

汽机管道振动防范措施综述

张 晶

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘 要: 汽机管道振动是影响热力系统安全性和可靠性的关键问题。本文详细分析了导致汽机管道振动的流体、机械和热力因素,并提出了相应的防范技术措施,包括流体脉动抑制、优化管道布局与管件设计、合理设计支撑与固定、隔振与减振措施以及热应力补偿等。还探讨了从设计、安装、运行到维护阶段的管理措施,以确保系统的长期稳定运行。通过综合运用这些技术和管理措施,可以有效减少振动的发生,提高系统的安全性与效率。

关键词: 汽机管道; 振动原因; 防范技术措施; 防范管理措施

引言: 汽机管道运行中, 振动问题频发。流体特性变化、机械结构缺陷、热力参数波动等因素, 易引发管道振动。振动不仅影响设备性能, 还可能导致管道破裂、泄漏等严重事故。深入探究振动原因, 制定有效防范措施与管理策略, 对保障汽机管道安全稳定运行具有重要意义。

1 汽机管道振动原因分析

1.1 流体因素

(1) 流体脉动: 系统运行中的周期性动作与局部阻力变化引发流体脉动。往复式压缩机活塞周期性吸气排气, 使管道内压力呈周期性波动。活塞向内运动时压力下降, 向外运动时压力上升, 压力变化以波的形式传播, 使管道壁面承受交替作用力而振动。阀门开闭瞬间, 流体流通面积突变, 流速与压力骤变; 管道截面收缩或扩张处, 流速重新分布, 同样引发压力波动。当压力脉动频率与管道固有频率接近, 便会引发共振, 加剧振动幅度。(2) 流体流速与流向变化: 流体流经弯头、三通等管件时, 流速与流向急剧改变。高速流体在弯头处受离心力作用, 外侧壁面压力大于内侧, 形成压力差, 使管道承受横向作用力。流速突变时, 流体动能与压力能相互转换, 产生不稳定流动状态, 激发管道振动。流速过高引发的湍流, 其随机压力脉动持续作用于管道壁, 成为振动激励源, 导致管道弯曲、扭转变形。

(3) 汽液两相流: 汽液两相流中, 气液两相密度、流速差异导致振动。气相密度小、流速高, 液相则相反, 两相流动时界面不稳定, 气泡聚合、破碎频繁发生。气泡运动产生局部压力波动, 气液分布不均使管道受力失衡。垂直管道中, 气液分层流动的流速差异产生周期性剪切力; 水平管道中, 界面波动对管道产生不稳定作用力, 导致管道持续振动。

1.2 机械因素

(1) 管道支撑与固定: 管道支撑与固定状况直接影响振动。支撑间距过大, 管道中间部分在自身重力与流体作用力下产生较大挠度变形。支撑刚度不足无法限制位移, 外界激励下振动加剧。固定点松动使管道与支撑连接失效, 自由振动幅度增大。弹簧支吊架选型不当、刚性支撑安装不牢, 都会加剧振动传递。(2) 设备振动传递: 汽轮机、泵等设备运行振动可传递至管道^[1]。设备转动部件不平衡、轴承磨损等故障引发异常振动, 以机械波形式传播。若管道固有频率与设备振动频率接近, 便会共振。不合理的刚性连接、未使用柔性接头, 或支架未有效隔离振动, 都会导致设备振动大量传递, 加剧管道振动。(3) 管道材质与结构: 管道材质的弹性模量、密度, 以及直径、壁厚、长度等结构参数影响振动特性。弹性模量小的材质易变形振动; 密度大则振动惯性大。直径大的管道受流体作用力面积大, 薄壁管道刚度弱。管道长度增加使固有频率降低, 更易与外界激励共振, 在温度变化、流体脉动下振动问题更突出。

1.3 热力因素

(1) 温度变化引起的热应力: 管道运行中温度变化频繁, 热膨胀或收缩受约束产生热应力。安装时未预留膨胀空间, 或固定点限制伸缩, 温度升高产生压应力, 降低时产生拉应力。热应力超材料许用应力, 管道变形引发振动。周期性温度变化使管道承受反复热应力, 导致疲劳损伤, 振动加剧。局部冷热不均, 会使管道扭曲、弯曲。(2) 温度分布不均匀: 管道内流体温度分布不均影响振动。局部过热区域流体膨胀使管壁压力增大, 过冷区域则压力减小, 导致管道受力不均。管道壁温不均造成热变形不一致, 产生弯曲、扭曲。如蒸汽管道中冷凝水未及时排除, 出现局部低温, 管道因温度差异变形, 改变受力状态引发振动, 还会使管道材料局部强度下降, 更易振动。

