

# 螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的适应性分析

高 辉

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:gaohui.133@163.com

项目支持:大庆油田有限责任公司试油试采分公司科技研发项目"水力泵排液求产配套技术研究及现场应用"(QR/AO/4-2-08-2016002)

引用:高辉. 螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的适应性分析[J]. 油气井测试, 2018,27(3):22-27.

Cite: GAO Hui. Adaptability analysis of screw pump and hydraulic pump during the production of horizontal wells [J]. Well Testing, 2018,27(3): 22-27.

**摘要** 针对大庆油田致密油压裂水平井压后试油排液求产中排液参数变化的问题,通过研究螺杆泵与水力泵的工作原理以及特点,对 PP3 井和 QP5 井两口水平井先采用螺杆泵、后采用水力泵的实际排液求产数据进行分析,从排液能力、工作制度调整、井底流压及产能求取的准确性等方面对两者的优缺点进行应用对比,提出螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的选择原则。分析表明,螺杆泵在泵效 60% 以上时,可实现安全稳定求产;而水力泵更适用于压后水平井试油排液求产,尤其是日产液小于 100 m<sup>3</sup> 的低产井。该分析为致密油压裂水平井压后试油排液求产优选排液工艺提供了参考依据。

**关键词** 水平井;试油;排液;螺杆泵;水力泵;适应性

中图分类号:TE353 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.03.004

## Adaptability analysis of screw pump and hydraulic pump during the production of horizontal wells

GAO Hui

Well Testing Company of PetroChina Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, Heilongjiang 163412, China

**Abstract:** In order to solve the problem of the variance of discharge parameters in the production of tight oil horizontal well after fracturing in Daqing oil field, the working principle and characteristics of the screw pump and the hydraulic pump are studied in detail in this paper. Two horizontal wells, well PP3 and QP5 screw pump and the hydraulic pump, are taken as an example to analyze the actual production data of liquid discharge. During the production process, the two wells use the screw pump first and then the hydraulic pump. In order to compare the advantages and disadvantages of the two types of pumps, this paper starts with the aspects of discharge capacity, work system adjustment, bottom-hole flow pressure and the accuracy of production capacity, and puts forward the selection principle of screw pump and hydraulic pump in the production of horizontal wells. The analysis results show that when the pump efficiency is more than 60%, the screw pump can achieve safe and stable production; however, the hydraulic pump is more suitable for production after fracturing, especially for low production wells with daily production less than 100 m<sup>3</sup>. This analysis provided a reference for the selection fluid discharge process of tight oil horizontal well production after fracturing.

**Keywords:** horizontal well; testing; discharge; screw pump; hydraulic pump; adaptability

自 20 世纪八十年代初期的第一批螺杆泵采油方式在油田开发中取得了良好效果,美国、法国和德国等相继开始了该领域的研究开发,螺杆泵的排量和扬程进一步提高,并在这一时期得到了广泛发展和应用。我国自九十年代中期开始螺杆泵采油系统的研发工作,虽然起步较晚,但是经过多年的持续攻关已经形成了具有一定特色的螺杆泵系列产品,在国内各大油田应用后均取得了较好的反

响,仅大庆油田螺杆泵采油井就已突破 1 500 口。

国内外专家对螺杆泵在一些油田的应用情况进行了阐述<sup>[1]</sup>,并列举了相应实例。师国臣等介绍了 1998 年以前大庆油田应用螺杆系列采油技术及配套工艺技术、螺杆泵的开发与检测等方面所取得的科研成果和成功经验<sup>[2]</sup>。黄有泉等报道了 2003 年 6 月底以前大庆油田在用螺杆泵采油井共 916 口,螺杆泵采油技术已基本成熟配套,提出了螺杆

