

分类号_____ 密级 _____

UDC _____

学 位 论 文

全氢罩式炉

退火过程控制系统的设计与实现

作 者 姓 名： 刘文广

指 导 教 师： 高宪文 教授 东北大学信息科学与工程学院

杨 成 高工 首钢鹏龙钢材有限公司

申请学位级别： 硕士 学 科 类 别： 专业学位

学科专业名称： 控制工程

论文提交日期： 2011 年 12 月 21 日 论文答辩日期： 2011 年 12 月 23 日

学位授予日期： 2011 年 1 月 日 答辩委员会主席： 井元伟

评 阅 人： 王明顺 李普

东 北 大 学

2011 年 12 月

A Thesis in Control Engineering



The Design and Implementation of Full-hydrogen Bell-type Annealing Furnace Process Control System

By Liu Wenguang

Supervisor: Professor Gao Xianwen

Assistant Supervisor: Senior Engineer Yang Cheng

**Northeastern University
December 2011**

独创性声明

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

学位论文作者签名：



日期：2011.12.21.

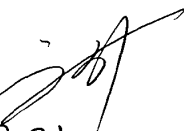
学位论文版权使用授权书

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

作者和导师同意网上交流的时间为作者获得学位后：

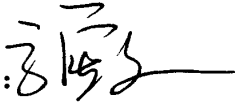
半年 ☐ 一年 ☐ 一年半 ☐ 两年 ☐

学位论文作者签名：



签字日期：2011.12.21.

导师签名：



签字日期：2011.12.26

全氢罩式炉 退火过程控制系统的设计与实现

摘 要

钢卷在冷轧过程中会产生一种加工硬化现象,使其质地比较硬脆,通过退火再结晶,钢卷内部组织重新排列组合,消除冷轧应力,有利于板卷以后的深加工。退火工艺在决定钢材的机械性能方面起着重要作用。

退火设备经过几十年的发展,冷轧带钢的退火热处理逐步进入了新的阶段,目前国内外普遍采用的两类退火炉:连续退火炉和罩式退火炉。首钢集团于本世纪初开始冷轧筹备工作,2008年5月首钢冷轧产品正式下线投产,主要为连退产品,具有连退自动控制能力及相关自动控制知识储备。全氢罩式退火生产线生产工序较多、生产工艺复杂。冷轧钢卷退火过程是全氢罩式退火生产线核心生产操作过程。退火工艺中,高精度控制装置是满足当今优质产品市场竞争需要的一种根本手段。经过调研和慎重判断,首钢选择建设全氢罩式退火炉生产线。

本文从首钢建设全氢罩式退火炉必要性为引索,在查阅大量罩式炉设备及退火工艺资料基础上,对退火工艺、退火设备以及退火工序时序进行介绍。结合PLC可编程逻辑控制器等自动控制理论知识,提出并依据DCS集散控制思路设计退火过程控制系统,提出硬件、软件设计方案。在对应首钢冷轧产品工艺曲线优化基础上,提出退火过程核心温度控制参数的控制算法。最后,对设计系统进行安装、调试,最终实现控制系统功能。目前首钢经罩式退火的第一卷钢卷已经下线,本自动化控制系统方案在首钢顺义冷轧公司实际工作中投入使用,取得满意效果。

关键词: 冷轧钢卷; 全氢罩式炉; 退火; 控制系统

The Design and Implementation of Full-hydrogen Bell-type Annealing Furnace Process Control System

Abstract

Steel roll in cold rolling process will produce a work hardening phenomenon which can make it hard and brittle, by annealing recrystallization of steel coil internal organization, rearranged, eliminating cold stress, which will be helpful in plate roll for deep processing. Annealing technology in steel mechanical properties decision plays an important role.

With the development of annealing equipment for decades, cold-rolled strip steel annealing step into a new stage, the current commonly used annealing furnace at home and abroad are the continuous annealing furnace and the batch annealing furnace. Shougang Group in the beginning of this century cold preparations, 2008 May, Shougang cold rolling product to get offline formally put into production, mainly for the continuous annealing products, with continuous annealing control ability and related automatic control knowledge. Full hydrogen bell-type annealing production line, production processes more complicated production process. Cold rolled steel coil in annealing process is all-hydrogen batch annealing production line core production process. Annealing process, high precision control device are to meet today's high quality product market competition requires a fundamental means. After investigation and careful judgment, Shougang choice construction of full hydrogen bell type annealing furnace production line.

This article that from the construction of full hydrogen bell type annealing furnace necessity for rope, in a great deal of bell-type furnace equipment and annealing process on the basis of the data, combined with the PLC programmable logic controller, automatic control theory knowledge, have proposed and based on DCS distributed control designed an annealing process control system, and the system installation, commissioning, final implementation control system function. At present the first batch annealing steel roll steel coil is offline, the automatic control system in Shunyi Shougang cold rolling company have put into use in actual work and have achieved satisfactory effect.

Key words: Cold-rolled steel coils; Full-hydrogen bell-type annealing furnace; Annealing; Automation system

目 录

独创性声明.....I

摘 要.....II

Abstract.....III

第 1 章 绪 论.....1

 1.1 选题背景与研究的必要性.....1

 1.2 罩式炉自动控制现状及发展趋势.....3

 1.2.1 国外现状.....3

 1.2.2 国内现状.....4

 1.2.3 发展趋势.....5

 1.3 本文研究内容.....6

第 2 章 退火工艺介绍.....7

 2.1 冷轧钢卷退火热处理工艺.....7

 2.2 退火热处理工艺要求.....7

 2.3 退火工艺设备简介.....8

 2.3.1 连续退火炉.....8

 2.3.2 罩式退火炉.....8

 2.3.3 两种退火炉区别.....8

 2.3.4 罩式炉结构组成.....9

 2.4 现场退火工艺时序.....13

 2.4.1 退火程序的选定.....13

 2.4.2 内罩夹紧及冷态检漏.....14

 2.4.3 预吹扫.....14

 2.4.4 压力控制.....14

 2.4.5 加热.....15

 2.4.6 冷却机及最终吹扫.....16

 2.5 退火工艺控制系统特点.....17

 2.6 本章小结.....17

第 3 章 控制系统设计.....19

 3.1 控制系统总体设计.....19

3.1.1 控制系统设计思路.....	19
3.1.2 控制系统的基本结构.....	20
3.1.3 控制系统基本功能.....	21
3.1.4 控制系统的设计原则.....	22
3.2 控制系统信号传输.....	23
3.2.1 现场电气仪表设备.....	23
3.2.2 退火过程主要控制信号.....	24
3.2.3 控制信号传输分析.....	25
3.3 控制系统硬件设计.....	26
3.3.1 系统硬件设计方案.....	26
3.3.2 方案设计要点.....	26
3.4 控制系统软件设计.....	27
3.4.1 系统软件设计方案.....	27
3.4.2 方案设计要点.....	28
3.5 退火炉温度控制系统设计.....	29
3.5.1 退火工艺加热制度.....	29
3.5.2 退火温度标准曲线优化.....	31
3.5.3 退火炉温度控制算法.....	34
3.6 本章小结.....	36
第 4 章 控制系统实现.....	37
4.1 控制系统组成.....	37
4.2 控制系统的安装与调试.....	37
4.2.1 控制系统安装.....	38
4.2.2 控制系统调试.....	41
4.3 控制功能实现.....	44
4.3.1 基础控制功能的实现.....	44
4.3.2 过程控制功能的实现.....	46
4.4 系统组态画面.....	48
4.5 本章小结.....	52
第 5 章 结论与展望.....	53
参考文献.....	55
致 谢.....	59

第1章 绪论

钢铁产业是国民经济的重要支柱产业,冷轧钢板在人们的日常生活用中起着举足轻重的作用,从汽车面板、家居电器到高档建筑材料,冷轧钢板在我们日常生活中发挥着越来越重要的作用^[1]。近年来,随着我国汽车工业快速发展,汽车用钢量大幅度增长。2010年,我国汽车产销量已超过1800万辆,2011年上半年累计销量超过930万辆。由于汽车板产品需求增长快,技术含量高,利润率高,国内各大钢厂争相进入这一领域。

冷轧钢板生产的整个工序流程包括酸洗、连轧、电解清洗、退火、平整、精整(横切、纵剪、重卷)、成品包装等部分组成,退火作为整个工序流程中一个重要的中间环节越来越受到关注,同时有关退火环节的退火自动化控制、退火设备、退火工艺成为各冷轧带钢厂十分重视的问题^[2]。

1.1 选题背景与研究的必要性

首钢建设全氢罩式退火炉主要基于以下八点:

(1)罩式退火与连续退火工艺的区别

对于普通冷轧板生产,轧后冷轧钢卷的处理有两种工艺,一种是以罩式炉退火为主线的罩式退火工艺,具体包括由电解脱脂机组、罩式退火炉、单机架平整机、重卷及包装等独立生产机组组成的,以钢卷为单位的分批处理生产流程。而连续退火工艺是将上述分机组处理的脱脂、退火、平整、重卷及包装等工序集结在一条机组上,以单条带钢连续处理的生产流程。

在罩式退火工艺中,强循环全氢罩式退火炉代表现代罩式炉技术最高水平,较传统的 N_2+H_2 罩式炉在退火效率、退火质量上有质的突破,缩短了罩式退火与连续退火的差距,奠定了罩式退火在冷轧钢卷退火中的独立地位。现代罩式退火项目,若没有特别的原因,均选用全氢罩式退火炉。

(2)首钢集团目前生产线的能力不配套,轧机的生产能力远远大于后处理线的能力,致使轧机的生产能力不能充分的发挥,影响企业经济效益。首钢顺义冷轧酸轧机组已留有20万t/a的成品轧制能力,加上现在实际生产的产能提升,预计有30万t/a的富余成品轧制能力,首钢特钢公司由于镀锌市场不好和产能的提升,预计也有30余万t/a富余成品轧制能力,原料供应条件具备。

(3)目前普通冷轧板的需求量大, 首钢顺义冷轧基地连退的生产能力有限, 不能充分满足市场的需要。

(4)首钢顺义冷轧基地镀锌生产线由于受到市场的影响, 产能不能充分发挥, 严重影响首钢冷轧的经济效益。

(5)连退生产的普通和深冲的部分冷轧产品(用于汽车部分)用的热轧原料全部为 IF 钢产品, 产品的原料成本比用铝镇静钢生产的类似产品, 每吨高 300 元, 产品的成本比罩式炉生产的铝镇静钢汽车板要高。连退产品对于宽、薄料的控制存在缺陷, 影响产品的市场开发进程。连退产品需要的批量较大, 对于要求批量小的产品需要罩式炉的支撑。连退产品对于过渡材要求较高, 影响经济效益, 而罩式炉则可以通过合理配炉加以解决。

(6)部分连退生产的产品在产线运行中由于各种因素的影响不能平整, 需要进行离线平整来支持。

(7)罩式炉生产的产品对于性能要求较高的深冲产品具有优势, 需要加以补充。

(8)由于产能的影响, 将严重影响首钢冷轧的成本水平。

罩式退火在生产灵活性, 产品规格限制小, 利用常规钢种生产优质、低成本深冲及超深冲产品等方面有其独特性, 作为大型钢铁企业及其连续退火的补充是有必要的。首钢集团现有顺义、特钢、曹妃甸、迁安四个冷轧基地, 却没有罩式退火生产线, 根据罩式退火的特性及国内罩式炉应用情况, 首钢有必要至少在一个点考虑建设罩式退火生产线, 特别是如首钢顺义冷轧这样已经具备过剩轧制能力的情况需建设罩式退火炉生产线。

基于以下课题研究意义, 有必要展开本论文的研究。

(1)冷轧钢卷退火过程是退火炉生产线的核心生产过程, 作为一向以长材为强项的首钢, 其板材生产起步较晚, 本文研究退火过程控制系统设计与实现作为企业基础资料留存。

(2)目前国内对全氢炉退火技术的使用情况来看, 在国内各钢铁企业, 如宝钢、武钢、鞍钢等各大钢铁企业, 还没有完全掌握全氢炉退火过程的核心技术, 特别是温度模型算法技术; 而国外引进软件也由于知识产权问题和炉型适用性问题无法推广普及。这就导致了在高技术、高附加值产品的进一步开发过程中, 无法自主地确定退火工艺过程, 也无法对罩式炉车间进行优化调度。

(3)本文基于退火过程控制系统设计与实现研究, 以完成首钢自产冷轧钢卷

退火工艺曲线目标为目的,对退火过程温度控制算法提出控制设计方案,并最终实现控制系统,对国内钢铁行业开发适合我国使用的全氢罩式炉具有一定意义。

(4)本文对设计方案进行安装、调试,实现退火过程控制功能,并投入实际应用中,降低企业生产成本,并通过系统反馈信息为企业经营决策提供依据。

(5)本文通过控制系统设计与实现,对于专业学科的横向连接,“控制懂工艺、工艺懂控制”具有一定推动作用。

1.2 罩式炉自动控制现状及发展趋势

罩式退火炉作为轧钢企业主要设备之一,处于极为关键的位置,直接影响产品的质量、产量和成本。退火炉自动化恰恰在提高生产率、改善质量和节约能源上有举足轻重的意义,因此,国内外对此已经进行了大量的研究^[3-11]。

1.2.1 国外现状

70年代初奥地利EBNER公司开发了高对流全氢(HICON/H₂)罩式退火炉。最初只用于铜材退火,70年代末首次用于钢铁工业,80年代以来被大量用于冷轧板卷光亮退火。之后,德国LOI公司也开发了这种强对流和全氢气为特色的罩式炉,称为HPH(High Performance Hydrogen)罩式炉^[12],1984年首次使用,之后也大批投入市场。进入90年代,法国S.H公司和日本中外炉公司也相继开发了全氢炉,之后很多国家引进或开发了全氢炉技术。由于这种工艺使得退火的加热速度和冷却速度要比传统混氢工艺的退火要高50%左右,同时还可以使钢卷内部和外部的温度分布更均匀,并有助于提高钢板表面的清洁度,所以逐渐代替了以95%的N₂和5%左右的H₂。

随着全氢罩式炉不断发展改进的同时,现代控制理论也在不断发展。上世纪70年代以来,发展了一类新型计算机控制算法即预测控制,它在复杂工业过程中得到了成功应用,由于它突破了传统思想的约束,采用了预测模型、滚动优化、反馈校正和多步预测等新的控制设备,获取了更多的系统运行信息,因而使控制效果和产品性能得以提高。在控制技术日益提高的同时,退火工艺也在不断改进。上世纪80年代以后,全氢罩式退火炉在世界范围的冷轧薄板退火领域受到了广泛的关注,并在一些发达国家得到广泛应用,极大地改善了退火产品的质量^[13-17]。

德国 KLOCKNER 冷轧厂为了解决不锈钢退火的质量问题，于 90 年代改建了 47 座全氢罩式退火炉。由于全氢罩式炉中的保护气体为纯氢气，因此，全氢罩式炉在设备、工艺与控制上较传统罩式炉更复杂，对控制系统的可靠性、安全性要求更高，增加了更多的安全连锁控制装置。其优势在于提高了生产效率，并且很大程度上提高了产品质量，提高了产品成材率和产品性能。表 1.1 为退火炉控制在国外的研究现状^[9]。

表 1.1 退火炉控制在国外的研究现状
Table. 1.1 Annealing furnace control in research

公司名称	所用机型	研究内容
日本 KASHIMA 钢厂	PLC	钢坯出炉温度计算、钢温预报、空燃比控制、炉温最优控制
瑞典 DOMNARVET 厂	PLC	确定最佳加热区县和炉温控制
美国 DOFASCO 公司	I 级：PLC 控制器	空燃比控制、炉温控制、钢温
	HONEYWELL TDC3000	预报、炉温设定值调节、设备
美国 CONSHOHOCHEN 厂	II 级：DEC VAX8350	诊断、系统报警记录报告
	DEC MICRO VAXIII	空燃比控制、炉压控制、设定值选择、生产调度模型

1.2.2 国内现状

80 年代末、90 年代初，随着国外全氢炉生产工艺、控制技术的成熟，鞍钢经过反复论证和比较首先引进了全氢强对流罩式炉^[18]，实践表明，使用效果非常好，这也带动了我国罩式炉技术的又一次飞跃。鞍钢冷轧厂 50 年代由苏联设计、制造的罩式炉代表了当时的国际水平，继鞍钢之后，上海益昌钢厂、本钢、武钢、攀钢、宝钢、海南钢厂等单位也相继引进强对流全氢罩式炉。一些地方企业也纷纷消化移植这项先进技术，开发了许多小型电加热全氢炉。这使我国冷轧板卷退火质量有了普遍的、大幅度的提高^[19]。以 2010 年为截止时间，五年来国内共计国外引进及国内设计制造 1290 座全氢罩式退火炉。目前国内退火炉控制系统的研究现状如下^[20]：

(1)采用先进的控制设备

工业控制机、可编程控制器及集散系统等先进控制系统的发展，渐渐取代了以前大规模的继电器、模拟式仪表。无论是 PLC 还是 DCS，软件编程均较简单，语言无须专门编程人员就可自行编制，并且不但能独立使用，更重要的是其通讯

能力较强，便于联网。

(2)采用新的控制方法

对传统的负反馈、单一 PID 控制系统做了多种补充从而使控制性能更好。在以前的控制系统中，处理燃料与空气的关系通常采用配比调节，这种配比关系难以保证充分燃烧。特别是在燃烧负荷发生变化的情况下，更无法保持最佳配比。为解决这些问题，产生了单交叉限幅法、双交叉限幅法、改进型双交叉限幅法等控制方法。

(3)现代控制理论的应用

越来越多的控制系统采用现代控制理论、最优控制、自适应控制、自校正控制器、自整定 PID 参数的控制器，有些已成功地在工业中应用。如太钢公司罩式退火炉微型机自适应群控系统就是使用现代控制理论中输出跟踪自适应控制技术，系统精度由原来的 10℃提高到目前的 3℃。总之，微型机的使用，为复杂的现代控制理论的工业应用创造了条件。

(4)管理系统的应用

除了传统的闭环控制以外，退火炉也使用上位机进行管理。罩式退火炉群通常每个炉子有加热罩、内罩、冷却罩，现代退火车间均采用计算机调度、合理指导具体炉台装钢板，并使用刚取下的加热罩等等，以节省燃料、提高效率。

2011 年 11 月 2 日，由冶金机电标准化委员会在江苏靖江组织召开《冶金用全氢罩式退火炉》行业标准审定会，通过国内的《冶金用全氢罩式退火炉》行业标准，为国内全氢罩式退火炉进一步发展提供了技术依据。

