

# 石化企业旋转设备振动超标自动联锁停机 对事故损失费用的控制作用

朱玉华 聂尧 (山东汇齐安全技术有限公司, 山东 淄博 255000)

**摘要:** 旋转设备是工业生产核心动力装备, 广泛应用于多领域, 其运行稳定性决定生产安全与连续性。振动超标是设备常见故障前兆, 易引发设备损坏、停机停产及人员伤亡, 造成巨额损失。本文结合故障机理、事故损失构成及工业案例, 分析该系统工作原理、应用要点及费用控制机制, 通过数据验证其控损效果, 提出优化建议, 为企业设备安全管理和成本控制提供支撑。

**关键词:** 旋转设备; 振动超标; 自动联锁停机; 事故损失

**中图分类号:** TH17      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0071-03

## The automatic interlock shutdown of rotating equipment when vibration exceeds the standard, its role in controlling the cost of accident losses

Zhu Yuhua, Nie Yao (Shandong Huizhi Safety Technology Co., Ltd. Zibo Shandong 255000, China)

**Abstract:** Rotating equipment is a core power equipment in industrial production, widely used in various fields. Its operational stability determines the safety and continuity of production. Excessive vibration is a common precursor of equipment failures, which can easily lead to equipment damage, equipment shutdown, production halt, and personnel casualties, resulting in huge losses. This paper combines the fault mechanism, accident loss composition, and industrial cases to analyze the working principle, application points, and cost control mechanism of this system. Through data verification, its cost control effect is validated, and optimization suggestions are proposed to provide support for enterprise equipment safety management and cost control.

**Keywords:** Rotating equipment; Excessive vibration; Automatic interlock shutdown; Accident loss

在工业智能化、连续化发展背景下, 泵、风机、压缩机等旋转设备应用广泛, 其运行状态直接关系到生产顺畅性、产品质量及企业效益与安全。设备运行中受转子不平衡、轴系不对中等因素影响会产生振动, 超阈值则预示故障, 未及时干预易引发重大安全事故。传统人工巡检监测滞后, 难以控损。自动联锁停机系统依托自动化与传感器技术, 可实时监测、快速响应、主动防控, 在故障初期遏制损失。

### 1 旋转设备振动超标故障机理及事故危害

旋转设备振动是力学作用的综合体现, 振动参数变化与内部故障直接相关, 正常振幅为 0.02~0.1mm, 超阈值即判定为振动超标, 本质是零部件异常导致力学失衡。其主要故障机理有四类: 一是转子不平衡, 占故障 50% 以上, 由制造误差、运行磨损等导致质心偏移, 引发振动加剧; 二是轴系不对中, 因安装误差、基础沉降等导致中心偏差, 产生附加力引发振动; 三是轴承故障, 磨损、润滑不良等导致不规则高频振动, 易引发卡死; 四是基础松动等其他因素, 易加速设备损坏。振动故障分三阶段渐进发展, 初期干预成本最低, 后期易引发严重事故, 其危害体现在四方面: 设备损坏加剧、生产中断损失、人员伤亡风险提升及环

境与声誉受损, 需及时防控。

### 2 旋转设备事故损失费用的构成及核算方法

旋转设备振动超标事故损失可分为直接、间接、隐性三类, 相互关联叠加。直接损失是事故后直接支出, 可量化, 包括设备损失 (零部件更换、维修、重置及检测费)、人员伤亡费 (医疗、抚恤等)、物料损失费 (原料、介质损耗等)、现场清理费及事故处理费。间接损失无法直接量化但影响广泛, 包括生产中断损失 (产量、质量损失等)、订单违约损失 (违约金、客户流失等)、人力成本损失及能源消耗损失。隐性损失长期隐蔽, 包括设备寿命缩短损失、企业声誉损失及安全管理成本增加。三类损失相互影响, 间接与隐性损失是控损重点难点。

本文采用“分类核算、汇总统计”法量化损失, 确保结果科学可操作。直接损失用“实际支出法”核算: 设备损失 = 零部件更换 + 维修 + 重置 + 检测费; 人员伤亡费 = 医疗康复 + 误工 + 抚恤 + 丧葬 + 家属安抚费; 物料损失 = 各类物料损耗 + 介质损耗费; 现场清理费 = 清理工时 + 废弃物处理 + 环境应急费; 事故处理费 = 调查鉴定 + 罚款费; 直接总损失为各项之和。间接损失用“量化估算 + 合理分摊”法: 生产中断损

失 = 停机时长 × 单位产量 × 单价 + 不合格品损失 + 复工费；订单违约损失 = 违约金 + 客户流失 + 市场开拓费；人力成本损失 = 闲置工资 + 加班费 + 招聘培训费；能源消耗损失 = 重启额外能耗 + 闲置能耗；间接总损失为各项之和。

隐性损失用“合理估算 + 长期跟踪”法：设备寿命缩短损失 = (正常更换周期 - 实际更换周期) × 年均维护成本；企业声誉损失 = 年均订单损失 × 影响年限；安全管理成本增加 = 事故后额外投入 × 投入年限；隐性总损失为各项之和。事故总损失 = 直接 + 间接 + 隐性损失。实际核算中，企业需结合生产规模、设备类型等调整公式参数，确保贴合实际。各类损失核算清晰，可为后续分析自动联锁停机系统的控损作用提供精准数据支撑，明确控损重点方向。

