

稠油掺稀井系统效率评价方法研究及应用

夏新跃, 姜建华, 赵元, 蒋磊, 黄静珠
(中国石化西北油田分公司采油二厂, 新疆轮台 841604)

摘要:针对稠油掺稀井系统效率低问题,通过分析 2012 年石油行业标准《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》,发现不适应稠油掺稀井系统效率评价因素主要有两方面,一是没有考虑油套环空与油管内流体密度差,二是没有考虑流体黏度摩擦损失,低估了有效举升扬程,造成稠油掺稀井系统效率评价偏低。在原有计算方法基础上引入密度差及黏度摩擦 2 个参数,制订了适合稠油掺稀井系统效率评价方法。通过将 6 口稠油掺稀井分别采用《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》和稠油掺稀井系统效率评价方法进行分析,发现后者较前者系统效率平均提升 10.7%,提高了稠油掺稀井系统效率,指导油田节能降耗。

关键词:稠油;掺稀;系统效率;方法研究;塔河油田

中图分类号:TE345

文献标识码:A

System efficiency evaluation for heavy oil wells producing by mixing light oil

Xia Xinyue, Jiang Jianhua, Zhao Yuan, Jiang Lei, Huang Jingzhu

(No.2 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841604, China)

Abstract: The system efficiency of heavy oil wells producing by mixing light oil is still low at present. The petroleum industry standard SY/T5264-2012 "Energy consumption test and calculation of oilfield production system" was studied, indicating that there were two factors which did not adapt to the evaluation of system efficiency: a) Tubing-casing annulus and fluid density difference were ignored. b) Fluid viscosity friction loss was not taken into consideration, leading to underestimated effective head lift. Two parameters, density difference and viscosity friction, were introduced to the original calculation method. The petroleum industry standard SY/T5264-2012 and the improved system efficiency evaluation method were applied in six heavy oil wells producing by mixing light oil, successfully improving system efficiency by 10.7% in average, which saved energy and reduced consumption in oil fields.

Key words: heavy oil; light oil mixing; system efficiency; method research; Tahe oil field

塔河油田的储层为非均质性极强的奥陶系缝洞型碳酸盐岩,由于油稠采用套管掺入稀油的降黏方式进行开采^[1-4]。随着油藏能量下降,抽油机举升方式占比例逐年上升,目前井数占全厂比例达 75%,2015 年实测系统效率为 18.8%,与中石化平均系统效率 28.7%相差较大,因此,有必要分析现有 SY/T5264-2012《油田生产系统能耗测试和计算方法》适应性^[5],制订适合稠油掺稀井的系统效率评价方法,减少与中石化平均系统效率间差距,指导油田节能降耗。

1 现有标准不适应性分析

《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》在稠油掺稀井中应用时存在以下问题:

(1)未考虑油套环空与油管内液体密度不同对有效扬程的影响;(2)未考虑流体黏度对有效功率的影响,现进行具体分析。

1.1 掺入稀油密度的影响

在掺稀生产条件下,油套环空与油管内流体密度不一样,则有效扬程为:

$$H = L_r + \frac{10^6(p_i - p_c)}{\rho_L g} + \frac{(\rho_L - \rho_X)(L_p - L_r)}{\rho_L} \quad (1)$$

式中: ρ_X 为环空内稀油密度, kg/m^3 ; ρ_L 为油管内混合流体密度, kg/m^3 ; L_p 为泵挂深度, m; L_r 为动液面, m; p_i 为油压, MPa; p_c 为套压, MPa。

为简化分析,假定油套压相等,则有效扬程 H 为:

$$H = L_r + \frac{(\rho_L - \rho_X)(L_p - L_r)}{\rho_L} \quad (2)$$

(1)若环空内掺入稀油密度等于地层流体密度(油管内流体密度),则有效扬程等于动液面深度;(2)若环空内掺入稀油密度小于地层流体密度(油管内流体密度),则有效扬程大于动液面深度;(3)若环空内掺入稀油密度大于地层流体密度(油管内流体密度),则有效扬程小于动液面深度。

