

东北大学

硕士学位论文

高炉上料自动控制系统的设计与实现

姓名：黄文钰

申请学位级别：硕士

专业：控制工程

指导教师：李鸿儒

20070301

高炉上料自动控制系统的设计与实现

摘 要

高炉上料系统具有工艺复杂, 规模大, 危险性大的特点。首钢 2 号高炉技术改造工程是首钢进行结构调整和全面提升炼铁技术及装备水平, 提高炼铁工序的市场竞争力的最重要工程之一。为了提高生产效率, 加强自动化程度, 提高系统稳定性, 简化操作, 首钢二高炉废弃了原有的自动控制设备, 采用了一套全新的自动控制设备和控制工艺。

本论文以作者参与完成的首钢二高炉大修改造工程上料自动化系统为背景, 内容包括系统的总体设计、网络结构、系统的硬件软件组成、专家系统概述, 并就人机接口界面和控制应用软件等多方面进行了详细的阐述。其中对其中对无料钟顶的先进的多环布料系统的控制策略进行了深入研究。用 iFIX 软件开发平台组成监控站, 监视、控制设备和自动化过程。电气控制部分可编程控制器 (PLC) 采用施耐德公司的 Quantum 系列, 使用 Concept 做为 PLC 的开发软件。PLC 系统完成现场数据采集、逻辑运算、联锁、数据处理及输出执行指令等功能。HMI 上生成并修改上料制度, 并发送给 PLC, PLC 按预先设定的配料顺序自动地将炉料配好装入焦斗和矿斗中, 根据炉顶指令将炉料通过皮带送到无料钟炉顶。无料钟炉顶采用旋转溜槽多环布料新工艺, 实现了比大钟上料更均匀的布料。实现了整个给料、配料、称量、输送、布料过程全自动。

根据设备的控制需要, 本着先进、高可靠、易操作、兼容性好的原则, 改造后的系统, 引进了芬兰罗德洛基公司的专家系统, 该专家系统开发了 47 个规则组, 共 1163 个规则, 为操作人员提供了优化的操作指导及预警功能。

关键词: 高炉; 上料系统; 多环布料; 专家系统

Design and Application of charging automatic control on Blast Furnace

Abstract

The charging system in blast furnace has the feature of complicated technology, large scale and high fatalness. ShouGang NO.2 Blast Furnace rebuilding project is an important project for increasing competition ability and improving the automation and equipment level completely. For the purpose of increasing the production efficiency and obtaining a stable and easy operation, friendly human machine interface and high level automation system, ShouGang has discarded the old control system and adapted brand new automatic control equipments and technology.

This paper use ShouGang NO.2 Blast Furnace charging system rebuilding project which has accomplished by author and some other engineers as background. The content of this paper includes the overall design of the new automatic control system, network structure, system hardware and software, expert system introduction, especially focus on the detail of advanced many ring distribution control technology for the bell-less top charging equipments. The HMI (human machine interface) which developed with iFix software is responsible for monitoring and controlling the equipments and automatic control progress. And the PLC hardware is Quantum PLC with the Concept as its developing software. The PLC controlling system is responsible for the field data acquisition, logic arithmetic, and communication with HMI. The HMI generated and maintained the charging recipes and sent the sequence initiations to PLC that then started the equipments. The system applied the many rings distribution technology on the bell-less top equipments which used the chute to distribute the charge. The distribution chute in this system is rotating and distributes the charge into the furnace more uniformly than was possible with the older bell charging system.

Using the advance, high reliability, easy operation and good compatibility as the principle, this rebuilding project introduced the expert system from Finland. The expert system has developed 47 principle groups、1163 principles which provided optimized operation instructions and predicted warning for the operator.

Key words : Blast Furnace; Charging system; Many ring distribution; Expert system

独创声明

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诚挚的谢意。

学位论文作者签名：黄文豹

签字日期：2007.3.1

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。

（如作者和导师同意网上交流，请在下方签名：否则视为不同意）

学位论文作者签名：黄文豹 导师签名：

签字日期：2007.3.1 签字日期：

第一章 绪论

1.1 高炉上料系统简介

炼铁是在高炉内进行还原反应过程，从铁矿石中将铁还原出来是高炉冶炼最基本的任务^[1]。炉料、矿石、燃料和熔剂从无钟炉顶装入炉内，从鼓风机来的冷风经热风炉后，形成热风从高炉风口鼓入，随着焦炭燃烧，产生热煤气由下向上运动，而炉料则由上而下运动，互相接触，进行热交换，逐步还原，最后到炉子下部，还原成生铁，同时形成炉渣。积聚在炉缸的铁水和炉渣分别由铁口和出渣口放出。

高炉冶炼过程的特点是，在炉料与煤气逆流运动的过程中完成了多种错综复杂地交织在一起化学反应和物理变化，且由于高炉是密封的容器，除去投入（装料）及产出（铁、渣及煤气）外，操作人员无法直接观察到反应过程的状况，只能凭借仪器仪表间接观察^[2]。

总之，高炉炼铁的全过程可以概括为：在尽量低能量消耗的条件下，通过受控的炉料及煤气流的逆向运动，高效率地完成还原、造渣、传热及渣铁反应等过程，得到化学成分与温度较为理想的液态金属产品^[2]。

高炉生产是生铁制造的主要手段，在钢铁企业的生产中占有重要位置，同时也具有极高的挑战性。高炉生产为后续的炼钢、轧钢工序提供原料，常常成为钢铁生产的瓶颈，它的安全稳定的生产至关重要。也正因为如此，高炉过程自动化系统被列为“十五”冶金自动化重点推广及研发技术。高炉上料生产工艺具有过程连锁复杂，所需控制的设备多、分布广、故障危险性大等特点，因此实现整个上料系统集中自动化控制就成为高炉高效、安全生产的关键因素。一般高炉上料系统包括炉顶系统、选程配料系统、仓下系统、液压站和润滑站等部分组成。高炉要实现对高炉上料系统集中控制的关键问题在于如何将高炉上料系统各部位随机变化的状态信息及时、精确、可靠地采集到计算机控制系统中，通过控制应用程序的运算和逻辑解算，把准确的信号送到相应的外部设备，把整个系统的控制有机地结合起来。PLC 技术为自动化控制提供了可能性。随着微电子技术、大规模集成电路技术、计算机技术和通讯技术的发展，PLC 在技术和功能上都实现了前所未有的飞跃。下面就作者所完成的首钢二号高炉上料计算机自动控制系统，通过高炉上料计算机自动控制系统的网络结构、硬件组成、系统软件、人机接口界面和控制应用软件、专家系统等多方面，论证如何用计算机自动控制系统实现对高炉上料系统的自动控制，其中特别分析了炉顶布料的控制策略。

1.2 国内外高炉控制系统发展现状和趋势

1.2.1 高炉计算机控制的发展

高炉生产采用自动化控制是非常早的,最初只是采用简单仪表和电控装置。第二次世界大战后开始真正使用自动化技术和装置,当时自动化实质上包括仪表和电气传动两大部分,这两部分几乎是彼此独立,没有关联的。仪表主要是热工参数的测量及简单的回路控制,来保证生产的正常进行及节约能源。电动装置主要使用远距离控制及继电器连锁,以后才发展到对上料和配料的控制。随着技术进步,仪表发展为组合的单元,集合了电气的,气动的和液压的多种技术。控制电路方面为由电子管、晶体管逻辑电路发展为大、中、小集成电路及大规模的集成电路计算机控制系统。电气传动方面,从简单的调节,继电器连锁发展为使用交磁放大机、磁放大器及晶闸管等^[3]。无论是国外还是国内的高炉自动化控制都经历了这样的技术发展过程。因此,要适应信息化电子化的发展,信息技术的三大核心技术—信息采集技术(传感技术)、信息传递技术(通讯技术)和信息处理技术(计算机技术)必须跟上人类信息化发展的需要^[4]。

计算机控制是当今最为活跃的技术之一,目前在高炉生产的许多领域都显示出了很好的发展势头。计算机控制是高炉自动化的一个重要标志,它对提高高炉生产率和生铁质量、降低燃料消耗以及延长高炉寿命等方面具有巨大作用^[5]。在现代的高炉自动化控制中,以微机为核心的 PLC 取代了传统的硬线控制系统,以其在工业恶劣环境下仍能高可靠性工作,及抗干扰能力强的特点获得了广泛应用。

PLC 的发展与计算机技术,半导体集成技术,数字技术,控制技术,通讯技术以及网络技术的发展有着紧密联系。

它的功能发展由简单的逻辑运算发展到数据传送、数据比较运算、步进控制、PID 等高级控制直至网络通讯功能;处理器也由 1 位处理器发展为 8 位处理器、16 位处理器直到 32 位处理器;存储容量更是成倍的增长。

随着控制要求的提高,简单的逻辑控制已经不能满足过程控制的要求,对控制的精度和速度都有了更高的要求,从而推动了计算机技术的发展,反过来 PLC 得益于计算机技术的发展,又不断发展并更新换代,适应了控制的要求。

PLC 与计算机的重要区别是它能适应工业恶劣环境的要求,因此能广泛的应用于各个工业领域。

针对 PLC 工作在工业环境中的特点,在 PLC 的设计中主要针对以下方面采取了特

殊设计:

屏蔽: 对整个 PLC 系统设计了屏蔽功能, 以防止电场和磁场的干扰。

滤波: 对 I/O 输入大多采用了滤波, 以防止高频干扰和模块间的耦合。

隔离: 为了防止外界地线或其它干扰信号影响 CPU, 甚至导致 CPU 损害, CPU 与其 I/O 回路间大都采用光电隔离。

电源: PLC 对所使用的电源都有很高的要求, 除了有过电压、过电流等保护措施, 一般都有抗电压波动及高频干扰的能力。

模块化的结构: 为了便于用户维护, PLC 采用了模块化的设计, 各扩展模块都有功能和故障指示灯, 便于用户诊断。一旦出现模块损坏, 更换起来也非常方便快捷。有些厂家的 I/O 模块甚至支持在线插拔, 在 CPU 不停机, 不影响生产的情况下就完成了损坏模块的更换。

诊断电路: 加入了负责 PLC 环境检测及模块工作状况的诊断监测工作电路。

Watchdog: PLC 以循环扫描方式工作, 看门狗电路检测整个项目程序的执行时间, 如果一个扫描周期内, 扫描周期过长, 不能在预设的时间内完成, 看门狗电路会及时报错, 以便用户及时处理故障^[6]。

在自动化发展的中期, 主要是以 PLC 为核心的基础自动化, 以及完成监控任务的过程自动化。PLC 对于自动控制的发展具有特别重要的意义。由于工厂是一个充满着噪声的环境, 发动机, 电线, 焊接机器, 甚至闪烁的荧光灯都可能产生电噪声。PLC 有复杂的存储器检测机制, 能保证 PLC 的存储器不会被噪声或其它因素破坏。因而具有强的抗噪声能力。可编程逻辑控制器 (PLC) 已成为工业领域中一种完整的不可缺少的工具^[7]。随着电子技术的迅猛发展, 今后的发展趋势是 PLC 产业开发出更多针对网络、行业、工艺及特殊功能的高性能的 CPU 及功能模板。另外, 发展更多更专业的高技术含量的数学模型和充分应用人工智能, 并结合更有效的管理优化数学模型也是一种发展趋势。人类的最终目标应该是实现无人化生产。国内外许多公司通过不断的技术改革, 已经把原来需要多人操作的岗位降到 1-2 人。日本钢管公司 5 号高炉应用专家系统操作已实现连续两周无人自动操作。这说明复杂的高炉过程也完全可以脱离人而由计算机控制。高炉的无人化操作不再是人类的梦想, 而成为高炉自动化控制的发展趋势。

1.2.2 国内外高炉计算机控制对比

早期的高炉计算机控制以美国、德国、法国等国家为代表, 主要的计算机控制功能

是数据的采集和处理、报表的制作、上料设备的顺序控制及热风炉的 PID 调节等。

到了七十年代,日本几大钢铁公司在高炉自动化控制的研究中取得的重大成果,先后开发并实际应用了很多数学模型,并同时开发了许多先进的检测仪表,如微波料面仪、炉身探尺等。

到了八十年代中期,以日本钢管公司为代表,开始将人工智能技术特别是专家系统应用到高炉上,极大的提高了控制的精度和可靠性。同一时期,美国、加拿大、芬兰等国家也开始投入大量的人力、物力,开发高炉控制数学模型及检测仪表,并取得了突出的进展^[8]。

钢铁生产是中国重工业中最重要的行业之一,自动化控制对高炉至关重要。由于上料控制的复杂性,一些先进的技术往往率先应用在高炉上。高炉自动化是可编程控制器最早的应用行业之一。施耐德电气公司作为进入中国 PLC 产品市场最早的厂家,在 1983 年在首钢集团公司的高炉上使用 Modicon984 系列产品,控制高炉上料部分的设备,这是中国人首次自行使用 PLC 产品实现高炉上料的自动化控制。此后,自动化控制产品被广泛使用在国内各大钢铁企业中,应用也扩展到原料场的原料处理、焦化处理、炼铁前的烧结部分以及高炉本体控制。

我国的高炉计算机控制,起步非常晚,但是发展相当迅速。首钢、唐钢、宣钢、湘钢等大中型高炉包括一些中小高炉,都相继上了计算机控制系统。我国的高炉自动化控制已具备了比较完善的基础自动化和过程自动化功能。特别是宝钢的 3 号高炉,其控制水平已接近世界先进水平。

我国的计算机控制正处于蓬勃发展时期,但与世界先进国家相比,我国还存在很大的差距。首先,普遍缺少品种齐全、性能优良、工作可靠的检测仪表;其次,普遍缺少复杂的、技术先进的高炉数学模型^[8]。

因此,我们应该从我国国情出发,认清高炉计算机控制的重要性,随时了解国内外的自动化的发展水平和先进技术的动态。抓紧高炉各种检测仪表的开发研制,以提供可靠的、精确的一次信号。自动化的控制需要优良的应用软件,可靠的控制设备,而我国现在采用的大都是国外的进口控制设备,这就需要国家、企业加强这方面的投入和研发,真正能在自动化控制领域迎头赶上。另外,培养既懂高炉炼铁,又懂软件开发的新一代技术人才也是我国高炉自动化的当务之急。这样一来才能开发出既适应具体的炼铁工艺,又适应特定的计算机环境的高炉人工智能数学模型。即使对于成套引进的国外设备,我们也应当进行消化吸收和二次开发,使我国的高炉自动化控制真正迈上一个新的台

阶。

1.2.3 冶金自动化控制的现状及发展趋势

目前,典型的冶金自动化系统体系结构按功能层次可分为过程控制系统、生产管理控制系统、企业信息化系统三个层面。

在基础控制方面,以 PLC、DCS、工业控制计算机为代表的计算机控制取代了常规模拟控制,已在冶金企业全面普及。据最近中国钢铁工业协会的调查结果,按冶金工序划分,计算机控制的采用率分别为高炉 100%,转炉 95.43%,电炉 95.9%,连铸 99.42%,轧机 99.68%。近年发展起来的现场总线、工业以太网等技术逐步在冶金自动化系统中应用,分布控制系统结构替代集中控制成为主流。控制算法方面,回路控制普遍采用 PID 算法,智能控制、先进控制技术在电炉电极升降控制、连铸结晶器液位控制、加热的燃烧控制、轧机轧制力控制等方面有了初步应用,取得了一定成果。在检测方面,与回路控制、安全生产、能源计量等相关的流量、压力、温度、重量等信号的检测仪表的配备比较齐全;高炉的软熔带形状与位置、高炉炉缸渣铁液位等软测量技术取得了初步成果。在电气传动方面,用于节能的交流变频技术普遍采用;国产大功率交、直流传动装置在轧线上得到成功应用^[9]。

在过程建模和优化方面,计算机配置率有较大幅度提高,根据最近中国钢铁工业协会的调查结果,按冶金工序划分,计算机配置率分别为高炉 57.54%,转炉 56.39%,电炉 58.56%,连铸 60.08%,轧机 74.5%。但应当看到,过程计算机更多地应用于数据汇总、过程监视和打印综合报表,由于冶金过程的复杂性多样性,数学模型的适应性很差,过程优化方面的功能大打折扣,即使高价从国外引进的过程控制系统也不能都充分发挥作用。近年来,把工艺知识、数学模型、专家经验和智能技术结合起来,在炼铁、炼钢、连铸、轧钢等典型工位的过程模型和过程优化方面取得了一定的成果,如高炉炼铁过程优化与智能控制系统,但如何保证其长期稳定运行并推广普及还需进一步做工作^[9]。

生产管理控制系统,根据中国钢铁工业协会最近的调查结果,按冶金工序划分,计算机配置率分别为高炉 5.97%,转炉 23.03%,电炉 26.12%,连铸 20.64%,轧机 41.68%。从功能上来讲,主要完成信息集成和事务处理的多一些,决策支持和动态管理控制作用没有发挥出来。近年来,冶金企业逐步认识到制造执行系统的重要性,在综合应用运筹学、专家系统和流程仿真等技术,协调生产线各工序作业,进行全线物流跟

踪、质量跟踪控制、成本在线控制、设备预测维护等方面取得了初步成果，但如何真正在冶金企业发挥作用并结合各企业现状进行推广还需做大量细致务实的工作^[9]。

随着企业管理水平的不断提高，“信息化带动工业化”在冶金企业成为共识，企业信息化受到高度重视，各企业纷纷开始信息化规划和建设，很多企业已经构造了企业信息网，为企业信息化奠定了良好的基础。从功能角度讲，企业资源计划（ERP）成为热点，以德国 SAP 为代表的 ERP 通用产品和韩国浦项、台湾中钢为代表的定制系统都在冶金企业得到了发展。企业信息化工作是企业管理的一场革命，需要对其本质意义的深刻理解和各方面条件的支撑，从观念转变、管理机制变革到信息的传达，还有相当长的路要走，才能真正发挥效益。

冶金企业的不断发展对自动化技术提出了更高的要求，其主要需求主要有：（1）开发更多的专用仪表，特别是直接在线检测质量的仪表，采用数据融合技术；（2）针对高炉冶炼大滞后系统特点，前馈控制和反馈控制相结合，采用预测控制等先进控制技术；（3）数学模型、专家系统和可视化技术相结合，保证冶炼过程顺行；（4）信息技术与系统工程技术相结合，不断优化操作工艺，提高技术性能指标；（5）应当关注直接还原和熔融还原（HISmelt、Corex、Finex 技术）等新一代炼铁生产流程对自动化技术的新需求。

当今冶金自动化的发展趋势是，冶金流程过程控制系统实现在线连续检测和监控系统。采用新型传感器技术、光机电一体化技术、软测量技术、数据融合和数据处理技术、冶金环境下可靠性技术，以关键工艺参数闭环控制、物流跟踪、能源平衡控制、环境排放实时控制和产品质量全面过程控制为目标，实现冶金流程在线检测和监控系统，包括铁水、熔渣成分和温度的检测和预报等，全线废气和烟尘的监测等。

冶金过程关键变量的高性能闭环控制。基于机理模型、统计分析、预测控制、专家系统、模糊逻辑、神经网络、支撑矢量机（SVM）等技术，以过程稳定、提高技术经济指标为目标，在上述关键工艺参数在线连续检测基础上，建立综合模型，采用自适应智能控制机制，实现冶金过程关键变量的高性能闭环控制，如高炉顺行闭环专家系统等。

