

页岩气外输管线剩余寿命预测和防腐措施研究

杨娜¹ 孟庆华² 曹臻² 史雪枝¹

(1. 中国石化西南油气分公司石油工程技术研究院, 四川 德阳 618000)

(2. 中国石化西南油气分公司基建处, 四川 成都 610095)

摘要: 针对川南某页岩气田外输管线存在缺陷点的问题, 通过开展多相流模拟得到管线内部流动状态, 利用腐蚀预测模型预测管线腐蚀速率并计算出剩余寿命, 最后提出防腐措施。研究结果表明, 此页岩气田外输管线 94.44% 的缺陷点均位于液体流速低持液率高的低洼爬坡段, 预测管线腐蚀最严重处腐蚀速率为 1.1602mm/a, 剩余寿命为 2.5 年, 最后提出“冲蚀防控+杀菌缓蚀剂+定期清管”的腐蚀防护措施。

关键词: 缺陷点; 内部流动状态; 腐蚀速率; 剩余寿命; 防腐措施

0 引言

川南某页岩气田规模上产 1~2 年后地面集输流程开始出现腐蚀穿孔, 外输管线中也出现较多腐蚀缺陷点, 同时长期未对缺陷点的内部流动状态进行深入研究, 现场的腐蚀防控措施也有待优化, 随着管线运行时间的延长, 腐蚀穿孔风险逐渐增大^[1]。因此通过研究, 分析川南某页岩气管线缺陷点内部流动状态, 预测管线腐蚀速率和剩余寿命, 提出腐蚀防护措施, 降低管线腐蚀穿孔频次。

1 管线缺陷点基本信息

根据内检测数据, 共对川南某页岩气田外输管线缺陷深度超过 28% 的 18 个缺陷点进行开挖补强, 对这些缺陷点的位置分布进行统计分析。此外输管线管线开挖时间为 2022 年 7 月和 9 月, 18 个缺陷点中有 17 个点均位于管线上坡段 (红点), 只有 1 个点位于管线下坡段 (黄点), 缺陷点时钟方位均位于 4~8 点钟方向。

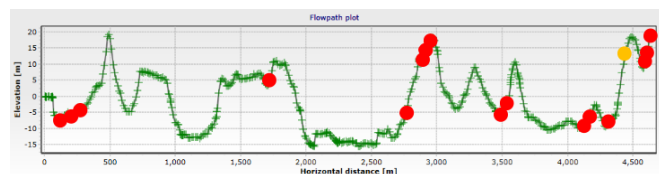


图 1 缺陷点位置分布

2 管线内部流动状态模拟

从缺陷点的统计分析可以看出, 大部分缺陷点位于管线低洼爬坡段, 为了进一步探究低洼爬坡管段处内部流动参数变化情况, 基于管线的基础信息, 利用计算流体力学方法, 根据流体流动规律, 结合 NACE SP0116-2016 MP-ICDA 评价标准, 采用 OLGA 建立流

