

# YD 油田 Sarvak 油藏水平井气举完井技术

郑明学<sup>1</sup>, 黄在福<sup>1</sup>, 罗冰<sup>1</sup>, 王学杰<sup>1</sup>, 刘欢乐<sup>2</sup>

(1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司,北京 100029; 2. 中国石化石油工程技术研究院,北京 100101)

**摘要:**为有效开发 YD 油田 Sarvak 油藏,在“一期工程”产能建设中,根据地层岩性、物性及流体性质,并结合气举开发特征,利用 PIPESIM 软件对气举生产要求的油管尺寸、气举气量、气举阀及生产管柱等进行了优化设计,设计出了与该油藏相匹配的气举、酸化和生产一体化完井生产管柱及配套的完井工具。根据“一期工程”现场实际完成井试油产量与预期产量的分析对比结果,从工程角度对目前 Sarvak 油藏水平段筛管完井管柱进行了进一步的优化,提出在割缝筛管内增加冲洗管,以便于循环驱替出筛管外环空中的残留完井液,为后续酸化作业提供良好的井筒条件。通过完井技术优化设计,为下一步高效开发 Sarvak 油藏提供了更为可行的技术支持。

**关键词:**水平井 气举 完井 优化设计 Sarvak 油藏 YD 油田

**中图分类号:**TE257    **文献标志码:**A    **文章编号:**1001-0890(2015)03-0041-04

## Gas-Lift Horizontal Well Completion Techniques for the Sarvak Reservoir of the YD Oilfield

Zheng Mingxue<sup>1</sup>, Huang Zaifu<sup>1</sup>, Luo Bing<sup>1</sup>, Wang Xuejie<sup>1</sup>, Liu Huanle<sup>2</sup>

(1. Sinopec International Petroleum Exploration & Production Corporation, Beijing, 100029, China;  
2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** In order to effectively develop the Sarvak reservoir of the YD Oilfield, PIPESIM software was used to optimize tubing size, gas volume, gas lift valve and the production string in the Phase I Production Capacity Building Plan. Analyses were made based on formation lithology, property and fluid properties, combined with the characteristics of the gas lift development. An integrated gas lift completion string comprising of gas lifting, acidizing and production and supporting completion tools were also developed. Based on the contrasting analysis of production in well tests and the expected values for those wells in Phase I, screen completion string in horizontal section in Sarvak reservoir was further optimized from an engineering aspect. Adding flushing pipe to the slotted screen was suggested, so that the residual completion fluid in outer circular of the screen could be effectively displaced, providing a clean wellbore for subsequent acidizing treatment. This optimized technique would provide a more reliable support for efficient development of the Sarvak reservoir in the near future.

**Key words:** horizontal well; gas lift; well completion; optimizing design; Sarvak reservoir; YD Oilfield

在 YD 油田“一期工程”中,Sarvak 油藏采用水平井开发方案。该方案中,Φ177.8 m 尾管坐封在入靶点处固井;水平段长 900.00 m,用 Φ114.3 mm 筛管完井。采用气举、酸化和生产一体化完井管柱,基本能够满足油井的酸化改造及生产需求<sup>[1-3]</sup>。但是,对于残留在水平段井筒中的完井液,特别是水平段环空中的残留完井液,无法彻底循环排出。为此,笔者针对 YD 油田“一期工程”中 Sarvak 油藏所用完井管柱存在的不足,对完井管柱进行了优化<sup>[4-6]</sup>,以期取得更好的生产效果。

## 1 Sarvak 油藏特征

Sarvak 油藏为浅海块状碳酸盐岩油藏,是断坡/低梯度大陆架环境沉积的厚壳蛤生物碎屑碳酸

收稿日期:2015-02-08;改回日期:2015-04-18。

作者简介:郑明学(1968—),男,陕西户县人,1991 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业,高级工程师,长期从事钻井完井现场施工与相关管理工作。