### 3 旋转设备振动超标自动联锁停机系统的工作原理及应用要点

旋转设备振动超标自动联锁停机系统是集监测、分析、判断、控制于一体的自动化防控系统，核心是振动超阈值时快速停机、遏制故障，工作原理分为四个闭环环节。一是振动数据采集，在设备关键部位安装压电式、磁电式等高精度传感器，实时采集振幅、频率等参数，采集频率 1~10Hz 可调整，传感器将模拟信号传输至数据采集模块。二是信号处理与分析，采集模块将模拟信号转为数字信号，经滤波、放大、降噪处理后，提取有效特征参数，与预设安全阈值对比，判断振动是否超标并识别故障类型，为排查提供参考。

三是逻辑判断与预警，逻辑控制单元根据分析结果执行指令：振动正常则持续监测；略超阈值发一级声光预警，提醒排查隐患；严重超阈值发二级预警并触发联锁逻辑，发送停机指令。四是联锁停机与反馈，执行机构接收指令后 0.5~3s 内切断动力源，实现紧急停机，同时将停机、振动、故障等信息反馈至中央控制系统，工作人员排查处理故障后重启设备。该系统的实时性、准确性、主动性，有效解决传统人工巡检弊端，为控损提供技术保障。

为充分发挥系统控损作用，应用中需把握四大要点。一是合理选型，匹配设备需求，根据设备振动阈值、转速、工况，选择精度、响应速度适配的系统组件，高速设备选高精度组件，恶劣环境选防护性强的组件。二是科学安装，确保监测准确，按规范将传感器安装在振动敏感部位并固定牢固，线缆铺设远离动力线，避免电磁干扰。三是优化参数，提升防控效能，结合设备标准、运行经验设置预警和停机阈值，避免过高或过低，定期根据设备状态调整参数、优化逻辑。

四是定期维护，保障系统稳定，建立完善维护制度，定期检查、校准、维修传感器、采集模块等组件，更换老化损坏部件；定期升级系统软件，引入先进分析算法；开展系统试运行排查隐患，同时加强维护人员专业培训，提升操作和故障排查能力。此外，需结合设备运行实际，动态优化应用方案，确保系统长期稳定运行，充分发挥其实时监测、快速控损的核心作用，为旋转设备安全运行保驾护航。

## 4 自动联锁停机对事故损失费用的控制作用及实证分析

### 4.1 自动联锁停机的费用控制机制

自动联锁停机系统对事故损失费用的控制，核心在于“主动防控、快速止损”，通过在振动超标故障初期触发停机指令，切断故障发展路径，避免故障从潜在状态升级为严重事故，从而从源头降低直接损失、减少间接损失、规避隐性损失，其控制机制主要体现在三个方面：一是控制直接损失费用，系统在故障初期停机时，设备零部件仅轻微磨损，无需大量更换或重置设备，大幅降低设备维修、更换成本，同时可避免人员伤亡、物料浪费及现场清理的额外支出；二是减少间接损失费用，快速停机能遏制故障扩大，缩短排查维修时间，进而降低生产中断导致的产量、质量损失，避免订单违约和客户流失，减少人力、能源的无效消耗；三是规避隐性损失费用，及时遏制故障可延长设备使用寿命，降低后续维护成本，同时减少事故发生率，维护企业声誉，避免安全管理成本的额外增加。此外，该系统还能减少人工巡检成本，提升设备运行可靠性，长期持续发挥控损作用，助力企业提升经济效益与安全生产水平。

### 4.2 实证分析

为验证自动联锁停机系统的控损效果，本文选取某石化企业 C-101 型离心压缩机（旋转设备典型代表）作为研究对象，对比该企业 2022 年（未安装系统）与 2023 年（安装系统）的振动超标事故发生率及损失费用，量化分析系统作用，确保结果真实可靠。该压缩机用于输送石油化工介质，额定转速 7400r/min，正常振动振幅阈值 0.02~0.08mm；2022 年采用人工巡检，全年运行 8000h；2023 年安装压电式振动传感器（采集频率 5Hz）、响应时间 1s 的自动联锁停机系统，优化后预警阈值 0.07~0.09mm、停机阈值 0.09mm 以上，全年运行 8200h。两年内设备工况、维护水平、生产负荷基本一致，保障对比的客观性。

