

浅析大型成品油储罐的应力腐蚀开裂

张立芳（国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司，广西 南宁 530000）

摘要：大型储罐是成品油储存中必不可少的特殊压力容器，因储存的介质单一极少发现由腐蚀裂纹引起的腐蚀破坏开裂，由于应力腐蚀因其隐蔽性不易察觉，并且由于这种开裂使得金属在低于屈服强度的应力下发生早期破坏，往往造成严重的后果，一旦出现严重的腐蚀泄漏或开裂，极易引发事故，具有很大的潜在危害性。

关键词：大型储罐；应力；腐蚀裂纹；泄漏

1 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂特征：应力腐蚀开裂（stress corrosion cracking，简称 SCC）是指敏感金属或合金在一定的拉应力（可以是施加的外应力或残余应力等）和一定的腐蚀介质环境共同作用下所导致的脆性断裂过程。应力腐蚀是一种局部腐蚀而且腐蚀裂纹常常被腐蚀产物所覆盖，从外表很难观察到，具有很强的隐蔽性，应力腐蚀断裂属于脆性断裂，即没有明显的塑性变形痕迹，断口平齐，宏观上与主应力垂直。SCC 的这两个特征使得材料在断裂前很难被发现，不易预防，以致发生突然性断裂，造成很大的危害。

应力腐蚀开裂的主要特点如下：

应力腐蚀开裂属脆性断裂，几乎完全没有金属宏观体积上的塑性变形。其断口形貌宏观上为脆性断裂的特征：断口平直，与正应力垂直。无剪切唇口，没有明显的塑性变形，断口表面有时比较灰暗。微观上观察，有时候还可见塑性流变痕迹，裂纹方向与主应力的垂直方向略有便宜，断面商还有裂纹分叉现象。在显微镜下可观察到裂纹有沿晶裂纹、穿晶裂纹和混合裂纹。不同的合金介质体系在不同的介质中有不同的裂纹倾向。

应力腐蚀裂纹多源于表面蚀坑处，而裂纹的传播途径常垂直于拉应力方向，并且具有由表面向内扩展的特征。尤其是裂纹起源处多呈不连续状。造成应力腐蚀破坏的静应力一般是远低于材料屈服强度。拉应力的来源有三个方面：

- ①外加载荷产生的工作应力；
- ②制造与焊接施工等引起的残余应力；
- ③腐蚀产物楔入裂纹产生的应力。三类应力代数叠加后的净应力是应力腐蚀过程的推动力。

只有在特定的材料与特定的介质组合时才会引发应力腐蚀。应力腐蚀破坏的断口颜色灰暗，表面常有

腐蚀产物，而疲劳断口的表面，如果是新鲜断口常常较光滑，有光泽。应力腐蚀是一种延迟断裂。即在应力作用下，需经过一定时间才能产生裂纹和裂纹扩展。应力腐蚀的裂纹扩展是渐进缓慢的，远大于没有应力时的腐蚀速度，又远小于单纯的力学因素引起的机械断裂速度，这种裂纹的亚临界扩展状况一直达到某一临界尺寸，使余下的断面不能承受外载而突然发生断裂。

2 发生应力腐蚀的必要条件

应力腐蚀开裂实在特定条件下才能发生的：

- ①一定的拉应力；
- ②金属本身具有应力腐蚀的敏感性；
- ③能引发该金属发生应力腐蚀的特定介质存在。

这三大要素是发生应力腐蚀的三个最基本的必要条件，缺一不可，否则就不能发生应力腐蚀。

当然产生应力腐蚀还有一些其他的附加条件，列如一定的应变速率，一定的电极电位，一定的温度等。这些都是次要的因数。

3 影响应力腐蚀的因素

应力腐蚀的影响因素很多，但基本上可归纳为应力、环境、和材料结构三类主要因素的综合作用。

3.1 应力因素

应付腐蚀过程中必须在应力的作用下，才会导致材料的变形和断裂。在应力腐蚀体系中，应力主要来源于下列方面：

- ①构件承受外加机械载荷和热载荷所产生的工作应力；
- ②在机械制造过程中，热处理、热加工、铸造、焊接、冷加工、装配等工艺可导致热应力、相变应力、形变应力等残余应力；
- ③腐蚀产物及腐蚀过程阳极溶解所形成的各种产物的体积，一般都大于被腐蚀掉的金属体积，这种体

积变化在闭塞的部位可以导致很大的应力；

④阴极反应析出的氢，如进入金属并在某些部位聚集形成氢分子而产生很大的压力引起的应力等。

3.2 环境因素

金属材料只有在特定的活性介质中才能发生 SCC。介质离子浓度越大，越容易引起应力腐蚀开裂。在某些金属-腐蚀介质环境体系中，只有当介质离子浓度大于一定值时，应力腐蚀裂纹才可能扩展。如果有效介质离子浓度过高，则产生的是全面腐蚀而非应力腐蚀。