泵亟需攻关的方向<sup>[3]</sup>。随着大庆油田聚合物驱和复合驱的开展,王国庆等报道了大庆油田在聚合物驱采油井开展的大排量螺杆泵采油系统推广应用试验<sup>[4]</sup>。梁亚宁等将螺杆泵井综合防垢举升工艺技术应用到大庆油田三元复合驱采油井中,截止到 2010 年底累计应用 425 井次<sup>[5]</sup>。但是,螺杆泵多用于常规直井。水力泵由于无活动部件,适用于大斜度井及水平井,根据井内流体所需,可在动力液中加入添加剂,对地层含砂不敏感,在国内外采油中有一定范围的使用。大庆油田自 2004 年引进水力泵以来,累计使用 450 余口井。陈悦祥针对大庆油田水平井大规模压裂后低回压求产的需要,开发出适用于水平井大规模压后返排的水力泵排液工艺<sup>[6]</sup>。董万百等首次成功将水力泵举升工艺用在大庆油田齐平 1 井,取得了良好的试油效果,在特低渗区块资料求取方面取得重大突破<sup>[7]</sup>。金镇龙等在海拉尔油区稠油井上成功实施了动态负压射孔+跨隔 MFE 测试+短型滑套式水力喷射泵快速排液求产三联作测试工艺<sup>[8]</sup>,邱金平也报道了水力泵在该地区的应用<sup>[9]</sup>。帅培勤等和代晓东等报道了水力泵排液工艺在蒙古塔木察格油区的应用<sup>[10-11]</sup>。

近年来,随着致密油勘探开发的不断深入,大规模压裂水平井逐年增多,水平井压后排液初期产液量大、后期需达到低流压求产目的,这就要求泵排量大、参数调整灵活,大庆油田尝试把螺杆泵与水力泵排液工艺应用在水平井压后试油排液求产中,取得了较好的效果<sup>[12-13]</sup>。本文结合 PP3 井、QP5 井先采用螺杆泵、后采用水力泵排液求产情况,通过对两者的排液能力、工作制度调整、井底流压高低、产能求取等能够直接影响泵排效果的因素进行对比,为低渗透储层水平井试油排液工艺的选取工作提供了依据。

## 1 螺杆泵与水力泵工作原理

主要介绍螺杆泵与水力泵的工作原理,以及工作特性曲线<sup>[14]</sup>。

### 1.1 螺杆泵工作原理

螺杆泵主要靠地面电机驱动来提供动力,由定子和转子两个部分组成<sup>[15]</sup>,如图 1 所示。电机位于地面,连接抽油杆,接通电源后,电机带动抽油杆中的转子(图 1),转子转动过程使得其和定子衬套内表面之间形成密闭空间,向排出端推移时形成压差,这样井内液体就会在形成压差时被吸入,从吸

入端推挤到排出端。而且这个过程是连续不断的,随着压力的不断升高,地层产出液被均匀举升到地面。

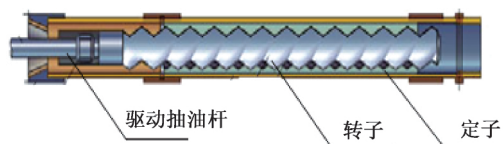


图 1 螺杆泵工作原理示意图

Fig.1 Working principle of screw pump

螺杆泵的工作特性曲线是指在不同的工作状态下,有不同的工作参数,其中泵的容积效率、系统效率及扭矩与举升高度之间的关系就是其工作特性曲线<sup>[16]</sup>。该曲线反映了泵的工作特性,工作特性曲线如图 2 所示。图 2 中的①是排量或容积效率与压力关系曲线;②是扭矩与压力关系曲线;③是泵的效率与压力关系曲线。通过图 2 可以看出,泵效在 60% 以上处于稳定区。因此在实际施工过程中,通过调整螺杆泵转速,确保泵效在 60% 以上,可实现螺杆泵安全稳定求产。

