无线信号。通过接点机模块能够实现与移动设备上的控制器或编程计算机（带 CP7515 无线网卡）之间的无线以太网通讯。

### ② 无线客户端模块

无线客户端模块的作用是将移动终端链接到无线网络中，并通过接入点模块与以太网之间进行通讯。

无线客户机模块虽然具有与接入点相同的结构与接口，但它们在物理功能上有所不同。简言之，接入点是连接有线与无线网络的接口设备，它通过与以太网物理连接，固定安装于以太网的某一位置；而无线客户端模块可以安装在移动终

端上,与网络无物理链接,因此它可以在由接入点(SCALANCE W788)所构成的本设计方案的无线网络中自有移动,具有漫游功能。

### ③ 无线网卡

无线网卡的作用是将计算机链接到无线网络中,并通过无线网卡与以太网之间进行通讯。无线网卡同常以扩展卡的形式插入到计算机机箱内部的扩展总线插槽中,但是也有不同的外部PC卡网络及USB等接口类型。

另外为了能够与无线网络准确链接,上述任何一种形式的无线网卡,应至少支持IEEE802.11a、IEEE802.11b、IEEE802.11g三中标准中的一种,并且支持上述标准的两种或全部将更加有利于网络系统。

## (2) 无线控制网络规划

本次设计各单体设备系统与焦炉机械中控协调系统设备之间,为达到数据、信息、资源共享的目的需创建无线局域网,建立通讯链接。在无线网络的创建设计阶段,存在很多限制和性能问题,将影响整个无线网络的高效、有效运行。为能够确保无线网路通讯的可靠性,本次无线网路结构模式设计过程中对下列关键问题,进行细致考虑的基础上,开展了整个焦炉机械系统的无线网络规划及结构设计工作。

### ① 资格认定

对于任何无线局域网设计来说,设计难题之一就是无线局域网站的资格认定。资格认定过程包括安装网络的大小、范围,以及站点支持带宽需求的能力和部署的节点数,因IEEE 802.11无线局域网的带宽是共享带宽,考虑到单个接入点仅与两个节点相连接的系统性能要求,选用802.11b/g标准的无线产品即可满足本次设计信道、带宽的设计性能要求。

### ② 覆盖范围及接入点数目确定

因为射频衰减和网络距离的缘故,如何能够在正确位置安装适当数目的接入点,从而提高无线局域网所需的信号覆盖范围是一个需要技巧的问题。无线局域网的设计重点应放在如何确保足够的覆盖范围,这意味着需要努力向所有的网络节点提供相同级别的信号强度,同时还需对覆盖范围和容量之间进行权衡。

为了保证无线网络具有足够的覆盖范围,应该规划使用多个接入点,使它们

相互重叠能够为网络提供无缝隙漫游，但是应将接入点设备规划在不同的信道工作，以免产生交调干扰。同时，无线局域网RF技术采用“先断开再连接”的握手方法，建立新连接之前，将中断旧的连接，因此要求不要一味只追求接入点信号的覆盖范围，使信道重叠的太多。根据上述设计原则及项目实际位置布局情况，确定该项目整个无线网络的覆盖范围为200米左右，所需数据速率为2.0Mbps，那么200米除以100米（2.0Mbps带宽的近似距离）即得出该系统需要的接入点数目2。计算出的接入点数目2乘以关联数据率的一半1.0Mbps（802.11标准的相关开支处理和业务量减少了有效吞吐量的一半），即可得到无线局域网2.0Mbps的吞吐量性能，该吞吐性能与所配置无线产品的带宽（11Mbps）相比足以支持网络，能够满足系统信息的实时有效传输要求。

### ③ SSID和设备关联

在一个无线节点可以与另一个无线节点通讯之前，站点之间必须首先建立关联。关联是站点之间的发现、识别、请求和接受过程。几乎所有的接入点都有制造商赋给的一个默认服务集标识作为低级口令。因此无线网络可以通过SSID功能有效阻止某些未授权人员进入。本项目根据单体设备推焦车、拦焦车、装煤车、电机车的种类不同，分别设置不同的SSID码进行网络控制。

### ④ 信道分配

成功规划一个支持漫游的无线局域网的关键在于接入点的放置和信道的分配。当无线局域网的移动节点通过两个或多个接入点的覆盖范围时，漫游设备往往会尝试与在可用信道上信号最强的接入点进行关联。本项目多个接入点位置非常接近，因此将每个接入点配置为不同的信道，尽可能使频率重叠的最少，以保证进入到接入点范围内的节点机能够无干扰的自动调整到检测到的最强信号接入点的频率和信道上，确保了网络通讯的连通性。本次设计所选用无线产品的遵循IEEE 802.11b的传输特性标准，仅有三个信道（信道1、信道6、信道11）上的频率没有重叠可以有效利用，不会干扰其两边的频道，设置接入点工作信道之时，将相邻的接入点的信道分配为不同，从而有效防止了无线网络的整体性能下降。

### （3）无线控制网络结构

依据上述硬件配置、网络规划的相关内容并结合焦炉机械整套设备实际工艺

布置，搭建了如图2.12 所示的焦炉机械无线网络结构，用于上层过程自动化控制网络的链接。

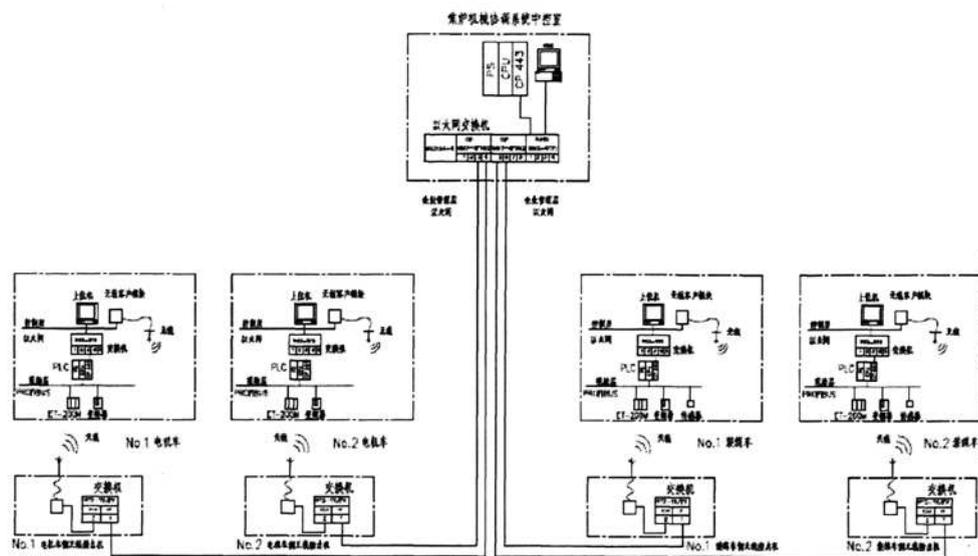


图 2.12 焦炉机械无线网络结构

### 2.3.1.3 上层生产控制级控制网络

工业以太网与现场总线相比，其主要优势在于：它能提供一个开放的基础构架，使企业从现场控制层到生产管理层实现全面的无缝隙信息集成，解决由于网络协议上的鸿沟导致“自动化孤岛”的问题。就本项目的管理、监控以及设备管理维护的要求而言，整个系统的信息流不能单单在控制系统底层进行交换交流，而生产计划的下达、完成的情况、设备运行状况等都需要将整条线的信息传递给上一级生产控制网络。根据上述性能要求焦炉机械控制系统采用网络结构化设计，设置了位于地面焦炉车辆中控室的焦炉机械协调系统，配有上位计算机和 PLC，PLC 通过过程级自动化网络承担与焦炉机械四大车之间的数据的采集和传送任务，同时还通过以太网交换机与整座焦炉生产控制级网络相互链接，将生产控制层的推焦、装煤计划及除尘、熄焦、焦炭排放管理等信息及时传递给过程自动化级焦炉机械协调系统，使生产管理层、过程自动化层、基础自动化层合为一体，

构建了企业信息化网络的以太网三层网络结构，即从而真正实现了数据的共享和网络信息的无缝集成。

### 2.3.2 以太网的组态

根据实际工艺及控制要求而选定的硬件系统，虽然是构成控制网络的基础，但网络组态与软件参数设置也是设计重要环节之一，否则整个网络将无法按照控制目的之要求正常工作。

#### 2.3.2.1 基础自动化层控制网络组态

##### (1) 创建项目

网络组态与参数设置的第一步，首先创建项目名称为“shougang”的基础自动化级主站系统，并根据实际设计需求选定相应规格的 CPU、机架、电源模块、I/O 模块、通讯模块。所完成的该设计项目新键网络硬件组态界面如图 2.13 所示。

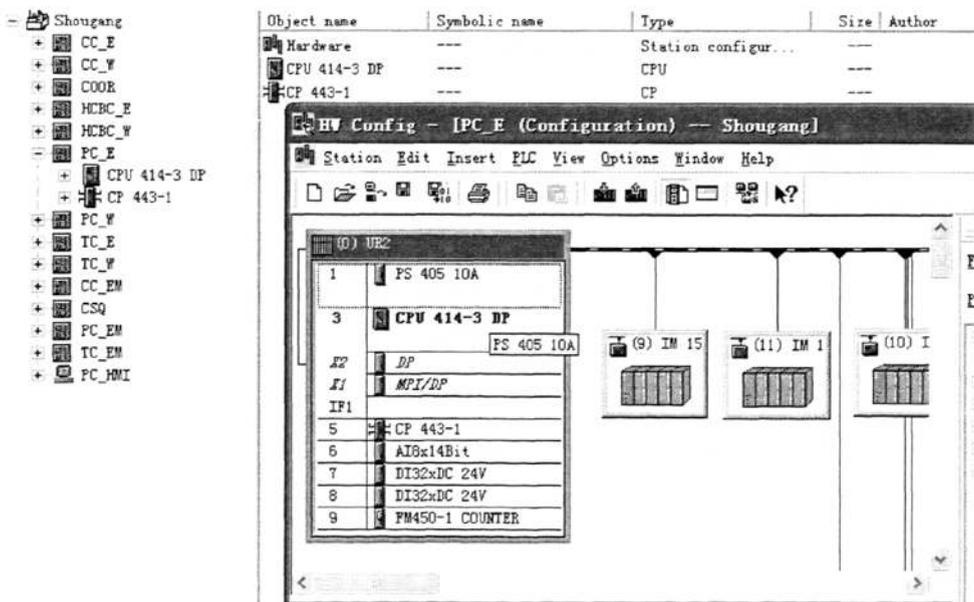


图2.13 焦炉机械基础自动化级控制网络硬件组态

##### (2) 网络组态

完成网络硬件组态后，点击硬件组态界面的CP443-1模板，设置CP模板的IP地址和MAC地址，并连接到“shougang\_net”网络上。具体网络组态的操作步骤如图2.14所示。

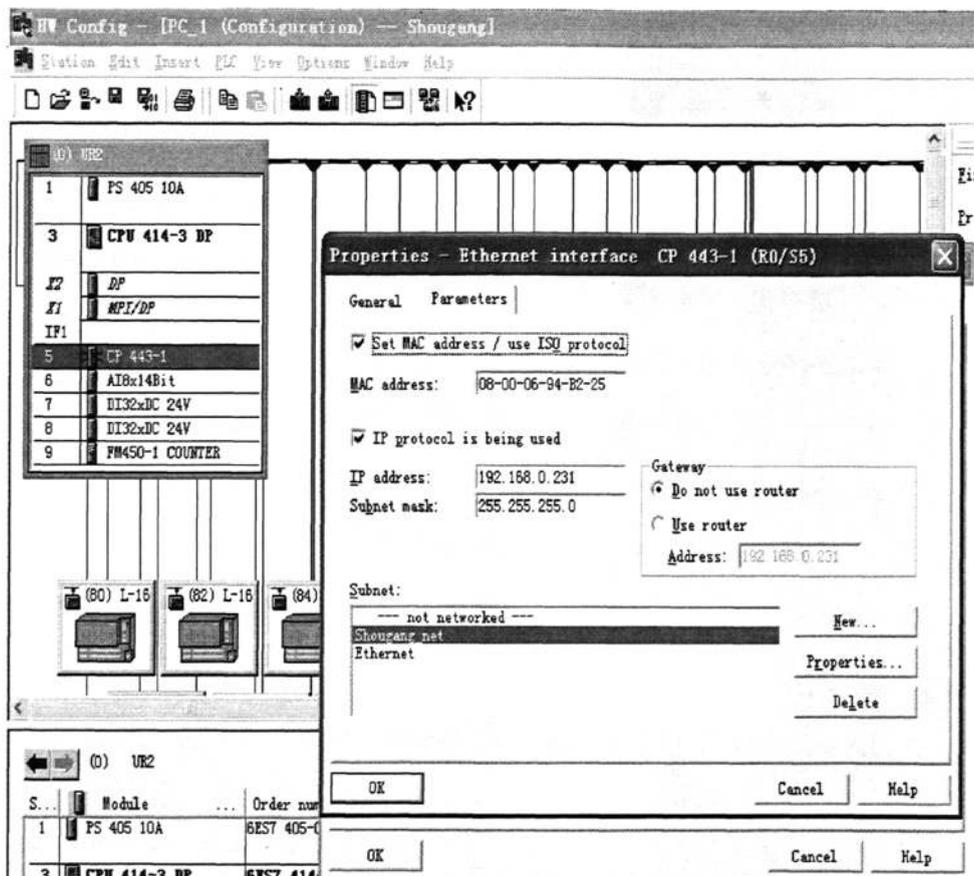


图 2.14 焦炉机械基础自动化级控制网络组态

完成上述网络组态后，为使该单体设备能够与其它控制系统建立以太网链接，需进一步打开“NetPro”界面，设置网络参数，即选中该单体设备的CPU，右击鼠标选择新的连接列表创建一项。具体详细的操作步骤如图2.15 焦炉机械设备单体控制网络新的连接添加所示。

完成控制网络新的连接添加任务后，进一步选择“S7 connection”1连接方式，并双击该连接，所设置连接及属性界面如图2.16、17所示。



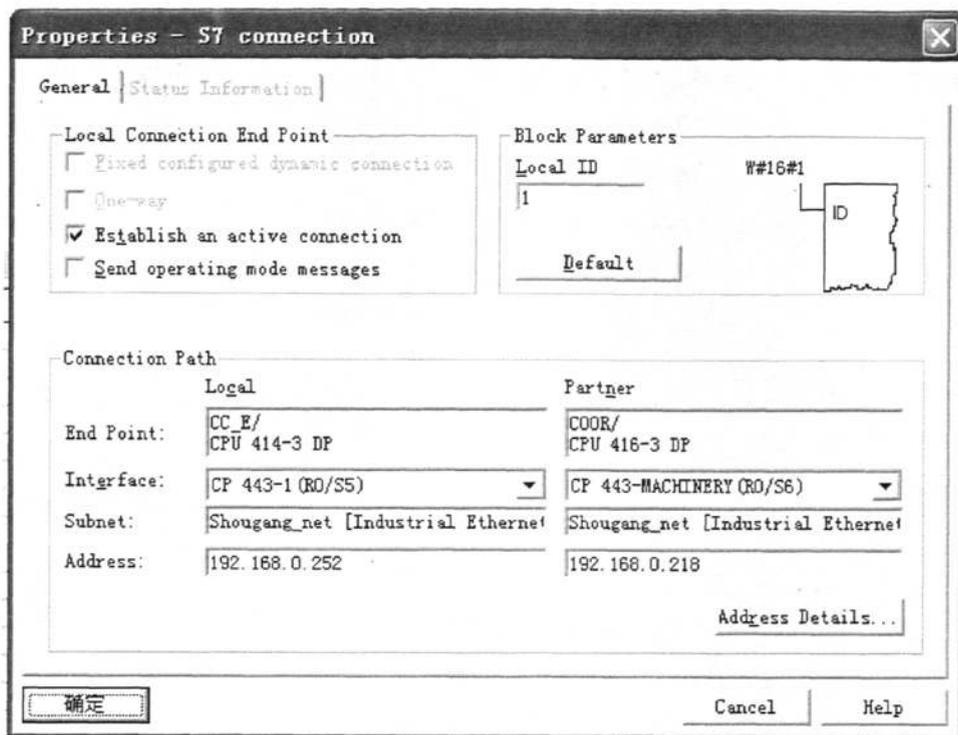


图 2.17 焦炉机械基础自动化级控制网络连接属性

根据控制网络相关配置需求，网络连接属性中块参数ID项设置为1，双方通讯中的本地站（推焦车PC/E）Client端激活“Establish an active connection”选项，另一站(中控协调系统COOR)Server端，不激活“Establish an active connection”选项。另外在连接属性中“One-way”表示单边通讯模式，若选中该项需调用“PUT/GET”进行单边通讯，而本次设计选用双边通讯模式，需调用“Bsend/Brcv”进行双边通讯。按照上述步序编译存盘后，便完成了硬件及网络组态工作。

### 2.3.2.2 过程控制层无线控制网络组态

#### (1) 安装DCL 协议

从PST 3.0指定位置安装文件夹内（\program files\Siemens\Primary Setup Tool\DLC Protocol）点击NETDLC.INF文件进行安装，安装完毕后，在下图列表中就可以看到DLC Protokoll。

