

# 热媒改造项目中中压蒸汽换热器的流体力学与传热性能研究

武东 侯东杰 钱佳 徐骏

(兄弟科技股份有限公司 浙江嘉兴 314000)

**摘要:** 在工业生产中,通常使用中压蒸汽作为重要热媒体,其换热器的性能直接关系到整个热媒系统的能量利用效率。中压蒸汽换热器的流体力学与传热性能研究具有广泛的现实意义和应用前景,不仅能提高能源利用效率,推动工业技术创新,还可为多个行业的可持续发展提供技术支持。因此,本文具有重要的理论价值和实践意义。

**关键词:** 热媒改造; 流体力学; 传热性能; 蒸汽换热器

## 前言

中压蒸汽换热器作为热媒改造项目的关键设备,其性能提升需要系统深入的理论研究和工程实践。本文围绕换热器的流体力学特性展开分析,并提出优化策略,体现了工程技术创新的思路。这种基于科学原理的技术创新,不仅能够提升换热器本身的性能,还可推动相关领域的技术进步,为工业企业转型升级注入动力。中压蒸汽作为工业生产中广泛使用的重要热媒体,其换热器的性能直接关系到整个热媒系统的能量利用效率。通过深入研究换热器的流体力学特性,优化流道设计、管路布局等关键因素,可以有效降低进出口压差和管路阻力,从而减少系统的能耗,提高能源利用效率。这对于工业企业节能减排,实现可持续发展具有重要意义。

## 1. 中压蒸汽换热器的流体力学与传热性能研究

### 1.1 进出口压差及其对换热性能的影响

中压蒸汽换热器进出口存在一定的压差,这主要源于换热管程、流道变化以及管道附件等产生的流阻。适当的进出口压差有利于蒸汽凝结过程,提高传热系数;但过大的压差会增加泵功耗,降低系统能效。通过优化流道设计和减少管路阻力,可以在保证换热性能的前提下,尽量降低进出口压差,提高整体能量利用效率。

### 1.2 流路设计对流场分布及湍流特性的影响

换热器内部复杂的流场分布和湍流特性,直接决定了蒸汽的流动状态和传热过程。合理的流路设计,如采用导流板、翅片等措施,可以调节流场,提高湍流强度,从而增强换热过程的对流传热。同时,优化进出口管段设计,可以改善流场分布,减少流动分离和死区的发生,进一步提升换热性能。

### 1.3 管道系统阻力特性及其优化

除换热器本体外,管道系统的阻力特性也是影响整体性能的重要因素。管径选择不当、管道布置不合理等都会导致管路阻力过大,

增加泵功耗。通过管径优化、管路布置优化等措施,可以最大限度降低管道系统的流动阻力,进一步提高中压蒸汽换热系统的能源利用效率。

## 2. 传热机理及影响因素分析

### 2.1 蒸汽凝结过程的传热特性

蒸汽在换热器内发生相变凝结时,会释放出大量潜热,这是换热器高效传热的关键。蒸汽凝结过程中,会形成湿膜状凝结层,其热阻对传热强度有重要影响。研究发现,凝结膜的厚度、凝结水流动状态以及蒸汽流动条件等因素,都会对此过程的传热性能产生显著影响。优化这些因素,可以显著提高换热器的整体传热效率。

### 2.2 管内流体流动对传热系数的影响

管内流体的流动特性直接决定了对流换热系数的大小。对于中压蒸汽换热器而言,管内流体以蒸汽为主,其层流或湍流特性,以及边界层的形成和发展都会影响对流换热系数。合理选择管道直径、流速等参数,优化流动状态,有利于提高对流传热系数,从而增强整体的传热性能。

### 2.3 换热表面积及其优化设计

换热表面积的大小直接决定了换热器的换热量。因此,优化换热表面积的设计对提高换热器性能非常重要。常见的优化方法包括增加传热面积、使用换热管的优化结构设计,以及采用各种增强传热的方式,如使用膨胀翅片等。通过科学的优化设计,可以在有限的空间内大幅增加有效传热面积,从而提高换热性能。

### 2.4 换热过程中的温度场分布特征

温度场的分布直接影响换热过程的传热动力学。对于中压蒸汽换热器而言,蒸汽进出口温度差是决定换热强度的关键因素。研究发现,合理设计流道结构和流程参数,可以优化温度场分布,减小温度差,提高整体传热效率。同时,温度场分布的均匀性也影响换热器的可靠

性和使用寿命。

### 3.改进措施与优化设计

中压蒸汽换热器性能优化涉及多个方面,需要从管束结构、传热表面、流场控制、智能化等角度进行系统性的研究与设计。只有通过全方位的优化措施,才能真正实现换热器整体性能的大幅提升,为热媒系统的节能减排做出重要贡献。