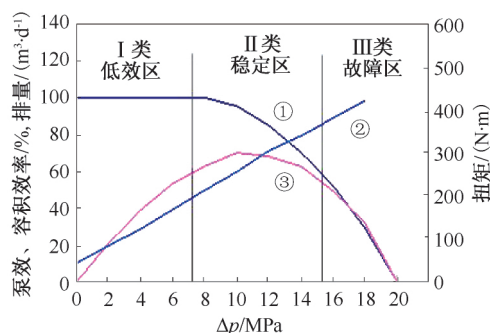


图 2 螺杆泵工作特性曲线图

Fig.2 Operating characteristic curve of screw pump

### 1.2 水力泵工作原理

水力泵工作原理如图 3 所示。从图 3 可以看出,地面柱塞泵中注入流体,通过动力作用开始使液体循环流动,从而通过水力泵进行能量转化,油藏流体能量由注入井内的高压动力液提供,通过施加压力,动力液流经喷嘴处产生高速的喷射速度,由空气动力学原理,喷嘴周边附近产生低压区域,由于压力差的原因地层中的流体进入喉管中,喉管起到传递能量的作用,地层流体具有的高能量由喉管经动力液传输,地层流体和动力液在压力作用下混合,然后进入扩散管中。经过扩散管,流速降低,利用剩余的动能推动混合液通过油套环空被举升到地面<sup>[17-19]</sup>,再经过地面流程进行油气水分离、计量。

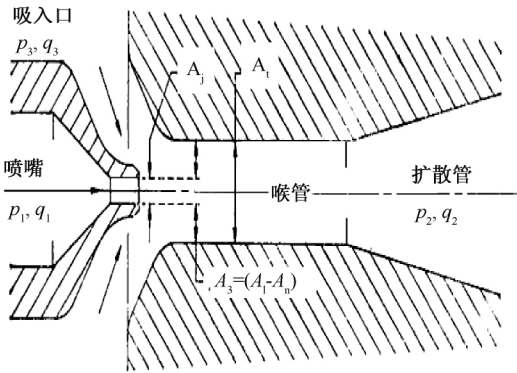


图 3 水力泵工作原理示意图

Fig.3 Working principle of hydraulic pump

水力泵工作特性曲线反映了水力泵喷喉面积比  $R$  取不同值时,流量比  $M$  和压力比  $H$  的对应关系以及不同泵效与  $M$  的对应关系(图 4)。

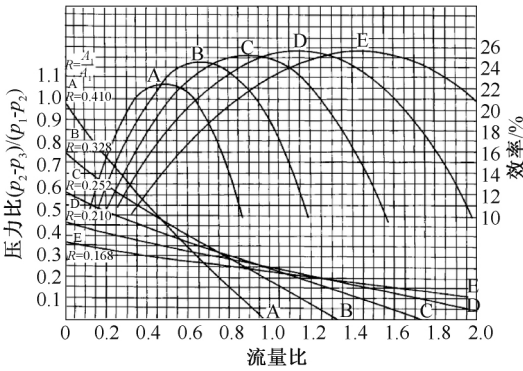


图 4 水力泵工作特性曲线图

Fig.4 Operating characteristic curve of hydraulic pump

根据图 4 的水力泵工作特性曲线可以确定水力泵选泵原则:(1)喷喉面积比  $R$  值选择要合适,对于

射流泵,常用的面积比  $R$  值在 0.235~0.400 之间。对于深井或因井底压力低而需要举升扬程高的井,一般选用  $R$  值大于 0.400 的泵;当井较浅或因井底压力低而需要大排量举升的井,一般选择  $R$  值小于 0.235 的泵。(2)为了防止发生气蚀现象( $M < M_c$ ),选泵时要格外注意。(3)选泵时力求获得最大效率。

1.3 螺杆泵与水力泵在试油中的适应性

对探井而言,由于配套不是很完善,对井下流体性质及储层产能情况都不是十分清楚,在实施增产措施后,产量波动较大的情况普遍存在。因此,对试油排液工艺的适应性有一定要求,螺杆泵与水力泵在试油井的适应性<sup>[20]</sup>见表 1。从表 1 可以看出,螺杆泵除了泵效和出砂井方面的优越性以外,在泵深、井斜和适应性方面均不如水力射流泵。

