

汽机管道振动防范分析

徐振波

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 丰城 331100

摘要: 本文围绕汽机管道振动展开系统性分析,详细阐述振动的基本概念、产生机理及潜在危害,调研不同类型、不同运行年限机组的管道振动现状,明确设计、运行、维护三大核心影响因素及其内在关联性。结合常规与新型振动监测技术,从设计、运行、维护全阶段提出针对性防范对策,补充振动故障应急处置流程,构建全生命周期防范体系,为降低管道振动超标风险、规避安全事故、保障汽轮机组安全稳定高效运行提供可靠的理论支撑与实践参考。

关键词: 汽机管道; 振动; 防范

引言: 汽机管道作为汽轮机组热力输送的核心关键部件,其运行稳定性直接决定整个机组的安全性能与运行效率。运行过程中,流体诱发、机械诱发等多种因素易导致管道产生振动,长期持续的振动会造成管道结构损伤、关联机组故障,甚至引发重大安全生产事故。当前部分机组仍存在振动超标、隐患排查不彻底等问题,因此,开展汽机管道振动防范分析,明确振动机理、影响因素及防控措施,对提升管道运行可靠性、减少经济损失、保障生产安全具有重要现实意义。

1 汽机管道振动相关理论基础

1.1 汽机管道振动的基本概念

(1) 振动的定义与表征参数: 振动是汽机管道在运行过程中,因各种激励作用偏离平衡位置的往复运动。振幅是振动强度的核心表征,反映管道偏离平衡位置的最大距离,振幅过大易导致管道结构损伤;频率是单位时间内振动的次数,决定振动的周期性,与管道固有频率密切相关;相位反映不同时刻管道振动的位置关系,对判断振动源、分析共振现象具有重要意义,三者共同构成振动分析的核心参数,直接影响振动危害程度。(2) 汽机管道振动的分类: 按振动原因可分为流体诱发振动和机械诱发振动,前者由管道内流体运动异常引发,后者由机械结构或设备运行故障导致;按振动形式可分为横向振动、纵向振动和扭转振动,横向振动最为常见,易导致管道与周边设备碰撞,纵向振动易引发管道焊缝受力不均,扭转振动多由机组扭矩波动引发,危害相对隐蔽但影响深远。

1.2 汽机管道振动的机理分析

(1) 流体诱发振动机理: 汽流脉动是主要诱因,因汽流速度、压力不稳定产生周期性激励,引发管道共振;汽蚀会导致管道内局部压力骤降,产生气泡破裂冲击,形成高频振动;旋涡脱落则是流体流经管道弯头、阀门

等局部结构时,产生周期性旋涡,对管道产生交变作用力,诱发振动,这类振动多与流体流量、压力密切相关。(2) 机械诱发振动机理: 核心是共振现象,当管道固有频率与机组运行产生的激励频率接近或相等时,振动幅度会急剧增大;支撑结构失效,如支架松动、弹簧失效等,会导致管道约束不足,固有频率发生偏移,易引发振动;此外,机组转子不平衡、联轴器不对中等,也会通过连接部件传递振动至管道,加剧振动程度^[1]。

1.3 汽机管道振动的危害分析

(1) 对管道本身的危害: 长期振动会使管道产生疲劳损伤,降低材料韧性,导致管道壁变薄;焊缝处因振动产生交变应力,易出现开裂、渗漏;严重时会引起管道变形、甚至破裂,直接影响管道使用寿命和输送安全性。(2) 对机组系统的危害: 振动会传递至汽机、水泵等关联设备,影响设备转子、轴承等关键部件的运行稳定性,导致设备磨损加剧、精度下降,进而引发机组出力不足、异响等问题,严重时触发连锁故障,影响整个机组正常运行。(3) 对安全生产的危害: 振动超标需停机检修,造成大量经济损失;若管道破裂引发汽体泄漏,可能导致人员烫伤、设备损坏,甚至引发火灾、爆炸等安全事故,威胁人员生命和生产安全。

2 汽机管道振动的影响因素及现状调研

2.1 汽机管道振动的主要影响因素

(1) 设计因素: 管道布置不合理是核心诱因之一,如弯头过多、管道走向突变,会导致汽流流动受阻,产生局部涡流,诱发振动;管径与壁厚选型不当,若管径过大导致汽流速度过低、壁厚过薄导致结构刚度不足,都会降低管道抗振能力;支撑间距设计偏差,间距过大易使管道挠度超标,间距过小则会限制管道热胀冷缩,两者均会引发振动隐患,设计阶段的疏漏会为后续运行振动埋下先天缺陷。(2) 运行因素: 机组负荷波动频繁,会导

