

# 塔河油田深抽杆式泵一体化管柱工艺

张中宝

中国石化西北油田分公司采油三厂 新疆库车 842012

通讯作者:Email:zhangzb224@126.com

项目支持:“十三五”国家重大专项“缝洞型油藏超深多靶点定向钻井及高效深抽工艺研究与配套”(2016ZX05053-015)

引用:张中宝.塔河油田深抽杆式泵一体化管柱工艺[J].油气井测试,2018,27(2):27-33.

Cite: ZHANG Zhongbao. Deep integrated rod pumping string applied in Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(2):27-33.

**摘要** 传统的杆式泵因结构设计和材质的不足,已不再满足塔河油田碳酸盐岩油藏日益严峻的深抽生产需要。针对塔河油田油藏特点,根据深抽、换泵、机械堵水、酸化压裂、TCP射孔、防胶质沥青质析出堵塞井筒等配套工艺要求,对杆式泵管柱结构进行设计优化,形成了以深抽杆式泵为核心的一体化管柱工艺技术。现场应用表明,新型深抽杆式泵允许下泵深度较常规杆式泵提高700~1000m,在换泵作业过程中不需更换泵座,在高含胶质沥青质井中配合加长尾管未发生堵塞现象,带MCHR液压封隔器和杆式泵的机械卡封堵水管柱有效抑制了套漏,射孔和酸化停喷后下入带杆式泵的抽油杆直接机抽完井,明显缩短了井下作业周期,取得了良好的经济效益和社会效益,适合在陆地油田推广应用。

**关键词** 塔河油田;杆式泵;深抽;结构;一体化管柱;优化设计;作业周期

中图分类号:TE353

文献标识码:B

DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.02.005

## Deep integrated rod pumping string applied in Tahe Oilfield

ZHANG Zhongbao

No.3 Production Plant Northwest Oilfield Company, Sinopec, Kuqa, Xinjiang 842012, China

**Abstract:** Conventional rod pumps with incomplete structural design and material have no longer meet the more requirements to deep pumping production of carbonate reservoirs in Tahe oilfield. According to supporting processes of deep pumping production, changing pump, mechanical water blocking, acidizing/fracturing stimulation, TCP perforation, asphaltene colloid precipitation, an integrated pumping string which includes a deep rod pump has been developed for the special reservoirs in the Tahe oilfield, based on the optimal design of rod pump string. Field application shows that the new deep rod pump can be deeper than a conventional rod pump by 700–1000m. In addition, no pump seat needs to be renewed when changing a failed pump; no asphaltene colloid precipitation has been found in the well with a lengthened tail pipe; casing leakage has been reduced on the mechanical water blocking string with MCHR hydraulic packers and a deep rod pump; and the downhole workover duration has been shortened in the well completed with a deep rod pump after perforating and acidizing. This new process is proved to provide good economic and social benefits, and suitable for application in land oilfields.

**Keywords:** Tahe Oilfield; rod pump; deep pumping; structure; integrated pumping string; optimal design; workover duration

塔河油田以碳酸盐岩缝洞型油藏为主,油藏总体上具有“一超五高”的特点,埋藏深度5 700~7 426 m,地层温度梯度2.2~2.3 °C/100 m,压力系数1.08~1.10,胶质沥青质含量2.8%~57.04%,75%的油气井硫化氢含量超过100 mg/m<sup>3</sup>,地层水的矿化度19×10<sup>4</sup>~23×10<sup>4</sup> mg/L,油藏的特殊性使得塔河油田的开发成为世界级难题<sup>[1-2]</sup>。随着油田的开发,地层能量逐步衰减,油井供液能力逐年下降,油井陆续转抽,泵挂逐步加深,部分机采井的动液面已经下降到泵挂深度附近,但常规有杆泵受其结

