

北京交通大学

硕士学位论文

基于模糊控制技术的智能风机系统研究与应用

姓名：刘晓宇

申请学位级别：硕士

专业：电子与通信工程

指导教师：延凤平

201106

中文摘要

摘要：对炼钢高炉除尘风机的精确变频控制是实现节能改造的有效手段，成为现代钢铁企业普遍采取的一种技术。论文以首钢集团长治炼钢厂的炼钢高炉除尘系统改造为背景，对炼钢高炉除尘风机的变频控制及其相关技术进行研究，取得如下创新性研究成果。

- 1) 在介绍变频调速基本原理及风机智能特性的基础上，采用红外温度传感器、继电器、信号采集卡、工控机等设计并制作了除尘风机变频节能控制系统硬件及接口转换模块；
- 2) 基于模糊控制技术和 LabVIEW 平台完成了系统的软件设计及编程，实现了对温度传感器信号的采集及对变频器的模糊化控制；
- 3) 基于串口通信原理和 modbus 通信协议，设计了串口通信程序，实现了控制中心与现场节点间双向数据的获取与传输功能；
- 4) 通过对软硬件系统的安装和对程序阈值及变频器各参数的设置，完成了智能变频风机系统的联合调试。系统具备状态显示、数据显示与存储存储、波形绘制、故障报警等功能模块，可根据现场工作状况方便地更改系统参数，实现对炼钢高炉除尘风机模糊控制的功能。

关键词：除尘风机；高压变频器；模糊控制技术；LabVIEW；智能控制

分类号：T;TB21

ABSTRACT

ABSTRACT: The precise frequency control for the dust removal blower of steelmaking blast furnace is an effective means of achieving energy-saving, which is a popular technology adopted by most modern iron and steel enterprises. Under the background of the transformation of steelmaking blast furnace system of Shougang Group Changzhi Steel Mill, the paper studies on the frequency conversion control of steel-making blast furnace dust removal blower, and achieves following research results.

- 1) Introduces the basic principles of frequency conversion speed control and the characteristics of smart fan. Infrared temperature sensors, relays, signal acquisition card and industrial control machines are applied to produce the frequency conversion and energy-saving system of dust removal fan, and interface conversion module.
- 2) The software is designed based on fuzzy control and the LabVIEW platform, and the acquisition of temperature sensor signals and the fuzzy control of inverter is realized.
- 3) A serial communication program is designed based on serial communication principles and modbus communication protocol, the acquisition and transmission of two-way data between control center and nodes in the site is realized;
- 4) A joint testing of smart frequency conversion fan system is completed by installing software and hardware system and the setting program frequency threshold and the parameters of invert. The system has status display, data display, storage memory, waveform drawing and fault alarm function modules, which are able to change the parameters according to the conditions of the scene. The function of fuzzy control to the dust removal fan of the steelmaking blast furnace is realized.

KEYWORDS: Dust removal system; High voltage inverter; Fuzzy Control Technology; LabVIEW; Intelligent Control

CLASSNO: T; 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和科学的工作方法给了我极大的帮助和影响。在此衷心感谢三年来延凤平老师对我的关心和指导。

在实验室工作及撰写论文期间，李琦、陶佩琳、张鹏宇等同学对我论文中的系统设计和 LabVIEW 编程等研究工作给予了热情帮助，在此向他们表达我的感激之情。

另外也感谢我的家人，他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业，祝愿他们幸福健康。

1 引言

1.1 论文选题背景

本课题来源于首钢长治钢铁厂除尘风机改造系统。炼钢高炉在出钢时由于高温钢水接触空气被氧化，往往会在出钢口和罐口产生大量的粉尘。同时炼钢高炉内未被充分燃烧的气体及燃烧后产生的废气均通过出钢口排放出来，形成烟气。这时通常要求在高炉出钢口和罐口安装除尘管道，一方面将尘埃粒子通过在风道内的过滤，回收的尾料可作为原料加入炼钢高炉再次利用；另一方面将出钢口排放出的烟气统一脱硫处理后再排入大气，不仅是环境保护所要求的必要条件，而且还可以改善炼钢操作平台工人的工作环境。目前中小炼钢厂出钢口及罐口的除尘大部分采用人工手动操作的方式，因而不能实现整个系统的同步控制。这种手动操作方式一方面在炼钢厂这样的工作环境恶劣、工作强度极大的状况下，出于安全考虑，操作工人对除尘系统不进行干预，造成出钢口主风门及罐口风门每天 24 小时都处于全开状态，除尘风机每天 24 小时满负荷工作；另一方面，即使对除尘系统进行干预，也只能控制各门电磁阀的开关状态，而除尘风机的电机亦处于每天 24 小时满负荷的运行状态。操作工人打开或关闭某风门的电磁阀时，只是引起了其它风门处负压的变化，而在每个风门的负压已经满足除尘要求时，额外增加负压造成了不必要的浪费。同时，由于炼钢厂所采用的除尘风机的电机都为高电压大功率电机，每天 24 小时满负荷运行所造成的电能损耗非常巨大。在提倡低碳经济的时代，迫切需要采用现代控制技术对当前炼钢厂的这种落后的操作方式进行改造。高压交流变频调速技术是上世纪 90 年代迅速发展起来的一种新型电力传动调速技术^[1]，能够很好的通过改变频率来实现实时改变风机转速，达到高效节能的目的。

由于高炉现场控制的复杂性，需要考虑到诸如现场粉尘密度、出铁时间和主风口打开同步性，以及现场复杂的电磁环境对控制设备的干扰等因素，在除尘系统中的各个环节的工作状况往往又具有时变性、非线性、随机性的特性，很难以建立精确的数学模型，不能用单一的指标简单判定和控制。模糊控制技术是近年来迅速发展的一种新型控制技术，它不依赖于控制对象的精确数学模型，是一种基于规则的控制，依据操作人员的控制经验和专家的知识，通过查表就可以得到控制量，实现简单，控制效果好，具有很强的适应性^[2]。

著名虚拟仪器生产商美国 NI 公司推出了优秀的 LabVIEW 虚拟仪器软件编程平台，该软件在数据采集的建立，数据处理的操作，界面设计和开发周期等方面与

传统编程软件相比,有无可比拟的优势,深受广大工程师和科研人员的青睐。从虚拟仪器面世至今,经过十几年的应用和考验,目前虚拟仪器已逐渐成为了测量控制行业的主流软件。另外,虚拟仪器在冶金矿山行业的广泛应用,也给锅炉炼铁风机除尘系统注入了新的气息^[3]。本课题就是为了解决风机除尘系统安全高效节能的迫切需要,针对目前钢铁生产过程中的实际情况,以虚拟仪器技术为基础,结合模糊控制技术而进行的创新性研究。

1.2 国内外同类技术的发展现状

1.2.1 变频调速技术

近年来,随着变频调速技术和智能控制技术的不断发展,变频器的在各个领域的应用也越来越广泛,从最初的以节能为目的,发展到现在以提高生产效率和提高产品质量,实现生产过程的全自动化及环境保护为目的,成为了企业提高产品市场竞争力和企业综合实力的有效手段之一。在冶金行业的各生产线上,凡是工艺流程对设备有调速要求的,都可以使用高压变频器来实现自动调速控制的目的。以钢铁行业为例,高压变频器主要运用于风机、水泵类设备的节能调速,如炼钢高炉出钢口的除尘风机、转炉除尘风机、冲渣泵、循环水系统中均大规模的应用高压变频器来进行调速。另外,在炼钢厂的烧结、焦化、高炉、炼钢、轧钢等生产过程中也都有高压变频器的应用。据调查了解,联钢燕山钢铁集团公司炼钢厂的 3#、4#转炉除尘风机就是采用高压变频器对电机转速进行控制,改造之后的系统节能效果非常的显著。再者,利用高压变频器来调控电机转速也广泛应用于鞍钢、抚顺新抚钢、宝钢、武钢、莱钢等钢铁厂的转炉除尘风机系统。除了冶金行业以外,变频调速技术在其他领域也有很广泛的应用:太原理工大学的李治勤、樊贵盛和晋中市水利局的郎旭东开发的变频调速技术在低压管道输水灌溉中的应用;中航工业航空动力控制系统研究所的闫小卫、刘剑平和天津电气传动设计研究所的刘乃锁将变频调速技术应用在航空发动机仿真试验台燃油系统中,对离心供油泵电机进行调速控制,成功地实现了燃油压力的无级调压;湖南建工集团总公司的刘清和湖南长铁装卸有限公司的何禹崇实现了全变频调速技术在门式起重机中的应用,取得了很好的效果;广西桂联建设监理有限公司的黄中耀研制了在变风量空调系统中应用变频调速技术的节能分析等^[4-6]。

1.2.2 模糊控制技术

经过几十年的应用证明,经典控制理论和现代控制理论在解决线性系统的控制问题方面是非常有效的,并且也成功地运用在了航海航空、科学研究、汽车、矿等领域。然而对于用计算机来实现控制的传统控制方式而言,需要先设定一个预测值,然后根据被控制对象的特性和环境变化,再通过负反馈原理对预测值不断进行跟踪调节。为了设计一个有效的控制器,必须对控制对象有一个精确的数学模型和数学抽象,而实际应用中,不是很多甚至严格来说是根本没有一个被控制对象能用固定的数学模型将其内在特性及其变化规律精确描述出来,只有某些简单系统可以通过忽略其次要因素来简化,这种简化后的数学模型实际上是对真实的控制对象所作出的一种近似描述^[7]。人类的知识是有限的,对于实际的物理系统也只有相当粗略的认识,所以传统的线性控制方式在复杂的非线性、多因素的时变系统并不太适用。故此,二十世纪七十年代以来提出的以模糊集合和模糊逻辑推理为基础而不依赖线性控制的模糊控制系统就成为了现代工业各个领域中可行的控制系统^[8]。近年来,模糊控制技术的也应用越来越广泛,从军事领域到矿山冶金行业再到家电用品等。例如南京航空航天大学的郑祥明、昂海松研制了微型飞行器自主飞行专家模糊控制技术;清华大学的曹群、周兆英、罗晓宁、张毓笠、张东旭、徐海东等开发了功率超声设备振幅模糊控制技术的;解放军理工大学工程兵工程学院的宋胜利、冯柯、严骏、张琦和谢吉豪等研究了模糊控制在排雷机械手自动控制系统中的应用;绍兴文理学院的陈烨雷、张新华把模糊控制技术用于热电厂锅炉温度测控系统;广东石油化工学校的覃利秋将传感技术和模糊控制技术应用于洗衣机中,实现洗衣机的智能化;中国矿业大学的祝龙记和王汝琳将模糊控制技术用于矿用变频调速局部通风机,实现了局部通风机变频调速和瓦斯浓度的模糊控制;北京建筑工程学院的王芊又将模糊控制技术用于变风量空调控制系统中,实现了空调控制的智能化;武汉大学李良浩、杨万生、姬晓慧将模糊控制技术应用于燃煤火电厂外排灰水的控制系统中,有效控制了外排灰水 PH 值超标的问题等^[9-12]。可见,模糊控制技术在已有的经典控制技术的基础上,经过多年来的不断研究和应用,现在已成为测量、自控、仿真领域中使用非常广泛的技术,并且带来了相当大的效益,必将应用于更加广泛的领域和环境中。

1.2.3 虚拟仪器技术

虚拟仪器(Virtual Instrument)技术是美国国家仪器(即 NI)公司首先提出的,由于其传统仪器的专业化功能和面板控件都由软件构成,软件的功能更新周期短,改造方便,并可以根据客户的需求随时改变仪器的性能和参数等优势,使得虚拟仪器技术自面世以来,就受到各个领域广大专业人员的青睐。除了 NI 公司推出的

Labview 图形编程软件以外,还有著名的惠普(HP)公司、Tektronix 公司和 Racal 公司等公司推出的数百款虚拟仪器品种^[13]。虚拟仪器技术主要用于测量和控制领域,在国内外的著名公司,许多科学家和工程师把虚拟仪器技术用于测控领域,并取得了非常不错的效果。例如爱立信公司将 LabVIEW 技术用于手机平台仿真系统的开发,不但大大缩短开发周期和节省资金,同时也取得了比传统仪器更好的仿真测量效果;IBM 将虚拟仪器技术应用在集成电路的测试,美国通用汽车公司将虚拟仪器技术应用在汽油发动机的测试等都取得了显著的效果。

虚拟仪器技术作为仪器领域里的新技术,从 90 年代中期以来,国内的许多高等院校和高科技公司如北京交通大学、西安电子科技大学、哈尔滨工业大学、中科泛华电子科技公司等也逐渐将虚拟仪器应用于汽车、军事、通信、工程测量等领域,并取得了不错的效果。如山东理工大学的张翼基于虚拟仪器技术研发了汽车综合性能遥测系统;北京理工大学的王军政、温子云、赵江波和重庆望江工业有限公司的何世均研制了基于虚拟仪器技术的高炮随动系统性能测试装置;北京机械工业学院的尹克奇在虚拟技术的基础上,进行了大型烟气机组趋势预测与故障诊断系统的研究;北京邮电大学的商伟娜设计了基于虚拟仪器技术的 GSM 移动终端射频自动测试系统;中国农业大学工学院的沈英、宋正河、杨红建、毛恩荣和中国农业大学农学与生物技术学院的杨红建针对自动化程度低、工作效率低、测量误差大等技术方法不足的测试方法,利用虚拟仪器技术,研制了饲料体外发酵产气自动记录系统。另外,在矿山和冶金领域,虚拟仪器上技术的也非常普遍,例如山东矿业学院和兖州矿业公司联合研究的“南屯煤矿压风机工矿检测系统;华中科技大学的陈学广、戚新波、范峥研制的基于 LabVIEW 的风机性能测试系统,华东工业大学的陈上同、李宏伟开发研制了冷却塔风机、离心风机、屋顶风机、以及轴流风机全性能自动测试装置等^[14-17]。

变频调速技术、模糊控制技术和虚拟仪器技术在计算机技术、通信技术和控制技术高速发展的今天,被广泛应用于各个领域和现场。针对矿山和钢铁领域作业环境恶劣,测控设备水平落后且国外设备比较昂贵,大多数中小型企业负担不起的情况,能够研制出适合矿山和钢铁行业的自动化控制系统是非常需要且极有意义。

1.3 论文目的和意义

在钢铁企业除尘风机是应用量大、应用面广的通用性机械,与风机配套用的电机功率较大,因此耗用电量也相对较大。目前大部分中小炼铁厂除尘风机仍然采用人工手动操作的方式,因而不能实现整个系统的同步控

制,导致除尘风机以及相配套的电机每天 24 小时满负荷工作。而根据炼钢厂实际工艺过程,以转炉一次除尘为例,一般炉内炼钢时间约为 30~36 分钟,包括装料,送电熔化,吹氧,还原期,冲渣出钢,其中吹氧的时间约为 15~20 分钟。根据工况的要求,除尘风机在吹氧冶炼期间需抽出较大的风量,在其他时间所需抽出的风量较小,仅为吹氧时的 30%^[18]。所以在实际运行中,风机电机 24 小时满负荷工作的现象造成了很大的电能浪费。

本文针对炼钢高炉除尘风机系统人工手动操作方式落后以及电机二十四小时高速运转造成大量电能浪费的问题,结合变频调速技术、模糊控制技术和虚拟仪器技术,提出了一种能实时根据现场的工艺情况进行自动控制的系统。本系统能够实现大功率除尘风机系统的自控调节,使风机的运转速度、电磁阀的开关与出铁量、粉尘的浓度同步进行,既能保证炼钢工序的安全运行,又能满足风机系统高效节能的目的。

1.4 论文主要内容

本文针对首钢长治集团除尘风机系统进行了自动控制和远程控制的系统改造工作,提出一种基于模糊控制技术的用于全自动高炉除尘风机控制系统的多传感器集总控制技术,这项技术利用多种传感方式实时获取高炉现场的工作状况,通过模糊数学分析理论对多点传感器采集数据进行综合分析,并由主计算机全自动控制使高炉除尘风机运转在最节能高效的工作状态及主风口的开关状态。主计算机控制系统采用由美国国家仪器公司(National Instrument,简称 NI 公司)推出的 LabVIEW 工具作为系统软件开发平台。系统软件部分由传感信号采集程序、融合模糊控制技术的自适应阈值算法程序、容错程序以及通信程序等四个子程序组成,它基于虚拟仪器技术优势,拥有强大的信号处理能力以及开放的用户自定义平台,更好的实现了人机交互式的自动控制功能。本系统最终实现了对除尘风机变频控制系统的全自动控制,可以将采集的现场数据经过模糊控制系统进行分析处理,决定输出给变频器的控制频率值,也可以读取变频器的参数信息,包括电机的电流、电压、功率、转速、频率、故障报警、设备运行状态等数据信息,同时也可以实现远程速度启动、停止、自动或手动控制方式选择、声光报警、复位等操作。同时利用存储的历史记录还可以查看以往运行过程中记录的功率、电压、电流、频率等信息的数据或波形图。另外,故障报警模块可用于实时监控变频器和电机可能存在的异常情况。系统结构如下:

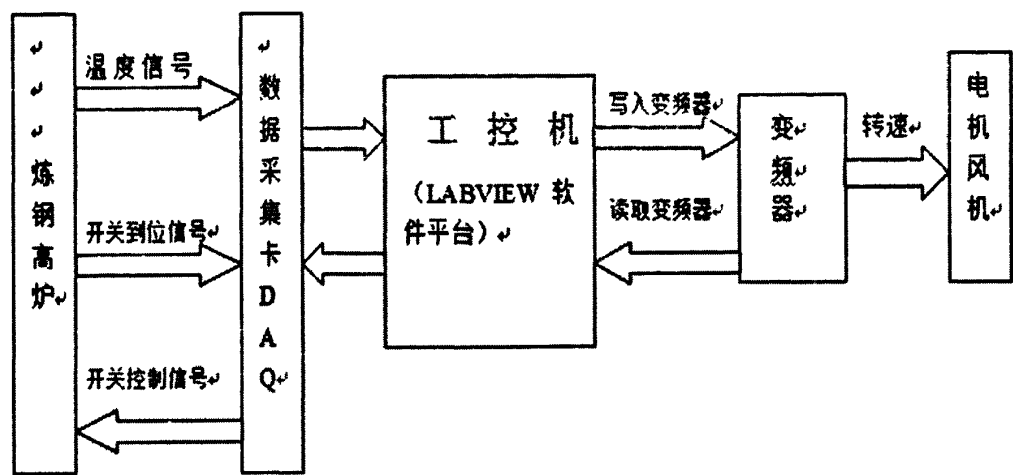


图 1-1 系统结构图
Fig1-1 system structure

- 本文的主要内容包括以下几个方面：
- 1) 介绍本课题研究的背景和实际应用意义，以及相关技术在国内外的应用状况。
 - 2) 介绍变频调速的基本原理和风机智能特性的基本原理。
 - 3) 引入模糊控制技术。介绍模糊控制技术的基本概念和系统结构，根据 LabVIEW 的模糊控制箱设计了模糊控制器。
 - 4) 介绍智能风机控制系统的硬件系统结构和相关设备的选择和使用原理等，采用红外温度传感器、继电器、信号采集卡、工控机等设计并制作了除尘风机变频节能控制系统硬件及接口转换模块。
 - 5) 基于 LabVIEW 虚拟仪器软件编程平台，设计了对采集卡的信息采集与监控系统的主控程序。实现了变频器状态监控，数据通讯，信息显示，数据存储、模拟风机运转状态等，同时本系统还具有优良的人机交互界面，不但可以直观生动地显示相关信息，另外声光报警模块也可以让操作人员及时的发现并解决保障、报警问题。
 - 6) 基于串口通信原理和 Modbus 通信协议，设计串口通信程序。控制中心和现场节点需要相互通信，需要开发通信程序完成数据的获取和传输。
 - 7) 系统的安装和测试，并根据实际应用情况计算出节能效率。

2 风机变频调速原理

2.1 变频调速系统的基本原理

在工业应用中,多数作业机械需要电机拖动才能进行正常生产。交流异步电机因具有运行性能稳定、体积小、重量轻且价格低廉等的优点,被广泛应用于机械的电力传动系统。但是因其调速问题比较困难,不像直流电机可以很方便地进行调速,所以如何解决交流异步电机调速问题受到了越来越多的关注。在最近几十年的研究和发展过程中,交流异步电机的调速方式层出不穷,如定子电压调速、变极调速、转子电阻调速、变频调速等。目前,在众多调速方式中,变频调速是使用最广泛,效果最好的一种。变频调速技术的迅速发展,很好地解决了交流异步电机调速困难的问题。

变频调速系统主要是由变频器、电动机和工作机械等装置组成。针对电力拖动而言,其任务就是由电动机实现从电能向机械能的转换,以完成工作机械启动、运转、调速、制动工艺作业的要求^[19]。

由电动机的拖动原理,可知交流异步电机的转速表达式为:

$$n=60(1-s)/p=60w_1(1-s)/2\pi p \quad (2-1)$$

式中: n —电机实际转速, r/min;

f_1 ——电机电源频率, HZ;

w_1 ——相应的角频率;

p ——异步电机的磁极对;

s ——电动机的转差率。

$$s = (n_s - n) / n_s = (w_1 - w) / w_1 \quad (2-2)$$

式中: n_s ---异步电机的同步转速; w ---固有角频率。

$$n_s = 60f_1/p = 60w_1/2\pi p \quad (2-3)$$

式(2.1)、(2.2)、(2.3)表明,只要改变输入到电机的电源频率 f_1 , 就可以改变电机的同步转速 n_s 和转子转速 n 。由电机学知识可知,交流异步电动机的转速 n 总是小于同步转速 n_s ,而且它是随着同步转速的变化而变化的。当频率 f 增加时,同步转速 n_s 增加,交流异步电机的实际转速 n 也增加,反之亦然。这种通过改变电源频率来改变交流电动机转速的调速方式称为变频调速。在实际应用中,通过变频器交直交逆变后其高速输出频率 f 的 Hz 数,来实现电动机转子转数 n 的改变,从而实现改变被其拖动的风机按工况变化所需的风量^[20]。