生产管理控制系统方面，冶金流程的全息集成。实现铁-钢-轧横向数据集成和相互传递，实现管理-计划-生产-控制纵向信息集成，同时，整合生产实时数据和关系数据库为数据仓库，采用数据挖掘技术，提供生产管理控制的决策支持。采用计算机仿真技术、多媒体技术和计算力学技术，基于各种冶金模型，进行流程离线仿真和在线集成模拟，从而实现生产组织优化、生产流程优化、新生产流程设计和新产品开发。

提升钢铁生产制造智能。在生产组织管理方面,基于事例推理、专家知识的生产计划与运筹学中网络规则技术,提供快速调整作业计划的手段和能力,以提高生产组织的柔性和敏捷化程度;根据各工序参数,自动计算各工序的生产顺序计划及各工序的生产时间和等待时间,实现计划的全线跟踪和控制,并能根据现场要求和专家知识,进行灵活的调整;异常情况下的重组调度技术以及在多种工艺路线情况下,人机协同动态生产调度。在质量管理方面,基于数据挖掘、统计计算与神经网络分析技术,对产品的质量进行预报、跟踪和分析;根据生产过程数据和实际数据,判定在生产中发生的品质异常。在设备管理方面,采用生产设备的故障诊断与预报技术,建立设备故障、寿命预报模型,实现预测维护。在成本控制方面,采用数据挖掘与预报技术,建立动态成本模型预测生产成本;利用动态跟踪控制技术,优化原材料的配比、能源介质的供应、产线定修制度、生产的调度管理,动态核算成本,以降低生产成本。

企业信息化系统方面,将企业信息集成到行业信息集成。信息化的目的之一是实现信息共享,在有效竞争前提下趋利避害,在企业信息系统的编码体系标准化、企业异构数据/信息集成基础上,进一步实现协作制造企业信息集成,全行业信息网络建设及宏观调控信息系统,直至全球行业信息网络建设及宏观调控信息系统。

管控一体化,实现实时性能管理(Real Performance Management)。协调供产销流程,实现从订货合同到生产计划、制造作业指令、产品入库、出厂发运的信息化。生产与销售连成一个整体,计划调度和生产控制有机衔接;质量设计进入制造,质量控制跟踪全程,完善 PDCA 质量循环体系;成本管理在线覆盖生产流程,资金控制实时贯穿企业全部业务活动,通过预算、预警、预测等手段,达到事前和事中的控制。

知识管理和商业智能。利用企业信息化积累的海量数据和信息,按照各种不同类型的决策主题分别构造数据仓库,通过在线分析和数据挖掘,实现有关市场、成本、质量等方面数据-信息-知识的递阶演化,并将企业常年管理经验和集体智慧形式化、知识化,为企业持续发展和生产、技术、经营管理各方面创新,奠定坚实的核心知识和规律性的认识基础。

1.3 控制网络的发展

计算机技术、通信技术和微电子技术的迅猛发展、互相渗透与有机结合,使信息技术得到了高速发展,并将人类社会带进信息社会。在信息社会中,信息是重要的生产力要素和资本,在社会各行各业的生存和发展中发挥着巨大的作用,世界各国的许多知名

企业都把加强信息基础建设放在企业经营发展战略的重要位置,力求加快自身信息化建设的步伐。因此,企业信息化是企业在 21 世纪中信息经济取得成功的关键因素之一。

网络的发展 and 大规模的应用极大地影响了我们的工作和生活。计算机与通信技术结合产生了计算机网络后,企业管理部门间通信都以网络为中介,实现了信息与资源共享。同时,信息技术的发展也引起了自动化结构的变革,逐步形成以网络集成自动化系统为基础的企业信息系统。控制网络来源于计算机网络技术,两者既有共同点,同时也有不同点。控制网络与一般的信息网络不同,主要用于生产自动控制和过程状态检测,它具有可靠性好、安全性高、容错能力强、网络数据传输量小和网络节点实时性好等特点^[11]。可编程控制器网络发展的方向和趋势是符合国际工业标准和开放体系结构具有高速、层次灵活、高可靠性、大吞吐量等特点,适应多网络兼容和连接。PLC 的通讯包括 PLC 之间,PLC 与上位计算机之间,以及 PLC 与其它智能设备间的通信^[12]。PLC 借助于强大的工业通讯网络,企业可以将整个工厂的生产流程和自动化控制系统纳入到统一的信息管理平台上。工业控制网络经历了集中面板控制方式,分散式控制系统,现场总线控制系统几个阶段。现场总线控制系统是数字化总线有着更大的覆盖范围,同时它又有着更好的实时操作性等等,所以现场总线控制系统是现在工业控制网络发展的一个方向^[13]。

现场总线控制网络,形成了全分布式网络集成自动化系统。由现场总线构成的控制系统成为工业企业网中控制网络的典型模式。现场总线控制系统用现场总线这一开放的、具有互操作性的网络将现场各控制器及仪表设备互连,构成现场总线控制系统,同时控制功能彻底下放到现场,降低了安装成本和维护费用,为实现企业“综合自动化”奠定了现场级的过程自动化基础。基于计算机网络技术、现场总线技术、控制系统技术等融合的现场总线控制网络技术,属于综合性、实用的技术,因此现场总线控制技术已经成为世界上新的自控技术热点,被誉为跨世纪的自控新技术。

从长远来看,控制网络和信息网络终将归为一体,其间现场总线将起到沟通生产过程数据流和信息网络数据流的桥梁作用。现场总线技术自 70 年代诞生至今,由于它在减少系统线缆,简化系统安装、维护和管理,降低系统的投资和运行成本,增强系统性能等方面的优越性,引起人们的广泛注意,得到大范围的推广。改善现场总线的实时性,减少响应时间的不确定性是现场总线的重要发展趋势。

现场总线的开放统一,为控制网络和信息网络的连接和交流提供了方便,随着互联网技术的逐渐成熟,将会真正实现控制网络与信息网络的无缝连接,实现一网到底,即

从现场输入输出信号、传感器仪表到控制器到人机界面直至企业管理系统仅用一根网线就可实现管理控制的一体化。

1.4 首钢二炉上料系统改造概述

在过去的二十年中,中国钢铁工业发展非常迅速。从 1992 年起,中国已经成为世界上最大的铁生产国。现在各企业为了不断提高劳动生产率,降低劳动强度,以适应激烈的市场竞争,用高新技术改造传统企业、延长高炉炉龄成为一种潮流^[13]。而高炉过程自动化系统也被列为“十五”冶金自动化重点推广及研发技术。1999 年美国伯利恒钢铁公司雀点厂 L 高炉和加拿大钢铁公司(Stelco)希尔顿厂 E 高炉相继进行了大修改造,获得了很好的经济效益。

首钢 2 号高炉技术改造工程是首钢进行结构调整和全面提升炼铁技术及装备水平,提高炼铁工序的市场竞争力的最重要工程之一。为了提高生产效率,加强自动化程度,提高系统稳定性,简化操作,首钢二高炉于 2003 年废弃了原有的自动控制设备,采用了一套全新的自动控制设备和控制工艺。

随着可编程控制器技术和工业网络的不断发展,现代工业的高炉生产的最优化的控制方案是:以可编程控制器为基础,仪表控制和电气控制一体化,结合兼顾专家系统和管理系统的工业控制网络。首钢二高炉正是采用了这一最优化的控制方案。

首钢 2 号高炉有效容积 1726m³,第七代炉役从 1992 年 5 月 15 日开炉,至 2003 年 3 月 6 日停炉,炉役期 10 年 10 个月,总产生铁 1428.9 万吨,单位炉容产铁量为 8279t/m³。首钢二高炉原有的自动控制,是采用 Modicon984 系列产品,控制工艺落后,PLC 设备严重陈旧老化,备品备件已经不能保证供应。且各系统间网络通讯功能不完备,造成各系统通讯不畅,功能落后,可靠性差,为生产和维护带来不利影响。人机界面是在 DOS 下开发的,操作复杂,报警系统不完善,维护也极其不方便。严重影响了高炉效率和可靠性,已经成为提高高炉生产效率的瓶颈。首钢经过多方面的考察论证,在自动化方面决定废弃原有的控制设备,采用一套全新的设备和控制工艺进行改造。改造目标如下:

(1) 增强网络通讯性能

采用大型 PLC 及网络控制技术,将原来各系统自成一体的网络结构发展为集上料、热风炉、高炉本体及专家系统为一体的多层次、全方位的网络控制系统,实现高炉生产管理、监视控制、仪表检测一体化的全自动化控制方案。

(2) 提高系统运行效率

采用最佳的自动控制方案,使生产更省时、设备高效运行,并对故障进行自动处理,从而提高整个系统的运行效率。

(3) 加强系统安全稳定性

要求无故障运行时间更长,系统可用率高,系统的硬件和软件工作稳定,而系统的维修能快速简便,使停机时间达到最短。

系统可提供多种安全保护措施,可对多种异常状态进行分析并自动采取应急措施,避免给生产及人身安全造成严重损失。并对事故进行记录、及时报警,以使操作员尽快了解所发生的情况并及时处理。

(4) 简化操作

友好的人机监控界面及功能强大的自动控制简化操作人员的工作,降低劳动强度。

首钢 2 号高炉技术改造工程是首钢进行结构调整和全面提升炼铁技术及装备水平,提高炼铁工序的市场竞争力的最重要工程之一。通过 78 天检修,第八代炉役于 2003 年 5 月 23 日开炉。其自动化控制稳定可靠,提高了生产效率,降低了劳动强度,节约了成本。

1.5 本文的主要研究内容

本文的主要研究内容是高炉自动化控制技术的研究与探讨。就作者参加完成的首钢二号高炉上料计算机自动控制系统,通过高炉上料计算机自动控制系统的网络结构、硬件组成、系统软件、人机接口界面和控制应用软件等多方面,论证如何用计算机自动控制系统实现对高炉上料系统的全自动控制。特别对先进的炉顶布料技术进行了探讨。

本论文的主要研究内容为:

- (1) 高炉上料自动化系统的总体设计
- (2) 高炉上料自动化系统硬件和软件配置
- (3) 高炉上料自动控制系统的设计与实现
- (4) 高炉炉顶布料控制策略研究
- (5) 人机界面监控系统的设计
- (6) 高炉专家系统概述

其中高炉炉顶布料控制策略研究中,着重介绍了首钢自行开发研制的水冷无料钟炉顶设备,新增设的液压比例调节阀,完善了多环布料功能。完善的多环布料控制技术可以提高高炉煤气利用率,降低焦比,延长高炉寿命。

第二章 控制系统的总体设计

2.1 系统的总体结构

通讯系统对于现代社会中人们彼此之间,系统与系统间和计算机间相互交换信息起着非常重要的作用^[14]。网络是企业综合自动化的基础,在整个企业的网络体系结构中,现场总线处于基础地位,因此构建完整的现场总线控制网络模型具有重要的意义。这种模型延伸到控制领域的最高层,即管理决策层,因此要求控制网络和信息网络紧密结合,保证从底层现场设备到顶层生产管理之间,正确的数据传输和数据转发。

计算机与电子技术的发展及当今对自动化控制系统数字化、智能化、网络化的要求,产生了以现场总线为基础的现场控制网络。为了实现远程监控和信息共享,控制网络和信息网络的结合成为一种必然趋势,这对网络的安全性和可靠性提出了更高的要求。

对于高炉电气传动及自动化系统,首钢二高炉所采用的大型 PLC 及网络控制技术,使得高炉电气传动及自动化控制系统规模也由原来的单纯上料、配料控制网络发展到现在的高炉上料、配料、热风、除尘、高炉本体和喷煤的全方位、多层次的网络控制系统,实现高炉控制和生产管理自动化、仪控和电控一体化的控制方案。

首钢二高炉自动控制系统主要是由专家系统,人机界面,及过程控制系统组成。

首钢二高炉引进了拥有国际先进水平的芬兰罗德洛基公司的高炉人工智能专家冶炼系统,提高高炉操作的准确性和预测性。专家系统与高炉自动化系统使用以太网及 Modbus Plus 网连接在一起采集实时数据,实现彼此间的数据共享及通讯,进行复杂运算分析。

专家系统包括两台服务器,4 台操作站,一台数模处理工作站及两台专家系统工作站。自动化系统的人机界面共由 8 台触摸屏工控机组成,除了一台工程师工作站,其余为两台上料人机界面,两台高炉本体人机界面,以及三台热风炉人机界面。

自动化过程控制系统则由一套上料及炉顶 PLC,一套高炉本体 PLC,一套高炉炉体水 PLC 以及 7 套控制热风炉的 PLC 组成。

所有的专家系统及人机界面上位机都通过以太网连接在一起实现彼此间的数据共享及通讯。

人机界面和工作站的工控机内插有 SA85 卡,SA85 模块卡是用于 IBM-AT 或兼容计算机的 Modbus Plus 适配器。人机界面和工作站采用 Modbus Plus 网与 PLC 系统相连,实现上位机与 PLC 之间、PLC 与 PLC 之间的数据快速传送。此外两台专家系统工作站

也通过 SA85 Modbus Plus 适配器连接在 PLC 的 Modbus Plus 网上, 完成专家系统对过程控制数据直接的快速准确的采集并保证专家系统的指令顺畅准确的到达过程控制系统, 实现了通讯数据的实时性与安全性。

整个系统的网络结构如下图:

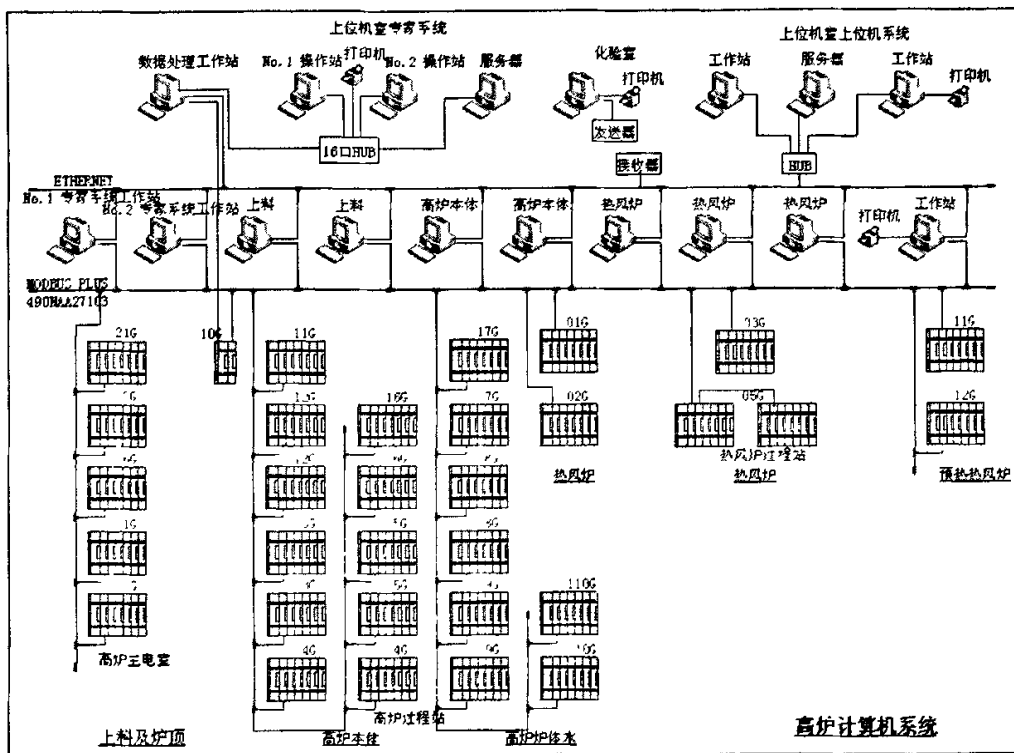


图 2.1 首钢二高炉控制系统总体结构图

Figure 2.1 the structure of control system on ShouGang No.2 Blast Furnace

二高炉上料上位监控系统选用研华工控机，设在主控室，预装 Windows NT 4.0 操作系统，人机接口选用美国 Intellution 公司的最新产品 iFIX2.6 软件作为监控画面操作平台。该软件编程功能强大，为各种监控功能的实现提供了有力的保证。

PLC 控制系统选用施耐德公司最新的 Quantum PLC 自动化平台, PLC 编程调试软件为施耐德公司 Concept 软件。整个上料系统共有 5 个站,CPU 控制器装在 1#本地站,通过安装在各站的网络模块与其它的 4 个远程站进行数据交换。其它典型模块还有热电阻模块, 热电偶模块, 模拟量输入输出模块, 开关量输入输出模块等。

整个上料系统主要控制三大部分：仓下系统控制，N1 皮带及上料制度控制及炉顶控制系统。其中仓下系统主要对装矿(N2)、装焦(N4)、装杂矿(N3)的各个皮带的启停，

各个矿罐、焦罐及杂矿罐的装料及称量补偿进行控制。N1 皮带及上料制度，是对 N1 皮带（炉顶上料主皮带）的启停进行控制，同时根据人机界面设定的上料制度及炉顶需求联锁控制不同的矿罐、焦罐及杂矿罐的放料。同时准确的将各批料的料头、料尾及料型传送给炉顶。而炉顶控制系统主要是控制炉顶两个料罐、放散及均压阀的开关，料尺的控制以及溜槽多环布料的控制。

二高炉上料系统使用皮带，以及新型的无料钟炉顶上料。由仓下系统完成原料的筛分和称量，然后由上料制度控制将选中的料排放到主皮带上，运至高炉炉顶料罐内。炉顶采用的是首钢自行研究的并罐式无料钟炉顶设备，采用溜槽多环布料及比例调节阀的恒开度控制将料均匀的布入炉内。

首钢二高炉根据工艺要求及管理需求，采用了工业高炉生产的一套最优化的控制方案：以可编程控制器为基础，仪表控制和电气控制一体化，结合兼顾专家系统工业控制网络。

此系统性能稳定，可靠性高，控制十分稳定。

2.2 PLC 系统的硬件配置及软件设计

2.2.1 硬件配置

本系统所使用的莫迪康系统的 Quantum 自动化平台，是满足大部分离散控制和过程控制的灵活的控制平台。它处理能力强大，可处理多达 6 万 5 千个 I/O 点，以及 300 个以上控制回路，高速的 32 位内核及数学协处理器提供了精确、快速的过程算法和计算。拥有先进的热备技术，支持 CPU、电源、远程 I/O、工业控制网络的冗余热备解决方案。可实现远程 I/O、分布式 I/O、现场总线多种 I/O 模式，并且所有 I/O 均可带电热插拔。Quantum 还提供了多种工业网络通讯选项，Ethernet TCP/IP、Modbus Plus、Modbus、AS-i 等。

本项目中上料系统，由一个主机架及四个远程机架组成。CPU 处理器模块位于主控室的主机架，所有的上料数据处理任务都由该处理器完成。三个远程站位于距离大约 100 米的过程站内。几个远程机架与主机架之间利用 Modbus Plus 通讯电缆连接，使用 Modbus Plus 通讯。几个远程站都有各自的 CPS 电源模块，但数据通过 Modbus Plus 网统一传给 CPU 进行处理运算。机架上的 I/O 模块基本上都是用来处理数字量及模拟量信号的。其中数字量信号包括所有设备的本地/远程返回信号，皮带的控制及状态返回信号，各料罐的开关及反回，炉顶均压阀、放散阀、上下密及探尺的控制及返回信号。其中还

有一些重要的急停、皮带堆料等信号。模拟量信号主要包括各料罐的称重值、溜槽角度、比例调节阀开度控制以及油泵压力的检测。

2.2.2 ModBus PLUS 网络

由于高炉生产的复杂性,要求计算机控制系统能够保证生产过程的连续性和实时监控性,而且要求的数据采集量多,所有设备的自动化程度要高。高炉上料系统有上千个 I/O 点,这就要求计算机系统数据采集周期短,刷新速率快,特别对通讯网络而言,数据传输速率,网络稳定性和正确性则显得尤为重要。

