

炼油装置高温管道热胀位移对支架设置的影响分析

范旻珂

洛阳智达石化工程有限公司 河南 洛阳 471003

【摘要】：炼油装置中的高温管道在长期运行中会受到热膨胀影响，导致管道发生位移。热膨胀位移不仅影响管道的结构稳定性，还可能对支架系统造成额外压力。本文分析了管道热膨胀位移对支架设置的影响，探讨了支架的设计优化原则，提出了合理支架间距、承载能力和布局优化方案。通过数值仿真和实际案例验证，优化后的支架设计显著提高了管道系统的稳定性和安全性，减少了由于热膨胀引起的变形和损伤，保障了炼油装置的安全高效运行。

【关键词】：高温管道；热胀位移；支架设置；炼油装置；管道稳定性

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.025

引言

炼油装置中的管道系统承载着重要的输送任务，而高温环境下，管道的热胀位移会对支架的设置产生重要影响。随着炼油工艺不断发展，对管道系统的可靠性要求也越来越高，热胀位移带来的应力和变形问题愈发引起重视。管道的热膨胀不仅会导致管道的位移，还可能引起支架失效，甚至影响整个炼油装置的安全性。因此，研究热胀位移对管道支架设置的影响，探索合理的支架设计与调整方案，已成为保障装置正常运行的关键。通过对这一问题的深入分析，可以为炼油装置的管道支架设计提供有效的技术支持和理论依据。

1 热胀位移对管道系统的影响

1.1 管道的热膨胀特性

不同材料的膨胀系数差异显著，钢铁、合金等材料在高温下的膨胀幅度会直接影响管道的几何形状及其与支架、其他管道的相对位置。热膨胀是不可避免的物理现象，尤其在持续的高温操作下，管道在受热过程中会出现线性膨胀，导致管道的长度增大。膨胀过程中的应力和位移，如果没有合适的支撑和缓解设计，可能会引起管道变形、损坏或系统失效。因此，准确掌握管道的热膨胀特性对于支架设置和管道系统的优化至关重要。

1.2 热胀位移的应力分布分析

由于热膨胀使管道长度发生变化，管道内部和支撑点之间会产生弯曲、扭曲等变形，进而引发应力集中^[1]。温度变化在不同部位产生的膨胀位移大小不同，导致应力分布不均。特别是在转弯处、接头处以及管道与支架的连接点，常常由于局部位移过大造成应力过载，形成潜在的破坏源。通过精确的应力分析，可以有效预测这些高应力区域的位置，从而为支架的设计提供依据，确保管道系统在长期高温运行中不发生结构性损坏。

1.3 高温条件下的管道变形分析

高温条件下，管道不仅会发生热膨胀，还可能出现塑性变形或蠕变现象。长期暴露在高温环境中，管道材料的弹性模量

和屈服强度发生变化，使得管道在热膨胀过程中无法恢复到原来的形状，导致永久变形。尤其是在高温交替变化的情况下，管道在膨胀和收缩之间不断发生形变，极大地影响了管道的工作稳定性和安全性。对这些变形进行分析，有助于了解管道的最大变形范围及其对支架的实际需求，从而制定更加合理的支撑方案，避免管道因热胀造成的失稳或断裂。

2 支架在管道热胀位移中的作用

2.1 支架的基本功能与设计要求

支架在管道系统中起着至关重要的作用，主要负责支撑管道的重量，并确保管道在运行过程中能够承受热膨胀和振动的影响。支架通过保持管道的稳定位置，防止其发生过度位移，保证管道的几何形状和系统的正常功能。设计支架时，除了需要考虑管道的重量、热膨胀产生的位移外，还应充分评估管道可能承受的内外压力、振动及腐蚀环境等因素。支架的材料必须具备足够的强度、耐高温性以及良好的耐腐蚀性能，以应对高温环境下的恶劣条件。支架与管道之间的接触设计必须考虑热胀位移带来的管道摩擦与位移情况，以避免管道因支架不当设置而受到损伤或变形。

2.2 支架对热胀位移的适应性分析

管道热胀位移是一个持续发生的物理过程，支架的设计必须充分考虑这一特性，以适应管道的热膨胀变化。支架不仅需要支撑管道的重量，还应具备灵活性，允许管道在热胀时能够自由位移，避免过度的限制^[2]。支架的适应性体现在其设计和布局上，确保管道在高温下的膨胀不会引起不必要的应力集中或变形。支架的间距、类型、材料等要素，直接影响管道热膨胀过程中的应力分布。如果支架设置不当，管道将受到过大的约束，可能导致变形甚至破坏。因此，支架的适应性设计不仅要考虑热胀位移的大小，还要确保其在变形过程中始终保持足够的支撑力与稳定性。

