

化工装置中夹套管管道配管的设计研究

王卫娟

河南心连心化学工业集团股份有限公司 河南 新乡 453700

摘要: 本文聚焦化工装置中夹套管管道配管设计展开研究。阐述了夹套管结构类型与传热机理,明确其设计需遵循工艺匹配、热补偿、应力控制及安全防护等原则。深入探讨管径优化、布局走向、材料选型及特殊工况设计等关键技术。展望未来,智能化设计基于数字孪生技术,绿色低碳材料应用探索成为发展趋势,旨在提升夹套管设计水平,保障化工装置稳定运行。

关键词: 化工装置;夹套管管道;设计研究

引言: 在化工装置里,夹套管管道对于介质保温、伴热或冷却起着关键作用。其配管设计合理与否,直接关系到化工生产能否连续稳定进行。然而,夹套管结构复杂,运行中面临热应力、介质特性等多种因素影响。因此深入研究夹套管管道配管设计的基础理论、核心原则、关键技术及未来趋势,具有重要的现实意义,能为化工装置的高效运行提供有力支撑。

1 夹套管管道配管设计基础理论

1.1 夹套管结构类型

夹套管是化工装置中用于介质保温、伴热或冷却的特殊管道结构,主要由内管、外管及相关连接件组成,其结构类型需根据工艺需求合理选用。按结构形式可分为整体夹套、半夹套和分段夹套三类,整体夹套为内管全程被外管包裹,保温伴热均匀,适用于对温度稳定性要求高的介质输送;半夹套仅在管道局部设置外管,多用于设备接口、阀门等特殊部位的局部伴热;分段夹套通过法兰将外管分段连接,便于安装检修,适合长距离管道输送场景。另外,按介质流向可分为顺流夹套和逆流夹套,顺流夹套温差平缓、能耗较低,逆流夹套传热效率更高,可根据传热需求选择^[1]。不同结构类型的夹套管在制造工艺、成本及适用场景上存在差异,合理选型是保障配管设计合理性和工艺稳定性的基础,需结合介质特性、操作温度压力及设备布局综合考量。

1.2 传热机理分析

夹套管的核心功能依赖于合理的传热设计,其传热机理主要包括热传导、热对流和热辐射三种形式,实际运行中三者协同作用实现介质温度控制。热传导是内管与外管之间、管壁内部的主要传热方式,热量通过管道材料分子热运动传递,其传热效率与材料导热系数、管壁厚度密切相关,导热系数越高、管壁越薄,热传导效果越好。热对流发生在夹套间隙内的伴热/冷却介质与内、外

管壁之间,介质流动速度越快、湍流程度越高,对流换热系数越大,传热效果越佳,因此夹套间隙的尺寸设计和介质流速控制至关重要。热辐射是高温工况下不可忽视的传热形式,热量通过电磁波形式从高温管壁向低温环境辐射,但其影响程度远低于热传导和热对流。在设计中,需通过优化管道材料、调整夹套间隙、控制介质流速等方式,强化有效传热,减少热损失,确保内管介质温度维持在工艺要求范围内。

2 化工装置夹套管配管设计核心原则

2.1 工艺匹配性原则

工艺匹配性是夹套管配管设计的首要原则,核心是确保配管设计与化工装置的工艺要求、操作条件及生产负荷完全适配,保障生产工艺的连续性和稳定性。设计前需全面梳理工艺参数,包括内管介质的种类、温度、压力、流量及腐蚀性,夹套介质的类型、温度、压力及流量需求,明确介质的关键特性对配管的要求。例如,对于腐蚀性较强的内管介质,需选用耐腐蚀材料并优化管道壁厚;对于高温高压工况,需强化管道密封性能和结构强度。同时,配管设计需与装置整体工艺布局、设备接口位置及操作流程相匹配,管道走向、进出口布置需便于工艺操作、检测及维护,避免与其他设备、管道发生干涉。另外,需考虑工艺负荷波动的影响,设计具备一定灵活性的配管结构,确保在负荷变化时,夹套管仍能满足传热要求和介质输送需求,保障工艺参数稳定在允许范围内。

2.2 热补偿设计原则

夹套管在运行过程中,因内管与外管所处温度不同,会产生不同程度的热膨胀或收缩,若未进行合理的热补偿设计,将导致管道产生热应力,进而引发管道变形、泄漏甚至断裂,因此热补偿设计是保障夹套管安全运行的核心原则之一。热补偿设计需根据管道的操作温度、

