

川南某页岩气田外输管线腐蚀主控因素分析

杨娜 罗国仕 史雪枝 周小虎 肖茂

(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)

摘要: 针对川南某页岩气田外输管线输送条件恶劣、管线腐蚀因素众多的问题, 通过开展多相流模拟得到倾角、温度、压力、气液体流速、持液率这些流动参数沿线分布, 利用腐蚀预测模型预测腐蚀速率, 结合管内流动参数和腐蚀速率分布, 采用相关系数法确定出腐蚀主控因素。研究表明: 管线在低洼爬坡段持液率高、液体流速低, 利用 De.Waard 腐蚀速率预测模型预测出的管线腐蚀速率最高为 1.1002mm/a, 最低为 0.1936mm/a, 采用 Spearman 相关系数分析法确定出管线腐蚀因素排序为: 持液率 (0.736) > 液体流速 (0.708) > 温度 (0.609) > 压力 (0.525) > 管道倾角 (0.514) > 气体流速 (0.283)。

关键词: 页岩气管线; 多相流模拟; 腐蚀速率; Spearman 相关系数法; 主控因素

0 前言

川南某页岩气田具有高温、高产液、高递减的生产特征, 随着规模上产后外输管线开始发生腐蚀穿孔的现象, 如图 1 所示, 外输管线一旦发生腐蚀穿孔, 不仅会影响页岩气田高效运行和安全生产, 还会带来环境污染等后果。

本文通过研究, 分析了页岩气田外输管线的内部流动状态, 得到管内流动参数沿线变化情况, 同时利用 De.Waard 腐蚀速率预测模型对管线的腐蚀速率进行计算, 并采用 Spearman 相关系数法确定影响腐蚀速率的主控因素, 最后提出腐蚀防护措施, 有利于提升页岩气田地面生产系统的腐蚀防护水平和经济效益。

1 管线内部流动状态模拟

基于管线的基本参数, 采用计算流体力学的方法, 根据流体的流动规律, 结合 NACE SP0116-2016 MP-ICDA 评价标准, 将计算腐蚀速率的最大管道节点按照 $\leq 50\text{m}$ 为划分依据, 将此管线划分为 593 个节点, 根据外输管线基本参数, 采用多相流动态软件 OLGA 建立外输管线流动计算模型, 对气液两相流动规律进行计算, 确定了此管线沿线各个节点的倾角、温度、压力、气体流速、液体流速和持液率的变化情况规律。管线模型如图 1 所示, 管道沿线各节点参数计算结果如图 2~5 所示。

此条外输管线全长 20760m, 倾角的变化范围为 $0\sim 45.4^\circ$, 管线入口温度为 46.70°C , 出口温度为 28.89°C , 沿程温降 17.81°C , 这是由于气体在运行过程中, 管道内温度会受到管道外环境温度变化和传热系数等影响而引起波动。同时由于地形影响, 管道沿

线起伏较大, 管内沿线压力在摩擦阻力等因素的影响下逐渐降低, 管线进口压力为 2.03MPa , 出口压力为 1.01MPa , 沿程压降为 1.02MPa 。气体流速最高为 12.47m/s , 最低为 6.15m/s 。同时根据模拟结果可以看出, 在管线爬坡段, 持液率基本保持不变; 在管线下坡段, 持液率迅速降低, 液体流速最高 2.83m/s , 最低 0.01m/s , 持液率的变化范围为 $0.12\sim 0.25$, 其中在低洼处持液率最高。

