

稠油功图计算动液面方法研究与应用

——以塔河油田为例

苏宏通, 温波, 杨世国, 郭媛, 苏伟

(中国石化西北油田分公司塔河采油二厂, 新疆轮台 841604)

摘要:塔河油田为碳酸盐岩超深、超稠油油藏, 因油稠配合掺稀生产, 具有油套环空环境复杂、井深等特点, 同时受测试人员素质、地面干扰等因素影响, 液面测出成功率低, 严重影响机采井管理。通过分析影响塔河油田液面测试成功率的主要因素, 基于液面测出率低的问题, 充分考虑碳酸盐岩油藏稠油机抽井的特点, 探索了功图载荷计算动液面方法, 解决了稠油区块机抽井液面失真难题, 可对稠油机采井的生产管理进行指导。

关键词:机抽井; 稠油区块; 功图载荷; 计算动液面; 塔河油田

中图分类号: TE345

文献标识码: A

Dynamic liquid level calculation using heavy oil work diagram: A case study in Tahe oil field

Su Hongtong, Wen Bo, Yang Shiguo, Guo Yuan, Su Wei

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

Abstract: The Tahe oil field is a carbonate ultra-deep and ultra-heavy oil reservoir featured by production based on dilution, complex oil-casing annulus environment and deep wells. Test personnel and ground interference also led to a low success probability of liquid level measurement and affected management of mechanical pumping wells heavily. This paper analyzed the main factors which influenced liquid level test in the Tahe oil field in view of the characteristics of mechanical pumping well in heavy oil reservoir. A new dynamic liquid level calculation method using work diagram load was applied to solve the difficulty of distortion of liquid level. The method can be adopted to conduct the production management of mechanical pumping wells in heavy oil reservoirs.

Key words: machine pumping wells; heavy oil reservoir; work diagram load; dynamic liquid level calculation

在油井开采过程中, 使油井产量达到最大化是最终目标, 而油井的供液能力是制约实现这一目标的根本因素。油井的液面是反映地层供液能力的一个重要指标, 是油井确定合理沉没度、工作制度优化及措施前选择泵型、泵挂的重要依据, 同时, 还可以推算出油层压力, 地产的有效渗透率等参数, 分析能量衰减异常原因, 对合理开发油田都具有重要意义^[1-5]。通过对塔河油田液面测试资料进行统计分析, 液面测不出率达到 25.5%, 稠油区块动液面测不出率更是达到 35.0%, 如: 实际测试资料显示油井液面测不出, 呈现供液不足, 但往往实际功图正常现象屡见不鲜。为了克服此类现象发生, 需要提高测试液面数据的真实性, 了解油井供液情况, 实现塔河油田机抽井设计优化; 并利用机抽井示功图载荷与液面的相关性, 探索根据功图载荷计算出一个合理的液面。

1 液面失真原因分析

1.1 液面测试原理

液面测试仪器(塔河油田使用的是北京四方第五代液面测试仪)通过采集由安装在井口的气枪发出并经过井管接头反射的节箍波信号和经过油层表面反射的液面波信号(图 1), 找出井口位置、动液面位置及基准节箍波, 用公式(1)来计算动液面深度(H)^[6]:

$$H = \frac{B-A}{D-C} \times LN \quad (1)$$

式中: L 为单节井管的长度; N 为介于 C 、 D 之间的参考节箍波的个数; A 、 B 、 C 、 D (见图 1) 分别代表井口位置、液面位置、参考节箍波起点和参考节箍波终点。