2.2 风机节能原理

由流体力学理论可知，风机风量 Q 与转速 n 成正比：

$$Q=K_1n \quad (2-4)$$

风压 H 与转速 n 的平方成正比：

$$H=K_2n^2 \quad (2-5)$$

电动机的轴功率 P 同风量 Q 和风压 H 的积成正比：

$$p=QH/K_3\eta \quad (2-6)$$

式中： K_1 、 K_2 、 k_3 ——常数； η ——风机效率； Q ——风量； H ——风压；
 P ——功率。

当采用通过改变频率方式来调整速度时，可以根据需要通过变频器来升高或降低电机的转速，从而改变风机性能曲线。根据相似定律，风机变速前后的风量 Q 、风压 H 、功率 P 与转速 n 之间关系为：

$$Q_1/Q_2=n_1/n_2 \quad (2-7)$$

$$H_1/H_2=(n_1/n_2)^2 \quad (2-8)$$

$$P_1/P_2=(n_1/n_2)^3 \quad (2-9)$$

其中， Q_1 、 H_1 、 P_1 为风机在转速为 n_1 时的风量、风压和功率；

Q_2 、 H_2 、 P_2 为风机在转速为 n_2 时，相似工况条件下的风量、风压和功率。

2.2.1 风机特性曲线

风机的工作特性可以由 H - Q 曲线来表述， H - Q 曲线是表示转速固定不变时，风压与风量即 H 与 Q 之间的特性关系 如图 2-1 所示：

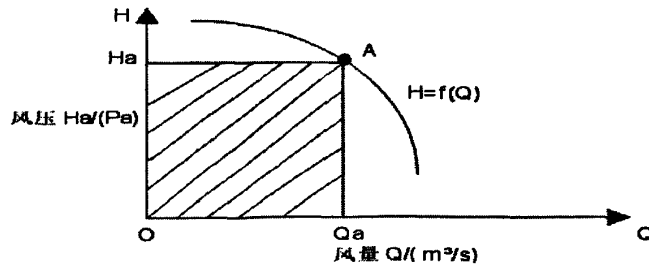


图 2-1 风机特性曲线

Fig2-1 the characteristic curve of air blower

图中点 A 为风机工作点， H_a 和 Q_a 各为风机运行在 A 点时的风压和风量值。

2.2.2 管网的风阻特性

管网的风阻特性曲线显示,当管网阻力 R 恒定不变时,管网通风阻力 h 和风量 Q 的关系特性,可如图 2-2 管网风阻特性曲线所示, 其特性由 $h = RQ^2$ 来决定。

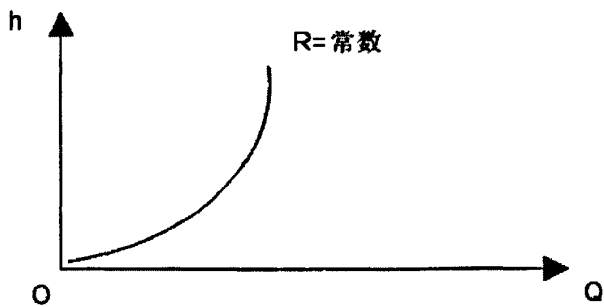


图 2-2 管网的风阻特性曲线
Fig 2-2 the windage characteristic curve of The pipe network

2.2.3 风机调速原理

风机的基本节能方法有：减少运行时间，采用高效率的风机和设备，满足同样风量的情况下减少通风管网的空气阻力等。与采用调节风门大小的传统方式相比，通过调节转速来控制风量有着非常明显的节能效果。其原理可由图 2-3^[21]来说明：

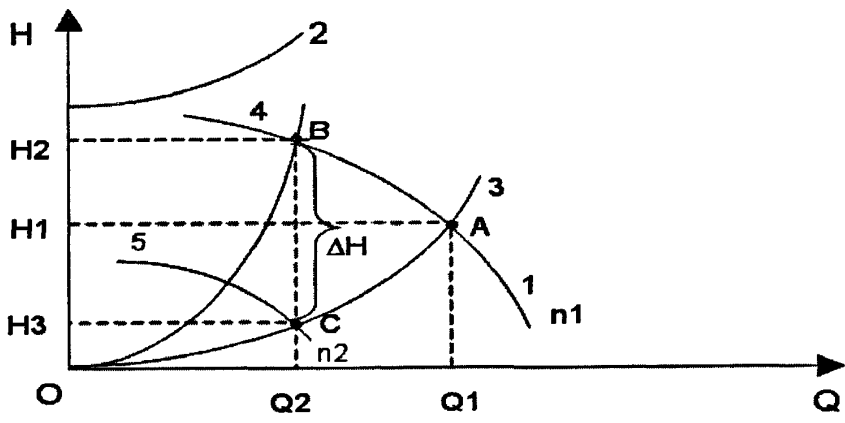


图 2-3 风机调速原理图
Fig 2-3 the schematic diagram of air blower speed control

图 2-3 中，曲线 1 是风机在恒速 为 n_1 时的风压-风量(H - Q)特性曲线；曲线 3 为风门全开时管网的风阻特性曲线。

假定风机运行在点 A 时，输出风量 Q 效率最高为 100 ，轴功率为 Ps_1 ，正比于。若要调节风量，例如将工作风量从 100 减小到 50 ，也就是从 Q_1 减少到 Q_2 时：

(a) 采用调节风门开度来控制风量大小,从而使管网的风阻特性曲线由 3 变为 4,即风门开度减小会使管网阻力增加,同时风机的工作点也由原来的点 A 移至点 B。由此可见,风量 Q 降低的同时风压 H 却增加了,由于 $AH1OQ1$ 的面积与 $BH2OQ2$ 的面积相差不多,因此轴功率 P_{s2} 与 P_{s1} 也相差不多。

(b) 采用调节转速高低来调节风量大小,使风机转速由 n_1 降为 n_2 。风机在恒速为 n_2 时的风压-风量(即 $H-Q$)特性曲线为曲线 5,风机工作在点 C。从上图可以看出:当转速由 n_1 降为 n_2 时,风机的额定工作参数 Q 、 H 、 P 都降低了。但从效率曲线来看, $Q2$ 点的效率值与 $Q1$ 点的效率值基本是一样的。也就是说当转速降低时,额定工作参数相应降低,但效率不会降低,有时甚至会提高。降低转速的同时风量也减少了,而风门可以始终处于全开状态,因此避免了关小风门而引起的风力损失,使总效率保持不变,确保了能源的充分利用。

由风量、风压与功率和转速之间的关系可知,当风量减少、转速降低时,轴功率以转速的三次方比率下降。若所需风量是特定风机风量的 80%,那么转速降为特定转速的 80%,则风机的轴功率也将下降为额定功率的 51.2%。当所需风量为特定风量的 50%时,风机的轴功率将下降为其额定功率 12.5%。这说明通过改变风机转速的方式,可以改变风机的功率输入,可以节省大量的电能。

根据上述风机节能原理可知,通过改变风机的转速可以高效地调节风机的风量,与传统的通过调节风门来调节风量相比,避免风力和设备损耗的产生。在电机拖动系统中,通过改变交流异步电机的转速可以改变被传动的风机的转速,而交流电机的转速可由变频器来控制。通过变频器来控制交流电动机的转速从而通过改变风机的转速来调节风量大小,这就是变频调速系统的原理。

2.3 变频器的结构分类与选择

在智能风机控制系统中,既然要用到变频器,那么我们先来了解一下变频器的相关知识。

变频器从结构角度来分,可以分为交-交和交-直-交变频器两种。其中交-交变频器顾名思义是将工频交流电直接转变成交流电,同时频率与电压都是可以控制,故又称为直接变频器;而交-直-交变频器是在交-交变频器的基础上,多了一个步骤,就是把工频交流电转换成直流电,这一步是由整流实现的,然后再通过滤波把直流电转换成交流电,所以又称为间接变频器。从变频器工作方式来分有电压型变频器和电流型变频器;从其逆变器开关方式角度来分有 PAM(Pulse Amplitude Modulation, 脉冲振幅调制)控制方式、PWM(Pulse Width Modulation, 脉宽调制)控制方式和高频载波 SPWM(Sinusoidal PWM, 正弦脉宽调制)控制方式三

种；从其逆变器控制方式来分有 U/f 控制方式、转差频率控制方式、矢量控制方式、矢量转矩控制方式和直接转矩控制等。

各生产厂家生产的通用变频器，其主电路结构和控制电路并不完全相同，但基本的构造原理和主电路连接方式以及控制电路的基本功能都大同小异。目前，交-直-交变频器是使用最多的一种通用变频器，其组成部分包括：主电路和控制电，基本构成如图 2-4 所示^[22]。其中，主电路是电力变换部分，主要功能是提供调压调频电源给异步电动机，包括整流器、中间直流环节（又称平波回路）和逆变器等。

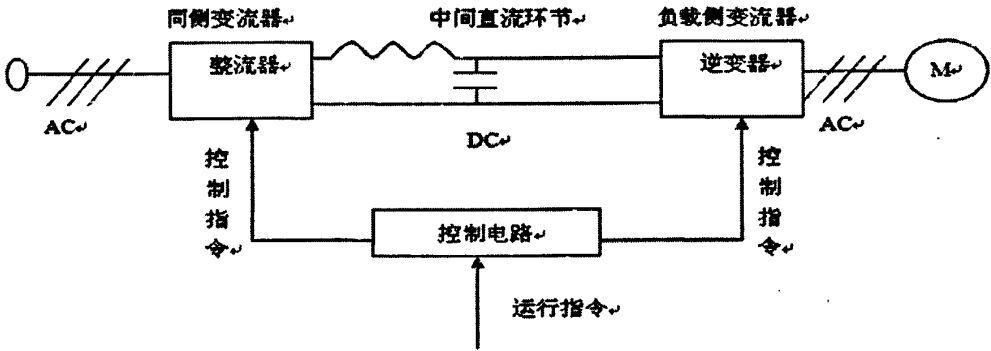


图 2-4 变频器基本结构图
Fig2-4 the fundamental structure of inventor

1) 整流器

整流器是位于电网侧的变流器，起到把工频电源变换成直流电源的作用。三相交流电源一般需经过压敏电阻网络引入到整流桥的输入端。压敏电阻网络的作用是吸收交流电网浪涌过电压，从而避免浪涌侵入，导致过电压而损坏变频器。整流电路按其控制方式可以是直流电压源，也可以是直流电流源。电压型变频器的整流电路属于不可控整流桥直流电压源，当电源线电压为 380V 时，整流器件的最大反向电压一般为 1000V，最大整流电流为通用变频器额定电流的 2 倍。

2) 逆变器

负载侧的变流器为逆变器。与整流器的作用相反，逆变器的主要功能是实现从直流功率到所需求频率的交流功率的转换。最常见的逆变器结构形式是三相桥式逆变电路，它由 6 个半导体主开关器件组成。要想得到任意频率的三相交流输出波形，只要有规律地控制逆变器中，主开关的关断与导通即可

3) 中间直流环节

对于中间直流环节而言，其主要作用是作为中间直流储能环节，另一个作用是承担对整流电路输出进行滤波，以减少电压或电流的波动。此外，由于异步电动机制动的需要，在直流中间电路中还设有制动电阻及其他辅助电路，这就是直流中间电路的作用。

4) 控制电路

一般说来,检测电路,运算电路,制动电路、驱动电路、控制信号的输入、输出电路等构成了控制电路,它的主要任务是通过开关控制逆变器,通过电压控制整流器,同时也可以实现各种保护功能等。

现在,市场上变频器的品牌多种多样,国外已有多家公司推出优秀的高压变频产品,如欧洲 ABB 公司的 ACS1000 高压变频器,德国西门子公司公司的 SIMOVERTMV 系列高压变频器,美国罗宾康公司的完美无谐波系列高压变频器,美国 GE 公司的 MV 高压变频器,美国 A-B 公司的 Powerflex700 高压变频器,美国艾默生公司的 CT 变频器,日本日立公司 DHVECTOL-HI 型直接高压变频器,日本三菱公司的 FR-E500 高压变频器。另外还有法国施耐德、德国伦茨、日本东芝,日本富士、韩国 LG、三星和现代等公司生产的高压变频器。国内的高压变频器公司有山东新风光、湖北三环、广州三晶、广州智光、成都希望公司的森兰、深圳的康沃、安邦信、浙江有海利、北京先行、北京东方凯奇、北京天宠、北京中科、北京时代等变频器厂商。

面对市场上国内外众多的变频器品牌,那么在工程中使用变频器时,我们要考虑多方面的因素对其进行选型:通用变频器的选择,包括变频器类型的选择和容量的选择。选择变频器规格时应注意根据要求采用合适的选择方式和计算公式,根据工程实际情况确定具体调速方案,包括逆变器与电机的对应关系、整流器与逆变器的对应关系(是否采用成组驱动)、制动部分的结构方式及配置规模、采用哪种控制方式等等。

2.4 空冷型完美无谐波高压变频器

考虑到现场的实际情况和经济成本等情况,本系统选用的是美国罗宾康公司空冷型完美无谐波系列新一代控制NBH 高压变频器。

罗宾康完美无谐波系列变频器为标准三相交流中压感应电动机应用而设计。异步电机有经久耐用、结构简单、适应性强、价格低廉等特点而得到广泛应用。然而,在由公用电网(60 或50Hz)供电时,电机速度是固定的。完美无谐波系列变频器可以在不影响电机性能的前提下进行调速。完美无谐波系列变频器通过将固定频率、固定电压的公用电源转换为可变频率、可变电压的电源而改变电机速度,这种变换是电子式的,无任何运动部件。与老式变频器不同,完美无谐波系列变频器在转换过程中不会产生用户不希望的副作用。

完美无谐波变频器系统具有如下优点品质:提供纯净的输入特性,提供高功率因数,提供几近完美的正弦波输出^[24]。

2.4.1 标准完美无谐波变频器的技术参数

在选用变频器时，用户通常都要查看该型号变频器的产品资料，每一个品牌的变频器都有多种规格型号供选择，一般通用变频器的技术数据分为型号及定货号、额定输入/输出参数、控制方式等，其中包括一些控制精度、控制参数、显示模式参数、保护特性参数及环境参数等。

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. 2kv, 3. 0kv, 3. 3kv, 4. 1kv, 4. 8kv, 6. 0kv, 6. 6kv, 6. 9kv, 7. 2kv, 8. 4kv 10. 0kv, 11. 0kv, 12. 0kv, 12. 5kv, 13. 2kv和13. 8kv.
输出线电压	2. 4kv, 3. 3kv, 4. 16kv, 4. 8kv, 6. 0kv, 6. 6kv
输出频率漂移	±0. 5%
速度范围	0. 5-330HZ（与电机有关）
过载能力	与所安装单元的类型及设置有关
加速时间范围	0. 5-3200秒（与负载有关）
输出转矩	额定转速下恒转矩
环境温度	0-40℃
湿度	95%non-condensing 无冷凝
海拔高度	最大3300英尺。超过3300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

2.5 本章小结

本章主要介绍两个方面的内容：

- (1) 介绍了变频调速原理和风机节能原理。根据电机转速与频率的公司可以看出，可以通过改变变频器输出频率 f 的 Hz 数，来实现电动机转子转数 n 的改变，从而实现改变被其拖动的风机按工况变化所需的风量。
- (2) 介绍了变频器的基本结构与分类和本系统所选用的空冷型完美无谐波高压变频器的技术规格和优点。

3 智能风机系统模糊控制器的设计

本章介绍了模糊控制系统的构成及原理,依据除尘风机系统变频控制要求,制定了适用于除尘风机系统的根据温度传感值来确定模糊控制系统的控制量论域及模糊控制规则,并按照模糊控制器的基本设计方法,在 LabVIEW 虚拟仪器环境下设计了除尘风机变频控制系统的模糊控制器。

3.1 智能控制的产生

1932 年,奈奎斯特提出了反馈放大器稳定性理论,自此之后,控制理论和技术已经经历了经典控制理论和现代控制理论两个不同的阶段,其中经典理论主要是单输入单输出(SISO)系统,现代控制理论是多输入多输出(MIMO)系统。传统控制理论主要借助于固定数学模型的描述和分析,而随着非线性和不确定性等因素的影响增强被控对象也变得越来越复杂化,传统控制理论对于此类复杂系统的控制问题是很难很好地解决的。因此,为了解决科学研究和工业生产上越来越多的复杂系统控制问题,世界各国的控制理论界学者都在积极探索试图建立一种新一代的控制理论方法。二十世纪八十年代以来,很多新兴学科的发展为人类智能对复杂系统的控制创造了非常有利的条件,同时也正在逐步形成并完善智能控制的相关理论知识,这些新兴的学科包括:人工智能、模糊逻辑、遗传学习、知识工程、神经网络等。众所周知,技术的发展离不开理论的指导,同样的,集成电路技术、计算机技术和微电子技术等的快速发展,加上微处理器在实时性和计算能力方面突破性发展,也为这些新理论的应用和完善提供了技术上的保证。现在,传统模拟控制器已经在越来越来的领域甚至包括传统领域,被基于数字控制技术的智能控制所替代。另外,我们必须关注的是,智能控制是以模拟人的行为,譬如自适应,学习,在特定情况下的逻辑推理、判断和规划等,来对复杂系统进行有效控制的。可见,智能控制论涉及的领域是非常广泛的,包括人工智能、脑神经学、生物科学、知识工程、控制论、神经网络理论、运筹学等等。虽然目前还是无法完整正确地对智能控制下结论,但智能控制系统必须拥有模拟人类行为、自适应能力和学习等是人们普遍接受的关于智能控制的观点。一个不争的事实是,智能控制已经成为了自动控制学科的前沿学科^[25-28]。

智能控制理论受到了工程师们的广泛关注,并且已被成功应用于众多工程领域,现在,它已经成为了控制理论和技术领域中最具有实用性和最具有前沿魅力的学科之一。人们普遍认为,所谓智能控制是指那些非常规控制,这些非常规控

制具有某些智能性拟人的功能，而这些拟人功能包括学习功能、知识和经验的表示功能、适应功能、组织功能、容错功能、推理功能等。具有多方面复杂特性的系统或过程通常会表现出高度非线性、高度复杂的任务要求以及高度的不确定性等的主要特征，而智能控制系统的控制对象多为这样的复杂系统，常规的控制方法难以正常控制或根本无法有效控制，可见智能控制的出现是非常及时且有意义的。智能控制的模糊控制方向、智能控制的人工神经网络控制方向、基于人工智能技术的智能控制方向等都是智能控制技术发展的主要方向。其中，基于人工神经网络和模糊逻辑有机结合的神经模糊技术，近年来，已成为人们越来越关注的热门课题之一^[29]。

智能控制技术的主要方法有模糊控制、基于知识的专家控制、神经网络控制和集成智能控制等, 以及常用优化算法有:遗传算法、蚁群算法、免疫算法等。

3.2 模糊控制系统的构成及原理

3.2.1 模糊控制系统的构成

模糊控制是智能控制技术的其中一种方式，包括模糊语言变量、模糊集合理论和模糊逻辑推理三个部分。其中模糊集合理论总结了人们对系统的控制与操作经验，由模糊条件语句描述控制规律，再用计算机语言编写控制程序，并根据程序自动控制生产过程的进行。图 3-1 是模糊控制系统的基本组成框图，它的核心部分为模糊控制器，且其控制规律由计算机的程序实现^[30]。

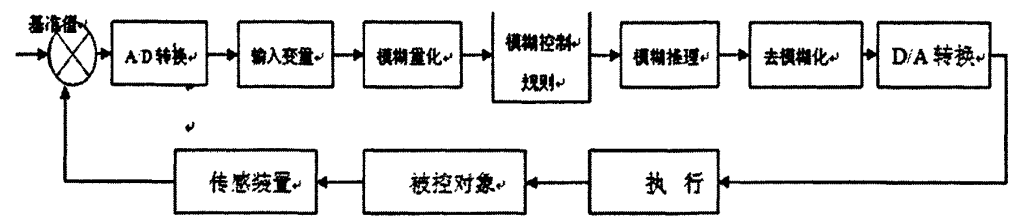


图 3-1 模糊控制系统的基本框图
Fig3-1 the basic block diagram of fuzzy control system

模糊控制算法的实现过程如下:通过采集设备获取被控对象控制量的精确值，将采用的控制量值与给定值相比较，将得到的偏差信号 E 与偏差变化率 E_c 作为模糊控制器的输入量。把输入量进行模糊化变成模糊量，然后根据模糊判决，给出输出量的精确值。下面分别介绍模糊控制系统的主要组成部分^[31]。

(1) 模糊控制器。模糊控制器是一台微型计算机，也是模糊控制系统的核心部分，它的主要功能有三个，包括模糊化、模糊推理和去模糊化。

(2) 输入-输出接口。输入-输出接口是模糊控制器从被控对象获取数字信号量，并将输出数字信号送给被控对象的必经通道。因为从被控对象采集到的信号是模拟信号，同时发送给被控对象的也是模拟信号，而模糊控制器的处理是数字信号，所以输入输出接口模块必须具有模数转换 (A/D) 和数模转换 (D/A) 单元。

