

介质流态对凝析气集输管道的腐蚀影响分析

叶 帆

(中石化西北油田分公司工程技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要:凝析气田集输管道内介质为气液两相流, 气液比较大, 流体流型复杂, 不同流态对管道弯管和水平管道产生不同的腐蚀机制, 其中冲击流对腐蚀的影响最大, 雅克拉、大涝坝凝析气田集输管道内介质流态主要为冲击流和分层流, 对于冲击流, 由于冲刷腐蚀、空泡腐蚀、流体促进腐蚀作用, 弯管、管道底部等腐蚀严重, 主要呈整体均匀减薄、蜂窝状、沟槽状腐蚀形貌, 对于分层流, 由于地层水分离沉积, 在管道底部、油水分离界面腐蚀严重, 呈溃疡状、台地状及烧杯口状腐蚀形貌。针对雅克拉、大涝坝凝析气田流态特征、腐蚀特征, 对介质流态对集输管道的腐蚀影响进行了初步分析。

关键词:雅克拉; 大涝坝; 凝析气田; 集输; 腐蚀; 流态; 冲击流; 分层流; 冲击腐蚀

文章编号: 1006-5539(2009)06-0022-04 **文献标识码:** B

1 集输管道腐蚀特征

雅克拉、大涝坝气田集输管道腐蚀部位发生在弯头、本体底部、焊缝三处, 腐蚀特征如下:

1.1 弯头腐蚀

弯头腐蚀特征主要表现为: 整体均匀减薄腐蚀, 见图 1。蜂窝状腐蚀坑, 见图 2。雅克拉气田投产后, 集输管道弯头腐蚀严重, 主要表现为均匀减薄, 内壁面较为光滑, 目前已更换弯头 30 余个; 大涝坝气田也出现多处弯头腐蚀, 主要表现为蜂窝状的腐蚀坑, 目前已出现 2 次弯头腐蚀。

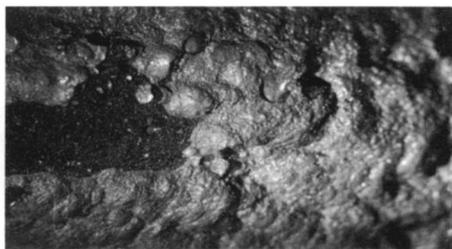


图 2 大涝坝气田弯头蜂窝状

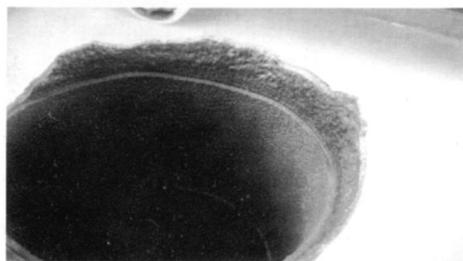


图 1 雅克拉气田弯头整体减薄

1.2 本体腐蚀

集输管道本体腐蚀特征主要表现为: 管道底部沟槽状腐蚀, 见图 3。管道底部溃疡状腐蚀, 见图 4。雅克拉、大涝坝气田集输管道底部均出现多次沟槽状腐蚀, 除底部沟槽以外, 其余部位内壁光滑, 受腐蚀程度较轻; 大涝坝气田 D8 井管道本体底部出现 8 次腐蚀穿孔, 腐蚀特征均为溃疡状。

1.3 焊缝腐蚀

焊缝腐蚀特征为穿孔或沙眼, 主要发生在弯头处或管道端点。大涝坝气田于 2005 年投运, 截止目前共穿孔 25 次, 其中 11 次发生在焊缝处, 见图 5。

收稿日期: 2009-05-25

作者简介: 叶 帆 (1980-), 男, 四川南充人, 工程师, 学士, 2004 年毕业于西南石油学院油气储运专业, 从事油气田腐蚀与防护工作。电话: (0991) 3161112

