

分类号_____

密级_____

UDC _____

学 位 论 文

首钢京唐高炉干法除尘控制系统的设计与实现

作者姓名：任绍峰

指导教师：高宪文 教授 东北大学信息科学与工程学院

刘燕 教授级高级工程师

北京首钢国际工程技术有限公司

申请学位级别：硕 士

学 科 类 别： 专业学位

学科专业名称：控制工程

论文提交日期：2009年12月

论文答辩日期：2009年12月

学位授予日期：2010年 月

答辩委员会主席：李鸿儒

评 阅 人：王小刚 马维理

东 北 大 学

2009年12月

A Thesis in Control Engineering

**The Design and Realization of Control System for
Shougang Jingtang Blast Furnace Dry Dusting System**

By Ren Shaofeng

Supervisor: Professor Gao Xianwen

Professor Senior Engineer Liu Yan

Northeastern University

December 2009

独创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：任绍峰

日期：2009年12月28日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解东北大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人同意东北大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索、交流。

作者和导师同意网上交流的时间为作者获得学位后：

半年 一年 一年半 两年

学位论文作者签名：任绍峰

导师签名：

签字日期：2009.12.28

签字日期：2009.12.28

首钢京唐高炉干法除尘控制系统的设计与实现

摘 要

高炉煤气干法除尘技术是 21 世纪高炉实现节能减排、清洁生产的重要技术创新，不仅可以显著降低炼铁生产过程的新水消耗，而且可以提高二次能源的利用效率、减少环境污染。高炉煤气干法除尘可以使高炉煤气含尘量降低到 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，煤气温度提高约 100°C 且不含机械水，煤气热值提高约 $210\text{kJ}/\text{m}^3$ ，提高炉顶煤气余压发电量 35% 以上，因此高炉煤气采用干法除尘已成为当今高炉炼铁技术的发展方向，也是国家钢铁行业当前首要推广“三干一电”（高炉煤气干法除尘、转炉煤气干法除尘、干熄焦和高炉煤气余压发电）节能技术中的一项，属于冶金工业的绿色环保技术。

首钢京唐 1 号 5500m^3 高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且水平较高，该系统完成了对入口温度、589 个脉冲阀、清灰系统、以及 155 个工艺阀门和仓壁振动器的远程自动监控。该自动控制的设备性能和自动控制的好坏，将直接影响干法除尘的效果。本文介绍了首钢京唐 1 号 5500m^3 高炉煤气干法除尘自动控制系统的结构和特点，以及自动化新技术在该系统中的应用。并针对类似工程在运行中出现的问题，对关键仪表的选型提出了改进意见，重点论述了料位计和含尘量在线监测系统的优化设计等。详细阐述了基于现场总线、可编程控制器、工业微机和工业以太网的综合自动化技术在该系统中的应用，以及高炉煤气全干式布袋除尘器自动控制的全过程。该自动控制系统结构合理，技术先进，已正常稳定运行，值得在特大型高炉煤气干法除尘中推广和借鉴。首钢京唐高炉煤气全干法除尘成功实现了远程集中监控，这为推动我国特大型高炉向节能、环保、高效方向的发展做出了贡献。

关键词：全干法除尘；自动控制系统；可编程控制器；含尘量在线监测

The Design and Realization of Automation Control System for Shougang Jingtang Blast Furnace Dry Dusting System

Abstract

This technology of blast furnace dry dusting system is an important innovation for energy conservation and mission reduction and clean production in 21st century, which not only can reduce the water amount during ironing process, but also can improve reusing the second energy and reduce the environmental protection meanwhile. This technology can reduce dust load of blast furnace gas to below $5\text{mg}/\text{m}^3$, increase the temperature of coal gas by 100°C without using extra water, increase gas calorificity by about $210\text{ kJ}/\text{m}^3$ and produce more electricity by 35% in TRT, so it leads the direction of ironing plant nowadays. It is also one of the three important technology (blast furnace dry dusting system, converter steelmaking dry dusting system, CDQ and TRT) in steel branch and it is environment friendly technology.

Automation control system of Shougang Jingtang 1# 5500 m^3 blast furnace dry dusting system is advanced and complex for remote automation control. In this paper, we introduce the configuration of automation system for dry dusting system in Shougang Jingtang 1# 5500 m^3 blast furnace. And we make suggestions concerning the selection of main instruments, considering the problems which have occurred in other similar projects for which those instruments are used. We emphasize on the optimum application of level sensing device and online monitoring system for dust content. We expound emphatically the application of integrated automatic technology based on field bus, PLC, industrial computer, ethernet network and automatic control process of dusting system in blast furnace etc. The control system has reasonable structure and advanced technology. It runs normally now, is worth promoting. It contributes to the development of extra large blast furnace for saving energy, environmental protection and high efficiency.

Key words: dry dusting; automation control system; PLC; online monitor of dust load of blast furnace gas

目 录

独创性声明	I
摘 要	II
Abstract	III
第 1 章 绪 论	1
1.1 项目背景及意义	1
1.2 高炉煤气干法除尘控制系统国内外现状和存在的问题	3
1.3 本文的主要工作	5
第 2 章 高炉干法除尘工艺技术	7
2.1 高炉炼铁工艺及主要系统	7
2.2 首钢京唐 5500m ³ 高炉工艺技术	12
2.3 高炉干法除尘工艺及发展历程	14
2.4 首钢京唐 5500m ³ 高炉干法除尘技术	16
2.5 国内外高炉自动化进展	21
2.6 高炉煤气干法除尘控制系统存在的问题	25
第 3 章 控制系统硬件设计	27
3.1 高炉自动化	27
3.2 控制系统的设计原则及总体框架	31
3.3 控制系统的硬件设计	33
3.3.1 控制系统的通信	33
3.3.2 ControlLogix 控制系统	36
3.3.2.1 ControlLogix 系统组成	37
3.3.2.2 硬件配置	39
3.3.2.3 PLC 模块功能及特点	41
3.4 关键仪表设备的设计选型	44
3.4.1 料位计	45

3.4.2 含尘量在线监测	45
第 4 章 控制系统软件设计与实现	49
4.1 软件平台设计	49
4.1.1 下位编程软件 RSLogix	49
4.1.2 上位软件 RSView SE	50
4.1.3 通讯软件 RSLinx 及网络配置软件	51
4.2 下位 PLC 功能模块编程实现	52
4.2.1 换热器系统的自动控制	54
4.2.2 脉冲反吹的自动控制	55
4.2.3 自动卸灰	56
4.3 上位组态及监控系统实现	57
4.3.1 主画面	59
4.3.2 组 1 和组 2 控制画面	60
4.3.3 灰仓控制画面	61
第 5 章 结论与展望	63
参考文献	65
致 谢	69

第 1 章 绪 论

1.1 项目背景及意义

首钢京唐钢铁联合有限责任公司钢铁厂项目是纳入国家“十一五”规划纲要的重点工程^[1]。多位党和国家领导人，相继到首钢京唐公司钢铁厂建设工地考察调研，对项目建设作出重要指示。钢铁厂包括 2 座 5500m³ 高炉，1 号高炉目前已投产并成功运行，是目前国内容积最大的高炉；2 号高炉目前正在建设中。

备受关注的首钢京唐钢铁厂，在一次性建设规模、运行系统、装备水平、工艺技术、生产流程优化、实施循环经济、节能减排和环境保护效果等方面都进入或超越了国际先进行列，代表了现阶段我国钢铁厂设计建设的新水平^[2]。北京首钢国际工程技术有限公司（原北京首钢设计院）作为京唐项目的总体设计单位，联合国内外优秀工程技术公司，通过原始创新、集成创新、消化吸收再创新，实现了 220 多项国内、国际领先创新技术在京唐工程中的成功应用，也实现了把京唐工程设计建设成为具有 21 世纪国际先进水平的精品板材生产基地、循环经济和自主创新的示范基地的总体目标。

钢铁厂主要包括：建设 4 座 70 孔 7.63 米焦炉及配套的干熄焦设施，2 台 550 平方米烧结机，1 台 504 平方米球团带式焙烧机，2 座 5500 立方米高炉，2 座 300 吨脱磷转炉、3 座 300 吨脱碳转炉、1 座 LF 精炼炉、2 套 RH 真空精炼装置、2 台 2150 毫米双流板坯连铸机、1 台 1650 毫米双流板坯连铸机，2250 毫米、1580 毫米热连轧机组各 1 套，2230 毫米、1700 毫米、1550 毫米酸洗-冷轧联合机组各 1 套以及配套的连续退火机组、热镀锌线等。辅助工程部分主要包括：一个大型综合料场，2 台 7.5 万立方米/小时制氧机，2 座 300 兆瓦燃煤-燃气混烧供热发电机组、2 座 150 兆瓦 CCGT 燃气-蒸汽联合循环发电机组，5 万立方米/日淡水的海水淡化设施和相应的公辅配套设施。

在首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉的设计过程中，积极贯彻全面、协调、可持续发展的科学发展观，按照循环经济的理念，遵循“先进成熟、实用可靠、长远发展”的原则，充分发挥综合资源优势，坚持工艺现代化、装备大型化、生产集约化、资源和能源循环化、经济效益最佳化的高起点发展目标，积极采用当今国际一流的先进工艺装备，把 5500m³ 高炉建设成为 21 世纪国际先进、竞争力强的特大型高

炉。坚持“高效、低耗、优质、长寿、清洁”的设计理念，采用先进实用、成熟可靠、节能环保、优质长寿的工艺技术和设备材料，实现高炉的大型化、高效化、现代化、长寿化、清洁化。全面总结日本、欧洲及国内大型高炉特别是 5500m³ 高炉的设计和生產经验，针对本工程有选择性地采纳先进经验和技術。

本着以我为主、自主研发、自主创新、开放合作、集成优化的思路开展设计。总图布置紧凑合理，工艺流程短捷顺畅，充分考虑各个单元工序的系统性和整体性，使生产管理达到协调统一。采用完善的自动化检测和控制系統，生产过程采用计算机进行集中控制和调节，并采用人工智能专家系統，实现高炉生产的高度自动化。遵守国家和钢铁公司所在地的法律、法规和法令，执行国家现行的设计规程、规范和标准，遵循国家钢铁产业发展政策，充分分析研究、总结吸纳国内外大型高炉设计、建设、生产等各方面的经验和教训，完善到本工程的高炉设计中。

高炉煤气是高炉的主要副产品之一。除高炉热风炉、喷煤制粉干燥炉等自用以外，全部送往下一级用户使用。按照循环经济的理念，高炉煤气全部循环再利用，实现零放散。

为了将首钢京唐公司建设成为能源循环型的钢铁联合企业，首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉采用全干式低压脉冲布袋除尘技术对高炉煤气进行除尘，取代原有湿法除尘系統，并将实现全过程的自动监控，有着明显的社会和经济效益。首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘采用了先进的自动控制系统后，与湿法除尘相比，全干法除尘系統有着明显的优越性^[3]。

大型高炉煤气全干法除尘是国家钢铁行业当前首要推广“三干一电”（高炉煤气干法除尘、转炉煤气干法除尘、干熄焦和高炉煤气余压发电）节能技术中的一项^[4]，也是新一代可循环钢铁流程工艺技术的国家科技支撑项目之一，属于冶金工业的绿色环保技术。北京首钢国际工程技术有限公司（原北京首钢设计院）经过多年的科研攻关，在大型高炉煤气全干法除尘技术上拥有多项专利技术^[5,6]，并成功地应用于首钢京唐^[4]、首钢首秦^[7]、首钢迁钢^[8]、济钢^[9]、重钢^[10]、宣钢等现代化高炉上。

大型高炉煤气干法除尘技术是 21 世纪高炉实现节能减排、清洁生产的重要技术创新^[11]，不仅可以显著降低炼铁生产过程的新水消耗，而且可以提高二次能源

的利用效率、减少环境污染。高炉煤气干法除尘可以使高炉煤气含尘量降低到 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 已下, 煤气温度提高约 100°C 且不含机械水, 煤气热值提高约 $210\text{kJ}/\text{m}^3$, 提高炉顶煤气余压发电量 35% 以上, 因此高炉煤气采用干法除尘已成为当今高炉炼铁技术的发展方向。

1.2 高炉煤气干法除尘控制系统国内外现状和存在的问题

高炉煤气净化除尘工艺分干式和湿式两种形式, 在20世纪80年代以前, 国内外大都采用湿式高炉煤气净化方式, 湿式除尘一般有双文系统、塔文系统, 这两种系统的除尘效率低、水气比高、能耗高。

进入20世纪80年代以后, 德国发展了干式布袋除尘和干式电除尘两种工艺技术, 成功后在国际上得到了推广和应用^[12]。20世纪90年代初期, 武钢3200 m^3 高炉从日本钢管引进了的板式电除尘技术和设备, 邯钢1260 m^3 高炉从德国鲁奇公司引进了的干式电除尘的技术和设备但系统, 运行一直不太正常。高炉及其附属设施正朝着节能、长寿、减少污染、维护方便等方向发展。高炉煤气净化采用低压脉冲布袋除尘配压差发电 (TRT) 是实现高炉高效、低耗、优质、长寿、安全、环保目标的有效措施。传统的湿式高炉煤气净化系统存在着能耗高、占地面积大、二次环境污染严重等缺点。

高炉冶炼时产生大量煤气, 目前新建大型高炉煤气除尘通常分两级处理: 先用重力或旋风除尘器进行粗除尘, 除去大部分粗颗粒后, 再进行湿法或干法精除尘。传统的精除尘是用水清洗, 属于湿法除尘。湿法除尘发展至今技术已经成熟, 可以使煤气含尘量降至很低水平, 不过湿法除尘需要消耗大量的清洗用水且产生的污水难于处理, 清洗过程中耗电量大, 煤气热量损失多, 以上湿法除尘存在的一系列重大缺陷, 是其所无法解决的。因此, 采用高炉煤气全干法除尘技术已是大势所趋。

从20世纪90年代开始, 首钢国际工程公司的技术专家就致力于高炉煤气脉冲干法除尘技术的开发、设计。2004年, 首钢国际工程公司在首秦1200 m^3 高炉上成功应用了高炉煤气脉冲干法除尘技术, 带动了国内钢铁行业大型高炉煤气脉冲干法除尘技术的应用^[13], 大大提高了高炉煤气的回收利用, 带来了显著的经济效益和社会效益。

2006年,为了满足首钢京唐高炉循环经济和节能减排的要求,首钢国际工程公司专门成立了大型高炉煤气全干法除尘技术研发项目组,集中攻关超大型高炉煤气干法除尘技术,其中重点是温度控制、工艺系统运行的平稳性、除尘器结构及其紧凑化布置、高炉煤气管道综合防腐以及系统自动化监测与控制等技术难题。经过专家反复论证、计算及试验,最终攻克了该项技术中的多项难题。2009年京唐1号5500m³高炉顺利投产,高炉煤气干法除尘系统运行安全稳定,各项运行指标均达到设计要求。

首钢京唐5500m³高炉煤气干法除尘系统主要技术特点:京唐5500m³高炉采用煤气全干法脉冲布袋除尘技术,达到了国际领先水平。该系统采用国际先进的三维设计软件进行三维设计,体现了设计的现代化和精准化;系统自动化监测与控制达到了先进水平,大大减少了岗位定员和运行成本;煤气管道综合防腐蚀技术的应用,提高了该项技术的运行寿命和使用效率。

大型高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且自动化水平较高,自动化控制系统需要完成对温控系统、脉冲布袋除尘器、清灰系统、脉冲系统以及现场各工艺阀门和仓壁振动器的远程自动控制。因此大型高炉煤气干法除尘自动化控制系统的设备性能和自动控制的好坏,将直接影响干法除尘的效果。

高炉煤气干法除尘在大型高炉上开始推广,但是此项技术中自动控制环节尚有改进的余地,很多参数没有优化,更多理论问题有待研究。很多操作上的问题需要研究,比如反吹压差多少合适;哪些情况在线反吹合适,哪些情况离线反吹,滤布面积和反吹周期的关系,涉及到过滤风速高还是低,最佳滤速如何确定,这方面理论远远落后于实践。因此,迫切需要开发大型高炉干法除尘自动化控制系统,以填补该领域的空白。

在大型高炉煤气干法除尘关键仪表的应用研究方面,开发出新型智能检测装置。大型高炉煤气干法除尘布袋室灰位的准确检测在实际生产中也是一项技术难题^[14],因为煤气灰是粉末状粉尘,含有一些水份,温度范围在120℃~300℃之间,且附近有仓壁振动器等,基于以上原因灰位计有时会产生误报信号,造成卸灰系统的不稳定,直接影响干法除尘的效果;拟与设备厂家一起进行研究开发一种新型高炉煤气干法除尘灰位计。另外,还要与设备厂家一起深入研究,进一步提高干法除尘含尘量在线监测装置其设备的稳定性和可靠性。

1.3 本文的主要工作

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉高炉煤气除尘系统采用全干法布袋除尘系统, 对于特大型高炉, 这在国内甚至国际上都属于首次^[3]。首钢京唐高炉产生的煤气量正常为 760000Nm³/h, 最大为 870000Nm³/h, 由于首钢京唐高炉煤气产生量大, 含尘量相应增多, 除尘箱体也相应增加到 15 个。首钢京唐高炉煤气干法除尘自动化控制系统的设备性能和自动控制的好坏, 将直接影响首钢京唐高炉工程干法除尘的效果。本文重点完成了首钢京唐高炉煤气干法除尘自动化控制系统的硬件、软件和自动化监控系统的优化设计, 软件开发以及在以往的大型高炉煤气干法除尘的实际生产中遇到的一些问题及相应的解决方案。

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且自动化水平较高, 自动化控制系统需要完成对温控系统、脉冲布袋除尘器、清灰系统、脉冲系统以及现场 155 个工艺阀门和仓壁振动器的远程自动控制。因此首钢京唐高炉煤气干法除尘自动化控制系统的设备性能和自动控制的好坏, 将直接影响干法除尘的效果。本文重点介绍了首钢京唐高炉煤气干法除尘自动化控制系统的硬件、软件和监控系统的优化设计。PLC 结构选用罗克韦尔 1756 系列主站和 1794 远程 I/O 从站的方式, 其硬件结构坚固, 即使在沿海恶劣的工业环境下也能可靠工作; 上位组态软件选用 9071 系列软件, 通过该软件, 不但可以画出逼真的图形, 还能将现场数据快速显示在屏幕, 它可以通过 CRT 上的按钮来取代真正的按钮完成对现场设备的操作。

目前, 首钢京唐 1 号 5500m³ 特大型高炉采用了高炉煤气全干法除尘技术, 摒弃了特大型高炉一直采用的湿法除尘工艺, 创造了高炉煤气全干法技术在特大型高炉上成功应用的世界新记录, 为世界钢铁行业节能环保做出了突出的贡献^[3]。

本论文的创新点: 在过滤反吹控制方面, 吸取了国内外的经验教训, 进行了深入的实际分析和理论探索, 采取双排对吹的动作控制时序, 很好地解决了布袋直径长引起的反吹不到位的问题; PLC 主机架与远程 I/O 和智能电气柜是通过 ControlNet 网相联的方式节省了大量的电缆, 也保证了信号的可靠性; 冗余系统的设计和 UPS 电源系统的应用保证了系统的可靠性; 并针对类似工程在运行中出现的问题, 对关键仪表的选型提出了改进意见, 重点论述了料位计和含尘量在线监测系统的优化设计。料位计采用分体式、耐高温并抗震的料位计, 消除了高温和

振动对料位计的影响，从而减少了料位信号的误报，消除了卸灰系统不稳定的隐患。含尘量在线监测采用电荷感应原理，通过测量静电荷的变化，来判断布袋除尘系统的运行是否正常，传感器表面采用特殊涂敷材料，接地网的制作采用传感器端悬空而在变送器端接地的连接方式，硬件及软件补偿，技术达到国内领先水平，为冶金行业重点推广应用该技术做出了积极的贡献。

首钢京唐1号5500m³高炉煤气干法除尘工程包括换热器系统、布袋除尘系统、卸灰系统。自动化控制系统是工程最重要的组成部分之一，该系统设备包括1个PLC柜,1个在线监测柜,远程I/O箱及各种检测设备等。因此,首钢京唐1号5500m³高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且水平较高,该系统完成了对入口温度、脉冲阀、输灰系统、以及工艺阀门和仓壁振动器的远程自动监控。本论文文详细阐述了基于现场总线、可编程控制器、工业微机和工业以太网的综合自动化技术在该系统中的应用,以及高炉煤气全干式布袋除尘器自动控制的全过程。该自动控制系统结构合理,技术先进,已正常稳定运行。首钢京唐高炉煤气全干法除尘成功实现了远程集中监控。

第2章 高炉干法除尘工艺技术

2.1 高炉炼铁工艺及主要系统

高炉炼铁生产是冶金(钢铁)工业最主要的环节^[15]。高炉冶炼目的：将矿石中的铁元素提取出来，生产出来的主要产品为铁水。副产品有：水渣、矿渣棉和高炉煤气等。高炉冶炼是把铁矿石还原成生铁连续生产过程。铁矿石、焦炭和熔剂等固体原料按规定配料比由炉顶装料装置分批送入高炉，并使炉喉料面保持一定的高度。焦炭和矿石在炉内形成交替分层结构。矿石料在下降过程中逐步被还原、熔化成铁和渣，聚集在炉缸中，定期从铁口、渣口放出。

