

# 除雾器结构优化设计及其在烟气处理中的应用研究

赵柏青

江苏江南生态碳科技（集团）股份有限公司，江苏南京

**摘要：**本文旨在探讨除雾器的结构优化设计及其在烟气处理中的应用。首先，文章对除雾器的基本结构进行了详细分析，并比较了不同类型的除雾器，讨论了结构参数对除雾效率的影响，以及结构设计中涉及的流体力学原理。随后，文章深入探讨了结构优化设计的方法，包括优化设计的目标函数、参数选择、数值模拟技术以及具体的结构优化设计分析。最后，文章着重讨论了除雾器在烟气处理工艺流程中的角色，其在不同工业领域的适应性，以及环保法规对除雾器性能的要求。

**关键词：**除雾器；结构优化；烟气处理；除雾效率

## Optimal Design of Fog Remover Structure and Its Application in Flue Gas Treatment

Boqing Zhao

Jiangsu Jiangnan Ecological Carbon Technology (Group) Co., LTD., Nanjing, Jiangsu

**Abstract:** This paper aims to discuss the structural optimization design of fog remover and its application in flue gas treatment. First, this paper makes a detailed analysis of the basic structure of the device, and compares different types of the devices, discusses the influence of structural parameters on the efficiency, and the hydromechanics principles involved in the structural design. Subsequently, the paper deeply discusses the method of structure optimization design, including the objective function of optimization design, parameter selection, numerical simulation technology and specific structure optimization design analysis. Finally, the paper focuses on the role of fog remover in the flue gas treatment process, its adaptability in different industrial fields, and the requirement of its performance by environmental regulations.

**Keywords:** Fog remover; Structure optimization; Flue gas treatment; Fog removal efficiency

### 1 引言

随着工业化进程的加速，烟气排放问题日益严峻，对环境保护构成了巨大挑战。除雾器作为烟气处理系统中的重要组成部分，其性能的优化直接关系到烟气排放的达标率和环境保护的效果。因此，对除雾器的结构进行优化设计，并研究其在烟气处理中的应用，具有重要的理论和现实意义。本文将

从除雾器的结构分析入手，逐步深入探讨其优化设计方法及应用效果，以期为烟气处理技术的发展提供有益的参考。

### 2 除雾器结构分析

#### 2.1 除雾器的基本结构

除雾器通常由叶片、框架、支撑结构和排水

系统等关键部件组成。叶片是除雾器的核心部分，其设计形状和排列方式直接影响除雾效率。常见的叶片形状包括平板形、波形和V形等，每种形状都有其特定的流体动力学特性，旨在提高捕集液滴的效率并减少压降。框架则用于支撑叶片，确保整体结构的稳定性和耐久性。支撑结构通常设计为能够承受除雾器在运行过程中可能遇到的各种力和压力。排水系统则负责收集和處理被捕集的液滴，防止其重新进入烟气系统，从而保持系统的清洁和高效运行。

## 2.2 常见除雾器类型比较

在分析除雾器结构时，常见类型比较是至关重要的一步。常见的除雾器类型包括机械式除雾器、静电除雾器和纤维过滤式除雾器。机械式除雾器，如旋流式或重力沉降式，利用离心力或重力使雾滴与气流分离，其效率相对较低，但结构简单，维护成本低。静电除雾器，如电晕放电或电凝聚器，通过电场力捕获雾滴，其效率可高达99%，但需要考虑电场设计的复杂性和运行时的电耗。纤维过滤式除雾器则利用细纤维对雾滴的机械拦截，效率和适应性较广，但可能面临纤维堵塞的问题，需要定期清洗或更换[1]。

