

N80 油管接箍腐蚀断裂失效分析

张 伟 (中国石油华北油田公司物资分公司, 河北 任丘 062552)

摘 要: 分析 N80 油管接箍腐蚀断裂以及失效等多种问题, 通过实验的方式进行宏观以及微观的形貌分析, 通过化学、金相以及多种因素的综合分析, 基于实际状况, 对 N80 油管接箍腐蚀断裂失效的具体成因综合探究, 获得失效成因。通过研究可以发现, N80 油管接箍失效主要受到内外局部腐蚀的影响, 在腐蚀环境以及轴向荷载、湍流腐蚀等因素的共同作用之下出现了断裂失效的问题。N80 油管接箍的各项性能以及指标均符合 API 5CT-2018《套管和油管规范》(第 10 版) 的要求, 为了提高 N80 油管接箍的整体性能, 降低腐蚀失效等问题的出现频率, 则要通过优化结构, 减轻缝隙腐蚀等方式进行综合处理, 这样则可以有效保障 N80 油管接箍的整体性能, 降低生产安全隐患。

关键词: N80 油管接箍; 腐蚀断裂失效; 缝隙腐蚀; 湍流腐蚀

随着油田以及低压低渗透等油气开采项目的增加, 在项目中会应用大量的管材以及管螺纹部件, 但是其存在的失效问题日益显著。在页岩气的开中存在大量的卤化物以及碳氢化合物, 同时受到地质环境、地层微生物等多种因素的影响, 注入的流体在压力的变化中反排到地面之上, 其包括了大量的返排液以及产出水。

1 实验分析

1.1 操作流程

第一, 根据要求进行 N80 油管接箍的理化性能检验。第二, 对于失效位置进行宏观以及微观的形态分析。第三, 基于操作标准以及要求进行重演性实验。第四, 失效机理分析。

1.2 实验方式

第一, 化学成分分析。通过化学专业仪器进行化学成分分析, 利用全谱直读光谱仪进行样品的分析, 进行直接的取样, 获得尺寸等参数信息。第二, 硬度测试。通过布氏硬度仪进行硬度测试, 获得各项参数信息。第三, 力学性能测试。则要根据要求进行冲击以及拉伸试验。根据要求进行试样截取, 在冲击实验中通过横向的方式放置试样; 获得冲击以及拉伸参数。第四, 金相实验。通过 5% 硝酸 +75% 盐酸溶液根据操作要求进行规范化处理, 获得实验基体信息。利用扫描电镜以及能谱测试仪器进行测试分析。第五, 重演性实验。通过在高温高压动态腐蚀反应釜中根据操作要求进行实验。通过模拟工作环境以及实际状况的方式获得信息数据。

2 结果以及讨论分析

根据标准要求进行实验操作, 对各项信息数据进

行汇总分析, 确定断裂接箍理化性能以及金相等因素, 基于重演性实验进行综合讨论。

2.1 断裂接箍理化性能

2.1.1 宏观形貌分析

通过分析可以发现, 在断口区域中沿着壁厚的深度呈现显著的腐蚀性面貌, 在接箍断面上存在着锈黄色的腐蚀性物质, 通过清洗之后表面结构呈现黑褐色, 呈现环状的腐蚀, 在断裂的区域并没有发现显著的塑性变形。而接箍外壁则并没有出现显著的腐蚀性面貌。根据操作标准进行样品的切割取样分析, 通过观察则可以发现其内部的螺纹区域中存在较大的腐蚀范围, 临近断口的位置内螺纹区域齿底出现穿孔等变化, 分析内腐蚀孔的尺寸为 0.5-1mm, 腐蚀呈现内部向外的变化趋势。通过激光共聚焦显微镜进行内部的测量, 则可以发现其纵向的腐蚀为 0.7mm。对开裂接箍外观及尺寸进行了检查, 接箍表面无明显碰撞痕迹, 螺纹完好未发生粘扣。

2.1.2 化学成分以及力学性能分析

分析断裂接箍的化学成分, 根据操作标准进行取样并且进行检测, 则可以获得其成分数据, 通过检测各项检测符合 API 5CT-2018《套管和油管规范》(第 10 版) 对 N80 钢级的要求。根据技术要求从接箍上取冲击、硬度试样, 从管体上取拉伸及硬度试样, 分别依据标准 ASTM A370、ASTM E23 和 ASTM E18 进行拉伸性能、冲击性能和硬度试验, 通过分析结果可以发现硬度在 225HV~237HV 的区间中, 其平均数值为 232HV, 因为其并没有标准的要求, 但是对比常规产品的硬度参数并没有出现异常问题。通过测试获得力学性能如表 1 所示。

表1 力学性能以及标准数值表

项目	抗拉强度 / MPa	屈服强度 / MPa	布氏硬度 / HBW	冲击功 / J
实测值	784.6	588.1	250.9	28.9
标准值	≥ 689	552~758	-	> 21

