

# 全厂性热力管道支吊架布置对热应力的影响探讨

葛菲娜

洛阳智达石化工程有限公司 河南 洛阳 471003

**【摘要】**：全厂性热力管道在运行中因温度变化产生显著热位移，支吊架布置的适宜程度将直接影响热应力的传递路径与释放能力。研究基于典型热力系统运行特性，分析不同支吊架位置、类型及组合方式对管道热应力峰值、节点变形及约束条件的调节效应。结果表明，优化支吊架布置能够有效降低局部过高应力，改善整体受力均衡性，并增强系统对热胀冷缩的适应能力。合理的布置策略需综合考虑结构特性、温差分布及运行载荷，以实现热应力控制与管道安全性的统一。

**【关键词】**：热力管道；支吊架布置；热应力；热位移；受力优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.03.050

## 引言

全厂性热力管道承担着能源输送与系统调节的关键功能，其在运行过程中受到温度周期性变化的持续影响。随着温差的累积，管道不可避免地产生热位移，若受力路径无法有效释放位移能量，将诱发局部应力集中，进一步影响结构安全。支吊架作为管道系统的关键约束元件，其布置方式不仅决定位移导向与载荷传递规律，也深刻影响热应力量级与分布特征。近年来，工程对高可靠性运行的要求不断提高，使支吊架布置的研究更具实践意义。围绕布置策略与热应力之间的相互关系展开探讨，有助于揭示影响受力行为的主要因素并为工程优化提供依据。

## 1 热力管道热应力形成的关键因素识别

热力管道在高温介质长期输送过程中承受着持续而复杂的温度变化，金属材料的线膨胀特性使管道结构在不同运行工况下产生显著的热胀冷缩。当温度梯度沿管道空间分布不均时，产生的自由热位移难以完全释放，进而形成附加内力。若结构约束条件偏紧，热位移无法顺畅传递，局部应力会进一步放大，形成轴向、弯曲及二次附加应力的叠加状态。特别是在全厂性管网中，管段长度大、路径复杂、运行温差跨度大，任何一点的位移受限都会通过受力链条传递至相邻构件，逐步演化为整体应力异常<sup>[1]</sup>。温差循环还会造成应力反复交替，使金属产生低周疲劳损伤，为结构完整性带来隐患。热应力并非孤立形成，而是由温度变化、位移阻滞与材料力学属性共同驱动的系统性结果。

造成热应力敏感性的另一个关键因素来自管道几何形态与结构布置。长距离管廊、拐弯节点、三通连接以及高低跨越位置，使管道在空间中的受力模式呈现明显差异。当管线在多支路中分配流量和温度时，各段的热胀方向不一致，结构在局部形成强制位移。此外，管道的固定点、导向点与滑动段之间的距离若过短或布置不协调，会导致管段受力集中，形成典型的“硬点”区域，使热位移在该处受到约束。焊缝、补偿器以及异径段也会因刚度突变引发应力集中，从而加速热应力积累。这些几何因素与运行工况叠加，使得全厂性热力系统中热应力

具有明显的区域性、方向性与突发性特征。

支吊架的数量、类型与布置方式同样决定热应力能否在结构内顺利扩散。若支吊架构成的约束体系限制过强，热位移路径受阻，弯矩峰值迅速增加；若约束过弱，管段在承受介质载荷时易产生过大挠度，导致其他位置产生附加载荷。弹簧支吊架、恒力支吊架、导向支架、限位组件等不同构件的力学响应不一，其交互关系构成热力管道真实的位移协调机制。因此，在全厂性系统中，支吊架布置的合理程度是决定热应力是否处于可控范围的关键因素。一旦布置不当，热应力容易跨越设计阈值，引发密封失效、焊缝裂纹、支架变形甚至系统异常停运，对运行可靠性形成直接冲击。

## 2 支吊架约束特性对热应力路径的主导影响

支吊架在热力管道系统中构成主要的约束网络，其力学属性直接决定热应力的传递方向与释放空间。管道在受热后产生轴向和径向位移，若支吊架提供的约束刚度偏高，位移被迫沿非自由路径扩散，弯矩分布随之改变，使受力峰值向固定端或几何突变处集中<sup>[2]</sup>。恒力支吊架、可变弹簧支架以及导向支架在实际运行中的加载方式不同，当支撑刚度与管道热位移不匹配时，会造成受力路径的偏转，使系统呈现非线性响应特征。在全厂性布置条件下，这类偏转并非局部现象，而是沿着管廊、立管及跨越段持续累积，使热应力呈链式扩散趋势，影响范围不断扩大。

