

北京交通大学

硕士学位论文

多传感器融合变频控制除尘风机节能系统的研究

姓名：张鹏宇

申请学位级别：硕士

专业：电子与通信工程

指导教师：延凤平

201206

中文摘要

摘要：工程实践中提高工作效率，合理利用能源，最大程度减少能源的浪费是当今世界重要的课题。融合多种传感器，利用变频控制技术是重工企业节能的有效手段。论文以首钢集团长治钢铁厂的炼铁除尘节能系统改造为背景，完成系统的设计改造及相关技术的研究与应用。论文对多传感器融合变频控制除尘风机节能系统进行全面的研究与论述，取得了诸多创新性的成果。主要有以下几方面：

（1）根据炼铁厂的实际环境，设计制作了激光烟尘传感器。传感器激光采用红光波段，波长在 550nm 左右，适应了测量烟尘浓度变化的要求，利用光学传感特性实现对烟尘浓度的监测，完成对现场数据的采集。在控制程序中对激光烟尘传感器设备参数与采集数据阈值进行设定，能够实时控制风机转速，实现节能。并采用红外温度传感器监测出铁过程中各个阶段的温度变化，通过控制程序的参数阈值设定，完成除尘风机频率实时变化的控制。结合多角度视频设备监控生产现场环境，提高了安全控制系数。利用激光烟尘传感器、红外温度传感器以及多角度视频设备，共同构建了多传感器系统。

（2）本设计采用中心控制系统，高压变频器，多传感器等完成了炼铁厂除尘节能系统硬件的设计制作，利用电子芯片，继电器，数据采集卡等完成设备的优化，克服了炼铁厂复杂的生产环境的影响，实现硬件设备在除尘节能系统中先进功能的应用。

（3）除尘节能系统基于虚拟仪器模块技术，以 LabVIEW 为平台设计编写了节能系统控制程序，对系统中的各个硬件节点进行控制，并设计制作了简洁完善的操作界面，实现生产控制的智能自动化。控制程序建立的串口通信，保证了控制程序与硬件设备的双向数据传输，到达了软硬件相融合的目的。

（4）除尘节能系统成功投入生产一线，发挥其功能，实现生产控制的智能自动化，改变了旧有的除尘模式，提高了工作效率。经过长期使用，系统显示数据表明了本系统节约能源成果显著，节电率高达百分之六十以上，节约了成本。对节能技术的进步和节能事业的推广具有积极的意义。

关键词：传感器；变频控制技术；LabVIEW；除尘节能系统； 智能自动化

分类号：TB21

ABSTRACT

ABSTRACT: How to improve working efficiency, use the energy reasonably and minimize energy waste in maximum extend in engineering practice, have been the most important subjects in today's world. Integrating multiple sensors and using inverter control technology become the effective means to save energy for the heavy industry enterprises. The background of this thesis is based on the reform of the de-dusting energy-saving system of Changzhi Iron and Steel Plant, which belongs to Shougang Group. And the design and transforming of the system, and the research and application of the relevant technologies have been completed on this thesis. In addition, comprehensive research and discourse of de-dusting fan energy-saving system based on multi-sensor combined with frequency conversion technology have been made, and meanwhile, many innovative achievements have been achieved. The main work of the thesis is detailed as follows:

(1) Laser dust sensor has been designed and made, in consideration of the actual environment of Iron and Steel Plant. In order to meet the demand of measuring the dust concentration, the light which the wavelength is about 550 nm and in the red band is adopted. Then this laser dust sensor could monitor the dust concentration by the use of its optical sensing property, and finish the collection of field data. The real-time control of the speed of fan and the purpose of saving energy are achieved, through the setting of the equipment parameters and the collected data threshold of Laser dust sensor. Meanwhile, the temperatures of every phase while the iron being out of furnace are got through infrared temperature sensor's monitoring. Then they are used to be compared with the data threshold which was set by the controlling program, to get the real-time control of de-dusting fan's frequency. In addition, the safety control coefficient is highly improved by combining monitoring of the live environment with some multi-angle video equipments. Finally, a multi-sensor system is built by integrating laser dust sensor, infrared temperature sensor and multi-angle video equipments.

(2) The design and manufacture of the hardware of de-dusting energy-saving system are finished, which belongs to Iron and Steel Plant, by using center central system, high voltage inverter and multi-sensor system. On the other hand, the equipments are optimized, benefit from the using of electronic chips, electronic relays, data acquisition card and so on. This could stand the effects from the complex production environment of Iron and Steel Plant, and get the application of this kind of

de-dusting energy-saving system.

(3) The de-dusting energy-saving system is based on the virtual instrument technology module. This thesis designs and finishes the control program on LabVIEW platform which could control all the spot in the system. Meanwhile, a concise impeccable operation interface is designed to realize the automation control of manufacture. The serial communication established in the control program, guarantees the bi-directional data transmission between the control program and the hardware equipment, and realizes the purpose of combining the hardware with the software.

(4) The de-dusting energy-saving system has already been used in the production and functions very well. It realizes the intelligent automation of the production control, and changes the old de-dusting mode. Also, the production efficiency is highly improved. The data displayed by this system indicates that the system designed in this thesis has perfect energy saving effect, while the long-term use of it. The power-saving rate of it is as highly as 60%, and the cost is also saved. The work of this research has positive significance for the improving of energy-saving technology and the popularization of energy saving.

KEYWORDS: Sensor; Frequency conversion control technology; LabVIEW;
De-dusting energy-saving system; Intelligent automation

CLASSNO: TB21

致谢

本论文的工作是在我的导师延凤平教授的悉心指导下完成的，延凤平教授严谨的治学态度，先进的学科理念和科学的工作方法，平易近人的作风以及积极乐观的生活态度给予我极大的帮助和影响，在此衷心感谢两年来延凤平教授对我的关心和指导。在论文撰写期间，延老师对我的论文和研究方法提出了许多宝贵意见，再次向延老师表示诚挚的谢意。

在实验室研究工作及论文完成期间，李琦、陶沛琳、刘晓宇等同学对我论文中的工程系统设计和软件编程等研究工作提供了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情。

工程实践期间，中国航天科工集团樊勇工程师给予我大量的实践机会，可以独立完成节能改造的工程项目，丰富了知识，开拓了思路，受益颇多，在此感谢他对我的帮助、指导和鼓励。

同时也感谢我的父母，他们无私的关爱和毫无保留的支持、鼓励是我不断前行进步的最大动力，祝愿他们永远幸福健康。

最后，感谢参加论文评审和答辩的各位专家和教授。

1 引言

1.1 论文选题的背景基础

在人类社会发展到 21 世纪的今天,现代化的生产方式对能源的需求是无限的,由于过度盲目,不够科学合理的使用能源,造成了能源的巨大浪费,这对人类的发展和社会的进步是无益的。2009 年 12 月来自 192 个国家的谈判代表在丹麦首都哥本哈根召开了世界气候大会,商讨了 2012 年至 2020 年的全球节能减排协议。我国对节能减排极为重视,节能降耗,有效遏制了对原始能源的过度开采,对能源使用的巨大浪费。促进各个企业加强技术革新,节约能耗,降低生产成本,增强竞争力,同时也是企业长期发展,提高经济效益的重要举措。更是推动了我国建设人与自然和谐发展,资源节约型社会的进程。所以节能工作是在新的时代被赋予了新的意义,节能降耗成为企业生产经营的重要组成部分,建立完善的企业节能系统,这样才能保证企业,社会的长久持续型发展。

论文选题来源于首钢集团长治钢铁厂炼铁厂 9 号高炉除尘节能改造项目。目前我国大中小型炼铁厂建厂时间很早,其设备技术含量低,操作繁琐不便,工作效率不高,能源浪费严重。目前情况下炼铁厂的炼铁出铁口和铁水灌口的除尘工作大部分都是通过人工方式来操作,由于炼铁厂生产环境极其恶劣,工作强度大,所以除尘系统一般情况是不能进行人工干预的,同时又没有先进的技术设备来实现远程智能自动化控制,这样就使得出铁口和铁水灌口的除尘风门全天 24 小时不间断的打开,除尘风机时刻保持最大功率的满负荷运转,极大程度的造成了电能的浪费。在如今提倡节能降耗的时代,迫切需要利用现代化先进的控制技术对当前炼铁厂的这种落后的除尘方式进行节能改造。

当今节能降耗工作实现方式的重要一环就是高压变频控制技术,得到了广泛的推广和应用,例如炼铁厂除尘风机这种高能耗设备都已成为了高压变频控制技术的主要改造对象。高压变频控制技术有着诸多优点,其中节能效果明显,提高设备及电机的使用寿命等等是其最为突出的优点。高压变频控制技术之所以能够在高压电机设备变频改造项目取得巨大的成功,就是凭借着其控制策略的先进性,合理性,可操作性等这几个关键因素^[1]。

提出变频控制技术后,在软件控制技术方面,美国国家仪器公司 NI (National Instruments) 提出的虚拟仪器概念,能够将计算机技术和仪器技术相结合,引发了传统仪器领域的一场重大变革,开创了“软件是仪器”的先河。虚拟仪器技术是利用高性能的硬件模块,结合高效灵活的软件来完成各种不同的应用。虚拟仪器的

LabVIEW 图形化开发工具已经被广泛用于不同产品设计周期的各个环节，将现实中的不同信号与集成化虚拟仪器环境相连，分析研究采集到的数据以获取实际需要的信息，大大提高了工作效率。虚拟仪器对生产制造业和测试界产生巨大深远的影响，使得实际生产告别了庞大、繁重和昂贵的传统仪器的时代，迎来了更加轻便小巧、自动智能化、成本低廉、功能多样的时代^[2]。本论文所研究设计实践的除尘技能系统的改造项目是以虚拟仪器为基础平台，变频控制技术为核心进行的创新性研究与应用。

1.2 国内国际相应技术的发展状况

1.2.1 传感器技术

随着社会进步，科技发展，各种电器设备充满了人们的生产生活各个领域，而这些电气设备大部分都应用到了传感器件。传感器技术是现代信息技术中重要技术之一，在我国经济建设中占有极其重要的地位。近些年，传感器行业在中国的发展规模不断的扩大，在汽车工业的应用尤为明显，如汽车安全气囊、发动机运行、废气排放控制汽车防盗等方面对传感器技术的应用需求是巨大的。除此之外中国传感器也在其它众多领域发挥作用，如工业控制领域、环保领域，农业生产、多媒体领域等等。虽然传感器技术在中国发展迅速，但也存在诸多不利的因素。其中技术产业基础薄弱，企业研发能力不足，研发理论与生产脱节，种类创新稀少，生产水平低等都是突出的问题。面对问题，国家政府正不断制定出有利于传感器技术在我国良性发展的扶植政策和发展战略，相信我国的传感器技术会呈现出高精度、集成化、数字化、微型化的特点快速发展的。相对于国内，国外的传感器技术正在不断变化，不断创新，呈现出高速增长的势头。各国在现有的基础上对传感器技术进行了拓展延伸，使其有了显著的提高，加速了新一代传感器技术的开发和产业化的形成。随着新技术的研发，传感器技术正进行巨大的变革，光纤传感，无线传感，智能传感等技术将占有传感器技术的巨大份额。纵观国内外传感器技术的状况，传感器技术正向着实现成本降低和精度的提高进步着，更多的技术研发将采用更高性能的测量方法，新的制造技术，以及先进的信号处理方法，开发出免维护、长寿命和低能耗的传感器技术，最大程度满足人们生产生活的需求^[3]。在本次的工程设计研究与应用中，大量融入了激光烟尘传感器和红外温度传感器，多角度，多方位的监测生产现场的情况，完成现场数据的采集，很好的和变频技术相结合，完成了除尘节能系统的建立与实现。

1.2.2 变频控制技术

随着科学的发展,变频技术的使用也越来越广泛,不管是工业设备上还是家用电器上都会使用到变频技术的一个实现载体,变频器。而而如今的控制技术也是相当丰富,现代先进的控制方式包括智能控制、非线性控制、自适应控制、模糊控制、鲁棒控制等等。在近代控制理论中得一种新颖的技术,一种高级的策略,这就是模糊控制技术。模糊数学理论,这种理论使控制算法的可控性、合理性和适用性显著提高,成为智能控制的一个重要的组成部分。而计算机控制技术是一种复合型的控制技术,其具有一定的电子电气知识、计算机操作应用知识和程序设计知识,具备一定的计算机控制控制技术、计算机网络技术、可编程控制技术等等。另一种技术是智能控制技术,一些传统方法难以解决的,出现在复杂系统中的控制问题都主要用智能控制技术来解决^[4]。相对于不同的控制技术,变频控制技术随着经济的发展,自动化程度的提高,其应用范围越来越广泛,已经从最初的化工、石油、冶金、电站等领域的应用发展到制药、能源、食品、供水、环保节能等自动控制领域的应用。据了解,我国望亭电厂 14 号机组渣浆泵进行了国产 ASD380D-160 变频技术改造,在传统的控制策略基础上优化了矢量控制,通过特定消谐波算法降低了变频输出电压谐波,提高了节能效益,实现了水位控制,有效延长了水泵使用寿命降低了维护费用^[5]。另外,绍兴文理学院的张新华、陈烨雷把变频控制技术用于热电厂锅炉温度测控系统;中国矿业大学的祝龙记和王汝琳将变频控制技术应用用于矿用变频调速局部通风机,实现了局部通风机的变频调速和瓦斯浓度的控制;广东石油化工学校的老师将传感技术和变频控制技术应用在洗衣机中,实现洗衣机工作的智能化^[6-9];但如今智能型具有变频控制技术功能的产品设备相对于国外差距巨大。在国内,将变频控制技术应用在设备上的厂家中,重庆川仪十厂的技术是国内在变频控制技术研发行业先进水平的代表。该厂所研发的具有智能变频控制技术的设备,可以调高交流电机的相应速度和精确定位,能够实现双向力矩,宽范围调节,速度独立等。相比于国内,国外相关行业在智能化,数字化,网络化,机电一体化等方面位于世界领先水平。智能变频控制技术是智能电动设备的核心技术,国外先进设备均采用智能变频控制技术。在国外,以现代微电子技术为基础,提出了一种具有调速性能优越,调速平滑,调速范围宽、效率高、运行安全可靠、结构简单等优势的交流电动机变频调速技术^[10]。可见,变频控制技术在众多已有的控制技术的基础上,经过不断研究、发展和应用,现在已成为测量、自动控制、生产实践领域中应用十分广泛的技术,并且带来了巨大的实际效益,所以,变频控制技术必将应用于更为广阔的领域和环境中。

1.2.3 旁路电路保护技术

工业生产活动中所使用的设备很多是高压电气设备，由于高压电气设备的供电必须保证安全因素，为避免由于故障等原因导致事故的发生，造成人员的伤亡和设备的损害等，往往在设备安装使用上设置旁路电路保护系统，这样可以防止高压供电发生故障时造成事故发生的概率。一般包括高压入口阀、出口阀以及相应的控制设备的高压旁路保护系统往往应用在大型火力发电机组上。近些年随着国外技术的发展引进，大量国外知名阀门企业进入中国市场，目前国内 300MW 和 600MW 等大容量机组大多采用高压入口 1 台电动三通阀，出口 1 台闸阀的配置。之前 2 台阀门国内都是依靠进口，不仅价格十分昂贵而且备件和售后服务均很难解决，因此在消化吸收国外技术的基础上，我国很多企业自主设计研发此系列的阀门用于大容量机组的旁路保护系统^[11]。在国内外旁路保护技术已经广泛应用于大型生产企业中，有效防止事故故障的发生。在众多煤矿井下低压电网的主要故障之一就是漏电，针对漏电这一故障问题，有很多技术，它们各有优缺点。在实际生产应用中使它们有机结合起来会取得更好的效果，基于这一思想，采用旁路保护技术，设计制作了旁直零漏电保护系统，此系统具有安全可靠，全面以及有选择性的保护性能^[12]。由此可见，在工业生产中使用旁路保护技术可以有效全面的防止事故故障的发生，是安全生产必不可少的。

1.2.4 虚拟仪器技术

美国国家仪器有限公司 NI (National Instruments) 提出了“软件即是仪器”的概念，开启了虚拟仪器技术的先河。过去三十年里，NI 公司通过虚拟仪器技术为自动化和测试测量领域带来了新鲜的活力，虚拟仪器技术把现有的商业技术和创新的软硬件平台集成在一起，为工业控制，嵌入式设计和测试测量提高了新的解决方法。利用虚拟仪器技术，工程师可以更方便高效的设计创建不同的解决方案，来满足灵活多变的需求趋势，目前，国际 500 强中有 85% 的制作生产企业已经开始应用虚拟仪器技术，减少了设备的体积，提高了工作效率。但目前国内虚拟仪器技术的应用范围还不够广泛，收到一定的限制。主要因为通信微波等领域的高端产品仪器是以台式为垄断的，相应的仪器模块化的产品数量很少。不过，近些年多家仪器厂商已经开始研发面向高端测试领域的模块化仪器。如今国内正大力发展虚拟仪器技术，与国外公司在同一个新鲜领域展开竞争，虽然国内技术不断推广，但应用面积不大，价格过高也限制了应用。相比下，发达国家的传统仪器技术已有很高的规模，若退出过快，会付出巨大的成本，而我们作为发展中国家，

传统仪器技术未形成优势,所以不存在发达国家面对的问题,正迅速进入虚拟仪器技术发展阶段,成跨越式发展的态势^[13]。虚拟仪器技术本身正不断的创新和发展,在已有的商业技术的基础上蓬勃发展的新兴技术也不断推动着虚拟仪器技术的进步发展。目前生产推广虚拟仪器技术的美国 NI 公司主要的应用软件是 LabVIEW,其很适合没有丰富编程经验的用户,特别受到从事科研技术研发的工程师,技术人员,科学家等地欢迎,被誉为科学家和工程师的语音。现在的 LabVIEW 最新版本,更加注重网络功能,在“软件即是仪器”的基础上同时又提出“网络即是仪器”的口号^[14]。

在计算机技术,软件开发,通信技术以及众多控制技术高速发展的今天,变频控制技术,旁路保护技术,传感器技术和虚拟仪器技术正广泛的应用在人们生产生活的各个领域。由于冶金,炼铁,炼钢等大型工业生产环境及其恶劣,生产质量要求不断提高,同时又要满足节能环保的人文理念,所以对现代生产技术提出了新的挑战。将变频控制技术,旁路保护技术,传感器技术以及虚拟仪器技术综合起来,利用各个技术的先进性和相互的互补性,创造性的建立起一套生产技术体系,这对工业生产技术革新以及节能环保改造是具有极其重要意义的。