(3) 被控对象。被控对象的形式多种多样，既可以是一种装置或设备，也可以是一个自然的、社会的、生产的、生物的状态及其转移过程。被控对象既可以是单变量或多变量、也可以是确定或模糊、线性或非线性、以及具有时变和定常的等多种情况。由于被控对象复杂难以建立数学模型，所以更适宜采用模糊控制。

(4) 传感器。传感器是用来采集被控对象信息的一种装置，特别的可以将各种非电量信号，如流量、温度、压力等转换为电信号，作为模糊控制器的输入量。

(5) 执行机构。执行机构既有电动的如各种交、直流电动机，伺服电动机，步进电动机等，也有气动的和液动的，如各类气动调节阀和液压马达、液压缸等，这些都可以作为整个模糊控制系统的执行机构。

3.2.2 模糊控制器的原理

模糊控制系统的核心是模糊控制器，而影响一个模糊控制系统的性能优劣的决定因素是：模糊控制器的结构，模糊规则，推理算法及决策等。图 3-2 表明，模糊推理、模糊化、知识库和解模糊 (清晰化) 四部分组成模糊控制器。各部分的功能如下^[32]：

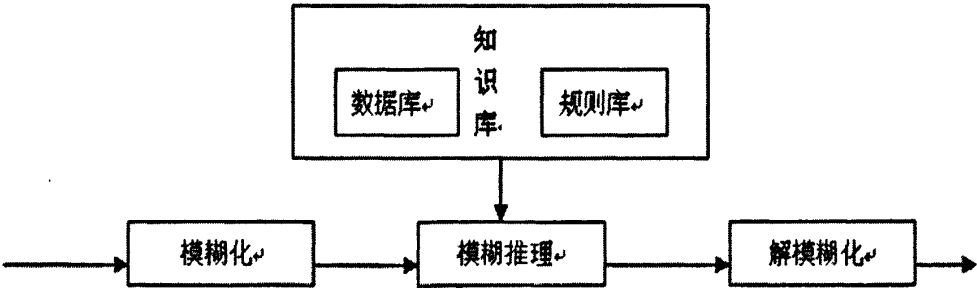


图 3-2 模糊控制器的组成框图
Fig3-2 the block diagram of fuzzy control

(1) 模糊化 这部分的主要作用是将系统输入的精确量按照某种规则转变为模糊化量。

(2) 知识库 知识库由数据库和模糊规则控制库两部分组成, 其中包含了具体应用领域中操作员经验和专家知识以及系统要求达到的控制目标。

(3) 模糊推理 模糊控制器的核心部分是模糊推理, 具有模拟人的基于模糊概念的推理能力。推理过程是基于模糊逻辑中的蕴含关系及推理规则来进行。

(4) 解模糊 解模糊化即清晰化, 作用是将模糊推理得到的控制量变化为实际用于控制的清晰量。

3.3 模糊控制器的设计方法

根据模糊控制器的原理结构图, 可知设计一个典型的模糊控制器需要从以下三个方面来考虑解决问题: (1) 如何选择它的结构; (2) 如何选取模糊化和模糊规则; (3) 如何实现模糊推理和反模糊化。

3.3.1 模糊控制器的结构选择

所谓模糊控制器的结构选择, 首先就是要确定控制器的输入输出变量, 然后根据输入变量的个数来决定选择几维的模糊控制器。通常把被控制量的偏差、以及偏差变化率作为控制器的输入量。控制器的维数由输入变量个数决定, 变量个数越多则维数越高, 控制精度也越细。但是控制规则随着维数越高而变得越复杂, 因此控制算法的实现也变得相当困难。由于模糊控制器的结构会极大地影响整个系统的性能, 所以要根据被控对象的实际情况选择合理的模糊控制器的结构。

(1) 单输入单输出(SISO)结构

单输入单输出结构是控制系统中最为简单也最为典型的系统结构, 在此种模糊控制器中, 输入和输出变量均只有一个, 所以也称为一维模糊控制器。

(2) 多输入单输出(MISO)结构

在多输入单输出结构的模糊控制器中, 二维模糊控制器是最常用的, 因其输入变量有两个, 输出仍然只有一个, 结构简单, 但是控制效果却非常显著。

在实际控制系统中, 一维控制器中的输入量通常为速度, 温度, 压力, PH 值等信号, 输出则为某种控制量。一维控制器结构简单明了, 而控制效果却往往欠佳。因为在这一类控制器中, 只有一个输入量, 不考虑误差的变化率, 只要输入量的误差相同就采取相同的控制行为。可想而知, 这必然导致控制性能变差^[32-34]。由于二维的模糊控制器输入量是两个, 它同时考虑了误差和误差变化率两个因素, 因此性能优于一维模糊控制器。

从提高模糊控制器的性能考虑，智能风机控制系统中的模糊控制器将采用二维模糊控制器的模式，即二输入一输出模式。其中模糊控制器的二输入是指实际检测到的温度值与给定温度值的偏差 e 以及偏差的变化率 e_c 这两个信号，而一输出变量为执行机构变频器电机的频率 f 。经过因子变换后对应的模糊语言集分别为 E 、 E_c 和 U 三个值。

3.3.2 模糊化和模糊规则的选取

(1) 模糊控制器模糊化的实现首先需要确定语言变量及其隶属度函数。

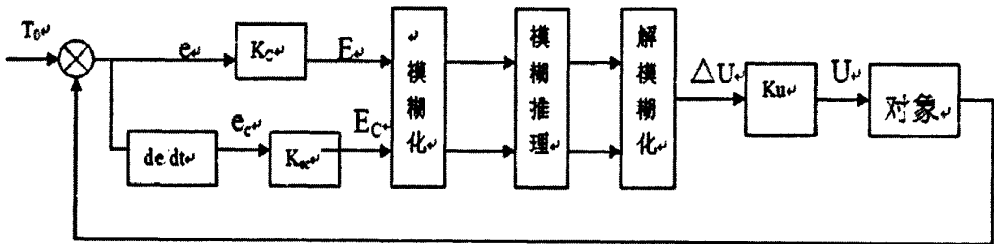


图 3-3 二维模糊控制器的结构图
Fig3-3the structure of two-dimensional fuzzy controller

由图 3-3 可以看出，二维模糊控制器需要定义三个语言变量，即偏差 e ，偏差变化率 e_c 和输出变量 u 。定义完语言变量之后，要根据实际情况，确定各输入、输出量的基本论域即变化范围，以及与基本论域对应的语言变量的论域元素和一定比例条件下的量化因子。基本论域是指模糊控制器中输入、输出量的实际具体变化范围，由于人类的知识能力有限，对被控对象的了解和描述不可能百分之百的精确，因此基本论域也只是大体上相似。经过多个领域多年的应用实践证明，控制结构也不会产生很大的误差^[29]。

模糊控制器的模糊化通常有四种常用隶属函数（图 3-4），可以根据语言变量的不同语言值来分别选取合适的隶属函数。其中三角形函数表示只有一个典型值，这是最简单的函数，而 Z 形和 S 形常用于表示极端情况（如本系统中温度偏差最大和最小），本系统中主要采用最简单的三角形隶属函数。下面是输入变量 E 、 E_c 和输出变量 U 的模糊化。

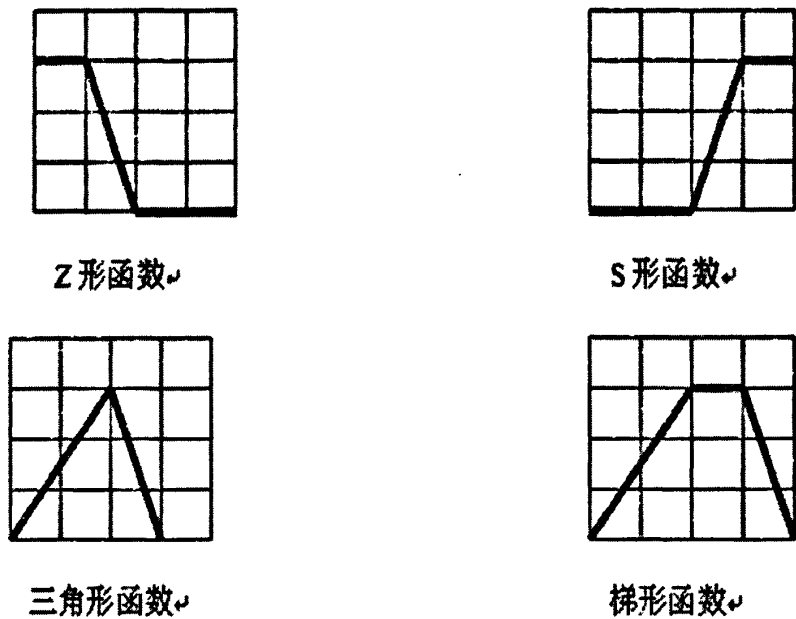


图 3-4 四种隶属函数
Fig3-4 four commonly used membership function

1) 温度偏差模糊化 设温度的给定值为 T_0 ，检测到的实际温度为 T_i ，则温度偏差 $e = T_i - T_0$ ，基本论域为 $[-e, e] = [-0.3, 0.3]$ ，取其语言变量的论域 $X = \{-n, \dots, n\} = \{-3, \dots, +3\}$ ，则误差 e 的量化因子为 $K_e = (X_{MAX} - X_{MIN}) / (E_{MAX} - E_{MIN}) = 10$ 。语言论域上的模糊子集相应的语言值为 {正大 (PB)，正中 (PM)，正小 (PS)，零 (ZO)，负小 (NS)，负中 (NB)，负大 (NB)}。

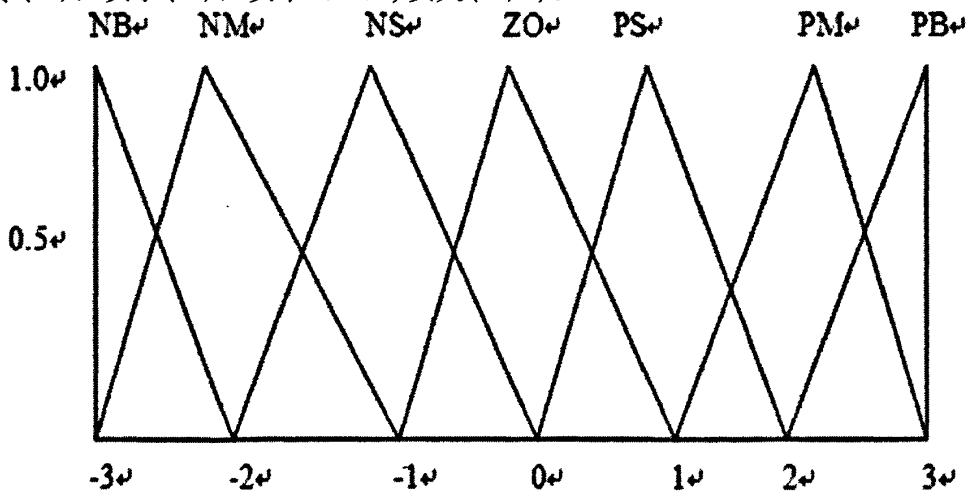


图 3-5 偏差 E 的隶属度图
Fig3-5 the membership graph of deviation e

2) 偏差变化率模糊化 设前后两次温度误差为 e_1 和 e_2 ，对应时间为 t_1 和 t_2 ，则误差变化率 $e_c = (e_2 - e_1) / (t_2 - t_1)$ ，基本论域为 $[-e_c, e_c] = [-0.3, 0.3]$ ，取其语言变量的论域 $Y = \{-n, \dots, n\} = \{-3, \dots, +3\}$ ，则偏差变化率 e_c 的量化因子为

$K_{e_c}=(Y_{max}-Y_{min})/(E_{cmax}-E_{cmin})=10$ 。论域上的模糊子集相应的语言值为{正大(PB)，正中(PM)，正小(PS)，零(ZO)，负小(NS)，负中(NB)，负大(NB)}。

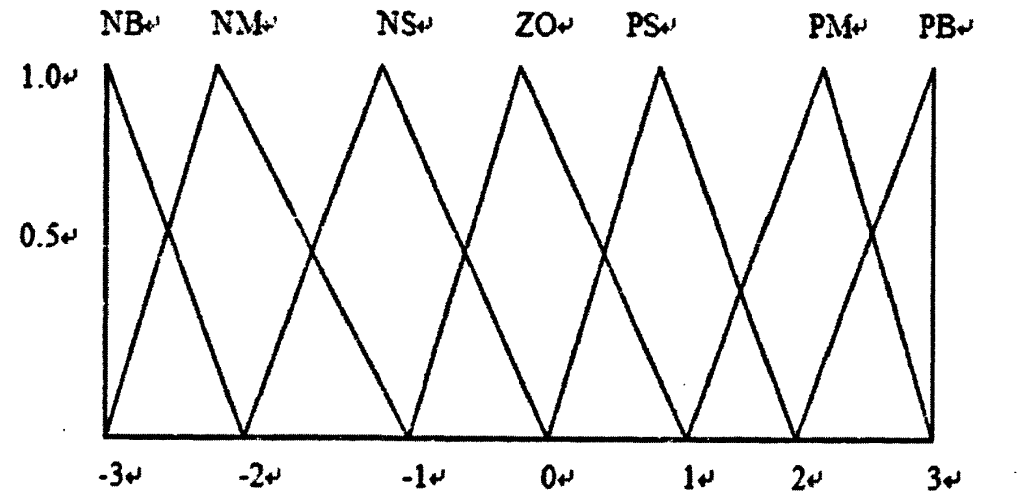


图 3-6 偏差变化率 e_c 的隶属度图

Fig3-6 the membership graph of change rate of devotion e_c

3) 系统输出量 u 的模糊化 在除尘风机的通风控制中,系统采用了变频调速的控制方法,由计算机输出的控制量首先实现对变频调速器的控制,通过变频调速器实现对风机转速的控制。给变频器的输出变量 U 的实际变化范围为 $[5, 45]$ 。因此,对应的控制量 ΔU 的基本论域可定为: $Z= \{0, 1, 2, 3, 4\}$ 。输出变量 U 的变化因子 $K_u=(U_{max}-U_{min})/(Z_{max}-Z_{min})=10$ 。取模糊量 {正大 (PB)、正中 (PM)、PS(正较小)、PL (正小)、零 (ZO)}。各模糊量表示风机的不同运转速度,其中 ZO-低速; PL-中低速; PS-中速;PM-中高速; PB-高速。

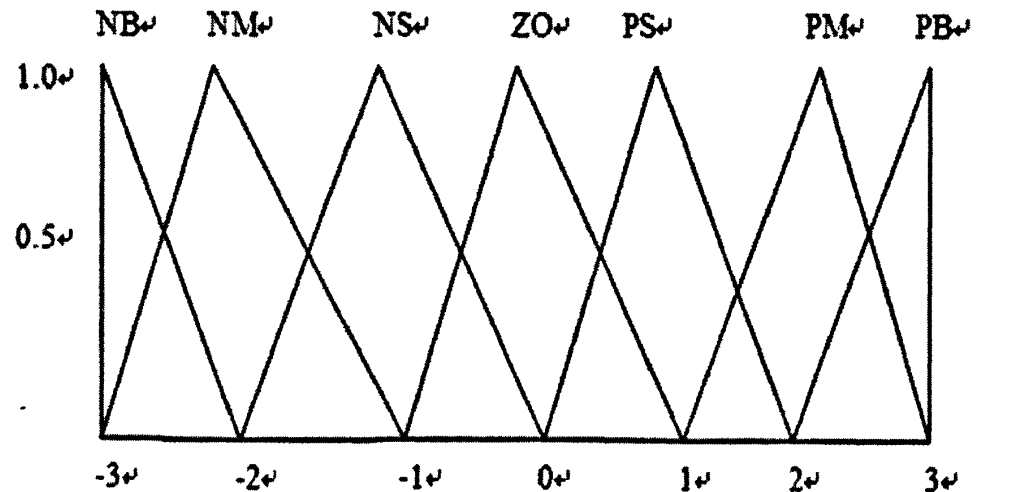


图 3-7 输出量 Δu 的隶属度图

Fig3-7 the membership graph of output Δu

(2) 建立模糊控制规则求取模糊控制规则表

所谓模糊控制规则实际上是根据被控对象的实际情况，将操作员的操作模式或专家的经验知识集合起来总结出的一组模糊条件语句，这组模糊条件语句通常被简写成一个表格，即模糊控制规则表^[33]。对于本控制系统而言，输入变量为温度偏差 e 和偏差变化率 e_c ，输出量为变频器频率 U ，模糊控制器的条件推理语句为：

IF e AND e_c THEN U

由以上条件推理语句可知，模糊推理机可根据温度和温度的变化情况来调整风机的转速，以最高效率进行通风除尘。通过对炼钢高炉环境的工作情况总结，可以得到一个生产周期内典型的温度响应曲线（图 3-8），故现在根据此响应曲线制定二维模糊控制器的控制规则。

根据曲线的波形趋势，可以划分为 5 段。例如在 1 段，温度偏差 e 为正大到负中的变化阶段，此时无论 e_c 的变化情况如何，为了让系统处在即满足除尘的目的又具有节能的效果，输出 U 应处在 Z_0 即风机低速运转的状态。把这些规则进行归纳处理，最终得到和温度偏差、偏差变化率及控制量相关的控制规则表，如表 3-1 所示。

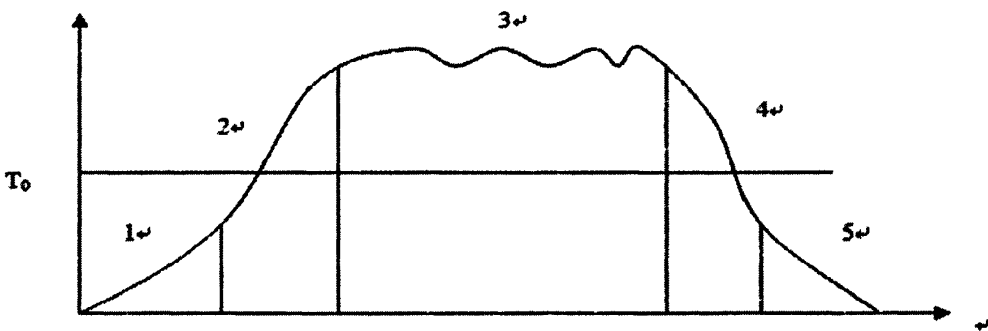


图 3-8 温度响应曲线
Fig3-8 the temperature response curve

表 3-1 模糊规则表
Table 3-1 fuzzy rule table

$e_c \backslash e_o$	NB _o	NM _o	NS _o	ZO _o	PS _o	PM _o	PB _o
NB _c	ZO _c	ZO _c	ZO _c	PL _c	PS _c	PM _c	PB _c
NM _c	ZO _c	ZO _c	ZO _c	PL _c	PS _c	PM _c	PB _c
NS _c	ZO _c	ZO _c	ZO _c	PS _c	PS _c	PM _c	PB _c
ZO _c	ZO _c	ZO _c	PL _c	PS _c	PM _c	PM _c	PB _c
PS _c	ZO _c	ZO _c	PL _c	PS _c	PM _c	PB _c	PB _c
PM _c	ZO _c	ZO _c	PL _c	PM _c	PM _c	PB _c	PB _c
PB _c	ZO _c	ZO _c	PM _c	PM _c	PM _c	PB _c	PB _c

3.3.3 模糊推理和解模糊化

推理是根据一定的规则，从一个或几个已知判断引伸出一个新判断的思维过程。推理的形式主要有直接推理和间接推理。只有一个前提的推理称为直接推理，由两个或两个以上前提的推理称为间接推理。间接推理又可分为演绎推理、归纳推理和类比推理等，其中演绎推理是最常用的推理方法，它的前提与结论之间存在着确定的蕴涵关系。模糊推理又称模糊逻辑推理，是指在确定的模糊规则下，由已知的模糊命题推出新的模糊命题作为结论的过程。模糊推理是一种近似推理，模糊推理方法主要有Mamdani模糊推理法主要有：Larsen推理法、Zadeh推理法和Takagi－Sugeno模糊推理法。

模糊推理后的控制输出是一个模糊隶属函数或一个模糊子集，反映的是控制语言的模糊特性。而实际应用中控制一个物理对象时，在某一个特定时刻只能有一个精确值，而这个值需要从模糊控制器的隶属度函数中求取处理，这就是解模糊化^[37]。目前常用的解模糊化方法有重心法(Center of Gravity Defuzzication)重心法、面积和之中心法(Center of Sum Defuzzication)和最大隶属度平均法(Mean of Maximum Defuzzication)等。与最大隶属度法相比，重心法的控制精度要高于前者，故本智能风机控制系统的解模糊判决采用的是重心法，。

对于本文的变频模糊控制系统，假定在某个特定采样时间，温度传感器测到的实际温度值与设定温度值相比较之后，温差 $E=1.5$ ，温差变化率 $E_c=0.5$ ，计算输