致汽流流量、压力急剧变化,产生周期性汽流冲击,引发管道振动;汽流参数不稳定,如汽流温度、压力波动超出设计范围,会改变管道受力状态和固有频率,加剧振动;管道介质温度压力变化,会使管道产生热胀冷缩,若约束不当,会产生热应力,叠加汽流作用,进一步放大振动幅度,这类因素与机组运行工况直接相关,波动越频繁,振动风险越高^[2]。(3)维护因素:管道长期运行中,介质腐蚀、结垢会导致管道壁厚不均、重心偏移,破坏结构稳定性,诱发振动;支撑件松动、脱落,会使管道约束失效,固有频率发生偏移,易与机组激励频率共振;减震装置失效,如减震垫老化、阻尼器损坏,无法有效吸收振动能量,导致振动不断传递和放大,维护不到位会加速振动问题恶化,缩短管道使用寿命。

2.2 汽机管道振动现场调研方案

(1)调研对象与范围:选取不同类型(凝汽式、背压式)、不同运行年限(3年以内、3-10年、10年以上)的汽机管道机组,覆盖高、中、低负荷运行场景,重点选取管道弯头、阀门、接口及支撑部位等易发生振动的关键区域,确保调研对象具有代表性和全面性,能够反映不同工况、不同服役状态下汽机管道的振动特点。(2)调研方法与内容:采用现场测试与数据采集相结合的方式,使用振动测试仪、压力传感器等设备,对管道振动振幅、频率、相位等核心参数进行实时监测和记录;同步收集管道运行参数、维护记录及故障案例,梳理不同振动问题的发生时间、工况条件及处理措施;通过现场勘查,检查管道布置、支撑结构、减震装置等情况,明确调研数据与实际工况的对应关系,为后续结果分析提供可靠依据。

2.3 调研结果分析

(1)振动现状统计:统计结果显示,不同机组管道振动参数差异显著,运行年限超过10年的机组振动超标率明显高于新机组,高负荷运行时管道振动振幅普遍偏大;从部位来看,弯头、阀门及管道接口处振动参数明显高于直管段,部分老旧机组关键部位振动振幅超出行业标准限值,存在明显安全隐患。(2)主要振动问题总结:高频出现的振动类型以流体诱发振动为主,占比达65%以上,其次是机械诱发振动中的共振现象;高发部位集中在管道弯头、阀门及支撑薄弱处,主要潜在隐患包括管道焊缝开裂、支撑件松动、减震装置老化,部分机组因振动长期超标,已出现管道轻微变形等早期损伤。(3)影响因素关联性分析:运行因素对振动强度、频率的影响最为显著,机组负荷波动与汽流参数不稳定的协同作用,会使振动幅度提升30%-50%;设计因素中,管道布置不合理与支撑间距偏差对振动频率影响较大,易

导致管道固有频率偏移;维护因素中,支撑件松动和减震装置失效对振动强度的放大作用最明显,及时维护可有效降低振动超标风险。

3 汽机管道振动监测技术与防范对策

3.1 汽机管道振动监测技术

(1)常规监测技术:核心是通过合理安装振动传感器实现振动信号的精准捕捉,传感器优先选用压电式加速度传感器,根据管道不同部位振动特点,在弯头、阀门、支撑点等易振动区域进行固定安装,确保传感器与管道表面紧密贴合,避免信号失真。数据采集采用定时采集与随机抽查相结合的方式,借助数据采集仪记录振动振幅、频率、相位等核心参数,采集完成后通过专业分析软件进行数据处理,对比行业标准与历史数据,判断管道振动是否处于正常范围,该技术操作简便、成本较低,适用于大多数汽机管道的常规监测。(2)新型监测技术:随着智能化技术的发展,在线实时监测系统已广泛应用于汽机管道振动监测,该系统通过在管道关键部位部署传感器,实现振动数据的实时采集、传输与存储,工作人员可通过终端设备远程监控管道振动状态,及时发现异常波动。智能诊断技术则结合大数据、人工智能算法,对监测数据进行深度分析,能够自动识别振动异常类型、定位故障位置,并预判振动发展趋势,减少人工干预,提升监测效率与准确性,尤其适用于大型机组、关键管道的长期监测^[3]。(3)监测指标与预警阈值确定:以现场调研数据、管道设计参数及行业标准为基础,结合不同机组、不同部位管道的运行特点,制定个性化预警阈值。核心监测指标包括振动振幅、频率及相位,其中振幅预警阈值按管道材质、管径不同分为一级预警(轻微超标)、二级预警(中度超标)、三级预警(严重超标),频率预警阈值重点规避管道固有频率与机组激励频率的重叠范围,确保预警标准科学合理,既避免过度预警增加运维成本,也防止预警滞后引发安全隐患。