联系方式:+98 (21) 22225831, mxzheng@petroyada.com。

盐油藏。该油藏具有不均匀相,地层主要为原始指状交错厚壳蛤生物层中优质颗粒丰富的泥粒灰岩/粒状灰岩,以及泥质潟湖粒泥灰岩/泥岩。

Sarvak 油藏纵向上共分为 7 个小层系,即 Sarvak 1—Sarvak 7,其中 Sarvak 2—Sarvak 5 层为含油层系。该油藏为重质油油藏,具有原油黏度高、倾点低、含硫量高等特点。岩心和测井解释结果表明,地层有效孔隙度为 6.5%~19.0%,地层渗透率为 0.5~16.0 mD;含油饱和度为 50%~89%,原油密度为 0.93 kg/L,20 °C 时黏度为 163.26 mPa·s,地层水矿化度为 389.51 mg/L,原始地层压力为 33.1~42.6 MPa,地层饱和压力为 10.2~11.8 MPa,油藏温度为 95.5~96.1 °C。

## 2 气举完井设计

### 2.1 油管尺寸设计

依据开发方案,Sarvak 油藏生产井初期利用地层原始能量自喷生产,当地层能量衰减到不足以满足经济自喷生产后,采用连续气举的生产方式提高油井单井产量。

选择油管时,必须以油藏类型、油井产能、生产方式等为基础,最大限度地提高连续气举方案中人工举升油气开采的效果<sup>[7]</sup>。

选择油管时不仅要考虑经济性,而且要考虑能否获得合理的生产压差及油流流速。此外,选择合理的油管直径,还能提高油井产量,进而提高油田开发的经济效益<sup>[8~9]</sup>。

按照油井不同的生产工况(自喷、气举采油)及不同的生产阶段(不含水生产期与含水生产期),并考虑 2.07 MPa 井口回压及油藏压力的变化等因素进行油管的设计及评价。油管内径与单井产量之间的关系如图 1 所示。由图 1 可知,油管内径较小的时候,油井产量随着油管内径增大而

增大;当油管内径增大到 76.0 mm 时,油井产量即可满足 YD 油田 Sarvak 油藏的生产需求;随着油管内径的进一步增大,油井产量先小幅增大后逐渐减小。所以,对 Sarvak 油藏开发井而言,最优的油管内径为 76.0 mm。

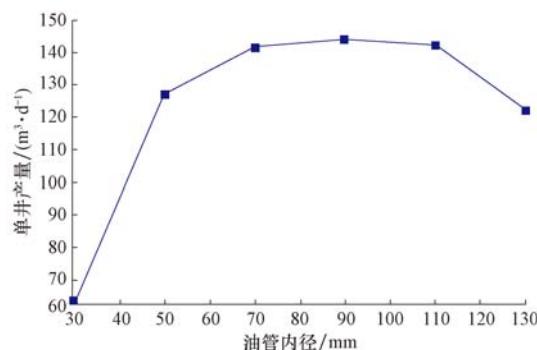


图 1 油管内径与单井产量之间的关系

Fig. 1 Tubing size vs. single-well production

### 2.2 井身结构设计

根据 Sarvak 油藏地层岩性、物性稳定的特点,结合油藏地质开发方案,该油藏采用水平井开发,且认为割缝/冲缝等缝隙类筛管完井工艺适用于非出砂的 Sarvak 油藏水平井完井。割缝筛管不但可以支撑井壁、防止地层坍塌,而且水平段无固井作业,储层不会受到水泥浆的损害;另外,割缝筛管裸眼完井成本相对较低。

YD 油田“一期工程”中,Sarvak 油藏的钻井完井方案为:用  $\phi 244.5$  mm 技术套管封隔 Pabdeh 层,然后用  $\phi 215.9$  mm 钻头钻下一开次,定向造斜,并钻完 900.00 m 水平段,钻达设计井深后完钻; $\phi 177.8$  mm 尾管下至入靶点顶部并固井;然后,将  $\phi 114.3$  mm 割缝筛管下入到水平段,实现完井。Sarvak 油藏典型的井身结构(采用筛管完井方式)如表 1 所示。

