

# 化工机械设备振动分析与减振技术研究

杨发<sup>1</sup> 张强<sup>2</sup> 吴龙<sup>2</sup>

1. 内蒙古新特硅材料有限公司 内蒙古 包头 014100

2. 盛虹炼化(连云港)有限公司 江苏 连云港 222065

**摘要:** 化工机械设备振动分析与减振技术是确保设备稳定运行的关键。时域分析通过振动信号的时间历程研究设备状态;频域分析则关注信号在频率域的分布,揭示振动源特性。时频分析结合两者优势,全面捕捉非平稳振动特征。在减振技术方面,被动减振依赖物理结构减少振动传递;主动减振通过实时监测与控制力抵消振动;智能减振融合传感、信号处理与智能算法,实现高效主动控制。这些技术共同为化工机械设备的振动管理与性能优化提供有力支撑。

**关键词:** 化工机械设备; 振动分析; 减振技术

引言: 化工机械设备在运行期间,不可避免地会遭遇流体冲击、机械摩擦、不平衡力等多种激励,诱发振动。这些振动问题不仅直接削弱设备的运行稳定性和加工精度,导致生产效率下滑,还可能对设备的关键部件造成累积性损伤,加速材料疲劳与磨损,缩减设备整体寿命。极端情况下,持续振动还可能触发结构失效,引发安全事故,威胁人员安全与环境保护。故而,对化工机械设备的振动特性进行全面分析,并针对性地实施高效减振策略,是确保设备安全稳定运行、延长服役周期、优化生产效益的关键所在。

## 1 化工机械设备振动的基本概念

化工机械设备振动的基本概念涉及物理学和机械工程学的多个方面,是理解和分析化工机械设备运行状态的重要基础。振动是指物体围绕其平衡位置进行的周期性往复运动。在化工机械设备中,这种振动通常是由于设备内部的机械部件在运转过程中受到各种力的作用而产生的。这些力可能来自于设备自身的运动、流体的冲击、外部环境的激励等。化工机械设备的振动可以表现为线性振动和非线性振动。线性振动是指振动系统的恢复力与位移成正比,且阻尼和激励都是线性的。这种振动形式相对简单,易于分析和处理。而非线性振动则是指振动系统的恢复力、阻尼或激励中至少有一个是非线性的。非线性振动形式更为复杂,可能表现出混沌、分叉等现象,给分析和处理带来了一定的挑战。振动的特征参数主要包括振幅、频率和相位。振幅描述了振动物体偏离平衡位置的最大距离,它反映了振动的强度。频率则是指振动物体每秒内完成振动的次数,它决定了振动的快慢。相位则描述了振动物体在某一时刻所处的状态,它对于理解振动波形和振动叠加等现象至关重要<sup>[1]</sup>。

在化工机械设备中,振动可能带来一系列的影响。适度的振动可能对设备的运行有利,如帮助物料混合、促进热量传递等。然而,过度的振动则可能对设备造成损害,如导致零部件磨损、松动、疲劳断裂等。此外,振动还可能引发噪声污染,影响设备的稳定性和可靠性,甚至对操作人员的健康构成威胁。因此,对化工机械设备的振动进行监测和分析具有重要意义。通过监测振动信号,可以及时发现设备的潜在故障,为设备的维护和保养提供依据。同时,通过对振动信号的分析 and 处理,还可以了解设备的运行状态和运行参数,为设备的优化设计和改进提供指导。

## 2 化工机械设备振动分析方法

### 2.1 时域分析

#### 2.1.1 波形分析

在时域分析中,波形分析是最直接的一种方式。通过观察振动信号的波形图,可以直观地了解到振动的振幅、周期等基本信息。正常的波形应该是平稳且连续的,如果出现异常波动或间断,可能意味着设备存在故障。例如,波形中出现明显的毛刺或突变,可能表示设备内部存在冲击或摩擦。通过对波形的细致观察,可以为后续的故障诊断提供线索。

#### 2.1.2 统计特征分析

除了波形分析,统计特征分析也是时域分析中的重要一环。它通过对振动信号进行统计分析,提取出如均值、方差、峰峰值等统计特征量。这些特征量能够反映振动信号的整体特性和变化趋势。例如,峰峰值的增大可能意味着设备振动强度的增加,而方差的增大则可能表示振动信号的波动范围在扩大。通过对这些统计特征量的分析,可以进一步了解设备的运行状态。

