

文章编号:1671 - 251X(2010)02 - 0128 - 05

基于数学模型的辐射管辊底式热处理炉 在线优化控制系统的设计

苏福永¹, 温 治¹, 程淑明², 冯霄红², 董 斌²

(1. 北京科技大学机械工程学院, 北京 100083; 2. 重庆赛迪工业炉有限公司, 重庆 400013)

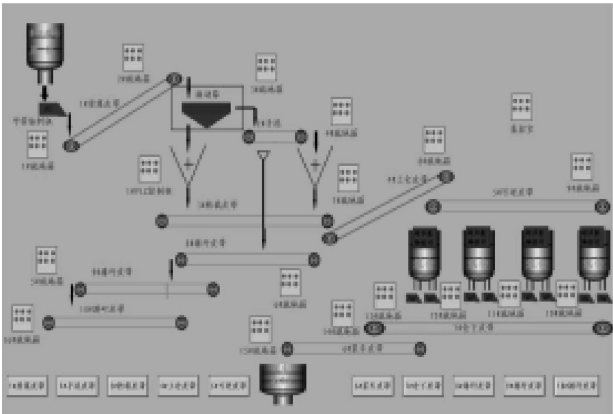
摘要:文章以某公司辐射管辊底式热处理炉为研究对象,全面分析了其传热特点,并以辐射管辊底式热处理炉数学模型为基础,实现了辐射管辊底式热处理炉的计算机优化控制。该辐射管辊底式热处理炉在线优化控制系统可实现炉内钢坯位置的实时跟踪、钢坯温度的动态计算、最佳炉温的优化设定及在线反馈修正、钢坯装出炉在线实时修正、上下位机的网络通信及实际生产过程的数据库管理等功能。通过对现场实际运行数据的统计分析表明,该系统运行稳定,计算精度高,数学模型计算值与实际测量值最大相对误差在 2 % 以内,完全满足钢板的热处理质量要求。

关键词:辊底式热处理炉; 辐射管; 数学模型; 计算机控制; 优化控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** B

收稿日期:2009 - 10 - 17

作者简介:苏福永(1982 -),男,天津人,北京科技大学机械工程学院在读博士研究生,主要研究方向为热过程模型。E-mail:live_bird@126.com



设备名称	电压/ V	电流/ A	温度/	运行状态	故障信息
1 # 原煤胶带	380	0	25	停止	无
2 # 手选胶带	380	0	25	停止	无
3 # 转换胶带	380	0	25	停止	无
4 # 上仓胶带	380	0	25	停止	无
5 # 可逆胶带	380	0	25	停止	无
6 # 装车胶带	380	0	25	停止	无
7 # 下仓胶带	380	0	25	停止	无
8 # 排矸胶带	380	0	25	停止	无
9 # 排矸胶带	380	0	25	停止	无
10 # 排矸胶带	380	0	25	停止	无

图 4 系统监控主画面

3 结语

应用国产 KHP109 - K 型煤矿用带式输送机保护系统对山西介休倡源煤炭有限责任公司地面多部胶带输送机、给煤机等实现了集中自动控制,提高了生产系统的安全可靠性,大大降低了员工操作强度,提升了矿井自动化水平。仅在节约人力方面,沿线值守人员每天减少 14 人,年创效益可达到 50 万元。该系统于 2009 年 6 月初投入运行,实践证明,系统图形界面友好,操作简捷,安全稳定,为矿井原煤生产运输提供了有力保证。

参考文献:

- [1] 党 克,张卫红,李桂林. 引风机状态维护的设计方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 2003(3).
- [2] 李艳杰,于艳秋,王卫红,等. S7 - 200PLC 原理与实用开发指南[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [3] 王万良,赵燕伟. 自动控制原理[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.

Design of Control System of On-line Optimization for Heat Treating Furnace of Radiant Tube Roller-hearth Mode Based on Mathematical Model

SU Fu-yong¹, WEN Zhi¹, CHENG Shu-ming², FENG Xiao-hong², DONG Bin²

(1. College of Mechanical Engineering of USTB., Beijing 100083, China.

