



某油库三通开裂失效的现场分析及启示

毛静丽 王虎 刘智

【摘要】在油气管道、站场工艺工程施工建设中，由于存在的各种客观因素或主观因素，导致施工的产品出现失效事件，给业主、客户以及相关方造成巨大经济损失，同时也给工程参建单位的质量信誉造成极大的不良影响。在质量终生责任制的大背景下，我们应该从那些已经发生的质量事件中得到启示，为工程建设质量提供更有力的保障。

关键词：失效；质量；分析；启示

1. 概述

某油库于2009年底进行柴油联合试运，2010年正式投产使用，2012年，该油库二期柴油管线出口立管地下三通处发生漏油。三通管件材质为20钢，规格尺寸为 $\phi 273\text{mm} \times 8\text{mm}$ 。三通呈爆裂状，上面左右两侧连接焊口均完好。爆裂位置为三通管件上焊口底部40mm处横向裂口，横向裂口大约450mm，左侧撕开裂口及母材100mm左右。现场地面为碎石铺设，大概有600m²碎石沾有柴油，其中漏点东侧20m处一万罐区东防火墙及东南侧15m处近一万罐区管排上均有油点。

2. 失效分析

(1) 宏观分析 三通开裂宏观形貌如图1所示，三通断口处宏观形貌如图2所示。确定三通开裂原点，对开裂处进行宏观分析，制定下一步失效分析计划和失效分析试验试件取样。

根据三通管件的受力特点以及三通管件的结构特点，进行试验试样的取样制备。

(2) 理化试验 化学成分分析：试样化学成分如表1所示。

拉伸试验：取样位置位于三通管件支管正对面，试样分别为LS01、LS02、LS03，拉伸试验结果如表2所示。

夏比冲击试验：取样位置位于三通管件支管正对面，试样分

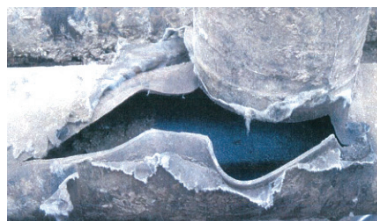


图1 三通开裂宏观形貌



图2 三通断口处宏观形貌

表1 化学成分检测结果（质量分数） (%)

元素	左肩部	右肩部	主管	相连钢管	GB/T 8163
C	0.18	0.17	0.18	0.20	0.17~0.23
Si	0.18	0.18	0.18	0.24	0.17~0.37
Mn	0.49	0.49	0.49	0.49	0.35~0.65
P	0.023	0.023	0.023	0.010	≤0.035
S	0.028	0.030	0.027	0.020	≤0.035
Cr	0.029	0.029	0.029	0.026	≤0.25
Mo	0.0012	<0.001	0.0011	0.0039	—
Ni	0.0090	0.0088	0.0094	0.019	≤0.30
Nb	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—
V	0.0017	0.0015	0.0016	0.002	—
Ti	<0.001	<0.001	<0.001	0.0011	—
Cu	0.0073	0.0074	0.0072	0.0042	≤0.25
B	0.0003	0.0003	0.0003	0.0004	—
Al	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—

注：表中三通管管件、连接管材的化学成分分析结果符合相关标准对20钢的要求。

别为CJ01、CJ02、CJ03，依据标准GB/T 229进行夏比冲击试验，结果如表3所示。

硬度试验：分别从三通管件支管正对面，三通管件肩部、三通管件顶支管和与主管相连接的管材上取硬度试件，编号为YD01、YD02、YD03、YD04，依据标准GB/T 231.1进行硬度试验，结果如表4所示。

硬度试验结果显示，三通管件支管正对面YD01试件和主管相连接的管材YD04试件符合标准的要求，但是三通管件肩部YD02试件和三通管件支管YD03试件硬度值偏高。

(3) 金相试验分析 从三通管件平齐断口处和与之相连的裂纹处取试样，裂纹尖端处试件为1[#]，与平齐断口裂纹相连处为2[#]，平齐断口处为3[#]，依据GB/T 13298进行金相分析试验，依据GB/T 4340.1进行显微硬度试验。