出频率U的值。

由图3-4可知，当 $E=1.5$ 时对应两个模糊子集(正小和正中)，其隶属度分别为：

$\mu_{\text{正小}}(1.5)=1/2$ ； $\mu_{\text{正中}}(1.5)=1/2$ ；

同理，由图3-5可知，当 $E_c=-1$ 时对应一个模糊子集(负小)，其隶属度为：

$\mu_{\text{负小}}(-1)=1$ 。

此时被激活的模糊规则有第2条：

若 $E=\text{正小}$ ，且 $E_c=\text{负小}$ ，则 $U=\text{正较小}$

若 $E=\text{正中}$ ，且 $E_c=\text{负小}$ ，则 $U=\text{正中}$

从以上2条规则的输出隶属度从 $\mu(U)$ 中，取其前提条件的隶属度中最小者：

$\mu_{\text{正较小}}(U) = \mu_{\text{正小}}(E) \wedge \mu_{\text{负小}}(E_c) = 1/2$

$\mu_{\text{正中}}(U) = \mu_{\text{正中}}(E) \wedge \mu_{\text{负小}}(E_c) = 1/2$

根据图3.6，在等腰三角形隶属函数中，重心对应的值即三角形顶点对应之值，输出频率“正较小”和“正中”两个子模糊集对应的重心值分别为2Hz和3Hz。

由重心法计算公式得：

$$U = (1/2 \times 2 + 1/2 \times 3) / (1/2 + 1/2) = 2.5$$

$$K_u \times 2.5 = 11 \times 2.5 \approx 28$$

因此，在温度偏差 $E=1.5$ ， $E_c=-1$ 时，输出给变频器的频率为28Hz。

3.4 LabVIEW 环境下模糊控制器的实现

3.4.1 LabVIEW 模糊逻辑工具箱简介

LabVIEW 软件自带有模糊逻辑工具包(Fuzzy Logic for G)，方便用户进行模糊控制器的设计和应用，节省了开发的时间，同时在 LabVIEW 软件编程平台可以设计友好的人机交互界面，与数据采集卡等的结合也比较方便，有利于充分利用 LabVIEW 的各种强大功能，能够根据实际情况迅速搭建起所需要的测量或自动控制系统，可以在虚拟条件下进行模糊控制器的仿真与应用，大大的节省了开发成本和时间，为模糊控制技术的发展也是注入了新的力量。

LabVIEW 的模糊控制箱主要应用领域为专家系统及工业过程控制，用于设计和实现基于模糊控制规则的模糊控制器。它主要包括 4 个不同功能的子 VI：

1) 模糊逻辑控制器设计 VI 该 VI 在 LabVIEW 环境下可以独立运行，包括模糊集合编辑器、模糊规则库编辑器和输入输出性能测试三个组成部分，其中模糊集合编辑器可以用来完成隶属函数相关参数的设计，包括函数形状、范围、论域大小等，其中系统提供的隶属函数有梯形、Z 型、S 型和三角型，同时用户也

可以根据自己的需求自行定义，方便快捷；在模糊规则库编辑器中设计者只需要选择输出语言变量和权值，就可以自动建立“if…then…”格式的规则库；另外，输入输出性能测试模块可以提供简单有效的测试方式，用户可以观察到在不同输入条件下所示使用的规则和模糊控制器的最终输出值。

2) 模糊控制器 VI 主要是将已经设计好的模糊控制器作为一个独立的功能模块应用于实际框图程序中。每个控制器输入量最多可为 4 个，输出量为 1 个，如有需要也可将多个控制器并联，实现多变量的输入输出功能。

3) 模糊控制器载入 VI 该 VI 与模糊控制器相连接，共同应用于后台程序框图，并在程序刚开始运行时，将扩展名为*.fc 的数据文件中的模糊控制器参数加载到模糊控制器 VI。

4) 模糊控制测试 VI 提供了如何建立和测试模糊控制器方法，也可以用来测试模糊控制器的基本功能，监测所设置的规则表，隶属函数等是否符合要求。

由 LabVIEW 模糊逻辑工具箱定义的模糊控制器,其内部结构如图 3-9 所示。

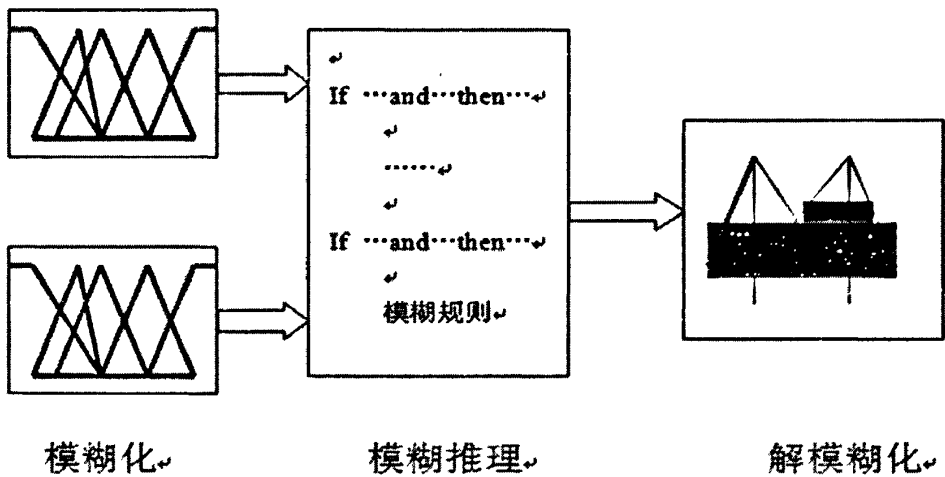


图 3-9 模糊控制器的内部结构
Fig 3-9 the internal stuctrue of fuzzy controller

基于 LabVIEW 的模糊逻辑工具箱,不但提供了具有优良人机界面和模块化的模糊控制器,操作简单,只需要选择所需的隶属函数,设置论域,输入输出范围、推理和解模糊化方法就可以完成一个模糊控制器的设计;同时还可以充分利用 LabVIEW 自带的各种丰富的函数库,其与数据采集、串并口通信等硬件设备相连接,可以迅速构建合适的控制系统并对模糊控制器进行实际的仿真和应用。这就是 LabVIEW 虚拟仪器与其它仿真软件相比的优势所在。

3.4.2 模糊控制器的实现

在 LabVIEW 环境下的模糊逻辑控制器设计 VI 中，利用模糊集合编辑器设置相应的输入输出量论语，隶属函数等；利用模糊规则库编辑器设计基于 “if ... then...” 条件的规则，从而实现对系统模糊控制器的设计。

步骤如下：打开 LabVIEW 程序框图，点击的工具菜单，点击选项下拉列表，选择模糊逻辑控制器设计 VI。

(I)在模糊集合编辑器界面，设计输入(E、Ec)、输出变量(U)的隶属度函数、语言变量和论域范围等。如图 3-10-图 3-12 所示。

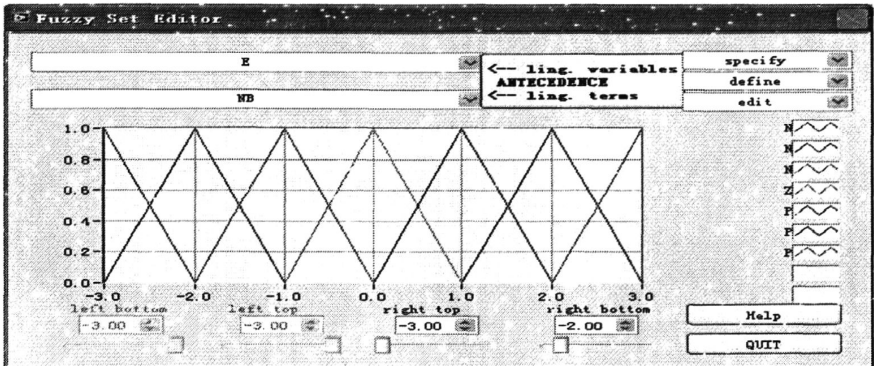


图 3-10 偏差 E 的模糊化
Fig.3-10 The Fuzzification Of Deviation E

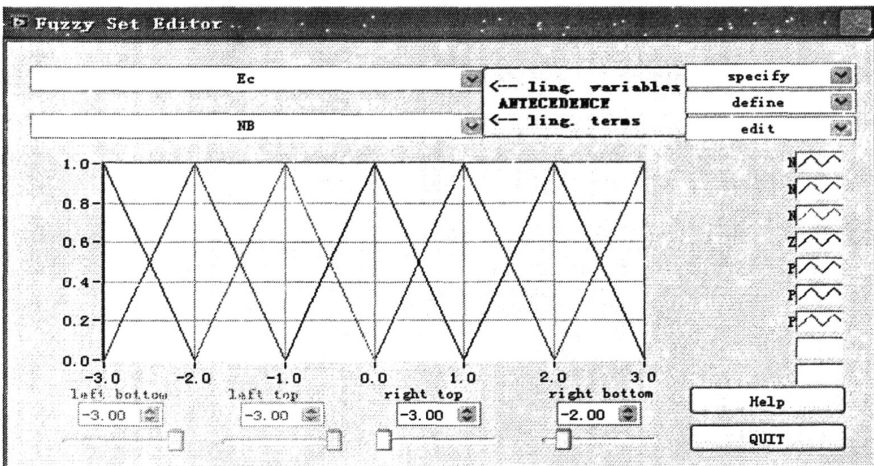


图 3-11 偏差 Ec 的模糊化
Fig.3-11The Fuzzification of Deviation Ec

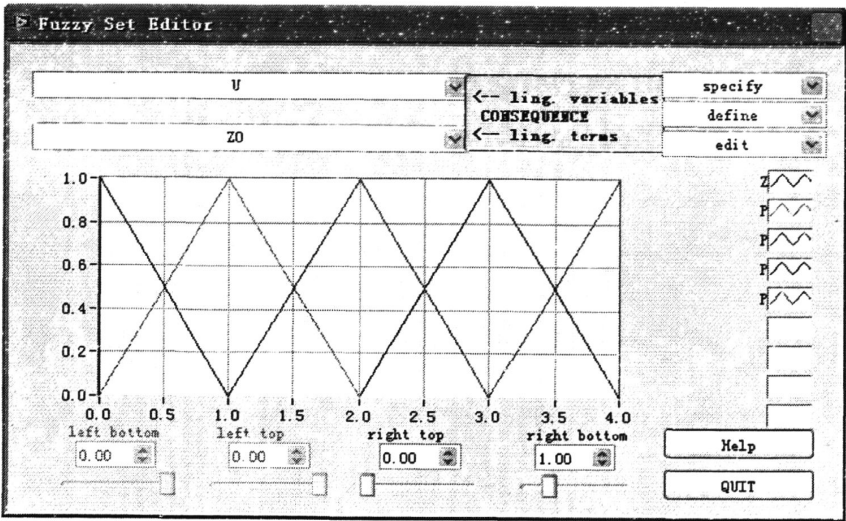


图 3-12 输出量 U 的模糊化
Fig.3-12The Fuzzification of Output U

(2)模糊规则库编辑器

根据模糊控制规则表，通过 LabVIEW 模糊逻辑控制器，设计 VI 的模糊规则库编辑器，确定“IF…THEN…”形式的 49 条模糊控制规则，每条规则的加权值都缺省为 1;同时选择相应的模糊推理方法为常用的 Max-Min 法、解模糊化方法为重心法。如图 3-13 所示。

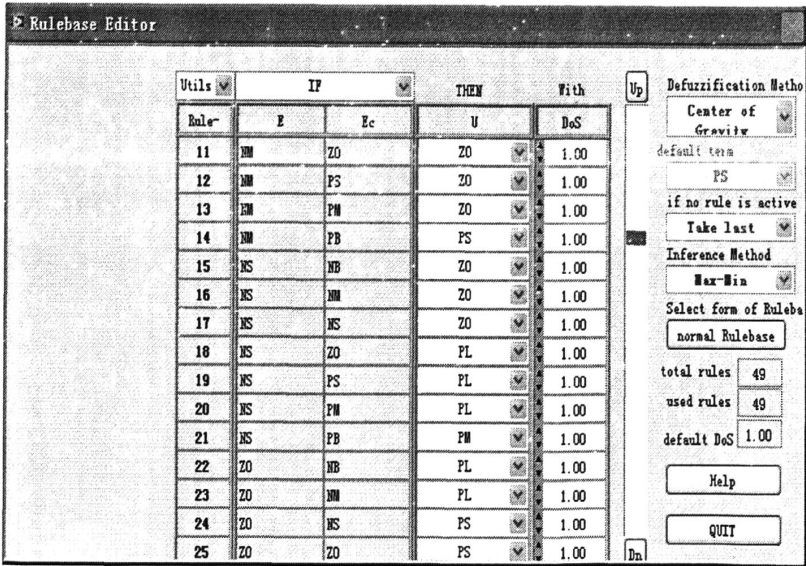


图 3-13 模糊规则库
Fig. 3-13Fuzzy rule base

在 LabVIEW 环境下设计好的模糊逻辑控制器以后缀名*.fe 的形式保存于一个数据文件中。在后台框图程序中，利用模糊控制器 VI(FuzzyConironer.vi)将设计好的模糊控制器作为一个图形功能模块同程序其它部分相连，并在运行时通过加载模糊 VI(LoadFuzzyControUer.vi)将*.fe 数据文件中的所有模糊控制器参数加载到模糊控制器 VI 中，以实现所需的控制功能。

3.4.3 模糊控制器输入输出性能仿真测试

根据模糊控制编程器把输入（E、E_c）输出 U 变量的值设计完成后，可利用 LabVIEW 的模糊逻辑控制器设计输入输出性能测试功能，也可以通过测试模糊控制器 VI(Test Fuzzy Controller.vi)来测试模糊控制规则表、语言变量等的设置是否符合实际工艺要求。这两种测试方式可以直观地观察不同误差和误差变化率所得到的输出是否符合要求，验证规则完备与否、是否有冲突，由此来对控制器的结构进行必要的修改和完善^[40]。

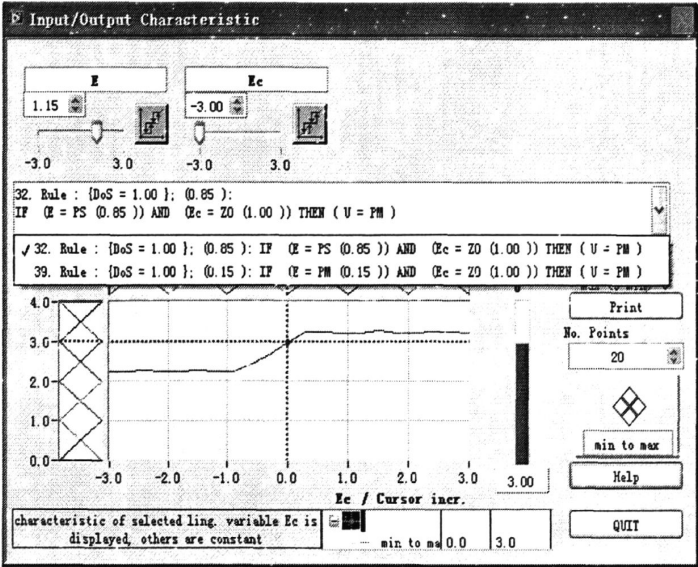


图 3-14 输入输出测试曲线
Figure 3-14 Input and output test curve

如图 3-15 所示，当偏差变化率 E_c=0 时，偏差 E 在模糊离散域[-3,3]区间上连续变化时，模糊控制器的输入输出性能曲线。有图可以看出，当前的状态为误差 E=1.15，输出控制量 U=3.00。其中，输出变量 U 的变化域为[0,1,2,3,4]。所激活的控制规则有两条，分别为：

- Rule32:{Dos=1.00};(0.85):IF （E=PS(0.85)）AND （E_c =ZO(1.00)）THEN （U=PM）；
- Rule39:{Dos=1.00};(0.15):IF （E=PM(0.15)）AND （E_c =ZO(1.00)）THEN （U=PM）。

Rule32 和 Rule39 两条规则中小括号里小数分别表示 Dos 的缺省值和相应控制规则和语言值的隶属度值。

经过初步的监测和调试之后，智能变频风机系统的模糊控制器设计就已经完成了。当然，由于个人经验有限，有部分语言值和规则的设置还需要经过实际运行的检验，根据情况继续的修改和监测，让系统的运作更加完善。

3.5 本章小结

本章首先介绍了智能控制技术的产生，然后介绍了模糊控制系统的基本结构及模糊控制器的设计方法两部分内容，并根据炼铁高炉风机除尘风机系统的实际情况，制定了适用于炼铁高炉温度模糊控制系统的控制量论域及模糊控制规则，在 LabVIEW 环境下，利用模糊逻辑工具箱设计了炼铁高炉除尘风机温度控制系统的模糊控制器，在输入输出性能测试 VI 中进行了输入输出性能测试，设定不同的输入值情况下，观察规则库和输出量的变化，并根据实际情况在某种程度上对其参数做了一定的修改和完善。

4 智能控制系统的硬件设计

智能控制系统的系统硬件结构包括传感器，信号调理箱，NI 数据采集卡，工控机这几部分。

4.1 传感器

传感器是从被测对象中接受能量信息，把某种信息从被测对象中拾取出来，并将其换成电信号输出的装置^[42]。它是获取信号的手段，在整个测试系统中占有重要地位。

4.1.1 红外温度传感器的选型规格

根据炼钢厂炼刚高炉高温、高压、缺氧、腐蚀等恶劣的环境条件，特地选用雷泰公司生产的 Marathon 系列红外测温仪。这款红外测温仪是专为恶劣的工业环境应用所设计的工业级产品，测温范围为-40℃~3000℃，拥有高性能的光学镜头，光学分辨率最高可达 300:1，响应时间有 2ms，并具备 IP65 的防护等级，可以防止安装、设置和使用过程中的污染和损伤。而且带标准的模拟量、数字量和分布式的继电器输出，能够同时传输数据、报警触发和控制信号。内置智能型的电路盒以及易于使用的操作界面等。此外，该红外测温仪坚固的不锈钢外壳也可以确保在苛刻的工业环境下能够安全使用。Marathon 1MH 型号参数表如下：

表 4-1 Marathon 1MH 传感器参数
Table 4-1 Marathon 1MH sensor parameters

名称	参数
测温范围	650℃-3000℃
光谱响应	1 μm
响应时间	2 ms
供电电源	24VDC±20 %，500mA
输出信号	电流 0~20mA、电压 0~5V、频率 1~10kHz、(特殊特定)
存储温度	-20℃~70℃

4.1.2 红外温度传感器的工作原理

红外辐射俗称红外线，是指辐射波长大致为 0.75-1000mm 频谱范围内的电磁波。红外辐射的物理本质是热辐射，当物体温度处于绝对零度以上时，其内部带电粒子的热运动就会向外发射出红外线。物体的温度越高，辐射出来的红外线就会越多，红外辐射的能量也就越强。红外温度传感器是基于物体红外辐射的能量大小及其波长的分布，与物体表面温度的对应关系，并通过对物体自身辐射的红外能量的测量，来准确地测定物体的表面温度。与热电偶、热电阻等常规温度传感器相比，红外温度计具有测温范围宽、寿命长、性能可靠、反应极快和非接触性等诸多优点。另外，红外温度传感器还特别适合测量腐蚀性的介质和运动物体的温度，而且不会破坏到被测对象的温度场。

4.2 继电器

4.2.1 电磁继电器的结构和工作原理

电磁继电器一般由磁路系统、接触系统和返回机构等几个部分组成。其中磁路系统由铁心、轭铁、衔铁、线圈等零件组成；接触系统由静簧片、动簧片、触点底座等零件组成；返回机构由复原簧片或拉簧组成。当电磁继电器线圈两端加上一定的电压或电流，线圈产生的磁通通过铁心、轭铁、衔铁、磁路工作气隙组成的磁路，在磁场的作用下，衔铁吸向铁心极面，从而推动常闭触点断开，常开触点闭合；当线圈两端电压或电流小于一定值时，机械反力大于电磁吸力时，衔铁回到初始状态，常开触点断开，常闭触点接通。

在本信号采集系统中，继电器的主要用于电压的调整。当无信号输入时，动触点与常闭触点相接，输出电压为 0V;当有信号输入时，由于线圈的作用，动触点与常开触点相接，输出电压为 5V。继电器在工作中的连接电路图如下：.