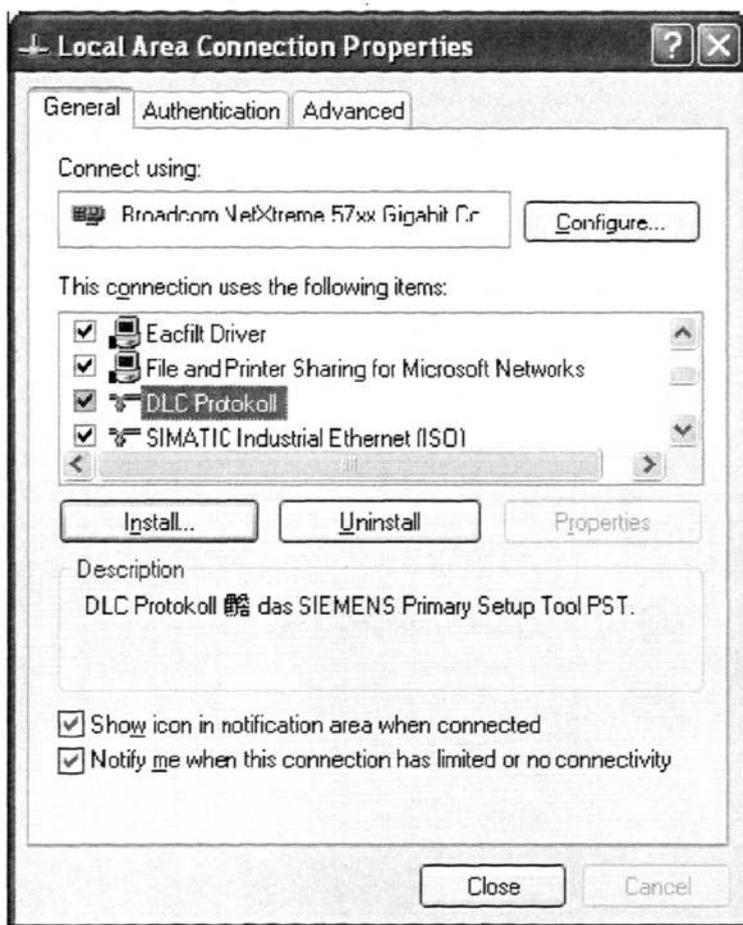


图 2.18 DCL Protokoll 协议安装

## (2) 安装PST 3.0 (Primary Setup Tool)

从Siemens 光盘或网站获得PST 3.0 安装程序，双击PST 3.0文件夹内Setup.exe 文件进行安装。

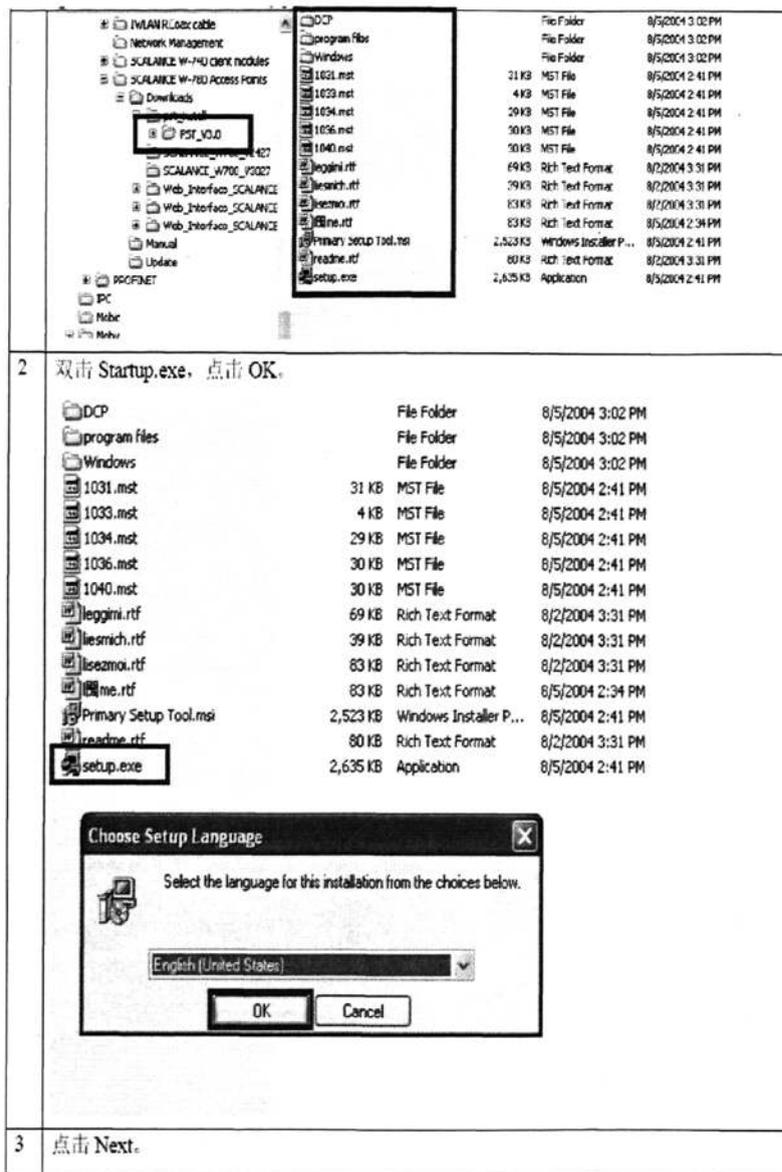


图 2.19 组态软件 PST 3.2 安装

### (3) 节点机SCALANCE W788 IP地址重置

首先打开PST 3.0组态软件, 点击Settings->Network Adapter选取Local Area Connection项后, 再点击放大镜搜索图标, 对应搜索出的网络列表, 再根据MAC地址找到对应SCALANCE W788设备, 并为它分配IP 地址192.168.0.240 和子网掩码255.255.255.0 (以装煤车侧接节点机AP1为例)。

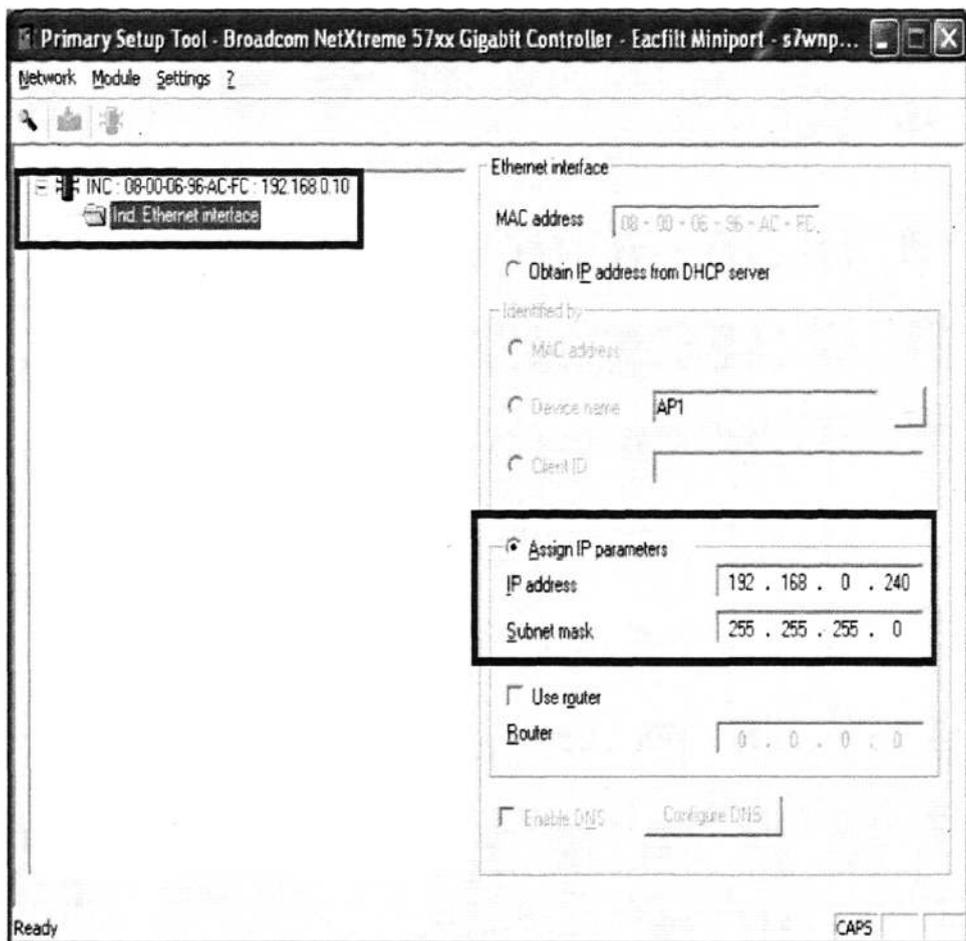


图 2.20 节点机 SCALANCE W788 IP 地址重置

#### (4) 节点机 SCALANCE W788 IP 重置下载

当按照上述步骤对节点机 SCALANCE W788 重置 IP 地址后，选择原设备配置 MAC 地址所在的行，并点击快速菜单上下载图标  启动更新节点机 SCALANCE W788 的 IP 地址更新任务，便完成了 IP 地址重置工作。

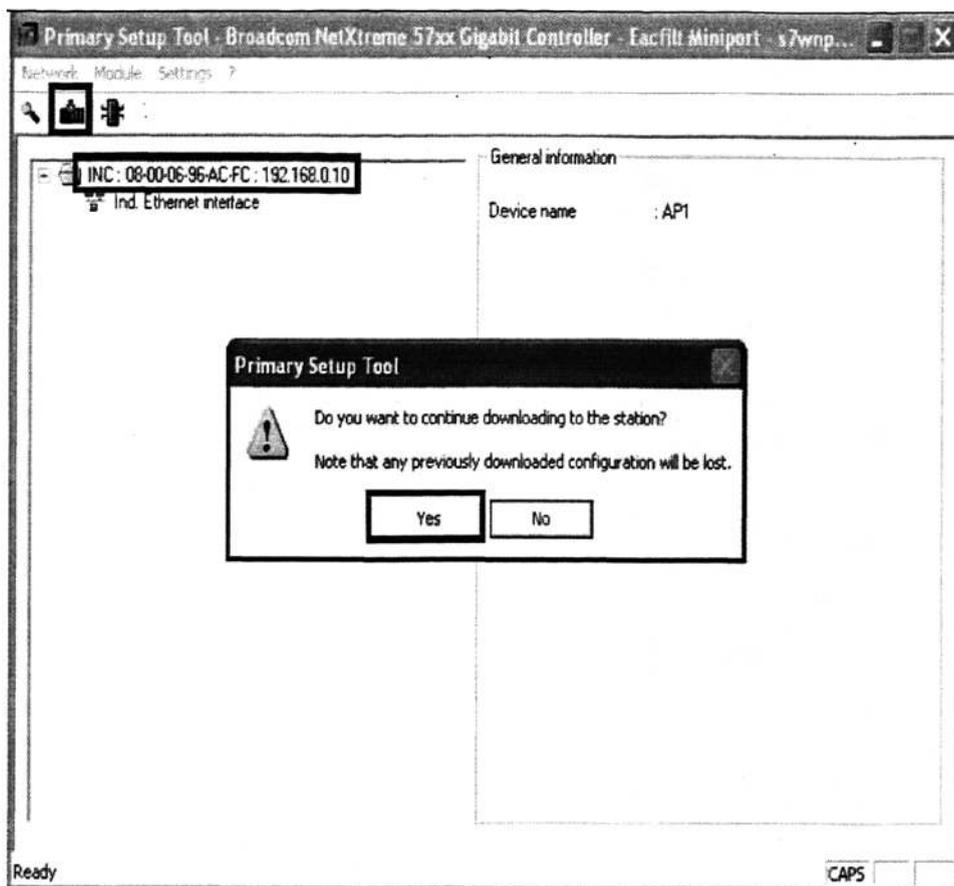
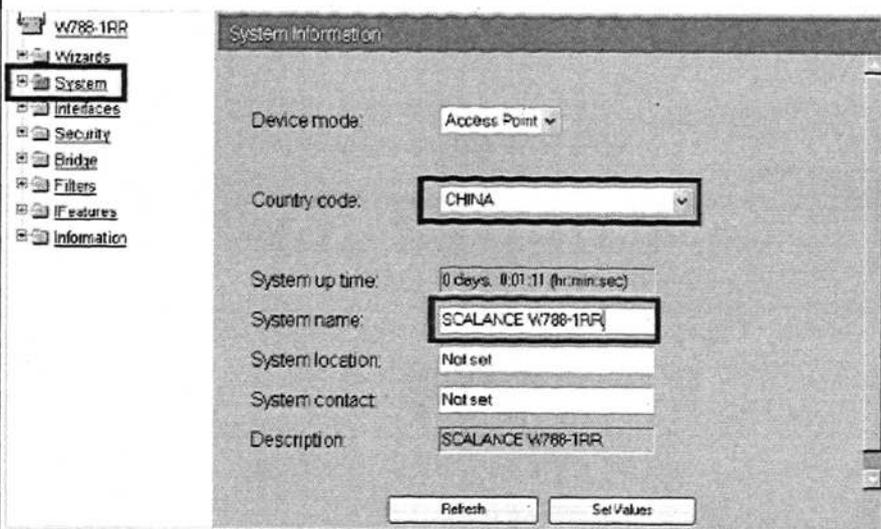
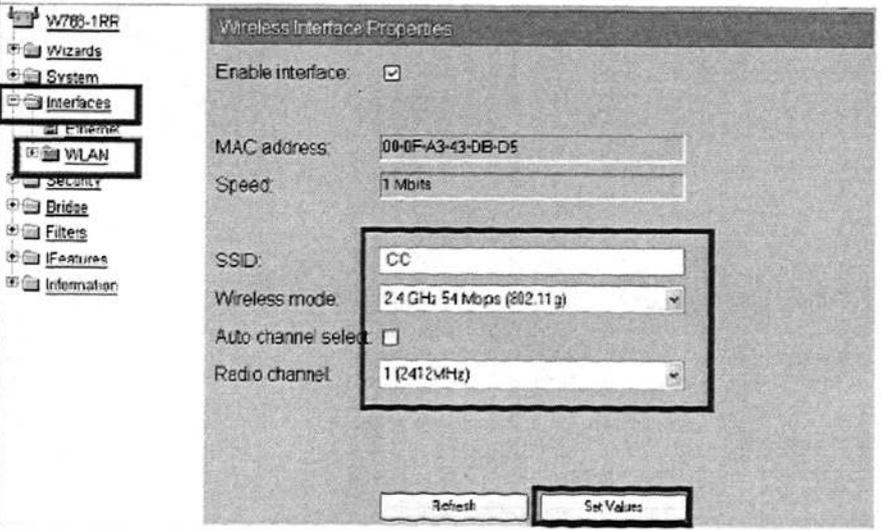


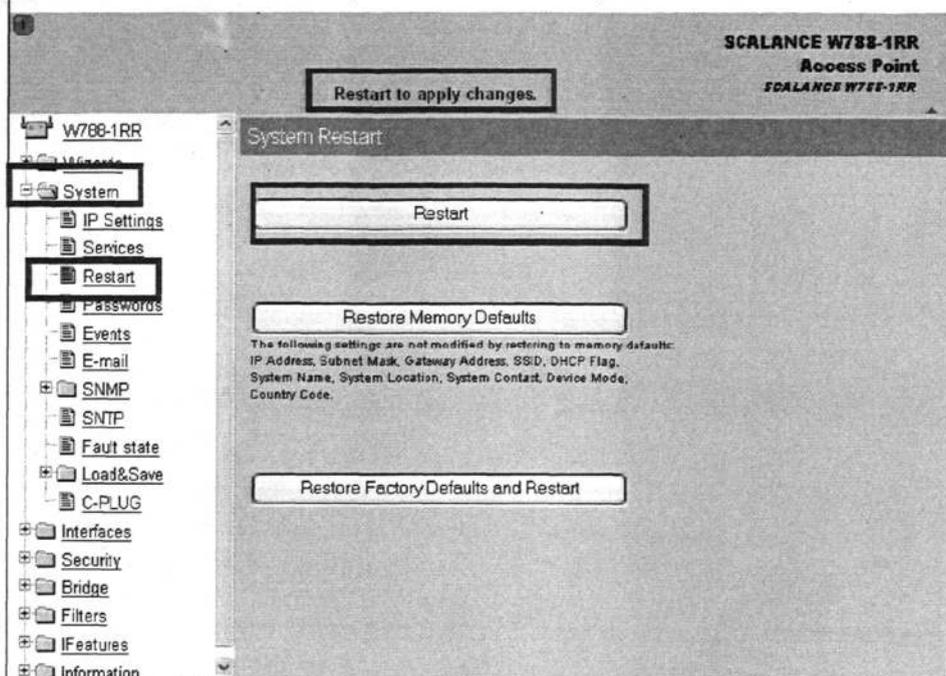
图 2.21 SCALANCE W788 IP 重置

#### (5) 节点机SCALANCE W788组态

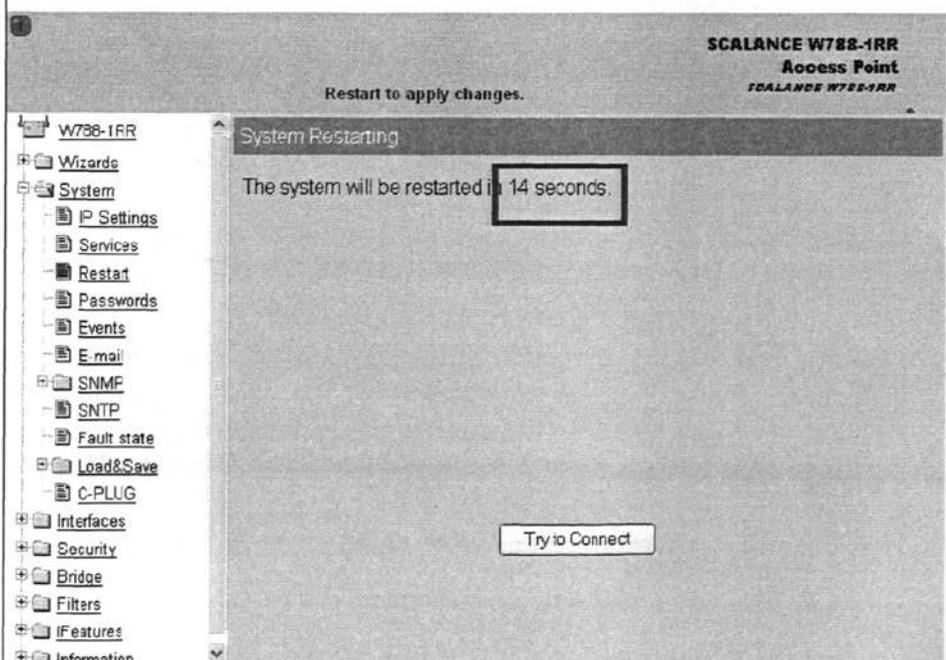
按照上述步骤成功完成，对节点机SCALANCE W788的IP重置之后，点击快速菜单上组态图标启动节点机SCALANCE W788的组态任务后，浏览器会自动打开SCALANCE W788 的Web 组态登入界面，敲入默认用户名Admin 与设定密码admin，便可进入将SCALANCE W788 作为AP的组态界面，并按照下图3.14 所示各项内容选择相应选项，最后点击Set Values，便可完成SCALANCE W788 作为AP的组态任务。

