

Analysis of Vibration and Vibration Reduction Technology of Chemical Machinery and Equipment

Jun Luo¹ Zhanhu Han²

1. Zhejiang Petrochemical Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang, 316200, China

2. Zhejiang Dingsheng Petrochemical Engineering Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang, 316200, China

Abstract

Chemical machinery and equipment operate continuously under dynamic conditions characterized by fluctuating media, alternating temperature variations, and interconnected piping systems. Vibration typically manifests not as isolated component failures, but as the combined effects of rotor, bearing, foundation, pipeline, and operational conditions. In chemical plants, centrifugal pumps, compressors, and associated pipelines are particularly prone to cascading issues such as elevated vibration levels, abnormal noises, seal wear, and loose connections. Simply replacing spare parts often fails to resolve these problems effectively. This paper synthesizes key points for vibration analysis and common vibration reduction techniques in chemical equipment, drawing on publicly accessible journal articles, standard information, and engineering case studies.

Keywords

chemical industry; mechanical equipment; vibration analysis; vibration reduction technology; application

化工机械设备振动分析与减振技术分析

罗军¹ 韩战虎²

1. 浙江石油化工有限公司, 中国·浙江舟山 316200

2. 浙江鼎盛石化工程有限公司, 中国·浙江舟山 316200

摘要

化工机械设备长期处于连续运转、介质波动、温差交替和管系联动环境中, 振动往往不是单一零部件失稳, 而是转子、轴承、基础、管道和工况耦合作用后的外在表现。化工现场中, 离心泵、压缩机及其附属管线最易出现振值抬升、异响、密封磨损和连接松动等连锁现象, 单纯更换备件通常难以稳定消除问题。本文结合公开可检索的期刊论文、标准公开信息及工程案例, 对化工机械设备振动分析要点与常用减振技术进行梳理。

关键词

化工; 机械设备; 振动分析; 减振技术; 运用

1 引言

随着中国化工行业的快速发展, 化学机械设备得到广泛应用, 并且取得不小的成就。化学机械设备在实际运行中, 时常发生往返运动, 即化学机械设备出现振动的现象, 对生产活动产生不利影响, 同时, 对机械设备自身产生影响, 导致其使用寿命缩短^[1]。资料显示, 中国企业在处理此类问题时, 已由单一拆修逐步转向结合振动测量、频谱判断、结构复核和针对性减振改造的综合处置思路。基于这一现场特点, 有必要把振动分析与减振技术运用放在同一框架内讨论。

【作者简介】罗军(1985-), 男, 中国湖南武冈人, 本科, 工程师, 从事设备维护、检维修, 项目建设设备采购、安装调试, 设备改造、技术升级及优化操作等设备管理研究。

2 化工机械设备振动分析

化工机械设备振动, 通常是指设备在运行中因转子质量分布变化、轴系安装偏差、轴承间隙异常、流体激励、压力脉动、基础刚度不足或外接管道应力传递等因素, 导致机体、轴承箱、底座或管线出现周期性位移、速度和加速度变化的现象。化工现场最常见的对象是离心泵、离心压缩机、往复式压缩机及出口管线。公开资料表明, 离心泵振动往往与气蚀、口环磨损、支承距离偏大、轴承受力异常及不对中有关, 往复式压缩机管线则常受压力脉动和固有频率接近激振频率影响。振动持续发展后, 会引起机械密封失效、轴承损伤、叶轮和口环磨损、法兰松动, 严重时还会造成管线裂纹和装置被迫降负荷。现场分析时, 一般以非旋转部件测振为基础, 结合振值变化、频率成分、工况波动、历史检修记录和结构检查, 先分清是转子问题、安装问题、基础问题还是管系耦合问题, 再决定后续减振路径; 其中对连续运转装

置,还要把启停过程、负荷切换和介质性质变化引起的振动突变一并纳入判断范围^[2]。

3 化工机械设备减振技术运用

3.1 转子动平衡修正

化工机械设备的转子动平衡修正要真正起到减振作用,现场处置不能停留在简单加减配重,而应沿着清污定基准、缺陷整形、工况校验和热态复测四个环节连续推进。其一,对长期输送易聚合、易结晶、含固或高黏介质的化工机组,检修前应先拆开能够接近的叶轮流道、轮盘背面、联轴器端部和键槽死角,将结垢、焦质、残液及松散附着颗粒清到金属本色,再复核振动与相位,因为公开案例已出现同一槽内相邻通风孔连续堵塞19个、约占本槽37.25%后诱发热不平衡振动的情况,若沉积物未洗净,后续平衡量往往只是对污染状态的临时修补。其二,转子拆检不能只看外观是否完好,检修人员还要把叶轮冲蚀减薄量、补焊增重量、锁紧件缺失、轮毂偏磨及局部修磨过量逐项记录,必要时复称单件质量并核对轴向分布,轻微失圆先修整轮廓再校正,出现掉块、焊补不对称或多级部件级间差异偏大时,应改用整转子或双校正面处理,避免把几何缺陷误算成单一偏心质量^[3]。其三,现场平衡要尽量贴近设备实际支承、装配和转速条件实施,现行公开标准和行业技术文件中,泵及同类转子部件常按G6.3级控制,个别高速机组还会进一步收严,因此校验时应结合工作转速选择试验转速,必要时连同联轴器半体联装复核,配重块必须防松可靠,去重位置则应避开键槽根部、台阶圆角和过盈配合区。其四,平衡结束后不能只看停机前一组数值,应在回装后连续观察升速、跨越工作区和稳态运行阶段的一次幅值、相位收敛及热态漂移,并复测启停前后趋势,若轴承座振动越过工作转速后仍反复抬升,或冷态合格而热机后相位再次散开,就要回查残余不平衡、热弯曲、联装误差和支承变化,不能把冷态合格直接视为处置完成。

