

S30408 压力管道氯离子穿孔腐蚀

吴 冬（江苏省特种设备安全监督检验研究院泰州分院 泰兴所，江苏 泰州 225400）

摘 要：某化工装置公用工程管廊某工艺液体压力管道发生穿孔泄漏，通过目视、渗透检测、射线检测、光谱复验等检测方法，对穿孔泄漏进行失效分析，对穿孔泄漏的机理、失效原因进行系统完整的阐述。最后对本案例提出了合理化的建议与措施。

关键词：氯离子穿孔腐蚀；S30408；次氯酸钠

1 案例背景

1.1 设备基本概况

2023 年 10 月 25 日上午 9:00 左右，某化工厂车间主管发现厂区管廊 750-510 段碱水管线（NaOH 含量 10%）在 750 车间东侧管廊处有碱水渗漏痕迹，具体表现为：碱管外壁上有白色碱渍，管线正下方有白色碱渍的痕迹。车间主管赶到现场确认并安排人员对管廊上 750-510V06 的碱管整体进行检查，检查发现在 530 南侧有两处处渗漏点，530 西侧有一处渗漏痕迹。将 750 东侧法兰位置管线切割，发现漏点位置不在焊缝，而是在焊缝旁约 1 ~ 2cm 处有一小沙眼。

该管线经监督检验合格，调阅安装监督检验报告和安装交工工资料以及安装阶段无损检测报告，未发现异常，且泄漏处安装阶段拍片无缺陷 1 级合格。

该压力管道具体设计、运行参数如表 1。

管线漏点位置示意图 1、图 2、图 3、图 4：



图 1 750 东侧



图 2 530 南侧



图 3 雨水池西北角



图 4 530 西侧

1.2 存在问题

2023 年 10 月，泰兴某化工厂车间主管发现厂区管廊碱水管线（NaOH 含量 10%）投入使用不到一个月穿孔腐蚀，造成安全隐患，生产立即停车检修。

2 检验检测方案

2.1 渗透检测

对发生泄漏的管道焊缝及母材区进行了渗透检测，发现母材表面距离焊缝 1-2cm 处有圆形缺陷（图 5）。



图 5

表 1

管道名称	管线编号	管道级别	材质	介质	管道规格 (mm)			起止点		设计条件		工作条件	
					公称直径 (mm)	公称壁厚 (mm)	管道长度 (m)	起点	终点	温度 (℃)	压力 (MPa)	温度 (℃)	压力 (MPa)
回用碱管道	924PL132	GC2	304	回用碱	65	4	298.12	750 车间	公用工程罐区	60	0.70	50	0.60

2.2 剖管目视检测（图 6、图 7）



管线弯头内部腐蚀小孔

图 6



管线弯头内部腐蚀小孔

图 7

2.3 射线检测

对泄漏出焊缝进行 RT 检测，发现母材处有明显圆形缺陷（图 8、图 9）。



泄漏后拍片结果

图 8



安装阶段拍片结果

图 9

2.4 光谱复验

对管道材质和焊缝进行了光谱检测，检测结果符合 S30408 材质，未见异常。

2.5 对管道运输物料成分进行色谱分析

通过色谱分析，液相物料内含有氢氧化钠、对氯苯甲酰胺、甲醇、叔戊醇、对氯苯甲酸钠等正常使用

物料外，氯离子含量达到 150ppm。

3 发现问题及处置措施

3.1 发现问题

通过检验检测，发现该管道发生了穿透性蚀孔，且部分管件有分层质量问题，且物料中氯离子含量远远大于 25ppm。

3.2 处置措施

紧急停车，对泄漏管线进行更换，对新焊缝进行无损检测合格，且重新压力试验合格。

4 对此类问题的见解

4.1 原因分析

检验人员对此感到疑惑，氯离子是从哪里来的？通过与生产工艺人员的沟通，才了解到为了使烧碱的颜色透明，便于二次销售，该管道在使用过程中添加了次氯酸钠，具体添加情况见表 2，次氯酸钠添加浓度递增脱色效果见图 10：

表 2

日期	次氯酸钠添加量	氯离子
9 月 30 日	4kg	30
10 月 1 日	4kg	30
10 月 2 日	10kg	80
10 月 3 日	10kg	80
10 月 4 日	20kg	160
添加次氯酸钠总量	48kg	

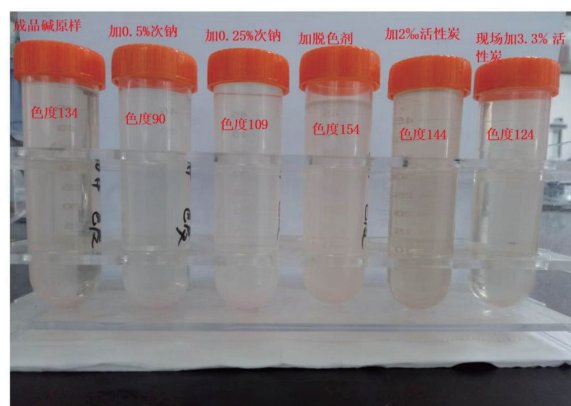


图 10

添加的次氯酸钠给管道带入了高含量的氯离子，且该管道为 S30408 材质，对氯离子极其敏感，且部分管件本身也存在分层缺陷，随着添加的次氯酸钠量逐步加大，介质中氯离子浓度增加，点蚀电位下降，使点蚀容易发生，穿透分层而后再容易加速进行。