2 现场应用对比

以 PP3 井和 QP5 井两口体积压裂水平井为例,分析螺杆泵和水力泵的适用性。

2.1 PP3 井和 QP5 井基本情况

PP3 井、QP5 井均采用体积压裂改造,压裂后放喷结束后,先采用螺杆泵排液,后采用水力泵排液。两口井的基础数据见表 2。从表 2 可以看出,由于螺杆泵采用抽油杆传动,抽油杆偏磨程度随泵挂斜度增加而加大,因此泵挂位置基本在直井段;水力泵由于没有运动件,可以将泵挂在大斜度段。两者相比,水力泵在水平井试油排液求产中泵挂深度、斜度方面优于螺杆泵。

表 1 螺杆泵与水力泵适应性

Table 1 Adaptability of screw pump and hydraulic pump

类型	资本投资	井下设备	可靠性	出砂处理
螺杆泵	投资低,其投资随井深和流量的增大而增加	运动部件少,流道短而且简单,但对定子橡胶材料耐磨、耐高温性能要求高	可靠性较好。不在正常产量范围内生产或操作技能不足,可靠性会有所降低	非常好,可输送含砂量达 80% 的砂浆,在原油含砂量达 40% 的情况下也可正常生产
水力泵	投资低,当需要额外增加地面柱塞泵压力时,投资较高	没有运动部件,需要对喷嘴、喉管的选择进行优化设计	可靠性较好。当压力大于 28 MPa 后,地面设备故障增多	较好,可以在含砂 3% 的情况下运行,但动力液含砂不能超过 200 ppm

类型	效率	流体黏度	温度适应性	流量适应性
螺杆泵	效率高,一般能达到 80%~90%	对于高黏度流体比较适合	一般。定子受温度影响大,一般使用低于 120℃	较好。能适应 240~16 m <sup>3</sup> /d 的井,但供液不足会烧泵
水力泵	压能转换为动能损失大,泵效一般为 20%~28%,最大可达到 35%	对于高黏度流体适应性好,可以加入降黏剂改善液体流动性能	非常好。采用专用材质,可以用于 260℃	非常好。能适应 300 m <sup>3</sup> /d 以下的任何流量

类型	参数调整	最大泵深/m	泵深/m	井斜/(°)
螺杆泵	灵活	1 800	<1 500	<30
水力泵	灵活	4 500	<3 000	<75



表 2 PP3 井、QP5 井基础数据

Table 2 Basic data of Wells PP3 and QP5

井号	加液量 /m <sup>3</sup>	储层 垂深 /m	造斜点 /m	螺杆泵泵挂 深度/斜度 /m/(°)	水力泵泵挂 深度/垂深/斜度 /m/(°)
PP3	9 321	1 693	1 270	1 247.96/1.0	1 510.9/1 501.6/35.42
QP5	30 342	2 192	1 799	1 803.9/5.19	2 020.26/2 014/30.5

表 3 PP3、QP5 井螺杆泵与水力泵技术参数

Table 3 Technical parameters of screw pump and hydraulic pump in Well PP3 and QP5

种类	型号	最小排量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	最大排量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	最小转速/(r·min <sup>-1</sup> )	最大转速/(r·min <sup>-1</sup> )	喷嘴/mm	喉管/mm
螺杆泵	PCM400TP-1800	40	200.0	50	250	/	/
水力泵	SHB-60	0	188.5	/	/	φ3.0~3.6	φ5.2~6.0

