

化工管道支吊架设计的优化方法与工程实践

逢发 周红星 刘非凡（中石油华东设计院有限公司，山东 青岛 266000）

摘要：化工管道支吊架是化工管道系统里的重要构成部分，在管道安全运行、应力控制以及设备保护方面发挥着关键作用，本文深入研究化工管道支吊架设计的优化手段，结合工程实践分析常见问题，并提出有针对性的解决办法，目的是提高化工管道支吊架的设计水准，保障化工管道系统稳定且可靠地运行。

关键词：化工管道；支吊架设计；优化方法；工程实践

中图分类号：TM345 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)029-0076-03

Optimization Methods and Engineering Practice for the Design of Piping Supports and Hangers in Chemical Engineering

Pang Fa , Zhou Hongxing , Liu Feifan (East China Design Institute of CNPC, Qingdao Shandong 266000, China)

Abstract: Chemical pipeline supports and hangers are critical components in chemical pipeline systems, playing a vital role in ensuring operational safety, stress control, and equipment protection. This study explores optimization strategies for their design, analyzes common issues through engineering practice, and proposes targeted solutions. The aim is to enhance the design standards of these supports and hangers, thereby guaranteeing stable and reliable operation of chemical pipeline systems.

Key words: chemical pipeline; support and hanger design; optimization method; engineering practice

在化工生产流程里，管道系统承担着各类介质的输送任务，化工管道支吊架作为支撑与固定管道的结构，其设计的合理性直接影响管道系统的安全、稳定与经济性能，支吊架设计一旦不合理，容易导致管道应力集中、振动加剧、位移超量等状况，进而引发管道泄漏、破裂等事故，这不仅会阻碍生产的正常运行，还可能对人员安全和环境形成严重危害，随着化工行业的不断发展，管道支吊架设计面临着更为严苛的要求，如何对设计方法加以优化，使其更能适应复杂的工程环境，已成为亟待解决的问题。

1 化工管道支吊架设计的基本原则

1.1 承载能力原则

支吊架需有足够承载能力，可承担管道自身重量、介质重量、保温层重量及各类附加荷载，像风力、地震力、管道内压力形成的推力等，设计过程中，要精准计算各类荷载，依据材料的力学性能和强度等级，恰当挑选支吊架的结构形式与材料规格，保障支吊架在不同工况下都能安全可靠地运行。

1.2 限位与导向原则

为控制管道的位移和变形，支吊架应发挥限位和导向功效，限位支吊架能限制管道在特定方向的位移，避免管道因位移过大与周围设备或结构产生碰撞，导向支吊架则引导管道按预定方向位移，确保管道在热胀冷缩等情形下能自由伸缩，同时防止管道出现扭曲或弯曲变形。

1.3 防振与减振原则

化工管道运行时可能受到各类振动源影响，比如

泵、压缩机等设备的振动传递，以及流体不稳定流动引发的振动，支吊架应具备一定防振和减振作用，通过合理设置减振装置，如弹簧减振器、橡胶减振垫等，减轻振动对管道系统的影响，降低管道疲劳损坏的可能性。

1.4 便于安装与维护原则

支吊架设计应兼顾安装和维护的便捷性，支吊架的结构形式要简单易懂，方便施工人员安装和拆卸，此外，支吊架的布置应利于检查和维修，确保管道系统运行时能及时发现并处理支吊架的故障，保障其正常运转。

2 化工管道支吊架设计的优化方法

2.1 荷载计算的优化

2.1.1 精确计算管道自重

管道自身重量是支吊架需承受的基本荷载之一，计算管道自重时，除管道本身的重量外，还得纳入管内介质的重量，以及保温层、防腐层等附加重量，针对不同材质与规格的管道，要依据其密度和尺寸来精确计算重量，若是采用复合材料的管道，还需考量材料的组合方式及各组成部分的重量分布情况。

2.1.2 准确分析附加荷载

风力、地震力、管道内压力形成的推力等附加荷载，对支吊架设计有着较大影响，分析风力荷载时，需结合当地气象条件以及管道的高度、直径等参数，依照相关规范算出风力大小与作用方向，对于地震力，应根据工程所在地的地震设防烈度、场地条件等因素，选用适宜的地震反应谱方法开展计算，管道内压力产

生的推力，要依据管道系统的工作压力、管径及管道布置形式进行精准计算，以保证支吊架在各种工况下都能承受这些附加荷载。

2.2 支吊架选型的优化

2.2.1 根据管道特性选择支吊架类型

不同种类的化工管道有着各异的工作条件与特性，应依据这些特点选用恰当的支吊架类型，对于高温、高压管道而言，因其热胀冷缩量较大，适合采用弹簧支吊架，借此补偿管道的热位移，同时承担管道的重量，对于存在振动的管道，例如与泵、压缩机相连接的管道，应选用减振支吊架，像弹簧减振支吊架或橡胶减振支吊架，以此减轻振动对管道的影响，对于水平管道，可根据实际需求选择滑动支架、滚动支架或刚性支架，从而满足管道的位移及承载需求。