图3为垂直于内壁裂纹扩展方向、并采用硝酸酒精腐蚀后的1[#]试样的横截面低倍形貌图，其为典型的焊接接头断而形貌特征，接头内、外焊道内粗大的树枝晶和母材热影响区轮廓形貌清晰可见，接头内呈黑色梯形孔洞区域为未焊透缺陷，靠近三通内壁焊道内有开口型裂纹与内表面连通，缺陷上方位于焊缝内，组织为针状铁素体+块状铁素体+珠光体；缺陷中部两侧为母材热影响区，组织为块状铁素体+珠光体，缺陷下部位焊缝内，附近组织为块状铁素体+珠光体，管体母材组织为块状铁素体+珠光体。经检测管体母材显微硬度

为：147HV0.5、149HV0.5、152HV0.5。

图4为2[#]试样垂直于断口扩展方向的横截面低倍形貌特征，该断口属于典型的焊接接头断口；断口上方附近组织为焊缝组织针状铁素体+块状铁素体+珠光体，断口附近区域内有灰色非金属夹杂物；断口中间及下部焊区为热影响区，组织为块状铁素体+珠光体、网状铁素体+魏氏组织+珠光体，管体母材组织与1[#]

试样相同，为铁素体+珠光体。

图5为3[#]试样低倍形貌特征，局部断口附近有一层基体为非金属的物质；断口附近组织为块状铁素体+珠光体、网状铁素体+魏氏组织+珠光体，该断口附近组织呈典型的焊接接头热影响区组织形貌特征，远离断口处管体母材组织与1[#]和2[#]试样相同，为铁素体+珠光体。

(4) 扫描电镜分析 三通开裂平齐断口3[#]试件进行扫描电

表2 拉伸试验结果

试样		R_m /MPa	$R_{0.5}$ /MPa	A (%)
编号	尺寸/mm × mm			
LS01	38 × 50	482	388	24.5
LS02		489	389	23.0
LS03		496	388	22.5
GB/T 8163		410~530	≥245	≥20

注：拉伸试件的试验结果均符合标准的要求。

表3 夏比冲击试验结果

试样规格/mm×mm×mm	试验温度/℃	KV_2 /J		
5×10×55	0	17.0	18.0	18.0

注：夏比冲击试验结果均符合标准的要求。

表4 硬度试验结果

(HV)

试样编号	硬度值	标准
YD01	151	≤156
YD02	157	
YD03	158	
YD04	154	

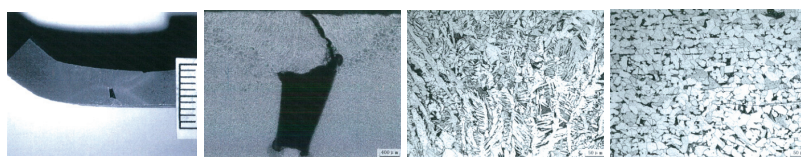


图3 1[#]试件金相组织

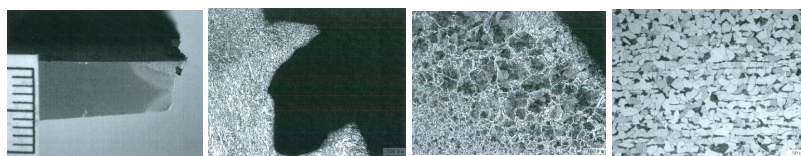


图4 2[#]试件金相组织

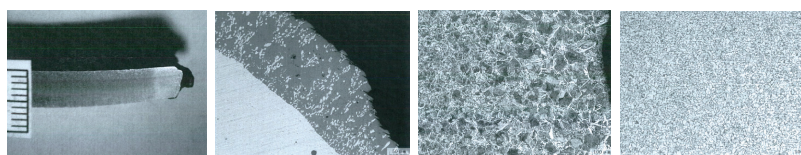


图5 3[#]试件金相组织

镜分析(见图6、图7)。

由图6可以看出,断裂面由内向外分为明显的三个区域,内侧Ⅰ号区的厚度约1mm。中间Ⅱ号区存在明显的氧化物,与Ⅰ号区、Ⅲ号区存在显著差别,可以断定为焊接过程中的焊接缺陷。