2.3 PP3 井螺杆泵与水力泵求产管柱

两种泵的求产管柱如图 5 和图 6 所示。从图 5、图 6 可以看出,螺杆泵排液工艺油套环空是连通的,在排液过程可通过实时监测动液面了解井底流压情况。

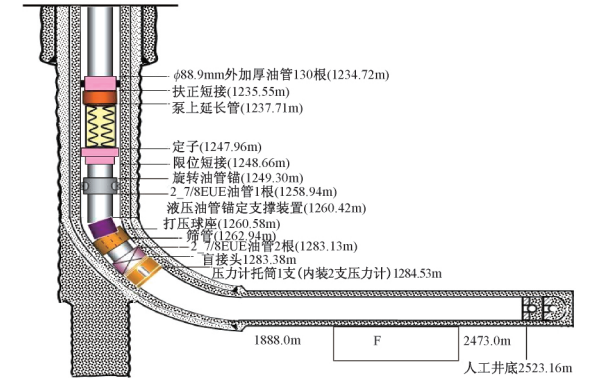


图 5 PP3 井螺杆泵求产管柱图

Fig.5 Production string diagram of screw pump for well PP3

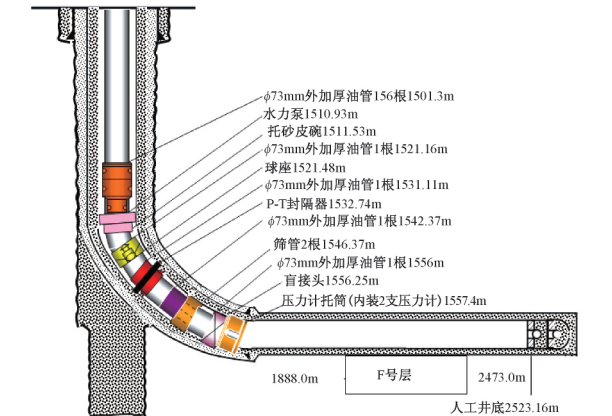


图 6 PP3 井水力泵求产管柱图

Fig.6 Production string diagram of hydraulic pump p for Well PP3

水力泵尽管不能实时监测井底流压,但在不动

2.2 PP3、QP5 井螺杆泵与水力泵技术参数

表 3 为 PP3 井、QP5 井螺杆泵、水力泵排液求产的技术参数。

从表 3 可以看出,螺杆泵与水力泵均可通过调整地面电机转速或地面泵压实现排量控制,方便获取不同地层产能。但螺杆泵有最小排量限制,而水力泵不论地层产液高低,不存在“烧泵”风险。

管柱的前提下可以通过反洗泵芯回放压力计,获取井底流压,更加准确。

2.4 PP3 井和 QP5 井试油求产分析

PP3 井的排液求产曲线如图 7 所示。从图 7 可以看出,2014 年 4 月 3~10 日先采用螺杆泵排液求产 6 d,转速 110~65 r/min,日产液 100~45 m<sup>3</sup>,稳定日产油 4.4 m<sup>3</sup>,流压 6.53 MPa。随着产液量降低逐渐降低转速,避免烧泵。4 月 13~23 日换用水力泵排液求产 10 d,泵压 12~22 MPa,日产液 90~50 m<sup>3</sup>,稳定日产油 9.22 m<sup>3</sup>,流压 3.3 MPa。随着地面泵压逐步提高,流压逐渐降低,日产油量逐渐增加,水力泵求产流压比螺杆泵低了一倍,日产油量增加了一倍,水力泵求产取得了较好的效果。