表 1 Sarvak 油藏典型井身结构(采用筛管完井)

Table 1 Casing program using slotted screen completion in the Sarvak reservoir

开次	钻头直径/mm	井深/m	套管类型	外径/mm	套管钢级	套管线重/(kg·m⁻¹)	套管下入井段/m
1	660.4	150.00	表层套管	508.0	K55	140.06	0~150.00
2	444.5	1 350.00	技术套管	339.7	L80-1	101.32	0~1 350.00
3	311.1	1 906.00	生产套管	244.5	L80-1	70.03	0~1 905.17
4	215.9	4 100.00	生产尾管	177.8	L80-1	43.21	1 803.00~3 038.00
			生产筛管	177.8	SM2535-110	43.21	3 038.00~3 195.00
				114.3	L80-1	17.28	3 129.00~4 094.00

## 2.3 气举气量的敏感性分析

气举气量是衡量气举效率的重要指标之一<sup>[10]</sup>。气举气量太小时,流压梯度会下降,气举效率不理想,不能满足气举的要求;气举气量太大时,摩擦阻力会加大,流压梯度不但不降低反而升高,这一现象称为“梯度反转”。

### 2.3.1 气举阀设计

Sarvak 油藏的主力开发层系为 Sarvak 2 和 Sarvak 4 层,因此针对这 2 个层系,分别研究、优化了气举阀的设计。

Sarvak 2 层气举生产井的基本参数:生产层中部深度 2 835.00 m,储层压力 33.09 MPa,采液指数  $13.84 \text{ m}^3/(\text{MPa} \cdot \text{d})$ ,气液比  $50.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,含水率 20%,气举压力 11.0 MPa,气举气量  $15000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,注入温度 45 °C,井口流压 2.07 MPa。

应用 PIPESIM 软件模拟,Sarvak 2 层设计为 5 级气举阀,最下一级气举阀下深为 2 165.50 m,气举生产单井产量为  $166.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。Sarvak 2 层气举阀设计结果如表 2 所示。

表 2 Sarvak 2 层气举阀设计结果

Table 2 Results of gas-lift valve design for Sarvak 2 formation

级数	下深/m	型号	阀座孔径/mm	$p_{tro}/\text{MPa}$	开启压 力/MPa	关闭压 力/MPa	气举液量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
1	801.72	R-1	3.2	9.9	10.9	10.7	144.2
2	1 387.20	R-1	3.2	9.7	10.7	10.5	155.5
3	1 776.60	R-1	4.0	9.9	10.6	10.4	162.5
4	2 023.40	R-1	4.8	10.2	10.5	10.3	165.5
5	2 165.50	R-1	4.8	10.1	10.3	10.2	166.8

注:  $p_{tro}$  为试验台架上的开启压力。

Sarvak 4 层气举生产井的基本参数:生产层中部深度 2 936.00 m,储层压力 33.09 MPa,储层温度 95.5 °C,采液指数  $26.53 \text{ m}^3/(\text{MPa} \cdot \text{d})$ ,气液比  $50.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,含水率 20%,气举压力 12.0 MPa,气举气量  $20000 \text{ m}^3/\text{d}$ ,注入温度 45 °C,井口流压 2.09 MPa。

应用 PIPESIM 软件模拟,Sarvak 4 层设计为 4 级气举阀,最下一级气举阀下深为 2 166.8 m,气举生产单井产量为  $270.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。Sarvak 4 层气举阀设计结果如表 3 所示。

### 2.3.2 生产管柱设计

由于 Sarvak 油藏流体中含有硫化氢、二氧化碳

表 3 Sarvak 4 层气举阀设计结果

Table 3 Results of gas-lift valve design for Sarvak 4 formation

级数	下深/m	类型	阀座孔径/mm	$p_{tro}/\text{MPa}$	开启压 力/MPa	关闭压 力/MPa	气举液量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$
1	915.71	R-1	3.2	10.7	12.0	11.7	228.8
2	1 558.10	R-1	4.0	10.9	11.9	11.6	256.5
3	1 950.10	R-1	4.8	11.3	11.7	11.5	267.6
4	2 166.80	R-1	6.4	12.2	11.6	11.4	270.8