1.3 论文的主要内容

本论文以首钢集团长治钢铁厂中炼铁厂除尘节能系统改造项目为基础,提出了一种多传感器融合,利用变频控制技术,结合旁路保护技术、传感器技术以及虚拟仪器技术等应用于炼铁厂炼铁高炉除尘风机系统的全自动控制技术。这项技术采用多角度传感器的方式获取炼铁现场的实时数据,掌握现场的实际情况,通过数学分析理论对不同传感器采集的现场数据进行综合分析,通过中心工业控制计算机全自动控制现场除尘口电磁阀的开关状态,使除尘风机实时稳定在最节能降耗而又保证生产工作效率最高的工作频率。节能控制系统的软件系统是采用美国国家仪器有限公司 NI(National Instrument)推出的虚拟仪器技术,以其 LabVIEW 工具软件为控制系统软件开发平台。系统的软件部分包含了传感器信号数据采集程序,基于数学分析理论的数据分析和自适应理论阈值设定的算法程序,变频器参数设定程序,数据显示和历史存储程序,以及串口通信程序等等。通过硬件、软件系统的建立,基于各门技术的优势,凭借先进的信号数据处理能力以及强大的控制体系,开放的自定义平台,本系统实现了对炼铁厂除尘风机的全面高效的自动化变频控制,人机交互式全自动控制功能。可以自动远程控制各个设备的开启、关闭,工作状态参数的实时监控,及时发现出现的问题故障,同时利用强大记忆存储功能对历史数据参数进行存储。系统能够完成自动与人工手动模式的切

换，满足不同情况的操作需要，更加高效的完成生产任务。系统结构理论框图如下：

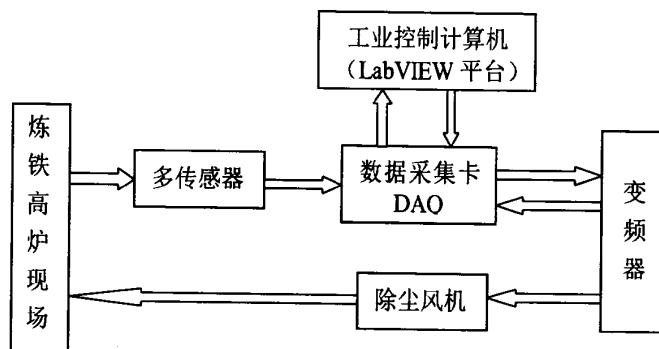


图 1-1 系统结构理论框图
Fig1-1 System structure theory diagram

本论文包括以下几方面内容：

- (1) 介绍论文选题与研究内容的背景与依据以及课题的实际应用重要意义，相关技术在国内国际的发展现状和未来趋势。
- (2) 分析研究变频控制技术的理论原理，相关技术的理论基础以及智能风机的工作特性。
- (3) 阐述激光烟尘传感器的设计思路，理论基础，以及激光烟尘传感器在系统中应用的具体的设计实施方案。与红外温度传感器相结合构成了系统的多传感器融入系统的建立。
- (4) 介绍除尘节能控制系统的硬件设计制造方法，分析不同硬件设备的工作原理与应用特性，对相关硬件器件设备的选择等。利用激光传感器，红外温度传感器，继电器，数据采集卡，工业控制计算机以及旁路电路保护柜和变频器等器件设备对除尘节能自动控制系统的设计制作以及硬件接口模块的建立。
- (5) 介绍除尘节能控制系统的软件设计搭建的方式成果。以虚拟仪器技术为基础，采用 LabVIEW 软件开发工具为平台进行系统软件程序的编写。组建起数据采集程序，自适应理论阈值设定的算法程序，变频器参数设定程序，数据显示和历史存储程序，以及串口通信程序等等主要程序。实现了人机交互控制，数据高速处理，设备间数据指令的无间断通信，对设备监控保护等功能。
- (6) 描述除尘节能系统中串口通信程序建立的理论基础，设计理念。对控制中心与现场各个节点实现全双工通信，完成数据信息的准确的获取与传输等各项功能进行研究与应用分析。

- (7) 通过除尘节能系统改造项目在长治钢铁厂的应用实践, 系统在实际的安装、调速以及运行的效果, 计算系统的节能成果, 得出本工程实际项目, 本课题研究与应用成果的重要结论。

1.4 论文研究与应用的意义

钢铁工业是我国长期以来国民经济的基础产业和工业的支柱产业, 在全球能源极为紧张的今天, 钢铁工业作为能源密集型的产业, 特别是我国还需进口能源的形势下, 中国钢铁工业的节能降耗就被提到了很重要的高度。由于我国多数钢铁厂建厂年代久远, 注重大规模发展的过程中, 往往只重视产品和工艺的改进, 而忽视了能源电力设施的完善, 造成生产与供电受制约的关系形成不合理的结构, 随着技术的不断发展, 其内部电力系统供电不足, 外购电力能源比例过高, 供电电压级别过低, 大量电力能源浪费等问题不断显现^[15]。目前我国大多炼铁厂的除尘工作大部分都是采用人工手动操作方式, 操作工人对钢铁生产中的除尘系统是不能进行干预的, 这样就必须将除尘主风门及所有辅助风门每天 24 小时都处于开启状态, 除尘风机每天不间断工作。由于炼铁厂使用的除尘风机的电机都为高电压、大功率电机, 每天 24 小时满负荷运行造成电力能源十分巨大的浪费。

本文研究的除尘节能控制系统正是针对我国钢铁厂存在的技术落后, 电力能源浪费严重的状况, 基于变频控制技术, 结合传感器技术, 虚拟仪器技术等设计提出了能够根据生产现场的实际情况, 判断出铁量, 粉尘浓度来实时调节除尘风机旋转频率的除尘节能控制系统。系统的应用明显解决了钢铁厂原有落后的节能技术问题, 电力资源大量浪费的局面。在保证钢铁厂正常高效的生产活动进行的同时, 合理有效的节约了能源, 同时也方便了操作, 实现了对设备的全面自动化控制, 提高了效率。

通过除尘节能系统在钢铁厂的成功应用, 融合了多种传感器, 利用了变频控制技术等设计制作的硬件设备, 创造的高效的节能成果。此项除尘节能控制系统可以不局限于钢铁厂的应用, 可以改造投入到我国不同的生产生活领域, 发挥节能降耗的巨大作用, 对于节能技术的进步与发展和我国的环保节能的推广以及国民经济的大发展具有重要的意义。

2 风机变频控制原理

将变频控制技术等诸多先进的技术应用到生产实际中，首先要对相应的技术原理理论进行了解和掌握，同时为更好的完成炼铁厂风机除尘节能系统的改造，就必须对除尘系统的核心部件，即除尘风机的性能参数和性能原理有所掌握，更重要的是要奠定风机调速的理论基础，这样才能使除尘节能系统的改造成功实现。

2.1 变频调速原理

工业生产应用中，交流变频控制技术调速取代直流调速和计算机控制调速取代模拟控制调速成为发展趋势。电机利用交流变频控制技术调速是当今改善工艺流程，节约电能，改善环境和调高产品质量、推动技术进步的重要手段。变频控制技术以优异的调速和启动制动性能，高效率、高节电效果，具有广泛适用领域，凭借此项技术的诸多优点，已经被公认为国内外最有发展的控制技术^[16]。

变频控制技术通常是应用在电机上，实现改变电机转速的功能。异步电机的转速（用 n 来表示）可以表示为：

$$n=60f/p(1-s)=n_2-\Delta n_1$$
 (2-1)

公式中 Δn_1 为转差损失转速， n_2 为同步转速， p 是磁极的对数， s 为转差率以及 f 为电源所对应的频率。通过公式可知，通过改变电源的频率就能够使得同步转速改变，进而让电机的转速发生改变。频率的下降能够使得磁通产生增加，使磁路饱和，功率因数也会下降，导致线圈和铁心过热，这些都是不能同意的。所以，降低频率和降低电压需同时进行，这就要求电压和频率协调控制。有时在变频调速的过程中，要保证电机所产生的最大转矩不变，即要维持磁通保持不变，这就要由电压和频率共同控制协调来实现，这样的调速称之为变频控制调速（VVVF）。

从功率控制的角度，可知异步电机功率模型如图 2-1 所示。

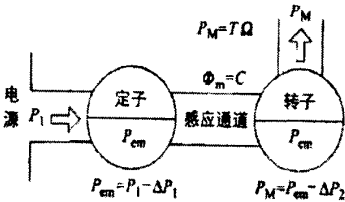


图 2-1 异步电机功率模型
Fig2-1 The model of asynchronous motor power

图中 P_1 为异步电机的定子从电源中吸收的电功率， P_{em} 是异步电机吸收无功功率的

励磁，建立了旋转磁场，由 P_1 转化的电磁功率。定子电磁功率为：

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_1 \quad (2-2)$$

公式中 P_1 为定子输入电功率， ΔP_1 为定子的功率损失。

因为机械功率来源于电磁功率，所以电磁功率只有通过转子转化成机械功率。旋转磁场的作用是把电磁功率从定子输送到了转子，所以可以等效为连接定子与转子的感应通道，衡量其是否“畅通”的标准是磁通量。即

$$\Phi_m = C \quad (2-3)$$

因此调速时不能使磁通量减小，否则将会导致电机的损耗和发热加大，降低了效率，甚至会烧毁电机。根据功率守恒的原则，转子的机械功率表示：

$$P_M = P_{em} - \Delta P_2 \quad (2-4)$$

公式中 ΔP_2 为转子功率损失。如果从负载的角度考虑，机械功率可表示为：

$$P_M = T\Omega \quad (2-5)$$

公式中 T 为电动机输出转矩， Ω 为转子的机械角速度。根据力学原理有：

$$\Omega = P_M / T \quad (2-6)$$

$$T = T_L \quad (2-7)$$

电动机稳态运行的输出转矩取决于负载转矩 T_L ，因此 P_M 就成为电动机调速的唯一选择。根据上述分析，异步电机调速的实在在于机械功率的控制，可以导出，电动机调速原理共有电磁功率和损耗功率两种。异步电机的调速性能是原理所决定的，无论方法如何，其调速原理是相同的。根据这一理论，以定子为控制对象，电磁功率为控制目的的变频调速系统如图 2-2 所示。

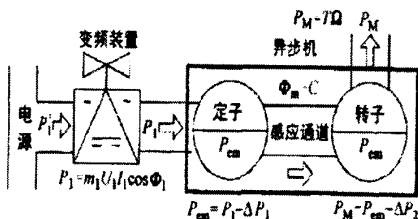


图 2-2 变频调速的功率控制原理

Fig2-2 The power of the variable frequency speed regulation control theory

要实现高效率的控制 P_{em} ，就必须控制定子的输入功率 P_1 。根据公式

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \Phi_1 \quad (2-8)$$

由于 $I_1 \cos \Phi_1$ 是客观存在的负载转矩决定的，不能是调速的控制量，电源系数也是不能改变的，所以只有改变定子段的电压 U_1 来实现控制 P_1 。想要实现高效率调速的目的单纯的进行定子调压是不行的，因为异步电机的定子具有产生电磁功率和旋转主磁场的功能，如果只单纯的调压，会使主磁通降低，破坏了调速遵守 $\Phi_m = C$

的原则。为了调压的同时保持此项原则，必须严格按照电机学中

$$\Phi_m=KE_1/f_1\approx KU_1/f_1$$

(2-9)

的规律，同时改变电压的频率 f_1 ，同时使得电压与频率的比 U_1/f_1 保持为常量。综上所述，变频调速的实质就是基于定子电磁功率的控制，其实现的方法为调压，变频控制^[17]。

2.2 模糊控制理论

模糊控制是利用模糊数学基本思想和理论的控制方法。在传统的控制领域中，影响控制优劣的最主要关键是控制系统动态模式的精确与否，系统的动态信息越详细，则越能达到精确控制的目的。但对复杂的系统，由于其中变量太多，难以正确的描述系统的动态，于是工程师们便利用各种方法来简化系统动态，以达到控制的目的，却不是很理想。所以便尝试以模糊数学来处理这些控制问题。

模糊控制具有以下一些特点：（1）控制系统的鲁棒性强，适合解决常规的控制技术难以解决的非线性、时变以及滞后系统。（2）控制系统的设计不需要知道被控制对象的精确的数学模型，只要提供现场操作人员的经验知识和操作数据。（3）以语言变量代替了常规的数学变量。（4）控制推理采用不精确推理，其推理过程模仿人类的思维方式，由于将人类的经验介入到了其中，所以能够处理解决复杂的系统^[18]。

模糊控制理论的核心是通过模糊控制器来实际应用体现出来的。模糊控制器是依据人类的思维经验，形成包含人类对环境的模糊感知对控制对象进行命令的控制语句形式，实现对被控对象的控制。

如图 2-3 是模糊控制的结构框图，是一般控制系统的结构框架，包含了定义变量、模糊化、知识库、逻辑判断以及反模糊化^[19]。

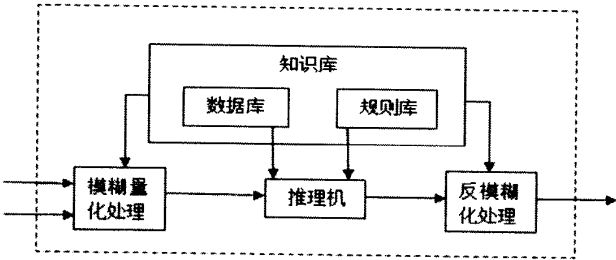


图 2-3 模糊控制器结构框图
Fig2-3 Fuzzy controller block diagram

模糊控制器的工作原理如下：知识库运用模糊控制规则和存储的模糊量，向模糊化接口提供模拟化量，则接口在收到外部的精确量的输入后，将其转换为对

应的模糊化量。同时知识库也向反模糊化接口提供了模糊化量，反模糊化接口就会根据输出的模拟化量将其转化为对应的精确量。同时，逻辑判断利用知识库提供的控制规则，进行推理判断，推断出相应的输出模拟化量^[20]。

2.3 工业风机原理与特性

工业风机历史悠久，其结构主要部件是外壳和叶轮。风机配有相应电机等作为驱动装置，小型的工业风机叶轮一般直接由电动机来驱动，而大型工业风机叶轮则是通过联轴器或者其他的联动装置与电动机相连驱动。工业风机在工业生产中的通风、除尘等方面具有重要的作用，所以对风机进行应用改造前必须了解其原理特性。

2.3.1 工业风机性能参数

工业风机的基本参数主要有气体流量即风量，压力、输送功率，效率以及叶轮的转速等等。风机的风量参数代表了风机单位时间内能够处理的气体体积，而风机的风压则是风机工作时内部的气体压力。风机的效率是一项重要参数，是轴功率和实际处理气体的有效功率之比。其具体说明如下：

- (1) 风量 Q ：空气在单位时间内流过风机的体积。
- (2) 风压 H ：当空气流过风机时，风机提供给每立方米的空气的总能量称为全压 H_t ，由静压 H_s 和动压 H_d 两部分组成。即 $H_t = H_s + H_d$ 。
- (3) 轴功率 P ：风机工作有效的总功率，又被称作空气功率。
- (4) 效率 η ：风机轴上的功率 P 剩下的内功率与风机轴上的功率 P 之比，为风机的效率。

2.3.2 工业风机性能原理

工业风机的叶轮外部有机械外壳，在叶轮的中心是进气口。风机在工作时，动力设备高速运转驱动着叶轮旋转，将空气从进气口不断吸入。风机叶片转动的过程中对气体施加动力作用，提高气体的速度和压力，在离心力的作用下气体沿着叶道从排气口排放出去。风机工作过程中，叶轮的旋转虽然对气体的速度和压力有所提升，但是气体的各方面变化量较小，所以风机的设计和使用中通常将气体当作不可压缩的流体处理。风机的气体处理整体过程都是在同一个径向平面内完成的。

风机的流量、运行压力，轴功率这三个基本参数与转速之间的运算公式很复杂，同时风机的负荷随着环境的变化参数随之变化，所以在工程中一般风机的运行情况，进行大致的参数运算。

$$Q/Q_0=n/n_0 \tag{2-10}$$

$$H/H_0=(n/n_0)^2(\rho/\rho_0) \tag{2-11}$$

$$P/P_0=(n/n_0)^3(\rho/\rho_0) \tag{2-12}$$

式中： Q 为风机流量； H 为风机全压； n 为转速； ρ 为介质密度； P 为轴功率。风量 Q 与电动机的转速 n 成正比，风压 H 与电动机的转速 n 的平方成正比，而轴功率 P 与电动机的转速 n 的立方成正比。而电动机的容量的计算公式：

$$P=QH/102\eta_r\eta_F \tag{2-13}$$

式中： P 为风机电动机所需要的输出轴功率； Q 为风机风量； H 为风机风压； η_r 为传动装置的效率，直接传动为 1.0，皮带的传动为 0.9~0.98，齿轮传动为 0.96~0.98； η_F 为风机的效率。

2.3.3 工业风机调速原理

改变风机的转速可以实现对风机风量的调节，在风机的管网特性不变，风机叶片角度不变的情况下，改变风机的特性曲线，到达调节风量的作用。如图 2-4 所示。

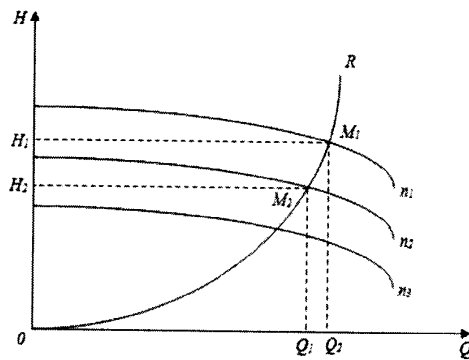


图 2-4 风机转速不同时的特性曲线
Fig2-4 Fan speed is not at the same time characteristic curve

当风机的转速为 n_1 时，风机的风压风量曲线与管网特性曲线 R 相交于 M_1 点，其风量、风压分别是 Q_1 、 H_1 。当风机的转速为 n_2 时，风机的风压风量曲线与管网特性曲线 R 交于 M_2 点，其风量、风压分别为 Q_2 、 H_2 。

