

# 输送管道保温层下腐蚀排查方法及防范措施

王文娟 (中国石化扬子石油化工有限公司, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 保温层下腐蚀 (简称 CUI) 是指发生在施加了保温层材料的管道或设备外表面上的一种腐蚀现象。因保温材料为多孔结构, 有较大的表面积和丰富的毛细管, 具有较强的吸附能力和吸水能力, 腐蚀杂质和保温材料吸收水后, 形成较强的电解质溶液, 与金属接触后发生强烈的腐蚀反应, 导致设备管道保温层下腐蚀。CUI 作为外部腐蚀的一种, 受外界环境、防腐保温措施和操作条件的影响十分明显, 严重影响到设备及管道的安全运行, 为了有效排查设备管道的保温层下腐蚀, 结合近几年外管廊的 CUI 腐蚀案例, 探讨保温层下腐蚀排查方法及防范措施。

**关键词:**

## 1 保温层下腐蚀现状分析

结合近几年来, 贮运厂发生的保温层下腐蚀的一些案例, 总结分析保温层下腐蚀的特点。

案例一: 2024 年 6 月 9 日, 外管油品作业区送橡胶厂苯乙烯管线在化工大道管廊 2186# 柱附近发生泄漏, 泄漏原因为管托部位外护层存在缺陷, 导致雨水进入保冷层; 且介质工作温度较低, 管线长期处于低温状态运行, 表面易产生结露现象, 水汽长期附着在管线底部, 引起管线保温层下腐蚀。

案例二: 2024 年 6 月 19 日, 外管成品作业区付扬子百江液化气管线直管段上部外腐蚀穿孔泄漏, 分析直接原因为成品付扬子百江液化气管线正上方为破损的电伴热线桥架, 由于桥架内存在积水, 长期滴在液化气管线保温层上, 管线的外护层搭接缝偏朝上, 积水进入保温层, 水汽长期附着在管线上, 引起管线保温层下腐蚀。

案例三: 2024 年 5 月 24 日, 液体码头作业区 G1110b 罐壁保温支撑角钢处腐蚀穿孔, 分析泄漏原因之一为保温支撑角钢处在完成安装后未进行有效地除锈防腐, 喷淋管线水易进入该部位, 导致该区域发生保温层下腐蚀。

从近几年腐蚀调查的结果来看, CUI 对管道及设备腐蚀危害程度远远超过管内介质腐蚀, 成为带保温管线最主要的腐蚀形式。

分析上述几起案例可以发现发现, CUI 具有以下特点:

① 腐蚀部位具有不规律性, 管线的直管段或弯头、管托部位、小接管、储罐罐壁支撑角钢处等部位均有可能发生 CUI。

② 保温外部防护层的完好程度及规范性与 CUI 的

发生直接相关。在水平管道上保温层接缝和密封不良, 以及开裂等部位, 保温层破损或缺少的部位等容易发生 CUI。

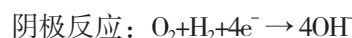
③ 操作温度与 CUI 密切相关。管线运行温度常常低于环境温度时, 若保温防水效果不佳, 水汽进入保温层内, 在管线外表面形成结露, 产生的冷凝水长期积聚在管道外表面易导致发生 CUI。

④ 工艺条件的稳定对 CUI 至关重要。间歇运行的管道温度波动较大, 腐蚀比较明显, 操作温度稳定的管道腐蚀相对轻微。

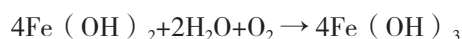
⑤ 观察腐蚀形貌特征发现: CUI 典型腐蚀形貌呈不均匀整体腐蚀、管道外壁金属腐蚀产物疏松, 易锈蚀剥落; 管道外壁存在密集腐蚀坑坑蚀。

## 2 保温层下腐蚀的机理

研究表明, 装置运行 10 年后, 60% 的保温层含有腐蚀性冷凝水, 很大程度上增加了 CUI 发生的可能性。同时, 水的存在导致了保温层与金属表面间形成电解池, 为电化学腐蚀创造条件, 主要反应式为:



阳极反应生成的  $\text{Fe}^{2+}$  与阴极反应生成的  $\text{OH}^-$  反应生成次生腐蚀产物  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , 在氧气的作用下继续发生反应, 生成最终腐蚀产物  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  和  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , 其反应式如下:



其中腐蚀产物  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  质地疏松, 缺乏对底层金属的保护性, 一旦在金属表面某处发生, 在潮湿的环境下, 腐蚀就会继续。

## 3 保温层下腐蚀的影响因素

除了水分对 CUI 的作用外,含氧量、pH 值、水分中腐蚀介质的种类、金属表面温度、设备安装保温结构及保温材料的性能等,都对保温层下腐蚀的发生具有一定的影响。

### 3.1 保温材料性能及结构

在 CUI 发生过程中,保温材料特性与保温材料结构起到关键作用。保温材料与金属表面间的环形空隙,以及设备与管道表面存在的缺陷,都可能成为水汽及腐蚀介质驻留的场所,从而在该部位聚积和浓缩。

