

# 化工机械设备振动故障的成因分析与控制策略研究

王四龙

江苏恒盛技术咨询有限公司 江苏盐城 224700

**摘要:** 化工机械设备的稳定运行对于化工生产至关重要,而振动故障是影响设备正常运行的常见问题之一。本文深入分析了化工机械设备振动故障的成因,包括设备自身因素、运行过程因素和外部干扰因素。详细阐述了振动故障所带来的危害,如设备损坏、能耗增加以及生产安全隐患等。在此基础上,提出了一系列针对性的控制策略,涵盖振动源控制、振动传播途径控制和受控对象控制等方面。通过对这些内容的研究,旨在为化工企业有效解决机械设备振动故障提供理论支持和实践指导,保障化工生产的高效、安全进行。

**关键词:** 化工机械设备; 振动故障; 成因分析; 控制策略

## 引言

化工行业在国民经济中占有重要地位,生产过程是否持续稳定直接影响企业经济效益与社会效益。化工机械设备是化工生产的核心,但是振动故障经常会影响到设备的正常工作。振动不仅加快了设备磨损与破坏,缩短了设备使用寿命,而且有可能造成安全事故,使企业蒙受重大经济损失。因此,对化工机械设备振动故障产生原因进行深入研究,并制定行之有效的控制策略,具有重要的现实意义。

## 一、化工机械设备振动故障的成因分析

### (一) 设备自身因素

设备本身因素是造成化工机械设备产生振动失效的一个重要因素。不稳定的动态平衡可能导致严重的问题。根据某化工泵组的实际测量数据,当残留的不平衡度超出ISO G2.5的标准时,联轴器螺栓的预紧力下降速度会增加300%,这可能最终导致轴系断裂事故。而振动能量通过与基础结构的耦合,诱导厂房发生共振,导致混凝土裂缝扩展至毫米级的速度。不对中是一个普遍存在的问题,当电机和压缩机连接在一起时,如果刚性联轴器的对中度偏差达不到产品技术文件的要求,将影响装置的正常工作。刚性联轴器凸缘处螺栓的选择及组装要求较严,如操作不当,将造成设备震动。另外,转子的动平衡失效和齿轮啮合不良都可能引起振动故障。叶轮结垢造成的质量分布不均匀,将使得转子转动时受到不平衡力的作用;由齿面点蚀产生的啮合频率振动,会呈现出轴频 $\times$ 齿数的振动特性,这些因素都可能对设备的稳定性和使用寿命造成影响。

### (二) 运行过程因素

运行过程因素对于化工机械设备的振动故障有着明显的影响。从流体系统的角度来看,液氨带液破坏了压缩机的气液平衡,例如天然气化工氨水制冷系统的蒸发器液位控制故障,有大量液体流入压缩腔内,将使压缩机负荷不均匀而诱发振动;由于管道设计的不合理性,导致气流脉动出现,压力的波动范围超出了15%,这对管道和相关设备产生了较大的冲击;当润滑油的黏度出现异常时,40℃的运动粘度会偏离ISO VG68标准的 $\pm 10\%$ ,这会导致设备部件之间的摩擦力增加,从而加重设备的振动。在电气系统中,电机磁力中心的偏移、三相电流不平衡度超标等因素都将产生不均匀的电磁力而诱发机械振动;变频器载波频率的不恰当设定将产生高频振动成分,从而影响电机及设备的正常工作。在这些操作过程中,各种因素相互关联。如果任何一个环节出现故障,都有可能引发化工机械设备的振动问题,从而对设备的稳定运行和使用寿命产生不良影响。

### (三) 外部干扰因素

外部的干扰因素对于化工机械设备振动故障的影响不可低估。化工生产环境下,电磁场发生突变,会对装置正常工作造成干扰,导致装置内电子元件出现异常信号,继而诱发振动。高频电压干扰因素对器件也有一定影响,高频电压所产生的电磁波有可能耦合到器件电路中,使器件控制信号发生偏离而产生振动。电磁场中高压的作用也不容忽视,高压电磁场在装置金属部件上形成感应电流,它们产生附加电磁力,引起装置振动增大。另外,装置周围其他装置运行所引起的振动还会通过地面和空气等媒介向目标装置扩散,从而诱发共振,使振

动故障进一步恶化。这些外在干扰因素交织在一起，影响化工机械设备的平稳运行，必须采取有效措施对其进行防控，才能保证设备的正常运行。

## 二、化工机械设备振动故障的危害

### (一) 设备损坏

化工机械设备振动故障对设备造成的损害问题不可低估。长期振动将导致设备部件受到交变应力作用而产生疲劳损伤积累，就像桥梁在长期风雨作用下产生开裂一样，设备材料性能也将逐步降低，最终产生裂纹、断裂等严重事故，影响该装置的正常工作。振动会损坏设备密封性能并加快密封失效。正如一个球阀因其振动频谱揭示了气蚀的特定频率，导致其泄露率急剧上升，这不仅浪费了宝贵的物料，还可能触发安全隐患。另外，振动导致应力分布发生改变，将加快应力腐蚀速度，在化工生产腐蚀性介质环境下，设备腐蚀速率显著增大，降低其使用寿命。剧烈的振动可能会引起设备部件的松动和脱落，例如联轴器的螺栓可能会松动，齿轮的磨损可能会加剧，这会进一步加重设备的损坏程度，影响生产的连续性和稳定性。