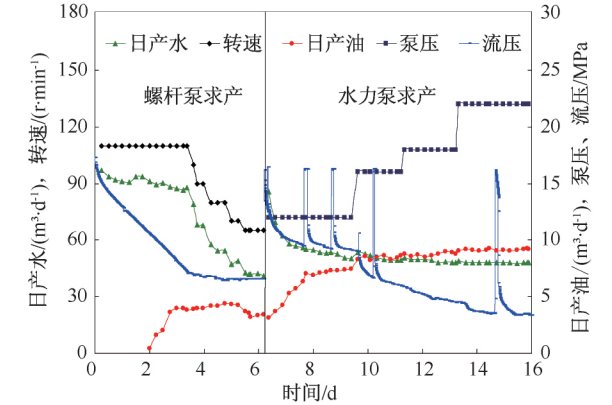


图 7 PP3 井试油排液曲线

Fig.7 Production curve of well test for Well PP3

QP5 井的排液求产曲线如图 8 所示。从图 8 可以看出,2015 年 1 月 16 日~2 月 9 日先采用螺杆泵求产 25 d,转速 120~200 r/min,日产液 150~100 m<sup>3</sup>,稳定日产油 7.2 m<sup>3</sup>,流压 13.39 MPa。2 月 13 日~4 月 1 日换用水力泵求产 27 d,泵压 16~28 MPa,日产液 170~100 m<sup>3</sup>,稳定日产油 19.68 m<sup>3</sup>,流压 11.17 MPa。随着螺杆泵转速及水力泵泵压的逐

步提高,流压逐渐下降,日产油量逐渐增加,水力泵求产流压比螺杆泵降低了 2.22 MPa,日产油增加 12.48 m<sup>3</sup>,取得了较好的效果。但是水力泵求产后期,泵压由 20 MPa 逐渐提高至 28 MPa,日产液量保持在 100 m<sup>3</sup> 左右,没有明显增加,流压下降也比较缓慢,说明已经达到了该型号水力泵最大的排液能力。

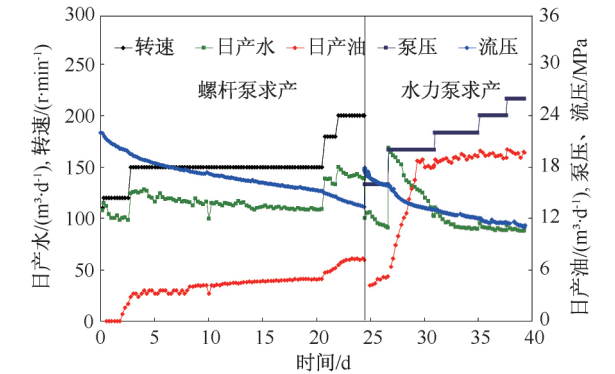


图 8 QP5 井试油求产曲线

Fig.8 Production curve of well test for Well PP5

PP3 井、QP5 井试油求产资料数据对比见表 4。

表 4 PP3 井、QP5 井试油求产数据

Table 4 Oil production data from Wells PP3 and QP5

类型	井号	转数 /(r·min <sup>-1</sup> )	日产量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )		流压 /MPa	泵压 /MPa
			液	油		
螺杆泵	PP3	110~65	100~45	4.40	41.1	6.53
	QP5	120~200	150~100	7.20	138.6	13.39
水力泵	PP3		90~50	9.22	48.1	3.33
	QP5		170~100	19.68	88.1	11.17

由表 4 可以看出,对于低产井(日产液小于 100 m<sup>3</sup>),螺杆泵需不断降低转速,确保一定沉没度,避免烧泵;对于高产井(日产液大于 100 m<sup>3</sup>),螺杆泵通过逐渐增大转速,降低井底流压。水力泵通过提高地面泵压,降低井底流压,但受限于水力泵排量及泵效,当日产液量大于 100 m<sup>3</sup> 时,流压下降缓慢。通过对比两口井资料,水力泵求产流压比螺杆泵低,日产油比螺杆泵高,水力泵工艺排液强度更大,尤其适用于低产水平井试油排液求产。

3 结论

通过研究螺杆泵与水力泵的工作原理以及适用性分析,并对 PP3、QP5 两口水平井先采用螺杆泵、后采用水力泵的实际排液求产数据进行分析,从排液能力、工作制度调整、井底流压及产能求取的准确性等方面对两者的优缺点进行了应用对比,解决了螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的适

应性问题,为优选水平井试油排液工艺提供以下两点建议:

(1)螺杆泵一般在直井段求产,为避免烧泵需保持一定的沉没度,通过调整螺杆泵转速,确保泵效在 60% 以上,可实现螺杆泵安全稳定求产。

(2)水力泵由于没有运动件,可以将泵挂在大斜度井段,且没有最小排量限制,水力泵更适合水平井试油排液求产,尤其是日产液小于 100 m<sup>3</sup> 的低产井。

致谢:感谢施工队伍在本文数据统计分析中给予的大力支持;感谢地质大队中浅层项目部主任给予的相关指导。

参 考 文 献

[ 1 ] SAVETH K J, KLEIN S T. The progressing cavity pump: principle and capabilities [J]. Paper SPE 18873 presented at the SPE Production Operations Symposium held in Oklahoma City, Oklahoma, 13-14 March 1989.

[ 2 ] 师国臣, 孙延安, 魏纪德, 等. 大庆油田螺杆泵采油实践及认识[J]. 石油机械, 1998, 26(5): 47-49, 53. SHI Guochen, SUN Yan' an, WEI Jide *et al.* Application of progressive cavity pump in Daqing oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 1998, 26(5): 47-49, 53.

[ 3 ] 黄有泉, 何艳, 曹刚. 大庆油田螺杆泵采油技术新进展[J]. 石油机械, 2003, 31(11): 65-69. HUANG Youquan, HE Yan, CAO Gang. New development of rod pump production technology in Daqing oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2003, 31(11): 65-69.

[ 4 ] 王国庆, 杨松枫, 吴宁. 大排量螺杆泵在大庆聚合物驱采油中的应用[J]. 石油机械, 2001, 29(2): 32-34. WANG Guoqing, YANG Songfeng, WU Ning. Application of large capacity screw pump for production with polymer flooding in Daqing oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2001, 29(2): 32-34.

[ 5 ] 梁亚宁, 曹刚, 师国臣, 等. 大庆油田三元复合驱螺杆泵综合防垢技术[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(4): 483-489. LIANG Yaning, CAO Gang, SHI Guochen *et al.* Progressing cavity pump anti-scaling techniques in alkaline-surfactant-polymer flooding in the Daqing oilfield [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(4): 483-489.

[ 6 ] 陈悦祥. 水力泵排液技术在大庆油田水平井试油中的应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(2): 45-47. CHEN Yuexiang. Application of hydraulic pump drainage technology in oil test to horizontal wells in Daqing oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(2): 45-47.