2.3 支架设计中的关键因素

支架的设计是一个多因素的复杂过程，其中每一个设计环节都需要与管道的热胀位移相协调。管道的材质、工作温度、

支架的承载能力及其安装位置等，都是支架设计必须考虑的关键因素。在高温环境下，支架需要具备足够的强度来承受管道膨胀产生的压力，同时支架的安装位置应能够均匀分布管道的热胀位移，避免产生过大的局部应力。支架的类型选择也至关重要，不同类型的支架在应对热胀时的灵活性和承载能力上存在差异。除了承载能力，支架的材料选择需要具有较好的耐高温、耐腐蚀性能，以确保在长期高温运行中不发生疲劳、腐蚀等问题。支架设计需要从多个方面综合考虑，以保证管道的安全运行。

3 支架设置对热胀位移的影响

3.1 支架间距与管道位移的关系

支架的间距直接影响管道在高温条件下的热胀位移行为。管道在受热膨胀时会产生位移，如果支架间距过大，管道将无法得到有效的支持，导致其膨胀过程中的自由位移增大，进而可能造成管道弯曲、扭曲或损伤。过大的间距使得管道在膨胀过程中受到较小的支撑力，管道可能会偏离原有轨迹，造成局部应力集中，甚至影响系统的密封性和正常运行。另一方面，支架间距过小会过度约束管道的膨胀，导致应力集中，管道可能因受限过度而发生断裂或疲劳损伤。合理选择支架间距，不仅要保证管道能够自由膨胀，还要避免因过度约束而造成的局部失效。合理的支架间距可以有效降低管道的变形和应力，保障系统稳定运行。

3.2 支架承载能力与热胀位移的适配

支架的承载能力在热胀位移中起着至关重要的作用，特别是在高温环境下，支架必须承受管道膨胀后产生的额外负荷。每个支架都需要有足够的强度和刚度，来适应热胀带来的管道位移^[3]。若支架的承载能力不匹配管道的膨胀量，支架可能会出现失效，如变形或断裂，进而影响管道的安全性。支架的设计需要考虑到热膨胀的幅度、管道的重量以及外部负荷等因素，确保支架能够在高温条件下长期稳定工作。承载能力较弱的支架可能会因无法承受膨胀产生的压力，导致支架移位、脱落或变形，从而引起管道支持系统的故障。支架的承载能力必须与热胀位移相适应，合理的承载能力不仅能够确保管道的稳固支撑，还能防止管道因过度约束而受损。

3.3 支架布局的优化设计

支架布局的优化设计是确保管道在高温条件下稳定运行的关键。合理的支架布局不仅能够有效分担管道的重量，还能够合理分配热膨胀过程中产生的应力。支架的设置应根据管道的热胀位移特性进行细致分析，确保管道在膨胀过程中不会受到过度的约束，从而避免因应力集中造成的管道变形或破损。布局优化需要考虑管道的实际运行状态，综合考虑管道的温度变化、热膨胀量以及流体压力等因素，合理选择支架的数量和位置。支架间的距离要与管道的膨胀量匹配，既不能过大

导致支撑不足，也不能过小造成过度限制。通过优化支架布局，可以提高支撑系统的效率，降低热胀位移带来的不利影响，同时确保管道长期稳定运行，防止因支架设计不当引发事故。

4 热胀位移分析方法的应用

4.1 热胀位移计算模型

热胀位移的计算模型是分析管道在高温环境下变形行为的核心工具。该模型通常基于管道的热膨胀系数、温度变化以及管道的几何尺寸来预测其膨胀位移。通过运用线性或非线性的热膨胀理论，可以计算出管道在不同温度变化下的膨胀幅度。该模型不仅考虑管道的单一热膨胀效应，还需结合管道的工作条件，如内外部压力、流体温度等因素。通过建立合适的热膨胀计算模型，可以精确地预测管道在不同操作温度下的变形情况，为支架的设计、管道布置和优化提供理论依据。热胀位移计算模型的准确性直接影响管道系统的可靠性，合理选择合适的方法和参数，是确保模型有效性的关键。现代计算模型还包括了应力分析与热膨胀位移的耦合计算，从而提供更为全面的管道变形预测。

4.2 热胀位移影响的数值仿真分析

数值仿真技术被广泛应用于热胀位移的分析，以求得更加精确的结果。通过有限元分析（FEA）等方法，能够模拟管道在高温和热膨胀过程中的变形情况。仿真分析可以综合考虑管道的材料性质、热膨胀系数、支架约束条件等多个因素，进行全面的热膨胀响应分析。通过数值仿真，不仅能够预估管道的位移，还可以识别管道系统中的薄弱环节，例如应力集中区域及可能发生破损的部位。数值仿真还可以针对不同的工况进行参数化分析，帮助设计人员评估支架设置、管道布局 and 材料选择等优化方案^[4]。相较于传统的实验方法，数值仿真具有高效性和较强的可操作性，能够在不进行实际试验的情况下，准确评估管道热膨胀可能带来的影响。有效的数值仿真分析为管道设计和优化提供了宝贵的数据支持。