等腐蚀性气体,同时原油中含有沥青质,从地层中产出的原油进入井筒并向上运移时,随着温度降低,沥青质逐渐析出并堵塞油管通道,轻则增大清理维护工作量,重则导致油井停产。

为了使含腐蚀性、沥青质流体的油气井能够长期、安全地生产,必须考虑采用防腐完井井下工具及耐腐蚀油管。所以,对于 Sarvak 油藏的生产井,气举生产管柱比较复杂,生产管柱上的完井工具比较多,其主要井下完井工具包括:

1) 井下安全阀。紧急情况下关井,实现井控目的;停产时关井,保护井口安全;关闭井下安全阀,可对井口装置维护保养、更换配件。

2) 气举阀总成。包括气举工作筒和气举阀,其主要作用是向油管内连续注入气举气,降低油管内的静液柱压力,降低生产压差,促使地层流体流入井筒,提高油井产量。

3) 循环滑套。连接在生产封隔器之上,打开滑套可以建立循环,实现替浆、压井等作业。完井过程中滑套的主要作用是,将生产封隔器坐封在  $\phi 177.8 \text{ mm}$  CRA 尾管上,封隔封隔器上、下环空。打开滑套建立循环,用抑制性防腐液将油套环空中的完井液替出井筒,封隔器以上的油套环空内充满抑制性防腐液,不仅有利于保护生产套管,而且对油管外壁也能起到保护作用。

4) 化学剂注入阀。完井管柱中增加了 2 套化学剂注入阀,分别通过独立的注入管线连接至地面。其中一套注入  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  防腐剂,另一套注入防止沥青质析出的溶解剂。

5) 伸缩短节。其主要作用是在油井生产过程中补偿因热胀冷缩或其他原因造成的油管柱纵向蠕动,防止生产封隔器意外解封。

6) 生产封隔器。Sarvak 油藏的生产井使用的是可回收式生产封隔器,坐封在  $\phi 177.8 \text{ mm}$  CRA 尾管上,把油套环空上下分开,阻止地层腐蚀性流体进入油套环空,对油管、套管起到保护作用。另外,气举生产时,隔挡环空注气压力从油套环空向下传

递,防止注气压力对产层产生影响。

Sarvak 油藏典型的生产完井管柱组合(从下至上)为:油管引鞋+No-Go 坐落接头+生产悬挂封隔器+伸缩短节+循环滑套+化学剂注入阀+4~5 级气举阀总成+流动接箍+井下安全阀+流动接箍+油管悬挂器。

### 3 完井方案优化及二期生产预测

在 YD 油田“一期工程”现场实施上述完井方案时发现,该方案存在以下不足:1)下入  $\phi 114.3$  mm 割缝筛管时,一旦遇阻,无法开泵向下冲洗(因为短路循环);2)  $\phi 114.3$  mm 筛管下到位后,无法从井底建立循环,驱替筛管外环空中的残留完井液;3)长水平段酸化施工中,无法实现均匀酸化。

针对上述不足,提出  $\phi 114.3$  mm 筛管中加中心冲洗管的优化方案,其优点如下:

1) 下入  $\phi 114.3$  mm 割缝筛管时,一旦遇阻,可随时开泵顶通,循环下冲。

2)  $\phi 114.3$  mm 筛管下到位后,可以通过中心管从井底建立循环,有效驱替筛管外环空中的残留完井液。

3) 借助中心管布酸酸化,彻底克服了“平推”酸化工艺无法解决的均匀酸化问题。前期酸化工艺是用连续油管在筛管内布酸,然后将连续油管起出,再泵酸平推。该施工工艺中,挤酸时酸液是从入靶点向下运移的,如果入靶点附近地层吸收能力强,下部大段水平井段将无法有效酸化。借助中心管酸化,酸液是从井底沿着筛管外环空向上流动,而且中心管内径大,挤酸排量高,可以实现水平段全井段的均匀、有效酸化。

