

汽机管道振动防范措施分析

吕 波

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设备安全稳定运行的关键问题。通过对设计、安装、运行等多因素深入剖析，结合振动测量、应力分析及流体动力学分析等方法，揭示振动产生根源。研究表明，优化管道设计、加强安装质量管理、完善运行管理策略可有效降低振动风险。提出的防范措施能显著提升汽机管道运行可靠性，为工业生产中同类问题的解决提供理论依据与实践指导。

关键词：汽机；管道振动；防范措施

引言

在现代工业生产中，汽机管道系统的稳定运行对能源转换与传输至关重要。然而，管道振动问题频发，不仅影响设备使用寿命，还可能引发安全事故。现有研究虽对汽机管道振动有所探讨，但系统性的防范措施仍有待完善。本文基于设计、安装、运行多维度，结合振动测量、应力及流体动力学分析方法，深入剖析振动原因，针对性提出防范措施，旨在为提升汽机管道运行稳定性提供科学解决方案。

1 汽机管道振动概述

汽机管道作为热力系统的关键组成部分，其振动特性对汽轮机组的安全稳定运行有着重要影响。汽机管道在实际运行过程中，由于内部工质的流动、阀门的启闭、设备的运行激励等多种因素，会产生复杂的振动现象。管道内蒸汽或水等工质的不稳定流动，会产生周期性或非周期性的作用力，引起管道的振动，比如汽流的涡流、湍流以及两相流的流态变化，都会对管道壁面产生脉动压力，导致管道发生振动响应。汽机设备运行时，转动部件的不平衡、不对中，以及基础的振动等，也会通过连接部件传递到管道上，引发管道的振动。当管道的固有频率与这些激励源的频率接近时，还会发生共振现象，使振动幅值急剧增大，严重威胁管道系统及整个汽轮机组的安全。共振产生的高幅值振动，不仅会加速管道材料的疲劳损伤，缩短管道使用寿命，还可能导致管道支吊架失效、法兰连接松动、焊缝开裂等问题，进而引发泄漏甚至爆管等严重事故。汽机管道振动的表现形式多样，包括横向振动、纵向振动和扭转振动，这些振动往往相互耦合，形成复杂的振动形态。振动监测与分析对于掌握管道运行状态至关重要，通过布置加速度传感器、位移传感器等监测设备，采集管道振动信号，利用频谱分析、时域分析等信号处理技术，能

够准确识别振动的频率成分、幅值大小和变化趋势，从而深入分析振动产生的原因，为制定有效的振动控制措施提供依据。有效的振动控制措施包括优化管道布置和走向，合理设计和安装支吊架，调整管道的固有频率，增强管道系统的刚性和阻尼特性等，以降低管道振动幅值，保障汽机管道安全稳定运行。

2 汽机管道振动原因分析

2.1 设计因素

汽机管道系统的设计需综合考虑流体动力学、结构力学及热力学等多学科特性，任何环节参数偏差均可能诱发振动。管道走向布局若未遵循应力分析规范，会导致局部应力集中，尤其在弯管、异径管及阀门等部位，流体流向突变产生的激振力无法有效释放，形成周期性振动激励源。管径与壁厚的选型若未匹配介质流量、压力及温度参数，易引发共振现象，如当管道固有频率与流体脉动频率接近时，微小扰动即可能被放大为剧烈振动。支撑吊架的形式与间距设计不当同样是关键因素，刚性支撑若未预留热膨胀补偿空间，管道热位移受阻将产生附加应力，柔性支撑刚度不足则难以抑制管道横向摆动；支撑点间距过大使得管道跨中挠度增加，在介质流动冲击下产生低频晃动。未充分考虑汽机运行工况的动态特性，例如未对启动、停机过程中的瞬态流场变化进行模拟分析，可能导致管道承受超出设计预期的动载荷，进而引发振动问题^[1]。

2.2 安装因素

汽机管道安装质量直接影响其运行稳定性，施工过程中的细微偏差经长期运行可能演变为严重振动故障。管道焊接质量不达标是常见隐患，焊缝内部存在气孔、夹渣、未熔合等缺陷，不仅削弱管道结构强度，还会改变局部刚度分布，导致应力分布不均，在流体压力波动下产生异常振动。支吊架安装误差同样不容忽视，支吊

架定位偏移会改变管道受力状态,使支撑力无法有效约束管道位移;弹簧支吊架安装时预压缩量调整不当,运行中无法提供合适的弹性支撑,致使管道失去缓冲保护。管道对口偏差超限,如错边量过大或不同轴,会在连接处形成附加弯矩,运行时该部位持续承受交变应力,极易诱发疲劳振动。安装过程中未彻底清理管道内部杂物,如焊渣、铁锈等,随介质高速流动撞击管壁产生冲击振动;保温层施工不规范导致局部重量分布不均,也可能改变管道固有频率,引发共振现象。