一代高炉（从开炉到大修停炉为一代）能连续生产几年到十几年。生产时，从炉顶（一般炉顶是由料种与料斗组成，现代化高炉是钟阀炉顶和无料钟炉顶）不断地装入铁矿石、焦炭、熔剂，从高炉下部的风口吹进热风（1000℃~1300℃），喷入油、煤或天然气等燃料。装入高炉中的铁矿石，主要是铁和氧的化合物。在高温下，焦炭中和喷吹物中的碳及碳燃烧生成的一氧化碳将铁矿石中的氧夺取出，得到铁，这个过程叫做还原。铁矿石通过还原反应炼出生铁，铁水从出铁口放出。铁矿石中的脉石、焦炭及喷吹物中的灰分与加入炉内的石灰石等熔剂结合生成炉渣，从出铁口和出渣口分别排出。煤气从炉顶导出，经除尘后，作为工业用煤气。现代化高炉还可以利用炉顶的高压，用导出的部分煤气发电。图 2.1 是高炉炼铁生产工艺流程及主要设备简图。

高炉冶炼是把铁矿石还原成生铁连续生产过程^[15]。铁矿石、焦炭和熔剂等固体原料按规定配料比由炉顶装料装置分批送入高炉，并使炉喉料面保持一定的高度。焦炭和矿石在炉内形成交替分层结构。矿石料在下降过程中逐步被还原、熔化成铁和渣，聚集在炉缸中，定期从铁口、渣口放出。高炉冶炼是把铁矿石还原成生铁连续生产过程。铁矿石、焦炭和熔剂等固体原料按规定配料比由炉顶装料装置分批送入高炉，并使炉喉料面保持一定的高度。焦炭和矿石在炉内形成交替分层结构。矿石料在下降过程中逐步被还原、熔化成铁和渣，聚集在炉缸中，定期从铁口、渣口放出。

鼓风机送出的冷空气在热风炉加热到 800~1350℃以后，经风口连续而稳定地

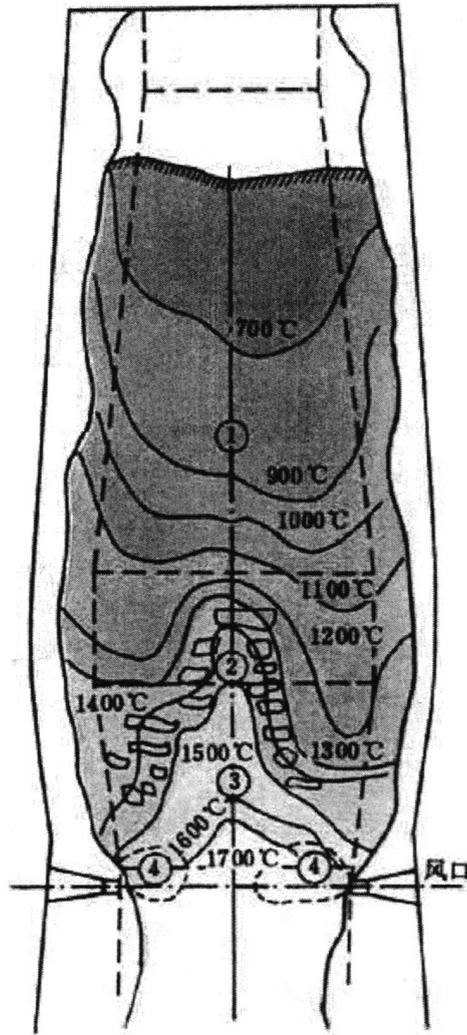


图 2.2 高炉内部冶炼过程示意图

Fig.2.2 Schematic diagram of smelt inside blast furnace

高炉的主要系统及组成部分：

高炉炉壳：现代化高炉广泛使用焊接的钢板炉壳，只有极少数最小的土高炉才用钢箍加固的砖壳。炉壳的作用是固定冷却设备，保证高炉砌体牢固，密封炉体，有的还承受炉顶载荷。炉壳除承受巨大的重力外，还要承受热应力和内部的煤气压力，有时要抵抗崩料、坐料甚至可能发生的煤气爆炸的突然冲击，因此要有足够的强度

炉喉：高炉本体的最上部分，呈圆筒形。炉喉既是炉料的加入口，也是煤气的导出口。它对炉料和煤气的上部分布起控制和调节作用。炉喉直径应与炉缸直径、炉腰直径及大钟直径比例适当。

炉身：高炉铁矿石间接还原的主要区域，呈圆锥台简称圆台形，由上向下逐渐扩大，用以使炉料在遇热发生体积膨胀后不致形成料拱，并减小炉料下降阻力。炉身角的大小对炉料下降和煤气流分布有很大影响。

炉腰：高炉直径最大的部位。它使炉身和炉腹得以合理过渡。由于在炉腰部位有炉渣形成，并且粘稠的初成渣会使炉料透气性恶化，为减小煤气流的阻力，在渣量大时可适当扩大炉腰直径，但仍要使它和其他部位尺寸保持合适的比例关系，比值以取上限为宜。

炉腹：高炉熔化和造渣的主要区段，呈倒锥台形。为适应炉料熔化后体积收缩的特点，其直径自上而下逐渐缩小，形成一定的炉腹角。炉腹的存在，使燃烧带处于合适位置，有利于气流均匀分布。

炉缸：高炉燃料燃烧、渣铁反应和贮存及排放区域，呈圆筒形。出铁口、渣口和风口都设在炉缸部位，因此它也是承受高温煤气及渣铁物理和化学侵蚀最剧烈的部位，对高炉煤气的初始分布、热制度、生铁质量和品种都有极重要的影响。

炉底：高炉炉底砌体不仅要承受炉料、渣液及铁水的静压力，而且受到 1400℃~1600℃ 的高温、机械和化学侵蚀，其侵蚀程度决定着高炉的一代寿命。只有砌体表面温度降低到它所接触的渣铁凝固温度，并且表面生成渣皮（或铁壳），才能阻止其进一步受到侵蚀，所以必需对炉底进行冷却。通常采用风冷或水冷。

炉基：它的作用是将所集中承担的重量按照地层承载能力均匀地传给地层，因而其形状都是向下扩大的。高炉和炉基的总重量常为高炉容积的 10~18 倍（吨）。炉基不许有不均匀的下沉，一般炉基的倾斜值不大于 0.1%~0.5%。高炉炉基应有足够的强度和耐热能力，使其在各种应力作用下不致产生裂缝。炉基常做成圆形或多边形，以减少热应力的不均匀分布。

炉衬：高炉炉衬组成高炉的工作空间，并起到减少高炉热损失、保护炉壳和其它金属结构免受热应力和化学侵蚀的作用。炉衬是用能够抵抗高温作用的耐火材料砌筑而成的。炉衬的损坏受多种因素的影响，各部位工作条件不同，受损坏的机理也不同，因此必须根据部位、冷却和高炉操作等因素，选用不同的耐火材料。

炉喉护板：炉喉在炉料频繁撞击和高温的煤气流冲刷下，工作条件十分恶劣，维护其圆筒形状不被破坏是高炉上部调节的先决条件。为此，在炉喉设置保护板（钢砖）。小高炉的炉喉保护板可以用铸铁做成开口的匣子形状；大高炉的炉喉护

板则用 100mm~150mm 厚的铸钢做成。炉喉护板主要有块状、条状和变径几种形式。变径炉喉护板还起着调节炉料和煤气流分布的作用。

高炉解体：为了在操作技术上能正确处理高炉冶炼中经常出现的复杂现象，就要切实了解炉内状况。在尽量保持高炉的原有生产状态下停炉、注水冷却或充氮冷却后，对从炉喉的炉料开始一直到炉底的积铁所进行的细致的解体调查，称为高炉解体调查。它虽不能完全了解高炉生产的动态情况，但对了解高炉过程、强化高炉冶炼很有参考价值。

高炉冷却装置：高炉炉衬内部温度高达 1400℃，一般耐火砖都要软化和变形。高炉冷却装置是为延长砖衬寿命而设置的，用以使炉衬内的热量传递出动，并在高炉下部使炉渣在炉衬上冷凝成一层保护性渣皮，按结构不同，高炉冷却设备大致可分为：外部喷水冷却、风口渣口冷却、冷却壁和冷却水箱以及风冷(水冷)炉底等装置。

高炉灰：也叫炉尘，系高炉煤气带出的炉料粉末。其数量除了与高炉冶炼强度、炉顶压力有关外，还与炉料的性质有很大关系。炉料粉末多，带出的炉尘量就大。目前，每炼一吨铁约有 10kg~100kg 的高炉灰。高炉灰通常含铁 40%左右，并含有较多的碳和碱性氧化物；其主要成分是焦末和矿粉。烧结料中加入部分高炉灰，可节约熔剂和降低燃料消耗。

高炉除尘器：用来收集高炉煤气中所含灰尘的设备。高炉用除尘器有重力除尘器、离心除尘器、旋风除尘器、洗涤塔、文氏管、洗气机、电除尘器、布袋除尘器等。粗粒灰尘 (>60~90um)，可用重力除尘器、离心除尘器及旋风除尘器等除尘；细粒灰尘则需用洗气机、电除尘器等除尘设备。

高炉鼓风机：高炉最重要的动力设备。它不但直接提供高炉冶炼所需的氧气，而且提供克服高炉料柱阻力所需的气体动力。现代大、中型高炉所用的鼓风机，大多用汽轮机驱动的离心式鼓风机和轴流式鼓风机。近年来使用大容量同步电动鼓风机。这种鼓风机耗电虽多，但启动方便，易于维修，投资较少。高炉冶炼要求鼓风机能供给一定量的空气，以保证燃烧一定的碳；其所需风量的大小不仅与炉容成正比，而且与高炉强化程度有关、一般按单位炉容 $2.1\sim 2.5\text{m}^3/\text{min}$ 的风量配备。但实际上不少的高炉考虑到生产的发展，配备的风机能力都大于这一比例。

热风炉：热风炉是为高炉加热鼓风的设备，是现代高炉不可缺少的重要组成部分

分。提高风温可以通过提高煤气热值、优化热风炉及送风管道结构、预热煤气和助燃空气、改善热风炉操作等技术措施来实现。理论研究和生产实践表明,采用优化的热风炉结构、提高热风炉热效率、延长热风炉寿命是提高风温的有效途径。

高炉此外还包含:高炉冷却水系统、联合泵站、水冲渣系统、炉前系统等。

2.2 首钢京唐 5500m³ 高炉工艺技术

高炉大型化是当今世界炼铁生产的发展趋势,近 10 年来日本高炉数从 40 座降到 30 座,平均高炉产量 300 万吨/座。高炉大型化具有投资省、占地省、劳动生产率高、能耗低、生产成本低、污染排放点少、环保治理好等优势。随着炼铁技术的进步,原燃料供应紧张,为降低生铁成本和炼铁工序能耗,提高企业竞争力,提高劳动生产率和降低维护费用,大型高炉优越性彰显出来。毋庸置疑,只有实现高炉大型化,许多新技术特别是节能、节水和环保措施才能采用。高炉大型化、高效化是炼铁技术发展的必然趋势。

为了进一步掌握国际高炉炼铁技术的发展趋势,对国际上近 10 座 5000m³ 高炉进行了研究。目前国际上超大型高炉(5000m³ 以上)共 13 座,日本 10 座、俄罗斯 1 座、乌克兰 1 座、德国 1 座,其中炉容 5500m³ 以上高炉共 4 座,分别是日本大分 2 号高炉(5775m³),俄罗斯切列波维茨 5 号(5580m³),日本津君 4 号(5555m³),德国施韦尔根 2 号(5513m³)。这些高炉均为大型钢铁联合企业的标志性设施。

为使首钢京唐钢铁厂具有国际一流的水平 and 强劲的国际竞争能力,促进我国从钢铁大国向钢铁强国进步,在首钢京唐钢铁厂采用世界先进技术建设 5500m³ 级大型化高炉是必然的选择。

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉集成采用了当今国际炼铁技术领域的十大类 68 项工艺和自动化先进技术,其先进性综合体现在:

(1) 高炉精料和炉料分布控制技术

精料和合理布料是高炉生产操作的关键,原燃料贮运、上料和装料系统工艺以实现分级入炉和中心加焦、提高原燃料利用率、提高操作灵活性为核心,设计采用无料钟炉顶装料设备和无中継站上料工艺,上料主胶带机直接上料,不设中间称量罐,以减少物料的倒运次数,减少物料倒运粉碎;采用烧结矿、焦炭分级入炉工艺;烧结矿焦炭分散筛分、分散称量;设置矿丁、焦丁回收系统。

(2) 高炉综合长寿技术

为实现一代炉役寿命 25 年，设计采用优质耐火材料；炉底炉缸、铁口区域、炉腹、炉腰、炉身下部采用铜冷却壁；炉体采用全冷却结构；纯水密闭循环冷却，冷却水串级使用技术。采用水冷固定测温、炉顶高温摄像、炉身静压测量、炉底在线测温监控、贯流式长寿风口等先进设备和检测技术。

(3) 热风炉高风温、长寿技术

设计采用 4 座高风温、长寿热风炉，设置烟气余热回收装置用于预热助燃空气及高炉煤气，设计风温 1300℃，最大风温 1350℃，最高拱顶温度 1450℃。采用交错并联的送风制度，自动燃烧控制技术和换炉自动控制技术。实现 1300℃的送风温度；采用优质耐火材料和合理热风炉炉体结构，以实现热风炉寿命达到高炉两代炉役为目标。

(4) 炉前出铁场平坦化、机械化

设计采用矩形双出铁场和出铁场公路引桥；设计平坦化出铁场，采用贮铁式主沟；液压泥炮与液压开口机采用同侧布置；增大铁口间夹角，以最大限度地实现炉前操作机械化、自动化，实现泥炮与开口机和天车远程遥控控制。设置 4 个铁口，采用大型鱼雷罐车运送铁水。设计采用全封闭一次、二次高效除尘，提高炉前作业环境的环保水平。

(5) 环保型渣处理系统

采用环保型炉渣处理技术，实现蒸汽全回收，冲渣水循环使用，减少二氧化硫、硫化氢排放量和水量消耗。设计按熔渣全部水淬粒化，干渣仅作为事故备用，有利于环保和水渣综合利用。水渣用作生产水泥或进行水渣超细磨。

(6) 大喷煤技术、烟气余热回收技术

喷吹煤种为烟煤或混煤。喷煤系统设计采用 3 罐并列、喷吹总管加分配器的直接喷吹工艺，实现均匀喷煤、连续计量、全过程自动喷吹。喷煤量为 220kg/t，设计能力为 250kg/t。采用大型中速磨制粉和一级布袋煤粉收集短流程工艺，煤粉直接喷吹。采用热风炉烟气余热干燥煤粉技术，实现废气余热再利用。

(7) 煤气干法除尘技术与粗煤气高效旋风除尘技术

高炉粗煤气采用高效旋风除尘系统，除尘效率达 85%，干灰的排放和运输采用密闭罐车运输工艺，直接运送至烧结厂配料仓，减少二次粉尘污染。高炉煤气

除尘采用全干式低压脉冲布袋除尘技术，实现节水、节能和环保。除尘灰的排放和运输采用气力输送和密闭罐车运输工艺，直接运送至烧结厂配料仓，减少二次粉尘污染。

(8) 采用完备的通风除尘、降噪和节水等环保设施。实现炼铁生产过程用水“零”排放，粉尘全部回收利用，利用污水处理后的中水作为渣处理系统的补充水，提高水的循环使用率。除尘灰集中收集，全部回收使用，充分回收和利用资源，降低资源消耗。除尘灰输送采用低速密相气力输送新技术，节省能源，保障工厂清洁环境。

(9) 采用全静叶可调轴流式大型高炉鼓风机技术；高炉余压发电技术（TRT）。

(10) 采用完善的自动化检测与控制系统。生产过程全部采用计算机进行集中控制和调节，主要生产环节采用工业电视监控和管理。满足现代化高炉高效生产操作的要求。

2.3 高炉干法除尘工艺及发展历程

从高炉煤气布袋式干法除尘^[20]的发展现状看，目前有两种类型：反吹风大布袋除尘和脉冲布袋除尘^[21]。

反吹风大布袋除尘：利用反吹风机定期将滤袋积灰吹掉，恢复滤料的过滤性能。特点是含尘煤气从箱体下部进入，从花格板下方进入滤袋过滤，煤气干灰沉积在滤袋内部。这种由内向外的过滤方法通称“内滤”。清除滤袋积灰方法是以反吹风机加压净煤气后反向吹入清灰箱体内，将滤袋吹扁使煤气灰落入灰斗，定期排出。每次反吹一个箱体，逐箱反吹，完成一次清灰过程。系统除反吹风机外，还有反吹蝶阀、过滤蝶阀和管路等构成回路。每次反吹一个箱体，其他箱体过滤，保持生产的连续性。这种切断过滤介质、进行整箱反吹的工作方式称为“离线反吹”。通常风机连续运转，通过管路上的过滤蝶阀和反吹蝶阀开闭实施箱体反吹。

脉冲布袋除尘：在除尘器箱体上方设有花格板，滤袋吊挂其上，内置钢丝袋龙，脏煤气自滤袋外表面向内过滤，干灰积于外表面，因此称“外滤”。反吹是使高压气体通过脉冲阀、喷吹管在极短时间向袋内喷射，使滤袋迅速膨胀、抖动而清灰。滤袋有多排，反吹逐排进行，一排滤袋反吹的同时其他各排滤袋处于过滤工作状态，因此称为“在线反吹”。操作时如将煤气切断，然后逐排脉冲反吹，这

样又具备了“离线反吹”功能。脉冲布袋除尘布袋规格一般为 $\phi 130 \times 6000$ 或 $\phi 120 \times 6000$ ，在除尘器箱体中成排布置；大布袋除尘布袋规格一般为 $\phi 306 \times 10000$ ，在除尘器箱体中按环行布置。

第一阶段：1974年，我国在 13m^3 高炉上采用反吹风布袋除尘技术进行试验，试验中采用6个方箱，滤袋采用玻璃纤维毡材料，取得了成功^[13]。

第二阶段：日本1982年在小仓钢铁厂 1850m^3 高炉试验成功，采用的是反吹风大布袋除尘，目的是提高余压发电（TRT）的出力。此后相继在近十座高炉推广使用，其中有多座 $4000 \sim 5000\text{m}^3$ 高炉，但均为干湿并用。国外技术和我国早期技术相同，均为反吹风大布袋除尘，其多箱体结构、滤袋环形排列、机械化清灰、喷水降温等工艺流程大体相同，但是在滤料材质、设备性能、自动化水平等方面技高一筹。

我国太钢于1984年与日本谈判成功，引进该项技术应用于 1200m^3 高炉上并于1987年投产，至今仍甩不掉湿法除尘，攀钢于1994年引进该项技术，至今没有完全实现全干法。

首钢自20世纪80年代末就致力于高炉煤气干法除尘技术的研究和攻关，并分别在2号高炉、4号高炉和3号高炉建设了干法除尘设施，采用反吹风大布袋型式，配合湿法备用。但竣工后就没有投入正式运行，只是在首钢4号高炉进行技术攻关，系统停停走走地运行了近十年时间，并取得了一定的生产运行经验。2002年将首钢3号高炉煤气干法除尘系统进行恢复生产，关键阀门和过滤布袋实现国产化，于2003年5月投入运行，基本上满足生产要求，但仍未实现全干法。

第三阶段：1992年在成都钢厂 318m^3 高炉采用低压脉冲布袋除尘技术获得成功，至今全国约有140余座 $350 \sim 550\text{m}^3$ 高炉采用此项技术，杭钢采用此项技术炉顶压力约 0.15MPa 。2002年以后韶钢、莱钢、重钢、马钢先后在 $750 \sim 850\text{m}^3$ 高炉上采用此项技术，莱钢 750m^3 高炉利用系数达到 $3.6\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，炉顶压力 0.15MPa ，煤气量 $220000\text{m}^3/\text{h}$ ，韶钢一年由于干法除尘影响生产的时间约8h。目前所有在建的中小型高炉全部采用低压脉冲干法除尘技术。

第四阶段：2004年6月7日，首钢首秦公司炼铁 1200m^3 高炉煤气采用低压脉冲除尘技术一次投产成功，相继投产或在建的高炉还有莱钢 1880m^3 高炉、韶钢 2650m^3 高炉、长治 1080m^3 高炉、承钢 1840m^3 高炉、首钢迁钢 2560m^3 高炉、首钢

京唐 5500m³ 高炉，也都采用了此项技术，高炉煤气低压脉冲布袋除尘技术在大型高炉上的应用取得成功，并成为发展趋势。

2.4 首钢京唐 5500m³ 高炉干法除尘技术

高炉煤气除尘分析论证及选择

(1) 关于“全干式”除尘

高炉煤气干法除尘可以有全部干法，不留湿法除尘作为备用，俗称“全干式”除尘；也可以干法除尘同时留有湿法除尘，湿法作为备用，以保证生产安全，两种方式目前都有存在。国内技术路线是全干法除尘，不考虑湿法除尘备用，它自始至终都是这样实行的，如今已经 30 余年。近年来在 1000m³ 以上高炉已经实现全干法除尘，达到了预期目地。首钢的首秦公司 1200m³ 高炉 2004 年干法除尘投产，成功的用于 1000m³ 以上高炉，并采用多项新技术，为大型高炉推广使用闯出了新路子，创出了经验。如今已经有越来越多高炉采用这项技术，预计今后会有更大的发展。

