

# 高效低耗环保设备的结构与性能优化研究

王冬艳

辽宁北方环境保护有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要:** 针对当前环保设备效率偏低、能耗较高、运维成本高的问题,本文围绕高效低耗环保设备的结构与性能优化展开研究。结合流体力学、材料科学等理论,优化设备主体及功能部件结构,通过CFD数值模拟分析流场特性,设计测试方案验证性能,制定多维度优化策略。研究表明,优化后的设备可显著提升污染物处理效率与资源利用率,降低运行能耗及运维成本,实现环保与经济效益双赢,为其工业化应用提供理论与实践支撑。

**关键词:** 高效低耗; 环保设备; 结构设计; 性能优化

**引言:** 随着环保政策收紧与绿色发展理念深入人心,环保装备制造向减污降碳、节能降耗方向转型,高效低耗成为环保设备的核心发展需求。当前传统环保设备存在结构设计不合理、能耗损耗大、处理效率不足等短板,难以适配新时期污染治理与资源利用需求。基于此,本文聚焦设备结构与性能优化,整合相关理论技术,破解运行痛点,助力环保装备产业高质量发展,为美丽中国建设提供技术支撑。

## 1 高效低耗环保设备结构设计理论与基础

### 1.1 高效低耗环保设备核心设计原则

(1) 高效性原则: 核心是提升污染物处理或资源利用效率,设计需结合设备用途优化结构,确保污染物与处理介质充分接触,缩短反应时间,减少处理死角,同时提升资源利用利用率,满足行业排放及回收标准,实现高效达标处理。(2) 低耗性原则: 重点降低设备运行中的能耗、水耗及材料消耗,优化结构布局减少能量损耗,选用节能型结构部件,合理设计水循环利用系统,减少水资源浪费,采用可循环、高强度材料,降低耗材更换频率,降低长期运行损耗。(3) 环保性原则: 严格遵循减少二次污染的设计规范,优化尾气、废水、废渣排放结构,避免处理过程中产生新的污染物;优先选用无毒、可降解、环保型材料,兼顾材料的环保性与实用性,符合绿色环保设计要求。(4) 经济性原则: 兼顾设计、制造与运维全流程成本优化,结构设计需简化工艺,降低制造难度和成本,同时优化部件结构,减少运维频次和难度,降低运维成本,实现环保效益与经济效益的双向平衡。

### 1.2 核心结构组成与设计要点

(1) 主体结构设计: 基于流体力学理论,优化流道、腔体结构,减少流体阻力,提升介质流通效率,合理设计腔体容积和形状,确保处理过程稳定高效,同时

兼顾结构强度,满足设备长期运行需求。(2) 功能部件设计: 传动系统采用低摩擦、高效率结构,降低能耗;过滤/反应部件优化孔径和结构,提升处理效果,减少堵塞;密封结构选用耐高温、耐腐蚀材料,防止泄漏,降低能耗损失和二次污染风险<sup>[1]</sup>。(3) 辅助结构设计: 整合节能驱动装置,提升能源利用效率;设计余热回收结构,将设备运行中产生的余热循环利用,进一步降低能耗,实现能源的高效利用,贴合低耗设计理念。

### 1.3 设计相关理论与技术支撑

(1) 流体力学理论: 运用气液固多相流模型,模拟设备内部介质流动状态,优化流道和腔体结构设计,减少流体滞留和阻力,提升处理效率,为主体结构设计提供理论支撑。(2) 材料科学理论: 依据环保、轻质、高效材料的特性,结合设备运行环境,合理选型材料,确保材料的耐腐蚀性、耐磨性和环保性,同时减轻设备重量,降低能耗,为结构设计提供材料保障。(3) 机械设计理论: 采用轻量化设计方法,优化结构布局,减少冗余部件,降低设备自重;设计低摩擦结构,减少部件磨损和能量损耗,延长设备使用寿命,契合高效低耗的设计核心。

## 2 高效低耗环保设备结构与数值模拟

### 2.1 设备整体结构方案设计

(1) 设备整体结构布局: 以高效低耗为核心目标,进行整体布局优化,遵循“紧凑化、流线型”原则,合理规划主体腔体、功能部件、辅助系统的位置,缩短介质流道路径,减少能量损耗。同时兼顾各部件的协同运作,避免结构干涉,预留运维空间,确保设备运行高效且操作便捷,实现空间利用率与运行效率的双重提升。(2) 关键结构参数初步确定: 结合设备处理规模与工艺要求,初步确定核心结构参数。高径比根据介质反应特性优化,兼顾反应效率与设备稳定性;布水/布气结构采