Modicon 产品支持 ModBus PLUS 网络,本系统主要采用了这一网络结构。ModBus PLUS 协议是由美国 Modicon 公司开发的一种工业数据总线,是一种异步半双工的对等网络协议,物理通讯口为 RS485,通讯介质为屏蔽双绞线或者光纤。ModBus PLUS 协议使用了 OSI (Open System Interconnect Reference Model) 模型中的物理层、链路层、描述层、会话层以及应用层。Modbus plus 在会话层、描述层采用 NetBIOS 网络编程接口。NetBIOS 实际介于会话层、描述层之间。而在应用层,Modbus plus 采用 Modbus 通讯协议^[2]。

ModBus PLUS 网是工业现场实时控制网络,采用高速令牌循环式通讯方式,波特率 1Mbps,一个网络直接连接的站点最多为 32 个,使用屏蔽双绞线最远距离为 450 米。如果使用中继器最多站点数为 64 个,最远距离可达 1800 米(最多 3 个中继器)。使用光纤做为通讯介质会使通讯距离更远(达 12KM),并可避免现场恶劣环境给通讯带来的干扰^[15]。

支持该网的设备包括可编程控制器及网络适配器。每一个控制器的前面板都提供一个 ModBus PLUS 通讯口,可以直接连到 ModBus PLUS 网上。联网的各设备间可以远程交换控制、监视数据及信息。

ModBus PLUS 网络是应用于工业控制领域的现场控制网络系统,联网的各设备间可以远程交换控制、监视数据及信息。

MODBUS PLUS 协议提供了 3 种连接: 主控计算机(人机接口上位计算机),现场控制器(PLC 系统),现场设备(变频器等)。

在实际的应用中,现场设备与控制器之间通过现场实时总线通讯,上位计算机可以通过内插 SA85 卡或现场总线与控制器之间通讯。

2.2.3 PLC 开发软件 Concept

Quantum 系统采用 Concept 软件进行编程。Concept 软件是基于 Windows 的集成开发环境, 含有全部的 IEC-61131-3 规定的编程语言, 支持以下五种语言:

梯形图 (LD)、顺序功能图 (SFC)、功能模块图 (FBD)、结构化文本 (ST)、指令表 (IL)

另外基于 Modsoft 的梯形图语言即 LL984 (梯形逻辑), 也可以使用。

考虑到维护操作人员的知识背景和习惯, 应用户的强烈要求, 控制程序大多采用 LL984 编程语言。其中通讯程序及部分逻辑程序采用了 FBD 语言编程。此处重点介绍一下 LL984。

LL984 编程语言基于使用 Modsoft 984 的编辑器, 指令、触点、线圈和信号 (变量) 都被连接到一个梯形图之上。并且都可以加上注释。

LL984 区段的结构对应于继电器电路的梯级, 在它的左边有左汇流条, 这些左汇流条对应于梯级的相线 (L 线路)。LL984 编程正如在梯级中一样, 只有接至电源即接至左汇流条的 LL984 对象 (触点、线圈) 将在 LL984 编辑器中被“处理”, 右汇流条对应于地线 (中线) 是看不到的。但是, 所有的线圈和指令输出都在内部与之相连, 从而建立起电流流动的通路。

整个程序被分成以逻辑程序及功能相对应的若干区段, 形成一个非常好的结构化和程序化的程序。

Concept 软件拥有面向各种工业应用的功能块和先进的过程控制算法及内置的过程控制函数, 可用来开发 Quantum, Compact 及 Momentum 系统。

在 Concept 软件中配置的大多数步骤特别是程序的创建都可以在不依赖于具体要编程的 PLC 的情况下设计, 编程软件与 PLC 具有相对的独立性。这就为工程师提供了很高的灵活性, 降低了开发和启动成本。

Concept 软件具有丰富的在线功能, 编程设备与 PLC 连接后, 可使用的在线启动和维护功能包括:

- (1) 编程设备上的程序与 PLC 上的程序进行比较
- (2) PLC 可以被启动或者停止
- (3) 对象信息被显示
- (4) 程序可被下载, 区段可被在线更改或下载
- (5) 变量值可被在线输入

(6) 动画显示程序中当前信号的状态^[16]

针对 Concept 软件, 有一个 32 位模拟器 ConceptPLCSIM32, 可以模拟一台 PLC, 也就是说, 在没有硬件的条件下, 可以在线测试用户程序, 并且 I/O 模块的状态也可以模拟出来。这样一来, 用户在进入现场调试之前就可以通过仿真完成大部分程序调试, 从而大大降低了现场调试的风险, 节省了现场实际调试的时间, 保证项目进度按时甚至是提前完成。

项目中主要使用梯形图进行编程, 功能上分为三大块, 包括仓下控制系统、主皮带及上料制度、炉顶控制系统。其中仓下控制系统除了各设备的装料控制, 还包括称量补偿。炉顶系统除了炉顶设备、探尺的控制, 还包括布料控制。

2.3 iFix 软件介绍

2.3.1 iFix 软件简介

本系统所使用的上位机计算机监控系统软件为 iFIX, 是 Intellution Dynamics 自动化软件产品家族中的 HMI/SCADA 最重要的组件, 用于实现过程监控, 并在整个企业网络中传递信息。它是基于 WindowsNT/2000 平台上的功能强大的自动化监视与控制的软件解决方案。无论是简单的单机人机界面, 还是复杂的多节点、多现场的数据采集和控制系统, iFIX 都可以方便地满足各种应用类型和应用规模的需要。iFIX 不但可以满足当前系统应用的需要, 还可以在将来需要的时候随时方便地扩展系统规模。

iFIX 可以帮助用户精确地监视、控制生产过程, 并优化生产设备和企业资源管理。它能够对生产事件快速反应, 减少原材料消耗, 提高生产率, 从而加快产品对市场反应速度。生产的关键信息可以通过 iFIX 贯穿从生产现场到企业经理的桌面的全厂管理体系, 以方便管理者做出更快速更高效的决策, 从而获得更高的经济效益。

iFIX 开发环境:

iFIX 全面支持 Windows NT 和 Windows 2000 平台以及 Active X 控件。它具有功能强大的微软标准描述语言, 嵌入式 VBA(Visual Basic for Application)。用户可以使用 VBA 自行开发自己的应用程序, 从而为用户提供了系统开发的灵活性。

Intellution WorkSpace 为所有 Intellution Dynamics 组件提供集成化的开发平台, 便于用户直观地开发监控界面。

iFIX 带有智能图符集, 使用智能图符生成向导使创建图形变得十分简捷, 可将预定义的图符集, 如泵、罐等可直接拖拽到 Workspace 中, 减少系统开发时间。由于所有的

对象属性都可以赋予动画效果，也可利用动画专家（AnimationEXPerT）读取数据并获得动画效果。因此，用户界面十分友好、直观，得到了设计和使用人员的好评。

由于 iFIX 工具栏内包含了各种图形工具、动能专家和动态对象工具。所以在开发中技术人员根据需要，不仅放置了常用工具按钮，如数据连接、按钮、图表、报警汇总、位图、事件等多种工具栏，还灵活地使用了内置向导和专家，因此不需要进行任何编程，就可自动完成多种复杂功能，进行前景颜色变化、填充、旋转、位置移动、大小缩放、可见不可见操作、画面打开、关闭、替换操作、改变数据输入方式等，由于这些专家还能自动生成 VBA 代码，避免了编程，使得开发过程大大简化。

iFIX 技术优势：

强大的分布式客户 / 服务器结构

iFIX 服务器负责采集、处理和分发实时数据

可选的客户机类型包括：iClientTM，iClientTSTM（用于 Terminal Server）和 iWebServerTM

实时客户 / 服务器结构具有无与伦比的可扩展性

快速的系统开发及配置

在一个易于使用的 Intellution 工作台集合开发环境中直观地建立您的系统

使用强大的“智能图符生成向导”更快速地开发和配置应用系统

利用 iFIX 特有的“即插即解决”能力集成第三方附加应用软件

在线开发您的应用程序，无需停止生产线或重新开机

键宏编辑器为触摸键提供了强大而多样的功能

动画专家使您无须掌握 VBA 编程即可使用内部的和第三方的 ActiveX 控件

点组编辑器节省了大量的开发时间

事件调度器令任务在前台或后台自动运行

控制功能

先进的报警和信息管理，提供无限制的报警区域选择、报警过滤和远程报警管理等功能

冗余选项提供了 SCADA Server 和 LAN 间的自动切换，实现 SCADA Server 间的报警同步

增强 Windows 2000/NT 用户级安全系统

数据采集和管理

历史数据采集

VisiconX：功能强大的 ActiveX 数据连接控件

强大的图表对象和趋势显示工具

图表组向导功能

导出数据到关系数据库，生成各种报表

内嵌 Crystal Report 运行态库^[17]

2.3.2 iFix 软件结构特点

计算机监控系统遵循“开放”的设计原则，在计算机产品高速发展并快速更新换代的今天，这一点对于保证系统有更长的生存周期，并能随着计算机平台的更新换代而同步发展有着至关重要的意义。

按照系统设计的要求，SCADA 软件应满足以下技术条件：

模块化：软件可以按模块组合。

分布式：具有很强的网络支持，能够以分布环境方式运行。

多平台支持：具有在多种计算机平台上运行的多种版本，具有不同版本有一致的应用层界面和网络层界面，以便实现网络中多种平台的共同运行。

目前用于分布式网络结构的监督控制和数据采集系统的 SCADA 软件有许多，也各有特色。在我们的计算机监控系统中选用 iFIX 软件，它在众多的 SCADA 系统的同类软件中是性能较为优异的一种。iFIX 是一个高度模块化的系统软件，多个软件模块可按一定规则互相搭配，形成不同功能的节点，这些特性合用户要以根据现场情况，功能要求等多种因素进行综合考虑组成最适用的应用系统。由于计算机房场地监控系统在进行内部的图形处理时不是采用点阵图形处理技术，而是采用基本于第三代图形技术即面向目标编程方法（OOPS），使得监控系统具有更直观、更生动、操作效率更高的特点，同时监控系统是多任务系统，在监控计算机平台上能同时运行多个程序，其内部关键程序能按优先权响应更重要的资源要求，在 iFIX 软件中把程序（任务）分为三种级别：

（1）系统任务：系统任务以实时的方式进行处理，系统任务从组态文件中得到指令并有访问系统资源的优先权。

（2）组态任务：组态任务创建监视和控制过程的指令和逻辑，组态任务还创建组态文件，在系统任务被启动时，它读入组态文件并使用其中的信息执行相应的功能。

（3）用户任务：用户任务是工作在过程或过程数据中与用户发生关系的程序，用

户任务也使用组态文件。用户取样和建立数据档案的历史趋势应用有三个程序：

历史定义：是一个组态任务，它选择被采样的数据点。

历史采集：是一个系统任务，它根据历史定义任务创建的组态文件执行数据取样。

历史显示：是一个用户任务，它用趋势图显示所收集的数据。

一些程序可以作为不同的任务执行，例如：数据库建立程序（DATA BASE BUILDER）是创造过程数据库的组态任务，它还可以作为用户任务，用电子表格方式显示实时数据。

监控系统软件的两个基本功能是数据采集和数据处理，数据采集是从现场获得数据并将它们加工成可利用形式的基本功能，通常监控系统通过 I/O 驱动软件同 I/O 硬件设备直接通讯进行数据采集。并将采集来的数据传送到设备映象表（DIT）的指定地址，接着扫描、报警和控制程序（SAC）读入从 DIT 来的数据，进行处理并且将其传送给过程数据库。一旦监控系统获得数据，将进行处理并传送给需要这些数据的程序，这个过程就是“数据处理”。监控软件数据处理的主要部分功能如下：

（1）过程数据库是监控和数据采集系统的核心部分，这个过程数据库是由过程控制逻辑而形成的一种过程描述，它是由块和链组成，一个“块”是一组过程控制指令代码，它执行规定的动作，一般有两种块类型。一级块从 DIT 读数据，或写数据到 DIT 或者执行规定功能，二级块处理传输给它的数据。一个链是一系列连接在一起的块，它们完成一个控制或监测回路。例如在一个控制回路中，你需要读一个数据点，用一个标准公式进行计算，然后写出。这个执行控制策略的链可以由一模拟量输入块，后面接一个计算块以及接在后面的一个模拟量输出块组成。

（2）设备映象表（DIT）可以看作一个信箱的集合体。DIT 中的每个信箱的叫一个数据记录。每个数据记录可容纳一个单个数据点或一批连续的数据点。为了建立一个数据记录，要规定开始地址和长度。开始地址告诉 I/O 驱动这批数据从哪个硬件地址开始，长度则告诉 I/O 驱动有多少个连续的数据需要取出。

（3）I/O 驱动是访问硬件设备和规定通讯参数的工具，每个 I/O 驱动支持特定的硬件，I/O 驱动软件加载后就能建立和维护 DIT，I/O 口驱动是按每个数据记录规定的速度更新 DIT，DIT 的更新时间。叫数据时间。数据时间可以按 0.1 秒为增量从 0 到 255 秒范围内取值。

（4）扫描、报警和控制程序（SAC）：负责执行数值库链的逻辑，它从 DIT 取数据，将数据转换成过程数据库要求的格式，对照报警检查数据并产生报警信息，同时负责执

行控制逻辑，执行异常检测，按要求将数据写入 DIT，每个数值库链还包含了 SAC 应该处理链的信息，可选的处理方式有三种：以时间为基础的处理，以异常为基础的处理和一次性处理。

以时间为基础的处理：SAC 能按 0.05 秒、秒、分、小时等扫描时间单位处理链的信息。

以异常为基础的处理：SAC 能在以下情况下执行以异常为基础的链信息处理：DIT 数值变化；从过程硬件主动送来的信息操作员的操作，应用程序发出的指令。

一次性处理：SAC 还能执行“一次性处理”，当一个链的扫描时间为零时，SAC 只在链开始扫描时执行一次处理。

(5) 人机对话 (HMI)：它提供一个面向过程的窗口，通过现场传感器，仪表设备及计算机的共同作用使操作员及时了解现场情况。在监控系统中，采用全图形化的用户界面，以人机交互式方式生成显示画面及完成实时数据的动态链接，并且实时地显示过程现场各种数据的动态变化^[17]。

第三章 高炉上料自动控制系统的设计与实现

3.1 控制概述

首钢二高炉上料系统由炉顶系统、选程配料系统、仓下系统、液压站和润滑站等部分组成。通过仓下控制各皮带的连锁运行，由仓下系统完成原料的筛分和称量，仓下系统分为一号站和二号站。二号站仓下系统包括装矿（N2）系统、装杂矿（N3）系统、装焦（N4）系统、矿回收系统，一号站所有的罐为称量罐，包括2个烧结罐，2个焦碳罐、2个杂矿罐及一个焦丁罐，原材料在仓下筛分后，进入以上这些称量罐，并完成原料的筛分与称量。皮带上的各称量罐采用了先进的称量补偿控制，避免了长期生产带来的累计误差。选程配料按照上料制度所规定的原料配比选出并开启相应的称量罐，并发出料头料尾，根据料头、料尾所处的位置及时通知炉顶做好装料准备，自动地将高炉所需要的原料从仓下经主皮带运送到炉顶料罐，并根据高炉的需要通过布料器采用多环布料技术把原料最终均匀的布到高炉内。炉顶有两个料罐，经过放散均压后，打开上密后，各受料斗中的炉料放入空的料罐中。然后根据操作人员设定的料线，由探尺程序完成料面探测发出允许加料信号。炉顶完成向炉内布料，选程配料制定了上料制度，按照料制进行周期循环上料。上料制度是实现高炉按规定的料制上料并稳定生产的关键，是仓下与炉顶的联系纽带，判断炉顶状态，控制 N1 皮带的启停，向仓下下达允许上料命令，在将仓下的原料运至炉顶的同时，将原料种类、料头、料尾等参数传递给炉顶。选程配料是整个上料程序的核心，实现操作者的意图，调度程序。炉顶采用的是首钢自行研究的并罐式无料钟炉顶设备，采用溜槽多环布料及比例调节阀的恒开度控制将料均匀的布入炉内。

其中主要程序控制包括：

- (1) 仓下系统：包含原料的筛分程序、皮带的运转、各设备的连锁条件控制以及称量补偿程序。
- (2) 选程配料系统：包含配料制度程序、料头料尾及主皮带连锁控制程序。
- (3) 炉顶系统：包含炉顶装料程序，多环布料程序，料尺控制程序。

3.2 炉顶系统控制策略

二高炉的炉顶程序主要包括四个部分：料罐程序、布料溜槽程序、探尺程序、液压程序。料罐程序主要完成料罐各设备的控制，接收选程配料系统传来的料种，并在放

料时将其传送给溜槽系统。布料溜槽程序按料罐内的料种到数据设定表格中取出相应数据，按照这些数据对溜槽倾角 α 角、旋转角度 β 角、节流阀开度 γ 进行控制，达到多环布料的目的。探尺程序完成料面探测发出允许加料信号。其中采用了先进的无料钟顶多环布料控制工艺，使得布料均匀，提高了煤气的利用率，为高炉生产的高产、高效做出了贡献。

3.2.1 炉顶料罐

炉顶有两个料罐即东西料罐，可以单独工作，也可以同时工作。同时工作时，两罐装的料种通常是不同的，为了保护设备及多环布料的需求，工艺要求在一定的时间内自动倒换一次。为达到此目的，程序设计了三个键，东罐工作键，西罐工作键，倒罐控制键外加一个倒罐计数器。操作人员通过操作人机界面上这三个键和设定倒罐计数值来达到调用不同程序控制的目的。

操作人员可以在人机界面上选择是单罐工作或双罐工作。在双罐工作时，两罐交替工作，为了两罐互不干扰，彻底杜绝两罐上下密同时开，造成重料事故，程序特别设计了装料寄存器来控制 and 传送装料权，以及卸料寄存器控制和传送卸料权。只有拥有装料权的料罐申请装料才能被程序响应并允许。同样，只有享有放料权的料罐申请放料才能被程序执行。

另外，为了保证一个完整的装料或卸料过程，在装料与放料过程中，禁止中断程序，因此程序对人机界面料罐工作键的退出加了限制，即为了防止操作人员的误操作，如果在装料与放料过程中选择料罐退出工作，程序将不与响应。

两个料罐都按同样规律工作，即遵守以下的工作循环：

申请装料 → 正在装料 → 申请卸料 → 正在卸料



即当料罐在申请装料状态，主皮带上的料头过一检后，炉顶开始执行一系列动作，推翻板，关均压阀，开放散阀，使罐内压力小于 0.5Kg 后开上密，进入正在装料状态；当料尾过三检意味着这一批炉料已全部进罐，延时后关上密、关放散阀并开一均压阀，进入申请卸料状态，并让出装料权；炉罐拥有放料权后，探尺到米且提到原位，开二均压，均压好后，开下密、关均压，启动布料程序，控制 α 角、 β 角到位并开节流阀，进入放料状态；放料至料空，开大节流阀保证所有料布入炉中，然后关节流、下密并停布料器，完成正在装料状态，让出装料权，并进入申请装料状态。这样就完成了一个完

