

• 四川大学建校 130 周年特刊约稿 •

DOI:10.12454/j.jsuese.202600463



本刊网刊

导流叶片式除雾器的数值模拟与性能优化

范晓旭^{1,2†}, 石战胜^{3†}, 李 飞^{2,4*}, 李宗慧³, 卢春喜¹, 王 维^{2,4*}

(1. 中国石油大学(北京) 化学工程与环境学院, 北京 102249; 2. 中国科学院 过程工程研究所介科学与过程工程全国重点实验室, 北京 100049; 3. 华电电力科学研究院有限公司, 北京 100039; 4. 中国科学院大学 化学工程学院, 北京 100049)

摘 要:针对传统旋流板除雾器运行压降大、壁面冲蚀严重的问题,设计一种导流叶片式除雾器,以实现高效、低阻、抗冲蚀的综合性性能优化。基于欧拉-拉格朗日框架,采用 SST (shear stress transport) $k-\omega$ 湍流模型和离散相模型 (DPM) 建立气液两相流数值模型,并通过与实验数据进行对比来验证模型方法。在此基础上,进一步以验证后的模型对导流叶片式除雾器进行三维数值模拟,并与传统旋流板式除雾器进行对比分析。模型验证结果显示,压降与除雾效率的模拟值与实验值吻合良好。与传统旋流板式除雾器相比,导流叶片式除雾器的切向速度峰值降低约 40%,分布更均匀,运行压降降低 30%~40%,除雾效率始终较高,当工况气速高于 2.78 m/s 时达到 100%。导流叶片式除雾器凭借流线型结构消除了叶片背风面涡流死区,提供了稳定持续的离心力场,在保持高效分离的同时显著降低了能耗和壁面冲蚀风险,为工业烟气净化除雾器的创新设计提供了理论依据。

关键词:导流叶片式除雾器;气液两相流;数值模拟;除雾效率;压降

中图分类号:TQ021.1

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2026)05-0327-11

在大型能源及化工行业的烟气深度治理体系中,除雾器作为实现气液分离、保障脱硫系统稳定运行的核心设备,其性能直接影响着烟气排放质量及后续设备的安全性。随着环保标准对烟气中微米级液滴及细颗粒物脱除要求的日益严苛,研发高效率、低阻力、稳定性好的除雾装置已成为工业烟气治理领域的技术发展必然。

旋流板除雾器凭借对细颗粒除雾效率高、处理气量大等优势,在工业脱硫塔中得到广泛应用。国内外学者对此类除雾器的流场特性及除雾机理进行了大量研究。聂傲等^[1]通过实验探讨了旋流叶片倾角对液滴脱除率的影响;杜明生等^[2]采用数值模拟方法对旋流板式与折流板除雾器进行了性能对比,发现相同液滴粒径下旋流板式除雾器的两相压力降更大。姚杰等^[3]对带钩波纹板除雾器进行数值模拟,发现叶片间距、转折角度等 5 组参数对除雾器性能影响显著。陈建孟等^[4]利用激光多普勒测速技术揭示了旋流板下方的流场分布特征。Song 等^[5]搭建了旋流板除雾器实验装

置,测定了不同介质和结构下的分离效率以及最大效率表观气速,提出了预测关联式。然而,在实际工业工况下,传统旋流板除雾器暴露出了明显的局限性:一方面,强烈的旋转流场使液滴产生极大的切向动量,液滴高速撞击壁面产生严重的壁面冲蚀现象,显著影响设备使用寿命;另一方面,壁面聚集的液膜在高速气流剪切下极易发生二次雾化与夹带,导致除雾效率在高气速下剧烈下降^[6],使其难以满足现代工业对烟气含雾率的严格控制需求。针对壁面冲蚀与液膜失稳运动的机理,焦文磊等^[7]的研究指出,流场的剧烈波动是诱发液滴二次夹带的主要因素,为结构优化提供了理论依据。赵晨光^[8]通过在折板除雾器中引入液滴辅助捕集结构,采用 SST $k-\omega$ 模型分析了结构改进对分离性能的影响。王伟^[9]采用模型及颗粒轨道模型对折线型挡板除雾器进行了数值模拟。皮威^[10]通过折流板除雾器流场数值模拟,对两种板型共 420 种参数组合进行了计算分析。李卫民等^[11]利用计算流体力学(CFD)方法分析了梯形折

收稿日期:2026-05-31 修回日期:2026-07-12 网络出版日期:2026-07-30

基金项目:国家自然科学基金项目(U25A20605);国家科技重大专项项目(2025ZD1701400);国家重点研发计划项目(2022YFC3902505)

作者简介:范晓旭(2000—),女,硕士生。研究方向:过程装备与强化。E-mail:fanxiaoxu2023@163.com

石战胜(1983—),男,正高级工程师,博士。研究方向:节能环保。E-mail:492486626@qq.com

* 通信作者:王 维,研究员,E-mail:wangwei@ipe.ac.cn;李 飞,研究员,E-mail:lifei@ipe.ac.cn

流板除雾器的不同参数对铬雾雾滴去除效率的影响。除尘风机用折流板除雾器的数值模拟^[12]采用 SST $k-\omega$ 湍流模型,除雾率达 94.36%。

针对传统结构的弊端,CFD 方法为除雾器的结构优化提供了新的手段。刘丽艳等^[13]通过数值分析论证了优化导流结构对平衡流场压力、提升捕集效率的有效性,证明了计算仿真在复杂除雾设备研发中的关键作用。进一步,刘定平等^[14]基于正交设计方法对旋流管式除雾器进行了系统的数值分析,揭示了叶片角度、筒体直径等参数对除雾效率与压降的耦合影响规律,为多参数协同优化提供了方法论参考。张向阳^[15]对旋流管式除雾器进行了仿真分析和结构优化。湿法脱硫除雾器分离特性与结构优化的研究^[16]指出,提高微小液滴脱除效率对降低污染物排放具有重要意义。雷鹏^[17]对多通道式旋流分离器开展了数值模拟与实验研究。针对新型静电-叶片复合除雾器^[18]的研究表明,静电与叶片结构的耦合可显著提升对细小液滴的脱除效率。周大龙等^[19]综述了电场-旋流耦合强化多相介质分离的研究进展。Tao 等^[20]采用 CFD 方法研究了挡板角度对折流板除雾器分离性能的影响,发现优化后的挡板结构可使粒径为 $10\ \mu\text{m}$ 液滴的分离效率提升至传统结构的 2.7 倍。He 等^[21]结合数值模拟与响应面法优化了旋转螺纹除雾器的关键参数,在仅 45.7 Pa 的压降下实现了对 $19\ \mu\text{m}$ 颗粒的 100% 分离,展示了 CFD 与优化算法协同的巨大潜力。Zhang 等^[22]建立了考虑再夹带影响的气液分离模型,采用响应面法对折流板除雾器进行了结构优化设计。Tao 等^[23]进一步提出了带孔挡板的新折流除雾器结构,采用分离涡模拟方法揭示了边缘射流与非对称涡对惯性碰撞和离心分离的协同增强机制。此外,杨来顺等^[24]将遗传算法与 CFD 模拟相结合,对管式除雾器进行了多目标优化,在使除雾效率提升 20.2% 的同时,使压降降低 60.5%。Song 等^[25]针对旋流板除雾器在高速下因液滴再夹带导致效率下降的问题,提出了组合式改进结构,在 $6\sim 12\ \text{m/s}$ 气速下,除雾效率保持在 97% 以上,对粒径大于 $5.9\ \mu\text{m}$ 液滴的分离效率可达 100%。上述研究充分表明,CFD 方法不仅能够精确解析除雾器内部的复杂流场结构,还能高效指导结构参数的定向优化,为新型高效除雾器的研发提供了可靠的技术路径。计算流体力学数值模拟为揭示除雾器内部复杂的气液两相流动机制及分离机理提供了高效手段^[26]。