- 步 使用 Web 组态界面组态 SCALANCE W788 作为 AP
- 1 在 System 中，选择 Country code。本例选择 CHINA。可选填 System name。最后点击 Set Values。
- 
- 2 在 Interfaces->WLAN 中，填写想要定义的 SSID（网络名）。注意 SSID 区分大小写。可以在 Wireless mode 中选择希望使用的无线标准。如果去掉 Auto channel select 后的对勾，就可以在 Radio channel 中选择希望使用的信道。最后点击 Set Values。
- 
- 3 组态如果有更改，在窗口上部正中会出现 Restart to apply changes 的字样。在全部组态更改完

毕后，可以点击该字样，或点击 System->Restart，进入 System Restart 窗口。点击 Restart。



设备会重启，动态显示启动成功所需的秒数。重启后会出现登录画面。



在 Information->Client list 中查看是否有 client 连接，即 State 栏是否有 Associated。选取

图 2.22 SCALANCE W788 组态

根据上述步骤完成单体无线网络设备的组态后，整个车间级无线控制网络中的其他接点机、无线客户端模块可按照下列表 2.3 进行组态可选项的添加，便可最终完成焦炉机械无线通讯网络构建。

STATION	DEVICEMODE	DESCRIPTION	IP - ADRESS	SSID	CH
No.1 装煤车侧接点机	AP	SCALANCE W788	192.168.0.240	CC	1
No.2 装煤车侧接点机	AP	SCALANCE W788	192.168.0.241	CC	6
No.1 装煤车客户端	client	SCALANCE W746	192.168.0.243	CC	Auto
No.2 装煤车客户端	client	SCALANCE W746	192.168.0.244	CC	Auto
No.1 电机车侧接点机	AP	SCALANCE W746	192.168.0.245	HCBC	11
No.2 电机车侧接点机	AP	SCALANCE W746	192.168.0.246	HCBC	1
No.1 电机车客户端	client	SCALANCE W788	192.168.0.247	HCBC	Auto
No.2 电机车客户端	client	SCALANCE W788	192.168.0.248	HCBC	Auto

表 2.3 焦炉机械无线通讯网络配置

### 2.3.2.3 生产控制层协调网络组态

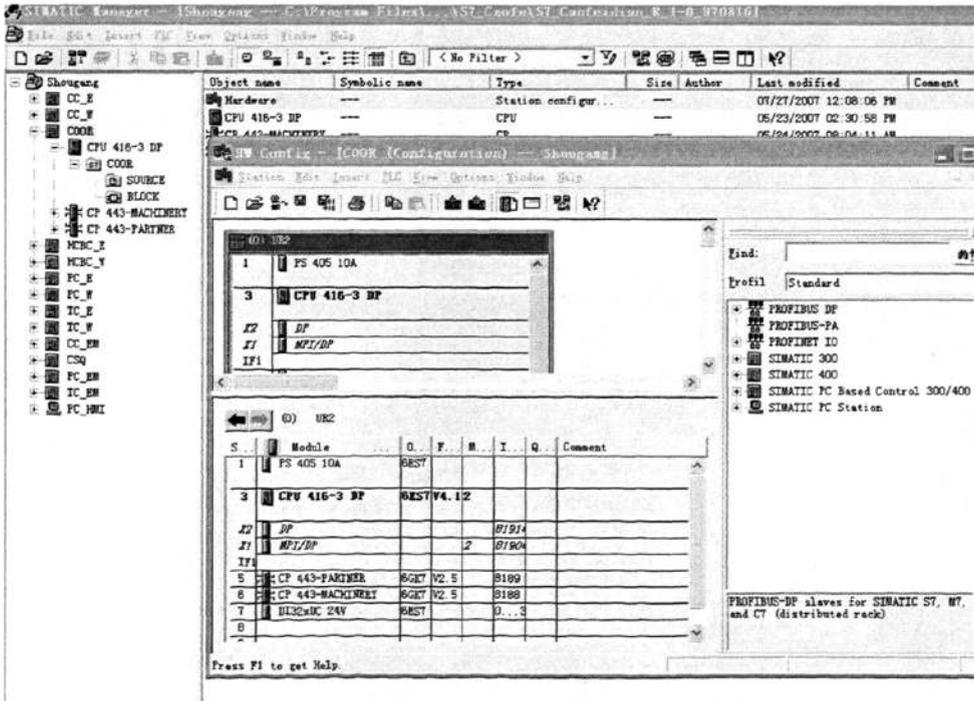


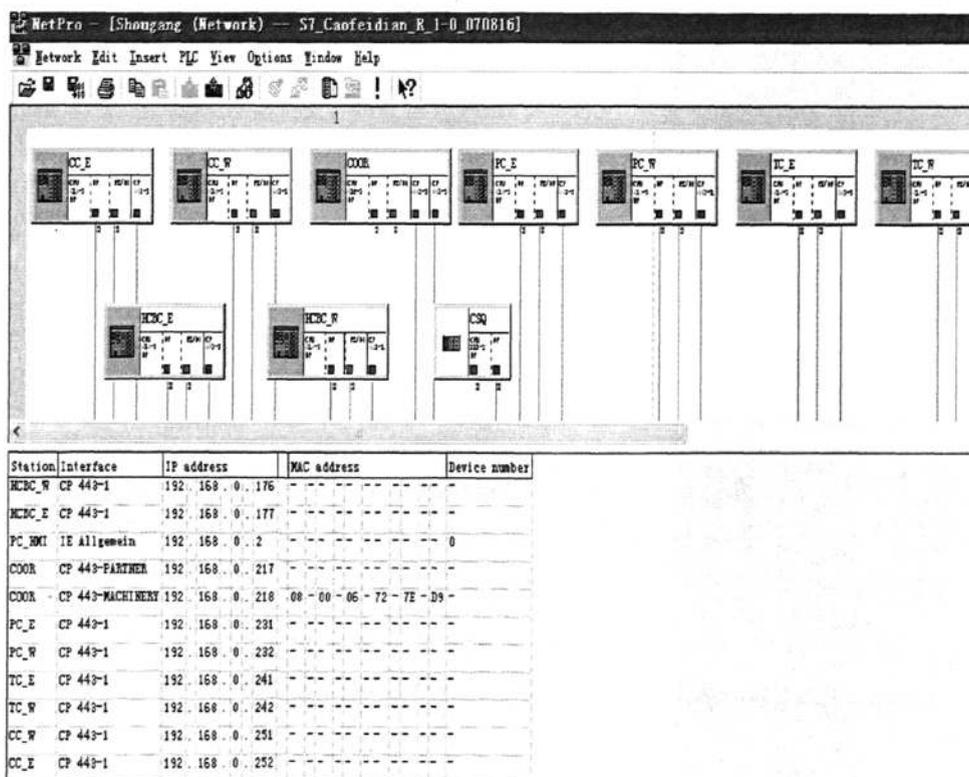
图2.23 焦炉机械以太网链接设置

### (1) 网络链接

网络硬件组态与参数设置的第一步，首先创建名称为“shougang”的焦炉机械工程项目，然后根据单体设备实际设计需求分别配置具备CPU、机架、电源模块、I/O模块、通讯模块的控制站，最终将各控制站构建在以主站“COOR”为主的“shougang”工程项目之中，集成如图2.25所示的焦炉机械系统界面。

### (2) 网络参数设置

完成项目集成之后，分别点击对各控制站硬件组态界面的CP443-1模板，设置CP模板的IP地址和MAC地址，并连接到“shougang\_net”网络上。使该单体设备控制层与企业信息层建立以太网链接，需进一步打开“NetPro”界面，根据企业网络IP规划信息层参数设置，组件如图2.26所示焦炉机械企业信息网络系统。



Station	Interface	IP address	MAC address	Device number
HCDC_W	CP 443-1	192.168.0.176	-----	---
HCDC_E	CP 443-1	192.168.0.177	-----	---
PC_WMI	IE Allgemein	192.168.0.2	-----	0
COOR	CP 443-PARTNER	192.168.0.217	-----	---
COOR	CP 443-MACHINERY	192.168.0.218	08-00-06-72-7E-D9	---
PC_E	CP 443-1	192.168.0.231	-----	---
PC_W	CP 443-1	192.168.0.232	-----	---
TC_E	CP 443-1	192.168.0.241	-----	---
TC_W	CP 443-1	192.168.0.242	-----	---
CC_W	CP 443-1	192.168.0.251	-----	---
CC_E	CP 443-1	192.168.0.252	-----	---

图 2.24 焦炉机械企业信息网络系统

根据企业网络相关配置需求，网络连接属性中块参数 ID 项设置为 1，双方通讯中的本地站 Client 端激活“Establish an active connection”选项，另一站(中控协调系

统 COOR)Server 端, 不激活“Establish an active connection”选项。另外本次设计选用双边模式进行通讯, 无需激活连接属性中“One-way”项, 其具体网络属性设置如图 2.27 所示。

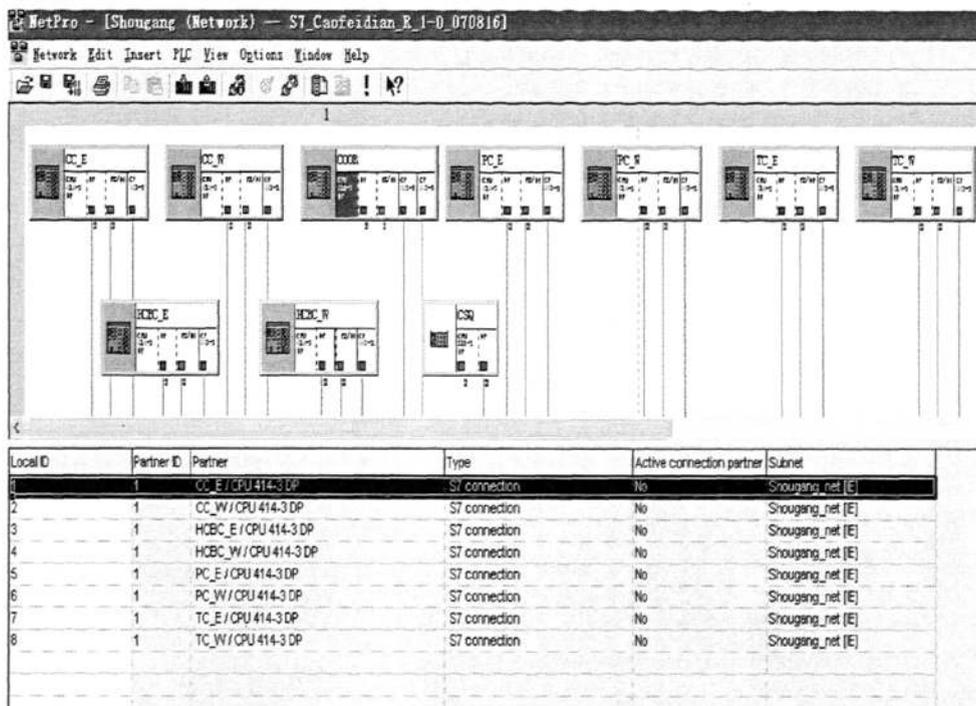


图 2.25 焦炉机械以太网网络属性定义

按照上述步序编译存盘后, 便完成了全部以太网网络组态工作。

### 2.3.3 以太网的通讯程序设计

因本系统通讯模式选择了双边通讯, 相应通讯双方都需调用“SFB12/SFB13”通讯功能块, 进行通讯部分软件编制。根据上述要点, 所编制的相关通讯程序及参数说明如图 2.28 所示。

Network 2: Receive Data

Comment:

<pre> A      "G_GEN_X_ONE" =      L      11.0 BLD    103 CALL  "BRCV", "G_PLC_INST_1_REC" EN_R   :=L11.0 ID     :=W#16#1 R_ID   :=DW#16#10 NDR    :="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT6 ERROR  :="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT7 STATUS:= "G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT8 RD_1   :=P#DB140.DBX0.0 BYTE 384 LEN    :="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT9 NOP    0                 </pre>	<pre> NO.1      -- current flag fixed one  SFB13 / DB999 -- Receiving Segmented Data / G_PLC_INST_0_REC  DB143.DBX6.0 DB143.DBX6.1 DB143.DBW8 DB143.DEW10                 </pre>
---	--

Network 3: send data

Comment:

<pre> A      "G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT1 =      L      11.0 BLD    103 A      "G_GEN_X_ZERO" =      L      11.1 BLD    103 CALL  "BSEND", "G_PLC_INST_1_SND" REQ    :=L11.0 R      :=L11.1 ID     :=W#16#1 R_ID   :=DW#16#12 DONE   :="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT2 ERROR  :="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT3 STATUS:= "G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT4 SD_1   :=P#DB141.DBX0.0 BYTE 1256 LEN    :="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT5 NOP    0                 </pre>	<pre> DB143.DBX0.0 NO.0      -- flag fixed zero  SFB12 / DB998 -- Sending Segmented Data / G_PLC_INST_2_SND  DB143.DBX0.1 DB143.DBX0.2 DB143.DBW2 DB143.DBW4                 </pre>
---	---

图 2.26 以太网数据发送/接收程序

上述程序中所涉及程序指令功能定义说明如下:

CALL "BRCV", DB999 // 调用DB999 ;

ER\_R: =L11.0 // 为1时, 准备接收;

ID: =W#16#1 // 连接ID;

R\_ID: =DW#16#10 // 连接号, 相同连接号的功能块互相对应

发送、接收数据;

NDR: ="G\_DB\_X\_KOM\_STT".STAT0.STAT6 // 为1时, 接收完成;

ERROR: ="G\_DB\_X\_KOM\_STT".STAT0.STAT7 // 为1时, 通讯故障;

STATUS: ="G\_DB\_X\_KOM\_STT".STAT0.STAT8 // 状态代码;

```

RD_1: =P#DB140.DBX0.0 BYTE 384           // 接收数据存储区;
LEN:  ="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT9     // 接收数据长度;
CALL  "BSEND", DB998                     // 调用DB999
      REQ:  =L11.0                        // 上升沿触发工作;
      R:    =L11.1                        // 复位, 终止数据交换;
      ID:   =W#16#1                       // 连接ID;
      R_ID: =DW#16#12                     // 连接号, 相同连接号的功能块互相对应
发送、接收数据;
      DONE: ="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT2 // 为1时, 发送完成;
      ERROR: ="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT3 // 为1时, 通讯故障;
      STATUS: ="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT4 // 状态代码;
SD_1: =P#DB141.DBX0.0 BYTE 1256         // 发送数据存储区;
LEN:  ="G_DB_X_KOM_STT".STAT0.STAT      // 发送数据长度;

```

根据上述步骤配置、编制成功控制网络的各项参数和程序软件后, 以太网能正确传输控制及状态数据, 准确无误地服务于上、下层设备网络控制应用。

## 2.4 本章小结

本章从焦炉机械系统控制的开放性、互操作性、可靠性、全数字化及生产工艺要求特点出发, 以充分体现网络系统的合理性、先进性、快速性、扩展性及开放性的强劲优势为原则, 选定现场总线、基础自动化级、过程自动化级、生产控制级网络相融合的结构形式, 不仅将各个分散的测量、控制设备以网络节点的方式互相连接在一起, 构建了多层网络硬件结构, 同时还实现了生产联锁管理、生产计划管理、数据采集以及设备的远程设定及控制功能, 达到了“控制分散、信息集中”的系统控制目的, 为企业实现管控一体化提供了可能。

另外, 除搭建上述控制系统多层网络硬件结构的同时, 还对以往制约以太网工业领域发展的种种因素作了系统的分析, 并且进一步对网络系统软件设计中的一些重要技巧进行了阐述。

## 第3章 焦炉机械设备中控制策略的研究

本项目系统设计的不仅在于其控制方案的网络化及智能化，尽可能的将电气元件采用合理的网络化控制结构，用于设备的控制与监控，而且程序复杂、被控对象的控制精度高，电气控制水平的先进性得到了充分体现。

依据焦炉机械环保、控制精度、生产管理等要求，本项目系统设计除采用常规的控制手段之外还采用了电液比例模糊PID、多电机负荷平衡等控制策略，并借助仿真手段验证了控制方法的可行性，另外还采用了编码识别光电传感技术、无线通讯技术和计算机技术，实现了焦炉炉号的自动识别、对位和焦炉四大车的自动对位联锁控制。上述控制策略的融入，不仅有利于设备自动化操作水平及稳定性的提高，而且有利于车间级生产管理，也将会使焦炉机械的全自动无人化操作成为可能。

### 3.1 基于模糊PID的取门装置控制

随着国家的环保政策的严格要求，与环保排放标准密切相关联的焦炉机械相关控制水平也应迅速提高，以适应节能减排的高标准要求。对于焦炉机械推焦车、拦焦车而言为能够将焦炉炉门精确安放在焦炉炉框内以及减少设备冲击而引起的焦炉炉门框变形，导致大量烟尘外溢的不良现象出现，取门装置提门、压门栓、倾斜等与启闭炉门相关联的液压系统控制中，将基于PROFIBUS-DP网络的磁致伸缩位移传感器集成在油缸内，并运用电液比例阀及模糊PID复合控制策略实现了油缸推进速度的实时控制，从而保证了取门台车进退、提门、倾斜动作的快速及平稳无冲击运行，确保了良好的设备控制效果。结合焦炉机械取门装置工艺特点要求，本项目将电液比例控制技术融入到液压系统控制中，集成了如图3.1所示的电液比例控制硬件系统。

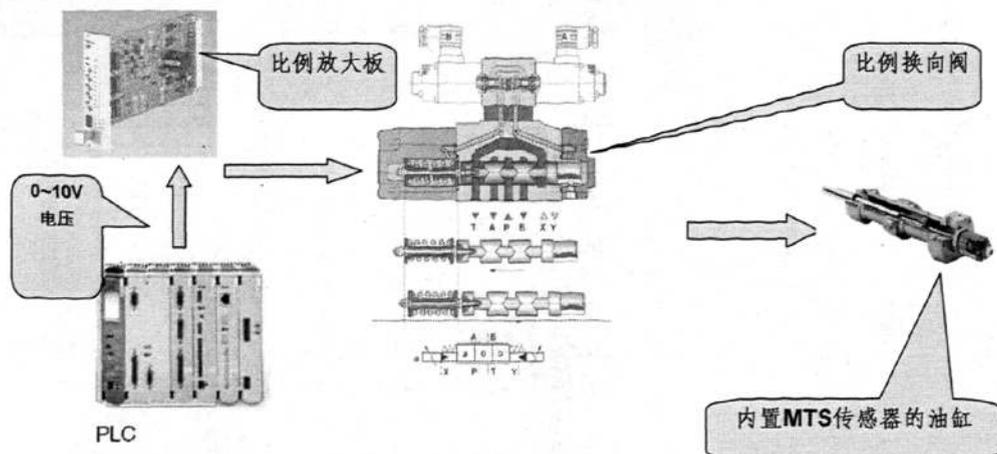


图 3.1 取门装置电液比例控制硬件系统

### 3.1.1 基于模糊 PID 的取门装置工作原理

因比例阀能够将电的快速性、灵活性等优点与液压传动力量大的优点结合起来，采用模拟式电气-机械转换装置将电信号转换为位移信号，能连续、按比例地控制液压系统中工作介质的压力、方向、流量等参数。比例阀工作时，阀内电气-机械转换装置根据输入的电压信号产生相应动作，使工作阀芯产生位移，阀口尺寸发生改变并以此完成与输入电压成比例的执行元件的压力、速度和方向，简化了系统，减少了元件的使用量，并能够有效防止速度变换时的冲击现象。