构及材质影响下泵深度有限<sup>[3-4]</sup>,不能满足继续加深泵挂的需求。张磊等在苏北工区开展了TCP射孔与下泵采用一趟管柱完成,杆式泵外径为38 mm,下深为1 400 m<sup>[5]</sup>。栾雪伟等采用的射孔—下泵一体化管柱中杆式泵外径也为38 mm,下深为1 600 m<sup>[6]</sup>。常规杆式泵深抽主要存在以下问题:①下深有限,不能完全满足塔河油田深抽的需要。普通Φ38 mm杆式泵最大下深3 000 m,Φ44 mm杆式泵最大下深2 800 m,Φ57 mm杆式泵最大下深2 200 m。②Φ38 mm、Φ44 mm、Φ57 mm杆式泵结构

和坐封方式不同,泵座结构也不同,导致杆式泵并在换泵作业时,需要重新起、下油管更换泵座,不能充分发挥杆式泵的结构优势。③杆式泵下深和排量相矛盾,不能满足深抽的提液需要。

因此需要对有杆泵进行优化改进,增加下泵深度,助力油藏的开发。杨小辉针对常规有杆泵下深有限无法满足深抽的问题,通过优化杆式泵的结构,研制了  $\Phi 38$  mm、 $\Phi 44$  mm 两种深抽杆式泵<sup>[7]</sup>。朱洪征等针对传统的杆式泵在调整泵径时必须起出油管柱的问题,通过将不同规格杆式泵的支承总成和泵筒进行统一化设计,研制应用了可互换作业杆式泵,实现了  $\Phi 28$  mm、 $\Phi 32$  mm、 $\Phi 38$  mm 三种类型杆式泵换泵作业不起油管作业<sup>[8]</sup>。牛彩云等针对长庆油田井深、产液量低的特点,研制了定筒式顶部固定、机械与皮碗双密封的双卡式杆式泵,现场应用 5 000 口井,由于井筒结蜡和杆式泵自身结构的影响,作业成本和作业频次降低不明显<sup>[9]</sup>。BOYER L.等人报道了斯伦贝谢公司通过优化抽油杆扶正器布置和下深设置、类型和杆式泵长度以及在井下的杆式泵底部安装气液分离器将杆式泵用于非常规资源井中<sup>[10]</sup>。郝耀钢对低渗油藏中使用的杆式泵结构从座封装置和泄油阀密封件进行了改进<sup>[11]</sup>。同时,2018年1月塔河油田八区、十区南、十一区、托台区使用有杆泵采油井 326 口,其中杆式泵井 212 口,抽稠泵 99 口,管式泵 15 口。与其他有

杆泵相比,杆式泵检泵作业不需起下油管,可直接续下油管和抽油杆加深泵挂。且因杆式泵的特殊结构,有与抽稠泵相同的优势,即生产期间可进行正、反循环洗井。因此,杆式泵深抽具有作业简便、维护成本低等明显优势<sup>[12-14]</sup>。

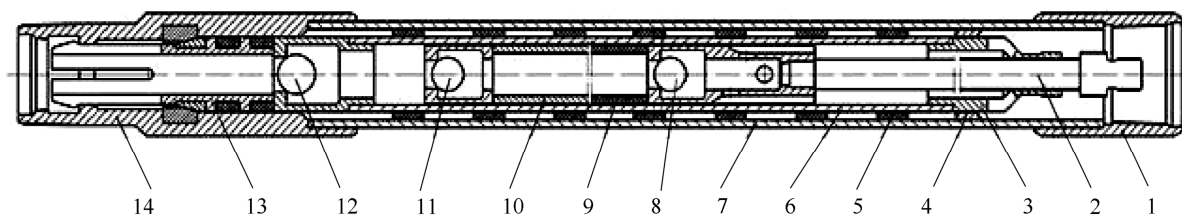
塔河油田碳酸盐岩油藏杆式泵深抽理论研究和现场应用报道较少,缺乏有效的技术参考,这在一定程度上影响到深抽杆式泵在塔河油田的进一步优化设计。