本研究立足于华电电力科学研究院有限公司工程应用,结合气动力学与文献[27]报道的经验方法,针对传统旋流板式除雾器结构导致的压降与壁面冲蚀问题,设计并研发了一款导流叶片式除雾器。该设计

旨在通过引入导流结构,重新组织流场分布,在保持高效旋流分离的同时,降低系统能耗以及液滴对壁面的直接冲击能量,从而抑制冲蚀并提升液滴捕集效果。研究进一步通过数值方法对新型导流叶片式除雾器的性能进行了模拟验证。

1 数值模拟方法与模型验证

本文首先以传统旋流板除雾器为研究对象,建立基于欧拉-拉格朗日框架的气液两相流数值模型,开展几何建模、网格划分、边界条件设置以及模型验证工作,确保数值模型能够准确反映旋流式除雾器的流动与分离特性,为后续结构优化提供可靠的理论基础。

1.1 几何模型与网格划分

以文献[27]中的旋流板除雾器为原型,按照其几何尺寸建立三维几何模型。该装置主要由旋流叶片、盲板、罩筒和挡环组成,其主要尺寸与文献[27]保持一致:筒体内径 $D_{\text{in}}=284\ \text{mm}$ 、盲板直径 $D_{\text{m}}=97\ \text{mm}$ 、叶片数量 $m=12$ 个、叶片仰角 $\alpha=22.5^\circ$ 、叶片厚度 $\delta=3\ \text{mm}$ 、叶片径向角 $\beta=24.2^\circ$ 、叶片间距 $h_{\text{B}}=20.7\ \text{mm}$ 、旋流板外径 $D_{\text{x}}=237\ \text{mm}$ 、罩筒高度 $h_{\text{z}}=32\ \text{mm}$ 、板环区宽度 $B=23.5\ \text{mm}$ 。旋流板除雾器如图 1 所示。

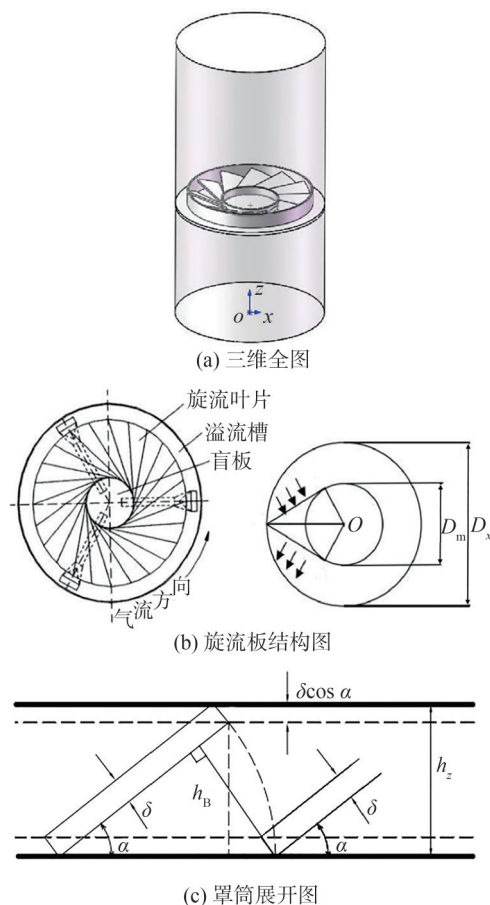


图1 旋流板除雾器

Fig. 1 Swirl vane demister

采用ICEM软件进行网格划分。为兼顾叶片复杂曲面的拟合精度与计算效率,采用混合网格策略:进出口延伸段采用六面体结构化网格,旋流板核心区域(含叶片)采用多面体非结构化网格,各子区域通过 interface 面连接。在近壁面区域及旋流叶片附近进行边界层加密。共生成3套不同分辨率的网格,单元数分别为83万、171万和311万,其中,171万的网格划分,如图2所示。

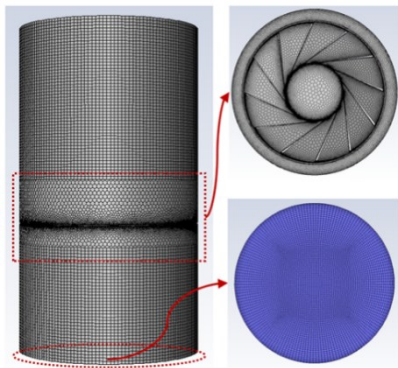
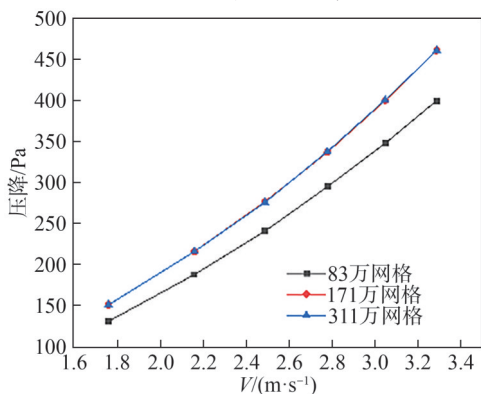


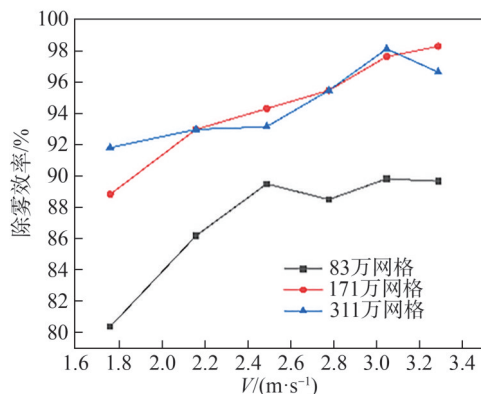
图2 网格划分图

Fig. 2 Mesh generation diagram

以不同入口风速 V 下的压降和除雾效率为考核指标进行网格无关性验证,根据第1.2和1.3节中的数值模型与设置进行网格无关性模拟研究,结果如图3所示。



(a) 压降



(b) 除雾效率

图3 针对旋流板除雾器模拟的网格无关性验证计算

Fig. 3 Grid independence verification study for the simulation of a swirl vane demister

从图3可以看出,171万网格与311万网格的计算结果差异很小,与之相比,83万网格计算得到的压降和除雾效率均显著低于前两者,可认为当网格规模大于171万时计算结果已与网格数量无关。综合考虑计算精度与效率,最终选用171万网格进行模型验证计算。

1.2 数值模型

除雾器中的气液两相流为典型的稀疏气体-液滴流,本文采用欧拉-拉格朗日框架下的离散相模型(DPM)进行描述。气相作为连续相进行求解,液相(液滴)作为离散相在拉格朗日坐标系下追踪。

1.2.1 气相控制方程与湍流模型

将气相视为不可压缩牛顿流体,其流动由雷诺时均Navier-Stokes方程描述。

连续性方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

式中, $\nabla \cdot$ 为散度算子, ρ 为气体密度, $\mathbf{u}$ 为速度, t 为时间。

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla \cdot \mathbf{p} + \nabla \cdot (\bar{\mathbf{t}}) + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad (2)$$

$$\bar{\mathbf{t}} = \mu_{\text{eff}} \left(\nabla \cdot \mathbf{u} + \nabla \cdot \mathbf{u}^T - \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{u} \mathbf{I} \right) \quad (3)$$

式(2)~(3)中, $\mathbf{g}$ 为重力加速度, $\bar{\mathbf{t}}$ 为黏性应力, $\mathbf{F}$ 为体积力, μ_{eff} 为有效黏度, $\mathbf{u}^T$ 速度梯度张量的转置, $\mathbf{I}$ 为二阶单位张量, $\mathbf{p}$ 为压力梯度。