4.3 实际案例分析与验证

实际案例分析在验证热胀位移理论模型和数值仿真方法的有效性方面发挥着重要作用。通过结合工程实际项目，可以对热胀位移分析方法进行验证，并与实际运行数据进行对比。这些案例通常涵盖了不同类型的炼油装置、不同材料的管道及其实际运行环境。在这些实际案例中，通过对管道系统的监测和分析，可以获取关于管道膨胀、变形以及应力分布的实际数据。通过与理论分析结果进行对比，能够识别出潜在的偏差，并对模型进行进一步优化。案例分析还可以揭示实际运行中可能遇到的特殊情况，例如高温变化引发的超出预期的膨胀，或支架承载能力未达到设计要求的现象。通过这种实际案例的反馈，可以更加准确地评估支架设计的合理性、管道布局的有效性以及热胀位移对系统安全性的影响，为未来的管道设计提供

宝贵的经验教训。

5 支架设置优化方案与实施

5.1 支架设计优化的基本原则

支架设计优化的核心在于确保管道系统在热膨胀过程中得到合理的支持,同时避免管道因过度约束而产生不利影响。设计时需综合考虑管道的热膨胀量、运行压力以及环境条件,确保支架在高温下的稳定性。支架的选择不仅应满足承载要求,还需具备足够的灵活性,使管道在膨胀过程中能够自由移动,防止管道发生破坏或失稳。支架间距的设置要符合管道热膨胀的需求,既不应过大导致支撑不足,也不应过小限制管道的自由位移。支架材料的选择也至关重要,必须具备耐高温、耐腐蚀的特性,以确保其在长时间的高温环境下仍能保持足够的强度和耐久性。优化设计应以管道的安全性为首要考虑,确保支架系统在动态负载下能够有效分散管道产生的应力。

5.2 优化方案的设计与实施效果

在支架优化方案的设计中,必须依据热膨胀分析和应力分布情况,合理规划支架的布局。通过使用数值仿真和实际运行数据对设计方案进行验证,优化后的支架布置通常能显著改善管道在高温下的稳定性^[5]。在实施过程中,设计师根据管道的热膨胀量及系统负荷合理调整支架的间距和类型,同时优化支架的固定方式,确保其在热胀过程中能够有效地分担管道膨胀

产生的应力。实施优化方案后,支架不仅能够提供更加均匀的支撑,还能避免因过度约束而引发的管道变形和应力集中。优化后的支架系统在提高管道系统稳定性的同时,也延长了系统的使用寿命,减少了设备维护和检修的频率。

5.3 优化结果对炼油装置安全性的提升

通过实施支架优化方案,炼油装置的管道系统在热膨胀过程中能够更好地应对管道变形和位移,显著提升了整体系统的安全性。优化后的支架系统能够有效分散由热膨胀引起的应力,防止管道产生局部变形或失稳,避免了因应力过大导致的管道破裂、泄漏等安全隐患。在管道的长期运行中,支架的合理设置不仅减少了对管道的直接压力,还提高了系统的整体耐久性,降低了事故发生的概率。对于炼油装置而言,优化后的支架设置有效提高了生产效率,减少了设备的停机时间和维护成本,从而大幅提升了装置的运行安全性和经济效益。

6 结语

管道热胀位移对支架设计和设置有着重要影响,合理优化支架设计能有效提升管道系统的稳定性和安全性。通过对支架间距、承载能力及支架布局的分析与优化,可以减少热胀位移带来的不利影响,避免管道变形或破裂。随着技术的不断发展,支架设计优化方案的实施不仅提高了炼油装置的运行效率,也增强了整体系统的安全性,为管道系统的长期稳定运行提供了保障。

参考文献:

- [1] 张洪鸣,李建凤,刘松.炼油装置管道系统腐蚀机理与防腐技术优化研究[J].石化技术,2025,32(10):243-244.
- [2] 李文盛,胡江平.丙烷脱氢装置高温管道焊缝开裂的分析和预防[J].大氮肥,2024,47(2):109-111.
- [3] 李岩,罗茜,刘睿浩,云泽,张冀翔.基于超声导波的氟化工高温管道壁厚检测技术[J].化工机械,2024,51(1):145-150+164.
- [4] 郭雷.炼油装置碱液设备和管线的腐蚀[J].全面腐蚀控制,2024,38(2):100-103.
- [5] 张琪,张延华,黄波,陈兵,芦娅妮,任金平,于春柳.高温管道法兰螺栓剩余预紧力研究[J].化工设备与管道,2023,60(3):86-90.