综上分析判断：该穿孔失效模式为氯离子 300 系列不锈钢点蚀，随着腐蚀加剧，发展为穿透性蚀孔。

4.2 穿孔腐蚀的损伤机理

点蚀的形式与金属的不均匀性、微观缺陷、钝化

膜修复缓慢、局部酸度过高、破坏性阴离子的吸附、温度以及介质流速等许多因素有关。氯离子是导致点蚀的典型“激发剂”，随着氯离子介质中浓度增加，点蚀电位下降，使点蚀容易发生，而后再容易加速进行。在碱性介质中，随 pH 的升高，金属的点蚀电位值显著变正。介质的温度升高使点蚀电位明显降低，使点蚀加速。介质处于静止状态，金属的点蚀速度比介质处于流动状态时大。金属的表面状态对点蚀也有一定影响，一般光滑和洁净表面不易发生点蚀，表面粗糙和具有非金属夹杂的表面容易发生点蚀。大多数的点蚀事例都是在含有氯离子或氯化物介质中发生的。不锈钢表面的各种缺陷如表面硫化物夹杂、晶界碳化物沉积、表面沟槽处等地方，氧化膜首先遭到破坏露出基层金属出现小蚀孔，这些小蚀孔成为点腐蚀生成的活性中心。

4.3 本案失效原因分析

4.3.1 使用过程中添加次氯酸钠

由于该管线在设计阶段并未涉及到会添加次氯酸钠，因此在管道选材上使用了 S30408，鉴于 S30408 材质对氯离子的敏感性，发生穿孔腐蚀是肯定的，若未及时发现，在继续使用一段时间，大概率会发生氯化物应力腐蚀开裂损伤。

4.3.2 焊缝内表面不平整

焊接内表面成形不美观，若存在夹杂物、未焊透等缺欠，容易形成缝隙，由于缝隙中存在闭塞电池的作用，导致氯离子富集而出现加速腐蚀的现象。

4.3.3 管道元件质量不合格

透过剖口发现弯头有分层现象且靠近内表面，由于安装阶段，安装单位管道验收可能只核对了管件生产单位的 TS 资质、型式试验证书、质量证明书和按比例的光谱复验工作，可能忽视了管件本身质量问题，导致安装了不合格管件，腐蚀内表面后富集氯离子溶液直接接触大面积分层区域，在此处形成应力集中区域，容易发生大面积腐蚀坑和应力腐蚀开裂。

4.3.4 管道设计结构不合理

由于是在现有管廊上安装本案管线，所以设计管道结构时作出了部分妥协，导致管道在管廊上不能水平敷设，存在转弯时有高低落差，在低处弯头出就容易使物料形成紊流区，破坏内表面氧化膜，加剧腐蚀的速率。

4.3.5 随意变更设计使用介质

在原设计图纸上未标注使用介质有次氯酸钠的情况下，车间生产部门随意变更添加使用介质，未对材

料的适用性进行评价，也为按照特征设备使用管理的要求向相关部门进行告知，是导致这一事故的一大原因之一。

综上条件存在的情况下，促使管道发生氯离子穿孔腐蚀。

4.4 对本案例的合理化建议与措施

①在不锈钢中加入钼、氮、硅等元素或加入这些元素的同时提高铬含量，建议使用 2205 等牌号双相不锈钢；②降低氯离子含量，杜绝随意添加次氯酸钠的方式来改变碱水的透明度，可以通过添加脱色剂、活性炭等其他方式；③改变管道安装落差，在管廊安装时保持同一平面，避免形成紊流区，加速腐蚀速率；④采用小电流、多道焊的焊接方法，减小对热影响区的不利影响。焊缝表面及热影响区内不得存在裂纹、凹陷、咬边、气孔、夹渣等焊接缺陷，避免结构不连续，最大限度减少缝隙和应力集中；⑤管道安装材料验收除必须的各项资格审查、外观和光谱复验工作之外，还需要对管件的壁厚进行抽查，壁厚异常管件必要时可以通过射线检测等手段来判断是否内部存在缺欠；⑥严格按照设计文件进行工艺操作，不经设计变更和告知流程，压力管道允许使用的压力、温度、介质不得随意更改；⑦在工艺条件许可的情况下，可加入缓蚀剂。对缓蚀剂的要求是，增加钝化膜的稳定性或有利于受损钝化膜得以再钝化；⑧采用外加阴极电流保护，抑制孔蚀。（本案在化工厂区，实施有难度，不推荐使用）；⑨严格按照操作规程操作，加强压力管道日常巡检管理，做好压力管道的年度检查和定期检验，以保证压力管道在使用期限内安全运行。

4.5 实际应用

管道使用单位完全同意以上观念，目前正在联系设计院对该管线重新进行设计，变更管道材质为 S2205，改变管道布置结构，寻找其他脱色手段，待准备工作完备，重新告知安装新管线，将本案管线进行作废处理。

5 结束语

在许多工业领域，如石油、化工、电力等，不锈钢被广泛应用于制造设备和系统。如果不锈钢受到氯离子腐蚀，可能会导致设备损坏、系统故障，甚至引发安全事故。因此，关注不锈钢氯离子腐蚀问题，有助于保障设备和系统的可靠性。不锈钢氯离子腐蚀问题是一个复杂的技术难题，需要不断研究和探索解决之道。因此，关注不锈钢氯离子腐蚀问题，有助于推动科技进步，提高材料科学和腐蚀科学的水平。