由于旋流除雾器内为强旋流动,湍流模型的选择至关重要。经对比验证, SST $k-\omega$ 模型能较好地平衡强旋流预测精度与计算效率,故本研究采用该模型^[28]。湍动能 k 和比耗散率 ω 的输运方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_K - Y_k + S_k + G_{kb} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega + G_{\omega b} \quad (5)$$

式(4)~(5)中, k 为湍动能, ω 为比耗散率, t 为时间, u_i 为 i 方向的速度分量, x_i, x_j 为坐标分量, G_K, G_ω 为平均速度梯度产生的湍动能生成项, $G_{kb}, G_{\omega b}$ 为浮力产生的湍动能生成项, Γ_k, Γ_ω 为有效扩散系数, S_k, S_ω 为定义源项, Y_ω 为可压缩湍流中脉动扩张对总耗散率的贡献, Y_k 为湍动能 k 的耗散项。

模型假设液滴为球形,不考虑液滴间的碰撞、凝并和破碎;壁面边界采用理想捕集(Trap)假设,即液滴撞击壁面便视为被捕集,未考虑壁面液膜的形成、演化及其在高车速下的二次夹带现象。上述简化主要基

于以下考虑:入口液滴体积分数较低(约 1.0×10^{-4}),属于稀疏气液两相流,液滴间碰撞聚并的概率极低;壁面液膜及二次夹带的精确模拟需耦合欧拉壁面液膜模型或流体体积模型(VOF),计算成本较高,且在本文以结构优化为导向的研究中,采用理想捕集假设可在保证对比分析有效性的前提下,大幅提升计算效率。液滴的运动方程由牛顿第二定律导出,运动方程如下:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u_g - u_p) + \frac{g(\rho_g - \rho_p)}{\rho_p} + F_i \quad (6)$$

式中, u_g 为气相速度, u_p 为液滴速度, ρ_g 和 ρ_p 分别为气相和液滴密度, $F_D(u_g - u_p)$ 为单位质量液滴所受的曳力, F_i 为其他附加力(如虚拟质量力、压力梯度力等), F_D 为曳力项,其定义如下:

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \cdot \frac{C_D Re_p}{24} \quad (7)$$

式中, C_D 为曳力系数, d_p 为液滴直径, μ 为气相动力黏度, Re_p 为液滴的雷诺数。本研究采用适用于宽雷诺数范围的 Morsi-Alexander 模型,曳力系数取决于不同相对雷诺数区间:

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{Re_p} + \frac{a_3}{Re_p^2} \quad (8)$$

式中, a_1, a_2, a_3 为与雷诺数区间相关的常数。

为考虑气相湍流脉动对液滴轨迹的影响,采用离散随机游走模型(DRWM)^[29]。该模型通过随机生成脉动速度模拟湍流涡团对液滴的作用。模型假定颗粒在运动过程中会受到一系列湍流涡的作用,每个湍流涡都有一定的特征尺度(L_e)。在初始状态,速度为 u_p 的颗粒处于湍流涡的中心位置。在湍流涡内,气体的速度 u_g 可以被分解为平均速度 $\bar{u}_g$ 和脉动速度 u'_g 。液滴与湍流涡的相互作用时间 τ_{int} 为:

$$\tau_{int} = \min(\tau_e, \tau_{cross}) \quad (9)$$

式中, τ_{cross} 为穿过当前湍流涡区域所用时间, τ_e 为湍流涡的存在时间。

1.3 边界条件与求解器设置

入口边界采用速度入口,根据实验工况设定入口流速为 $1.76 \sim 3.49 \text{ m/s}$;出口边界设为压力出口,静压为 0 。壁面采用无滑移边界条件。多相模型的壁面条件的设置:筒体壁面设置为 Trap,旋流叶片壁面设置为 Reflect。入口湍流强度设为 0.05 ,水力直径取筒体内径 0.284 m 。液相以液滴形式从入口注入,液滴密度取水的密度为 998.2 kg/m^3 ,入口液相质量流量设为 0.0836 kg/s (入口液滴体积分数较低,约 1.0×10^{-4}),液滴粒径设为 $20 \mu\text{m}$ 的单分散系,与文献[27]实验中的中位粒径一致。

采用基于压力的求解器。压力-速度耦合采用

Coupled 算法;动量、湍动能和比耗散率均采用二阶迎风(second order upwind)离散格式以提高计算精度;残差收敛标准设为 10^{-3} 。需要说明的是,本文采用标准 DPM 模型,未考虑液滴间的碰撞与聚并。原因在于入口液滴浓度较低(体积分数约 1.0×10^{-4}),属于稀疏气液两相流,液滴间碰撞概率极低,该简化符合此类工况的常规处理惯例。

1.4 模型验证

为验证数值模型的准确性,将模拟结果与文献[27]的实验数据进行对比。验证指标包括不同入口流速下的设备压降和除雾效率。

除雾效率的定义为被壁面捕集的液滴质量占入口总质量的百分比:

$$\eta_{\text{trap}} = \frac{m_{\text{inject}} - m_{\text{esc}}}{m_{\text{inject}}} \times 100\% \quad (10)$$

式中: η_{trap} 为除雾器的除雾效率; m_{inject} 为从入口处射入的液滴总质量,kg; m_{esc} 为未能被除雾器捕集且最终从出口界面逃逸的液滴总质量,kg。

不同入口流速下除雾器的阻力损失对比如图 4 所示。从图 4 可以看出,数值模拟预测的压降演变规律与实验结果保持了良好的一致性。随着入口流速的增加,气体通过旋流叶片时的动能损失显著增大,导致局部阻力损失增加,设备总压降呈现明显增长趋势。在所研究的气速范围内,模拟值略低于实验值。产生偏差的主要原因在于:数值模拟采用了理想的光滑壁面假设,且未充分考虑实际运行中壁面液膜的形成及其对气流流道的微小收缩作用,导致模拟预测的摩擦阻力偏小。总体而言,该压降预测精度能够满足后续结构优化的工程需求。

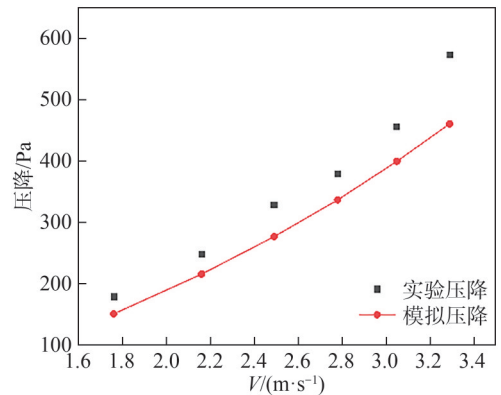


图 4 不同入口流速下除雾器的阻力损失对比

Fig. 4 Comparison of pressure drop across the demister under various inlet gas velocities

在不同入口流速下,模拟与实验的分离效率对比情况如图 5 所示。由图 5 可知,模拟效率与实验效率整体吻合较好,相对误差控制在 5% 以内。整体而言,模

拟所得除雾效率略高于实验值,且模拟曲线随着气速的升高单调递增,未出现实验曲线中高气速效率下降的“拐点”。产生上述现象的原因主要有两点:1)数值模拟中采用了单分散系液滴,而实际实验中喷嘴产生的雾滴呈宽筛分分布,其中包含的大量微小粒径液滴(由于惯性小而难以被捕集)拉低了实验的综合除雾效率;2)实际工况在高气速下会诱发强烈的气液剪切作用,导致壁面液膜发生破碎以及“二次夹带”,从而使除雾效率在达到临界气速后下降,而本研究的 DPM 离散相模型采用了理想捕集(Trap)边界条件,忽略了液滴的聚并、液膜波动以及二次夹带等复杂相间作用过程,导致模拟效率随气速升高而持续增加。上述简化主要影响高气速工况下的效率预测精度,使模拟结果偏于理想化,但在低气速至中等气速范围内(1.76~2.78 m/s),二次夹带尚未明显发生,模拟结果具有较高的可信度。此外,本文在相同的简化假设条件下,通过对比分析得出:导流叶片式除雾器在降低压降和提升效率方面,均优于传统旋流板式除雾器。因此,简化的存在不影响二者相对优劣的判断。

