

DOI:10.3969/j.issn.1002-1639.2024.02.008

提升钢坯加热质量的加热炉数学模型构建

梁 萌

(陕西国防工业职业技术学院, 陕西 西安 710300)

摘要:加热炉在化工、钢铁等多行业均有重要的应用。作为热工设备之一,加热炉具有滞后性、时变性等特点,极大的影响了材料的加热质量。钢坯在加热过程中其质量会受到加热温度、加热速度、加热时间等多种因素的影响。在对加热温度确定时不仅要考虑钢种性质,而且要顾虑加工要求,获得最佳的塑性,提高轧制的产量、质量,有效降低能耗,减轻设备磨损,生产出高质量的钢质产品。以钢坯加热的步进式加热炉作为分析对象,分析探讨加热炉的优化控制手段。先对加热炉的构造以及燃烧控制系统进行介绍,然后对加热炉温度数学模型的构建方法进行了论述,并提出优化方法,旨在提升加热炉在钢坯加热过程中的有效性,使其更加符合工业生产的温度设定要求,为工业加热质量提升以及节能降耗发挥重要作用。

关键词:钢坯加热;加热炉;系统优化;模型构建

中图分类号:TG155.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1639(2024)02-0036-04

Mathematical Model Construction of Reheating Furnace for Improving Billet Heating Quality

LIANG Meng

(Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

Abstract: Heating furnaces have important applications in various industries such as chemical engineering and steel. As one of the thermal equipment, the heating furnace has the characteristics of hysteresis and time-varying, which greatly affects the heating quality of materials. The quality of billet in the heating process will be affected by many factors such as heating temperature, heating speed and heating time. When determining the heating temperature, it is not only necessary to consider the nature of steel, but also to consider the processing requirements, to obtain the best plasticity, improve the output and quality of rolling, effectively reduce energy consumption, reduce equipment wear, and produce high-quality steel products. In this paper, the step-by-step heating furnace for billet heating is taken as the analysis object, and the optimal control means of the furnace is analyzed and discussed. First, the structure of the heating furnace and the combustion control system are introduced, then the construction method of the temperature mathematical model of the heating furnace is discussed, and the optimization method is proposed, aiming at improving the effectiveness of the heating furnace in the billet heating process, making it more consistent with the temperature setting requirements of industrial production, and playing an important role in improving the quality of industrial heating and energy saving and consumption reduction.

Key Words: billet heating; heating furnace; system optimization; model building

加热炉是一种主要用于加热的设备,它的重要应用行业包括石油、化工、食品、酿造、纺织和精细化工等。一般来说,加热炉可以将原材料加热至某一温度,并形成物料固体、液体或气体,以便满足不同的生产要求。随着我国钢铁工业的飞速发展,加热炉作为重要的轧钢设备之一,在钢铁行业的应用最为广泛。但轧钢过程中加热炉的温度直接关系到钢坯的质量,因此需要进一步关注加热炉的温度控制问题。加热炉通过有效地控制,能够使其加热获得更好的节能效果,保证生产的高质量和安全性。控制系统的数学模型优化是建立加热炉的动态模型,以求得加热炉内部参数的值,进而根据模型中建立的系统模型,划分不同

的控制单元,利用模型预测控制效果,并优化不同控制器参数。控制系统的优化是提高加热炉运行效率的关键步骤,可以极大地提高节能性能、稳定性和可控性,在提高加热炉操作性能方面有着至关重要的作用。本文综合分析加热炉的控制系统构建以及数学模型优化问题,以提升加热炉的控制效果和钢坯的加热质量。

1 加热炉构造及燃烧控制

1.1 加热炉构造

加热炉是一种特殊类型的热能设备,其构造复杂,生产使用流程相对复杂。它的主要部件是炉体、炉盖及炉内升温分裂组件,以及必要的控制面板、供汽系统和排气系统,炉体内装有加热介质,以及必要的夹具^[1-2]。待加热炉安装完成以后,需要进行温度校准,