分析常规杆式泵存在的不足和存在的技术问题,调研国内目前杆式泵工艺技术进展,西北油田分公司采油三厂分别从泵的材质和结构上进行优化改进,设计出基于深抽的  $\Phi 38/44/57$  mm 泵座一体化深抽杆式泵。现场应用取得了良好效果,在提升下泵深度的同时,实现了不起管柱换泵作业,同时在堵水、酸化、注气、防胶质沥青堵塞井筒等特殊作业中起到了良好效果。

## 1 深抽杆式泵结构及技术参数

为满足深抽需要,对常规杆式泵的结构和材质进行优化改进,研制了深抽杆式泵。

深抽杆式泵由支承总成和抽油泵组成,支承总成主要由支撑管、锁紧密封支承总成和锁紧密封支承接头等组成;抽油泵主要由泵筒总成、柱塞总成、球阀总成组成。具体结构如图 1 所示。



1-上接箍;2-阀杆;3-阀杆导向套;4-挡砂环;5-加固支撑环;6-泵筒;7-支撑管;8-通径分体式上游动阀;9-软密封柱塞;10-硬密封柱塞;11-下游动阀;12-固定阀;13-锁紧密封支承总成;14-锁紧密封支承接头

图 1 深抽杆式泵结构示意图

Fig.1 Schematic deep rod pump

从图 1 可以看出,深抽杆式泵的结构主要有四部分组成。

### (1) 泵筒总成

①将  $\Phi 38$  mm、 $\Phi 44$  mm 杆式泵泵筒的最大外径由 59.54 mm 增加到同  $\Phi 57$  mm 杆式泵泵筒一致的 72.24 mm。改进后的  $\Phi 38$  mm、 $\Phi 44$  mm 杆式泵泵筒同样适用  $\Phi 57$  mm 杆式泵所采用的泵座。

②泵筒采用底部固定双密封结构,即采用金属硬密封和非金属皮碗软密封相结合,在密封皮碗材料中添加玻璃纤维和碳粉,改善其抗剪切性能,提

高了杆式泵在油管内座封的可靠性。

③泵筒的顶部和中部采取双扶正设计,降低了泵筒的蠕动以及沉砂对泵筒影响。

### (2) 柱塞总成

上游动阀总成整体式阀罩改成通径分体式阀罩,结构强度提高 50%;上游动阀罩总成和上游动阀接头材料由不锈钢 3Cr13 材料换为硬质合金,屈服强度提高了 64.81%。

### (3) 球阀总成

上游动阀、下游动阀和固定阀球阀由不锈钢

3Cr13 材料换为碳化钨合金材料。将固定阀材质改进为 OM35 硬质合金,抗弯强度提升两倍,可有效解决固定阀因硬度大、韧性差导致的开裂、碎裂问题。

(4) 泵座  
泵座材质由 45#钢升级为 35CrMo。抗拉强度 73 t,抗内压 105 MPa。  
深抽杆式泵有三种规格,技术参数见表 1。

表 1 深抽杆式泵主要技术参数  
Table 1 Technical parameters of a deep rod pump

公称泵径 /mm	名义柱塞 长度/m	泵筒长度 /m	联接油管 螺纹	连接抽油杆 螺纹	泵常数	泵体最大 外径/mm	支承接头 内径/mm	最大下泵 深度/m
38. 10	1. 2	7~11	88. 9 mmUPTBG	CYG22. 2	1. 64	72. 24	57. 15	4 000
44. 45	1. 2	7~11	88. 9 mmUPTBG	CYG19. 1	2. 23	72. 24	57. 15	3 500
57. 15	1. 2	7~11	88. 9 mmUPTBG	CYG19. 1	3. 69	72. 24	57. 15	3 000

