

氨渗检测技术在化工特种管道夹套管中的实际案例分析

曹廷廷（江苏中圣高科技产业有限公司，江苏 南京 210000）

摘要：本文通过某化工企业 DN150 夹套管道系统的实际检测案例，分析了氨渗检测技术在夹套管应用中的特点和难点，文章阐述了夹套管检测的特殊性，包括双层结构带来的检测难度、重点关注部位及特殊要求，通过系统的检测方案制定、严格的检测过程控制，成功发现并解决了内管环焊缝泄漏和夹套连接处密封圈老化问题，确保了设备安全运行。

关键词：夹套管；氨渗检测；密封性能；泄漏检测；化工管道

0 引言

夹套管作为化工行业重要的传热设备，其双层结构设计既保证了工艺介质的输送，又实现了温度控制功能，然而，这种特殊结构也给设备检测带来了巨大挑战。氨渗检测技术作为一种高效可靠的检测手段，在夹套管密封性检验中发挥着关键作用，本文通过实际案例分析，探讨氨渗检测技术在夹套管检测中的应用特点和技术要求。

1 夹套管概述

夹套管作为化工行业的重要设备，采用独特的双层管道结构设计，该结构由内管和外管保持同轴布置组成，两层管道之间形成封闭的环形空间，内管承担工艺介质输送任务，而外管则通过形成的夹套空间容纳热介质，实现加热或保温功能。在结构设计上，夹套管的内外管之间形成规则的环形通道，便于热介质的均匀流动，这种设计充分利用了热传递原理，确保工艺介质温度得到有效控制，内外管之间设有合理的支撑结构，保证管道同轴度和结构稳定性。夹套管在化工生产中广泛应用于需要加热或恒温控制的工艺环节，如易凝固物料输送、高粘度介质输送等场合。

2 夹套管氨渗检测的特殊性

2.1 检测难度大

夹套管的氨渗检测面临着独特的技术挑战，双层管道结构使检测工作变得极为复杂，检测人员需同时考虑内管和外管两个独立系统的密封性能，双层结构导致检测区域倍增，检测面积和检测点位显著增多，大大增加了检测工作量和难度。在实际检测过程中，内管和夹套空间需要分别进行独立检测，内管检测需确保管道内部清洁度，避免残留物影响检测精度，夹套空间检测则需考虑热介质的清除和置换问题，确保检测环境的纯净度，两个空间的检测参数和检测方法也存在差异，需要制定不同的检测标准。泄漏点的准

确定是检测工作中最具挑战性的环节，双层结构造成检测信号的干扰和衰减，增加了泄漏点定位的难度，泄漏可能发生在内管、外管或两者之间的任何位置，有时泄漏点的表现位置与实际位置可能存在偏差，这就要求检测人员具备丰富的经验和专业判断能力。

2.2 检测重点

夹套管氨渗检测工作涉及多个关键部位，内管焊缝是最主要的检测重点，包括环向焊缝和纵向焊缝，这些位置承受着较大的压力和温度应力，容易出现疲劳开裂或焊接缺陷，需要重点关注焊缝质量和完整性，夹套连接处是另一个检测重点，这些部位通常采用特殊的密封结构，需要检查密封材料的性能和密封面的状态，连接处往往还涉及不同材料的过渡和应力集中，容易发生泄漏问题，检测时需要特别关注密封元件的老化和变形情况。

2.3 特殊要求

夹套管的氨渗检测对检测程序提出了特殊要求，检测程序需要详细规定每个检测环节的具体步骤、参数控制和质量要求，检测方案必须包含应急预案和安全防护措施，确保检测过程的安全性和可控性，程序设计需要考虑不同工况下的检测要求，制定相应的检测标准和判定依据。检测人员的技能水平直接影响检测质量，检测人员必须掌握氨渗检测的专业知识，熟悉各类检测设备的操作方法，同时需要具备丰富的实践经验，能够准确判断泄漏类型和位置，检测人员还需要持续更新知识储备，适应新型检测技术和设备的应用。检测设备的精密度和可靠性要求较高，检测仪器需要具备较高的灵敏度和分辨率，能够准确检测微小的泄漏信号，设备必须具有良好的抗干扰能力和环境适应性，确保在各种工况下都能保持稳定的检测性能，定期的设备校准和维护是确保检测结果准确性的重要保障。

