

化工压力管道检验中有关绝热层破损问题的探讨

鲁 君 (江苏省特种设备安全监督检验研究院泰州分院, 江苏 泰州 225402)

摘要: 压力管道运行中, 会存在各种缺陷。本文针对绝热层破损, 通过两个案例, 一是计算其最大热损失量, 二是保温层破损可能发生的腐蚀, 进行探讨。

关键词: 绝热层破损; 最大热损失量计算; 大气腐蚀 (有隔热层); 压力管道

0 引言

绝热, 保温与保冷的统称。绝热层, 对维护介质温度稳定起主要作用的绝热材料及其制品。在我们日常检验过程中, 绝大多数企业安全管理人员及负责人对绝热层的破损、脱落等问题, 并没有重视, 或者部分检验员对此也不在意。本文主要针对两种案例, 来对绝热层破损的危害进行分析。

1 最大热损失量计算

受某化工园区企业委托, 对该厂的工业管道进行年度检查, 检验人员查阅设计、安装资料, 管道参数见表 1。

经过检验发现此管道保温层存在塌陷、脱落、部分管段和阀门未保温, 外表面的铝合金薄板也存在松动, 固定不牢固。下面根据热损失量公式来进行计算。

(1) 圆筒型单层绝热结构热、冷损失量应按下式计算:

$$Q = \frac{T_0 - T_a}{\frac{D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad \text{式 (1)}$$

式 (1) 中 Q ——以每平方米绝热层外表面积表示的热损失量 (W/m^2);

D_1 ——绝热层外径;

D_0 ——管道或设备外径;

T_0 ——管道或设备的外表面温度;

T_a ——环境温度;

λ ——绝热材料导热系数; 岩棉材料通常取 0.043。

(2) 外表面换热系数

$$\alpha_s = \alpha_r + \alpha_c \quad \text{式 (2)}$$

α_r ——绝热结构外表面材料的辐射换热系数;
[$W/(m^2K)$]

α_c ——对流换热系数。

$$(3) \alpha_r = \frac{5.669\varepsilon}{T_s - T_a} \left[\left(\frac{273 + T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + T_a}{100} \right)^4 \right] \quad \text{式 (3)}$$

式 (3) 中 ε ——绝热结构外表面材料的黑度;
见表 2;

T_s ——绝热层外表面温度;

(4) 无风时, 对流换热系数

$$\alpha_c = \frac{26.4}{\sqrt{297 + 0.5(T_s + T_a)}} \left(\frac{T_s - T_a}{D_1} \right)^{0.25} \quad \text{式 (4)}$$

(5) 有风时, 当 $WD1$ 小于等于 $0.8m^2/s$,

$$\alpha_c = \frac{0.08}{D_1} + 4.2 \frac{W^{0.618}}{D_1^{0.382}} \quad \text{式 (5)}$$

(6) 当 $WD1$ 大于 $0.8m^2/s$,

$$\alpha_c = 4.53 \frac{W^{0.805}}{D_1^{0.195}} \quad \text{式 (6)}$$

式 (5)、式 (6) 中 W ——年平均风速;

$$(7) \quad q = \pi D_1 Q \quad \text{式 (7)}$$

式 (7) 中 q ——以每米管道长度表示的热损失量

表 1

管道级别	管道规格 (mm)	敷设方式	管子材料	工作参数			绝热层		长度 (m)
				压力 (MPa)	温度 ($^{\circ}C$)	介质	材料	厚度 (mm)	
GC2	377*9	架空	20	4.2	250	蒸汽	岩棉	200	1500

表 2

材料	黑度 ε	材料	黑度 ε
铝合金薄板	0.15-0.30	水泥砂浆	0.69
不锈钢薄板	0.20-0.40	铝粉漆	0.41
有光泽的镀锌薄钢板	0.23-0.27	黑漆 (有光泽)	0.88
已氧化的镀锌薄钢板	0.28-0.32	黑漆 (无光泽)	0.96
纤维织物	0.70-0.80	油漆	0.80-0.90