根据上述工作原理本项目设计中，在取门装置的液压缸内集成了带有 PROFIBUS-DP 总线协议的磁致式伸缩位移传感器测量运动位移，并将其测量位移信号以高达 12Mbit/s 的数据传输速率传送至 PLC 系统，使 PLC 系统转换成电信号输入到比例阀电磁铁上，控制比例调速阀中的节流口开度，从而实现了油缸推进速度的实时控制。另外因传感器高分辨率性能，大大提高了系统控制精度。有关取门装置电液比例控制系统原理如图 3.2 所示。

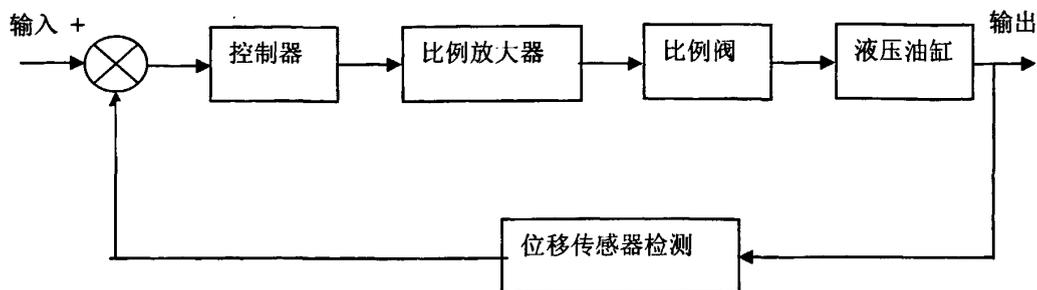


图 3.2 取门装置电液比例控制系统原理

### 3.1.2 取门装置模糊 PID 控制器的设计

电液比例阀控系统广泛应用于精度要求较高的机械加工、冶金等行业。其传统的控制方式大多采用PID控制技术，它具有简单、可靠、参数整定方便等优点。但由于液压系统受温度、负载等参数变化的影响较大，因而在控制性能要求高的场合往往不能满足要求。其主要原因是电液比例系统在流体动力学及电磁转换方面具有特殊性，是复杂的非线性高阶系统，系统设计时要建立准确的数学模型比较困难。

PID控制是用于过程控制的最有效策略之一，其中积分作用可以减少稳态误差，微分作用可以提高响应速度。但另一方面积分作用容易导致积分饱和，使系统超调量增大，微分作用对高频干扰特别敏感，甚至导致系统失稳。PID控制本质上属于线性，如何使PID控制能更好地应用于非线性系统的控制，并具有较好的智能性，这是值得研究的问题。由于模糊控制具有一定智能性，且本质上属于非线性控制。因此可以预见，如果将基于规则的模糊控制用于PID控制器的设计，一方面可使PID控制器具有模糊控制的智能；另一方面可使模糊控制具有确定的控制结构，从而使所设计的控制器具有两种控制的优点。鉴于上述原因本项目将这两种控制思想有机地结合起来，设计了一种基于规则校正的如图3.3所示的模糊PID控制框图。

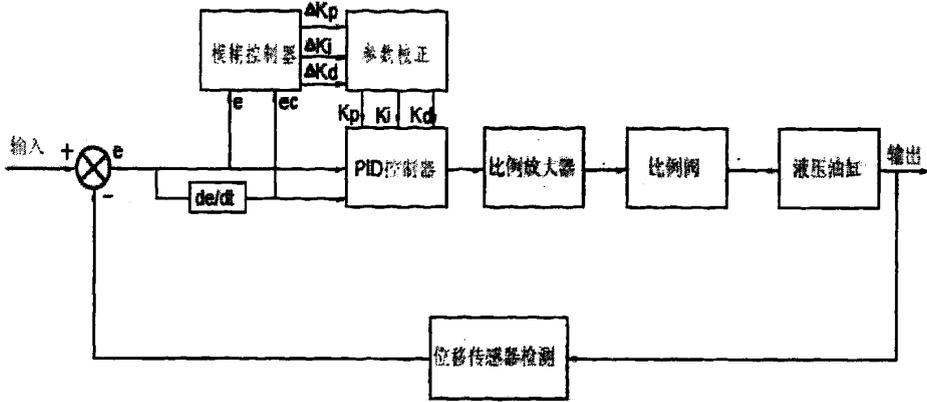


图 3.3 取门装置电液比例控制系统模糊控制框图

从结构框图3.3看出，该模糊PID控制器主要由一个两输入三输出模糊控制器和一个变参数PID控制器共同完成参数自整定，模糊控制器是一个二维的，它是误差 $e$ （输入-输出）和误差变化率 $e_c$ 为输入变量，依照 $e$ 和 $e_c$ 的值查找模糊控制表，得到模糊控制量 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ ，再将模糊控制量 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ 乘以参数校正项，即可得出PID控制器的控制参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 。根据上述模糊控制器的设计原理，模糊控制器的控制输出与参数 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$ 紧密相连，若想使控制器具备执行速度快、动态性好、鲁本性较强等优点，首先应确定被控量的下列相关参数及规则。

(1) 隶属度函数的确定

按照系统控制要求规定输入变量误差 $e$ 、误差变化率 $e_c$ 以及参数 $\Delta K_p$ 、 $\Delta K_i$ 、 $\Delta K_d$ 的基本论域为 $[-3, 3]$ ，语言变量模糊集为{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB}, 其含义分别为负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。各个语言变量值的定义分别由三角形隶属度函数来描述。输入、输出变量的隶属度函数如图3.4所示。

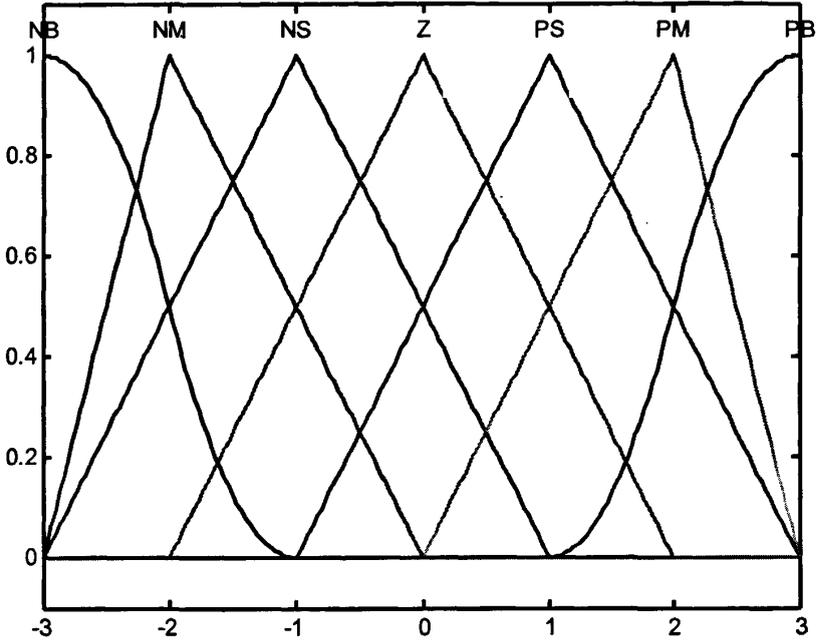


图 3.4 变量的隶属度函数

(2) 模糊控制规则

表 3.1  $\Delta K_p$  模糊控制规律表

$\Delta K_p$		$e$						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
$e_c$	NB	PB	PB	PB	PM	PS	PS	Z
	NM	PB	PB	PM	PM	PS	Z	Z
	NS	PM	PM	PM	PS	Z	NS	NS
	Z	PM	PS	PS	Z	NS	NM	NM
	PS	PS	PS	Z	NS	NM	NM	NM
	PM	Z	Z	NS	NM	NM	NB	NB
	PB	Z	NS	NS	NM	NM	NB	NB

表 3.2  $\Delta Ki$  模糊控制规律表

$\Delta Ki$		$e$						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
$e_c$	NB	NB	NB	NB	NM	NM	Z	Z
	NM	NM	NM	NM	PM	PS	Z	Z
	NS	NM	NM	NS	Z	Z	Z	PS
	Z	NS	NS	NS	Z	PS	PS	Z
	PS	NS	Z	Z	Z	PS	PM	PM
	PM	Z	Z	NS	NM	NM	PM	PM
	PB	Z	Z	PS	PM	PB	PB	PB

表 3.3  $\Delta Kd$  模糊控制规律表

$\Delta Kd$		$e$						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
$e_c$	NB	PS	PS	Z	Z	Z	PM	PS
	NM	PS	NM	NS	NS	Z	NS	PS
	NS	NB	NM	NM	NS	NM	NM	PM
	Z	NM	NS	NS	NS	NS	PS	PM
	PS	NB	NM	NS	NS	PS	PM	PS
	PM	NM	NS	PS	PS	PS	PM	PS
	PB	PS	Z	Z	Z	Z	PB	PB

电液比例控制系统中，增设模糊控制器主要为了达到减少误差，保证系统工作稳定性的目的。其总原则是：当误差较大时，选择控制量以尽快消除误差为主；而当误差较小时，选择控制量要注意防止超调，以系统的稳定性为主。根据上述原则，制定出PID控制器 $\Delta Kp$ 、 $\Delta Ki$ 、 $\Delta Kd$ 参数模糊控制规则如下表3.1、2、3所示。

### (3) 模糊PID输出控制算法

模糊PID控制的基本控制规律仍为PID控制，采用PID的3个控制参数 $Kp$ 、 $Ki$ 、 $Kd$ 与误差 $e$ （输入-输出）和误差变化率 $e_c$ 之间的模糊关系，在系统运行过程中不断

检测 $e$ 和 $e_c$ ，在依照模糊控制控制规律，对控制参数进行在线修改，以满足不同暂态过程对控制参数的要求，最终输入到PID控制器中，从而使被控对象具有良好的动、静态特性。

根据上述控制原则，采用增量式PID算法计算控制的输出控制增量 $\Delta u_i$ ，由下列公式

$$u_i = k_p \left[ e_i + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^i e_j + \frac{T_d}{T} (e_i - e_{i-1}) \right] + u_{i-1} \quad (3.1)$$

得出

$$\Delta u_i = u_i - u_{i-1} = k_p \left[ (e_i - e_{i-1}) + \frac{T}{T_i} e_i + \frac{T_d}{T} (e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2}) \right] = k_p (e_i - e_{i-1}) + k_i e_i + k_d (e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2}) \quad (3.2)$$

式中， $e_i = W_i - Y_i$ ， $W_i$ 为设定值， $Y_i$ 为第 $i$ 次实际输出值； $K_p$ （比例系数）= $\Delta K_p * K_1$ ， $K_i$ （积分系数）= $\Delta K_i * K_2$ ， $K_d$ （微分系数）= $\Delta K_d * K_3$ ，修正参数 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 的大小针对不同机构的液压比例阀参数综合选定，并通过仿真结果及反复试验后最终确定， $T$ 为采样周期。将 $\Delta u_i$ 附加在前一时刻的 $u_{i-1}$ 上，得到当前时刻的输出控制量 $u_i$ 。

### 3.1.3 取门装置模糊PID控制系统的仿真

为了正确指导修正参数的确定，针对具体系统进行了仿真。

仿真控制模型的正确搭建，是验证系统控制算法准确性和控制效果优越性的基础，同时也是系统优化的重要手段。仿真控制模型搭建，首先第一步应根据各控制环节的数学模型确定传递函数。

#### (1) 电液比例调速阀数学模型

##### ① 比例电磁铁线圈电压方程

$$Ri + L \frac{di}{dt} = U_g \quad (3.3)$$

$U_g$ -----输入电压

$i$ -----线圈电流

R-----线圈和放大器电阻;

L-----线圈电感。

② 比例电磁铁力平衡方程

$$F_{me} = k_{iF}i - k_y x_v \quad (3.4)$$

$K_{iF}$ ----电磁铁的电流力增益;

$K_y$ -----电磁铁的位移力增益;

$F_{me}$ -----电磁铁的输出力;

$X_v$ -----电磁铁的输出位移。

③ 先导阀力平衡方程

$$F_{me} = m_v \frac{d^2 x_v}{dt^2} + B_v \frac{dx_v}{dt} + k_{wy} x_v + k_{fy} x_v - k_{sy} \frac{dx_v}{dt} \quad (3.5)$$

$m_v$ ----阀芯重量;

$B_v$ -----速度阻尼系数;

$K_{wy}$ -----稳态液压力刚度;

$K_{fy}$ ----反馈弹簧刚度;

$K_{sy}$ ----瞬态液动力刚度。

将式(3.3)至(3.5)进行拉氏变换,消去中间变量*i*,并近似看成一阶环节,即得出

$$\frac{x_v(s)}{U_g(s)} = \frac{K_{iF}}{R + Ls} \quad (3.6)$$

④ 电液比例调速阀流量方程

$$Q(s) = k_q x_v(s) \quad (3.7)$$

Q----通过流量传感器的流量;

$X_v$ -----先导阀位移;

$K_q$ ----比例调速阀的流量增益。

由式(3.6)和(3.7)消去中间变量 $X_v(s)$ ,得出电液比例调速阀的传递函数

$$G_f(s) = \frac{Q(s)}{U_g(s)} = \frac{k_{tF} K_q}{R + Ls} \quad (3.8)$$

## (2) 液压缸数学模型

### ① 液压缸油流连续性方程

$$q = Av + \frac{V_t}{k} \frac{dp}{dt} \quad (3.9)$$

P---液压缸输入压力；

q-----液压缸输入流量；

v---活塞运动速度；

V<sub>t</sub>---液压缸高压腔及进油管路油液体积；

K---油液体积弹性模量；

A---液压缸进油腔的活塞面积。

### ② 液压缸力平衡方程

$$pA = m \frac{dv}{dt} + Bv \quad (3.10)$$

m—活塞及运动部件质量；

B---黏性阻尼系数。

将式(3.9)与(3.10)进行拉氏变换，消去中间变量P，得出液压缸的传递函数

$$G_g(s) = \frac{V(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{1}{A}}{\frac{V_t m}{kA^2} S^2 + \frac{V_t B}{KA^2} S + 1} \quad (3.11)$$

根据上述传递函数及实际电液比例系统控制要求，将油缸速度作为系统的反馈量，同时将模糊PID控制器作为系统的控制环节之一，即可得到如图3.5所示以电压U为输入，油缸速度V为输出的液压系统模糊控制模型。

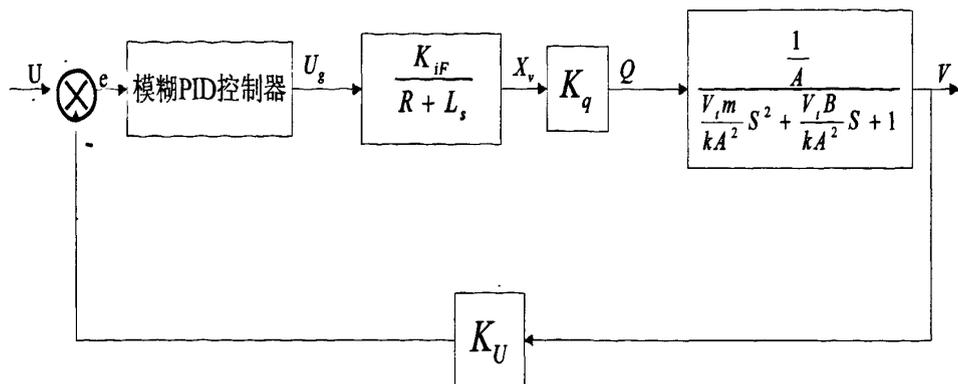


图 3.5 电液比例系统模糊控制模型

$K_U$ ——位移测量传感器的增益

### (3) 系统控制模型的MATLAB仿真

搭建好电液比例系统模糊控制模型后，利用MATLAB/Simulink中的模糊控制工具箱建立模糊PID控制器与常规PID控制器，并分别搭建仿真模型进行仿真，在系统仿真时模型中所涉及部分参数取值如下：

仿真时间----- 5s；

输入阶跃信号幅值-----1

常规PID  $K_p$ -----2.2；

常规PID  $K_i$ -----5；

常规PID  $K_d$ -----0.1；

根据上述系统控制要求及参数整定值，得到模糊控制及常规控制方式的响应曲线如图3.6所示。

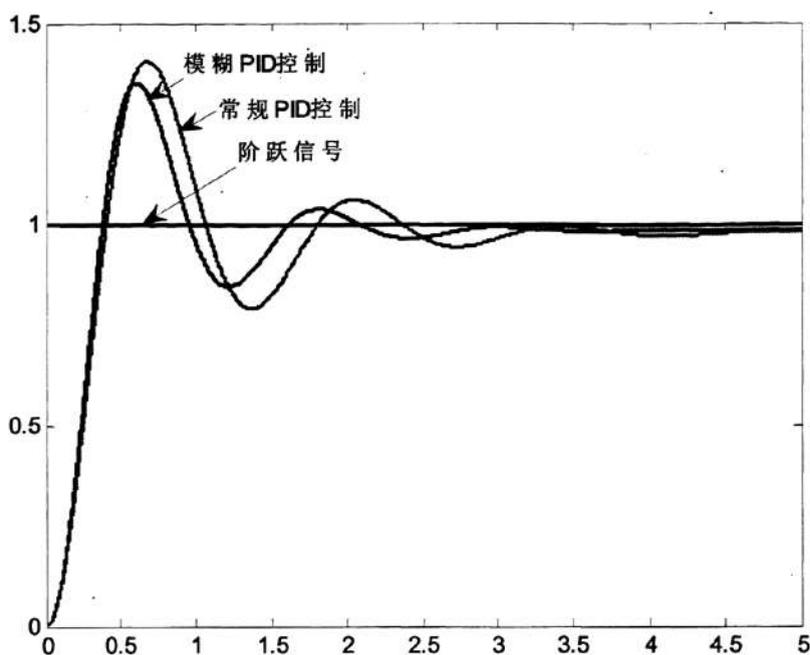


图 3.6 模糊 PID 与常规 PID 控制阶跃响应曲线

从上图阶跃响应曲线可以看出，模糊PID控制模式的单位阶跃响应曲线具有上升快，过渡时间短，超调量小的优点。仿真结果表明利用模糊PID控制可以基本实现工艺要求的取门装置电液比例系统的快速、平稳控制。