(5) 结果分析 由该三通断口低倍和微观分析结果,发现主、支管相贯线附近存在一近似平行于三通主管轴线的焊接接头,且接头内、外焊缝之间含有一大尺寸未焊透原始缺陷,且内焊道中原始裂纹已穿透内壁层,局部未焊透缺陷处剩余壁厚不足1mm。焊接接头中未焊透缺陷处通常存在较大的应力集中,此类缺陷的存在会使接头有效承载面积减小,大大降低接头的强度,是引起三通开裂的主要原因。同时,根据硬度试验结果可看出,三通管件肩部和三通管件支管件硬度值偏高,说明该三通管件加工过程存在一定的技术问题,是三通开裂的次要原因。

三通未焊透缺陷,且缺陷位于三通结构薄弱环节处,在服役过程中,三通结构应力集中、接头中未焊透应力集中相互叠加,未焊透缺陷处萌生裂纹,使三通在较小的内压载荷下发生失稳开裂。因此,三通主管相贯线处未焊透缺陷是导致三通开裂的主要原因。

3. 焊接质量过程启示

三通失效分析从材料的化学成分、力学性能、微观组织进行系统的分析研究,最终找出导致三通开裂的主要因素,说明一个事实就是:一般质量事件的处理分析都是从这几个方面着手处

理,然后找到导致质量事件的主要因素。工程施工焊接质量涉及管材、焊材、焊接工艺、焊接操作、无损检测以及土建、防腐、环境等因素,贯穿整个过程的行为就是质量过程管理。

材料关,焊接质量过程管理第一关。焊接施工所涉及的管材(管件)、焊材、气体是焊接施工的主要因素,从选择、采购、验证、抽检都必须严格把控,保证材料的可靠性、可行性。

过程关,焊接质量过程管理第二关。焊接施工过程的质量控制,是至关重要的一步,是关系到焊接施工质量的关键环节。焊接工艺制定、焊接作业指导书、焊接技术交底、焊接过程控制、焊接外观质量检测以及无损检测和焊口返修。

后续关,焊接质量过程管理第三关。焊口防腐补口、防腐层检测和补伤、管线下沟与回填等。

4. 结语

质量事件的失效分析从宏观到微观、从力学到组织、从材料到施工进行全面的分析总结,因此我们不能仅仅根据外观成形和无损检测来评判一个工程的焊接施工质量,必须从焊接的本质出发,加强焊接质量过程控制,保证焊接接头的力学性能和微观组织满足标准规范要求,从而确保工程焊接施工质量。

从失效分析中得到的启示:工程施工质量是一个贯穿人、机、材以及技术、操作和管理于一体的综合结果,我们要严控每个影响质量的环节,提升内在质量。

参考文献:

- [1] 高庆.工程断裂力学[M]. 重庆:重庆大学出版社,1986.

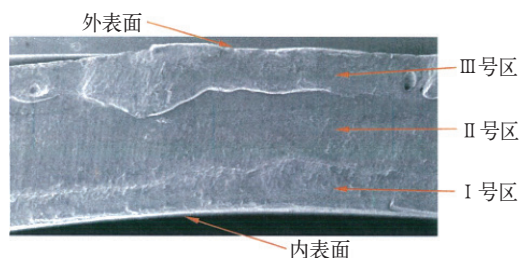


图6 3rd试件扫描电镜低倍形貌

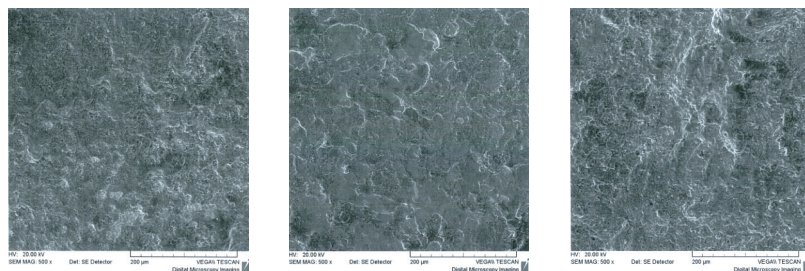


图7 I、II、III号区扫描电镜局部放大形貌

作者简介:毛静丽等,中国石油天然气管道局第六工程公司。

MW 20170220