收稿日期:2023-04-12;修回日期:2024-01-05

作者简介:梁 萌(1981—),女,硕士,讲师,研究方向为高等数学教学,计算机算法。

从而确认加热炉的温度稳定性。钢坯加热炉的主要作用是将带轧钢坯进行加热,使其符合轧制温度^[3]。本

文以步进式加热炉作为分析对象,加热炉构造如图1所示。

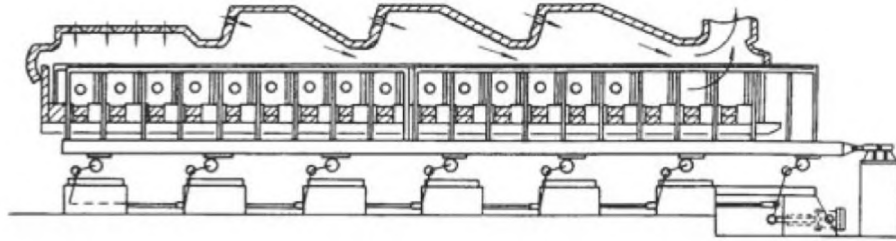


图1 步进式加热炉构造

如图1所示,步进式加热炉包括下端固定梁以及上端移动步进梁。通过步进梁能够带动钢坯经由辊道送至炉内。相较于其他钢坯加热方式,步进式加热炉具有运料灵活、间隔加热等优势,便于进行钢坯加热的自动化控制^[4]。

1.2 加热炉燃烧自动控制

为满足钢坯生产的实际需要,提升加热炉的控制水平采取自动化燃烧控制方法进行系统控制。首先对钢坯装入加热炉中的温度等信息作为计算的主要依据,然后在此基础上完成对钢坯装炉温度变化的实时计算,根据计算结果建立起初始的温度跟踪数据^[5]。其次在加热炉内部安装热电偶/热电阻等温度检测装置,实时监测加热炉内的温度变化。借助中心差分模型对钢坯在加热运行过程中所处位置的炉气温度进行推算,计算出钢坯的温度变化情况以及仍需加热的时间^[6]。最后根据钢坯加热的设定规则计算出钢坯的加权系数,从而得到不同阶段加热炉温度所需达到的设定值。如果钢坯在设定时间内没有达到出炉的设定温度,则延长其加热时间。

2 加热炉燃烧控制系统设计

加热炉自动燃烧控制系统主要负责计算出加热炉在不同燃烧阶段钢坯所需的温度值,从而完成加热温度的设定,使得加热炉能够实现精准化控制,达到最佳的燃烧状态^[7-8]。加热炉自动燃烧控制模型主要包括以下几部分:粗轧设定计算、轧制节奏控制、炉内管理、通信管理。粗轧设定计算模块主要负责计算钢板坯的出炉温度,轧制节奏控制模块用于控制钢板坯的出炉时刻以及出炉节奏,炉内管理模块用于检测钢坯在炉内的位置,并对其实时温度变化进行检测,通信管理模块用于设定钢坯出炉温度^[9]。除此之外,打印机以及HMI模块为系统相关数据的输出模块,可进行L1(基础燃烧)历史数据监测。模型设定如图2所示。

1) 钢坯数据信息建立

在钢坯装入加热炉时建立钢坯信息,记录钢坯的基本信息包括初始温度、钢坯尺寸、型号以及目标温度等。确定钢坯的温度结点分布情况,借助热工模型计算钢坯的温度分布情况。采取网格点划分方式计算钢坯在厚度以及长度方向的温度情况,推算其应该在上料辊道的停留时间^[10]。

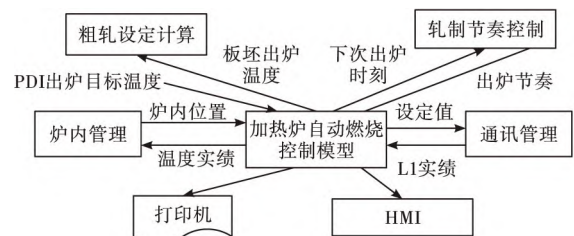


图2 加热炉自动燃烧控制模型

2) 钢坯热工温度计算模型

采用二元有限差分模型对钢坯的温度进行在线计算,周期性计算加热炉内的钢坯温度变化以及分布。通过二元有限差分模型对加热炉内的热交换(对流、辐射以及传导)进行说明。参照燃烧控制模型中存储的钢坯尺寸、钢坯种类以及位置等数据量化不同钢坯所需的受热条件,专门计算不同钢坯所要求的热物理特性,完成加热炉的设定值等计算^[11]。

3) 加热炉炉温控制

加热炉的炉温控制目的是对燃烧段的温度进行精准的设定,从而使得钢坯在加热炉加热至预定温度。加热炉自动燃烧控制模型根据钢坯的精密度等依据周期性的计算出适宜的燃烧段温度值,相较传统手工计算方式更为合理和准确^[12]。待钢坯表面以及内部温度符合出钢要求后发出出钢信号。如果存在热量不足或者钢坯的加热质量存在问题时,实行延时策略,通过人机交互界面进行计划性延时。