动计算模型^[2], 开展外输管线的气液两相流动计算, 确定了沿线各节点的气体流速、液体流速、温度、压力、持液率的变化情况^[3]。

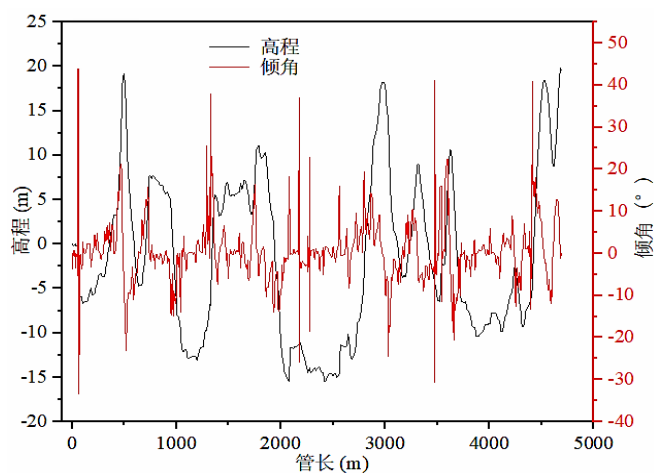


图 2 倾角沿线变化规律

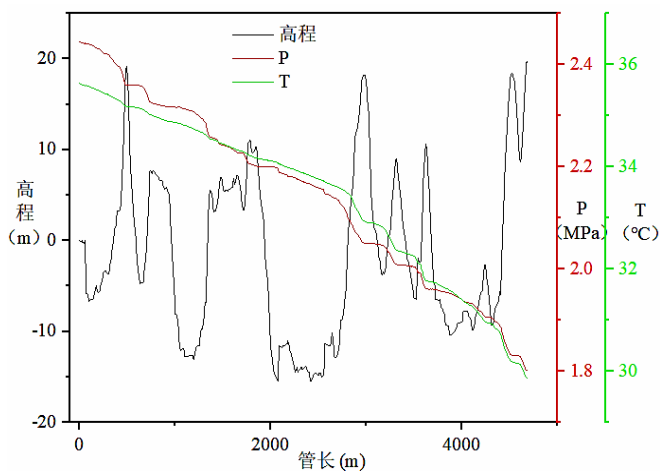


图 3 温度、压力沿线变化规律

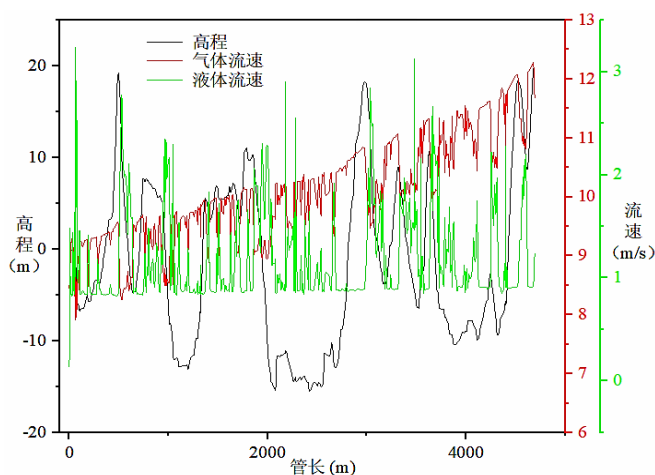


图4 气液体流速变化规律

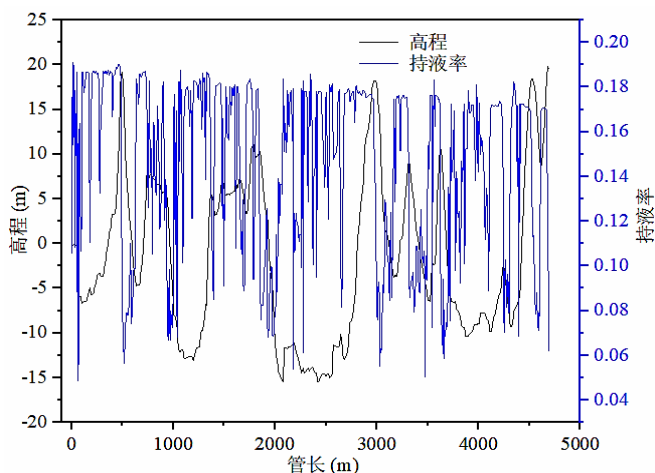


图5 持液率沿线变化规律

根据管线基础数据,运用 OLGA 软件建模,对外输管线的管道倾角、压力、温度、气液体流速、持液率这些参数进行计算,管线建模如图5所示,管道沿线各参数模拟计算结果如图2~5所示。

此管线全长4690m,倾角的变化范围为0~43.9°,管线入口温度35.63℃,出口温度为29.87℃,沿程温降5.76℃,由于管道起伏较大,沿程压力在摩擦阻力的作用下逐渐下降,进口压力为2.45MPa,出口压力为1.80MPa,沿程压降为0.65MPa。气体流速最高12.29m/s,最低7.91m/s。液体流速最高3.24m/s,最低0.13m/s,沿线持液率的变化范围为0.05~0.20,其中在低洼处持液率最高。