1.2.3 发展趋势

(1)结合罩式炉结构及退火工艺开发计算机潜能，发展 PID 控制技术，打造既懂得退火工艺又能维护计算机的专业人才^[21]。

(2)有必要有效地把退火炉的工艺特点和实验数据结合起来形成一种新的模型结构，并利用机理模型和热平衡计算来修正实验模型使之能适应工况及炉体的不断变化。

(3)降低硬件成本，加快集散控制系统在罩式炉上的应用，同时重视检测和执行机构的研制和改进等。

(4)改进设定值优化策略和控制结构，更好地从控制策略上减少由于对象特性慢时变而引起的不确定性影响，从而进一步提高控制精度。

1.3 本文研究内容

首钢集团正在北京顺义冷轧基地建设以罩式炉退火技术为退火工序的后处理线工程,本文以首钢全氢罩式退火炉生产线建设为背景,依次介绍了国内外现阶段冷轧钢卷罩式退火自动控制现状及发展趋势,介绍退火工艺制度、退火工艺时序;提出退火过程控制系统设计思路,依据设计思路对系统软硬件进行设计;对工艺曲线进行优化,并依据优化工艺曲线对温度控制算法进行研究;针对设计方案进行系统安装与调试并对相关工作要点进行分析,详细描述系统系统功能,最后截取生产实际画面以验证系统设计方案和系统功能有效性,实现全氢罩式炉冷轧钢卷退火过程自动化控制系统。本文主要开展以下几项工作:

(1) 控制系统设计

依据 DCS 集散控制系统设计思路,分析设计思路组成及系统特点,分析控制系统信号传输过程,对系统软硬件进行设计,并分析了软硬件设计要点。

(2) 温度控制算法研究

基于对全氢罩式炉结构分析,在充分理解退火原理基础上对原有工艺曲线进行优化,对串级比例并交叉限幅双辅助 PI 与脉冲燃烧控制相结合的方式实现温度控制方案进行研究。

(3) 系统实现

作为课题落脚点,对基于 DCS 设计思路的全氢罩式炉退火控制系统进行安装与调试,分析了系统安装、调试要点,对调试后的系统功能进行详细描述,最后截取生产实际画面验证设计方案合理性、温度控制算法正确性、系统功能有效性。目前本控制系统已应用到首钢顺义冷轧公司罩退生产过程中,取得良好效果。

第2章 退火工艺介绍

2.1 冷轧钢卷退火热处理工艺

钢材经过冷轧变形后,金属内部组织产生晶粒拉长、经历破碎和晶体缺陷大量存在现象,导致金属内部自由能升高,处于不稳定状态,具有自发地恢复到比较完整、规则和自由能低的稳定平衡状态的趋势^[2]。然而在室温下,金属的原子动能小,扩散能力差,扩散速度小,这种自发倾向无法实现,必须施加推动力,这种推动力就是通过退火热处理,使原子获得足够的扩散动能,消除晶格畸变,获得所要求的机械性能和使用性能。退火就是将冷塑性变形的金属加热到再结晶温度以上, A_{cl} 以下,经保温冷却,以获得接近平衡状态组织的热处理工艺。退火热处理操作往往是冷轧钢卷生产操作化学工艺的最后工序,一旦处理的质量不高或报废,就会前功尽弃。随着科学技术的发展,人们对冷轧钢卷的质量要求不断提高,退火热处理工艺日益显示出其重要地位。

2.2 退火热处理工艺要求

冷轧钢卷退火,是为了消除冷轧引起的加工硬化,并尽可能使带钢重新具有良好的机械性能,特别是其在深冲和拉延等后续加工过程中具有良好的可塑性^[22]。生产冷轧带钢用的钢种根据炼钢水平的发展可分为三类:碳素钢、低碳优质镇静钢和低合金钢。根据钢的化学成分、加工方式以及用途不同,它们的热处理退火工艺也各有特点和要求。冷轧钢卷的退火是在退火炉中进行的,根据冷轧带钢钢种的不同要求,对退火炉的退火工艺与设备有下列基本要求:

- (1)在退火过程中,钢卷应尽可能快速、均匀加热;
- (2)钢卷在保温过程中,钢卷各点的温度差要尽可能小;
- (3)钢卷在保温结束后,要尽快冷却到额定温度;
- (4)经过退火后的钢卷,表面要求光亮、无碳污染及氧化色;
- (5)应尽可能减少热消耗,提高加热效率,降低保护气体和冷却水的消耗;
- (6)操作方法应尽可能简单并安全可靠;
- (7)故障检测简便,维修方便等。

2.3 退火工艺设备简介

2.3.1 连续退火炉

早在20世纪30年代,国外便研制了多种带钢连续再结晶的卧式退火炉^[23-26]。带钢在连续退火炉中的热处理工艺一般是:带钢冷轧后,经开卷、碱洗、电解清洗、冲洗、烘干等程序,直接连续地通过退火炉,在炉内保护气氛下,加热到约700℃后,便很快完成了再结晶过程。接着先缓冷再快冷,出炉后,再进行卷曲,整个过程形成一条连续的流水线。但是这种退火生产在进行退火之前的电解清洗以及退火后的冷却、平整和检查等工序时,都需将带钢卷开卷,加工后重卷,而且各工序之间需将带钢卷暂时堆放,这样就降低了生产率,因此,20世纪70年代初日本研制了一种新的生产工艺,它把电解清洗、退火、钢卷冷却、调质轧制和精整检查等5个单独的生产工序联结成一条生产机组,实现了连续化生产,这种连续生产线称作连续退火机组,实际应用中提高了生产效率,降低了成本,因此成为连续退火炉发展的一种趋势。2008年,首钢顺义冷轧投产,形成年80万吨连退产品产能。

2.3.2 罩式退火炉

由于带钢在冷轧过程中常常以成卷的形式在工序间进行传递,所以其热处理长期以来使用的是罩式退火炉。通常一炉堆垛3~6个钢卷,各钢卷之间隔以对流板,扣上内罩、加热罩,用煤气、油、天然气或电进行加热。加热完成后移走加热罩,进行冷却。冷却方式有空气冷却、快速冷却等;内罩中通有保护气体,一方面保护带钢不被氧化,另一方面促进对流传热。保护气体一般为氮气、氮氢混合气和纯氢气三种形式,目前普遍以纯氢气作为保护气体。

2.3.3 两种退火炉区别

生产工艺方面,由于全氢罩式退火炉是冷轧钢卷以带有少量残余乳化液的状态,未作脱脂便送入罩式退火炉进行退火处理,设备布置空间大,生产周期长,但产品规格和产量变化灵活性强。连续退火线占地面积小,生产周期短,但产品规格范围覆盖面不宜太宽,产量不宜太低。

品种性能方面,全氢罩式退火炉通常适合小批量、多品种生产。连续退火通常适合大批量、少品种生产,生产厚规格(大于2.5mm)产品有困难,规格范围太

宽将增加控制难度。

深冲性方面,对于铝镇静钢而言,一般用全氢罩式退火比用连续退火质量要优,其机械性能均匀,塑性应变比 r 值、加工硬化指数 n 值一般都能高于连续退火的产品。连续退火工艺是以严格控制钢的成份为基础的,炼钢工序中需低碳、低锰,磷、硫等杂质含量要低,而这些控制技术难度高,工艺操作复杂。国外(日本等)IF钢的退火主要采用连续退火工艺,国内IF钢的退火则主要采用全氢罩式退火工艺。

灵活性方面,全氢罩式退火炉体积小,分批处理,自成系统,炉台数量可随品种和产量变化随时增减,十分灵活。连续退火炉穿带一次要用上千米钢带,更换品种要一定的调整时间和一定量的过度钢带,适合大批量生产,小批量生产不合算。

全氢罩式退火和连续退火相比,全氢罩式退火具有生产软质钢板的优势,生产灵活,建设投资少,适合小批量、多品种生产,尤其对于一些特殊性能钢的特殊工艺需求,罩式退火炉更能显示出其优越性。而对于这样有特殊要求的退火工艺,连续退火炉无能为力,因为带钢在连续退火时,带钢高速穿过炉区,单层带钢得到快速升温,接着又快速冷却,这种退火工艺制度无法满足特殊性能钢的组织变化要求。但连续退火能生产连续化,生产周期短,适合大批量、少品种生产。今后相当长一段时期内全氢罩式退火和连续退火将同时并存,两种退火工艺优势互补^[27-31]。

2.3.4 罩式炉结构组成

一般罩式退火炉由炉台、加热罩、内罩及冷却罩四个基本部分组成,如图2.1所示,同时还包括其它控制设备,以下对罩式退火炉的结构进行分析,以说明各部分在退火过程中所发挥的作用。

(1) 炉台

炉台是罩式炉永久性主体设备。由于炉台要承受钢卷垛和内罩的全部重量,因此从炉台结构要求炉台具备承载能力、抵抗反复加热和冷却变形的能力;由于炉台要与内罩形成一个密封工作空间,并且要求保证一定压力,作为钢卷退火的工作空间,因此要求炉台具备密封性好、绝热性好、蓄热小以及结构简单等特点。图2.2是炉台简单的结构示意图:

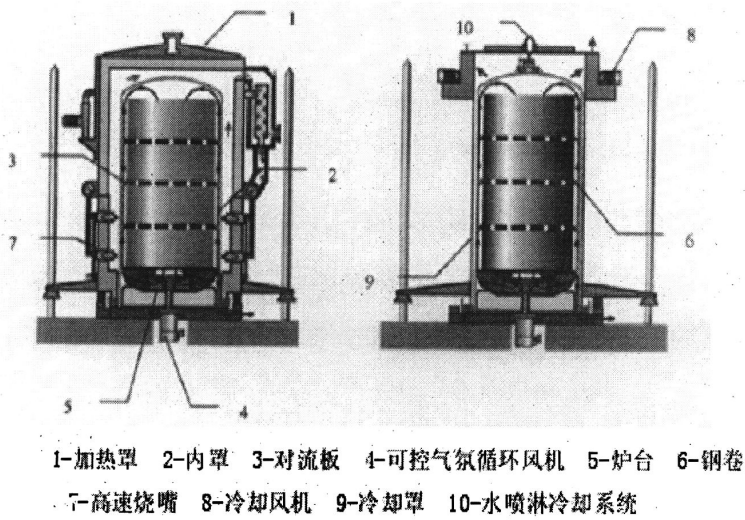


图 2.1 全氢罩式炉结构
Fig.2.1 Full-hydrogen bell-type annealing furnace structure

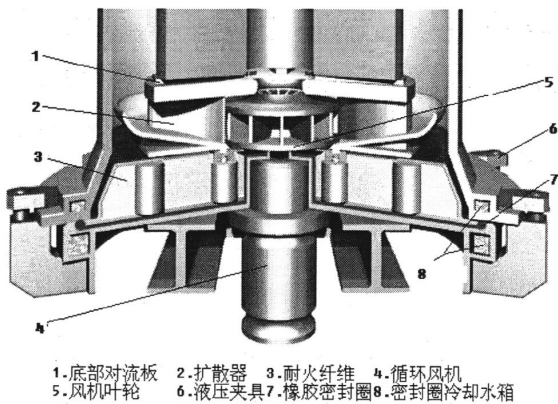


图 2.2 炉台结构
Fig.2.2 Table structures

炉台主要由炉台钢结构、扩散器、底部对流板、炉台循环风机、液压夹紧装置及其它附属部件等组成。

(2)加热罩

加热罩是罩式炉车间的主要设备，它与内罩形成一个燃烧室。加热罩主要几何尺寸是由钢卷的最大外径和钢垛的最大高度决定的。其主要由钢结构金属壳体、炉顶横梁和导向孔、燃烧系统以及炉内炉衬组成。加热罩的结构简图如2.3所示：

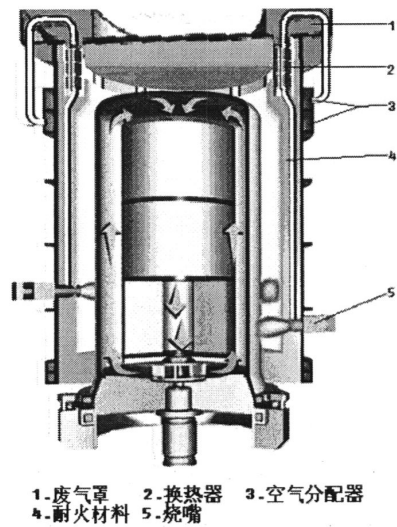


图 2.3 加热罩
Figure 2.3 Heating cover

(3)内罩

内罩又称为保护罩，生产时内罩位于钢卷垛与加热罩之间，罩式炉通过内罩对钢卷进行间接加热或冷却,其主要作用是保护钢卷在保护气体中退火，保证内罩内保护气体具有一定的压力，防止保护气体的泄漏和外部侵入。图2.4是内罩结构图。

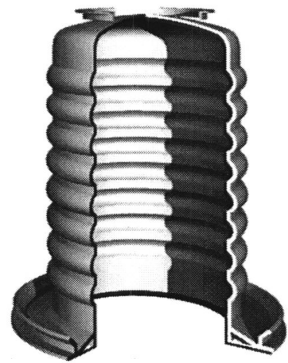


图 2.4 内罩
Fig.2.4 Internal cover

内罩采用耐热钢板焊接而成，底部法兰与内罩焊接成一体，法兰上装有冷却水接头及排放管线，冷却水用以冷却法兰，防止温度过高，损坏炉台上的硅橡胶密封圈。内罩以前采用平面结构，现在大部分内罩采用横波纹设计，这种设计主要是保证水能均匀并稳定地布满整个内罩，同时可以抵抗径向热变形能力，提高内罩使用寿命，增加传热面积，缩短加热和冷却时间，从而提高炉台小时产量。

(4)冷却罩

冷却罩在退火过程中起快速冷却的作用，使钢卷较快达到出炉温度，以提高

设备的利用率。主要由钢结构和钢板壳(壳外涂有特殊的耐腐蚀高热辐射涂料)、不锈钢结构的喷淋装置(包括冷却水管路)、起重装置等组成。图2.5为冷却罩结构简图。

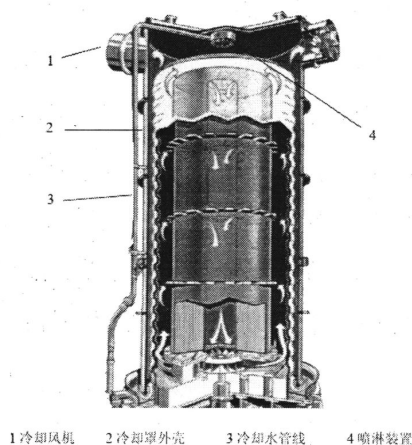


图 2.5 冷却罩
Fig.2.5 Cooling cover

全氢罩式炉有三种冷却方式：分流式快速冷却、喷水冷却及喷射冷却^{[32][33]}。

(a)分流式快速冷却系统

该冷却系统的基本原理是在炉外安装一套与炉内气氛相通的密封循环系统；内罩外安装冷却罩，其顶部的冷却循环风机对内罩进行风冷。当炉内温度降至 550℃时，循环系统中的快冷风机自动工作，将炉内气氛抽进分流式快速冷却系统，通过气/水热交换器冷却至 50℃以下，再进入炉内。

(b)喷水冷却系统

喷水冷却系统比较简单，喷水嘴安装在冷却罩顶部，而冷却循环风机则在冷却罩的侧顶端。当冷却循环风机将内罩表面温度降至 100~200℃，炉内温度低于 350℃时，炉台循环风机和冷却循环风机停止工作，随即启动喷水系统，并持续到冷却过程结束。

(c)喷射冷却系统

喷射冷却的工作原理是在加热结束后扣上喷射冷却罩，从冷却罩罩体上的切向开孔中通过喷射风机向冷却罩和内罩壁之间喷射空气使内罩快速降温。

(d)阀站

阀站的主要作用是对各个通过炉台的公辅介质进行控制。阀站的结构简图如图2.6所示。

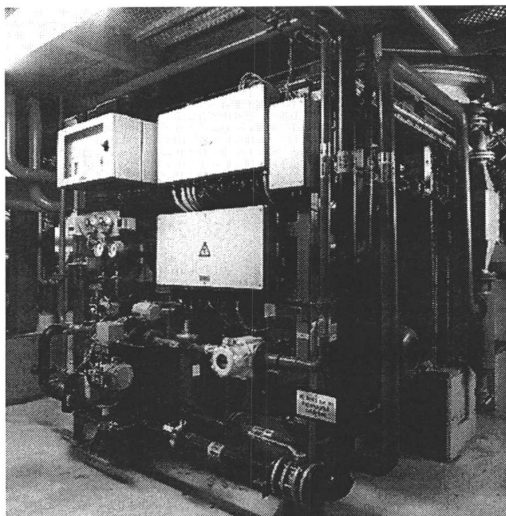


图 2.6 阀站
Fig2.6 Valve station

阀站主要由以下部件组成：

- (a)用于控制氢气的仪表、阀门，例如球阀、电磁阀、取样连接点。热密性和冷密封性测试的安全装置。
- (b)用于吹扫的氮气活塞阀、辅助蝶阀、压力指示器。
- (c)用于煤气的装置，例如滤芯、蝶阀、密封性测试装置等。
- (d)蓄能器，保证车间在断电情况下，液压夹具仍能夹紧内罩，保证内罩的密封。
- (e)用于监控吹扫的氧化锆传感器。
- (f)氮气、氢气测量装置。

2.4 现场退火工艺时序

2.4.1 退火程序的选定

待退火钢卷必须选用相应的退火程序。正常生产时，退火程序从存放有操作、维护程序的过程控制计算机处发送到基础自动控制系统中，自动控制系统将该程序保存下来，直到又接收到新的退火程序为止。退火程序由下列参数组成：

- (1)一般参数：
 - (a)加热罩温度(温度上限)；
 - (b)冷却空气类型；
 - (c)冷却水系统启动温度。
- (2)温度程序。

(3)保护气程序。

2.4.2 内罩夹紧及冷态检漏

炉台装了钢卷，对流板夹在中间之后，内罩就要放在炉台上并与下面水冷炉台密封件夹在一起，炉台通过液压夹紧机构与水冷炉台扣接在一起，形成有效的密封。内罩通过液压缸与炉台法兰密封夹紧，将料室空间密封起来。当达到要求的夹紧压力之后，自动控制系统会通过 HMI 或其他方式告知操作者“内罩已夹紧”。

内罩夹紧后就可环境温度下自动进行检漏试验。内罩内部的压力会自动调整到 50mbar 左右，并将所有的入口和出口阀全部关闭。料室空间的压力随着氮气源和其他所有阀的关闭而升高。如果内部压力在一定时间内下降到指定值以下，这说明料室空间有泄漏；如果不泄漏，自动控制系统会通过 HMI 或其他方式告知操作者“料室空间无泄漏”。