干湿并用是国外的技术路线。1982 年日本小仓高炉实验成功干法除尘同时保留了原有的湿法除尘，以干法除尘为主，湿法除尘为辅组织生产。大约 90% 以上时间为干法，开停炉以及事故发生转为湿法，这个模式后来推广到日本其它高炉。其实日本对于取消湿法也很感兴趣，太钢引进这项技术时就和日方达成共同实现全干式除尘的意向，所以这项工程不叫引进工程而称为共同开发。

国外发展干法除尘目的就是提高 TRT 的出力，可以说是唯一目的，只要煤气参数不宜于发电就转湿式。而在我国综合效益是我们要达到的目的，首先是煤气质量好，含尘含水量低，煤气热值高，其次是煤气清洗完全不用水，开创了节水的重要途径。此外节能，环保，占地少，劳动生产率高等都优于湿法除尘，对于大中型高炉来说提高 TRT 的出力也是一项重要目标。

为了确保安全生产，在大型高炉干法工程上我们采用了“干-干”备用方案，就是多备用箱体，以应对可能出现的事故。就投资来说也比湿法备用要低。实践证明这是可行的，确保高炉的全干法除尘安全运行。实际上我们一路发展过来，不论哪个高炉都没有很多箱体备用，但是过滤速度较低，允许停下来 1~2 个箱体检修。只有大高炉才采用了“干-干”备用方法。将来取得经验后，有可能减少备用数

量，设施配置将更加合理。

(2) 煤气温度控制

合适的煤气温度是布袋除尘使用的关键，过高过低都带来不利影响。温度过高会减少滤袋寿命甚至烧毁滤袋；温度过低可能使煤气结露，有糊袋现象，影响过滤。目前除尘工艺已经能有效的解决这些问题。

对于煤气高温来说，国内沿用方法是炉顶喷水和管路沿途自然降温，后来一些高炉在布袋之前增加了很多钢管加强散热，称为列管散热器。国外是在重力除尘器内喷水降温，可以保证事故高温下布袋除尘的安全。近来我国高炉试用重力除尘喷水不太理想，仍然在炉顶喷水，并首先保证炉顶装料设备的安全，同时解决煤气温度过高问题。首秦高炉此次首先增加了热管换热器降温，代替列管散热器，使温度仍然过高的煤气继续降温。它的原理是数千根热管将高温热量传到水中，使水汽化，将热量散发，设备优点是传热效率高，体积小，使用寿命长。

煤气低温问题比高温问题更加普遍，从多年使用经验看高温事故很少发生，几乎没有听说过，而低温结露问题几乎每座高炉都经历过。特别容易发生在开炉时期，因为此时炉衬湿、炉料含水多、煤气温度低，进入布袋就只有几十度了，此时容易结露。

首钢首秦公司高炉针对这个问题采取了相应对策，加强烘炉、长时间烘烤炉料以及提高炉顶温度等措施成功的完成引气，没有产生结露问题。由于每座高炉特性不同，有的顶温偏高，有的偏低，所以煤气升温问题仍然应当考虑。如果有措施可以解决，干法除尘在温度问题上就不再有后顾之忧。

目前煤气升温方法有几种，如热管加热、饱和蒸汽加热、热烟气混合加热等，可以根据实际情况选用。需要指出的是加热装置往往只用一时然后长期闲置不用。所以国内、外高炉都不再设升温装置，只是个别高炉有使用的。有了对策说明干法除尘温度超标已经可以有效控制，干法除尘可以放心使用。

(3) 5500m³高炉干法和湿法的比较

高炉煤气除尘净化在炼铁生产中有重要的作用，每吨铁产出煤气约1600-2000m³，是钢铁厂重要的二次能源。因为含尘量高，必须净化，使含尘6-12g/Nm³除尘降到10mg/Nm³以下才能使用。高炉煤气湿法除尘为传统方法，除尘效果好，是大、中、小高炉沿用方法。但是用现代科学技术观点来看却有很多

弊病，主要在于耗水量大、有污染、能耗高、运行费用高。湿法净化煤气含水量多，TRT 发电能力相对较低，降低高炉煤气热值，从而影响热风温度。

相对湿法干法除尘可以省掉几乎全部水电，所以运营费很低。干法除尘煤气含水少，煤气热值高，可以获得更高风温，这也是重要节能方向。采用煤气布袋除尘，TRT 出力增加，可以多发电约 20%~30%；煤气热值提高可使热风炉风温提高，降低焦比，节约焦炭；另外还可以省去污泥、污水处理费用等。从社会效益来看节能、环保、节水等均十分有益，附带的经济上的好处也是很大的，甚至超过直接经济效益。

我国是采用煤气布袋除尘最早的国家之一，已有 30 多年的历史。低压脉冲布袋除尘技术是我国具有自主知识产权的一项新技术，已经广泛应用在中型高炉，通过技术的不断完善，目前正在向大型高炉推广。此项技术也是我国十一五计划规定的推广技术之一。

采用双排布置，每排 8 个箱体。荒煤气从旋风除尘器进入箱体之前并联一套煤气降温装置和一套煤气加热装置，通过此来稳定荒煤气温度。荒煤气总管从两排箱体中间通过，分别进入两排箱体，管道按照等流速原则设计成变径管，避免煤气尘的沉积。荒煤气总管和各支管内壁有喷涂层，一则保温，二则防止管壁磨损。

净煤气总管进行外保温，直到热风炉和余压发电设施。煤气降温装置仍然采用热管式散热器；煤气加热装置采用饱和蒸汽加热装置。干灰的排放和运输采用罐车运输方案。

箱体设置正常可以 12 个工作，4 个备用，也可以全部使用不留备用，此时有较大富余能力。为了防止氮气系统事故低压或停风影响脉冲反吹和气力输灰，系统设置备用的稳压气源。

主要设备

- (1) 脉冲布袋除尘器
- (2) 蝶阀
- (3) 球阀
- (4) 密封式盲板阀
- (5) 降温装置

(6) 升温装置

首钢京唐 5500 m³ 高炉采用煤气全干法脉冲布袋除尘技术, 达到了国际领先水平。该系统采用国际先进的三维设计软件进行三维设计, 体现了设计的现代化和精准化; 除尘器采用先进的应力和流场分析, 使其设备运行安全稳定可靠; 系统自动化监测与控制达到了先进水平, 大大减少了岗位定员和运行成本; 煤气管道综合防腐技术的应用, 提高了该项技术的运行寿命和使用效率。

首钢京唐 5500 m³ 高炉煤气干法除尘系统包括: 温控装置、布袋除尘器、输灰设施、阀门和管道等。高炉煤气除尘采用全干式布袋除尘技术, 布袋前高炉荒煤气管道上需设置温控装置, 使煤气进入布袋室时温度控制在 120~20℃ 范围内。经过多箱体布袋除尘器过滤净化, 净煤气含尘量 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$, 送入 TRT 和煤气管网系统。除尘干灰的排放和运输采用气力输送和罐车运输。为了防止氮气系统事故低压或停风影响脉冲反吹和气力输灰, 系统设置备用的稳压气源。

高炉煤气降温装置:

布袋除尘器核心部分是高温滤料, 保护好滤料就可以保证煤气质量。在各项保护措施中温度适中是关键因素。合适的作业温度是约 120~220℃。但在实际应用中, 温度失常也时有发生, 比如温度过高随时可能发生, 因此要有应对措施。京唐高炉通过炉顶喷水 and 高效热管换热器能够有效地控制高炉出现异常高温情况。

热管换热器利用热管原理将高温热量传递到水中从而降低煤气温度, 是一种高效冷却设备。为了减少磨损, 热管表面钎焊了镍铬合金材料。这种设备传热效率高, 体积小。京唐高炉投产初期, 炉顶温度偏高, 高炉煤气温度多次出现干法除尘入口超过 260℃, 甚至 300℃ 的情况, 降温装置长期投入使用, 温降可达 70℃ 以上^[23], 运行效果好, 满足了生产要求。

除尘器的紧凑化研究:

高炉煤气干法除尘系统的除尘器箱体是干法系统的主要设备之一, 对于确保系统的安全、稳定运行有着重要作用。除尘器箱体直径的大小关系到干法除尘系统的整体布置, 为了减少系统的占地面积、布置美观, 京唐特大型高炉干法除尘系统按双列布置, 在过滤面积充分满足高炉煤气过滤的前提下, 除尘器箱体采用大直径长袋双侧反吹技术。在减少占地面积的同时, 减少了除尘器箱体的个数、

除尘器箱体进出口的阀门，减少了生产人员巡检区域和设备维护量。

通过对除尘器壳体进行应力分析，研究除尘器结构的局部薄弱点，进行局部调整降低应力集中，提高设备安全与稳定性。除尘器箱体内部采用特殊的导流结构，使得除尘器箱体煤气气流分布均匀，降低了流速，大大减少了滤袋异常破损的发生。

高炉煤气管道防腐的研究：

近几年，煤气干法除尘系统开始在国内大高炉上推广普及，但是由于小高炉干法系统腐蚀的矛盾不突出，又沿袭了大高炉传统湿法除尘的习惯，对煤气中的酸性气体的存在缺少认识，因此，大型高炉煤气除尘在由湿法向干法转型期间，很多都没有充分考虑到由酸性气体带来的严重腐蚀现象。另外，高炉原料越来越多地使用进口矿，进口矿尤其是澳矿中氯元素含量普遍高于地方矿，导致高炉煤气中的 HCL 含量更高，这也是大高炉干法系统腐蚀严重的重要背景条件。

首钢国际工程公司在首钢迁钢 2 号高炉中进行喷水喷碱液工厂试验，并进行多种防腐蚀涂料的实验室实验，进一步深入分析腐蚀的原因，找出了相应的解决方法与措施。喷碱工厂试验装置实施后，对煤气冷凝水及系统腐蚀情况进行跟踪和进一步分析后，优化了工艺参数与结构，并进一步在京唐工程中实施应用。高炉煤气管道内防腐及喷碱除氯装置随京唐高炉同步建设，并投入运行。随着高炉生产情况调整喷碱除氯装置运行参数。目前高炉煤气冷凝水 PH 值均大于 6.5，运行效果良好。

首钢国际工程公司高炉煤气干法除尘技术团队长期致力于高炉煤气全干法袋式除尘工艺和自动化的研究和应用工作，不但得到了广大客户的认可，还得到了政府和钢铁工业协会的大力支持。首钢国际工程公司开展的长寿集约型冶金煤气全干法除尘工艺技术开发课题，获得了国家科技部“十一五”重点科技支撑计划支持。国家住房和城乡建设部批准了由首钢国际工程公司主编的《高炉煤气干法袋式除尘设计规范》国家标准^[28]，编号为 GB50505-2009，该标准自 2009 年 12 月 1 日起实施。该项国家标准的发布实施，奠定了首钢国际工程公司在国内高炉煤气全干法除尘技术研究应用领域的领先地位，进一步提高了首钢国际工程公司的核心竞争力。

2.5 国内外高炉自动化进展

高炉基础自动化 (L1 级)

在钢铁冶金自动化技术进步中, 20 世纪 80 年代就已经实现了轧钢过程的完全自动化控制、炼钢过程的自动化控制以及其他工艺流程的自动化。人们可以使一块钢坯全自动地轧制成一卷钢材, 使一炉铁水自动化地炼成一炉钢。自动控制的高质量与高效率当然也激励着高炉炼铁过程自动化的研究, 然而, 几十年过去了, 人们仍未完全实现高炉炼铁过程的闭环自动化^[16]。

为了实现炼铁生产工艺的自动化目标, 人们不断推进着炼铁过程的基础自动化和计算机的应用。在组成炼铁工艺流程的各控制工序中, 已经实现基础自动化的工序有:

- (1) 槽下配料系统的称重与配料过程的计算机自动化控制;
- (2) 卷扬上料系统的上料、布料过程的计算机自动化控制;
- (3) 喷吹煤粉的计算机自动化控制;
- (4) 热风炉燃烧过程与送风的计算机自动化控制;
- (5) 炉前出铁作业的机械化、自动化;
- (6) 高炉值班室应用 PLC 或 DCS 计算机系统取代高炉仪表, 实现工艺参数的集中控制。

虽然炼铁工艺的各个控制子工序的基础自动化已经实现, 然而人们围绕高炉炉温控制的数学模型, 试图实现高炉冶炼过程的自动化控制, 却至今并没有获得成功。高炉炼铁过程的自动化控制远比各组成工序的自动化控制复杂得多。高炉炼铁闭环自动化控制失业金自动化中迄今上位完全解决的跨世纪的技术难题。

高炉过程自动化及专家系统 (L2 级)

在现代高炉炼铁技术发展进程中, 操作过程控制及专家系统的开发研究^[17], 迄今大致可分为三个阶段:

(1) 1950~1970 年。该阶段在物料平衡、热量平衡基础上, 采用配料计算、工程计算、Rist 操作线等对高炉操作进行静态热力学分析, 给出各种变动因素对焦比影响的分析。炉况的判断及调控, 主要依靠高炉操作者的实际经验进行。

(2) 1970~1985 年。该阶段以日本为代表, 由高炉系统获得大量冶炼数据输入信号, 利用动力学模型、控制模型或炉况判断模型, 借助过程计算机对炉况进

行数据与信息处理、分析与判断。与前第一阶段相比，高炉操作控制技术上已有长足进步，基本上可防止因操作者的因素而造成的炉况判断失误。

(3) 1985年~迄今。该阶段在高炉操作计算机控制技术中，运用人工智能与知识工程技术，汇集经验操作者的智慧和冶炼理论研究专家的成果，构成多种专家系统，预测炉况发展趋势并给出操作指示。

目前，在国内外一些高炉上，运用专家系统进行炉身压力、低硅操作、软熔带形状、炉身气流分布、装料制度等方面的控制，已取得较好的效果。

国外操作过程控制及专家系统开发应用概况：

1985年以来，日本先于其它国家开发了用于高炉操作控制的 BAISYS、SAFAIA、YBRID 及 Go-Stop 等专家系统，并在实际中得以应用

(1) 新日铁高炉专家系统

炉现场数据由过程计算机收集，经数据通讯通道传送到专用处理机去进行分析，其结果再返回现场显示。系统设有二个知识库，一为在线使用，一为离线使用。

(2) 鹿岛1号高炉专家系统

该系统为数模—专家结合型系统。其运行特点是将数学模型和实际规则两者相结合，操作数据采集为2min一次，计算为10min一次，取小时平均值。短期控制时，操作数据用于判断炉况。正常炉况下，喷煤比、风温及湿度等均用炉热指数TS数模控制，异常炉况下，由经验规则来实施控制。专家知识库中含1200条规则。铁水硅含量[Si]与铁水温度的预测命中率达85%~90%。长期控制时，操作数据用于诊断炉况，然后由生产决策者判定长期操作的方针与相关参数控制值。

(3) 水岛4号高炉专家系统

该系统为Go-stop模型的改进型炉况判断专家系统。动态模型在给定时间间隔内作一次运算，对过程、状态做出判断，静态模型离线运行，产生的信息给工程师、管理者作判断用。系统管理范围为修复风指导、异常炉况的操作、日常操作指导等方面。

(4) 模型集成系统

新日铁大分厂2号高炉上的模型集成系统，是以软融带推断模型为主建立的。整个系统包含532个传感器，8种软融带模式，1个专家知识库。在过程控制应用

中，系统采样时间间隔 1s，给出操作指示的时间间隔为 5s。

京滨 1 号高炉（4907m³）上的模型集成系统，是以无钟炉顶炉料布料模型为主建立的。该系统的专家知识库，是由装料制度、煤气流状态、炉体温度场、风量、风压、透气性等重要影响因素组成。

（5）炉温炉况判断系统

日本钢管福山厂 5 号高炉上的在线实时型专家系统，主要用于炉温预报与异常炉况判断。整个系统包含 900 个检测点，1 个专家知识库。在高炉实时应用中，2min 进行一次预测异常炉况，20min 进行一次炉热状态推断。

（6）芬兰拉赫厂高炉专家系统

芬兰罗德洛基公司拉赫厂 2 号高炉的控制模型，是 20 世纪 90 年代以后，在日本川崎 Go-Stop 系统的基础上发展起来的，由动态模型与静态模型组成，目标是保持高炉下部的热平衡，防止高炉出现不稳定和异常炉况。主要功能为装料监控、煤气分布与煤气利用率分析、非正常炉况识别、铁水温度及出铁控制等。

专家系统知识库包括两个经验库，共有 850 条判断规则，一个经验库用于高炉的正常操作，另一个用于故障后的再启动、休风后的鼓风操作和诊断出炉况突然发生异常变化时的启动操作。系统操作诊断分为：30s、5min、15min 短周期高炉状况判断；8h 中周期诊断，监视周期炉况趋势；长周期诊断，评估前一天炉况及趋势，确定当天的操作方针。

（7）奥钢联林茨厂高炉专家系统

该系统为奥钢联工程技术公司与林茨厂联合开发，自 1997 年以来，专家系统在 2772m³ 高炉上以闭环方式成功地运行，在无操作人员任何介入的情况下，每天 24h 对燃料比、炉料碱度、燃油喷吹、加蒸汽及炉料分布等实施自动控制。控制系统最显著的特点是对原燃料条件无苛刻要求，能适应原燃料条件变动的短期调整。

此外，比利时、瑞典、澳大利亚、美国、俄罗斯等国也都相继开发应用了自己的高炉专家系统，并以其作为推动炼铁技术进步、挖掘高炉生产潜力、实现节能降耗的重要措施。

国内操作过程控制及专家系统开发应用情况：

多年来，在资金、技术、基础设施条件等与国外相差甚大的情况下，国内也一直致力于高炉过程控制技术与专家系统的开发研究工作，且多以厂校（或院、所）

合作的方式进行。

(1) 首钢高炉专家系统

20世纪90年代初北京科技大学与首钢合作开发的系统,由炉热状态判断、炉况顺行判断和炉体状态判断三个子系统组成。

首钢人工智能高炉冶炼专家系统,当时居国内领先水平,1998年曾获得国家专利,并应用在首钢1726m³高炉上。因未随计算机技术进步继续深入开发和完善提高,2000年被首钢引进的芬兰高炉控制专家系统所取代。

(2) 鞍钢高炉专家系统

鞍钢4号高炉专家系统,由数据库、推理机、知识库、动态数据模型和机理模型、炉热判断、解释和预报结果显示,以及知识自学习系统构成。含硅预报部分,依靠专家系统将炉况分类,根据其正常、异常和波动程度选用不同的模型确定生铁含硅量。专家系统部分,根据知识库存储的冶炼理论规则和高炉操作经验,推理、预测炉热变化趋势和幅度,并给出操作指导。

1995年立项的鞍钢10号高炉专家系统,为原冶金部重大课题,由北京科技大学、东北大学和鞍钢三家合作开发。历时6年后,在专家知识库、炉况诊断等方面取得相应成果。

(3) 马钢2500m³高炉炉况诊断专家系统

该系统为原冶金部自动化研究院与马钢合作开发的专家系统。其在原有VAX计算机基础上,加上工业微机作为人工智能(AI)处理机,进行模型运算和专家系统推理,系统类似于日本Go-stop系统。

(4) 宝钢高炉专家系统

1986年,宝钢2号高炉引进日本Go-stop系统,在消化吸收引进技术的基础上,1991年宝钢与复旦大学合作开发了炉况监视和管理系统,在1号高炉上使用至1995年停炉大修。

1995年,宝钢在2号高炉上开发应用高炉人工智能专家系统,1997年通过了专家技术鉴定。因国内一般大型高炉在技术装备条件和原燃料条件方面均达不到宝钢高炉水平,建立在此基础上的宝钢专家系统,难以在国内一般高炉上推广应用。

(5) 武钢等引进的国外高炉专家系统

1997年,武钢4号高炉引进芬兰罗德洛基公司的高炉控制专家系统,1998年投入生产应用,并取得技术经济成效。此外,继武钢之后,首钢、本钢、昆钢、攀钢等大型高炉也相继引进芬兰、奥地利的高炉专家系统。

(6) 高炉炼铁优化专家系统

该系统为浙江大学开发,系1999年国家科技部批准的《国家级科技成果重点推广计划》项目,并在杭钢、济钢、新临钢和莱钢等企业的合作下,推广应用到多座 350m^3 、 380m^3 和 750m^3 高炉上。该系统以冶金机理和应用数学知识为基础,以专家数据库为智能源,对高炉进行工艺参数系统优化、炉温预报及异常炉况判断。因其立足于国内一般条件,较符合国内高炉原燃料条件和监测、自动化水平相对较差的高炉情况,投资省,拥有我国独立知识产权。

高炉专家系统开发应用历程表明,不同时期、不同阶段、不同水平、不同形式的开发应用,一直在促进着现代高炉炼铁技术的进步,现已步入闭环控制开发应用阶段,成为高炉冶炼实现“高效、节能、低耗、长寿”的重要途径之一。在高炉装备水平与原燃料客观条件存在明显差距条件下,借鉴国外经验,立足国内高炉条件,自主开发投资省、应用效益显著的实用型专家系统,使其在技术性能上适应国内操作者的传统操作习惯,在功能上满足高炉需求,以便在国内高炉上普遍推广应用。这为高炉生产管理系统的开发和应用奠定了扎实的基础。