整的工作循环。

为了清晰的记录并准确判断料罐工作状态，避免重料，程序设计了一个料罐状态寄存器 Rs，用 1、2、3、4 分别记忆料罐的四个状态：

当料罐放料结束，节流阀关，下密关，Rs=1 代表料罐在申请装料状态；

当主皮带上料头过一检，上密开，翻板到位后，Rs=2 代表料罐正在装料状态；

当主皮带上料尾过三检，上密关，Rs=3 代表料罐在申请放料状态；

当炉顶下密开，节流开，Rs=4 代表正在放料状态。

只有料罐处于正确的状态，程序才能控制执行一系列与之相关的动作，采取了料权及料罐状态寄存器后，大大减少了程序的混乱，避免了不必要的错误，增加了系统运行的安全性。同时操作人员对料罐的状态有了一个清晰的直观的监测，可根据当前状态及生产实际情况随时采取一些人为干预措施。

3.2.2 探尺程序简介

二炉有两个探尺，可单独工作也可同时工作。它的选择由操作人员根据设备情况在炉顶画面通过左尺工作键、右尺工作键选择。

探尺有三种工作方式：点测、连测、强提

- 点测：到设定料线即提尺
- 连测：到达设定料线且炉顶具备放料条件提尺，放料结束后放尺
- 强提：强制提尺到原位

探尺程序按操作人员的不同选择，完成提放尺动作，发出允许加料信号，并在探尺发生故障时（上下超、过流）报警，切断相应的控制柜。

3.3 选程配料（上料制度）系统控制策略

炼铁原料是高炉生产的基础，合理的炉料结构是获得良好技术经济指标的保证。并可改善高炉透气性、提高煤气利用率，且增产节焦效果明显。

大批分装的成功与否取决于批重、装料次序和料线三者的结合。为保持炉况顺行，大批分装的调节手段需要灵活多样。

因此保证上料制度的正确执行对高炉生产尤为重要。

本段程序包括 N1 皮带启停控制和矿、焦、球、焦丁罐的配料选程及闸口开关控制。并发出料头、料尾信号，跟踪批料在皮带上的位置。

3.3.1 N1 皮带启停控制工艺流程

启动 N1 皮带：由操作人员在监控画面点击启动按钮，并确认后，为了保证在皮带附近工作人员的安全，首先要响铃 20S 提示工作人员注意，然后输出松抱闸及启动信号。皮带运行后延时 10 S 给出切变阻器信号。根据工艺要求，在皮带运行过程中，抱闸及切变阻器信号一直保持，而启动信号则只给 5 S。

停止 N1 皮带：由操作人员在监控画面点击停止按钮，则断掉抱闸及切变阻器输出，停止信号输出 5 S。

另外，还有其它一些重要的连锁条件会导致程序自动停皮带。即若皮带上的料过二检，炉顶未准备好或者炉顶拥料开关、及综合故障均可导致自动停皮带，并引起系统报警。

3.3.2 选程系统控制工艺流程

选程系统上料制度非常重要，它制定了上料品种及上料顺序，是实现高炉按规定的料制上料并稳定生产的关键。10 个矿槽分别装有球团、机烧矿、杂矿、灰石和焦炭。高炉上料是按预先选择和设置好的上料程序制度（简称料制）进行周期循环上料。因此，先由操作人员在人机界面对上料程序各类参数进行设置，程序会从设定表中取出各步料型，按照逻辑自动控制各料罐开启，由 N1 主皮带将料运至炉顶料罐。

选程系统主要按照上料制度控制两个烧结罐，两个焦炭罐，两个球团罐，及一个焦丁罐共七个罐的放料。烧结罐，焦炭罐，球团罐，焦丁罐均可通过点击控制画面上的工作键使之投入工作，而在双罐工作制下，只允许一个罐有放料权，先满的一罐先有放料权。

料型有 KJ, KJJ, JJJ, K, Z, J, JK (K:矿 J:焦 Z:杂矿) 七种固定料型，可在选程画面由操作人员设定，最多可设定 20 步，如果用不了 20 步，则未设定的步自动越过，直到遇有实际值，满 20 步后自动回到第一步循环运行。程序中用 2 代表 K，用 1 代表 J，用 3 代表 Z。例如：设定 KJ 料型，则在选程画面中输入 2100（后面的用 0 补齐）。其它六种料型的设定分别为 2110、1111、2000、1000、3000、1200。

附加焦：若放附加焦则在 N1 皮带画面点击附加焦键，程序将在该步料型最后放附加焦，且最后一罐若放的焦，则还使用该罐放附加焦。根据工艺要求，KJ, JJJ, K, Z, J, JK 各料型可设附加焦，KJJ 料型不执行附加焦。为了保证上料顺序，提高生产效率，除了原有的料头、料尾寄存器，程序中又另外增加了一个料头料尾寄存器，即一共设置

了两套料头、料尾寄存器，允许皮带上同时有两批料，并把它们的料头、料尾及料型按顺序送到炉顶。

为了保证炉顶不重料、漏料，只有满足下列情况及联锁条件才能允许放料：

1) N1 皮带自动运行，否则料一下来，就将皮带埋上了。

2) 上一批料尾过四检，因为两批料之间必须留一段时间给炉顶完成关下节流、关下密、置翻板、开放散和开上密等一系列动作的时间，否则料到炉顶而不能进缸，就会全部涌出炉顶。

3) 所有工作罐全关，因为开闸门之前如果有料放到了皮带上，那么这批料放到炉顶料缸中就有可能重料，致使炉顶上密关不上，造成严重事故，影响正常生产。

4) 若炉顶为双罐工作则总料批数（皮带与炉顶料批之和）小于 2，若炉顶为单罐工作则总料批数（皮带与炉顶料批之和）小于 1，若炉顶两罐均停止工作，则禁止放料。因为在双罐工作时，炉顶总共有两个缸，如果放了三批料，且此时上料速度慢，缸里有两缸料，皮带上的料就无处可放，只好停皮带了，而皮带是不允许频繁启动的。

5) N1 皮带画面设置了 7 个罐的工作键，点击工作键，“工作”两字变红，则该罐投入工作，再点击一次工作键，则“工作”两字变灰，该罐退出工作，不允许放料。

6) 该罐必须是满的，获得放料权，且选中该罐。只有上述条件全部满足才允许放料。

另外，Z（杂矿）和 JD（焦丁）跟着 K（矿）放，在放 K 时，若选择 Z 罐工作，则只有等到 Z 罐满后，才能放 K，K 门打开后，延时放 Z 或 JD。

3.3.3 皮带上料的料头、料尾及料批数

料头、料尾对于正确判断料批所在位置及批料何时全部进罐起着至关重要的作用。因此，准确的发出料头、料尾信号才能保证高炉上料的高效率，避免不必要的生产事故。

料头：选中的有放料权的罐一旦有开输出，则发出料头。

料头发出后便开始计时，计时到一检则通知炉顶动作，计时到二检检查炉顶动作是否完成，如果炉顶未完成动作则停 N1 皮带，并报警，否则料会溢出炉顶，造成事故。

料尾：选中的有放料权的罐放空后，输出关阀信号且关极限返回则发出料尾。

注：有时因为膨料，料不能完全放到皮带上，此时“空”信号来不了，下闸口不能自动关闭，也发不出料尾。遇到这种情况，系统会自动报警，操作员可把该罐工作键退出，并操作 N1 皮带画面上的强制关阀按钮，则程序控制该罐的下闸口自动关闭，并发

出料尾。

料尾发出后便开始计时，计时到四检，在其它条件允许的条件下则可放下一批料，料尾计时到三检，则认为此批料进罐，把此批料种传给炉顶，同时清掉此批料头及料尾。为了提高生产效率，皮带上可能同时出现两批料，所以程序中用了两套料头、料尾寄存器分别记录。

由于不同的料罐距炉顶的位置不同，所以在发出料头、料尾时送给一检、二检、三检、四检时间寄存器的预置值分别按照各自距炉顶的位置给出。若皮带停止运行，则一检、二检、三检、四检计时停止，但并不清零，等皮带启动后，继续计时。

皮带上的料批数为：过四检加 1，过三检减 1。

炉顶上的料批数为：过三检加 1，炉顶节流阀开则减 1。

总料批数：皮带上的料批数加上炉顶上的料批数。

通过对皮带、炉顶的料批数及总料批数的监视，操作人员可以清楚的了解当前的上料情况，做到心中有数，以便准确的判断问题或进行下一步的操作。

3.4 仓下系统控制策略

仓下系统包括装矿(N2) 系统、装杂矿(N3) 系统 、装焦(N4)系统 、矿回收系统和称量补偿系统。主要完成仓下原料的筛选、装罐和称量。

装矿(N2)、装焦(N4)、装杂矿(N3)系统主要设备在高炉的一号站及二号站。一号站包括两个烧结矿罐、两个球团罐、一个焦丁罐及两个焦炭罐。二号站包括四个杂矿罐、六个生矿罐及一个返矿称量罐。

装矿、装焦控制系统所完成的工艺过程是：将原料仓中的烧结矿、焦炭采用振动筛直接装料的方式进行筛选；通过 N2 (装矿) 或 N4 (装焦) 皮带按指定重量分别装入相应的称量罐中；并将筛下物按指定的皮带运回返矿仓或返焦仓。在装矿系统中，新增加了矿回收系统，将第一次烧结矿筛分的筛下物，再进行筛分，选出较大块粒的烧结矿，送入二号站称量后随杂矿送到高炉利用，这样有利于提高烧结矿的利用率。在装焦系统中，还设置了焦丁回收利用功能，将第一次焦碳筛分的筛下物，再进行筛分，选出较大块粒的焦碳，送入焦丁称量后送到高炉利用，这样有利于节省焦碳，提高高炉焦碳比。此外第二次的筛下物焦末存储到焦末缓冲仓中。

装杂矿(N3)控制系统所完成的工艺过程是：将原料仓中的杂矿石及生矿石按指定重量装入相应的称量罐中，每个罐上方有一个给料机，其中生矿 1#、2#和 5#罐可选择给

料机或振动筛,当选择振动筛时需启动相应的球皮带,把筛下物运到返矿 1#(FK1)皮带。将返矿成品罐中回收的烧结矿按指定重量装入返矿称量罐中。根据操作人员所选择的罐号及设定的放料顺序,程序自动地按顺序把相应的原料放到上 N3 皮带上并运送到一号站球团罐中。

返矿系统每条皮带均设置手/自动、系统启停键、运行返回、急停和过热信号返回。

在整个系统自动启停过程中,要防止出现在皮带上堆料的问题,因此整个系统的控制原则是按顺启逆停的方法控制,即启动过程中,先启动最后一条皮带,再依次将后面皮带启动后,最后启动振动筛和给料机,开始真正将料放到皮带上运到各个罐中。而停止过程中,控制正好相反,先停原料供给的源头,给料机、振动筛,再依次停止各皮带。并在启动仓下振动筛及停皮带时加上适当的延时。

装料系统控制程序与称量补偿计算程序的联系比较密切。称量补偿程序通过检测及运算判断称量缸中原料重量的状态,并将运算结果,即称量缸的空状态和满状态通过中间线圈传送到装料控制程序,该程序根据这些状态直接控制称量缸的自动装料、放料与报警连锁等过程。

3.5 称量补偿系统程序说明

称量补偿系统可消除因皮带上料或其他机械设备运料时料层厚度不均匀和机械设备本身运行惯性而形成的累计误差,批料的补偿按上批料的误差进行校正,由于高炉生产是连续的,故能保证入炉料与称量设定精确的吻合。称量补偿的实质就是根据本次装料情况确定下次装料的控制值。补偿计算在卸料结束后立即进行。

二高炉上料系统中,进行称量补偿的设备包括一号站的两个烧结矿罐、两个焦炭罐,二号站的 11 个称量罐。

称量补偿系统上位监控画面中,两个烧结矿罐有一个矿重量设定值,两个焦炭罐有一个焦重量设定值。二号站的 11 个称量罐每个罐一个重量设定值。每个进行称量补偿的罐设有一个复位键,可将清除累积误差。

名词介绍及称量补偿公式

满值:当 N2、N4 皮带或给料机、振动筛停止向某一称量罐中放料,有满信号并经过一定延时后,罐中的重量就为满值。

空值:当称量罐中的料全部放到皮带上,有空信号、下闸口关闭时,缸中的重量就为空值。

上位设定值：生产操作人员输入的重量设定值。

溜量 = 满值 - 控制值

实际入炉量 = 满值 - 空值

本次误差 = 实际入炉量 - 上位设定值

累计误差 = 本次以前的累计误差 + 本次误差

所以称量补偿的最终罐重的控制值计算公式为：

控制值 = 上位设定值 - 累计误差 * 0.8 + 空值 - 溜量

为了防止料流突变、由于设备原因引起的误动作等因素而导致的空值、溜量、累计误差等变化过大，对这些值的上、下限进行相应的限制。

关于空、满信号

本系统采用浮动空值，根据上次放空的空值加上一定的空值偏差发出“罐空”信号，这样能有效地解决称的零点漂移的问题，更准确地得到称量罐的状态。

空信号：(料缸重量 - 空值) < 空值偏差，并经过一定延时后便发出“罐空”信号。

满信号：料缸重量 > 控制值，发出“罐满”信号。

第四章 无料钟炉顶布料控制策略

4.1 并罐式无料钟炉顶简介

无料钟炉顶有并罐式和串罐式两种形式。并罐式无料钟炉顶是 1970 年由卢森堡的保罗·维尔特公司提出的,1972 年 1 月 8 日联邦德国蒂森钢铁公司汉博恩厂 4 号 1445m³ 上首先安装了无料钟炉顶设备。投产后,引起广泛关注。它的优点是结构简单、设备轻、密封性好、布料灵活、维修方便、节省投资。

1979 年 12 月我国第一座无料钟炉顶装置在首钢 1327m³ 的高炉上诞生了,随后这一新技术被得到应用^[18]。

在高炉冶炼中,各种过程都是在炉料和煤气不断相向运动的条件下进行的。炉料在炉内的分布影响还原气体的分布,影响气—固相互的接触,最终影响高炉效益和产量。因此,高炉炉顶布料控制技术已成为近代高炉强化冶炼的重要因素^[19]。

并罐式无料钟炉顶是用一个旋转溜槽代替了钟式和钟阀式炉顶中的大钟进行布料。溜槽上方有一个控制溜槽旋转的和摆动的齿轮箱,箱内通有氮气或加压净煤气以防高温带尘煤气进入箱内,并对箱体进行冷却,因此该箱又称气体密封箱。在齿轮箱上方有下密封阀、调节阀、料罐、上密封阀和翻板等。料罐中的炉料通过调节阀、下密封阀和中间喇叭管将炉料卸入溜槽。当设置在料罐底部的下密封阀关闭而设置在料罐顶部的上密封阀打开时,料罐即处于装料状态,相反则处于卸料状态。每个料罐均有称量装置和同位素测控装置。两个料罐交替使用将炉料送入中心喉管,并由溜槽以最佳旋转速度和最佳倾角以及最佳布料方式将炉料布于炉喉平面。

无料钟炉顶的布料一般有定点布料、环形布料扇形布料等。炉子截面某点或某个部位发生管道过吹时,使用定点布料,操作时溜槽倾角 α 和定点方位由人工手动控制。环形布料因为能自由选择溜槽倾角,可在炉喉任一部位做单、双、多环形布料。随着溜槽倾角的改变,可将焦炭和矿石布在距离中心不同的位置上,借以调整边缘或中心的煤气分布。扇形布料是溜槽以任意半径和角度向左右旋转,当产生偏料或局部崩料时,采用此种布料方式。

4.2 合理控制消除并罐式布料周向不均

炉料在中心喉管内偏行,造成炉料周向分布不均。不同高炉的不均匀度和分布由溜

槽长度、转速、倾角和料流偏心度等因素决定，上述因素造成布料时间和炉料由溜槽跌至料面的时间不同，从而造成炉料在炉内占有不同面积、形成不同密度，表现为料面高度不一致。布料周而复始，最终造成布料面形圆周方向的不均匀。

以上是单一料罐的布料不均，而对于并排的两个料罐布料，其不均匀分布正好相反。如最常用的“矿/焦”布料，烧结矿的疏、密部分布正好与焦炭的密、疏部分重合，这样矿/焦的周向分布不均不断叠加，造成炉喉煤气曲线在不同方向上出现很大差异。

消除周向布料不均，最有效的方法是缩小喉管直径，这种方法固然有效，但局限性很大^[20]。因此一个简单而有效的方法就是“倒罐下料”。一般每隔几批料，矿、焦罐互换一次，这样尽管每一罐料的布料不均依然存在，但从整个料柱看，疏、密段上下交错，在宏观上基本消除了周向分布不均。在条件允许的情况下，倒罐下料次数越频繁，效果越好。

首钢二高炉炉顶有两个料罐即东西料罐，根据以上控制原则，程序设计两罐可以单独工作，也可以同时工作。同时工作时，两罐装的料种通常是不同的，为了解决周向布料不均的问题，在一定的时间内自动倒换一次。为达到此目的，程序在人机操作界面上设计了三个键，东罐工作键，西罐工作键，倒罐控制键外加一个倒罐计数器。操作人员通过操作人机界面上这三个键和设定倒罐计数值来达到调用不同程序控制的目的。操作人员可以根据需要，控制倒罐的时机。

4.3 多环布料解决粒度偏析造成的布料不均

并罐式布料不仅存在布料面形圆周方向的不均匀，而且由于料罐内不能设置导料设备，在卸料时造成较大的粒度偏析。以前大部分布料都采用单环布料，就是在布料过程中，布料溜槽在某一固定倾斜角度连续回转，直至一罐料全部布到炉内形成一个环形料带。因此溜槽的布料时间长，每圈布料都在已经稳定的料面上滚动，使得中心堆角比钟式布料的堆角大，形成“V”形料面。

因此单环布料粒度偏析大，离开溜槽的炉料，粉末在堆尖附近，大粒的炉料滚向两边。所以单环布料，如布料角度扬向边缘，由于粉料的缘故，边缘容易加重，引起炉况难行。因此，单环布料不适用于无钟操作，它不仅失去无钟的技术优势，而且发挥了它的短处，所以单环布料是扬短避长^[21]。溜槽因此使用多环布料新工艺可以很好的解决这一问题，使得布料调剂十分灵活。

随着高炉向大型化发展和炉喉直径的加大，再采用单环布料会使炉料在炉内的不均

匀性更加突出，特别是沿炉喉直径方向。布料不均导致高炉内煤气分配不均，对高炉生产的影响很大。为使大型高炉达到高产、稳产、低耗，提高炉体寿命，需要采用先进的多环布料控制工艺。

随着高炉无料钟炉顶的应用，多环布料工艺正逐步得到推广应用，多环布料工艺具有料层均匀、煤气流稳定的特点，可进一步增大矿批、降低焦比、提高高炉产能。新增设的液压比例调节阀，完善了多环布料功能。完善的多环布料技术可以提高高炉煤气利用率，降低焦比，延长高炉寿命。

4.4 无料钟顶多环布料控制策略

根据以上分析的多环布料的特点,决定了多环布料特有的工艺流程,无料钟炉顶多环布料的工艺流程见图 4.1

无论是东、西罐放料都需要调用溜槽程序，溜槽程序的主要启动条件是：具有放料权的料罐下密开。溜槽程序通过控制溜槽旋转及比例阀的开度来实现均匀布料。为了实现多环布料的均匀布料，需要对溜槽的 α 角、 β 角、 γ 角进行精确控制，其中 α 角是指布料溜槽的倾角， β 角为旋转的角度， γ 角为比例阀的开度。

通过实验以及实践得出，烧结矿及焦炭的落点与布料溜槽的 α 角和料线关系紧密，即料线下降 30cm，溜槽 α 角缩角 1 度；料线下降 50cm， α 角缩角 2 度^[22]。因此在控制中设计了溜槽环位与倾角关系的 α 角矩阵表。但如果烧结矿与焦炭使用同一个 α 角矩阵表，会造成矿石与焦炭的料流落点之间的差异。因此根据料罐内的料种不同，要求溜槽的控制参数不同。