当风机的转速降低，流量降低时，风机的压力也随之降低，这样在调低流量的同时，风机的内部压力也就随之降低，具有相当好的节电效果。这种调节方法

不用对风机本身构造进行改造，风机转速由外部控制来调节，风机的挡板可处于全开位置保持不变，同时能够实现无级线性调节风量，适合于需要风机进行连续运行，连续调节的场合。采用改变转速的方法调节风量时，要比采用挡板调节风量节电效果好很多，而且风机风量的调节幅度越大，其节电效果就越高。对我国工业风机现有的运行情况的调查，其中大多数都处于大马拉小车的状态，利用挡板进行运行流量的调节，很大程度的浪费了电能，如果采用调速的方式运行，可以大量节约电能，并能在一到两年内收回投资成本。

2.4 本章小结

本章主要介绍了变频控制技术的原理特性，细致的研究分析了变频调速的技术原理和模糊控制的理论体系，深入了解了变频控制技术的技术特点。同时，又着重研究分析了工业风机的工作特性，工作原理，利用风力力学和气体流动特性等方面的知识验证出采用改变风机电动机的转速可以实现调节风机风量，这种方式是节约电能效果最好的方法。通过以上的研究分析，为后面将变频控制技术应用于工业风机调速，实现除尘节能系统的改造奠定了坚实的理论基础和技术保障。

3 除尘节能系统设计

为实现变频控制系统的应用和除尘节能系统改造的成功实现，在前面研究掌握变频调速原理和除尘风机理论性能的基础，需要对炼铁厂的实际生产流程方式以及炼铁厂生产现场的实际环境进行全面的掌握，只有这样才能从整体上实现对除尘节能系统的改造设计，完成整体规划。本章将对炼铁厂的生产流程方式进行研究分析，对炼铁现场环境进行考察，制定出基于变频控制技术适合除尘风机节能系统的原理和整体设计方案，对系统的各个部分进行设计分析，保证智能变频控制系统在长治钢铁厂技术改造的成功实现。

3.1 除尘节能系统应用环境的研究

在炼铁厂进行除尘节能系统的改造是十分复杂的，首先需要对炼铁高炉工艺的流程进行掌握，这样才能明确炼铁过程中产生废气烟尘的环节，以及产生废气烟尘的浓度，进而明确除尘节能系统改造的主要方向。同时还要对炼铁生产现场的环境有所了解，为制定出变频智能控制系统的设计方案奠定基础。

下面将对高炉工艺的具体流程和实际的炼铁生产环境进行研究。高炉炼铁的工艺流程如图 3-1 所示。

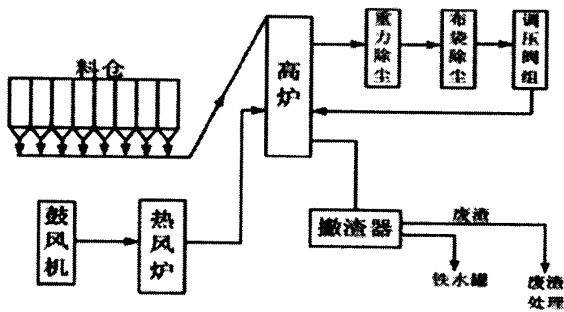


图 3-1 高炉炼铁工艺流程图
Fig3-1 Process Flow Diagram of blast furnace iron-making

高炉生产时从炉顶装入铁矿石、焦炭、造渣用熔剂等，在高温下焦炭中的碳与鼓入的空气中的氧燃烧生成一氧化碳和氢气，在炉内上升过程中出去铁矿石中的氧，从而还原得到铁。炼出的铁水从铁口放出。产生的煤气从炉顶导出，经除尘后作为燃料。

由于炼铁过程是一个化学反应的过程，在生产中将会产生大量的一氧化碳，二氧化硫等有毒气体以及大量的粉尘颗粒，如果不能及时有效的除去这些气体粉

尘，将会严重威胁操作工人的生命，同时也会对环境造成严重的污染。如图 3-2 所示，这两幅照片所展示的正是炼铁生产现场的情况，生产现场主要由除铁口和铁水灌口所组成，而出铁口和铁水灌口正是产生大量有毒气体和粉尘颗粒的主要部分，此处存在的除尘问题是相当严重的。所以，炼铁设备都配有除尘系统，但这些除尘系统往往由于技术的不完备性，不能达到较好的除尘效果，同时也浪费了大量的电力能源。

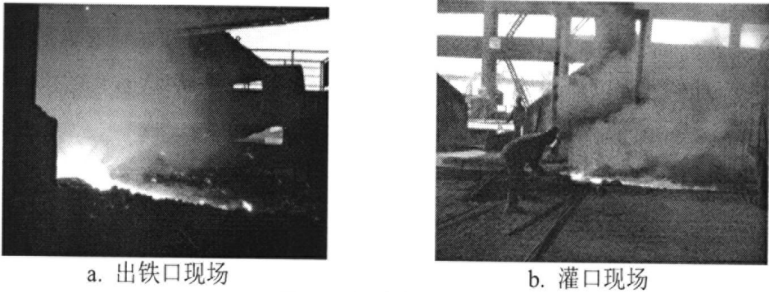


图 3-2 炼铁生产现场
Fig3-2 Iron-making production site

面对如今的炼铁生产过程所存在的问题，利用智能变频控制的发展，基于现在变频控制技术的理论，对炼铁生产设备进行除尘节能系统改造是必然的选择。

3.2 多传感器采集模式的设计

首先，对于变频除尘节能系统改造的实现，就必须对生产现场产生废气和粉尘的情况有准确的掌握，同时还要即时掌握炼铁生产的进程，只要这样才能实时控制风机的转速，除尘风门的开闭，到达自动控制和节约能源的效果。要达到这效果，就面临通过何种方式来完成对烟尘浓度，炼铁进程等这些信息的准确掌握。经过长期调研与实验，终于找出了利用多传感器和视频监控双重监控的方式来完成现场信息的获取。

3.2.1 激光烟尘传感器

在炼铁厂中对生产中产生的烟尘的多少的信息的获取是难度很大的，由于炼铁厂设备老化，建设时间久远，并没有预留技术革新的空间，所以如何在现有的基础上实现对烟尘浓度的实时监测是存在很多问题的，并且还有保证成本的合理控制更是一道难题。

针对这些存在的问题，设计制作了激光烟尘传感器，通过在除尘系统的主干

排烟管道上安装激光烟尘传感器的方式成功的克服了各种困难，解决了存在的问题，实现了实时监测烟尘浓度的功能。激光烟尘传感器是利用激光技术来进行测量工作的传感器。激光不同于普通的光，激光具有三个特性优势，第一个是高方向性，激光束穿越几公里后其扩展范围很小；另外具有高单色性，激光的频率带宽要比普通光小十倍以上；最后，激光具有高亮度的特性，激光束可以会聚很高的能量^[21]。本次设计制作的烟尘传感器选用了红光波段，其波长约为 550nm。选择红光波段的激光是由于炼铁厂除尘烟道的特殊情况，由于红光波长适合于烟尘浓度的监测，如果采用波长短的光波段，光束会穿过烟尘，使得监测不够灵敏精确，如果采用波长长的光波段，则在烟尘浓度大时接收端将无法接收到光束，就无法实现监测烟尘浓度的功能，所以设计时采用了 550nm 左右的红光波段。

激光传感器的工作原理是首先由激光发射二极管对准目标发射激光脉冲，经过目标的反射后激光向各个方向散射，部分的散射光返回到了传感器的接收器，被光学系统接收后成像到了雪崩光电二极管上，雪崩光电二极管是一种光学传感器，其内部有放大的功能，所以它能够检测到极为微弱的光信号，并且将其转化成了相应的电信号。如图 3-3 为激光烟尘传感器在系统中安装图，左端为激光发射器，产生红色的激光，右端为光功率探测器，即为接收端，完成光电转换的功能，这两段分别安装在除尘烟道的两侧。

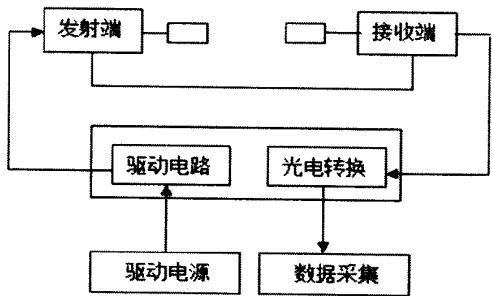
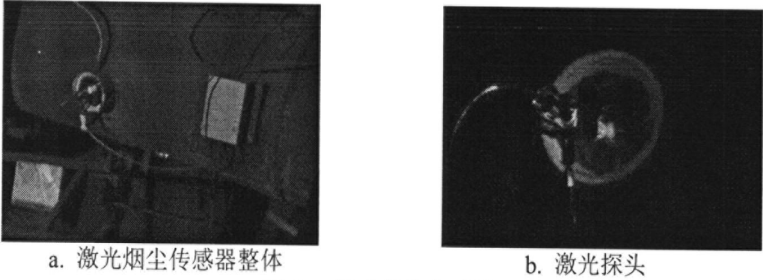


图 3-3 激光烟尘传感器的原理安装图
Fig3-3 Laser dust sensor installation diagram

激光烟尘传感器的驱动电压约为 12V，通过驱动电路使得激光发生器产生红光波段的激光，通过发射端发射，经过烟道内烟尘对激光的散射，部分光被散射掉，而被接收端接收到的激光经过光电转换后形成数据信号，返回到控制系统中，通过对这些数据信号的处理，实现对除尘风机的控制。系统利用了激光传感器的工作原理和先进特性来实现对烟道内烟尘浓度的监测。

激光烟尘传感器在本除尘节能系统中发挥了重要作用，是系统对现场信息获取的重要设备，它通过在烟道两端设置激光发射器和激光接收器，当烟道内烟尘浓度产生变化时，经光电转化之后的电压信号也会随之变化，当烟尘浓度高时，

烟尘颗粒对激光的散射程度高，发射回激光接收器的光就会大量减少，则转化成的电压信号就低。相反，烟尘浓度低时，激光的散射程度低，散射会激光接收器的激光就多，随之转化的电压信号就高。这样就高效准确的实现了监测烟道浓度的功能。系统中激光烟尘传感器的应用如图 3-4 所示。



a. 激光烟尘传感器整体 b. 激光探头

图 3-4 激光烟尘传感器
Fig3-4 Laser dust sensor

3.2.2 红外温度传感器

解决了烟尘浓度监测的问题并没有完成全部生产现场信息获取的工作，相反，还有难度更大更难解决的问题存在，这就是如何智能自动的掌握炼铁生产的进展程度。由于炼铁过程中环境恶劣，温度过高难以靠近，无法人工判断炼铁处于前期，中期还是末期，这样就更无法实现根据炼铁的进程来改变变频器的频率来控制调节风机的转速。

为解决上述问题，除尘节能系统改造中在每一个出铁口和铁水灌口都安装了红外温度传感器，通过炼铁过程出铁量的不同产生不同温度的变化来判断炼铁的进程。红外温度传感器是利用热辐射效应，当传感器的探测器件接收到辐射的能量后引起了温度的变化，使得传感器中与温度相关的性能发生变化，检测其特性的变化就通过赛贝尔克效应来探测辐射，当相关器件接收到辐射后，引起了热电转化的物理效应，最后通过适当变化变成电量的变化进行温度的监测。

红外温度传感器实现了无接触的测温、远距离测高温等功能，使得操作工人不必再进入恶劣环境来测量温度，更解决了高温环境工人无法接近测量的难题，红外温度传感器这种适合测量高温性、腐蚀性和恶劣环境的温度测量，同时不破坏被测对象本身的特点，为生产提供了安全便利的工作环境和技术支持^[22]。

根据炼铁厂的实际生产环境，对红外温度传感器的选择是相当的关键，首先选择时要根据传感器与被测现场的距离，选择对应测试距离的传感器；其次，由于炼铁厂炼铁时，会产生一千多度的高温，但出铁后温度又会降到一百多度，所以温度传感器的测量范围与灵敏度是很重要的参考参数；最后选择时还要考虑其

工作寿命的因素，在炼铁厂生产中需要频繁使用，同时由于环境和成本因素不易频繁更换，所以这些因素都是必须考虑的^[23]。本除尘节能系统所选择的红外温度传感器如图 3-5 所示。

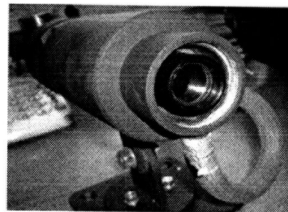


图 3-5 红外温度传感器
Fig3-5 Infrared temperature sensor

此红外温度传感器适应炼铁厂的生产要求，能够测量到 400 摄氏度到 2400 摄氏度的范围，且具有很高的测试距离是精度，同时有很高的使用寿命。它在工作时实时测量出铁口和灌口的铁水的温度，并将现场温度信息转化成电流信号反馈回中心控制计算机，完成对整个除尘节能系统的控制。

3.2.3 视频监控设备

由于炼铁现场的危险性和特殊性，在现场运用激光传感器和红外温度传感器获取现场信息的同时，还应用了视频监控的办法来辅助工作人员了解掌握现场的情况。视频监控设备是安装在出铁口和铁水灌口的远端，这样工作人员就可以在很远的操作间内通过屏幕就可以知道现场的情况。方便工人的操作，更加强了安全系数。如图 3-6 为视频设备所观察的角度



a. 灌口角度



b. 出铁口角度

图 3-6 视频设备观察的视角
Fig3-6 Video device view

3.3 系统线路冷却方式的设计

由于生产现场的设备与线路与炼铁的出铁口和铁水灌口的距离过于接近，炼

铁时产生的高温会对设备和线路产生巨大的影响，例如红外温度传感器、激光烟尘传感器及其线路等，可能导致设备的烧毁和线路的熔断。针对这样的问题，在保证设备线路尽可能远离高温区域的原则下，设计了适应现场应用的氮气冷却与水冷却相结合的方式。

氮气冷却是相对简单的冷却方式，利用高熔点的材料制作成为输气管道，利用炼铁厂生产过程中产生的氮气来不间断的吹向工作中的设备，这样不仅可以降低设备的温度，同时可以起到吹去设备上粉尘的作用。由于氮气是由炼铁生产中产生的，避免了能源的浪费，成本的增加，更达到了冷却除尘的效果。

在炼铁现场的高温环境下，如果仅仅依靠氮气冷却的方式来冷却线路和设备是远远不能满足要求的，氮气由于是气体，冷却面积是很有限的，其自身的温度也很难满足对在炼铁高温环境中工作的设备的冷却，所以必须同时采用水冷却的方式。水冷却简称水冷，是使用流动的液体作为散热的冷却系统。由于液体的流动性，可以更全面，无死角的冷却线路和设备。在线路冷却时会遇到线路长度长，拐点过多不利于冷却方式的实际应用。为解决此问题设计了线路冷却套管，如图 3-7 所示。

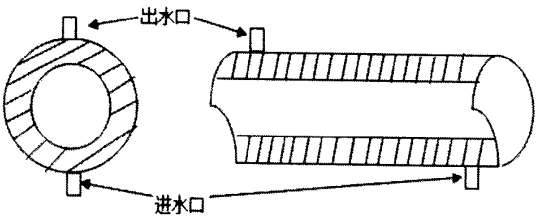


图 3-7 水冷却线路套管截面图
Fig3-7 Water cooling line casing sections

此水冷线路套管是用熔点高，重量轻的金属制成同心套管，内层为线路通过的路径，而外层（阴影部分）为冷水流过的路径，同时在套管的下部设计了进水口，冷水通过进水口将套管层充满，最后通过上部的出水口流出，这样下进上出的方式保证了冷水完全充满套管，达到最佳的冷却效果。每段套管设计为半米的长度，应用时将套管每一段的套入线路，再将每段套管的进水口与出水口相连，这样就把各段套管连接成一个整体，这样冷水可以流经每一段的冷却管，既保证了冷却效果，又解决了线路长，拐点多的问题。

本系统设计的水冷却结构是一个循环结构，保证冷水的循环使用。水池中的冷水通过水泵被抽到冷却系统的管道内，对线路及设备进行冷却，之后冷水会通过冷却套管的出水口流回到水池中，这时的水流经了所有线路中的冷却管，水温很高，为保证水循环使用的冷却效果，在水流回水池后，将对流回的水进行冷却

处理，使其温度降低到室温或更低，这样长时间使用这套水冷系统不会影响到冷却效果。这样对水的循环利用，起到了良好的冷却效果，更避免了资源的浪费和成本的增加。系统水冷的结构框图如图 3-8 所示。

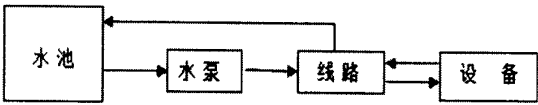


图 3-8 系统水冷的结构框图
Fig3-8 System water-cooled block diagram

3.4 除尘节能系统的结构设计

炼铁厂的变频除尘节能系统的改造是庞大而复杂的工程项目，即使是对炼铁的工艺流程和现场环境有所了解和掌握，但在具体设计实施上还会遇到诸多的问题，没有着眼点，为解决这些问题，在系统改造具体实施前需要对项目进行整体的规划设计，只有这样才能完成技术的应用和设备器件的选择。所以需要对变频除尘节能系统改造项目进行整体设计规划。

系统的整体设计原理以现场实际为依据，进行合理的设计。控制采用一控一的方式，即由一个传感器和一个按钮开关监测控制一个风门电磁阀的工作状态，在布局上传感器和按钮开关与风门电磁阀一一对应。同时除尘电机的转速与电磁阀的工作状态在系统总体控制下同步改变。当不同方向的出铁口出铁时，现场操作人员按下位于此出铁口区的控制箱按钮，主控系统采集到这个信息后，一方面向变频控制系统发出提高除尘风机运转频率的信息，使除尘风机工作到高转速大排风量状态；另一方面向此出铁区的主风门和罐口风门的电磁阀发送一组开启信号，使出铁区的主风门及罐口风门的排风量达到最大。在此过程中，从内部逻辑上确保位于不工作位置的出铁区的主风门及罐口风门的电磁阀处于关闭状态。当这一工作出铁口出铁完毕后，此出铁口的红外温度传感器监测到出铁口由高温到低温的状态变化。主控计算机实时监测红外温度传感器发来的温度信号，当判断其低于阈值电压，并结合出铁口的摄像头给出出铁完毕的信号之后即可操作出铁完毕程序。此时，一方面主控计算机向变频控制系统发出降低除尘风机运转频率的信息，使除尘风机工作到低转速小排风量状态；另一方面向此出铁区的主风门和罐口风门的电磁阀发送一组关闭信号，使这一位置的出铁区的主风门及罐口风门的排风量达到最小。由此实现最佳的节能效果。