表 3

D_0	D_1	T_0	T_a	T_s	W	ϵ	λ	α_e	α_c	α_s	Q
表 1	实测	实测	实测	实测	附录	表 3	附录	式 (3)	式 (6)	式 (2)	式 (1)
0.377	0.477	280	15	50	2.4	0.27	0.043	1.751	10.589	12.340	191.2

表 4

管道级别	管道规格 (mm)	敷设方式	管子材料	工作参数			绝热层	
				压力 (MPa)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	介质	材料	厚度 (mm)
GC3	133*4.5	架空	20	0.60	45	碱	岩棉	50

(W/m)。

通过现场数据的收集、根据上述式 (1) - 式 (6) 计算, 得到热损失量 Q , 具体参数见表 3。

有表 3 得出, 每平方米绝热层外表面积表示的热损失 Q 为 $191.2\text{W}/\text{m}^2$ 。GB 50264-2013《工业设备及管道绝热工程设计规范》中附录 B 最大允许热损失量, 在管道或设备的外表面温度 T_0 为 300°C , 最大允许热损失量为 $167\text{W}/\text{m}^2$ 。由此可见, 该压力管道的绝热层是不符合设计要求。除此之外, 我们有公式 (7) 可算出每米的热损失量达到 $91\text{W}/\text{m}$, 那么整根压力管道的热损失是相当可观的。

经过对压力管道热损失量的理论计算, 我们可以发现绝热层的破损, 一是不满足其设计要求, 二是在能源浪费和经济费用上面来看, 同样存在严重的问题。现行技术规范对压力管道的绝热层的检验要求, 通过宏观检验, 目视管道隔热层有无破损、脱落、跑冷以及防腐层破损等情况, 必要时可采用红外热成像检测、热流密度检测等技术手段进行监测和节能评价。本文仅通过理论计算热损失量, 来对保温层的破损进行分析。

2 保温层破损引起的腐蚀

某化工园区企业委托, 对该厂的工业管道年度检查, 检验人员查阅相关设计、安装资料, 管道参数见表 4。

该条管线为公司 A 对公司 B 的烧碱工业管道, 检验员在进行宏观检验时, 发现该工业管道在每一处支架处, 保温均未完全包裹, 见图 1。其中有一段管道在与支架接触处, 存在液体滴漏, 并且该支架表面存在明显的片状疏松锈皮, 见图 2。并且在其余 4 处均发现支架表面存在明显的片状疏松锈皮。

现场拆除保温层, 未发现泄露点, 但目视有液体从支架与管道接触处流出。通过 pH 试纸检测, 泄露液体呈碱性, 首先排除该液体是由于保温破损而渗入



图 1



图 2

的雨水。此工业管道输送介质为 NaOH, 管道材质为 20, 初步判断该管道与支架接触处发生局部腐蚀, 且已经腐蚀穿孔, 形成泄漏。由于泄漏处位于管道与支架直接接触, 难以测厚。该企业果断停止该管线运行, 对该段管线进行更换, 同时办理重大修理告知。

通过对切割下来的管段, 目视存在长约 20cm 的局部腐蚀坑, 并不在焊缝处。经过测量, 腐蚀最深达 3.1mm, 并有一穿孔形成 (图 3 黑圈内), 局部腐蚀约 70%。腐蚀穿孔部位见图 3。

碳钢和低合金钢发生腐蚀时主要表现为均匀腐蚀和局部腐蚀, 将碳钢和低合金钢的隔热材料拆除后, 隔热层下腐蚀常形成覆盖在腐蚀部件表面的片状疏松锈皮。



图 3

该段管线在 1 处支架发生了泄露，其余 4 处有深度不等的局部腐蚀，那么形成局部腐蚀的原因，是绝热层安装不良，没有完全包裹住管道，如果覆盖层的防护不严密，覆盖层的间隙处或破损处人员容易渗水。正因此管道与支架处存在积水，会加速隔热层下的腐蚀。隔热层的设计及安装应符合相应要求：保温结构应有保温层和保护层组成，保护层应绝热、防水，在环境变化与震动的情况下，应不渗水，不开裂。