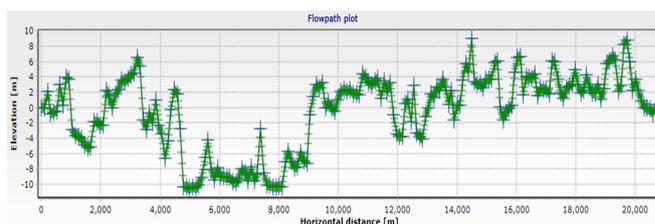


图 1 外输管线里程高程图

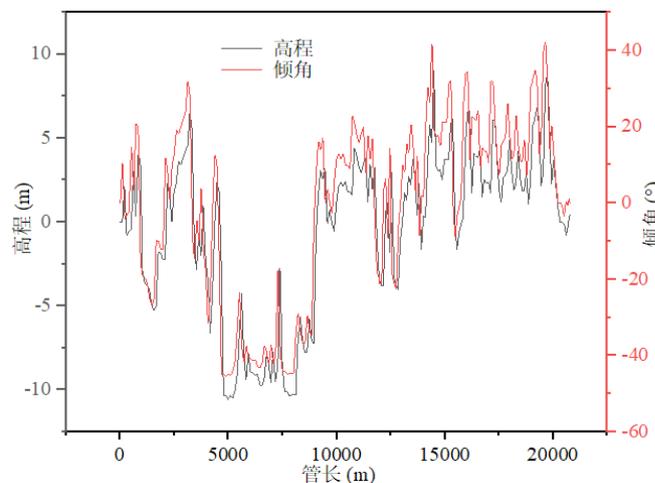


图 2 倾角沿线变化规律

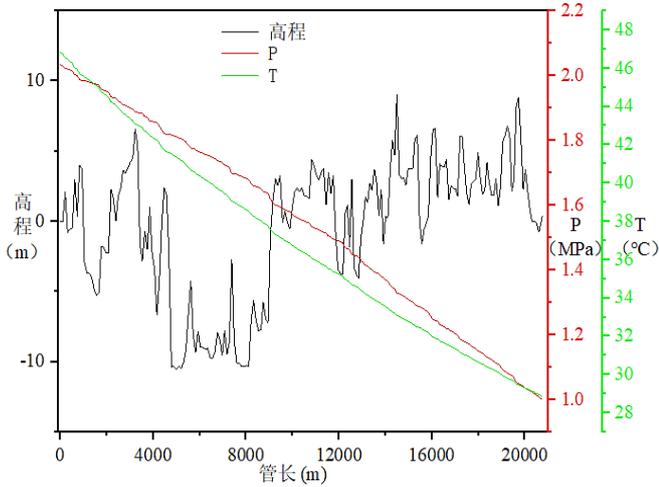


图3 温度、压力沿线变化规律

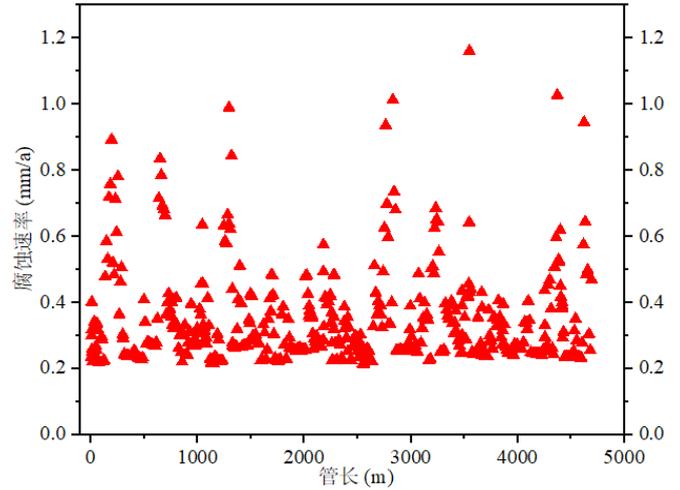


图6 腐蚀速率计算结果

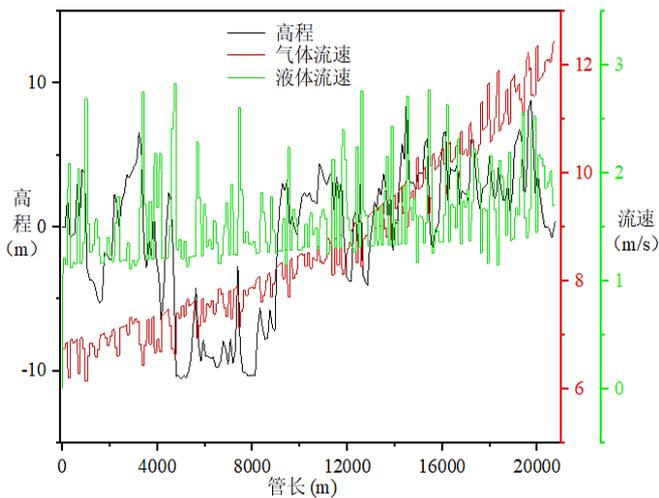


图4 气液体流速变化规律

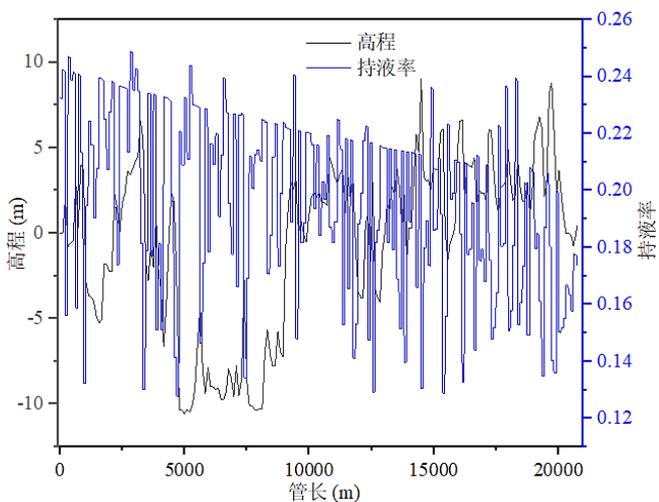


图5 持液率沿线变化规律

2 管线腐蚀速率计算

2.1 De. Waard 腐蚀速率预测模型

采用 De.Waard 腐蚀速率预测模型对管线腐蚀速率进行计算, 该模型综合考虑了 CO_2 溶于水的传递过程以及电化学动力反应速率对腐蚀的影响, 该模型的数学表达式为:

$$\frac{1}{V_{\text{corr}}} = \frac{1}{V_r} + \frac{1}{V_m} \quad (1)$$

$$\log V_r = 4.93 - \frac{1119}{t + 273} + 0.58 \log P_{\text{CO}_2} - 0.34 (\text{pH}_{\text{cat}} - \text{pH}_{\text{CO}_2}) \quad (2)$$

$$V_m = 2.45 \frac{U^{0.8}}{d^{0.2}} P_{\text{CO}_2} \quad (3)$$

$$\text{pH}_{\text{CO}_2} = 3.82 + 0.00384t - 0.5 \log P_{\text{CO}_2} \quad (4)$$

式中:

V_{corr} - 腐蚀速率, mm/a;

V_r - 反应速率, mm/a;

V_m - 传质速率, mm/a;

t - 介质温度, $^{\circ}\text{C}$;

P_{CO_2} - CO_2 分压, MPa;

pH_{act} - 实际 pH 值;

pH_{CO_2} -CO₂ 饱和溶剂的 pH 值;
 U- 介质的液相流动速度, m/s;
 d- 管道直径, m。

2.2 管道沿线腐蚀速率计算

此外输管线腐蚀速率计算预测结果如图 6 所示, 从腐蚀速率沿线分布情况可以看出, 管线腐蚀速率最高为 1.1002mm/a, 位于 8923m 处, 最低为 0.1936mm/a。