相应的红外温度传感器分别监控相对应的出铁口的状态，并将出铁口的温度

以电压的形式发送到主控计算机。主控计算机实时采集这一信号，并判断其是否超过设定的阈值。考虑到通过红外测得的铁水温度值受环境因素的影响比较大，因此在温度上升和下降时设定不同的阈值温度，以形成一定的温度保护范围。主控计算机以红外温度传感器的数值为基础，结合分别在出铁区设定的摄像头的输出信号，利用模糊算法综合分析后给出需要发送到变频控制系统和主风门及罐口风门电磁阀的控制信号，由此控制除尘风机的运转状态和主风门及罐口风门电磁阀的开启状态，并将除尘风机运转状态和主风门及罐口风门电磁阀开启状态信息实时采集到主控计算机进行分析、存储和显示。

在红外温度传感器监控出铁口状态的同时，激光烟尘传感器也在时刻感知这除尘烟道内的烟尘浓度的变化，当烟尘浓度变大时，激光烟尘传感器产生的电压将降低，发送给主控计算机。此时主控计算机回结合红外温度传感器送回得数据信息，调节增大风机的转速增大排风量。相反，如果激光烟尘传感器检测到烟道内的烟尘浓度下降，则其产生的检测电压会上升，并将数据发送回主控计算机来降低风机的转速，减小排风量，达到节能的效果。除尘节能系统的结构框图如图 3-9 所示。

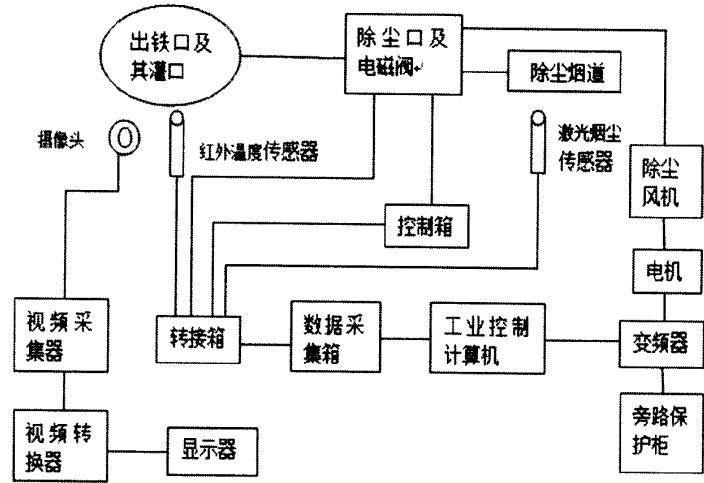


图 3-9 除尘节能系统结构框图
Fig3-9 De-dust energy-saving system block diagram

同时为了现场运行的安全，在系统关键部件的设计中均采用 1+1 备份的方式，确保在主部件工作出现故障的情况下零中断切换到备份部件，确保控制系统整体的正常运行。

完成了变频除尘节能改造系统的整体设计，还需对其各部分进行详细的论述。

3.5 中心控制系统

完成炼铁现场有关信息的获取后，最主要的是要对这些信息进行采集处理，进而控制改变变频器和除尘风机的频率转速。而完成这些功能就需要一个高效智能化的处理控制系统，为适应除尘节能系统的改造需要，系统建立了中心控制系统来完成采集处理现场信息，接收发送控制命令的任务。

中心控制系统是除尘节能系统的中枢控制中心，通过这个系统操作人员可以实现对生产现场情况的掌握，对风机进行实时的转速控制。如图 3-10 为中心控制系统。中心控制系统主要包括工业控制计算机，控制箱以及信号采集箱等。



图 3-10 中心控制系统
Fig3-10 Central control system

3.5.1 工业控制计算机

工业控制计算机是一种为工业现场设计的一种专业计算机，简称工控机。在本次除尘节能控制系统中承担着中心控制软件在 LabVIEW 平台上的实现，完成对除尘节能系统的控制的工作，所以对其型号性能的选择是很重要的，本系统中所采用的是研华公司的 RACK610 型的工控机，从板卡体积、运算能力以及成本价格上来考虑都适合项目的要求。其特点主要是机箱采用钢制结构，具有很高的防尘、防磁以及防冲击的能力，同时机箱内还带有 PCI 和 ISA 插槽的专用的底版，在工业控制计算机中带有专门的电源，这类电源具有很强的抗干扰能力，避免了工业生产复杂的环境对计算机的干扰。本系统采用的工业控制计算机的配置有 250W 的电源，P42.4G 的处理器和 JPR0841 主板，以及 512MDDR 的内存，满足了控制软件应用的要求条件。

3.5.2 系统现场控制箱

由于在炼铁现场有工人进行操作，需要实现根据实际情况由工人来手动控制

各个除尘风门的开启的功能，所以在现场设置安装了系统现场控制箱，是中心控制系统的一个重要组成部分，控制箱是设置在生产现场的，现场的操作工人根据现场生产情况随时通过控制对除尘风机对应的各个出铁口和灌口的电磁阀进行控制，无需提前联系控制中心，这样大大提高了工作生产的效率，实现了系统的智能化。图 3-11 为系统现场控制箱。

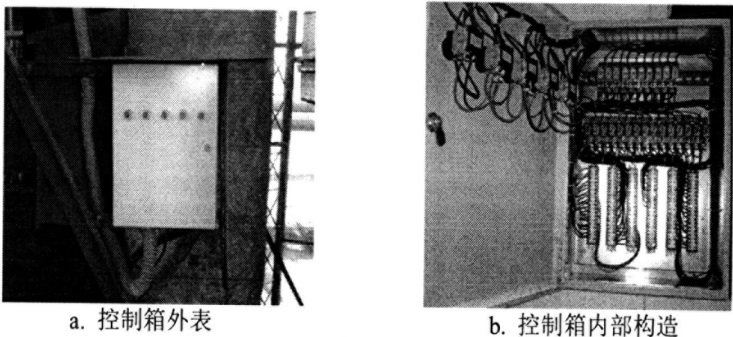


图 3-11 系统现场控制箱
Fig3-11 System site control box

系统现场控制箱是直接与各出铁口和灌口的除尘风口的电磁阀相连接的，通过按钮式开关，继电器以及线路转接排等器件来实现功能的，其中继电器的应用是控制箱的重点核心。

本系统应用的是电磁继电器，它是自动控制技术应用电路中一种常用的元件。其实质就是用相对较小得电压电流实现对较大电压电流的控制的一种自动开关。电磁继电器的组成一般也比较简单，主要由铁芯、线圈、一组或者几组带有触点得簧片组成。电磁继电器的工作原理也是这样的，当继电器线圈中通有电流后，铁芯就被磁化产生了足够的电磁力，将衔铁吸动同时电动簧片，使得静触点和动触点分开或者闭合；如果当线圈断电之后，电磁力就会消失，衔铁就会回到原来得位置，静触点和动触点又恢复到了原来的分开或者闭合的状态。在使用电磁继电器时，把需要控制的电路按需要接到触点上，就可以利用继电器的工作特点来实现控制的目的^[24]。如图 3-12 为电磁继电器原理图。

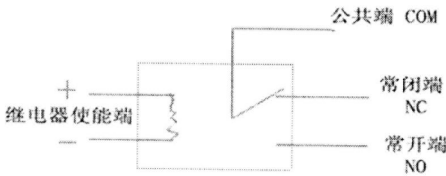


图 3-12 电磁继电器原理图
Fig3-12 Principle diagram of electromagnetic relay

在选择和使用继电器时一定要主要其特性参数。电磁继电器的特性参数主要

有额定工作的电压或者电流，直流电阻，吸合电流和释放电流，以及触点负荷。这些都是工业应用中必须主要的参数特性。

3.5.3 信号数据处理采集箱

对于生产现场的信息，控制箱的风门开启信息等需要被采集到中心控制系统中的工控机中，这个功能需要如何实现，系统设计安装了信号数据处理采集箱，它是除尘节能系统的重要环节部分，它完成了采集生产现场信息数据，并将其传输给工业控制计算机进行处理，同时又会将工业控制技术处理计算后发出的命令数据发送到除尘节能系统的各个相应节点完成控制。所以说信号数据处理采集箱是系统连接控制系统和执行系统的桥梁。

在信号的采集，重点是信号的调理。由于在传感器采集现场信息以及开关按钮产生的信号信息的传递中都会遇到很多的信号干扰，特别是在炼铁厂这样的复杂环境中，必须保证信号传递到采集卡的准确性与可靠性。所以必须进行信号调理。信号调理就是为能在 DAQ 设备上对信号进行数字化对其采取的处理操作。当今国内外有很多功能的信号调理板卡，其中 NI 公司的信号调理板卡 SCXI 是 LabVIEW 软件直接支持的一种信号调理模块，可以很方便的在 LabVIEW 平台下调用。本次除尘节能系统中所应用的就是 NI 公司生产的数据采集卡 PCI-6221。这一型号的数据采集卡是专门为计算机设计的高性能，高速度的多功能数据采集卡。如图 3-13 所示。

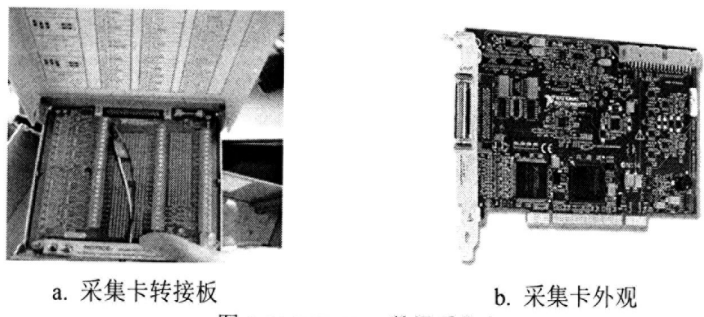


图 3-13 PCI-6221 数据采集卡
Fig3-13 PCI-6221 data acquisition card

PCI-6221 数据采集卡的功能十分完善，具备了所有数据采集卡的功能，同时它提供了很高增益的可编程的仪器放大器，能够满足低电平输入的要求。

PCI-6221 数据采集卡在本系统的设计中很好的完成了激光烟尘传感器和红外温度传感器对现场信息状况的采集，同时也准确的采集到各个控制开关的动作信号，实现了系统对生产现场的掌握。

3.5.4 命令信号的放大

采集到信号经过工业控制计算机的计算处理后，必须要向系统的各个节点设备发送控制命令信号，但由于此信号电平很低，经线路传输后可能衰减消失无法实现对各个节点设备的控制。所以在传输控制命令信号前，需要对其信号进行放大，本系统采用的是ULN2803芯片对信号进行放大。ULN2803是八重达林顿晶体管阵列。其原理图如图3-14所示。

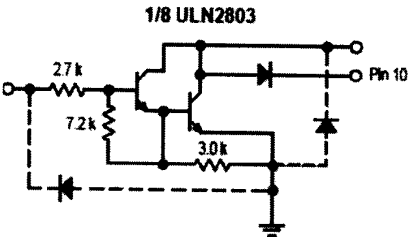


图 3-14 ULN2803 原理图
Fig3-14 ULN2803 schematic diagram

ULN2803的反相输入、输出电压值为TTL或者5V的CMOS值，输出可达500MA/50V。用于驱动大电压电流负载，能够直接驱动继电器，用于电平的转换。其引脚图如图3-15所示

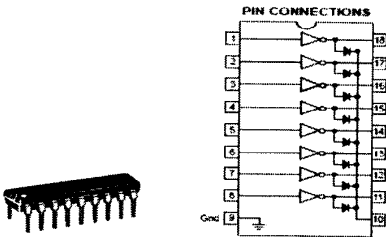


图 3-15 ULN2803 引脚图
Fig3-15 ULN2803 Pin connections

其中 1-8 引脚为输入端，11-18 引脚是输出端，9 引脚是低端，10（COM）是电源引脚。COM 脚的主要作用是在使用 ULN2803 来驱动继电器时，可以讲 COM 脚接到继电器的 VCC 端，这样就可以利用 ULN2803 内的反向二极管来保护继电器，消除继电器闭合产生的感应电压。

3.6 串口通信转换器

中心控制系统处理完现场的信息后，最重要的是及时准确的传递给变频器，由变频器来控制除尘风机的转速，同时还要接收变频器反馈的数据，保证工作人

员对变频器和风机工作状态的掌握，所以说中心控制系统与变频器之间的通信是相当重要的。如果中心控制系统与变频器的通信系统复杂的话，会带来巨大的工程量，损坏或出现故障时都不利于检修。为了简化通信系统并且保证通信功能的高效实现，本系统选择了 RS232 转 RS485 的转换器来构建串口通信的模式来完成中心控制系统与变频器之间的通信任务。

RS485 的接口组成的一般是两线制的半双工网络，大多数是采用屏蔽双绞线来进行传输。这种接线的方式一般在同一个总线上最多可以挂接 32 个结点。RS485 通信网络中主要采用主从通信方式，很多情况下，RS485 的通信链路的连接只是用一对双绞线简单的将各个接口的两端连接起来，RS485 接口连接器采用的是 DB-9 的 9 芯插头座，而终端的 RS485 采用的是 DB-9 孔。具体引脚分配如表 3-1 所示。

表 3-1 接线端子引脚分配图
Table 3-1 Terminals Pin Allocation Table

DB9 Male(PIN)	输出信号	RS-485 半双工接线
1	T/R+	RS-485(A+)
2	T/R-	RS-485(B-)
3	RXD+	空
4	RXD-	空
5	GND	地线
6	VCC	+5V 备用电源输入

其中引脚 1（T/R+）引脚 2（T/R-）分别代表了数据发送和数据的接收，这是实现点对点，点对多点的半双工的两根通信线，接线时要保证 RS485 的 T/R+和 T/R-与通信另一端对象的收/发+和收/发-对应连接。RS485 中的引脚 5（GND）为地线，引脚 6（VCC）为备用的电源输入。

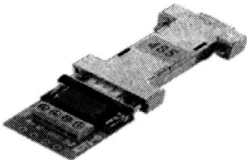


图 3-16 RS485 转接器
Fig3-16 RS485adapter

本系统设计采用了 RS232/RS485 转换的连接使用（RS485 转接器如图 3-1 6 所示）。由于计算机只默认带有 RS232 接口，为得到在计算机上的 RS485 电路，系统设计通过 RS232/RS485 转换电路来把计算机的串口 RS232 转换成为 RS485 信号，这样的方式是在炼铁厂这样复制的工业环境中最好具有防浪涌的方式。

3.7 变频器系统

除尘节能系统改造项目中,变频控制技术是核心,那么变频控制技术的载体,变频器的设计与选择是关键的部分。变频除尘节能系统经过中心控制系统把现场信息处理后产生的控制命令传递给变频器,最终依靠变频器来实时控制除尘风机的频率,调节器转速,到达节能的效果。但炼铁厂除尘风机一般都设备有些老化,这样对变频器就提出了更高的要求,所以对变频器结构原理和型号参数,系统都是有着相应要求的。

3.7.1 变频器的设计结构原理

变频器是利用电力半导体元器件的通断作用,把工频电源成功转换为另外一种频率的电控制装置。变频器工作原理就是通过改变电动机的电源频率来实现调节速度的,是一种理想的高性能、高效率的调速设备。变频器主电路是为异步电动机提供调压及调频电源的电力转换部分,主要分为电压型和电流型。电压型是将电压源的直流转换为交流,在直流回路是电容进行滤波;电流型是将电流源的直流转换为交流,而在直流回路是电感在滤波。

变频器主要由三个部分构成,分别是整流器;平波回路和逆变器。另外,变频器还有一些相关结构,其中控制电路是给异步电机供电的主电路提供控制信号的回路,它有电压、频率的运算电路;主电路的电压电流检测电路;电动机的速度检测电路;能够把运算电路的控制信号放大的驱动电路;以及电动机和逆变器的保护电路。

变频器的控制方式主要有:正弦脉宽调制(SPWM)控制方式、电压空间矢量(SVPWM)控制方式、矢量(VC)控制方式、直接转矩控制(DTC)方式以及矩阵式交-交控制方式。正弦脉宽调制控制方式的特点是控制电路的结构简单,机械特性好,而且成本低,但不适合在低频下工作。电压空间矢量的控制方式是在三相波形整体生成的效果的基础上,以逼近电机气隙的理想旋转磁场的轨迹为目的,一次性生成三相调制波形,通过内切多边形来逼近圆的方式进行控制的。矢量控制方式的实质就是将交流电动机等效为直流电动机,对其速度、磁场两个分量分别进行独立控制。而直接转矩控制方式则是控制电动机的磁链和转矩。矩阵式交-交控制方式与VVVF变频、矢量控制变频相同都是交-直-交变频的一种^[25,26]。

3.7.2 系统中变频器的选择

随着电力电子和微电子技术的发展，现代的控制理论在交流调速技术系统里的应用，作为变频调速技术系统的核心的变频器也得到了飞跃式的提高。变频器自从 20 世纪 60 年代问世以来，到今天在中国也得到了大面积的普及。在 20 世纪 80 年代末期，变频器在我国的市场是由三相和富士占领着，然而今天，除三星和富士之外的变频器还有东芝，松下，罗宾康，通用，西门子，阿尔斯通，SEW，KEB，欧陆，LG 等等八十多种品牌。同时也涌现了如安圣，利德华等中国品牌^[27]。变频器的品牌众多，通用种类也是相当丰富。按有无中间低压回路的分类，有高高变频器和高低高变频器；按中间环节有没有直流部分，可以分为交直交变频器和交交变频器；如果以直流部分的性质区分有电压型变频器和电流型变频器；在电压的等级和用途的方面，分为高压变频器和通用变频器；如果看电平输出数，有两、三、五电平及多电平变频器；而按照嵌位的方式分，有电容嵌位型变频器和二极管嵌位变频器。