3.3 材料因素

纯金属一般不会发生应力腐蚀开裂的，但随着杂原的增加，应力腐蚀的敏感性也加大。材料的微观结构是一个重要因素。材料的强度、硬度、表面状态、化学成分、显微组织和合金元素含量等都直接影响材料对 SCC 的敏感性。

4 工程实例

2022 年国家石油天然气管网有限公司某输油站成品油储罐，在例行检维修中，发现储罐罐底板发生开裂。



图 1 裂纹宏观图

储罐开罐检修期间发现该罐底板有两处裂纹，其中一处目视能发现有 3 条裂纹，裂纹中间处在三块底板的拼接地方，由中间向两端发散，在裂纹发现时可以看出附近有防腐层的脱落，有些地方还是以比较有规则的形状进行脱落。脱落的地方露出的金属表面已

经发黑。在有裂纹的板均发现有防腐层龟裂的现象，在焊缝上面则是平行与焊缝开裂，在板材上则是局部大片有规则的条状，而且用手可以很容易的剥落。另外一处有一条裂纹贯穿焊缝并延伸到两块板材，裂纹间隙窄。两处裂纹延伸方向大致是平行的。在板裂纹位置用力踩会发现明显比其他区域上下幅度更大。底板的厚度经检测未发现明显的减薄，储罐其他地方的底板目视也未见有裂纹。

在实验室对裂纹金相分析：可以明显观察到裂纹从焊缝热影响区域开始开裂并且向母材分向拓展，该裂纹为穿晶裂纹。

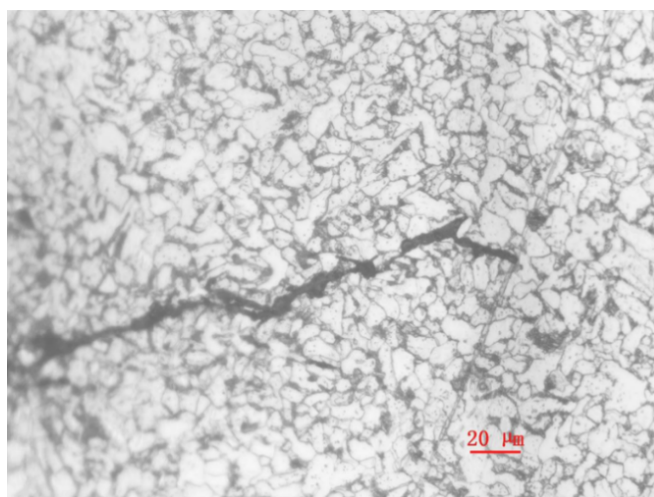
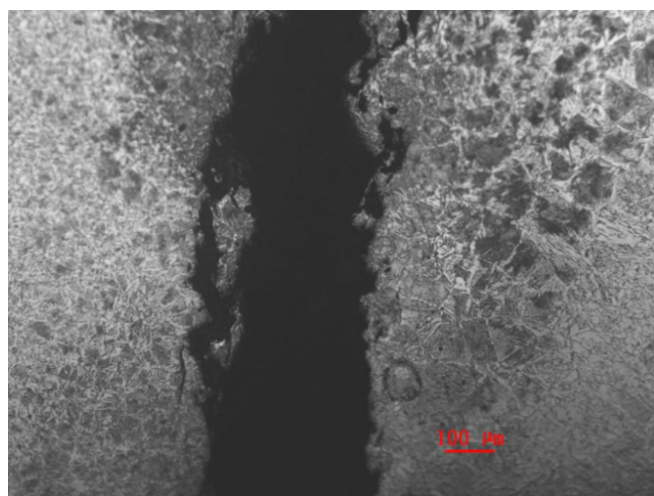


图 2 裂纹金相图

电镜下对罐底板裂纹形貌扫描分析后，可以明显看出母材上的裂纹呈现人字纹，微观形貌都是解理断裂。焊缝处裂纹微观形貌同样呈现为解理断裂，并且从外部向内部开裂。

综合现场调查情况，依据相关数据以及上述各试验检测结果，推断底板失效的主要机理为应力腐蚀及

焊缝性能差共同引起的失效。搭接的底板焊缝根部可能发生应力集中；在角焊缝等形状发生突变的地方防腐层甚至发生脱落，防腐层脱落后金属面直接跟含硫氯等介质接触产生腐蚀。由于焊接时焊接能量过高或冷却过快造成焊缝热影响区韧性差，强度低。腐蚀加残余应力最终先在最薄弱且应力集中的地方即搭接角焊缝表面焊趾热影响区域发生应力腐蚀开裂，并逐步延伸到焊缝里面及两侧母材，最终导致母材整体开裂。

