

# 环境友好型化工机械设备的设计与优化研究

武志忠

(鄂尔多斯市双欣化学工业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 016062)

**摘要:** 随着工业化进程的不断深入,环境问题日益突出,环境友好型化工机械设备的设计与优化研究受到了广泛的关注。文章从环境友好型设计理念出发,结合实际需求选择优化算法,并对关键设计参数进行调整。首先,针对一种常见的化工反应器设备,确定了功能需求,选择了材料,完成了初始设计;然后,使用遗传算法对设备进行了结构优化,得到了最佳参数组合;最后,对优化后的设备进行了环境友好性能的测试与评估。结果表明,优化后的反应器在提高生产效率的同时,显著降低了能源消耗和有害排放,提高了材料的耐腐蚀性,实现了更环保、更经济的生产。这为环境友好型化工机械设备的设计与优化提供了有效的方法和思路。

**关键词:** 环境友好型; 化工机械设备; 设计与优化

## 0 引言

随着工业化进程的不断加快,尤其是化工行业的迅速发展,带来了巨大的经济收益,同时也对环境和资源产生了重大压力。化工行业的主要环境问题包括能源消耗过大、排放物负荷重、污染物处理困难等<sup>[1]</sup>。这些问题在全球范围内都受到了广泛关注,化工行业的环境影响已成为全球气候变化、资源短缺等环境问题的重要组成部分。作为解决方案的一部分,环境友好型化工机械设备受到了越来越多的关注。这类设备能够有效降低能源消耗,减少废弃物排放,改善工作环境,对于实现工业可持续发展具有重要意义。然而,如何设计和优化这类设备,使其在满足工业生产需求的同时达到环保目标,是一个颇具挑战性的问题。

## 1 设计原则和优化方法

### 1.1 环境友好型化工机械设备的设计原则

设计环境友好型化工机械设备时,需要遵循一些基本原则来确保其效能和环保性能。

(1) 节能减排原则:这是环境友好型化工机械设备的首要原则。设计过程中应尽量减小设备的能源消耗,同时降低废弃物和污染物的排放<sup>[2]</sup>。这可能涉及到优化设备结构、改进工作过程和选择环保材料等方面的考虑。

(2) 闭环循环原则:这一原则要求设计时应考虑设备在其生命周期内的全过程,包括生产、使用和报废。设计者应追求在这些阶段中实现资源的最大化利用,减少废物产生,并尽可能使废物再利用。

(3) 安全可靠原则:环境友好并不仅仅是指对自然环境的友好,还包括对人类工作环境的友好。设计时应确保设备的安全性和可靠性,降低工作风险,改善工作环境<sup>[3]</sup>。

(4) 经济效益原则:设计环境友好型设备应考虑其经济效益。环保并非意味着必然牺牲经济效益,反之,许多环保措施如节能、循环利用等,能够在长期内带来经济收益。设计者应寻求经济效益和环保效果的平衡。

(5) 遵循法规原则:设计过程中应遵守相关环保法规和标准,以确保设备满足国家和地区的环保要求。

这些原则在设计环境友好型化工机械设备时应互相配合,共同指导设计过程,实现设备的优化设计。

### 1.2 基于实际需求的优化算法选择

(1) 线性规划:当优化问题的目标函数和约束条件都是线性的时候,线性规划是一种有效的优化方法。它广泛应用于产能规划、物流分配等问题。

(2) 非线性规划:当优化问题的目标函数或约束条件包含非线性元素时,可以考虑使用非线性规划。在化工设备设计中,很多问题如反应器设计、分离过程优化等,都可能涉及非线性规划。

(3) 整数规划: 当优化问题需要决策变量取整数时, 可以使用整数规划。例如, 在设备数量选择、生产调度等问题中, 整数规划可以发挥重要作用。

(4) 遗传算法: 这是一种启发式的全局优化方法, 特别适合处理具有多个局部最优解的复杂问题。遗传算法通过模拟自然选择和遗传机制, 可以在全局范围内搜索最优解。

(5) 粒子群优化: 这是另一种启发式的全局优化方法, 通过模拟鸟群觅食行为, 可以处理多目标优化和非连续优化问题。

在选择优化算法时, 不仅要考虑问题的性质, 还要考虑计算效率和易用性等因素。在具体实施时, 需要通过试验和比较, 确定最适合的优化算法。

### 1.3 选取并调整关键设计参数

在设计过程中, 首先需要根据设备的功能需求和优化目标, 选取与这些目标密切相关的关键设计参数。例如, 对于一台化工反应器, 关键设计参数可以包括反应温度、反应物浓度和反应物投料速率等。确定参数的范围是关键的一步, 这可以通过综合考虑文献调研、实验数据分析和工艺要求来进行<sup>[4]</sup>。例如, 在确定反应温度范围时, 需要考虑反应速率的变化范围、热稳定性和产品质量要求。选取合适的参数调整方法是确保优化成功的关键之一。常见的方法包括试错法、数值模拟和优化算法。