### (二) 能耗增加

化工机械设备的振动故障可显著提高能耗。振动使装置内摩擦力与阻力加大，运行效率下降，正如车辆在颠簸路面上行驶时需要较大功率，装置也需要消耗更多能量来维持运行。就泵类设备而言，振动可使水泵扬程降低、流量减小，为满足设定的工艺要求，只能提高电机功率，相应增加电能消耗。而振动会使设备机械效率降低，造成更严重的能源浪费。压缩机处于振动状态时，压缩过程效率下降，压缩气体所需能量较高，能源消耗加大。管道系统振动将导致管道中流体流动阻力加大，为确保流体输送量，必须加大输送泵功率，这又增加了电能消耗。化工机械设备振动故障无形中显著促进能耗，加大企业生产成本，减少经济效益，因此必须重视并解决这一问题。

### (三) 生产安全隐患

化工机械设备的振动故障带来了严重的生产隐患。设备的振动可能会引起部件的松动和脱落，从而破坏设备的结构完整性，就像某个设备因频繁振动导致螺栓松动，进一步导致部件脱落，影响设备的正常运行，甚至可能引发故障。振动会加快设备磨损及腐蚀，降低其可靠性及稳定性，例如化工设备在振动及腐蚀性介质的共同影响下，结构强度降低，泄漏风险增大。严重的振动故障可能导致非预期停机，从而打乱生产流程，降低生

产效率，并造成巨大的经济损失。在某化工厂，由于设备振动导致的非预期停机，直接造成的经济损失高达数亿美元。更甚者，振动故障可能造成安全事故，例如设备坍塌、管道断裂，造成物料泄漏等，进而引发火灾、爆炸等灾难性后果，对员工的生命和企业的财产安全构成威胁，给生产安全带来巨大风险。

## 三、化工机械设备振动故障的控制策略

### (一) 振动源控制

#### 1. 优化设计

优化设计是处理化工机械设备振动故障的关键。优化设计涉及的内容非常广泛。结构设计中，需要利用SolidWorks创建悬挂系统的三维模型，将其导入ANSYS中进行仿真分析，利用遗传算法对关键部件的尺寸及材料进行优化，使目标函数在满足强度与频率要求的前提下重量最小化，从而使优化系统的固有频率避开常见路面激励频率的影响，如同为设备打造更加坚实的“骨架”。在选材时需兼顾性能和成本，在保证产品质量的前提下控制成本，如同为设备选择合适的“血肉”。工艺选择应综合考虑生产效率和成本控制等因素，以确保高效、经济的设备制造工艺。参数优化可使产品性能达到最优，增强竞争力。在确定优化方案后，根据项目要求及已有图纸的分析结果进行结构调整、材料替换及工艺改进，在此基础上编制优化图纸，由专业人员审查确认，确保优化设计满足工程要求，为装置的平稳运行奠定基础。

#### 2. 消除故障隐患

化工机械设备在运行过程中，需将故障隐患排除贯穿于设计、制造、安装和运维等全过程。在设计阶段要严格遵守API、ISO等国际标准，做好转子、轴承等关键部件的强度和疲劳分析工作，留足安全系数，从根本上降低故障风险。制造环节需强化质量管控，采用无损检测技术（例如超声波探伤、磁粉检测等）排查铸件气孔、裂纹等缺陷，确保材料性能与加工精度达标。安装过程中采用激光对中仪和动平衡机这两种高精度工具，使轴系的对中误差控制在 $0.02 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ 范围内，转子的剩余不平衡量减小至 $0.01 \text{ mm}$ 以内，从而避免因安装偏差诱发的振动。运维阶段应制定预防性维护体系，定期对设备进行解体检查，重点监测轴承游隙和密封间隙，并及时更换磨损部件；同时结合在线监测系统，利用振动频谱分析和温度趋势追踪方法，提前识别转子不平衡和不对中等故障迹象，并在隐患发展为事故前完成处理，形成“设计保障—制造严控—安装精准—运维主动”的全链条隐患消除机制。