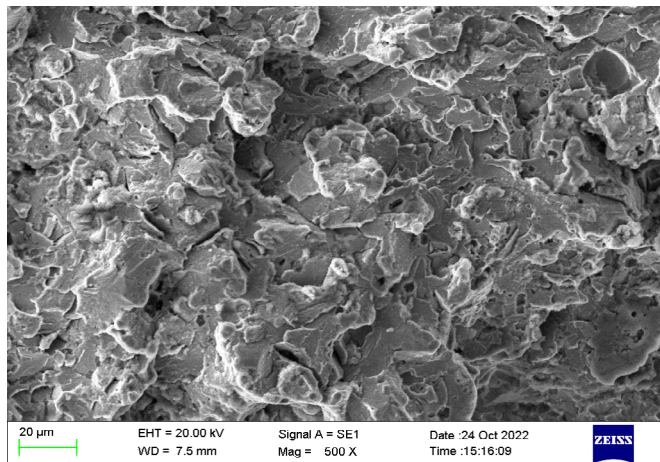


图3 母材电子图

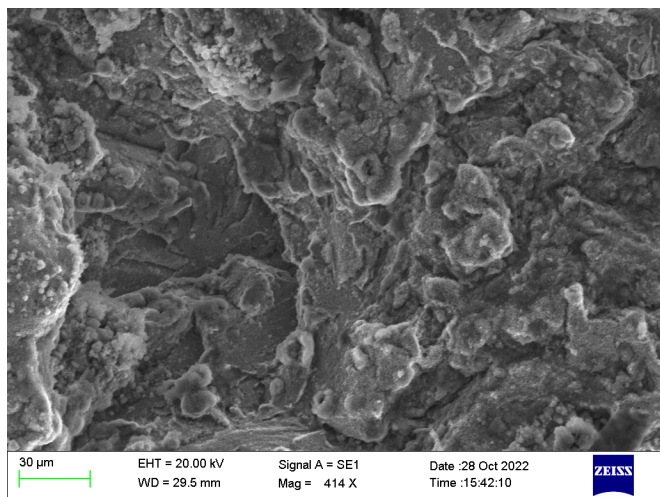


图4 焊缝处电子图

5 应力腐蚀开裂的控制

应力腐蚀开裂对储罐安全和寿命是十分有害的，因此必须采取有效的办法来消除或减少应力腐蚀开裂事故。应力腐蚀开裂发生的必要条件为材料、应力、介质三个方面，因此应力腐蚀的控制也应从这三个方面来解决，并采取有效的应对措施。

5.1 控制施工质量

控制焊接质量。尽量避免焊缝的应力集中和成分

不均，使焊缝的强度和硬度要达到要求。另外冷加工和焊接后最好进行热处理，消除材料内部的残余应力的作用。在施工验收时，对焊缝一定要严格检验，不能漏检。

5.2 控制环境

采取措施改变合金所处的环境。对储罐罐底的沉积污水及时地排出。

5.3 防护措施

采用性能优良的防腐涂层和电化学保护的联合防护措施，考虑到使用寿命和经济合理的要求，牺牲阳极的阴极保护法效果好，而且经济，简单易行，是目前常用的防护措施。

5.4 要规范操作

成品油经常要进罐、出罐，涂层不断受到冲击，很容易产生剥落，从而导致局部腐蚀源，为应力腐蚀开裂提供了条件。因此油进出罐时，要控制好流速，严格按有关要求要求进行，以使冲击影响尽量减小。

6 结语

大型储罐的 SCC 主要发生在储罐的顶部和底部的焊缝、缺陷等应力集中处，腐蚀的环境主要是氯化物、硫化物等。建立储罐寿命预测和 SCC 控制方法。可定期进行大检修，记录腐蚀情况，以备查考，建立适合我国国情的储罐的寿命预测和 SCC 控制方法，对引发储罐 SCC 的可能性进行预测，开展 SCC 倾向的预测，保障储罐的安全服役。

参考文献：

- [1] 黄亮, 刘智勇, 杜翠微, 等. Q235B 钢含硫污水罐的腐蚀开裂失效分析 [J]. 表面技术, 2015, 44(3): 52-56.
- [2] 高琳萍. 油罐底部边缘板的腐蚀与防护 [J]. 石油化工腐蚀与防护 2000, 17(1): 50-53.
- [3] 纪光达. 常压储罐的受损原因与修复思路探讨 [J]. 辽宁化工, 2023, 3: 67-69.
- [4] 陈立志, 艾景奇, 董京龙, 王宁辉, 熊甫宏等. 常压储罐底板泄漏检测技术 [J]. 中国特种设备安全, 2021, 37(05): 543-546.
- [5] 蔡武静. 石油化工装置中储罐的结构设计技术 [J]. 石化技术, 2023, 30(07): 12-14.

作者简介：

张立芳 (1986-), 女, 汉族, 河北邢台人, 中级工程师, 硕士研究生, 研究方向: 成品油输油站设备和运行管理。