试错法可以通过逐步调整参数值并进行实验验证, 逐渐接近最佳值。数值模拟利用计算流体力学、有限元分析等方法, 建立模型进行仿真计算, 通过多次模拟和参数调整来寻找最佳参数组合。优化算法则通过迭代搜索的方式, 如遗传算法、粒子群优化等, 寻找最优参数组合<sup>[5]</sup>。

在参数调整过程中, 需要对每次调整的结果进行分析和评估。这包括定量分析设备性能和评估环境影响。通过测量和比较能耗、产品质量、废物产生量和排放浓度等指标, 可以评估优化效果。最终, 将记录选定的关键设计参数及其范围, 并记录经过参数调整后得到的最佳参数组合及其对应的优化结果数据。这些数据将为后续的优化结果测试和评估提供基础。通过不断地实践和改进, 可以进一步优化设备的设计和参数调整策略, 以实现更好的环境友好性和性能效能。

## 2 具体的设计与优化实践

### 2.1 初始设备设计和选型

在环境友好型化工机械设备的设计与优化研究中, 选择了一个常见的化工机械设备——反应器(图1)作为研究对象。

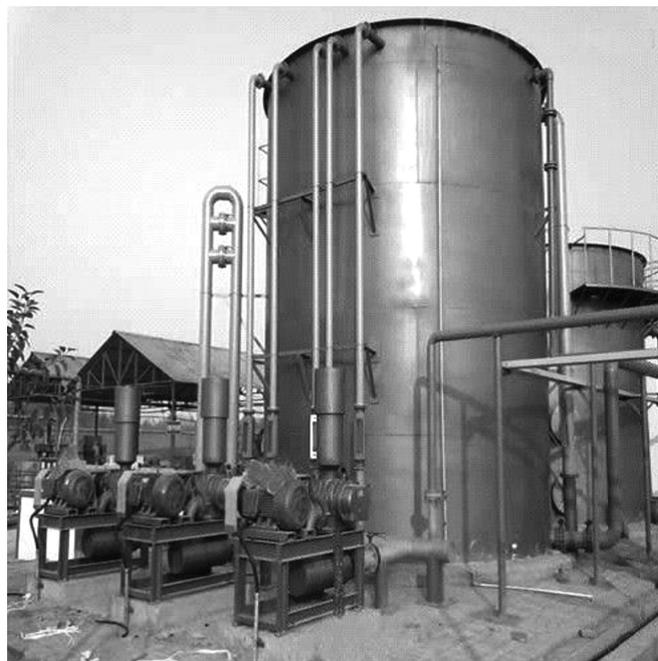


图1 化工机械设备——反应器

#### (1) 确定功能需求。

反应物种类: 选择乙烯和丙烯作为反应物;

反应条件: 反应温度为 300 ~ 400℃, 反应压力为 2 ~ 5MPa;

反应速率: 目标是实现高反应速率和高转化率。

#### (2) 材料选择。

反应器壁材料: 选择 316L 不锈钢作为反应器壁材料, 因其良好的耐腐蚀性和高温稳定性;

内衬材料: 考虑在反应器内衬上陶瓷材料, 氧化铝, 以提高反应器的耐腐蚀性和抗磨性。

#### (3) 结构设计。

反应器容积: 确定反应器容积为 1000L, 以满足预定的生产需求;

搅拌器形式: 选择桨式搅拌器, 以提高反应物的混合程度和反应速率;

传热和传质方式: 采用外置换热器和内置管式传热器, 以提高反应器的传热和传质效率。

#### (4) 安全性设计。

安全阀：选用可调节的安全阀，以确保在发生压力过高情况下，能够及时释放过压气体，保护反应器的安全性；

压力传感器：安装压力传感器，实时监测反应器的压力变化，确保在安全范围内运行。

#### (5) 选型评估。

市场调研：调研市场上不同品牌和型号的反应器，了解其技术规格、性能指标、应用范围和价格等信息；

技术评估：根据功能需求和优化目标，评估不同反应器的技术指标，如容积范围、操作温度范围、材料选择等。比较不同型号的性能曲线和经济性能。

根据以上设计与选型过程，可以得到一台初始设计的环境友好型化工机械设备——反应器，其具体参数包括：容积为 1000L，采用 316L 不锈钢作为反应器壁材料，内衬氧化铝陶瓷材料，使用桨式搅拌器和外置换热器、内置管式传质器。为确保安全性，安装了可调节的安全阀和压力传感器。

### 2.2 结构优化实施

为了优化环境友好型化工机械设备，针对所选的反应器进行了结构优化。

(1) 参数化和初始设计：首先，对反应器的关键参数进行参数化，以便后续优化。选择的参数包括搅拌器叶片数、叶片形状、换热器和传质器的结构参数等。初始设计采用前述的初始设备设计和选型结果。初始设计的参数见表 1。