高炉生产管理系统(L3级或MES系统)

生产管理级(L3级)或生产制造执行系统主要由区域管理计算机系统完成在线作业计划和生产调度管理、质量跟踪控制等许多功能。MES层是连接ERP层与底层PCS层的桥梁,这一级系统在企业信息化架构中的位置和重要作用是不可或缺的,只有实现它们,才能使控制系统和管理信息系统实现无缝对接和系统集成,生产实际数据和生产指令才能顺畅的上传和下达,实现信息实时传输。

钢铁企业资源管理系统(L4级或ERP系统)

高炉炼铁作为公司级ERP层的子集,包括统计管理、能源管理、计划管理、原辅料管理等功能。

2.6 高炉煤气干法除尘控制系统存在的问题

高炉煤气干法除尘在大型高炉上应用取得了成功,并开始推广,但是此项技术

中工艺环节尚有改进的余地，很多参数没有优化，更多理论问题有待研究，今后要做的工作还很多。其中重点是温度控制、关键仪表的自动化性能（料位计和含尘量在线监测等）、工艺系统控制的平稳性、除尘器结构及其紧凑化布置、高炉煤气管道综合防腐以及系统自动化监测与控制等技术难题。

大型高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且自动化水平较高，自动化控制系统需要完成对温控系统、脉冲布袋除尘器、清灰系统、脉冲系统以及现场各工艺阀门和仓壁振动器的远程自动控制。因此大型高炉煤气干法除尘自动化控制系统的设备性能和自动控制的好坏，将直接影响干法除尘的效果。

在大型高炉煤气干法除尘关键仪表的应用研究方面，需要开发出新型智能检测装置。大型高炉煤气干法除尘布袋室灰位的准确检测在实际生产中也是一项技术难题^[14]，因为煤气灰是粉末状粉尘，含有一些水份，温度范围在 120℃~300℃之间，且附近有仓壁振动器等，基于以上原因灰位计有时会产生误报信号，造成卸灰系统的不稳定，直接影响干法除尘的效果。另外，还要进一步提高干法除尘含尘量在线监测装置其设备的稳定性和可靠性。

当前首要工作是找到煤气升温的有效手段，解决炉顶温度长期偏低的问题。越是大高炉生产越顺行，煤气温度偏低的问题越普遍。今后将重点研究高炉煤气升温技术。因为大型高炉迫切需要解决箱体数量多，占地大的问题，滤袋每加长 1 米意义都很大。究竟可以加长几米，需要大家共同努力探询，以求获得最佳配置。

高炉煤气干法除尘在大型高炉上开始推广，但是此项技术中自动控制环节尚有改进的余地，很多参数没有优化，更多理论问题有待研究。很多操作上的问题需要研究，比如反吹压差多少合适；哪些情况在线反吹合适，哪些情况离线反吹，滤布面积和反吹周期的关系，涉及到过滤风速高还是低，最佳滤速如何确定，这方面理论远远落后于实践。因此，迫切需要开发大型高炉干法除尘自动化控制系统，以填补该领域的空白。

第3章 控制系统硬件设计

3.1 高炉自动化

在传统高炉炼铁工艺中，工长是通过几十块高炉仪表来监控炼铁过程的。它包括高炉本体的数百项温度、压力、流量数据的监测，综合古风的风量、风温、风压、风湿、富氧量与富氧压力、喷煤量与喷煤压力等参数的监测控制以及上料过程、布料过程的模拟盘等。高炉值班室应用计算机取代高炉仪表后，实现了高炉本体参数、槽下配料称重系统、卷扬上料布料系统、热风炉系统以及喷煤系统的工艺参数集中监控。多台 PC 机集中显示各种监控换面、趋势图与模拟图的应用，是计算机比表能够更直观、更形象地、更准确、更可靠的反映了高炉过程的动态变化过程特征。

首钢京唐 5500m³ 高炉采用完善的自动化检测与控制系统。生产过程全部采用计算机进行集中控制和调节，主要生产环节采用工业电视监控和管理。满足现代化高炉高效生产操作的要求。高炉生产工艺控制，全部是集电气、仪表、计算机（即三电）一体自动化控制系统，该系统完成工艺流程的控制和监视。本着先进性、实用性、可升级、可扩展性相结合的原则进行高炉自动化控制系统设计。设备和系统的选型根据技术、经济和使用实绩进行综合性考虑设计。

自动控制系统一级为基础自动化级，主要完成高炉生产全过程的数据采集和初步处理，数据显示和记录，数据设定和生产操作，执行对生产过程的连续调节控制和逻辑顺序控制。首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉自动化控制系统的基础自动化级主要功能如下：

(1) 上料系统设备运转联锁控制及配料控制

(2) 矿石称量控制、焦炭称量控制。

(3) 矿焦仓料位检测

(4) 上料胶带机料流跟踪控制

(5) 上料系统设备运转监视及故障处理

(6) 炉顶系统设备运转联锁控制和时序控制：按照炉顶设备运转方式、联锁关系及装料程序进行设备的控制。

- (7) 布料溜槽及探尺调速控制
- (8) 装入方式控制
- (9) 布料方式控制
- (10) 料流调节阀自学习控制：按照排料特性曲线，控制并不断修正料流调节阀的开度。
- (11) 布料控制方式控制
- (12) 炉顶均排压控制
- (13) 炉顶放散控制
- (14) 炉顶喷水控制
- (15) 炉顶煤气成份分析
- (16) 炉喉十字测温
- (17) 高炉温度监视
- (18) 在炉身、炉缸、炉底和冷却系统共设置了大约 800 点温度检测
- (19) 高压水系统监视
- (20) 软水系统监视
- (21) 炉身静压测量
- (22) 铁水测温。
- (23) 铁水液面
- (24) 热风炉系统设备运转联锁控制
- (25) 送风顺序控制
- (26) 送风方式控制
- (27) 换炉控制
- (28) 送风湿度控制
- (29) 热风炉燃烧控制
- (30) 助燃风机出口压力调节
- (31) 煤气除尘及煤气除尘系统控制
- (32) 炉顶压力控制
- (33) 煤粉制备及喷吹系统设备运转联锁控制
- (34) 煤粉管煤粉流量控制

(35) 高炉历史数据处理和检索

(36) 鼓风站控制系统：排出定风量、吸入定风量控制、排出定风压控制、紧急放风控制、防喘振控制、压力限制控制、防阻塞控制、逆流保护控制、保安及联锁报警控制、脱湿调节等

(37) TRT 控制系统：动力润滑系统、密封及水冷系统、透平及发电机振动及轴位、透平速度及负荷控制等。

第二级为过程控制级，主要完成高炉生产过程的操作指导、作业管理、数据处理及存储、通信等。高炉生产自动化检测和控制技术日新月异，在技术装备提高的同时，高炉人工智能专家系统的开发、研究和应用也越来越引起重视。为解决人为判断偏差和滞后所引起的误操作和操作滞后等问题，进一步提高 5500m³ 高炉自动化装备水平，更好地实现高炉稳定、顺行、长寿、高效，5500m³ 高炉配置人工智能专家系统。主要功能如下：

- (1) 带有技术计算的高炉专家系统
- (2) 炉料计算模型
- (3) 出铁控制模型
- (4) 炉身仿真模型
- (5) 炉缸侵蚀监控模型
- (6) 炉料分布模型

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉生产管理系统 (L3 级或 MES 系统) 功能：

生产管理级 (L3 级) 或生产制造执行系统主要由区域管理计算机系统完成在线作业计划和生产调度管理、质量跟踪控制等许多功能。MES 层是连接 ERP 层与底层 PCS 层的桥梁，这一级系统在企业信息化架构中的位置和重要作用是不可或缺的，只有实现它们，才能使控制系统和管理信息系统实现无缝对接和系统集成，生产实际数据和生产指令才能顺畅的上传和下达，实现信息实时传输。具体功能如下：

(1) 计划管理。根据上层 ERP 下达的月生产计划，制定日作业计划来指导炼铁各单元生产。其中配料计划经 MES 层使用者确认好可直接下达到 PCS 层，直接参与系统控制。

(2) 实时监控。生产状态实时监控功能是炼铁 MES 的重要组成部分，它改变

了以往部门领导由于关心现场数据而经常要打电话才能了解现场生产状况的不利局面,该功能的开发,达到了在分公司范围内实时、动态地了解炼铁生产现场的目的,极大地方便了领导对现场生产的把握及决策。功能主要特点是将工艺流程中重要的参数重新组合与集中,形成便于理解的直观生动的画面。

(3) 实绩整理。该功能实现了炼铁区域内的班、日报、作业记录的自动收集,这些生产实绩信息经相关人员审核后,投入到系统中使用,确保了数据的完整性和准确性。日整理有日报,月整理有月报,年整理有年报,不同特点的生产实绩整理,从不同角度、用不同的方法归纳分析了不同生产周期的数量实绩、操业实绩和成本实绩,为更高层次的生产、管理及技术研究提供了详尽的数据基础。

(4) 质量管理。炼铁工艺有范围广、工艺复杂、试样量大等特点,质量管理功能实现了自动、及时地将各个试样的质量信息收集、检查与判定,为生产操作、技术分析提供了可靠的质量保障。

(5) 成本管理。实现了各单元的成本日日清功能,及时投入产出实绩的跟踪与分析。

首钢京唐1号5500m³高炉ERP系统(L4级或ERP系统)作为京唐钢铁公司公司级ERP层的子集,包括计划管理、统计管理、能源管理、原辅料管理等功能。具体如下:

(1) 计划管理。

作为ERP层的计划管理的责任部门是制造部原料中心。通过对计划编制流程的重新梳理,并根据新的生产规模、工艺特点和管理要求完善了计划管理体系,优化了计划的输出格式。计划管理包括生产计划及配料计划,实现了网上在线方式的控制与下达。

(2) 统计管理。炼铁厂统计分析功能主要包括各单元的生产管理、质量管理、成本管理、过程管理、综合报表等统计功能。

(3) 能源管理。从能源EMS系统中按月抽取有关炼铁数据,形成炼铁各单元的能源消耗实绩和单耗实绩月报。

(4) 原辅料管理。原辅料管理主要包括矿石副料和煤焦管理。主要分为进厂管理、矿石实绩、矿石计划、煤焦实绩、煤焦计划管理功能。

3.2 控制系统的设计原则及总体框架

为了保证首钢京唐5500m³高炉煤气干法除尘自动化控制系统的安全、可靠和稳定，并满足首钢京唐钢铁公司的整体需求。高炉干法除尘控制系统的设计过程中，始终坚持着如下原则：

(1) 选型一致

本工程高炉煤气干法除尘自动化控制系统与高炉其余子系统自动化控制系统硬件的选型要求一致，选用 AB 1756 和 1794 等系列产品，全厂一级、二级的网络系统由首钢设计院统一考虑，过程自动化级留有与 L3 级的接口，为将来扩充发展留有余地，与全厂的其他生产线采用标准的 TCP/IP 网络进行通讯。

(2) 开放性好

本工程高炉炼铁的计算机系统选用的统一的 PC 服务器，操作系统统一为 Windows 系统，通讯协议为 TCP/IP。这为今后软件开发和移植、系统升级、硬件扩展提供了方便。整个控制系统的结构具有较好的标准性、开放性与互连性，易于扩展和未来升级，以便使与快速发展的自动化及信息化技术保持同步。

(3) 可靠性高

过程自动化级由多台 PC 服务器组成，每台服务器有 2 个 CPU。其中有一台 PC 服务器做为开发和备用，所有的计算机都带有内部存储硬盘，所有的运行数据都存储在硬盘之中，当其中一台计算机发生故障时，只需将硬盘拔出，放入备用的计算机之中即可，更换时间约需 8-15min。在更换过程中一级自动化系统按原定值继续运行，不会影响正常生产。

在基础自动化级中选用的现场设备监控 I/O 模块，均具有信号隔离功能，从而能够保证系统维护的方便与快捷；同时控制系统均具有完善的自诊断与简明、准确的故障指示功能，以进一步保证系统故障排除与维护的及时性、简易性。

(4) 技术先进

本设计的指导思想是在立足新技术、新工艺、并尽量先进和控制投资总额的前提下，设计自动化及检测仪表系统，满足工艺系统的要求。采用当前国内外先进的计算机技术、控制技术、通信技术，使整个控制系统能够最大限度地适应今后技术的发展变化，并且满足不断提高的日常生产与管理要求。争取保证其生产技术达到世界一流水平，且节能增效。

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘系统干法除尘具有较高自动控制水平。生产采用三电一体的计算机控制系统。所有的过程检测参数和设备运转状态均应纳入计算机控制系统。在控制室对整个干法除尘工艺进行操作、监视、控制、报警和管理，如图 3.1 所示工艺系统流程图。并与高炉主控室、余压发电控制室等以数据通信方式传达信息。

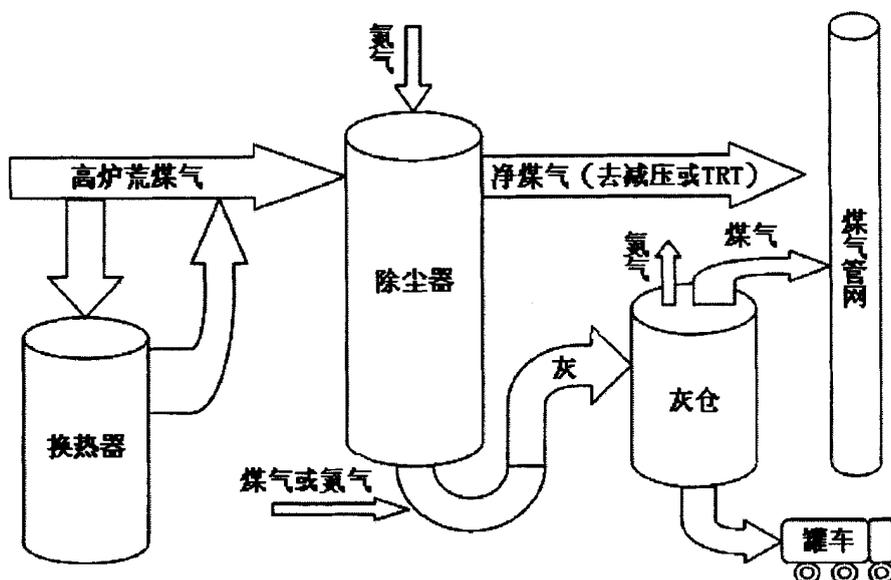


图 3.1 高炉煤气干法除尘工艺流程图

Fig.3.1 Schematic diagram of blast furnace dry dusting process

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动化控制系统由 AB ControlLogix 可编程序控制器 (PLC) 和工业微机 (HMI) 组成。PLC 与 PLC, PLC 与工业微机 (HMI), PLC 与传动设备之间采用网络连接通讯。为节约电缆和方便施工维护, 在设备相对集中的地方尽可能设置远程 I/O 站, 其中主要在操作台、操作箱、MCC 柜以及单体设备较集中区域设置必要的远程 I/O 站, 完成子项自动控制功能。控制系统系统采用分布式结构, 由控制级和过程监控级组成。系统网络设计采用工业以太网结构, 使得网络结构清晰, 数据流路径独立。

为了保证首钢京唐 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动化控制系统的安全性和可靠性, 本系统采取了如下措施: 接地电阻小于 1 欧姆; 使用 UPS 电源, 系统掉电后可保证 30 分钟自动供电。PLC 系统还具有标准的以太网接口, 通过交换机可实现 PLC 与上位机之间的数据通讯, 上位机还可以通过以太网与公司管理级及调度室实现远程数据传输。

3.3 控制系统的硬件设计

3.3.1 控制系统的通信

传统的 PLC 系统的通信口都建造在处理器面板上,所有的通信都是在处理器和处理器之间,或处理器和适配器之间进行,是框架和框架之间的通信。I/O 模块大多是非智能的模块,即模块的硬件结构不含 CPU,信息的传递只是电信号的转换,即使是称之为智能模块的,虽然带有 CPU,也不过是对数据进行初步的处理,并不直接与外部通信,I/O 模块通过背板被动地与处理器或适配器交换数据(即 I/O 扫描),再由处理器或适配器对外部通信。

ControlLogix 系统,则是模块与模块之间的通信,几乎所有的模块都是智能模块,都具有通信能力,I/O 模块与控制器之间的数据交换是以通信的方式实现的。这就是通常所说的模块化结构的系统,即处理器与它的从属者已经细化到模块与模块之间的关系。在 RSLinx 连接软件上浏览,看到的各个以模块为最小单位的设备是真实的物理连接,而它们之间的逻辑连接关系确实组态来定义的。在 RSLogix 编程软件的 I/O Configuration 下,就是基于真实的物理连接网络,来组态控制器所属的 I/O 模块,即建立起它们的数据交换通道,并定义它们之间的通信关系。

模块按照定义的请求发送时间跟控制器建立一个连接,这个连接包含了模块的组态信息、状态信息、诊断信息、通信连接信息以及输入/输出通道数据信息,连接跟控制器交换的信息是双向的。就数据交换方式而言,模块与控制器的连接分为直接连接和机架优化连接两种方式,直接连接显示了 ControlLogix 与 I/O 模块交换大量数据的优越性,缺点是占控制器连接太多;机架优化连接沿用了传统控制器扫描和适配器的方式,在获取简单的 I/O 数据前提下,大幅度地减少了与控制器的连接个数。

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动化控制系统的通信设计如下:

(1) 控制器与本地 I/O 模块的通信

控制器与本地 I/O 模块的通信是通过框架的背板进行的,不参与任何网络的数据流通,不因网络的通信性能或故障影响数据的流通,一般地说,通信速度快,数据交换量大。本地开关量输入模块、输出模块,本地模拟量输入模块、输出模块与控制器建立起通信后,将占用控制器 1 个连接,这个直接连接的数据交换,

包含控制器对模块下传的组态信息，读回的状态信息和通道的数据信息。

(2) 控制器与通信模块的通信

控制器对外的网络通信必定是通过通信模块，它与通信模块的关系既有数据的交换，也有桥接的联系，取决于通信模块采用了什么样的通信形式。

CNB 模块是 ControlNet 网络的通信模块^[28]，通常用作于远程 I/O 的控制层，用于桥接远程的非优化模块，或是充当优化连接的扫描器或适配器。

ControlLogix 系统引入了 EtherNet/IP 的远程 I/O 网络，并逐步增多应用，作为一种趋势。尽管 EtherNet/IP 网络不是规划网络，却仍然得到了认同和推广，其原因就是它具有广泛的公用媒介质，譬如说，一台旋转设备上的 I/O 信号，为了避免缠绕不能使用电缆，EtherNet/IP 就容易找到无线设备来实现。

(3) 控制器与远程 I/O 模块的通信

大部分的 ControlLogix 系统都有控制器与远程 I/O 模块的通信，远程 I/O 模块的通信网络有 ControlNet 和 EtherNet/IP 两种结构，他们的数据传送方式不同，组态过程也不同。ControlNet 网络是一种确保数据传送的网络，网络组态软件在网络规划时就已经计算过，只有确保预定性数据能在网络的周期刷新时间内传递成功，网络组态才能通过；EtherNet/IP 是不确保数据传送的，只有数据通道的流畅才是数据传送成功的保证，没有事先的计算或规划，但这种网络可用一些特定的场合，在 I/O 交换数据量大和网络传送形式多变时选用以适应复杂的要求。

基于以上，京唐高炉干法除尘控制系统选用的 ControlNet 通信网络方式。

ControlNet 具有很高的确定性和可重复性，并且在网络上连接或断开设备时能够保持不受影响。从而确保了可靠性、同步性以及协调的实时性。

ControlNet 符合新版（2003 年）IEC61158 Type 2 标准和欧洲标准 EN50170，是综合性能最好的控制层开放现场总线。

ControlNet 网络最常用在以下配置类型内：

- 作为 ControlLogix 平台的缺省网络；
- 作为 Remote I/O(RIO)网络的替代/更换网络，因为 ControlNet 能够很好地处理大量的 I/O 点信息；
- 作为多个分布的 DeviceNet 网络的主干线；
- 作为对等的互锁网络。

(4) 控制器与控制器的通信

在 ControlLogix 系统中，控制器之间的通信方式有两种：一种是预定性的数据，即 Produced/Consumed 数据交换形式；一种是非预定性的数据，即执行 MSG 指令。应该根据需求和系统的资源决定采用哪种数据传送方式。

如果控制器之间交换的数据，是像 I/O 数据一样确保的定时互锁数据，就应该采取 Produced/Consumed 的数据交换形式。Produced/Consumed 的数据传送方式是预定性的，这是一种基于背板、ControlNet 网络和 EtherNet/IP 网络的通信方式。如果位于同一框架的控制器，通过背板交换；如果通过网络交换，则限于在同一个网络中进行，不能通过网桥跨越到另外一个网络。

控制器之间的非预定性数据传送执行 MSG 指令，MSG 指令启动的控制器对目标控制器操作，实施双向的数据交换，可以读也可以写。MSG 指令通信组态的页面，将指定信息的传送途径，MSG 指令的路径可从本地网延伸到远程网，不限于只在一个网络通信。