2.3 运行因素

汽机管道在运行过程中受多种动态工况影响,复杂的工作环境易激发振动问题。介质参数波动是引发振动的常见诱因,当蒸汽流量、压力或温度发生剧烈变化时,流体流速与压力分布随之改变,产生不稳定的流体激振力,如蒸汽带水运行时,水滴对管壁的高频冲击会加剧振动幅度。管道内介质流动状态异常同样会导致振动,当出现涡流、脱流等非稳定流态时,流体对管道的作用力呈周期性变化,形成振动激励;管道内的气液两相流因密度与流速差异,产生的水击现象会对管道造成瞬间冲击,引发强烈振动。汽机运行状态变化也会对管道产生影响,机组负荷快速升降过程中,管道热膨胀速率不一致,导致热应力频繁变化,若管道补偿装置无法及时响应,将产生较大的热位移应力,引发振动;汽机轴系振动通过基础传递至相连管道,若管道与设备接口处未采取有效隔振措施,设备振动会直接传导至管道,造成管道共振。

3 汽机管道振动分析方法

3.1 振动测量分析

振动测量分析作为汽机管道振动研究的基础环节,需借助高精度传感器采集关键数据。加速度传感器常布置于管道支撑点、弯头及变径处,因其能敏锐捕捉高频振动信号,有效监测突发振动现象;位移传感器则适用于测量低频振动的位移幅值,对管道整体摆动趋势的分析具有重要意义。数据采集系统以高采样频率持续记录振动信号,采样频率需依据管道振动特性设定,通常不低于振动信号最高频率的5倍,以避免信号混叠。采集所得原始数据包含大量噪声,需通过数字滤波技术进行预处理,如采用带通滤波器滤除无关频段信号,保留与管道振动相关的有效成分。经处理后的数据运用频谱分析方法,将时域信号转换为频域信号,从而识别振动的主导频率成分。对比管道固有频率与激励源频率,可判断是否存在共振现象。还需对振动信号进行时频分析,如采用小波变换,以揭示振动随时间的频率变化特征,为

深入分析振动产生机理提供多维度数据支持。

3.2 应力分析

应力分析聚焦于汽机管道结构在运行工况下的受力状态,探究应力分布与振动之间的内在联系。在建立管道应力分析模型时,需精确考虑管道材料的力学性能,包括弹性模量、泊松比等参数,同时结合管道的几何尺寸、连接方式及支撑条件进行建模。有限元分析方法在此过程中发挥关键作用,将管道结构离散为大量单元,通过求解单元方程得到整个结构的应力、应变分布情况。管道在运行时,内部介质压力、温度变化会导致热膨胀和热应力的产生,同时管道自身重力、支吊架作用力等也会对其应力状态产生影响。通过应力分析,可确定管道应力集中区域,如焊缝、弯头及变径处等,这些区域往往因应力过大而引发疲劳裂纹,进而导致振动加剧。分析结果不仅能评估管道结构的强度安全性,还可通过优化管道支撑布局、调整支吊架刚度等措施,改变管道的应力分布,降低振动幅值,提高管道运行的稳定性^[2]。

3.3 流体动力学分析

流体动力学分析围绕汽机管道内介质的流动特性展开,研究流体与管道结构的相互作用机制。管道内介质的流动状态复杂多变,层流、湍流等不同流态对管道产生的作用力差异显著。在湍流状态下,流体的不规则脉动会产生周期性或非周期性的流体力,当这些力的频率与管道固有频率接近时,极易引发管道振动。通过计算流体动力学(CFD)方法,可对管道内流场进行数值模拟。在构建CFD模型时,需准确设定介质的物理参数,如密度、粘度等,同时考虑边界条件,包括进出口压力、流量等。模拟过程中,计算流体对管道壁面的压力分布、流速分布以及产生的升力、阻力等,分析流体力的频谱特性,判断其是否为管道振动的激励源。还需研究流体弹性不稳定现象,如流体诱导振动,当管道内流体流速达到临界值时,管道会发生剧烈振动。通过优化管道内部结构、调整介质流速等措施,可有效抑制流体动力学因素引发的管道振动。

4 汽机管道振动防范措施

4.1 优化管道设计

(1)在管道走向规划中,需充分考虑汽机系统运行时的热膨胀特性与介质流动特性,通过三维建模模拟管道在不同工况下的应力分布与位移趋势,避免因管道布置出现过多直角弯或不合理的起伏导致流体激振与应力集中。合理规划管道支吊架间距与形式,确保其能够有效约束管道的振动自由度,同时又不限制正常的热位移,采用有限元分析技术对支吊架的承载能力与刚度进

