



DOI: 10.3969/j.issn.1002-4639.2024.04.013

加热炉加热过程数学模型建立

李赛博

(陕西省建筑职工大学 陕西 西安 710068)

摘要: 加热炉是钢铁生产中常用的设备,主要用于加热钢坯或钢材,以达到改变其组织、提高其塑性和可加工性等目的。加热炉具有结构简单、操作方便等优点,在钢铁生产中应用广泛。各种工业炉、锅炉都属于高能耗窑炉,对资源的消耗量较大,加热炉在进行钢铁材料加热时的温度较高,会通过烟气造成大量的热能损失,因此对加热炉温度的合理控制是节能降耗的有效渠道。加热炉加热过程数学模型的构建是提升加热炉温度变化精度的重要手段。充分介绍了加热炉加热过程数学模型构建的重要性,从模型理论基础、模型构建假设、数学表达以及求解方法进行探讨,并提出加热炉加热过程数学模型的优化方法,在数学模型的支撑下,加热炉温度得到控制,并且运行效率大幅度提升,为加热炉结构的完善提供借鉴。

关键词: 加热炉; 加热过程; 数学模型

中图分类号: TG155.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-4639(2024)04-0055-03

Establishment of The Mathematical Model of Heating Process of Heating Furnace

LI Saibo

(Architecture Labor University of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China)

Abstract: Heating furnace is commonly used in steel production equipment, mainly used to heat billet or steel, in order to change its organization, improve its plasticity and machinability. The heating furnace has the advantages of simple structure and convenient operation, and is widely used in steel production. All kinds of industrial furnaces and boilers are high energy consumption cellar furnaces, the consumption of resources is large, the heating furnace in the steel material heating temperature is high, will cause a lot of heat energy loss through the flue gas, so the reasonable control of the heating furnace temperature is an effective channel to save energy and reduce consumption. The construction of the mathematical model of the heating process of the reheating furnace is an important means to improve the temperature variation accuracy of the reheating furnace. This paper fully introduces the importance of the mathematical model construction of the heating process of the heating furnace is fully introduced, and the theoretical basis of the model the hypothesis of the model construction, the mathematical expression and the solution method are discussed, and puts forward the optimization method of the mathematical model of the heating process of the heating furnace. With the support of the mathematical model, the temperature of the heating furnace is controlled, and the operation efficiency is greatly improved. It provides reference for the improvement of the structure of heating furnace.

Key Words: heating furnace; heating process; mathematical model

钢铁工业作为我国的基础产业之一,是进行国民经济发展和基础设施建设的支柱。一般情况下钢铁工件的生产工艺复杂且环境恶劣,因此如何提升工件的加工质量成为重要问题。加热炉作为钢铁工业生产中的重要设备之一,是影响工件加工质量的重要因素。只有使得钢坯的温度在控制范围内,才能够使得钢坯具有可塑性。随着信息化、自动化水平的提升,通过建立数学模型以及控制系统的方式提升加热炉控制精度的方法逐渐得到推广,并取得良好的应用效果,本文以钢坯加热为例,探讨加热炉在加热过程中的数学模型构建问题,旨在实现加热炉温度的优化控制。

1 加热炉加热过程分析

1.1 加热炉工作原理

加热炉在工作过程中,由鼓风机将空气引入炉内与燃料接触,经由蓄热体在炉膛内完成工料加热,产生的烟气经由换向阀以及引风机排出炉外。加热炉构造如图1所示。

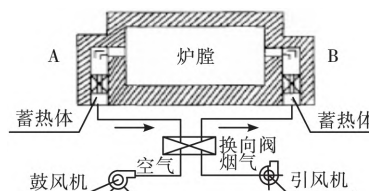


图1 加热炉构造

收稿日期: 2023-05-04; 修回日期: 2024-02-27

作者简介: 李赛博(1983—),男,硕士,讲师,研究方向为数学。

1.2 加热过程数学模型构建重要性

建立加热炉加热过程的数学模型对于提高产品质量、降低成本、促进技术创新等方面都具有重要的意义。首先,通过建立数学模型,可以预测加热炉加热过程中各部位的温度分布和变化规律,进而评估加热效果和产品质量^[1]。其次,通过数学模型的仿真和优化分析,可以探究加热炉加热过程中各因素的影响和相互作用,找到最优的运行参数和优化方案,提高加热效率和产品质量。再次,通过优化加热炉的设计和运行参数,可以提高加热效率和产品质量,减少能源消耗和生产成本,从而提高生产效率和经济效益^[2-3]。最后,通过建立数学模型,可以深入研究加热过程中的物理现象和机理,促进加热技术的发展和创