2.2.2 考虑经济性与可靠性的平衡

选择支吊架时，需兼顾可靠性与经济性，既要确保其能满足管道的承载及运行需求，又要降低工程成本，对于那些位移要求不高、荷载较小的管道部位，可选用结构简单、成本偏低的刚性支吊架，而对于重要管道部位或是对位移控制要求严格的管道，则应优先采用性能可靠的弹簧支吊架或经特殊设计的支吊架，这类支吊架尽管成本较高，却能保障管道系统安全稳定地运行。

2.3 支吊架布置的优化

2.3.1 合理确定支吊架间距

支吊架间距会直接作用于管道的应力分布与变形状况，间距过小时，支吊架数量会随之增多，工程成本也会上升；间距过大时，可能造成管道应力集中、变形超量，进而影响管道的安全运转，确定支吊架间距时，要依据管道的材质、管径、壁厚、工作压力以及管道所承受的荷载等因素，依照相关规范和计算公式来计算，水平管道的支吊架间距通常不应超出允许跨度，垂直管道则需根据其稳定性要求来确定适宜的间距。

2.3.2 优化支吊架的布局

支吊架的布局需综合考量管道的走向、设备的位置及管道的连接方式等因素，支吊架应尽可能布置在管道的节点、转弯处、分支处以及与设备连接的部位，这样能有效承受管道的荷载并限制管道的位移，支吊架的布置要避免对管道的安装、检修和维护造成影响，保障操作空间的合理性，当管道穿越楼板、墙壁等结构时，应设置合适的套管和支吊架，确保管道与结构之间的连接安全可靠，且不会影响结构的完整性。

2.4 应力分析与优化

2.4.1 运用先进的应力分析软件

借助 CAESAR II 等先进的管道应力分析软件，可

对管道系统实施全面且深入的应力解析，分析前期准备阶段，需向软件准确录入管道的材质特性（涵盖弹性模量、泊松比等）、管径与壁厚等几何参数，以及管道自重、附加荷载等各类荷载条件，还要详细设定支吊架的位置、类型、刚度等关键参数，依托这些精确数据，软件运用复杂算法及力学模型，能够模拟管道在正常运行、启停、故障等各类工况下的应力分布状态与变形趋势，通过模拟能够直观呈现管道热胀冷缩过程中不同部位的应力变化，为支吊架设计提供科学直观的依据，精准找出应力集中区域，为后续优化设计明确方向。

2.4.2 根据应力分析结果调整支吊架设计

依据应力分析软件给出的结果，可对支吊架的关键参数展开针对性调整，应力分析中若发现某段管道因支吊架间距过大产生应力集中，可在该部位适量增加支吊架数量，以此分散管道荷载，降低应力水平，针对需要补偿热位移的管道，可根据模拟得到的热位移量，合理挑选弹簧支吊架的刚度与行程，刚度不足难以有效约束管道位移，刚度过大则可能造成管道局部应力偏高，经过反复调试与优化，能确保管道在热胀冷缩时的应力始终处于允许区间，还可通过调整支吊架类型，比如把刚性支吊架换成弹簧支吊架或导向支吊架，让管道系统的应力分布更均匀合理，从多方面提高管道的整体安全性与可靠性。

3 化工管道支吊架设计的工程实践分析

3.1 工程案例概述

某大型化工项目的管道系统，负责多种介质的输送工作，其中既有高温高压的蒸汽管道，也有腐蚀性较强的酸性介质管道，还有易燃易爆的气体管道，该管道系统十分复杂，管径从 DN25 到 DN1000 不等，总长度达数千米，为保证管道系统安全稳定运行，项目对化工管道支吊架进行了精心的设计与优化。

3.2 设计过程中的问题与解决方案

3.2.1 荷载计算复杂问题

管道系统因涉及多种介质和不同工况，使得荷载计算变得极为复杂，蒸汽管道在压力与温度出现变化时，介质的密度和重度会随之改变，进而对管道自重及内压力产生的推力计算结果造成影响，为解决这一问题，项目组建了专业设计团队，团队成员包含力学、材料学、化工工艺等多领域的专业人才，设计团队对每种管道的自重、介质重量、附加荷载等开展详细分类计算，建立起详尽的荷载数据库，对于管道在紧急停车时的水击力这类特殊工况下的荷载，设计团队通过查阅大量国内外相关资料，参考类似工程案例数据，同时运用专业的流体力学模拟软件进行分析，精准确

