

大型石化装置中压力管道布局优化策略研究

周绍辉

洛阳智达石化工程有限公司 河南 洛阳 471003

【摘要】：大型石化装置中，压力管道布局对装置安全、高效运行至关重要。压力管道布局优化策略涵盖多方面内容。在规划布局时，需综合考量装置整体工艺、设备分布及周边环境等因素，以确保布局合理性。通过合理选择管道路径，能有效减少管道长度与弯头数量，降低流体传输阻力，提高能源利用率。依据管道内介质特性进行分类布置，可增强安全性与稳定性。在优化方法与技术应用上，利用先进模拟软件进行模拟分析，能提前发现潜在问题并优化布局方案。对管道支撑与固定进行优化，可保障管道运行稳定性。注重日常维护与管理，建立完善监测体系，及时处理异常情况，也是压力管道布局优化的重要环节。

【关键词】：大型石化装置；压力管道；布局优化；模拟分析；安全运行

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.043

引言

大型石化装置作为石化产业的核心枢纽，其安全稳定运行不仅关系到企业的经济效益，更深刻影响着整个行业的可持续发展进程。压力管道作为连接装置各单元的“血管”和“神经”，其布局的科学性与合理性，直接决定着装置的整体性能和运行效率。实践表明，不合理的管道布局不仅容易引发管道异常磨损、介质泄漏等技术问题，更会形成重大安全隐患，严重威胁生产安全与人员生命健康。当前，随着石化产业向大型化、集约化方向快速迈进，对压力管道的布局设计提出了更高标准与更严要求。如何通过优化布局，实现装置运行效率与安全性的双提升，已然成为石化工程领域亟待攻克的关键课题。

1 大型石化装置压力管道布局现状剖析

（1）早期设计局限性的影响

在大型石化装置的发展历程中，早期设计阶段由于技术条件与认知水平的限制，未能充分预见到装置未来的发展趋势。许多压力管道在初始规划时，仅围绕当时的生产需求进行布局，缺乏对后期装置扩建、工艺革新的前瞻性考量。随着装置规模的不断扩大与生产工艺的逐步升级，这些早期设计的管道逐渐暴露出问题。管道路径设计未能预留充足的调整空间，导致在新增设备或工艺改造时，只能被迫进行迂回铺设，造成管道路径冗长复杂，不仅增加了物料输送的能耗，也为日常巡检与维护带来诸多不便。

（2）介质特性忽视引发的安全隐患

不同介质具有各异的物理化学特性，而在实际管道布局中，部分区域未严格遵循介质特性要求进行布置。对于易燃易爆、有毒有害的危险介质管道，没有充分考虑其潜在风险，存在与其他管道间距不足、穿越人员活动频繁区域等问题。高温高压管道与普通管道的近距离布置，使得热量传导、压力波动等因素相互影响，普通管道在高温高压环境的长期作用下，材料性能逐渐下降，使用寿命缩短，同时也增加了管道泄漏、爆裂等事故发生的可能性，对整个石化装置的安全运行构成严重

威胁。

（3）支撑固定缺陷与布局协调性问题

管道支撑与固定系统是保障压力管道稳定运行的关键环节，但在部分石化装置中，该系统存在设计不合理的情况。支撑形式选择不当、支撑间距设置不科学，使得管道在运行过程中无法得到有效约束，振动现象频发。长期的异常振动不仅加剧了管道及其连接件的磨损，还可能引发疲劳裂纹，导致管道泄漏甚至断裂。随着装置运行过程中不断新增管道，新旧管道之间缺乏统一规划与协调，新增管道往往只能见缝插针地布置，与原有管道相互交错、干扰，使得整个管道布局愈发混乱，进一步降低了装置运行的安全性与可靠性。

2 压力管道布局优化考量因素梳理

（1）紧密贴合工艺需求

工艺需求是压力管道布局的核心导向。石化装置的生产流程涵盖众多复杂工艺，每个工艺环节对压力管道的参数要求各不相同。从物料的输入、反应、分离到输出，不同阶段所需的压力、流量、温度等参数存在显著差异。管道布局必须紧密围绕工艺路线展开，确保物料能够以最佳状态在各设备间传输。在反应环节，需要保证管道能够稳定输送反应原料，并维持适宜的压力与流量，以促进反应的顺利进行；在分离环节，管道布局应有助于实现不同物料的高效分离与输送，避免因管道设计不合理导致的物料混合、堵塞等问题，从而保障整个生产工艺的连续性与稳定性。

（2）合理匹配设备分布

设备分布决定了压力管道的连接方式与走向。石化装置中的各类设备，如反应器、塔器、泵、压缩机等，其接口的位置、尺寸与方向都对周边管道布局有着直接影响。在进行管道布局设计时，需要充分考虑设备的安装位置、操作空间以及设备间的相互关联，确保管道与设备的连接既满足工艺要求，又能有效减少设备接口处的应力集中。合理的管道布局可以降低设备运行过程中的振动与噪音，延长设备使用寿命，同时也便于设