[ 7 ] 董万百, 杨东, 綦敦科, 等. 水力泵举升工艺在大庆

- 油田水平井上应用探讨[J]. 油气井测试, 2015, 24(4): 60-61, 64.
- DONG Wanbai, YANG Dong, Qi Dunke *et al.* Application of hydraulic jet pump used in horizontal well of Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2015, 24(4): 60-61, 64.
- [8] 金镇龙, 黄旭望, 聂锴, 等. 动态负压射孔+跨隔测试+水力泵快速返排联作工艺在稠油井的应用[J]. 油气井测试, 2011, 20(6): 69-70.
- JIN Zhenlong, HUANG Xuwang, XIA Kai *et al.* Successful application of combined technology in heavy oil of dynamic under-balanced perforation + straddle test + hydraulic pump for rapid flow-back [J]. Well Testing, 2011, 20(6): 69-70.
- [9] 邱金平. 水力泵排液工艺在大庆海拉尔油区的应用[J]. 油气井测试, 2009, 18(1): 52-53.
- QIU Jinping. Application of technique of clean-up by hydraulic jet pump in Hailaer Area of Daqing oilfield [J]. Well Testing, 2009, 18(1): 52-53.
- [10] 帅培勤, 聂锴, 郑东红, 等. 水力泵排液工艺在蒙古塔木察格油区的应用[J]. 油气井测试, 2010, 19(4): 56-57.
- SHUAI Peiqin, NIE Kai, ZHENG Donghong *et al.* Application of hydraulic discharge process in Menggutamu Taga oil region [J]. Well Testing, 2010, 19(4): 56-57.
- [11] 代晓东, 聂锴, 贾建军, 等. 压裂与水力泵快速返排联作工艺在蒙古塔木察格油区的应用[J]. 油气井测试, 2010, 19(2): 64-65.
- DAI Xiaodong, NIE Kai, JIA Jianjun *et al.* Application of combined tech of fracture and jet pumping clean-up in Mongolia Tamsag oilfield [J]. Well Testing, 2010, 19(2): 64-65.
- [12] 梅显旺, 罗梅, 马威奇, 等. 致密油水平井多级压裂后产能影响因素分析[J]. 油气井测试, 2016, 25(4): 29-32.
- MEI Xianwang, LUO Mei, MA Weiqi *et al.* Analysis of influencing factors on productivity after multistage fracturing to tight oil of horizontal well [J]. Well Testing, 2016, 25(4): 29-32.
- [13] 张晓明, 殷国瑞, 胡瑞, 等. 抽油泵压裂排液技术在低渗透油田的应用[J]. 油气井测试, 2011, 20(6): 42-43.
- ZHANG Xiaoming, YIN Guorui, HU Rui *et al.* Application of pumping fracturing discharge technology in low permeability oilfield [J]. Well Testing, 2011, 20(6): 42-43.
- [14] 邱必兰, 聂锴, 赵小维, 等. 螺杆泵与水力喷射泵在水平井排液求产中的适应性分析[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(12): 55-59.
- QIU Bilan, NIE Kai, ZHAO Xiaowei *et al.* Technology research and application of hydraulic jet pump lift testing in sidetrack horizontal well [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(12): 55-59.
- [15] 王惠清, 谢建勇, 陈新志, 等. 螺杆泵举升技术在深层稠油冷采中的应用[J]. 新疆石油天然气, 2015, 11(4): 47-49.
- WANG Huiqing, XIE Jianyong, CHEN Xinzhi *et al.* Application of screw pump lifting in cold recovery of deep heavy oil [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2015, 11(4): 47-49.
- [16] 郑磊, 吴晓东, 韩国庆, 等. 全金属螺杆泵工作特性试验模拟与评价[J]. 石油机械, 2018, 46(5): 77-82.
- ZHENG Lei, WU Xiaodong, HAN Guoqing *et al.* Experimental simulation and evaluation of all metal progressing cavity pump performance [J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(5): 77-82.
- [17] 宋鑫, 梁海伟, 李永奇. 水力泵排液技术分析及应用[J]. 机械研究与应用, 2017, 30(2): 158-160.
- SONG Xin, LIANG Haiwei, LI Yongqi. Analysis and application of the hydraulic pump technology [J]. Mechanical Research & Application, 2017, 30(2): 158-160.
- [18] 杨艳. 水力泵排液技术在长庆油田的应用[J]. 油气井测试, 2006, 15(1): 38-40.
- YANG Yan. Application of unloading tech with hydraulic pump in Changqing oilfield [J]. Well Testing, 2006, 15(1): 38-40.
- [19] 马金良, 刘泽宇, 李春宁, 等. 一趟管柱分层射孔与水力泵排液联作技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 23-26.
- MA Jinliang, LIU Zeyu, LI Chunning *et al.* Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 23-26.
- [20] 薛清祥, 刘攀峰, 杨建林, 等. 螺杆泵与喷射泵在水平井措施排液中的对比应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(2): 61-63.
- XUE Qingxiang, LIU Panfeng, YANG Jianlin *et al.* Contrast and application of screw pump and jet pump in drainage measures to horizontal well [J]. Well Testing, 2016, 25(2): 61-63.

编辑 刘述忍

第一作者简介: 高辉, 男, 1984 年出生, 工程师, 2008 年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业, 现从事试油生产运营管理工作。电话: 0459-5680807; Email: gaohui.133@163.com。地址: 黑龙江省大庆市让胡路区乘南十八街试油试采分公司试验大队, 邮政编码: 163412。