通过观察分析，并罐式无钟料罐内物料的卸出，其粒度组成由逐渐减小到逐渐增大其后又逐渐增大的规律性变化^[23]。溜槽比例调节阀的排料量在开始和末期较慢，中间阶段排料量较快。因为，炉料从溜槽溜下时为松散状态，所以不必要要求每个环节的精确性，而是注意消除连续布料时的累计误差。采取的措施为：由操作人员在人机界面上设定环位矩阵表，及溜槽比例调节阀开度，开始布料时，程序自动取得 α 角矩阵表的参数，按照这些环位布料，并计算出布料所需要的时间，在布料结束时，实际布料时间与计算的设定时间比较，根据差值的正负进行修正，在原有的开度上进行增加或减少，从而在下次布料时达到更加精确的布料。这样，布料系统就完成了自学习的过程。

为了提高布料精度，在布料控制中采取了以下措施：

(1) 自动倒罐，避免双料罐布料偏析。

- (2) 多环布料, 设置 11 个环位, 可以根据炉况任意设定每环角度、重量、布料圈数。
 - (3) 料头步进, β 自动倒向, 步进角, 倒向时间可设, 减少料头料尾误差。
 - (4) 节流阀采用比例调节, 动作快速、平稳、准确。
 - (5) 节流开度设定自学习功能, 可以根据实际放料时间与设定时间之差, 自动增加一度或减小一度节流开度, 以修正节流开度, 提高流量控制精度。
 - (6) α 角深料线环位修正, 补偿料线深度造成的落料点偏差。
- 溜槽多环布料控制程序在结构上大致分为三个部分:

(1) 程序包括 K (矿) 参数表, J (焦) 参数表, 公用参数表。在溜槽布料时, 按具有放料权的料罐内的料种将 K 参数表或者 J 参数表送入公用参数表。

(2) 从公用参数表中逐一取出各环参数, 控制 α 角、 β 角、 γ 角。

(3) 在放料结束时, 计算布料误差和节流阀开度 γ 参数修正值, 送回相应的参数表。

按照工艺要求, 溜槽多环布料控制采用了时间法控制。在时间法控制中, α 角由一环到下一环的条件是 β 角所转圈数, 与实际布料重量无关。

时间法的具体控制过程为: 首先根据料种不同从溜槽控制参数表中取相应控制参数到公用参数表。然后根据料线不同取出不同的 α 角修正参数, 并计算设定放料时间。启动 α 、 β , 到位后, 节流阀的开度即 γ 角, 由操作人员在人机界面设定, 控制液压比例调节阀为一恒定开度。并开始记录 β 所转圈数, 圈数大于等于设定值, α 角环位加 1。在放料结束时, 判断实际放料时间与设定时间的差值, 根据差值正负, 修正下一罐节流的开度 γ 角的设定值。

溜槽多环布料的控制方法中, 除了时间法, 还有重量法。重量法的具体控制过程为: 根据料种取控制参数的过程相同。是按设定流量控制节流开度随时变化, 以实现恒流量控制法。在重量法控制中, α 角步进条件除了取决于 β 角所转圈数, 还要判断实际布料重量, 只有大于等于 2/3 环重时, 才允许 α 角步进。

虽然恒开度控制的时间法有许多优点, 但是调节阀开度恒定并不代表料流量恒定, 因此它还有不足之处, 不能满足精确布料的需求。尤其是料头、料尾的流量与中间流量的差别较大, 料的粒度不同和料位的高度不同都会造成布料不均。

因此采用随时改变调节阀开度来保证恒定流量的重量法可以改善布料不均的问题。控制原理是, 用设定的流量值与实际的流量值进行比较得到的偏差, 采用 PID 运算控制调节阀开度, 从而使实际流量趋近设定流量, 达到恒流量的控制。

在高炉多环布料控制中, 理论上重量法控制优于时间法, 但是在首钢所有的高炉控

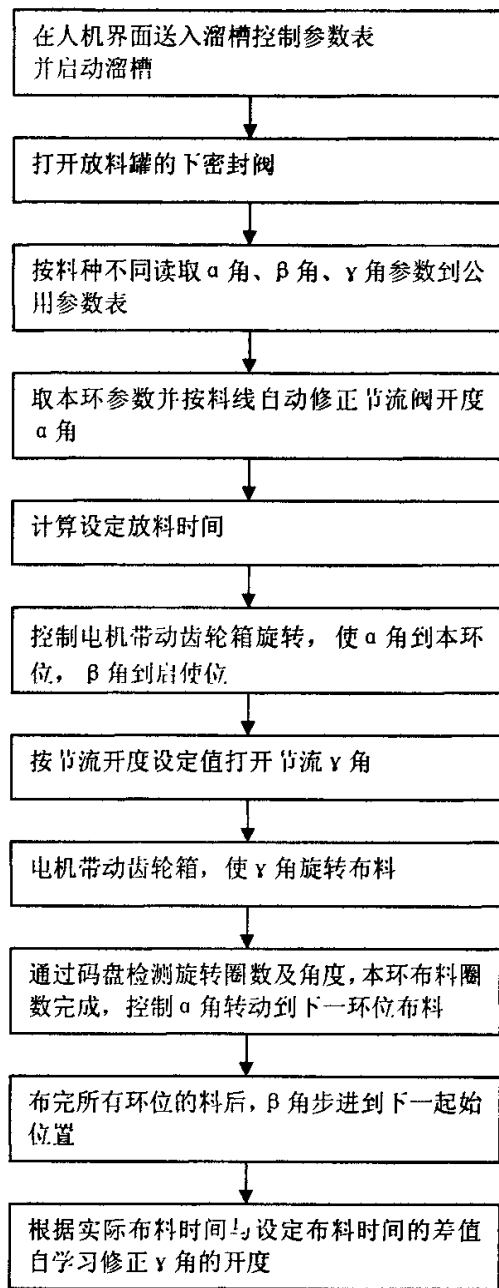
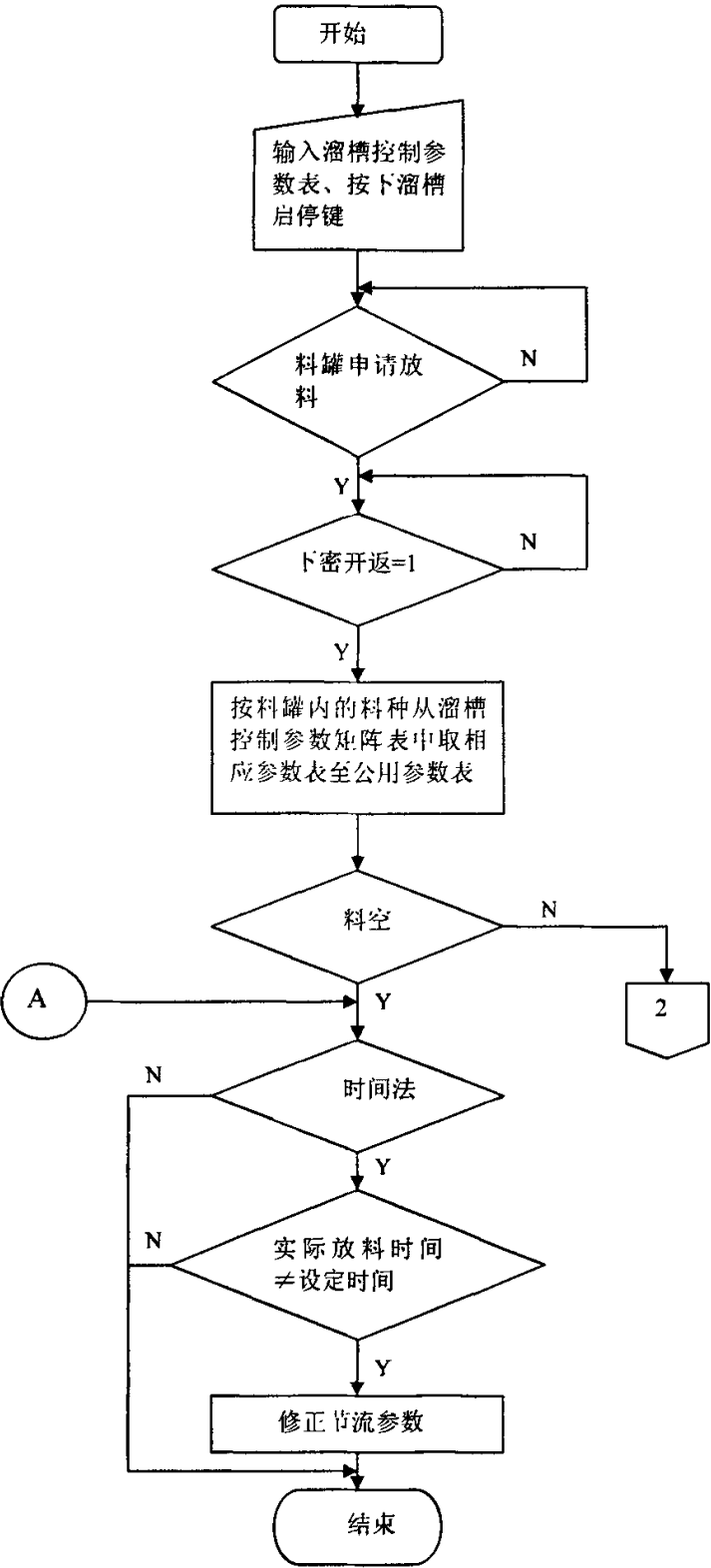
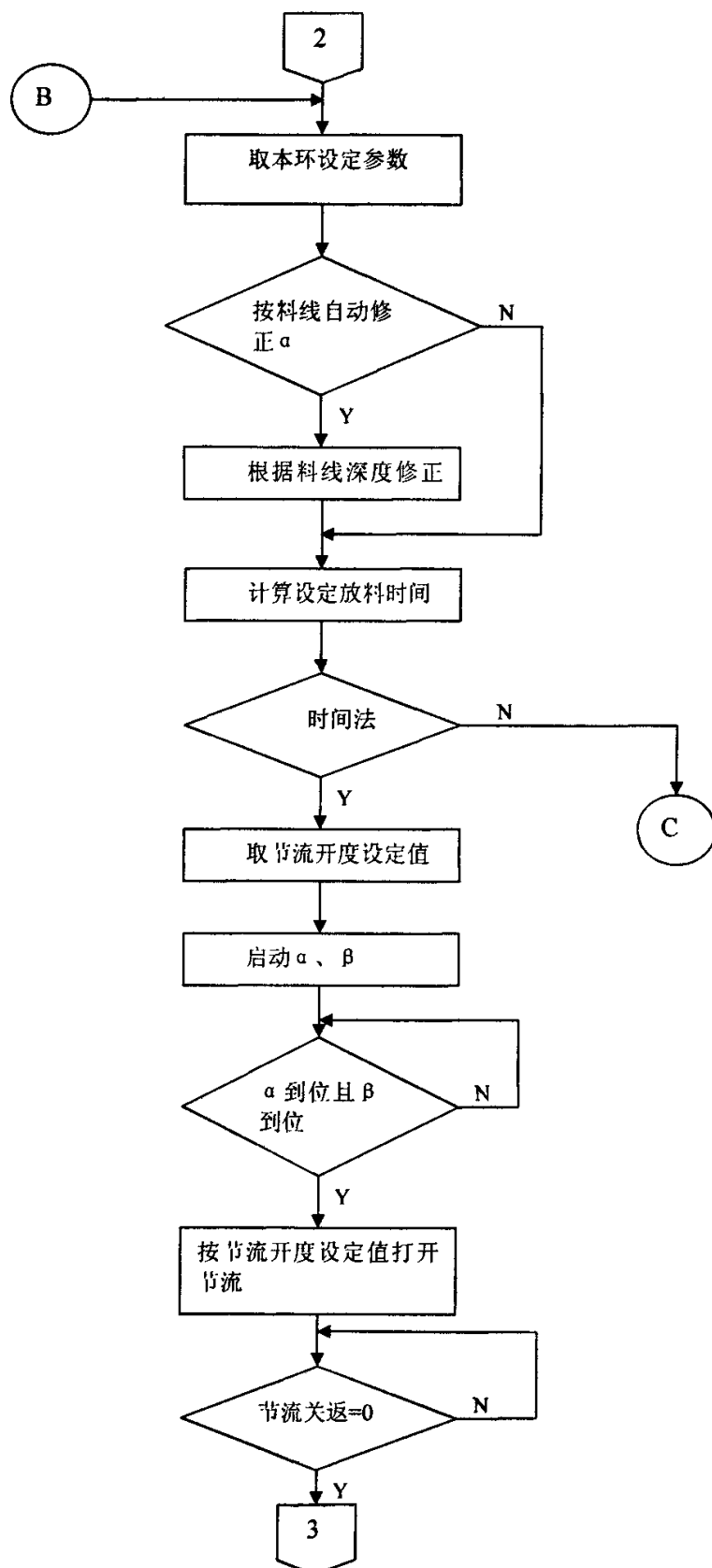


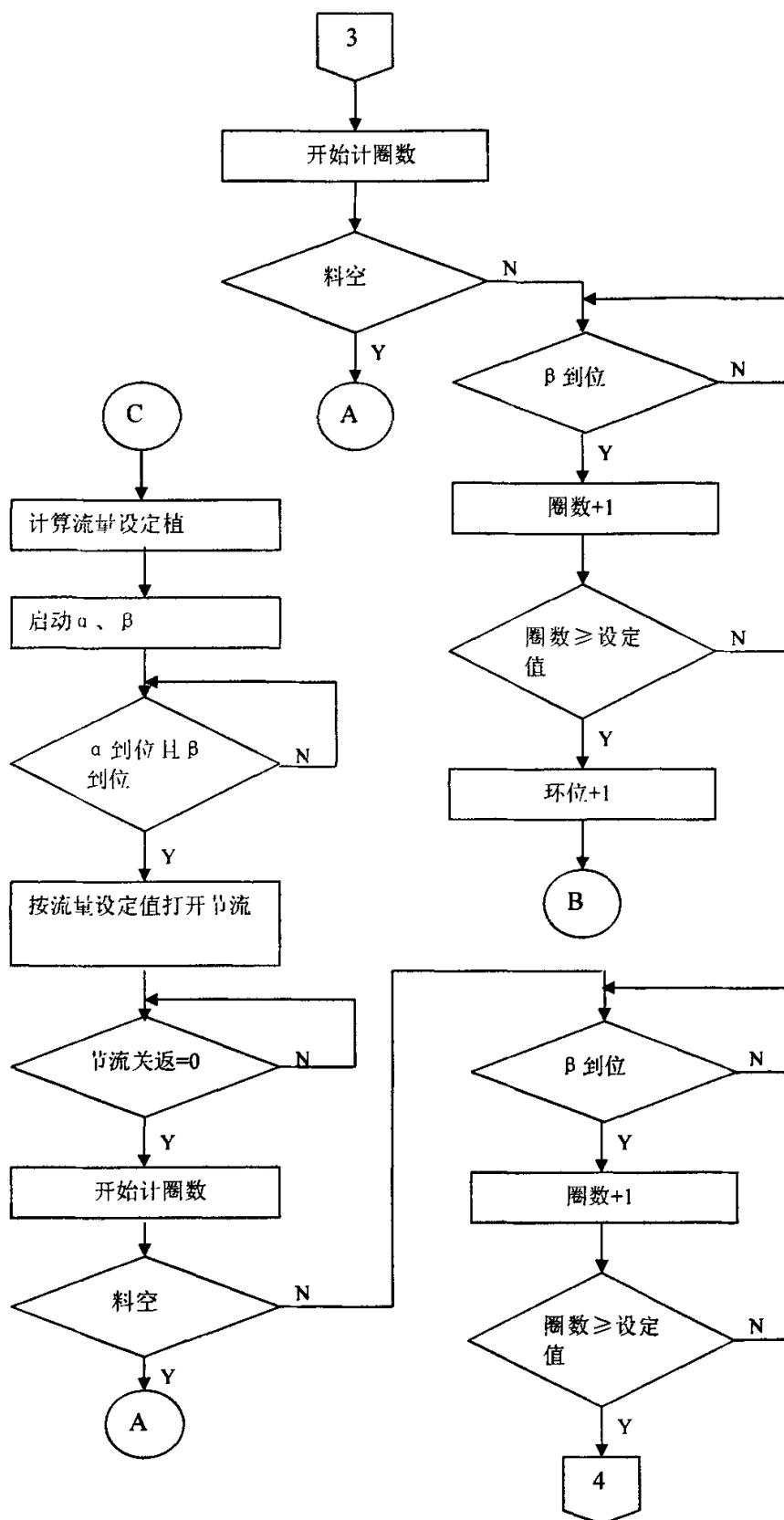
图 4.1 上料溜槽多环布料工艺流程图

Figure 4.1 Many ring distribution technology diagram of chute in the charging system

制系统中虽然控制中大都加入了重量法控制，但操作人员很少使用。其中的原因就是受客观条件的限制，两个罐的称重不够准确，对比例调节阀的响应速度也有更高要求。







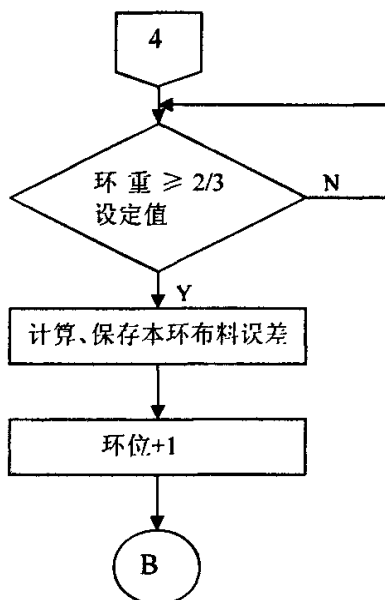


图 4.2 上料溜槽多环布料控制的流程图

Figure 4.2 Many ring distribution control diagram of chute
in the charging system

因此随着仪器仪表自动化设备在技术上的不断进步，相信精确的多环布料控制会很容易实现并得到广泛应用。

灵活多变的布料方式，提高了布料质量，提高了高炉的利用系数。事实证明，无料钟炉顶具有布料灵活、密封性好、维修方便等明显优势，是高炉优化工艺设备的发展趋势^[25]。

具体溜槽多环布料控制的流程图见图 4.2。

4.5 比例调节阀控制系统

实现比例调节阀开度 γ 角的快速精确控制是多环布料的关键。

首钢以前的调节阀都采用的是液压开关式电磁阀控制，由于此种阀只能通过反复手动开关控制使它粗略调节到某一设定开度，造成误差很大，响应时间也极慢。根本无法满足多环布料对流量控制精度的要求^[26]。

因此在新上的高炉自动化系统中，首钢对调节阀的控制都采用了液压比例控制系统。

PID 控制器问世至今已有近 70 年历史，它以其结构简单、稳定性好、工作可靠、

调整方便而成为工业控制的主要技术之一。PID 控制器就是根据系统的误差,利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制的。工业过程往往复杂而难于建模,性能指标很难用单一模式概括,且要求控制器结构要简单成本低廉^[27]。也就是说,当被控对象的结构和参数不能完全掌握,或得不到精确的数学模型时,控制理论的其它技术难以采用时,系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定,这时应用 PID 控制技术最为方便。即当我们不完全了解一个系统和被控对象,或不能通过有效的测量手段来获得系统参数时,最适合用 PID 控制技术。PID 控制器就是根据系统的误差,利用比例、积分、微分计算出控制量进行控制的。高炉的调节阀控制系统便符合以上 PID 控制的要求,其负载形式为摩擦负载及惯性负载。被控对象没有什么固定的参数及精确的数学模型,因此根据系统的实际情况,设计采用了 PI 控制器。

