

化工罐区压力管道保温层下腐蚀与防护技术

胡孙达 林 浩 杨晓武 (温州市特种设备检测科学研究院, 浙江 温州 325000)

摘 要: 为保障化工生产中管道运行的安全性与稳定性, 减少因腐蚀带来的安全隐患和经济损失, 文章聚焦化工罐区压力管道保温层下腐蚀这一关键问题, 不仅深入分析涵盖水分渗入、介质影响、材质特性以及温度作用等多方面因素的腐蚀机理, 而且通过实际案例详细展现腐蚀状况, 还探讨了从表面预处理、防腐涂层施工到保温层安装等一系列防护技术的应用, 旨在为化工罐区压力管道的腐蚀防护提供科学、有效的参考方案。

关键词: 化工罐区; 压力管道; 保温层下腐蚀; 防护技术; 管道安全

中图分类号: TQ050.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 031-0111-03

Corrosion Under Insulation and Protection Technology for Pressure Pipelines in Chemical Tank Farms

Hu Sunda, Lin Hao, Yang Xiaowu (Wenzhou Special Equipment Inspection and Research Institute, Wenzhou Zhejiang 325000, China)

Abstract: To ensure the safety and stability of pipeline operations in chemical production and reduce the potential safety hazards and economic losses caused by corrosion, this study focuses on the critical issue of corrosion under insulation (CUI) in pressure pipelines within chemical tank farms. It not only provides an in-depth analysis of the corrosion mechanisms involving multiple factors, such as moisture infiltration, medium influence, material characteristics, and temperature effects, but also illustrates the corrosion conditions through practical case studies. Furthermore, the application of a series of protection technologies—from surface pretreatment and anticorrosive coating implementation to insulation layer installation—is discussed. The aim is to offer scientific and effective reference solutions for corrosion protection of pressure pipelines in chemical tank farms.

Keywords: Chemical tank farms; Pressure pipelines; Corrosion under insulation (CUI); Protection technology; Pipeline safety

在化工生产领域, 化工罐区的压力管道起着输送各类介质的关键作用, 其安全运行关乎整个生产流程的稳定, 可管道所处环境复杂, 且保温层的存在让腐蚀情况不易察觉, 保温层下腐蚀问题已然成为威胁管道安全的一大隐患, 一旦发生该问题往往会造成诸如管道泄漏引发火灾、爆炸事故以及生产中断等严重后果, 所以深入研究化工罐区压力管道保温层下腐蚀机理并探索有效的防护技术有着极为重要的现实意义。

1 化工罐区压力管道保温层下腐蚀机理分析

化工罐区压力管道保温层下发生腐蚀是多种因素协同作用的结果, 水分因素不容忽视, 若保温层存在缝隙或者破损, 外界水分就容易渗入其中, 且管道运行时内外会产生温差, 水汽便会在金属表面冷凝, 进而形成电解质溶液, 从而为腐蚀创造有利条件^[1]。另一方面, 输送的化工介质本身可能具备腐蚀性, 当其接触到金属管道表面时就会引发化学反应, 以此加速腐蚀进程, 并且常用的像 L245 钢、20 钢这类材质在海洋性气候等复杂环境下耐腐蚀性存在一定局限, 更易于遭受腐蚀。此外, 温度变化起着关键作用, 其不但会对水汽的凝结产生影响, 还可能改变腐蚀反应的速率, 在高温或低温环境与介质、水分共同作用下,

会致使管道出现诸如瘤状腐蚀坑、涂层剥离等形态的腐蚀, 对管道的安全运行构成严重威胁^[2]。

2 化工罐区压力管道保温层下腐蚀与检验技术

化工罐区压力管道由于所输送的介质大多具有腐蚀性, 且其外部的保温层因长期覆盖易形成密闭潮湿环境, 这使得保温层下腐蚀 (CUI) 现象频繁发生, 而该腐蚀现象可能引发管道泄漏、爆炸等安全事故, 因此需要系统应用检验与防护技术来保障管道安全^[3]。在检验技术层面, 为突破保温层的阻碍, 常用的无损检测手段各有优势, 其中红外热成像技术可借助检测管道表面温度差异来定位保温层下因腐蚀产生的缺陷区域, 且无需拆除保温层, 超声导波检测则能沿管道轴向传播声波, 凭借其长距离的覆盖检测范围快速排查管道壁厚减薄等腐蚀问题, 对于疑似存在严重腐蚀的部位, 还需局部拆除保温层, 采用超声测厚或渗透检测的方式精准获取腐蚀程度数据, 为后续处理工作提供可靠依据^[4]。在防护技术层面, 核心在于从源头阻断腐蚀条件, 具体而言, 在管道材质选择上, 应优先采用 316L 不锈钢等耐蚀合金, 或在碳钢表面涂覆环氧煤沥青、聚脲涂层等防腐涂层, 以此增强管道基体的抗蚀能力, 在保温层设计上, 需采用离心玻璃棉