变频器在选择时要注意变频器的型号、容量以及对环境要求方面的选择。在变频器型号的选择上主要遵循的原则是要安全可靠，保证功能的实现，同时节约成本。还有重要的一点就是要根据负载的要求情况进行选择。而在变频器容量的选择上要注意电动机与变频器的额定电流，以及电机对变速的要求，保证变频器要大于电动机的负载。最后选择时要满足环境的要求，因为不同变频器的集成度不同，自身的散热量也不同，所以要根据环境的温度湿度和粉尘含量等情况选择变频器^[28]。根据上述的研究分析，本除尘节能系统采用的是完美无谐波空冷型高压变频器，如图 3-17 所示。

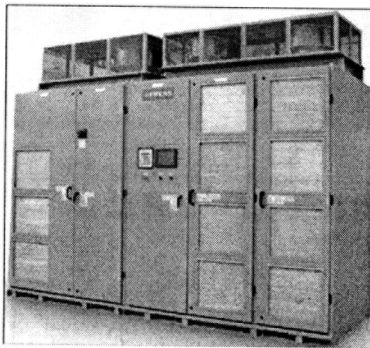


图 3-17 完美无谐波空冷型高压变频器
Fig3-17 Perfect harmonic air-cooled high-voltage inverter

完美无谐波变频器是罗宾康公司设计制造的脉宽调制变频器系列。具有提供纯净输入特性，提供高功率因素，提供几近完美的正弦波输出等优点品质。这种

变频器正是为了标准的三相交流中压感应电动的应用而设计的。完美无谐波变频器能够在不影响电动机工作性能的基础上调节转速，它将拥有固定电压和频率的公共电源转化成为了电压、频率均可变的电源，进而改变电动机的转速。与老式的变频器相比，它的变换过程是电子形式的，无任何运动部件，不会产生任何的副作用。

选择完美无谐波变频器另一个原因是它具有高效率、高可靠性，拥有模块化结构，光纤控制电路，欠压承受能力强等特性，同时有功能单元自动检测，高级诊断，电机参数自整定和双频制动等功能，变频器是多电路，无跳闸运行。依据这些特性，完美无谐波变频器可以很好的满足除尘节能系统的要求，使得变频控制技术的应用完美实现。如表 3-1 细致的介绍了完美无谐波变频器的技术参数。

表 2-1 变频器的技术参数
Table 2-1 technical parameters of the inverter

项目	描述
马力范围	0-3000hp
输入线电压	2.3kv,3.1kv,3.4kv,4.2kv,4.9kv,6.1kv,6.7kv,6.8kv,7.3kv,8.5kv 10.1kv,11.1kv,12.1kv,12.6kv,13.3kv和13.7kv.
输出线电压	2.3kv,3.2kv,4.26kv,4.7kv,6.1kv,6.7kv
输出频率漂移	±0.5%
速度范围	0.6-340HZ（与电机有关）
过载能力	与具体设置以及实际安装的单元类型有关
加速时间范围	约为0.6-3400秒（与负载有关）
输出转矩	额定转速下的恒转矩
环境温度	0-50 ⁰ C
湿度	95%non-condensing 无冷凝
海拔高度	最大3200英尺。超过3200英尺时必须降额使用。
粉尘污染	<100微米@6.5毫克/立方英尺
气体污染	<4PPB活性卤化物和硫化物

3.7.3 变频器的冷却除尘

系统投入使用后，变频器将长时间运转，工作环境恶劣，这样就会造成变频器内部温度升高，同时也会将环境中的大量灰尘吸入变频器内部，再者变频器集成程度高，散热量大，所以对变频器冷却十分重要。首先，本系统中所采用的完美无谐波变频器自带四个大功率散热风机位于变频器上方，变频器工作时，实时对其内部抽风降温，但这对变频器的冷却还是不充分的，所以在变频器工作的厂房内安装中央控制式空调，实时控制厂房内的温度，以保证变频器温度的均衡。

3.7.4 旁路电路保护柜

由于除尘节能系统是将变频控制技术通过变频器等应用在工业生产中，但变频器和工业除尘风机的工作需要万伏高压，如果对供电系统线路不做保护的话，一旦出现故障就可能造成重大事故的危险，所以在本除尘节能系统中设计了旁路电路保护柜来保护电路的稳定。如图 3-18 所示。

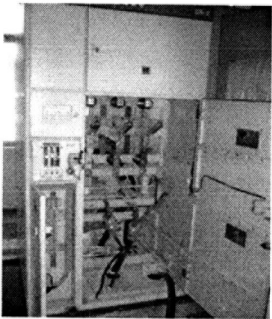


图 3-18 旁路电路保护柜
Fig3-18 Bypass circuit protection cabinet

旁路电路保护包括了隔离和稳压功能，当配电网络供电电压波动或者负载变化时，能自动保证输出电压的稳定。具有大容量、高效率、稳压范围宽、应变时间快、平稳等特点，对容性、感性及阻性负载都可以适应，能够承受瞬间超载，可以持续长时间工作。在本系统内实现了电路保护的功能，保证了系统的稳定运行。其电路原理图如图 3-19 所示。

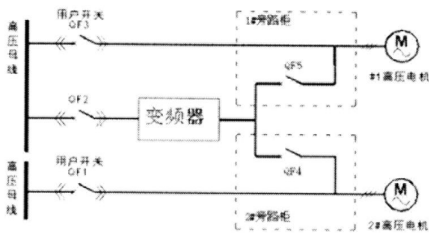


图 3-19 旁路保护电路柜原理图
Fig3-19 Bypass circuit protection cabinet schematic diagram

由旁路保护电路柜的原理图分析，旁路柜在除尘风机的高压电机和变频器中设置了保险开关，除尘风机可以及时切断与变频器的连接，改用工频的方式进行工作，有效避免了由于变频器故障而导致除尘风机无法正常使用。

3.8 本章小结

本章根据炼铁厂的生产环境特点以及基于变频控制技术的除尘节能系统的技术要求，对变频除尘节能系统进行了设计，针对不同部分的技术实现选择了相应的技术设备来完成。本章详细介绍研究了激光烟尘传感器，红外温度传感器的技术特性，完成对生产现场的监控。同时应用了串口通信设备在本除尘节能系统，全面细致的分析设计了本项目的中心控制系统，对其中控制箱，数据采集箱等硬件设备进行了重点的分析和设计，介绍了继电器，数据采集卡以及 ULN2803 芯片等硬件在系统中的作用。最后详细全面的设计了变频器系统，这些细致的硬件设计构建起了变频除尘节能系统，对变频控制技术的应用实现发挥了重要作用。

4 除尘节能系统程序设计

在除尘节能系统硬件组成构建完成后，系统的所有功能的控制是通过软件程序的设计来实现的，系统的软件程序是与系统的硬件设备相互配合着的，所以除尘节能系统的程序设计同样是非常重要的。本系统将在虚拟仪器技术的基础上，以其应用软件 LabVIEW 为平台，利用 Modbus 通信协议等来设计构建除尘节能系统与变频器高效通信的软件控制系统，最终完成一个可以实现系统高效智能自动化的变频除尘节能系统的软件程序系统。

4.1 系统软件程序平台的确定

变频除尘节能系统是为实现对炼铁厂炼铁过程的监控，达到高效智能自动化控制，完成实时控制除尘风机，节约电力能源。这对系统的软件程序提出了严格的要求，需要系统程序快速高效的采集数据，处理数据，准确判断下达命令以及畅通高效的与硬件设备通信等等，所以要满足这些要求，对系统软件程序的平台的选择至关重要，这个平台决定着程序功能能否高效简洁的实现，和整个变频除尘节能系统的成败。基于简洁高效实用等原则，这次的变频除尘节能系统是依据虚拟仪器技术，以 LabVIEW 软件为平台完成的系统软件程序的设计与应用。

4.1.1 虚拟仪器

虚拟仪器（virtual instrument）是一种用计算机来实现的仪器。在当今仪器发展中，将仪器与计算机相结合是一个重要方向。虚拟仪器系统包括了计算机、应用软件和硬件仪器这三个部分。虚拟仪器的主要特点是它是采用了通用的硬件设备，将软件变成了各个仪器的主要差异，并充分发挥了计算机的能力，通过计算机超强的数据处理功能，创造出功能越来越强大的仪器，同时虚拟仪器具有了很强的灵活性，使用这可以根据不同的需求自主的制作各种仪器^[29]。除此之外，虚拟仪器具有操作性强、智能化程度高、处理能力强、复用性强和系统费用低等特点。

虚拟仪器克服了传统仪器的很多不足，解决了传统仪器的诸多问题，虚拟仪器可以按用户的要求来定义功能，可以方便的连接网络以外的设备或仪器，同时它的界面是图形化，可以直接读取数据进行分析处理。虚拟仪器改变了传统仪器以硬件为核心的模式，将软件变成了关键部分，功能以及规模可以通过修改软件来实现变化，技术的更新周期也变得更快捷了，基于软件体系的结构大大节省了

开发费用，实现了价格低廉的期望，仅仅是传统仪器的五至十分之一。通过这些研究分析，在本此除尘节能系统的设计将采用虚拟仪器来实现软件控制的设计。

4.1.2 虚拟仪器 LabVIEW 软件

前面介绍了虚拟仪器的概念、虚拟仪器的特点，以及虚拟仪器相对于传统仪器的优势。从虚拟仪器的概念出发，不难发现作为虚拟仪器开发平台的软件是虚拟仪器的精髓。而 LabVIEW 正是一款优秀的虚拟仪器软件开发平台。

LabVIEW 是 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 的缩写，它是一个使用图形符号来编写程序的编程环境，它不同于传统的编程语言，LabVIEW 不仅仅是一种语言，它为科学家和工程师等设计了一种编程开发环境和运行系统，编程知识这些工作的一部分。LabVIEW 开发环境可以在运行 Windows, Mac 或是 Linux 系统的计算机上工作。

作为美国国家仪器公司（NI 公司）所推出的虚拟仪器开发平台，LabVIEW 以其直观、简便的编程方式，众多的源码级的设备驱动程序，种类众多的队分析和表达功能的支持，为使用者快捷的构建在实际生产中所需要的仪器系统创造了基本条件。LabVIEW 的应用程序改进了许多工业上的操作，从任何一类的工程和过程控制到生物学、农业、心理学、化学以及物理学等^[30-33]。

用 LabVIEW 开发出来的应用程序称作 VI (Virtual Instrument)。VI 是由图标、连线以及框图构成的应用程序，有前面板和后面板构成。

(1) 前面板窗口：前面板是应用程序的界面，一个图像化的窗口，主要由显示量和控制量构成。

(2) 后面板窗口：后面板窗口也叫做流程框图窗口，是 VI 的代码部分，也是 VI 的核心部分。

LabVIEW 软件出具有图形化的编程模式特点外，还具有其他很强的功能，它能够控制数据采集或者 DAQ 设备采集以及模拟信号和数字信号的产生。在一些领域中 LabVIEW 可以快速高效的完成数据采集，分析处理，表达输出等功能^[34-36]。综合以上分析，基于变频控制技术的除尘节能系统的软件设计要选择 LabVIEW 软件来完成，它可以高效可靠的实现系统的设计条件，可以满足炼铁厂复杂环境对系统软件功能的要求。

4.2 系统控制程序流程与控制界面设计

挑选出除尘节能系统合适匹配的软件控制程序理论技术的依据和实现完成的

设计平台后，真正要实现除尘节能系统控制程序的建立，首先必须奠定系统的思路与工作流程。

4.2.1 系统控制程序设计流程

基于变频控制技术的除尘节能系统是一个结构全面，功能强大的系统，其所有的功能的实现是在硬件搭建的基础上由系统的控制软件来处理实现。所以系统软件程序设计的工作流程是首先需要明确的，只要这样才能设计出一个完备，缜密的一套变频除尘节能系统的软件控制程序，完成整个变频除尘节能系统中点到点的整体智能化的控制，到达准确、高效以及实用性强的效果。

通过以上论述，在系统软件控制程序编写前，确定了软件控制程序的设计思路和工作流程，其框图如图 4-1 所示。

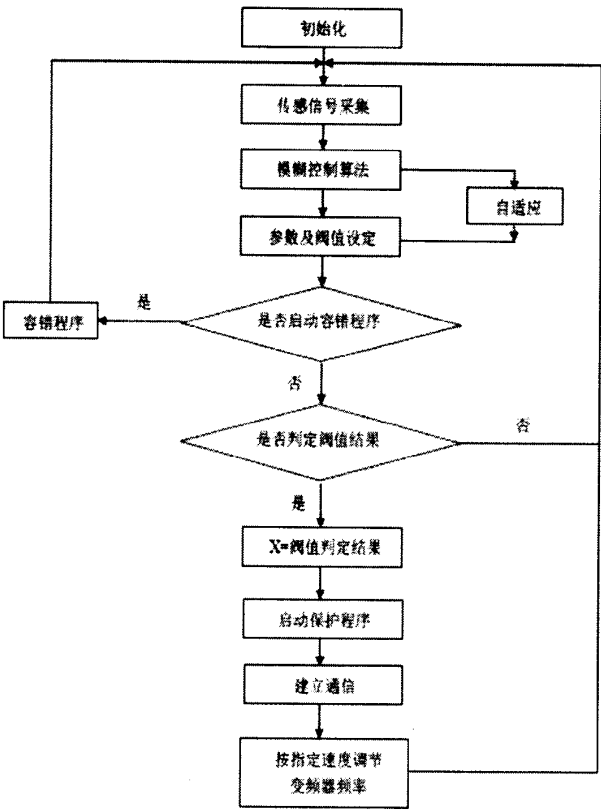


图 4-1 系统软件程序工作流程

Fig4-1 Software system workflow

本系统的软件控制程序要实现对现场信息的采集，对不同数据的处理计算，与变频器的通信和对变频器的调速控制，同时控制软件要方便操作人员的操作，

设计出简洁方便的输入输出的控制显示界面，数据存储等功能，来保证变频除尘节能系统的智能控制，功能的实现。

4.2.2 系统控制界面设计

基于变频控制技术的除尘节能系统在本项目中应用在炼铁厂，针对炼铁厂的特殊工作环境，设计了一套与之相适应的系统程序，实现了对生产现场和设备的精确控制。

根据变频除尘节能系统的整体设计，配合系统硬件来实现相应的功能，以及工作人员操作的需要，首先设计出系统软件的控制主界面，这样便于系统根据需要来完成控制程序的编写，避免出现功能遗漏，使控制程序存在缺陷漏洞，甚至导致系统无法正常使用。

本系统程序的控制界面如图 4-2 所示。

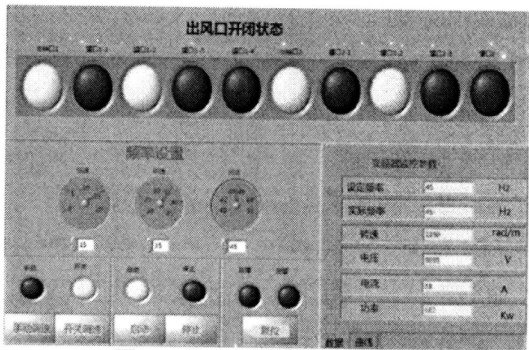


图 4-2 除尘节能系统控制界面
Fig4-2 De-dusting energy-saving system control interface

本系统程序的控制界面简洁明了的实现了对炼铁除尘节能系统的有效控制，方便工人对现场情况和系统设备的工作情况的掌握，及时作出生产操作。在本系统程序中，设计了开关调速和手动调速两种模式，这样既可以实现全自动化工作，又可以保证工作人员对系统的掌控。如图 4-3 所示。

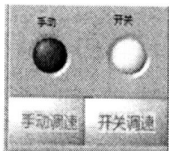


图 4-3 调速模式转换模块
Fig4-3 Speed control mode switching module

开关调速，即为自动调速，现场的工作人员可根据现场的具体情况按动开关

来控制除尘风口电磁阀的开启与否，调节风机的转速，无需控制中心的操作人员进行操作。而手动控制可以实现控制中心的工作人员通过系统的操作就可以控制远在几公里以外的现场生产和设备的运行。这两种调速方式可以在操作系统上进行转换。

其程序框图如图 4-4 所示。要完成这段程序的编写，需要利用数组比较来实现，当触动手动调速时，系统会判断为“真”，而当触动开关调速时，系统则会判断为“假”，而这两种逻辑都和系统程序的其他部分相连接，进而执行手动调速或开关调速。

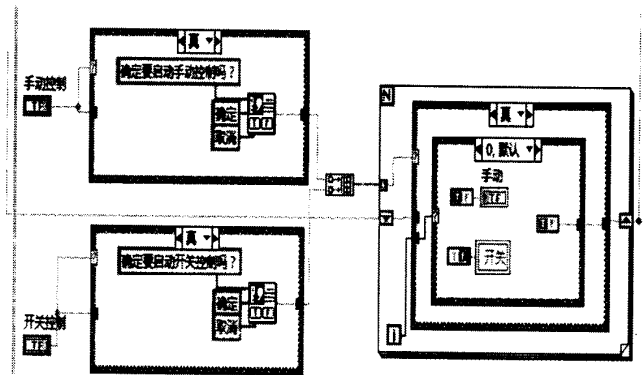


图 4-4 调速模式转换模块

Fig4-4 Speed control mode switching module program flow diagram

4.3 数据采集部分的设计

在系统软件控制程序的设计中与硬件联系最为紧密的部分之一就是数据采集部分。这部分的设计编写是依托 LabVIEW 软件中数据采集部分来完成的。软件对硬件数据的获取主要是通过这部分来完成的，主要是对现场的烟尘浓度数据、出铁口与灌口的温度数据、现场开关的开闭信号数据以及除尘风口电磁阀的开到位，关到位和过转矩信号数据等等的采集。

4.3.1 数据采集设计基础

LabVIEW 软件中数据采集部分是十分重要的，数据采集 (Data Acquisition, 简称 DAQ)，就是通过传感器等设备将待测的物理信号数据转化为电流电压等信号数据，再通过数据采集卡，A/D 转换成数字信号，采集到计算机中进行分析处理。本除尘节能系统中以通过激光烟尘传感器和红外温度传感器完成对现场物理信号的采集，计算机与数据采集卡之间数据交换的实现，对信息的控制和与设备的通信都是通过总线来完成的。同时根据需要检查信号是多路的，本系统选用了 NI PXI