材质、长度及布置形式,选择合适的热补偿装置,常用的补偿形式包括自然补偿和人工补偿。自然补偿利用管道自身的弯曲形状(如L形、Z形)实现热膨胀吸收,结构简单、成本较低,适用于短距离、温度变化较小的管道;人工补偿则通过设置补偿器(如波纹管补偿器、填料函式补偿器)实现热补偿,适用于长距离、温度变化较大或布置受限的场景^[2]。设计中需准确计算管道的热膨胀量,合理确定补偿装置的型号、规格及安装位置,确保补偿装置能够有效吸收热膨胀量,避免热应力累积,同时需兼顾补偿装置的密封性和检修便利性。

2.3 应力控制原则

夹套管配管设计中的应力控制原则,核心是通过合理的结构设计、材料选型及布置优化,将管道系统的应力控制在允许范围内,避免应力过高导致管道损坏或影响设备接口安全。夹套管的应力主要来源于热应力、机械应力及流体应力,热应力由温度变化产生的热膨胀差引起,机械应力来自管道自重、介质重量、支架约束及设备振动,流体应力则由介质流动过程中的压力波动、涡流冲击产生。设计中需通过优化管道走向、合理设置支架(如滑动支架、固定支架),减少管道自重和振动带来的机械应力;通过精准的热补偿设计,抵消热膨胀差产生的热应力;通过控制介质流速、优化管道弯头曲率半径,减少流体应力对管道内壁的冲击。同时,需对管道系统进行应力计算和校核,确保管道的一次应力、二次应力均符合相关标准要求,重点校核管道接口、法兰、补偿器等薄弱部位的应力,保障管道系统长期安全稳定运行。

2.4 安全防护原则

化工装置夹套管多用于输送高温、高压、腐蚀性或易燃易爆介质,安全防护原则是配管设计的重中之重,需从防泄漏、防烫伤、防腐蚀、防振动等多个方面进行全面考量。在防泄漏方面,需选用密封性能良好的连接件和阀门,优化法兰密封结构,对于高压工况可采用焊接连接替代法兰连接,减少泄漏点;同时需设置泄漏检测装置,及时发现并处理泄漏隐患。在防烫伤方面,对于高温夹套管,需在管道外部设置保温层和防护外壳,标注高温警示标识,避免人员接触烫伤。在防腐蚀方面,需根据介质腐蚀性选用合适的耐腐蚀材料,或对管道内壁进行防腐涂层处理,定期对管道进行腐蚀检测和维护。在防振动方面,需合理设置减震支架,优化管道布置,避免管道因介质流动或设备振动产生共振,同时加强管道与设备接口的连接强度,防止振动导致接口松动泄漏。

3 夹套管配管设计的关键技术

3.1 管径优化设计

管径优化设计是夹套管配管设计的关键技术之一,直接影响传热效率、系统能耗、介质输送稳定性及管道投资成本,需结合工艺参数、流体特性及传热要求进行综合优化。内管管径设计需以介质流量、流速及压力降为核心考量因素,根据介质粘度、密度确定合理的流速范围,一般液体介质流速控制在1~3m/s,气体介质流速控制在10~20m/s,确保介质处于湍流状态以强化传热,同时避免流速过高导致压力降过大、能耗增加,或流速过低导致介质滞留、结垢。外管管径设计需结合内管管径、夹套间隙及夹套介质流量,夹套间隙一般控制在10~20mm,间隙过大易导致夹套介质流动缓慢、传热效率下降,间隙过小则会增加流动阻力、易堵塞。另外,需通过流体动力学计算和传热计算,对管径进行校核优化,在满足工艺要求的前提下,实现管径的最优化设计,兼顾传热效率、能耗控制及投资成本节约。

3.2 布局与走向设计

夹套管的布局与走向设计需遵循“紧凑合理、便于操作、减少干扰、保障安全”的原则,结合化工装置的整体布局、设备位置及工艺流程,进行科学规划,同时兼顾传热均匀性和应力控制。布局设计需尽量紧凑,减少管道占地面积和管线长度,降低投资成本和热损失,但需预留足够的操作、检修空间,避免与其他设备、管道、电缆桥架等发生干涉^[3]。管道走向需尽量采用直线布置,减少弯头数量,弯头选用大曲率半径弯头(一般曲率半径不小于1.5倍管径),减少介质流动阻力和局部应力集中,同时便于夹套介质均匀流动,避免出现传热死区。对于长距离夹套管,需合理设置固定支架和滑动支架,控制管道的热膨胀方向,配合热补偿装置实现热膨胀吸收。管道走向需考虑介质的排净和放空需求,在管道最低点设置排净阀,最高点设置放空阀,避免介质滞留导致结垢、腐蚀或冬季冻堵。