2.4.3 预吹扫

如果料室空间检查没有泄漏，那么设备就会自动用氮气进行吹扫，流量为 120m³/h 左右，吹扫 40 分钟。吹扫过程中，吹扫的时间和流量会自动监测，吹扫过程中使用的氮气总量由透平式仪表记录下来，氧气含量由氧气传感器测定(氧含量必须低于 1%)。吹扫过程结束后，随后炉台进行退火作业，但要把加热罩一直罩在上面，直到对关闭的氢气阀用隔离性气体进行了密封检查后才能调开。这个过程的执行是自动进行的，并在 PLC 上进行连续监控。此时，氢保护气开始送入，钢卷的加热、冷却则与选定的退火程序保持一致。氢气流量允许有一定的调节范围(范围为 5-24m³/h，调节档为 m³/h)，与氢气流量有关的退火过程将由一个集成的 PID 控制回路控制，因此，即使料室空间出现不同的压力情况也能精确地保证氢气流量。在加热升温的初始阶段(0.5~1 小时)可以使用氮气(流量为 24m³/h)，从而最大限度地减少氢气的耗用量。调试过程中可通过实物将实际流量和时间测定下来，以应用于后续退火过程。

2.4.4 压力控制

生产过程中为使内罩中获得高于环境压力的某一压力范围，料室空间的压力采用自动控制方式。如果料室空间的压力降到安全极限以下，氮气管道的自动阀

将会自动打开,同时,排气管道和工艺保护气管道中的阀就会关闭。随后,料室空间的压力就会在氮气条件下建立起来。

压力控制系统提供两个独立的监控组:

- 1 组: 压力开关, 脱开, 控制继电器;
- 2 组: 压力传感器, 模拟 PLC 输入, 软件极限值。

2.4.5 加热

加热罩燃烧系统由 12 个高速烧嘴组成, 烧嘴在加热罩周边布置, 并由一个装在过程燃烧系统中的 19 号监控系统控制, UV—传感器作为火焰检测器使用。每次火焰不正常或烧嘴出现故障等异常情况都会单独记录下来。如果必要, 烧嘴还可进行旁通; 在减少一个烧嘴的情况下, 退火作业仍可继续进行。加热过程由两个监控回路监控:

一个由 PLC 监控, 另一个由单独设置的温度监测器监测。

温度控制: 本系统设有两个温度控制器(分别用于加热罩和炉台)以便控制火焰大小范围, 另外还有两个控制器(分别用于加热罩和炉台)控制开/关范围。加热罩和炉台控制器之间的切换要根据设定值与实际温度的对比情况进行。从大小连续控制到开/关控制的切换由电气阀上的微型开关触发。

大小连续控制: 如果在用的加热罩(或炉台)控制器发出有“open”信号, 电气阀则会打开; 如果在用的控制器发出有“close”信号, 该阀则会渐渐关闭。在加热罩的控制站中装有按钮式手动/自动方式开关以便手动调节电磁阀。

温度测量: 炉台上的温度和加热罩内的温度用 NiCr—Ni DIN 热电偶测量, 测量信号通过模拟输入模块送到 PLC 上。

温度监控: 加热罩有一个专门设置的极限温度控制器保护, 该控制器设置到加热罩所能达到的最大温度。此外, 如果加热罩的温度超过其设定温度 10℃, 燃烧系统就会自动切断。为了保护炉内钢卷, 如果炉台温度超过了设定温度 5℃, 燃烧系统立即切断。

燃烧系统的比例控制: 电气蝶阀(助燃空气)由燃烧室/料室空间的温度调节器进行驱动和调节。差压(压降)通过测量孔板传递到差压变送器上, 并将其转换成输出模拟信号(mA), 燃气电磁阀根据助燃空气的流量来调节。

为获得最佳的燃烧比例, 要对助燃空气孔板和燃气孔板处的压差进行测量, 从各个变送器传来的信号要传输到控制系统中, 控制系统对量值进行比较。然后

再调节电气阀,使之能获得必要的燃气流量,这些保证了烧嘴能恰如其分的工作。

燃烧系统的安全设备:

(1)燃气蝶阀的漏气试验:燃烧系统接通后,漏气检测仪(一种技术成熟的仪器)就会对燃气蝶阀和燃气偶接件进行漏气试验。

(2)燃烧室的预吹扫:燃烧系统接通后,要用空气对燃烧系统进行预吹扫。吹扫时间由定时继电器监测;并由 PLC 检查该继电器是否正常工作。

(3)燃烧系统:每个烧嘴由一个燃烧保障系统进行监测,当点火出现故障或火焰熄灭时,该保障系统能自动关闭烧嘴阀门。

(4)温度过高监测:当加热罩的温度上升到高于设定的极限时,极限温度控制器(另一套系统,与温度控制系统无关)将燃烧系统关断。

2.4.6 冷却机及最终吹扫

在保温过程即将结束前,会在该温度上自动进行检漏;在料室空间未发现漏气的前提下,将加热罩从炉台上吊起来,然后罩在另一个炉台上给钢卷加热。检漏试验在加热结束前 18 分钟开始,其工作程序与室温条件下的检漏一样,由于在退火温度下氢气密度比较小,故检漏要在早期阶段进行。

加热结束后,将冷却罩放在处于保温温度的内罩上(刚开始保温的钢卷),随后该批钢卷就会在风/水联合冷却系统的作用下以很快地速度冷却到 160℃左右(钢卷的热点温度)。冷却过程一旦开始,冷却罩顶部的径向离心式风机就开始将冷空气从下到上经过热内罩抽出来。可将内罩表面温度冷却到 200℃以下,以避免在后续工序喷水时可能出现的热急变,其使用寿命得以延长。初期阶段的风冷还可预防内罩在喷水时出现蒸汽过多的现象。在风冷阶段,炉台风机也一直在工作(在冷却程序选定的情况下),过了一定的时间后(一般为 5 个小时左右,按温度条件定义,具体持续时间视冷却条件而定),冷却风机就会自动切断。此时,开始喷水,在内部对流的情况下,热量转移到内罩上,水流经内罩时将热量迅速带走。整个冷却过程是自动进行的。

冷却结束时,炉台区要用氮气进行吹扫,将冷却罩和内罩吊开,再将钢卷移走,炉台准备下批次退火。炉台区的氢气要用氮气(大流量)赶走,该吹扫过程的运行和监测与预吹扫一样。

2.5 退火工艺控制系统特点

根据上述退火工艺要求、退火工艺设备和退火工艺时序介绍,全氢罩式炉退火工艺过程控制主要有以下特点:

(1) 模拟量多

大部分冶金工业加热炉,过程控制的目的是要保证炉内的温度、压力及流量等各个参数达到目标值,于是整个控制过程都不可避免的对温度、压力、流量进行实时测量监控,而且随着过程的变化,又要启动不同部位的相关量的测量,所以整个过程中会产生很多模拟量。

(2) 高效的自动保护

罩式退火炉早期燃料为高炉煤气,现在一般采用天然气等,同时内部采用氢气作为保护气体,因此对系统的自动保护功能提出了很高的要求,在可能发生事故前后,甚至是在事故当中,自动采取保护措施,以防止事故发生或扩大;例如发现料室空间压力不正常或烧嘴故障,立刻报警停火等待处理。

(3) 多采用顺序控制

多数冶金工业炉的控制都要求控制系统根据预先设定的程序及条件,自动地对设备进行一系列操作,整个工艺流程都体现了这点;如必须先吹扫,才可以点火;点火时还必须先打开空气阀,吹扫到安全范围后再打开煤气阀;出现故障后必须先关闭煤气阀再关闭空气阀等等。

(4) 精确调节难

罩式退火炉的生产过程是动态的,是一个大惯性、非线性、干扰多的系统,很难建立准确的数学模型对其实现精确控制。尤其温度控制,始终处于一种不稳定的变化过程中,受各种因素的干扰和影响大,过程响应比较滞后,因此实现精确控制很难,对控制器和控制参数设定的精度要求高。尤其在保温阶段,只要实际温度在设定温度附近波动,不超出温度许可范围,就符合要求,不需要完全与设定值一致,实际生产也做不到。

综合以上特点,罩式退火炉工作过程中,必须有严格的测量监控系统、准确的程序算法、可靠的安全防护措施,以实现冷轧钢卷退火过程的自动化。

2.6 本章小结

本章主要介绍退火炉的生产工艺。首先对冷轧钢卷退火热处理工艺与要求做了概括性的说明,其次详细介绍了退火生产设备,尤其是罩式退火炉的各部分组

成结构分别进行了介绍，并对现场生产过程中的内罩夹紧及冷态检漏、预吹扫、压力控制、加热、冷却机最终吹扫工序等分别进行了分析与介绍，最后根据工艺要求、工艺设备及工艺时序控制归纳总结控制系统特点。

第3章 控制系统设计

过程控制是指以温度、压力、流量、液位和成分等工艺参数作为被控变量的自动控制。具体通过过程控制装置实现对生产过程的获取、观察、转换、处理(计量、调节、控制),从而解释生产过程物质运动和能量交换。在信息技术发展的今天,过程控制系统集成与计算机技术、通讯网络技术息息相关,伴随着控制系统结构、控制装置以及通讯方式的更新换代,过程控制大踏步带动了退火工业自动化控制技术发展^[34-38]。

3.1 控制系统总体设计

3.1.1 控制系统设计思路

DCS 集散控制系统其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活、组态方便,系统一般有以下四部分组成^[39-43]:

(1) 现场控制级

又称数据采集装置,主要是将过程非控变量进行数据采集和预处理,而且对实时数据进一步加工处理,供操作站显示和打印,从而实现开环监视,并将采集到的数据传输到监控计算机。输出装置在有上位机的情况下,能以开关量或者模拟量信号的方式,向终端元件输出计算机控制命令。

这一个级别直接面对现场,跟现场过程相连。比如阀门、电机、各类传感器、变送器、执行机构等等。它们都是工业现场的基础设备、同样也是 DCS 的基础。在 DCS 系统中,这一级别的功能就是服从上位机发来的命令,同时向上位机反馈执行的情况。拿军队来举例的话,可以形容为最底层的士兵。它们只要能准确地服从命令,并且准确地向上级汇报情况即完成使命。至于它与上位机交流,就是通过模拟信号或者现场总线的数字信号。由于模拟信号在传递的过程或多或少存在一些失真或者受到干扰,所以目前流行的是通过现场总线来进行 DCS 信号的传递。

(2) 过程控制级

又称现场控制单元或基本控制器,是 DCS 系统中的核心部分。生产工艺的调节都是靠它来实现。比如阀门的开闭调节、顺序控制、连续控制等等。

上面说到现场控制级是“士兵”，那么给它发号施令的就是过程控制级了。它接受现场控制级传来的信号，按照工艺要求进行控制规律运算，然后将结果作为控制信号发给现场控制级的设备。所以，过程控制级要具备聪明的大脑，能将“士兵”反馈的军情进行分析，然后做出命令，以使“士兵”能打赢“战争”。这个级别不是最高的，相当于军队里的“中尉”。它也一样必须将现场的情况反馈给更高级别的“上校”也就是下面讲的过程管理级。

(3) 过程管理级

DCS 的人机接口装置，普遍配有高分辨率、大屏幕的色彩屏幕、操作者键盘、打印机、大容量存储器等。操作员通过操作站选择各种操作和监视生产情况、这个级别是操作人员跟 DCS 交换信息的平台。是 DCS 的核心显示、操作跟管理装置。操作人员通过操作站来监视和控制生产过程，可以通过屏幕了解到生产运行情况，了解每个过程变量的数字跟状态。

这一级别在军队中算是很高的“上校”了。它所掌握的“大权”可以根据需要随时进行手动自动切换、修改设定值，调整控制信号、操纵现场设备，以实现生产过程的控制。

(4) 经营管理级

又称上位机，功能强、速度快、容量大。通过专门的通信接口与高速数据通路相连，综合监视系统各单元，管理全系统的所有信息。它的权限很大，可以监视各部门的运行情况，利用历史数据和实时数据预测可能发生各种情况，从企业全局利益出发，帮助企业管理人员进行决策，帮助企业实现其计划目标。

这是整个自动化系统的最高一层。只有大规模的集散控制系统才具备这一级。相当于军队中的“元帅”，他们所面向的使用者是厂长、经理、总工程师等行政管理或运行管理人员。

冷轧钢卷退火作为冷轧钢板生产的整个工序流程中核心中间环节，其退火自动化控制成为各大钢厂十分重视并且花大力气投资研究的问题，本文冷轧钢卷退火过程控制主要涉及现场控制和过程控制级，不涵盖过程管理及经营管理级。

3.1.2 控制系统的基本结构

以实现退火工艺制度为目的，基于 DCS 控制系统设计思路，全氢罩式炉退火过程控制系统分为基础自动控制和过程自动控制两部分。两级自动化系统进行通讯、网络连接介质采用 100Mbit/s 光纤电缆，通讯协议采用面向连接的 TCP/IP

协议，通讯报文采用二进制格式。基础自动化 PLC 并不直接连接到现场单元，而是采用智能终端(远程 I/O)完成连接。远程 I/O 和 PLC 之间采用现场总线连接。图 3.1 为退火控制系统拓扑结构。

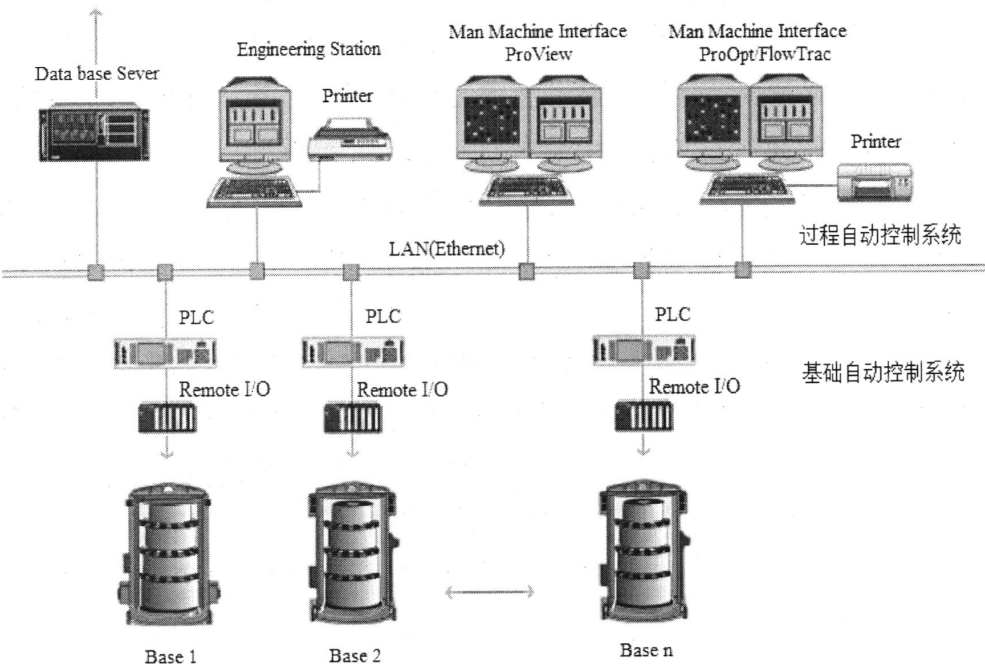


图 3.1 退火过程控制系统拓扑结构图
Fig.3.1 Annealing process control system topological structure

3.1.3 控制系统基本功能

基础自动化是一个完整的电-仪一体化的控制系统。如图 3.2，主要由 PLC、远程 I/O、通讯网路和 HMI 组成，其主要功能包括各个机组的各种传动控制、工艺和仪表控制的开环和闭环控制、采集各个机组的重要状态信息、质量数据和消耗量数据、并报送过程自动控制系统(包括接受过程控制系统计算机的设定值和发送实际过程数据给过程控制系统)、提供罩退生产操作工 HMI、方便生产线的操作和维护等。

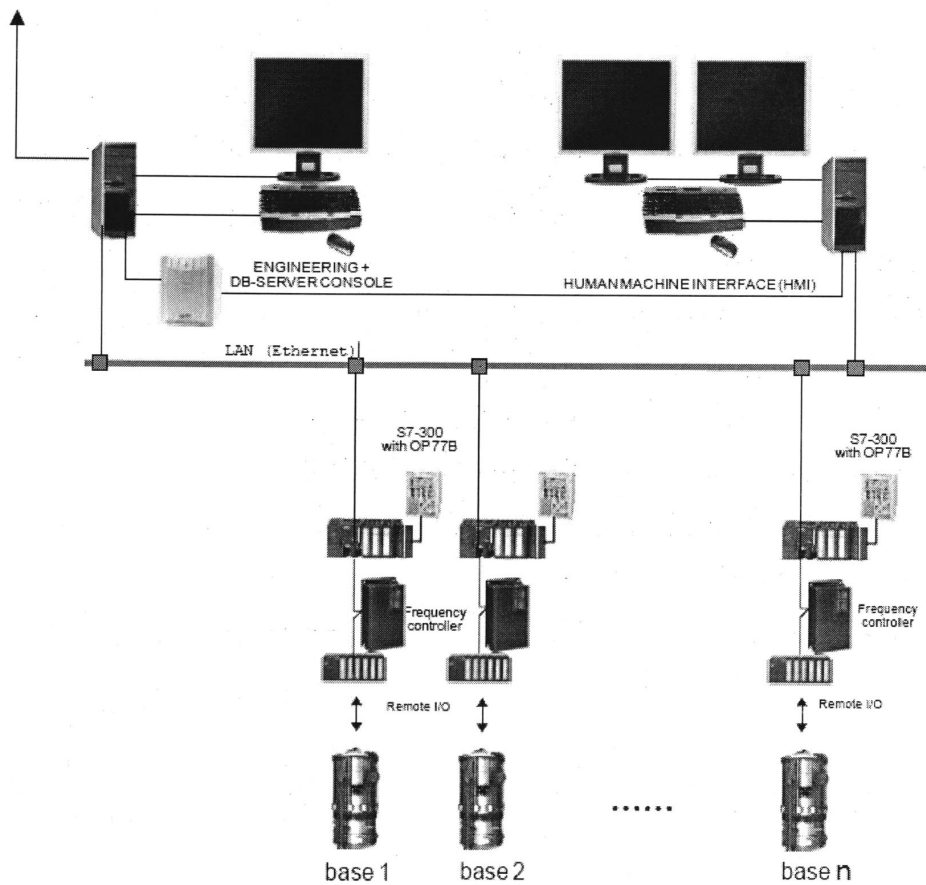


图 3.2 基础自动控制系统组成
Fig.3.2 Basic automation control system

过程自动控制系统主要接收来上位机冷轧钢卷信息(生产计划、钢卷原始数据等),同时使用来自基础自动控制系统的信号(温度、压力等),预设定功能的数据来源于冷轧钢卷信息,而预设定值通过跟踪功能在设定的时间和位置传给基础自动控制系统。同时,过程自动系统具有数据收集功能,实际数据收集功能将实现生产过程中的实际检测数据并对应到每个产品卷数据中,这些数据将用于产品的质量,并且传送给上位机计算机系统。

