高温高压蒸汽管道支吊架设计要点及故障防控

朱建国

核工业工程研究设计有限公司　北京　顺义　101300

摘　要：高温高压蒸汽管道运行工况严苛，支吊架的设计质量与运维状态直接影响管道系统的运行稳定性。本文结合管道工况特性、形变规律及用材要求，系统梳理支吊架基础适配、主体结构的核心设计要点，明确各类支吊架的适配场景与设计标准，规范现场安装全流程管控要求，针对性制定结构形变、受力异常、位移卡滞等常见故障的防控策略，搭建常态化运维防控体系，可为蒸汽管道支吊架规范化设计与安全管控提供参考。

关键词：高温高压；蒸汽管道；支吊架；结构设计；故障防控

引言： 蒸汽管道是热力系统输送介质的核心载体，高温、高压、温度交变的运行环境，会让管道持续产生热形变、应力波动及振动现象。支吊架作为管道的核心支撑构件，承担承载荷载、约束形变、缓冲振动的关键作用，构件适配性与结构完整性，直接关系管道整体运行的安全与稳定。为规避设计缺陷、施工偏差及运维疏漏引发的各类故障，需要梳理标准化设计要点与精细化管控模式，构建完善的故障防控体系，保障管道长期平稳运行。

1 高温高压蒸汽管道支吊架基础适配设计

1.1 工况参数适配设计

高温高压蒸汽管道运行存在持续高温、高内压及温度交变特性。支吊架设计需要对应管道额定运行温度、工作压力划定适配参数区间。设计工作需要覆盖管道稳态运行与启停切换的不同状态，匹配管线荷载变化规律。针对高压介质带来的管线应力变化，设定对应的承载标准与结构约束条件。充分考量高温环境对金属结构性能的影响，预留结构性能衰减对应的设计余量，保障支撑结构适配管线长期连续运行状态[1]。

1.2 管道形变适配设计

蒸汽管道在升温升压与降温泄压过程中会产生规律性热胀冷缩形变。形变位移会改变管线受力点位与支撑受力状态。支吊架设计需要预判管线轴向、径向形变范围，预留充足位移活动空间。根据管线形变方向与形变幅度，确定支架限位方式与活动行程。规避形变受限引发的管线应力堆积，减少结构卡滞、受力偏移等问题，维持管线形变过程的结构稳定性。

1.3 配套材质匹配设计

支吊架材质性能直接决定高温高压工况下的结构耐久能力。材质选用重点考量高温强度、抗蠕变性能与高温抗氧化能力。依托管道运行温度区间筛选主体结构、紧固件、防护配件的用材类型。低温韧性指标需要适配机组启停的温度波动，抵御温度交变引发的材质疲劳。统一配套构件材质性能标准，杜绝不同构件性能差异引发的局部结构失效，适配管线长期运行的材质损耗规律。

1.4 整体结构形式选型设计

不同管线布局、管件结构对应的荷载特性、形变特征与振动状态存在明显差异，需结合现场实际工况合理选型支吊架结构形式。根据管段荷载分布、热位移规律与振动特性，针对性选用刚性、弹性、限位阻尼等不同类型的支吊架。热位移较小的直管段可采用刚性支撑结构，形变与荷载波动较大的管段配置弹性支撑结构，振动频繁、位移无序的管段增设限位阻尼结构。合理规划各类支吊架的布设间距与安装点位，优化全线支撑布局，均匀分散管道集中荷载，理顺受力传递路径，构建适配高温高压管道运行特性的完整支撑体系。

2 高温高压蒸汽管道支吊架主体结构设计要点

2.1 刚性支吊架设计要点

刚性支吊架整体刚度大、结构形变小，主要依靠实体钢结构承担管道竖向荷载，适用于热位移量较小的稳定管段。设计过程需精准核算管道自重、介质重量、保温层重量等全部竖向荷载，科学确定立柱、横梁、支撑底座的截面规格与结构尺寸。严格控制结构自身变形量，保障支撑体系整体稳定。重点优化节点构造，强化焊接与固定连接部位的结构强度，提升构件抗变形、抗承压能力[2]。合理选取布设位置，避开管道热变形集中

区域，减少结构约束对管道自然热形变的干扰，实现稳定静态支撑的设计目标。

2.2 弹性支吊架设计要点

弹性支吊架通过弹性构件承接管道荷载，可自适应管道升降温产生的竖向热位移，有效适配工况动态变化。设计以弹性构件刚度参数为核心依据，匹配高温高压管道的形变幅度与荷载波动规律。精准设定弹性构件预压缩量与有效工作行程，避免极限工况下构件过度拉伸、压缩引发的结构失效。选用耐高温、抗疲劳性能优良的弹性材料，抵御长期高温环境造成的性能衰减。优化吊杆、壳体、调节配件的组合结构，保证荷载传递均匀、受力状态稳定，有效缓冲管道形变产生的应力冲击，维持管线运行过程中的受力平衡。