3.3 材料选型策略

材料选型是保障夹套管配管系统耐腐蚀、耐高温、耐高压及长期稳定运行的关键,需根据内管介质特性、夹套介质特性、操作温度压力及使用寿命要求,制定科学合理的材料选型策略。内管材料选型需重点考虑介质的腐蚀性、温度及压力,对于普通中性介质、中低温中压工况,可选用碳钢管道(如20#钢);对于腐蚀性较强的介质(如酸、碱、盐溶液),需选用不锈钢(如304、316L)、钛合金等耐腐蚀材料;对于高温高压工况,需选用耐热合金钢,确保材料的耐高温强度和韧性。外管材料选型需结合夹套介质特性和环境条件,若夹套介质为

水、蒸汽等中性介质,可选用碳钢管道;若夹套介质为腐蚀性介质,需选用与内管匹配的耐腐蚀材料。

3.4 特殊工况设计

化工装置中夹套管常面临高温高压、强腐蚀、易结晶、高粘度等特殊工况,特殊工况设计需针对不同工况的特点,采取针对性的设计措施,保障管道系统的稳定运行。对于高温高压工况,需强化管道结构强度,选用耐高温高压材料,优化焊接工艺,加强管道密封设计,设置可靠的热补偿装置和压力安全装置,定期进行应力校核和管道检测。对于强腐蚀工况,除选用耐腐蚀材料外,可对管道内壁进行防腐涂层、衬里(如聚四氟乙烯衬里)处理,减少介质与管壁的接触腐蚀,同时优化管道流速,避免介质冲刷导致腐蚀加剧。对于易结晶、高粘度介质,需加大夹套间隙,提高伴热介质温度和流速,强化传热效果,防止介质结晶堵塞管道,同时在管道布置上尽量减少弯头和死角,设置蒸汽吹扫接口,便于定期吹扫清理。

4 未来发展趋势

4.1 智能化夹套管设计(基于数字孪生技术)

随着工业4.0的推进,智能化已成为化工装备设计的重要发展趋势,基于数字孪生技术的智能化夹套管设计将逐步替代传统设计模式,实现夹套管全生命周期的智能化管控。数字孪生技术可通过构建夹套管的虚拟数字模型,精准映射物理实体的结构、参数、运行状态,结合传感器实时采集的温度、压力、流量、应力、腐蚀等数据,实现虚拟模型与物理实体的同步联动。在设计阶段,可通过虚拟仿真模拟不同工艺参数、结构设计下夹套管的传热效果、流体动力学特性及应力分布,快速优化设计方案,降低设计成本和试验风险。在运行阶段,可通过数字孪生模型实时监测夹套管的运行状态,提前预判泄漏、腐蚀、堵塞等故障隐患,实现故障预警和精准维护。在检修阶段,可通过虚拟模型模拟检修流程,优化检修方案,减少检修时间和成本。

4.2 绿色低碳材料在夹套管中的应用探索

在“双碳”目标引领下,绿色低碳已成为化工行业高质量发展的核心导向,绿色低碳材料在夹套管中的应用探索将成为未来发展的重要方向,重点围绕节能降耗、环保减排、资源循环利用展开。一方面,将研发和应用高效节能材料,如新型高效导热材料,可提高夹套管的传热效率,减少伴热介质的消耗,降低系统能耗;新型保温隔热材料,可减少管道热损失,进一步提升节能效果^[4]。另一方面,将推广应用环保低碳、可回收利用的材料,替代传统高能耗、高污染的金属材料,如新型复合材料(如玻璃钢、碳纤维复合材料),其具有耐腐蚀、重量轻、导热性能可调、可回收利用等优点,可降低材料生产过程中的碳排放,同时延长夹套管的使用寿命,减少废弃物产生。此外,将探索材料的循环利用技术,对废旧夹套管材料进行回收处理和再利用,实现资源循环,通过优化材料配方和制造工艺,降低材料生产和使用过程中的环境影响,推动夹套管配管设计向绿色低碳方向转型。

结束语

化工装置中夹套管管道配管设计涵盖多方面内容,从基础理论到核心原则,再到关键技术,每个环节都紧密相连且至关重要。遵循合理设计原则,运用关键技术,能保障夹套管安全稳定运行。展望未来,智能化与绿色低碳发展方向为夹套管设计带来新机遇。持续深入研究与创新,将推动夹套管管道配管设计不断优化,助力化工行业高质量发展。

参考文献

- [1]曹淑霞.化工装置中夹套管管道配管的设计研究[J].化工管理,2022(33):116-118.
- [2]王欢欢.化工装置中夹套管管道的配管设计[J].化工管理,2023(29):135-137.
- [3]雷颖妍.化工装置中夹套管管道的配管设计分析[J].中国化工贸易,2025(15):114-116.
- [4]雷云飞.大型化工装置配套锅炉炉型比选分析研究[J].广州化工,2025,53(21):169-172.