2. CISDI Industrial Furnace Co., Ltd., Chongqing 400013, China)

Abstract: The paper took heat treating furnace of radiant tube roller-hearth mode of a company as a research object, analyzed its heat-transfer characteristics completely, and realized computer optimization control of heat treating furnace of radiant tube roller-hearth mode based on mathematics model of the heat treating furnace. The control system of on-line optimization for heat treating furnace of radiant tube roller-hearth mode can realize functions such as real-time movement tracking of billet in furnace, dynamic temperature calculating of billet, optimization and setting of optimum temperature and its on-line feedback and modification, on-line and real-time modification of billet output from furnace, network communication between upper and low computer, database management during practical production and so on. Form the statistical analysis of practical running data in production, it can be gotten that the system has stable running performance and high calculation precision, and the biggest relative error is lower than 2% between calculating results of the mathematics model and practical testing results, which shows that the system can meet quality requirement of heat treating of billet completely.

Key words: heat treating furnace of roller-hearth mode, radiant tube, mathematical model, computer control, optimization control

0 引言

热处理工艺是中厚板生产的最后处理工序,热处理炉在这个过程中扮演着极其重要的角色,钢板的加热质量将直接影响产品的质量。辊底式热处理炉由于其处理的钢材质量好,产量高,易于实现机械化、自动化操作而被广泛应用于冶金及机械行业生产中^[1]。辊底式热处理炉按加热方式可分为明火加热和辐射管加热 2 种炉型。辐射管加热辊底式热处理炉由于炉内充入氮气作保护气,炉内保持无氧化气氛,使钢板不会被氧化,大大提高了钢板的加热质量^[2]。

本文针对某公司已建成的采用辐射管加热的辊底式热处理炉的实际情况进行研究,以所建立的辊底式热处理炉内钢板加热过程二维传热数学模型为基础,结合现场实际情况,对钢板加热过程实现了计算机优化控制。

1 辐射管辊底式热处理炉简介

本文的研究对象为辐射管辊底式连续热处理炉,主要执行钢板的正火、高温回火、中温回火等热处理工艺。其炉长为 69.64 m,有效长度为 66 m,

宽度为 4.11 m,炉膛内宽为 3.5 m,有效布料宽度为 3.2 m,炉膛内高度为 3.025 m,炉子沿炉长方向分为 10 个控制段、20 个温度控制区。图 1 为辐射管辊底式热处理炉示意图。

该热处理炉采用自身预热式单直套管型辐射管,控制方式为脉冲控制。其燃烧系统和温度控制系统的主要特点如下:

(1) 全炉分为 10 个供热段,上、下供热单独控制,共 20 个温度控制区,分别对炉温进行自动控制,辐射管分别布置在钢板的上部和下部。

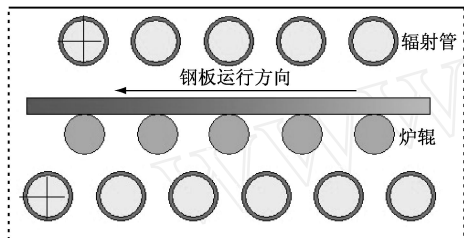
(2) 辐射管采用混合煤气烧嘴,通过空气与煤气的多级混合实现分段燃烧,形成较长的火焰形状,从而保证沿辐射管长度方向上的温度均匀性,在辐射管的废气出口末端装有翅片对流型自身空气预热器,将助燃空气预热至 500℃ 以上,节约燃料消耗。

(3) 采用循环脉冲时序控制模式,分段控制炉温,以适应不同热处理制度的控制要求,最终满足多品种所要求的温度制度调整的灵活性。

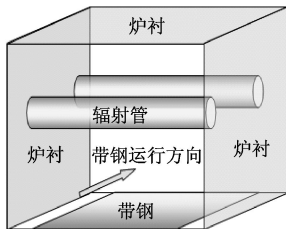
(4) 采用先进、可靠、实用的仪表和电器控制设备,并配备完善的仪表电器自动化控制系统,确保温度控制的精度。



(a) 辐射管辊底式热处理炉现场实物照片



(b) 辐射管辊底式热处理炉剖面示意图



(c) 辐射管辊底式热处理炉内部渲染图

图 1 辐射管辊底式热处理炉示意图

2 辐射管辊底式热处理炉数学模型

钢板加热过程的计算机优化控制以钢板在炉内加热的数学模型为基础,模型中根据钢板的具体情况以及现场的条件,在保证模型准确性的前提下进行简化,依据经验和实际情况来提出如下假设^[3~5]:

(1) 炉温分布不随时间变化,认为炉膛内辐射管外表面温度在所分区段内是均匀一致的;

(2) 钢板在炉内匀速运动,忽略沿钢板长度方向(即炉宽方向)的导热。由于钢板间隙放置,因此可将钢板的内部传热近似认为无限长扁坯上下及两侧四面受热的二维不稳态导热问题,并认为两侧的受热条件是相同的。

(3) 炉墙内表面、炉顶内表面、辐射管外表面及钢板表面黑度视为常数;

(4) 近似认为炉温比辐射管表面温度低 30 ~ 50 。

在以上假设的基础上,钢板加热过程所用数学模型中炉膛内的热交换引入假想面等效黑度法进行计算。通过该方法,炉膛内复杂的热交换便可以看

成是由钢板表面、假想面和炉壁组成的简单封闭空间内的热交换。忽略炉壁的热辐射,则炉膛内的热交换可简化成钢板表面和假想面之间的辐射换热。在钢板的内部导热中,认为钢板是沿宽度方向温度分布对称、厚度方向不对称的二维非稳态导热。而对于炉衬(炉墙和炉顶)来说,其传热过程按照一维无限大平板导热进行计算。

对于已经建立的钢板加热过程数学模型,首先在所选取的坐标空间内进行网格划分,然后采用交替隐式差分格式在所划分的网格对控制方程进行离散化,最后由追赶法(TDMA)进行数值求解^[6~7]。

3 辐射管辊底式热处理炉在线优化控制系统设计

3.1 系统组成

本文所设计的在线优化控制系统主要由客户端系统和服务器系统组成,如图 2 所示。客户端系统主要用于将服务器的计算数据显示在各种人机控制界面上,并将人机控制界面发出的控制信号传回服务器。服务器系统主要执行钢板温度的实时计算以及与其它系统之间的通信和数据传递,通过数据表共享与 L3 级系统进行通信,以及时得到生产计划安排等;通过 OPC 协议与仪表 PLC 系统和电气 PLC 系统通信,以获取热处理炉的炉温分布、炉底辊转速及装出炉信号等。同时,服务器系统还与现场打印机等设备连接,以及时打印输出报表。

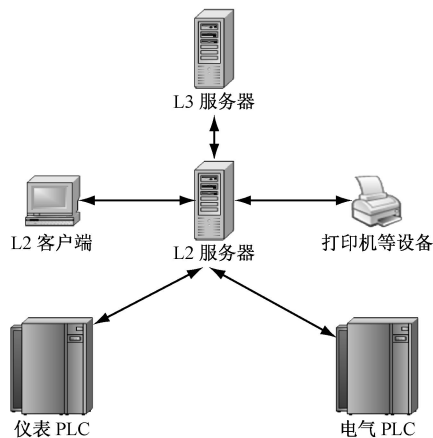


图 2 在线优化控制系统组成图

3.2 炉内钢板位置跟踪模块

辊底式热处理炉炉内钢板位置实时在线跟踪模块是辊底炉优化加热控制的基础。该模块根据辊底式热处理炉的装出料信号,以及上位管理计算机下达(或由操作工人输入)的装出料等信息,在线跟踪料坯在炉内的位置,从而为温度跟踪等模块提供详细的物流信息,并在操作界面显示跟踪结果。

用鼠标点击某一块钢板,界面上就会显示该块钢板的信息情况,其中包括编号、长度、宽度、厚度、工艺、目标温度、钢种、目标加热时间、已经加热时间以及钢板表面的平均温度等等。炉内钢板位置跟踪界面如图 3 所示。



图 3 炉内钢板位置跟踪界面

3.3 炉内钢板温度跟踪模块

钢板温度跟踪模块是优化控制的核心,其主要功能是根据在线监测的各段炉温、煤气流量、空气流量以及炉内钢板位置跟踪模块的信息,由钢板加热过程在线控制数学模型,以适当的频率计算并确定炉内每块钢板在计算时刻的温度情况,从而实现全炉钢板的温度在线跟踪计算,估算该块钢板出炉时的温度情况,并据此调节炉温设定,为炉温优化设定提供坚实的理论依据。650 回火时单块钢板炉内钢板温度实际跟踪曲线如图 4 所示。