假定环空动液面深度不变;若环空流体密度减小,泵入口压力减小,泵举升压差增大即相当于有效扬程增大;若环空流体密度增大,泵入口压力增大,泵举升压差减小即相当于有效扬程减小。稠油掺稀井由于稀油密度普遍低于地层稠油密度,在动液面不变的条件间接增加有效扬程,因此,掺稀井有效扬程的计算不能采用《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》推荐的算法,而应采用《SY/T5264-2006 油田生产系统能耗测试和计算方法》^[6]推荐的算法。

1.2 流体黏度的影响

稀油井管柱摩阻小,泵出口压力与扬程关系近似为 $P_{\text{出}} = \rho_L g H$,但稠油井在泵挂深度相同的情况下,泵的出口压力与原油黏度大引起的附加摩阻有关,导致稠油井泵出口压力 $P_{\text{出}}$ 较稀油井增大。

抽油泵出口以上的沿程摩阻为:

$$P_f = \sum_{i=1}^n \frac{32\mu_{L_i} \nu_{L_i} L_i \times 10^{-6}}{D_i^2} \quad (3)$$

式中: L_i 为油管长度,可取 50 m; μ_{L_i} 、 ν_{L_i} 、 D_i 分别为第 i 段油管内的平均黏度(Pa·s)、流速(m/s)、当量直径(m); P_f 为泵抽流体在油管内的摩阻,MPa。

假定抽油泵排量 50 m³/d,油管直径 3.5",抽油杆直径 1",泵挂 1 000 m,按式(3)计算,若流体平均黏度为 1.0 Pa·s,则摩阻为 3.52 MPa,按水折算相当于 352 m 有效扬程;若流体平均黏度为 0.001 Pa·s(水),则摩阻为 0.003 5 MPa,按水折算相当于 0.35 m 有效扬程。由此可以看出,《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》中有效扬程的计算没有考虑管流摩阻,这种算法简便、对于稀油井是完全可行的,但对于稠油井,将导致抽油系统克服这部分摩阻所做的有效功率被“漏算”,造成举升扬程偏低,影响稠油掺稀井系统效率。

2 稠油掺稀井系统效率评价方法

基于现有标准不能适应稠油掺稀井的系统评价需求,制订了稠油掺稀井系统效率评价方法。

2.1 评价方法制定基本原则

目前,国内外只有非掺稀抽油机井(或机械采

油井)系统效率的测试评价标准,该方法是机械采油井系统效率测试及计算的行业标准,是评价系统效率的基础,为此,针对掺稀稠油井的特殊性,确定掺稀井系统效率评价方法制定基本原则:

(1)充分借鉴现有《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》标准方法;

(2)掺稀抽油机井系统效率测试与评价方法应与非掺稀抽油机井具有可对比性;

(3)相关参数应便于现场测试;

(4)应考虑稠油掺稀井与稀油井在有效扬程计算方法的差异,即不可忽略流体密度差及摩阻的影响;

(5)相关参数的推算应尽量简便计算以便于系统效率评价方法的推广应用。

2.2 评价指标及基本参数的计算

通过引入密度差及黏度摩阻 2 个参数,结合《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》,得到稠油掺稀井系统效率计算方法,由于其他计算方法与行标一致,本文仅推导有效功率计算方法。

抽油泵出口压力为:

$$P_{\text{pump2}} = p_t + \rho_L g L_p \times 10^{-6} + p_f \quad (4)$$

抽油泵吸入口压力为:

$$P_{\text{pump1}} = p_c + \rho_x g h_s \times 10^{-6} = p_c + \rho_x g (L_p - L_f) \times 10^{-6} \quad (5)$$

抽油泵出入口压差为:

$$P_{\text{pump2-1}} = (p_t - p_c) + (\rho_L - \rho_x) g L_p \times 10^{-6} + \rho_x g L_f \times 10^{-6} + p_f \quad (6)$$

抽油泵出入口压差折算扬程为:

$$H_e = \frac{\Delta P_{\text{pump2-1}} \times 10^6}{\rho_L g} = 10^6 \left(\frac{p_t - p_c}{\rho_L g} + \frac{\rho_L - \rho_x}{\rho_L} L_p + \frac{\rho_x}{\rho_L} L_f + \frac{p_f}{\rho_L g} \right) \times 10^6 \quad (7)$$

系统有效功率为:

$$P_{\text{有}} = \frac{Q \rho_L g H_e}{86\,400\,000} = \frac{Q (P_{\text{pump2}} - P_{\text{pump1}})}{86.4} = \frac{(Q_{\text{产}} + Q_{\text{稀}}) (P_{\text{pump2}} - P_{\text{pump1}})}{86.4} \quad (8)$$