行精确计算,使其与管道动力学特性相匹配。(2)对于管道的管径选择,依据汽机系统的流量、压力参数,结合流体力学计算,在满足输送要求的前提下,避免管径突变引发的流体紊流与压力波动。优化管道壁厚设计,通过强度计算与振动频率分析,在保证管道结构强度的同时,调整壁厚分布,改变管道固有频率,防止与汽机运行产生的激励频率发生共振。(3)针对管道的连接方式,优先采用焊接连接并确保焊缝质量符合高标准要求,减少法兰连接带来的松动隐患与附加振动。在管道与设备接口处,设计柔性补偿结构,如波纹管补偿器、球形补偿器等,有效吸收因设备振动与热膨胀产生的位移,降低振动传递效率,提升管道系统的动态稳定性^[3]。

4.2 加强安装质量管理

(1)在管道安装过程中,严格控制管道的垂直度与水平度偏差,使用高精度测量仪器进行实时监测与调整,确保管道安装位置精准。对管道焊接作业实施全过程质量管控,焊接人员需具备相应资质,采用符合工艺要求的焊接参数与方法,保证焊缝内部无气孔、夹渣、裂纹等缺陷,通过无损检测技术对焊缝质量进行100%检测,确保焊接接头的强度与密封性。(2)管道支吊架的安装至关重要,需严格按照设计要求精准确定支吊架的安装位置与标高,确保其受力均匀且完全符合设计承载能力。在安装过程中,支吊架与管道、结构的连接必须牢固可靠。若采用高强度螺栓连接,需严格控制螺栓的拧紧力矩,防止出现松动;若采用焊接连接,则要保证焊缝的焊接质量,杜绝瑕疵,避免因支吊架安装不当导致管道受力不均引发振动。(3)在管道系统安装完成后,进行全面的系统检查与调试。检查管道内部是否清洁无杂物,避免因异物堵塞或残留引发的异常振动;对管道系统进行水压试验与气密试验,检验管道的强度与密封性,确保无泄漏现象。对管道系统进行冷态与热态的位移监测与调整,保证管道在运行过程中能够自由伸缩,减少因约束不当产生的附加应力与振动。

4.3 优化运行管理

(1)合理制定汽机运行参数,在满足生产需求的前提下,避免运行参数剧烈波动。通过实时监测汽机的转

速、负荷、温度、压力等参数,分析其与管道振动的相关性,建立运行参数与振动幅值的关联模型,当参数变化可能引发管道振动异常时,提前采取调整措施,使运行参数保持在稳定区间,减少因工况突变导致的管道振动加剧。(2)加强对管道系统的日常巡检与状态监测,采用振动传感器、温度传感器等设备对管道关键部位的振动幅值、频率、温度等参数进行实时在线监测,利用数据分析技术对监测数据进行处理与分析,及时发现管道振动的早期异常征兆。定期对管道支吊架进行检查,查看是否存在松动、变形、断裂等问题,对出现问题的支吊架及时进行修复或更换,保证支吊架的支撑与限位功能正常。(3)当管道系统出现振动异常时,迅速启动应急处理程序。通过改变运行参数、调整管道系统阀门开度等方式,分析振动变化趋势,判断振动原因并采取针对性的处理措施。对于因共振引起的振动,可通过调整汽机运行转速或改变管道结构参数,避开共振频率;对于因流体不稳定引起的振动,优化流体输送参数,改善管道内流体流动状态,有效抑制管道振动,确保汽机管道系统安全稳定运行^[4]。

结语

综上所述,汽机管道振动问题受设计、安装、运行等多因素综合影响。通过振动测量分析、应力分析及流体动力学分析方法,可精准定位振动根源。优化管道设计、加强安装质量管理、完善运行管理策略,是降低管道振动风险的有效途径。本文研究成果对保障汽机管道安全稳定运行具有重要意义,为工业生产中相关问题的解决提供了可借鉴的技术思路与实践经验。

参考文献

- [1]梁凯峰.汽机管道振动防范分析[J].百科论坛电子杂志,2021(12):2109.
- [2]陆勇.火电厂锅炉汽机本体与压力管道的节能保温措施分析[J].科技创新与应用,2020(28):98-99.
- [3]丁振媛,王智慧,陈静.工厂锅炉汽机本体与压力管道的节能保温研究[J].中国化工贸易,2024,16(1):141-143.
- [4]赵家炜.火电厂锅炉汽机本体与压力管道的节能保温[J].清洗世界,2020,36(4):56,58.