(5) 控制器与人机界面的通信

人机界面是外部监控画面设备的统称，有的是基于 Windows 平台的监控软件运行，有的是硬件监视设备，目前跟 ControlLogix 控制器通信的人机界面有：

PanelView 硬件监视设备；

PanelView Plus 硬件监视设备；

RSView 监控软件的工作站，RSLinx OPC 的通信；

RSView Enterprise 应用的工作站。

控制器与人机界面的通信，一种是预定性的，像 I/O 数据一样的交换，占用控制器固定的连接；还有一种是非预定性的，被人机界面读写数据，尽管对于人机界面来说，是周期性地更新，但对于控制器来说是非预定性的数据访问，其情形正如一个被 MSG 指令访问的控制器。

(6) 上位机与控制器的通信

上位机访问控制器基本上有两种，一种是直接访问，早期的 RSView 就是典型的例子，另外一种是通过 RSLinx Classic 的 OPC 数据服务器的访问，RSView 访问 ControlLogix 控制器就是当时的解决方案。直到 RSView SE 访问 ControlLogix 控制器的模式出现，除了保留 OPC 的方式，还推出了 Enterprise 的快捷连接方式，与早期的直接连接方式不同的是 Enterprise 具有数据访问的优化能力，可将数据集

中共用连接访问控制器，从而减轻网络负担，有效地交流数据。

3.3.2 ControlLogix 控制系统

针对首钢京唐1号5500m³高炉煤气干法除尘生产过程中各个工艺系统的不同控制要求和系统控制特性，选用罗克韦尔自动化的 ControlLogix 控制系统实现工艺系统的自动控制。主 PLC 选用 1756 系列模块，远程 I/O 选用 1794 系统模块。

ControlLogix 控制系统在简单易于使用的环境下，实现了卓越的性能。ControlLogix 控制器最大存储容量可达 8 兆，支持过程密集型的应用和快速运动控制应用。可以根据应用要求，选用不同存储容量的控制器。CompactFlash 卡可做程序的移动存储。多种处理器、多种通讯模块和 I/O 可以混合使用，不受限制。不需要处理器执行 I/O 的桥接和路由，随着系统的增大，可用网络把控制分布到另外的机架。

具有如下优点：

- 适合顺序、过程、传动和运动控制的模块化、高性能控制平台：每个 ControlLogix 处理器可以执行多个控制任务，减少所需要的控制器个数，这样，排错更快。可以分别触发多个周期任务以便达到更高的性能水平；

- 不加限制地混合多个处理器、网络和 I/O：ControlLogix 平台的高性能，一部分源于作为快速 NetLinx 网络操作的 ControlLogix 背板。ControlLogix 处理器，I/O 和通讯模块就象网络上的智能节点；

- 通用的编程环境和 Logix 控制引擎：无论选用的平台和网络，通过使用通用的控制模型，都可以降低系统成本，简化集成。组态和编程是一致的，无论程序开发还是系统维护，都可以少花力气；

- 连接到 NetLinx 开放式网络结构：在全厂范围内，从车间到管理层，从互连网到电子化制造应用，信息全部无缝通讯；

- I/O 模块种类繁多：模拟量、数字量和专用 I/O 模块满足应用要求。

ControlLogix 处理器提供模块化用户内存，能解决大量 I/O 问题。可以控制本地和远程 I/O。处理器可以通过 EtherNet/IP、ControlNet、DeviceNet 和 Universal Remote I/O 监控 I/O。

当在 ControlLogix I/O 机架内有多个处理器模块，甚至在 ControlNet 网内有多个处理器模块时，所有的处理器都可以从所有的输入模块读到输入值。任何一个

处理器都可以控制任何特定的输出模块。通过系统组态指定每个输出模块由哪个处理器控制。

ControlLogix 平台是机架式模块化安装。ControlLogix I/O 是背板安装的。电源直接安装在 ControlLogix I/O 机架的左端。ControlLogix I/O 机架有 4、7、10、13 或 17 槽之分。模块的安装完全和槽号无关;任何模块都可以安装在 ControlLogix I/O 机架的任意槽。ControlLogix I/O 模块的最大通道数是 32 通道。每个模块的可卸端子块的机械键控防止向模块施加错误的电压。不需要断开连线就可以更换 I/O 模块。

新一代 ControlLogix 控制系统,已从传统单纯的 PLC 和 DCS 控制转为 PLC 和 DCS 融合发展的方式。Logix 控制器平台是将高速离散控制、过程控制、协调传动控制、运动控制、批次控制和安全控制融于一体的一个控制平台。允许混合使用多个控制器、多种网络和 I/O。系统灵活性强、易于集成、模块化设计、开放式结构、特有的升级固件,使得系统在实际应用中功能强大、安全可靠。

此外,ControlLogix Gateway 作为一种工业控制网关产品,能够用作控制网(ControlNet)、以太网(EtherNet/IP)、DH+(Data Highway Plus)网和设备网(DeviceNet)的网桥和路由,方便地将不同的通信协议、不同厂家的设备数据整合到同一平台。

3.3.2.1 ControlLogix 系统组成

ControlLogix 控制系统以微处理器为核心,把先进的控制技术、通讯技术、计算机技术、CRT 技术与现场仪表有机地结合起来,实现对生产过程的集中监视、集中操作和分散控制,为生产提供了强有力的保证。由于该系统的内存量、控制器个数和网络类型可以根据具体应用来选择,所以相对于其他可编程控制系统语言,其结构更加灵活,使用更为方便。ControlLogix 结构简图如图 3.2 所示。

ControlLogix 系统的核心是 Logix 控制器,控制器以微处理器为核心。通过组态和编程,具有丰富的运动控制功能、顺序控制功能、传动及过程控制功能、运算功能,可直接采集来自现场的各类工艺过程数据,经处理、运算后,将检测信号送至操作站进行监视,将控制信号送至现场。具有可靠性高,扫描处理速率高等特点,并具有自动诊断功能。

RSView Studio 是操作人员和 ControlLogix 系统的人机接口,能够对大范围的生产过程进行监视和操作,还能够对收集到的信息加工处理和保存,对工艺参数

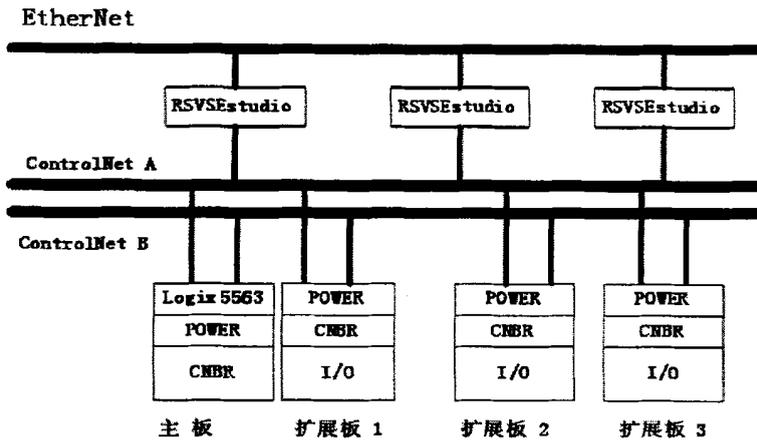


图 3.2 ControlLogix 结构简图

Fig.3.2 Schematic diagram of controllogix

进行实时显示和报警，实现对生产的集中监视、集中操作、集中显示、集中处理，具有数据保存报警显示及打印、报表生成、多种显示及对控制回路实施操作等功能，方便对生产的控制和管理。

主机架是控制站的核心部分，主要由控制器(Logix)、电源模块、通讯模块(CNBR)、输入/输出模块等组成。

扩展机架和远程 I/O 从站由各种信号输入/输出模块组成，这些模块主要包括：模拟量输入/输出模块、PT100 热电阻温度信号输入模块、开关量输入/输出模块以及通信模块(CNBR)。

以太网(EtherNet)使用标准网络管理协议，利用以太网处理器内置的通信能力，使用以太网和标准指令可获得高性能的对等通信。基于 WindowsNT/XP 操作系统的主计算机，通过 RSlinx 软件，其应用程序可直接在以太网处理器之间建立通信；使用 RSLogix 编程软件对处理器控制程序进行编程、调试；用 RSView 人机界面软件进行综合数据采集和信息管理。

控制网(ControlNet)主要实现控制器、输入/输出模块以及 RSView32(上位机)间的通讯，是联系上位机和下位机的桥梁。

CNBR(通讯模块)是联系机架与系统的纽带。可用十系统间数字量、模拟量的数据传递和交换。ControlLogix 系统所有的模块都可以热插拔，这意味着可以在不停机的状况下进行更换和修理。

冗余系统硬件(SRM)的基本结构是两个完全一样的控制器框架，冗余系统结构示意图如图 3.3 所示，一个或更多个专由 ControlNet 网络构成的远程 I/O 网络，一

个与人机界面相连的上位 HMI 网络,可以是 ControlNet 网络,也可以是 EntnerNet/IP 网络。

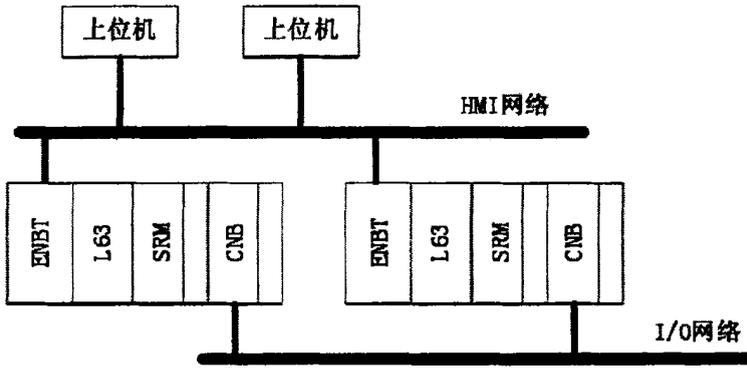


图 3.3 冗余控制系统结构示意图

Fig.3.3 Schematic diagram of redundancy control system

3.3.2.2 硬件配置

课题的研究对象除尘系统,工艺过程以顺序控制为主。操作人员对自动控制过程的管理则由中央控制室的操作站来完成。中央操作站与各现场控制站一方面各自相对独立地运行,从而将各种故障限制在局部范围内,极大地提高了自动控制系统总体的安全性和可靠性。因此,首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘控制系统主 PLC 选用 1756 系列模块,远程 I/O 选用 1794 系统模块。

PLC 的通信包括 PLC 各站点之间、PLC 与上位计算机之间以及 PLC 与其他智能设备间的通信。PLC 系统与通用计算机可以直接或通过通信处理单元、通信转接器相连构成网络,以实现信息的交换,并可构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统,满足工厂自动化(FA)系统发展的需要,各 PLC 系统或远程 I/O 模块按功能各自放置在生产现场分散控制,然后采用网络连接构成集中管理的分布式网络系统。

PLC 控制系统采用 ControlLogix 系统,用于完成对干法除尘系统的过程控制和参数检测。它的硬件组态是一个主机架和若干个远程 I/O 模块箱,系统硬件配置结构如图 3.4 所示。

干法除尘共有控制点数 3000 左右,根据控制点数和要求选用 CPU 1756,具有 8 MB 用户内存。鉴于干法控制系统的高可靠性要求,采用双 CPU

冗余配置。ControlLogix 提供有 2 种 CPU 冗余解决方法:一种为纯硬件冗余,另一种为软件冗余。硬件冗余方法,是将 2 个 CPU 模块插在不同的两个机架上,

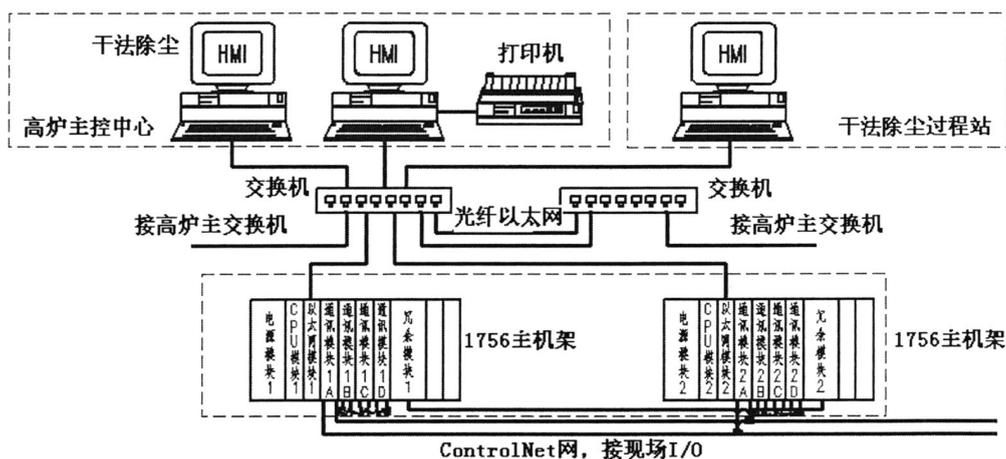


图 3.4 首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘自动化监控系统结构示意图

Fig.3.4 Automation monitoring system schematic diagram of 1# Shougang Jingtang blast furnace dry dusting system

每个机架上除了 CPU 模块，还要有通讯模块 CNBR、热备模块 SRM 和 2 个热备模块之间的链接光缆;软件冗余，是将 2 个 CPU 模块插在同一个框架上，利用背板通讯，进行冗余控制。纯硬件冗余的方式硬件投入较多，成本开支较大，但是优点明显，就是不需要软件进行专门的编程，CPU 的状态监视和控制权的转移是由 2 个热备模块来完成的。软件冗余中 2 个 CPU 模块的状态监视和控制权的转移是通过软件编程解决的。因此，软件冗余编程相对比较复杂，工作量较大。

为了更高的可靠性减少风险，本系统采用硬件方式实现 PLC 的双 CPU 冗余控制。为了通讯的可靠性和实时性，采用通讯网络冗余。另外，为实现除尘的可靠性和高效性，除尘系统的计算机网络控制系统主要由两级控制构成：监视级和过程控制级。

(1) 监视级包括网络操作站、打印机等。监视系统各设备的运转状态、过程数据、报警及引导内容的显示、设备操作、参数设定、报表打印等。网络操作站由两台工控机一用一备组成，通过共享电缆连接到同一台打印机，工控机配置 PLC 与 PC 机的 PP 工通讯接口卡，通过 ControlNet 总线电缆实现两台工控机的联网。

(2) 控制级由 AB 公司的 Logix5000 系列 PLC 控制器等构成。模块化、无风扇结构使系统构成灵活，易于实现分布，易于用户掌握。控制量模块包括数字量输入/输出、模拟量输入/输出，模块的数量和配置由当地工作站的所需控制和采集的点数所决定。

硬件具体组态和配置如下：在 1756 型主机架分别安装以下模块：机架左侧安

多功能。配备有可靠的输入、输出接口，可直接用于控制对象及外围设备，使用极为方便，即使在生产现场的恶劣环境中应用，仍能保证可靠运行。PLC 的硬件系统由中央处理单元、存储器、输入输出电路等组成。

PLC 包括 CPU 模块、I/O 模块、内存、电源模块、底板或机架，这些模块可以按照一定规则组合配置。

CPU 是 PLC 的核心部件，由运算器和控制器组成。主要用于：接收并存储从编程器输入的用户程序；检查编程过程是否出错；进行系统诊断；解释并执行用户程序；完成通信及外设的某些功能。

输入/输出接口(I/O 模块)是 PLC 与外界连接的接口。输入接口用来接收和采集两种类型的输入信号，一类是由按钮、选择开关、行程开关、继电器触点、接近开关、光电开关、数字拨码开关等的开关量输入信号。另一类是由电位器、测速发电机和各种变送器等来的模拟量输入信号。输出接口用来连接被控对象中各种执行元件，如接触器、电磁阀、指示灯、调节阀(模拟量)、调速装置(模拟量)等。

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘系统要求采用具有高性能、高可靠性并经济实用的可编程控制器 (PLC)。笔者在总结首钢首秦、首钢迁钢、济钢、重钢、宣钢高炉煤气干法除尘自动化控制系统的设计成功经验上，首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘自动化控制系统 PLC 选用 AB 1756 系列可编程控制器，主机架选用 10 槽结构，CPU 选用 1756-L63 8M 模块，PLC 主机架与远程 I/O 的通过 ControlNet 网相联。为进一步提高了系统的可靠性，主 PLC 和 ControlNet 网采用冗余系统。本系统共有 1 个主 PLC 柜和多个远程 I/O 箱。PLC 与上位工控机采用标准工业以太网连接。上位系统共有 3 台工控机，放在高炉主控中心和干法除尘控制室内（与 TRT 共用），用于系统监控。1794 模块的 I/O 系统，具有如下特点：

- I/O 采用接近现场设备的布置方式；
- 中央处理器与 I/O 通过冗余网线完成，与其他 I/O 模块站之间总线部分的进一步连接；
- 模块易于更换，即使是在带电的条件下，或者未切断信号电缆的条件下（热插拔技术）等。

设备控制级的主要功能是实现定时反吹自动控制、压差反吹控制、温度自动控制以及其他各种电机、阀门的逻辑控制。主控制站同时还和过程控制级计算机相连，接受过程监控级的指令和管理信息，并向上传送装置的实时运行数据。I/O

站直接与现场的各类装置(电磁阀、电动阀、气动阀、变送器和各种检测仪表等)相连,进行监测和控制。PLC 模块的功能,即控制系统实现的目标具体如下:

(1) 温度控制系统功能:在布袋室荒煤气入口总管上,3 个 DN2800 蝶阀启闭根据炉顶四点平均温度(t1)、旋风除尘器前温度(t2)及旋风除尘器后温度(t3)三者之一进行控制,荒煤气总管温度只作显示而不参与控制。投产之后查看温度历史数据,估算出炉顶温度(四点平均值)t1、旋风除尘器前温度 t2、旋风除尘器后温度 t3 间各段差值,炉顶至旋风除尘器前 $\Delta t1$;旋风除尘器前后 $\Delta t2$,如公式 3.1、3.2。在显示器画面中,可手动选取 t1、t2、t3 之一作为 3 个蝶阀的自动连锁控制参数,并在规定范围内输入。

$$\Delta t1 = t1 - t2 \tag{3.1}$$

$$\Delta t2 = t2 - t3 \tag{3.2}$$

在自动方式时,当荒煤气总管温度大于 260℃或重力除尘器后荒煤温度大于 280℃的时候,程序会自动把换热器管道上的 2 号和 3 号 DN2800 蝶阀打开并在开到位后才关闭 1 号 DN2800 蝶阀;当重力除尘器后荒煤气温度小于 250℃或者荒煤气总管温度小于 200℃的时候打开主管道 1 号 DN2800 蝶阀并在开到位后才关闭 2 号和 3 号 DN2800 蝶阀。在阀门设备检修时,上述阀门可以手动操作。生产时保证从重力除尘器出口的煤气通向干法除尘系统的一条通道是打开的,不能同时关闭两条通道。温度控制系统是通过换热器系统来实现,其系统流程图如 3.6 所示。

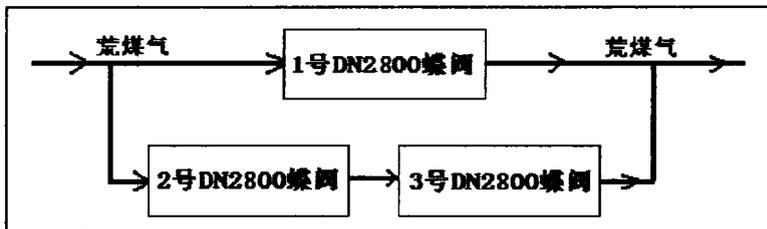


图 3.6 首钢京唐高炉煤气全干法除尘换热器系统流程图

Fig.3.6 Heat exchanger system process diagram of 1# Shougang Jingtang blast furnace dry dusting system

(2) 脉冲反吹控制系统的功能:脉冲反吹系统是布袋除尘系统的关键,共 16 个箱体(包括大灰仓),每个箱体 38(19+19)个脉冲阀,分两侧布置,24V 直流电接通后第一个脉冲阀启动,接通时间 0.1~0.3 秒(时间间隔可调)。向一排滤袋喷射氮气,完成一排滤袋的反吹清灰,第一个脉冲阀喷吹后 5~20 秒钟第二个脉冲阀动作(时间间隔可调),直到全部脉冲阀动作完毕,完成一个箱体的反吹工作,再自

动进行第二个箱体的反吹，直至所有工作箱体（1~15个）完成反吹。

若先关闭净煤气支管蝶阀反吹，称为离线反吹；也可以不关闭荒、净煤气蝶阀边过滤边反吹，称为在线反吹。全部操作由 PLC 完成。允许键盘手动操作。设计同时考虑离线反吹、在线反吹。离线反吹开始之前先将对应箱体的净煤气支管(箱体出口管)气动蝶阀关闭，得到蝶阀关到位信号后进行开始反吹，单箱最后一排反吹完成后，蝶阀打开，得到蝶阀开到位信号后开始进行下一个箱体的反吹。大灰仓反吹，脉冲阀按大灰仓压差值启动，称为定压差操作。压差约 2500Pa~3000Pa（数值可调），可选定一个值。也可以按时间操作，称为定时操作（时间可调），从连续反吹到数小时反吹一次。