3 加热炉温度数学模型构建

3.1 模型构建原理

加热炉自动燃烧控制模型通过实测炉内各钢坯位

置的炉气温度分布情况,得到加热炉内钢坯的温度场模拟计算结果,从而获得加热炉内钢坯在时间以及空间变化情况下温度场的变化情况,完成对钢坯温度的动态监测。在计算的过程中需要采取数学描述的方式计算加热炉进行热交换和热传导的温度变化情况,通过差分法进行温度求解^[13]。除此之外,加热炉膛内发生热交换是以辐射方式为主,受到加热炉动态操作等因素的限制,因此通过微分方程进行复杂条件的表达具有严谨性。因此以钢坯入炉时的初始温度作为参考,实测其温度在装炉过程的差值,并通过热装模型进行预测计算。根据步进式加热炉的加热能力、移动方式等通过模型推演的方式预测钢坯的在炉时间。

3.2 建立加热炉温度计算数学模型

加热炉温度计算模型是描述加热炉物理过程的数学模型,可以通过该模型计算加热炉温度场分布,控制加热炉温度,提高钢坯加热效率和产品质量。加热炉温度计算数学模型的建立可以分为以下几个步骤:

1) 建立加热炉物理模型

加热炉物理模型是基于加热炉的实际情况建立的,包括加热炉结构、加热炉内部布局、加热炉加热方式、钢坯放置位置等信息。

2) 建立加热炉温度分布模型

加热炉温度分布模型是基于加热炉物理模型建立的,包括加热炉内温度场分布、加热炉内辐射热通量分布等关键参数,可采用有限元方法进行数值计算^[14]。

3) 确定加热炉温度计算方程

根据加热炉物理和温度分布模型,可以建立加热炉温度计算方程,包括传热方程、能量平衡方程等,将温度场的演化过程描述为微分方程组。

4) 建立温度测量模型

对于工业加热炉,需要选择适当的温度传感器进行实时温度测量,建立温度测量模型,将实际测量数据与理论数值进行比较,优化计算模型。

3.3 加热炉温度计算数学模型优化方案

1) 测量误差补偿

加热炉温度计算数学模型需要实时准确的温度测量数据作为输入,但是各种测量传感器存在不同程度的测量误差,导致计算结果的准确性下降。因此,需要建立测量误差补偿模型,对温度传感器进行标定和调整,补偿测量误差、提高计算结果的准确性。

2) 多物理场耦合

加热炉温度计算数学模型需要考虑多个物理场之间的相互作用,包括传热、辐射、流体动力学等,这些物理场之间的相互作用会引起温度场变化,需要进行多

物理场耦合模拟,提高模型的可靠性和预测能力^[15]。

3) 模型参数优化

建立加热炉温度计算数学模型时,需要考虑许多参数和影响因素,这些参数和影响因素对模型的性能和预测能力具有较大影响。因此,需要针对不同的应用场景进行模型参数的优化和调整,提高模型的适应性和准确性。

4) 模型实时性优化

加热炉温度计算数学模型需要实时更新,随时反馈加热炉温度变化情况,因此需要实现模型实时性优化,提高计算效率和运算速度,以满足工业加热炉实时控制需求。

4 结 语

随着我国钢铁等基础产业的不断发展,以加热炉为代表的工业生产设备自动化以及精确化要求逐渐提高。使用加热炉进行钢坯等材料加热直接影响到材料的质量以及加热效果。因此本文充分探讨了如何优化加热炉的温度控制,从模型等多角度进行分析,以提升加热炉的加热效率,减少工业燃料的消耗。

参考文献

- [1] 邓 龙,吕立华. 方坯加热炉模型控制系统的开发与应用[J]. 冶金自动化,2021,45(4):48-54.
- [2] 薛美盛,方 醒,闵 天,等. 神经网络预测控制在加热炉炉温控制中的仿真研究[J]. 化工自动化及仪表,2018,45(8):590-594.
- [3] 王墨南,吕立华. 加热炉全自动模型在宝钢热轧各产线的运用[J]. 宝钢技术,2021(2):19-23.
- [4] 汤小兰. 一种基于嵌入式系统的加热炉实际预测控制算法[J]. 工业加热,2020,49(7):10-13.
- [5] 邹雄飞,李 青,任玉龙,等. 智能先进控制技术提升加热炉热效率的应用研究[J]. 化工自动化及仪表,2023,50(1):99-103,111.
- [6] 周登举,王伟棋. 炉容受限的加热炉-热轧集成调度模型与算法[J]. 价值工程,2022,41(34):105-108.
- [7] 冉宪宇. 计算机控制系统在加热炉带温优化中的运用[J]. 工业加热,2023,52(2):9-11,14.
- [8] 李 峰,李吉青,薛建成. 加热炉热效率提升改造方案及效果分析[J]. 石化技术,2023,30(2):28-30.
- [9] 许 雯,夏 禹,谢 舟. 催化重整加热炉系统优化改造[J]. 石油石化绿色低碳,2022,7(6):30-34.
- [10] 林靖松. 关于石油化工工艺加热炉监测分析及节能措施研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2022,42(17):51-53.
- [11] 练 弢,练泽平,刘 剑,等. 连续重整装置加热炉改造温度场数值模拟研究及优化[J]. 炼油技术与工程,2022,52(3):37-42,53.
- [12] 杨 帆,赵彤轩,王钰涵,等. 基于物联网技术的材料实验