用均匀化设计,确保介质分布均匀,提升处理效果,减少局部能耗;合理设定各部件间隙尺寸,降低摩擦损耗与泄漏风险,为后续详细设计和数值模拟奠定基础<sup>[2]</sup>。

(3)结构方案可行性分析:从制造工艺角度,评估结构设计的可加工性,选用成熟、简便的制造工艺,降低制造成本与难度;从安装维护角度,优化结构拆分设计,确保部件安装便捷、拆卸高效,减少安装维护工时与能耗,同时评估设备运行过程中的稳定性和可靠性,排除结构设计中的不合理之处,保障方案可行。

## 2.2 关键部件结构详细设计

(1)核心功能部件设计:针对曝气头、过滤组件、搅拌装置等核心功能部件进行结构优化。曝气头采用多孔均匀曝气结构,减小气泡尺寸,提升气液接触面积,增强氧传递效率;过滤组件优化滤材孔径与排列方式,提升过滤精度和通量,减少堵塞,降低反洗能耗;搅拌装置采用低能耗桨叶结构,优化转速适配设计,确保介质充分混合,避免局部反应不充分导致的效率低下。

(2)节能部件设计:适配变频驱动结构,设计可调节转速的连接与固定结构,实现根据处理负荷动态调节能耗,避免无效能耗浪费;优化余热回收流道结构,合理规划流道走向与截面尺寸,充分回收设备运行过程中产生的余热,用于预热处理介质或辅助设备运行,进一步降低整体能耗,契合低耗设计理念。(3)易损部件优化设计:针对设备运行中易磨损、易损坏的部件,选用高强度、耐腐蚀、耐磨的环保材料,优化部件结构形态,减少磨损面与受力集中,提升部件使用寿命。同时设计便捷的更换结构,降低更换难度与运维频次,减少运维过程中的能耗与成本投入,保障设备长期稳定高效运行<sup>[3]</sup>。

## 2.3 基于CFD的结构数值模拟与分析

(1)模拟模型建立:基于计算流体力学(CFD)技术,结合设备实际结构与运行工况,构建气液两相或气液固三相模拟模型。明确模型边界条件、介质物理属性等关键参数,合理划分网格,兼顾模拟精度与计算效率,确保模型能够真实反映设备内部流体流动与反应过程,为后续模拟分析提供可靠基础。(2)模拟结果分析:对模拟得到的流场分布、气含率、能耗分布等关键指标进行系统分析。判断流场是否均匀,有无涡流、滞留区等影响效率的问题;分析气含率分布是否合理,评估气液传质效率;排查能耗集中区域,识别结构设计中导致能耗过高的薄弱环节,为结构优化提供数据支撑。

(3)结构参数初步优化:基于CFD模拟分析结果,针对存在的问题调整结构参数。优化流道形状、布水/布气结

构尺寸,改善流场分布,减少涡流与滞留区;调整核心部件结构参数,提升气含率与传质效率;优化间隙尺寸与部件布局,降低能耗集中现象,改善设备流体力学特性,实现结构设计的进一步优化,提升设备高效低耗性能。

## 3 高效低耗环保设备性能测试与优化

### 3.1 性能测试方案设计

(1)测试指标确定:围绕高效低耗核心目标,明确三大类核心测试指标。处理效率指标涵盖污染物去除率、资源利用率,根据设备用途确定具体衡量标准,确保测试贴合实际应用需求;能耗指标包括单位处理量耗电量、水耗及材料损耗,精准量化设备运行成本;运行稳定性指标涵盖连续运行时长、部件故障率、参数波动范围,全面评估设备长期运行可靠性,为后续优化提供明确方向。(2)测试装置搭建:组建适配设备规格的实验平台,模拟实际运行工况,确保测试环境与现场应用一致;选型高精度测试仪器,包括流量计、功率计、污染物检测仪器等,优先选用节能、环保型仪器,减少测试过程中的额外能耗;对所有测试仪器进行严格校准,消除仪器误差,确保测试数据的准确性和可靠性,为实验分析提供精准数据支撑<sup>[4]</sup>。(3)测试流程制定:结合设备特性与测试目标,制定科学合理的测试流程。先开展单因素测试,明确单一变量对设备性能的影响;再通过正交测试或响应曲面测试方案,探究多因素协同作用效果,优化测试变量组合;明确测试步骤、数据记录频率、测试重复次数,规范测试操作,避免人为误差,确保测试过程可重复、可追溯。