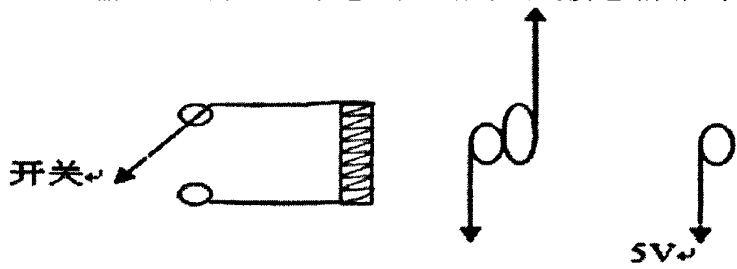


图 4-1 开关断开时电路连接图

Fig4-1 the circuit connection diagram when the switch is off

当开关断开时，动触点与常闭触点相接，输出电压为 0V。

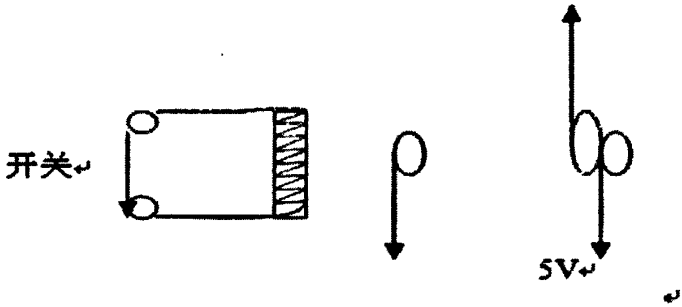


图 4-1 开关连接时电路连接图

Fig4-1 the circuit connection diagram when the switch is on

当开关闭合时，动触点与常开触点相接，输出电压为 5V。

4.3 信号调理及信号采集

4.3.1 信号调理

由传感器采集的信号带有很多电子噪声，如来自AC电源和照明设备的60Hz噪声，来自荧光灯、移动电话、微波设备和电动机的RF噪声——噪声无处不在。当带有如此多的噪声或其他问题的信号到达数据采集卡设备时，会使测量结果变得毫无用处。所以通常需要在表示物理现象的模拟信号上执行某些类型的信号调理。所谓信号调理就是为了能在DAQ设备上对信号进行数字化而对其采取的处理操作。必须尽可能将信号干净地送到DAQ设备，对于电压（通常为 $\pm 5V$ 或 $0-10V$ ）电流（通常为 $20mA$ ）要在DAQ设备的限制内，应用程序中才能获得足够的精度。一般的信号只需要做简单的信号处理就可以了，常用的信号调理方法有放大、传感器激励、线性化、隔离和滤波等。对于需要特殊调理的信号或信号非常多的系统，国内外许多厂家研制出各种功能的信号调理板卡，作为标准模块投放市场。其中，NI公司的仪器信号调理板卡SCXI是LabVIEW软件直接支持的一种信号调理模块，在LabVIEW环境中调用非常方便。

4.3.2 采集卡的性能指标和特点

本课题采用的是NI公司的数据采集卡PCI-6221。PCL-6221是专为计算机设计的高速、高性能、多功能的一款数据采集卡。PCL-6221功能完善，具备所有数据采集卡的功能，例如，D/A，A/D转换、定时、计数器缓存等，由于本卡规格高，因此被广泛应用在需要高速采集的情况。同时，PCL-6221还提供了高增益可编程

仪表放大器，这是专门为低电平输入所设计的。其中，PCL-6221的其主要特性如下：

- (1)带DMA的自动通道 / 增益扫描；
- (2)可编程定时触发器 / 计数器；
- (3)全自动校准；
- (4)16个单端或8个差动模拟量输入通道；
- (5)模拟 / 数字触发；
- (6)16位AD分辨率，采样频率可达250KS / s；
- (7)模拟量输入范围：±10，±5v，±2. 5v.
- (8)完全软件配合置；
- (9)输入通道能够允许单端与差动混合组成；
- (10)系统同步接口；
- (11)37位PCI总线，即插即用；
- (5)双极性 / 单极性模拟量输入；

本设计中要用到是模拟量输入和模拟量输出通道。

NI公司的数据采集卡PCI-6221外形图如下：

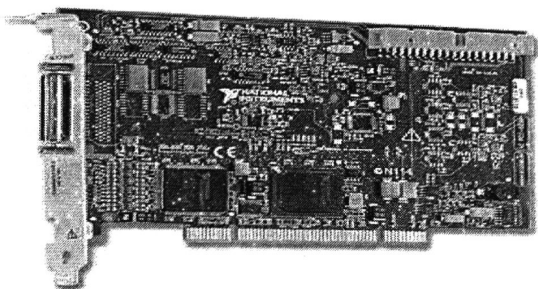


图 4-3 PCI-6221 外形图
Fig. 4-3 PCI-6221 Outline Drawing

NI 公司的数据采集卡 PCI-6221 管脚图如下：

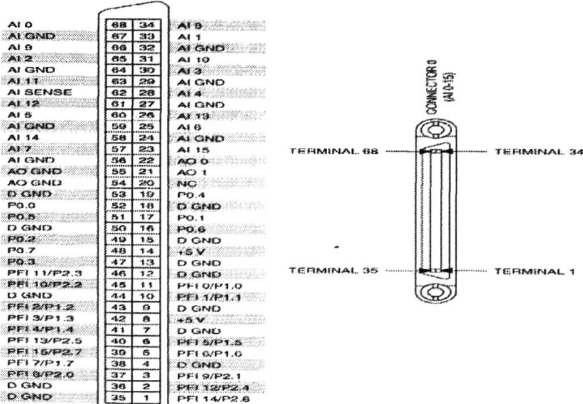


图 4-4 PCI-6221 管脚图
Figure 4-4 PCI-6221 Pin Map

本设计中 A0 为温度信号输入，A1~A3 为开关信号输入，O0~O2 为输出。

4.4 RS232-485 转接器

4.4.1 串口通信原理:

串口是计算机上一种非常通用设备通信协议,大多数计算机包含两个基于 RS232 的串口,即 COM1 和 COM2。串口既是仪器仪表设备通用的通信协议;同时也可以用于获取远程采集设备的数据。

串口发送和接收字节是按位 (bit) 来操作的,比按字节 (byte) 的并行通信慢,但串口可以同时用不同的两根线来进行发送和接收数据,以半双工的方式进行。串口通信实现起来比较简单,与并行通信相比,传输距离比较长。在 IEEE488 的定义中,并行通行规定设备线总长度的最大值小于 20 米,同时任意两个设备不得超过 2 米;而在串口通信中,基于 RS485 通信协议的长度可达 1200 米。在串口通信中,最重要的参数是波特率、数据位、停止位和奇偶校验,对于两个设备间进行通行的端口,这些参数必须匹配。串口传输的是 ASCII 码字符,使用 3 根线即可完成通信:(1) 发送、(2) 接收、(3) 地线。

4.4.2 RS232 和 RS485 的区别:

1、接口的物理结构:

- RS232 接口连接器使用型号为 DB-25 的 25 芯插头座。一些设备与 PC 机连接的 RS-232 接口只需三条接口线,即“发送数据”、“接收数据”和“信号地”。所以采用 DB-9 的 9 芯插头座,采用屏蔽双绞线作为传输线。

- RS485 无具体的物理形状,根据工程的实际情况而采用不同的接口。

2、接口的电气特性:

- RS232: 传输电平信号 接口的信号电平值很高(信号“1”为“-3V 至-15V”,信号“0”为“3 至 15V”),很容易就损坏接口电路的芯片,而且与 TTL 电平(0~“<0.8V”,1~“>2.0V”)不兼容,故欲与 TTL 电路连接需使用电平转换电路。

抗干扰能力差。

- RS485: 传输差分信号 逻辑“1”表示两线间的电压差;逻辑“0”表示两线间的负电压差。接口信号电平比 RS-232 降低了,就不易损坏接口电路的芯片,且该电平与 TTL 电平兼容,可方便与 TTL 电路连接。

抗干扰能力强。

3、通讯距离的长短

- RS232 传输距离有限,最大传输距离标准值为 15 米,实际上也只能用在 25 米

左右。

- RS485 最大传输距离标准值为 120 米，实际上可达 3000 米

4、能否支持多点通讯

- RS232 接口在总线上只允许连接 1 个收发器即一拖一，不能支持多站收发能力。

● RS485 接口在总线上是允许连接多达 128 个收发器即一拖多，具有多站通讯能力,这样用户可以利用单一的 RS485 接口方便地建立起设备网络。

5、通讯线的差别

- RS232 可以采用三芯双绞线、三芯屏蔽线等。

- RS485 可以采用两芯双绞线、两芯屏蔽线等。

6、传输数据的最大波特率

● RS232 传输速率较低，最高波特率为 19200bps。虽然传输速度很慢，但在很多场合还是很实用的。

- RS485 的数据最高传输速率为 10Mbps 。传输速度快了很多！

7、工作方式

- RS232 采样全双工的工作方式。

● RS-485 采用半双工工作方式，任何时候只能有一点处于发送状态，因此，发送电路须由使能信号加以控制。

4.4.3 RS232 和 RS485 转接器

由于传输距离比较遥远和上位机拖动多个变频器，单纯的 RS232 接口不满足这样的传输方式，所以需要用到 RS232 和 RS485 转接器。本项目选用的是 UT-021 串口 RS232 转 RS485 转接器。

UT-201 转接器的性能参数如下：

- 1、接口特性： 兼容 TIA/EIA 的 RS-232、RS-485 标准

2、电气接口： RS-232 端连接器为 DB9 孔型， RS-485 端连接器为 DB9 针型，配接线柱

- 3、自动发送/接收数据，无需外部的流量控制信号(RTS)

4、电源：独特的串口电荷泵驱动技术，无需外接电源，真正的三线(TXD.RXD.GND)制通信，无需初始化串口。

- 5、能够连接 32 个网络设备。

- 6、通讯距离:1,200 米

- 7、通讯速率： 300BPS-115.2KBPS

- 8、传输介质：屏蔽线或双绞线

- 9、工作方式：异步、半双工、差分传输
- 10、适用于一切所使用的通讯软件，即插即用
- 11、外形尺寸：63mm×33mm×17mm
- 12、使用环境：-25℃到 70℃，相对湿度为 5%到 95%
- 13、支持 DOS/WIN95/WIN98/WIN2000/NT/XP Linux 等

4.4.4 连接方式：

RS-485 输出信号及接线端子引脚分配如表 4-2：

表 4-2 接线端子引脚分配图

Table 4-2 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

T/R+、T/R-代表收发 A+、B-，VCC 代表备用电源输入，GND 代表公共底线，点到点、点到多点、半双工通信接两根线(T/R+、T/R-),接线原则“收/发+”接对方收发“收/发+”，“收发-”接对方的“收发-”，RS-485 半双工模式接线时将 T/R（发/收）接对方的 A+、T/R-（发/收）接对方的 B-。接线方式如图 4-6.

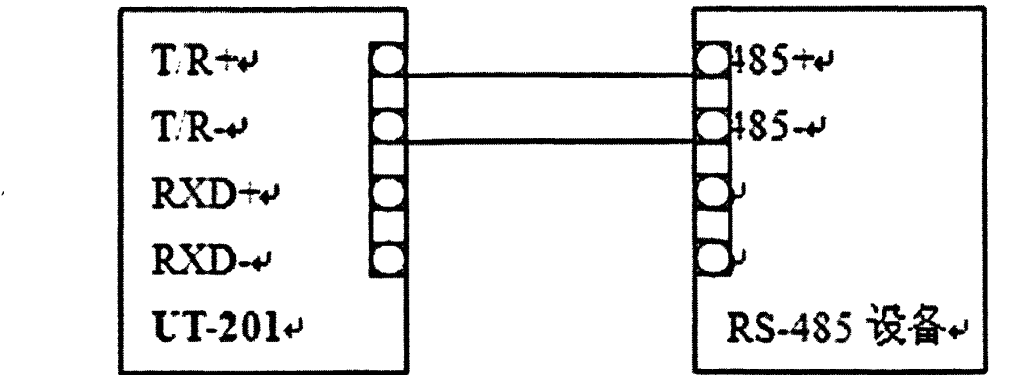


图 4-6 点对点/两线板连接方式
Fig4-6 point to point two-wire board wiring way

4.5 工控机和信号调理转接箱

4.5.1 工控机

通俗的说，工控机就是一种专业计算机，是专门工业现场而设计的。工控机的选择需要从价格、板卡体积、运算能力考虑，最终工控机采用研华公司的 Rack610 型机箱，配置为 250w 电源，XIIJPR084I 主板，P42. 4G 处理器，512MDDR 内存。研华工控机的特点如下：首先，机箱采用钢结构，钢板有较高的防尘、防磁、防冲击的能力；另外，机箱内有带 PCI 和 ISA 插槽的专用底板；还有就是，机箱内带专门电源，而且这个电源带有较强的抗干扰能力。

4.5.2 信号调理转接箱

信号转接板主要包括传感器和开关信号转接、信号控制、以及测试用供电等需求。

转接箱功能如下：AC220V-DC5V 电源控制继电器；转接信号，将传感器及开关、电磁阀的信号传输给数据采集卡采集；电源指示灯；接口端子。

4.6 本章小结

本章主要介绍智能风机系统的硬件结构。根据炼钢高炉高温、腐蚀性强等环境恶劣的特点选择了抗恶劣环境的雷泰公司生产的 Marathon 系列红外测温仪；由于 NI 公司的采集卡性能稳定，效果好，所以选用 NI 公司生产的 PCI-6221 数据采集卡；根据数据采集卡只能读取较低范围的电压或电流值，需要使用继电器把开关量信号转变为固定的电压值，所以选用了继电器；工控机是整个控制系统的核心，是 LabVIEW 软件运行的平台，可以分析处理采集到的信号，并且给变频器控制信号和读取变频器的运行参数等。

5 智能变频风机系统的软件设计

5.1 虚拟仪器简介

5.1.1 虚拟仪器与传统仪器的比较

从二十世纪四十年代以来，计算机技术不断高度的发展，同时广泛应用于各个领域，引领传统仪器也开始向实时可编程的计算机方向发展，虚拟仪器的概念就是在计算机软件技术与测试系统的有机结合的情况下提出来的。虚拟仪器其实就是一种计算机软件编程平台，它将计算机与功能化硬件通过应用程序结合起来，实现了传统仪器功能的软件化与模块化，即有利于用户的开发使用，也缩短了开发周期，让仪器的更新换代变得更加容易，与计算机结合的仪器技术达到了能够自动测试与分析的目的。现在，虚拟仪器技术主要应用于电动机性能测量控制领域，并在机械、矿山、汽车、冶金、航空航天等领域广泛使用，使得虚拟仪器技术灵活性兼容性强、可重用度高和开发效率高等特点得到了充分的发挥^[44-45]。从虚拟仪器与传统仪器相比较来看，具有以下优点：

表 5-1 虚拟仪器与传统仪器的比较
Fig5-1 Virtual instrument compared with the traditional instrument

项目	传统仪器	虚拟仪器
功能定义	功能由仪器厂家设定，面向固定对象。	功能按用户要求随时定义。
功能设置	系统封闭，与其它仪器设备的连接。	可方便地实现同网络外设及多种仪器连接。
界面形式	界面呆板，人工读取数据，信息量小。	界面图形化，直接读取数据并分析处理。
数据处理	数据不能编辑。	数据可编辑、存储、打印。
中心环节	硬件是关键。	软件是关键。
性价比	价格昂贵。	价格低廉，仅是传统仪器的五至十分之一。
开放性	规模和功能固定、可扩展性差。	功能和规模可以通过修改软件来增减。
技术更新	技术更新周期长。	技术更新周期快。
开发维护	开发和维护费用高。	基于软件体系的结构可大大节省开发费用。

另外,虚拟仪器在可操作性、处理能力、智能化程序、性能价格比等方面与传统仪器相比技术优势非常明显,具体表现在一下几方面:

(1) 可操作性强。用户可以针对不同应用来设计不同的操作显示界面,也就是说虚拟仪器的面板可由用户自己定义。仪器的操作非常简便、直观和易于理解,而这个都要归功于计算机的多媒体处理能力,同时系统的测量结果可以直接进入数据库存储也可以通过网络发送出去,进行远程交互;测量结果还可被打印出来,或以报表、曲线来显示,这些都大大提高了仪器的可操作性。

(2) 智能化程度高,处理能力强。仪器的软件水平决定了虚拟仪器的处理能力和智能化程度。用户完全可以根据实际应用需求,将先进的信号处理算法、人工智能技术和专家系统应用于仪器集成与设计,智能仪器的水平因此被提高到一个新的层次。

(3) 复用性强,系统费用低。在相同的基本硬件条件下,应用虚拟仪器思想,多种不同功能的测试分析仪器就可被构造出来。以高速数字采样器为例,在虚拟仪器软件下计数器、数字示波器、逻辑分析仪等多种仪器可被设计出来。这样形成的测试仪器系统不但费用更低,而且系统功能更灵活了。虚拟仪器的分布式共享还可以通过与计算机网络连接来实现,这样就可以更好地发挥虚拟仪器的使用价值了。

5.1.2 虚拟仪器的软件 LabVIEW

虚拟仪器是一个按照应用需求和传统仪器的功能组织起来的数据采集系统。虚拟仪器的研究中涉及的基础理论主要有计算机数字信号处理和数据采集两方面。就目前来说,在测量控制领域内,美国 NI 公司的 LabVIEW 是使用较为广泛的一种计算机语言。

LabVIEW (Laboratory Virtual instrument Engineering) 是一种图形化的编程语言,由美国国家仪器公司 (National Instruments, NI) 开发,其中图形化的程序语言,又被称为“G”语言。基于这种语言编程的特点是,流程图代替了程序代码,基本上不用花时间去写那些复杂、重复、低级的语言代码。它所使用的术语、图标和概念都是工程师、科学家和技术人员所熟悉的,因此编起程序来更加简单直观,可以大大节省开发的时间,也更利用非专业程序员来学习和应用。一个 LabVIEW 程序主要包括两部分:前面板窗口和流程图窗口两部分。

1) 前面板窗口

前面板窗口是 VI 的虚拟仪器面板,它是一个图形化的用户界面,类似于实际仪器的控制面板,是程序运行过程中输入与显示的交互窗口,可将用户和

程序联系起来。通常对于用户来说，直接打交道的部分就是前面板，在前面板上有两类控件，包括用户输入和显示输出，具体表现有图形、旋钮、开关以及其他各种各样的控制（control）和显示对象（indicator）。

2) 流程图窗口

流程图窗口相当于实际仪器箱的内部，主要提供 VI 的图形化源程序，在流程图中程序员用图形语言编写 LabVIEW 程序源代码，以控制和操纵定义在前面板上的输入和输出功能。

几乎所有的测试、测量和控制应用都可以分成 3 部分：采集、分析、表达。我们在使用仪器进行测量任务的时候，首先要做的就是进行数据采集，然后将采集到的数据送入计算机中进行分析和显示，这三个部分都是一步一步来完成的，缺一不可。LabVIEW 就是用于采集，分析，表达实际物理量的，应用最早，功能强大的工程软件。

LabVIEW 之所以能够提高开发效率，主要是因为软件中集成了大量的硬件信息和旨在开发测量、测试以及控制系统的虚拟仪器软件，还包括各种广泛的 I/O 功能。我们可以利用 LabVIEW 自带的、现成可即用的函数库，来集成各种独立的数据采集设备、台式仪器、机器视觉和运动控制产品、IEEE488/GPIB 和串口 RS232 设备、可编程仪器 PLC 等，由这些产品的重新组合可以发出一套完整的，可用于测量和自动化的解决方案。另外，LabVIEW 软件中还包含了很多软硬件标准，如：VISA、PXI 和基于 PXI 系统联盟 CompactPCI 标准的软硬件、VXI Plug & Play、IVI 可互换虚拟仪器驱动程序、VXI 仪器标准驱动程序等，其中 VISA 还包含 GPIB、串口和 VXI 兼容的仪器标准。软件与其他软件、控制和测量硬件以及一些开放式工业标准的兼容性程度决定了软件的标准程度。目前有许多第三方软硬件生产厂商在开发并维护成百上千个 LabVIEW 函数库及仪器驱动程序。

5.2 Modbus 通信原理

现场总线是 3C 技术（通信，控制，计算机）从控制室发展到过程现场的必然结构，是应用于过程自动化和制造业自动化的现场设备的互联通信网络。这种先进的工业控制方式是从 20 世纪 80 年代中期发展起来的，通过现场总线这项技术可以实现测控设备的分散化、网络化和智能化。近些年来，现场总线的功能广泛应用于工业测控设备。现场总线的核心技术是通信技术和通信协议，而 Modbus 成为了工业控制领域的网络通信协议中最常用的协议之一，组态王、变频器、FIX、

等常用的工业组态软件都使用 Modbus 协议^[49]。在本系统中,工控机与变频器的通信使用的就是基于串口通信 RS485 的 Modbus 通信协议。

5.2.1 Modbus 协议简介

Modbus 协议作为一种通用语言被广泛应用于电子控制器上。控制器之间、控制器经由网络和其它设备之间都可以通过此协议进行通信,可见它已经成为一通用工业标准。有了该协议,来源于不同厂商的控制设备就可以连成工业网络来集中监控了。标准的 Modbus 使用 RS2232C 串行接口,因此 Modbus 通信数据帧结构与 RS2232C 相同,定义了接口的针脚、信号位、电缆、奇偶校验、传输波特率等。Modbus 通信协议定义了每个数据帧的意义,在一次发送和接收传输中数据包由若干帧组成,只要按照协议规定的意义来解释其接收和发送的帧数据,控制器就能与采用同样协议的在同一网络中的控制器实现通信^[50]。

控制器通信使用主-从技术,即仅一设备(主设备)能初始化传输(查询),其它设备(从设备)根据主设备查询提供的数据做出相应反应。在同一个网络中,一个主设备可以与最多达 255 台从设备通信,所以从设备的地址编码为 1~255。典型的主设备:主机;典型的从设备:可编程控制器 PLC。

主设备可单独和从设备通信,也能以广播方式和所有从设备通信。一般情况下,主设备只与 1 台从设备通信,但当主设备采用广播方式即发出的地址码为 0 时,则可以给所有的从设备发送消息。单独通信情况下,从设备会返回一消息作为回应,如果是广播方式查询的,则不作任何回应。Modbus 协议建立了主设备查询的格式:设备(或广播)地址、功能代码、所有要发送的数据、一错误检测域。

从设备返回来的消息也由 Modbus 协议构成,包括地址、返回的数据、和 CRC 校验码等。如果从设备在接收过程中发生了错误,或不能执行命令,那么从设备会将错误消息作为回应发送回来。

5.2.2 Modbus 的传输模式

Modbus 协议有两种通信模式:ASC II(美国标准信息交换代码)模式表 5-2 所示和 RTU(远程终端单元)模式表 5-3 所示。ASC II 报文格式以冒号开始,以回车符结束;RTU 报文格式以传递一段不短于 3.5 个字符的空闲时间作为开始和结束的标志,这段空闲时间可以依据使用的波特率很容易被计算出来。另外,RTU 模式以十六进制方式传送数据,一帧一个字节,数据传送效率高于一将一个字节的两个字符发送的 ASC II 模式,因而大多数工业控制器采用 RTU 模式。在同一个网络

中,无论主机还是从机,都必须采用相同的通信模式及相同的串口参数如波特率、校验方式等。Modbus 协议常用的传输速率为 1 200 bit/ s~19 200 bit/ s。在本系统中,由于传输的数据量比较大,要求的传输速率高,所以采用的是 Modbus RTU 传输模式。

表 5-2 ASCII 方式
Fig5-2 ASCII mode

:	地址	功能代码	数据数量	数据 1		数据 n	LRC 高字节	LRC 低字节	回车	换行
---	----	------	------	------	-------	------	---------	---------	----	----