系列数据采集进行设计^[37,38]。其主要步骤有：

- (1) 安装 DAQ 的设备硬件；
- (2) 安装 DAQ 的设备软件；
- (3) 配置通道；
- (4) 在 LabVIEW 中的编程。

在进行软件编程之前首先将数据采集卡安装到计算机的机箱中，即插在机箱内相应总线的插槽上，再安装数据采集卡的相应驱动程序。NI 公司的所有 DAQ 设备都带有驱动程序，封装起来称为 NI-DAQmx。实际上，在安装 LabVIEW 时已经默认安装了 NI-DAQmx。所以如果 LabVIEW 安装了完整版，驱动程序就安装在计算机上了。

4.3.2 数据采集设计模块的应用

系统软件控制程序的设计编写是通过不同的数据采集模块来搭建完成的。NI 公司生产的数据采集卡在 LabVIEW 上的驱动集成了丰富功能的数据采集函数库，如图 4-5 所示。其中有模拟输入，模拟输出，数字输入输出，DAQmx 定时，计数器，触发，校准设置，信号调理以及传统的 DAQ 通道常数等函数。在 LabVIEW 的程序编写面板界面中可以找到这些函数，包含了所有数据采集编程所需的函数，方便编程。

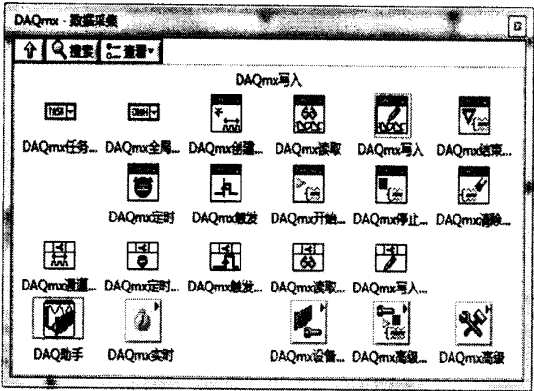


图 4-5 DAQmx 数据采集函数库
Fig4-5 DAQmx data acquisition Library

本系统的数据采集部分的设计是利用这些函数来完成的。不同模块具有不同的功能，在 LabVIEW 软件平台的程序编写正是利用不同功能的模块按照固定逻辑连接搭建起来的，这种方式方便简化了程序编写过程，改变了利用字符代码完成编程工作的传统方式。

1、DAQmx 创建编程任务时需要 DAQmx 创建虚拟通道(DAQmx Create Virtual Channel) 如图 4-6 所示。

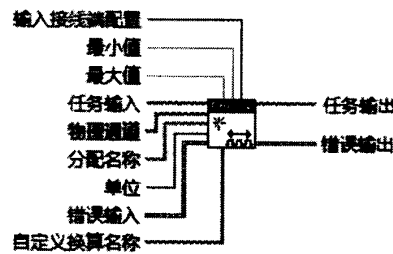


图 4-6 DAQmx 创建虚拟通道函数
Fig4-6 DAQmx Create Virtual Channel

DAQmx 创建虚拟通道函数是创建一个虚拟通道或者一组虚拟通道并将其加入到一个任务中。这种多态 VI 对应于相应的通道的 I/O 类型，例如模拟输入、数字输出或计数器的输出，执行测量或产生操作等。

2、DAQ 定时 (DAQmx Timing) 用于设置采样时钟的源、频率，以及采集或者生产的采样数量。本系统软件的设计中根据需要创建这一函数，用此函数设置了每个通道的采样数和采样模式，以及采样频率等参数。函数如图 4-7。

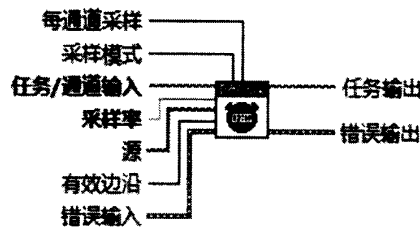


图 4-7 DAQmx 定时函数
Fig4-7 DAQmx Timing

3、DAQmx 运行任务 (DAQmx Start Task)，这一函数将任务设置为运行状态开始测量或产生。通过这一函数 VI 可以起到采集数据的功能。如图 4-8 所示。



图 4-8 DAQmx 运行任务
Fig4-8 DAQmx Start Task

4、DAQmx 读取 (DAQmx Read) 和 DQAmx 写入 (DAQmx Write) 如图 4-9 与图 4-10 所示。读取模块和写入模块是数据采集部分中重要组成部分。DAQmx 读取是从指定的任务或者虚拟通道中读取采样值，而 DAQmx 写入则是向指定的

任务或者虚拟通道写入数据点。读取模块完成了对硬件设备反馈信号的采集，实现控制程序对硬件设备监控。写入模块则是控制程序对硬件设备下达操作命令的重要环节。读取模块和写入模块的使用，对实现控制程序与硬件设备全双工通信的实现起到了关键作用。

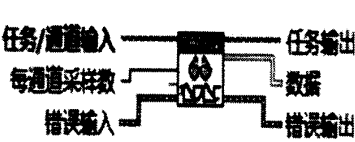


图 4-9 DAQmx 读取
Fig4-9 DAQmx Read

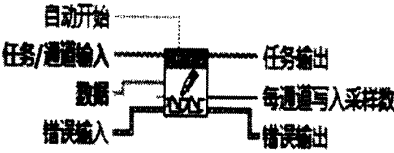


图 4-10 DAQmx 写入
Fig4-10 DAQmx Write

5、DAQmx 清除任务 (DAQmx Clear Task)，如图 4-11 所示。在清除任务前，如果必要的话该 VI 先停止任务，释放任务占用的任何资源。在清除任务之后不能再使用任务，除非重新创建任务。



图 4-11 DAQmx 清除任务
Fig4-11 DAQmx Clear Task

4.3.3 数据采集部分的程序设计

对 LabVIEW 提供的数据采集函数了解之后，需要建立 NI-DAQmx 任务来完成控制软件数据采集部分的编程。在 LabVIEW 中建立 NI-DAQmx 任务的主要步骤有：

- (1) 创建一个新任务（或者引用一个 MAX DAQmx 任务）。
- (2) 根据软件设计的需要，配置各个通道、事件、采样定时和触发属性等参数。
- (3) 启动任务。
- (4) 进行读取和写入，可以根据要求重复。
- (5) 停止任务。
- (6) 清除任务。

根据除尘节能系统软件设计要求，利用数据采集函数的功能特性，完成了本系统的数据采集程序的编写，包含了对激光烟尘传感器和红外温度传感器的信号的采集和对开关和除尘风口电磁阀反馈信息采集两部分。

采集部分的程序是以 LabVIEW 软件平台中的功能模块建立起来的，包括了采用信道的选择，采样的频率，数据的 AD 转换，以及数据的写入，还有对数据采样延时的设置。通过模块的搭建，利用程序循环控件，建立了一个对数据信号不断采集的信号采集系统，完成了系统程序对硬件设备产生的数据信号的接收处理。信号采集系统的主要采集对象是现场传感器反馈的数据信号的采集，其采集程序设计如图 4-12。

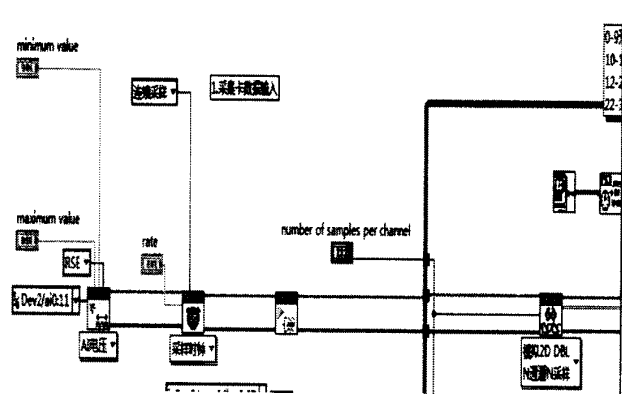


图 4-12 系统对传感器反馈数据的采集程序设计
Fig4-12 Sensor system to feedback data acquisition program design

信号采集系统不仅只采集现场传感器的反馈信号进行采集，另一重要作用是对开关信号和电磁阀反馈数据完成采集处理，以备程序进行下一步的处理，其采集程序设计如图 4-13 所示。

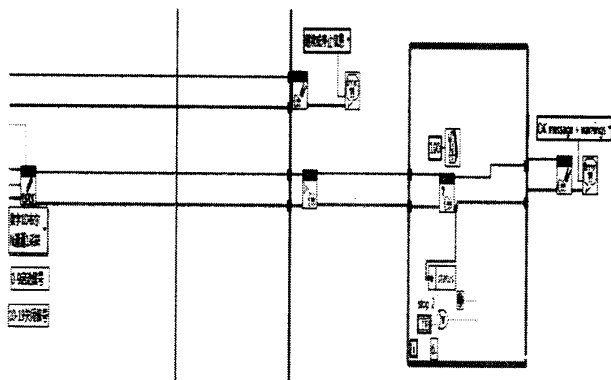


图 4-13 系统对开关信号和电磁阀反馈数据的采集程序设计
Fig4-13 System to the switch signal and the electromagnetic valve feedback data acquisition program design

4.4 现场数据处理部分设计

数据采集部分采集了传感器信号数据，开关信号数据以及电磁阀反馈信号，系

统软件程序需要对这些信号数据进行处理来完成输出和命令信号的下达。所以为完成这些工作，我们需要设计一个高效快速的数据处理部分，实现对这些数据信息的处理，产生出输出和命令信号并下达。

4.4.1 传感器数据处理程序的设计

从现场传感器采集到信号数据都是电压的形式发送回计算机的，根据传感器的参数，现场炼铁时的温度范围，烟尘浓度的范围，以及除尘节能系统本身功能实现的要求，在控制程序编写完成后，需要对其参数进行设定。

对于红外温度传感器其信号数据的范围为 0V~5V，即当温度低于 500 度时为 0V，高于 500 度时电压将随着温度的变化呈线性变化，5V 即为温度传感器的最高测量温度。红外温度传感器采集到的温度信号主要是用来控制除尘风口电磁阀的关闭与否，由于炼铁时出铁口铁水的温度在 1200 度左右，通过线性比例的转换，系统程序将关闭阈值设定为 1.8V，即采集到的温度信号高于 1.8V 系统不关闭除尘风口电磁阀，相反如果温度信号低于 1.8V，则将自动关闭电磁阀。考虑到现场环境复杂对采集信号的干扰，炼铁过程的持续时间在 30 分钟至 40 分钟左右，而炼铁结束后到下一次炼铁作业的间隔时间约为 15 分钟至 20 分钟，经多种延时时间的设置，选择 300000 毫秒最适合系统的要求，既满足系统判断时间的充足性，又满足系统快速智能化的要求。根据设置，当温度信号保持 300000 毫秒低于 1.8V，系统才将电磁阀关闭，这样有效避免了炼铁过程中采集的温度信号在某时刻骤降，造成系统误判将电磁阀关闭的可能。其程序设计如图 4-14 所示。

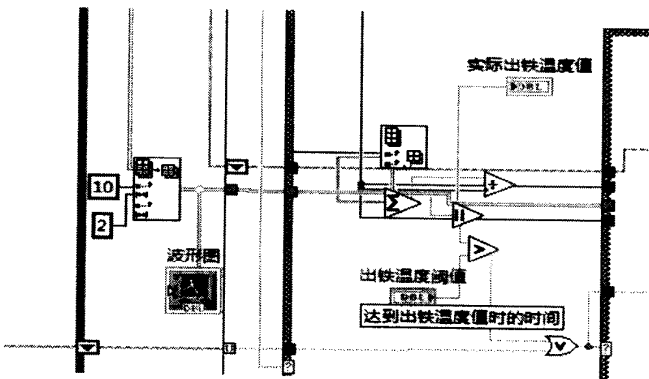


图 4-14 温度信号数据处理
Fig4-14 Temperature signal data processing

与红外温度传感器信号的处理相似，激光烟尘传感器的信号是根据烟道内烟尘的浓度来设定信号电压区间的，同样是 0V~5V，即当烟道停止工作，烟道内吹过烟尘浓度极低时，采集到的浓度信号是 5V，当烟道内烟尘浓度到达饱和时将为

0V。激光烟尘传感器采集到的信号是用来控制风机速度的，系统将烟尘浓度信号阈值为 2V 和 4V，当浓度信号高于 4V 时，风机将是低速频段工作，在 2V 与 4V 之间时，风机将是在中速频段工作，若是低于 2V 说明烟道内的烟尘浓度已经很高，这时风机将在高速频段工作。其程序设计如图 4-15 所示。

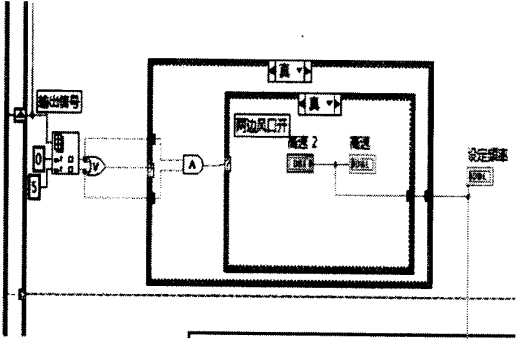


图 4-15 烟尘浓度信号数据处理
Fig4-15 Soot concentration signal data processing

4.4.2 开关信号处理程序的设计

变频除尘节能系统的中心控制系统中现场控制箱是设置安装在生产现场的，现场工人通过控制箱的开关来控制除尘风门的开启，系统需判断出开关信号来源路径，进行相应，反馈到相对应的除尘风门处，将其开启。

开关信号是采集到其电压脉冲后，系统程序会对相应除尘风口的电磁阀进行打开作业。在采集到电磁阀的开到位或关到位的反馈信号信号后，系统程序将停止下达开启或关闭电磁阀的命令，完成开与关的操作。其程序设计如图 4-16 所示。

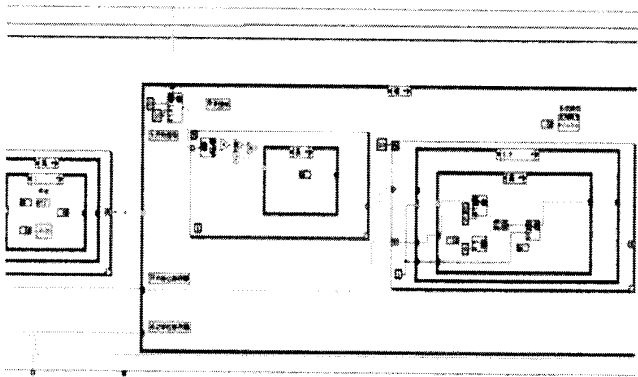


图 4-16 开关信号数据处理
Fig4-16 Switch signal data processing

现场除尘风门的开启与关闭的状态是直接关系这炼铁生产的进程的，甚至是关系到生产安全的，所以每个除尘风门的开闭状态都需要直观的在系统软件控制

界面上显示出来，方便操作人员对除尘风门状态的了解和控制。

炼铁厂炼铁主要是有南北两出铁口及其相应的灌口，为方便有效的掌握控制出铁口及灌口处的除尘风口电磁阀的开启与关闭，以及根据电磁阀的开启数量进行风机调速，本系统程序设计了形象化的图形按钮，根据按钮的亮与暗显示电磁阀的开启与关闭。当在开关调速的模式下，程序操作人员是不能在操作界面上改变电磁阀的开与关的状态的，按钮会根据现场工人的控制进行显示。当在手动调速的模式下，控制中心的操作人员就可以通过程序的操作界面点击显示按钮就可以改变电磁阀的状态，这样的设计可以形象简洁高效的实现了现场与控制中心对电磁阀的实时控制。出风口电磁阀控制显示模块如图 4-17 所示。

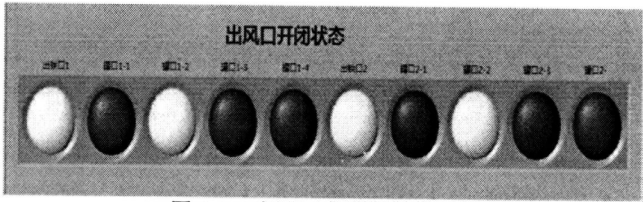


图 4-17 出风口电磁阀控制显示模块
Fig4-17 Outlet solenoid valve to control the display module

4.5 系统对变频器控制部分的设计

变频器部分是变频除尘节能系统的核心部分，所以对变频器控制部分的设计也是最为重要和复杂的。在这部分的设计中要完成系统控制程序与变频器的通信，实时采集显示变频器的数据，根据系统其它部分的数据来对变频器下达控制命令，完成控制。

4.5.1 控制程序与变频器的通信理论

完成对变频器的控制，首先最重要的是与之建立稳定快捷的通信系统。在本项目设计的基于变频控制技术的除尘节能系统中系统控制程序和变频器之间的通信是以串口通信 RS485 的 Modbus 通信协议为基础建立的。

Modbus 通信协议是应用在电子控制器上的一种通用式语言。通过这个协议，控制器与控制器之间，控制器经过网络与其它设备等可以相互通信。这样就可以将控制设备连成一个工业网络进行集中监控。Modbus 通信协议的传输方式主要是通过 RTU(远程终端单元)和 ASCII（美国标准信息交换代码）两种模式来通信的，这两种通信的模式具有相同的报文结构和功能命令，但在帧信息的表示方法上是不同的。

本除尘节能系统采用的是 ModbusRTU 通信模式的主从方式，其主设备为中心控制系统的工业控制计算机，而从属设备为高压变频器。本系统中主要是主设备进行初始化传输，同时从属设备根据主设备提供的数据命令做出相对应的响应。从属设备高压变频器的主要通信功能代码有写入数据 06H 和读取数据 03H。在系统中主设备工控机和从属设备高压变频器通信的主要报文有：数据写入变频器时的主站请求报文和从站应答报文，如果通信成功，主站的请求报文和从站的应答报文是相同的。同时还有在读取变频器的数据时主站的请求报文和从站的应答报文。

4.5.2 Modbus RTU 通信协议在系统中的实现

掌握了通信的重要理论后，将其成功实现在系统程序设计才能保证程序整体设计进行下去。CRC 校验码的生成是 ModbusRTU 通信协议编程的关键，CRC 校验码含有 2 个字节，即 16 位的二进制数，在各个发送信息帧的最后，与其他的数据帧的高位低位相反，其低字节在前面，高字节在后面。当从属设备接收到了信息数据后，会对 CRC 校验码进行计算，同时与接收到的信息的 CEC 校验码进行比对，如果相同则表示信息接收正确，否则表示接收有误，此时主设备需要再次发送信息。在对 CRC 校验码进行计算时，只用到 8 个数据位，起始位和停止位以及奇偶校验位均不参与。