备的安装、调试与维护工作的开展。对于大型塔器，其管道布局需要综合考虑塔器的高度、直径以及各层塔盘的物料进出口位置，使管道能够顺畅地与塔器连接，实现物料的高效传输。

(3) 全面考量介质特性与发展规划

介质特性是压力管道布局优化的重要依据。对于易燃易爆、有毒有害的危险介质，必须采取特殊的防护与布置措施。此类管道应尽量远离人员密集区域，设置独立的管廊或通道，并采用特殊的防腐、防爆、防泄漏材料与施工工艺。要确保危险介质管道与其他管道保持足够的安全间距，避免因管道泄漏引发连锁反应。装置的未来发展规划也是布局优化不可忽视的因素。随着技术进步与市场需求的变化，石化装置需要不断进行升级改造，这就要求在当前的压力管道布局设计中，预留出充足的空间与接口，以便后续能够灵活调整管道的布局，满足装置发展的新需求，避免因管道布局不合理而限制装置的升级改造。

3 压力管道布局优化策略具体阐述

(1) 科学规划管道路径

先进算法的应用为管道路径规划提供了强大的技术支持。在进行路径规划时，结合装置的实际空间结构、设备分布以及工艺要求，运用智能优化算法，对管道路径进行全面分析与计算。通过综合考虑管道长度、施工难度、运行成本、维护便利性等多方面因素，寻找出最短、最合理的管道路径。减少不必要的弯头与迂回，不仅可以降低流体输送过程中的阻力，减少能量损耗，还能简化管道结构，降低施工与维护成本。科学规划的管道路径有助于提高管道运行的稳定性，减少因管道弯曲、转折过多导致的流体冲击与振动，延长管道使用寿命。

(2) 规范分层与分区布置

依据介质的温度、压力、腐蚀性等特性进行管道的分层与分区布置，能够有效避免不同管道之间的相互干扰，提高装置运行的安全性与可靠性。在分层布置方面，将高温高压管道设置在上层，这样可以减少高温对下层管道的影响，同时便于高温管道的散热与保温处理；将低温低压且腐蚀性强的管道布置在下层，便于采取防护措施，防止腐蚀性介质泄漏对其他管道造成损害。在分区布置方面，按照管道功能进行划分，将蒸汽管道、物料管道、公用工程管道等分别设置在不同区域，避免因管道功能不同、介质特性差异导致的相互影响。蒸汽管道的高温与高压可能会对物料管道内的介质产生不良影响，分区布置可以有效避免此类问题的发生，保障各管道系统的独立稳定运行。

(3) 优化管道支撑与固定系统

管道支撑与固定系统的优化对于提高管道运行稳定性至关重要。根据管道的管径、重量、介质流速以及运行工况等参数，合理设计支撑形式与间距。对于不同类型的管道，选择合

适的支撑方式，如刚性支撑、弹性支撑、弹簧支吊架等。弹性支撑与减震装置的应用，可以有效吸收管道运行过程中的振动能量，减少管道振动幅度。合理确定支撑间距，能够确保管道在重力、压力、温度变化等因素作用下保持稳定，避免因支撑不足或间距不当导致的管道下垂、变形、振动等问题。通过优化管道支撑与固定系统，不仅可以提高管道的运行稳定性，还能降低管道及其连接件的磨损，延长管道使用寿命，减少维修成本与安全隐患。

4 优化策略实施案例分析

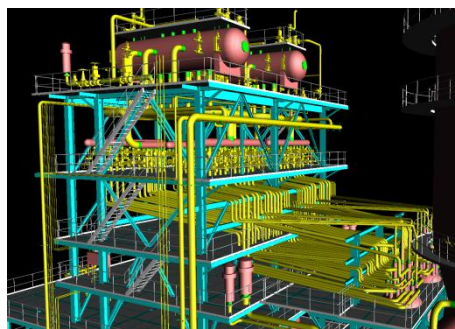
(1) 问题诊断与模拟分析

某大型石化装置在运行初期，压力管道布局不合理引发的一系列问题逐渐暴露，存在重大安全隐患。为精准定位问题根源，该装置引入先进的模拟软件，对内部压力管道进行全方位模拟分析。通过构建高精度的管道模型，详细探究管道在不同工况下的应力分布情况，分析流体在管道内的流动状态是否顺畅，同时研究各管道之间的相互影响，从而全面掌握现有管道布局存在的缺陷，为后续优化提供科学依据。