表 5-3 RTU 方式
Fig5-3 RTU mode

地址	功能代码	数据数量	数据 1		数据 n	CRC 低字节	CRC 高字节
----	------	------	------	-------	------	---------	---------

1、 Modbus RTU 数据包的格式

一个典型的 Modbus 协议数据包的格式如图 5-1 所示。

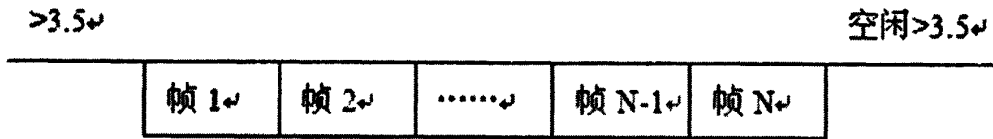


图 5-1 典型的 modbus RTU 数据包格式
Fig5-1 A typical packet format of modbus RTU

其中,从机地址为第 1 帧,功能码是第 2 帧,被访问的从机寄存器起始地址为第 3 和 4 帧,第 5 和 6 帧则是要访问的寄存器个数,16 位 CRC 校验码为最后两帧。基于 Modbus RTU 协议的任何一个数据包,其前三帧及最后两帧的意义相同,根据功能码的不同,其他帧则而有所区别。

开始通信时,主机首先向所有从机发送地址帧,若从机地址相同则准备接受数据包的其他帧,若不同则对其他帧不接收或不做处理。从机接收完数据后,根据除 CRC 校验码外的数据重新生成 CRC 校验码,并与主机发送的 CRC 校验码进行比较,如果相同则为接收正常,然后按主机的要求进行操作并给主机返回相应的数据包;如果校验出错,则从机向主机发送错误数据包,提示错误信息,并请求主机从新发送。

2、 Modbus RTU 通信命令格式

Modbus 通信协议使用主-从技术,即仅一设备(主设备或主站)能初始化传输(查询),其他设备(从设备或从站)根据主设备查询提供的数据作出相应回应。在这里主设备为上位计算机即安装在主控室的工控机,从站为西门子高压变频器。与高压变频器通信中用到的功能代码主要有 06H —写入数据与 03H —读取数据。

表 5-4 为给变频器写入数据时主站请求报文格式，表 5-5 为从站应答报文格式，通信成功情况下，则主站请求报文与从站应答报文格一致。表 5-6 为读取变频器数据时主站请求报文格式，表 5-7 为从站即变频器的应答报文格式。

表 5-4 写入数据时主站请求报文格式

Fig5-4 the request message format from master when writing data

主机发送		举例（HEX）	
主机地址	1 节	01	01 号从机通信
功能码	1 字节	06	写寄存器数据
寄存器地址	2 字节	00 41	写入寄存器地址为 0041H
写入数据	2 字节	07 D0	写入 0041H 寄存器的数据为 07D0H
CRC	2 字节	DA 72	前 6 个字节的 CRC 校验码

表 5-4 写入数据时从站应答报文格式

Fig5-4 the response message format from master when writing data

从机应答		举例（HEX）	
从机地址	1 字节	01	与 01 号从机通信
功能码	1 字节	06	写寄存器数据
寄存器地址	2 字节	00 41	写入寄存器地址为 0041H
写入数据	2 字节	07 D0	写入 0041H 寄存器的数据为 07D0H
CRC	2 字节	DA72	前 6 个字节的 CRC 校验码

表 5-6 写入数据时主站请求报文格式
Fig5-4 the request message format from master when reading data

主机发送		举例（HEX）	
从机地址	1 字节	01	与 01 号从机通信
功能码	1 字节	03	写寄存器数据
寄存器首地址	2 字节	00 01	写入寄存器首地址为 0001H
寄存器数	1 字节	00 05	从 0001H 开始连读 5 个寄存器
CRC	2 字节	D4 09	前 6 个字节的 CRC 校验码

表 5-7 读取数据时从站应答报文格式
Table 5-7 The Responset Format From Station When Reading Data

从机应答		举例（HEX）	
从机地址	1 字节	01	与 01 号从机通信
功能码	1 字节	03	写寄存器数据
字节数	1 字节	0A	5 个寄存器占 10 个字节
寄存器数	1 字节	00 05	从 0001H 开始连读 5 个寄存器
数据 1	2 字节	03 21	0001H 寄存器中的数据
数据 2	2 字节	01 04	0002H 寄存器中的数据
数据 3	2 字节	00 64	0003H 寄存器中的数据
数据 4	2 字节	02 65	0004H 寄存器中的数据
数据 5	2 字节	00 29	0005H 寄存器中的数据
CRC	2 字节	D4 09	前 6 个字节的 CRC 校验码

5.2.3 Modbus RTU 通信协议的实现

Modbus 编程主要需处理好 CRC 校验码的生成。

Modbus RTU 通信协议的 CRC 校验码包含 16 位二进制数即 2 个字节,发送信息帧的尾部,低字节在前,高字节在后,与其他数据帧的高低位刚好相反。从机接收到信息后,根据信息从新计算 CRC 码,并与信息中接收到的 CRC 码是否一致。如果一致,则表示接收的信息正确;否则则表示接收的信息有误,需要请求主机从新发送信息。在进行 CRC 码计算时只用 8 个数据位,起始位、停止位及奇偶校验位都不参与 CRC 计算。CRC 码的计算方法^[49]是:

(1) 预置 1 个 16 位的寄存器为十六进制 FFFF(即全为 1);称此寄存器为 CRC 寄存器。

(2) 把第 1 个 8 位二进制数据(即通信信息帧的第 1 个字节)与 16 位的 CRC 寄存器的低 8 位相异或,把结果放于 CRC 寄存器。

(3) 把 CRC 寄存器的内容右移一位(朝低位),用 0 填补最高位,并检查右移后的移出位。

(4) 如果移出位为 0,重复第 3 步(再次右移一位);如果移出位为 1, CRC 寄存器与多项式 A001(1010 0000 0000 0001)进行异或。

(5) 重复步骤(3)和(4),直到右移 8 次,这样整个 8 位数据全部进行了处理。

(6) 重复步骤(2)到步骤(5),进行通信信息帧下一个字节的处理。

(7) 将该通信信息帧所有字节按上述步骤计算完成后,得到的 16 位 CRC 寄存器的高、低字节进行交换。

(8) 最后得到的 CRC 寄存器内容即为 CRC 码。

CRC 校验码的程序流程图如下:

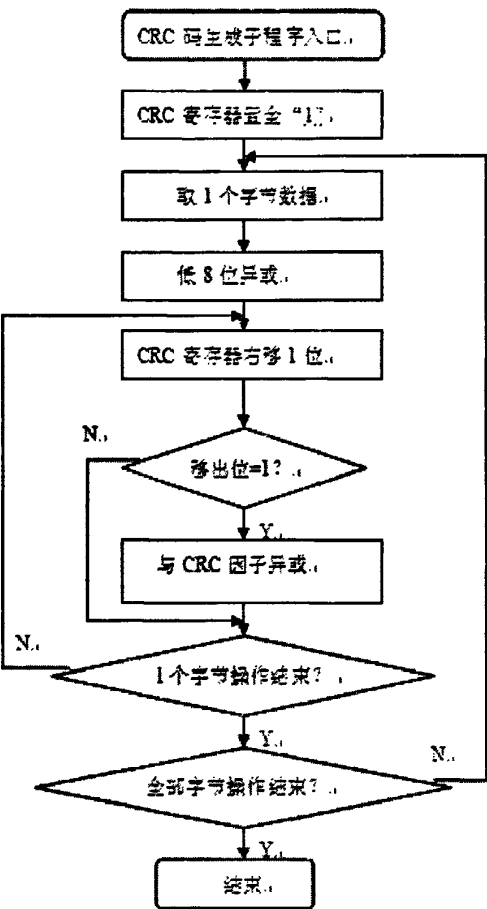


图 5-2 CRC 程序流程图
Fig5-2 program flow chart of CRC

在 LabVIEW 中，利用公式节点函数可以很容易的实现 CRC 校验码。程序代码如下：

uInt16 i,j,tmp,CRC;	定义变量;
uInt8 CRCHi,CRCLo;	
CRC = 0xFFFF;	CRC 寄存器设为全 1;
for (i=0;i<Length;i++)	
{	
CRC =buf[i]^CRC;	第一个字节与低 8 位相异;
for (j=0;j< 8;j++)	
{	
tmp =CRC & 0x0001;	把将要移出的最低位放于 tmp 中;
CRC =CRC >>1;	CRC 右移一位;
if (tmp)	检查移出位;
CRC = CRC ^ 0xa001;	
}	

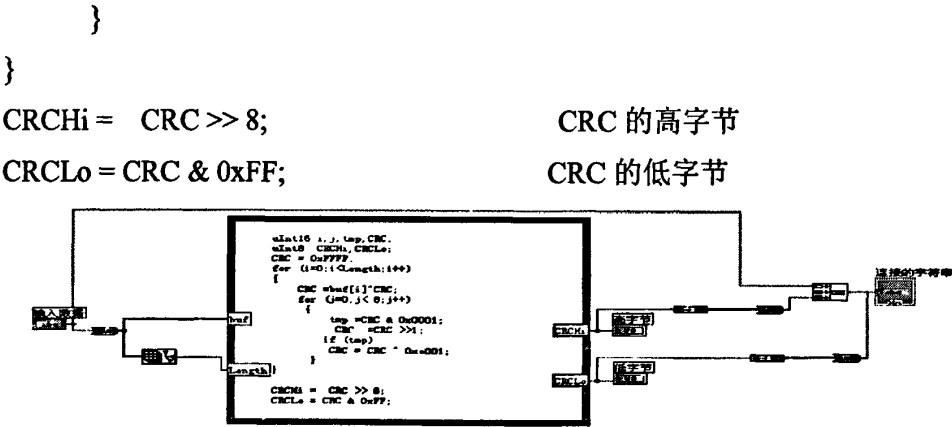


图 5-3 CRC 程序框图
Fig 5-3 CRC Block Diagram

5.3 软件设计部分

5.3.1 数据采集

5.3.1.1数据采集系统结构

数据采集（Data AcQuisition，DAQ）是指从传感器和其它待测设备等模拟或数字被测单元中自动采集信息的过程。一个完整的DAQ系统包括传感器或变换器、信号调理设备、数据采集和分析硬件、计算机、驱动程序和应用软件^[52]。

传感器和信号调理在系统硬件部分已有介绍这里不再重叙，重点介绍一下基于LabVIEW的数据采集模块。

传感器采集的信号通过信号调理后就可以与数据采集设备连接了。通常情况下，数据采集设备是一个数据采集卡，可以采用多种方式来与计算机的连接。NI公司生产的数据采集设备支持多种总线类型，包括PCI、PCI Express、PXI、PCMCIA、USB、CompactFlash、Ethernet以及火线等各种总线。数据采集卡的功能包括模拟I/O、数字I/O、触发采集和定时I/O等。数据采集卡通过数据缓存(Buffer)、多路开关和A / D转换芯片等几个部件将多个通道采集到的模拟信号实现模数转换并存储于缓存器中，LabVIEW中的DAQ数据采集VI对存储的数据进行操作。计算机和数据采集卡之间实现交换数据、控制信息和通信主要通过总线来进行^[55]。使用LabVIEW对PCI数据采集卡编程之前，需要首先将数据采集卡安装到计算机或相关的机箱中，插在相应的总线插槽上，安装相应的驱动程序。数据采集卡的安装和配置主要步骤如图5-4。

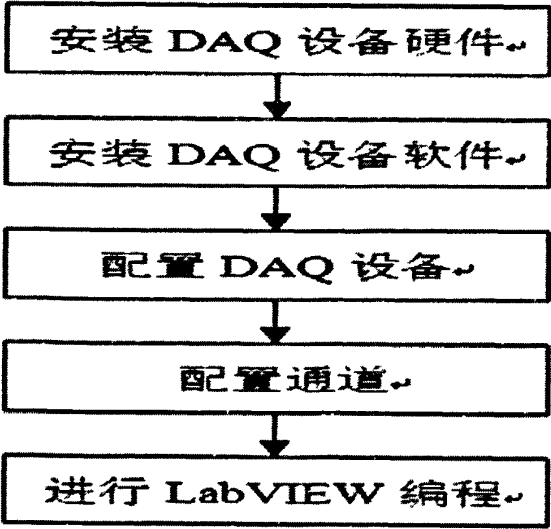


图5-4 数据采集步骤
Fig5-4 Data acquisition steps

5.3.1.2 LabVIEW 中创建采集任务

NI 公司提供的数据采集卡的 LabVIEW 驱动集成了功能强大的数据采集函数库，包括模拟输入(Analog Input)、模拟输出(Analog output)、数字输入输出(Digital I/O)、DAQmx 定时 (sample clock)、计数器(Counter)、触发 (Triggering)、校准与设置(Calibration and Configuration)、信号调理(Signal Conditioning)及传统 DAQ 通道常数等。正确安装驱动之后，在 LabVIEW 的 function 面板中可以看到 NI 公司提供的对板卡操作的库函数，如图 5-5 所示。点击弹出测量 I/O,然后选择 DAQmx 数据采集，在这个文件夹下包含数据采集卡编程所需的所有驱动函数，直接使用就可以了。

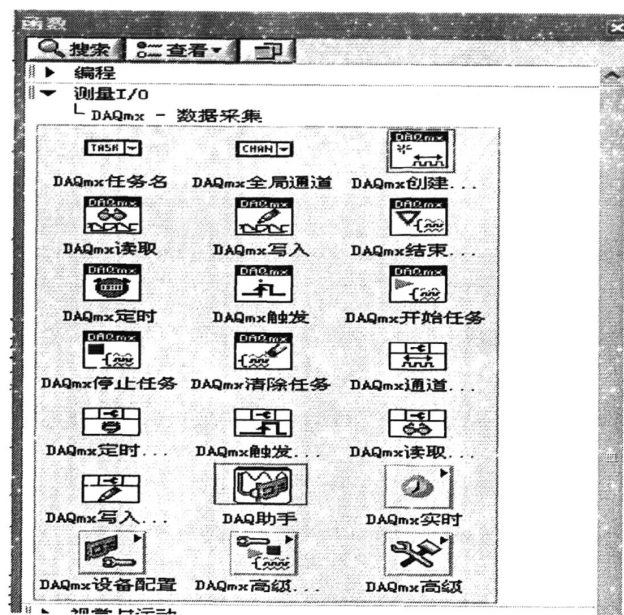


图 5-5 数据采集函数库
Fig. 5-5 Data Acquisition Library

在 LabVIEW 中使用测量 I/O 函数库来创建 NI-DAQmx 任务非常容易，步骤如下：

- 1、 创建或加载一个任务。可以使用 DAQ 助手或者在应用程序开发环境 LabVIEW 中使用函数编程实现交互式创建任务。
- 2、 根据需要配置通道、事件、采用定时、触发属性。
- 3、 执行各种可选的任务状态转换，以便准备任务来执行指定的操作。
- 4、 读写采样值，并可根据需要重复。
- 5、 停止任务。
- 6、 清楚任务。

在创建一个完整的采集任务之前，先介绍一下相关的子函数。

1、 DAQmx 创建虚拟通道（DAQmx Create Virtual Channel）用于创建一个虚拟通道或一组虚拟通道并将其添加到一个任务中。如图 5-6 所示。这种多态 VI 的实例对应于通道的 I/O 类型，例如模拟输入、数字输出或计数器输出，执行测量或产生操作，例如温度测量、电压产生或事件计数等。在创建通道 VI 中可以设置输入接线端配置、最大值、最小值、物理通道等的参数。

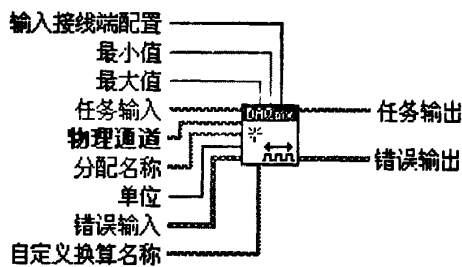


图 5-6 DAQmx 创建虚拟通道 VI
Fig 5-6 DAQmx Create Virtual Channel

2、DAQmx 定时 (DAQmx Timing) 用于配置采集或产生的采样数，并根据需要创建一个缓冲区，如图 5-7 所示。在这个函数中可以设置每通道采用数，采样模式，采样率的参数等。

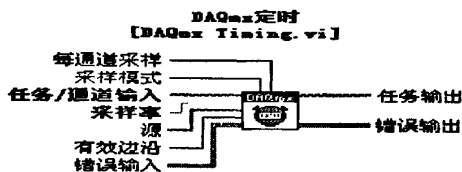


图 5-7 DAQmx 定时
Fig 5-7 DAQmx Timing

3、DAQmx 读取 (DAQmx Read) 从指定的任务或虚拟通道读取采样值，如图 5-8 所示。这个多态的实例指定了返回什么格式的采样值，一次读取一个采用值还是多个采样值，从一个通道还是多个通道读取。



图 5-8 DAQmx 读取
Fig 5-8 DAQmx Read

3、DAQmx 写入 (DAQmx Write) 向指定的任务或虚拟通道写入数据点，如图 5-9 所示。这个多态 VI 的实例指定数据点的写入格式，写一个或多个数据点，写入到一个或多个通道。

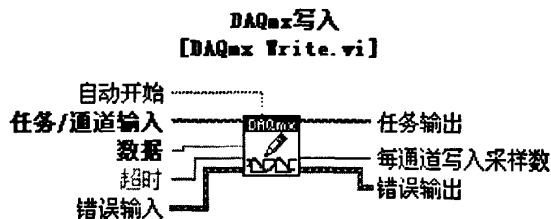


图 5-9 DAQmx 写入
Fig 5-9 DAQmx Write

一个典型的数据采集程序如图 5-10 所示：

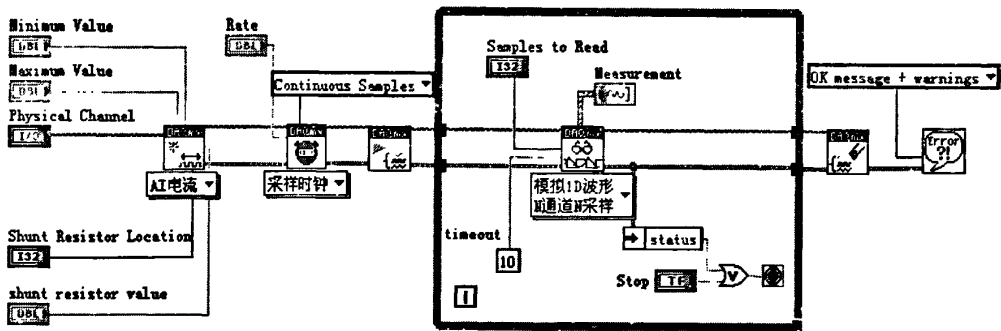


图 5-10 典型数据采集程序
Fig.5-10 Typical Data Acquisition Program

5.3.1.3 本系统的采集设置

参数设置：

- 1、 采用电压：±10V；
- 2、 输入接线断配置：RSE；
- 3、 物理通道：Dev1/ai1:3；
- 4、 采样频率：150000；
- 5、 每通道采用数：10000；
- 6、 采用方式：连续采样。

5.3.2 数据处理模块

根据第三章中设置的模糊控制器，首先搭建模糊处理的程序框图。由于数据采集卡采用电压输入模式，采集的温度传感器信号实际上是(0-5)V 的电压信号，所以程序中，温度信号的给定值变为对应的电压值，设为 3.5V。温度偏差 E 的值为采集输入信号与给定值 3.5V 的差值；偏差变化率 Ec 温度偏差 E 与变化时间的比值。输出 U 即为系统要传送给变频器的变频值。

同时，系统还有手动控制功能。当系统的传感器或线路出现故障，无法探测到现场的实践情况即无法根据实际情况来实现自动控制时，为了不影响生产，所以系统设置了手动控制变频器频率和风机转速的功能。工人可以根据生产情况来进行变频器频率的设定。数据处理流程图如图 5-11 所示：