本系统的设计是以 LabVIEW 软件为平台的，所以在本系统中利用 LabVIEW 的公式节点函数可以很方便的实现 CRC 校验码。其具体程序如下：

```

uInt16 i,j,tmp,CRC;
uInt8 CRCHi,CRCLo;
CRC = 0xFFFF;
for (i=0; i<Length;i++)
{
    CRC = buf[i]^CRC;
    for(j=0;j<8;j++)
    {
        tmp =CRC&0x0001;
        CRC=CRC>>1;
        if(tmp)
            CRC = CRC^0xa001;
    }
}
    
```

```

}
CRCHi=CRC>>8;
CRCLo=CRC%0xFF;

```

在 LabVIEW 中是图形化框图, 建立起 Modbus RTU 通信协议的程序框图后会生成其子程序, 方便整个软件系统程序进行调用, 其子程序图标及如图 4-18 所示,



图 4-18 CRC 程序图标
Fig4-18 CRC program icon

CRC 程序框图框图如图 4-19 所示。其程序框图是将 CRC 程序代码嵌套在 LabVIEW 的程序框图中,与相关功能的模块相结合,通过逻辑判断实现 CRC 校验码的在系统程序中的功能。

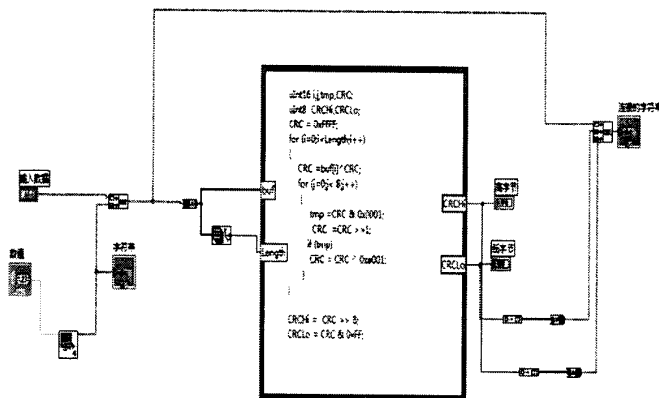


图 4-19 CRC 程序框图
Fig4-19 CRC program block diagram

4.5.3 串口通信部分的设计

系统中程序与变频器的通信是依靠串口通信来实现的,所以只要这部分的程序编写完成才能真正的把变频器与中心控制程序紧密的联系在一起。串口通信部分的程序编写主要经过了几个基本步骤:串口初始化,读写串口和关闭串口。本系统中,中心控制计算机与高压变频器间的通信是通过串口通信完成的,主要包括了控制计算机对高压变频器工作状态的监测和对其参数的读取,还有控制程序对变频器下达命令的写入,但读取和写入不能同时进行。所以串口通信的设计需

清楚系统程序的设计要求，建立固定的逻辑规则，根据理论流程来完成串口通信的设计。串口通信设计的流程图如图 4-20 所示。

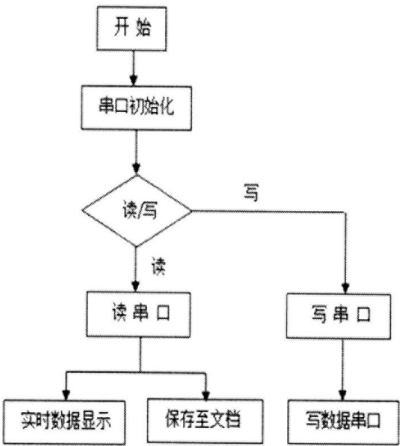


图 4-20 串口通信流程图
Fig4-20 Serial Communication Flowchart

为实现与变频器的全双工通信，系统程序中串口通信包括了读取变频器和写入变频器两部分，这两部分共同完成了系统控制程序与变频器的通信。

读取变频器，利用这部分能够监控变频器工作状态和读取变频器的各项参数，例如变频器运转速度，频率，电压，电流和功率等。这部分是串口通信中重要模块，保证变频器的数据参数不间断的反馈到控制系统，操作便可以根据变频器即时的工作状态完成控制。读取变频器的操作面板如图 4-21 所示。

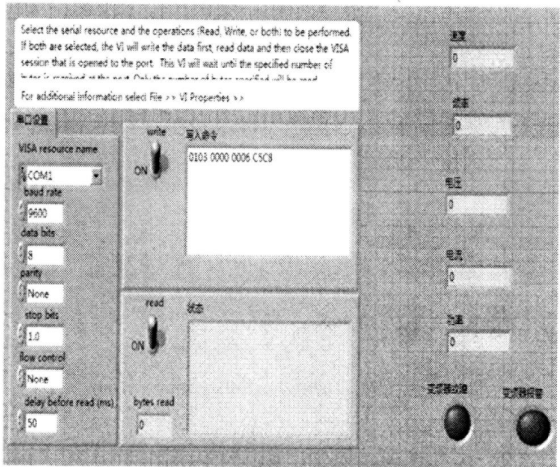


图 4-21 读取串口通信前面板
Fig4-21 Front panel of read serial communication

利用读取串口通信的前面板可以选择计算机与变频器的通道口，根据不同情

况设置通信中的字节数，传输速度等。利用中间的读取数据信息窗口，可以及时观测到变频器的反馈的数据信息，数据是十六进制码的形式完成的。为增强使用的简便性，设计了十进制数据显示栏。读取串口通信程序的完成也是通过 LabVIEW 软件平台的功能模块组合搭建起来的，其程序框图如图 4-22 所示。

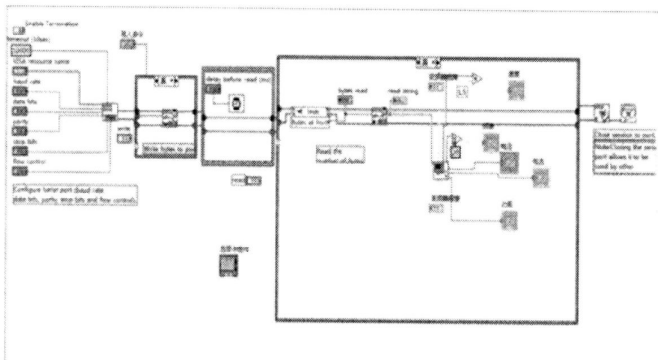


图 4-22 读取串口通信程序框图
Fig4-22 Block diagram of read serial communication

写入变频器串口通信的另一部分，主要是用来完成系统程序对变频器下达命令的通信，实现对变频器的有效控制。写入变频器的操作面板如图 4-23 所示，其程序框图如图 4-24 所示。

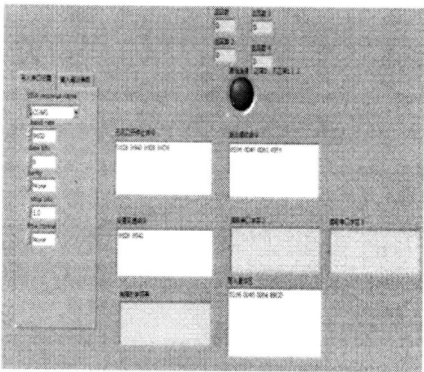


图 4-23 写入串口通信前面板图
Fig4-23 Front panel of write Communication

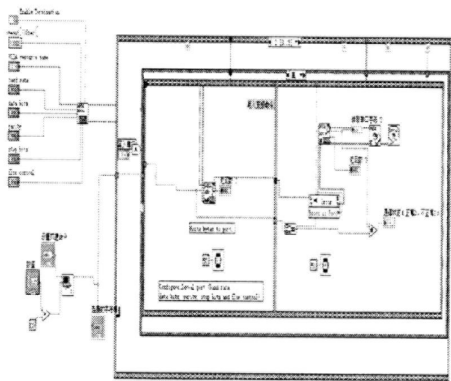


图 4-24 写入串口通信程序框图
Fig 4-24 Block diagram of write communication

串口通信部分的主要参数设置：VISA 的资源通道口为 COM1；波特率为 9600；其数据位为 8；无奇偶效验；停止位为 1；无流控制。

4.5.4 系统程序对变频器的控制

本系统的核心技术是利用变频技术进行风机调速，到达节能的效果。所以程

序设计中，变频器频率控制是很重要的。在本系统程序中，变频器频率的控制设计了低速，中速，高速三个频段进行控制，每一频段都有一个区间，方便频率调节。频率的变化受三个因素的影响，首先是前文介绍的激光烟尘传感器采集到的数据值，通过与设定的阈值相比较来改变变频器的频率，同时生产现场的除尘风口电磁阀的开闭状态和数量也影响着变频器频率的控制，当变频器刚启动时将在低速频段运行，当只有出铁口处的电磁阀开启时变频器将在中速频段工作，只有当出铁口和灌口处的电磁阀都有开启时，变频器才进入高速频段。设计中为加强操作工人对系统的掌控，变频器的频率可以实现人工强制改变，来满足特殊情况的需要。其变频器频率控制模块如图 4-25 所示。

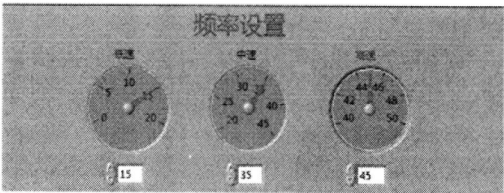


图 4-25 变频器频率控制模块
Fig4-25 Converter frequency control module

变频器频率控制模块中三种速度设置的程序框图其程序框图如图 4-26 所示。

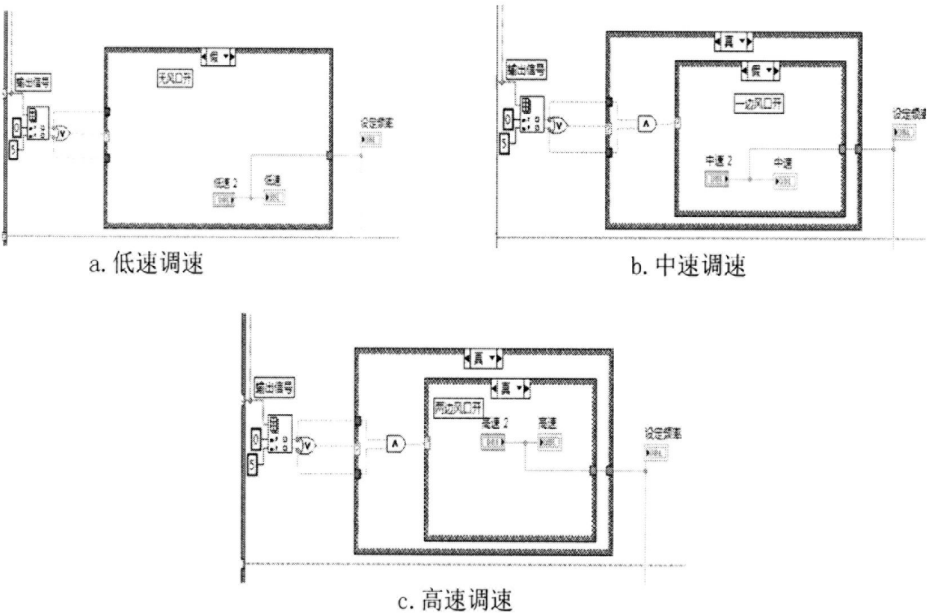


图 4-26 变频器频率控制模块程序框图
Fig4-26 Converter frequency control module block diagram

变频器的工作状况直接影响着节能系统的运行，对变频器的控制和监测是除尘节能系统的重要部分，因此在系统程序设计中也是主要的环节。由于变频器是

在高压下工作，安装工作后工作人员会避免接近变频器，所以需要实现对变频器的远端控制，在系统程序中设计了变频器开关模块，控制变频器的启动与停止。同时，在对变频器的监测中设计了变频器故障报警模块，通过这个模块可以及时发现变频器的故障信息，防止影响生产的进行。这两个模块分别如图 4-27 和图 4-28 所示。

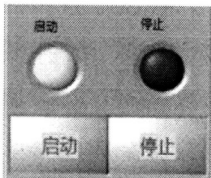


图 4-27 变频器开关控制模块
Fig 4-27 converter switch control module

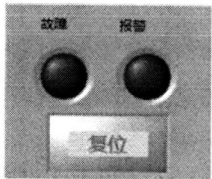


图 4-28 变频器故障报警模块
Fig4-28 Inverter fault alarm module

变频器开关控制模块和变频器故障报警模块都是系统程序对变频器控制中关键部分，其程序的编写也是至关重要的。图 4-29 为变频器状态控制模块程序框图。

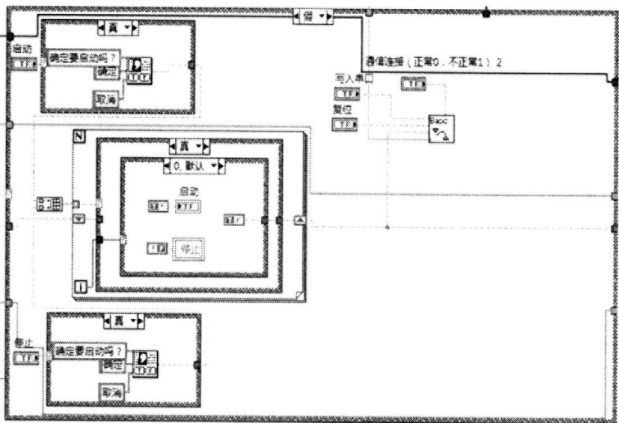


图 4-29 变频器状态控制模块程序框图
Fig4-29 Converter status control module block diagram

4.5.5 变频器参数的反馈

在变频器工作状态的监测中，主要的监测指标就是变频器的工作参数，包括了变频器工作的实际频率，转速，电压，电流以及功率等，这些参数对了解掌握变频器工作状态起着决定性的作用。在系统程序设计中设计了数据显示模块，将变频器的实时工作参数显示在控制界面上，方便读取。同时在显示模块中设计了曲线表示图，记录了一段时间内的数据变化，并对这些数据进行存储，完成了对历史参数的存档，方便对系统工作状况的统计。数据显示模块的设计是系统控制

界面的主要部分，这部分简单直接的反应了变频器的工作状态，方便操作人员及时掌握变频器和除尘风机的工作状态，包括了数据显示和波形显示，其数据都会存入文档。数据显示模块如图 4-30 和 4-31 所示。

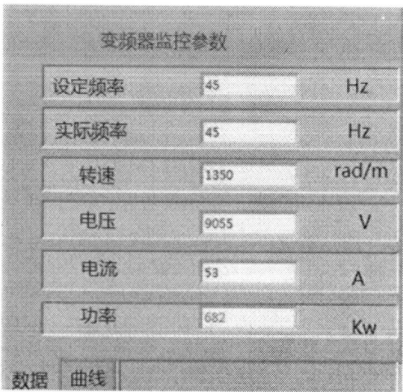
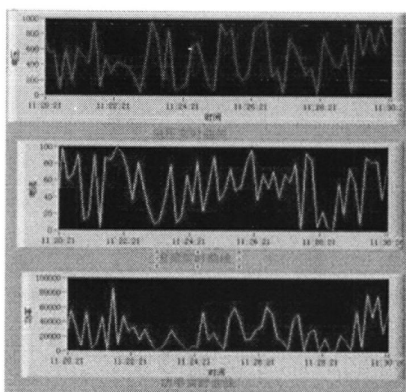


图 4-30 变频器参数显示模块
Fig4-30 Inverter parameter display module



4-31 变频器参数曲线显示模块
Fig4-31 Inverter parameter curve display module

其中变频器参数反馈部分的程序框图如图 4-32 所示，通过数据计算模块和数据显示模糊以及波形显示模块的搭建和逻辑计算，使得由变频器反馈的数据信息转化为十进制数直接显示到控制程序的主界面上。

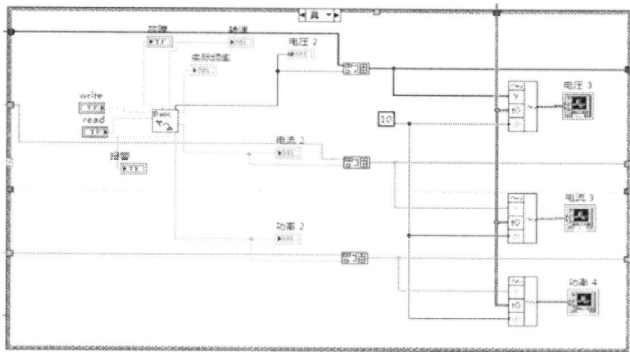


图 4-32 变频器参数反馈程序框图
Fig4-32 Inverter parameter feedback program block diagram

通过变频器参数反馈部分的建立，使得操作人员可以实时准确的了解掌握变频器的的工作状态，进而掌握除尘风机的工作状态，这些是变频除尘节能系统中重要的一个部分。

4.6 本章小结

本章依据变频除尘节能系统的整体设计，结合系统硬件设备的设置安装及其所需完成的功能，系统以虚拟仪器的 LabVIEW 软件为平台，设计了变频除尘节能系统的控制程序。根据除尘节能系统的具体结构，功能需要，不断解决遇到的问题，详细的对控制系统的界面，数据采集部分，现场数据的处理以及系统对变频器控制部分进行了完整，全面，细致的设计。实现软件程序对系统中所有设备的联系和控制，使得软件程序与硬件设备完全的结合起来，构成了一个高效智能自动化的变频除尘节能系统。