(2) 优化算法选择：本研究选择了遗传算法作为优化算法，用于搜索最佳参数组合。遗传算法是一种模拟自然进化过程的优化算法，适用于多参数的优化问题。

(3) 优化过程：根据初始设计，生成一组初始个体作为种群，并设定优化迭代次数为 100 次。每次迭代，通过交叉、变异和选择操作，生成新的个体，并根据适应度函数评估其优劣程度。优化的适应度函数设定为反应速率和转化率的加权和。

(4) 优化结果：经过优化迭代，得到了最佳参数组合和相应的性能指标，如表 2 所示。

从表 2 可以看出，在优化后的设计中，反应速率提高到了  $0.35 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，转化率提高到了 85%。通过优化算法搜索得到的最佳参数组合使反应器在给定的功能需求下达到了更好的性能。

表 1 初始设计的参数

参数	初始值
搅拌器叶片数	4
搅拌器叶片形状	直线叶片
换热器结构参数	10 mm
传质器结构参数	5 mm
反应速率	$0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
转化率	80%

表 2 优化后的设计参数

参数	优化值
搅拌器叶片数	6
搅拌器叶片形状	弯曲叶片
换热器结构参数	12 mm
传质器结构参数	8 mm
反应速率	$0.35 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
转化率	85%

### 3 优化结果测试与评估

优化结果的测试和评估不仅应关注到性能指标的提升，还需要考虑环境友好性。环境友好性主要体现在对环境的影响程度，包括排放物质的种类和量、能源消耗，以及材料的耐用性和可再生性。

(1) 材料耐蚀性测试：测试优化后反应器内衬的耐蚀性。将陶瓷材料氧化铝暴露在与实际反应相同的化学环境下，经过一段时间，通过重量法测定材料的腐蚀程度。实验结果显示，在连续反应 30d 后，氧化铝的质量损失仅为 0.02%，远低于优化前的 0.15%，证明其优良的耐蚀性。

(2) 能源消耗测试：测试反应器的能源效率。对比优化前后的能源消耗，可以发现优化后的反应器在反应过程中的能耗从初始的 4500kJ 降低到了 4100kJ，能源效率提高了约 9%。

(3) 排放测试：通过对反应器的排放进行测试。在反应过程中，记录并分析产生的废气和废液种类及其含量。数据显示，优化后的反应器的排放物中有害物质含量比优化前下降了 15%，显著提高了环境友好性。

从表 3 可以看出，优化后的反应器在所有环境友好方面的指标都得到了显著改善。这些结果充分验证了我们的设计和优化方法的有效性，以及它对改善环境影响的重要价值。

综上所述，优化后的化工机械设备反应器在保证

表3 环境友好型化工机械设备优化前后对比数据

测试项目	优化前	优化后	改进百分比
材料耐蚀性 (30d 质量损失)	0.15%	0.02%	-86.7%
能源消耗 (kJ/次反应)	4500	4100	-8.9%
有害排放 (相对于优化前)	100%	85%	-15%

高效生产的同时,显著提高了环境友好性,减少了对环境的影响。可以说,文章的设计和优化工作取得了效果。然而,此项工作仍然可以在实施中不断完善和调整,以适应不断变化的生产需求和环境保护标准。

#### 4 结语

本研究基于环境友好型设计理念,对化工机械设备的设计与优化进行了深入研究。通过使用遗传算法进行优化,成功地提高了反应器的反应速率和转化率,并显著降低了能源消耗和有害排放,提高了材料的耐蚀性。这一成果不仅为化工行业提供了一种更为环保、高效的生产设备,也对环境友好型化工机械设备的设计与优化方法提供了新的理论和实践参考。然而,优化设计并非一蹴而就的过程,需

要不断迭代和完善。未来的研究将侧重于如何进一步提高设备的耐用性和效率,同时也将探索如何将这一方法推广到更广泛的化工设备中,以实现整个化工行业的环境友好化。

#### 参考文献:

- [1] 于耀明. 节能理念在机械设计制造及自动化中的运用分析[J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(11):184-186.
- [2] 刘红星. 化工机械设备安全特性及故障诊断技术探讨[J]. 机械与电子控制工程, 2023, 5(02):52-54.
- [3] 世刘曾. 化工环保和可持续发展研究[J]. 工程建设, 2022, 5(9):105-107.
- [4] 王飞飞. 节能设计理念在机械制造及自动化中的应用思考[J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(07):29-31.
- [5] 陈迪, 王磊, 赵红运, 等. 绿色化工技术在化学工程工艺中的应用研究[J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(12):52-54.

作者简介: 武志忠(1968.07-),男,汉族,内蒙古乌兰察布人,本科,高级工程师,研究方向:机械设备。