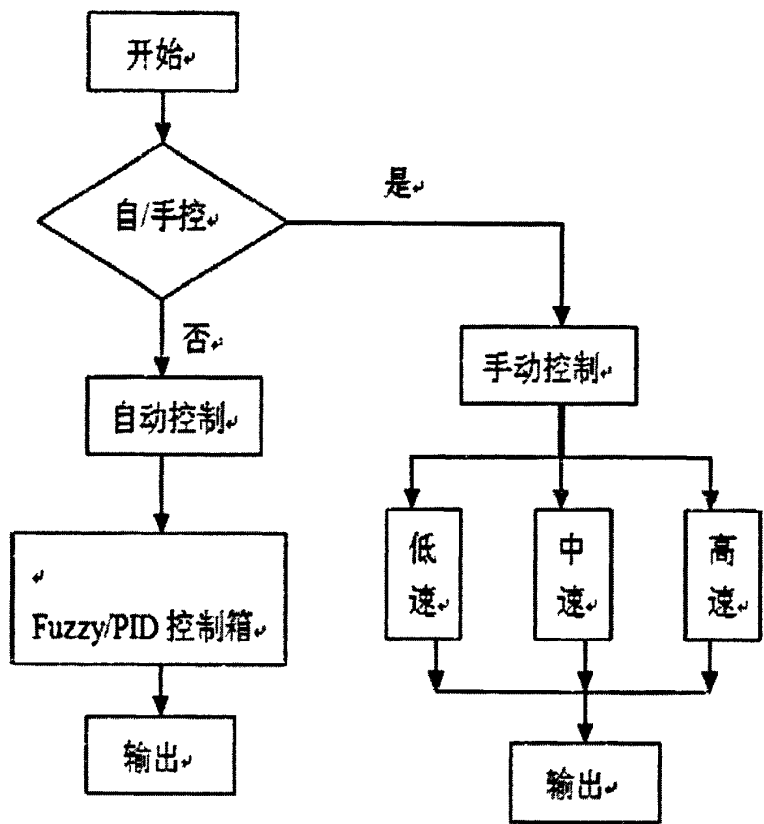


图 5-11 数据处理流程图
Fig5-11 data processing flow diagram

部分程序框图如图 5-12 所示：

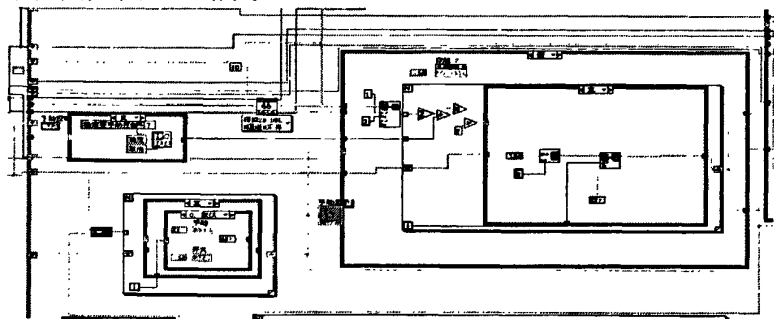


图 5-12 数据处理程序框图
Fig. 5-12 Data Processing Block Diagram

5.3.3 串口通信模块

在 LabVIEW 中通过调用现成的 VISA 节点函数，用户可以轻松构建基于已有串口硬件设备基础之上的数据采集与测控平台，而无须添加其他新的硬件设备。同时由于上述 VISA 函数不仅与串口还可以与 GPIB、USB、PXI、VXI 和以太网

等多种总线通信,因而使得在 LabVIEW 中借助 VISA 节点函数编写具有很好的可移植性的串口程序。当硬件接口发生变化时,为了完成对不同类型设备、不同平台的开发,移植及升级的功能,只需适当配置修改 VISA 函数的参数便可,从而使开发效率大大得到了提高。

5.3.3.1. LabVIEW 中的 VISA 节点函数

VISA(虚拟仪器软件体系结构)是 I/O 口(输入/输出)软件库及其规范的总称。利用 LabVIEW 编写的 VISA 接口程序,只需更换几个程序模块就可以满足外部设备的变更,开发效率高又简单方便。LabVIEW 的 VISA 工具包内包含 8 个节点,这 8 个节点分别实现串口写、初始化串口、串口读、中断以及关闭串口等功能。这些节点位于函数模板 / 仪器 I/O 子模板、串口子模板中,如图 5-13 所示:

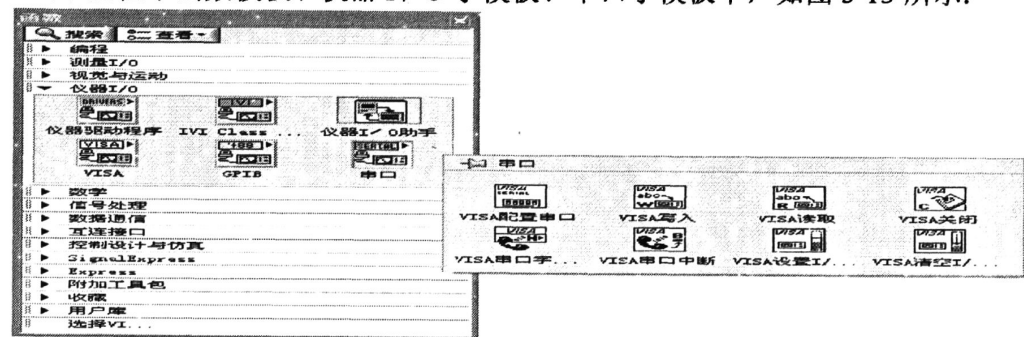


图 5-13 仪器 I/O 函数库
Fig 5-13 Instrument I/O library

在 LabVIEW 中,进行串口通信的基本步骤分为 3 步:

- 1) 串口初始化,利用VISA Configure SerialPort. vi 节点设定串口的波特率、端口号、校验位、停止位、数据位等。
- 2) 读写串口,利用 VISA 读节点或 VISA 写节点分别对串口进行读或写。
- 3) 关闭串口,将所有读写操作停止。

5.3.3.2. 串口通信程序的编写

在本系统中,工控机与变频器之间的串口通信包括写入串口控制变频器的运转状态和监测变频器的运转状况如电压、电流及功率等参数,所以需要从变频器读取数据。由于串口通信不能写入和读取同时进行,所以需要在程序中设置判决条件,让写入和读取的时间分开。串口通信的流程图如 5-14 所示:

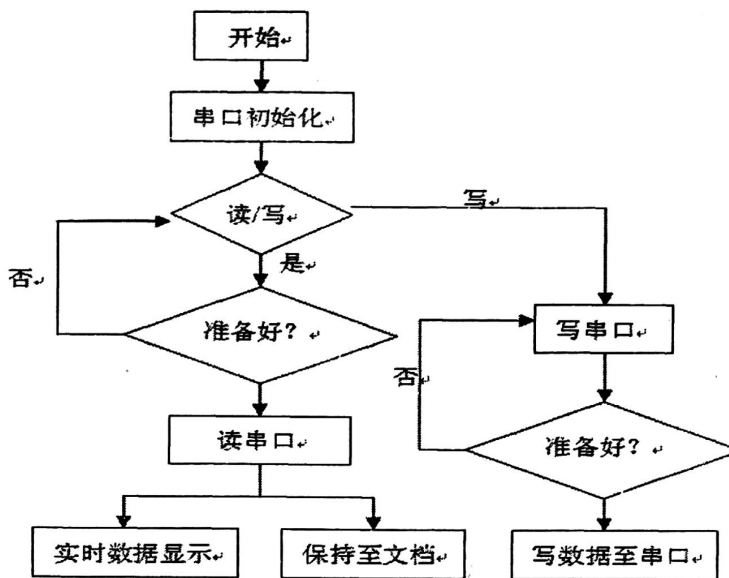


图 5-14 串口通信流程图
Fig 5-14 Serial Communication Flowchart

写入串口通信的初始化参数设置为：
VISA 资源名称：COM1； 波特率：9600； 数据位：8；
奇偶校验：无； 停止位：1； 流控制：无。

写入串口通信的前面板如图 5-15：

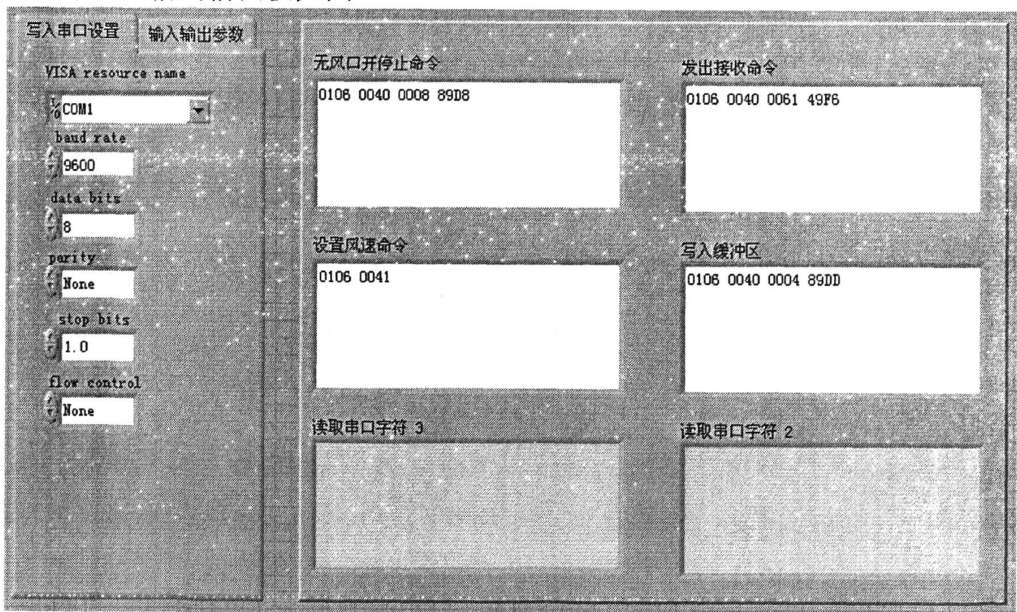


图 5-15 写入串口通信前面板
Fig 5-15 Front Panel Of Write Serial Communication

写入串口通信的程序框图如图 5-16：

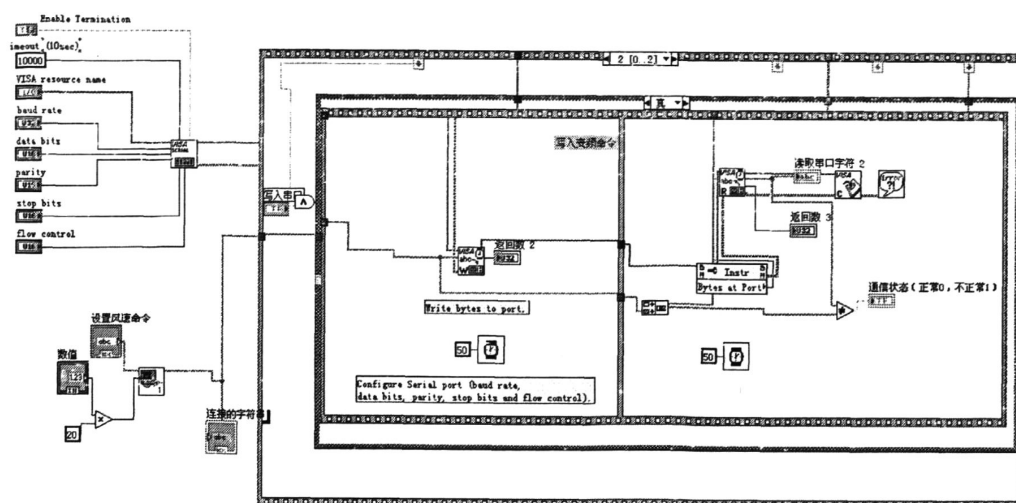


图 5-16 写入串口通信程序框图

Fig 5-16 Block Diagram Of Write Serial Communication

读取串口通信的初始化参数设置为:

VISA 资源名称: COM1; 波特率: 9600; 数据位: 8;

奇偶校验: 无; 停止位: 1; 流控制: 无。

读取的状态数据包括变频器的频率，电机转速，电压，电流，功率等。

读取串口通信前面板如图 5-17:

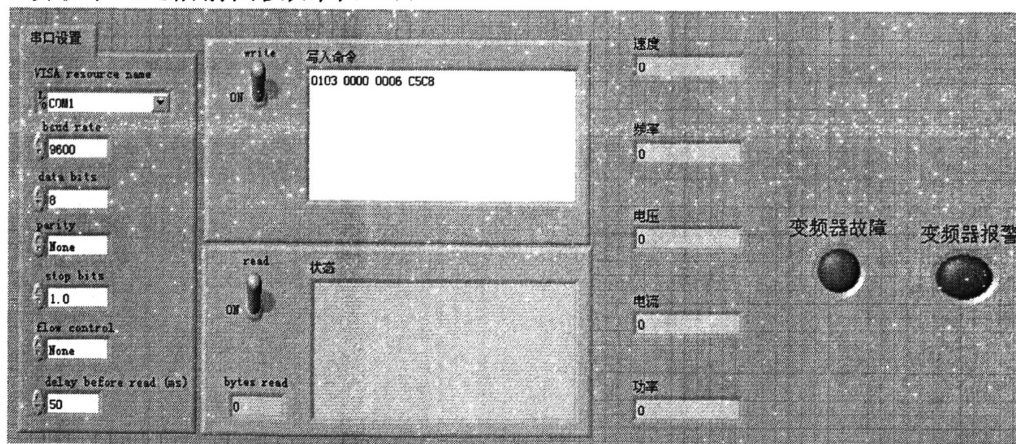


图 5-17 读取串口通信前面板
Fig 5-17 Front Panel Of Read Serial Communication

读取串口通信程序框图如图 5-18:

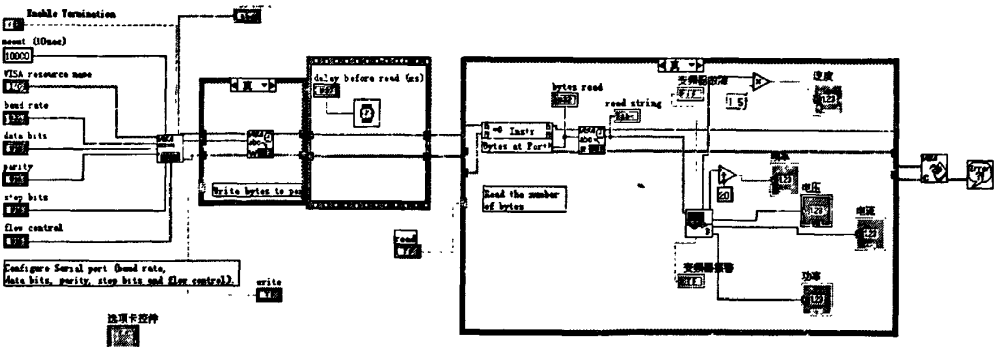


图 5-18 读取串口通信程序框图
Fig 5-18 Block Diagram Of Read Serial Communication

5.3.4 数据设置和显示模块

5.3.4.1 数据设置模块

根据炼钢厂实际工艺过程，以转炉一次除尘为例，一般炉内炼钢时间约为 30~36 分钟，包括兑铁，开始吹氧，吹氧结束，冲渣出钢等，其中吹氧的时间约为 15~20 分钟。根据工况的要求，除尘风机在吹氧冶炼期间需抽出较大的风量，在其他时间所需抽出的风量较小，仅为吹氧时的 30%。所以，根据工艺过程，设置变频器转速为低中高三个档位，频率值分别为 15HZ，30HZ，45HZ。一个完整工艺流程如图 5-19 所示。

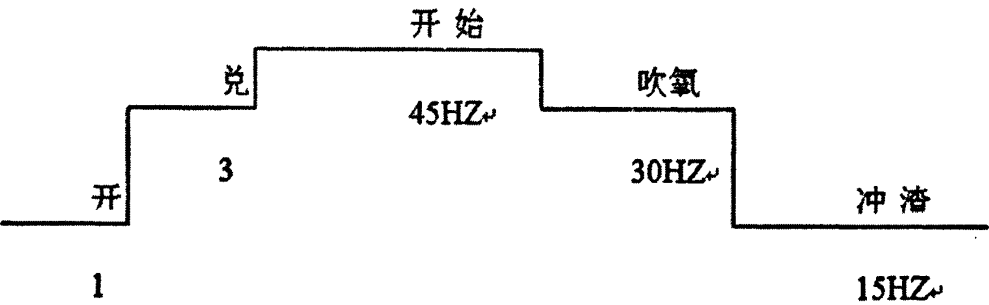


图 5-19 工艺流程图
Fig 5-19 Process Flow Diagram

频率设置模块的前面板如图 5-20:

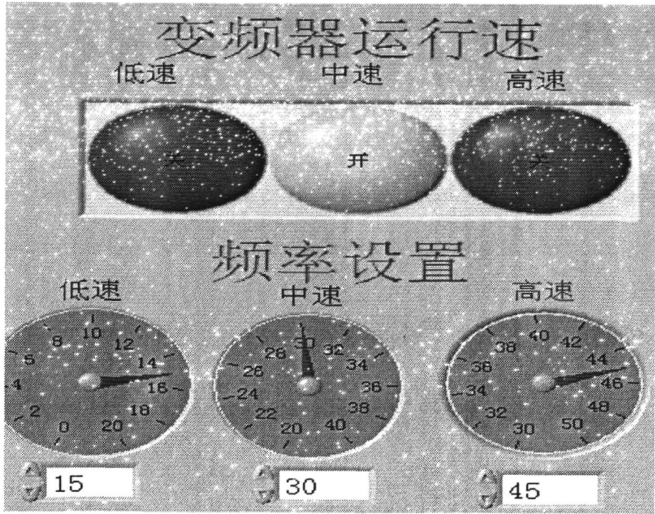
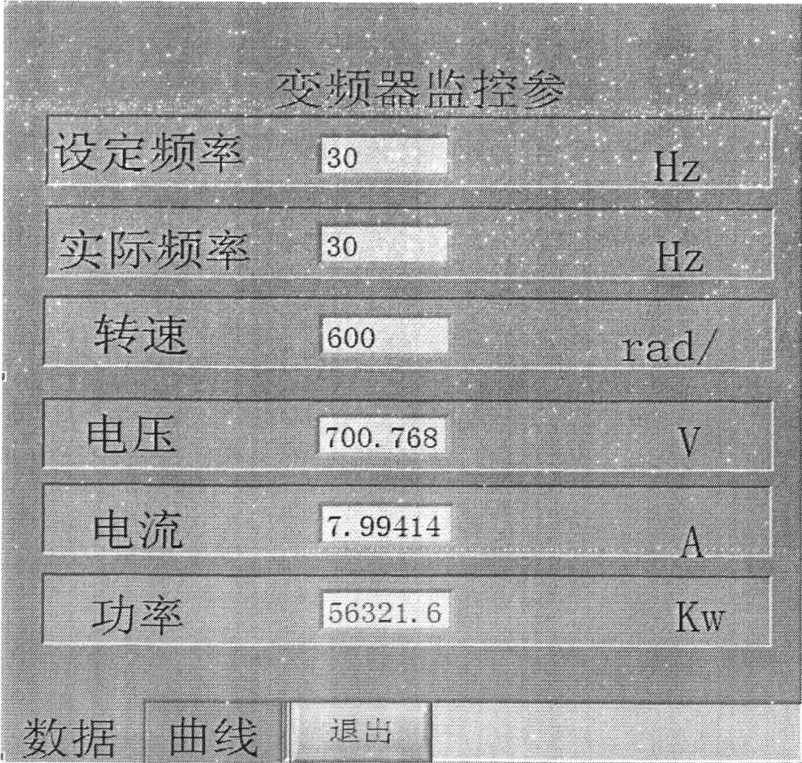


图 5-20 频率设置模块的前面板
Figure 5-20 Front Panel Frequency Setting Module

5.3.4.2 数据显示模块

数据显示模块主要用于显示变频器的监控参数，反映变频器电机的实时运转状态，能让工作人员及时了解变频器的工作状况。主要参数包括设定频率和实际频率，电机转速，电压，电流和功率。同时，为了能够更加形象地反映电压、电流和功率的变化情况，还设置了波形曲线显示，通过波形曲线，让整个显示界面更加人性化和直观化。数据及波形显示如图 5-21 所示。



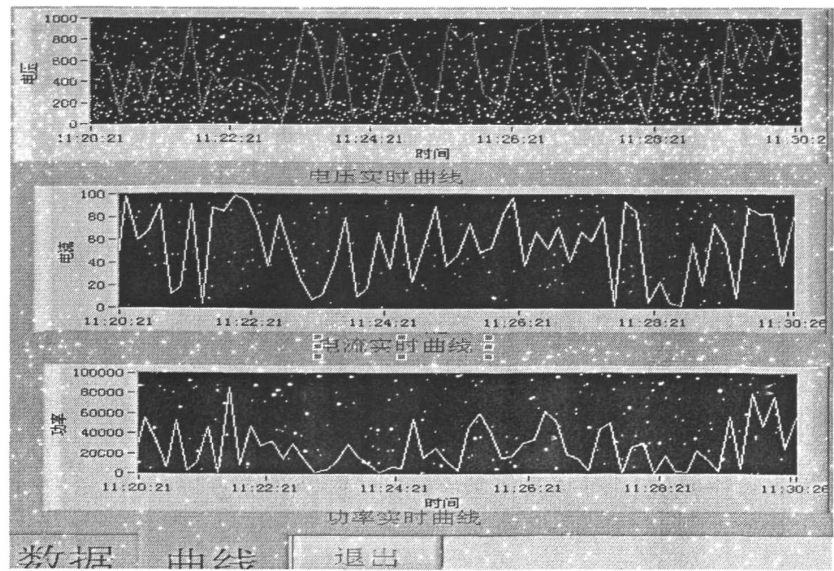


图 5-21 数据及波形显示
Fig 5-21 Data And Waveform Display

5.3.5 数据存储及调出模块

5.3.5.1 数据保存

对自动测试系统而言，数据存储是必不可少的功能之一，主要目的是记录信息方便以后的观察和分析研究。所以系统运行过程中，需要将有关测量数据以特定格式存入指定文件中，以便在运行测试完成后，可以通过打开这些文件，来读取之前存储的参数值，以便进行进一步计算、分析、以及图形查阅或显示等。

LabVIEW进行数据存储一般有五种格式的文件，分别为文本文件、电子表格文件、数据记录文件、波形文件和二进制文件这五种。在本论文中，数据的存储格式为文本文件(TXT)。如图5-22所示，此流程图是保存模块。程序代码是根据流程图设计的，数据存放的路径是由Clients指定，每次试验项目之后，根据其对应名称和时间生成Filename。我们通过字符串函数将存储内容转化为字符串，包括测试频率、转速、电压、电流、功率等值。因为在LabVIEW中，由于文本文件存储的数据格式为字符串格式，因此在数据保存之前必须进行字符串格式处理，通过数据至字符串函数分别将测试数值转换为字符串，然后按照一定的格式排列后，通过此模块存储内容端口与写文件函数相接，将数据写入至指定文件。

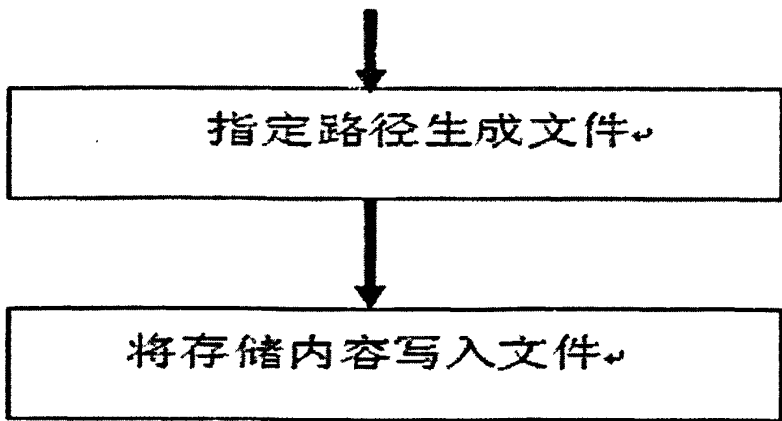


图 5-22 保存模块流程图
Fig 5-22 save module flow chart

5.3.5.2 数据调出模块

所有的试验完成之后，调出查看试验结果，结果以文件的形式被调出。完成试验后，试验过程中所得到的曲线和试验数据能够查询到，这些结果是以文件形式存储的。图 5-23 为数据调出流程图，首先启动文件对话框（Open File.vi），并选择 FILE，读取数据（Read File.vi），同时进入相应的试验数据处理结构，再现了试验时保存的数据或图形。

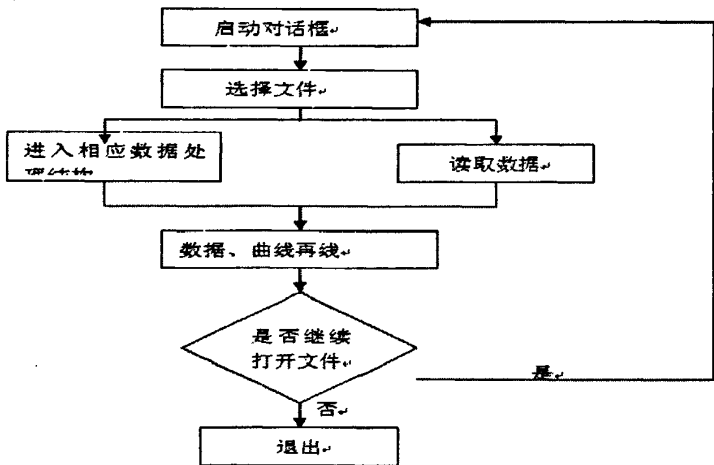


图 5-23 数据调出流程图
Fig 5-23 The Flow Chart Of Data Bring Up

5.3.6 诊断报警模块

为了工作人员能够清楚的了解通信状态，本系统设置了通信状态显示模块，可以清楚的反映通信正常或通信故障。如图 5-24.