通过分析可以发现各项力学性能符合 API 5CT-2018《套管和油管规范》(第10版)标准, N80 油管接箍并没有显著的差异性, 属于标准构件结构。

2.2 金相以及夹杂物分析处理

分析断裂的位置, 综合管体结构以及断口取样等信息数据, 根据标准要求进行组织、晶粒度以及各项基础分析, 可以发现通过显微组织均属于回火索氏体结构, 并没有出现异常的组织结构分布。

2.2.1 腐蚀产物分析

通过扫描电镜等方式对断口位置进行分析, 了解微观形貌特征, 可以发现断面结构的环向位置受到了腐蚀性影响, 其中呈现多个圆弧点蚀状态, 其中腐蚀坑壁被一层疏松且孔隙较多的腐蚀性产物所覆盖。腐蚀坑底的位置通过分析可以发现产物的膜状结构呈现不平整的状态, 在部分位置出现了开裂等问题。

分析腐蚀产物的能谱, 其主要包括了 Fe、O、S 以及 Cl 等几种不同的元素, 在坑底的位置主要是 Fe、S 两种元素。通过 XRD 检测腐蚀产物, 可以发现其主要是通过 FeCO_3 、 $\text{FeS}_{0.9}$ 、 Fe_3O_4 构成。断口位置的黑色腐蚀结构则包括了硫化物, 因此可以确定腐蚀产物受到 S 元素以及 H_2S 的影响。

2.2.2 断口微观形态分析

通过低浓度的酸性试剂进行清洗, 在 30min 之后, 根据要求通过扫描电镜进行综合观察, 可以发现腐蚀形貌以及碳钢等物质受到酸性介质等因素的影响, 其产生的腐蚀物质的微观形貌具有一定的相似性。而分析外壁位置的断裂结构发现其存在大量的小韧窝结构, 则可以说明在此位置的断裂结构并不属于非脆性的断裂结构, 主要就是在局部的区域中还是包括了一定少量的纵深状态的孔状结构, 主要就是受到 Cl^- 的侵蚀影响。

2.3 重演性实验

基于失效分析原则进行综合分析, 在对失效原因进行最终判定之前, 要综合现场状态、失效表面结构以及金相的截面等信息金相综合分析, 判断有效性以及数据信息的精准性。

一般状态中通过重演性实验进行综合分析, 对失效过程进行验证, 也就是通过对初步结论通过模拟的

方式分析构件在受到破坏等因素的影响之下产生的变化, 对其进行实验。基于实际工况特征, 设计高温高压的动态腐蚀性实验, 通过分析可以发现处理之后的结构表面出现了显著的腐蚀性产物。通过通过信息数据则可以发现, 在模拟中其腐蚀效果显著。通过推断分析则可以发现, 在湍流作用之下导致内部结构在流体的冲击作用之下带走了腐蚀产物, 这样则会导致金属基体结构在介质中充分的暴露, 而未被带走腐蚀物的区域则会形成一定的电偶差, 进而导致金属基体出现腐蚀溶解的问题。

3 失效机理研究以及分析

将失效试样的表面结构产生的腐蚀产物根据要求进行清理, 通过 10% 的 $\text{HCl}+0.8\%$ 乌洛托品利用超声波进行清洗, 时间为 15min。则可以获得失效之后的表面形貌结构, 通过分析可以发现在失效部位的金属基体上, 其呈现出大面积、不规则状态的蜂窝状态痕迹, 而这种腐蚀结构以及形态, 符合碳钢酸性介质状态中溶解之后形成的微观形貌, 同时在局部的区域中还是存在少量的纵深发展态势的小孔洞。

3.1 原始缺陷产生的影响

接箍穿孔失效过程中, 其小孔腐蚀会在一定程度受到金属表面结构产生的微区物理以及化学等不均匀特性等因素的影响, 金属基体中的硫化物以及其产生的磷化物等相关物质复杂, 这些因素也是影响小孔腐蚀的主要诱因之一。而虽然材质结构的各项元素符合要求, 磷元素以及硫含量等符合标准要求, 但是也不可以判定不会出现局部区域范围中的受到大尺寸夹杂物等因素的影响, 无法避免偶然事件产生的影响。对此, 在进行失效区域分析中, 要根据要求进行元素的分布检测, 分析具体的失效成因。通过对 N80 油管接箍局部区域的综合分析, 基于元素扫描等方式确定其具体的元素比例以及含量, 可以发现并没有出现夹杂的问题。因此可以确定因为夹杂物导致的穿孔问题可能性不高。另外接箍外表面在下井上扣过程中存在大钳夹痕, 夹痕处形成应力集中, 氢会在应力梯度的作用下扩散到应力集中处并进行富集, 形成微裂纹。一方面富集的氢原子会在裂纹尖端复合成氢分子, 随着更多氢原子的扩散和富集, 裂纹尖端的氢压越来越大。另一方面, 氢原子扩散到裂纹尖端后, 会降低裂纹处钢材新鲜表面的表面能。