3.1.4 控制系统的设计原则

(1) 可靠性原则

可靠性是一个系统基本的特征,没有可靠性的系统无从谈起系统^[44-46]。采用集散控制系统,将控制功能分散在各台计算机上采用冗余控制;实现采用分布式 I/O; DCS、PLC、通信网络和分布式 I/O 之间相互实行电气隔离,可彻底防止任

一设备故障而影响网络中其他设备的正常工作,可随时从网络中解除或挂入,而不影响网络系统的运行;模块供电分散也可以有效地减少由于电源引入的干扰,可采取一些列措施保障系统可靠性。

(2) 功能性原则

健全的系统功能是系统设计的根本出发点,采用成熟的硬件配置、功能丰富的软件程序,集连续控制、顺序控制和批处理控制等先进的控制方法于一体,以实现退火过程多模拟量的系统功能,最大限度的满足被控对象的控制要求。

(3) 灵活性原则

DCS 是因特网,可随时随地加入或者撤去工作站,同时采用 PLC 基础控制实现,由于工艺改变而需增加信号时,只要将新增信号接入附近分布式 I/O 柜即可,施工方便。

(4) 性价比高原则

产出投入比是每个投资者或建设者首要考虑的问题。和集中控制方案相比,采用分布式 I/O 控制方案,可以节省很多电缆投资,从分布式 I/O 柜到 PLC 柜只需一根电源线和一根通信网络电缆,敷设电缆所需的安装材料及人力也可大量减少。并且系统运行后其可自动控制,大大减少了现场操作人员并提高劳动效率,大大节省开支,提高系统性价比。

(5) 开发性好原则

采用 DCS、PLC,均为开放式、标准化、模块化和系列化设计,自动化系统硬件设备、软件的选型、网络配置,遵循通用性强、开放性好的原则,便于今后软件的开发、移植、系统升级以及硬件扩展。

3.2 控制系统信号传输

为了对整个退火过程实现有效的监控,以保证生产安全可靠,退火设备的不同部位安装了相关传感器,并将测量值传到控制系统进行分析,如果不符合生产的需要,就对该量进行调整或发出报警信息,有必要对退火过程信号传输分析研究^[47-50]。

3.2.1 现场电气仪表设备

以下为涉及到退火过程的现场电气仪表设备:

(1)炉台: 炉台循环风机(由变频器控制转速),加热控制温度检测系统,底部

对流板温度检测系统, 炉内压力检测用压力变送器, 炉内压力报警压力开关, 氮气入口电磁阀, 氮气流量变送器, 氢气流量变送器, 氢气入口双磁阀及压力检测仪, 氢气排放控制系统, 炉内含氧量检测系统, 冷却水流量计, 冷却水温度检测系统, 冷却水进口控制电磁阀, 炉台废气排放控制电磁阀, 内罩、加热罩、冷却罩位置接近开关。

(2)加热罩: 助燃风机, 煤空比例调节用伺服电机, 安全截止阀, 燃烧控制系统。

(3)冷却罩: 冷却风机、喷淋水系统。

(4)能源介质总管: 氮气压力变送器、流量变送器、电动控制阀, 焦炉煤气压力变送器、流量变送器、电动控制阀, 氢气压力变送器、流量变送器、电动控制阀, 助燃空气压力变送器、流量变送器、电动控制阀等。

3.2.2 退火过程主要控制信号

退火过程中最主要的监测量为燃烧室温度、料室空间温度、料室空间压力、燃气流量、助燃空气流量、氮气流量、氢气流量及氧气含量等。其中燃烧室温度、料室空间温度由两个 NICR—NI DIN 热电偶测量, 并将测量信号传入 PLC 模拟量输入模块。料室空间的压力由该空间的压力传感器进行测量, 并将测量信号传入 PLC 模拟量输入模块。燃气流量、助燃空气流量、氮气流量、氢气流量分别由孔板流量计进行测量, 烟气中的氧气含量由烟气出口处的氧含量传感器测量, 并将这些测量信号一并传到 PLC 的模拟量输入模块。

其中数字量输入信号: 电源柜断路器跳、炉台风机启动、炉台风机马达保护启动、速度监控、卸料、确认报警(仅用于试运行)、急停、测试炉台风机、启动程序按钮按下、控制介质压力正常、阻隔介质压力正常、废氢烧嘴阻隔介质压力正常、加热罩在炉台、加热罩及冷却罩代码、冷却罩插头插好、加热罩及冷却罩断路器跳、内罩在炉台上、内罩压紧按钮按下、内罩释放按钮按下、自锁继电器、内罩压紧、内罩压紧压力正常、关闭氢气马达阀、阻隔气体阀氢气供应关闭、自锁继电器、冷密检泄漏、炉台空间泄漏、硬件吹扫空气及氢气、炉台低压报警正常、炉台高压报警正常、脉冲、氮气流量计数器、吹扫空气、自锁继电器、吹扫氢气、氮气阀状态、供应煤气泄漏、炉台冷却水流量低、煤气主阀关、冷却罩冷却水流量低、炉台启动、加热罩极限温度、燃烧室吹扫、加热罩手动自动状态、烧嘴点燃、烧嘴灭、确认报警、助燃空气压力正常、助燃空气蝶阀开、煤气低压

正常、煤气高压正常、助燃空气马达阀在点火位置、助燃空气阀最小位置、助燃风机启动、烧嘴故障、废氢烧嘴点燃、废氢烧嘴助燃空气低流量正常、废氢烧嘴助燃空气中流量正常、废氢烧嘴故障、空气接头连接、预吹扫流量低正常、煤气点火范围、煤气阀最小位置、煤气阀最大位置。

数字量输出信号：炉台风机启动、加热罩及冷却罩插座、程序启动、炉台报警、结束程序、内罩压紧、炉台空间泄漏、炉台空间安全吹扫、氢气气氛、煤气供应密封、压紧内罩、关闭氮气大流量、打开氮气小流量、打开氢气阀、气氛通过放空管线、内罩压紧、释放内罩、冷密检通过、煤气供应泄漏检测、关氢气马达阀、开氢气马达阀、控制电压、打开冷却水、软件吹扫空气及氢气、吹扫废氢烧嘴、加热、助燃空气阀开、打开煤气主阀、远程复位烧嘴控制系统、点燃主烧嘴、助燃空气马达阀关、助燃空气马达阀开、煤气马达阀关、煤气马达阀开、废氢烧嘴助燃空气低流量、废氢烧嘴助燃空气中流量。

3.2.3 控制信号传输分析

传感器测出的模拟电信号输入到模拟量输入模块将被转换成 PLC 可执行的数字信号，然后输入到控制模块进一步处理；数字信号输入到数字量输入模块简单处理之后进一步输入到控制模块处理；经过处理后最终形成数字量，再进一步转换成标准的电信号即控制信号来控制执行器，从而实现退火目的。图 3.3 为过程控制系统信号传输模块信号传输示意图。

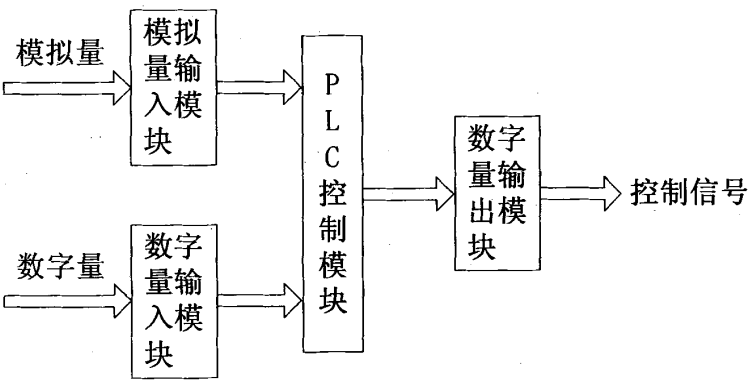


图 3.3 信号传输模块信号传输示意图
Fig.3.3 The signal transmission module signal transmission schematic diagram

3.3 控制系统硬件设计

3.3.1 系统硬件设计方案

基础自动控制系统主要采用 SIEMENS 的 S7-300 系列 PLC(OP77B 键控屏), 包括电源模块(PS)、中央处理单元(CPU)、信号模块(SM)、通信处理器(CP)、功能模块(FM), 通过 PROFIBUS-DP 总线与 ET200、编码器以及传动元件相连接。

HMI 服务器采用 DELL POWER EDGE R905 (机架式)。

HMI 客户端采用 INTEL Core 2 Duo、3GBRAM、500GB 硬盘 RAID1、CD/DVD-RW、19" TFT4:3、以太网卡。

HMI 机组工程师站采用 Dell 工作站, PENTIUM4 2.8GHz、2GBRAM、250GB 硬盘。

过程自动控制系统主要采用 DELL POWER EDGE R905 机架式过程计算机服务器。

DELL Precision T5500 二级工程师站和现场操作终端。

Power Scan 条形码扫描仪。

ZEBRA 105SL + ZebraNet 10/100 打印服务器内置版服务器标签打印机。

3.3.2 方案设计要点

S7-300 是 SIMATIC 控制器中销售量最多的产品, 具有普及适用性, 用于范围广泛的自动化领域, 重点在于为生产制造工程中的系统解决方案提供一个通用的自动化平台。这就是说, S7-300 是用于集中式或分布式结构的优化解决方案。坚持不懈的创新和改革使 S7-300 这个广泛应用的自动化平台能持续不断的升值。其主要特点为^[51-53]:

- (1)模块化微型 PLC 系统, 满足中、小规模的性能要求。
- (2)各种性能的模块可以非常好地满足和适应自动化控制任务。
- (3)简单实用的分布式结构和多界面网络能力, 使得应用十分灵活。
- (4)方便用户和简易的无风扇设计。
- (5)当控制任务增加时, 可自由扩展。
- (6)大量的集成功能使它功能非常强劲。

(7)DIN 标准导轨安装: 只需简单地将模块钩在 DIN 标准的安装导轨上, 转动到位, 然后用螺栓锁紧。

(8)集成的背板总线：背板总线集成在模块上，模块通过总线连接器相连，总线连接器插在机壳的背后。

(9)更换模块简单并且不会弄错：更换模块时，只需松开安装螺钉。很简单地拔下已经接线的前连接器。在连接器上的编码防止将已接线的连接器插到其他的模块上。

(10)可靠的接线端子：对于信号模块可以使用螺钉型接线端子或弹簧型接线端子。

(11)TOP 连接：采用一个带螺钉或夹紧连接的 1 至 3 线系统进行预接线。或者直接在信号模块上进行接线。

(12)确定的安装深度：所有的端子和连接器都在模块上的凹槽内，并有端盖保护，因此所有的模块都有相同的安装深度。

(13)没有槽位的限制：信号模块和通讯处理模块可以不受限制地插到任何一个槽上，系统自行组态。

(14)灵活布置：机架(CR/ER)可以根据最佳布局需要，水平或垂直安装。

(15)独立安装：每个机架可以距离其他机架很远进行安装，两个机架间(主机架与扩展机架，扩展机架与扩展机架)的距离最长为 10 米。

(16)如果用户的自控系统任务需要多于 8 个信号模块或通讯处理器模块时，则可以扩展 S7-300 机架(CPU314 以上)。

3.4 控制系统软件设计

3.4.1 系统软件设计方案

西门子 STEP7 是用于 SIMATIC S7-300 站创建可编程逻辑控制程序的标准软件，可使用梯形图、功能块图和语句表进行编程操作。

用 WinCC 编辑人机界面，实现操作员和自动化系统间的通信。WinCC 是在微软公司 Windows2000 和 Windows XP 平台上的功能强大的 HMI/SCADA(人机接口/上位计算机监控和数据采集)系统，即操作员和控制过程间的接口。

HMI 客户端及工程师站均采用 Windows XP 操作系统软件，工具软件采用 OFFICE 2007、Adobe Reader、西门子 WINCC 6.2 运行版和手册(电子版)等。

(1) 系统软件

操作系统 MS Windows 2008 Server

其他硬件操作系统 MS Windows XP Professional or Windows 7

远程访问软件 pcAnywhere

病毒防护软件 Norton

(2) 应用软件

数据库 Oracle rel. 11..., 5用户

用户接口ProView

数据接口软件包

监控计算机ProView.(SCC)

3.4.2 方案设计要点

(1) 软件程序设计流程

冷轧钢卷退火过程控制软件设计涵盖堆垛后钢卷参数设置、计算各种介质参数、温度检测、控制介质流量、温度反馈全过程，流程如图 3.4。

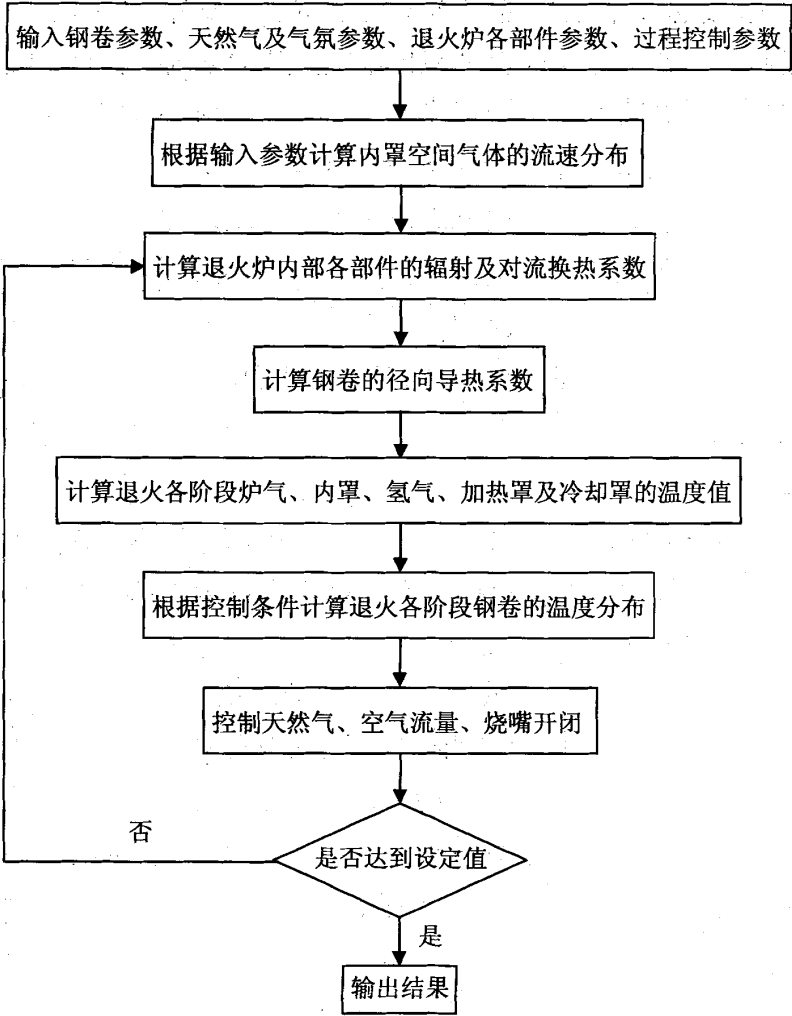


图 3.4 程序流程图

Fig.3.4 Program flow diagram

(2) 西门子 STEP7

西门子 STEP7 是用于 SIMATIC S7-300 站创建可编程逻辑控制程序的标准软件，可完成较大或较复杂的应用，能和辅助的 SI 以 TIC 软件包(例如工程工具)兼容，用户友好的方式利用 S7-300 的全部功能，可使用梯形图、功能块图和语句表进行编程操作。

STEP7 主要有以下功能：

- (d)组态硬件，即在机架中放置模块，为模块分配地址和设置模块的参数。
- (e)组态通信连接，定义通信伙伴和连接特性。
- (f)使用编程语言编写用户程序。
- (g)下载和调试用户程序、启动、维护、文件建档、运行和诊断等功能。

在 STEP 7 编程软件中，如果程序块没有错误，并且被正确地划分为网络，在梯形图、功能块图和语句表之间可以转换。如果部分网络不能转换，则用语句表表示。

(3) WINCC

WinCC 是在微软公司 Windows2000 和 Windows XP 平台上的功能强大的 HMI/SCADA(人机接口/上位计算机监控和数据采集)系统，即操作员和控制过程间的接口。用 WinCC 编辑人机界面，实现操作员和自动化系统间的通信。WINCC 在生产和过程自动化中解决可视化和控制任务的工业技术中性系统。具有控制自动化过程的强大功能，是基于个人计算机的操作监视系统，它很容易结合标准的和用户的程序建立人机界面精确的满足生产实际要求。WINCC 有两个版本 RC 版(具有组态和开发环境)、RT 版(只有运行环境)，我们选择使用的是 RC 版。

3.5 退火炉温度控制系统设计

全氢罩式炉退火工艺中，温度作为一个重要的检测和被控参数，在退火过程的加热、冷却阶段都起着重要作用，所以温度控制系统越发凸显其重要性。

3.5.1 退火工艺加热制度

整个退火过程包括准备退火阶段、加热升温阶段、加热保温阶段及冷却阶段，其中加热温度及加热时间决定着退火的彻底性，保护气氛决定着退火钢卷的质量，所以这两部分的控制对退火质量起着决定性作用。下面就温度曲线(图 3.5)及气氛曲线(图 3.6)在整个退火过程中的实现进行分析。

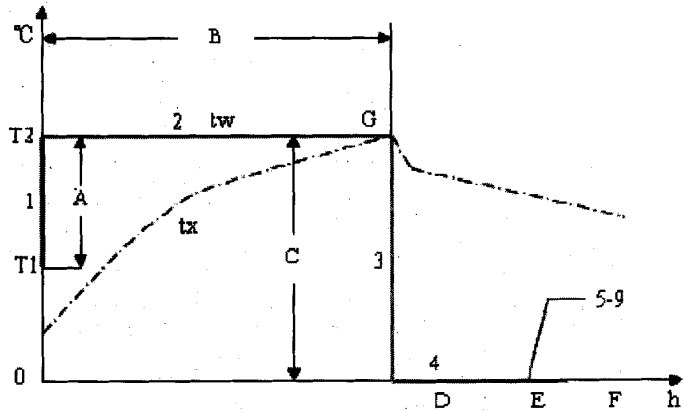


图 3.5 温度曲线
Fig.3.5 Temperature crve

其中：TW-炉料空间温度设置点，TX-炉料空间温度，1-9—温度段；A-设置点变换(加热)，B-加热，C-设置点变换(冷却)，D-自然冷却(带加热罩)，E-空段位，F-加热结束，G-热密检