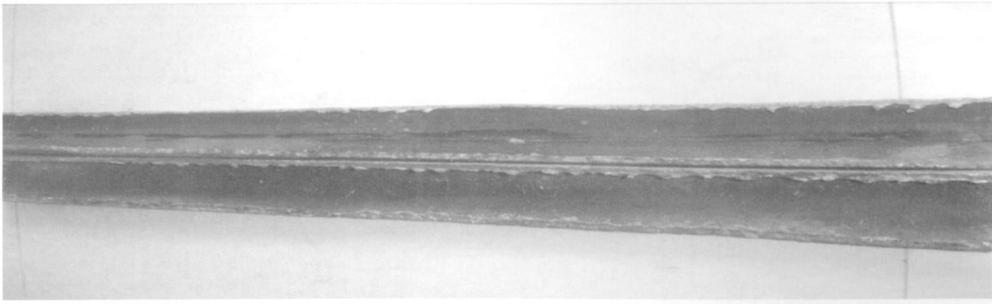


图 3 大涝坝气田 D4井管线底部沟槽状腐蚀

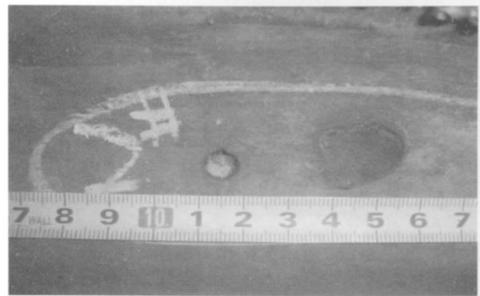
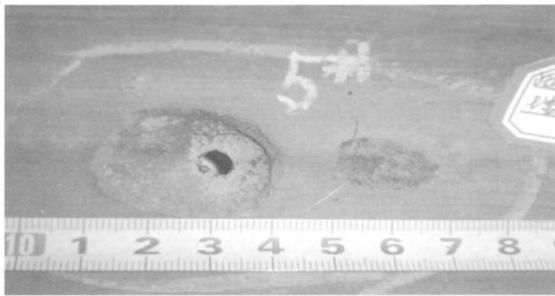


图 4 D8井管道底部溃疡状腐蚀



图 5 大涝坝气田管道焊缝腐蚀

管道腐蚀的影响最大,对于出现冲击流的直管段和弯头处,易产生冲击腐蚀、空泡腐蚀、流体促进腐蚀^[1]。

2.1.1 冲击腐蚀

冲击腐蚀即高流速冲刷造成 $FeCO_3$ 腐蚀产物膜破坏,从而促进腐蚀进一步发生,见图 6。冲击腐蚀与流体流速、流体攻角有关。当气相 $1 \sim 25 \text{ m/s}$ 液相 $0.1 \sim 5 \text{ m/s}$ 范围内时,易形成冲击流,产生极强的剪切力,冲击腐蚀最严重;随着攻角的增大,冲击剪切力增加,腐蚀增加,当攻角达到 90° 时,冲击腐蚀最严重。

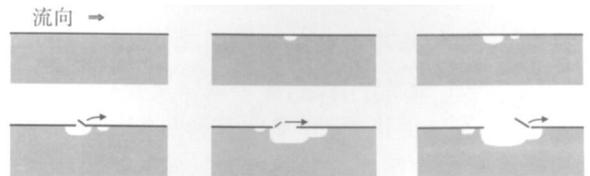


图 6 流体冲刷对 CO_2 腐蚀点蚀坑影响示意图

2.1.2 空泡腐蚀

对于水平输送管线,空泡腐蚀即高流速流体在流向发生改变时形成湍流,流向改变周围局部形成涡流,涡流携带气泡遇管壁破碎,局部极大的冲击力造成腐蚀产物膜破坏,从而促进腐蚀,空泡腐蚀极易

2 流态对腐蚀的影响分析

2.1 流态对腐蚀的影响机制

从凝析气田集输管道腐蚀特征分析,冲击流对

发生在弯头处,见图7。

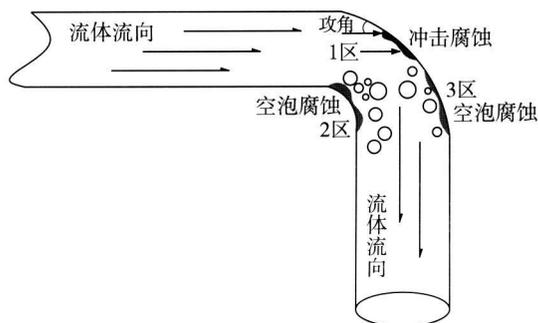


图7 弯头处冲击腐蚀和空泡腐蚀示意图

2.1.3 流体促进腐蚀

流体促进腐蚀即流体流动导致生产介质传质速率加快,使金属表面腐蚀产物膜破裂,新的金属基体裸露与腐蚀性介质接触,导致化学和电化学反应过程加快,从而促使腐蚀速率加快。流体促进腐蚀受流体流速、流态影响较大,对于凝析气而言,在同等条件下,流速越大腐蚀速率越大,湍流较层流腐蚀速率大。流体促进腐蚀贯穿管道介质输送始终,在局部有加速腐蚀的可能,从而形成沟槽状腐蚀形貌,见图8。