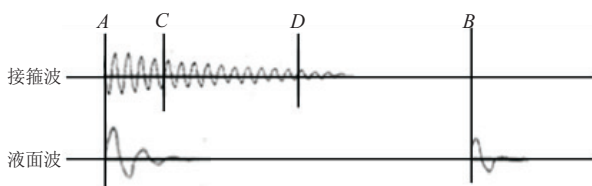


图 1 理论液面波反射特征示意

Fig.1 Characteristics of theoretical liquid surface wave reflection

1.2 液面失真原因分析

1.2.1 现场测试影响因素分析

液面测试受地面干扰、人员测试水平等因素影响较大,具体如下:(1)气瓶气压不足,气枪发出声波能量较弱,导致反射波较弱,影响液面波显示与读取;(2)测试停机时间过短,未给予油水过渡带、泡沫带充足的稳定时间,声波衰减较快,影响液面

波显示(图 2);(3)测试时选取频率及声波基值不合理,影响液面测试成功率(图 3);(4)井场存在振动发声体干扰,如柱塞泵、发电机等设备在井场运行,影响液面波的显示(图 4)。

1.2.2 声波衰减影响因素分析

液面测试主要是利用声波的反射原理来计算,声波在传播过程中会产生衰减,衰减的大小会影响液面波的显示。塔河油田声波在油套环形空间内的衰减特征如下。

(1)扩散衰减特征。①套管尺寸大。塔河油田多为 7 寸、7 寸 5、9 寸 5 套管配合 3 寸半油管,而内地多为 5 寸半套管配合 2 寸半油管,因此单位体积上形成的环形空间容积更大,测试时声波的扩散衰减更大(图 5)。②液面深。泵挂深度深(抽稠泵平均泵挂 2 400 m,电泵平均泵挂 3 000 m),泵的极