(3) 卸灰系统控制功能：通过对2个DN150电动球阀，14个DN300球阀，14个DN300放灰阀，14个DN80球阀和28个仓壁振动器的控制，实现干法除尘系统的自动卸灰。当除尘器箱体的灰位达到高灰位时开始卸灰，当到低灰位时停止卸灰。

每次只能操作一个箱体,如果运行中有2个或2个以上的箱体同时到达高灰位,这时需要人工干预选择,保证同一时间只能对一个或二个箱体进行卸灰,防止灰量过大,堵塞输灰管道。布袋除尘灰由气力输送至大灰仓,如果用净煤气输灰,煤气经大灰仓净化后进入低压煤气管网;如果以氮气输灰,氮气经大灰仓净化后放散,大灰仓的灰由罐车运输。

PLC 模块具有实时地自动采样和处理整个干法除尘系统过程中的各类仪表参数信号值，并用于动态显示、超限报警和控制调节。

3.4 关键仪表设备的选型

首钢京唐1号5500m³高炉煤气干法除尘自动化控制系统设有完善的检测项目^[29]，进机显示、记录，并可显示曲线和历史记录。部分检测项目应具备声光报警功能。检测内容如下：

(1) 温度检测：重力（旋风）除尘出口、换热器出口、荒净煤气主管、箱体与大灰仓灰斗、换热器软水入口、换热器冷却水入口与汽包等温度检测，并显示高炉炉顶4点温度。

(2) 压力检测：荒、净煤气总管、大灰仓后煤气连通管、脉冲氮气管减压阀前后氮气压力、反吹风机出口煤气压力等。就地压力表设置的有：氮气包及减压阀

后、箱体分气包、各盲板阀前后等。

(3) 压差检测：荒净煤气总管、各布袋箱体进出口（荒净煤气支管）、大灰仓进出口、反吹风机进出口等压差检测。

(4) 流量检测：净煤气总管、反吹风机出口管、盲板阀与前置换热器供水管、氮气管、蒸汽管等流量和累积流检测量。同时显示炉顶喷水流量检测数据（检测点在炉顶系统）。

(5) 灰位检测：各箱体与大灰仓高、低灰位检测及大灰仓低灰位现场报警。

(6) 含尘量检测：荒净煤气总管、各箱体煤气出口支管、大灰仓出口管含尘检测与超标报警。采用净煤气放散办法检查各箱体及总管煤气含尘量情况。

(7) 煤气检测：对现场环境进行煤气浓度检测及报警。

3.4.1 料位计

大型高炉煤气干法除尘布袋室灰位的准确检测在实际生产中也是一项技术难题，因为煤气灰是粉末状粉尘，含有一些水份，温度范围在 $120^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间，且附近有仓壁振动器等，基于以上原因灰位计有时会产生误报信号，造成卸灰系统的不稳定，直接影响干法除尘的效果。料位计性能好坏将直接影响到迁钢高炉煤气干法除尘卸灰系统的稳定与否，该料位计选用分体式、耐高温并抗震的料位计，消除了高温的除尘灰及仓壁振动器对料位计的影响，从而大大减少了料位计信号的误报，消除了卸灰系统不稳定的隐患。

这种高炉干法除灰专用料位开关^[29]，涉及高炉干法除灰技术领域。由电器测量单元、探杆、法兰盘、护套、芯线组成，法兰盘与探杆焊接，电器测量单元内安装电器测量电路，该电路采用波阻抗测量原理构成，当芯线与探杆共同构成波导阻抗发生变化时驱动继电器发出动作信号而完成测量工作；探头的末端采用低介损、绝缘、耐高温材料制成一封闭护套。探杆与法兰盘构成支撑结构，芯线与探杆共同构成波导。优点在于，这种结构具有抗物料附着干扰的特点，能适应高炉干法除灰的各种工况而且性能稳定。

3.4.2 含尘量在线监测系统

含尘量在线监测装置是检验高炉煤气干法除尘效果的重要检测设备，也是保

证后续炉顶煤气压差发电(TRT)系统或热风炉系统长期稳定运行的重要设备之一,因此对含尘量在线监测装置的研究与改进是一个重要的课题。首钢京唐高炉煤气干法除尘含尘量在线监测装置的传感器表面采用特殊涂敷材料等,避免了由于高炉煤气中含有水份导致传感器表面粘结灰尘,从而提高了该装置的稳定性。

(1) 问题与分析

在大型高炉炼铁技术领域,高炉煤气干法除尘后煤气中粉尘含量的在线监测^[33],一直是个技术难题。因为煤气中不仅含有粉尘,而且还含有一些水份,煤气温度范围在120℃至220℃之间,瞬时峰值温度能达到260℃,温度变化较大,当系统工况不稳定时,基于以上原因都会造成干法除尘器中的布袋结露或非正常破损。粉尘浓度升高,如不及时采取措施将会导致后续压差发电TRT系统或热风炉系统不能稳定运行。高炉煤气属于易燃易爆有毒气体,且高炉煤气干法除尘系统作为整个高炉系统的一个重要环节,该系统一旦投入运行很难随时停止,不易进行实时检修。基于以上情况,大型高炉煤气干法除尘技术中的含尘量在线监测成为一个技术难题。研究和设计出一套高炉煤气干法除尘含尘量在线监测装置。该系统可以在线检验高炉煤气干法除尘的效果,保证后续炉顶煤气压差发电(TRT)系统或热风炉系统长期稳定运行,是实现煤气干法除尘数字化自动控制的关键技术。

(2) 含尘量在线监测系统原理

高炉煤气含尘量在线监测系统采用电荷感应原理。在流动粉体中,颗粒与颗粒,颗粒与管壁,颗粒与布袋之间因磨擦、碰撞产生静电荷,形成静电场,其静电场的变化即可反映粉尘含量的变化。含尘量在线监测系统就是通过测量静电荷的变化,来判断布袋除尘系统的运行是否正常。当布袋破裂时,管道中气、固两相流粉尘含量增加,同时静电荷量强度增大。插入箱体输出管道中的传感器及时检测到电荷量值并输出到变送器。图3.7中1.传感器,2.变送器,3.安全栅,4.系统主板,5.供电单元,6.液晶显示器,7.PLC系统。

(3) 含尘量在线监测系统设计及创新点

下面结合附图和具体实施对含尘量在线监测系统做详细说明。在图3.6中:传感器1,包括布袋除尘器各箱体净煤气出口传感器、荒煤气总管传感器和净煤气总管传感器检测电荷信号,根据箱体数量的增加,传感器的数量也相应的增加;

变送器 2 进行从电荷信号到电压信号的转换，并进行硬件补偿，根据传感器数量的增加，变送器的数量也相应的增加；安全栅 3 具有本安防爆功能；系统主板 4 用

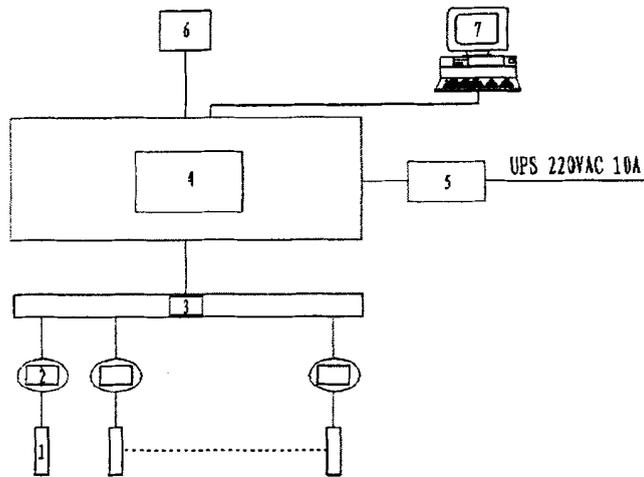


图 3.7 高炉煤气含尘量在线监测系统的示意图

Fig.3.7 Online Monitoring System for Dust Content Schematic Diagram

于 A/D 转换及数据补偿；供电单元 5 为系统供电；液晶显示器 6 以棒图格式显示各布袋净煤气出口。

由传感器测得电荷信号进入到变送器，经过电荷信号到电压信号的转换并进行补偿后，进入安全栅阵列进行防爆隔离，然后进入系统主板进行 A/D 转换及补偿，最后以 4~20mA 标准电流信号输出。

当任一箱体有布袋破裂时，会使该箱体含尘量值上升，同时净煤气总管的含尘量值也会略有上升，此时系统即可在监视盘和上位机上显示故障状态，并发出报警信号，易于维护和操作人员及时采取相应的措施。

(4) 含尘量在线监测系统的环境、社会效益分析

首钢京唐 5500m³ 高炉应用含尘量在线监测系统定量监测含尘量的数值，达到了定量分析的程度，具有明显的社会效益。由于高炉煤气毒性很大，如果人工用肉眼定性分析高炉煤气含尘量的变化，需要操作人员去现场作业，应用含尘量在线监测系统能够远程自动监测高炉煤气含尘量的数值，操作人员不需要去干法除尘现场观察含尘量的变化，这提高了安全生产水平，保证了操作人员的人身安全。

本章小结：首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘工程包括换热器系统、布袋除尘系统、卸灰系统。自动化控制系统是工程最重要的组成部分之一，该系统设备包括 1 个 PLC 柜，1 个在线监测柜，机旁操作箱及各种检测设备。首钢京

唐1号高炉煤气全干法除尘工艺流程图。首钢京唐1号5500m³高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且水平较高，该系统完成了对入口温度、589个脉冲阀、清灰系统、以及155个工艺阀门和仓壁振动器的远程自动监控。

本章详细阐述了基于现场总线、可编程控制器、工业微机和工业以太网的综合自动化技术在该系统中的应用，以及高炉煤气全干式布袋除尘器自动控制的全过程。该自动控制系统结构合理，技术先进，已正常稳定运行，值得在特大型高炉煤气干法除尘中推广和借鉴。

该高炉煤气全干法除尘控制系统的创新点：在过滤反吹控制方面，吸取了国内外的经验教训，进行了深入的实际分析和理论探索，采取双排对吹的动作控制时序，很好地解决了布袋直径长引起的反吹不到位的问题；PLC主机架与远程I/O和智能电气柜是通过ControlNet网相联的方式节省了大量的电缆，也保证了信号的可靠性；冗余系统的设计和UPS电源系统的应用保证了系统的可靠性。

并针对类似工程在运行中出现的问题，对关键仪表的选型提出了改进意见，重点论述了料位计和含尘量在线监测系统的优化设计；采用电荷感应原理：通过测量静电荷的变化，来判断布袋除尘系统的运行是否正常，传感器表面采用特殊涂敷材料，接地网的制作采用传感器端悬空而在变送器端接地的连接方式，硬件及软件补偿，技术达到国内领先水平，为冶金行业重点推广应用该技术做出了积极的贡献。

第4章 控制系统软件设计与实现

本章从软件平台设计、下位 PLC 功能模块编程实现和上位组态及监控系统等方面,详细阐述了本控制系统软件的设计与实现。目前,首钢京唐1号5500m³特大型高炉采用了高炉煤气全干法除尘技术,摒弃了特大型高炉一直采用的湿法除尘工艺,创造了高炉煤气全干法技术在特大型高炉上成功应用的世界新记录。

4.1 软件平台设计

4.1.1 下位编程软件 RSLogix

RSLogixTM 系列编程软件包提供了纯 32 位的,极具灵活性和易用型的 PLC 编程工具软件,它可以最大程度地发挥可编程控制器的性能、介绍工程项目开放时间并提高生产率。该系列工具软件包括了运行在 Microsoft Windows 操作系统下的 RSLogix 5/500/5000,其中 RSLogix 5 用于 PLC-5 产品家族的编程;RSLogix 500 用于 SLC 500™和 MicroLogix 1000 系列可编程控制器的编程;RSLogix 5000 用于 ControlLogix 产品家族的编程。RSLogix 编程软件包提供了相同的、极具易用性的操作界面,还提供了可靠的通讯能力,强大的编程功能和卓越的诊断能力^[31]。

RSLogix 5000 编程软件是针对 ControlLogix 系列可编程控制器 32 位以 Windows 操作系统为基础的梯形图逻辑编程软件包。基于 IEC61131-3 标准,RSLogix 5000 功能更加强大,更加方便实用。RSLogix 5000 编程软件除了为顺序控制提供梯形图编程外,还可以为运动控制提供完整的编程及调试支持。使用 RSLogix 5000 软件可以完全实现对模块的设置和监视,通过 I/O 实现 ControlLogix 背板连接,所有模块相关数据都包含在一个处理器数据对象中,这便于配置、监视和连接模块参数。这种方法大大加快开发和集成的速度,并使得启动和故障诊断更容易。

RSLogix 5000 编程软件还充分发挥 Logix 系列的以下功能和特性:

- 基于标记的寻址方式使得编程更加轻松:在 Logix 可编程控制器中,处理器可直接运用实名标记,可根据数据在应用中的用途来命名有意义的标记,这使得程序具有更高的可读性,大幅减少了工程的时间和费用,也能减少编程和调试运

行中的错误，更加便于维护；

- 自定义的数据结构：ControlLogix 系统允许自己定义适合生产要求的数据结构，而不是像传统 PLC 那样为适应控制器的要求去存储数据。因此，用户可以建立各种适合自己需求的数据结构，在开发和维护过程中都使程序更加便于阅读；

- 自由-格式的梯形图编辑器，用户在书写程序时专心于应用程序的逻辑而不用注意语法的对错；

- 强有力的工程校验器，用户可用其创建错误清单，在方便的时候进行修改；

- 拖放式编辑功能，用户能够在数据文件之间快速移动数据表元素，在子程序或工程之间快速移动梯级，或在一个工程内部的梯级与梯级之间快速移动指令；

- 查询和替换功能，能够快速改变特定地址或符号的值；

- 用户数据监控器功能，可同时显示独立的数据以观察它们之间的相互作用；

4.1.2 上位软件 RSView SE

罗克韦尔自动化的 RSView SE 监控软件是集成式的、组件化的人机接口产品^[30]，提供了所需的建立一个有效的监视和管理系统的全套工具，它运行在微软 Windows XP 或 Windows 2000 操作系统下，它利用 ActiveX、VBA、OPC 技术提供了监视、控制以及数据采集等的功能。而且，RSView SE 支持 ODBC、OLE2.0，方便系统的功能扩展或数据库连接和存取功能。

RSView SE 是高度集成、基于组件并用于监视和控制自动化设备和过程的人机界面监控软件。RSView SE 通过开放的技术与其它罗克韦尔软件产品、微软产品以及第三方应用程序的高度兼容。

- 开放的图形显示系统通过 OLE 容器方式支持 ActiveX 控件——可供选择的第三方 ActiveX 控件有数千种，用户可以方便地将现有解决方案添加到 RSView SE 项目中。

- 通过对象模型的开发实现对 RSView32 核心功能的调用，同时也允许 RSView SE 与其它基于组件技术的软件产品实现互操作。

- 以业界流行的微软 VBA 作为内置编程语言，可以最大限度地实现对 RSView SE 项目的扩展和自定义。

- 支持 OPC 标准，可以快速、方便地与众多生产制造商的硬件设备实现可靠

的通讯，同时也可以作为 OPC 服务器向其它 OPC 客户端提供服务。

- RSVIEW SE 的标签配置、报警配置和数据记录都与 ODBC 完全兼容。
- RSVIEW SE 和 RSLinx 为数据采集、控制和传输提供了最为有力的组合。
- 重复利用标签数据库，RSVIEW SE 可以重复利用在可编程逻辑控制器梯形图内创建的标签，只需要打开标签浏览器，用鼠标选取需要使用的标签即可。
- 通过系统级的安全设置和等级的项目安全设置来确保项目的安全运行。
- 通过微软功能强大的内置编程语言以及其它方便灵活的特点来实行监控项目的最大化。

4.1.3 通讯软件 RSLinx 及网络配置软件

RSLinx 为现场设备连接众多罗克韦尔软件提供全套的通讯服务，这些软件包括 RSLogix5/500/5000、RSVIEW SE 等。同时，RSLinx 还提供了数种开放接口用于与第三方人机界面系统、数据采集/分析系统、客户应用程序软件进行通讯。RSLinx 支持多个应用软件同时与在不同网络上的不同设备进行通讯。

RSLinx 中集成了众多设备配置和监视工具，仅需要用鼠标选取和点击所需设备就可以完成相应的操作。RSLinx 提供了网络所需的全套通讯驱动程序，包括对传统的 Allen-Bradley 网络的支持以及对最新、功能强大的 ControlLogix Gateway，所支持的硬件产品包括 PCMCIA 卡，串口和基于计算机的网络适配器等。

RSLinx 是专门为罗克韦尔自动化品牌的系列 PLC 产品所开发的数据通讯服务软件。运行于 Windows XP/2000 操作环境下，提供 PLC 产品和其它基于 PC 的应用软件如编程软件、HMI 软件等的数据通讯驱动和接口。其功能包括：

- 广泛的设备连接能力。提供罗克韦尔自动化的全系列 PLC 产品连接能力。从 PLC-5 产品到最新的 ControlLogix 集成网关系统，从自有协议到开放的现场总线协议；
- 提供集成网络设备浏览环境，提供驱动设置、故障诊断等功能。提供网络、站点、DDE/OPC 通讯诊断功能；
- OPC 通讯驱动支持。RSLinxTM 可以作为 OPC 服务器，向其它的 OPC 客户机提供应用数据存取必要的接口。除此之外，RSLinx 还提供通用 DDE、FAST DDE、Advance DDE 等多种数据通讯方式。RSLinxTM 客户机能够通过 TCP/IP 网络访问

RSLinx 网关设备，数据的通讯同样可以通过 DDE/OPC 实现，而且支持远程 OPC 应用，可以和车间级进行动态数据交换，实现数据的显示、记录、趋势图等。

网络配置软件 RSNetWorx for ControlNet：该软件提供对国际控制网协会的 ControlNet 网络的设计、配置及管理。RSNetWorx 允许最大限度地提高 ControlNet 网络设备的生产能力。通过简单的软件界面迅速地对网络上的设备进行设置。这些设置可以在“离线”方式下通过“拖/放”设备图标的操作方式进行，也可以在 RSLinx “在线”扫描 ControlNet 网络的方式进行。RSNetWorx 有如下功能：

- 充分利用“生产者/消费者”通讯模式信息传递的优越性，定义网络上设备的输入/输出数据，便于设备之间相互通讯。
- 单键式操作实现整个网络配置的上载/下载。
- 网络时序排定和带宽计算。
- 鼠标点击式配置。
- 丰富的设备资源库。
- 配置冲突诊断。
- 配置控制器与 I/O 设备之间的关系。
- 自动对网络上设备的输入/输出数据表与控制器内存之间进行映射。
- 通过添加 EDS 电子数据表更加容易地实现对新型设备的支持，真正实现多设备供应商设备之间的兼容与互操作。

4.2 下位 PLC 功能模块编程实现

首钢京唐高炉煤气全干法除尘控制系统的程序创新点：在过滤反吹控制方面，吸取了国内外的经验教训，进行了深入的实际分析和理论探索，采取双排对吹的动作控制时序，很好地解决了布袋直径长引起的反吹不到位的问题。

ControlLogix PLC 的编程软件是 RSLogix5000 软件包。Logix 5550 系列可编程控制器操作系统是一种抢先多任务系统，遵循 IEC1131-3 标准。该系统平台可提供多任务用于组态控制器执行；另外该系统采用抢先机制，这种机制允许中断正常执行的程序，并将控制切换到另一个不同的任务，一旦中断任务完毕，再将控制切换回原先的任务。一个任务可以为一组或多组程序提供时序安排及优先级信息，这些程序是按照特定的标准来执行。

任务可组态为连续方式或周期方式。连续任务是按照自启动方式运行。每当

任务执行完成时，连续任务将重新启动自己。连续任务是作为最低优先级的任务

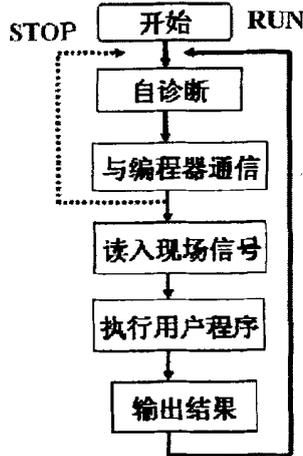


图 4.1 PLC 运行流程示意图

Fig.4.1 Schematic diagram of PLC running

来运行。这意味着所有的周期性任务都可以中断连续任务。连续任务是一种后台任务,因为所有没有分配给其它操作的 CPU 时间都被用来执行连续任务中的程序。周期性任务,即可选定时中断,它是由操作系统按照一个重复的时段来触发。这种类型的任务对于要求精确执行或确定执行的工程很有用。PLC 运行程序结构图 4.1 所示^[32]。