3 实际案例分析

3.1 案例背景

在某大型化工生产基地，一条 DN150 规格的夹套管道出现异常情况，该管道系统是工厂氨产品输送的关键设备，对生产安全和工艺稳定性具有重要影响。管道系统采用标准的夹套结构设计，内管直径为 DN150，主要用于输送温度高达 120℃ 的高温液氨，夹套空间内充注导热油作为保温介质，在正常工况下夹套腔室压力维持在 0.3MPa。导热油的使用可以确保液氨在输送过程中保持恒定温度，防止温度波动导致的物料状态改变，这种温控方式较蒸汽加热更加稳定可靠，便于精确控制工艺参数。在例行设备巡检过程中，运行人员发现夹套腔室压力显示值出现异常波动，压力表读数从正常的 0.3MPa 降至 0.15MPa，压力异常现象持续存在且呈现逐步下降趋势，这种情况表明夹套系统可能存在泄漏隐患。

考虑到液氨的危险特性和工艺要求，管道系统的密封性至关重要，基于安全生产和设备完整性管理要求，工厂决定对该段夹套管道进行全面的氨渗检测，检测工作需要在确保生产连续性的前提下开展，同时必须严格执行危险作业管理规定。通过氨渗检测，可以准确判断管道系统的密封性能，及时发现潜在的泄漏风险。

3.2 检测方案

3.2.1 前期准备

夹套管道氨渗检测工作需要完善的前期准备工作，检测方案的制定过程中需充分考虑工艺参数、设备特点和安全要求，明确检测范围、检测方法和技术标准，方案内容包括检测流程、质量控制措施、应急预案等关键要素。管线分区段检测图的绘制对检测工作具有重要指导意义，图纸需标注管道规格、焊缝位置、阀门布置等重要信息，并将检测区域划分为合理的检测单元，分区段检测可提高检测效率，便于问题定位和处理。专用检测工具和防护设备的配备是确保检测安全和精度的基础，检测工具包括氨气检测仪、压力表、真空泵等专业设备，防护装备涵盖防毒面具、防化服、医疗急救包等安全用品，设备使用前需进行检查和校准，确保性能可靠。

3.2.2 检测步骤

内管检测阶段是氨渗检测的基础环节，检测开始前需对内管进行彻底清洗和干燥处理，清除残留物质，采用氮气进行管道置换，确保检测环境的纯净度，随

后向内管充入特定压力的氨气，进行压力保持试验，通过检测仪器监测管道各部位的氨气泄漏情况，重点关注焊缝和连接处。夹套空间检测是整个检测工作的重要组成部分，检测前需要将夹套内的导热油完全排空，并对空间进行清洗和干燥，同样采用氮气进行置换后，向夹套空间充入规定压力的氨气，检测过程中需监测夹套压力变化，并对可疑部位进行重点检查。整体密封性检验是检测工作的最终验证阶段，在完成内管和夹套空间的独立检测后，需要对整个系统进行全面的密封性检验，检验过程包括系统加压、压力保持和泄漏检测等步骤，通过综合分析检测数据，评估管道系统的整体密封性能，确保检测结果的准确性和可靠性。

3.3 检测过程

3.3.1 内管检测

内管检测工作需要严格执行操作规程，确保每个环节的质量，清洗过程采用专用清洗剂对内管壁进行全面清理，去除管道内的残留物质和污垢，清洗完成后使用干燥气体吹扫，确保内壁达到完全干燥状态，避免水分影响检测精度。氮气置换是检测前的重要准备工作，将氮气以合适流量通入管道，置换出管内空气，降低检测风险，置换过程中需监测管道出口气体成分，待氧含量降至规定值以下时，方可进行下一步操作。向内管充入氨气时需严格控制充气速度和压力，将管道内压力逐步升至 0.5MPa，期间密切关注压力表读数变化，压力达到设定值后进入 24 小时保压检测阶段，通过检测仪器定期记录压力数据，观察压力变化趋势，并对管道各部位进行氨气泄漏检测。

3.3.2 夹套空间检测

夹套空间检测需要特别注意导热油的排放和处理，使用专用抽油设备将夹套内导热油完全抽出，并对废油进行规范化处理，抽油过程需确保夹套内不留残余油液，为后续检测创造良好条件。夹套空间的清洗和干燥要求同样严格，采用清洗剂对夹套内壁进行冲洗，去除油污和杂质，干燥过程使用热风或其他干燥方式，确保夹套空间内无水分和油污残留，清洗质量直接影响检测结果的准确性。氮气置换过程需要控制合适的置换压力和流量，待置换完成后，向夹套空间缓慢充入氨气，将压力调节至 0.3MPa，在充气过程中需要仔细观察压力变化情况，确保压力均匀上升，达到设定压力后，使用检测仪器对夹套各部位进行全面检测，特别关注连接处和焊缝部位。