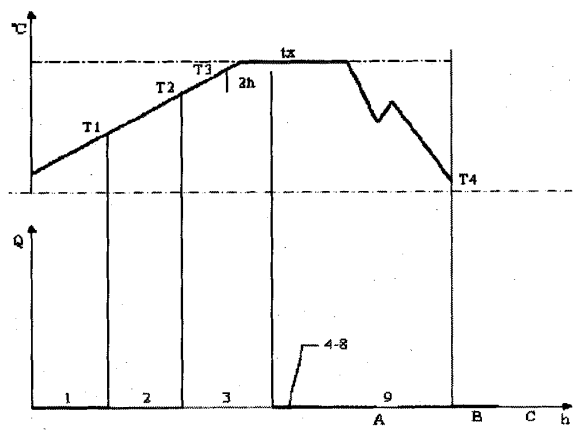


图 3.6 气氛曲线
Fig.3.6 Atmosphere curve

其中：TX-炉料空间温度，1-9—气氛段；A-气氛趋势末端，B-安全吹洗，C-冷却结束。

冷轧钢卷退火工艺制度生成之后，将被分成九段，温度曲线的每一段由起点温度、终点温度及该段运行的时间组成，气氛曲线的每一段由起点温度、终点温度、该段运行的时间及保护气体的类型组成^{[54][55]}。具体分法如图 3.5、图 3.6 所示：温度程序执行分为加热升温段及加热保温段，其中冷却阶段为空段位，不参与实际控制。加热罩顶部有一个热电偶监测燃烧空间的温度，主要起限温作用，防止因为温度过高导致加热罩寿命降低，加热罩最高设定温度为 880℃。料室空

间中有一个热电偶测量保护气体的温度，并将测量值不断反馈给 PLC，从而在 PLC 中与工艺制度中的温度曲线进行比较运算，得到相应的控制指令来进行控制。

在加热升温阶段，所有烧嘴全部开启，燃料控制阀始终处于最大值，除非加热室空间的温度超过设定温度，当加热室中的温度达到 850°C 时，燃料量将不断减少，以保证其温度不超过设定温度。此时钢卷由于还没有达到要求的退火温度，加热室空间的温度必须保持许可最大值，以保证钢卷升温速度。

在加热保温阶段，料室空间的温度已经达到工艺设定温度，但由于钢卷的径向热阻比较大，其卷芯温度还未达到再结晶的要求，必须通过一段时间的保温之后使其充分受热，才可以达到退火的目的。

在整个加热阶段，加热室空间及料室空间的热电偶一直处于实时监测状态，并不时将测量信号传递给 PLC，另外还包括加热室空间及料室空间的设定温度，因为每次退火随着钢种的变化，其设定温度也可能有所变化。由于燃料量的大小直接决定加热室空间的温度，同时影响整个受热空间的温度场的变化，故现场是通过调节燃料量、助燃空气量以及烧嘴开闭来实现温度调节，并通过实际温度与退火工艺制度中的要求温度比较，进一步控制燃料量、助燃空气量及烧嘴开闭。燃料量及助燃空气量由孔板式流量计测量，并将测量信号实时传给 PLC。加热室空间的氧含量直接表明燃料燃烧的充分性，如果氧含量过高，燃料可能燃烧的更充分，可是由于过量的空气会以烟气的形式带走大量的热量，造成能量的巨大浪费。故加热室空间安装一个氧含量传感器，并将测量信号传给 PLC，从而不断调节燃料量与助燃空气量以达到合理的燃烧比率。

3.5.2 退火温度标准曲线优化

良好的退火工艺是控制系统需要实现的根本目的，同时也是指导退火过程理论依据，不同钢种退火工艺制度的制定都是根据钢种的再结晶规律实验得到，其中再结晶过程明显存在回复、再结晶及晶粒长大三个不同阶段。本文研究 RBG/Q8-210 $\times$ 560- H_2 退火过程控制实现，要求温度控制精度达到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (保温段)；温度不均匀性不大于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (保温中后期)。各个炉型有其特有的标准退火曲线，但由于钢厂下游汽车、家电等终端客户需求不断提高，对冷轧板材拉伸、模具成型等提出了新的要求，所以需要原有退火工艺曲线进行优化，用以更好的指导退火过程，尤其温度控制过程。

退火工艺优化现场测试装置，主要为导电多点温度记录仪表，仪表精度一级和多芯铠装偶，即 6 只 6m 长的 K 型热电偶，测量精度一级。图 3.7 至 3.11 为冷轧钢卷材质 CQ、DQ、DDQ、SEDDQ、HSLA 优化后退火曲线。

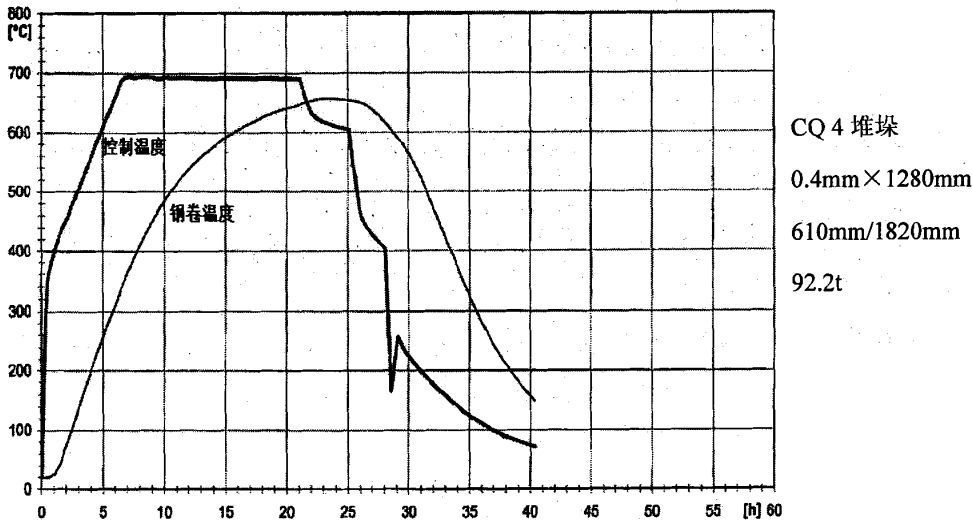


图 3.7 全氢罩式炉退火生产 CQ 工艺制度界面
Fig. 3.7 Full-hydrogen bell-type annealing furnace process of CQ system interface

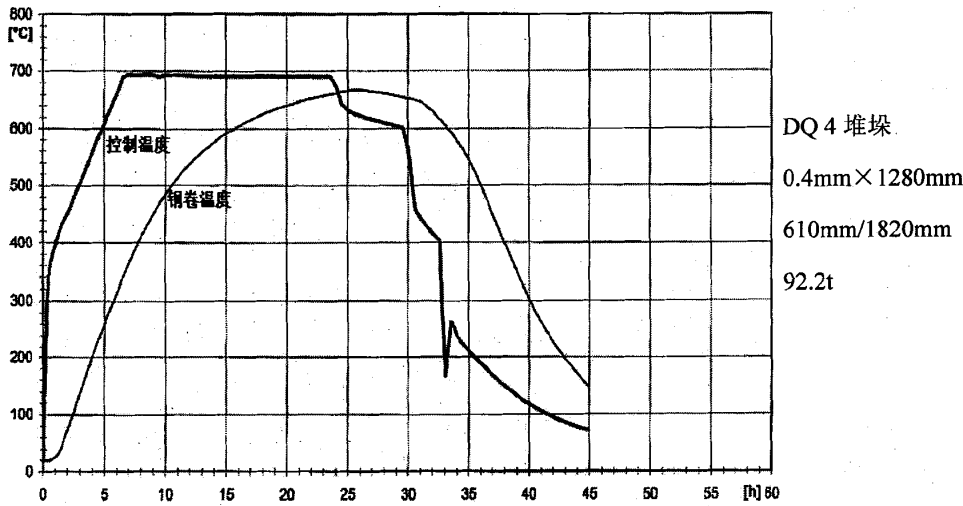


图 3.8 全氢罩式炉退火生产 DQ 工艺制度界面
Fig. 3.8 Full-hydrogen bell-type annealing furnace process of DQ system interface

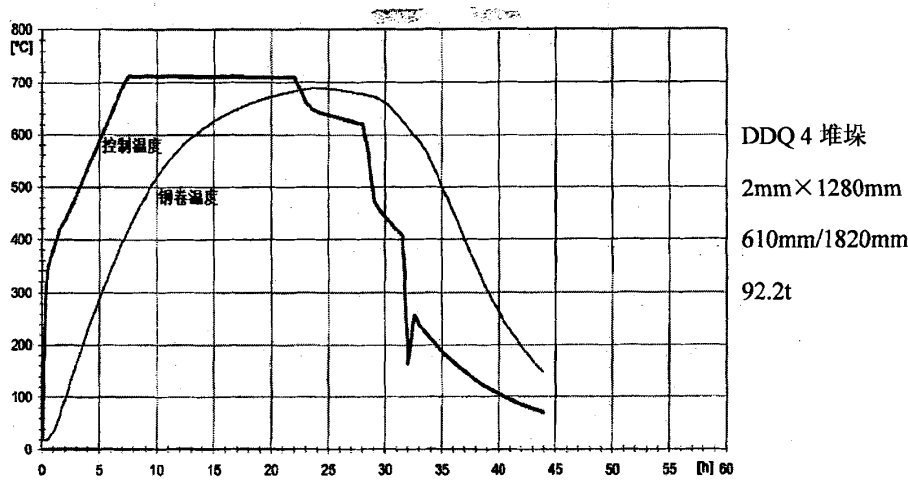


图 3.9 全氢罩式炉退火生产 DDQ 工艺制度界面
Fig. 3.9 Full-hydrogen bell-type annealing furnace process of DDQ system interface

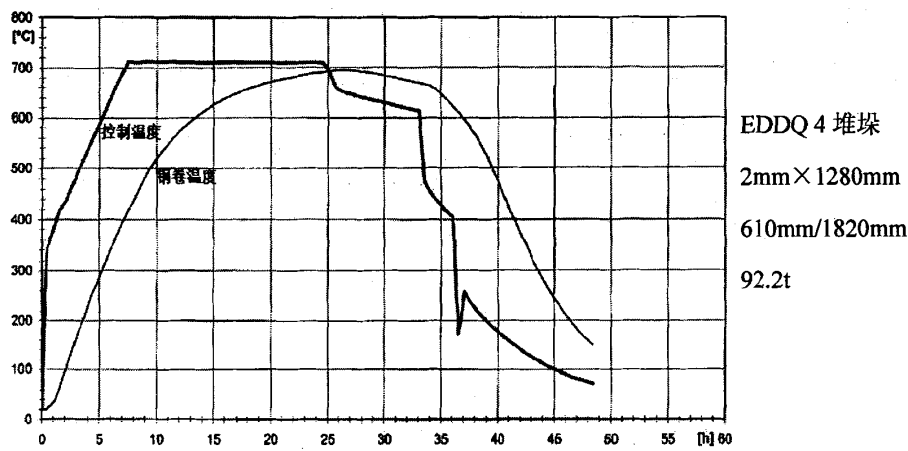


图 3.10 全氢罩式炉退火生产 EDDQ 工艺制度界面
Fig. 3.10 Full-hydrogen bell-type annealing furnace process of EDDQ system interface

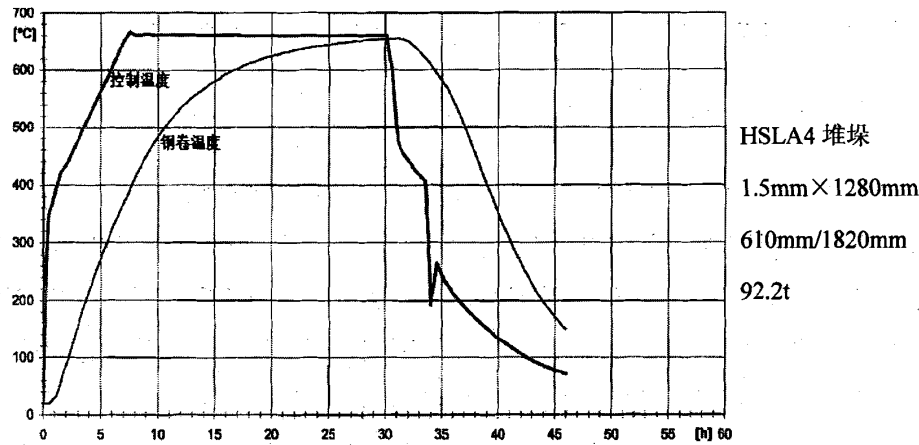


图 3.11 全氢罩式炉退火生产 HSLA 工艺制度界面
Fig. 3.11 Full-hydrogen bell-type annealing furnace process of HSLA system interface

3.5.3 退火炉温度控制算法

冷轧钢卷工艺退火曲线概括分为三个大阶段，即加热、保温、冷却。其中加热阶段，所有烧嘴以合理空燃配比最大功率燃烧，冷却阶段和燃烧控制基本无关，所以退火工艺控制主要体现在保温阶段。退火炉温度控制保温阶段温度调节是一个慢过程，而此时间特性恰与微分控制环节缺点相吻合，故不采用微分环节。结合以上温度控制方法分析，考虑成本因素，退火过程控制系统采用串级比例并交叉限幅双辅助 PI 与脉冲燃烧控制相结合方式实现温度控制(控制系统如图 3.12)。冷轧钢卷退火过程中，在加热阶段，所有烧嘴以最大功率燃烧，实际温度接近设定温度时($e(t) \leq 15^{\circ}\text{C}$)，启动 PI 控制器和定时器进入保温程序，实现温度的自动调节；当温度偏差 $|e(t)| \leq 3^{\circ}\text{C}$ 时，调节空气燃气流量已不能减小或消除偏差，这时采用增加减少燃烧烧嘴的数目来减小温度偏差，从而达到所需的温度控制精度。

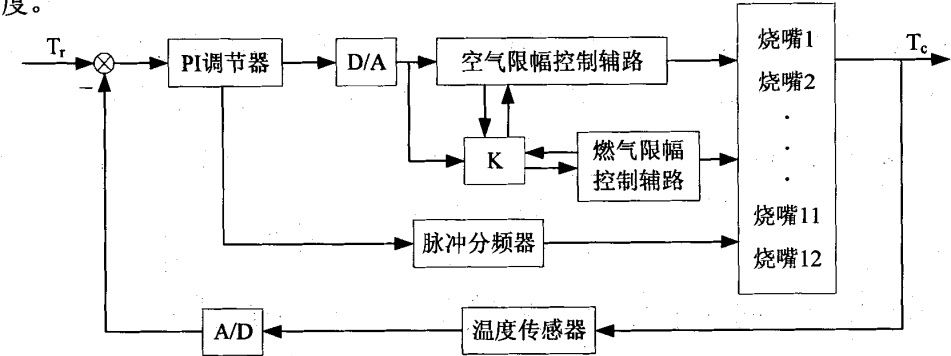


图 3.12 串级比例并交叉限幅双辅助 PI 与脉冲燃烧相结合温度控制系统图
Fig.3.12 Cascade ratio and cross limiting double auxiliary PI and pulse combustion combined temperature control system diagram

3.5.3.1 串级比例并交叉限幅双辅助回路 PI 温度控制

串级比例控制和交叉限幅控制是退火炉中常见的温度控制方法。温度控制系统由一个主控回路控制温度，两个辅助控制回路组成，两个辅助回路中一个控制燃气流量，另一个控制助燃空气流量。串级比例控制是在温度为检测对象实现温度控制系统的内部串联燃气或空气检测对象的串接控制，用以实现对温度的精确控制。采用交叉限幅，可保证在温度调整过程中，燃气、助燃空气流量的比例与理想比例相差不大，并且在安全幅度内调整，使得系统在保障安全前提下，稳态、过渡过程燃烧效率都比较高，二者组合成为串级比例并交叉限幅双辅助回路控制系统，如图 3.13。PI 调节器使用西门子 S7-300 PLC 的 FB41 “CONT_C” 功能模块，它除了具有对偏差进行 PI 调节的功能外，还具有手动输出、选择调

节规律、输出限幅等功能。在加热阶段使用手动挡输出一个最大控制量使助燃空气电动调节阀开到最大，在保温阶段使用一个选择开关从手动挡切换到自动挡，输出 PI 调节信号，或者通过系统自动实现。系统对 PI 输出分三级限幅：实际温度超过设定温度 8℃时，输出最高限幅设为 20%；实际温度超过设定温度 4℃时，输出最高限幅设为 50%；实际温度低于设定温度 5℃时，输出最高限幅设为 80%，最小限幅设为 20%。

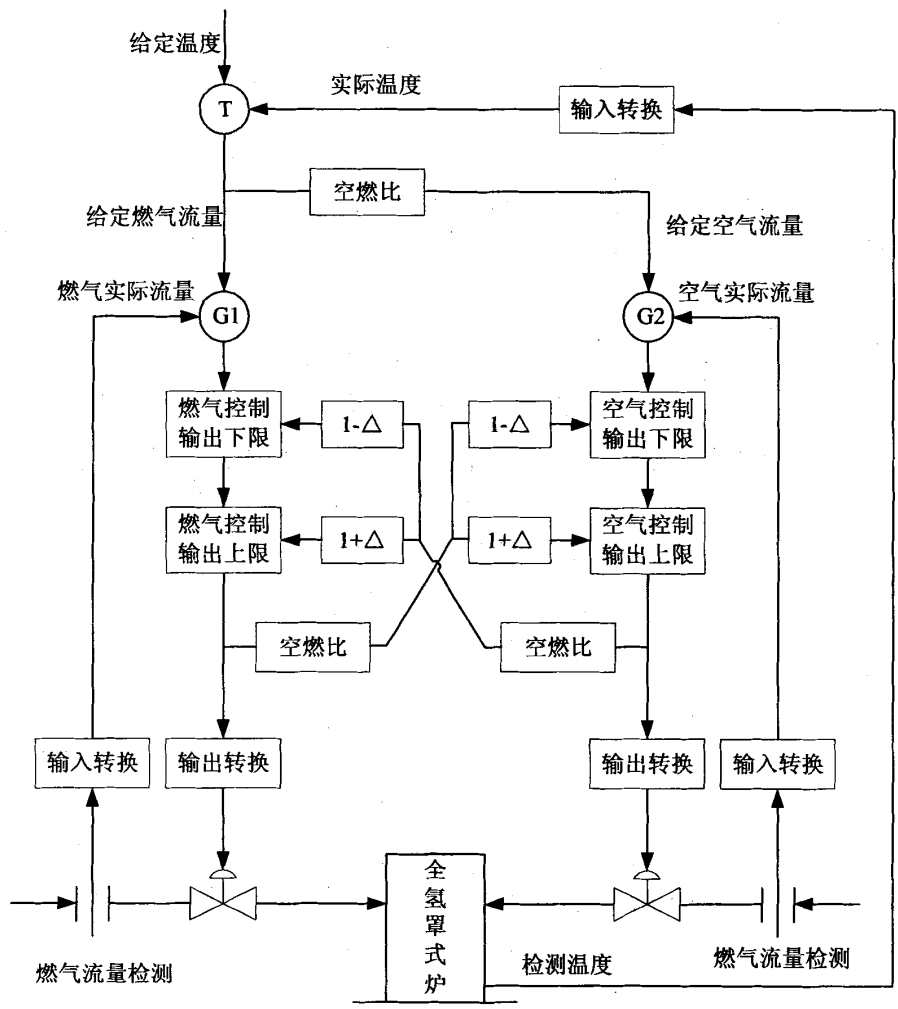


图 3.13 串级比例并交叉限幅双辅助回路 PI 温度控制系统
Fig3.13 Sascade ratio and cross Limiting double auxiliary circuit PI temperature control system