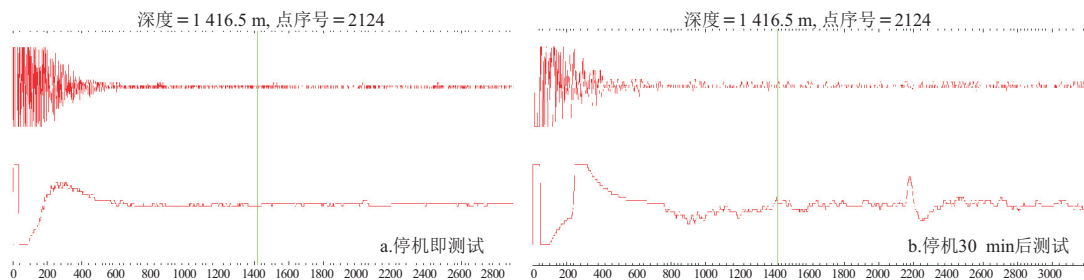


图 2 塔河油田 XX63 井停机时间不同测试液面情况

Fig.2 Fluid levels of different downtimes in well XX63, Tahe oil field

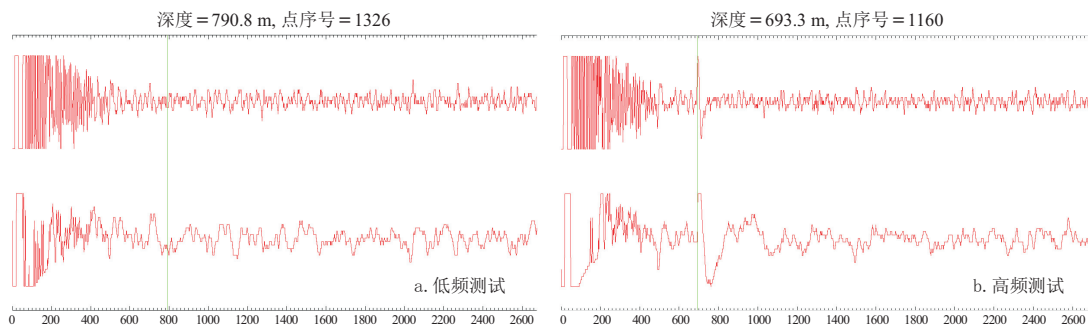


图 3 塔河油田 XX13 井不同频率测试液面情况

Fig.3 Fluid levels of different frequencies in well XX13, Tahe oil field

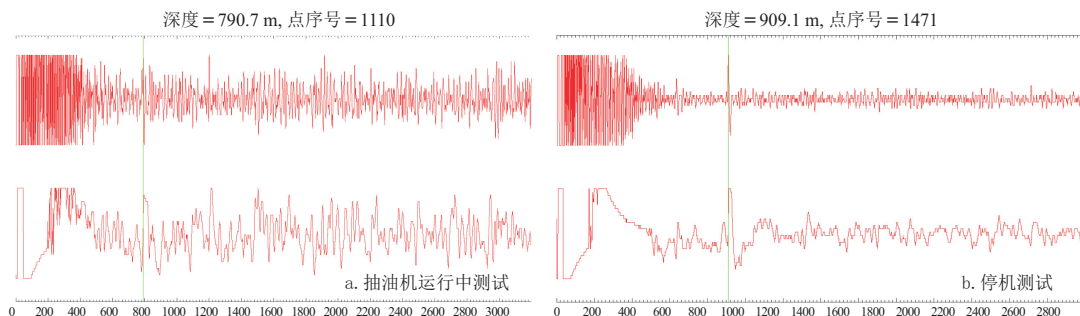


图 4 塔河油田 XX81 井不同测试条件下液面情况

Fig.4 Fluid levels of different test conditions in well XX81, Tahe oil field

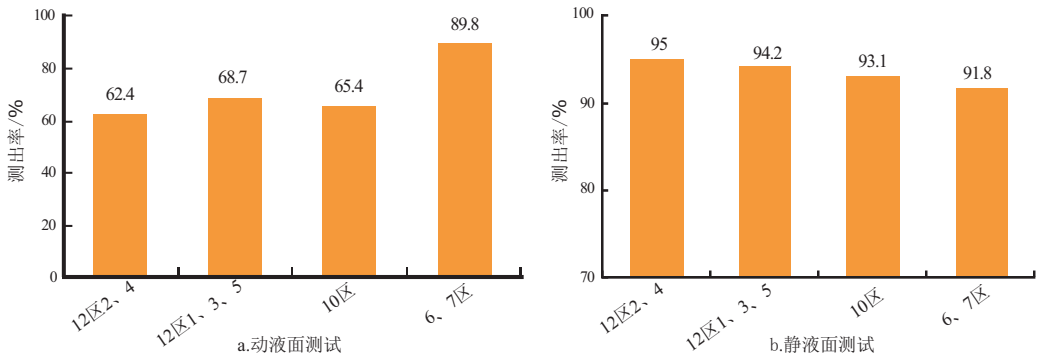


图 5 塔河油田不同区块动液面和静液面测试情况统计

6、7区是稀油,其他是稠油。

Fig.5 Dynamic and stable liquid levels of different blocks in Tahe oil field

限抽深较深,油井液面深,声波发射到接收的时间更长、传播的距离更远,而声波能量随着声源距离的平方而递减,因此,到达油层表面后再返回时能量已经非常微弱,难以反映液面情况。

(2) 吸收衰减特征。稠油区块配合掺稀生产,由于稀油的黏滞性,稀油吸附于油管、套管壁上,测试过程中声波在环形空间传播,管壁上稀油与声波造成质点之间的内摩擦,从而使一部分声能转变为热能。

(3) 散射衰减特征。稠油区块配合掺稀生产,并且油井气油比较高,当稀稠混配时易形成泡沫段,声波传导至泡沫段时导致散射衰减。

1.2.3 塔河油田液面测试现状

通过对 2010 年以来液面分类统计分析,稠油区块液面测试成功率明显低于稀油区块液面成功率,静液面测试成功率明显高于动液面测试成功率(图 5)。由此我们得出:稠油区块动液面测试声波的散射衰减、吸收衰减占主导;稀油区块动液面和静液面测试声波受扩散衰减影响,其中稀稠混配泡沫段对动液面测试成功率影响最大。