从表 1 可以看出,Φ57/44/38 mm 杆式泵采用一体化设计,泵筒外径和泵座规格完全一致,可不用起油管更换不同泵径的杆式泵。

2 深抽杆式泵一体化管柱工艺应用

截至 2017 年末,共成功应用深抽杆式泵工艺

114 井次,平均泵挂深度增加 672 m。  
2.1 在深抽采油井的应用  
Φ38 mm 杆式泵最深泵挂 4 006 m,Φ44 mm 杆式泵最深泵挂 3 515 m,Φ57 mm 杆式泵最深泵挂 2 834 m。三口典型井的杆式泵深抽情况见表 2。

表 2 新型深抽杆式泵典型深抽井应用  
Table 2 Typical application of deep rod pumps in deep wells

井号	类别	泵型	泵挂/m	泵效/%	日产液/(t·d <sup>-1</sup> )	日产油/(t·d <sup>-1</sup> )	含水/%
TH1	深抽前	Φ38 mm 管式泵	2 999	28. 9	7. 38	3. 3	66. 80
	深抽后	Φ38 mm 杆式泵	4 006	55. 9	16. 22	7. 5	56. 10
	差值		1 007	27. 0	8. 84	4. 2	-10. 70
TH2	深抽前	Φ44 mm 管式泵	2 600	15. 0	5. 00	4. 6	8. 00
	深抽后	Φ44 mm 杆式泵	3 514	65. 0	20. 00	13. 4	33. 00
	差值		914	50. 0	15. 00	8. 8	25. 00
TH3	深抽	QYDB80 m <sup>3</sup> /2 800 m	2 828	110. 8	76. 50	76. 4	0. 16
	深抽	Φ57 mm 杆式泵	2 834	82. 3	55. 40	55. 4	0
	差值		6	-28. 5	-21. 10	-21. 0	-0. 16

从表 2 可以看出,深抽杆式泵在深抽作业中的优势,同规格的杆式泵允许下泵深度较管式泵高出近 1 000 m,Φ57 杆式泵下深 2 834 m,与潜油电泵相当,体现了新型深抽杆式泵大泵深抽的优越性,有效解决了杆式泵排量与下深的矛盾。

以 TH4 井为例说明深抽杆式泵在深抽作业中的应用效果。该井于 2015 年 8 月转抽,Φ44 mm 管式泵下深 2 807 m,机抽生产期间液面由初期 1 300 m缓慢下降至 2 700 m 左右,示功图如图 2(a)所示。

由图 2(a)可以看出,该井严重供液不足,井口不出液,不能维持连续生产。2017 年 3 月上修深抽,该井套管满足最大安全掏空深度为 3 500 m,完井下入 Φ38 mm 深抽杆式泵,泵挂 3 500 m,地面配套 18 型游梁式抽油机。初期以工作制度 7.3 m×2 min<sup>-1</sup> 生产,日产液 15.8 t,含水 0.1%,液面 2 233 m,泵效 75.6%,示功图如图 2(b)所示。