3.5.3.2 脉冲燃烧温度控制

脉冲燃烧温度控制主要体现在罩式炉烧嘴控制上，烧嘴控制一般有两种方式，即连续控制及脉冲控制。在连续燃烧控制方式下，烧嘴的供热量连续可调，各烧嘴处于相同的燃烧状态，炉内热气流直接上行。采用该控制方式，退火钢卷

表面容易受热不均，加热效率也不高。在脉冲燃烧控制方式下，相对的一对烧嘴的工作状态正好相反，一个烧嘴为大火时或开启式，另一个烧嘴为小火或闭合，可使热气流环形上行，在炉内形成均匀的温度场，这样工件受热均匀，加热效率也大为提高。从本质上讲，脉冲燃烧控制是通过改变烧嘴的启、停时间及各个烧嘴的工作时序完成的。各烧嘴只工作在开/关两种状态下，系统调试时，先根据烧嘴的功率、混合比及喷出速度等要求将烧嘴一次性调至最佳状态，这样烧嘴每次启动，都处于最佳工作状态，这对于提高燃烧效率、降低能耗有明显效果。如图 3.14 为脉冲燃烧控制系统流程图。

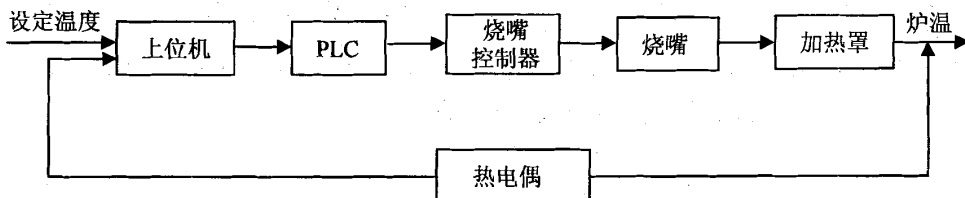


图 3.14 脉冲燃烧系统控制流程
Fig.3.14 Pulse combustion system control flow

脉冲燃烧控制分频器使用西门子 S7-300 PLC 的 FM 352-5 功能模块，每个炉罩有 12 个烧嘴，按照经验，值脉冲循环周期设为 60s，也可根据现场生产需要进行更改，烧嘴燃烧间隔时间=烧嘴燃烧循环周期/烧嘴对数，即：每对烧嘴在一个循环周期开启或闭合最长时间为 10s。烧嘴分上下两排布置，上下排烧嘴结成对子，脉冲燃烧控制方式下，相对的一对烧嘴的工作状态正好相反，一个烧嘴为开启时，另一个为闭合，可使热气流环形上行，在炉内形成均匀的热力场，这样工件受热均匀，加热效率也大为提高。实践证明，采用串级比例并交叉限幅双辅助回路 PI 与脉冲燃烧控制相结合方式来进行退火温度控制，温度控制曲线基本完全按照目标工艺退火曲线进行退火，温度控制精度达到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (保温段)；温度不均匀性不大于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (保温中后期)，完全达到温度控制要求。

3.6 本章小结

本章提出全氢罩式炉控制系统设计思路的理论依据和系统总体设计方案，分析了 DCS 控制系统现状、特点和系统组成，分析了过火控制系统基本结构、基本功能以及控制系统设计原则。最后根据设计思路、总体设计方案对控制系统的硬件和软件部分进行设计，并分析了设计方案中硬件、软件的设计要点。

第4章 控制系统实现

4.1 控制系统组成

(1) 硬件组成

退火过程各功能设备单元所使用的工控机和可编程序控制器均基于成熟使用经验开发出来的适用于工业控制的产品。特点是：多 CPU 结构，多任务处理，具有 RISC(Reduced Instruction-Set Computer 精简指令集计算机)性能的处理器，运算速度快，存储容量大，并且具有自纠错功能。

(2) 软件功能

除功能强、可靠性高的系统软件外，应用软件也很丰富。系统中广泛采用各种不同工艺要求的数学模型、控制模型，以满足不同工艺生产的要求，如炉温控制、物料跟踪等。

(3) 网络结构

采用目前世界上先进、通用、标准化语言、高速通讯的开放型网络结构，还可以兼容其它电气厂商的产品。为了满足高速性和可靠性，自动化系统中的控制网仍然保留电气商产品的专用性。

(4) 人机接口

系统基础自动化均设有与快速以太网连接的人机接口(HMI)，配置工程师站和操作室。通过 HMI 可对系统编程或修改，对现行设定值进行校正和再设定，显示生产过程的设定值和实际值，显示和控制各传动装置，显示辅助设施的运行状态，具有先进的、完善的故障诊断系统，对机组控制系统进行在线诊断和应急报警监视。

4.2 控制系统的安装与调试

设计和施工是工程实践活动的主要环节，其中系统的现场安装与调试在施工过程中占据重要地位。系统现场安装与调试的方法和措施不得当，不仅导致工期的延误，甚至导致设备损坏，现场安装调试的方法和措施是否得当也决定了系统今后的运行效果和生产管理模式。

4.2.1 控制系统安装

全氢罩式炉退火控制系统需要根据罩式炉生条生产线项目建设的施工工期要求，配合土建、工艺等的工期和项目监理，合理安排系统安装程序。根据控制系统的结构，安装需从系统的基本组成部分进行，如系统线缆、机柜槽卡、电源安装等，同时，对各部的安装进行详细记录并进行验收报告，为系统最终验收及系统安装调试报告作准备。图 4.1 为控制系统安装流程。

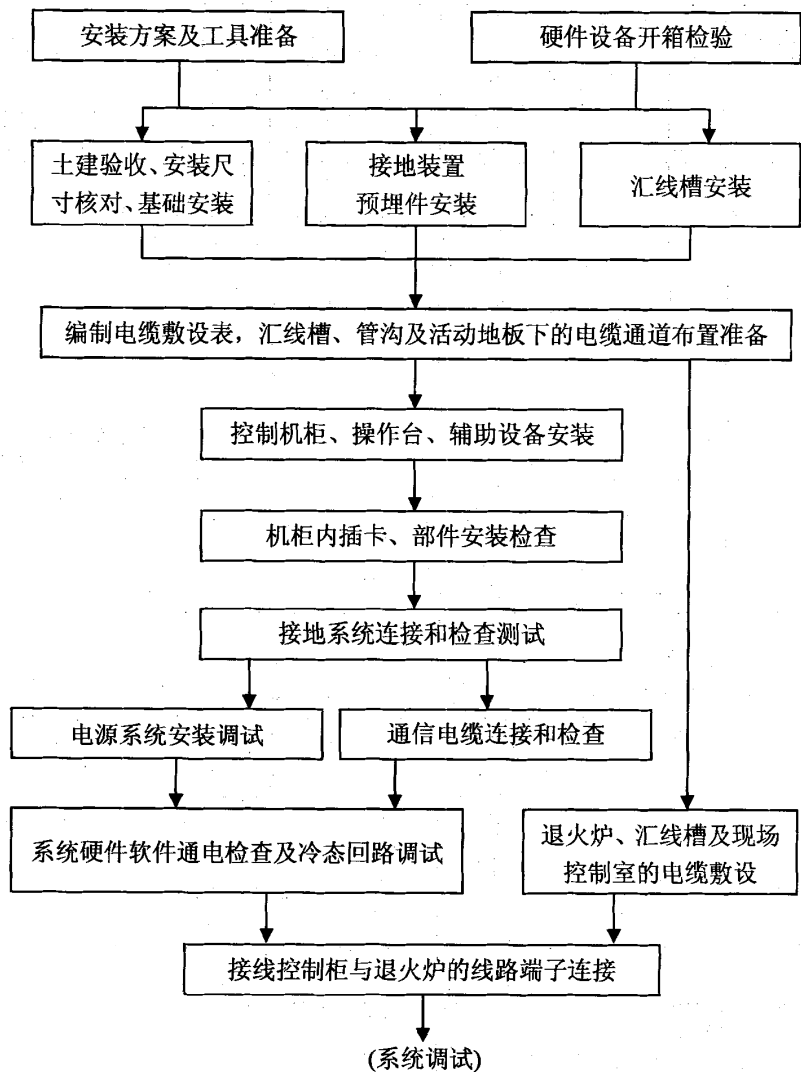


图 4.1 控制系统安装流程框图
Fig.4.1 Control system installation diagram

4.2.1.1 安装前技术准备

前期技术工作准备越充分，安装与调试工作进行越顺利。准备工作如下。

(1) 熟悉全氢罩式炉退火工艺流程及工艺设备。因为所有的自控系统都是为工艺服务的, 所以必须熟悉工艺流程, 特别是吃透工艺对生产设备的控制要求, 同时熟悉各工艺设备的性能及对安装调试的要求, 才能明确下一步系统要实现的功能及其意义、明确下一步安装调试的内容。

(2) 掌握控制系统的设计资料及控制功能。包括控制室功能及机型情况, 工程师站的功能及配置情况, 通信网络的结构及各节点的分布情况, 现场 I/O 信号的名称、种类、数量及在现场的分布情况, 现场各电气设备功能及分布情况, 各仪表及执行器的功能及现场分布情况等。对工艺流程图、联锁图、功能图、逻辑框图进行消化吸收。

(3) 对系统软硬件产品进行商检。甲乙双方共同进行, 确认设备、备品备件、随机技术资料、附件等的型号、数量、规格等是否与所定的货一致。商检结束, 双方签署交换清单。

(4) 实验室调试。对商检后的产品进行实验室调试, 包括质量检验、性能检验、系统实验室运行和系统结构合理性检验。按系统配置将所有板卡安装好, 至少要通电连续运行 72 h。同时通过软件平台激活硬件平台, 联通整个网络。

(5) 软件组态。根据设计资料和系统配置, 制定出系统 I/O 信号点总表, 具体到每个信号的规格、名称、现场位置、板卡位置等, 根据 I/O 点表在软件平台下进行组态编程。

4.2.1.2 电缆敷设时的防干扰措施

土建完工、电缆沟和桥架已具备工作条件后, 即可进行电缆的敷设, 包括 I/O 信号电缆和通信电缆。在敷设过程中通过有力的措施消除各种干扰是电缆敷设的关键。

I/O 信号电缆敷设时, 主要措施有信号线不与动力线平行敷设, 并尽量避开大的用电设备, 使信号线免于强磁场的干扰; 对采用桥架式敷设的现场, 应使用双绞线或几何中心重合的电缆, 并结合绞合敷设的方式; 投资允许的情况下, 现场模拟信号采用屏蔽电缆, 这种方式非常有效, 缺点是投资较高; 信号线在电缆沟或明敷时采用穿管敷设的方式; 线路在敷设过程中尽量避开上、下水、通风及工艺金属管道; 在处理一次仪表接线时, 不使接头外露。

通信电缆敷设时, 主要是针对信号衰减的措施, 普通的通信电缆长度每增加 1 m 信号衰减 0.8 dB、每个分支器信号衰减 14 dB、每个电缆接头信号衰减 1 dB。主要措施有: 规划好电缆的敷设方向, 使距离最短、分支器最少、电缆接头最少,

并进行紧密连接;最好采用单总线方式,由统一的通信干线通过分支器连接,不采用呈星状放射形敷设;控制室两边的分支点数和距离应尽可能一致,这样能较好地保证网络阻抗的匹配;分支器应尽可能靠近控制室或工程师操作站;网络两端应接入 $75\ \Omega$ 终端电阻或终端器;通信电缆与高压电缆间距至少应保证 40cm/kV ,必须交叉时应垂直交叉;避免与动力线平行敷设,并尽量避开大的感性用电设备;避开高温及易受化学污染地区,并不破坏电缆的屏蔽层。

4.2.1.3 设备安装与接线

根据设计资料,将现场每台电气设备、就地控制箱、控制柜和现场各传感器、变送器和执行器等一次仪表等安装到位;同时将各操作室、工程师操作站、控制柜、配置中的各板卡及附件等安装到位。对敷设好的电缆进行校线,之后对安装到位的各类设备进行接线,包括电气设备的控制回路、主回路、自控系统的 I/O 信号回路、通信线路等。

4.2.1.4 系统接地

接地技术作为供配电设计的一个组成部分,对抑制电网干扰有独特的多方面作用。目前在工业企业常用的三相 4 线制的配电网中最常用的是中性点直接接地,按规程同时还要进行重复接地,这样能大大地消除由于各相间的不平衡负载引起的中性线上的电流和漏电流及由这种电流引起的中性点电位的漂移。

过去有些规范要求电子设备单独接地,目的是防止电网中杂散电流或暂态电流干扰设备的正常工作。现在的工程领域不提倡单独接地,在 IEC 标准和 ITU 相关标准中都不提倡单独接地,美国标准 IEEEStd-1100-1992 更尖锐地指出:不建议采用任何一种所谓分开的、独立的、计算机的、电子的或其它这类不正确的大地接地体作为设备接地导体的一个连接点,应采用联合接地的方法,即通过等电位连接至共用接地系统,且接地电阻 $\leq 1\ \Omega$ 。

(1)操作室与工程师操作站用 10 mm^2 的编织铜线汇接在一起经引下线接至接地网。

(2)I/O 设备本体的接地用单独引下线接至接地网。

(3)通信电缆屏蔽层应在操作室与工程师操作站的一端汇集起来接到接地网,另一端悬空。

(4)对使用屏蔽电缆的 I/O 信号线,在操作室端将屏蔽层汇集到接地网,现场端悬空。

(5)控制站中各 I/O 模块的接地应接至电源中性线上。

4.2.1.5 控制网络通信

控制网络的正常通信是进行以后调试工作的基础, 连接方法及措施如下:

- (1)对敷设好的通信电缆进行校线、衰减测试(对长距离尤其重要)。
- (2)对通信网络进行连接, 尤其注意通信电缆接头、分支器接线、终端电阻的连接。
- (3)检查各控制站、操作站的现场情况后, 对各节点设备进行通电。
- (4)通过对硬件的开关置位或软件的设置, 对各节点设备设置独立的节点号。
- (5)按控制系统的通信协议标准及接口设备的要求, 设置通信参数、接口参数, 连通整个网络, 使网络正常工作。

4.2.1.6 现场 I/O 信号连通

通过通信网络在操作室或工程师站对各 I/O 点是否连通进行检查, 包括对从现场各设备到操作室或工程师站的 I/O 元件端子排之间的线路、从现场各设备到现场电控柜(一般在低压配电室处)再到操作室或工程师站的 I/O 元件端子排之间的线路的检查, 同时对接线方法的正确性进行检查。

为确保不损坏设备, 并尽快将各 I/O 信号连通, 分以下两步进行: 第一, 在断电的情况下, 通过短接查通断的方法对各 I/O 点的信号线路进行检查; 第二, 在操作室或工程师站通电运行而现场设备断电情况下, 网络联通, 通过在现场短接、或用信号发生器模拟各信号, 在操作室或工程师站上检查各 I/O 信号的连通。

4.2.2 控制系统调试

系统调试是控制系统投入使用的重要环节, 主要分为通电前检查、硬件调试、系统软件调试、应用软件调试几部分, 图 4.2 为系统调试流程。

4.2.2.1 对输入输出值进行检查核对

(1)观察屏幕仪表面板有无显示输入、输出开路现象, 即显示 IOP、OOP 等。IOP 表示输入开路, OOP 表示输出开路。如有应检查输入、输出与现场仪表是否连接好, 现场仪表接线是否正确, 调节回路连接是否正确。当工艺参数低于测量下限或高于测量上限时, 如当信号 $4 < \text{mA}$ 或 $> 20 \text{ mA}$ 时, 会出现 IOP-或 IOP+。

2)断开现场仪表接线, 从现场加相应的信号, 检查屏幕上对应仪表显示是否正确, 并根据设计文件核对仪表量程。

3)由 DCS 手动输出 0~100%信号, 观察现场对应控制阀的开关形式和行程是

否正确，并及时检查 DCS 与现场仪表连接是否正确。

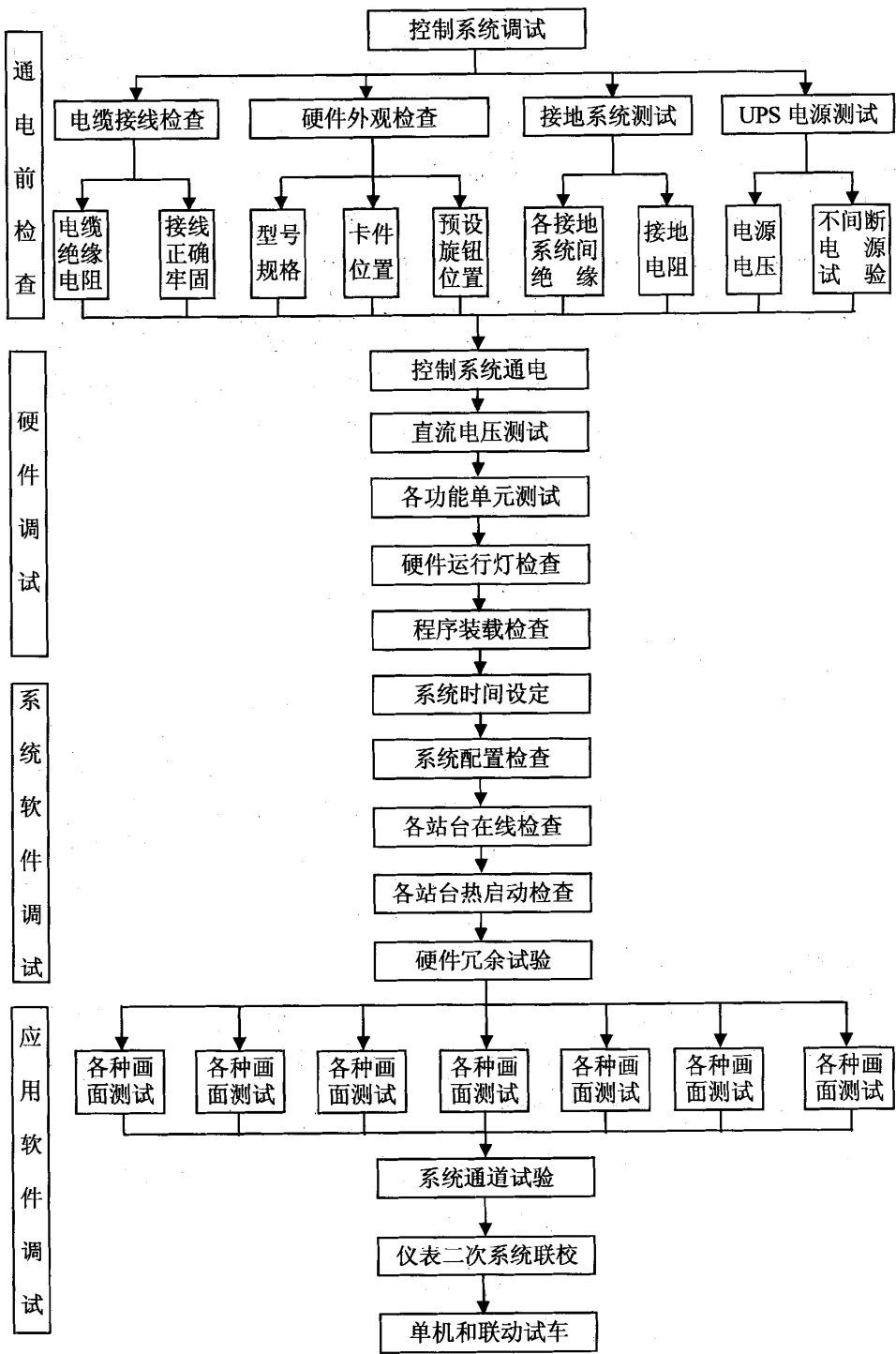


图 4.2 控制系统调试流程框图
Fig. 4.2 Control system flow diagram

4.2.2.2 调节回路检查

调节回路检查主要是检查回路连接是否正确,各个调节器的正反作用是否正确。

(1)单回路检查。将调节器置“手动”,把给定值 SV 调到与测量值 PV 有 5%~10%偏差,将输出 MV 调到 50%,此时,将调节器置“自动”,仔细观察调节器 MV 值变化,判断调节器的正反作用,并与工艺设计文件核对。