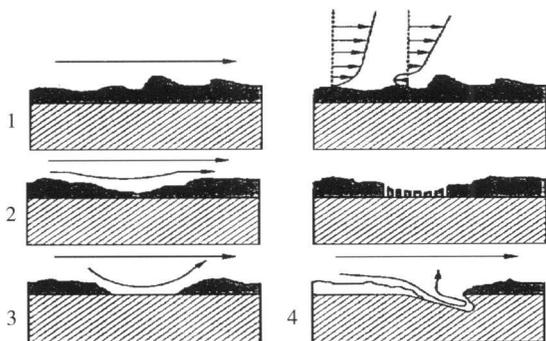


图8 流体促进腐蚀示意图

2.2 冲击流对水平管道的腐蚀影响

对于冲击流水平管道,易形成段塞体,主要产生冲击腐蚀、流体促进腐蚀(见图6和图8)从而与电化学腐蚀交替作用促进局部腐蚀。冲击流的腐蚀机理,见图9^[3]:

由于气体流速大,波浪加剧,波峰不时高达管顶,形成液塞,阻碍高速气流的通过,进而又被气体吹开并带走一部分液体,被带走的液体可能吹散成液滴,也可能与气体形成泡沫,段塞后端底部由于段塞作用形成低压区,因此,在该处形成强力的液击现象,产生极强的冲击力和剪切力,撕裂腐蚀产物膜,

加速金属管道腐蚀,其腐蚀形貌为在管底形成较深的沟槽。

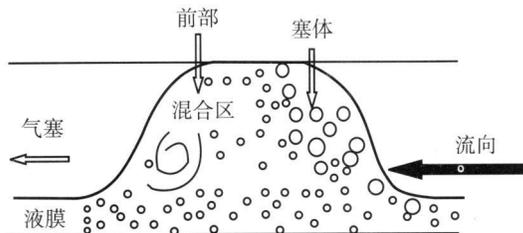


图9 冲击流腐蚀示意图

2.2.1 冲击流水平管道的腐蚀速度预测计算

由于段塞流后端(塞尾)存在较强的剪切力,因此,可以通过计算剪切力来计算冲击腐蚀速率,对于气液两相,气相剪切力很低,可忽略不计,仅考虑液相对管壁的剪切力,其值可由下式计算^[3]:

$$\tau_w = 1/2 \lambda \rho_s v_s^2 \quad (1)$$

式中 λ ——液体与管壁的摩擦系数;

ρ_s ——段塞密度, kg/m^3 ;

v_s ——段塞速度, m/s ;

公式(1)内段塞密度可取原油密度,段塞速度可取流体混合流速,因冲击流处于水力粗糙区,在该流态区内, λ 仅与管壁相对粗糙度 ϵ 有关,可用尼古拉兹公式求水力摩擦系数,计算如下:

$$\lambda = \frac{1}{(1.74 - 2 \lg \epsilon)^2} \quad (2)$$

还未出现严重腐蚀的新投产管道,绝对粗糙度可取 0.05 mm ,当管道运行一段时间后,管壁因冲击腐蚀出现严重的沟槽,随着沟槽的加深,管壁绝对粗糙度增加,管壁剪切力也增加。

在求解管壁剪切力后,可根据剪切力、 CO_2 分压模拟计算管道在流体流态和 CO_2 共同作用下的腐蚀速率,其计算如下:

$$R_{\text{COR}} = k P^c (\tau_w)^b \quad (3)$$

式中 R_{COR} ——腐蚀速度, mm/a

τ_w ——管壁剪切应力, N/m^2 ;

b ——指数, $b=0.10$

P —— CO_2 分压, MPa

c ——指数, $c=0.83$

k ——常数, $k=15.5$

经计算,大涝坝、雅克拉气田冲击流下水平管道的剪切力、腐蚀速度如下:

2.2.1.1 大涝坝气田计算结果

大涝坝气田计算结果见表1。

表 1 大涝坝气田冲击流水平管腐蚀速率预测表

| 单井 | 绝对粗糙度 /mm | 剪切力 /N·m ⁻² | 腐蚀速率 /mm·a ⁻¹ |
|----|-----------|------------------------|--------------------------|
| D2 | 0.05 | 82 | 2.01 |
| | 1 | 196 | 2.19 |
| D4 | 0.05 | 54 | 1.92 |
| | 1 | 129 | 2.10 |

经计算,当管道运行一段时间后,管道的剪切力可达投产初期的 2 倍多,大涝坝气田 D₂、D₄ 井的腐蚀速率将达到 2.1 mm/a 左右。由于大涝坝气田集输管道的壁厚为 6 mm,按管道的平均冲击腐蚀速率为 2 mm/a 计算,管道运行三年就会出现腐蚀穿孔,这与现场 D₂、D₄ 井腐蚀穿孔时间十分吻合。