3.2 联轴器精找正

化工机械设备的联轴器精找正落实到位后,轴系不对中引起的二倍频振动、轴承发热和密封偏磨才会真正落下去,化工机泵减振不能把功夫只下在联轴器表面,而要把基础、管载、热位移和复测闭环一起做实。其一,正式找正前先处理底座条件,检修人员应逐脚松测软脚量,结合塞尺和百分表把单脚抬起量压到0.05 mm以内,同时把成组垫片改成少层、同材质、整面接触的配置,单侧薄片乱塞、垫铁悬空和底板翘曲都要先校平,再复核地脚受力是否均匀,必要时连同底座二次灌浆开裂和局部虚接触一起处理,避免螺栓一锁紧就把中心重新扭坏。其二,冷态精找正不能只盯联轴器外圆,端面开口、外圆径向读数和轴伸基准要联动复核,每修正一个方向后都要回头检查另一个方向,防止横向合格而竖向跑偏,待工艺管线、支吊架和附属件全部恢复后

再做终检,若接管后数据回跳,应先释放管道应力和法兰外载,校核入口、出口两侧是否存在强行组对,不能靠强拧法兰把设备硬拉到一起。其三,高温介质机泵、蒸汽泵和压缩机要把热膨胀补偿提前算进冷态目标,现场宜优先采用制造厂热位移值,并结合同类机组首轮开车后的轴高变化修正预留量,对温差大、中心高变化快的组合,还要核对前后支点膨胀差、壳体抬升量和联轴器间隔长度变化,防止冷态对正而热态抬脚、顶轴或联轴器长期偏载。其四,复装阶段要复查联轴器螺栓配合、键与键槽接触、护罩复位和盘车轻重,首次开车升温后应趁设备仍处工作温度复核对中,并连续盯住轴向振动、二倍频幅值、轴承温升和异常摩擦声,发现数据反弹就回到地脚、管载和热补偿三个部位逐项倒查,同时把热态复测值、调整量和回装状态录入检修记录,不把隐患留到下一个检修周期。

3.3 基础刚度重建

化工机械设备的机组基础刚度重建不能停留在外部紧固层面,而应按基础、垫铁、锚固和复测四道工序把底部传力路径重新闭合。其一,设备起吊后应先对基础顶面、二次灌浆层和底座贴合面逐点复查,凡出现灌浆空鼓、边角粉化、局部脱层或油液浸蚀软化的部位,应把松散层剔至坚实界面后采用无收缩灌浆料重灌,灌注前同步清除旧浆皮、浮灰和残油,控制模板封边严密,必要时对裂缝区做凿毛与界面润湿处理,避免再次形成夹渣和空腔,并在灌后复核安装标高与安装板水平度及底座平面度数值,不能把灌浆黏结当作主要受力手段。其二,垫铁组处理要服从受力稳定,连续振动设备宜优先采用平垫铁,单组块数一般不超过5块,厚垫放下层、薄垫置中层,厚度不宜小于2 mm,垫铁伸入长度要越过地脚螺栓中心,接触面经着色或塞尺复核后再点固,同组垫铁应放置整齐并逐组轻击听音检查,确认受力均匀后再封固,斜垫铁仅用于找平调整且必须成对布置,严禁以多层薄片代替有效承压面积。其三,地脚螺栓若有回松、颈部拉细、孔壁磨损或埋设段窜动,应拆检螺纹、套筒和锚固区混凝土状态,对失稳孔位宜重做锚固或补强,螺栓预留套筒内径宜不小于螺栓直径2倍,并保证10至15倍直径的可伸长度,露扣长度也要满足复紧要求,螺栓外露丝扣和套筒口应做好防浆与防腐处理,避免紧固后仍由刚性卡死承担交变载荷。其四,机组复位后应按对称分步法恢复预紧力,同步复测水平度和底座四角受力,必要时边紧固边监测联轴器端跳变化,软脚复查时各地脚点位移宜控制在0.02 mm限值内,试运阶段还要复测底座振速、螺栓回松和撬装底架焊缝状态,对再次回松的连接点应立即停机复查,再决定是否进入终找正^[4]。