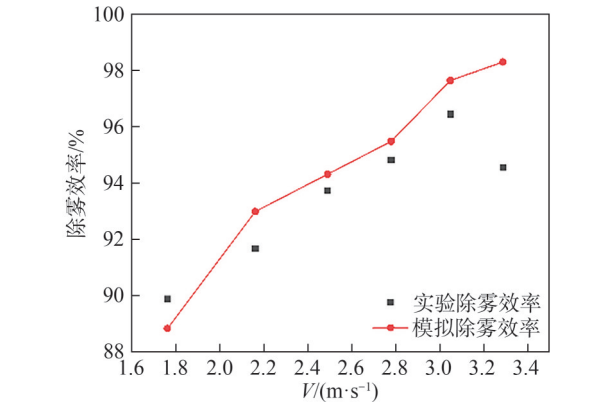


图5 不同入口气速下除雾器的除雾效率对比

Fig. 5 Comparison of demisting efficiency of the demister under different inlet gas velocities

2 导流叶片式除雾器结构与模拟

2.1 导流叶片式除雾器结构设计

为降低传统旋流板除雾器的运行压降并减缓壁面冲蚀,设计了一种导流叶片式除雾器。该结构主体为圆筒,内置圆弧型导流叶片,其外缘线由一段弧线和一段直线构成^[30],外缘线示意图如图6所示。关键结构参数如下:筒体内径 $D_0=284$ mm,入口段高度 $H_1=200$ mm,出口段高度 $H_2=2\,000$ mm,中心柱直径 $D_i=142$ mm(为筒体内径的0.5倍),导叶出口角 $\beta=45^\circ$,叶片数量 $N=5$,叶片高度 $h=300$ mm,圆弧段高度 $L_y=225$ mm,直线段高度 $L_1=75$ mm,叶片周向长度 $l=71$ mm,叶片厚度 $\delta=3$ mm, R 指圆弧段的曲率半径。

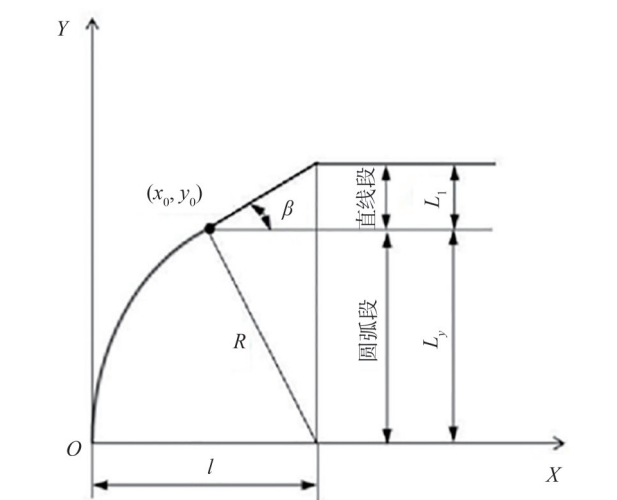


图6 圆弧叶片外缘线示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the outer edge line of arc-shaped blade

需要说明的是,导流叶片式除雾器的筒体内径 $D_0=284$ mm、入口段高度 $H_1=200$ mm,以及出口段高度 $H_2=2\,000$ mm等主体几何尺寸均与传统旋流板式除雾器保持一致,仅将核心分离部件由旋流板替换为导流叶片。这样设计的目的是排除主体结构变化对分离性能的干扰,使研究聚焦于旋流装置改进带来的影响,确保后续压降和除雾效率对比结果的科学性和有效性。建立的导流叶片式除雾器的几何模型如图7所示。

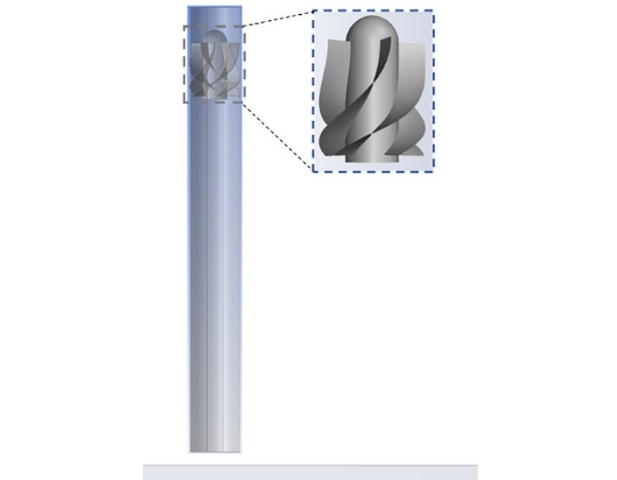


图7 导流叶片式除雾器的几何模型

Fig. 7 Geometric model of guide vane demister

2.2 几何模型与网格划分

利用 SolidWorks 软件建立三维几何模型。使用 ICEM 软件划分六面体结构化网格,在导流叶片近壁面处进行局部加密。共生成 123 万、180 万、248 万共 3 套网格。以距入口 0.65 m 截面处的切向速度为考核指标进行网格无关性验证,结果如图 8 所示。结果表明,3 套网格计算结果基本一致,为兼顾精度与效率,选用 123 万网格进行后续多工况模拟优化计算。

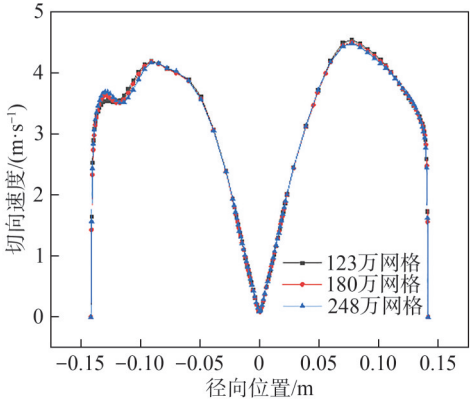


图8 针对导流叶片式除雾器模拟的网格无关性验证
Fig. 8 Grid independent test for simulation of guide vane demister

2.3 导流叶片式除雾器的工作原理

导流叶片式除雾器的基本工作原理是携带液滴的烟气沿轴向进入导流叶片式除雾器,在导流叶片的导向作用下,气流由垂直向上转变为旋转向上,形成旋流场。液滴在离心力作用下被甩向筒体内壁,在壁面沉积并聚结形成液膜,液膜不断增大,最终在重力作用下沿壁面向下流动,进入底部集液装置实现气液分离;分离后的洁净气体则沿轴向继续向上排出。在实际运行中,气液分离机理更为复杂,高风速下易产生二次夹带现象。本节数值模拟所采用的物理问题简化与模型验证保持一致,液滴撞击壁面即视为被捕集,暂不考虑二次夹带、液滴碰撞、聚并等复杂因素,以聚焦导流叶片式除雾器核心分离机理的研究。

2.4 旋流装置类型的影响

2.4.1 传统旋流板式流场分布

图9为旋流板除雾器入口风速为2.16 m/s时轴向截面的压力、速度以及液滴浓度分布云图。从图9可以清晰地观察到:进口区域的压力、速度以及液滴浓度分布较为均匀;在通过旋流板结构后,流场受到强烈的导向与扰动作用,三者皆呈现出明显的空间非均匀性。压力场在叶片的迎风面和背风面之间出现明显的压差,这也是导致压降偏高的主要原因。速度场中高速气流主要集中在筒壁面以及叶片附近,容易造成液膜破碎并诱发二次夹带。液滴浓度分布则表现为高浓度颗粒聚集在旋流板后方外壁面附近,证实了液滴在离心力作用下向壁面附近迁移。