单回路的控制系统,结构虽然简单,却能解决生产中的大量控制问题。它是生产过程中应用最为广泛的一种控制系统,生产过程中 70%以上的控制系统是单回路控制系统^[28]。

(1) 比例 (P) 控制

比例控制是一种最简单的控制方式。其控制器的输出与输入误差信号成比例关系。比例项的作用仅是放大误差的幅值,当仅有比例控制时系统输出存在稳态误差 (Steady-state error)。

(2) 积分 (I) 控制

在积分控制中,控制器的输出与输入误差信号的积分成正比关系。对一个自动控制系统,如果在进入稳态后存在稳态误差,则称这个控制系统是有稳态误差的或简称有差系统 (System with Steady-state Error)。为了消除稳态误差,在控制器中必须引入“积分项”。积分项对误差的作用取决于时间的积分,随着时间的增加,积分项会增大。这样,即便误差很小,积分项也会随着时间的增加而加大,它推动控制器的输出增大使稳态误差进一步减小,直到等于零。因此,比例+积分(PI)控制器,可以使系统在进入稳态后无稳态误差。PI 控制器的控制原理基于以下算式:

$$M(t) = P \cdot e + P \int_0^t e dt + M_{initial}$$

$M(t)$ PID 回路的输出,是时间的函数

P PID 回路的增益

e PID 回路的偏差 (给定值与过程值的偏差,即 $e = SP - PV$)

$M_{initial}$ PI 回路输出的初始值

输出 $M(t)$ 是比例项和积分项的函数。

本系统的比例调节阀控制系统结构如图 4.3 所示：

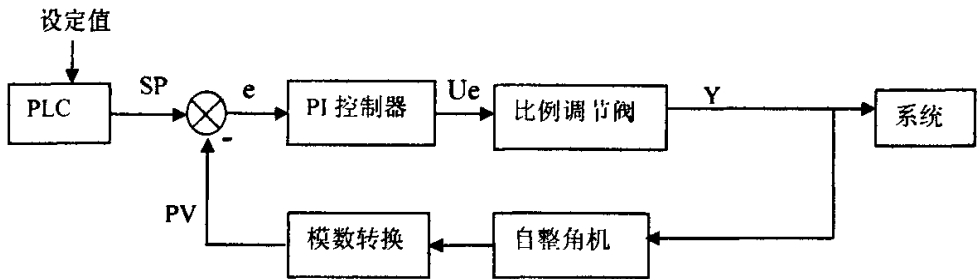


图 4.3 比例调节阀控制系统结构图

Figure 4.3 The structure of control system on proportional valve

从上图可以看到，本系统是一个液压比例闭环控制系统。PLC 将设定值通过模拟量电压值输出作为控制系统的设定值（SP），调节阀的开度由输出轴上的自整角机测量并作为系统的位置反馈信号。设定值与反馈值的差值为偏差值，经过 PI 控制器的计算，再经过放大器将信号放大输出，控制液压系统的比例阀，从而推动油缸动作，最终带动调节阀旋转，达到设定值。

偏差经过比例控制器后，会对偏差值有一个放大作用，从而使控制快速响应，向设定值方向变化。响应速度由比例增益值的大小决定。单纯的比例控制会使调节阀在接近设定值时，由于偏差的值趋近于 0，而产生稳态误差。虽然增大比例增益值会减少这种静态误差，但是，过大的增益会造成反馈的振荡，影响系统的稳定性。因此控制中必须引入积分控制，使得积分项对误差的作用随着时间的增加而增大。这样，即使误差很小，积分项也会随着时间的增加而加大，从而推动输出增大使稳态误差进一步减小，直到等于零。

经过比例积分控制器的控制，由于开始设定值与过程值之间的偏差 e 较大，使得在控制的初使阶段输出的控制电压为最大值，因而比例阀控制油路开到最大，控制比例阀 γ 角全速开大。最后在接近设定值时减速，由积分作用调节使其准确到位并停止。

第五章 HMI(人机界面)监控系统的实现

5.1 上料监控系统概述

生产数据是现代制造业生产正常运转的根源。现场数据流能够迅速准确的传送到 HMI 及管理层系统,并且来自 HMI 的命令及专家系统的命令及时的送达 PLC 是整个系统成功运行的保证。一个设计良好的人机界面,可以帮助操作人员精确的监视、控制生产过程并优化生产过程和资源管理。它能够对生产事件快速响应,减少原材料消耗,提高生产率及用户收益。

在整个上料自动控制系统中,PLC 完成现场数据采集、处理,及逻辑运算,模拟量调节以控制各种复杂的设备。同时它还完成另外一项重要任务,与上位监控系统交换现场数据并接受监控系统的指令执行相应的控制。监控系统的人机界面以流程图、文字、数据及颜色与位置变化来动态地显示系统的运行状态。并且通过按键发出指令,以及通过数据输入来完成炉顶的矿参数表、焦参数表,仓下料罐重量设定以及上料制度的设定等。除此之外人机界面还完成整个系统的报警显示。

本系统的上位监控开发软件使用的是 Intellution 公司的 iFIX 软件。

5.2 首钢二炉上料监控系统人机界面的设计

首钢二炉 HMI 系统彻底废弃了原来在 DOS 下开发的界面,使用 Intellution 公司的 iFix 软件开发了一套全新的人机界面。其形象的动态生产过程显示画面,全面的报警信息系统,方便的触摸屏操作按键,增强了操作人员对生产事件的快速响应能力。并在很大程度上方便了操作人员的操作与技术人员的维护。

iFix 提供了功能强大的画面编辑器。系统提供的画图工具及图库种类非常丰富,包括基本的画图工具、iFix 内建的样本图库、常用工业对象图形、Windows 系统图库对象等。图形可以编辑其动态属性,图形组态操作与编程灵活方便,可实现复杂的动态画面。

数据库是 iFix 信息的储存中心,它保持着与外界信息的联系,通过 I/O 驱动映射表,它可以根据实际过程参数的变化实时更新数据库,也同时将上位用户操作指令传给 I/O 驱动映射表,并发给控制设备。所有动态画面的状态都随着数据库中内容的变化而更新。

进行人机界面设计应遵循的以下最基本的原则 1:在同一用户界面中,所有的菜单选择、命令输入、数据显示和其他功能应保持风格的一致性。风格一致的人机界面会给

人一种简洁、和谐的美感。原则 2：对所有可能造成损害的动作，坚持要求用户确认，例如提问“你肯定……?”等，对大多数动作应允许恢复(UNDO)，对用户出错采取宽容的态度。原则 3：用户界面应能对用户的决定做出及时的响应，提高对话、移动和思考的效率，最大可能的减少击键次数，缩短鼠标移动距离，避免使用户产生无所适从的感觉。原则 4：人机界面应该提供上下文敏感的求助系统，让用户及时获得帮助，尽量用简短的动词和动词短语提示命令。原则 5：合理划分并高效使用显示屏。仅显示与上下文有关的信息，允许用户对可视环境进行维护：如放大、缩小图像；用窗口分隔不同种类的信息，只显示有意义的出错信息，避免因数据过于费解造成用户烦恼。原则 6：保证信息显示方式与数据输入方式的协调一致，尽量减少用户输入的动作，隐藏当前状态下不可选用的命令，允许用户自选输入方式，能够删除无现实意义的输入，允许用户控制交互过程。除此之外还有许多设计原则应当考虑，比如如何正确的使用颜色等^[29]。

应用 iFIX 强大的功能，根据工艺及结构分析，本系统共设计制作了 17 幅监控画面和一个报警总览，总计 18 个人机界面，完成对系统各设备实时监视、控制、数据录入及报警显示。HMI 上位监控的数据全部通过网络提交查询、修改等指令分派至 PLC 控制器，完成对现场设备的在线监视与操作。其中主要的监控画面包括：系统主画面，炉顶画面，N1 皮带及称量罐，数据设定画面，上料制度设定画面，矿焦系统画面及球团系统画面。

上料监控人机界面的设计主要为静态画面和动态画面的组合。静态画面为带控制点的工艺流程图，动态画面为确定来自动态显示点的位置、大小、颜色变化，及 I/O 域及变量值的动态值。也就是说为了显示过程量及编辑过程量，需要定义动态点的显示位置、颜色、数据格式、刷新方式。颜色包括根据数据值变化的动态颜色定义、报警状态颜色定义；数据格式包括数据类型、长度、小数点位置；刷新方式有周期刷新和随时刷新等方式。

各个人机界面的调用有全部画面调用及子画面调用，系统中设计的子画面主要用于一些重要设备的控制，在操作时会跳出确认画面，以避免误操作。

一个设计层次分明，功能全面的人机界面可以提高工作效率，精确地监视、控制生产过程。本系统便设计了一套结构非常合理人机界面。首先进入的为启始画面也就是主菜单画面，通过简单的点击相应的按钮，便可以进入任意一个需要监控的系统画面。然后根据系统工艺结构设计了全局画面，包括主画面、报警画面、系统状态图、专家系统原料规则。这些画面，显示系统的概貌，几乎所有重要设备及动态数据都在这些画面上

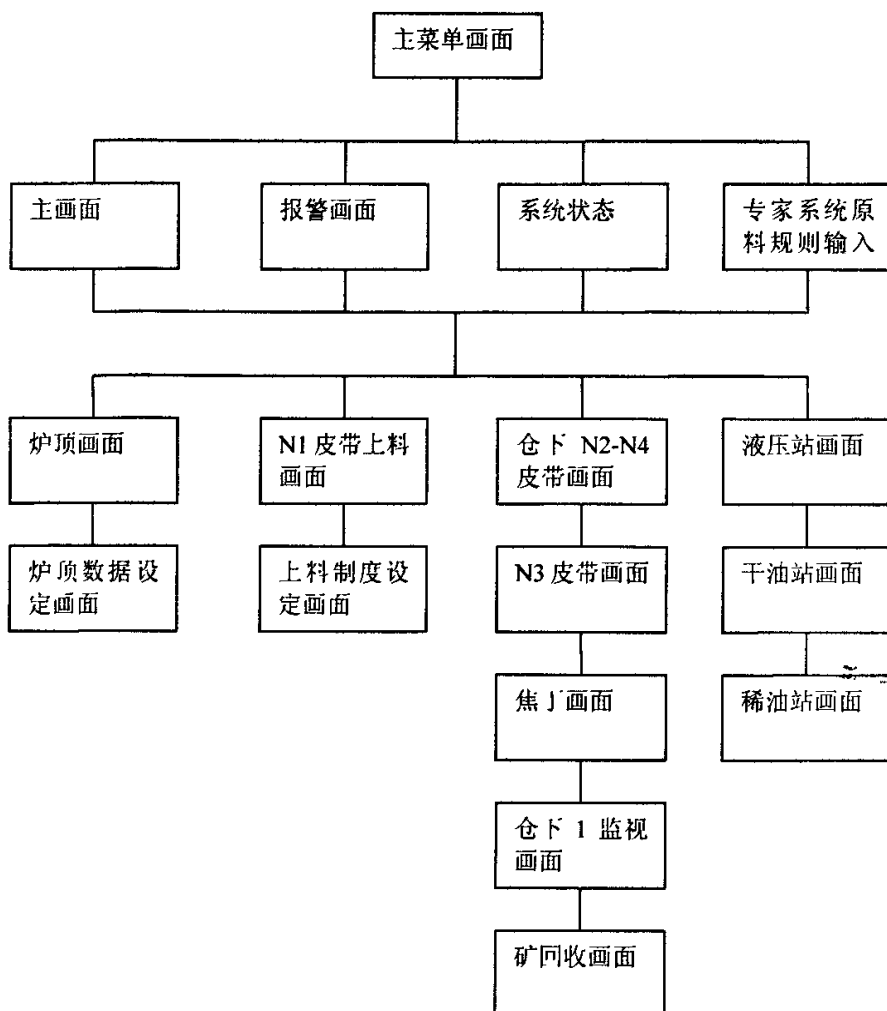


图 5.1 上料 HMI 设计结构图

Figure 5.1 The HMI structure design diagram of charging system

显示了出来，方便操作人员纵览全局。报警监控画面，全面记录系统运行过程中的所有报警。在所有监控画面的底部都设置了常用画面的快捷键，方便操作员直接选择常用的画面，而不必要非跳回主菜单。由于专家系统的需要增设了，增设了一个画面，专门给专家系统传送高炉原料规则组，这些数据由操作工负责输入。数据的接下来设计了各分系统的监控画面，根据功能分为炉顶系统、上料制度系统、仓下系统和辅助系统。其中炉顶系统包括炉顶监控画面和炉顶数据设定画面；上料制度画面包括 N1 皮带监控画面和选程配料数据设定画面；仓下系统则包括 N2-N4 画面，N3 画面，矿回收画面，焦丁及皮带画面。辅助系统包括液压站画面，干油站及稀油站画面。其中针对上料系统需要

操作人员设置调整的数据量大的特点，专门设计了上述炉顶数据设定的画面和选程配料数据设定画面，便于集中的参数编辑。设计结构图见图 5.1

(1) 上料系统主菜单画面

图 5.2 画面既是上位监控系统的封页，也是整个系统的主菜单。操作人员可以看到整个上料系统结构和组成并通过点击相应的选择键就可方便快捷地进入想要监控的系统画面。操作员无论在哪一个画面，都可以点击该画面按键跳回这个画面，然后选择进入新的系统。

这样的设计，既可以给操作员一个监控系统的总体的结构图，也可以减少从各个分画面跳转到其它画面的复杂性。

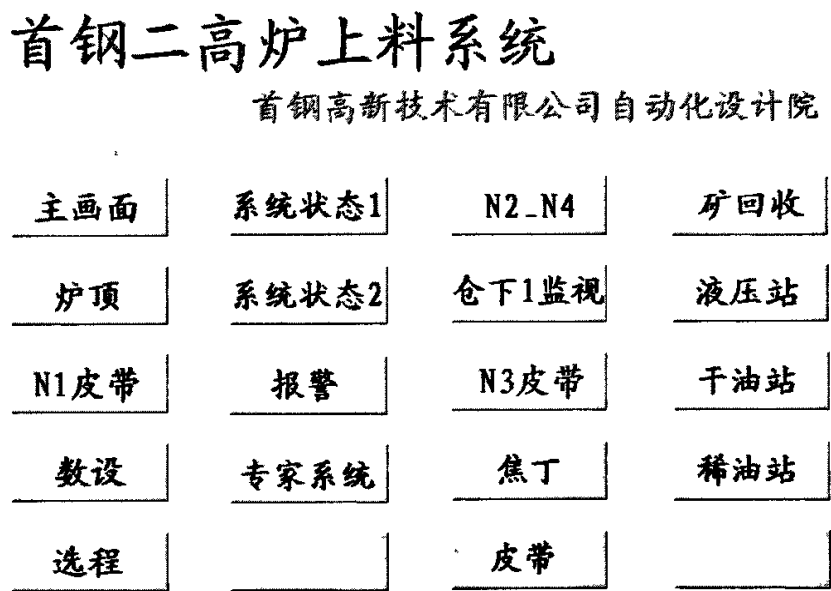


图 5.2 上料系统主菜单画面

Figure 5.2 Main menu of the charging system

(2) 上料系统主画面

图 5.3 画面为整个高炉上料系统的主画面，可综合地监视上料系统整体设备的运行情况。当有报警时，在画面最下端可跳出并闪烁，同时报警铃响，提醒操作人员及时处理。

其中各系统的运行状态及阀的开关状态都用红绿颜色来表示状态

红色：代表设备运行，阀开，极限开关到位

绿色：代表设备停止，阀关

主画面主要显示了炉顶系统，配料制度及主皮带，以及仓下系统

其中炉顶系统可以监视左右罐的工作状态，重量；各放散阀、均压阀、上下密；探尺；溜槽的运转等。

配料制度及主皮带主要显示了 N1 主皮带的运行状况，皮带上料头、料尾的位置；以及主皮带上的各称量罐的重量，阀门开启状态。仓下系统主要显示 11 个杂矿罐的重量，以及装矿系统、装焦系统各皮带的运行状况。

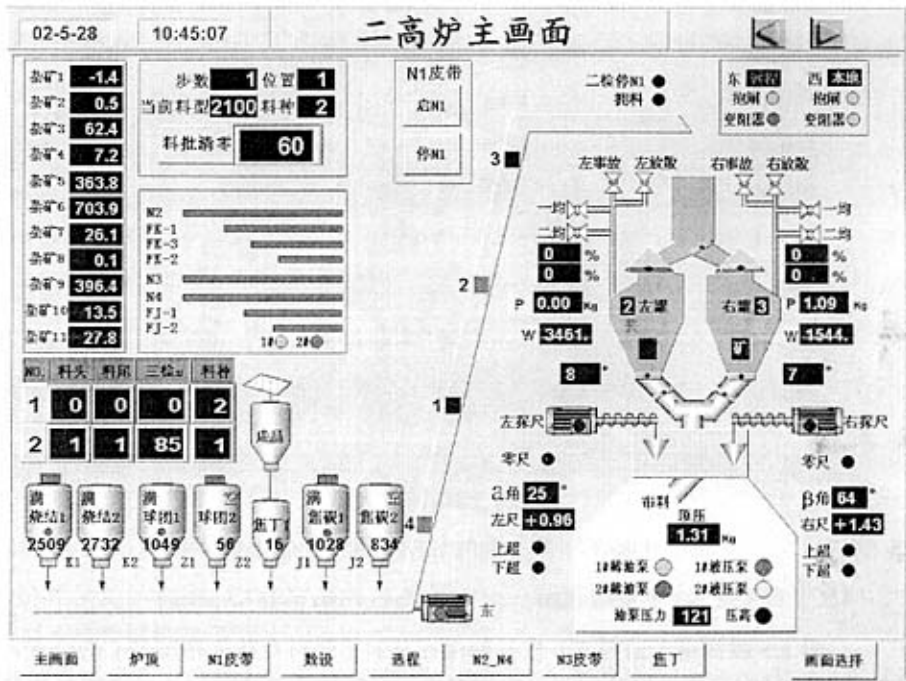


图 5.3 上料系统主画面

Figure 5.3 Main operation system of the charging system

(3) 上料系统炉顶画面

图 5.4 画面可控制并监视炉顶各设备。

炉顶画面的左右各设了一系列控制按键，由操作人员灵活控制各设备，对于一些重要设备的控制，还另加了确认键，以防止操作人员的误操作。各控制键除了有控制功能，还有状态显示功能，即当相应的控制功能启用后，各控制键会用红色字体显示其当前工作状态。