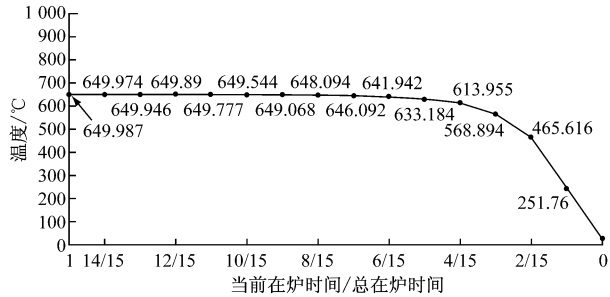


图 4 650 回火时单块钢板炉内钢板温度实时跟踪曲线

3.4 炉温设定及温度反馈模块

炉温设定模块的主要功能是根据生产节奏、炉内钢板的规格、钢种等及钢板的出炉温度分布、断面温差要求等信息动态设定各个炉温控制段的优化炉

温设定值,从而保证钢板在炉内的升温速率、保温时间以及最终出炉温度的要求。在实际设定中,钢板的热处理质量为主要影响因素,在保证热处理质量的前提下应尽量加快生产节奏。

温度反馈控制模块的主要功能是将出炉钢板的实际测量温度传到数学模型中,然后根据实际测量温度与目标温度之间的差值来修正炉温的设定,使其更能适应同类钢板的热处理工艺。

炉温设定及温度反馈流程如图 5 所示。

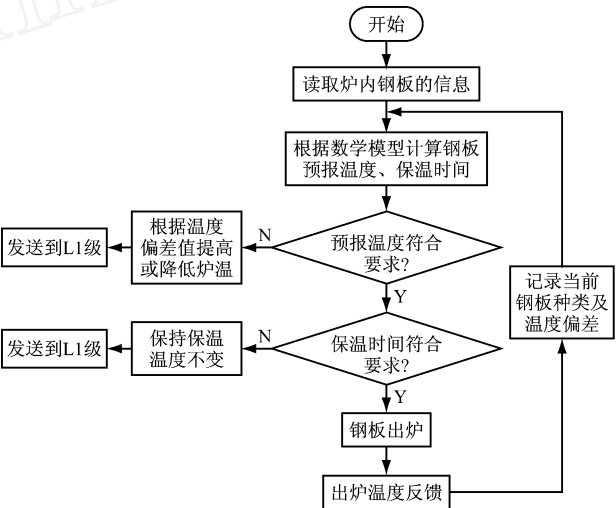


图 5 炉温设定及温度反馈流程图

3.5 钢板装出炉修正模块

在现场生产条件下,针对通信故障时没有接收到装出钢信号的情况,控制系统提供了钢板装出炉修正模块。装炉修正时,钢板的信息输入有 2 种方式:添加计划表中的钢板和手动添加钢板。选择添加计划表中的钢板时,只要选择下拉菜单中的钢板编号即可,系统将自动在 L3 数据库中查找相应的钢板信息;当 L3 级的数据库中没有计划的钢板信息时就要手动添加钢板了,选择手动添加钢板时,需要人工输入钢板的信息,其中包括钢板编号、热处理工艺、钢种、钢板长度、宽度、厚度、目标加热温度和钢板加热时间等,输入的信息会随装炉信号自动保存到数据库中,用于后面钢板温度场的计算。出炉修正时,直接在界面选择将要出炉的钢板号即可实现钢板的出炉。

钢板在炉内运行过程中,程序计算的钢板位置是通过钢板的初始位置、运行速度和时间来计算得到的,而实际钢板的位置是通过炉内的 HMD (高温金属检测器) 来识别的,因此可能由于时间延迟而造成钢板的实际位置和程序中计算的钢板位置不相

符,所以需要人为地进行位置的修正。而在实际生产过程中,还可能出现生产计划发错的情况,这时就需要对原有计划进行修改。控制系统针对以上2种可能的情况也都做了相应的修正模块,这样能最大限度地适应现场生产的需要,保证连续生产。