外包铝箔等防水性能优异的材料,并对保温层接缝处进行密封处理,防止雨水、蒸汽渗入,在定期维护过程中,要按周期抽检保温层的完整性,对发现的破损处及时修补,同时通过管道排水系统排除冷凝水,降低保温层下密闭环境的湿度,从而从根本上抑制保温层下腐蚀(CUI)的发生,保障化工罐区压力管道安全稳定运行^[5]。

3 化工罐区压力管道保温层下腐蚀防护技术探讨

3.1 表面预处理

首先要对需要防护的压力管道进行全面的表面清理工作,在此过程中施工人员需拆除原有的已受损或失效的保温层、防护涂层等,且在拆除时要尽量避免对管道基体造成额外损伤。接着要对管道表面开展严格的除锈操作,通常采用机械除锈与化学除锈相结合的方式,让管道表面呈现出均匀的金属光泽,为后续防护涂层的良好附着奠定基础。在除锈完成后,必须使用干净的压缩空气对管道表面进行吹扫,彻底清除表面残留的灰尘、碎屑以及除锈剂残留等杂质,之后再再用清洁的无油棉布蘸取适量的有机溶剂,仔细擦拭管道表面,去除油污等可能影响涂层附着力的物质,以此保证管道表面处于清洁、干燥且粗糙适中的理想状态。

3.2 防腐涂层施工

在防腐涂层施工过程中,先是要依据管道工况以及输送介质特性来选择适配的底漆,施工前需按照说明书规定的比例进行调配并充分搅匀,接着利用专业工具沿着管道轴向均匀地涂刷底漆,防止出现流挂、漏涂的情况。待底漆固化后,要是中间漆施工的需求,通过喷涂或者刷涂的方式均匀施涂,同时控制好每道中间漆的厚度,并预留出足够的干燥时间,以此确保其能发挥阻隔、填充的作用。最后进行面漆施工时,要重点从耐候性、耐腐蚀性这些方面来考虑选择面漆,主要采用喷涂的方式进行施工,按照设计层数施涂且要保证其充分固化,最终形成总厚度达150–250 μm 的防腐涂层体系,以此来阻挡外界腐蚀介质与管道相接触。在整个施工过程中还要定期开展质量检查工作,运用测厚仪测量涂层厚度,通过目视查看是否存在针孔、气泡、剥落等缺陷,一旦发现问题就要及时进行修补。

3.3 保温层安装施工

在防腐涂层施工完毕且验收合格后,即可开展保温层的安装工作,先是要依据管道的规格尺寸,对诸如岩棉板、聚氨酯泡沫等保温材料进行精确的裁剪和加工,以此确保保温材料能够紧密贴合管道的外形轮廓,尽量减少缝隙的产生,对于管道的特殊部位,像

弯头、三通、管托等,要采用定制的异形保温制品或者对保温材料进行现场切割、拼接、塑形等操作,保证这些部位的保温效果与直管段一致。然后从管道的一端开始,将裁剪好的保温材料依次包裹在管道上,相邻保温材料之间的接口处需使用专用的保温密封胶进行粘贴密封,保证接口严密,防止水汽从接口处渗入保温层内部,同时每隔通常间隔1–2m的一定距离,采用保温钉、钢带等固定装置将保温材料牢固地固定在管道上,避免其在后续使用过程中出现松动、移位等情况。在保温层安装完成后,还要对整个保温层的外观进行仔细检查,查看是否存在空鼓、破损等问题,若有问题就要及时采取修补措施,确保保温层的完整性和保温性能达到设计要求。

3.4 防护效果监测与后续维护

在完成上述防护施工后需要建立长期的防护效果监测机制,具体是通过安装温度传感器、湿度传感器以及腐蚀监测探头等设备,实时监测管道保温层内外部环境参数以及管道的腐蚀状态,并且定期收集和分析监测数据,以此来及时发现潜在的腐蚀隐患,像保温层内是否出现水汽积聚、管道表面是否有腐蚀迹象等情况。而一旦监测到异常数据或者发现管道有腐蚀迹象,就要及时安排专业人员进行检查和维护,再根据具体情况采取相应的措施,例如对局部破损的保温层进行修补、对出现腐蚀的部位重新进行防腐处理等,进而确保化工罐区压力管道能够长期稳定、安全地运行,保障化工生产活动的顺利开展。

4 压力管道保温层下腐蚀案例分析

4.1 案例一介绍



图1

某厂甲醇罐区管道,该管道等级为GC2,材质为20#钢,管道规格为 $\Phi 57 \times 3.5\text{mm}$,长度100m,设计压力0.6MPa,设计温度50 $^{\circ}\text{C}$,工作压力0.3MPa,工作温度常温,输送介质为甲醇。2024年1月对该管道

进行定期检验,资料审查发现按设计要求该管道未要求设置隔热层,该企业在施工时,工人未按图施工,将管廊上的管道敷设了隔热层,且在使用过程中,未对隔热层进行维护,致使大部分隔热层破损严重,拆除破损的隔热层,发现管道本体布满 0.5~1.0mm 点蚀坑,如图 1,采用超声波测厚仪加焊缝检验尺对严重部位点蚀坑进行检测,有效厚度为 2.46mm。