其中炉顶的控制主要有左右料罐的工作选择键，均压阀的选择，操作人员还可以根据生产实际情况提前开上密或禁开下密；也可以控制炉顶在料头到达一检之前提前做好

上料准备。

对探尺的控制包括启停控制，工作方式的选择，点测还是连测以及强提探尺。

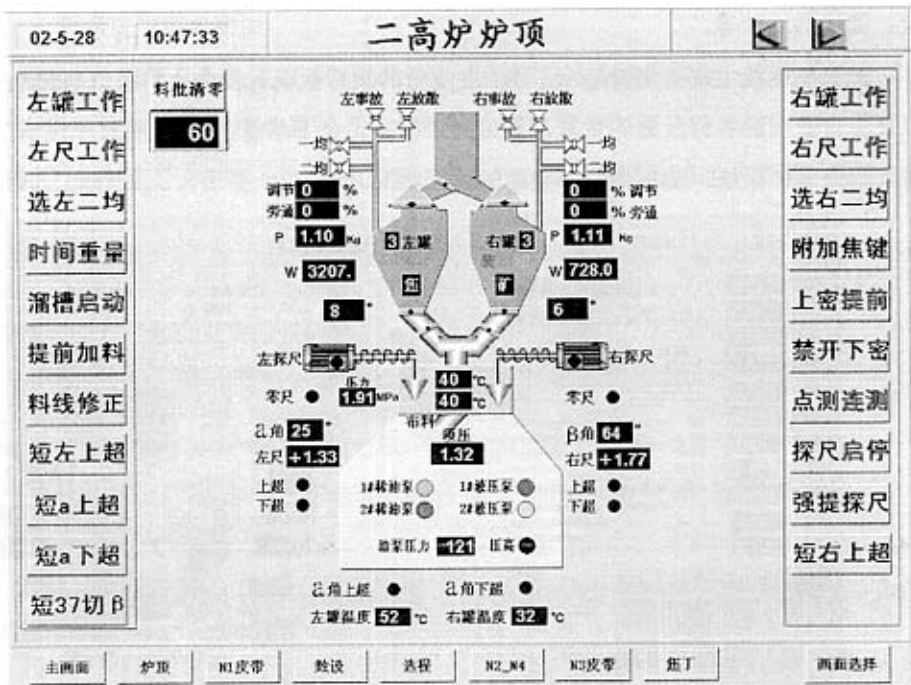


图 5.4 上料系统炉顶画面

Figure 5.4 Blast furnace top of the charging system

(4) 上料系统 N1 主皮带画面

图 5.5 画面用于监控 N1 皮带的运行及显示配料及料批在皮带上的位置，皮带上的
一检，二检为皮带上料头的位置；三检、四检为皮带上料尾的位置。

各个称量罐的当前状态都非常详细地显示在这一画面上，其中有来自称重系统的各
罐的重量显示；PLC 称量补偿系统判断计算出的各罐的空满状态的文字显示，以及各罐
工作键的选择及状态显示。为了防止称量罐彭料卡住，造成料下不来而迟迟不能发料尾，
影响生产效率，加入了人为干预灵活控制，即设计了一个“强制关阀”键，在空信号迟
迟没有到时由操作人员判断彭料，执行强制关阀，发料尾，以免影响下一批料的运输。
为了记录系统中所运的总的料批数，PLC 中对所运料批进行了计数统计，显示在该画面
上，并由操作人员根据生产要求对其进行清零重计数。

除此之外，此画面还显示了上料制度所选择的当前料型，步数及当前的料种。以及皮带上两批料所发料头料尾及料种的状况。

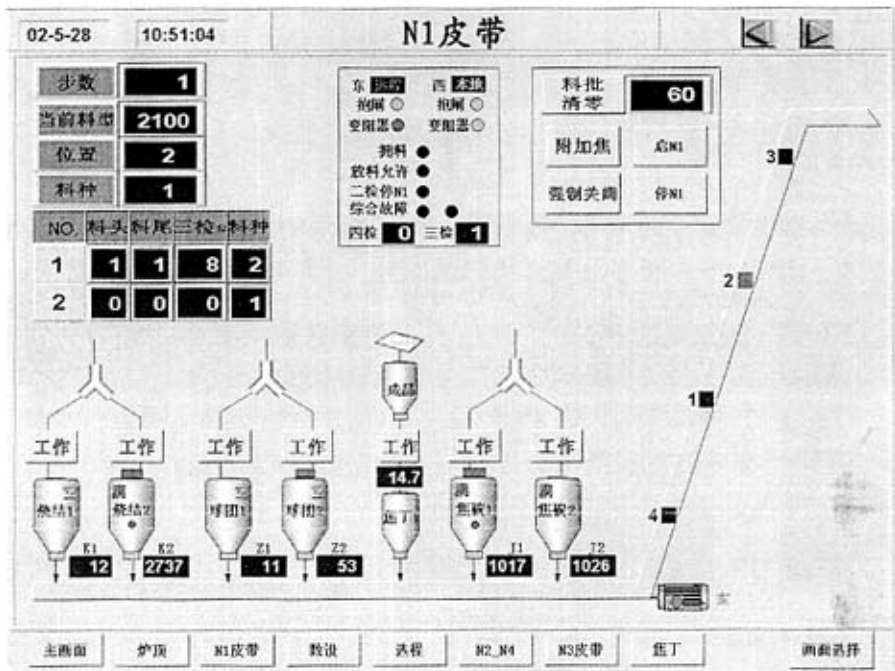


图 5.5 上料系统 N1 主皮带画面

Figure 5.5 Main conveyer belt of the charging system

(5) 上料系统数据设定画面

图 5.6 画面为整个炉顶多环布料及仓下料罐批重设置的参数。多环布料可以设定 K (矿) 参数表, J (焦) 参数表, 即矿的环位, 每一环位的 β 角布料的圈数以及节流开度、料线及 β 角步进。在溜槽布料时, 按具有放料权的料罐内的料种将 K 参数表或者 J 参数表送入公用参数 β 角表。本系统连接工控 PC 机的 CRT 显示器, 为触摸屏显示器。因此为了方便操作人员在触摸屏上触摸控制及设定参数, 特设计了一个触摸小键盘, 并用 iFix 中自带的 VB 脚本编程实现参数的输入。

该画面为整个炉顶多环布料及仓下料罐批重设置的参数。多环布料可以设定 K (矿) 参数表, J (焦) 参数表, 即矿的环位, 每一环位的 β 角布料的圈数以及节流开度、料线及 β 角步进。在溜槽布料时, 按具有放料权的料罐内的料种将 K 参数表或者 J 参数表送入公用参数 β 角表。

本系统连接工控 PC 机的 CRT 显示器, 为触摸屏显示器。因此为了方便操作人员在

触摸屏上触摸控制及设定参数，特设计了一个触摸小键盘，并用 iFix 中自带的 VB 脚本编程实现参数的输入。



图 5.6 上料系统数据设定画面

Figure 5.6 Data setting of the charging system

(6) 上料系统上料制度设定画面

图 5.7 画面用于上料制度的设定。最多可设定 20 步，每步根据需 要设定不同或相同的料型，如果用不了 20 步，则未设定的步自动越过，直到遇有实际值，满 20 步后自动回到第一步循环运行。可以设定的料型有 KJ, KJJ, JJJJ, K, Z, J, JK 七种固定料型，程序中用 2 代表 K, 用 1 代表 J, 用 3 代表 Z。例如：设定 KJ 料型，则在选程画面中输入 2100（后面的用 0 补齐）。其它六种料型的设定分别为 2110、1111、2000、1000、3000、1200。

此设定画面为了满足触摸设定的功能，也同样设计了一个小键盘。上料系统上料制度设定画面

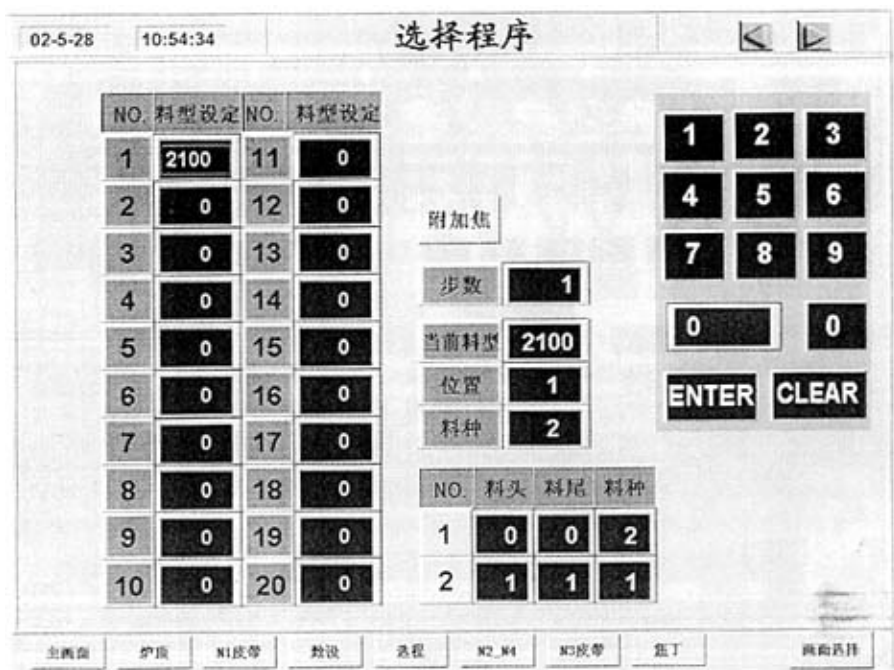


图 5.7 上料系统上料制度画面

Figure 5.7 Charging rule of the charging system

(7) 上料系统仓下矿焦画面

图 5.8 仓下矿焦系统画面包括装矿系统的启停控制，12 个烧结矿筛的选择信号与状态显示，装矿皮带 N2 及三条返矿皮带的运行状态，烧结 1，2 号称量罐的工作，上部翻板、下阀门开启状态及重量显示。画面的下部是对装焦系统的监控，包括装焦系统的启动停止控制，焦碳 1，2 罐的工作启用与监控，上部翻板、下口阀门的开启状态及罐重显示。焦筛与装焦皮带 N4 及两条返焦皮带的启停状态显示。其中红色表示运行或阀门开，绿色表示停止或阀门关。上料系统仓下矿焦画面

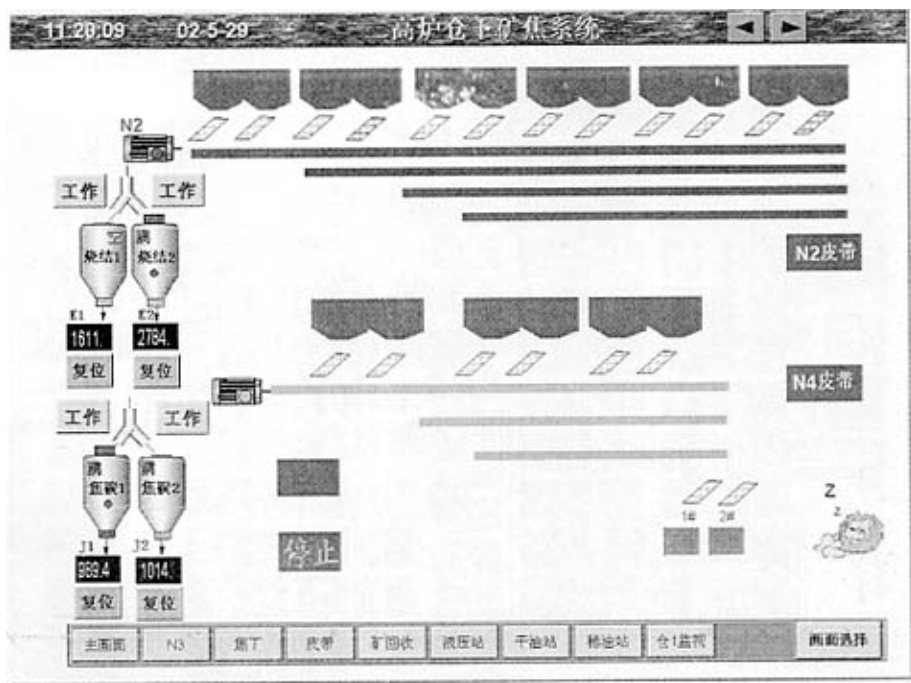


图 5.8 仓下矿焦画面

Figure 5.8 Ore and coke charging system

(8) 上料系统生矿、杂矿画面

图 5.9 为生矿、杂矿监控画面，包括球团装料系统的启停控制、N3 皮带的状态监视。以及 4 个杂矿罐，6 个生矿罐以及对应的给料机、球团振筛的选用及状态监视，称量补偿累积误差复位控制，放料顺序的设定。球团 1，2 罐的控制及上部三通阀的开启状态。另外系统还集中显示了给料机及 N3 皮带的过热及故障报警。所有给料机都设有本地控制箱，操作员可以选择本地操作箱控制或远程计算机控制。只有在远程状态下，PLC 对这些设备才有控制权限。

(9) 上料系统碎焦系统画面

图 5.10 画面为碎焦系统的监控画面，包括：烧结矿、球团矿及焦炭的三个电动三通板阀的监视与手自动控制，返焦皮带 1 号和 2 号的监视与控制。烧结 1，2 罐，球团 1，2 罐，焦丁罐，焦碳罐 1，2，皮带系统监视，及两个焦碳罐的中子测水报警。

电动三通阀与返焦皮带的状态监控也很全面，包括远程/本地控制状态，急停状态以及过热故障报警。

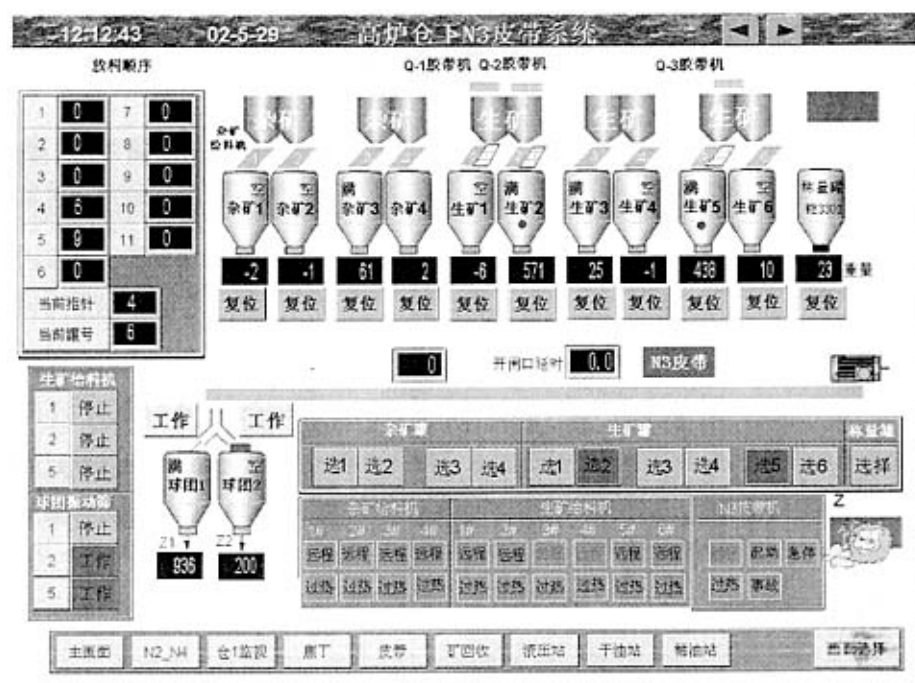


图 5.9 仓下杂矿及生矿系统

Figure 5.9 Mixed ore and raw ore charging system

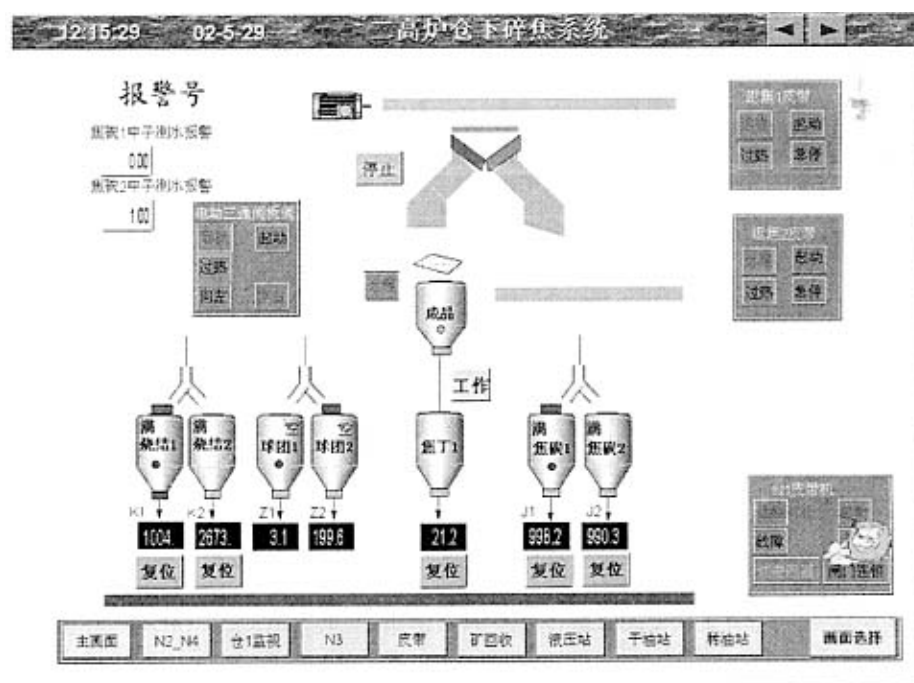


图 5.10 仓下碎焦系统

Figure 5.10 Smash coke charging system

第六章 专家系统概述

6.1 高炉专家系统的提出

大高炉监视、测量点比较多，反映的信息多，在操作中，操作人员往往只注意到主要因素，不能全面地对所有信息进行连续的观察、分析、判断，当事故发生征兆比较明显时，已经错过了处理的最佳时机，造成处理调整的滞后或导致事故的发生。

高炉操作人员对测量的各种参数都有自己的主观判断，特别重视一些主要参数，由于认识不同，会以不同的方式来处理各种高炉运行状况，因此，一个成熟的高炉操作者，至少经过四、五年或更长时间的操作实践，才能在高炉的操作中进行合理的综合判断，采取正确有效的手段，对高炉进行调整，避免产生较大的波动，影响到炉子的稳定运行。

由于操作人员的调动，他们操作实践中积累的经验，也随着他们的变动而带走，新的人员又得经过长时间的摸索锻炼，无前人的经验借鉴，造成某一特定高炉操作经验财富的流失，以及操作人员的变动而造成高炉操作不稳定因素的永远存在。

基于上述因素，国外从八十年代开始纷纷在各自的高炉开发专家系统，及时全面的监测高炉各种信息，能早于人 2-3 小时预测到高炉正在出现问题，对操作人员提出建议，并作出解释；能全面地以前后一致的科学方法来处理相关的所有信息，不会对某些意见存有偏见。如果同时发生了一种以上的异常现象，它会根据轻重缓急以及采取过何种措施等因素，来决定采取进一步的措施的优先次序。从而减少高炉操作事故的发生，高炉操作顺序合理，调整量适当，避免过急，并且不断地给系统添加积累高炉操作的实践经验，给予后来的操作者指导和帮助，统一三班操作，稳定高炉顺行，降低焦比，提高产量。

6.2 高炉专家系统的发展

从 80 年代起，日本首先开始研究高炉专家系统，90 年代初新日铁开始在他们的高炉上应用了 ALIS 系统（ARTIFICIAL AND LOGICAL INTELLIGENCE SYSTEM FOR BLAST FURNACE OPERATION 高炉操作人工逻辑智能系统），据称命中率高达 98-99.5%，川崎采用了 GO—STOP 系统也取得了满意的效果，命中率也达 94%^[30]。

目前世界运用最好、水平最高的是欧洲高炉采用的专家系统。奥钢联 86 年开始研究专家系统，92 年开始使用，97 年所采用的专家系统实现了闭环控制；芬兰专家系同经过几次较大的改进已到了第四代，第一代从 80 年代开始，主要是进行监控，热力学及经验公式计算，提供辅助信息管理和决策。第二代研究是从 94 年开始，引进了日本

GO—STOP 系统,做了不断的完善改进,发展原有的功能和规则。目前使用的第四代高炉专家系统,已建立了完整的数据库,能对高炉进行全过程的控制和管理,还可向用户解释推理过程,进行模糊推理,保证高炉长期的稳定顺行^[31]。

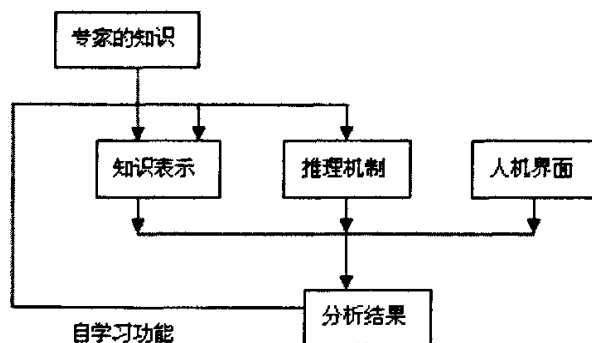
高炉一直是专家系统开发的热点,我国鞍山钢铁公司也在 1986 年开始开发高炉专家系统。最近几年,利用开发和移植相结合的方法,宝钢、武钢等大型钢铁公司也开始使用专家系统^[32]。

专家系统能在同一时刻进行:炉料情况监控、了解炉料的结构组成及化学分析,以及炉料的下降速度,悬料、滑料情况,对煤气流分布进行监控,观察渣皮的形成与脱落,压差的形成与控制;还能进行热平衡计算,对热状态指数、直接还原率、C 比例进行连续计算,较好的实现炉热水平控制,渣铁平衡控制、清除不稳定状态,保证高炉始终处于稳定状态,这是任何一个操作人员都无法同时完成的。专家系统的运用,克服了人与人在操作上的差异,所提供的操作原则与参数能够加快操作人员学习掌握高炉规律步伐,学习专家系统的过程也是一个培训提高的过程。

应用高炉专家系统,可以提升高炉人工智能控制水平。专家系统是早期人工智能的一个重要分支,它可以看作是一类具有专门知识和经验的计算机智能程序系统。专家系统的迅速发展和广泛应用大大推进了各个应用领域向智能化方向发展,成为人工智能从实验室研究进入实用领域的一个里程碑。

专家系统应用人工智能技术,根据一个或多个人类专家提供的特殊领域知识进行推理,仿真人类专家作决定的过程来解决那些需要专家知识才能解决的复杂问题。它要求有两个方面的能力:首先是一个有大量的专门知识,第二是能根据环境和对象灵活运用知识,并能根据不精确和不完整的证据得到较好的结论。

因此,一个完整的专家系统是由四个部分组成的:知识库、推理机、知识获取部分和解释接口组成。其中知识库用来存放相关领域专家提供的专门知识。推理机的功能是根据一定的推理策略从知识库中选取有关的知识,对用户提供的证据进行推理,直到得出相应的结论为止。推理机包括推理方法和控制策略两个部分。知识获取过程可以看作是一类专业知识到知识库之间的转移过程。人机接口则完成输入输出的人性化。下图为专家系统的主要结构。



专家系统主要结构

图 6.1 高炉专家系统配置原理图

Figure 6.1 The principle diagram of Blast Furnace Expert system.