为使本系统的电液模糊PID控制，能够达到最优的控制效果，借助MATLAB仿真手段及结合电液比例系统参数，最终分别确定了不同机构适合于本系统的三个修正系数的值，用于现场的实际控制，该值也可根据现场情况进行适当调整。

表 3.4 电液比例系统修正值参数

序号	机构	K1	K2	K3	附注
1	前后进	0.32	0.25	0.28	
2	倾斜	0.22	0.20	0.30	
3	压门栓	0.28	0.23	0.28	

### 3.2 基于 SIMOLINK 环的负荷平衡控制

焦炉机械的生产操作均围绕焦炉炭化室而进行，可每个炭化室的推焦、装煤时间各不相同，针对这一特点焦炉车辆需频繁移动于各炭化室之间，完成推焦、装煤、平煤等工艺操作。由于焦炉车辆设备的惯性、可靠性、速度同步性等要求，其设备走行装置均有两台或两台以上同功率的电机共同驱动。为满足走行定位精度 $\leq \pm 5\text{mm}$ 、运行平稳、响应速度快等性能要求，该项目采用西门子6ES70系列变频器，且运用矢量闭环方式分别驱动各自走行电机。另外为满足可靠、实时、准确等控制性能要求，该项目变频器控制方案设计为：基于PROFIBUS-DP网络，与PLC控制器快速进行运行控制、速度设定、状态参数读取等相关大量数据交换的总线网络化控制模式。目前PLC对变频器的总线网络化控制方案，因其稳定、实时、数据交换容量大诸多优点，已逐渐成为人们心目中的缺省控制方案。

经采用上述控制方案的走行装置，虽然其控制方案的优越性等到了充分体现，但系统控制中还存在着一些不足。以往焦炉机械设备走行装置在运行过程中发现，因驱动系统的各种误差导致各台异步电动机负荷分配不均匀，经常导致走行电机的电流差别大，高电流的运行电机经常出现故障，特别是多电机矢量控制方式下，部分电机有可能被反拖，严重影响驱动性能及设备运行平稳性。为克服上述缺点该项目的传动系统设计，结合焦炉机械走行装置工艺特点要求，并基于PROFIBUS-DP网络将负荷平衡技术融入到走行驱动系统控制中，使每台走行电机均采用西门子6ES70变频器单独进行矢量控制，完成了变频器与PLC之间多类数据交换的读取及控制任务，同时为能够实时读取变频器的运行状态，采用SIMOLINK环网完成了快速底层数据交换。按照上述负荷平衡控制原理，所集成的该项目走行装置负荷平衡控制硬件系统如图3.7所示。

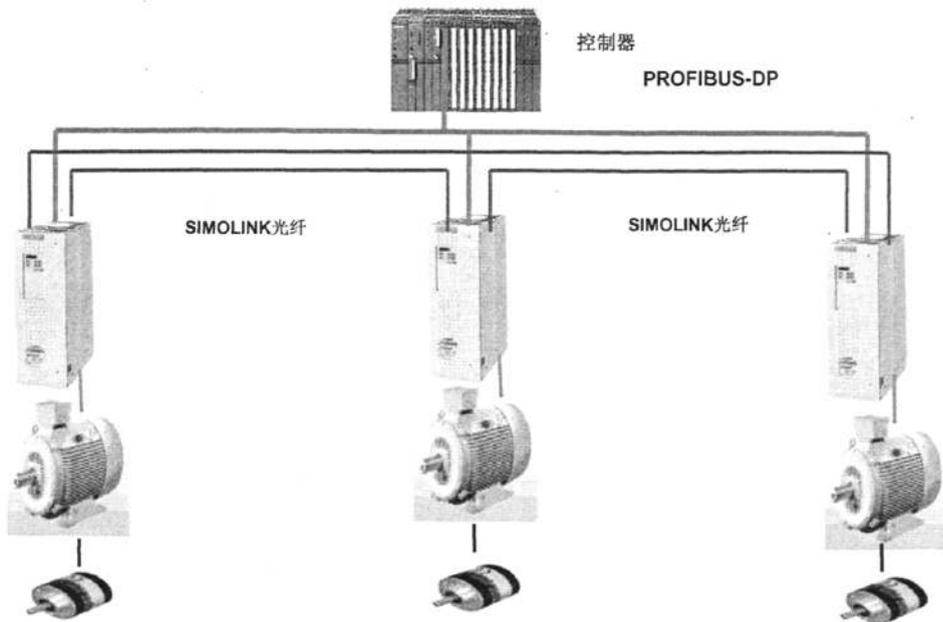


图 3.7 走行负荷平衡控制硬件系统

### 3.2.1 负荷平衡控制系统的工作原理

当驱动由弹性机构所连接的同一负载时，即使速度主给定相同，但因电机特性、负载分布不均等原因造成电机实际转速 $n$ 略有不同，为能够与速度主给定保持相同的速度控制要求，各电机的电流将出现差异现象，严重时会引起反作用，影响整个系统的运行平稳性。为克服上述缺点，将各电机有功电流与平均值有功电流之差作为附加给定，分别对各变频电机的给定速度进行单独调节，同时尽量减少电机之间的实际转速 $n$ 差异，致使电机最大限度能够平均分担整个系统负载，从而达到负荷平衡的目的，其具体工作原理如图3.8所示。

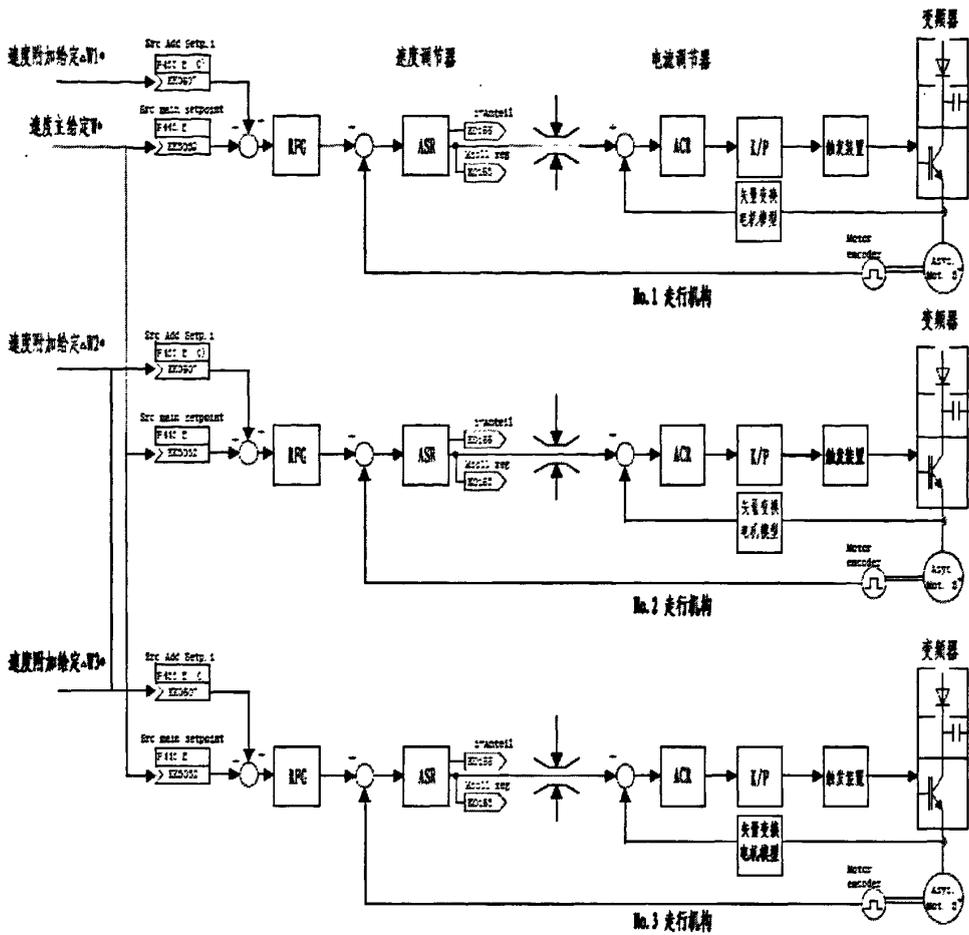


图 3.8 走行装置负荷平衡控制工作原理

上述负荷平衡控制工作原理中，各装置通过PROFIBUS-DP网络所得到的速度主给定 $W^*$ 均相同，但各电机因其特性及实际负载分配的不均衡，会造成电机电流存在较大差异，为能够使各电机输出电流差异减少，达到平稳运行的目的，在控制环节上增加了附加速度给定，对电机速度进行微调，减少电机相互间的电流差异。该走行装置的负荷平衡控制工作原理的判据为下列矢量控制基本方程式：

$$T_e = n_p \frac{L_m i_{t1}}{L_r} \varphi^2 \quad (3.12)$$

$$i_{m1} = \frac{T_2 p + 1}{L_m} \varphi_2 \quad (3.13)$$

$$W_s = \frac{L_m i_{t1}}{T_2 \varphi_2} \quad (3.14)$$

$$i_1 = \sqrt{i_{t1}^2 + i_{m1}^2} \quad (3.15)$$

稳态条件下， $i_{m1}$ 为常数，将式3.13代入3.14，即可得出下列关系式

$$\Delta W_s = \Delta W = \frac{\Delta i_{t1}}{T_2 i_{m1}} \quad (3.16)$$

$T_e$ -----转矩；

$W_s$ ----转差频率；

$i_{t1}$ ---定子电流的转矩分量；

$i_{m1}$ ---定子电流的励磁分量；

$i_1$ ---定子电流；

$T_2$ ---定子励磁时间常数；

$\varphi_2$ ---主磁通；

$\Delta W_s$ ---转差频率增量；

$\Delta W$  ---电机转速增量；

$\Delta i_{t1}$  ---定子电流的转矩分量增量

由3.12与3.15可知电机的电磁转矩 $T_e$ ，在主磁通 $\varphi_2$ 不变的情况下由转矩分量电流 $i_{t1}$ 决定，<sup>[22]</sup>而转矩分量电流与电机转速 $W$ 成正比的关系，由此成立下列关系式：

$$\Delta T_e \propto \Delta i_{t1} \propto \Delta W \quad (3.17)$$

由于转矩电流的增量与转速的增量成正比，因此只要按照实际负载分配情况，计算出转矩分量平均电机电流与各自转矩分量电机电流值之差后，将该电流之差乘以比例系数 $K_p$ ，即可得出附加给定速度 $\Delta W^*$ 值，并经过限幅将最终值送入变频器输入附加速度给定，小范围内改变多台电机的转速，使电机的转矩分量的电流趋于相同，从而使电机的电磁转矩与外界负载转矩同步均匀分布，便可完成

负荷平衡控制任务。根据上述工作原理及下列步骤即可计算出附加速度给定  $\Delta W_{(n)}^*$  值。

$$I_{T1} = \frac{I_{T1(1)} + I_{T1(2)} + I_{T1(3)}}{3} \quad (3.18)$$

$I_{T1}$  ----多台负载电机转矩分量电流平均值;

$I_{T1(1)}$  ----No.1 电机转矩分量电流;

$I_{T1(2)}$  ----No.2 电机转矩分量电流;

$I_{T1(3)}$  ----No.3 电机转矩分量电流。

$$\Delta I_{T1}(n) = I_{T1} - I_{T1}(n) \quad (3.19)$$

$\Delta I_{T1}(n)$  ----第n号电机附加给定转矩分量电流;

$I_{T1}(n)$  ----第n号电机转矩分量电流;

$$\frac{\Delta W}{\Delta I_{T1}(n)} = \frac{1}{T_2 i_{m1}} = k_{p1} \quad (3.20)$$

为保证运行速度以及原驱动控制系统的稳定性, 每台电机转速需在微小的范围内调整, 故需要在控制模型中加入转速增量限幅环节, 其幅值设置为额定转速的  $\pm a\%$ , 即可得出实际附加速度给定  $\Delta W^*$  值。(根据实际调试经验  $\theta$  取值范围为 2~4)

$$\Delta W_{(n)}^* = \pm \theta \% * \Delta W_{(n)} \quad (3.21)$$

$\Delta W_{(n)}^*$  ----第n号电机附加速度给定值。

### 3.2.2 负荷平衡控制系统的模型

根据上述控制原理, 所搭建的用于走行驱动装置的负荷平衡控制系统模型如图 3.9 所示。该控制模型将经电机负荷平衡控制器所输出的速度, 作为附加速度给定输入到变频调速的矢量控制输入端, 将完成负荷平衡控制的最终目的。



表 3.4 SIMOLINK 参数写设定数据 (1#变频器)

站地址	通道号	传输数据	变频参数设定	写参数源	附注	
变频器 1#	P740=0	0	状态字	P751.01=32	K32	1#变频器
		1	电流值	P751.02=K470	K470	1#变频器
		2				1#变频器
		3				1#变频器

表 3.5 SIMOLINK 参数读设定数据 (1#变频器)

站地址	通道号	传输数据	变频参数设定	读参数源	附注	
变频器 1#	P740=0	0	状态字-2	P749.1=1.1	K7001	2#变频器
		1	电流值-2	P749.2=1.2	KK7032	2#变频器
		2				
		3	状态字-3	P749.3=2.1	K7004	3#变频器
		4	电流值-3	P749.4=2.2	KK7035	3#变频器

完成SIMOLINK参数功能规划后,便可利用变频器自由功能块搭建负荷平衡控制器,用于达到负荷平衡控制的最终目的。本系统所搭建的走行装置负荷平衡控制器的功能框图如图3.10所示(1#变频器为例)。



### 3.2.4 负荷平衡控制的实际应用

本项目的走行驱动方案，采用了多电机驱动控制形式，现场调试阶段发现因负荷不均造成各电机电流差异现象存在。为能够很好的解决该问题，我们在拦焦车走行电机(30Kw, 1465r/min, 190.9N.m, AC660V)驱动方案上应用了上述负荷平衡控制模型，得到了良好的控制效果，达到了最终的控制目的，负荷平衡模型应用前后所采集到的实际数据如表3.7所示。

表 3.7 负荷平衡控制的应用效果（拦焦车）

走行驱动	电机号	负荷平衡控制应用前		负荷平衡控制应用后	
		电机电流 (A)	运行速度(m/s)	电机电流 (A)	运行速度(m/s)
	No.1	10.0	15.0	12.0	15.3
	No.2	15.0	15.0	13.0	14.8
	No.3	14.0	15.0	13.0	14.9

### 3.3 基于编码识别技术的自动对位系统

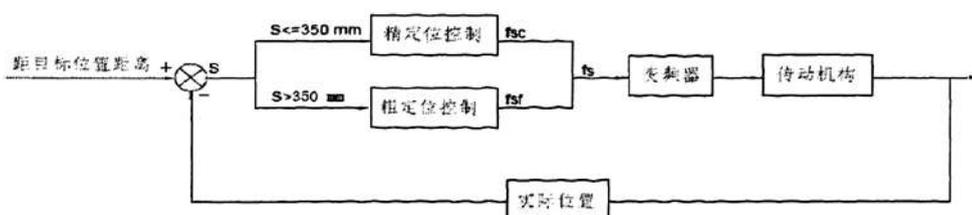


图 3.11 自动对位控制原理框图

由于焦炉机械在生产服务中移动频繁、惯性大，定位精度要求高，同时操作环境存在高温、灰尘、腐蚀性气体等因素，致使设备的精确定位控制技术成为该

专业电气核心技术之一。为能够满足焦炉机械定位误差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 的控制要求，焦炉机械采用了粗定位与精定位功能相结合的自动对位系统，完成不同阶段的控制任务，最终使设备按照程序设置的速度曲线精确定位在目标位置处，其详细控制原理如图 3.11 所示。

### 3.3.1 粗定位系统

#### (1) 工作原理

粗定位控制系统由一个增量编码器构成，此编码器安装在一个单独的由弹簧承载的测量轮上，当设备走行轮每转动一圈时，测量轮上所安装的编码器输出的一定数量的脉冲数，该脉冲数输入到 PLC 中，PLC 根据所累计的脉冲数（3600 脉冲， $1 \text{ 脉冲} = \frac{\pi D_{\text{直径}}}{3600} \text{ mm}$ ）即可计算出当前实际位置所对应的距离有效值。当操作员从人机界面输入窗口中输入一个目标位置时，PLC 程序根据预先储存在程序内的目标位置所对应的距离有效值，计算出一个最佳走行速度，设备按照此曲线所对应的速度进行减速运行，当设备移动到接近目标位置大约 $\pm 350\text{mm}$ 处，便完成了粗略定位范畴的控制任务。

#### (2) 控制系统设计

粗定位系统，在控制实现上采用了根据实时检测的当前距离值，而计算出与目标位置间的距离差值，进一步依据下列理论公式，计算出当前所需运行速度。

$$f_{s c} = f_c - f_D \quad (3.22)$$

$f_c$ -----变频器设定理论计算值；

$f_D$ -----变频器理论粗设定值与实际设定值之差

$f_{s c}$ ----- 计算得出的变频器粗定位实际设定值。

$$f_D = \frac{f_{c_m}}{S_d} S_p \quad (3.23)$$

$f_D$ -----变频器理论粗设定值与实际设定值之差；

$$S_d = S_B - 0.35 \quad (3.24)$$

S<sub>d</sub>-----最大制动距离与定位标牌0.35距离之差;

$$S_p = S_B - S \quad (3.25)$$

S<sub>p</sub>-----最大制动距离与至目标位置距离之差;

S<sub>B</sub>-----最大制动距离;

S-----至目标位置距离;

$$f_{c_m} = f_c - f_{\min} \quad (3.26)$$

f<sub>c<sub>m</sub></sub>-----变频器设定理论计算值与粗定位最小设定值之差;

f<sub>min</sub>-----变频器粗定位最小值;

$$f_c = 10000 \frac{V_c}{V_{\max}} \quad (3.27)$$

f<sub>c</sub>-----变频器设定理论计算值;

$$V_c = \sqrt{2as} \quad (3.28)$$

V<sub>c</sub>-----速度理论计算值;