3 管线剩余寿命预测

3.1 ECE 腐蚀速率预测模型

1995年,壳牌公司在多年的研究基础上提出了ECE腐蚀速率预测模型^[4-5],该模型综合考虑了CO₂溶于

水的传递过程以及电动力学反应速率对腐蚀的影响,该模型的数学表达式为:

$$\lg V_{\text{corr}} = 4.84 - \frac{1119}{t + 273} + 0.58 \lg(f_{\text{CO}_2}) - 0.34(pH_{\text{act}} - pH_{\text{CO}_2}) \quad (1)$$

$$v_m = 2.8 \frac{v_l^{0.8}}{d^{0.2}} K_{\text{CO}_2} \quad (2)$$

$$\lg(K_{\text{CO}_2}) = \lg(p_{\text{CO}_2}) + \left(0.0031 - \frac{1.4}{t + 273}\right) \times P \quad (3)$$

式中: v_{corr} —腐蚀速率, mm/a; t —温度, K; pH_{act} —实际 pH 值; pH_{CO_2} —CO₂ 饱和溶剂的 pH 值; K_{CO_2} —CO₂ 的逸度系数; v_l —液体流速, m/s; d —直径, m; p_{CO_2} —CO₂ 分压, MPa; P —总压力, MPa。

3.2 剩余寿命计算

根据此外输管线具体采用的管材及管径,确定不同管线的最小壁厚,以此作为安全壁厚,则剩余寿命计算年限为壁厚腐蚀减薄到安全壁厚的年限,利用腐蚀速率再通过以下公式对管线剩余寿命进行计算^[6]:

$$Y_c = \frac{\delta - \delta_{\min}}{V_{\text{corr}}} - Y \quad (4)$$

式中: Y_c —管线剩余寿命, a; δ —管道设计壁厚, mm; $\delta_{\min}$ —管道安全壁厚, mm; V_{corr} —腐蚀速率, mm/a; Y —管线已投用年限, a。

3.3 管线腐蚀速率和剩余寿命预测

外输管线腐蚀速率预测结果如图6所示,计算出的管线剩余寿命如图7所示。

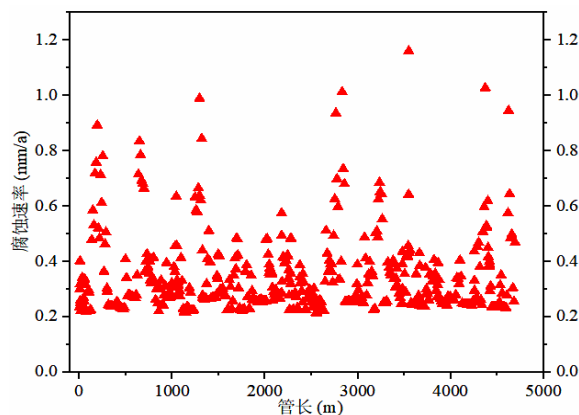


图6 腐蚀速率沿线分布

从腐蚀速率沿线分布情况可以看出,管线腐蚀速率最高为1.1602mm/a,位于3546m处低洼爬坡段,最低为0.2135mm/a;从剩余寿命预测结果可以看出,管线剩余寿命最高为19.9年,腐蚀最严重管段处剩余寿命为2.5年,位于3546m处。