5 除尘节能系统的实际应用

炼铁厂是大型的化工企业，一般建厂时间早，生产设备相对落后。在炼铁厂炼铁的过程中往往会产生很多的有毒气体和大量的粉尘颗粒，如果不及时清除这些有毒气体和粉尘颗粒，不仅会影响炼铁的质量，更严重会危害现场操作人员的身体健康，所以除尘系统在炼铁厂是很重要的一部分，但在炼铁厂中除尘系统也是随着炼铁厂的建立而创建的，其中风机这一部分也应用的是大型老式的风机，其调速方式效率非常的低，调速范围极小，所以在生产中除尘风机往往是全天 24 小时一直满负荷的工作，进行除尘作业，但炼铁过程一般不需要除尘风机全天满负荷工作，因为炼铁过程中只要所有的出铁口都出铁水，所以的灌口都投入使用时才需要风机的高负荷工作，其他时候风机以较低的频率工作完全可以满足生产需求，炼铁厂这样的情况就造成了大量的电力能源的浪费，也对风机等除尘设备造成了巨大的消耗，所以对炼铁厂除尘系统的改造是十分必要的。但由于炼铁厂除尘系统创建较早，设备老化，而且其线性度差，精度低，响应速度慢，装置巨大，启动电流电压很大，所以除尘系统进行设备更新或直接设备改造是难度极大的。针对上述情况，本改造项目基于变频控制技术，模糊控制技术，虚拟仪器技术等理论，利用高压变频器，传感器等先进设备设计制造了除尘节能系统。本项目将基于变频控制技术的除尘节能系统实际应用到了炼铁厂的除尘系统中，对其进行了改造，这样就实现了对炼铁除尘系统的智能控制，根据生产现场的情况调节变频器频率，即改变了风机的转速，避免了电力能源的不必要浪费，同时降低了对电网的污染甚至无污染。除尘节能系统具有良好的人机交换界面，简洁明了，操作性强，通过除尘节能系统的改造的实际应用达到了极好的节能环保的效果。

5.1 除尘节能系统改造方案的实施

首钢集团长治钢铁厂的炼铁厂与传统炼铁厂面临相同的问题，本改造项目就是在长治钢铁厂的炼铁厂 9 号高炉进行除尘节能系统改造的。系统控制采用一控一的方式，即由一个传感器（或按钮开关）控制一个风门电磁阀的工作状态，在布局上传感器（或按钮开关）与风门电磁阀一一对应。同时除尘电机的转速与电磁阀的工作状态在系统总体控制下同步改变。当南出铁口出铁时，现场操作人员按下位于南出铁口区的控制箱按钮，主控系统采集到这个信息后，一方面向变频控制系统发出提高除尘风机运转频率的信息，使除尘风机工作到高转速大排风量状态；另一方面向南出铁区的主风门和罐口风门的电磁阀发送一组开启信号，使

南出铁区的主风门及罐口风门的排风量达到最大。在此过程中,从内部逻辑上确保位于北出铁区的主风门及罐口风门的电磁阀处于关闭状态。当南出铁口出铁完毕后,南出铁口的红外温度传感器监测到出铁口由高温到低温的状态变化。主控计算机实时监测红外温度传感器发来的温度信号,当判断其低于阈值电压,并结合南出铁口的摄像头给出出铁完毕的信号之后即可操作出铁完毕程序。此时,一方面主控计算机向变频控制系统发出降低除尘风机运转频率的信息,使除尘风机工作到低转速小排风量状态;另一方面向南出铁区的主风门和罐口风门的电磁阀发送一组关闭信号,使南出铁区的主风门及罐口风门的排风量达到最小。由此实现最佳的节能效果。

北(南)红外温度传感器分别监控北(南)出铁口的状态,并将出铁口的温度以电压的形式发送到主控计算机。主控计算机实时采集这一信号,并判断其是否超过设定的阈值。考虑到通过红外测得的铁水温度值受环境因素的影响比较大,因此在温度上升和下降时设定不同的阈值温度,以形成一定的温度保护范围。主控计算机以红外温度传感器的数值为基础,结合分别在北(南)出铁区设定的摄像头的输出信号,利用模糊算法综合分析后给出需要发送到变频控制系统和主风门及罐口风门电磁阀的控制信号,由此控制除尘风机的运转状态和主风门及罐口风门电磁阀的开启状态,并将除尘风机运转状态和主风门及罐口风门电磁阀开启状态信息实时采集到主控计算机进行分析、存储和显示。

同时为了现场运行的安全,在系统关键部件的设计中均采用 1+1 备份的方式,确保在主部件工作出现故障的情况下零中断切换到备份部件,确保控制系统整体的正常运行。

5.2 除尘节能系统的实际应用成果

基于变频控制技术的除尘节能系统在长冶炼铁厂的改造项目取得了巨大的应用成果。除尘节能系统的应用改变了原来风机转速不可调控,消耗电能极高,生产除尘系统老化,工作不够灵活的历史,实现了对生产现场情况的及时掌握,对风机转速的实时控制,操作方式简单智能,全自动化的应用到除尘系统中,到达了大量节约电能,维护设备的效果。

除尘节能系统在炼铁厂的应用对其节约电能是有巨大成果的,从除尘节能系统在长冶炼铁厂安装,调速,并投入使用后的长期效果来看,综合除尘系统现场风机运行的数据分析,系统工作状态稳定,与生产现场的变速要求相符合,能够自动稳定,安全可靠的投入生产除尘的工作。炼铁厂的除尘效果参数主要是除尘风机的参数来体现的,首先看除尘风机电机的参数如表 6-1 所示。

表 6-1 除尘风机电机参数
Table6-1 dust blower motor parameters

型号	额定电压	额定电流	额定频率	额定功率	额定功率因数	额定转速
K5602-4	10Kv	0.6A	50HZ	1050kw	0.88	1490r/min

除尘系统改造前，除尘风机工作是一直都是以 50HZ 的频率进行工作，这时风机所需的电压为 10KV，电流会达到 110A，功率最高将会到达 1810KW，这些数据都显示了对电力能源的巨大消耗。改造之后的除尘节能系统不会使风机一直以 50HZ 的频率工作，会根据不同需要改变工作频率，但最高频率只有 45HZ，这时风机所需的电压为 8800V 左右，而电流会降低到 70A 左右，此时的功率为 1186KW 左右。当除尘风机以低频 15HZ 工作时，其所需电压只有 3000V 左右，电流会降到 25A 左右，风机的功率将大大减小会到达 40KW 左右。不同的频率满足了生产过程不同时期的需要，同时大大的节约了电力能源。根据现场运行情况的记录，得到相应的运行数据参数，如表 6-2 所示。

表 6-2 运行数据
Table 6-2 Operating Data

运行频率/HZ	输出电压/V	输出电流/A	输出功率/Kw
5	694	8	61
10	1913	21	124
15	2956	34	252
20	3812	43	384
25	4876	45	451
30	5674	48	516
35	7358	52	683
40	8160	61	873
45	9375	79	1289

通过数据可以看出，当风机以 45HZ 运行时，其节电率会达到 30%左右，即只用改造前电能的 70%左右，而整个工作过程，不会一直在 45HZ 频段工作，会高低频率进行变化，如果风机以低频 15HZ 频率工作，节电率将达到 86%左右，即只用原来使用电能的 14%左右。综合来看，除尘节能系统的节电率将到达 60%以上，

即整个生产过程只使用了改造前 40% 的电能就完成了生产除尘任务，大量的节约了电力能源，降低了生产成本，每年可在电力使用方面节约几百万元的成本。同时除尘节能系统避免了设备全天满负荷工作，也大大降低了设备故障的概率，节约了设备维护与维修的成本。所以除尘节能系统在对炼铁厂的应用在节能，设备更加，操作智能化等方面取得了显著的成果。

5.3 本章小结

本章介绍了基于变频控制技术的除尘节能系统在长冶炼铁厂的改造应项目的具体应用实践。通过研究分析传统炼铁除尘方式存在的弊端与问题，以及长冶炼铁厂生产环境的具体情况，提出了改造方案，并将基于变频控制技术的除尘节能系统的硬件设备和软件程序应用到了长冶炼铁厂的除尘系统中，经过具体的安装，调速，试验运行，最终成功的长期安全稳定的应用在长冶炼铁厂。通过对除尘节能系统长期工作情况存储的数据参数分析，本系统在炼铁厂的节约电力能源的方面取得了显著的成果，节电率达到了 60% 以上，这充分的证明了基于变频控制技术的除尘节能系统在实际生产应用中发挥重要的作用，其节能效果是极为理想的。

6 结 论

本次基于变频控制技术的除尘节能系统在首钢集团长治炼铁厂的实际应用取得了巨大的成功和丰硕的成果。本次改造项目从炼铁厂现场调查研究,提出改造项目议程,制定改造方案,到系统的硬件设备设计,软件程序设计,除尘节能系统整体实验,再到炼铁厂现场的安装,调试,试运行,直到最终通过验收投入正常生产工作当中,整个除尘节能系统研究,设计和应用历时近一年的时间,最终从无到有,成功的完成了炼铁厂节能除尘系统的改造,改变了传统除尘系统设备老化,操作复杂,效果不佳,能源浪费的问题,实现了全自动智能化的操作,减小了设备故障的概率,成功的提高了节电节能的能力,有效的降低了生产成本,避免能源的大量浪费。

以首钢集团长治钢铁厂的炼铁厂除尘节能改造项目的实践工程应用为背景,本论文研究设计实践完成的基于变频控制技术的除尘节能系统的研究与应用取得了丰硕的成果,主要有以下几个方面:

(1) 技术理论研究的成果:基于变频控制技术的除尘节能系统是以变频控制技术为核心,同时有模糊控制技术,虚拟仪器技术,冷却系统理论,风机动力理论,传感器原理等多种技术理论相结合的新式除尘节能系统。本系统的研究在众多技术理论的基础上进行了深入的分析,根据实际的需求对一些技术理论进行了完善和创新,实现了技术理论的进步,推广了技术理论实际应用性。系统研究过程中重点对变频控制技术理论,虚拟仪器技术的原理进行了剖析,在此基础上成功设计了系统硬件与软件部分,到达了实践以理论为指导,理论靠实践来实现的原则。

(2) 系统创新设计的成果:本次除尘节能系统在理论研究的基础上进行了理论创新,设计创新,实践创新。对相关技术理论在新领域新应用的创新,成功的将变频控制技术,模糊控制技术,虚拟仪器技术等相结合,提出了串口通信和 Modbus 通信协议技术的引入,数据采集的实现。在系统设计方面,引入完美无谐波高压变频器,激光烟尘传感器,红外温度传感器和现场摄像监控等设备技术多角度的完善系统功能,根据实际生产环境,设计了对设备的冷却系统。系统以 LabVIEW 开发软件为平台设计了功能完善,操作简易灵活的软件控制程序,实现了对现场信息的采集,对除尘系统的全自动智能控制。在实践应用时,根据现场环境的变化,创造性的克服现场复杂困难的条件,完成了除尘节能系统的安装,调试,投入使用。成功实现了除尘节能系统在炼铁厂这种特殊环境的应用。

(3) 一线实践应用的成果:本除尘节能系统是通过首钢集团长治钢铁厂的炼铁厂 9 号高炉除尘节能改造项目来实现的。除尘节能系统的应用完全改变了传统

的除尘系统设备老化,依靠人工操作,不能根据生产需要来改变风机转速,必须全天满负荷工作的工作模式,传统的模式操作不便,更会大量的消耗电力能源,造成极大不必要的能源浪费。基于变频控制技术的除尘节能系统的应用,使得除尘系统操作全自动智能化,简单化,设备功能安全可靠,控制能力简洁高效,除尘风机可以根据生产需求实时改变转速频率,避免了多余电能的浪费,最大程度的节约了电力能源。

论文实现了对基于变频控制技术的除尘节能系统的研究与应用,通过具体工程实践项目研究了相关技术理论,设计了实践性强的系统,并完成了在实际生产现场的应用。论文对原有理论进行了研究分析,深入发展,创新实践,证明了基于变频控制技术的除尘节能系统的研究与应用积极意义,变频控制技术和虚拟仪器技术在节能事业中的成功应用和潜力,为人类节能减耗事业的未来带来了动力和希望。

参考文献

- [1]郭伯春,肖胜. 引风机高压变频控制策略与优化. 华电技术,2011,9.13-15.
- [2]应怀樵. 虚拟仪器的研发方向——“六高”的虚拟仪器库时代. 振动与冲击,2007,26(6).24-25.
- [3]Kanoun,O;Trankler,H.-R. Sensor technology advances and future trends. Instrumentation and Measurement,IEEE Transactions on, 1497-1501,Dec,2004.
- [4]Hongtao Shan;Li Peng;Xikun Chen. The research on novel repetitive control technology of inverter. Electrical Machines and Systems,2008.ICEMS 2008.International Conference on.17-20 Oct.2008.
- [5]骆皓,朱卫风,钱诗宝. 变频器在电厂渣浆泵中应用. 电力自动化设备, 2007,27(9).32-36
- [6]李晨晖.模糊控制技术现状与展望[J].青海大学学报, 2001, 19(1).52-53.
- [7]袁正军,童晓星,沈杰辉,鲍一丹. 基于模糊控制与虚拟仪器的灌溉决策系统研究[J]. 农业工程学报,2007,23:165-168.
- [8]法治,赵明富.模糊控制技术在高楼恒压供水系统中的应用[J].微计算机信息,2005,9: 21-23.
- [9]陈杰,薛彬.模糊控制的研究现状与展望[J].自动化与仪器仪表,2006(6):1-3.
- [10]王建猛,曹龙汉,何俊强. 智能电动执行器及其变频控制技术综述. 黑龙江科技信息,2011,(8).4-9
- [11]卢合奎,繆志明. 大型火电机组高压加热器旁路保护系统中关键阀门的开发. 发电设备,2008,22(1).23-27
- [12]陈志明,张晓光. 旁路零漏电保护系统硬件设计. 煤矿机械, 2011,32(9).15-19
- [13]薛新红. 虚拟技术的发展现状和前景展望. 现代测量与实验室管理,2006,14(4).34-36
- [14]艾欣,杨以涵,周孝信. 虚拟仪器技术及其在电力系统中得应用. 电力系统自动化,2001,25 (15) .
- [15]孙浩,涂序彦. 钢铁厂电力系统的节能型重构研究. 节能, 2006,25(2).
- [16]黎柏源. 变频节能技术及其在锅炉风机中的应用. 广西电业,2010,(4):25-26.
- [17]屈维谦,王久和. 变频调速原理及变频方案可靠性的分析. 北京机械工业学院学报(综合版) ,2008,23(2).3-7
- [18]金丰源,周治峰,隋虹.模糊控制技术及其在化工中的应用. 辽宁化工,2010,39(3).12-14
- [19]林美珍.模糊控制理论的应用. 宁德师专学报(自然科学版) ,2010,22(4).8-13
- [20]ZHANG H G, WANG Y C. Guaranteed cost control for uncertain stochastic fuzzy systems with time delay [J]. Progress in Natural Science, 2001,17(1):95-101.
- [21]赵继聪,周盼,秦魏.激光传感器原理及其应用.科技向导,2011(9):67- 69.
- [22]陈秀猛.电力工业中的新型红外温度传感器.发电技术,2011.62-66
- [23]Ackland, Karen. Selecting the right infrared temperature sensor, In Tech, Jun 1998(48-52).
- [24]王彦勇.浅谈电磁继电器参数、种类和选用方法.家庭电子(爱好者) ,2005 (3) .
- [25]何超.交流变频调速技术.北京:北京航空航天大学出版社,2006.25-33
- [26]吕汀,石红梅. 变频技术原理与应用. 北京: 机械工业出版社,2003.41-47
- [27]孙宇鹏.变频器技术在节能工程上的应用. 黑龙江科技信息,2010(20).23-28
- [28]臧军贺,韩旭光. 浅谈变频器的选择与应用.中国科技博览,2011(29):9-14.
- [29]严航明, Van Hangming.虚拟仪器基本原理及应用.计算机光盘软件与应用,2011 (9) .
- [30]National Instruments Corporation. LabVIEW Basic : Introduction Course Manual. 2008.

- [31]National Instruments Corporation. LabVIEW Intermediate : Successful Development Practices Course Manual.2008.
- [32]National Instruments Corporation , LabVIEW Advanced: Large Application Development Course Manual.2008.
- [33]Peter A, Blume. The LabVIEW Style book. Prentice Hall.2007.
- [34]Jeffrey Travis, Jim Kring. LabVIEW for Everyone : Graphical Programming Made Easy And Fun. Prentice Hall PTR. 2006.
- [35]Rick Bitter, Taqi Mohiuddin, Matt Nawrocki,LabVIEW Advanced Programming Techniques. CRC Press.2006.
- [36]Jon Conway ,Steve Watts, A Software Engineering Approach to LabVIEW. Prentice Hall PTR. 2004.
- [37]李扬,李晓明.基于 LabVIEW 数据采集的实现.微计算机应用,2003,24(1):38- 41.
- [38]G Programming Reference Manual. National Instrument Corporation.1998.

作者简历

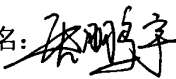
张鹏宇，男，辽宁铁岭人，出生于 1988 年 1 月 22 日。

2006 年 9 月至 2010 年 7 月于大连交通大学电气工程学院电子信息工程专业学习，2010 年 7 月获工学学士学位。

2010 年 9 月至今于北京交通大学电子信息工程学院全光网络与现代通信网实验室攻读硕士学位，电子与通信工程专业，主要研究方向为基于光传感和光纤通信的控制研究

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的
研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或
撰写过的研究成果，也不包含为获得北京交通大学或其他教育机构的学位或证书
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了谢意。

学位论文作者签名： 签字日期：2012 年 6 月 29 日

学位论文数据集

表 1.1: 数据集页

关键词*	密级*	中图分类号*	UDC	论文资助
传感器; 变频技术; 除尘节能	公开	TN21	620	
学位授予单位名称*		学位授予单位代码*	学位类别*	学位级别*
北京交通大学		10004	工学	硕士
论文题名*		并列题名		论文语种*
多传感器融合变频控制除尘风机节能系统的研究				中文; 英文
作者姓名*	张鹏宇		学号*	10125039
培养单位名称*		培养单位代码*	培养单位地址	邮编
北京交通大学		10004	北京市海淀区西直门外上园村 3 号	100044
工程领域*		研究方向*	学制*	学位授予年*
电子与通信工程		基于光传感和光纤通信的控制研究设计	2 年	2012 年
论文提交日期*	2012 年 5 月			
导师姓名*	延凤平		职称*	教授
评阅人	答辩委员会主席*		答辩委员会成员	
电子版论文提交格式 文本 () 图像 () 视频 () 音频 () 多媒体 () 其他 () 推荐格式: application/msword; application/pdf				
电子版论文出版 (发布) 者		电子版论文出版 (发布) 地		权限声明
论文总页数*	62 页			
共 33 项, 其中带*为必填数据, 为 22 项。				