3.2 环境介质的影响

N80 油管接箍的工作环境恶劣, 其中井口温度在

20–30℃左右，而底部的温度则会高达 130–140℃，井口的压力参数为 1.5–30MPa。整体上来说环境复杂、高温高压，容易受到不同程度的影响。在部件的运行中容易受到井下二氧化碳等元素的影响，导致形成碳酸等物质，这样则会加速碳钢结构的腐蚀。在注水水质中还含有大量的微生物等相关物质，这些微生物具有一定的腐蚀性特征，其中盐酸盐还原菌 SRB 会在金属基体结构的表面形成一种黑色的腐蚀性产物，这些物质含有铁硫化物。在代谢中会生产铁硫化物，在铁的表面上附着而呈阴极，同时与阳极会形成显著的浓差电池，这样则会直接的增加金属腐蚀程度。

通过分析可以发现，在腐蚀铲射中存在的 S 元素，主要就是因为水质液中的盐酸盐还原菌 SRB 不符合标准要求，严重高于标准，这样则会导致在二氧化碳以及 SRB 的共同腐蚀作用之下。在厌氧以及好氧微生物的协同作用之下导致材料出现加速腐蚀的变化。同时环境、温度以及酸碱度都对导致细菌加速腐蚀金属基体结构。在液相中含有的 Cl^- 含量较高，这样则会导致其穿过腐蚀间隙，而出现局部的腐蚀性问题。

3.3 螺纹结构

接箍断裂失效的主要位置为断面结构的 40–45mm 的距离左右，而其位于螺纹结构中，根据断裂管柱结构的质量进行分析，其中接箍断裂位置的应力参数为 192MPa，其仅仅为标准屈服应力的 35%。

通过还原的方式分析接箍腐蚀以及断裂的位置，可以发现，接箍失效主要就是出现在与管体配合之后与管体端部的间隙位置。管体结构在进行涂层保护的位置并没有出现腐蚀穿孔的问题，而圆形的螺纹结构上扣通过扭矩的方式进行处理，其位置会存在略微的差异性，这样也会导致腐蚀穿孔的位置出现不同程度的差异性。

通过有限元的方式进行模拟分析则可以发现，接箍以及管体配合之后的接头等位置，在上扣处理之后的轴向荷载作用之下，接箍以及管体接箍配合之后产生的最大应力位置主要位于连接处，与接箍腐蚀穿孔以及断裂失效的位置大致相同。

3.4 结论与优化策略

3.4.1 缝隙渗透

通过上述分析则可以发现接箍以及管体接箍在配合之后，分析其最大应力的位置，可以发现其断裂位置相同，通过接头装配处理之后，在内部的螺纹齿顶以及齿底的位置会构建一个螺旋的间隙通道结构，而

受到流体的内压作用影响，导致腐蚀性的介质液体会在缝隙以及缺陷的位置中渗透到间隙通道中，导致出现失效穿孔等问题。

3.4.2 湍流腐蚀性

通过实验分析介质流速产生的影响，发现在流速为 3.85m/s 的高速状态之下会出现显著的湍流冲刷变化。通过综合分析可以发现受到介质中二氧化碳电化学腐蚀以及湍流等因素的叠加作用，导致出现穿孔失效等问题，其中电化学腐蚀是主要成因。通过文献以及经验综合分析，可以发现在接箍位置，因为其接箍特殊容易出现不同程度的湍流腐蚀性变化。分析连接位置的构件，则可以发现在接箍的缝隙中还是存在的问题，容易造成流体管线中流体通道增加等问题，其中流动的主要方式通过层流而变为湍流的方式。通过湍流则会导致液体介质在流动中会对管道产生严重的冲刷，这样则会导致在缝隙以及表面上的腐蚀产物受到冲刷影响而掉落，冲走，这样则会在一定程度上加快传质作用，导致部分的金属基体结构在介质中直接的暴露，进而形成一个大阴极小阳极的结构，直接加速了基体自身的活性溶解程度。

3.4.3 螺旋间隙的通道结构

分析螺旋间隙的通道结构、腐蚀的介质以及其氧浓度差等因素，则会导致出现局部的破坏等问题，这样则会出现腐蚀穿孔的问题。但是因为在外部的表面结构中还是通过涂层的方式进行防腐保护，这样则会导致在协同作用以及轴向荷载的共同作用之下出现腐蚀断裂等问题。

4 结束语

接箍及管体的化学成分、金相组织、管体的拉伸性能及接箍的冲击韧性均符合 API 5CT-2018《套管和油管规范》（第 10 版）标准的要求。

N80 油管接箍为在恶劣的环境中长期服役，在盐酸盐还原菌 SRB、二氧化碳以及介质井液管柱内压、轴向荷载、湍流腐蚀等多种因素的共同作用以及叠加影响之下导致出现腐蚀断裂。

参考文献：

- [1] 杨晓龙,田永强,王旭等.某 N80 油管接箍腐蚀断裂失效分析[J].焊管,2022,45(01):42-48.
- [2] 苏广兰.隔热油管失效分析及 CO_2 应力腐蚀试验研究[D].淄博:山东理工大学,2019.
- [3] 张炜强,郑华安,李勇怀等.N80 油管接箍腐蚀穿孔失效分析[J].涂层与防护,2018,39(02):1-7.