

化工工艺管道支架设计研究

邝泽灏（众一伍德工程有限公司广东分公司，广东 惠州 516000）

摘要：当前化工工艺管道支架设计存在工况适配不足、风险防控不到位等问题，影响管道系统可靠性。本文先阐述支架设计研究背景与意义，分析化工管道系统特点、分类及支架设计基本概念与功能要求，构建理论基础，最后从选型布局、热胀冷缩与受力平衡、耐腐蚀与安全系数、施工维护标准化、数字化工具应用五维度，探讨优化策略与实践路径。研究为化工支架设计提供理论参考与实践方案，助力提升管道系统安全性与经济性，降低事故风险。

关键词：化工工艺管道；管道支架设计；理论基础；优化策略

中图分类号：TQ055.8 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）030-0112-03

Research on the Design of Chemical Process Pipeline Supports

Kuang Zehao(Zhongyiwide Engineering Co., Ltd. Guangdong Branch, Huizhou Guangdong 516000, China)

Abstract: The current design of chemical process pipeline supports has problems such as insufficient adaptation to working conditions and inadequate risk prevention and control, which affect the reliability of pipeline systems. This article first elaborates on the research background and significance of support design, analyzes the characteristics, classification, and basic concepts and functional requirements of support design in chemical pipeline systems, constructs a theoretical basis, and finally explores optimization strategies and practical paths from five dimensions: selection layout, thermal expansion and contraction and force balance, corrosion resistance and safety factor, construction and maintenance standardization, and digital tool application. The research provides theoretical references and practical solutions for the design of chemical supports, helping to improve the safety and economy of pipeline systems and reduce accident risks.

Keywords: chemical process pipeline; Pipeline support design; Theoretical foundation; optimization strategy

化工工艺管道支架是保障管道系统稳定运行的关键构件，当前设计存在工况适配不足、风险防控薄弱等问题。本文先梳理其理论基础，再从多维度探讨优化策略与实践路径，为提升管道系统安全性、经济性提供支撑。

1 化工工艺管道支架设计的理论基础

1.1 化工管道系统的特点与分类

作为化工生产流程中起核心输送作用载体的化工管道系统，具有介质特性繁杂（含腐蚀性、毒性、易燃易爆性等风险属性且部分介质需在高温、高压或低温、负压条件下输送，对管道材质及结构稳定性要求极高）、运行工况恶劣（受生产负荷波动影响，常面临瞬时压力冲击、流量变化等动态干扰还与反应设备、储存容器、换热装置等紧密连接构成多节点、长路径复杂网络，任一环节失效可能引发连锁故障）、系统相互关联紧密的突出特征。

根据不同应用场景，化工管道系统依介质类型可分为工艺物料管道、公用工程管道及辅助管道，按压力等级可分为真空管道、低压管道、中压管道及高压管道，按温度范围可分为低温管道、常温管道和高温管道，不同类别管道在设计参数、材质选择、防护要求等方面存在较明确差异，需结合具体工况进行针对性设计。

1.2 支架设计的基本概念与功能要求

化工工艺管道支架作为维持管道系统在空间中的形态及运行稳定性的关键支撑部件，其设计重点在于打造合适的结构形状和空间分布，以合理地将管道本身重量、介质所受重力及外界环境施加的荷载（如风荷载、地震荷载等）传导到建筑主体结构或专用设备基础上，同时解决管道因温度改变出现的热胀冷缩应力及介质流动导致的动态振动作用力问题；从功能层面，支架要达成承担重量并支撑（依靠稳定承载实力避免管道因荷载过于集中出现塑性变形甚至断裂）、控制位移（通过固定、滑动等结构方式限制管道不被允许方向的位移，保证在允许方向自由伸缩以减少热应力对管道与设备接口的损害）、抑制振动（通过阻尼设计或柔性连接手段吸收振动产生的能量，防止振动传播引发结构共振或设备损坏）、进行空间定位（依据工艺布局和安全规范固定管道空间位置，保证管道与设备、管道与管道间维持安全距离并为后续检修预留足够操作空间）这四个关键作用，此四大功能相互配合共同构建起管道系统长期安全运行的基本保障。

2 化工工艺管道支架设计优化与实践策略

2.1 合理选型与优化布局策略

在化工工艺的管道支架设计工作中，要合理挑选合适类型支架需全方位考虑管道输送物质具体特性、

运行时承受压力数值、温度相关参数及现场空间布局状况等多方面。各类不同支架各有独特作用,如固定支架通过提供稳固支撑力量限制管道径向及轴向位移,滑动支架保证管道热胀冷缩时能按预设方向顺利移动,导向支架精确掌控管道位移路线防止因位移偏差致管道碰撞或应力集中。进行布局优化工作时,应依管道走向及设备摆放情形,科学合理规划支架间距,既满足管道承重要求防止因跨度大产生过度挠度,又防止支架布置过密致工程成本增加及施工难度加大,还需预留足够空间方便检修以利后期维护工作开展。