2 汽机管道振动防范技术措施

2.1 流体方面防范措施

(1) 流体脉动抑制: 抑制流体脉动可借助缓冲罐与脉动阻尼器等装置。缓冲罐通过扩大流体流通空间, 起到储存和释放流体的作用。当管道内压力升高时, 部分流体进入缓冲罐, 降低压力峰值; 压力降低时, 缓冲罐内流体补充到管道中, 平缓压力波动。这种装置适用于往复式压缩机出口管道, 能有效削减因压缩机周期性吸气、排气产生的脉动压力。脉动阻尼器则通过内部的膜片或气囊结构, 吸收和缓冲压力波能量。当压力脉动传递至阻尼器时, 膜片或气囊发生弹性变形, 将脉动能量转化为弹性势能, 待压力稳定后再缓慢释放, 从而减小压力波动幅度, 常用于消除阀门开闭、局部阻力变化引发的流体脉动。(2) 优化管道布局与管件设计: 合理规划管道走向可减少振动诱因。设计时尽量避免管道出现不必要的弯折, 采用直线布局或大曲率半径弯管, 降低流体流向改变时的冲击力。减少弯头、三通等管件的使用, 能降低流体流速突变产生的扰动。若必须使用管件, 应采用流线型设计, 如将直角弯头替换为椭圆形弯头, 使流体流动更顺畅, 减小因涡流和压力分布不均引发的振动。优化管道分支角度和连接方式, 确保流体平稳分流与汇合, 避免在管件处形成强烈的压力波动和流速紊乱。(3) 汽液两相流处理: 汽水分离器可有效改善汽液两相流状态。其通过离心力、重力或惯性力作用, 使气液两相分离。在离心式汽水分离器中, 两相流体进入分离器后沿内壁高速旋转, 密度较大的液相在离心力作用下被甩向器壁, 沿壁面流下排出; 气相则从中心部位流出, 从而减少因气液密度和流速差异导致的不稳定流动。节流装置通过调节流体流速和压力, 促进汽液均匀混合。在管道中安装节流孔板或调节阀, 适当降低流速, 使气相和液相充分接触, 减小两相之间的滑移速度, 降低气液界面波动引发的振动。

2.2 机械方面防范措施

(1) 合理设计管道支撑与固定: 确定管道支撑间距、选择支撑类型和固定方式需依据管道的振动特性与受力情况。对于振动频率较高的管道, 应适当减小支撑间距, 增强管道的约束, 限制其振动幅度。刚性支撑适用于需要严格限制管道位移, 且管道受力稳定的情况, 能提供较强的支撑力。弹性支撑则可在吸收管道振动能量的同时, 允许管道有一定的位移, 适用于存在热膨胀或设备振动影响的管道^[2]。通过合理选择支撑类型和固定方式, 增强管道的稳定性, 减少振动传递。(2) 隔振与减振措施: 在设备与管道连接处安装隔振垫、减振

器, 可有效隔离设备振动向管道的传递。隔振垫通常由弹性材料制成, 能缓冲设备与管道之间的振动传递。减振器则通过内部的阻尼元件消耗振动能量, 降低振动幅度。对于已产生振动的管道, 动力吸振器是有效的减振装置。动力吸振器由质量块、弹簧和阻尼器组成, 通过调整其参数, 使其与管道的振动频率产生共振, 将管道的振动能量转移到动力吸振器上, 再通过阻尼器将能量消耗掉, 从而实现了对管道振动的控制。(3) 优化管道材质与结构: 根据管道的工作条件选择合适的材质。不同材质的管道具有不同的物理性能, 如弹性模量、密度等。选择弹性模量合适、阻尼性能较好的材质, 可改善管道的振动特性。调整管道的直径、壁厚等结构参数也能影响管道的振动。适当增加管道壁厚, 可提高管道的刚性, 降低振动幅度; 合理选择管道直径, 可优化流体的流动状态, 减少因流体流动引起的振动。

2.3 热力方面防范措施

(1) 热应力补偿: 采用膨胀节、补偿器补偿管道因温度变化产生的热膨胀或收缩。膨胀节通过自身的柔性变形来吸收管道的热位移, 释放热应力。其结构形式多样, 可根据管道的具体工况和安装空间进行选择。补偿器则通过特定的结构设计, 允许管道在一定范围内自由伸缩, 避免因热膨胀或收缩受到限制而产生过大的热应力, 从而降低因热应力引起的管道振动。(2) 改善温度分布: 优化管道保温措施, 可减少管道热量散失, 使管道内流体温度分布更加均匀。良好的保温材料和合理的保温结构设计, 能有效阻挡热量传递, 避免管道局部温度过低或过高。调整流体流动参数, 如流量、流速等, 也有助于改善温度分布。合理的流体流动可促进热量均匀传递, 减少因温度不均匀导致的管道热变形和振动。