综上,旋流板式除雾器通过强旋流实现气液分离,但其板式结构导致液滴直接冲击壁面,带来压降较高、流动不均匀,以及潜在的不稳定再夹带问题。这些特性也为导流叶片式除雾器的设计提供了明确改进方向,即可以通过更平滑的导流结构降低冲击损失,提升分离稳定性。

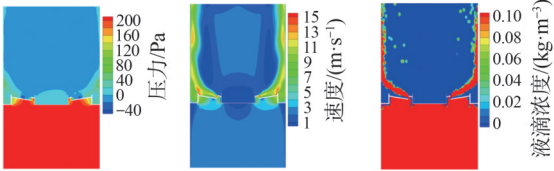


图9 旋流板除雾器轴向截面流场分布云图
Fig. 9 Contour of flow field distribution on the axial cross-section of swirl vane demister

2.4.2 导流叶片式流场分布

图10为导流叶片式除雾器入口风速为2.16 m/s时轴向截面的压力、速度以及液滴浓度分布云图。从图10可以清晰地观察到:进口区域的压力、速度以及液滴浓度分布较为均匀;在通过导流叶片结构后,流场受叶片导向作用形成稳定的旋流,三者均呈现出典型的“中心-壁面”梯度分布特征。压力场表现为轴心低压区与壁面高压区共存的径向压力梯度,压差平缓且无局部突变,这是运行压降显著低于旋流板式的主要原因。速度场中高速气流主要集中在叶片下游的环形流道内,切向速度呈“兰金涡”分布,峰值约4 m/s且衰减平缓,近壁区流速显著低于旋流板式流场,有利于抑制液膜破碎与二次夹带。液滴浓度分布则表现为中心区域浓度趋近于0,高浓度颗粒聚集在靠近外壁面的环形区,表明液滴在离心力作用下有序向壁面迁移并被捕集。

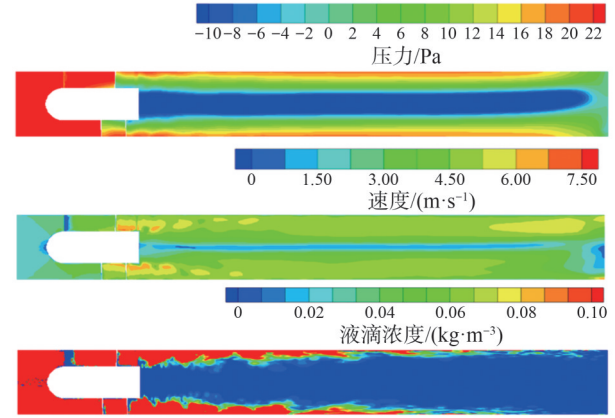


图10 导流叶片式除雾器轴向截面流场分布云图
Fig. 10 Contour of flow field distribution on the axial cross-section of a guide vane demister

2.4.3 旋流板式与导流叶片式除雾器对比

图11对比了相同入口风速下(2.16 m/s)旋流板式与导流叶片式除雾器在各自叶片末端截面处的切向速度分布,体现出各自的核心旋流特征。从图11中可以看出,两种除雾器的切向速度均呈现典型的“兰金涡”组合涡结构^[31]:中心区域呈强制涡特征,切向速度随半径增加而线性增大;近壁区域呈自由涡特征,切向速度随半径增加逐渐衰减。然而,两种除雾器在涡结构的具体参数上存在显著差异,这直接反映了其内部流场与分离机理的不同。

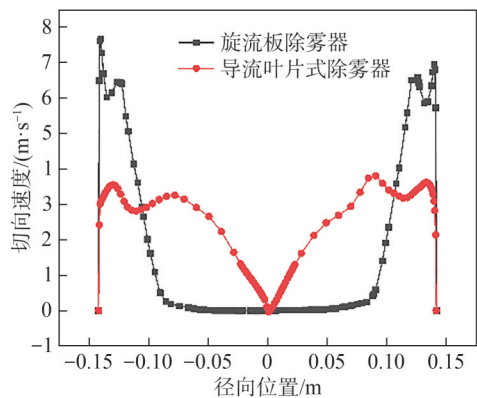


图 11 不同类型除雾器沿径向位置的切向速度分布
Fig. 11 Tangential velocity distribution of different types of demisters

综上对比可知,旋流板式除雾器在强制涡区域的曲线斜率明显大于导流叶片式。这表明在核心区域,旋流板式除雾器产生的流体旋转角速度更高,初始旋流强度更大。这主要归因于其叶片对气流更强烈的导向和切割作用。旋流板式除雾器的切向速度在壁面附近处达到峰值(约 7.5 m/s),随后进入自由涡区并迅速衰减。而导流叶片式的速度峰值较低(约 4 m/s),且出现的位置也在壁面附近处。这一差异说明,旋流板式除雾器能将旋转能量集中地施加在壁面附近,而导流叶片式产生的旋流则相对温和,分布更为分散。

在自由涡区域,旋流板式除雾器的切向速度随半径增大下降得极为迅速,曲线陡峭。然而,在靠近壁面的区域,尽管其速度衰减梯度大,但其切向速度的绝对值仍显著高于同位置的导流叶片式。这意味着,在旋流板式除雾器中,雾滴在近壁区域仍保有较高的切向速度,从而以更大的法向离心力被甩向壁面,产生更强烈的撞击。这种流体动力学特性虽然有利于液滴的分离与捕获,但长期运行下会对壁面造成较大的冲刷磨损,可能影响设备的长期运行稳定性与寿命。相比之下,导流叶片式在近壁区域的速度更低,衰减更平缓,其对壁面的冲刷作用预期会缓和得多。其近壁面区域更低的切向速度与更缓和的流动,显著降低了对设备壁面和内部构件的冲刷磨损。

综上所述:旋流板式除雾器能产生强度高、梯度大,且近壁面切向速度仍较高的强旋流;而导流叶片式则生成强度适中、分布更均匀、衰减平缓,近壁面流动相对温和的旋流。这种流场结构的根本差异源于两者叶片几何构型对气流引导方式的不同。旋流板式更侧重于强烈的初始旋转与高分离力,但可能以较高的壁面冲刷风险为代价;导流叶片式则更注重旋流在整个流道截面上的可持续性、均匀性以及对设备的保护性。

图 12 展示了两类除雾器在不同入口风速下的运行压降变化趋势。整体而言,在模拟风速范围(1.76~3.29 m/s)内,两类除雾器的压降均随风速升高而增长。尽管总体趋势相似,但图 12 中数据显示,旋流板式除雾器的压降值始终显著高于导流叶片式除雾器。结合图 11 对核心流场的分析,此压降差异可以得到合理解释:旋流板式除雾器因叶片设计产生强度更高、梯度更大的强旋流,这种剧烈的旋转运动导致气流内部、气流与叶片、气流与壁面之间的动量交换更剧烈,流体动能耗散更大,因此表现为更高的流动阻力(即压降);而导流叶片式除雾器生成的旋流强度适中,分布更均匀,流场变化相对平缓,这种更为顺畅的流动形态减少了不必要的湍流耗散与局部阻力,从而实现了更低的运行压降。

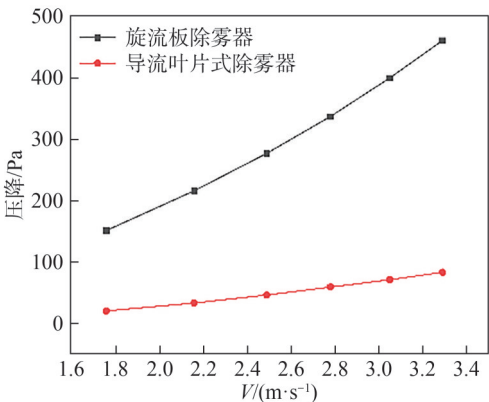


图 12 不同类型除雾器不同风速下的压降分布
Fig. 12 Distribution of pressure drop of different types of demisters at different gas velocities