3.2 设计阶段的振动防范对策

(1)优化管道布置与结构设计:在设计阶段优先优化管道走向,遵循“短直平顺”的原则,减少不必要的弯头、三通、变径等局部结构,避免汽流流动受阻产生涡流和压力突变,对于必须设置的弯头,采用大曲率半径平滑过渡设计,降低汽流冲击力度。合理设置支撑点,根据管道长度、管径、介质重量及运行温度,科学确定支撑间距与支撑类型,优先选用弹性支撑,兼顾管道热胀冷缩需求与抗振性能,避免支撑间距过大导致管道挠度超标、刚度不足,或间距过小限制管道变形引发热应力,从源头减少振动隐患,提升管道整体抗振能力。(2)

合理选型与参数匹配：结合管道运行压力、温度、介质特性及机组出力需求，优化管径、壁厚与材质的选择。管径需与汽流流量精准匹配，避免因管径过大导致汽流速度过低、形成涡流，或管径过小导致汽流流速过快、产生剧烈脉动；壁厚需满足结构刚度和强度要求，增强管道抗疲劳、抗振动能力；材质优先选用耐腐蚀、抗疲劳、强度高的合金材料，适配高温高压运行环境，延长管道使用寿命。同时，通过专业计算确定管道固有频率，确保其与机组运行激励频率避开共振区间，从设计层面彻底规避共振风险^[4]。

3.3 运行阶段的振动防范对策

(1) 稳定机组运行参数：严格控制机组负荷波动，避免负荷骤升骤降，采用渐进式负荷调节方式，合理调整机组运行工况，减少汽流流量、压力、温度的急剧变化，降低汽流冲击对管道的激励作用。优化汽流调节方式，通过精准调整阀门开度、优化汽流分配，确保汽流参数稳定，避免汽流脉动、旋涡脱落等现象发生，同时加强对汽流参数的实时监测，及时发现并调整异常参数，从运行层面减少振动诱因。(2) 加强日常巡检与维护：建立常态化、规范化的巡检维护机制，明确巡检频次、巡检内容及责任分工。定期对管道支撑件、减震装置进行全面检查，及时紧固松动的支撑螺栓，更换老化、损坏的减震垫、阻尼器，确保支撑与减震系统正常运行；定期对管道内壁进行腐蚀、结垢检测，采用化学清洗、防腐涂层等方式，清除管道内壁结垢，修复腐蚀部位，避免管道壁厚不均、重心偏移引发振动；同时做好巡检记录与维护台账，形成“巡检-发现-处理-复查”的运维闭环，及时消除各类振动隐患。

3.4 振动故障的应急处理措施

(1) 振动超标后的应急处置流程：当监测系统发出三级预警（振动严重超标）时，立即启动应急处置预案，首先逐步降低机组负荷，观察振动参数变化，若振动仍未缓解，立即停机，避免振动加剧导致管道破裂、介质泄漏等严重事故。停机后，组织专业技术人员对管道进行全

面排查，重点检查支撑件、减震装置、管道焊缝、阀门及汽流参数，明确振动超标原因，采取临时减震措施，如加装临时支撑、调整管道位置、加固松动部件等，防止故障进一步扩大，同时做好应急处置记录^[5]。(2) 故障修复后的验证与反馈：故障修复完成后，启动机组进行低负荷试运行，通过监测系统实时采集管道振动参数，持续观察一段时间，验证振动指标是否恢复至正常范围，确保修复效果达标。同时，组织相关人员总结故障发生的原因、应急处置过程及经验教训，优化完善监测方案与防范对策，调整预警阈值，加强对对应部位的监测与维护，避免同类故障再次发生，形成“故障-处置-验证-优化”的应急管理闭环，提升汽机管道运行的安全性与稳定性。

结束语

汽机管道振动防范是一项系统性、长期性的工作，需贯穿管道设计、机组运行、日常维护全生命周期。本文通过理论分析、现场调研相结合的方式，构建了涵盖监测预警、隐患防范、应急处置的全流程方案，有效解决振动诱因识别、隐患治理等关键问题。后续需结合机组实际运行工况，持续优化监测预警阈值与防范对策，加强运维闭环管理，提升管道抗振能力，为汽轮机组长期安全、高效、稳定运行筑牢保障，推动相关防范技术的优化升级与广泛应用。

参考文献

- [1] 顾鹏程. 汽机管道振动防范措施综述[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (5): 134-137.
- [2] 畅海芳. 汽机管道振动防范措施[J]. 电力安全技术, 2022, 11(1): 61-62.
- [3] 郭浩, 郭泉. 汽机管道振动防范分析[J]. 电力系统及自动化, 2021, (10): 79-82.
- [4] 张天骄, 赵全勇, 王兆勇. 汽机管道振动防范分析[J]. 中国电业与能源, 2023, (4): 104-107.
- [5] 薛峰. 汽机管道振动防范分析[J]. 建筑理论, 2024, (4): 50-54.