### 2.1.3 相关性分析

在复杂的化工机械设备系统中,各个部件之间的振动往往存在一定的相关性。时域分析中的相关性分析就是用来研究这种相关性的。通过计算不同测点振动信号之间的相关系数,可以判断它们之间的相似程度和关联程度。如果相关系数较高,说明这些测点的振动信号具有较强的关联性,可能受到同一故障源的影响。反之,如果相关系数较低,则可能表示这些测点的振动信号相互独立,故障源可能不同。通过相关性分析,可以为故障的定位和诊断提供有力支持。

### 2.2 频域分析

频域分析是化工机械设备振动分析的另一种重要方法,它主要关注振动信号在频率域上的特性。与时域分析不同,频域分析能够揭示振动信号中不同频率成分的能量分布和相位关系,从而更深入地了解设备的运行状态。在频域分析中,常用的技术包括傅里叶变换(FFT)和功率谱密度分析。傅里叶变换能够将时域上的振动信号转换为频域上的频谱图,从而清晰地展示出信号中各个频率成分的大小和分布。通过对比正常状态和故障状态下的频谱图,可以识别出故障引起的频率成分变化,如新增的频率成分、频率成分的偏移或消失等。功率谱密度分析则是进一步对频谱图进行处理,得到振动信号在频域上的能量分布。它不仅能够反映信号中各个频率成分的相对大小,还能够揭示信号在不同频率上的能量密度。通过功率谱密度分析,可以更加准确地判断设备的振动特性和故障类型<sup>[2]</sup>。频域分析在化工机械设备振动分析中具有广泛的应用。例如,在旋转机械中,通过频域分析可以识别出轴承故障、齿轮故障等引起的特定频率成分;在往复机械中,则可以识别出气阀故障、活塞故障等引起的振动频率变化。此外,频域分析还可以用于设备的状态监测和故障诊断,为设备的维护和保养提供重要依据。

### 2.3 时频分析

时频分析技术在化工机械设备振动分析中的应用日益广泛,以下为几种常用的时频分析方法:(1)短时傅里叶变换技术:通过对信号进行局部化处理,实现了信号在时间维度上的频率特性分析。该方法通过选取合适的窗函数,对信号进行分段,并逐一进行傅里叶变换,从而获得了信号在不同时间点的频率分布情况。虽然存在时间分辨率与频率分辨率之间的矛盾,但短时傅里叶变换在工程实际中的应用仍具有重要价值。(2)小波变换技术:以其多尺度分析的特点,在处理非平稳振动信号时显示出独特优势。小波变换通过伸缩和平移小波基

函数,实现了信号在时间和频率上的局部化分析。该方法在揭示信号细节方面具有显著效果,有助于识别设备振动的瞬时特性。(3)希尔伯特-黄变换:作为一种非线性、非平稳信号处理方法,通过经验模态分解(EMD)将信号分解为多个固有模态函数(IMF),再利用希尔伯特变换获得信号的瞬时频率。希尔伯特-黄变换在处理复杂信号时具有较高的时频分辨率,为设备故障诊断提供了有力支持。(4)Wigner-Ville分布:作为一种时频分布方法,能够直观地展示信号频率成分随时间的变化。尽管存在交叉项干扰问题,但Wigner-Ville分布在分析非线性、非平稳信号方面仍具有一定的应用价值。(5)自适应时频分析技术:根据信号特征自动调整分析参数,实现了信号时频特性的最优表示。该方法在处理复杂系统振动信号时,能够提高故障诊断的准确性和效率。

## 3 化工机械设备减振技术研究

### 3.1 被动减振技术

#### 3.1.1 阻尼材料的应用

阻尼材料在被动减振技术中占据着举足轻重的地位。它们被巧妙地应用于设备的关键部位,如泵体、电机座等振动较为剧烈的区域,发挥着至关重要的作用。高分子阻尼材料和橡胶阻尼层等优质阻尼材料,凭借其出色的柔性和内耗特性,能够高效地吸收并消耗振动能量,有效阻断振动的传递路径。在化工机械设备的实际应用中,合理选用并妥善安装这些阻尼材料,可以显著降低设备的振动水平,进而提升设备的整体稳定性和运行可靠性。这一举措不仅有助于延长设备的使用寿命,还能为化工生产的连续性和安全性提供有力保障。

#### 3.1.2 隔振装置的设计

隔振装置在被动减振技术中扮演着至关重要的角色。它们通过精心的设计,如隔振器和隔振垫等,巧妙地切断了设备与基础或相邻部件间的振动传递路径。这些装置的核心在于其内部组合的弹性元件与阻尼元件,它们协同工作,高效地隔离并吸收振动能量。在化工机械设备的实际应用中,科学合理地配置隔振装置,能够大幅度地降低设备的振动幅度,有效保护设备免受振动带来的损害。同时,这还有助于减轻振动对周边环境的负面影响,确保生产环境的稳定与安全。因此,隔振装置的应用对于提升化工机械设备的运行效能和延长使用寿命具有重要意义。