(2)串级调节回路检查。将主调节器置“手动”,按单回路对副调节器进行检查。然后,将副回路调节器置“串级”,改变调节器 MV 值,观察副调节器的给定值 SV 是否相应的改变。改变主调节器给定 SV 值,与测量值有 5%~10%偏差,将主调节器置“自动”,观察主调节器 MV 值及副调节器 SV 值的变化,由此判断回路连接是否正确。

(3)其他回路采用相应的方法进行调试。

4.2.2.3 流程图检查

(1)工艺方面仔细检查工艺流程有无错误,设备名称、工艺管线、物料等标注是否正确,流程图画面的翻页、切换、调用是否方便。

(2)控制方面检查控制回路是否正确,有无遗漏,检查调节器的正反作用形式和控制阀开关形式标注是否正确,检查流程图中显示数据是否正确,流程图中的色变是否正确。如:炉温高、低报警时,炉温曲线是否变红色发出警告等。

4.2.2.4 联锁回路的调试

(1)集中工艺、设备、自控等相关专业技术人员,讨论联锁设置是否正确。

(2)根据工艺设备要求,修改联锁条件。

(3)人为操作使联锁条件满足,激发联锁回路动作,检查控制系统联锁输出状态显示是否正确,检查现场各个执行机构动作是否灵敏,位置是否正确。

(4)将可能出现的各种条件都予以考虑,形成各种条件组合,做为联锁激发条件,检查联锁回路动作是否正确。

4.2.2.5 增加减少或修改画面

根据退火工艺要求增加、减少一些画面或对某些画面进行修改,以便于操作管理,了解生产状况。

(1)将一些工艺参数联系比较密切,操作时需要相互参考的仪表放在同一控制分组画面。如:将温度控制回路的所有介质仪表放在一个控制分组内。另外,

将一些重要测量参数的冗余测量显示仪表放在一起, 容易进行比较, 正确判断实际工况。

(2)增加测点的趋势记录画面, 将重要控制回路的 MV 值、SV 进行趋势记录, 并尽量延长趋势保存时间。

(3)根据生产管理要求, 对所有控制系统组态中仪表的操作级别进行修改, 对全部仪表的名称、位号进行最终确认。

(4)对报表的内容进行修改, 增减报表中测量点的数量, 根据交接班时间, 确定记录时间和报表打印时间。

(5)在调试过程中, 当组态内容修改较多时, 及时将现场操作室和工程师站存到硬盘上, 并标注存盘时间, 以便进行继续修改, 避免因各种原因造成组态文件丢失未及时存盘而导致工作徒劳。

4.3 控制功能实现

4.3.1 基础控制功能的实现

基础控制功能包括各个机组的各种传动控制, 工艺和仪表控制的开环和闭环控制, 采集各个机组的重要状态信息, 质量数据和消耗量数据, 并报送过程自动化控制系统, 提供操作员 HMI, 方便生产线的操作和维护, 具体功能如下:

(1) 总能源介质的监测, 具体包括:

(a)天然气总管流量测量、累积

(b)氢气总管流量测量、累积

(c)氮气总管流量(包括事故用氮气)测量、累积

(d)喷淋冷却水总管流量

(e)炉台冷却水总管流量

(f)事故用水总管流量

(2) 能源介质检测, 具体包括:

(a)天然气压力报警

(b)氢气压力报警

(c)氢气压力调节

(d)氢气压力放散

(e)氮气吹扫

(f)氮气压力报警

- (g) 氮气压力调节
- (h) 氮气压力放散
- (i) 喷淋冷却水压力报警
- (j) 冷却水管、事故水压力报警
- (k) 回水水箱液位
- (l) 回水压力报警
- (m) 闭环冷却水系统
- (3) 加热退火阶段监控

加热退火阶段监控主要包括助燃空气监控、天然气监控和内外罩间气体温度监控三部分。

(a) 助燃空气监控包括：

- 助燃空气压力监视
- 助燃空气关闭及开启
- 助燃空气流量测量及调节

(b) 天然气体监控包括：

- 天然气压力监视
- 天然气关闭及开启
- 天然气流量测量及调节
- 各烧嘴天然气(含废氢)关闭及开启

(c) 内外罩之间气体监控包括：

- 加热空间内温度测量

(4) 喷淋冷却阶段监控

喷淋冷却炉台监控主要包括炉台监控、炉台冷却水监控、喷淋冷却水监控和氢气/油蒸汽排放监控四部分。

(a) 炉台监控包括：

- 炉台内罩内温度测量
- 氧浓度检测
- 混合气体放散

(b) 炉台冷却水监控包括：

- 冷却水流量测量及控制
- 冷却水现场压力

(c)喷淋冷却水监控包括:

冷却水流量测量及报警

冷却水限流

(d)氢气\油蒸汽排放监控包括:

氢气\油蒸汽流量控制

氢气\油蒸汽放散自动操作

4.3.2 过程控制功能的实现

过程控制功能概括起来主要有三大部分:数据预设定功能、跟踪功能、实际值收集功能。具体为:

(1)与基础自动控制系统的通讯

过程自动控制需要与基础自动控制系统实时通讯,通过 100Mbit/s 光纤电缆,采用面向连接的 TCP/IP 协议,通讯二进制报文发送和接受信息。

(2)生产计划和原材料数据的管理

冷轧钢卷退火生产是按照钢厂生产计划和原料数据进行的,生产计划数据和原料钢卷数据是过程自动控制系统需要管理的最主要的数据。

生产计划数据是一组按生产顺序排列的入口钢卷号,一般情况生产计划是由过程控制系统下达,但该生产顺序可由基础控制系统通过重新发送的方式进行修改。并且在生产计划不足时,生产操作人员可基础控制系统向过程计算机系统申请新的生产计划数据,也可自动向过程计算机系统申请生产计划数据。

钢卷主数据 PDI 是指原料钢卷的原始数据(钢卷尺寸,钢种名称等)和生产要求,在钢卷 PDI 数据中必须包含以下数据:

(a)钢卷号

(b)钢种

(c)钢卷外径

(d)钢卷内径

(e)钢卷长度

(f)带钢宽度

(g)带钢厚度

(h)钢卷重量

(i)钢种成分

(3)生产实绩数据管理

在冷轧钢卷退火生产过程中,退火设备的实际工作状态被基础自动控制系统实时上传到过程自动控制系统中,过程自动控制系统统计设备的运行数据,保存到数据库中。

(4)生产设定值管理

在接到生产计划后,过程自动控制系统计算冷轧钢卷的生产设定值。这些生产设定值被计算出来后,会保存到数据库中。操作人员可通过自动控制系统的操作界面,查看、修改这些生产设定值。设定值包括:

(a)退火温度

(b)炉内压力

(c)氢气流量

(d)氮气流量

(e)助燃空气流量

(5)质量数据管理

过程控制系统提供操作人员查询特定钢卷的相关质量缺陷数据功能。操作人员可以按照时间,钢卷号进行查询,同时操作人员也可以手动对质量数据进行修正。可以添加,修改,删除特定的质量缺陷数据。过程控制系统将把相关数据储存在数据库里面并关联到相关钢卷中。

(6)报表管理

过程控制系统提供定制化的报表,如班报,日报,月报。相关报表所使用的历史数据全部储存在过程控制系统的数据库当中,过程控制系统将根据客户的要求具体定制其需要的报表内容。一般来说,报表里面会含有(并不局限于)下列相关数据:

(a)钢卷号

(b)钢种成分

(c)钢卷外径

(d)钢卷内径

(e)钢卷长度

(f)带钢宽度

(g)带钢厚度

(h)钢卷重量

- (i)班组
- (j)生产开始时间
- (k)生产结束时间
- (l)工艺段温度

以上报表相关数据的显示与存储依赖于自动化系统的生产实绩数据的传送，即基础自动化必须提供相关数据的传输。

(7)与上位机的通讯

过程控制系统需要的原料数据、生产计划数据都来上位机，上位机需要的产品生产实绩数据、生产进度完成数据、生产线故障数据、生产班组统计数据等由过程自动控制系统提供，过程控制系统与上位机通过以太网相连。

4.4 系统组态画面

根据冷轧钢卷退火工艺要求，依据以上软硬件设计方案及温度算法研究而实现退火过程系统控制的相关功能，系统重要组态画面如图 4.3~4.9，其中 4.7 退火温度曲线记录界面显示退火周期实际控制温度曲线与目标工艺温度曲线基本重合，温度偏差(含保温段中后期)不超过±1℃，验证了本文所设计的退火过程控制系统的可行性和实用性。

图 4.3 为系统炉台选择画面，其中显示了 1#~21#炉台控制温度、实际温度、内罩压力、风机转速等监控数值。

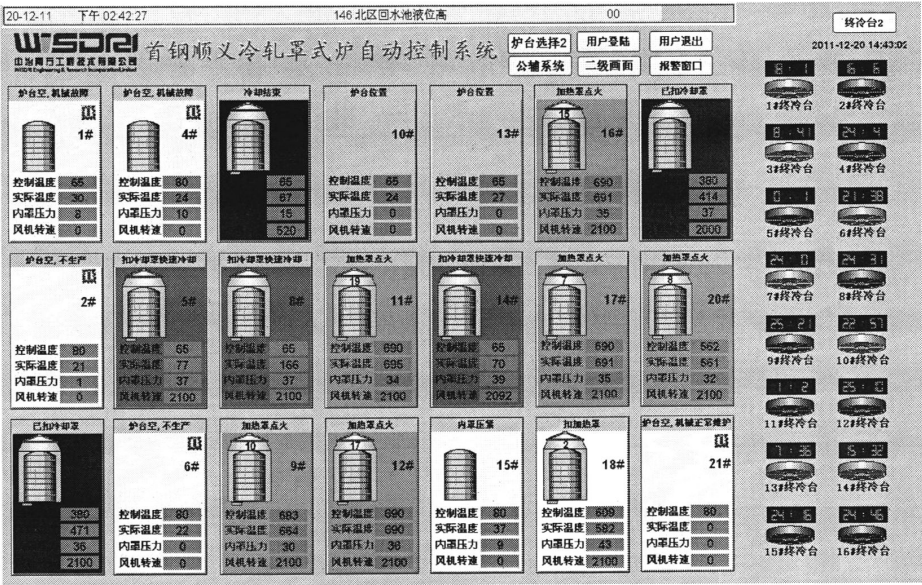


图 4.3 炉台选择界面
 Fig. 4.3 Furnace platform selection interface

图 4.4 为炉台温度控制画面，上半部分列出了退火过程中温度、氢气流量、氮气流量等最重要的参数，下半部分显示了过程系统发来的退火曲线号及退火曲线信息。

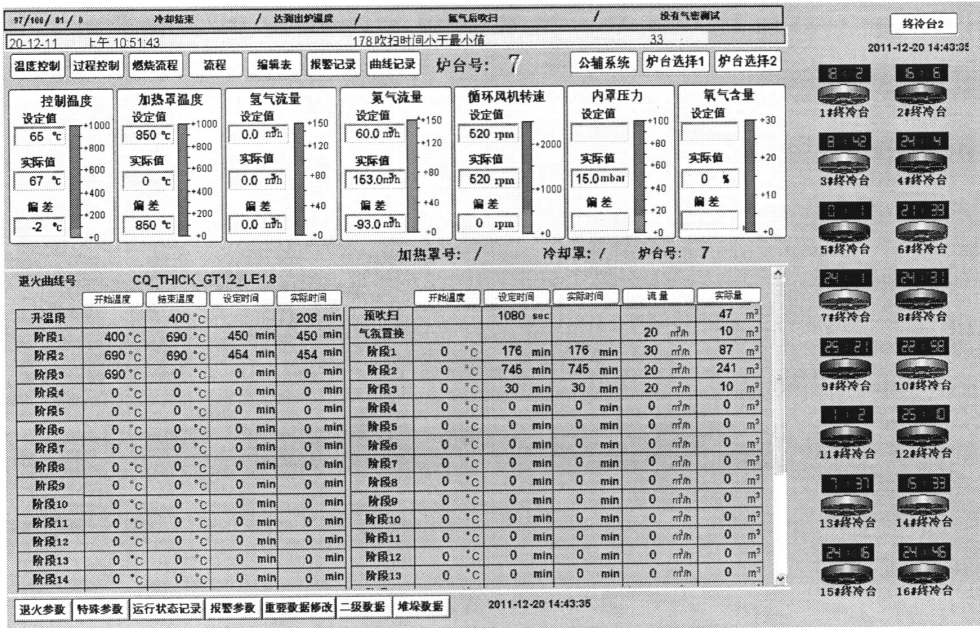


图 4.4 炉台温度控制界面
Fig. 4.4 Furnace temperature control interface

图 4.5 为工辅系统监控界面，实现基础自控系统总能源介质的实时监控功能。

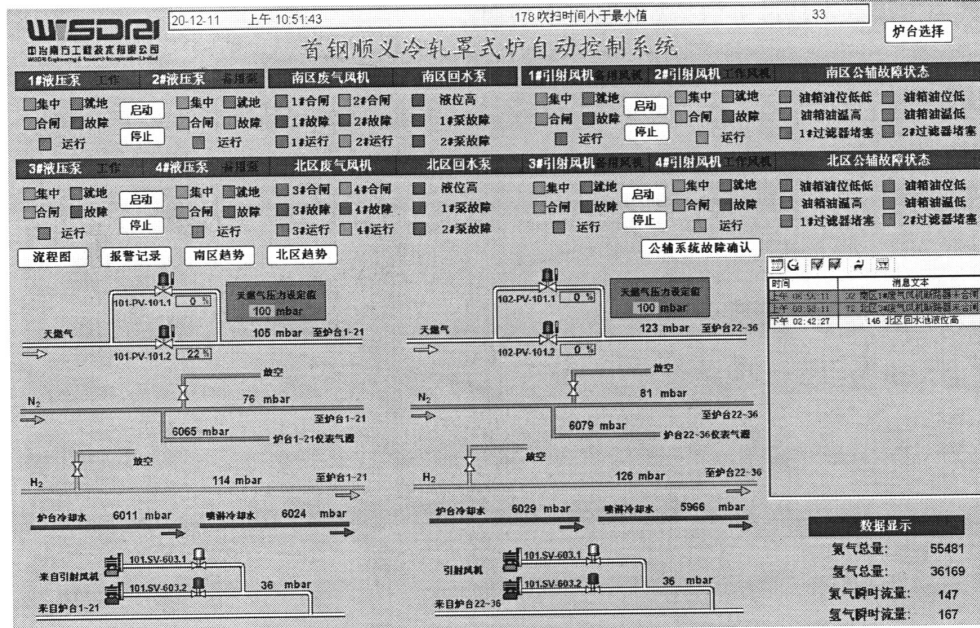


图 4.5 退火工辅系统监控界面
Fig. 4.5 Annealing technology and auxiliary system monitoring interface