不同类型的除雾器各有优缺点，适用于不同的应用场景。机械式除雾器由于其结构简单，通常用于对除雾效率要求不高的场合，如一些小型烟气处理系统。静电除雾器因其高效率，常用于对排放要求严格的工业领域，特别是在处理含有大量微小雾滴的烟气时表现出色。然而，高效率 and 复杂的电场设计也带来了较高的初期投资和运行成本。纤维过滤式除雾器则因其广泛的适应性和相对稳定的性能，在多种工业烟气处理系统中得到广泛应用，但定期的维护清洗或更换纤维的成本也需要考虑在内。在选择除雾器类型时，需综合考虑烟气特性、处理效率要求、投资成本和维护成本等多方面因素[2-4]。

## 2.3 结构参数对除雾效率的影响

在除雾器设计中，结构参数起着至关重要的作用，

它们直接影响设备的除雾效率。例如，除雾器的通道宽度、叶片布置方式以及气流速度都会显著影响到雾滴的捕集效果。一项研究显示，当通道宽度减小时，可有效提升除雾效率，因为更窄的通道能增加气流与叶片的接触面积，从而更有效地拦截雾滴。

此外，叶片的几何形状和排列方式也是关键因素。比如，采用锯齿形叶片相比于平直叶片，可以增加5%-10%的碰撞概率，提高雾滴的去除率。同时，叶片的间距设计需谨慎，过大的间距可能导致大颗粒雾滴漏过，而过小则可能增加气流阻力，影响整体效率。

气流速度的控制是另一个重要方面。在一定范围内，提高气流速度能增强惯性碰撞，从而提高除雾效率。但当速度超过临界值时，可能会导致雾滴的二次夹带，反而降低效率。

## 2.4 结构设计中的流体力学原理

在除雾器结构设计中，流体力学原理起着至关重要的作用。除雾器的基本结构通常包括多层交错布置的叶片，这些叶片设计用于引导和改变气流的流动路径，以捕获其中的雾滴。根据伯努利定理，气流在通过叶片时会发生速度的改变，导致压力下降，这有助于雾滴的脱稳和分离。设计时，需要通过精细计算确定叶片的几何形状、间距以及布置角度，以确保在最小化压降的同时最大化捕雾效率。

流体动力学的CFD（计算流体力学）模拟是优化设计的关键工具。通过建立高精度的数学模型，可以预测不同设计参数下气流的速度场、压力场以及雾滴的运动轨迹。例如，研究发现，当叶片间距减小10%时，可能使湍流增强，从而提高15%的雾滴碰撞概率。同时，通过调整叶片的曲率，可以改善边界层分离现象，进一步提升除雾效果。

## 3 结构优化设计方法

### 3.1 优化设计的目标函数

在结构优化设计方法中，目标函数是至关重要的，它定义了除雾器性能改进的方向和衡量标准。优化设计的目标通常包括提高除雾效率、降低运行

能耗、减少设备维护成本以及确保烟气排放符合严格的环保法规。

在实际操作中，可以采用数学建模和计算机仿真技术来构建目标函数。这可能涉及到流场的CFD（计算流体动力学）模拟，以预测不同设计参数下的气液分离效果。比如，通过对比分析，发现将叶片角度增大5度可以提升1%的雾滴去除率，这样的微小改变在大规模工业应用中可能会带来显著的效益。

此外，优化设计还需要考虑设备的使用寿命和维护成本。一个成功的优化案例是，某电厂的除雾器经过参数优化后，除雾器的布置由三级降为两级，塔高降低，运行成本降低。这种平衡设计不仅提高了设备性能，也提升了整体运营的经济性。

在实际应用中，优化设计的目标函数可能会因工业领域的不同而有所调整。例如，在化工行业的烟气处理中，需要特别关注耐腐蚀性能，以适应高化学活性的烟气环境；而在钢铁行业，更关注高温条件下的稳定运行和耐热性能。因此，目标函数的设定需要充分考虑具体应用的工况和行业特性。