结合前文事故损失核算方法，核算两年内该压缩机的相关指标，对比结果如表 1 所示。

由表 1 数据可见，安装自动联锁停机系统后，该

表 1 2022 年与 2023 年离心压缩机振动超标事故及损失费用对比表

指标	2022 年 (未安装联锁系统)	2023 年 (安装联锁系统)	下降比例
振动超标事故次数 (次)	8	2	75.0%
事故总损失费用 (万元)	186.4	32.8	82.4%
直接损失费用 (万元)	78.6	15.2	80.7%
其中: 设备损失费用	52.3	9.8	81.3%
其中: 人员伤亡费用	12.5	0	100.0%
其中: 物料损失费用	8.8	2.4	72.7%
其中: 其他直接费用	5.0	3.0	40.0%
间接损失费用 (万元)	92.8	14.6	84.3%
其中: 生产中中断损失	65.2	9.8	85.0%
其中: 订单违约损失	18.5	2.2	88.1%
其中: 其他间接费用	9.1	2.6	71.4%
隐性损失费用 (万元)	15.0	3.0	80.0%

压缩机事故发生率及各类损失费用均大幅下降, 具体分析如下: 一是事故发生率显著降低, 2022 年平均每 1000h 发生 1 次振动超标事故, 2023 年降至每 4100h 1 次, 下降 75.0%, 充分说明系统能有效遏制故障扩大, 降低事故发生概率。二是直接损失大幅缩减, 从 78.6 万元降至 15.2 万元, 下降 80.7%; 其中设备损失从 52.3 万元降至 9.8 万元, 核心原因是初期停机避免零部件严重损坏; 人员伤亡费用降至 0, 彻底规避了人员伤亡相关支出; 物料损失下降 72.7%, 得益于及时停机减少介质泄漏和物料浪费。三是间接损失显著减少, 从 92.8 万元降至 14.6 万元, 下降 84.3%; 生产中中断损失下降 85.0%, 因停机时长从平均 12h 缩短至 3h, 大幅减少产量损失; 订单违约损失下降 88.1%, 有效避免了违约支出和客户流失。四是隐性损失有效规避, 从 15.0 万元降至 3.0 万元, 下降 80.0%, 设备使用寿命预计延长 3~5 年, 年均维护成本下降 40% 以上, 企业声誉和安全管理成本也得到有效控制。

此外, 该企业安装该系统的投入成本仅 18 万元, 2023 年单年就节省事故损失 153.6 万元, 投入产出比达 1 : 8.5, 经济效益显著。为验证结论通用性, 本文补充选取电力企业汽轮机、矿山企业风机作为研究对象, 安装系统后两家企业的振动超标事故损失均下降 80% 以上, 投入产出比均达 1 : 7 以上, 表明自动联锁停机系统的控损作用具有通用性, 可广泛应用于不同行业、不同类型的旋转设备, 为各类企业提供有效的控损技术支撑。

### 5 优化自动联锁停机系统费用控制效能的建议

为充分发挥自动联锁停机系统的事故损失控制效能, 针对实际应用中系统选型不合理、参数设置不优化、维护不到位等问题, 结合工业企业实践经验, 提出以下优化建议。一是优化系统选型与配置, 结合旋转设备类型、规格及工况, 选择精度、响应速度适配的组件, 关键设备采用双重联锁配置, 避免单一系统故障导致联锁失效, 提升系统可靠性。二是动态调整阈值参数,

结合设备运行状态、故障案例优化预警及停机阈值, 针对不同振动故障设置差异化参数与联锁逻辑, 平衡防控效果与生产连续性, 减少误停机损失。三是完善维护管理制度, 建立定期检查、校准、维修机制, 及时更换老化组件, 升级系统软件、引入先进分析算法, 同时加强维护人员专业培训, 提升故障排查与操作能力, 保障系统稳定运行。四是融合智能化技术, 将系统与工业互联网、大数据、人工智能结合, 构建一体化防控体系, 实现振动数据远程监测、故障事前预测, 进一步提升防控效能, 从源头控制事故损失。

### 6 结论与展望

本文研究表明, 旋转设备振动超标主要由转子不平衡等因素引发, 易产生直接、间接及隐性三类事故损失, 间接与隐性损失是控损重点。自动联锁停机系统通过闭环防控, 能在故障初期快速停机, 有效降低事故发生率及各类损失, 实证显示其可使事故总损失下降 80% 以上, 投入产出比显著, 适用于各行业旋转设备, 系统选型、参数设置等会影响其控损效能, 需通过针对性优化提升效能。未来, 可结合人工智能、大数据技术优化故障识别与预测能力, 研发低成本高可靠性系统并扩大案例研究范围, 推动系统在中小型企业普及, 为企业设备安全管理与成本控制提供全面支撑。

#### 参考文献:

- [1] 姜春刚. 炼化企业应对电网电压暂降措施 [J]. 电气技术与经济, 2023(4):110-112.
- [2] 王传荣, 刘煜, 李三平, 等. 某厂循环气螺杆压缩机状态监测及故障分析 [J]. 压缩机技术, 2020(1):53-56.
- [3] 吴晓霞, 高斌斌, 吕文杰. 烧结车间电动机与皮带机联锁缺陷改造研究 [J]. 山西冶金, 2022(8):74-76.
- [4] 杜卫斌. 四合一氧化法硝酸联锁停机自控技术改进 [J]. 化工管理, 2023(10):153-155.
- [5] 胡成全, 李志富, 树朋山, 等. 尾气回收装置吸附单元联锁停机故障原因分析及预防措施 [J]. 石油化工设备, 2022, 51(6):77-81.