

聚驱油气水三相流混输管道压降修正计算方法

董喜贵¹ 刘书孟¹ 吴新勃¹

摘要: 油气水三相混输管道的水力计算是油气管道设计和生产运行方案制定的基础。采用 Beggs-Brill 模型进行聚驱采出液油气水三相流混输管道水力计算时误差较大, 平均相对误差为 33.26%。为了提高模型的计算精度, 以拟合优度最大为目标研究建立了 Beggs-Brill 水力修正计算模型, 并以萨南油田聚驱采出液油气水三相混输管道生产运行数据为样本进行了验证, 结果表明, 修正后模型的平均相对误差比修正前降低了 21.64%, 计算精度大幅度提高。

关键词: 混输管道; 油气水三相流; 水力计算; 模型修正; 拟合

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.7.016

The Modified Calculation of Oil-Gas-Water Mixed Transportation Pipeline Pressure Drop in Polymer Flooding

Dong Xigui, Liu Shumeng, Wu Xinbo

Abstract: The hydraulic calculation of oil-gas-water mixed transportation pipeline is the foundation of oil-gas pipeline design and production running. Beggs-Brill Model leads to serious errors which average value could reach 33.26%, when it was used for calculation of oil-gas-water mixed transportation pipeline pressure drop in polymer flooding. In order to improve the calculation accuracy, a modified mode aiming for maximum goodness of fit was founded. The modified Beggs-Brill model was tested by the production data of South-Saertu Oilfield. The result indicated that calculation accuracy of modified model has been improved remarkably, the average value decreased 21.64% than that of the original model.

Key words: mixed transportation; oil-gas-water three phase flow; hydraulic calculation; model modification; fitting

油气水三相混输管道的水力计算是进行油气管道设计和制定生产运行方案的基础^[1]。为了提高水力计算的精度, 许多学者开展了相关领域的研究。这些研究主要集中在两个方面^[2]: ①假设油水两相为均匀混合的单一液相, 采用气液两相流方式进行研究^[3-4]; ②假设油水分离流动, 建立双流体或三流体力学模型进行研究^[5-6]。所建立的模型均在某一范围内适用, 超出该范围时计算误差明显增大。

多年来, 大庆油田油气水三相混输管道水力计算一般采用 Beggs-Brill 计算模型。随着聚合物驱采油技术的大规模应用, 与水驱开发油井采出液相比, 油田采出液的流变特性发生显著变化。在此情况下, 采用 Beggs-Brill 模型进行水力计算的结果与实际生产数据存在较大偏差, 若仍以该模型为依据进行设计和生产运行管理, 会导致设计质量的下降

和生产运行成本增加。由此可见, 研究建立满足使用精度要求的油气水三相混输管道水力方法具有重要的理论意义和实际应用价值。本文针对大庆萨南油田某聚合物开发区块, 以现场实测数据为基础对 Beggs-Brill 模型进行了修正, 显著提高了计算精度。

1 聚合物开发区块的水力计算

1.1 水力计算方法

井口回压是油田开发过程中的一个重要参数。按照集输工艺流程, 井口回压可以采用如下公式计算

$$p_r = p_z + \Delta p + \rho g h_\xi \quad (1)$$

式中: p_r 为井口回压; p_z 为计量间内集油汇管处压力; Δp 为混输集油管道沿程压降; ρ 为管输混合物的密度; h_ξ 为局部摩阻损失; g 为重力加速度。

¹大庆油田有限责任公司第二采油厂

油气水多相流混输管道流型变化多、相态间能量损失大、流动不稳定，计算集油管道压降的方法很多。工程上一般选取 Beggs-Brill 模型^[7]计算混输管道的压降，其表达式为

$$\Delta p = \frac{[H_1 \rho_l + (1 - H_1) \rho_g] g \sin \theta + \lambda_m \frac{2v_m G_m}{\pi d^3} L}{1 - \frac{[H_1 \rho_l + (1 - H_1) \rho_g] v_m v_{sg}}{p_0}} \quad (2)$$

式中： L 为管道的长度； θ 为管道的倾角（水平管 $\theta=0$ ）； ρ_l 、 ρ_g 分别为液相、气相的密度； v_m 为气液混合物流速； v_{sg} 为气相折算流速； G_m 为气液混合物质量流量； d 为管道内径； p_0 为管道内平均绝对压力； λ_m 为混合物水力摩阻系数； H_1 为截面含液率。

1.2 误差分析

萨南油田聚驱采出液集输系统主要采用双管掺水集油工艺，与水驱区块相比，该区块井口回压明显偏高，热洗周期短。为了准确掌握该区块集输工艺参数，研发了油气水三相流管道数据采集系统，对该区块6座计量间所辖73条典型的集油管道生产运行数据进行了监测。在此基础上，采用 Beggs-Brill 水力计算模型对73口油井的井口回压进行了计算，并对计算结果进行了分析，见图1和表1。