典型带中心管的筛管下部完井管柱组合(从下至上)为:洗井阀+割缝筛管(内带中心冲洗管)+封隔器式悬挂器(与筛管及中线管连接)+送入管柱。

根据 Sarvak 油藏之前完井常遇到的问题和施工经验,该油藏在“二期工程”水平井采用上述优化方案,能够有效提高开发效益。

### 4 结论与建议

1) 采用割缝筛管完井可以支撑井壁、防止因酸化改造导致的地层坍塌,是开发 Sarvak 油藏经济、有效的完井方式。

2) 气举生产不仅符合 Sarvak 油藏的开发要

求,而且设计的气举完井管柱中包含化学剂注入阀,通过注入化学剂进行防腐并抑制沥青质析出,能保证油井长期稳定生产。

3) 伊朗 YD 油田“二期工程”Sarvak 油藏水平井采用带冲洗管的完井优化方案,可有效解决筛管外环空残留完井液无法驱替出的问题,为后期酸化作业创造了有利的条件,能够提高 Sarvak 油藏的整体开发效益。

### 参 考 文 献

#### References

- [1] American Petroleum Institute Exploration & Production Department. API gas lift manual[M]. 3rd ed. Tulsa: PennWell, 1994:79-102.
- [2] Timmerman E H. Petroleum engineering[M]. New York: Academic Press, 1971:77-78.
- [3] Gilbertson E. Gas lift valve failure mode analysis and the design of a thermally-actuated positive-locking safety valve[J]. Massachusetts Institute of Technology, 2010, 21(4):17-35.
- [4] 布朗 K E. 升举法采油工艺[M]. 4 版. 北京:石油工业出版社, 1990:28-46.
- [5] Brown K E. Lifting production technique[M]. 4th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990:28-46.
- [6] 张钧. 海上油气田完井手册[M]. 北京:石油工业出版社, 1998: 173-259.
- [7] Zhang Jun. Well completion manual for offshore oil and gas field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998:173-259.
- [8] 万仁溥. 现代完井工程[M]. 3 版. 北京:石油工业出版社, 2011:494-530.
- [9] Wan Renpu. Advanced well completion engineering[M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011:494-530.
- [10] 何汉平, 吴俊霞, 黄健林, 等. 伊朗雅达油田完井工艺[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(4):26-30.
- [11] He Hanping, Wu Junxia, Huang Jianlin, et al. Well completion technique in Yada Field in Iran[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(4):26-30.
- [12] 古小红, 母建民, 石俊生, 等. 普光高含硫气井环空带压风险诊断与治理[J]. 断块油气田, 2013, 20(5):663-666.
- [13] Gu Xiaohong, Mu Jianmin, Shi Junsheng, et al. Diagnosing and managing on risk of annular casing pressure in high-sulfur gas well of Puguang Gas Field[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(5):663-666.
- [14] 张承武, 贾海, 乔雨, 等. WELLCAT 软件的三超气井完井设计优化[J]. 钻采工艺, 2013, 36(6):63-66.
- [15] Zhang Chengwu, Jia Hai, Qiao Yu, et al. Completion design optimization of ultra-temperature ultra-pressure and ultra-deep gas well based on WELLCAT software[J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(6):63-66.
- [16] 吕芳蕾, 伊伟锴, 衣晓光, 等. 高温高压封隔器性能试验装置研制与应用[J]. 石油矿场机械, 2014, 43(7):77-80.
- [17] Lv Fanglei, Yi Weikai, Yi Xiaoguang, et al. Development and application of high temperature and high pressure packer performance test device[J]. Oil Field Equipment, 2014, 43(7):77-80.

[编辑 令文学]