2 功图计算动液面的理论依据

稠油区块动液面测出率低,主要受掺稀生产形成泡沫段影响。对于这部分井声波测试仪是无能为力,而掺稀生产油井,泡沫段无法避免,正是基于这种现状,探索功图载荷计算动液面方法,解决稠油区块油机抽井液面失真难题。

通过对液压反馈抽稠泵示功图的分析,并结合实际生产经验,对于正常的功图,可以确定一个比较准确的上冲程最大载荷,再利用最大载荷与动液面相关,反推动液面。

塔河油田大部分为稠油井,且为配合掺稀生产,液压反馈稠油泵与常规泵、稀油井中受力存在不同:

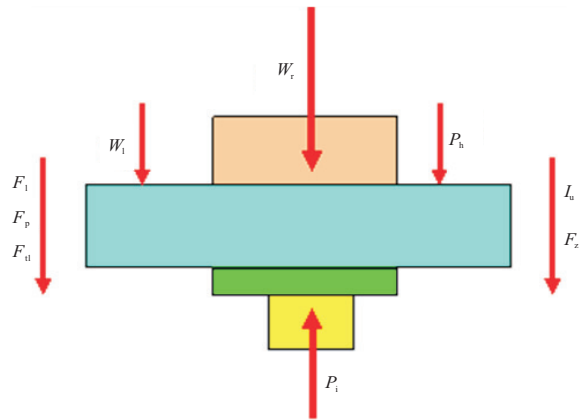


图 6 抽稠泵受力分析模型

Fig.6 Force model of viscous pump

工作环境井液黏度大,摩擦载荷大,不可忽略;故上冲程最大载荷包括:杆柱、液柱载荷、惯性载荷、沉没压力及摩擦载荷,具体载荷组成图 6 所示。上冲程最大载荷:

$$F_{\max} = W_r + W_1 + P_h + I_{ru} + I_{lu} + F_z + F_1 + F_o + F_u - P_i \quad (1)$$

2.1 杆柱静载荷组成分析

(1) 杆柱在液柱中的重力 W_r 。

$$W_r = [L_1(m_1 - \rho_h \pi R_1^2) + L_2(m_2 - \rho_h \pi R_2^2) + L_3(m_3 - \rho_h \pi R_3^2)]g \quad (2)$$

(2) 作用在柱塞上液柱载荷 W_1 。

$$W_1 = \pi D_1^2 [\rho_h g H_1 - \rho_s g (H_1 - H)] / 4 \quad (3)$$

(3) 井口回压产生的载荷 P_h 。

$$P_h = \pi D_1^2 P_1 / 4 \quad (4)$$

(4) 沉没压力产生的载荷 P_i 。

$$P_i = \pi D_1^2 P_2 / 4 \quad (5)$$

式中: L_1 、 L_2 、 L_3 分别为 1”、7/8”、3/4” 抽油杆的长

度; m_1 、 m_2 、 m_3 分别为 1”、7/8”、3/4” 抽油杆单位长度质量; R_1 、 R_2 、 R_3 分别为 1”、7/8”、3/4” 抽油杆杆外半径; D_1 为上柱塞直径; P_1 为油压; P_2 为套压; ρ_h 为混合液密度; ρ_x 为稀油密度; H_1 为泵下深; H 为液面深。

2.2 杆柱动载荷组成分析

(1) 杆柱最大惯性载荷 I_{ru} 。

$$I_{ru} = W_r/g \left[\frac{1}{2} n \pi L_p / (30z_1) \right]^2 p \quad (6)$$

(2) 液柱最大惯性载荷 I_{lu} 。

$$I_{lu} = W_l/g \left[\frac{1}{2} n \pi L_p / (30z_1) \right]^2 p \quad (7)$$

(3) 震动载荷 F_z 。

$$F_z = E \nu_{max} \pi R_2^2 / \nu \quad (8)$$

式中: R_2 为主动链轮的分度圆半径; I_p 为链条节数; z_1 为链轮齿数; p 为相邻链节之间的距离; n 为冲次; E 为杨氏模量; ν_{max} 为柱塞运行的最大速度; ν 为声音在抽油杆中的声速。