2.3 限位阻尼支吊架设计要点

限位阻尼支吊架主要用于约束管道异常偏移，抑制机组负荷波动与介质流动引发的管道振动。设计阶段需明确管道允许位移范围，合理设定限位行程与结构间隙，精准管控管道轴向、径向的无序偏移现象。科学匹配阻尼结构参数，有效消耗管道振动动能，降低交变振动对管道本体及支撑结构的疲劳损伤。强化限位构件的结构强度，提升其抵御长期往复形变冲击与磨损的能力。同时保留管道正常热胀冷缩所需的形变空间，杜绝硬性约束导致的应力堆积，保证管线运行姿态稳定可控。

2.4 复合功能支吊架设计要点

复合功能支吊架集成竖向承载、位移适配、振动抑制、位移约束等多重功能，适配阀门组、密集弯管、管线交汇等复杂工况管段。设计过程需综合分析复杂管段的荷载特性、形变规律与振动特征，融合刚性支撑、弹性适配、阻尼限位的结构优势。合理排布各类功能模块的组合形式与安装位置，规避构件之间的结构干涉。统一整体受力传递路径，优化装配结构与调节方式，兼顾静态承载稳定性与动态形变适应性，满足高温高压复杂管段的多样化支撑防护需求，全面提升管线运行安全性。

3 高温高压蒸汽管道支吊架安装工艺管控

3.1 安装点位定位管控

精准的安装点位是保证管道受力均匀、支撑体系合理的基础。定位作业需严格依据设计图纸基准参数开展现场放线标定，结合管线实际走向、管件布置位置及荷载集中区域，精准确定各支吊架的安装基准。严格控制管段跨度与支撑布设间距，避免间距过大导致管段下垂变形。提前检查安装基础的平整度与承载性能，妥善处理基面凹凸、结构破损等缺陷[3]。精准校准水平与竖向安装基准，确保各支撑点位精准对应管道预设受力节点，从源头规避点位偏移引发的受力紊乱与结构变形问题。

3.2 施工工序流程管控

支吊架现场安装需遵循科学合理的施工顺序，严禁工序颠倒、无序交叉作业。施工前期完成基面清理、杂物清理、基准放线等前置工作，为构件装配提供规整的作业条件。优先完成固定类刚性支撑结构施工，后置开展可调、功能性支吊架的装配作业。针对管件密集、结构复杂的管段，细化施工步骤，明确各工序操作标准与质量要求，坚持上道工序验收合格后方可开展下道施工。通过规范工序管理，规避施工隐患，保障整体施工质量稳定可控。

3.3 装配精度标准管控

装配精度直接决定支吊架长期运行的适配性与稳定性，施工全过程需落实精细化精度管控。严格控制支架主体、吊杆构件的安装垂直度与水平度，将安装偏差控制在合理允许范围内。规范各类构件的装配角度，杜绝倾斜安装改变管道原有受力方向。精准核对弹性、限位类功能构件的预留行程，充分预留管道热胀冷缩的形变余量。严控构件对接缝隙与安装位置偏差，减少误差累积引发的结构隐患，保证整套支撑结构装配规整、受力稳定。

3.4 连接与焊接工艺管控

连接节点与焊接部位是支吊架的核心受力位置，施工质量直接决定结构整体承载能力。螺栓装配需按照规范顺序与紧固力度作业，保证连接部位贴合紧密、紧固可靠，避免后期松动晃动。焊接作业根据构件材质匹配对应焊接工艺，严格管控焊缝成型、焊层厚度等关键质量指标。施焊前彻底清除焊接区域油污、氧化层及杂质，减少气孔、夹渣、未焊透等工艺缺陷。焊接完成后全面排查焊缝成型质量与螺栓紧固状态，补强薄弱受力节点，提升整体结构的承载能力与抗变形能力。

3.5 安装后整体调校管控

全部安装施工完成后，需对全线支吊架开展系统性整体调校。逐段核查各类支吊架的装配状态，统一整体承载姿态与受力状态。对存在位置偏移、受力偏载、行程不足的构件进行精准微调，全面修正装配偏差。重新校准弹性支吊架、限位支吊架的初始工作状态，确保功