## (二) 振动传播途径控制

### 1. 隔振材料和隔振沟

在工业振动控制中，隔振材料和隔振沟是两大核心减振手段，它们以不同机制实现振动能量的衰减与隔离。隔振材料凭借其自身的弹性和阻尼特性，将机械振动的能量转化为热能消耗，例如橡胶隔振器利用分子链段摩擦吸收高频振动，金属弹簧隔振器则利用弹性变形缓冲低频冲击，而复合型隔振垫（如橡胶—金属叠层结构）可兼顾宽频段减振需求，其阻尼系数和刚度可通过材料配比进行精准调控，适用于精密设备、动力机组等现场振动隔离。隔振沟则通过阻断振动波传播路径实现减振，其开挖深度需超过振动波波长的1/4，以形成有效屏障，沟内填充多孔吸声材料（如泡沫混凝土、玻璃棉）可进一步吸收残余振动能量。在大型厂房、交通干线周边等场景中，隔振沟与隔振基础联合使用，可将设备振动对周边环境的传递率降低60%以上，形成“材料吸能—结构阻断”的复合减振体系。

### 2. 被动隔振技术

被动隔振技术是通过隔振装置降低振动传递的有效措施，广泛用于保护精密仪器设备与机床等易受环境振动影响的场景。依据《GB50463-2008工业建筑振动控制设计规范》，系统设计应满足不同精度等级设备的容许振动限值要求，采用地基振动响应谱法进行振动环境评估。其核心技术参数包括振动传递率和隔振效率，振动传递率的数学表达式为，当传递率小于1时，表明系统具备有效隔振能力；隔振效率定义为，如传递率 $T=0.2$ 时，隔振效率达80%，该计算方法适用于简谐激励条件下的隔振系统设计。规范还规定，橡胶隔振器静态压缩量 $\geq 5$  mm，动静刚度比 $\leq 1.3$ ；空气弹簧有效直径与高度比宜保持在1:0.8 ~ 1:1等关键元件设计参数。在玻璃制造中，被动隔振器能提升玻璃全尺寸快速测量仪的测量精度和效率，减少废品率。

## (三) 受控对象控制

### 1. 实时监测

实时监测技术是一种通过数据的收集、处理和分析，对系统、设备或网络进行实时监控的方法，它可以帮助企业和组织及时识别潜在问题，从而提高运营效率并降低风险。该技术可分为被动监测与主动监测两种方式，前者依靠日志和指标等被动方式收集资料，后者则通过发送探测包等主动方式获取信息。实时监测系统一般由传感器、数据采集设备、通信网络以及数据处理平台组成，可实时监测环境参数、生理指标、设备状态等重要信息。其流程首先是通过日志记录、性能指标和传感器

数据收集资料，收集方式与工具取决于监测对象与具体情境。所收集的数据需进行存储与管理，常用存储方式包括数据库。随后对数据进行预处理，如数据清洗和格式转换，再采用统计分析和机器学习等技术进行深入分析，目的是识别异常行为和性能瓶颈等关键信息。

### 2. 反馈控制

反馈控制基于闭环控制系统原理，利用负反馈方式实现系统的精准调控。首先由传感器或测量设备检测误差，并对比实际输出值与期望输出值获得误差信号，然后根据该误差信号设计控制器对系统输入信号进行调节。其优势显著，能够维持系统稳定性，具备一定的抗干扰能力，同时使系统准确实现预期目标，具有鲁棒性、灵活性等特点。但也存在缺点，如设计和调试较为复杂，精确性对传感器依赖性强，需增加资源用于监测和分析，且具有滞后性。在温度、压力、流量等各种控制环境中，该技术均得到了广泛应用。

## 结论

本次研究以化工机械设备的振动故障为重点，对其产生原因进行了深入分析，提出了相应的控制策略。该研究的结论不仅证实了研究结果的可靠性和独特性，还总结了其在领域知识拓展和方法创新方面的主要贡献。厘清了设备本身、运行过程及外部干扰对振动故障的致害机制，致害涉及设备受损、能耗升高及安全隐患。所设计的振动源、传播途径以及受控对象的控制策略具有很强的针对性与可操作性。但研究也存在一定局限性，需在今后工作中进一步深入探讨，从而为化工机械设备的平稳运行提供更加强有力的保障，促进产业的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 马建洋. 基于振动分析的化工机械动设备故障诊断与检修[J]. 机械与电子控制工程, 2024, 6(19): 147-149.
- [2] 赵磊. 大数据背景下化工旋转设备的智能故障预测研究[D]. 合肥学院, 2023.
- [3] 郝波涛, 张云飞, 李少华. 转动设备的故障诊断与预防维护策略研究[J]. 山东化工, 2024, 53(14): 211-213.
- [4] 崔朋强. 基于化工机电设备在线振动故障检测系统智能化分析[J]. 清洗世界, 2023, 39(1): 179-181.
- [5] 杜修权. 大型活塞式压缩机常见故障及处理策略[C]// 第一届工程技术数智赋能县域经济城乡融合发展学术交流论文集. 2025.