2 加热炉加热过程数学模型构建理论基础

2.1 热传导基本原理

热传导是指物体内部热量的传递过程,其基本原理是热量从高温区域自发地向低温区域传递。这种传递过程是通过物质内部分子的碰撞和振动来实现的。具体来说,当物体的一部分受热时,分子会产生更快的振动,从而带动周围分子的振动,使得热能源向周围扩散。这个过程可以用傅里叶定律来描述,即热流密度正比于温度梯度^[4]。

2.2 热工学理论

热工学是研究热量和功的转化关系的学科,其理论基础包括热力学和传热学。其中,热力学研究热量和功的转化规律,主要涉及热力学定律、热力学循环、热力学平衡等方面;传热学则研究热量在物体内部和物体之间的传递规律,主要涉及热传导、对流传热和辐射传热等方面。热工学理论的应用广泛,包括能源转化、空调制冷、发动机设计等。

2.3 数值方法

数值方法是一种通过计算机模拟来解决数学问题的方法。在热传导和热工学中,数值方法可以用于求解复杂的热传导方程和热力学方程组。常见的数值方法包括有限差分法、有限元法和边界元法等。这些方法都是通过将物体离散化为有限的小区域或元素来近似求解连续的热传导和热力学问题^[5]。数值方法具有精度高、计算速度快、可重复性好等优点,因此在工程实践中得到广泛应用。

3 加热炉加热过程数学模型的建立

3.1 模型基本假设

(1) 假设加热炉为一维均匀杆,长度为 L ,初始温

度为 T_0 ,末端温度为 T_L 。

(2) 假设加热炉内部的温度分布服从热传导方程: $\partial T / \partial t = \alpha^2 \partial^2 T / \partial x^2$,其中 α 为热扩散系数, x 为加热炉内部的位置坐标, t 为时间。

(3) 假设加热炉内部没有对流传热和辐射传热,只考虑热传导。

(4) 假设加热炉内部的材料是均匀的,具有已知

的热传导系数 κ 和比热容 c 。

3.2 模型数学表达

根据3.1节假设,加热炉加热过程的数学模型可以表示为

$$\partial T / \partial t = \alpha^2 \partial^2 T / \partial x^2$$

式中: $T(x, t)$ 为加热炉内部的温度分布。

为了求解上述方程,需要确定模型的参数,包括热扩散系数 α 、热传导系数 κ 和比热容 c 。这些参数可以通过实验测量或理论计算得到。然后,可以采用数值方法,如有限差分法或有限元法,对上述方程进行离散化处理,将加热炉内部的温度分布划分为若干个小区域或元素,并在每个小区域或元素上求解温度分布^[6]。具体求解过程可以通过迭代计算来实现,直到达到一定的收敛精度为止。最终,可以得到加热炉加热过程的数值解,即加热炉内部的温度随时间变化的曲线。这种数值模型可以用于预测加热炉加热过程中的温度变化、热量损失等情况,为加热炉的设计和优化提供参考。

3.3 模型求解方法

3.3.1 有限差分法

有限差分法是一种常用的数值求解方法,可以用于解决加热炉加热过程的数学模型。具体步骤如下:首先,将加热炉划分成网格,将时间和空间离散化,得到一个网格化的区域。在每个网格内求解热传导方程,即将热量传递的过程用数学公式表示出来,这个公式通常是形如:

$$Q = \lambda A \Delta T / \Delta x$$

式中: Q 为热通量, W/m^2 ; λ 为热导率, $\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$; A 为热交换面积, m^2 ; ΔT 为温度差, $^\circ\text{C}$; Δx 为空间步长, m 。

其次根据热传导方程,结合网格离散化的结果,将原问题转化为离散方程组,可以采用显式或隐式差分法或其他数值方法求解^[7]。最后根据所得离散方程组的解,计算出各个网格点的温度。对于非稳态问题,需要在每个时间步骤中重复上述计算步骤,直到达到所

需的时间段。在实际应用中,需要根据具体的加热炉结构和工艺参数,确定网格划分的大小和时间步长等参数。此外,还需要考虑炉外环境对加热过程的影响,以及加热炉内部不同区域之间的热交换现象等因素。