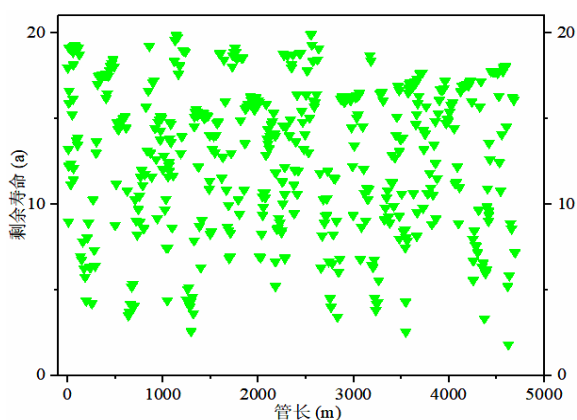


图7 管线剩余寿命预测

4 腐蚀防控措施

4.1 冲刷腐蚀防控

4.1.1 测试阶段排砂

采取及早钻塞,提粘提量液体携砂,增长返排时间等措施,提高井筒清洁性,强化井筒沉砂尽可能在测试流程阶段排出,减少气井出砂对正式生产流程的影响^[7]。

4.1.2 生产环节防砂

在出砂较严重的井设置除砂器,除砂器能有效拦截气井的返出砂,保护后端流程。

4.2 杀菌缓蚀一体化技术

由于细菌和 CO_2 是导致此页岩气田产生腐蚀的主要原因,因此实现对硫酸盐还原菌、腐生菌、铁细菌等微生物(细菌)的杀灭,控制硫酸盐还原菌、腐生菌、铁细菌等微生物的繁殖和 CO_2 的腐蚀对页岩气管线的腐蚀控制具有重要的作用,大量实验研究证明,加注杀菌剂和缓蚀剂是最有效的腐蚀防控措施^[8]。

页岩气集输系统的防腐对象包括井下管柱、地面工艺管道和集输管道,针对页岩气管线不同流程采用不同的加注工艺对各流程管线进行杀菌缓蚀防护。

4.3 定期清管+涂膜

按照积液严重管线30天/次、积液轻度管线45天/次的制度开展清管作业,通过清管,清除管线内部积水、轻质油、水合物、氧化铁、碳化物粉尘等腐蚀性物质,降低腐蚀性物质对管道内壁的腐蚀损伤,避免集输管道中长期积液形成有利腐蚀环境^[9]。清管+涂膜工作主要分为2个步骤:发清管器进行清管,清除掉管道中的游离水;用2个清管器夹住杀菌剂和缓蚀剂(水溶性)段塞,进行杀菌和涂膜工作。

5 结论

①对川南某页岩气田外输管线的缺陷点进行统计

分析,缺陷类型均属于内部金属损失,94.44%的缺陷点均位于管线上坡段,83.33%的缺陷点时钟方向位于5-7点钟方向;②利用OLGA软件模拟得到了外输管线气体流速、液体流速、温度、压力、持液率的沿线分布规律,发现缺陷点多分布在低洼处与爬坡管段,与实际管道缺陷位置一致;③对外输管线的腐蚀速率和剩余寿命进行了预测,此条管线腐蚀最严重处腐蚀速率为1.1602mm/a,剩余寿命为2.5年;④对此页岩气田提出了“冲蚀防控+杀菌缓蚀剂+定期清管”的腐蚀防护措施。

参考文献:

- [1] Haixian Liu,Zhengyu Jin,Hongfang Liu,Guozhe Meng,Hongwei Liu.Microbiological corrosion acceleration of N80 steel in shale gas field produced water containing *Citrobacter amalonaticus* at 60°C [J].Bioelectrochemistry,2022,148:108253.
- [2] 孙乐园.地形起伏湿气管道积液与清管数值模拟[D].西安:西安石油大学,2021.
- [3] 陈宏举,王靖怡,康琦等.多相管流模拟软件MPF与OLGA和LedaFlow预测能力对比[J].中国海上油气,2022,34(06):168-176.
- [4] 管恩东.基于IGSA-RFR的多相流集输管道内腐蚀速率预测模型[J].油气储运,2022,41(12):1448-1454.
- [5] Liu M,Li W.Prediction and Analysis of Corrosion Rate of 3C Steel Using Interpretable Machine Learning Methods[J].Materials Today Communications,2023:106408.
- [6] 戴立越.油气长输管线腐蚀剩余寿命预测研究[D].沈阳:辽宁石油化工大学,2019.
- [7] 吕童,曾莉,胡道麟. CO_2 环境中管线钢高压冲刷腐蚀研究进展[J].材料保护,2023,56(06):164-172.
- [8] Anandkumar B,Krishna N G,Solomon R V,et al.Synergistic enhancement of corrosion protection of carbon steels using corrosion inhibitors and biocides: Molecular adsorption studies,DFT calculations and long-term corrosion performance evaluation[J].Journal of Environmental Chemical Engineering,2023,11(3):109842.
- [9] 符帆顺,李无为,李配等.天然气集输管线清管及清管临界值研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(05):135-137.