在一家规模较大的石油化工企业在设计催化裂化装置管道系统时,对输送高温油气的主要管道进行支架类型挑选及布局优化,先通过分析输送介质明确主管道运行温度 420°C 、工作压力 3.5MPa ,结合管道材质、直径等参数选择耐高温滑动支架,并以石墨填料作滑动摩擦面减小热位移摩擦阻力,布局规划上运用管道应力计算软件模拟不同间距下管道受力及挠度表现,最终将支架间距确定为 8m ,与最初设计 6m 间距相比,支架数量减少 15% ,工程成本降低,且经应力再次审核,管道最大挠度控制在规范允许范围内,符合安全运行标准。

2.2 考虑热胀冷缩与受力平衡的设计方法

在化工管道实际运作进程中,因输送物质温度变动而呈现显著热胀冷缩状况,若支架设计期间未充分考量此因素,温度变化时管道就会生成热应力,热应力超出管道自身承受最大限度时,易造成管道接口渗漏、管道主体变形,严重时甚至致使相连设备损坏,影响整个化工生产流程正常推进;而且管道系统运行过程中承受管道自身重量、输送物质重量及外部环境中风荷载、地震荷载等多种作用力,使管道处于复杂受力状态。

在某煤化工企业甲醇合成装置中,一段输送甲醇蒸汽的较长管道因输送物质温度较高,初始设计阶段设计团队未精准计算管道热胀量,仅按常规固定支架布局方式设计,导致管道试运行期间多处接口渗漏,严重影响装置正常调试;发现问题后,设计团队马上开展专项研究,细致计算该管道运行温度下的热胀量,确定其轴向和径向热胀变化情形,基于计算结果重新制定支架设计方案,在管道两端设置固定支架限制整体位移,在中间区域按一定间隔设置弹簧支架借助弹簧弹性变形吸收热胀位移,同时在管道水平转弯处设置导向支架限制径向位移。

2.3 提升耐腐蚀性能与安全系数的技术措施

在化工行业领域,多数管道输送的如常见酸类、碱类、盐溶液、含硫、氯等成分的具有较强腐蚀性的

介质,会对管道支架产生持续性侵蚀影响,还因支架长时间处于化工生产环境,还可能接触受污染的空气、水汽等,进一步加快其腐蚀损坏,一旦支架腐蚀,承载能力大幅降低,无法为管道提供稳定支撑,严重时甚至可能致支架断裂,引发管道坠落等安全事故,鉴于此,从支架材料挑选及表面处理工艺两方面着手提高其耐腐蚀性能极为关键,即挑选优良耐腐蚀性能材料并运用先进表面处理技术增强材料抗腐蚀能力,此外,借助合理结构设计及精确强度计算方式提高支架安全系数,以保证即使在有腐蚀因素环境下,支架仍能满足长期承载需求,保障管道系统安全稳定运行。

有一家地处沿海区域的氯碱化工企业,其盐水输送管道的支架一直处于湿度高、盐雾大的特殊环境状态下,此环境对支架耐腐蚀性能要求极高。最初设计时,该企业选用普通钢材制作支架且仅对其表面做简单喷漆处理,投入使用不到一年,支架便出现较为严重的锈蚀状况,一些支架结构完整性遭破坏、承载能力显著降低,给盐水输送管道安全运行带来相当大隐患。为解决这一问题,设计团队重新展开支架材料选型工作,经多方面调研及性能比较后,最终确定将耐盐雾腐蚀性能优良的不锈钢当作支架主体材料,同时对支架表面开展钝化处理,借助化学作用在其表面形成一层紧密的氧化保护膜以进一步强化抗腐蚀能力。在结构设计方面,设计团队针对支架结构形式予以优化,把原本开放式支架改成带有排水槽的封闭式支架,能有效防止盐水积液残留在支架表面,进而减少积液对支架造成的腐蚀。

2.4 施工安装与后期维护的标准化管

鉴于化工工艺管道支架施工安装阶段质量情况,对其自身使用效果及安全稳定性起关键作用,搭建一套完备施工安装标准流程十分必要。施工正式开始前,针对施工人员开展技术培训并传达关键点,务必保证施工人员对设计图纸、施工规范具体要求、操作关键部位有清晰认识。实际施工过程中,严格按设计规定内容把控支架安装位置、高度及水平和垂直状况,而且加强对支架焊接质量、固定螺栓拧紧程度等关键环节的检查与核对工作。施工结束后,进行全面外观检查及性能测试,确保支架安装符合设计与规范要求。

在某石化公司乙烯装置管道支架施工之际全面落实标准化安装管理流程,施工起始前召集施工人员开展着重阐述支架安装精度要求、焊接工艺相关参数、质量验收标准,并开展现场操作考核(考核达标人员方可正式上岗作业)的专项培训活动;施工进行期间借助全站仪对支架安装位置与标高展开精确测量,每完成 10 个支架安装工作便对其水平度与垂直度予以