根据上述 ControlLogix PLC 的特点,我们将控制系统中的顺序逻辑控制任务定义为连续性任务。整个控制系统采用模块化/结构化编程方法:根据控制对象、

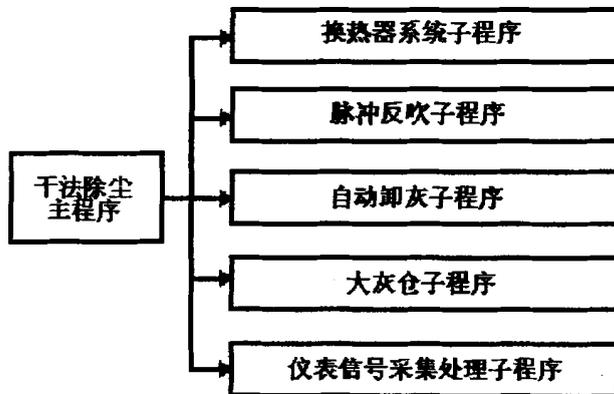


图 4.2 PLC 控制系统程序结构框图

Fig.4.2 Program structure block diagram of PLC control system

控制目的的不同把控制程序分为若干控制部分, PLC 控制系统程序结构框图如图 4.2 所示。由主程序在每次扫描周期中依次调用来实现各自的控制功能。这种结构

化编程方法使得程序的查阅、功能的扩充变得更加容易，大大增强了程序的灵活性、可读性、实用性和维护性。

4.2.1 换热器系统的自动控制

换热器系统包括 3 个 DN2800 电动蝶阀、2 个 DN2800 眼睛阀和自动补水装置。3 个 DN2800 蝶阀启闭根据炉顶四点平均温度 (t1)、旋风除尘器前温度 (t2) 及旋风除尘器后温度 (t3) 三者之一进行控制，荒煤气总管温度只作显示而不参与控制。投产之后查看温度历史数据，估算出炉顶温度 (四点平均值) t1、旋风除尘器前温度 t2、旋风除尘器后温度 t3 间各段差值，炉顶至旋风除尘器前 $\Delta t1$ ；旋风除尘器前后 $\Delta t2$ ，如公式 4.1、4.2。在显示器画面中，可手动选取 t1、t2、t3 之一作为 3 个蝶阀的自动连锁控制参数，并在规定范围内输入。

$$\Delta t1=t1-t2 \tag{4.1}$$

$$\Delta t2=t2-t3 \tag{4.2}$$

在自动方式时，当荒煤气总管温度大于 260℃或重力除尘器后荒煤温度大于

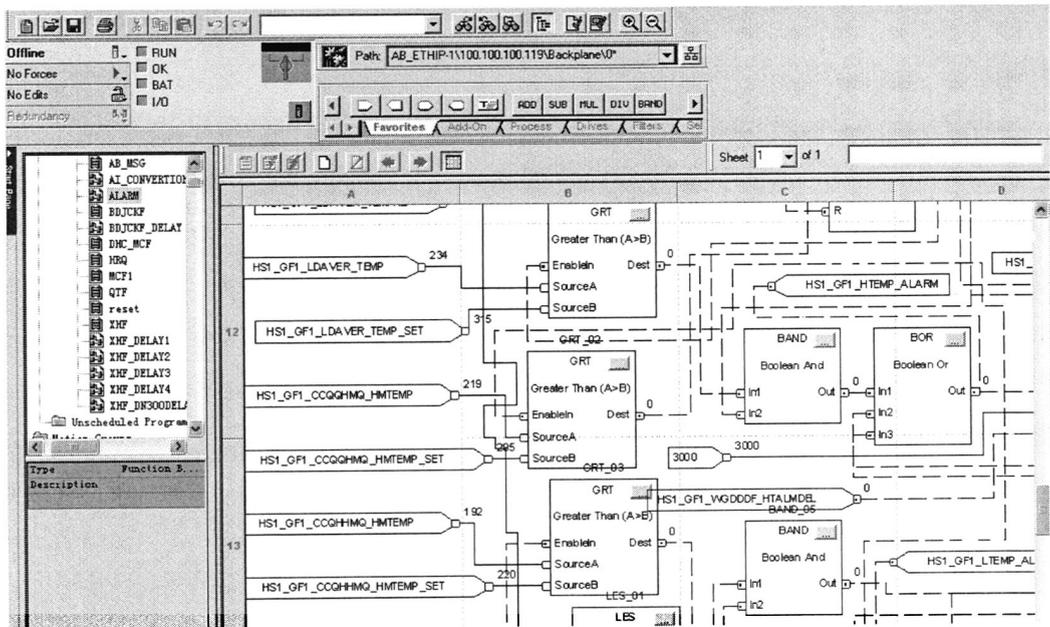


图 4.3 换热器控制系统 PLC 程序简图

Fig.4.3 Schematic diagram of PLC program for heat exchanger system

280℃的时候，程序会自动把换热器管道上的 2 号和 3 号 DN28200 蝶阀打开并在开到位后才关闭 1 号 DN2800 蝶阀；当重力除尘器后荒煤气温度小于 250℃或者荒煤气总管温度小于 200℃的时候打开主管道 1 号 DN2800 蝶阀并在开到位后才关闭

2 号和 3 号 DN2800 蝶阀。在阀门设备检修时，上述阀门可以手动操作，程序实现示意如图 4.3 所示。生产时保证从重力除尘器出口的煤气通向干法除尘系统的一条通道是打开的，不能同时关闭两条通道。

4.2.2 脉冲反吹的自动控制

脉冲反吹系统是布袋除尘系统的关键^[38]，共 16 个箱体（包括大灰仓），每个箱体 38(19+19)个脉冲阀，分两侧布置，24V 直流电接通后第一个脉冲阀启动，接通时间 0.1~0.3 秒(时间间隔可调)。向一排滤袋喷射氮气，完成一排滤袋的反吹清灰，第一个脉冲阀喷吹后 5~20 秒钟第二个脉冲阀动作(时间间隔可调)，直到全部脉冲阀动作完毕，完成一个箱体的反吹工作，再自动进行第二个箱体的反吹，直至所有工作箱体（1~15 个）完成反吹。

布袋室反吹，脉冲阀按荒、净煤气总管压差值启动，称为定压差操作。压差约 2500Pa~3000Pa（数值可调），可选定一个值。也可以按时间操作，称为定时操作（时间可调），从连续反吹到数小时反吹。

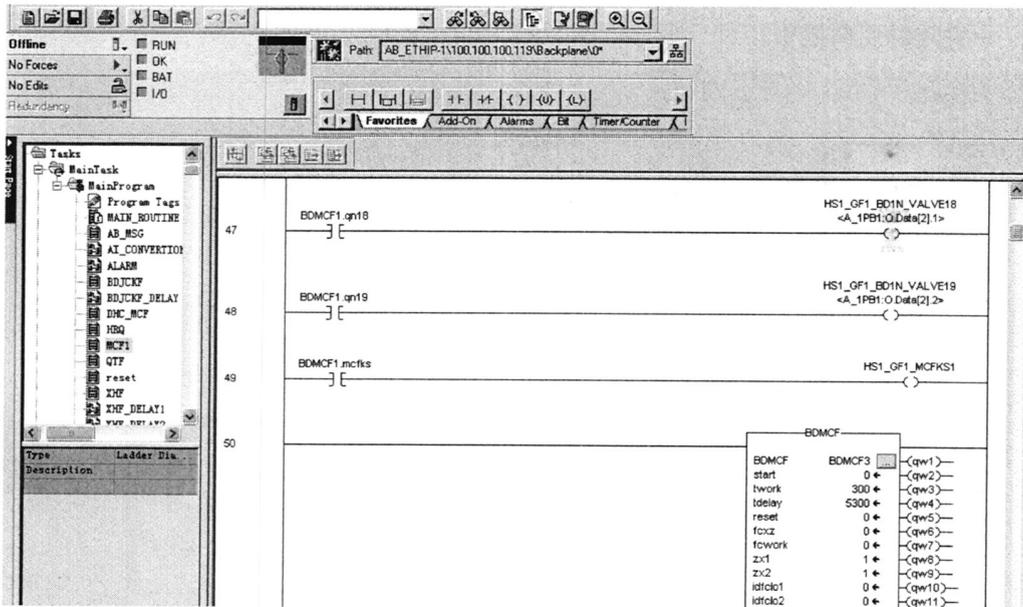


图 4.4 脉冲控制系统 PLC 程序简图

Fig.4.4 Schematic diagram of PLC program for pulse system

若先关闭净煤气支管蝶阀反吹，称为离线反吹；也可以不关闭荒、净煤气蝶阀边过滤边反吹，称为在线反吹。全部操作由 PLC 完成。允许键盘手动操作。设计同时考虑离线反吹、在线反吹。离线反吹开始之前先将对应箱体的净煤气支管

(箱体出口管)气动蝶阀关闭, 得到蝶阀关到位信号后进行开始反吹, 单箱最后一排反吹完成后, 蝶阀打开, 得到蝶阀开到位信号后开始进行下一个箱体的反吹。大灰仓反吹, 脉冲阀按大灰仓压差值启动, 称为定压差操作。压差约 2500Pa~3000Pa (数值可调), 可选定一个值。也可以按时间操作, 称为定时操作 (时间可调), 从连续反吹到数小时反吹一次。上述程序实现示意如图 4.4 所示。

4.2.3 自动卸灰

通过对2个DN150电动球阀, 14个DN300球阀, 14个DN300放灰阀, 14个DN80球阀和28个仓壁振动器的控制, 实现干法除尘系统的自动卸灰。当除尘器箱体的灰位达到高灰位时开始卸灰, 当达到低灰位时停止卸灰, 其程序如下:

- (1) 打开DN150煤气电动球阀或DN150氮气电动球阀;
 - (2) 打开DN80气动球阀;
 - (3) 打开DN300气动卸灰阀;
 - (4) 开启仓壁振动器;
- 关闭时反向操作。

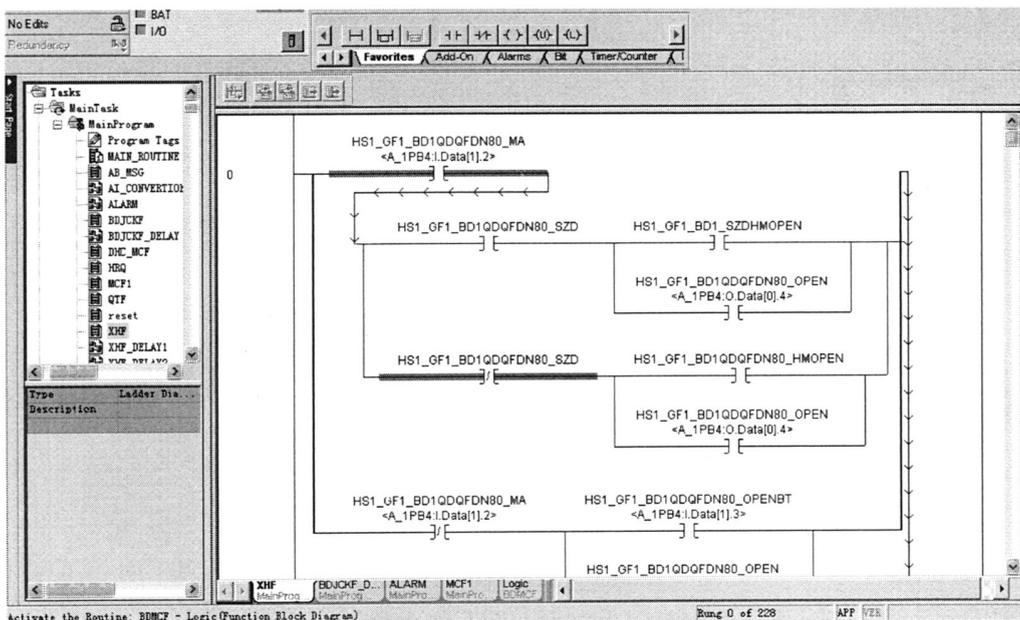


图 4.5 卸灰系统 PLC 程序简图

Fig.4.5 Schematic diagram of PLC program for removing ash system

每次只能操作一个箱体, 如果运行中有 2 个或 2 个以上的箱体同时到达高灰位, 这时需要人工干预选择, 保证同一时间只能对一个或二个箱体进行卸灰, 防

止灰量过大，堵塞输灰管道。布袋除尘灰由气力输送至大灰仓，如果用净煤气输灰，煤气经大灰仓净化后进入低压煤气管网；如果以氮气输灰，氮气经大灰仓净化后放散，大灰仓的灰由罐车运输。其程序实现示意如图 4.5 所示。

仪表信号采样处理子程序：它实时地自动采样和处理整个干法除尘系统过程中的各类仪表参数信号值，并用于动态显示、超限报警和控制调节。

4.3 上位组态及监控系统的实现

上位监控系统就是介于操作员与 PLC 控制系统之间的一个平台，操作人员可以通过监控系统与 PLC 控制系统进行信息、数据的处理和交流。

为了现场操作人员的安全以及工厂的监控方便，首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动化控制系统的上位操作系统软件选用 Windows 2000 Professional 中文版操作系统。上位组态软件选用 RSView SE，通过上位组态软件，不但可以画出逼真的图形，还能将现场数据快速显示在屏幕上；它可以通过 CRT 上的按钮来取代真正的按钮完成对现场设备的操作；它能将数据库的数据按时间存放在数据文件里供历史趋势文件调用显示，这样就能把几小时、几天、甚至几个月前的数据用数据曲线的形式展示给用户，以便分析事故和改进工艺。完成对图 4.6 工艺系统的监控，组态软件实现以下功能：

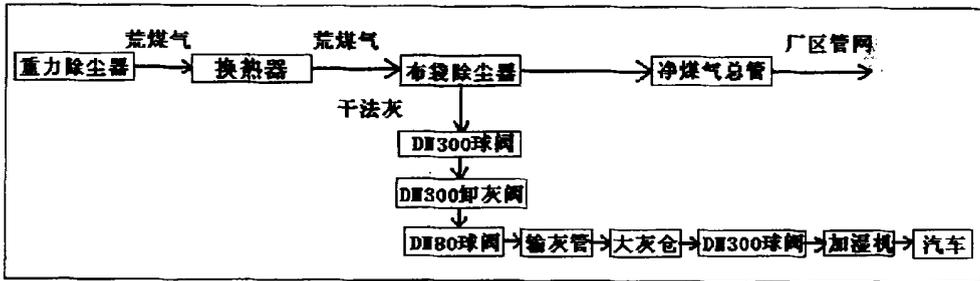


图 4.6 首钢京唐 1 号高炉煤气全干法除尘工艺流程图

Fig.4.6 Technological process diagram of Shougang Jingtang 1# blast furnace dry dusting system

首钢京唐 1 号高炉干法除尘监控系统软件主要实现了下列功能：

(1) 生产过程实时监控功能

远程实时监控是监控组态软件 RSView SE 的主要功能。在监控操作主机上的操作画面显示整个干法除尘系统的全过程工艺流程图以及重要工艺设备的详细状态图，在各流程图上能直观地、实时地显示系统所有电气设备、检测仪表的工作

状态和工艺参数、设备位号等。在工艺流程模拟图中采用动态画面对生产过程的设备状态、过程变量（如：温度、压力、重量和料位等参数）进行实时显示，可以便于操作人员能够及时准确地掌握整个生产过程系统的运行情况，并且能够对现场设备的故障进行实时诊断和处理，以便更高效地安排设备的启停以及生产调度。

工艺图的切换。监控程序提供各个工艺子系统的图形界面，通过按钮可以切换至不同界面，来展现各个生产工艺部分的生产实际情况和相关信息。

(2) 控制方式的选择：控制系统提供两种控制方式：自动控制方式和手动控制方式。可在监控程序界面上通过选择按钮设定。手动操作方式为自动控制操作方式的一种补充，为控制系统在检修和调试中使用。

(3) 参数设置：根据生产工艺的变化要求，在线调整过滤反吹时间、周期、温度控制值等参数。

(4) 报警和故障记录和显示功能

报警管理功能会在出现故障时提醒操作人员并显示记录故障信息。报警类别包括模拟量的超限报警和数字量的状态报警。对于如温度、压力、料位等一些重要的模拟量输入参数进行自动检测和实时报警，当重要参数超越上下限和设备出现报警、故障时，同时采用实时声光报警并应用色彩和闪烁变化表示各种报警信息和联锁保护措施，并且根据不同的报警级别，以不同的警报方式提示操作人员，将报警时间、报警名称、报警原因等报警信息记录在数据库中，以便查询。本监控系统从报警的类型、发生时间等方面作了细致的设计，能及时反映生产过程运转状态，快速处理各种报警、事故，排除故障，保护设备，保证生产正常运作。

(5) 实时或历史趋势图显示功能

实时趋势显示。监控程序提供了管道流量、压力等实时趋势曲线的显示，通过选择按钮，可以显示不同的趋势曲线，从而可以使技术人员及时了解生产状况。可便于操作人员能及时掌握生产过程的工作趋势，及时地做出相应的调整，以达到确保稳定生产、提高产品质量的目的，而系统工艺参数的历史趋势图便于更详细的数据分析和处理，以便得到更完善、更丰富的生产过程控制经验。

(6) 数据报表统计和打印

系统中有一些重要数据：如荒煤气总管温度、进口总管温度、含尘量数值等等，掌握这些数据，能更好地掌握系统运行情况，提高生产效率，达到节能增效

的目的。监控系统可对各种工艺参数及设备运行状态进行数据统计和历史记录归档，系统的数据报表功能利用 RSView SE 的开放式设计和 Windows 操作系统资源共享的特点，把 RSView SE 和 Excel 程序结合起来，利用动态数据交换、ODBC 技术和 Visual Basic for Application 形成了格式灵活、界面美观且可查询的日报表、月报表及统计报表等多种形式的报表，方便生产管理者的查询和打印。

(7) 安全管理功能

监控系统还具有安全级别设置功能：分为管理级和用户级。分级的安全措施给不同用户赋予不同权限，不同权限的操作人员以键入密码的形式行使不同的权利、使用不同的功能，对所使用的显示画面、命令、标签进行保护，从而更好地保证生产的顺利进行。

首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动化监控系统画面有：主画面，组 1 控制画面，组 2 控制画面，灰仓控制画面，框架外参数，含尘量画面，报警列表，历史曲线，报表等。详细情况如下：

4.3.1 主画面

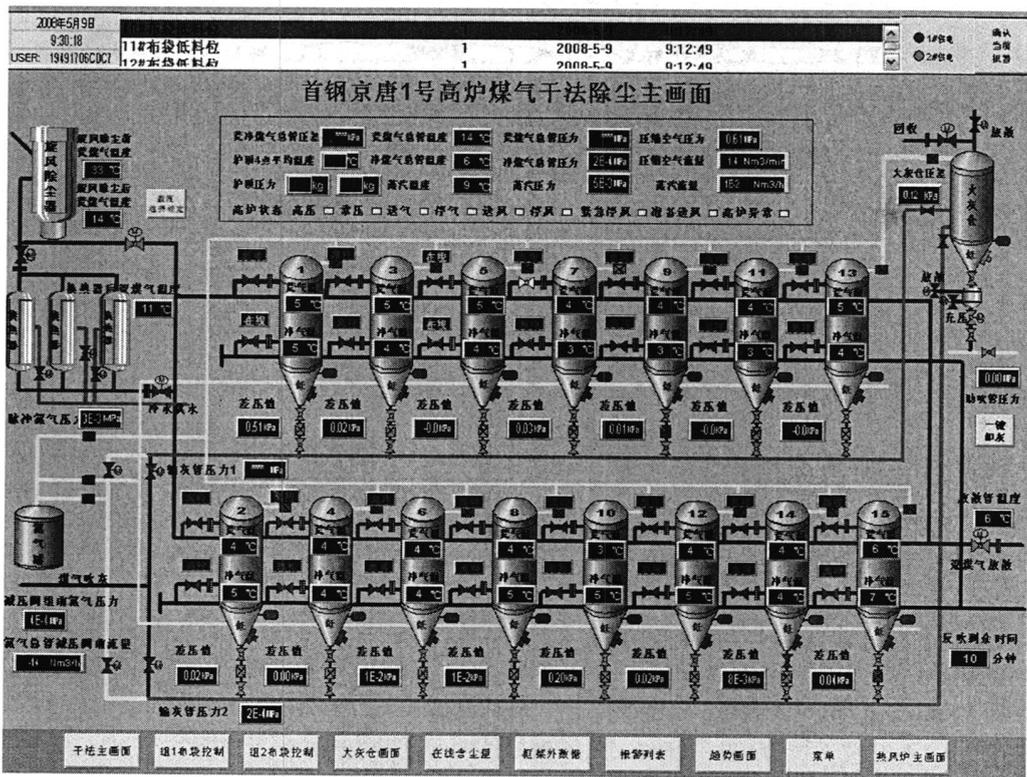


图 4.7 首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘主画面

Fig.4.7 Main diagram of Shougang Jingtang 1# blast furnace dry dusting system

主画面是整个系统的总体工艺流程图，显示设备的状态和一些重要的模拟量参数。首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘主画面如下图 4.7。

画面底部的按钮是可以连接到其他的各个画面。若点画面上的阀门或泵，会弹出来小窗口画面（左键点击弹出控制画面，右键点击弹出状态画面）。在画面上显示从现场仪表采集来的数据。

4.3.2 组 1 和组 2 控制画面

组 1 控制画面：奇数布袋控制画面（其中包括 1#，3#，5#，7#，9#，11#，13# 等除尘器）(分为 4 个画面循环)，可以通过“切换按钮”循环切换，也可以通过“返回按钮”返回到主画面。首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘组 2 画面如下图 4.8。