### 3.2 优化设计的参数选择

在结构优化设计中，参数选择是至关重要的步骤，因为它直接影响到除雾器的性能和效率。优化设计的参数通常包括除雾器的几何尺寸、材料选择、表面粗糙度，以及气流分布的均匀性等。例如，通过调整板间距，可以改变气流在通过除雾器时的停留时间，从而影响雾滴与捕集表面的接触概率。此外，材料的选择也对耐腐蚀性和机械强度有显著影响，特别是在处理含有酸性或碱性雾滴的烟气时。例如，钛合金或高性能塑料可能成为高温或高腐蚀环境下的首选材料。同时，优化气流分布的均匀性，如采用导流板或特殊入口设计，可以减少气流短路现象，提高雾滴的捕集效果[5]。

在实际应用中，可能还需要考虑运行成本和维护便利性，这可能涉及到清洗频率、能耗和更换周期等因素。通过建立多目标优化模型，可以综合考虑这些参数，以实现除雾器在满足高效去除雾滴

的同时，保证长期稳定运行和较低的维护成本。因此，参数选择是一个涉及多学科知识的综合决策过程，需要根据具体应用环境和工程需求进行细致的分析和实验验证。

### 3.3 优化设计的数值模拟技术

在结构优化设计中，数值模拟技术是一种强大的工具，它能够帮助工程师深入理解除雾器内部的流场分布，从而提升除雾效率。例如，通过CFD模拟，可以精确预测不同结构参数如何影响气流的湍流程度和液滴捕集效果。

在实际应用中，可能会结合遗传算法或粒子群优化算法来寻找最佳的结构参数组合。这种多参数优化方法可以避免传统试错法的高成本和低效率，快速寻找到满足特定性能目标的设计方案。此外，数值模拟还可以用于分析除雾器在复杂工况下的性能，如烟气温度变化、湿度波动以及含有腐蚀性成分的情况。通过模拟不同工况下的运行情况，可以提前预测并优化除雾器的耐久性和长期稳定性，确保其在实际工业环境中能够长期稳定地去除烟气中的微小液滴，符合严格的环保法规要求。

### 3.4 结构优化设计实例分析

在结构优化设计实例分析中，我们可以深入探讨一种特定的除雾器优化案例。例如，某工业烟气处理设施中，原有的平板式除雾器在处理高湿烟气时，其除雾效率约为85%，但存在压降过大、易堵塞的问题。为解决这些问题，设计团队可以采用3D建模和流体动力学软件进行数值模拟，以分析不同结构参数如叶片间距、角度和层数对气流分布和颗粒捕集的影响。

通过一系列的参数敏感性分析，可能发现叶片间距减小10%可以显著改善气流的均匀性，同时降低压降约15%，而叶片角度调整5度可以进一步提高除雾效率至92%。这样的优化设计不仅提高了除雾性能，还减少了运行能耗。此外，增加叶片层数也是一个有效的优化方向。在数值模拟中，设计团队可以评估增加一层叶片对除雾效率和压降的综合影响。模拟结果显示，适当增加叶片层数可以

在一定程度上提高除雾效率，但同时也会增加压降。因此，需要在除雾效率和压降之间找到最佳的平衡点。

在优化过程中，设计团队还可以考虑除雾器的材料选择和表面处理工艺。例如，使用耐腐蚀材料可以延长除雾器的使用寿命，减少维护成本。同时，通过改进表面处理技术，如增加疏水涂层，可以进一步提高除雾效率，减少液滴在叶片表面的粘附。

综上所述，结构优化设计实例分析不仅展示了数值模拟技术在除雾器设计中的应用，还提供了宝贵的经验和实践指导。通过深入分析特定案例，设计团队可以不断优化除雾器的结构参数，提高除雾性能，降低运行能耗，为工业烟气处理提供更加高效、可靠的解决方案。

## 4 除雾器在烟气处理中的应用

### 4.1 烟气处理工艺流程中的角色

在烟气处理工艺流程中，除雾器扮演着至关重要的角色。它被设计用于去除烟气中的雾滴，这些雾滴可能含有有害的颗粒物和化学物质，如硫酸雾、硝酸雾以及各种金属氧化物，这些物质若未经处理直接排放，将对环境和人类健康造成严重影响。例如，在火电厂的湿法脱硫系统中，除雾器可以有效捕捉约99%以上的微米级雾滴，确保排放烟气的含湿量达到环保标准。