S-----当前位置与目标位置之差;

$$a = \frac{V_{\max}}{t_B} \quad (3.29)$$

a-----加速度;

$$S_B = 0.5V_{\max}t_B \quad (3.30)$$

S<sub>B</sub>-----最大制动距离;

V<sub>max</sub>-----最大速度;

T<sub>B</sub>-----设定制动时间

经过上述计算所得出的  $f_{s,c}$  设定值，将被作为粗定位实际设定值传送至变频器，完成该阶段使设备尽快到达目标位置的控制任务。

### 3.3.2 精定位系统

#### (1) 工作原理

精定位系统由码牌识别系统和定位码牌构成，定位码牌固定在目标位置上。此定位码牌上钻有一套二进制编码孔和一套时钟孔，当设备按照程序中所设定的速度曲线，减速运行至离目标位置 350mm 处时，便慢速进入定位码牌区域，此时码牌识别系统内设置的六个不同功能的光纤发射器所发出的光束，有的将因码牌的遮挡无法到达接收器中，造成光纤传感器的状态发生不同的变化，其变化状态输入到 PLC 中便可对应出当前炉号值。此时设备的运行速度极低(1.75Hz)，随时做好了停止的准备，当识别系统内传感器的变化值所对应的炉号与目标位置号恰好相同时，设备将停止运行，最终精确定位在目标位置处。

#### (2) 控制系统设计

精定位系统，在控制实现上不仅依靠硬件码盘识别炉号，同时为消除由于大车运行过程中，存在车轮滑动因素，传动齿轮由间隙、大车运行轨道异常等多种因素，导致增量编码器位置检测存在的误差，由两端码盘边缘触发剩余目标距离校准信号，将剩余目标距离硬性修正为 350mm。同时为保证生产效率、快速接近目标，在精定位后期阶段采用了最小速度限制控制方法，将有效缩短了对位时间，保障了生产周期。关于具体精定位速度控制方法，如下所述。

$$f_{s,f} = \begin{cases} S; 350 \leq S \leq 200 \\ 200; S < 200 \end{cases} \quad (3.31)$$

$f_{s,f}$  ----- 计算得出的变频器精定位实际设定值

经过上述计算所得出的  $f_{s,f}$  设定值，将被作为精定位实际设定值传送至变频器，完成该阶段设备接近目标位置时，能够使速度平稳降速而尽快到达目标位置的控制任务。

### 3.3.3 自动对位系统的实际应用

本项目走行定位系统中所融入的自动对位技术，经现场实际应用，不仅能够按照程序设置的速度曲线精确定位在目标位置处，满足了定位误差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 的控制要求，而且运行平稳达到了良好的控制效果。经实际应用后所得到的自动定位系统控制曲线如图3.12所示。

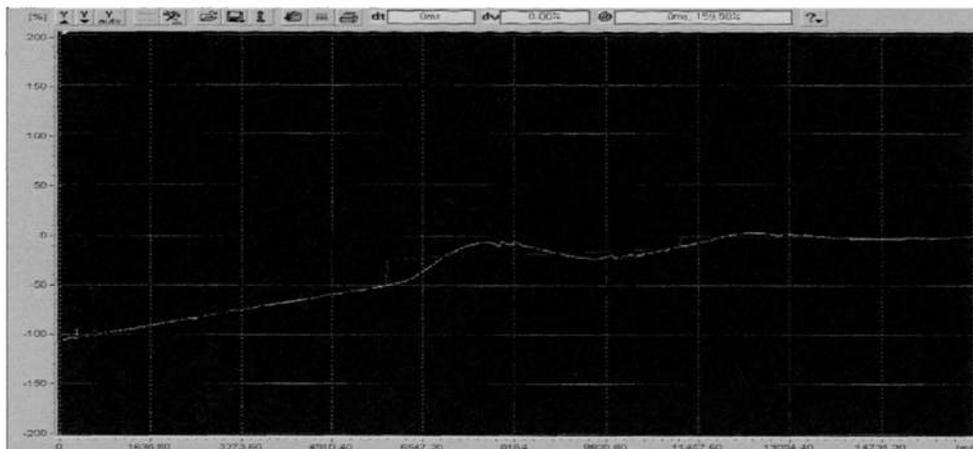


图 3.12 自动对位系统的应用效果

注 1) 曲线 1 (绿色) ——实际速度曲线

注 2) 曲线 2 (红色) ——给定速度曲线

## 3.4 本章小结

本章从焦炉机械设备生产服务中的高环保、移动操作频繁、惯性大、定位精度要求高等工艺要求特点出发，针对系统的控制策略，选择了相应的控制方法，并利用仿真工具对方法进行了验证，最终实现了用于烟尘排放控制的液压比例系统的模糊 PID、用于变频电机运行特性优化的多电机负荷平衡、用于生产效率提高的自动对位等关键控制功能，同时对控制效果进行不断研究及修正，使系统控制达到了最佳的控制效果。焦炉机械控制系统中电液比例模糊 PID、多电机负荷平衡、自动对位等多项控制策略成为了系统控制的核心技术。其中运用电液比例阀及模糊 PID 的控制策略，实现了油缸推进速度的实时控制，从而保证了取门台车进退、提门、倾斜动作的快速及平稳无冲击运行，不仅很好地缓解了设备冲击，尤其对

炉门、炉框起到了良好的密封作用；运用 SIMOLINK 环网及变频矢量控制技术建立了多电机驱动负荷平衡控制系统，较好地解决了焦炉机械因负荷分配不均而导致电流偏差大的实际问题，并使走行机构多电机的负荷实现了自动、实时均匀分布，不仅很好地从控制角度解决了钢结构的扭曲变形及跑偏问题，尤其可实现设备的高速平稳运行，从而提高了生产效率；运用编码识别技术的自动对位系统，能够按照程序设置的 S 速度曲线将车辆设备精确定位在目标位置处，不仅满足了定位误差 $\leq\pm 5\text{mm}$ 的控制要求，而且运行控制效果平稳，尤其对设备的安全连锁操作起到了至关重要的控制作用。

另外，除对上述关键控制策略进行详细的分析及论证的同时，还引用现场实际应用数据及曲线，验证了所采用的控制策略的有效性及合理性。

## 第4章 焦炉机械设备监控系统的设计

为了实现对控制系统操作和运行参数的在线检测、实时诊断，并分析参数变化的趋势，及时发现和预报异常运行情况提供故障处理信息，为生产管理提供一个先进可靠的监控系统尤为重要，它是指导运行人员合理操作、保障系统运行安全性、经济性及提高综合生产管理水平的有效手段。

### 4.1 监控系统的功能

为更好实现生产过程的优化运行管理，同时确保监控软件与该项目主控制器 SIMATIC S7系列PLC通讯的高效性，选用西门子视窗控制中心 SIMATIC Wincc (Windows Control Center)作为本次设计的监控软件，Wincc监控软件作为SIMATIC全集成自动化系统的重要组成部分，具备以下技术性能特点：

#### (1) 远程监控功能

远程监控功能是监控软件Wincc的主要功能。通过监控系统的远程监控功能，工艺的整个流程以及主要设备都在监控画面上清晰显示，使操作人员在操作室就能控制和掌握整个生产运行情况，并根据要求远程安排设备的合理、有效生产，提高了生产效率，并且由于远离了危险区域，从而提高了操作人员的安全性。

#### (2) 数据记录功能

数据记录，记录了特定标签（或数据）在特定条件下的数值，特定条件可以通过模式进行定义，用以趋势图中显示、将来的处理和分析存档、使用第三方软件进行显示或分析，如Microsoft Excel等。

#### (3) 数据报表生成功能

掌握生产中的一些重要数据，如装煤重量、推焦电流、余煤重量等，有利于掌握系统运行情况，有效安排处理设备的运行，提高生产效率，从而达到节能增效的目的。

#### (4) 趋势曲线显示功能

趋势曲线用来显示工艺中一些重要模拟量参数的变化趋势，如液压系统温度、压力、室内温度等。通过这些功能不仅可以看到模拟量参数当前的变化趋势，而

且也可以查看历史变化趋势，为操作人员提供了一种跟踪工艺运行的手段，同时操作人员可根据这些变化趋势提前做出控制预测。

#### (5) 报警管理功能

报警管理功能会在系统出现故障时提醒操作人员并显示故障信息，报警是在设备或生产过程在可接受的、预设定的范围内停止运行时发出信号，表明故障、磨损或出现预定序列以外的操作。报警类别包括模拟量的超限报警和离散量的状态报警。本监控系统从报警的类型、生产、状态记录及使用者对其控制等各方面做了十分细致的设计，能及时反映生产过程运转状态、快速处理各种故障、事故和排除隐患，保护设备和保证生产正常运行。

#### (6) 系统安全管理功能

安全性是监控系统的首要考虑的因素，如何保证系统的安全性对于工业控制系统特别重要，恶意的破坏或攻击会导致系统异常运行从而出现安全事故造成大量资源浪费甚至人员伤亡。本系统通过设置控制权限、有效保护了系统操作的安全性和可靠性。

## 4.2 监控系统的通讯链接

为方便现场操作人员使用，同时使系统具有友好界面及操作安全性，本文的上位机监控系统选用西门子视窗控制中心 SIMATIC Wincc (Windows Control Center)作为本次设计的监控软件，此软件具备完善的生产监控管理能力，可以对现场的电机、电动阀等设备的运行停止进行控制，并对主要环节的生产过程进行实时数据采集、传输、处理、显示、记录打印。为了实现 Wincc 与下位机 S7-400 控制器之间的数据交换，Wincc 提供了一个称为 SIMATIC S7 Protocol Suite 的通讯驱动程序，此通讯驱动程序支持多种网络协议和类型，通过它的通道单元提供与各种 SIMATIC S7-300 和 S7-400 等系列 PLC 的通讯外，还提供了如 PROFIBUS DP/FMS, DDE(动态数据交换)和 OPC(用于过程控制的 OLE)等通用通道连接到第三方控制器。<sup>[16]</sup>此外 Wincc 还以附加件 (add-ons) 的形式提供连接到其他控制器的通讯通道，同时还提供了一个 CDK 选件，可以用它来开发一些专用通讯通道。本次设计监控系统通讯链接过程实现如图 4.1 所示。

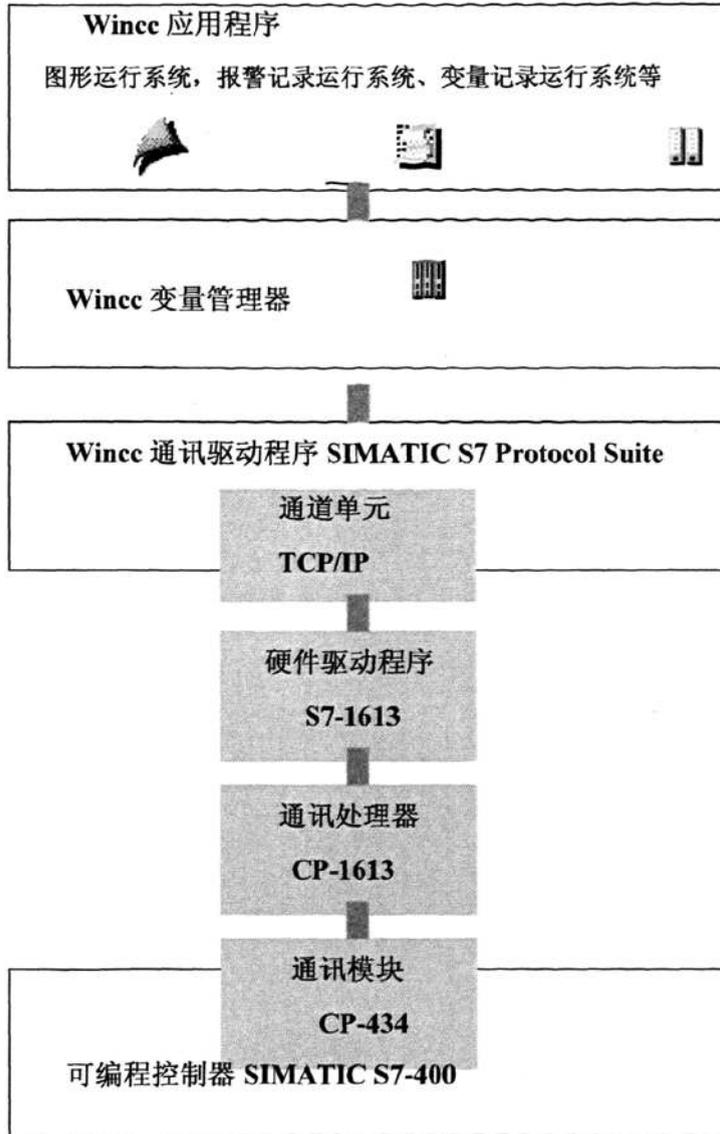


图 4.1 焦炉机械监控系统通讯链接

Wincc使用变量管理器来处理变量的集中管理，此变量管理器不为用户所见，它处理Wincc项目产生的数据和存储在项目数据库中的数据。在Wincc运行系统中，它管理Wincc变量。Wincc的所有应用程序必须以Wincc变量的形式从变量管理器中请求数据。这些Wincc应用程序包括图形运行系统、报警记录运行系统和变量记录运行系统等。

Wincc 变量管理器管理运行时，它的任务是从过程中取出请求的变量值，这个过程通过集成在 Wincc 项目中的通讯驱动程序来完成。通讯驱动程序利用其通道单元构成 Wincc 与过程处理之间的接口。在大多数情况下，到过程处理的基于硬件的连接是利用通讯处理器来实现的。Wincc 通讯驱动程序使用通讯处理器来向 PLC 发送请求消息，然后通讯处理器将回答相应消息请求的过程值发回 Wincc。

### 4.3 监控系统的软件开发

Wincc V6.2 运行在 IBM-PC 兼容机上，是基于 Microsoft Windows 2000/XP 的组态工控软件，在安装 Wincc 之前，必须配置适当的硬件和软件，并保证它们能正常运转。这意味着所有的硬件和软件都必须被正确地安装配置。在安装过程中，Wincc 将逐一检查以下各项是否满足要求：

- 使用的操作系统；
- 用户登录的权限；
- 显示器的分辨率；
- Internet Explorer；
- Microsoft 消息队列服务；
- Microsoft SQL Server；

若上述条件之中任一条件没有满足要求，Wincc 将停止安装，并在屏幕上显示相应的错误消息。

当成功安装 Wincc V6.2 程序软件之后，可利用 Wincc 基本组件之一的组态软件对项目进行开发和组态。Wincc 项目管理器作为组态软件的核心，对整个工程项目的数据组态和设置进行全面的的管理，开发和组态一个项目时，可利用 Wincc 项目管理器中的各个编辑器建立项目使用的不同功能，同时按照下列步骤组态和开发工程项目的 Wincc 用户程序。

- 创建项目
- 选择及安装组态驱动程序
- 组态变量
- 创建监控画面

—过程值归档

—报警系统管理

#### 4.3.1 监控系统的项目创建

第一次运行 Wincc 时，出现一个对话框，选择建立新项目的类型包括以下 3 种：



图 4.2 焦炉机械监控系统创建项目属性

选择“单用户项目”，并单击“确定”按钮，在下一步对话框中输入231\_PC作为项目名称，并为项目选择一个路径，即可显示如下新建的项目界面。

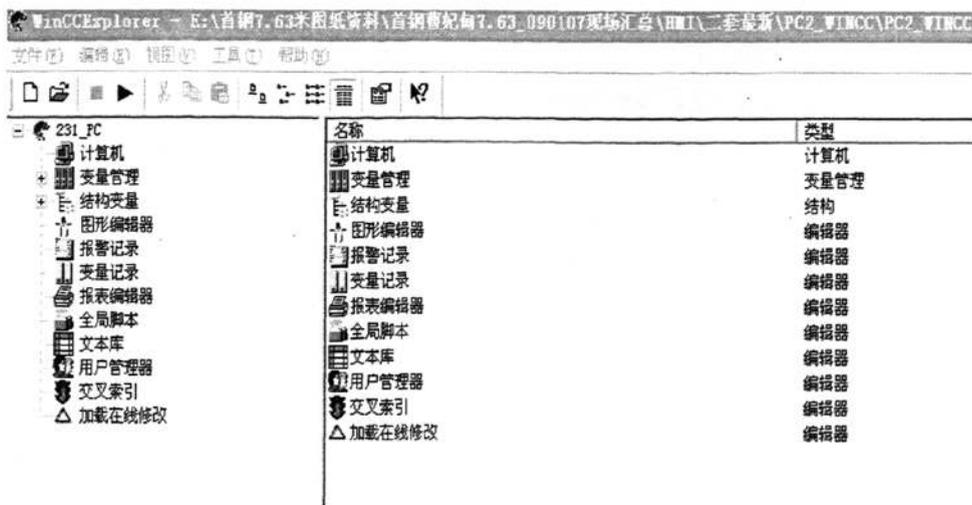


图 4.3 监控系统新项目创建

另外，在导航窗口中单击“计算机”图标，在右边窗口中将显示与用户的计算机名一样的计算机服务器。右击此计算机，在快捷菜单中选择“属性”菜单项，在随后打开的对话框中可设置 Wincc 运行时的属性，如设置 Wincc 运行系统的启动组件和使用的语言等。

#### 4.3.2 监控系统通讯驱动程序的安装

本设计项目的监控系统需要 Wincc 采集自动化 PLC 系统的当前过程值，用于设备的过程控制管理。这就需要 Wincc 与自动化系统间必须建立一个通讯链接，该通讯链接将由专门的通道通讯驱动程序来控制。在项目管理器的主界面点击浏览窗口中的“变量管理”，在快捷菜单中选择“添加新的驱动程序”，并在“添加新的驱动程序”对话框中，选择 SIMATIC S7 Protocol Suite.chn，并选择 TCP/IP 子目录，建立“232\_Pusher\_Machine”作为逻辑链接名及链接对象 PLC 系统的相应 IP 地址及物理属性后，单击“确定”按钮即可完成驱动程序的安装及组态任务。