#### 3.1 管束结构优化设计

换热器管束结构是影响其传热性能的关键因素之一。常见的优化方法包括增加管排布密度、采用多通道流路设计、以及使用特殊管型结构等。研究发现,对管排布局进行优化可以有效降低管间流阻,从而提高整体传热系数。而采用三角排布或梅花型排布等管束结构,不仅可以增加管长单位面积,还可改善流体流动状态,显著提升对流传热能力。此外,使用波纹管、翅片管等特殊管型结构也能有效增大传热面积,进一步提高换热性能。通过科学的管束结构优化设计,可以在有限空间内实现换热面积的最大化,从而大幅提升换热器的整体性能。

#### 3.2 增强型传热表面的应用

除了优化管束结构外,在换热器传热面上增设各种增强传热的结构也是提高性能的有效手段。常见的增强型传热表面包括:翅片、涂层、微结构等。其中,翅片技术是最常用的传热增强措施,通过在管壁上增加翅片可以显著扩大传热面积,提高对流换热系数。而采用特殊涂层如亲水涂层,则可以改善液膜凝结传热性能,降低传热阻力。此外,在管壁上制造微米尺度的结构也能增强表面积,促进边界层的破坏,从而提高对流传热系数。通过综合应用各种增强型传热表面技术,可以大幅提升换热器的总体传热性能。

#### 3.3 流路优化与流场控制技术

换热器内部流路的设计直接决定了换热流体的流动状态,进而影响对流传热特性。优化流路设计,如采用多通道、不同截面积的进出口等方式,可以调控流体的流速分布,减小压力损失,提高流体对换热面的湍流冲击,从而增强对流传热系数。此外,通过在换热器内部设置导流板、涡流发生器等流场控制装置,也能显著改善流体的流动状态,促进湍流发展,进而提高对流传热性能。这些措施不仅能提高换热效率,还有助于降低泵功耗,实现能源优化。

#### 3.4 换热器整体性能的提升方案

从换热器整体设计的角度出发,提出更加综合的性能提升方案。比如,采用换热器串联、并联等多级换热方式,利用多个换热单元的协同效应,可以提高整体换热效率;或者采用变流量调节技术,根据工艺负荷的变化动态调整流量,以优化换热过程,提高能源利用效率。换热器的材料选择、制造工艺等因素,也会对其整体性能产生重要影响,

需要进行系统性的优化设计。综合采取以上各种优化措施,可以大幅提升中压蒸汽换热器的整体性能,为热媒系统的技术创新和节能改造提供有力支撑。

#### 3.5 智能化控制技术的应用

随着工业自动化水平的不断提高,智能控制在换热器优化设计中也扮演着越来越重要的角色。通过在换热器上安装温压等传感器,并采用先进的控制算法,可以实现换热过程的实时监测和自动调节。比如根据负荷变化动态调整流量、温度等工艺参数,优化换热过程,提高换热效率;或者利用机器学习等技术对运行数据进行分析,及时发现异常并进行故障诊断,有助于延长换热器的使用寿命。

#### 3.6 数值仿真辅助优化设计

随着计算 fluid 动力学(CFD)等数值仿真技术的不断发展,换热器的设计优化可以得到强有力的数值支撑。利用 CFD 软件,可以对换热器内部的复杂流场和温度场进行精确模拟,从而深入分析影响传热性能的关键因素,为实验研究和参数优化提供指导。此外,通过与优化算法的耦合,还可以实现换热器结构、流路等的自动优化设计,大幅提高优化效率。因此,将数值仿真技术与实验研究相结合,对于中压蒸汽换热器的性能优化具有重要意义。

#### 3.7 废热回收利用技术

在热媒改造项目中,除了提高换热器本身的性能外,如何充分利用换热过程中产生的废热也是提高系统能源利用效率的关键。通过采用余热锅炉、热泵等技术,可以将换热器排出的低温烟气或冷凝水的余热回收利用,为生产供热、发电等过程提供热源。这不仅能减少能源消耗,降低碳排放,还有助于实现工厂内部的能源梯级利用,进一步提升整个热媒改造系统的能源综合利用水平。

### 结语

中压蒸汽广泛应用于化工、钢铁、纺织等众多工业领域,换热器在热媒系统中扮演着关键角色。对中压蒸汽换热器的流体力学特性进行深入研究,可为这些行业的技术创新提供有力支撑。随着未来能源结构调整和节能减排要求的不断提高,中压蒸汽换热技术的应用范围将进一步扩大,在促进工业绿色发展中发挥重要作用。

### 参考文献:

- [1]计算流体力学在石化企业腐蚀防护中的应用现状[J]. 叶福相; 师春杨; 赵延龙; 汤锋; 郭金彪.石油化工腐蚀与防护,2024.
- [2]计算流体力学在化学工程中的应用[J]. 杨祖杰.化工设计,2018.
- [3]水蒸汽替代燃油加热在电镀烘箱上的应用研究[J]. 吴剑恒.电镀与精饰,2019(03).