压降直接关联系统的运行能耗。图 12 的对比结果表明,导流叶片式除雾器因其更优的流道设计,具有更低的能耗特性。与其在抗冲刷、高可靠性方面的优势相结合,使其在注重长期经济运行和稳定性的工业应用中更具有竞争力。而旋流板式除雾器为获得极高的旋流强度与分离力,则需要付出更高的压降(能耗)代价。

图 13 对比了两类除雾器在实验风速范围(1.76~3.49 m/s)内的除雾效率变化。从图 13 可以看出,两种除雾器的效率曲线均呈现随风速增大而上升的趋势。导流叶片式除雾器风速超过 2.78 m/s 后,效率曲线进入一个稳定的平台区,均维持在约 100% 的水平,不再随风速增加而显著变化。这表明导流叶片式除雾器存在一个临界风速范围(2.78~3.49 m/s),在此范围内,设备达到了稳定的分离性能。而旋流板的除雾效率虽然稍低于导流叶片,但也能维持较高的脱除水平(>90%),满足大部分工程需求。

总体而言,导流叶片式除雾器的除雾效率始终高于

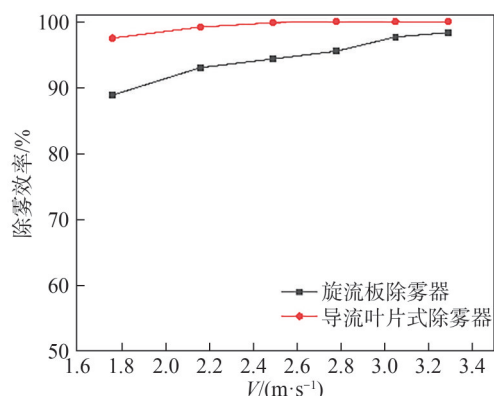


图 13 不同类型除雾器不同气速下的除雾效率变化

Fig. 13 Separation efficiency variation with gas velocity for different types of demisters

旋流板除雾器。尤其是在 1.76~3.05 m/s 的过渡区间,除雾效率优势更为明显。这一结果揭示了除雾效率是流场强度、均匀性、稳定性以及液滴运动路径等多种因素综合作用的结果,也表明导流叶片式除雾器相比传统旋流板除雾器能实现更优的液滴脱除效果。

3 结 论

建立了基于欧拉-拉格朗日框架的旋流除雾器气液两相流数值模型,模拟得到的设备压降、除雾效率与文献实验数据吻合,验证了模型的准确性。

设计了一种圆弧型导流叶片式除雾器,与传统旋流板式除雾器相比,导流叶片式除雾器的切向速度分布更均匀,峰值降低约 40%,压降降低 30%~40%,除雾效率始终高于旋流板,且在高于临界气速时达到 100%。该结构凭借顺畅的流线型设计,实现了“高效、低阻”的综合性能优化。

导流叶片式除雾器内部形成稳定的“兰金涡”结构,液滴在离心力作用下向壁面迁移,并在近壁区聚集被捕集,从而实现液滴的高效脱除。

需要说明的是,本研究完全通过数值模拟开展导流叶片式除雾器的设计和验证工作。未来可依据本文确定的最佳结构尺寸制造样机开展冷态试验,以进一步验证数值模拟结果的可靠性。

参考文献:

[1] Nie Ao. Numerical simulation of vane gas-liquid separator[J]. Petrochemical Design, 2021, 38(1): 28–32. [聂傲. 叶片式气液分离器的数值模拟研究[J]. 石油化工设计, 2021, 38(1): 28–32.]

[2] Du Mingsheng, Gu Changchao, Zhu Konghao, et al. Numerical simulation on the performances of swirl plate demister and wave-plate mist eliminators[J]. Petroleum Refinery Engineering, 2018, 48(5): 32–36. [杜明生, 谷长超, 朱孔浩, 等. 旋流板式除雾器与折流板除雾器性能对比的数值模

拟[J]. 炼油技术与工程, 2018, 48(5): 32–36.]

[3] Yao Jie, Zhong Zhaoping, Zhou Shanming. Numerical simulation on wave-plate demister with hamulus in wet flue gas desulfurization[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(14): 61–67. [姚杰, 仲兆平, 周山明. 湿法烟气脱硫带钩波纹板除雾器结构优化数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(14): 61–67.]

[4] Chen Jianmeng, Tan Tian'en. Experimental studies of flow fields on rotating stream tray with laser Doppler anemometer[J]. Chemical Engineering(China), 1996, 24(3): 59–64. [陈建孟, 谭天恩. 旋流板上流场的 LDA 实验研究[J]. 化学工程, 1996, 24(3): 59–64.]

[5] Song Zhengyuan, Sun Guogang, Yuan Shiwei, et al. Experimental study and calculation of the maximum efficiency superficial gas velocity of swirl plate demisters[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2025, 215: 200–207.

[6] Yang Zhenghao, He Zhen, Zhang Xianggang, et al. Experimental and simulation studies on gas-solid fluidized separation of biochar and catalytic carriers in fluidized bed biomass pyrolyzers[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2025, 215: 507–521.

[7] Jiao Wenlei, Liu Zhen, Chen Junxian, et al. Structure and performance influencing factors of vane separation components: The reviews[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2024, 43(8): 4187–4202. [焦文磊, 刘震, 陈俊先, 等. 叶片式分离元件结构及性能影响因素研究进展[J]. 化工进展, 2024, 43(8): 4187–4202.]

[8] Zhao Chenguang. The numerical simulation and optimization of the wave-plate mist eliminator with auxiliary capture[D]. Tianjin: Tianjin University, 2015. [赵晨光. 带液滴辅助捕集结构的折板除雾器性能数值模拟及优化[D]. 天津: 天津大学, 2015.]

[9] Hua Wei. Study on computational dynamic simulation of vane mist eliminator[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2004. [华伟. 挡板除雾器的动力学特性研究[D]. 保定: 华北电力大学(河北), 2004.]

[10] Pi Wei. Numerical simulation of flow field of baffle demister[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2011. [皮威. 折流板除雾器流场数值模拟[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2011.]

[11] Li Weimin, Zhao Yuelong. The numerical simulation of trapezoidal baffle demister used in the recycling system of chromium plating mist[J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(6): 19–22. [李卫民, 赵跃龙. 梯形折流板除雾器在电镀铬雾回收系统中的数值模拟[J]. 机械设计与制造, 2017(6): 19–22.]

[12] Ma Xiao, Zhang Qi, Bai Ruonan, et al. Numerical simulation and application of wet dust-cleaning fan with baffle defogger[J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(11): 179–182.