2.3 杆柱摩擦载荷组成分析

(1) 抽油杆柱与油管的摩擦力 F_1 。

$$F_1 = W_r \times 0.0075 \quad (9)$$

(2) 液柱与油管之间的摩擦载荷 F_{il} 。

$$F_{il} = \sum_{i=1}^n 2\pi\mu_L L \left[\frac{m^2 - 1}{(m^2 + 1)\ln m - (m^2 - 1)} \right] \times \frac{\pi S n}{60} / 1.3 \quad (10)$$

由于不同深度处的稠油黏度不同,需要结合井筒温度分布、原油黏温关系逐段计算后累计。

(3) 柱塞与泵筒之间的摩擦载荷 F_p 。

$$F_p = 0.94 \times \frac{D_1 + D_2}{d_e} - 140 \quad (11)$$

式中: μ_L 为井液动力黏度; L 为抽油杆长度; m 为油管内径与抽油杆直径之比; μ 为阀孔流量系数; S 、 n 为光杆冲程和冲次; d_e 为柱塞泵筒单边间隙; D_1 、 D_2 为上、下柱塞直径。

由式(1)、(2)……(11) 推导得动液面深度

$$H = \left(\frac{F_{max} - P_h + P_i - W_r - I_{ru} - F_z - F_1 - F_{il} - F_p}{\rho_x g H_1 - \rho_h g H_1} \right) / \rho_x g + \frac{\pi D_1^2 / 4}{\rho_x g} \quad (12)$$

3 实例计算与验证

本文应用上述功图载荷计算动液面方法,对塔河油田 13 口机抽井进行动液面计算,计算结果与实际测试结果相吻合,相对误差小于 6.6%(表 1),满足油井评价要求。因此可以通过本文方法获得稠油机抽井动液面深度并应用于生产管理中。

4 结论

动液面数据对于油井设计及抽稠泵工作状态分析十分重要,目前液面测试手段具有一定局限性,且对于稠油掺稀井动液面测试成功率较低,本文所介绍的功图来计算液面是对仪器测试的一种

表 1 计算动液面与实测液面对比

Table 1 Calculated and measured fluid levels

井号	井口参数		监测参数				功图载荷/kN	实测液面/m	计算动液面/m	误差/m
	油压/MPa	套压/MPa	混合液密度/(g·cm ⁻³)	混合液黏度/(mPa·s)	冲程/m	冲次/min ⁻¹				
XX41	0.95	0.0	0.923 0	4 400	3.4	3	114.0	437.0	471.2	34.2
XX46	0.64	1.3	0.942 6	400	5.5	3	89.3	0.0	-13.0	-13.0
XX01	0.63	2.5	0.935 1	1 000	3.4	3	100.2	1 017.0	1 009.4	-7.6
XX13	1.21	0.0	0.958 8	1 400	7.3	2.1	116.0	735.0	744.1	9.1
XX40	1.36	0.0	0.961 5	650	5.5	3	128.0	893.0	940.1	47.1
XX33	1.49	0.0	0.982 4	1 500	7.3	2.5	119.8	580.0	645.7	65.7
XX51	1.50	0.0	0.952 4	1 000	5.5	4	104.0	320.0	342.4	22.4
XX67	2.80	4.3	0.975 5	4 500	4.2	3	93.1	307.0	275.0	-32.0
XX17	1.80	0.0	0.952 6	860	8.0	2.9	98.5	60.0	83.7	23.7
XX112	1.14	0.0	0.919 4	2 000	4.8	3	108.5	271.0	319.1	48.1
XX21	0.63	0.0	0.957 6	2 500	4.2	3	117.7	847.7	886.5	38.8
XX99	1.59	0.0	0.964 2	4 200	7.3	2.5	126.9	197.0	229.5	32.5
XX14	1.82	0.0	0.956 9	4 500	3.4	3	124.8	724.0	678.0	-46.0