高炉由于过程复杂，很难以数学模型准确的描述，特别是炉子遇到问题的时候，往往还是需要要有经验的操作工进行操作。因此把操作工丰富的操作经验输入到计算机中，计算机根据各种数据，作出经验的判断，使高炉能够良好的运行，或在遇到事故时做到及时的预警。国外有些人工智能对炉况的命中率可达到 99%。

高炉专家系统利用专家系统的思想来模拟高炉操作工长的思维过程，其原理是通过高炉冶炼过程中所积累的经验冶炼过程理论建立的知识库，并利用系统推理机对高炉实际生产中的各种高炉参数进行逻辑分析和判断，从而给出操作指导。

高炉专家系统的研发过程是先将所有获得的知识列成表，知识的获得一般来自专业书籍，高炉专家的知识，以及有经验的炉长、工长的知识。然后将获得的知识编写成专家系统可用的规则，并使之能有效推理和获得高的命中率。规则的表达方式具有模块性、自然性、结构化和通用性的特点。

6.3 二高炉专家系统基本思想

改造后的二号高炉在高炉人工智能控制方面引进了芬兰罗德洛基公司的专家系统。使首钢在高炉智能控制方面的技术水平达到国际先进水平，提高了高炉整体的操作水平，为高炉的高产、稳产做出了贡献。

首钢二号高炉专家系统使用了 HP Netserver LH 3000，具有双处理器的 Pentium III 机器。机器上安装了 Microsoft Windows NT server V4.0 操作系统，主要开发软件有：Oracle 8i Release 3 标准版，Microsoft Visual C++ V6.0 专业版，Blaze Expert SDK for Windows NT。

高炉专家系统利用人工智能中，模拟高炉操作工长的思维过程，逻辑判断，并利用其多年的经验积累。其原理是通过高炉冶炼过程中所积累的经验冶炼过程理论建立的知识库，并利用系统推理机对高炉实际生产中的各种高炉参数进行逻辑分析和判断，从而给出优化的高炉操作指导。工作原理图见图 6.2

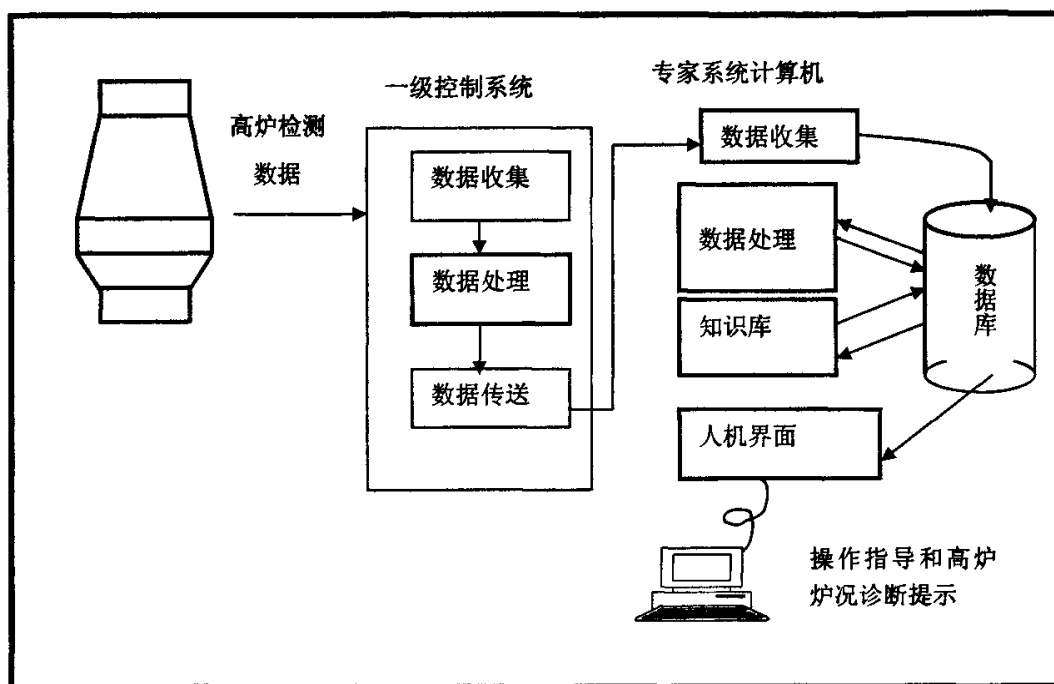


图 6.2 高炉专家系统配置原理图

Figure 6.2 The configuration diagram of Blast Furnace Expert system

首钢二高炉专家系统的组成：

- (1) 知识库，存储和管理获取的高炉冶炼知识和操作经验
- (2) 推理机，采用搜索式算法，根据参数变化搜索推理炉内现象并确认、查询各现象的处理对策及优先级别和历史，最终做出动作决策。
- (3) 数据库，为 Oracle 关系型数据库。存储由高炉过程计算机传送过来的已经预处理过的检测数据，二次处理的结果、复合参数计算结果、通过人机界面手工输入的数据，以及推理的结果，用于显示的画面数据等^[26]。
- (4) 人机界面，完成读取数据库中所需数据在下拉式菜单中有趋势曲线，数据录入、模型显示、信息提示、统计及参数等画面。运用势图给操作人员提示当前炉况，将专家系统的分析结果及行动建议显示出来。在主画面上将最重要

的风温、风量、炉顶煤气成份，炉热状态、铁水含 [Si] 及温度等参数的曲线和数字形式显示。下面的提示框有专家系统对炉况分析的操作建议文字显示。

(5) 知识获取子系统，用于对知识库的编辑修改和更新

(6) 解释子系统，对高炉现象产生的原因和推理结果进行解释。

首钢二高炉专家系统的特点是：专家系统能同时对数以万计的数据进行分析计算处理，提供给工长丰富的画面，以使操作人员能及时准确掌握高炉的变化；专家系统使高炉的分析实现量化的分析，避免漏判与误判，使高炉的调剂量更加合理；统一的炉况判断标准使三班工长操作一致。知识库友好的开放性，对各种新的情况能及时修改规则，保证了系统的可靠性，提高了命中率。

首钢二高炉高炉专家系统的作用：利用专家系统可改进高炉过程控制，在预报的基础上比传统的高炉过程控制方法让高炉更加平稳。从而使：

(1) 高炉炉况稳定，减少了不必要的能量消耗从而降低燃料比；

(2) 高炉操作风险失误降低，提高生产率；

(3) 铁水成份，特别是 Si、Mn、S 和铁水温度更加均一，满足炼钢要求。

6.4 二高炉专家系统的功能与改进

首钢二号高炉一级系统采集 552 个温度点、22 个压力点和 120 个流量点，从采集的数据中观察高炉内的状况。数据采集系统将测量值自动采入，经预处理后传递给高炉专家系统用于推理使用。专家系统推理机中知识有 47 个规则组、1163 条规则。这种表达方式具有模块性、自然性、结构化和通用性的特点。

二号高炉的专家系统包括四个控制系统和五个单体模型。

四个控制系统为：高炉顺行控制、热状态控制、炉型管理控制和渣铁平衡控制。

五个单体模型为：炉身模拟模型(Shaft Simulation Model)、炉料计算模型(Burden Calculation Model)、炉料分布模型(Burden Distribution Model)、炉缸渣铁模型(Hearth Simulation Model)、炉缸侵蚀模型(Hearth Wear Monitoring Model)

6.4.1 四个控制系统功能简介

四个控制系统是高炉专家系统的主体，基本涵盖了高炉工长日常操作的全部内容，这四个控制系统为：高炉顺行控制、热状态控制、炉型管理控制和渣铁平衡控制。

(1) 顺行控制

高炉顺行控制对高炉生产的顺行状态进行全面管理,通过对高炉料尺工作状态、部分压力和煤气成份等的采样值,以及值的变化和标准偏差的分析,对高炉的塌料、气流和管道行程进行有效的预测和预防;

(2) 高炉热状态控制

高炉热状态控制则是通过代表高炉下部热状态的炉热指数(TQ)来定量描述高炉高温区热的各项收入、支出最终盈余情况,实践证明 TQ 与高炉铁水[Si]有很好的对应关系,并能反映[Si]变化趋势,从而对高炉热状态和铁水含[Si]实施有效控制;

(3) 炉体管理控制

炉体管理控制是通过炉体各部的温度和热负荷绝对值与波动情况以及对高炉炉喉煤气分布(十字测温)各点和变化与特征值进行对比分析,来监测高炉的炉墙是否有结厚和渣皮脱落,边缘与中心气流的分布是否合理。

(4) 渣铁平衡控制

渣铁平衡控制则通过物料平衡的方法,实时计算炉缸中渣铁的生成量和出铁速度,来监测炉缸中的渣铁量,对出渣出铁进行指导。

6.4.2 功能改进

高炉专家系统是具有多目标、多影响因素的系统,高炉炉况知识具有复杂性、动态性和不确定性,知识库质量是高炉专家系统性能是否优越的关键因素。引进的专家系统有些方面并不能满足实际生产情况的需要,因此针对首钢二号高炉的具体情况,专家系统进行了一些功能增加与改善,其中与上料有关的增加了两个单体模型。

例如,由于国外高炉的原料质量比较稳定,原系统中没有关于原料质量的内容,为了使系统更能适应首钢情况,在本次首钢二号高炉联合编程过程中增加了高炉原料规则组,当料的性能发生变化时,及时给出操作指导建议。

另外,原系统中的高炉塌料模型,为每次加料时用两次料尺深度差判断是否发生塌料,对于加料期间的塌料不能及时做出判断,本次我们修改为用料尺下降速度进行判定,这样就能做到实时判断塌料。

6.4.3 二高炉专家系统应用与性能测试

二炉专家系统安装与 2003 年 5 月 23 日高炉送风投产同步运行,10 月 11 日起至 10 月 30 日进行了为期 20 天的系统调试,调试的重点是对规则组的各个参数根据二炉开炉以来的各种操作实际进行重新设定。二高炉专家系统经调试后,运行状态明显改进,如

调试完第二天，二炉 7:15 出现热悬料，专家系统 5:00 就提前预报高炉向热，连续提示减煤降温。对气流的预测专家系统能提前约 2 个小时进行提示，通过一段时间的观察，高炉热状态指数水平和趋势与铁水炉温水平和趋势存在一定量关系，能指导工长日常调剂。

2004 年 3 月 1 日首钢二高炉开始对专家系统的性能进行了验收测试，测试期为 2003.3.1. 00:00:01 到 2003.3.16. 00:00:00 共 16 天。参考期为系统调试前的 2003.9.1 到 2003.9.30 共 30 天。经测试对比，高炉测试期燃料比节约（未补偿）：7.6kg/thm，考虑在参考期，平均风温是 1160℃，而测试期为 1140℃，风温变化应补偿：2.0kg/thm 的因素，总燃料比节约： $7.6 + 2.0 = 9.6\text{kg/thm}$ 。高炉利用系数测试期提高 4.2%，折合日产 178 t/d。

因此，首钢二号高炉专家系统实现了在操作控制、技术分析和决策管理上的“三位一体”应用。对高炉冶炼过程进行自动控制，达到高炉各项制度合理、炉况顺行、高炉冶炼指标改善、寿命延长起着十分重要的作用。人工智能系统的特殊性，决定了它是一个跨越多学科、充满活力、对基础研究的依赖性很强的一个领域，它的发展，必将为高炉自动化生产带来更加美好的未来，并使人类最终实现“无人化操作”的梦想。

第七章 结论

首钢二号高炉大修改造工程计算机自动控制系统于 2003 年 5 月投入运行。改造后的上料自动控制系统与以往的自动控制系统相比,具有以下特点:系统性能可靠,抗干扰能力强;人机对话方便直观、操作简单、上料速度快;称量补偿准确,称量补偿误差小于 1%;软件修改方便;监视系统完善、报警功能齐全;炉矿稳定,明显提高了高炉的利用系数。实践证明整个系统的设计合理先进,操作简便,可靠性高,提高了劳动生产率,减轻了操作人员的劳动强度。特别是完善的多环布料控制技术,提高了高炉煤气利用率,降低焦比,延长高炉寿命。

系统中应用的多环布料、称量补偿等新的控制技术,提高了自动控制水平。新增加了返矿回收系统,使资源得到了充分的利用,降低了生产成本,取得了年创利 6000 万元的良好经济效益和社会效益。

随着新的上料自动化项目的顺利投产,上料系统获得了可观的经济效益,提高了生产率,系统运行稳定可靠,易于维护,自动化水平明显提高。

参考文献

1. 王筱留. 钢铁冶金学[M], 冶金工业出版社, 2000: 4-5
2. 马竹梧. 高炉自动化进展及今后策略[J], 高炉自动化会议论文集, 1990:5-6
3. 北京钢铁学院教研室. 钢铁冶金学[M], 1984: 47-48
4. 彭军. 传感器与检测技术[M], 西安电子科技大学出版社, 2005: 3-5
5. 毕学工. 高炉过程数学模型及计算机控制[M], 冶金工业出版社, 1996: 2-2
6. 李少东. 高炉自动控制系统应用研究[M], 合肥工业大学, 2004: 7-8
7. STENERSON JON. Industrial Automation and Process Control [M] , Pearson education, Inc, publishing as prentice Hall PTR, 2003: 28-29
8. 马竹梧. 炼铁生产自动化技术 [M] , 冶金工业出版社 , 2005: 14-15
9. 孙彦广. 冶金自动化技术现状和发展趋势[J], PLC 技术网, 2006: 2-3
10. 崔坚. 西门子工业网络通信指南[M], 机械工业出版社, 2005
11. 张仁堂. 现场控制网络与信息网络的互联及管理[J], 2003.2(14): 177-178
12. 王仁祥等. 现代可编程控制器网络通信技术[M], 中国电力出版社, 2006: 19-20
13. Zhengkai GAO. The recent technical progress of iron making in China[J], The Eighth Japan-China Symposium on Science And Technology of Iron And Steel, 1998: 17-18
14. Alan V. Openheim. Signals and Systems (Second Edition)[M], Publishing House of Electronics Industry, 2005: 582-583
15. Schneider Electric. Modbus Plus Network[M], 2002: 21-34
16. 施耐德电气公司. Concept 用户手册 [M], 2002: 140-172
17. Intellution 公司. iFix 手册[M], 2002: 10-50
18. 由文全. 实用高炉炼铁技术[M], 冶金工业出版社, 2002: 1-5
19. 邓守强. 高炉炼铁技术[M], 冶金工业出版社, 1990: 140-141
20. 钱人毅. 高炉无钟炉顶布料规律的研究[J], 首钢科技, 1999.4: 26-28
21. 刘云彩. 高炉布料规律[M], 冶金工业出版社, 2006: 222-223
22. 李国玮. 齐树森. 首钢 4 号高炉多位往复式布料的研究[J], 首钢科技, 1999.4: 17-19
23. 王鼎元. 首钢四号高炉高产稳产操作的实践首钢科技[J], 首钢科技, 1999: 58-59
24. 刘云彩. 高炉布料规律[M], 冶金工业出版社, 2006: 222-223
25. 高肖林. 济钢 2#高炉炉顶无料钟上料控制系统改造首钢科技[J], 自动化网, 2005: 6-7
26. 张雨欣. 高炉无料钟炉顶多环布料[J], 首钢科技, 1999.4: 209-212

27. 丁长官. 现代控制理论及应用[M], 哈尔滨工业大学出版社, 2005: 2-3
28. 翁维勤. 过程控制系统及工程[M], 化学工业出版社, 2002: 1-2
29. 侯金奎. 浅谈人机界面设计[J], 2003.12: 1-2
30. 马竹梧等. 高炉炉矿判定 GO—STOP 分析与移植[M], 冶金自动化, 1992: 1-10
31. 马竹梧. 高炉专家系统的最新进展[J], 世界钢铁, 2003
32. 吴明. 高炉计算机分级控制技术研究及应用[D], 重庆大学硕士论文, 2002: 63-64

致 谢

本课题的研究是在李鸿儒副教授的悉心指导下完成的，在论文的撰写过程中，导师给予我耐心的指导，启发我、鼓励我、支持我。李老师正直的人品、宽广的胸怀、和蔼可亲的为人、兢兢业业的工作作风、诲人不倦的师者风范使我终身受益，在此谨向导师表示衷心的感谢和深深的敬意！

这里，还要感谢与我共同完成高炉上料控制计算机系统工程的两位工程师黄鸣放、许恩全，从他们身上我学到了一丝不苟、埋头苦干的工作作风，没有大家的团结合作，就不可能保证这个项目的顺利投产。

最后，我还要感谢我的父母、丈夫和儿子，在我学习期间，是他们承担了家庭的重担，保证了我的工作和学习顺利进行。亲人的鼓励与支持永远是我前进的动力。