3 汽机管道振动防范管理措施

3.1 设计阶段管理

(1) 规范设计流程: 汽机管道设计初期需制定严格流程, 设计人员应全面掌握系统运行工况、流体特性、设备参数等信息, 以此为基础设计合理方案。从流体动力学角度, 需准确计算流速、压力等参数, 为管道布局和管件选型提供支撑。针对汽液两相流管道, 设计时需充分考虑气液密度、流速差异及界面稳定性, 合理规划走向与管件结构, 如减少弯折、采用大曲率半径弯管, 降低流体流向改变产生的冲击力, 进而减少振动诱因。设计需兼顾机械与热力因素, 依据管道材质、结构参数及可能承受的设备振动、热应力, 进行力学分析与振动特性计算。对振动频率较高的管道, 合理确定支撑间距与类型, 确保刚度和稳定性; 对存在温度变化的管道,

预留膨胀空间并选择合适热应力补偿装置,避免热应力引发振动。(2)加强设计审核:建立完善设计审核制度,审核人员需具备专业知识与实践经验,从多维度评估方案。流体方面,审核管道布局是否合理,能否有效减少流体脉动、流速与流向变化及汽液两相流引发的振动,检查是否采用合适的脉动抑制、布局优化及两相流处理措施。机械方面,审核支撑与固定设计是否满足要求,支撑间距、类型及固定方式是否合理,是否考虑设备振动传递并采取有效隔振减振措施,材质与结构参数是否适应工作条件。热力方面,审核热应力补偿与温度分布改善措施是否得当,膨胀节、补偿器选型与安装位置是否合理,保温措施能否有效减少热量散失、改善温度分布,通过审核确保方案科学可靠。

3.2 安装阶段管理

(1)严格施工人员培训:安装人员技能水平与操作规范直接影响安装质量,需在安装前进行严格培训,内容涵盖安装工艺、技术要求、质量标准及振动防范措施。例如,管道支撑与固定安装中,施工人员需了解不同支撑类型特点与适用范围,掌握支撑间距设置与固定方式;隔振减振装置安装需严格按设计要求进行,确保有效发挥作用^[3]。通过培训提升人员质量意识与责任感,减少安装不当引发的振动问题。(2)加强安装过程监督:安装过程需建立监督机制,对质量全程监控。监督人员需深入现场,检查施工是否按图纸与规范操作。支撑与固定安装方面,检查位置、间距、刚度是否符合设计,固定点是否牢固;设备与管道连接方面,检查连接方式是否合适,是否安装隔振装置;材质与结构安装方面,检查材质、规格是否与设计一致,焊接质量是否达标;热应力补偿装置安装方面,检查位置、方向是否正确,能否自由伸缩,通过监督确保安装质量。

3.3 运行阶段管理

(1)制定运行操作规程:需制定科学运行操作规程,规范操作人员行为,明确系统启动、运行、停止等阶段的操作步骤与注意事项。启动阶段控制流体流速与压力,避免冲击引发振动;运行中密切关注温度、压力、流量等参数,及时发现异常;对阀门开闭、设备启

停等可能引发振动的操作,制定详细规范,如缓慢开闭阀门,避免流体面积突变引发压力脉动与振动,确保系统安全稳定运行。(2)加强运行监测:建立运行监测体系,通过振动传感器等设备对管道关键部位实时监测,采集振动数据并通过软件分析,及时发现异常。当振动幅度超过正常范围时,需查找原因并采取措施。若因流体脉动引起,调整缓冲罐或脉动阻尼器参数;若因设备振动传递引起,检查设备运行状况并维修调整,通过监测及时解决振动问题。

3.4 维护阶段管理

(1)定期维护检查:制定定期维护计划,对管道系统全面检查,内容包括支撑与固定、隔振减振装置、热应力补偿装置及材质结构等方面。检查支撑是否松动变形、固定点是否牢固,隔振装置是否损坏、效果是否良好,补偿装置是否泄漏损坏、能否正常工作,管道表面是否有腐蚀磨损裂纹、壁厚是否符合要求,及时维修更换隐患部件。(2)建立维护档案:建立维护档案,记录检查情况、维修历史等信息,为后续维护管理提供参考。通过分析档案数据,了解系统运行状况与趋势,发现潜在振动问题并采取预防措施,也为系统改造升级提供依据,如根据振动与维修记录优化支撑、隔振等措施,提升抗振动能力,实现科学管理与维护。

结束语

汽机管道振动防范是保障工业生产稳定运行的关键。通过全面分析振动原因,从技术和管理层面采取针对性措施,可有效降低振动幅度。在实际应用中,需结合具体情况,综合运用各种防范手段,并持续加强管理,不断优化防范措施,以确保汽机管道安全可靠运行,推动工业生产的可持续发展。

参考文献

- [1]张颖.管道振动的静力分析与动态分析[J].今日制造与升级,2024(1):88-90.
- [2]汪涛,赵帅帅.涡轮增压器充液管道振动特性分析[J].机械制造,2025,63(2):16-20,25.
- [3]陈锐.主蒸汽管道支吊架失效及管道振动治理[J].自动化应用,2024,65(22):18-19,23.