式中: p_t 、 p_c 分别为井口油压、套压,MPa; ρ_x 、 ρ_0 、 ρ_w 、 ρ_L 分别为掺入稀油、地层原油、地层水、掺稀后混合液密度,kg/m³; L_p 、 L_f 分别为泵挂深度、动液面深

度, m ; P_{pump1} 、 P_{pump2} 、 $\Delta P_{pump2-1}$ 分别为泵吸入口压力、泵排出口压力、泵出入口压差, MPa; p_f 为稠油掺稀后混合流体在油管中的流动阻力, MPa; $Q_{产}$ 、 $Q_{稀}$ 、 Q 分别地层产量、掺稀量、总泵抽产量, m^3/d ;

3 应用实例

选取塔河稠油掺稀 10 口井开展系统效率测试, 分别采用《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》和稠油掺稀井系统效率评价方法进行评价。基于稠油掺稀井系统效率评价方法与黏度相关, 因此在测试时同步井口取样, 并测试不同温度下黏度, 其余参数方法与《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》一致。

室内测试黏度数据 10 口井, 其中 4 口井含水高无法获取黏温数据, 因此, 选取 6 口井进行对比分析(表 1)。

与《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》相比, 稠油掺稀井系统效率评价方法有效扬程平均增加 359 m, 最高达到 634 m(表 2)。

与《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》相比, 稠油掺稀井系统效率评价方法

有效功率增加 2.2 kW, 平均系统效率提升 10.7%

表 1 塔河稠油掺稀井系统效率测试井黏温实测结果

Table 1 Temperature and viscosity in system efficiency evaluation of heavy oil wells producing by mixing light oil, Tahe oil field

井号	各个温度对应的黏度/(Pa·s)			
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
TH12385H	2 240	1 210	682	470
TK675X	760	420	312	220
TH10239	4 100	1 630	924	604
TK654	5 880	1 560	806	520
TH12191	10 360	3 580	1 680	820
TK698	17 540	7 150	2 630	1 460
TH12159	含水 98.0%, 无黏温曲线数据			
TH12182	含水 97.7%, 无黏温曲线数据			
S85CX	含水 77.2%, 无黏温曲线数据			
TK692X	含水 92.9%, 无黏温曲线数据			

(表 3)。主要原因是密度差及摩阻增加了有效扬程, 进而提高稠油掺稀井系统效率。

4 结论

(1)《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》中有效功率的计算没有考虑泵出口

表 2 塔河稠油掺稀井有效扬程计算对比

Table 2 Comparison of effective head lift calculation of heavy oil wells producing by mixing light oil, Tahe oil field

井号	油压/ MPa	套压/ MPa	含水 率/%	有效扬程/m		差值/m
				常规算法 (SY/T5264-2012)	稠油掺稀井系统 效率评价方法	
TK654	1	0	15	227	519	292
TK698	2	0	0	1 589	2 223	634
TH12191	1	0	0	1 389	1 874	485
TH12385H	1	0	0	474	887	413
TK675X	1	0	0	1 925	1 980	55
TH10239	1	0	30	1 518	1 791	273
平均值	1	0	7	1 187	1 546	359

表 3 塔河稠油掺稀井系统效率计算对比

Table 3 Comparison of system efficiency calculation of heavy oil wells producing by mixing light oil, Tahe oil field

井号	常规算法(SY/T5264-2012)		稠油掺稀井系统效率评价方法		差值	
	有效功率/kW	系统效率/%	有效功率/kW	系统效率/%	有效功率/kW	系统效率/%
TK654	0.6	15.1	1.3	34.5	0.7	19.4
TK698	5.8	30.4	9.6	43.1	3.7	12.7
TH12191	7.2	23.1	9.9	31.8	2.7	8.7
TH12385H	5.3	16.7	10.1	32.0	4.8	15.2
TK675X	6.3	36.1	6.6	37.8	0.3	1.8
TH10239	5.3	31.5	6.3	37.9	1.1	6.4
平均值	5.1	25.5	7.3	36.2	2.2	10.7