2.2.1.2 雅克拉气田计算结果

表 2 雅克拉气田冲击流水平管腐蚀速率预测表

| 单井 | 绝对粗糙度 /mm | 剪切力 /N·m ⁻² | 腐蚀速率 /mm·a ⁻¹ |
|-----|-----------|------------------------|--------------------------|
| Y1 | 0.05 | 240 | 7.92 |
| | 1 | 545 | 8.59 |
| Y2 | 0.05 | 124 | 6.57 |
| | 1 | 283 | 7.13 |
| Y5 | 0.05 | 134 | 6.55 |
| | 1 | 295 | 7.09 |
| Y6 | 0.05 | 171 | 6.74 |
| | 1 | 375 | 7.29 |
| Y10 | 0.05 | 78 | 7.65 |
| | 1 | 178 | 8.30 |
| Y14 | 0.05 | 88 | 5.57 |
| | 1 | 195 | 6.03 |

经计算,雅克拉气田冲击流水平管的段塞段腐蚀速率将达到 5.57~8.59 mm/a。由于雅克拉气田集输管道的壁厚为 11 mm,按管道的平均冲击腐蚀速率为 6 mm/a 计算,管道运行两年就会出现腐蚀穿孔,这与现场腐蚀穿孔时间十分吻合。

2.3 冲击流对弯管的腐蚀影响

对于弯头内壁,主要为冲击腐蚀和空泡腐蚀,根据图 7 中弯头内壁剪切力的分析示意图,介质流动到弯头处,弯头内壁受到两个力的冲击,一个是流动介质对管道的剪切力,另一个是流动介质对管道弯头的冲击力,见图 10。假设介质在弯头处流速不变,则弯头处的剪切力 τ 也不变。

而冲击力 F 为:

$$F = \rho v^2 \sin\theta \quad (4)$$

由于气体对管道的冲击力远远小于液相,因此,可忽略气体介质的冲击力,仅对液相介质的冲击力进行计算。

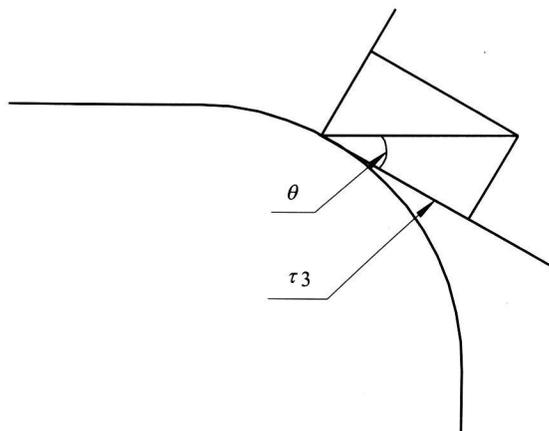


图 10 弯头冲击力示意图

液相介质在弯头内壁形成的合力 $F_{合}$ 为:

$$F_{合} = \sqrt{\tau^2 + F^2} \quad (5)$$

经计算,当流体攻击角度 θ 大于 3 度的时候,液相介质的冲击力即为剪切力的 10 倍,因此,弯头的冲击力远大于直管段剪切力的 10 倍。

弯头曲率半径越小,冲击流攻角越大,当攻击角为 90° 时,弯管内壁所受冲击力达到最大,此时弯头的材料基体冲刷最严重,弯头在腐蚀和冲刷的同时侵蚀下快速减薄,因此弯头处的腐蚀速度要远大于直管。

3 结论

a 雅克拉、大涝坝凝析气田集输管道腐蚀特征主要表现为整体减薄、沟槽状、蜂窝状,整体减薄主要为弯头处的冲刷腐蚀,沟槽状腐蚀主要为管道底部冲击流产生的冲刷腐蚀,蜂窝状腐蚀主要为空泡腐蚀。

b 雅克拉、大涝坝凝析气田集输管道内介质流态为分层流、冲击流两种流态模型,分层流管道随含水上,腐蚀日趋严重,是气田开发中后期的防腐重点;冲击流产生的各种流体力学加剧腐蚀是气田集输管道的主要腐蚀因素,是气田稳产期内必须解决的腐蚀问题。

参考文献:

- [1] 叶帆,李新勇,刘强,等.雅克拉气田集输管线的腐蚀及其防治[J].腐蚀与防护,2008,11(29):710-712
- [2] 臧国军.油气管道段塞流腐蚀机理与内防腐技术研究[D].成都:西南石油学院硕士论文,2003
- [3] 王明皓,郑永刚.水平管多相段塞流中的流动腐蚀[J].油气储运,1997,3(16):56-60