定荷载大小和作用时间，为支吊架设计提供了可靠的荷载数据。

3.2.2 支吊架选型难题

支吊架选型阶段，需要从多种类型中做出合适选择，高温蒸汽管道起初采用普通刚性支吊架，应力分析却显示管道因热胀冷缩产生的应力超出安全范围，可能造成管道连接处密封失效乃至管道破裂，经过重新评估，决定改用弹簧支吊架，并且依据管道的热位移量和荷载大小，借助专业弹簧设计软件精确计算弹簧的刚度和行程，某段蒸汽管道经计算得知，在工作温度下热位移量为50mm，荷载为5000N，依据这些数据挑选出合适规格的弹簧，可保证弹簧支吊架既能有效补偿管道热位移，又能承受管道重量及其他荷载，酸性介质管道考虑到介质的腐蚀性，支吊架选用耐腐蚀的不锈钢或衬塑材料制作，同时在其表面进行特殊防腐涂层处理，像采用环氧富锌底漆加聚氨酯面漆的组合，以此延长支吊架的使用寿命。

3.2.3 支吊架布置困难

管道系统的复杂特性使得支吊架布置空间受到限制，同时还需兼顾与周边设备及结构的协调，为此，设计过程中引入了三维建模技术，运用AutoCAD Plant 3D等专业三维设计软件对管道系统和支吊架进行可视化设计，构建出的逼真三维模型，能够直观展示支吊架的布置位置与安装方式，在模型中可清晰观察到支吊架与管道、设备及结构之间的空间关系，有利于提前发现并调整相互间的碰撞问题，同时，还能合理优化支吊架的结构形式，例如采用可调节高度和角度的支吊架组件，使其在有限空间内既能满足承载和限位要求，又便于安装与维护。

3.3 优化设计后的效果

化工管道支吊架优化设计方案投入使用后，项目管道系统的运行状况十分理想，借助精确的荷载计算以及科学的支吊架选型与布置，管道所受应力得到了有效管控，热位移也实现了合理补偿，振动和位移的数值全部控制在允许范围之内，项目正式运行后的定期检测数据显示，支吊架没有出现变形、损坏等异常情况，管道系统的安全性与稳定性得到了切实保障，优化设计在满足工程标准的前提下，对支吊架的数量与成本进行了合理控制，工程的经济效益因此有所提高。

4 化工管道支吊架设计的发展趋势

4.1 智能化设计

伴随人工智能、大数据等技术的进步，化工管道支吊架设计正迈向智能化领域，智能化设计软件可自动采集并分析管道系统的各类参数，像管道材料、管

径、工作压力、温度等，以及工程所在区域的环境参数，例如风力、地震力等，进而快速精准地完成荷载计算、支吊架选型与布置设计工作，智能化设计软件还能依据管道系统的运行状况实施实时监测与分析，及时找出潜在的安全隐患，并且给出优化提议，达成支吊架设计的动态优化与智能管控。

4.2 绿色环保设计

在可持续发展理念的指引下，化工管道支吊架设计会更加看重绿色环保特性，选择环保型材料来制作支吊架，减轻对环境的污染，采用节能型的支吊架结构，比如运用重力平衡原理设计的支吊架，降低能源的消耗量，在支吊架的生产与安装环节，运用先进的工艺和技术，减少资源消耗与废弃物排放，让支吊架设计实现绿色化和可持续发展目标。

4.3 标准化与模块化设计

为提高化工管道支吊架设计的效率与质量，标准化与模块化设计将成为重要发展方向，确立统一的支吊架设计标准和规范，规范支吊架的结构形式、材料选用、荷载计算方法等内容，能增强设计的一致性与可靠性，运用模块化设计思路，把支吊架拆分为若干标准模块，依据不同管道系统的需求，快速组合成适配的支吊架，可缩减设计工作量，加快设计进度，还能为支吊架的生产、安装和维护提供便利。

5 结论

化工管道支吊架的设计工作，是保障化工管道系统安全运行的重要环节，遵循承载能力、限位与导向、防振与减振、便于安装与维护等基本准则，运用荷载计算优化、支吊架选型优化、支吊架布置优化及应力分析与优化等手段，结合工程实践持续积累经验，可有效提升化工管道支吊架的设计水准，伴随技术进步，智能化、绿色环保、标准化与模块化会成为化工管道支吊架设计的前行方向，在未来的化工管道工程里，需不断探寻并应用新的设计思路与方式，为化工行业的发展提供更为稳固的管道系统支持。

参考文献：

- [1] 白心妮.管道支吊架设计规范与应用[J].化工设备与管道,2019,56(3):1-7.
- [2] 高晟皓.基于CAESARII的管道应力分析及支吊架设计优化[J].石油化工设计,2020,37(2):1-5.
- [3] 张津瑞.新型支吊架材料在化工管道中的应用研究[J].材料科学与工程学报,2021,39(4):1-8.
- [4] 于昊成.化工管道支吊架的振动控制技术[J].化工机械,2018,45(5):1-6.
- [5] 曹星罗.智能化技术在管道设计中的应用前景[J].化工自动化及仪表,2019,46(6):1-7.