3.3.2 有限元法

建立加热炉加热过程的数学模型,包括加热炉的几何结构、材料物性、加热源及边界条件等参数。将加热炉几何结构划分为若干个小单元,并选取适当的有限元形状函数描述每个单元中的温度场和热流场等物理量。将加热炉的数学模型离散化为一系列的代数方程组,利用有限元法中的加权残差方法,对这些方程组进行求解^[8]。通过求解得到的温度场和热流场等物理量,绘制出加热炉内部的温度分布、热流分布和加热曲线等。根据加热炉内部的温度分布和热流分布等信息,对加热炉的设计参数进行控制和优化,以实现加热炉的高效、节能和环保等目标。通过有限元法对加热炉加热过程数学模型进行求解,可以提高加热工艺的控制能力和优化效率,从而实现更加精细和可靠的加热过程。

4 加热炉加热过程数学模型优化

加热炉加热过程的数学模型可以根据具体情况进行建立,一般包括热传导、热辐射、热对流等因素。通过建立数学模型,可以预测加热炉加热过程中的温度分布和变化规律,进而优化加热炉的设计和运行参数,提高加热效率和产品质量^[9-10]。在数学模型构建过程中需要收集加热炉加热过程相关数据,包括加热时间、温度变化、能量消耗等信息,并进行统计和分析。建立加热炉加热过程的数学模型,并根据实际情况进行验证和调整。然后利用数学模型进行仿真和优化分析,探究加热炉加热过程中各因素的影响和相互作用,找到最优的运行参数和优化方案。最后根据优化结果进行加热炉的设计和改进行,提高加热效率和产品质量^[11]。

为提升加热炉加热过程中数学模型的有效性可以进行如下优化措施:

(1) 优化炉载量:通过调整加热炉的炉载量,使加热时炉内能量分布均匀,达到最佳加热效果。

(2) 优化燃烧参数:调整燃烧参数,使燃烧稳定、高效、低碳,提高加热效率。

(3) 优化传热方式:通过改变传热方式,提高传热效率,节约能源。

(4) 选用优质加热材料:选择优质加热材料,提高

加热效率、耐用度和安全性。

(5) 控制加热温度:通过控制加热温度,使加热过程更加精准和可控,提高产品质量和工艺效益^[12]。

(6) 精确控制加热时间:通过精确控制加热时间,节约能源,提高工艺效率。

5 结 语

建立加热炉加热过程的数学模型能够进一步预测加热过程中的温度、能耗等因素,并根据预测结果进行优化,以提高加热效率,降低能耗和生产成本。除此之外,数学模型可以帮助加热炉控制人员深入了解加热炉的运行规律和特性,探究加热时间、加热温度、制造工艺等因素对加热效果的影响,为其改进和提升加热炉性能提供理论支持。通过评估不同设计方案的加热效果,进而指导加热炉结构与参数的选择和优化。同时,还可为后续进行加热炉改造和升级提供可靠的基础数据支持。

参考文献

- [1] 汪建新,李 锁,于泽通.蓄热式加热炉烧嘴砖热应力数值模拟[J].机械工程师,2023(3):12-15.
- [2] 曹玉坤.燃烧优化控制技术在冶金加热炉中的应用分析[J].山西冶金,2023,46(2):65-66.
- [3] 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.
- [4] 吴 铠,覃永国,蒙 政.轧钢加热炉热效率的影响因素及优化对策研究[J].冶金能源,2022,41(5):38-41.
- [5] 侯明刚,孔令轩,周翠翠.加氢装置加热炉燃烧状态分析及优化措施[J].化工管理,2022(10):131-135.
- [6] 沈继红,蔡志杰,李晓乐.炉温曲线的数学模型及求解[J].数学建模及其应用,2021,10(1):62-72.
- [7] 洪 君,李伟伟,李 明,等.Q370qE-HPS钢轧制加热温度优化研究[J].轧钢,2021,38(4):23-28,54.
- [8] 朱 明.“双碳”目标下典型炼化加热炉燃烧控制优化的现状与展望[J].化工自动化及仪表,2022,49(5):563-568.
- [9] 杨英华,石 翔,李鸿儒.基于数据特征的加热炉钢温预报模型[J].东北大学学报:自然科学版,2019,40(3):305-309.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 汪寿伟,信新月.轧钢加热炉热效率的影响因素及优化对策研究[J].冶金管理,2022(23):34-36.