3.4 检测结果

3.4.1 发现问题

在夹套管道系统的氨渗检测中,发现了严重影响设备安全运行的两处关键问题,内管环向焊缝处出现微量泄漏现象,该泄漏点位于管道系统中段的一处环向焊缝位置。泄漏特征表现为局部区域氨气浓度异常升高,检测仪器在该区域测得持续的泄漏信号,信号强度达到50ppm,超出了安全标准规定的10ppm警戒值。经过多次复测确认,泄漏处的焊缝表面未见明显裂纹,但在荧光渗透检测中显示出细微的线性指征,这种潜在的焊接缺陷可能是由焊接工艺参数控制不当或材料应力集中导致,虽然当前泄漏量较小,但考虑到液氨的危险特性和生产工艺要求,该问题已经严重影响系统的安全运行。夹套连接处密封圈出现严重老化现象,密封材料已经完全丧失原有的弹性和密封性能,密封圈表面呈现明显的硬化和龟裂状态,硬度值从原有的65度上升至85度,远超标准允许范围,在局部区域发现变形和磨损现象,密封圈厚度减少了约15%,失去了有效的密封作用。这种老化状态导致夹套系统压力无法维持在正常工作范围内,对导热油的保温效果产生显著影响,经过现场分析,密封圈老化问题与长期的高温环境和导热油的侵蚀作用有关,密封材料在反复的温度循环和化学介质作用下加速劣化,材料性能持续下降,这种老化状态如不及时处理,将导致密封失效,引发更严重的泄漏事故,直接威胁生产安全。

3.4.2 具体数据

通过24小时的持续监测,收集到完整的检测数据记录,检测过程采用高精度压力传感器和数字化记录系统,确保数据的准确性和可靠性。系统显示存在明显的压力衰减现象,具体检测结果如表1所示:

表1:内管检测数据测试结果

检测项目	数值
初始压力	0.5MPa
24h后压力	0.482MPa
压降值	0.018MPa
泄漏位置	内管环焊缝

数据分析表明,系统在24小时内压力从初始的0.5MPa降低至0.482MPa,压降值达到0.018MPa,这一压降值显著超出了设备维护规程规定的0.015MPa警戒线,压力下降曲线呈现稳定的线性特征,表明泄漏状态持续存在。通过精密检测仪器定位,确认泄漏点位于内管环焊缝处,与压力监测数据高度吻合,在整

个检测周期内,环境温度保持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 范围内,湿度控制在65%以下,满足检测标准要求。检测仪器均经过校准,测量误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,确保数据的可信度,这些数据为制定修复方案提供了重要依据。

3.4.3 处理措施

根据检测发现的问题,制定并实施了全面的整改方案,对内管泄漏段实施更换处理,采用具有压力容器资质的专业焊接队伍进行施工。更换工作严格执行化工特种设备焊接规范,包括焊前预热、焊接位置调整、焊接工艺参数控制等关键环节,新焊缝采用自动焊接设备,确保焊接质量的稳定性和一致性。焊接完成后进行了100%射线探伤检测,检测结果达到I级标准,同时辅以超声波检测,确保焊缝内部质量符合要求。在焊缝表面进行了着色渗透探伤,验证表面无裂纹和气孔等缺陷,新焊缝区域进行了应力消除热处理,避免残余应力带来的安全隐患。夹套连接处密封圈的更换工作同步进行,选用新型氟橡胶材质密封圈,该材料具有优异的耐温性和耐油性,使用温度范围达到 -20°C 至 200°C 。密封圈的力学性能和化学稳定性均满足工作条件要求,安装过程采用专用力矩扳手控制安装力度,使用分段紧固方法确保密封圈受力均匀。完成整改后,对系统进行了72小时的试压验证,压力保持在0.5MPa,压降值小于0.005MPa,证实修复效果良好,整改完成后的验收检测包括气密性试验、氨气检漏等多个项目,所有检测指标均满足技术标准要求,系统恢复正常运行状态。

4 结论

氨渗检测技术在夹套管检测中具有独特优势,但也面临着双层结构带来的技术难题,通过本案例分析表明,科学的检测方案、规范的操作流程和可靠的检测设备是确保检测质量的关键因素。检测重点应关注内管焊缝、夹套连接处等易发生泄漏的部位,同时建立完善的检测标准和质量控制体系,有效的氨渗检测对于保障化工设备安全运行具有重要意义。

参考文献:

- [1] 潘浩.石油化工装置夹套管设计探究[J].化工管理,2019(2):25-26.
- [2] 王宏斌,苏然云,赵秋凤.夹套管的应用及改进[J].天然气与石油,2021(7):61-62.

作者简介:

曹延廷(1986.07-),男,汉族,湖南益阳,本科,工程师,主要研究方向:石油化工/化工工程项目管理。