4.1.1 腐蚀原因分析

在该管道在隔热层下出现点蚀坑的问题进行分析时,先是对其周边环境和天气情况做了相应了解,而后发现原因在于隔热层外层保护层出现破损,致使外界水分得以进入保温材料,尤其是在处于雨季或者潮湿环境下,保温层会吸收一定水分,进而在管道周边营造出一个长期的潮湿环境,由此产生电化学腐蚀,最终使得管道出现大面积点蚀。并且通过现场检验还发现,管道本体在安装之时,外表虽涂刷有一层防锈漆,但该油漆长时间浸泡在这种潮湿环境中,容易出现脱落情况,这又进一步加剧了管道的腐蚀。

4.1.2 检验结论及处理结果

依据 TSGD7005-2018《压力管道定期检验规则—工业管道》要求,在管道组成件全面减薄量超过公称厚度 20% 或者检验人员对管道强度有怀疑的情况下,应当进行耐压强度校核。对于整段管道布满深度不一的点蚀坑,按全面减薄 20% 依据 GB/T20801-2020《压力管道规范工业管道》来对管道进行耐压强度校核,且校核结果为合格。而在检验过程中又发现管道和相邻管道存在碰撞现象,经综合评定其安全等级为 3 级,属于基本符合要求的情况,使用单位需对其监控使用。此外,针对管道大面积点蚀这一问题,要对使用单位提出整改意见,即拆除该管道保温层,然后对管道重新进行除锈、涂刷油漆。

4.2 案例二介绍

某厂氨制冷管道,2024 年 7 月定期检验发现,热氨冲霜管道室外部位出现泄漏,以下以热氨冲霜管道进行介绍,该管道等级为 GC2,材质为 20# 钢,管道规格为 $\Phi 76 \times 4.0\text{mm}$,长度 111.5m,设计压力 2.0MPa,设计温度 98℃,工作压力 0.8MPa,工作温度 78℃,输送介质为氨,保温材料为聚氨酯,外保护层为铝皮。定期检验发现隔热层外保护层注塑孔分布在顶部,且注塑孔裸露未加装铝皮封堵,拆除铝皮后发现保温填充不完全,如图 2 所示,拆保温后,部分管段表面出现点蚀,腐蚀部分颜色发黑,腐蚀产物呈片状剥落。对室外热氨冲霜管道进行拆除保温检测,发现 36 处出现局部腐蚀,其中 3 处出现穿孔泄漏,9 处壁厚减薄超 20% 公称厚度,其中 3 处壁厚小于 2mm。

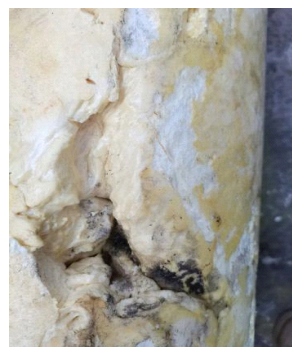


图 2

4.2.1 腐蚀原因分析

由于注塑孔开设在顶部且未进行封堵,使得外界雨水能进入保温层,加之保温层不够致密,导致雨水可顺利接触到管道本体,并且管道防腐层出现了剥落情况,同时该管道为热氨冲霜管道,经常会产生冷热交换,巨大的温差效应加速了腐蚀反应,该管道产生了腐蚀。

4.2.2 检验结论及处理结果

依据 TSGD7005-2018《压力管道定期检验规则—工业管道》要求,对使用单位出具整改通知书,要求其一是对泄漏部位以及壁厚小于 2mm 的部位进行更换处理,其二是对腐蚀部位开展除锈防腐处理,其三是对隔热层质量加以控制,具体要防止保温层不致密,且注塑孔应尽量避免顶部并进行封堵。此次检验存在多处壁厚腐蚀减薄的情况,还建议使用单位对室外管道进行统一更换处理。

5 总结

化工罐区压力管道保温层下腐蚀机理受水分、介质、材质及温度等多方面因素协同影响而较为复杂,给管道安全运行带来诸多风险,通过实际案例分析能看出其危害不容小觑,而有效的防护技术涵盖了从前期准备到施工操作以及后续监测维护等多个环节,只有全面、科学地运用这些防护技术,并持续关注管道状态,才能切实降低保温层下腐蚀发生的概率,进而保障化工罐区压力管道长期稳定运行。

参考文献:

- [1] 李德. 浅谈核电站冷冻水系统保温层下腐蚀与防护措施 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(02): 94-99.
- [2] 周信. 滨海燃气电厂保温层下腐蚀分析及防护 [J]. 涂层与防护, 2023, 44(05): 1-6.
- [3] 王海, 韩斌, 刘少辰, 等. 保温层下腐蚀检测与防护 [J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(05): 132-135.
- [4] 郭东红, 刘文川. 保温层下腐蚀分析及防护探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(07): 28-29.
- [5] 王中校. 保温层下腐蚀及防护措施 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2022, 36(02): 30-32.