(2) 管道布局优化重构

基于模拟分析结果，对压力管道布局展开系统性重构。在管道路径规划上，摒弃原设计中迂回曲折的走向，以直线连接为优先原则，采用更直接高效的路径设计。这种优化大幅缩短了管道总长度，减少了不必要的弯头数量，不仅降低了管道建设成本，还能有效减小流体输送过程中的阻力，提升介质传输效率。在管道布置层面，依据介质特性进行严格的分层与分区。将输送介质的管道单独设置区域，并与其他管道保持安全间距，通过物理隔离和特殊防护措施，降低危险介质泄漏对其他管道系统的影响。针对管道支撑与固定系统进行全面升级，采用新型弹性支撑替代传统刚性支撑，同时优化支撑间距设计，使管道在运行过程中能够更好地吸收振动和位移，增强管道系统的稳定性。

(3) 优化实施效果呈现



经过一系列优化措施的落地实施，该石化装置的运行状况发生显著转变。在管道振动控制方面，新型支撑系统和优化后的布局使得管道振动幅度明显减弱，设备运行时的异常声响大幅减少，降低了因振动导致的管道疲劳损坏风险。管道泄漏事

故发生率大幅下降,有效避免了介质泄漏带来的环境污染和安全威胁,保障了装置的连续稳定运行。运行稳定性的提升不仅减少了因管道问题导致的生产中断,还使得产品质量更加稳定,生产效率显著提高。优化后的管道布局降低了流体输送能耗,减少了设备维护成本,为企业创造了良好的经济效益和社会效益,也为同类石化装置的管道优化提供了可借鉴的实践经验。

5 压力管道布局优化效果评估与展望

(1) 多维度效果评估

对压力管道布局优化效果的评估从安全性、经济性和运行稳定性三个核心维度展开。在安全性方面,优化后的管道布局消除了诸多设计缺陷,避免了因应力集中、流体不畅等问题导致的泄漏、爆裂事故隐患。合理的管道分区和隔离措施,有效防止了危险介质泄漏引发的连锁反应,为工作人员创造了更安全的作业环境,保障了装置的稳定运行。在经济性层面,优化布局降低了流体输送过程中的能量损耗,减少了因管道故障导致的维修成本和生产中断带来的经济损失。能源利用效率的提升和生产成本的降低,增强了企业在市场中的竞争力。在运行稳定性方面,管道振动、泄漏等问题的解决,使装置能够长时间保持稳定运行状态,减少了生产波动,保证了产品质量的一致性,提高了生产效率和企业的综合效益。

(2) 智能化发展趋势

展望未来,压力管道布局优化将与智能化技术深度融合。大数据技术的应用将成为重要趋势,通过广泛收集管道运行过

程中的温度、压力、振动等海量数据,并运用数据分析算法挖掘数据价值,能够更全面、准确地了解管道运行状态,为布局优化提供丰富且精准的依据。人工智能技术将在管道布局设计中发挥关键作用,通过深度学习不同工况下管道的运行情况,模拟各种布局方案的实际效果,自动生成最优设计方案,实现管道布局的智能化设计与动态优化。智能化技术的引入将大幅提升管道布局优化的效率和科学性,使设计方案更贴合实际运行需求。

(3) 新材料新工艺赋能

新材料和新工艺的创新也将为压力管道布局优化带来新的机遇。新型耐腐蚀、高强度材料的研发和应用,能够显著提升管道的抗腐蚀性能和机械强度,延长管道使用寿命,降低因材料老化导致的安全风险,同时减少维护成本。先进的施工工艺,如模块化安装、自动化焊接等技术的推广,将使管道安装过程更加便捷高效,缩短施工周期,提高安装质量,减少人为因素导致的安装误差。新材料和新工艺的结合,将为大型石化装置压力管道的安全、高效运行提供更坚实的技术支撑,推动石化行业朝着更安全、更高效的方向发展。

6 结语

大型石化装置压力管道布局优化是提升装置整体性能的关键。当前通过多种优化策略实施,已取得一定成效,如降低事故率、减少能耗等。未来,随着技术持续进步,智能化手段将深度融入布局优化过程,新材料与新工艺也将助力突破现有局限。不断探索创新优化策略,有望进一步提升石化装置运行安全性与高效性,推动石化产业迈向更高水平。

参考文献:

- [1] 李明.大型石化装置压力管道布局优化研究[J].化工进展,2023,42(5):2656-2664.
- [2] 王丽.压力管道布局对石化装置运行影响分析[J].石油化工设计,2022,39(3):18-23.
- [3] 张峰.基于模拟技术的石化装置压力管道布局优化[J].化工机械,2021,48(4):485-490.
- [4] 赵强.石化装置压力管道安全运行与布局优化策略[J].安全与环境学报,2020,20(6):2345-2350.
- [5] 孙悦.大型石化装置压力管道布局的创新与实践[J].当代化工,2019,48(10):2456-2460.