同时，通过串口通信读取变频器的状态，当读取到报警信号或故障信号为 1 时，对应的信号灯亮，表示变频器出现了报警问题或故障问题。当报警信号灯亮

的时候，工作人员只需要按一下界面上的复位按钮就可以修复，而不需要到现场去对变频器进行复位。如果故障信号灯亮的时候，表明变频器已经出现了重大的事故，并且将自动停止变频器的运行。这时候工作人员需要到现场去检修并重新启动变频器。如图 5-25 所示。

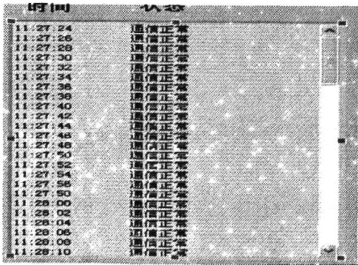


图 5-24 通信状态显示

Fig 5-24 Communication status display

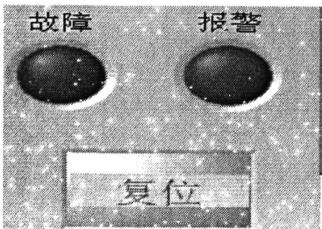


图 5-25 故障报警模块

Fig5-25 Fault And Alarm Module

5.4 本章小结

本章主要介绍三部分的内容。(1) 虚拟仪器的简介以及其与传统仪器的比较。(2) 介绍了 modbus 通信原理及其在 LabVIEW 中 CRC 校验码的实现；(3) 智能风机控制系统的软件设计，其中包括数据采集、数据处理、数据设置与显示、数据存储与调出、与变频器的串口通信、诊断报警模块等，实现了自动控制系统采集、分析、控制的功能，同时可以显示变频器运行状态、通信状态、实现故障和报警的功能，让操作人员可以直观的观察和控制系统的工作。

6 智能风机变频系统的应用

炼钢厂高炉出钢口除尘风机的转速可以随高炉出钢工艺过程的需要而变化,高炉出钢口出钢过程中烟尘量最多,风机需要全负荷运转的状态,出钢间歇期烟尘量很少,风机处于低速运转的状态即可。首钢长冶炼钢厂工况变化范围很大,其出钢口除尘风机调速方式非常低效(利用液力耦合器进行调速),调速范围有限。由于效率正比于速度,速率低导致了效率降低,线性度差、精度低、响应慢,装置大,启动电流大,很难进行改造(因为液力耦合器必须加装在设备与电机之间)。本项目中,对首钢长冶炼钢厂炼钢高炉除尘风机系统进行改造选用的是美国罗宾康公司生产的完美无谐波高压变频器,此高压变频器具有完美无谐波的特点,具有中性点漂移技术,可以避免功率单元故障对风机造成的影响,同时降低对电网的污染甚至无污染;由于采用矢量控制方式,使得变频器具有优良的静态和动态调速性能;结合本智能控制系统,根据现场情况实时调整变频器的速度,避免不必要的电能浪费,又具有良好的人机交换界面,极具有操作性。通过使用表明达到了良好的节能、环保效果。

6.1 系统改造

6.1.1 除尘系统的操作模式

首钢长冶炼钢厂有5座50t转炉,分别对应5台 $96000\text{m}^3/\text{h}$ 风量的除尘风机,当转炉在炼钢过程中,会产生大量有害烟气,除尘风机可以将有害烟气吸收净化后再排放,与此同时对煤气进行回收操作,可以满足生产所需。转炉冶炼的每个周期可以分为八步:兑铁水→加废钢→吹炼→测温取样→出渣→出钢→溅渣→再出渣。拖动风机的电机靠高压开关进行直接启动,当电机转速达到额定值时,风机转速的大小可通过调整液力耦合器来调整。只有吹氧冶炼阶段在整个生产过程中反映最剧烈,烟气排放量也最大,需要进行烟气尤其是一氧化碳等有害气体的过滤回收,所以此时风机应该高速运转。在冶炼过程的其他时间段,风机只需低速运转即可满足除尘要求。

6.1.2 改造方案

长治炼钢厂炼钢高炉除尘风机原来在炼钢过程中，通过电力拖动风机运转的电机始终处于满负荷高速运转状态，电机额定转速 1490 转，而风机额定速度只有 1350 转，风机满额转速小于拖动它的电机的转速，造成了大量能源的浪费。因电机是二十四小时满负荷运转的，根据生产情况，风机的转速需要改变时主要靠液力耦合器来实行调速。改造方案将原来的调节风机转速液力耦合器换成连轴器，并且在高压开关后使用了完美无谐波高压变频器，根据变频调速原理，通过该变频器的频率从而改变电机的频率，使得电机可以在吹氧期或不吹氧器分别来调节转速。在炼钢高炉除尘风机系统加装变频器，可以充分利用炼钢高炉在吹氧过程中烟气较大，为了达到除尘目的风机需要高速运转，而在兑铁水、加废钢、出钢、测温、溅渣等阶段烟气较小，此时风机低速运转即能满足要求的原理，利用温度传感器和烟尘传感器采集数据，通过 LabVIEW 智能控制系统来自动控制风机电机起高速或降低速。除尘风机系统自从加装了变频器后除尘效果更加理想，当烟气浓度超过额定值时，高压变频器相应提速，电机风机的转速同时增加；而原来采用液力耦合器时，当烟气浓度突然增大时，耦合器反应比较迟缓，所以往往容易造成溢烟的情况发生。2011 年 3 月对炼钢高炉除尘风机控制系统进行改造后，增加了高压变频器和一套智能控制系统，使得现场的控制更加自动化和人性化。基于虚拟仪器和模糊控制技术的控制系统，既有直观形象易操作即使是非专业工作人员也能看懂的人机交互界面，又能满足风机根据生产过程自动调速的要求，可见改造后取得了良好的效果。系统结构改造前后情况对比如图 6-1 和 6-2：

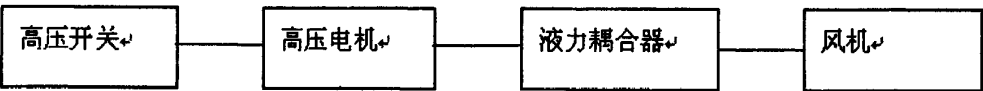


图 6-1 改造前结构图
Fig6-1 the structure before transformation

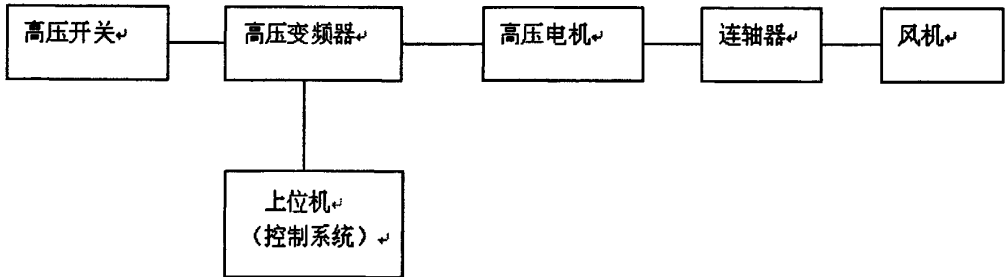


图 6-1 改造后结构图
Fig6-1 the structure after transformation

其中电机和除尘风机参数铭牌参数如下：

表 6-1 电机参数
Table 6-1 Motor parameter

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

表 6-2 除尘风机参数
Table 6-2 The Parameters Of Dust Blower

型号	介质密度	进气容积流量	进气压力	进气温度	冷却用水量
ZSM1600	1.8kg/m³	1650m³/min	78.6kpa	60℃	9/h

6.2 现场应用效果

从 2011 年首钢长治钢铁集团(公司)炼铁厂除尘风机现场风机运行效果及数据分析看来，系统完美无谐波，工作状态稳定，与工程现场的变速要求符合，能够自动稳定安全地投入生产工作。炼钢厂转炉一次风机原来工作时为工频 50HZ，电流 110A，功率为 1784Kw;改用智能风机变频控制系统后高速时频率为 45HZ，电压 8774V,电流 80A，功率 1236Kw;低速时频率为 15HZ,电压 3000V,电流 20A，功率 41Kw;功率因数可达 0.9。根据现场的记录得到参数的数值如表 6-3 所示。

表 6-3 运行数据
Table 6-3 Operating Data

运行频率/HZ	输出电压/v	输出电流/A	输出功率/Kw
5	743	9	3
10	1870	23	26
15	3000	42	41
20	3764	44	86
25	4956	46	132
30	5843	47	243
35	7039	50	339
40	8040	58	543
48	9664	82	1138

如果当前电费价格为 0.5 元,那么除尘风机平均每天大概可节约的电费为 2500 元左右;若按风机每年运行 300 天计算,则炼钢高炉除尘风机系统全年仅电费一项就可节省约 75 万元上下。由于液力偶合器在改造后被取消了,液力偶合器用油的消耗也减少了,加上耦合器冷却水量的减少,则全年可降低 15 万元左右的费用,所以,采用智能控制和高压变频器相结合进行系统改造后,每年经济效益 $=75+15=90$ 万元。另外,对减少机械设备的磨损和设备检修造成的损失是不可估量的。

6.3 本章小结

本章根据炼钢厂转炉一次除尘风机原来的操作模式提出了改造方案,把我们设计的基于变频控制技术、模糊控制技术和 LabVIEW 虚拟仪器技术的智能变频风机控制系统应用于除尘风机系统。在现场安装调试阶段遇到了很多细节上的问题,都一一根据实际情况解决了,同时也根据客户的要求做了很多相应的修改。在最终的运用中,根据测得的数据做了统计,证明经过改造后的除尘风机系统取得了非常理想的节能效果。

7 结论

从刚开始接触这个项目到最终的安装调试,经历了现场调研、提出解决方案、软硬件设计、系统软件仿真、模拟现场调试和现场安装调试等几个阶段,历时半年有余。在最后的安装调试阶段,预期目标中的各项功能都基本达到了,并且能够较好地满足除尘风机的自动控制要求。到目前为止,系统已经稳定运行了一段时间,各项指标都正常运行,并且通过了系统验收。

本次论文的主要研究成果包括一下几个方面:

(1) 由于炼钢高炉除尘系统操作方式落后,主要依靠人工手动方式来操作,不能根据生产工艺过程实时调整除尘风机的工作状态;另外拖动风机运转的电机一旦启动就二十四小时满负荷运转。对于生产过程中只在某一阶段需要高速运转的情况而言,大功率风机电机二十四小时满负荷运转的状态造成了大量电能的浪费。针对操作方式落后和电能浪费的情况,同时为了提高风机的除尘效率和响应节能降耗及环保的要求,首钢长治钢铁厂决定对炼钢厂 1 号风机除尘系统进行改造。改造的系统引用美国罗宾康完美无谐波高压变频器,通过变频器对电机的转速根据实际生产过程进行自动调制,既实现了自动控制的功能减少了劳动力,又实实在在地解决了风机电机不分情况二十四小时高速运转造成极大电能浪费的问题。

(2) 开发了基于模糊控制技术和 LabVIEW 虚拟仪器技术的智能控制系统。本系统根据数据采集卡采集到的温度传感器信号对数据进行模糊化处理从而实现变频器的模糊化控制,同时在 LabVIEW 平台上开发的系统,具有优良的人机交互界面,工作人员能够直观形象地对系统进行操作。本智能控制系统具有状态显示、数据显示与存储存储、波形绘制、故障报警等功能模块,可以提供工作人员远端观察监控变频器的功能,工作人员只需在控制室就可以了解炼钢高炉的生产过程和变频器的运行状况以及各项参数指标。

(3) 通过软硬件系统的安装连接和对程序阈值以及变频器各个参数的设定,完成了智能变频风机系统的安装和调试。根据工程现场的实际情况和工作人员的要求,对系统的部分程序和参数设定进行了修改,使之能够更好的发挥系统的功能。

通过本次工程的实践证明,高压变频器在电机变频调速上的控制是非常有效的,同时模糊控制技术和 LabVIEW 虚拟仪器技术在测量控制上的应用也使得系统的开发和控制效果更好,开发周期也更短。

参考文献

- [1]李刚,卢芬兰. 高压变频器在混铁炉除尘风机上的应用[J].浙江冶金, 2007(3):41-43.
- [2]宋晶,郑宾. 基于虚拟仪器的模糊PID的设计研究[J].电子测试, 2008(11):26-29.
- [3]胡生清,幸国全.未来的仪器仪表—虚拟仪器[J].自动化与仪表,1999(6):5-7.
- [4]唐涌. 变频控制技术在攀钢炼铁高炉出铁场除尘系统的应用[J].四川冶金,2010(3):75-76.
- [5]徐晓.变频调速技术在锅炉风机运行中的应用[J].天津:天津冶金,2002(6):28—31.
- [6]殷淑英.变频调速在工业锅炉泵机风机中的应用及节能效果分析[J].变频器世界,2009(6):89-105.
- [7]裴锋,杨万生.LabVIEW 中模糊控制器的设计及应用[J].化工自动化及仪表,2004,31(1):41~43.
- [8]诸静.模糊控制原理与应用[M].机械工业出版社,2005.
- [9]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.
- [10]裘正军,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.
- [11]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.
- [12]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.
- [13]秦树人.虚拟仪器及其最新发展[J].振动, 测试与诊断, 2000, 20: 123-129.
- [14]郭北涛,柳洪义,曹阳,罗忠,王菲. 基于虚拟仪器技术的电磁阀综合特性测控系统[J]. 仪器仪表学报,2010,31(2):293-297.
- [15]张维娜,苏中.基于虚拟仪器的某火箭弹测试系统[J].仪器仪表学报, 2006, 27: 223-227.
- [16]高占风,杜彦良,苏木标.基于虚拟仪器的桥梁远程状态数据采集系统[J].仪器仪表学报,2007,27(10):1361-1364.
- [17]LIPOVSZKI G,ARADI P.Simulating complex systems and processes in LabVIEW[J]. Journ of Mathematical Sciences,2006,132(5) :629-636.
- [18]张莉.高科技与产业化[J].高科技与产业化,2010(7):74-75.
- [19]李方园.变频器行业应用实践[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [20]Ben-Brahim,Lazhar,Iterative learning control for variable frequency drives,Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc Jun 15-19 2008.
- [21]西门子风机类专用变频器使用手册中文版.北京,西门子(中国)有限公司, 2003.
- [22]Orkisz, M.Variable frequency drive as a source of condition monitoring data,Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society Jun 11-13 2008.
- [23]Mahmoud,Gamal,Inverter faults in variable voltage variable frequency induction motor

- drive ,Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society ,Jun1 2007.
- [24]美国罗宾康公司空冷型完美无谐波系列新一代控制 NBH 高压变频器用户手册.上海, 美国罗宾康公司, 2004.
- [25]程鹏,王艳东编著.现代控制理论基础[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [26]侯媛彬,张建军,杜京义,嵇启春编著.现代控制理论基础[M].北京:北京大学出版社,2006.
- [27]张洪钺,王青编著.最优控制理论与应用[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [28]许力.智能控制与智能系统[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [29]FINKESTEIN L. Measurement and instrumentation science an analytical review.1994
- [30] FINKELSTEIN L.Representation by symbol systems as an extension of the concept of measurement .1975(04).
- [31]ALLEVARD T,BENOIT E,FOULLOY L. Dynamic gesture recognition using signal processing based on fuzzy nominal scales.2007.
- [32]张化光,孟祥萍主编.智能控制基础理论及应用[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [33]莱顿著.多变量控制理论[M].北京:科学出版社,1982.
- [34]旺纳姆著.线性多变量控制.北京:科学出版社,1984.
- [35]S.Z.He,S.Tan,F.L.Xu,P.Z.Wang.Fuzzy self-turning of PID controller.Fuzzy Sets Syst,1993,Vol.56,NO.5:37-46.
- [36]Jang J S R,SunC-T,Mizutani.Neuro-Fuzzy and Soft Computing.Pretice-HallInc.1997.
- [37]Jyh-Shing Roger Jang, SunC-T. Neuro-Fuzzy Modeling and Control. Proceedings of the IEEE, 1995,Vol.83,No.3:378-406.
- [38]Proeyk T J ,madam E H.A linguistic self-organizing controller.Automatie,1979,15(1):15-30.
- [39]Shao S. Fuzzy self-organizing controller and its application for dynamic proecesses. Fuzzy Sets and system,1988, 26(2):151-164.
- [40]King. P. J, Madman. E. H, the application of fuzzy control system to industry process automatic.1977, 13(2):235-242.
- [41]张鑫.基于 LabVIEW 的热电空调温度模糊控制系统研究[学位论文].大连:大连海事大学, 2008.
- [42]李昕,洪文学,宋佳霖.传感技术引人注目的新兴分支-模糊传感器[J].仪器仪表学报,2007,28(4):722-725.
- [43]梁海泉,张逸成,杨挺,姚勇涛.基于虚拟仪器平台的多通道示波器设计[J].自动化仪表, 2007, 28(2):61-64.
- [44]曹玲芝.现代测试技术及虚拟仪器[M].北京:北京航空航空航天大学出版, 2004.
- [45]谭斐文.永磁同步伺服电机自动测试系统的设计研究[学位论文]. 北京:北京工业大学, 2006.
- [46]邓焱,王磊,傅琦等.LabVIEW7.1测试技术与仪器应用[M].机械工业出版社,2004.

- [47]张键.基于LabVIEW虚拟仪器实验教学系统的设计与实现[学位论文].天津:河北工业大学工学,2002.
- [48]雷振山.LabVIEW实用技术教程[M].北京:中国铁道出版社,2004.
- [49]朱小襄.Modbus通信协议及编程[J].电子工程师,2005,31(7):42-44.
- [50] Modbus 通讯协议的原理和标准. 上海景利数码科技有限公司.2007.
- [51]王磊,陶梅编著.精通LabVIEW8.0[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [52]Jeffrey Travis,Jim Kring.Labview for Everyone(Graphical Programming Made Easy and Fun Third Edition).Beijing:PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY,2010.
- [53]Data Acquisition and Signal Conditioning.National Instrument Corp.
- [54]Measurement and automation catalogue 2003.National Instrument Corp,2003.
- [55]LabVIEW User Manual.National Instrument Corp, 2000.7.
- [56]Chung-Ping Young,Wei-Lun Juang etc.Real-time instrance-controlled Virtual Instrument multiple-circuit power monitoring.IEEE Trans,2000:579~583.

作者简历

刘晓宇，女，广东茂名人，出生于 1985 年 9 月 3 日。

2005 年 9 月至 2009 年 7 月于北京交通大学电子信息工程学院学习，2009 年 7 月获北京交通大学工学学士学位。

2009 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，主要研究方向为光纤传感系统的设计。

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：刘 晓宇 签字日期：2011 年 6 月 21 日