3.4 管系支撑整治

针对化工机械设备的管系支撑整治能否见效,关键不在补几道支架,而在把激振来源、传力路径与受限位移同时校正。其一,现场排查应先把握往复压缩机或高压泵出口振

动分解为压力脉动、气柱共振、流体冲击及支撑失配四类，再沿近机短节、弯头、三通、异径和悬臂段逐点核对，复核脉动随转速、阀位和流量变化的对应关系，并结合机座与管口相位差判断能量回传方向，尤其要把小口径放空、排凝、取压支管一并纳入，因为主管振动达到可接受水平时，这些部位仍可能先出现疲劳裂纹，单看机壳振值往往会误判为本体失稳。其二，支吊架整治不能只追求数量增加，而应优先恢复失效导向、松脱管卡和限位间隙失控部位，弯头、阀门、三通及附加载荷集中点宜就近设防振支承，新增支点宜落在位移较小且受力明确的位置，靠近设备的危险管段应把固有频率抬高激振区，工程上在脉动受控条件下常以不低于 8 Hz 作为近机主管段的校核下限。其三，新增支撑点时必须同步复核热位移方向和管道柔性，固定支承不宜硬性锁死热伸缩，可采用带防振管卡的支架并在卡体与管壁间加 2~4 mm 非金属垫层，既消除间隙传振，又保留必要滑移量，对已出现焊趾发亮、法兰渗痕或支座偏磨的部位，应先校正受力再紧固，避免把原有交变载荷继续压在薄弱截面。其四，对脉动显著的压缩机管系，治理顺序应放在削弱激振而非单纯加厚管壁，缓冲罐宜贴近进排气口布置，缓冲容积一般按不小于活塞行程容积 10 倍控制，必要时配合局部改线、长半径弯头或孔板阻尼联合处理，整治完成后还要在开停机、升压和稳态三阶段复测机体、主管及小口径接管的同步振动，确认小口径接管已支承到首个有效支点，且振动峰值未继续向仪表接管和薄弱焊缝转移。

3.5 隔振元件配置

在化工机械设备减振改造中，隔振元件配置不能停留在把设备与基础简单隔开的层面，而要把机组动力特性、安装边界和现场介质条件同时纳入校核。其一，选型前应先摸清设备总质量、重心位置、转动惯量、最小激振频率、启停方式和允许振幅，再据此反算隔振系统固有频率与支承刚度，工程上频率比通常宜控制在 2.5 至 4，至少不能落入小于根号 2 的放大区；低速重载泵、压缩机辅机和带较大扰动力的撬装设备，宜优先比较弹簧或弹簧橡胶复合型式，高转速、小位移设备可采用橡胶隔振件，但普通橡胶长期工作温度一般不宜超 0 至 70 摄氏度，在油污、日晒和腐蚀介质作用下寿命多为 5 至 10 年，室外布置时不能忽略雨淋后性能

衰减。其二，安装阶段应按重心与支承中心尽量重合的原则布置各支点，使单只隔振器实际承载落入允许范围，落座后逐点复测静态压缩量、底座水平、四角受力和壳体标高，发现单边压缩过大时应先调整支点分配，不宜靠局部硬垫或单侧补片找平，否则隔振器会先偏载再放大摆振；对弹簧隔振器，支承构件自身变形也要一起核算，不能把上部底座做成软平台^[9]。其三，设备与管道之间设置金属软接头、橡胶接头或短节补偿段时，只能用于削弱振动传递，不能替代管架承重和纠偏，泵进出口管道仍应设置独立支架，法兰连接不得强行组对，管道及附件恢复后还要复检原找正精度；柔性件的承压等级、轴向位移和横向偏转方向也应与工况一致，不能长期处在拉偏或扭曲状态。其四，隔振改造完成后要在启机、升速、稳态和停机全过程跟踪位移、接管受力和支承回弹，重点盯住穿越共振区时的摆幅、限位间隙、螺栓松弛和压缩永久变形，对启停频繁装置还应结合沉降复测结果及时修正隔振刚度与限位值。

4 结语

化工机械设备振动治理不能停留在发现异常后更换轴承、密封或紧固螺栓的层面，而应把振动源、传递路径和受振结构放在同一系统内统筹处理。结合公开案例可以看出，真正有效的减振做法通常不是单一措施，而是围绕动平衡、找正、基础、管系和隔振构件分层展开，并且每一步都要与现场工况和设备结构相匹配。今后化工装置在处理振动问题时，仍应坚持先判因、后治理、再复测的技术路径。

参考文献

- [1] 黄庆刚,徐坚栋.石油化工机械设备振动故障及诊断方法研究[J].大众科学, 2025(11).
- [2] 朱丽明.浅析化工企业机械设备管理与维护[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003):000.
- [3] 姚晗曦.振动时效技术在化工机械设备制造中的应用[J].设备管理与维修, 2025(6):133-135.
- [4] 刘加明.化工机械中旋转设备的振动分析与控制技术探究[J].中国设备工程, 2025(11):217-219.
- [5] 徐小龙.化工机械设备振动控制技术及其应用分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021(8):2.