3.6 系统工作流程

辐射管辊底式热处理炉在线优化控制系统工作流程如图6所示。

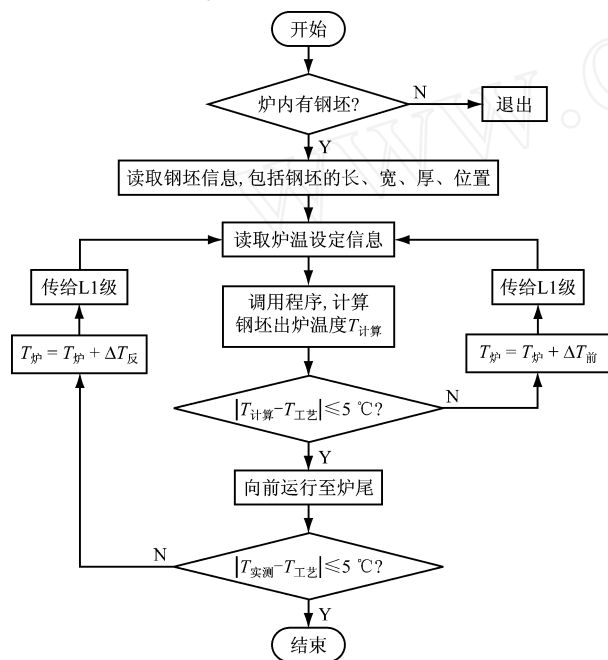


图6 辐射管辊底式热处理炉在线优化控制系统
工作流程图

4 系统在线运行结果及分析

为了检验系统数学模型的准确性与可靠性,在实际生产中针对生产量较大的低合金钢板和耐磨钢板对数学模型进行了验证。2种钢板的生产参数如表1所示,其中实测钢板平均温度为所有钢板(记录钢板数量>40块)在出料口红外辐射高温计测量的钢板表面温度的平均值,数学模型计算平均温度为所有钢板数学模型计算温度的平均值。从表1可看出,数学模型计算值与实际测量值最大相对误差都在2%以内,完全可以满足钢板加热质量的要求。

5 结语

本文成功地将参考文献[3]所开发的离线数学模型应用于某公司辐射管辊底式热处理炉控制系统中,实现了钢坯炉内位置的实时跟踪、钢坯温度的动态计算、最佳炉温制度的优化设定、钢坯出炉温度在线反馈修正、钢坯装出炉在线实时修正、上下位机的网络通信及实际生产过程的数据库管理系统等功能。经现场实际生产检验,在线优化控制数学模型的计算精度高,系统运行稳定,模型计算的钢板温度与实测温度的最大相对误差不超过2%,能够满足实际生产的要求,取得了良好的控制效果。本文所做工作对国内同类热处理炉的计算机优化控制具有重要的指导意义。

表1 低合金钢板和耐磨钢板的生产参数表

钢种	工艺	规格/mm	实测钢板 平均温度/	数学模型计算 平均温度/	绝对误差/	相对误差/%
低合金钢板	650 回火	8 400 ×1 800 ×40	638	649	11	1.7
耐磨钢板	200 回火	9 000 ×2 000 ×8	197	199	2	1.0

参考文献:

- [1] 牛珏,温治,王俊生,等.紧凑式辊底式连续热处理炉优化加热控制策略[J].仪器仪表学报,2007,28(8):1502-1507.
- [2] 邵正伟.国内中厚板热处理工艺与设备发展现状及展望[J].山东冶金,2006(3):11-15.
- [3] 李文,温治,豆瑞锋,等.采用辐射管加热的辊底式热处理炉数值仿真及其分析[J].工业加热,2008(4):36-39.
- [4] 武文斐,张欣欣.直通式辊底加热炉传热数学模型研究[J].工业炉,2006,28(3):1-4.
- [5] 王俊生.辊底式连续热处理炉数学模型及计算机优化控制系统[D].北京:北京科技大学,2005:20-60.
- [6] 牛珏,温治,王俊生,等.辊底式连续热处理炉数学模型优化控制仿真系统[J].冶金能源,2007(2):15-19.
- [7] 王俊生,牛珏,温治,等.辊底式连续热处理炉厚板二维传热过程数学模型的研究[J].工业加热,2005(1):14-18.