其次保温材料受潮或变湿,保温层本身含有的腐蚀性介质(如氯化物、氟化物和硅酸盐等)溶于水形成酸性环境,加剧 CUI 的进程,并容易引起奥氏体不锈钢的开裂。

### 3.2 保温防护层

CUI 的防护层按所在位置分为保温材料外防护层和保温材料下金属表面防护涂层。外防护层是 CUI 的第一道屏障,直接与外界环境接触,它的完整性直接关系到外部水分和腐蚀介质能否进入,决定 CUI 能否发生。金属表面防护涂层是目前 CUI 最基本有效的措施,可以隔断潮湿腐蚀环境与金属表面的直接接触,但对于高温条件下,可能引起涂层化学降解,降低涂层的稳定性,使得水的渗透性增加,在这种情况下,即使涂层没有破损,也会增加水的渗入,导致腐蚀的发生。

### 3.3 操作温度

温度作为腐蚀发生的一个重要因素,影响到腐蚀速率的快慢,研究证明,碳钢管道最易发生 CUI 的温度为  $-4 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。CUI 的腐蚀环境可以看作是一个封闭的系统,在这个系统里,随着温度的升高,系统内氧浓度增大,保温层下的腐蚀随着增高,伴随持续高温,水分在金属表面容易蒸发,导致腐蚀介质的浓缩并沉积,增强该区域的腐蚀性。当系统温度受环境温度或生产需求影响时,金属设备及管道处于干湿及冷热交换的状态,就会出现 CUI 的频繁发生。

### 3.4 管道介质具有吸热性能

液化气存在吸热膨胀特性,在有保温情况下,液化气管道表面易吸附一定的水汽,造成保温层下腐蚀。

### 3.5 设备及管道外轮廓设计不合理

大型设备(储罐、塔等)外保温支架若采用凹槽时极易积水,出现保温层下腐蚀,导致焊缝或壁板腐蚀穿孔。

## 4 保温层下腐蚀的排查方法

目前开展的保温层下检查主要针对的是温度小于

$150^{\circ}\text{C}$ 以下且运行时间较长的保温系统,重点针对容易产生冷凝水及外防护层破损部位开展排查,主要检测方法是目视化宏观外部检查为主,配合定点测厚、红外热成像、脉冲涡流技术及超声测厚等技术开展。

参照《炼化企业保温层下腐蚀检查规范》,对于保温层下的腐蚀调查,可通过以下方法开展:

### 4.1 腐蚀检查工作流程

保温层下腐蚀检查按照图 1 所示的流程开展工作。

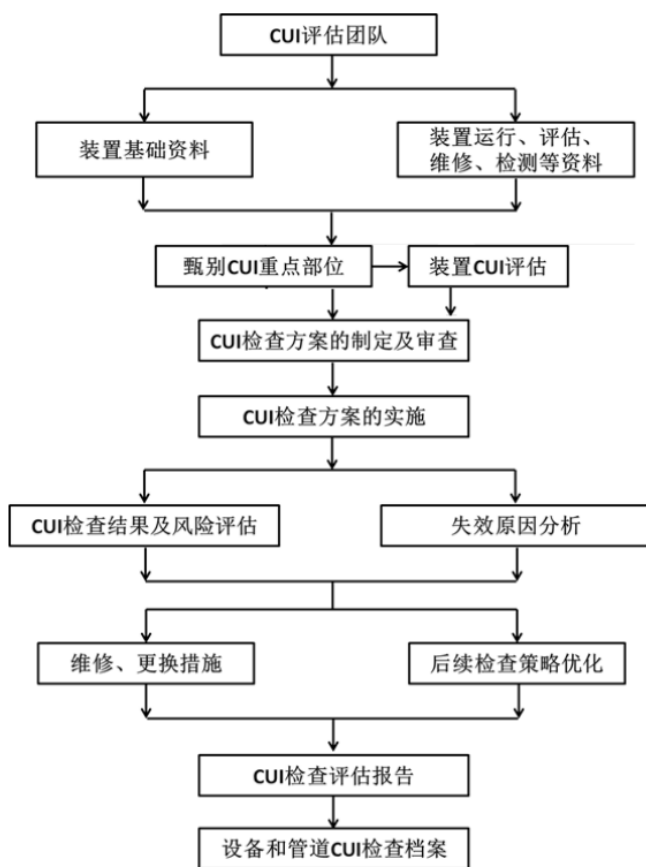


图 1 保温层下腐蚀检查流程

### 4.2 腐蚀检查重点区域

总结保温层下腐蚀的重点检查区域,有:①已使用 10 年以上带保温结构的设备管道及管廊。②受工艺喷溅水影响、潮湿侵蚀或酸性雾气侵蚀的设备和管道。③管道和设备保温护套上的开口部位,如接管(仪表、排凝、导淋等)、三通、管托、支撑、吊架、放空、以及蒸汽伴热管进出渗漏部位。④管道上保温层接缝和密封不良及开裂等部位,保温层破损或缺少的部位。⑤防腐涂层、保温材料老化,保温层破损的管道系统。⑥低温介质带保冷的管线。