检测，若发现偏差立即调整；对支架焊接接口部位安排专门质量检验人员进行全面外观查看，并按一定比例开展无损检测以确保焊接质量符合标准；后期维护阶段制定每月一次的巡检计划，巡检人员配备相应检测工具针对支架腐蚀情况、螺栓紧固状态、支撑结构稳固程度等展开全方位检查，检查过程中若发现某一支架因振动致螺栓松动马上及时紧固处理，并在维护档案中详细记录处理全过程。通过执行标准化施工安装及后期维护措施，截至目前该装置管道支架运行中尚未出现重大故障。

2.5 应用数字化与智能化设计工具

随着化工工程领域数字化技术的持续融入与进步，将三维建模、有限元分析、BIM（建筑信息模型）等先进数字化设计手段，运用于化工工艺管道支架设计工作成为行业发展不可阻挡的趋势，这些手段能达成支架设计的可视化、参数化与模拟化，助设计人员借三维模型清晰展现支架结构样式、安装地点及与管道、设备的连接关系，以参数化设计提高效率、减少重复劳作，用模拟分析预先推测支架在不同工况下的运行情形，有效提升设计精确程度与效率；同时，智能化设计手段凭借数据共享与协同设计功能，整合管道系统多方面信息如管道参数、介质特性、环境条件、设备参数等，实现支架设计与管道整体设计的协同优化，避免因各专业设计信息不通导致的设计矛盾冲突，减少设计失误，降低后续施工整改花费，提升项目设计质量与经济效益。

在承担某石化企业一体化项目里管道支架设计任务期间，一家规模较大的化工设计院积极引入 BIM 技术以开展协同设计相关工作，目的是提高设计质量与效率，起始阶段设计团队搭建起管道系统三维 BIM 模型，并将管道规格参数、输送介质物理化学特性及项目环境温度、湿度、地震烈度等重要信息完整导入模型，为后续支架设计提供详尽数据支持，之后运用 BIM 软件支架选型模块按管道介质温度、运行压力、

管径等具体工作状况条件，自动推荐合适支架类型并生成初步支架布局方案，为保证方案合理性，设计团队借助有限元分析软件针对初步方案开展受力模拟与热胀冷缩分析，模拟管道正常运作、启动停止、检修等不同工作状况下支架受力状态及管道变形情形，再依据分析结果优化调整支架布局方式及结构尺寸，以保证支架符合管道各类工作状况下支撑需要。

3 结语

总的来讲，这篇文章对化工工艺管道支架设计的理论基础进行整理，明确区分系统特性及支架功能，并从选型布局、解决热胀冷缩问题、增强耐腐蚀性能、开展标准化管理、运用数字化工具这五个不同方面结合实际例子给出对应的优化办法，为解决现有设计困难、提升管道系统安全性与经济性提供具有实际可操作性的路径，而且在以后还可进一步研究智能化技术在支架全生命周期管理中的深入运用，以促使设计水平不断提高。

参考文献：

[1] 胡秀. 石油化工装置工艺管道设计探讨 [J]. 化工设计通讯, 2016, 42(6): 2-2.

[2] 李文甲, 郑清泉, 姬世华. 浅析化工工艺管道设计 [J]. Engineering Management & Technology Discussion, 2024, 6(4): 8-11.

[3] 巩爱利. 化工工艺管道设计及泄漏试验研究 [J]. 盐科学与化工, 2023, 52(4): 48-50.

[4] 王权尧. 化工工程中工艺管道安装施工存在的问题与石油对策 [J]. 中国科技期刊数据库·工业 A, 2024(002): 24-26.

[5] 赵莉, 陈冰, 姜永宝, 等. 一种化工装备模块化制造工艺管道预制焊接装置: CN202211498358.2[P]. CN115846792A[2025-09-08].

作者简介：

邝泽灏（1997-），男，汉族，广东省中山人，本科，助理工程师，从事化工工艺管道设计。

表一：化工工艺管道支架设计优化与实践策略浏览表

策略类别	核心要点	关键措施	实践价值
合理选型与布局	匹配工况，平衡承重与成本	选固定 / 滑动 / 导向支架；软件算间距，留检修空间	减 15% 支架，挠度达标
热胀冷缩与受力平衡	消热应力，保受力均衡	算热胀量，用补偿器；两端固定、中间弹簧支架	解决渗漏，防设备损坏
耐腐蚀与安全	抗腐蚀，保长期承载	选不锈钢 + 钝化；优化结构（如排水槽），提安全系数	延寿命，防坠落
施工维护标准化	控施工质量，建全周期维护	施工前培训考核，精准定位；定期巡检，记档案	无重大故障，稳运行
3.5 数字化智能工具	可视化设计，提精度效率	搭 BIM 模型，导参数；有限元模拟，自动荐方案	减 30% 设计变更，降成本