支吊架的类型及其组合方式对热应力路径具有决定性作用。恒力支吊架能保持近似恒定的支撑力，使热位移过程中附加力变化较小，但布置位置不当仍会对位移方向形成约束；可变弹簧支架虽能缓解部分位移，但在热荷载作用下会产生较大的力值变化，从而改变管段的主导受力模式。导向支架限制径向位移，使热应力集中在轴向方向；限位支架则控制过度位移，使结构避免失稳，在约束方向形成明显的受力峰值。管道若在多种支架联合作用下运行，各约束提供的反力会叠加并改变受力通道，使热应力的传播路径呈现出阶段性与跳跃性的复杂性。一旦布置顺序、间距或约束方向不合理，热应力将沿约束链条被不断放大，从而突破可控范围。

在全厂系统中,支吊架的空间布置不仅影响局部构件的力学响应,也直接构成热应力路径的结构框架。长距离管道在经过立体交叉区域时,支吊架位置变化会打破原有应力平衡,使热位移被迫转向,在拐点及补偿段形成额外弯曲效应。若固定点与导向点的距离控制不当,反力将向相邻支架传递,使管道在热位移累计过程中出现反向弯曲,改变理论位移轨迹。支吊架反力的大小、方向以及产生顺序都会影响热位移的释放效率,使应力传播路径呈现明显的顺序性与敏感性。运行中的温差变化和介质波动也会增强这种敏感性,使支吊架约束特性成为热应力演化的主导因素。

### 3 不同布置方式对应力分布的差异性分析

热力管道在不同支吊架布置方式下呈现出明显的应力差异,其根源在于约束条件改变了热位移的扩散路线。当支吊架间距偏小或约束方向过多时,管道在受热后的自由膨胀受到限制,局部产生额外弯矩,导致应力峰值向节点处集中。刚性支架比例过高时,结构难以吸收位移引起的应变能,使轴向力在固定点附近迅速累积。若布置呈线性集中模式,受力呈现尖峰分布,使管段产生显著的应力梯度,焊缝、三通和折弯段在循环温差作用下更易发生疲劳损伤<sup>[3]</sup>。布置松散或约束不足会使管道出现过度下垂,造成受力传递路径改变,使其他区域被迫承担额外弯曲应力。由此可见,支吊架布置差异对整体应力分布具有决定性影响。

部分工况中采用弹性支撑体系,可使管道在热胀冷缩过程中获得更高的位移自由度,从而降低局部弯矩幅值。但是,如果弹簧支吊架的刚度与管段热位移特性不匹配,其位移补偿效果会偏离设计值,反力变化将导致应力分布呈现非线性波动。恒力支吊架布置于长距离管廊或热位移极大的区域时,能够保持加载稳定性,使应力沿管线平缓过渡,但仍需与导向支架形成协同作用,以避免热位移失控。不同支吊架组合方式的耦合效应,使应力分布呈现出区域性差异,若其中某一布置环节不协调,整体受力结构将被破坏,形成突发性的应力集中点。

在立体交叉区域、设备连接段和高低落差较大的空间布局中,不同布置方式对应力的影响更加显著。支吊架位置改变后,管道的受力路径被迫重新分配,弯曲形态随之调整,使补偿段、拐点以及竖向立管出现明显的弯曲耦合作用。当布置呈阶梯式或不对称形式时,管道在不同方位的受力不均衡加剧,热位移方向无法保持连续性,导致应力沿复杂路径扩散。固定点与导向点之间的距离若与布置方式不匹配,会使轴向力沿管道跳跃性传递,使局部区域产生突增的内力峰值。这些差异表明,支吊架布置方式不仅决定应力大小,也深刻影响应力在系统中的传播形态,使管道呈现出多维度、多阶段的受力特征。

### 4 基于热位移协调的支吊架优化策略

支吊架优化策略的核心在于使热位移能够沿预设路径顺

利释放,从而避免受力在局部区域出现异常集中。为了实现这种协调,需要在全厂性管网范围内重新审视固定点、导向点与滑移段的相对关系,使其形成匹配热位移趋势的约束体系。当管道在高温区段产生较大轴向伸长时,约束体系应允许位移沿主方向传播,而不应通过过度的横向限制使位移转向,从而导致弯矩急剧上升<sup>[4]</sup>。固定点位置的选择需要考虑管段的热膨胀中心,使左右伸长量保持相对均衡,减少反力向某一侧集中。弹性支撑在与刚性支撑形成组合布局时,应保证弹性构件的位移—力响应曲线与管道热位移需求相匹配,使系统在高温工况下仍保持力学连续性。