组 2 控制画面：偶数布袋控制画面（其中包括 2#，4#，6#，8#，10#，12#，14#，15#等除尘器）(分为 4 个画面循环)，可以通过“切换按钮”循环切换，也可以通过“返回按钮”返回到主画面。左侧显示区域内部分重要的模拟量参数，其他模拟量参数采用就近放置的原则。

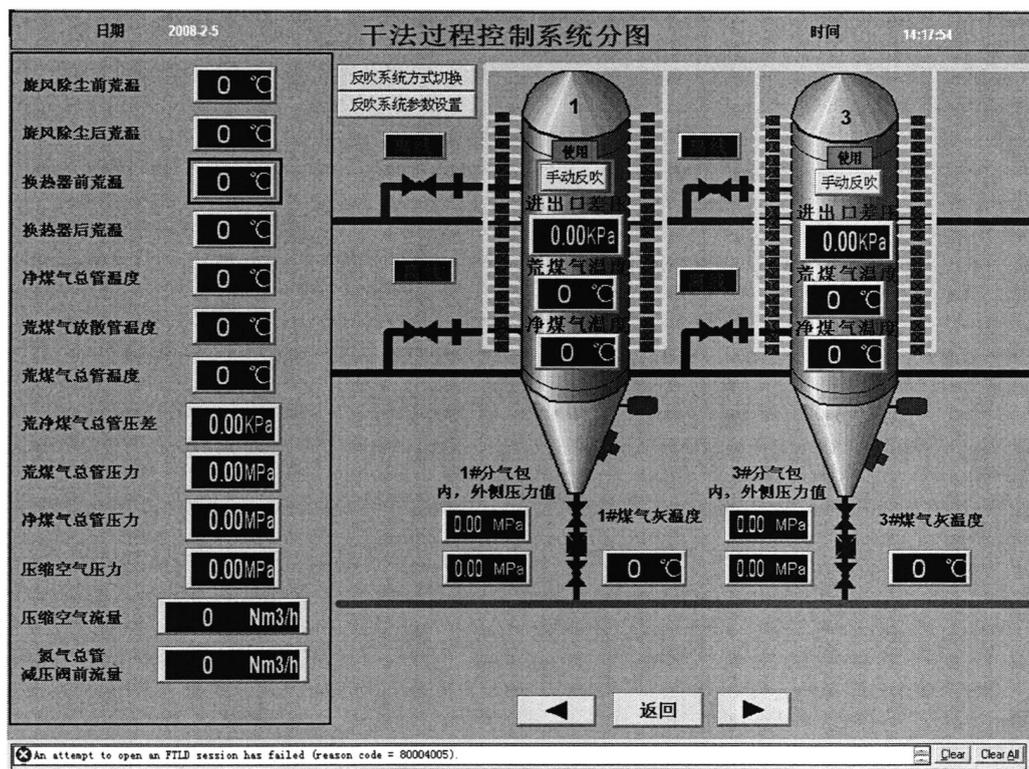


图 4.8 首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘系统组 1 画面

Fig.4.8 Diagram of 1# dust collector in Shougang Jingtang 1# blast furnace dry dusting system

4.3.3 灰仓控制画面

灰仓控制画面：大灰仓控制画面，可以通过“返回按钮”返回到主画面。首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘灰仓画面如下图 4.9。参数画面：主要显示与换热器、阀门冷却水，压缩空气等模拟量数据。报警列表画面：显示各状态的报警。报警列表中显示一些模拟量参数达到极限值的报警信息。历史历史曲线：用曲线方式形象的反映过去一段时间所发生的事件。

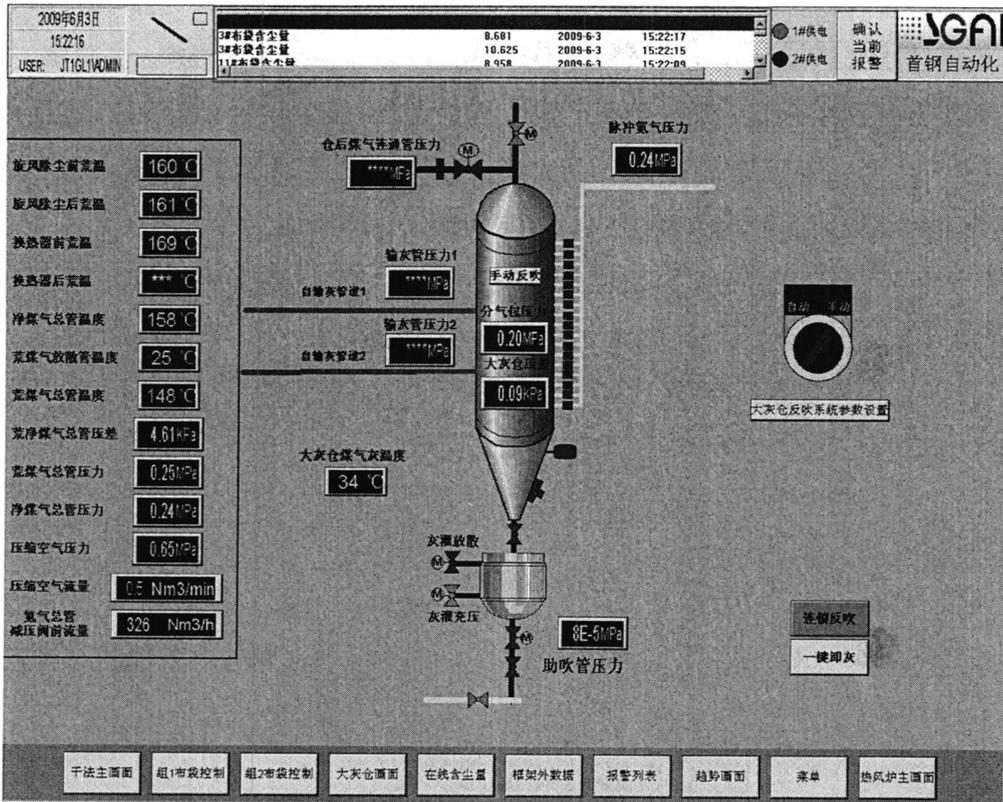


图 4.9 首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘系统灰仓画面

Fig.4.9 Diagram of big dust collector in Shougang Jingtang 1# blast furnace dry dusting system

本章详细阐述了其软件平台设计，下位 PLC 功能模块编程实现，上位组态及监控系统实现等。首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉煤气干法除尘自动控制系统复杂且水平较高，该系统完成了对入口温度、589 个脉冲阀、清灰系统、以及 155 个工艺阀门和仓壁振动器的远程自动监控。基于现场总线、可编程控制器、工业微机和工业以太网的综合自动化技术在该系统中的应用，以及高炉煤气全干式布袋除尘器自动控制的全过程。该自动控制系统结构合理，技术先进，已正常稳定运行，值

得在特大型高炉煤气干法除尘中推广和借鉴。

传统的湿法除尘有很多弊病，主要在于耗水量大、有污染、能耗高、运行费用高。湿法净化煤气含水多，TRT 发电能力相对较低，降低高炉煤气热值，从而影响热风温度。相对湿法，干法除尘可以省掉几乎全部水电，和同级别的高炉湿法除尘相比，京唐高炉干法除尘每年可以节约循环水量约 2500 万 t，节约新水约 130 万 t，节电 2.0×10^7 kWh，大大减少了运行费用；采用煤气干法除尘技术，TRT 出电已达到 50kWh/t，比煤气湿法除尘增加发电量 30%以上，每年干法除尘比湿法除尘多发电约 6.0×10^7 kWh；干法除尘煤气热值高，可提高热风温度，降低焦比，节约焦炭；另外还可以省去污泥、污水处理费用等。高炉煤气干法除尘技术具有高性价比、节能环保等特点，有广阔的市场推广前景。首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘后的含尘量棒图如下图 4.10，除尘指标高于国家标准。

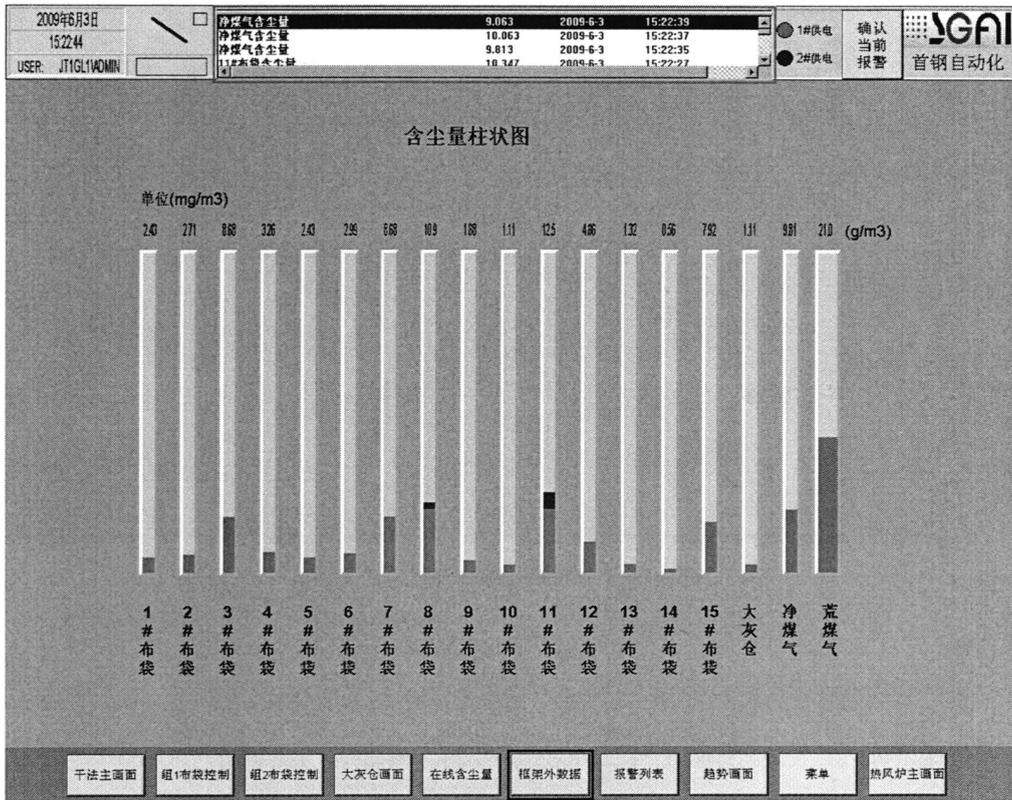


图4.10 高炉煤气全干法除尘后的含尘量棒图

Fig.4.10 Schematic diagram of Shougang Jingtang 1# blast furnace dry dusting system dust load of blast furnace gas

第 5 章 结论与展望

本文详细阐述了基于现场总线、可编程控制器、工业微机和工业以太网的综合自动化技术在该系统中的应用，以及高炉煤气全干式布袋除尘器自动控制的全过程。该自动控制系统结构合理，技术先进，已正常稳定运行，值得在特大型高炉煤气干法除尘中推广和借鉴。

该高炉煤气全干法除尘控制系统的创新点：在过滤反吹控制方面，吸取了国内外的经验教训，进行了深入的实际分析和理论探索，采取双排对吹的动作控制时序，很好地解决了布袋直径长引起的反吹不到位的问题；PLC 主机架与远程 I/O 和智能电气柜是通过 ControlNet 网相联的方式节省了大量的电缆，也保证了信号的可靠性；冗余系统的设计和 UPS 电源系统的应用保证了系统的可靠性。

并针对类似工程在运行中出现的问题，对关键仪表的选型提出了改进意见，重点论述了料位计和含尘量在线监测系统的优化设计；采用电荷感应原理：通过测量静电荷的变化，来判断布袋除尘系统的运行是否正常，传感器表面采用特殊涂敷材料，接地网的制作采用传感器端悬空而在变送器端接地的连接方式，硬件及软件补偿，技术达到国内领先水平，为冶金行业重点推广应用该技术做出了积极的贡献。

高炉煤气干法除尘是炼铁技术中发展很快，已经是大面积推广的一项新技术，它在净化效率、节水、节能、环保、节省土地、节约资金和提高劳动生产率方面有着明显的优势。完全符合循环经济原则、实现资源节约型和环境友好型社会的要求。大型高炉干法除尘技术将向稳定、高效方向发展，通过各方努力，共同攻关，力争使干法除尘成为高炉煤气净化工艺的最佳选择

为了将首钢京唐公司建设成为能源循环型的钢铁联合企业，首钢京唐 1 号 5500m³ 高炉采用全干式低压脉冲布袋除尘技术对高炉煤气进行除尘，取代以往湿法除尘系统，并实现全过程的自动监控，有着明显的社会 and 经济效益^[39]。首钢京唐 1 号高炉煤气干法除尘采用了先进的自动控制系统后，与湿法除尘相比，全干法除尘系统有着明显的优越性。这为推动特大型高炉向节能、环保、高效方向的发展做出了贡献^[40]，创造了高炉煤气全干法技术在特大型高炉上成功应用的世界新记录，为世界钢铁行业节能环保做出了突出的贡献^[41]。

干法除尘技术及控制系统虽然已经在大型高炉成功应用，并且迅速推广，但是还不十分成熟，需要研究的课题还很多，如：过滤面积、滤速、反吹间隔的关系；煤气温度变化规律与调节控制（煤气升温、降温）技术进一步的研究；高炉操作与干法除尘生产关系的研究；高炉喷吹对干法除尘的影响研究；其他如设备、工艺、材料、自动化检测等深入研究等。并尽快推广规程、规范，使设计、制造、安装、检验、操作、安全等都有法可依，保障这项节能环保技术健康成长。

参考文献

1. 北京首钢设计院.《首钢京唐钢铁联合有限责任公司炼铁厂可行性研究报告》，内部资料，2005，2-3.
2. 北京首钢设计院.《首钢京唐钢铁联合有限责任公司炼铁厂初步设计》，内部资料，2006，6-7.
3. 侯健.首钢国际工程公司自主知识产权特大型高炉煤气全干法袋式除尘技术[J]，《世界金属导报》，2009，1-3.
4. 任绍峰，张福明，刘燕，付海锋，刘飞飞，周为民.首钢京唐 5500 m³高炉煤气干法除尘自动化控制系统的创新设计与实现[M]，北京：冶金工业出版社，《2009 中国钢铁年会论文集》，2009，40-43.
5. 任绍峰，张福明等.高炉煤气干法除尘含尘量在线监测装置，中国专利号：ZL 200520112339.7，2006，1-2.
6. 张建，张福明，陈玉敏，章启夫等.高炉煤气低压脉冲布袋除尘器，中国专利号：ZL 200420118845.2，2006，1-2.
7. 马维理，任绍峰.PLC 在首秦 1200m³高炉煤气干法除尘自动化监控系统中的应用[J]，《设计通讯》，2005，(2)：38-40.
8. 任绍峰，马维理.PLC 在迁钢 2650m³高炉煤气干法除尘控制系统中的应用[J]，2006，41(2)：422-425.
9. 任绍峰，马维理，胡国新.济钢 1750 m³高炉煤气全干法除尘自动控制系统[J]，2007，31(2)：1-3.
10. 周为民，任绍峰.GE Fanuc 的 9070 PLC 在重钢 1350 m³高炉煤气干法除尘自动化监控系统中的应用[M]，北京：GE 公司，《GE Fanuc PLC 文集》，2006，190-193.
11. 张福明.现代大型高炉关键技术的研究与创新[J]，《工程与技术》，2008，(1)：17-22.
12. 张建，高鲁平等.高炉煤气干法除尘技术在大高炉上的应用[M]，北京：冶金工业出版社，《2005 中国钢铁年会论文集》，2005，268-271.
13. 张建，高鲁平，陈玉敏等.高炉煤气干法除尘技术探讨[M]，北京：冶金工

- 业出版社,《2007中国钢铁年会论文集》,2007,124-125.
14. 任绍峰,张福明等.北京市优秀人才培养资助项目(20071D0101100002),大型高炉煤气干法除尘专家系统开发与应用,2008,6-8.
 15. 马竹梧.《炼铁生产自动化》[M],北京:冶金工业出版社,2005,8-22.
 16. 刘祥官,刘芳.《高炉炼铁过程优化与智能控制系统》[M],北京:冶金工业出版社,2005,4-16.
 17. 王茂华,汪保平,惠志刚.高炉过程控制与专家系统[J],《山东冶金》,2005(3):26-29.
 18. M. S. Siddall. Blast furnace stochhouse automation[J], iron and steel,1991,32(1):68-69.
 19. William Brogan. Modern control theory[J]. NJ: Prentice Hall, 2000,(2):36-37.
 20. 姚朝胜,刘忠泉.莱钢高炉煤气全干法除尘技术[M],北京:冶金工业出版社,《2005中国钢铁年会论文集》,2005,699-700.
 21. 李奇勇.1050m³高炉煤气干法除尘技术应用[J],《冶金能源》2005,(2):38-40.
 22. 张建,张福明等.高炉煤气干法除尘降温装置,中国专利号:ZL200420118842.9,2006,1-2.
 23. 张建,张福明,章启夫等.高炉煤气干法除尘蒸汽升温装置,中国专利号:ZL200520001691.3,2006,2-3.
 24. 张建,张福明,章启夫等.高炉煤气干法除尘热管升温装置,中国专利号:ZL200520001690.9,2006,1-3.
 25. Rockwell Automation,ControlLogix 1756 系统用户手册[Z]. 2003.
 26. OPC Foundation. Data access automation interface standard version 2.02. Seattle: Micorsoft Corporation, 1999,58-59.
 27. Rockwell Automation, ControlNet 系统概述[Z], 2003.
 28. 首钢国际工程公司,高炉煤气干法袋式除尘设计规范,GB50505-2009,12-14.
 29. 来秀海,张福明等.一种高炉干法除灰专用料位开关,中国专利号:200820123017,2008,5-6.
 30. Rockwell Automation, RSView SE user's guide[Z], 1999.

31. 李福军. 生阳极制造过程控制系统的设计与实现[D], 沈阳东北大学, 2008..
32. 唐守才. 焦化筛焦除尘控制系统的设计与实现[D], 武汉科技大学, 2008.
33. 任绍峰, 张福明, 马维理, 周为民, 刘燕, 章社砥. 大型高炉煤气含尘量在线监测系统的设计与实现[J], 2008, 32(1): 1-2.
34. 张嗣瀛, 高立群. 现代控制理论[M], 北京: 清华大学出版社, 2006, 1-4.
35. Kresta J V, Marlin T E, MacGregor J F. Multivariable statistical monitoring of process operating performance[J]. Can J of Chem Eng, 1991, (2):38-40.
36. Li Quanshan, Pan Lideng. An identification method based on the improved NLJ algorithm and its application[J]. Chemical Engineering, 2007,15(2):1-5.
37. XU Ping, WEN Haiwei, Xue Bin, et al. Application of multi-grades distributive process control system in the man-made board plant[J]. Basic Automation, 2002,(3):35-36.
38. 黑伟亮, 谢剑英, 王林. 新型布袋除尘控制系统的设计与实现[J], 自动化仪表, 2006, (3): 56-57.
39. 何君中. 高炉煤气布袋除尘是重要的环保节能工程[J], 《冶金环境保护》, 2000, (6): 25-28.
40. 毛庆武, 高鲁平, 韩庆等. 高炉煤气重力除尘器, 中国专利号: ZL 200420118844.8, 2006, 1-3.
41. 张福明, 王毅, 张建等. 高炉煤气干法除尘罐车输灰装置, 中国专利号: ZL 200420118843.3, 2006, 3-4.

致 谢

本论文是在导师高宪文教授的悉心指导和热情鼓励下完成的。导师高尚的人格、扎实的理论基础、严谨的治学作风、对教科研执着的追求和无私的奉献精神，这将使我一生受益。本人在攻读东北大学控制工程硕士期间，得到了导师高宪文教授在论文选题、研究方法和论文撰写等方面的亲切指导和敦促；特别是在论文的完善和修改方面，高老师在百忙中仔细审阅本论文，耐心指导，经常周末加班到晚上九点多，在此表示衷心的感谢！同时感谢东北大学任课老师几年来不辞辛苦，一如既往地远赴首钢为工程硕士班传授知识。

诚挚的感谢百忙之中为我评审论文的各位专家和学者，感谢李鸿儒教授在论文完善阶段给予的耐心指导和淳淳教导！

感谢东北大学和首钢总公司联合培养工程硕士研究生，这给本人提供的良好学习平台和环境；感谢首钢国际工程公司和电气自动化室给本人创造的有利学习条件。

感谢首钢国际工程公司以教授级高级工程师张福明、高鲁平、张建、毛庆武等为主导，多名中青年工程师如陈玉敏、章启夫、侯健等为骨干的高炉煤气干法除尘工艺技术团队；感谢以技术专家刘燕、胡国新、马维理、周为民和工程技术人员刘飞飞等为核心的电气自动化技术团队；感谢现场工程技术人员付海锋工程师和老一辈科技工作者；感谢致力于高炉煤气干法除尘和冶金自动化研究的国内外同仁等。你们做出的大量工作为本人提供了坚实的基础，在此一并感谢！

最后，特别感谢我爱人，正是那些默默的支持、理解和鼓励激励着我不断地进步！