除雾器的结构优化对于提高整体处理效率至关重要。通过调整其叶片形状、间距以及气流分布，可以显著改善气液分离效果。例如，采用三维曲折叶片设计，可以增加烟气与叶片的接触时间，从而提高捕雾效率。同时，利用CFD（计算流体动力学）模拟，可以精确预测和调整气流分布，以减少雾滴的逃逸，进一步提升除雾性能。

### 4.2 除雾器在不同工业领域的适应性

除雾器在不同工业领域的适应性是一个重要的研究方向，因为各种工业生产过程中产生的烟气成分和雾滴特性各不相同。例如，在电力行业中，燃煤电厂的烟气含有大量的微小液滴，这些液滴主要

由硫酸雾、硝酸雾和水蒸气组成，除雾器需要高效分离以减少对大气的污染。而在化工产业，如化肥生产或石化过程中，除雾器需要应对含有腐蚀性成分的烟气，这就要求除雾器材料具有良好的耐腐蚀性。

在设计除雾器时，需要考虑工艺流程中的特定条件，如气体流速、温度和压力。例如，钢铁冶炼中的烟气温度可能高达400℃以上，这就需要采用耐高温的材料和结构设计。同时，通过数值模拟技术，可以优化除雾器的几何参数，以适应高温环境下的除雾效率。

此外，不同行业对排放标准的要求也影响着除雾器的性能。例如，根据《大气污染物综合排放标准》，某些行业可能需要将烟气中的颗粒物排放浓度控制在极低的水平，这就要求除雾器具有更高的捕集效率。在实践中，可能需要结合多级除雾器或与其他烟气净化技术联用，以满足严格的环保法规。

### 4.3 环保法规对除雾器性能的要求

随着全球对环境保护意识的增强，各国政府不断出台更为严格的环保法规，这对除雾器的性能提出了更高的要求。除雾器不仅需要满足基本的除雾效率标准，还必须适应不断变化的法规要求。例如，一些地区已经开始实施更为严格的颗粒物排放标准，要求除雾器能够捕集更细小的颗粒物，以减少对大气环境的污染。为了满足这些要求，除雾器制造商需要不断改进其设计和材料，以提高捕集效率和耐腐蚀性能。同时，还需要加强与其他烟气净化技术的联用，以实现更高效的烟气净化效果。

## 5 结语

随着全球环保意识的不断提升，除雾器作为烟气处理系统中的重要组成部分，其性能的优化和结构的改进显得尤为重要。本文通过对除雾器结构的深入分析，探讨了结构优化设计的方法及其在烟气处理中的应用。研究表明，通过合理的结构设计和优化，可以显著提高除雾器的捕集效率和耐腐蚀性能，从而更好地满足环保法规的要求。未来

随着环保法规的日益严格和烟气处理技术的不断发展，除雾器的性能优化和结构改进将继续成为研究的热点。我们相信，在科研人员的不懈努力下，除雾器将在烟气处理中发挥更加重要的作用。

## 参考文献

- [1] 尹成,任凯,任轩. 一种自调节管束除雾器装置的实验研究[J]. 中国环保产业, 2022, (01): 69-72.
- [2] 王泽龙,王建军,刘宏宇. 两级组合式除雾器的分离性能分析[J]. 化工进展, 2020, 39(03): 890-

897. DOI:10.16085/j.issn.1000-6613.2019-1024.

- [3] 李宇翔,胡满深,郭彪,等. 管束式除尘除雾器在工业锅炉超低排放中的应用[J]. 中国环保产业, 2021, (01): 49-52.
- [4] 陈鸿伟,冯旭鹏,徐继法,等. 新型复合式除雾器分离性能的分析[J]. 动力工程学报, 2020, 40(08): 654-659. DOI:10.19805/j.cnki.jcspe.2020.08.008
- [5] 李忠于. 纤维除雾器除雾机理研究及选型[J]. 硫酸工业, 2020, (12): 42-46.