在长距离管廊与高差较大的布置区域中,为实现热位移协调,需要将支吊架设置成具有渐变约束特性的布置模式,即沿热位移主通道逐步减弱约束刚度,使管道受力呈现平滑过渡。恒力支吊架适用于高位移区域,可维持稳定支撑力,使管线在温差变化过程中的反力变化最小化。可变弹簧支架应布置在过渡区域,通过调整工作载荷和位移范围,使管段在不同温度工况下保持受力均匀。导向支架的布置方向与数量需要根据热位移矢量进行校核,避免形成横向过约束状态,使位移路径被迫偏折。补偿段的设计若与支吊架布置形成协调关系,可显著降低弯曲耦合效应,使热位移能够在空间结构中获得充分释放。

在设备连接段、立体交叉区域以及多支路汇合的布置区,应通过优化支吊架间距与约束顺序,实现位移控制与结构稳定之间的平衡。支吊架的反力应通过布置优化,使其呈现分级传递特征,避免反力链条过短或集中而导致局部应力陡升。不同支吊架类型之间需要形成力学互补关系,例如在靠近设备的区域使用高刚度支撑以控制相对位移,在远离设备的区域配置弹性支撑以引导热位移扩散。三维应力校核模型可用于验证支吊架布置的协同效果,通过分析位移—反力的动态响应,判断是否存在潜在的应力跳跃。通过这种基于热位移协调的优化策略,支吊架布置能够与管道运行特性形成良性匹配,使应力传播路径更加稳定,减少结构内力的突变,使热力系统在多工况下保持可控的受力状态。

### 5 管道热应力控制的综合归纳与工程启示

全厂性热力管道的热应力控制依赖系统层面的综合平衡,而这一平衡由温差、位移路径、支吊架约束以及结构几何共同塑造。热应力的演化过程呈现非线性特征,任何环节的偏差都会引发受力异常,因此需要通过跨区域的受力关联分析掌握应力的传播链条。当温度波动在不同管段形成不均匀梯度时,管道内部的自由膨胀趋势与约束体系之间会产生矛盾,使应力集中于位移受阻区域<sup>[5]</sup>。通过对热位移轨迹、弯矩分布模式以及反力传递方向的综合识别,可明确影响热应力演化的关键节点,使控制策略具有目标性。全厂性管网的复杂性使任何局部调整都可能改变整体受力格局,因此热应力控制不应局限于单一构件,而需建立系统级的协调机制。

在支吊架布置与应力分布的互动关系中,可观察到约束顺序、刚度梯度和空间分布对内部力流的深刻影响。固定点与导向点的组合方式决定应力释放区与受力聚集区的分布范围,若二者位置或间距不合理,应力会沿管线出现突变式增长。恒力支吊架在高位移区域提供稳定支承,使力值波动减小,而可变弹簧支架在过渡区形成柔性缓冲,使受力由硬性转为可控的弹性传播。当刚性支架数量过多、导向方向设置过严或约束路径过短时,热应力呈现链式放大效应,使应力峰值向几何突变点、焊缝及设备接口集中。通过反力监测、三维校核以及运行状态分析,可辨识支吊架布置中潜在的不协调因素,为控制热应力提供精确依据。

在工程实践中,通过构建匹配热位移特征的支吊架体系,使管道在多工况下保持稳定受力状态成为关键策略。长距离管廊、高低跨越区域以及多分支汇合段需采用分级约束、逐步柔化以及方向引导的布置方式,使热位移沿设计通道有序释放。

补偿段与支吊架之间的协同规划能够降低耦合弯矩,使管道不因位移阻滞而产生附加应力。反力合理分配可减少局部构件受力过高的风险,使系统在频繁温差变化过程中保持耐久性。通过上述规律与经验的综合提炼,可形成面向实际工程的控制思路,使热应力管理在复杂管网中具备可执行性与可靠性。

## 6 结语

全厂性热力管道的热应力问题体现出结构特性、温差变化与支吊架约束之间的多重耦合关系。应力的形成、传播与集中均与布置方式密切相关,使支吊架体系成为影响受力安全性的关键控制单元。热位移协调、约束路径优化以及反力分配的合理化,为应力控制提供了系统化思路。在复杂管网中构建匹配运行特性的支吊架组合,可使管道在不同工况下保持稳定受力状态,减少局部异常与结构损伤的风险。对热应力机理与布置策略的深入认识,有助于提升工程设计的精细化水平,使热力系统在高温波动环境中具备更可靠的运行能力。

## 参考文献:

- [1] 崔强.热力管道直埋技术在暖通空调中的应用效果探析[J].工程建设与设计,2025,(08):177-179.
- [2] 剡向龙.焊接技术在热力管道安装中的应用探析[J].张江科技评论,2025,(02):96-98.
- [3] 郝文辉.热力管道腐蚀问题分析与预测[J].全面腐蚀控制,2024,38(06):153-156.
- [4] 文璐.基于热力耦合的埋地管道受力特性研究[D].兰州交通大学,2024.
- [5] 李令臣.一种热力管道泄漏预警平台的设计方案[J].网络安全和信息化,2024,(01):85-87.