能构件处于有效工作区间。整体排查支撑体系与管道形变、荷载工况的适配性，解决局部受力不均、热形变受限等问题，使整套支撑系统完全适配高温高压管道长期运行工况。

4 高温高压蒸汽管道支吊架故障防控体系

4.1 结构形变故障防控

高温高压管道长期运行产生的持续高温作用，易使支吊架钢结构产生高温蠕变、弯曲、沉降等形变缺陷。此类故障多源于设计承载余量不足、材料耐热蠕变性能偏弱或长期工况过载。防控工作需从设计源头合理匹配结构承载余量，适配管道全周期温度、压力变化工况。优选高温蠕变性能优良的结构用材，降低高温环境对结构形态的影响。日常运维中定期检查支架立柱、横梁、吊杆的外观形态，及时识别微变形、下沉、弯曲等早期异常[4]。对存在形变趋势的构件及时调整承载状态、更换性能衰减部件，阻止微小形变发展为结构性故障，保障支撑体系结构完整。

4.2 受力异常故障防控

支吊架受力失衡是引发管道局部应力集中、结构损伤的重要原因。管线荷载分布不均、现场装配偏差、基础后期沉降偏移，均会破坏原有受力平衡状态。需建立常态化受力核查机制，持续监测各支撑点位的承载状态。重点关注阀门、弯管、三通等荷载集中区域的支撑工况，严防单点过载承压。针对机组启停、负荷波动带来的工况变化，提前调整支撑结构受力状态，削弱工况变动对支撑体系的干扰。及时整改偏载、虚载、过载等异常问题，保证全线支吊架受力均匀、承载稳定，规避应力堆积引发的各类结构损伤。

4.3 位移卡滞故障防控

管道冷热循环产生的往复热位移，易造成支吊架活动部位卡顿、行程受阻，约束管道正常形变，进而大幅提升管线内部应力，威胁设备运行安全。位移卡滞防控需重点排查滑动、弹性、导向类支吊架的活动区域，及时清理堆积杂物、锈蚀产物与硬质污垢。定期检查活动构件配合间隙与有效行程，打磨卡顿部位，恢复结构自由伸缩与位移能力。严格把控安装阶段的位移余量预留，杜绝装配过紧、限位过度等施工问题。结合季节温度变化与机组运行频次，定期调试活动结构，保障管道热胀冷缩过程顺畅无阻滞。

4.4 构件损伤松动故障防控

支吊架连接件、紧固件长期承受温度交变与振动冲击，易出现螺栓松弛、焊缝开裂、构件磨损等损伤问题，逐步降低节点连接可靠性，破坏支撑体系整体性。需常态化开展紧固件排查复紧作业，加固松动装配部位。细致检查焊缝、连接节点、管道抱箍等关键部位的完整度，及时识别细微裂纹、磨损、锈蚀等隐性缺陷。对磨损超标、性能衰减、存在结构性缺陷的构件及时修复更换，严格把控修复与更换工艺，保证新老构件适配良好、连接可靠，杜绝连接失效引发的次生故障。

4.5 日常运维常态化防控

常态化运维管控是延缓支吊架性能衰减、稳定管道运行工况的关键举措。需建立全周期运维管控机制，落实分区、分级、分频次的巡检制度，实现所有支撑点位全覆盖检查。持续记录支吊架结构形态、连接状态、活动性能与受力状态的动态变化，形成连续完整的运维管控体系。在机组启停、负荷调整、检修复工等关键工况节点，适当增加专项检查频次，及时捕捉阶段性隐患[5]。结合设备运行年限开展预防性养护，提前处置轻微缺陷与性能衰减问题，从源头降低故障发生概率，保障高温高压蒸汽管道支吊架系统长期安全稳定运行。

结束语

支吊架系统的可靠运行依托科学的结构设计、严谨的施工管控以及常态化的运维防护。从源头优化适配设计与结构选型，落实安装全工序精度管控，针对性处置各类典型故障隐患，能够有效规避管道受力失衡、形变受限、结构损伤等问题。多维度的技术管控方式，可全面提升高温高压蒸汽管道支吊架系统的适配性与稳定性，为热力管道系统安全、连续运行提供坚实的技术保障。

参考文献

[1] 刘超. 石化装置高温蒸汽管道应力优化设计研究 [J]. 石油化工建设,2026,48(4):54-56.

[2] 张良斌. 高温高压蒸汽管道支吊架失效预防结构设计 [J]. 产品设计,2025(18):154-156.

[3] 屠博, 李立瑶, 程勇明, 等. 高温高压蒸汽管道应力分析及优化调整 [J]. 节能,2025,44(4):142-144.

[4] 杨志宽, 张迪, 张郑磊, 等. 高温再热蒸汽管道膨胀异常原因分析及治理 [J]. 今日制造与升级,2024(5):139-141.

[5] 林庆宇, 李勇军, 黄庆华, 等. 350MW 超临界机组高温再热蒸汽管道下沉原因分析及治理 [J]. 锅炉技术,2024,55(2):53-59.