- [马骁,张琦,白若男,等.除尘风机用折流板除雾器的数值模拟及应用[J].煤矿安全,2015,46(11):179–182.]
- [13] Liu Liyan,Zhao Chenguang. Separation performance of wave-plate mist eliminator with auxiliary capture[J]. Modern Chemical Industry, 2015, 35(5): 159–162. [刘丽艳,赵晨光.带液滴辅助捕集结构的折板除雾器分离性能研究[J].现代化工,2015,35(5):159–162.]
- [14] Liu Dingping,Zhang Xiangyang,Chen Aihua,et al. Numerical analysis of performance of cyclone-tube demister based on orthogonal design[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2023, 51(6): 89–96. [刘定平,张向阳,陈爱桦,等.基于正交设计的旋流管式除雾器性能的数值分析[J].华南理工大学学报(自然科学版),2023,51(6):89–96.]
- [15] Zhang Xiangyang. Simulation analysis and structural optimization of performance of cyclone-tube demister[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2024. [张向阳.旋流管式除雾器性能仿真分析及结构优化[D].广州:华南理工大学,2024.]
- [16] Yang Laishun. Study on separation characteristic and structure optimization of mist eliminator in wet desulfurization[D]. Dongying: China University of Petroleum(Huadong), 2019. [杨来顺.湿法脱硫除雾器分离特性与结构优化研究[D].东营:中国石油大学(华东),2019.]
- [17] Gao Zhijie, He Yadong, Lei Peng, et al. Experiment and numerical simulation of the multi-channel gas-liquid cyclone separator[J]. CIESC Journal, 2026, 77(2): 220–228. [高志杰,贺亚东,雷鹏,等.多通道式气液旋流分离器性能实验和数值模拟[J].化工学报,2026,77(2):220–228.]
- [18] Zhu Haojie. Performance evaluation of a novel electrostatic-vane compound demister using numerical simulation and experimentation[D]. Jinan: Shandong University, 2024. [祝豪杰.新型静电-叶片复合除雾器性能的数值模拟和实验研究[D].济南:山东大学,2024.]
- [19] Zhou Longda, Zhao Lixin, Xu Baorui, et al. Advances in electrostatic-cyclonic coupling enhanced multiphase media separation research[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2023, 42(7): 3443–3456. [周龙大,赵立新,徐保蕊,等.电场-旋流耦合强化多相介质分离研究进展[J].化工进展,2023,42(7):3443–3456.]
- [20] Tao Junyu, Zhang Hao, Zheng Xu, et al. Study on the performance of a baffle demister for improving the separation efficiency of small droplets[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2023, 196: 118–132.
- [21] He San, Han Yu, Xue Yawen, et al. Separation of sulphur particles and droplets in high-sulfur gas fields based on a rotary thread demister: Experimentation, numerical simulation and optimization[J]. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 2024, 203: 109907.
- [22] Zhang Lei, Qiao Zongliang, Liu Shasha, et al. Numerical simulation and optimization design of demister based on a separation model considering re-entrainment influence[J]. Separations, 2025, 12(2): 48.
- [23] Tao Junyu, Dong Yuze, Ding Yuanming, et al. Performance enhancement of demisters with orifice baffles: A study on separation efficiency and flow mechanism[J]. Desalination, 2026, 631: 120191.
- [24] Yang Laishun, Wang Jianxing, Sun Yu, et al. Multi-objective optimization of a tube separator by genetic algorithm[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2020, 34(3): 792–801. [杨来顺,王建星,孙煜,等.基于遗传算法的管式除雾器多目标优化设计[J].高校化学工程学报,2020,34(3):792–801.]
- [25] Song Zhengyuan, Sun Guogang, Xi Chenhao, et al. Enhancing the separation efficiency of the swirl plate demister operating at high gas velocities[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2025, 215: 522–530.
- [26] Xu Yichen, Yang Zhenming, Zhang Jinsong. Study on performance of wave-plate mist eliminator with porous foam layer as enhanced structure. Part I: Numerical simulation[J]. Chemical Engineering Science, 2017, 171: 650–661.
- [27] Wen Bin. Study on flow field simulation and efficiency improvement of swirl plate demister[D]. Beijing: China University of Petroleum(Beijing), 2017. [温斌.旋流板除雾器的流场模拟与提效研究[D].北京:中国石油大学(北京),2017.]
- [28] Chen Jianlei, He Limin, Luo Xiaoming, et al. Optimal selection of numerical simulation methods for flow field in cyclone separator[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2013, 13(5): 721–727. [陈建磊,何利民,罗小明,等.旋流分离器流场模拟研究方法优化选择[J].过程工程学报,2013,13(5):721–727.]
- [29] Cui Jie, Chen Xueli, Gong Xin, et al. Numerical simulation of three-dimension flow field in a new-type cyclone separator with a radial inlet structure[J]. CIESC Journal, 2010, 61(3): 388–394. [崔洁,陈雪莉,龚欣,等.径向入口结构的旋风分离器内三维流场的数值研究[J].化工学报,2010,61(3):388–394.]
- [30] Jin Youhai, Fan Chao, Mao Yu, et al. Study on the design methods of vane parameters of vane guided cyclone tubes[J]. Chemical Engineering & Machinery, 1999, 26(1): 21–24. [金有海,范超,毛羽,等.导叶式旋风管叶片参数设计方法的研究[J].化工机械,1999,26(1):21–24.]
- [31] Han Chuanjun, Chen Fei, Yang Xue, et al. Effects of blade's parameters on performance for guide vane cyclone tube[J]. Journal of Machine Design, 2015, 32(8): 72–77. [韩传军,陈飞,杨雪,等.叶片参数对导叶式旋风分离管性能的影响[J].机械设计,2015,32(8):72–77.]

【校友简介】



王维,中国科学院过程工程研究所介科学与过程工程全国重点实验室研究员,博士生导师,中国科学院大学岗位教授。分别于1994和1997年获四川大学本科和硕士学位,2001年获中国科学院过程工程研究所博士学位。长期从事流态化、多相流反应系统的多尺度模拟、实验与放大研究。提

出了考虑亚网格结构的多尺度CFD方法并在国际上得到广泛应用;提出的双变元EMMS曳力模型已成为国际主流CFD软件(Ansys Fluent、Siemens Star CCM+等)的标准模块。合作出版Springer专著2部,发表国际同行评审论文超过160篇。曾获中国科学院卢嘉锡青年人才奖、中国科协杰出青年奖、科技部中青年科技创新领军人才、中石化MIP工业化贡献奖;曾任多相复杂系统国家重点实验室副主任;现任Particuology执行主编;2016年获国家杰出青年科学基金资助。

Numerical Simulation and Performance Optimization of a Guide Vane Demister

FAN Xiaoxu^{1,2†}, SHI Zhansheng^{3†}, LI Fei^{2,4*}, LI Zonghui³, LU Chunxi¹, WANG Wei^{2,4*}

(1.College of Chemical Engineering and Environment, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2.State Key Laboratory of Mesoscience and Process Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3.Huadian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100039, China;

4.School of Chemical Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:

Objective Conventional swirl vane demisters are widely employed in industrial wet flue gas desulfurization (WFGD) systems for gas liquid separation. However, they suffer from high operational pressure drop, severe wall erosion, and a sharp decline in demisting efficiency at elevated gas velocities, primarily due to the breakup and re-entrainment of the wall liquid film under strong gas shear. These inherent drawbacks make it increasingly challenging to meet the stringent ultra-low emission requirements of modern industrial flue gas purification systems. To overcome these limitations, the present study proposes a novel arc-shaped guide vane demister to simultaneously achieve high demisting efficiency, low flow resistance, and reduced wall erosion risk. The gas liquid separation performance and underlying flow mechanisms of the proposed demister are systematically investigated using numerical simulations.