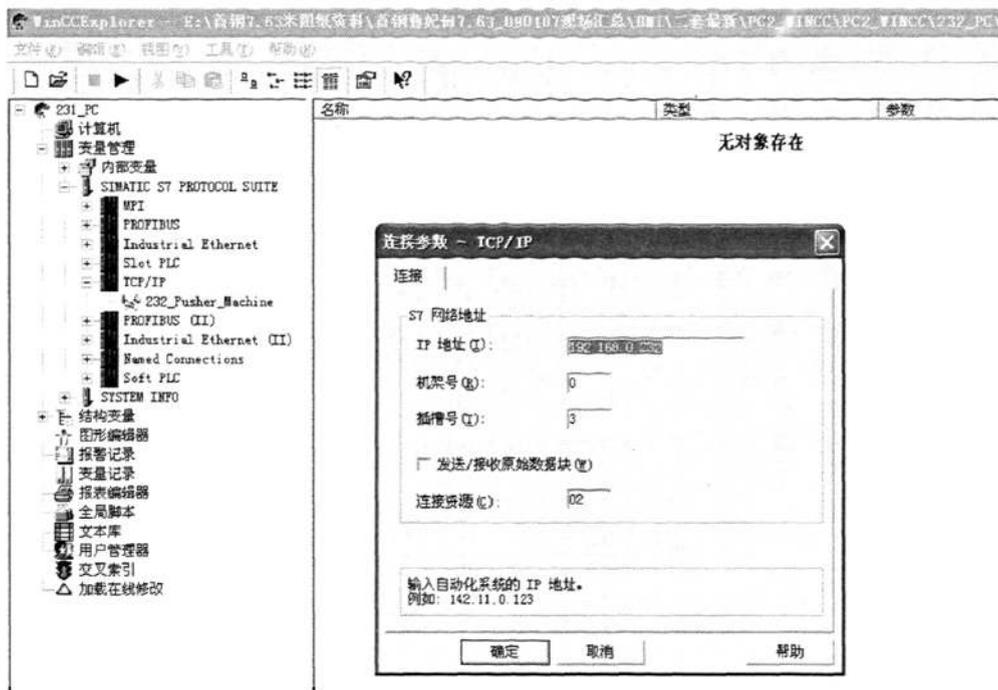


图 4.4 监控系统通讯驱动程序安装

### 4.3.3 监控系统的变量组态

变量系统是组态软件的重要组成部分，在组态软件的运行环境下，工业现场的生产状态将实时地反映在变量数值中，另外通过计算机发布的指令通过变量传送给生产现场。Wincc的变量按照功能可分为外部变量、内部变量、系统变量和脚本变量四种类型。关于变量类型的具体概念定义如下所述：

#### (1) 外部变量

由外部过程为其提供变量值的变量，称为Wincc的外部变量。每一个外部变量都属于特定的过程驱动程序和通道单元，并属于一个通道链接。相关的变量将在该通讯驱动程序的目录结构中创建，外部变量的最大数目受Wincc软件授权点数的限制。

#### (2) 内部变量

过程没有为其提供变量值的变量，称为Wincc的内部变量。内部变量没有对应的过程驱动程序和通道单元，不需要建立相应的通道链接。内部变量在“内部变量”目录中创建，内部变量的数目不受Wincc软件授权点数的限制。

### (3) 系统变量

Wincc提供了一些预定义的中间变量，称为Wincc的系统变量。每个系统变量均有明确的意义可以提供现成的功能，一般用于表示运行系统状态。系统变量由Wincc自动创建，组态时不能创建，但可使用由Wincc创建的系统变量。系统变量以“@”开头，以区别于其他变量，同时系统变量可以在整个工程的脚本和画面中使用。

### (4) 脚本变量

脚本变量是在Wincc的全局脚本中定义并使用的变量，称为Wincc的脚本变量。脚本变量只能在其定义的所规定的范围内使用。

本次设计根据上述定义，创建了许多不同变量，为对所创建的变量进行有序管理，使之更好地服务于系统应用，根据设备功能将同一功能的变量或同一设备的变量归纳为一个组，创建了如图所示的多个变量组。

The screenshot shows the WinCC variable management interface. On the left, a tree view shows the project structure under '231\_PC' > '计算机' > '变量管理' > '内部变量'. A folder named '231\_Pusher Machine' is selected. On the right, a table lists the variables created for this machine, with columns for '名称' (Name) and '类型' (Type).

名称	类型
231_Alarm+Message	变量组
231_FLC_time_adjusting	变量组
231_hydraulic	变量组
231_Grease/Pneum.	变量组
231_Climatisation	变量组
231_Travel_Drive	变量组
231_Emergency_Supply	变量组
231_Door_Head	变量组
231_Door_Cleaning	变量组
231_Water_System	变量组
231_Frame_Cleaner	变量组
231_Pushing_Drive	变量组
231_Filter	变量组
231_Cable_Drum	变量组
231_Spillage_Coke	变量组
231_Mashine	变量组
231_Plan.-Drive	变量组
231_Work_Hour_Counter	变量组
231_Bench_Cleaning	变量组
231_TOTAL_OVERVIEW_CAOF	变量组
231_Coor	变量组

图 4.5 监控系统变量组创建

当项目创建完如上图所示的多个内部及外部变量组后,下一步应根据需求创建具体内部及外部变量用于监控系统的过程链接。按照上述步骤要求多个变量组创建完毕后,点击鼠标右键选择创建变量,将立即显示变量属性菜单,根据需要逐项添加菜单内容,即可完成变量的创建任务。



图 4.6 监控系统变量属性定义

#### 4.3.4 监控系统的界面设计

Wincc 项目管理器的图形编辑器,用于创建监控画面并使其动态化的编辑器。为满足工艺要求,实现控制功能和控制目标,点击鼠标右键选择新建画面项,便可创建多个包含如下内容的监控画面。

(1) 显示焦炉机械现场设备的操作方式、开关控制及动态模拟运行状态、动态变化的重要数据等。

(2) 在各机构的分画面中,可以调出该机构包含电机、油缸等设备的操作及控制。

(3) 在各机构的一些分画面中, 可以输入调整参数, 对设备进行软调整控制, 并可实时显示频率、电流、重量等重要被控量。

符合上述要求的监控画面, 均可通过画面下方的功能键菜单进行自由切换, 以满足实际生产管理要求。为能够对设备的运行状态全面掌控, 本次设计编制了主监控界面, 用于设备的集中管理及信息的快速掌握。进行主界面设计之时遵循了, 以焦炉机械单体设备主要机构为依据, 化繁为简、将主要设备的控制及重要数据直接反应在主界面上的原则, 同时作为控制亮点, 该界面可实现主要机构单键自动操作功能。本次设计焦炉机械推焦车的监控主界面如图 4.7 所示。

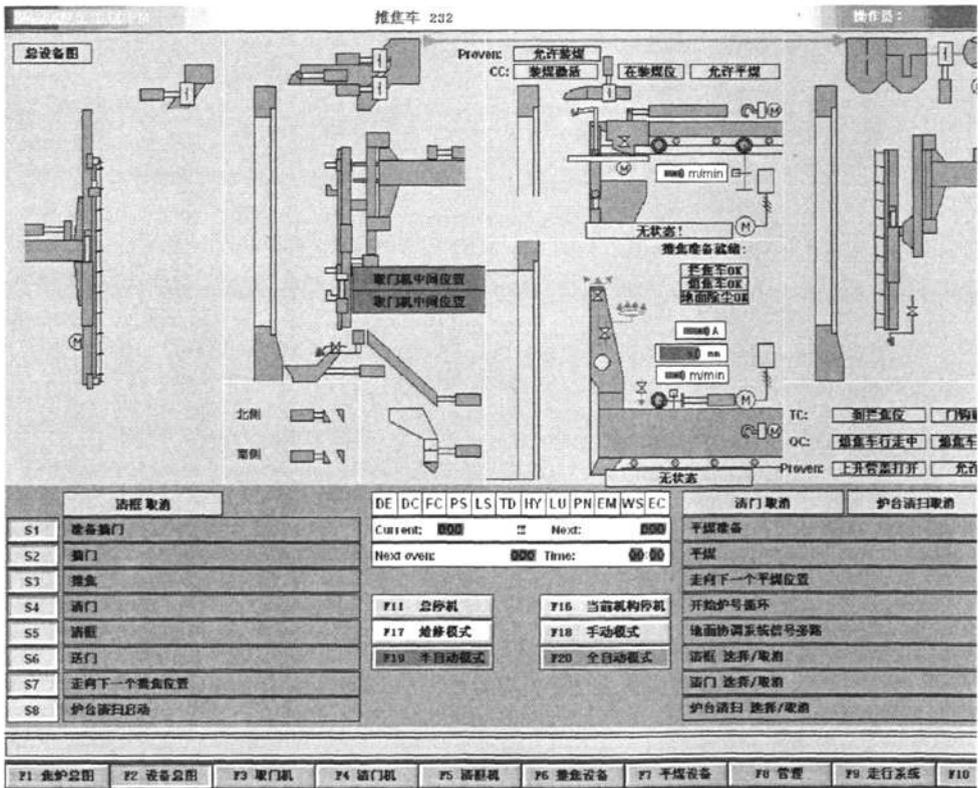


图 4.7 焦炉机械推焦车监控主界面

为能够更加清晰表述设备运行状态便于生产管理, 在所涉及的电机、油缸等控制对象的不同运行状态上, 采用了颜色变化区分手段。当电机、油缸机构运行

停止或在初始位置时，相应图标显示绿色；运行过程中显示粉色；故障状态显示红色；报警状态显示黄色。

#### 4.3.5 监控系统的过程值归档

过程值归档的目的是采集、处理和归档工业现场的过程数据。在运行系统中，采集并处理被归档值，然后将其存储在归档数据中。过程值可以按表格或趋势的形式输出当前过程值或已归档的过程值，而本项目才用了趋势形式，对室内温度变量进行了归档处理。过程值变量归档的第一步，首先应在“变量记录”编辑器中，使用归档向导来创建归档事件，并选择要归档的变量。本项目所创建的事件的归档处理变量如下图 4.8 所示。

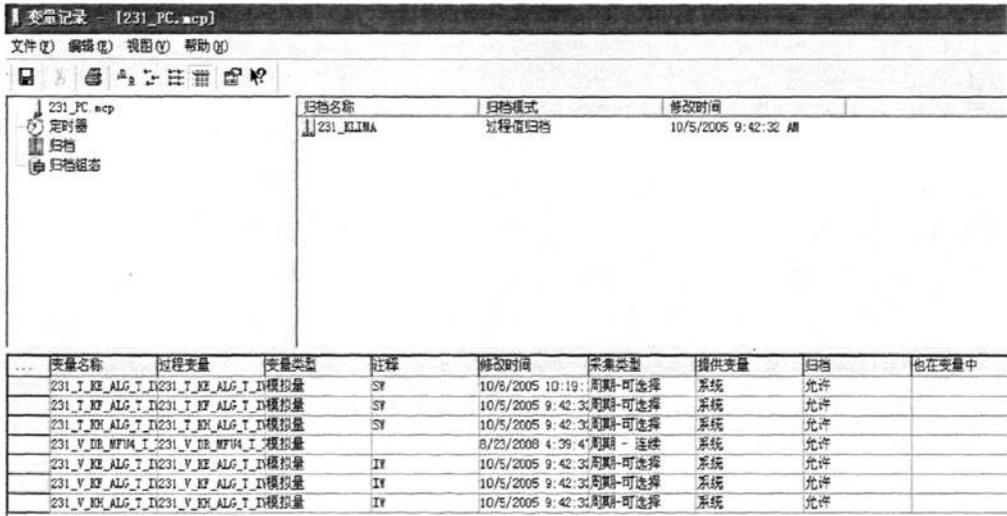


图 4.8 监控系统归档变量创建

过程值变量归档的第二步，在Wincc项目管理器中建立过程值归档变量存储文件，并在“对象选项板”上选择“控件”选项卡，然后选择Wincc Online Trend Control 控件，然后对画面中的Wincc在线趋势控件属性选项逐一进行添加，同时也可将多个过程变量集中设计在一个画面中进行监控，十分有利于生产的集中管理。下列图示即为本次设计的过程变量的趋势图画面。

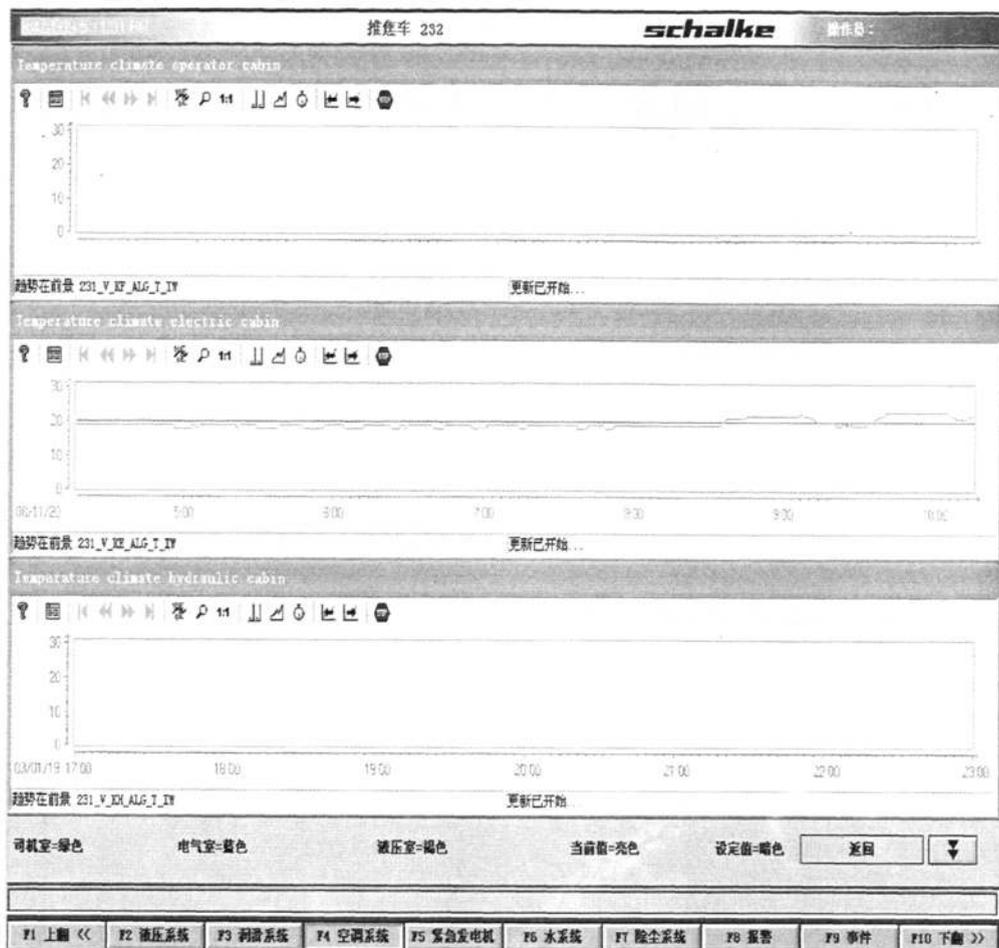


图 4.9 监控系统归档变量趋势图

#### 4.3.6 监控系统的报警记录管理

Wincc中,报警记录编辑器负责消息的采集、归档、确认功能。消息系统给操作员提供了关于操作状态和过程故障状态信息,并以文字方式通知操作员在生产过程中发生的故障和错误信息,用于早警告临界状态,并避免停机或缩短停机时间。

报警记录分为两个组件:组态系统和运行系统。组态系统,主要负责报警变量的编辑功能,运行系统主要负责过程值的监控、控制报警输出、报警管理确认功能。

报警记录设计的第一步，首先是组态报警记录。报警记录的组态系统为报警记录编辑器，报警记录定义显示何种报警、报警的内容、报警时间。使用报警记录组态系统可对报警消息进行组态，以便将其以期望的形式显示在运行系统中。具体步骤应在“报警记录”编辑器的主菜单，“文件”栏中选择使用系统向导，对消息块、消息类别、报警变量等一些列选项进行逐一确认，最终组态编制完成如图4.10所示的报警组态消息界面。

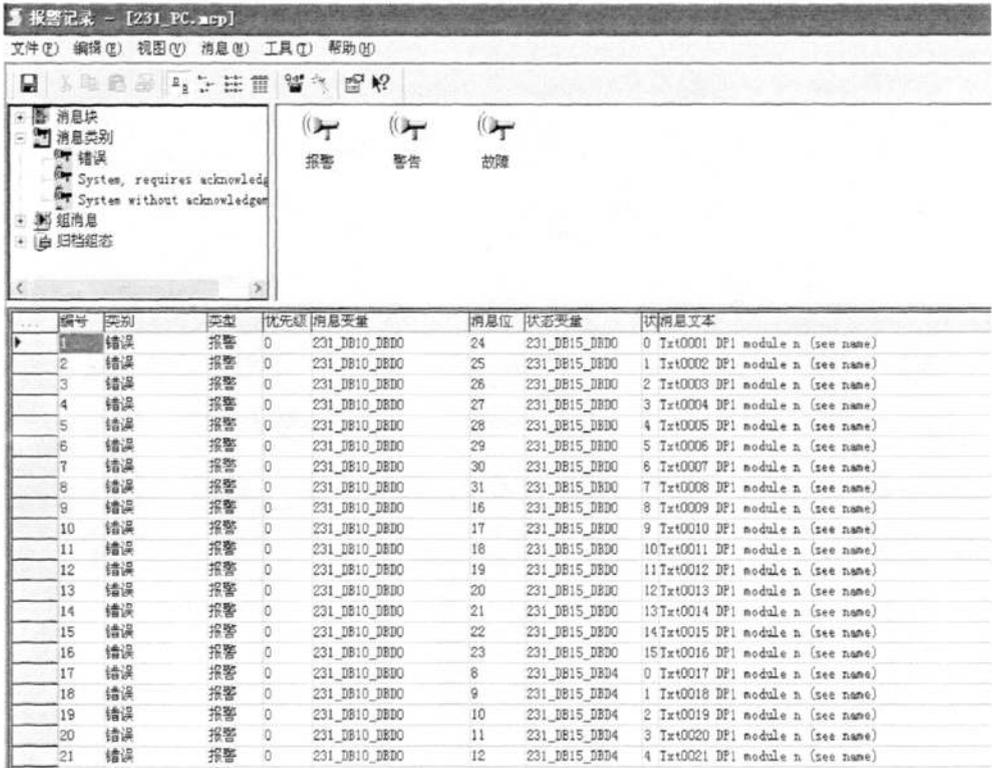


图4.10 监控系统报警组态消息

报警记录的第二步，在Wincc项目管理器中建立报警记录存储文件，并在“对象选项板”上选择“控件”选项卡，然后选择Wincc Alarm Control控件，对画面中的Wincc报警控件属性选项逐一进行添加，当属性选项设计完毕后，还要在运行系统中添加“报警记录”功能，便完成了报警变量的组态全过程。经过上述步骤组