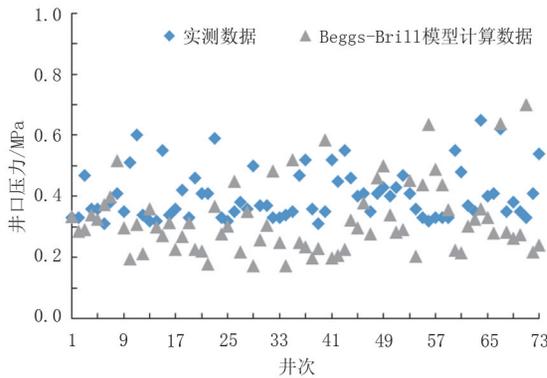


图1 Beggs-Brill 模型计算井口回压结果

表1 Beggs-Brill 模型计算压降相对误差

相对误差/%	0~5	5~10	10~15	15~30	>30
管道数量	10	8	7	8	40

由计算结果可知，井口回压实测值普遍偏离理论计算结果，平均相对误差为33.26%，其中有40条管道的相对误差在30%以上，占管道总数的54.8%。采用该方法进行水力计算，无法满足工程实际需求，有必要对该模型进行修正。

2 Beggs-Brill 水力修正计算方法

2.1 Beggs-Brill 水力修正计算模型

在进行井口回压计算过程中，计量间内集油汇

管处压力采用的是实测值，在此情况下，井口回压误差主要取决于集油管道压降。在 Beggs-Brill 水力计算模型中，除了水力摩阻系数，其他参数均为已知参数或通过实验直接测得的数据。水力摩阻系数的影响因素较多，它受流型、流速、黏度、管径、持液率和弗劳德准数等参数影响，不能通过简单运算得到，计算过程较为复杂，是造成井口回压误差较大的主要原因。

采用现场实测数据反算得到管道水力摩阻系数的实际值，并与理论计算值进行对比，结果见图2。由图2可知，两者不完全相同，实际值明显高于理论值，存在一定的线性关系。

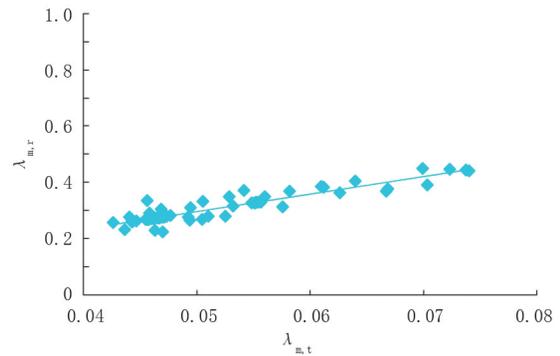


图2 水力摩阻系数理论计算值与实际值的关系

为了提高计算精度，水力摩阻系数可采用如下修正公式

$$\lambda_{m,r} = a\lambda_{m,t} + b \quad (3)$$

式中： a 、 b 为修正系数，可采用式(4)最优化模型获得。

$$\min D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s \left\{ \frac{(a\lambda_{m,t}^{ij} + b) \frac{2v_m^{ij} G_m^{ij}}{\pi d^{3ij}} L^i}{1 - \frac{[H_1^{ij} \rho_l^{ij} + (1 - H_1^{ij}) \rho_g^{ij}] v_m^{ij} v_{sg}^{ij}}{p_0^{ij}}} + p_z^{ij} + \rho^{ij} g h_{\xi}^{ij} - p_r^{ij} \right\}^2 \quad (4)$$

式中： n 为井口到计量间的管道数量； s 为每条管道运行参数样本总数。

目标函数为拟合度，即理论计算结果和实际值之间偏差的平方和。该模型为无约束优化数学模型，可采用DFP法进行求解。

2.2 水力修正结果及误差分析

采用水力修正计算方法，以萨南油田73口油井的实测数据为样本，对 Beggs-Brill 模型进行了修正。修正后的计算公式为

$$p_r = \frac{(6.203734\lambda_{m,t} - 0.01481471) \frac{2v_m G_m}{\pi d^3} L}{1 - \frac{[H_1 \rho_l + (1 - H_1) \rho_g] v_m v_{sg}}{p_0}} + p_z + \rho g h_{\xi} \quad (5)$$