表 4 稠油有杆泵浅提泵挂生产对比

Table 4 Production comparison of lifting rod pump depth in heavy oil

泵型	井数/ 口	浅提泵挂前				浅提泵挂后				差值			
		泵深/m	最大 载荷/kN	交变 载荷/kN	断脱数/ 次	泵深/m	最大 载荷/kN	交变 载荷/kN	断脱数/ 次	泵深/m	最大 载荷/kN	交变 载荷/kN	断脱数/ 次
70/32	10	2 352	129	68	5	2 014	113	56	1	-338	-16	-12	-4
70/44	7	2 401	118	52	3	2 152	110	52	1	-249	-8	0	-2
56/38	3	2 702	112	43	2	2 352	106	40	1	-350	-6	-3	-1

泵深与掺稀点分离设计,有效改善稀稠油混配效果、改善杆柱受力状况,实现黏温拐点 4 000 m 稠油入泵。通过对采油二厂 20 口有杆泵井实施浅提泵挂设计,浅提泵挂 313 m,悬点最大载荷下降 12 kN,交变载荷下降 5 kN(表 4)。

4 结论与建议

(1)对 20 口井实施浅提泵挂,平均泵挂上提 313 m,悬点最大载荷下降 12 kN,交变载荷下降 5 kN,有效改善抽油机工况,后期继续进行浅提泵挂设计。

(2)通过提高各型号抽稠泵泵筒强度,全面推广应用泵下加深尾管设计,以提高稀稠油混配效果及改善杆柱受力状况,从而降低机采井异常故障,

提高检泵周期,最大限度节约成本,实现超稠油储量动用程度的目的。

参考文献:

- [1] 张琪,王杰祥,樊灵,等.采油工程原理与设计[M].东营:石油大学出版社,2000:155-201.
- [2] 甘振维,赵普春.塔河油田机抽井合理沉没度分析[J].中外能源,2008,13(1):40-44.
- [3] 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.
- [4] 林日亿,李兆敏,王景瑞,等.塔河油田超深井井筒掺稀降黏技术研究[J].石油学报,2006,27(3):115-119.
- [5] 杜林辉,梁志艳,蒋磊,等.稠油机采井泵深与掺稀混配点分离设计及应用[J].特种油气藏,2014,21(3):145-147.

(编辑 徐文明)

(上接第 95 页)

有效补充,通过功图载荷计算动液面方法,可以得到液面数据,了解油井实际生产情况。

(1)取全、取准井口相关参数,应用功图推算动液面,评价油井供液情况,是一种低成本、高效率并连续得到动液面的方法,计算精度基本满足油井评价要求。

(2)随着在线功图在塔河油田的应用与普及,功图载荷推算动液面技术在现场几乎不用增加任何费用,同时节约大量的人力、物力,达到降本增效的目的。

参考文献:

- [1] 石在红,魏兆胜.利用示功图计算抽油机井的产液量[J].大庆石油学院学报,1996,20(4):20-23.
- [2] 张海浪,李苹,谢启安,等.功图计算动液面的方法初步研究和应用[J].青海石油,2007,25(2):31-35.
- [3] 刘芳天.动液面录取辅助方法的研究与应用[J].科技与企业,2012(4):95.
- [4] 高银中.用示功图计算抽油机井井口产液量方法研究[D].北京:北京交通大学,2007.
- [5] 袁波,杜林辉,梁志艳,等.稠油掺稀液压反馈式抽稠泵杆柱设计优化[J].西南石油大学学报(自然科学版),2013,35(5):157-164.
- [6] 高国华,彭勇,余国安,等.有杆抽油井泵功图的定量分析方法[J].石油学报,1993,14(4):141-150.

(编辑 徐文明)