图 4.6 显示为 7#炉台的流程监控图，实现退火过程中各炉台氢气、氮气等退火重要介质的实时监控功能。

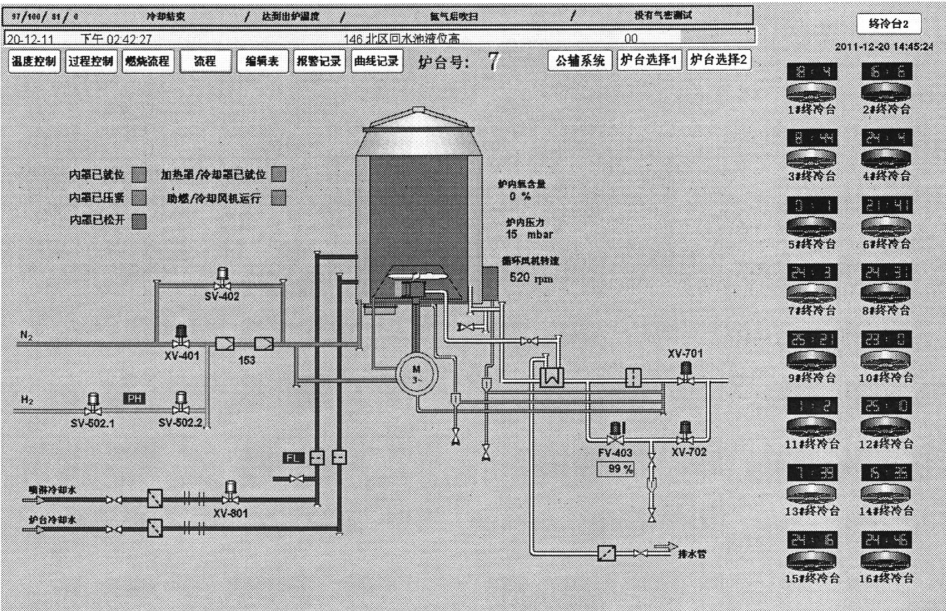
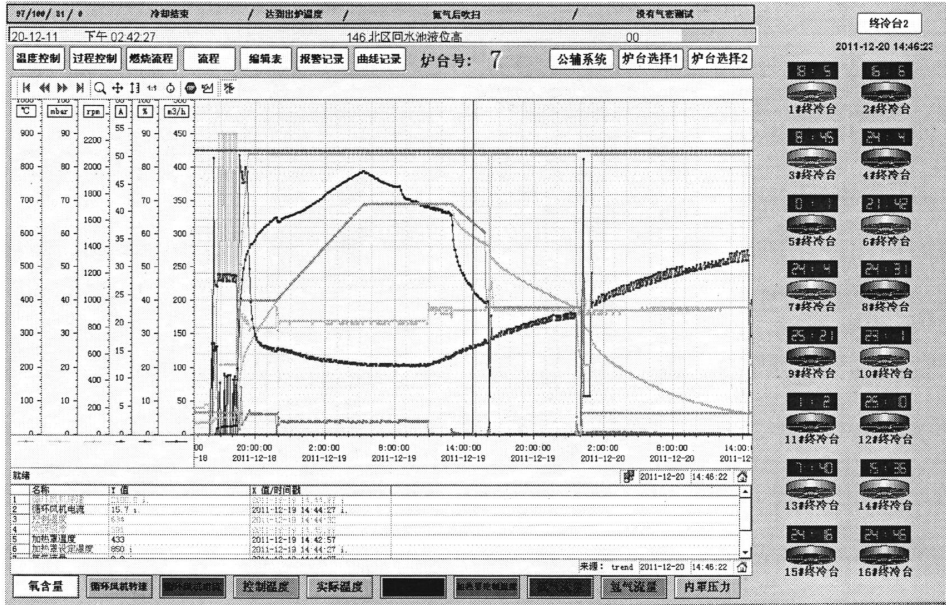


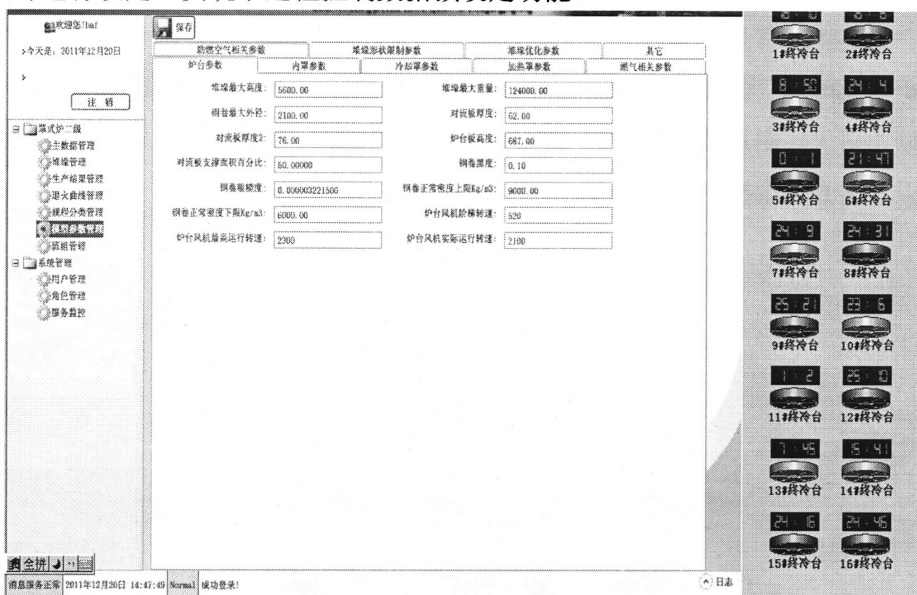
图 4.6 退火流程监控界面
Fig. 4.6 Annealing process monitoring interface

图 4.7 为一个退火周期结束后的各重要参数实际监控曲线，其中绿颜色为目标工艺曲线，青色为退火过程实际温度控制曲线，由图分析，控制曲线与目标曲线温度偏差不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (含保温段中后期)。



4.7 退火曲线记录界面
4.7 Annealing curve recording interface

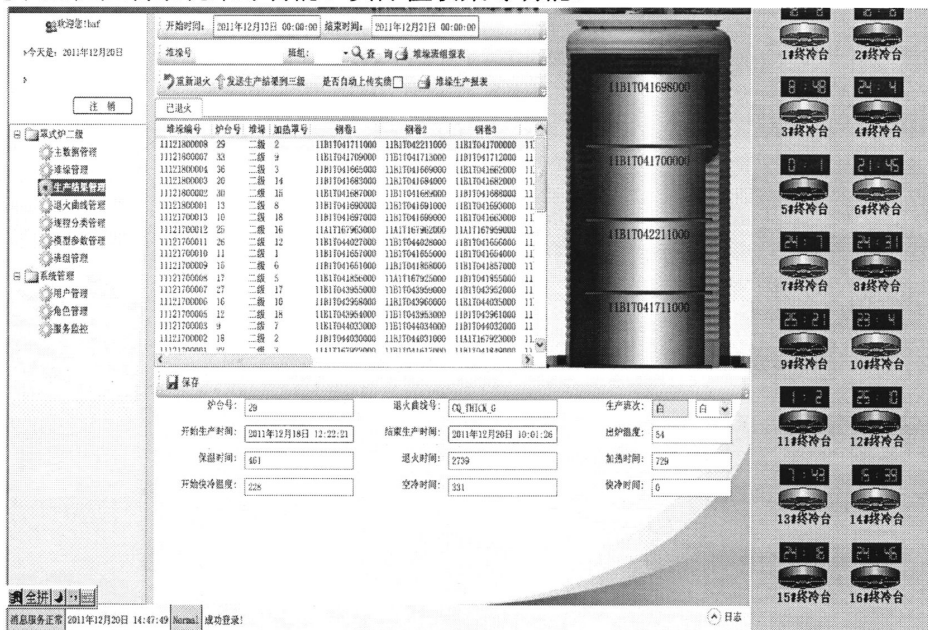
图 4.8 为退火炉模型参数管理界面，可以对炉台参数、内罩参数、加热罩参数等进行设定，实现了过程控制数据预设功能。



4.8 退火炉参数界面

4.8Annealing Furnace Parameter Interface

图 4.9 为退火生产实绩管理界面,从此界面可以查询出 2011 年 12 月 13 日到 12 月 21 日退火生产完毕的钢卷实绩记录。同时看出选定的已退火完毕的堆垛号 11121800008 是在 29#炉台生产以及当时退火曲线选取的是 CQ_THICK_G,实现了过程控制系统跟踪功能、实际值收集等功能。



4.9 退火生产实绩管理界面

4.9 Annealing Production Management Interface

4.5 本章小结

本章作为全文落脚点，对基于 DCS 设计思路的全氢罩式炉退火控制系统分析了系统组成，并针对系统进行安装与调试，详细分析控制系统安装、调试要点。介绍了退火控制系统实现功能，并截取系统生产实际应用界面验证了系统功能实现以及达到温度控制精度要求。

第5章 结论与展望

本课题以首钢建设冷轧钢卷全氢罩式退火炉生产线项目为依托,基于DCS集散控制设计思路,设计了全氢罩式炉退火过程基础控制、过程控制系统软硬件方案;对优化后退火工艺分析研究,采用串级比例并交叉限幅双辅助PI与脉冲控制相结合方式进行温度控制;对控制系统进行安装调试,实现了钢卷退火自动控制系统功能,使整条生产线管理工作规范化、程序化、标准化、信息化。目前第一卷经罩退处理的冷轧钢卷已经下线,退火结果达到退火工艺要求,系统应用稳定、可靠,完全满足了罩式退火炉退火过程的各项要求,验证了设计方案的有效性。使用该退火过程控制系统后,优点主要表现在以下几方面:

(1)可靠性高,采用分布式 I/O, PLC、通信网络和分布式 I/O 之间相互实行电气隔离,可彻底防止任一设备故障而影响网络中其他设备的正常工作,可随时从网络中解除或挂入,而不影响网络系统的运行。

(2)灵活性好,由于工艺改变而需增加信号时,只要将新增信号接入附近分布式 I/O 柜即可,施工方便。

(3)系统开发性好,整个自动化系统硬件设备、软件的选型、网络配置,遵循通用性强、开放性好的原则,便于系统的开发、移植,系统升级以及硬件扩展。

总之,此次系统实现是对所学新老知识的一次较系统的应用,第一次做这样的系统开发实现工作,缺乏一定的工作经验,使本系统开发过程中存在着一些不足。今后,将深入学习相关工艺专业知识的前提下要多实践、多练基本功,不断提升理论知识转化为现实生产力能力。

可以展望的下一步工作有:

(1)本系统具有良好的开发性,便于延伸组成车间级制造管理、公司级经营管理控制系统。

(2)依据本课题研究内容设计思路,可以进一步拓展到罩退生产线退火阶段的前道脱脂、重卷工序和后道精整、成品包装工序生产过程控制。

(3)退火温度控制目前采用的是 PID 与脉冲相结合的控制方法,由于生产过程的复杂性,以后的研发过程中可以采用专家 PID 或模糊 PID 智能方法,以提高算法的适应性。

参考文献

1. 宣梅灿. 徐耀寰. 韩静涛等. 宝钢宽带钢冷轧生产工艺[M], 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1998, 206-235
2. 张景进. 板带冷轧生产[M], 北京: 冶金工业出版社, 2006, 58-73
3. Robert A.Enghofer, Thomas E.Mueller. Experience with 100%hydrogen annealing at LTV's Indiana Harbor No.3 sheet mill[J],Iron and steel engineer, 1990,48(3): 25-29.
4. Lochner H, Schweiger G. Annealing cold rolled strip in HICON/H2 bell annealers[J],Iron and Steel Engineer, 1988, 65(4): 45-51.
5. 梁楚荣. 冷轧带钢全氢罩式炉自动控制系统[J], 装备制造技术, 2008, (7): 83-85
6. 查先进. 严亚兰. 冷轧宽带钢连续退火炉与罩式炉的比较研究[J], 冶金信息导刊, 1991, 1: 26-28
7. 曾昭仑. 冷轧带钢紧罩式退火炉的发展[J], 轧钢, 1991(5): 35-39
8. 朱明. 全氢型罩式炉的安装要点[J], 冶金设备, 2001(2): 56-57
9. 柴天佑.王中杰. 王伟 加热炉控制技术的回顾与展望[J], 冶金自动化, 1998, 22(5): 1-4
10. 谢振亚. 全氢罩式炉的安装及工艺控制分析[J], 山西机械, 2003, (1): 142
11. 吴培恭. 李焰. 司兆昆. EBNER 公司出产的冷轧板卷退火炉[J], 冶金能源, 1990, (9): 14-15
12. C.T.Leondes. Control and dynamic systems,advances in theory and application [M],New York Academic,1982,18-65.
13. Shenvar F. Walking beam furnace supervisory control at Inland's 80-in hot strip mill[J],Iron and Steel Engineer,1994,71(7):25-34
14. Fontana P,Boggian A,Furinghetti A.An advanced computer control system for reheat furnaces[J],Iron and Steel Engineer,1983,60(8):5-62
15. Kachi Y. Gakuhari F. Jiroumaru K. et al. Characteristics, equipment and operation ofa 100% hydrogen batch annealing facility[J],NKK Technical Review,1995,(72): 36-42
16. L • Yongzai. Meeting the challenge of intelligent system technologies in the iron

- and steel industry. Iron and Steel Engineer,1996,73(9):139-149
17. Powell, Derek. HPH annealing technology[J], Iron and Steel Engineer,1998,6(8):43-49
18. 孙大山. 赵连海. 530/200 型全氢罩式炉工艺制度的改进与实施[J], 鞍钢技术, 1997, 13(10): 21-23
19. 韩小良. 强对流全氢罩式退火炉[J], 工业加热, 1996, (1): 27-29
20. 张建新. DCS 控制系统的现状及发展趋势[J], 中国氯碱, 2005, (10): 42-43
21. 杨学高. 冷轧带钢 HPH 罩式炉退火技术动态[J], 国外金属热处理, 1996, 17(3): 8-14
22. 黄旭光. 罩式炉退火工艺制度的优化[J].冶金丛刊, 2003, 144(3): 19-21
23. 崔勇. 李驭. 佟强. 冷轧 Q195F 钢种退火工艺制度的优化[J], 物理测试, 2000, 20(6): 22-27
24. 孙大山. 赵荣国. 褚烈青等. 冷轧罩式热处理炉改用波纹形保护罩[J], 鞍钢技术, 1992(1): 16-19
25. 王江海. 冷轧带钢退火工艺的优化[J], 轧钢, 2004, (3): 65-66
26. 林林. 全氢罩式退火炉退火热过程的研究[D], 北京, 北京科技大学, 2003
27. 石京. 崔德理. 王先进. 紧卷罩式退火的温度场模拟[J], 工业炉, 1998, 3(8): 37-41
28. 杨洪元. 段向东. 杨学高等.全氢强对流罩式炉退火新技术[J], 攀钢技术, 1996, 19(1): 21-26
29. 张敬奎. 吴彬. 刘伟等.罩式退火炉内热过程模拟与控制[J], 材料与冶金学报, 2008, 7(3): 220-223
30. 江波. 姜泽毅. 张欣欣. 钢卷退火过程导热和热应力数学模型[J], 冶金能源, 2005, 24(3): 19-22
31. 李红梅. 向顺华. 黄夏兰. 熊斐. 钢丝氢气罩式退火炉自动控制系统[J]. 自动化仪表, 2005, 26(1): 53-54
32. Madhusudana CV, Fletcher LS.Contact Heat Transfer-The last decade[J],AIAA Journal,1985,24(3): 510-523
33. 鲁逸凡, 姜泽毅, 张欣欣, 刘华飞. 全氢罩式退火炉内罩温度数值分析[J], 工业加热, 2008, (02): 22-25
34. CarpentriDG. Proetor.CW.Temperature control and optimization of a reheat furnace

- eusing a distributed control system[J],Iron and Steel Engineer,1987,64(8):44-49
35. Heribert Lochner, Gerhard Schweiger. Annealing cold rolled strip in HICON/H2 bell annealers[J], Iron and Steel Engineer,1988,4:45-51
36. George T.Brown. A safety and control system for hydrogen bell-type annealing furnaces[J], Iron and Steel Engineer,1989,8:61-65
37. Michael A. Peter Witter. Computerized Control of Bell Type Hydrogen Annealing Furnace Operations[J],Industrial Heating,1994,10:48-53
38. 李红梅. 全氢罩式退火炉的退火过程自动控制系统[J], 冶金自动化, 2003, 27(1): 33-36
39. 刘军捷. 詹宏维. PLC 在 HPH 罩式退火炉控制系统中的应用[J], 基础自动化, 1996, (1): 33-36
40. 崔作祥. 赵英恺. 王文生. 全氢罩式退火炉安全控制系统[J], 冶金自动化, 2001, 4: 64-66
41. 李宁. 全氢罩式退火炉保护气体安全控制策略[J], 冶金自动化, 1995, 18(2): 25-29
42. 赵晓东. 全氢罩式退火炉技术及设备[J], 冶金标准化与质量, 2006, (44): 56-58
43. 朱小兵. 炉台紧急吹扫故障判断方法. 工业炉, 2003, 25(3): 19-21
44. 林林. 张欣欣. 左鼓. 全氢罩式炉退火热过程的研究(I)—数学模型及其实测验证[J], 北京科技大学学报, 2003, 25(2): 174-177
45. Yi Zou. Wen-fei wu. Xin-xin Zhang.A study of heat transfer in high-performance bell-type annealing furnaces[J], Heat Tranfer-Asian Researchh, 2003, 3(25): 395-405
46. 舒迪前. 预测控制系统及其应用[M].机械工业出版社, 1996, 79-85
47. 方之岗. 热工过程自动控制[M], 北京: 冶金工业出版社, 1996, 135-139
48. 刘俊杰. PLC 在 HPH 罩式退火炉控制系统中的应用[J], .基础自动化, 1996(01): 25-28
49. 李少远. 王景成. 智能控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004, 52-60
50. 徐杰. HPH 罩式退火炉控制系统的改进[J], 辽宁省交通高等专科学校学报, 2007, 9(2): 7-71.
51. 林林. 张欣欣. 左燊等. 全氢罩式炉退火热过程的研究 (II) —对流换热系数和钢卷径向等效导热系数的分析[J], 北京科技大学学报, 2003, 25(10): 96-99

52. 熊斐. 宝钢研制的全氢罩式炉控制系统分析[J]. 宝钢技术, 2002, 6: 5-8
53. 胡玲艳. 唐锴. 应用 S7-300PLC 进行罩式炉控制系统的设计与分析[J], 冶金自动化, 2006, (1): 42-45
54. 陈开华. 李建忠. 全氢罩式退火炉控制系统[J], 冶金自动化, 2008, 32(1): 41-44
55. 王腊梅. 全氢罩式退火炉自动控制系统研究[J], 酒钢科技, 2011, 2: 63-69

致 谢

时光匆匆，如白驹过隙，值此掩卷之际，除了一丝喜悦和成就感之外，心中更多的还是感恩，此时此刻，只能以最为朴素的感谢，表达出我内心最真挚的情感。

首先我要感谢我尊敬的导师高宪文教授，在我撰写学位论文的时间里，高教授在百忙之中抽出时间，在对论文的选题、框架的调整、内容的增删、乃至具体格式的规范等方面，都投入了大量的精力，提出了很多极具价值的建议、意见。教授具有渊博的知识，敏锐的洞察力和极富创新的学术思想，给本文的研究指明了方向，给了我极大的启发和帮助，让我领会到了一个真正学者所应该具有的风采以及治学为人的道理。借此机会再次表达我对高教授最深切的尊敬、爱戴和谢意。

感谢给我传授专业课的东北大学信息科学与工程学院的老师，是他们授予我知识，为我的研究思路铺垫了坚实的理论基础，没有他们谆谆的教导和深深的关爱，我的论文就无法完成。

感谢杨成高工，作为我的企业副导师和领导，在本论文的设计和完成期间，杨成高工用其丰富的学识和实践经验以及工作时间、工作内容的安排，给予了我极大的帮助与支持，使我受益匪浅。

感谢郭健铭、张树根、黄轶群等我的工硕同学们，感谢他们为我提供宝贵资料和精神鼓舞，兄弟般的情谊使我的工硕生活倍感温暖，并充满了乐趣和生机。

感谢我父母及家人，在工硕学习及论文写作过程中，给了我最大的理解和支持，分担和谅解了我所有的一切，那朴实而温润的爱、那无法用言语比拟的默契是使我向前的最大动力。

最后，由衷地感谢在百忙之中评阅论文和莅临答辩的各位专家、教授！