态的报警记录变量，经实际运行报警界面清晰、可靠，为设备的安全生产提供了有力保障，达到了原有设计目的，其实际运用效果如图4.11所示。

推焦车 232						schalke		操作员:	
<no n>	<no name>	<no name>	<no name>	<no name>	<no name>				
968	1228	16/11/06	23:22:56	Txt1228 23x-ED086-EA221 KH AS-I Seg-6 Mod-21 K-1-warning	106				
969	1232	16/11/06	23:22:55	Txt1232 23x-ED086-EA221 warning temperature- Temp->max- error	106				
970	1316	16/11/06	23:22:56	Txt1316 23x-MC010-EB051 PN system pressure- pressure<min- error	106				
971	1317	16/11/06	23:22:56	Txt1317 23x-MC066-EA211 PN AS-I Seg-5 Mod-20 K2-warning	106				
972	1360	16/11/06	23:22:56	Txt1360 23x-ED086-EA251 PV AS-I Seg-08 Mod-24 K-1- error	106				
973	1499	16/11/06	23:22:56	Txt1499 23x-ED081-EA291 SK AS-I Seg-11 Mod-26 K-1- error	106				
974	1228	16/11/06	23:24:35	Txt1228 23x-ED086-EA221 KH AS-I Seg-6 Mod-21 K-1-warning	106				
975	1232	16/11/06	23:24:35	Txt1232 23x-ED086-EA221 warning temperature- Temp->max- error	106				
976	1316	16/11/06	23:24:35	Txt1316 23x-MC010-EB051 PN system pressure- pressure<min- error	106				
977	1317	16/11/06	23:24:35	Txt1317 23x-MC066-EA211 PN AS-I Seg-5 Mod-20 K2-warning	106				
978	1360	16/11/06	23:24:35	Txt1360 23x-ED086-EA251 PV AS-I Seg-08 Mod-24 K-1- error	106				
979	1499	16/11/06	23:24:35	Txt1499 23x-ED081-EA291 SK AS-I Seg-11 Mod-26 K-1- warning	106				
980	1228	16/11/06	23:24:35	Txt1228 23x-ED086-EA221 KH AS-I Seg-6 Mod-21 K-1-warning	106				
981	1316	16/11/06	23:24:35	Txt1316 23x-MC010-EB051 PN system pressure- pressure<min- error	106				
982	1317	16/11/06	23:24:35	Txt1317 23x-MC066-EA211 PN AS-I Seg-5 Mod-20 K2-warning	106				
983	1360	16/11/06	23:24:35	Txt1360 23x-ED086-EA251 PV AS-I Seg-08 Mod-24 K-1- error	106				
984	1499	16/11/06	23:24:37	Txt1499 23x-ED081-EA291 SK AS-I Seg-11 Mod-26 K-1- error	106				
985	1499	16/11/06	23:24:37	Txt1499 23x-ED081-EA291 SK AS-I Seg-11 Mod-26 K-1- error	106				
986	1228	16/11/06	23:24:41	Txt1228 23x-ED086-EA221 KH AS-I Seg-6 Mod-21 K-1-warning	106				
987	1232	16/11/06	23:24:41	Txt1232 23x-ED086-EA221 warning temperature- Temp->max- error	106				
988	1316	16/11/06	23:24:41	Txt1316 23x-MC010-EB051 PN system pressure- pressure<min- error	106				
989	1317	16/11/06	23:24:41	Txt1317 23x-MC066-EA211 PN AS-I Seg-5 Mod-20 K2-warning	106				
990	1360	16/11/06	23:24:41	Txt1360 23x-ED086-EA251 PV AS-I Seg-08 Mod-24 K-1- error	106				
991	1499	16/11/06	23:24:41	Txt1499 23x-ED081-EA291 SK AS-I Seg-11 Mod-26 K-1- error	106				
992	1512	16/11/06	23:25:21	Txt1512 23x-NT200-EB061 door extractor upper lock/unlock und- Pos- warning	104				
993	1512	16/11/06	23:25:23	Txt1512 23x-NT200-EB061 door extractor upper lock/unlock und- Pos- warning	104				
994	1512	16/11/06	23:25:23	Txt1512 23x-NT200-EB061 door extractor upper lock/unlock und- Pos- warning	106				
995	1512	16/11/06	23:27:06	Txt1512 23x-NT200-EB061 door extractor upper lock/unlock und- Pos- warning	106				
996	1512	16/11/06	23:27:06	Txt1512 23x-NT200-EB061 door extractor upper lock/unlock und- Pos- warning	106				
997	1512	16/11/06	23:27:08	Txt1512 23x-NT200-EB061 door extractor upper lock/unlock und- Pos- warning	106				
998	934	16/11/06	23:45:30	Txt0934 23x-MG620-ES061 FE pipe A blocked or leaking-warning	102				
999	934	16/11/06	23:45:30	Txt0934 23x-MG620-ES061 FE pipe A blocked or leaking-warning	102				
1000	934	16/11/06	23:55:43	Txt0934 23x-MG620-ES061 FE pipe A blocked or leaking-warning	109				

列表: 0 窗口: 1000 确认: 0

F1 上翻 << F2 液压系统 F3 润滑系统 F4 空调系统 F5 紧急发电机 F6 水系统 F7 除尘系统 F8 报警 F9 事件 F10 下翻 >>

图 4.11 监控系统报警运行效果

#### 4.4 本章小结

本章针对实现对控制系统操作和运行参数的在线检测、实时诊断，分析参数变化的趋势，及时发现和预报异常运行情况并提供故障处理信息要求入手，将提供系统运行安全性，提高指导运行人员合理操作及综合管理水平为目的，对纳入控制网络监控系统的硬件及软件实现手段，进行了详细的表述。

## 结 论

企业现代化建设的衡量标准之一，就是企业信息化体系的良好构建。因而通过信息系统的建设，实现工业过程数据自动采集、存储及实时传输，以及各项计划特别是生产计划的自动下达与执行；实现企业产、供、销及管控一体化。现代企业信息系统从功能结构上可以分为四层：现场控制层、基础、过程与企业生产规划层。本文围绕如何构建焦炉机械自动化控制管理系统，使它可以实现现场控制层与基础、过程和生产管理控制层之间的无缝隙结合而展开的。

首先从网络系统设计的合理性、先进性及进一步谋求发展的要求入手，借助计算机、通讯、网络控制等技术的发展优势，选定现场总线、基础自动化层、过程自动化层、生产控制层网络相融合的多层网络控制结构形式的重要性和其发展的必然性进行了详细的介绍。结合焦炉机械的生产工艺、控制要求设计构建的本项目多层网络控制系统，将各个分散的测量、控制设备以网络节点的方式互相连接在一起，不仅达到了“控制分散、信息集中”的控制目的，也为企业实现管控一体化提供了可能。

接着从焦炉机械生产服务中的高环保、移动操作频繁、惯性大、定位精度高工艺特点出发，借助理论公式及仿真手段，对融入电液比例模糊 PID、多电机负荷平衡、自动对位等关键技术的系统控制单元硬件构成、工作原理、控制策略等进行了详细的分析及论证。因上述技术的融入，基于模糊 PID 的电液比例控制器，实现了工艺要求的取门装置电液比例系统的快速、平稳控制，很好地缓解了设备冲击；基于 SIMOLINK 环网及矢量控制技术所建立的多电机驱动负荷平衡控制器及模型，较好地解决了焦炉机械因负荷分配不均而导致电流偏差大的实际问题，并使走行机构多电机的负荷实现了自动、实时均匀分布，被控制对象具备了过渡时间短，超调量小等优点，满足了实际生产要求；基于编码识别传感技术的自动对位系统，不仅能够按照程序设置的速度曲线将车辆设备精确定位在目标位置处，满足了定位误差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 的控制要求，而且运行平稳达到了良好的控制效果。

最后，为了解决现场总线及网络控制的局限性，实现对控制系统操作和运行参数的在线检测、实时诊断，分析参数变化的趋势，提高指导运行人员合理操作及综合管理水平为目的，对监控系统硬、软件实现手段，进行了详细表述。

2008年8月，采用本系统控制方案的首钢7.63米焦炉机械设备正式投产服务于生产运营，从系统运行状况来看，控制系统完全达到了当初的设计要求，实现了现场控制层与过程控制层及企业管理规划层之间的无缝隙结合，完成了自动化系统的构造，最终成功构建了一个完整的管控一体化系统。

### 存在的问题与展望：

本系统中，单体设备与中央控制设备之间的工业以太网连接结构，受焦炉工艺布置要求采用有线网络与无线网络两种控制模式。其中无线网络模式虽因良好的扩展性、协同工作性和便携性得到了业内人士的认可，但确因其射频衰减与网络距离的缘故，正确的无线局域网基础结构节点布置规划，成为了无线网络控制的关键技术，必须仔细分析无线局域网的覆盖范围、安装位置以及安全协议和服务的所有方面，方能构建无线网络延迟与符合系统数据传输速率要求的无线系统。

焦炉机械控制系统，配套服务于煤炭的生产服务，其作业环境具有温度高、粉尘大、腐蚀性气体浓度高等不利特点，因此在选用控制元件时应格外注意应用环境要求。另外在关键机构的设计还应纳入应急处理手动操作措施，弥补单一依赖于网络控制的设计缺陷，防止网络瘫痪对设备照成事故伤害，致使控制系统能够多方位的确保设备安全有效生产。

随着网络技术的普及应用，基于TCP/IP协议的以太网得到了飞速发展，并得到了全球的支持，特别是以太网传输速率的提高和交换技术的发展，为以太网技术注入新的活力。而TCP协议虽然能提供可靠的数据传输服务，但在有些场合中，可靠性并不比效率更重要，对两者的选择取决于应用的环境和要求。目前，随着信息技术的发展，以工业以太网为代表的COTS技术在工业控制领域得到广泛应用。以工业以太网为基础，构建全球开放免费并且无知识产权限制的工业控制网络，是自动化控制系统的发展趋势，必将有力推动工业企业综合自动化信息的

实施，使之与信息网络的IT技术同步发展，从而可以加快工业企业信息化改造，全面提高我国企业的整体技术水平和竞争能力。

## 参考文献

- [1] 孙德宝, 王永骥, 王金城. 自动控制原理. 北京: 化学工业出版社, 2002. 3 月.
- [2] 王晓东. SIEMENS 自动化与其管理网络的集成. 工业控制计算机, 2001, 9(9):41-43.
- [3] 方彦军, 廖廷常. 基于 PROFIBUS 现场总线的控制系统通信技术研究. 工业控制计算机, 2001, 7(7):28-32.
- [4] 龚种华. S7-200/300/400 PLC 应用技术—提高篇. 北京: 人民邮电出版社, 2008. 4 月.
- [5] 崔坚, 李佳, 杨光. 西门子工业网络通讯指南. 北京: 机械工业出版社, 2005. 5 月.
- [6] Andover Controls Corporation. Continuum operator , Edition A. Boston, 1998.
- [7] Naitoh K. The development of earth pressure balanced shields in Japan[J]. Tunnels&Tunnelling, 1985(5):15~18.
- [8] 常斗南, 钟平. 可编程序控制器原理及工程应用. 电子工业出版社, 2006. 5.
- [9] 胡道元. 信息网络系统集成技术. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [10] 郭福社. 现场总线的发展与标准现状. 现代电子技术, 2004, 18(1):31-34.
- [11] 冯地斌, 吴波. PROFIBUS 现场总线技术. 自动化与仪器仪表, 2002, 18(2):1-4.
- [12] 宪惠. 工业数据通行与控制网络. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [13] 张广渊, 胡俊辉, 王春莉. 工业以太网与现场总线的融合. 机械设计与制造, 2003, 1(1):28-29.
- [14] 梁莉, 李强. 工业计算机网络在控制系统中的应用. 计算机工程, (10):219-212.
- [15] 杨逢瑜. 电液伺服与电液比例控制技术. 北京: 清华大学出版社, 2009. 5 月.
- [16] 苏昆哲, 何华. 深入浅出西门子 WinCC V6. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004. 5 月.
- [17] Leon hard , W .Control Of Electrical Drives 3<sup>rd</sup> ed. Spring - Verlag, 2001.
- [18] Andover Controls Corporation. Continuum Plain english , Edition A. Boston, 1998.
- [19] Imagine company. AMESim user manual[M]. France: Imagine S. A. , 2002.
- [20] Thorsen O V, Dalva M. Model for simulation of induction motors with parameter determination and examples of application [C]. Proceedings on Electric Machines and Drives Conference Record, 2000.
- [21] Ron Price 著. 冉晓旻、王彬、王锋译. 无线网络原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2008. 6 月.
- [22] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统. 北京: 机械工业出版社, 2000. 6 月.
- [23] 西门子矢量控制大全. 1998. 8 月.
- [24] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真. 北京: 机械工业出版社, 2006. 1 月.

- [25] 邹益仁, 马增良, 蒲维. 现场总线控制系统的设计和开发[M], 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [26] Donescu V, Charette A, Yao Z, et al. Modeling and simulation of saturated induction motors in phase quantities [J]. IEEE Trans. On Energy Conversion, 1999.
- [27] Shi K L, Chan T F, Wong Y K. Modelling of the three-phase induction motor using SIMULINK [C]. Proceedings on Electric Machines and Drives Conference Record, 1997.
- [28] 程良伦, 许星. 工业以太网的研究现状与发展[J], PLC&FA, 2004年, 第8期.
- [29] 邬宽明. 现场总线技术应用选编1(下)[M], 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [30] 黎连业. 十兆百兆千兆万兆以太网技术及组网方案[M], 北京: 机械工业出版社.
- [31] 徐皓冬, 王宏, 杨志家. 基于以太网的工业控制网络[J], 信息与控制, 2000, 29(2): 182-186.
- [31] Yifan Tang. Transient modeling and analysis of motor terminal voltage on PWM inverter-fed AC motor driver [C]. Proceedings on Industry Applications Conference, 1997.
- [32] Udayagiri M R, Lipo T A. Simulation of inverter fed induction motors including core losses [C]. Proceedings on Industrial Electronics Society, 1989.
- [33] 张凡, 赵杰. 工业以太网技术应用与发展[J], 仪器仪表用户, 2004, 11(1): 1-2.
- [34] 张凡, 赵杰. 工业以太网技术应用与发展[J], 仪器仪表用户, 2004, 11(1): 1-2.
- [35] 章绍东. 基于PROFIBUS 现场总线的控制系统[J], 半导体技术, 2004, 29(4): 58-60.
- [36] 陈积明, 王智, 孙优贤. 工业以太网的研究现状及展望[J], 化工自动化及仪表, 2001, 28(6): 1-4.
- [37] 贾东耀, 汪仁煌. 工业控制网络结构的发展趋势[J], 工业仪表与自动化装置2002, (5): 12-14.
- [38] 雷霖. 现场总线控制网络技术[M], 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [39] 苑明哲, 柳长春, 周悦, 于海斌. 多总线集成方法研究[J], 工业仪表与自动化装置, 2002年, 第1期: 6-9.
- [40] 林强, 阳宪惠. 现场总线集成技术及实现[J], 信息与控制, 1999年8月, 第28卷增刊: 441-445.
- [41] 夏锋, 孙优贤. 基于交换式以太网实现多现场总线集成[J], 电力系统及其自动化学报, 2003年8月, 第4期: 58-61.
- [42] 陈伯时, 费敏锐, 许静, 侯维岩. 工业现场总线与无线通信的集成模式[J], 自动化仪表, 2003, 24(12): 10-14.

- [43] Macbahi H, Ba-razzouk A, Xu J, et al. A unified method for modeling and simulation of three phase induction motor drives [C]. Proceedings on Electrical and Computer Engineering, 2000.
- [44] Skibinshi G, Kerkman R. Reflected wave modeling techniques for PWM AC motor drives [C]. Proceedings on Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1998.
- [45] 苏金明, 刘宏, 刘波. MATLAB 高级编程 [M], 北京: 电子工业出版社, 2005, 252-291.
- [46] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真 (第 2 版) [M], 北京: 电子工业出版社, 2006, 162-170.
- [47] 王晓东. SIEMENS 自动化与其管理网络的集成. 工业控制计算机, 2001, 9(9): 41-43
- [48] 方彦军, 廖廷常. 基于 PROFIBUS 现场总线的控制系统通信技术研究, 工业控制计算机, 2001, 7(7): 28-32.
- [49] 阳宪惠. 工业数据通行与控制网络. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [50] 贾东耀, 汪仁焯. 工业控制网络结构的发展趋势. 微机发展, 2002, 5(5): 12-15.
- [51] 彭瑜. 工业以太网及以太网向现场层延伸的若干问题的思考, 自动化博览, 2003, 8(8): 10-17.
- [52] S. Vitturi. DP-Ethernet: the Profibus DP protocol implemented on Ethernet. Computer Communications, 2002, 26(10): 1095-1104.
- [53] Stephanie Neil, Getting Comfortable with Ethernet, Managing Automation, 2002, 17(2): 32-36.
- [54] 黄开胜, 刘文峰, 童怀等. 异步电机准确数学模型及仿真 [J]. 中小型电机, 2001, 4: 17-9.
- [55] 李铁才, 杜坤梅. 电机控制技术 [M], 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2000.
- [56] 高玉芹. 电机转速的高精度快速测量 [J], 自动化与仪表, 2000, 15(6): 32-33.
- [57] Huang Shaogang, Huang Huagao. Simulation of soft start-up process of induction motors using hybrid variable model [C]. Proceedings on Electric Machines and Systems, 2001.
- [58] 藏英杰, 吴守箴. 交流电机的变频调速 [M], 北京: 中国铁道出版社, 1984.
- [59] 王艳秋, 崔连延. 现代交流调速系统 [M], 沈阳: 东北大学出版社, 2000.
- [60] 陈坚. 交流电机数学模型及调速系统 [M], 重庆: 国防工业出版社, 1989.

## 致 谢

首先我要感谢导师邱赤东教授。在三年的研究生活中，邱老师用他丰富的专业知识耐心指导我，不仅教给了我做研究的方法，更教会了我做人的道理。邱老师严谨的科研作风，乐观积极的生活态度对我产生了极大的影响，使我终身受益。邱老师虽然公务繁忙，但还能经常抽出时间来关心我指导我，帮我解决研究过程中遇到的问题，使我的研究课题得以顺利进行。感谢给我授课的其他老师，我在学习和生活中遇到的问题总是能从这些老师那里得到解决。最后我还要衷心感谢同班里的其他同学和我的家人和所有的朋友。