#### 3.1.3 结构优化与改进

被动减振技术不仅依赖于阻尼材料和隔振装置,设备结构的优化与改进同样至关重要。通过巧妙设计设备结构,例如增设加强筋、优化布局等手段,可以显著提

升设备的整体刚度和结构稳定性,使其在面对振动时表现出更强的抵抗力。同时,对关键部件实施精密加工和严格装配,能够最大限度地减少因制造和装配过程中的误差所引发的振动。在化工机械设备的实际应用中,这些结构优化与改进措施已被证明是提升设备减振性能的有效方法。它们不仅增强了设备的抗振能力,还有助于延长设备的使用寿命,确保化工生产的稳定与安全。

### 3.2 主动减振技术

主动减振技术是化工机械设备减振领域的先进手段,它通过实时监测振动信号并主动施加控制力来抵消或减弱振动。

**主动控制算法:**主动减振技术的核心在于其先进的控制算法。这些算法能够实时监测设备的振动状态,快速计算出所需的控制力,并通过执行机构施加到设备上。通过不断迭代和优化控制算法,可以实现对振动的精确控制,显著降低设备的振动水平。

**作动器与传感器:**作动器和传感器是主动减振技术的重要组成部分。作动器负责根据控制算法输出控制力,而传感器则负责实时监测设备的振动状态。这些设备通常具有高精度和高灵敏度,能够确保主动减振系统的准确性和可靠性。在化工机械设备中,合理选择和使用作动器和传感器是实现主动减振的关键。

**实时监测系统:**为了实现主动减振,需要建立一套实时监测系统。该系统能够实时监测设备的振动信号,并将数据传输给控制算法进行处理。通过不断优化监测系统的性能和稳定性,可以确保主动减振技术的有效实施。

**智能控制策略:**随着人工智能技术的不断发展,智能控制策略在主动减振技术中的应用越来越广泛。通过引入机器学习、深度学习等先进技术,可以实现对振动信号的智能识别和预测,从而进一步提高主动减振的效率和准确性。

**系统集成与优化:**为了实现主动减振技术的最佳效果,需要将各个组成部分进行系统集成和优化。通过综合考虑设备的结构、工作环境和控制需求,可以设计出更加高效、可靠的主动减振系统,为化工机械设备的稳定运行提供有力保障。

### 3.3 智能减振技术

智能减振技术是化工机械设备减振领域的一项前沿技术,它融合了现代传感技术、信号处理技术和智能控制算法,实现了对设备振动的智能监测与主动控制。智能减振技术的核心在于其高度集成的智能系统。该系统通过安装在设备上的传感器实时监测振动信号,并利用先进的信号处理算法对信号进行分析和处理<sup>[1]</sup>。通过提取振动特征参数,智能系统能够准确判断设备的振动状态,并预测潜在的振动问题。在智能控制算法的支持下,智能减振系统能够根据实时监测到的振动信息,自动调整控制策略,输出相应的控制力以抵消或减弱振动。这种主动控制的方式相比传统被动减振技术具有更高的灵活性和适应性,能够更有效地应对复杂多变的振动环境。此外,智能减振技术还具备自我学习和优化的能力。通过不断积累振动数据和控制经验,智能系统能够逐渐优化控制算法和参数设置,提高减振效果和控制精度。这种自我学习的特性使得智能减振技术能够持续适应设备工作环境的变化,确保长期稳定的减振性能。

### 结语

未来,随着传感器技术、数据分析与人工智能等领域的快速发展,化工机械设备的振动分析将更趋智能化,能够实时、准确地捕捉设备振动状态,实现早期预警与精准诊断。同时,减振技术也将迎来革新,通过更精细的控制策略与材料创新,将振动降至更低水平,进一步延长设备寿命,提升运行效率。这些技术进步将为化工行业的绿色、安全、高效发展注入强大动力,推动其向更高质量、更可持续的方向迈进。

### 参考文献

- [1]朱明敏,刘杰.化工机械设备安全特性及其故障诊断处理研究[J].石化技术,2020,27(4):341-342.
- [2]周华南,周勇,祝欣然.浅谈化工机械设备的防腐设计及措施[J].设备管理与维修,2020,11(8):151-153.
- [3]景秀.化工机械设备的振动控制技术[J].化工设计通讯,2020,46(1):70-71.