3 腐蚀主控因素确定

3.1 Spearman 相关系数分析法

相关系数分析法通常用来研究定量数据间的相关性, 包括数据之间是否有关系, 以及数据之间的关系紧密程度等。Spearman 相关系数法又称为秩相关系数法, 利用两个变量间的秩次大小作为线性相关分析的依据, Spearman 相关系数法只关心变量间的单调关系, 不需要考虑具体数值之间的影响, 因此 Spearman 相关系数法可以用来计算两个变量 x、y 间的相关性。计算出的两个变量之间的相关系数 ρ 可以达到 +1 (绝对值正相关) 或 -1 (绝对值负相关), 正值代表正线性相关, 负值代表负线性相关。

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

式中:

ρ - 相关系数的值;
 x_i - 倾角、气液体流速、温度、压力和持液率等对应的不同数值;
 \bar{x} - 变量 x 的平均数;
 y_i - 管线的腐蚀速率;
 \bar{y} - 变量 y 的平均数;
 N- 变量个数。

通常认为 $\rho < 0.4$ 表示弱相关, $0.4 \leq \rho < 0.7$ 表示中等相关, $0.7 \leq \rho < 0.9$ 表示强相关, $r \geq 0.9$ 表示非常高度的相关。

3.2 腐蚀主控因素分析

采用 Spearman 相关系数分析法计算得到, 页岩气外输管线倾角、温度、压力、气液体流速、持液率和腐蚀速率的相关性绝对值大小排序为:

持液率 (0.736) > 液体流速 (0.708) > 温度 (0.609) > 压力 (0.525) > 管道倾角 (0.514) > 气体流速 (0.283)。

根据 Spearman 相关系数分析法计算结果可以分析得出:

持液率和液体流速与腐蚀速率的相关性为强相关, 温度、压力和倾角与腐蚀速率的相关性为中等相关, 气体流速与腐蚀速率的相关性为弱相关, 因此在此页岩气外输管线腐蚀防控措施中, 消除管内积液的影响对管线腐蚀防护至关重要。

4 结语

①对川南某页岩气田外输管线的倾角、温度、压力、气液体流速、持液率进行了模拟, 得到了这些流动参数沿线变化情况, 发现在管线低洼爬坡段持液率高、液体流速低;

②利用 De.Waard 腐蚀速率预测模型对外输管线腐蚀速率进行预测, 管线腐蚀速率最高为 1.1002mm/a, 最低为 0.1936mm/a;

③采用 Spearman 相关系数分析法确定出管线腐蚀因素排序为: 持液率 (0.736) > 液体流速 (0.708) > 温度 (0.609) > 压力 (0.525) > 管道倾角 (0.514) > 气体流速 (0.283), 腐蚀主控因素为持液率和液体流速。

参考文献:

- [1] 王腾, 严小勇, 张伟等. 威荣页岩气田腐蚀机理与管控对策研究 [J]. 石化技术, 2022, 29(12): 123-125.
- [2] Liang C, Xiong W, Wang H, et al. Experimental and OLGA Modeling Investigation for Slugging in Underwater Compressed Gas Energy Storage Systems [J]. Applied Sciences, 2023, 13(17): 1-10.
- [3] 韩杰林. 基于多相流模拟的大牛地气田集输管道腐蚀速率预测 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(03): 127-130.
- [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] 戴海霞, 李文. 基于 Spearman 秩相关系数与 AHP 法的天然气管道运行风险绩效评估 [J]. 山东化工, 2023, 52(02): 178-181.
- [6] Michael S, Melvin V. Sequential estimation of Spearman rank correlation using Hermite series estimators [J]. Journal of Multivariate Analysis, 2021, 23(05): 1-13.
- [7] 任春燕. 集气管道内腐蚀主控因素及腐蚀评价方法研究 [J]. 石油工程建设, 2021, 47(05): 20-24.
- [8] 章博. 高含硫天然气集输管道腐蚀与泄漏定量风险研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
- [9] 徐树伟, 陈丽娜, 韩庆, 等. 定量风险评价技术在油田集输管道的研究与应用 [J]. 中国设备工程, 2021 (S01): 137-140.