表 1 新型烟道吹扫机现场应用数据

Table 1 Field application data of the new flue blowing device

型号	使用地点	刮刀/mm	刮前温度/℃	刮后温度/℃	保持时间/d	备注
200	九区净化外输液水套炉	25	40	70	30	以前每星期人工清理一次
600	TP13 外输液水套炉	42	50	75	90	人工清理困难

含蜡量较高。水套炉需要周期进行清理烟道,如不及时清理则造成外输压力升高,管线堵塞等现象,且水套炉使用为净化站伴生气,燃料气重组分较多,长时间使用容易造成烟道积碳增加,燃烧效率下降,平均一星期需要人工用长竹竿清理一次,耗时费力。采用新研制的烟道吹扫机,连接电缆,吹扫气管线,拆除井口燃烧器,打开防爆门,安装匹配的可弯曲刮刀头,对每一个烟道进行刮削,边刮削边吹扫,于燃烧器进口吹出大量的积碳,烟道管壁刮削干净,共计 1 小时后清扫完毕,安装燃烧器,恢复生产(表 1)。该水套炉在后续的一个月内能持续生产。

3.2 经济效益测算

塔河油田采油一厂每年清理水套炉烟道 100 次,清理效果成功率为 30%,该项发明可成功解决类似问题,按清理 1 次 500 元计算,则全年可节约费用为 $0.05 \times 70 = 3.5$ 万元。

水套炉清理完毕后加热效率可提高 20%,每次清理后即可节约燃气 20%,按照 200 型水套炉计算则每天可节约燃气 60 m^3 ,一台水套炉每年可节约费用 $60 \times 365 = 2.19$ 万元,则按照每年可吹扫 100 台水套炉计算,则每年可节约费用: $3.5 + 2.19 \times 70 =$

156.8 万元。

4 结论

(1) 该设备操作方便,该装置一人操作即可。

(2) 清理耗时短,通过对比,平均每次清理烟道与传统清理方式相比可以缩短 2 小时。

(3) 清理效果好,清理 1 次后,平均每台水套炉可提高加热效率 30% 以上。

(4) 清理后保持时间长,可减少清理次数,是传统清理方式的 3 倍以上。

(5) 该设备具有体积小、投资小、产生费用少、安全环保、清理效果好等优点,目前已广泛应用于采油一厂,可根据不同水套炉的运行状况,制定合理的清灰周期。

参考文献:

- [1] 窦之林.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发技术[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [2] 安慕华,朱新立,马华伟.提高水套炉热效率的方法[J].节能,2008(6):46-47.
- [3] 苏海鹏,刘鹏.水套炉受热面垢下腐蚀加速机理分析[J].石油化工设备,2012,41(1):73-76.

(编辑 徐文明)

(上接第 108 页)

以上油管内流体黏度及环空流体密度与油管内流体密度差异的影响,因此现有抽油机井系统效率测算方法不适用于稠油掺稀井。

(2) 由于掺入稀油密度低于地层流体密度,加之掺稀后油管内混合流体黏度仍较高、流动阻力较大,导致采用《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》计算的掺稀井有效功率、系统效率偏低。

(3) 充分借鉴现有《SY/T5264-2012 油田生产系统能耗测试和计算方法》标准方法,引入密度差及黏度摩阻 2 个参数,制订了适合稠油掺稀井系统效率评价方法。

(4) 通过对比分析实测井系统效率,稠油掺稀井系统效率评价方法有效功率增加 2.2 kW,平均

系统效率提升 10.7%。

参考文献:

- [1] 甘振维,邓洪军.塔河油田原油深抽工艺技术研究与应用[J].中外能源,2010,15(5):35-39.
- [2] 梅春明,李柏林.塔河油田掺稀降黏工艺[J].石油钻探技术,2009,37(1):73-76.
- [3] 邹国君.塔河油田超深超稠油藏采油新技术研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(4):130-134.
- [4] 刘文斌.塔河油田碳酸盐岩油藏稠油举升工艺技术[J].钻采工艺,2007,30(4):59-61.
- [5] 国家能源局.油田生产系统能耗测试和计算方法:SY/T5264-2012[S].北京:石油工业出版社,2013.
- [6] 国家发展和改革委员会.油田生产系统能耗测试和计算方法:SY/T5264-2006[S].北京:石油工业出版社,2007.

(编辑 黄娟)