- 加热炉测控系统的设计[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(2): 34-38, 49.
- [13] 刘常鹏, 孟志权, 孙守斌, 等. 轧钢加热炉能效分析系统模型设计与应用[J]. 鞍钢技术, 2021, 431(5): 28-33.
- [14] 柯 燕. 基于蓄热式加热炉升级改造的若干问题与对策研究[J]. 中国金属通报, 2021(6): 212-213.
- [15] 徐宝平. 用数学模型测算燃料气组成变化对加热炉的影响[J]. 石油化工技术与经济, 2021, 37(1): 10-13.

(上接第35页)

时, 炉膛温度逐渐降低, 火焰长度也不断减小, 且出口处的 NO 浓度排放量也减小。当回流开口为 30 mm 时, 炉膛内高温区范围明显缩小, 炉膛内的 NO 浓度比无回流口时降低了 54% 左右。

参考文献

- [1] 胡艳花. 醇基燃料燃烧器的数值仿真与优化设计[D]. 厦门: 集美大学, 2020.
- [2] 庄煌煌, 胡艳花, 何宏舟, 等. 醇基-废机油混合燃料燃烧特性分析[J]. 燃烧科学与技术, 2021, 27(2): 155-162.
- [3] 李全文, 梁 翔, 周 顺. 环保节能型醇基燃料小型燃烧器设计与应用[J]. 企业科技与发展, 2021(1): 52-54.
- [4] 张 松, 刘 静, 霍 达, 等. 煤改醇基燃料锅炉设计工艺及应用案例分析[J]. 华电技术, 2020, 42(11): 97-105.
- [5] 田 超. 低氮燃烧器的优化设计[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [6] 董星涛, 李 超, 朱 健, 等. 基于 Fluent 低压旋流喷嘴下游流场数值模拟及分析[J]. 轻工机械, 2012, 30(5): 25-27, 32.
- [7] 刘亚明, 李方勇, 徐齐胜, 等. 600MW 对冲燃烧锅炉 NO_x 排放特性的数值模拟[J]. 动力工程学报, 2015, 35(5): 341-347.
- [8] XU YUETING, DAI ZHENGHUA. Numerical Simulation of Natural Gas Non-catalytic Partial Oxidation Reformer[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2014, 39(17): 9 149-9 157.
- [9] RVBDYLOVA O, QUBEISSI M A, BRAUN M, et al. A model for Droplet Heating and its Implementation into ANSYS Fluent[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2016, 76(32): 265-270.
- [10] DUKOWICZ J K. A Particle-fluid Numerical Model for Liquid Sprays[J]. J. Comput. Phys., 1980, 35(2): 229-253.
- [11] 王志成, 马建业, 张 玥, 等. 掺水比对醇基燃料燃烧特性的影响分析[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(22): 1-4.

《工业加热》杂志征订启事

☐ 欢迎订阅 ☐ 欢迎投稿 ☐ 欢迎刊登广告
中国科技核心期刊

《工业加热》杂志, 1972 年创刊, 由西安电炉研究所有限公司主管主办, 全国工业电热设备标准化技术委员会、工业节能与绿色发展评价中心、中国电工技术学会、中国热处理行业协会、中国工业节能与清洁生产协会、中国铸造协会协办。是报道国内外电炉、工业炉及热能工程技术为主要内容的专业技术类刊物。

报道范围: 电炉、工业炉及热能工程技术领域的最新理论研究、科技成果、新技术、新材料、新工艺、新装置; 国内外工业加热领域内各种类型工业炉及配套设备的研究及发展趋势; 各种电炉及工业炉的设计、引进技术与技术改造方面的新成果及应用实践等相关内容。

主要栏目: 综述、热能研究、加热设备、模拟仿真、工艺研究、炉用材料、节能减排、自动控制、材料科学、技术交流、行业信息等。

国内统一刊号: CN61-1208/TM

国际刊号: ISSN1002-1639

邮发代号: 52-41

开本: 大 16 开

刊期: 月刊

定价: 15 元/期; 180 元/年

地 址: 陕西省西安市朱雀大街南段 222 号

电 话: 029-85271124 85271259

邮 箱: gyjr255@126.com

网 址: <http://www.gyjr.com>