### 4.3 CUI 风险等级评估

根据设备和管道的 CUI 失效概率和失效后果进行

CUI 风险等级评估, 将设备和管道的风险分为五个等级, 见图 2。

失效后果 失效概率	低 (Low)	中 (Medium)	高 (High)	很高 (Very High)
V: >27	D	B	A	A
IV: 21~27	D	C	B	A
III: 14~20	D	D	C	B
II: 7~13	E	D	D	C
I: <7	E	E	E	D

图 2 保温层下腐蚀检查流程

风险等级 A: 最高优先级 (危险), 检查所有可能产生 CUI 区域。

风险等级 B: 高优先级 (严重), 检查 50% 可能产生 CUI 区域。

风险等级 C: 中高优先级 (中等), 检查 25% 可能产生 CUI 区域。

风险等级 D: 中优先级 (一般), 检查 10% 可能产生 CUI 区域。

风险等级 E: 低优先级 (良好), 检查 5% 可能产生 CUI 区域。

#### 4.4 现场检查

在选择检查部位时, 可采用目视检查与红外热成像判断具体部位。碳钢及低合金钢材质的设备和管道, 如果表面涂层破损, 主要腐蚀类型是均匀腐蚀或局部腐蚀, 检查壁厚减薄推荐超声测厚或脉冲涡流检测, 奥氏体及双相不锈钢材质的设备和管道, 主要腐蚀类型是点蚀或应力腐蚀开裂, 最有效的 CUI 检查方法是目视检查, 应尽可能全面目视检查保温设备和管道。

### 5 CUI 腐蚀防治对策

#### 5.1 正确选用保温防护层

保温外防护层的选择对预防 CUI 的发生至关重要。实践证明, 将铝箔作为 CUI 的外防护层, 不仅可以作为屏障阻止腐蚀介质接触金属表面, 而且还能对金属起到阴极保护作用。防护涂层防护效果直接关系到 CUI 的发生及腐蚀程度, 在选择防腐蚀涂层时应遵循以下几个原则: 具有良好的防护性能, 在涂层破损前能有效起到隔离潮湿腐蚀环境与金属表面的作用, 阻止腐蚀的发生。具有良好的耐温性能, 所选的防护涂层材料能够长时间在最大工作温度下工作而不失效具有良好的抗热循环性能。

#### 5.2 正确选用保温材料

保温材料的性能和结构虽然不能决定 CUI 能否发生, 但会对 CUI 的速率产生十分显著地影响, 通过谨慎选材可以有效减缓 CUI 的腐蚀程度。在选择保温材料时尽可能不选用具有水分和腐蚀性物质滞留的环状结构或缝隙的保温材料或具有吸水性强、可能产生腐

蚀性物质的保温材料。由于 CUI 离不开水分, 因而尽可能选用吸水性差、干燥快的保温材料。如相对矿物棉类材料, 闭孔式泡沫玻璃与管线/容器界面不易积水, 因此腐蚀性相对较小; 针对 300 系列不锈钢, 选用低氯保温以减小发生点蚀及氯化物 SCC 的可能性。

#### 5.3 强化保温层作业方式及管道和设备保温状况

强化保温施工过程管理, 确保保温施工质量, 对保温外防护层搭接尺寸、搭口位置、搭口密封方法和保温层防水措施等按照《中国石化防腐绝热提升管理规定》的要求, 并严格执行。同时加强运行过程中维护, 减少因保温破损导致水汽进入的现象, 消除管线保温开口现象, 易存水部位进行特殊保温处理, 阀门或法兰上方设导水坡等, 能有效预防保温层下腐蚀。

#### 5.4 完善设备及管道防腐状况

不管新增管线还是在用管线的保温更换, 都必须检查管道的防护涂层状况, 对涂层破损的必须重新除锈防腐; 对管道支托架和小接管等特殊部位进行特殊处理, 管道外壁及焊缝处刷环氧树脂隔离层, 隔绝管道与水汽的接触, 降低腐蚀。

#### 5.5 改善管道的工作条件

尽可能的保持管道工作温度在一稳定区间或小范围内循环, 避免管道工作温度大幅度的波动, 减缓 CUI 的速率。

#### 5.6 选择正确的保温支架

对带保温层的储罐, 罐壁保温支撑尽可能选用栓接平板支架, 避免采用易聚积水的槽状结构。

#### 5.7 持续开展腐蚀调查

对易发生 CUI 的设备管道进行建档, 制定检验周期, 利用宏观检查、超声波测厚、红外成像及涡流扫查等检测方法, 定期对管道腐蚀情况进行跟踪治理。

### 6 结语

CUI 影响设备及管道的安全运行, 也制约装置的长周期运行。正确选择涂层、保温材料及安装方式并对运行时间较长的外保温层进行定期更换可有效地减缓 CUI。同时, CUI 检查采用新几乎是, 可以在不拆除保温层的情况下提高检验的有效性, 从而及时更换保温层, 抑制 CUI 发生。

#### 参考文献:

- [1] 黄赞. 保温层下金属材料的腐蚀与防护 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2013, 30(3): 3.
- [2] 丛海涛. 保温层下腐蚀及防腐对策分析 [J]. 涂料技术与文摘, 2014, 35(6): 3.