### 3.2 性能测试实验与结果分析

(1)单因素实验:分别探究曝气量、反应时间、结构参数等单一变量对设备性能的影响。改变曝气量,分析其对气液接触效率、污染物去除率及能耗的影响,确定最优曝气量范围;调整反应时间,研究其与处理效率、能耗的关联,找到效率与能耗的平衡点;改变核心结构参数,分析其对流体力学特性及设备性能的作用,识别结构设计中的薄弱环节。(2)多因素优化实验:基于响应曲面法,选取影响设备性能最显著的关键变量,设计多因素协同优化测试。通过实验数据拟合建立性能指标与变量之间的数学模型,分析变量交互作用对处理效率、能耗的影响,预测最优参数组合,为后续优化方案设计提供数据支撑,实现设备性能全面提升。(3)测试结果验证:对比优化前设备的性能数据,分析测试结果与预期目标的差异,明确设备存在的核心问题,如处理效率未达标、能耗过高、运行稳定性不足等;排查问题产生的原因,区分结构设计、部件性能、操作参数

等不同层面的影响因素,为后续优化方案的制定提供针对性依据。

### 3.3 设备性能优化方案制定与实施

(1) 优化目标确定:结合测试结果与行业标准,制定明确的量化优化目标。效率提升方面,明确污染物去除率、资源利用率的具体提升数值,如COD去除率提升5%-8%;能耗降低方面,确定单位处理量耗电量、水耗的降低比例,如单位能耗降低10%-15%;同时明确运行稳定性提升目标,如连续运行故障率降低至3%以下,确保优化工作有明确的方向和衡量标准。(2) 优化方案设计:针对测试中发现问题,制定多维度优化方案。结构参数调整方面,基于CFD模拟与测试结果,优化流道、布水/布气结构及部件间隙尺寸,改善流体力学特性;部件改进方面,升级易损部件材料,优化核心功能部件结构,提升部件使用寿命与运行效率;控制策略优化方面,完善变频驱动控制逻辑,实现能耗的动态调节,进一步降低无效能耗<sup>[5]</sup>。(3) 优化后性能验证:按照前期制定的测试方案,对优化后的设备进行再次性能测试。重点检测核心性能指标是否达到预设优化目标,记录测试数据,对比优化前后的性能差异,排查优化过程中出现的新问题,若未达到预期目标,及时调整优化方案,直至设备性能满足高效低耗的设计要求。

### 3.4 优化前后性能对比与分析

(1) 核心性能指标对比:对优化前后设备的处理效率、能耗等核心指标进行量化对比。整理优化前后的测试数据,通过图表分析等方式,清晰呈现污染物去除率、资源利用的提升幅度,以及单位能耗、水耗的降低情况,明确优化方案对设备核心性能的改善效果,验证优化工作的有效性。(2) 经济性与环保性对比:对比优化前后设备的经济性与环保性。经济性方面,核算优化后设备的制造成本、运维成本,分析能耗降低、部件

寿命延长带来的成本节约;环保性方面,检测优化后设备的二次污染排放情况,如尾气、废渣排放量,验证优化方案是否有效减少二次污染,实现环保效益的提升。

(3) 优化方案的合理性与可行性总结:结合性能对比结果,总结优化方案的合理性与可行性。分析优化方案在结构调整、部件改进、控制策略优化等方面的优势,验证其是否契合高效低耗的设计理念,同时排查优化方案存在的不足,提出后续改进建议,为设备的工业化应用和后续迭代优化提供参考,确保优化后的设备能够长期稳定、高效、低耗运行。

### 结束语

本文系统完成了高效低耗环保设备的结构设计、数值模拟、性能测试与优化研究,明确了核心设计原则与优化路径,通过实验验证了优化方案的合理性与有效性,实现了设备处理效率提升、能耗降低的目标。本次研究仍有局限,后续可结合智能化技术优化控制策略、拓展适用场景,未来将持续完善设计与优化方法,推动环保设备向更高效、更节能、更环保方向发展,助力绿色低碳循环发展。

### 参考文献

- [1] 陈明.环保设备材料创新研究[J].材料科学与工程,2022,40(2):120-125.
- [2] 林木.创新环保机械设计理论与方法研究[J].环球市场,2021,(12):376-379.
- [3] 张伟.机械结构仿生学设计在环保设备中的应用[J].机械工程学报,2023,29(4):562-567.
- [4] 王峰.智能感知在环保设备中的控制策略研究[J].自动化学报,2024,50(7):198-204.
- [5] 茅洪菊.环保机械设计制造及其自动化的发展研究[J].佛山陶瓷,2023,33(2):59-61.