采用修正后的 Beggs-Brill 模型对萨南油田 73 口井的井口回压进行计算, 计算结果及误差分析见图 3 和图 4。

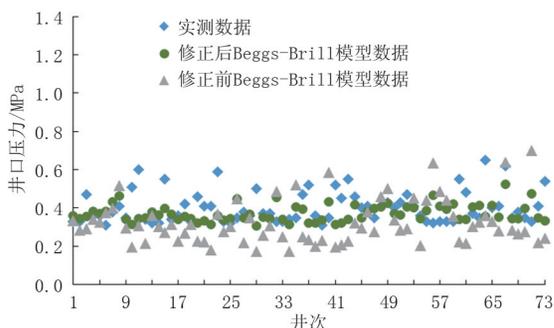


图3 修正的降压模型井口回压计算结果

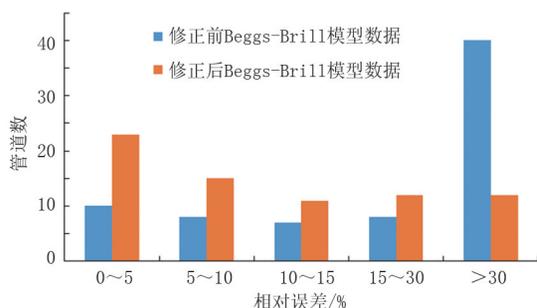


图4 修正前后相对误差分布

由计算结果可知, Beggs-Brill 模型修正后的平均相对误差为 11.62%, 比修正前的平均相对误差降低了 21.64%。由修正前后相对误差分布图可知, 修正前有 25 条管道相对误差在 15% 以内, 修正后有 49 条, 所占样本管道总数比例由 34.25% 提高到 67.12%。

2.3 水力修正模型计算精度验证

为了进一步验证修正后 Beggs-Brill 模型的计算精度, 选取该区块含聚浓度在 95~450 mg/L 的油井 97 口, 以这些油井至计量间管道在 2013 年 8 月到 2014 年 7 月间的生产运行数据为基础, 采用修正后的 Beggs-Brill 模型对井口回压进行了计算, 并以该方法得到的理论井口回压与实际井口回压进行了对比, 误差分布结果见图 5。

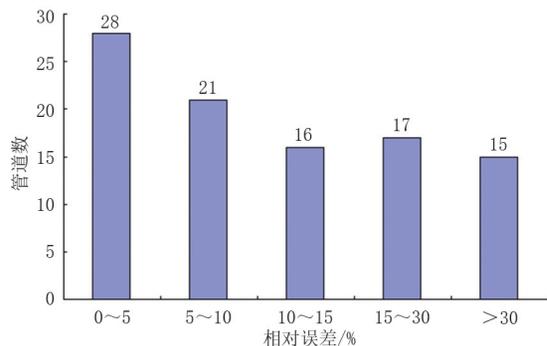


图5 修正后 Beggs-Brill 模型井口回压计算误差分布
根据计算结果可知, 井口回压计算值与实际值

平均相对误差为 12.12%, 其中相对误差在 15% 以内的管道有 65 条, 占总数的 67.01%; 相对误差大于 30% 的管道有 15 条, 占总数的 15.46%。对误差较大的数据进一步分析认为, 这些集油管道生产运行时间均较长, 管道内壁淤积物偏厚, 从而造成计算结果误差偏大。

3 结论

(1) 研究建立了 Beggs-Brill 水力修正计算模型, 并给出了适用于萨南油田聚驱采出液油气水三相混输管道的水力修正模型, 修正后模型的平均相对误差比修正前降低了 21.64%。

(2) 采用该区块 97 口不同含聚浓度油井的生产运行数据对所建立的 Beggs-Brill 水力修正模型的计算精度进行了验证, 结果表明, 井口回压计算值与实际值平均相对误差为 12.12%, 计算精度满足工程要求。

(3) 根据计算结果可知, 采用最优化技术对集输管道水力计算模型进行修正的方法是可行的, 该方法对于油井采出液物性变化不大的区块具有较强的推广应用价值。

参考文献

- [1] 刘扬, 刘晓燕, 韩国有. 油田特高含水期不加热集输技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 59-85.
- [2] 王玮, 宫敬, 刘鑫, 等. 油气水三相流体力学理论进展[J]. 油气储运, 2006, 25 (11): 1-7.
- [3] BEGGS D H, Brill J P. A study of two-phase flow in inclined pipes[J]. Journal of Petroleum Technology, 1973, 25 (5): 607-617.
- [4] BEATTIE D R H, Whalley P B. A simple two-phase frictional pressure drop calculation method[J]. International Journal of Multiphase Flow, 1982, 8 (1): 83-87.
- [5] ANDRITSOS N, Hanratty T J. Influence of interfacial waves in stratified gas - liquid flows[J]. AIChE Journal, 1987, 33 (3): 444-454.
- [6] TRALLERO J L, Sarica C, Brill J P. A study of oil-water flow patterns in horizontal pipes[J]. SPE Production & Facilities, 1997, 12 (3): 165-172.
- [7] 冯叔初, 郭揆常. 油气集输与矿场加工[M]. 2版. 北京: 中国石油大学出版社, 2006, 148-205.

作者简介

董喜贵: 教授级高级工程师, 工学博士, 主要从事油田地面工程技术管理与研究工作, 0459-5281509, dqytlsm@163.com, 黑龙江省大庆市红岗区图强村, 163414。

收稿日期 2015-08-2

(栏目编辑 纪常杰)