Methods A gas liquid two-phase flow numerical model was established within an Eulerian-Lagrangian framework. The continuous gas phase was treated as an incompressible Newtonian fluid and solved using the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations. The shear stress transport $k-\omega$ turbulence model was adopted to describe the turbulent gas flow because it offers a balance between accuracy in predicting complex swirling flows and computational efficiency. The discrete phase model was used to track droplet trajectories in a Lagrangian framework, and the discrete random walk model was coupled to account for the stochastic effects of turbulent fluctuations on droplet dispersion. The droplet motion equation incorporated the coupled effects of drag, centrifugal, and gravitational forces, with the drag coefficient calculated using the Morsi-Alexander model, which is applicable over a wide range of Reynolds numbers. The droplets were assumed to be spherical, and inter-droplet collision, coalescence, and breakup were neglected because of the low inlet droplet volume fraction (approximately 1.0×10^{-4}). The walls were specified as ideal trap boundaries, such that droplets impacting the wall were considered captured. The formation and evolution of wall liquid films and their re-entrainment at high gas velocities were not considered because the present study focuses on structural optimization and comparative performance analysis. The geometric model of the guide vane demister consisted of a cylindrical shell with inner diameter D_0 of 284 mm, a central column diameter D_i of 142 mm (0.5 times the shell diameter), and five arc-shaped guide vanes with an outlet angle α of 45° , a vane height h of 300 mm, and a vane thickness δ of 3 mm. The inlet and outlet section heights were 200 mm and 2 000 mm, respectively, consistent with those of the conventional swirl vane demister to ensure a fair comparison. The computational domain was discretized using a structured hexahedral mesh with local refinement near the vane walls. A grid independence test was performed using three meshes containing 1.23, 1.80, and 2.48 million cells, respectively, and the medium mesh was selected as a compromise between numerical accuracy and computational cost. The boundary conditions consisted of a velocity inlet at the bottom, with an inlet velocity range of 1.76–3.49 m/s, and a pressure outlet at the top with zero static pressure. No-slip wall conditions with standard wall functions were applied to the solid surfaces. To validate the numerical model, simulations were first performed for a conventional swirl vane demister with dimensions identical to those reported in the literature. The predicted pressure drop and demisting efficiency were then compared with the corresponding experimental data reported in the literature. After validation, three-dimensional simulations were conducted for the proposed guide vane demister, and its performance was systematically compared with that of the conventional design in terms of velocity fields, pressure distributions, turbulent kinetic energy, droplet concentration contours, and overall separation performance.

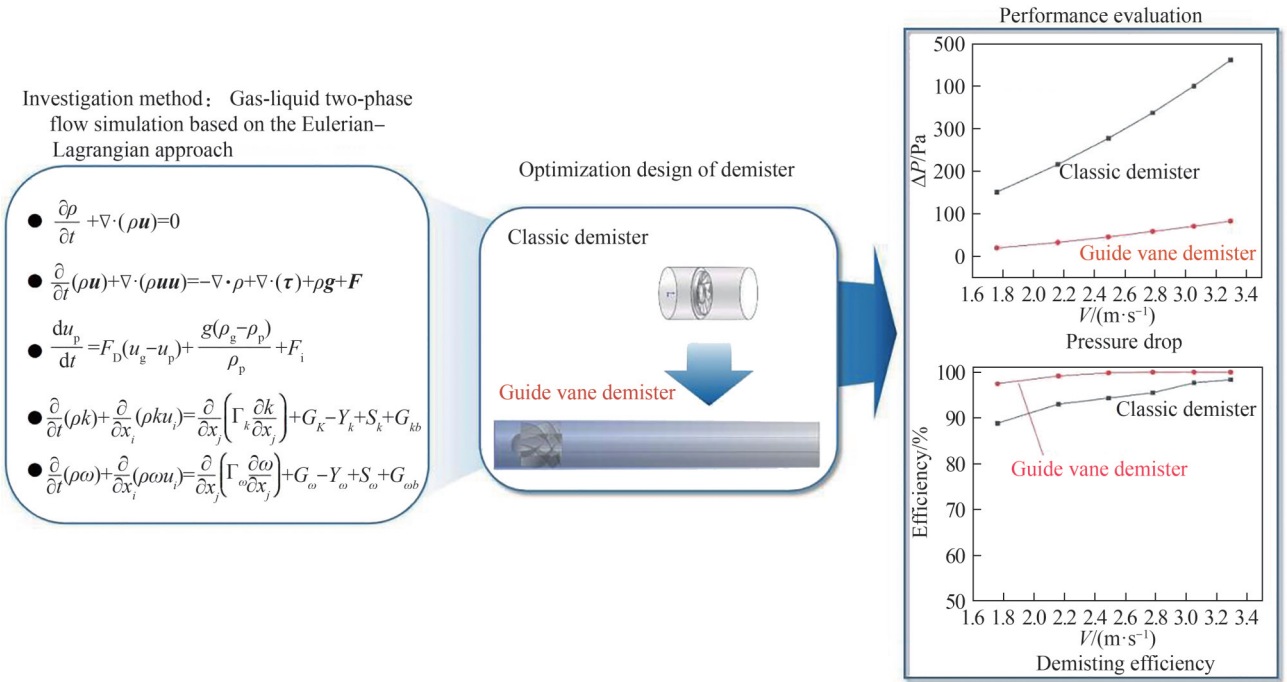
Results and Discussions The model validation results showed good agreement between the numerical predictions and experimental measurements for the conventional swirl vane demister. The relative errors in pressure drop and demisting efficiency at all tested velocities were within 5%, supporting the reliability and accuracy of the adopted numerical approach for simulating gas-liquid swirling flows. For the guide vane demis-

ter, flow field analysis revealed the formation of a stable Rankine-type vortex structure inside the separator, characterized by a tangential velocity distribution that was relatively low in the central region and increased toward the wall, with a distinct forced-vortex core and a free-vortex outer region. At a representative inlet gas velocity of 2.16 m/s, the pressure, velocity, and droplet concentration fields exhibited typical center-to-wall gradient distributions. Compared with the conventional swirl vane demister, several significant improvements were observed. 1) The peak tangential velocity decreased from approximately 7.5 m/s to approximately 4.0 m/s, corresponding to a reduction of approximately 40%, while the tangential velocity profile became more uniform in the radial direction and exhibited a more gradual axial decay. This substantial reduction in near-wall gas velocity reduced the momentum of droplets impacting the wall surface, thereby decreasing the potential for wall erosion. 2) The operational pressure drop decreased by 30%–40% over the simulated inlet gas velocity range (1.76–3.29 m/s). The pressure field exhibited a smooth radial pressure gradient without pronounced local variations, which contributed to the significantly lower flow resistance compared with the conventional swirl vane design. 3) The demisting efficiency of the guide vane demister was consistently higher than that of the conventional design under all tested conditions. When the inlet gas velocity exceeded 2.78 m/s, the separation efficiency approached a stable plateau of approximately 100%, indicating complete droplet capture under the simulated conditions. In contrast, the efficiency of the conventional demister was maintained above 90% but remained lower than that of the guide vane design. Furthermore, the droplet concentration contours indicated that most droplets were efficiently transported toward the wall and subsequently captured, with minimal droplet carryover in the outlet stream. Overall, these quantitative comparisons confirm that the guide vane demister achieved the desired multi-objective optimization: high demisting efficiency, low operational energy consumption, and reduced wall erosion risk.

Conclusions This study demonstrated that the proposed arc-shaped guide vane demister offers a viable approach to addressing the performance limitations of conventional swirl vane demisters in WFGD applications. The numerical results indicate that, owing to its streamlined flow passages, the proposed design substantially suppresses the leeward vortex zone and promotes a more uniform centrifugal flow field. This enhances droplet capture while also simultaneously significantly reducing pressure drop and the potential for wall erosion. These findings provide a reliable theoretical foundation for the design and optimization of high-performance demisters in industrial flue gas purification systems. It should be noted that the present study was conducted entirely using numerical simulations. Future experimental validation using a cold-test prototype based on the optimized geometric parameters is therefore recommended to further verify the reliability of the simulation results.

Key words: guide vane demister; gas-liquid two-phase flow; numerical simulation; demisting efficiency; pressure drop

Graphical abstract:



(编辑 张 琼)

引用格式: Fan Xiaoxu, Shi Zhansheng, Li Fei, et al. Numerical simulation and performance optimization of a guide vane demister[J]. Advanced Engineering Sciences, 2026, 58(5): 327–337. [范晓旭, 石战胜, 李飞, 等. 导流叶片式除雾器的数值模拟与性能优化[J]. 工程科学与技术, 2026, 58(5): 327–337.]