本文上述两件案例，从两个角度来阐述工业管道隔热层破损产生的危害，还有几点需要我们去思考的地方。

①式(1)中 T_0 为管道或设备的外表面温度，此方法有热电偶法、表面温度计法、红外辐射温度计法、红外热成像法。那么在本文测试中是选择的表面温度计法，若采用热电偶或者红外热成像法，会不会带来不同的试验结果；

②在工业管道定期检验中，有关绝热层的检验规定，一是通过宏观检验来观察隔热层的破损、脱落、潮湿以及隔热层下的腐蚀和裂纹，二是隔热层有破损或者可能渗入雨水的奥氏体不锈钢管道，在相应部位进行外表面无损检测。如果说上述保温层下的腐蚀，在定期检验中存在，要知道定期检验一般在管道停止运行期间进行，那我们怎么去发现泄露；

③在支架与管道接触地方发生局部腐蚀，MT 如何去进行操作能发现腐蚀。

这就需要我们认真根据设计规范及检验技术规范，规范我们的检验行为，尝试新的方法和技术去解决问题。

3 结束语

根据上述案例，总结三点防护措施。首先关键问

题在于保温（保冷）前首先应将防腐涂层做好，或者对金属表面改性处理好，才能有好的防护效果，“基础不牢，地动山摇”。金属表面改性，防锈蚀是解决保温层下腐蚀的牛鼻子，需重点研究解决。不管是采用耐高温涂料还是采用金属喷涂，都应可靠与长效。重点关注外应力腐蚀开裂 ESCC。其次炼化装置应用 300 系列奥氏体不锈钢的部位很多，要防止 SCC。氯在保温层中几乎所有的部位都有，包括保温层、胶黏剂和密封剂。水中的氯浓度不必很高，因为热的金属表面通过蒸发使氯浓缩而达到开裂的等级。经验显示，发生 ESCC 的位置保温层中氯含量仅为 350ppm。ESCC 残留物中发生氯的含量仅为 1000ppm。可以将这一含量作为保温层材料允许的氯含量。失效通常在氯进入保温层后五年或更长时间发生。这些来源考虑了大多数氯引起的失效。如果没有水进入，保温层会保持干燥，ESCC 也不会发生。听起来是个保护的好方法，但实际上很难避免水进入。一旦保温层变湿，抗风化层、封泥和密封剂会是水很难跑掉，因此会让保温层保持湿润。封泥和密封剂也可能含有可溶剂的氯，从而促进了 ESCC 问题。温度升高，与不锈钢表面接触的水会蒸发。这种蒸发可以是含氯盐浓缩，并沉积在金属表面。另外，温度升高，腐蚀反应加速，ESCC 起裂和扩展的时间会缩短。因为 CUI 是潜伏的问题，CUI 问题通常在五年后才发现比较显著。耐火材料也可能会引起 CUI。其防护机理是利用耐火材料的吸热反应，例如升华、水再生和膨胀，增强了耐火材料的隔离作用。这些机理也涉及到湿的钢材表面化学成分。最后保温层和耐火层下的腐蚀都涉及腐蚀机理、失效的根本原因和防护措施。

参考文献：

- [1] 凌玲, 严文聪, 隋琦, 等. 成型压力对 EPDM 绝热层性能影响研究 [J]. 宇航材料工艺, 2023, 53(6): 98-102.
- [2] 席蓉, 陈叔平, 余铁浩, 等. 低温球罐绝热层对管道结构强度影响的研究 [J]. 煤气与热力, 2024, 44(2): V0017.
- [3] 张贵平, 张坚文. 压力管道泄漏着火原因分析及完善绝热规范建议 [J]. 化工生产与技术, 2019, 25(3): 3-5.
- [4] 董樑. 人工智能在压力管道定期检验中的应用探讨 [J]. 化工装备技术, 2024, 45(01): 1-4.
- [5] 黄旭东, 王英霞, 徐征勇. 高温中压蒸汽管道长输技术的探讨 [J]. 能源研究与利用, 2023(3): 48-52.
- [6] 胡洁靓, 李斌. 压力管道检验问题的探讨 [J]. 特种设备安全技术, 2016(4): 24-26.