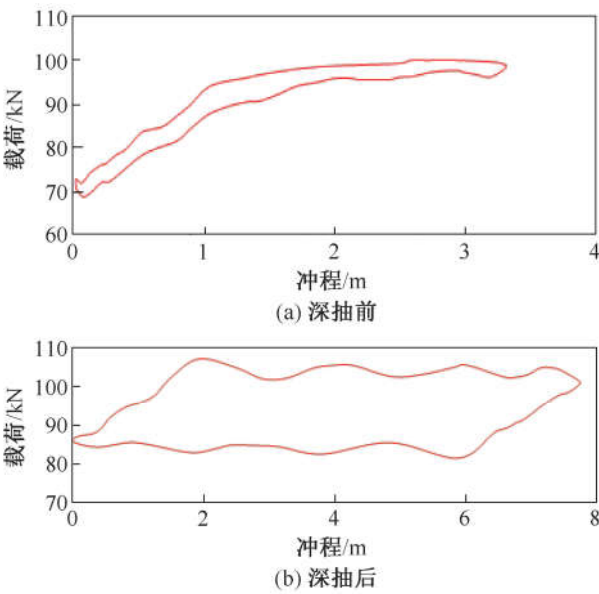


图 2 TH4 井示功图  
Fig.2 Power diagram of Well TH4

从图 2(b)可以看出,该井产量仍有上升空间,后期生产过程中逐级将工作制度上调至 7.3 m×



$2.7 \text{ min}^{-1}$ , 日产液  $21.1 \text{ t}$ , 含水  $0.11\%$ 。截至 2018 年 5 月, 该井深抽后已连续正常生产 400 d, 累计增油  $2\,100 \text{ t}$ , 生产正常, 深抽增油效果较好。

## 2.2 在快速换泵作业方面的应用

采取泵座一体化设计的深抽杆式泵, 在换泵作业过程中不需更换泵座, 已成功应用 28 井次, 成功率  $100\%$ , 平均单井节约作业成本 4.3 万元。TH5 井于 2012 年 7 月下  $\Phi 57$  深抽杆式泵, 泵挂  $2\,219 \text{ m}$ , 生产期间液面持续下降, 2014 年 1 月液面降至  $2\,010 \text{ m}$ , 示功图如图 3(a) 所示。从图 3(a) 可以看出, 示功图显示严重供液不足, 井口不出液, 不能维持连续生产, 2014 年 1 月实施了  $\Phi 38 \text{ mm}$  深抽杆式泵  $2\,816 \text{ m}$  换泵深抽, 起甩  $\Phi 57 \text{ mm}$  杆式泵杆柱后, 直接加深原井机抽管柱  $600 \text{ m}$ , 下入  $\Phi 38 \text{ mm}$  杆式泵杆柱完井, 示功图如图 3(b) 所示。深抽后平均日产液  $14.5 \text{ t}$ , 日产油  $7.3 \text{ t}$ , 含水  $49.6\%$ , 从图 3(b) 也可以看出该井已连续稳定生产  $1\,500 \text{ d}$ , 换泵深抽效果显著。

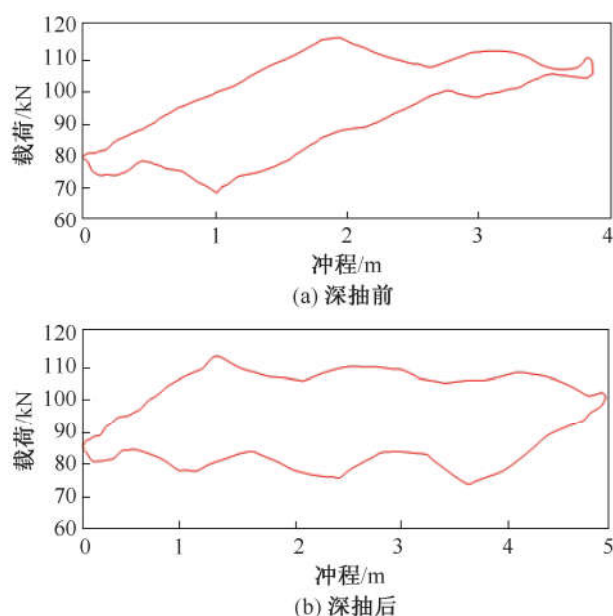


图3 TH5井示功图

Fig.3 Power diagram of Well TH5

## 2.3 在高含胶质沥青质井的应用

针对高含胶质沥青质油井, 胶质沥青质析出堵塞井筒的问题, 设计应用杆式泵加长尾管工艺。

在机抽管柱设计时, 考虑洗井和加药解堵, 将尾管加深至胶质沥青质析出位置以下<sup>[15]</sup>。管柱结构如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 加长尾管防沥青质堵塞一体化管柱具有以下技术特点:

(1) 完井管柱不下筛管, 底部为喇叭口直通管柱, 后期若出现沥青质堵塞井筒时可以直接用稀油

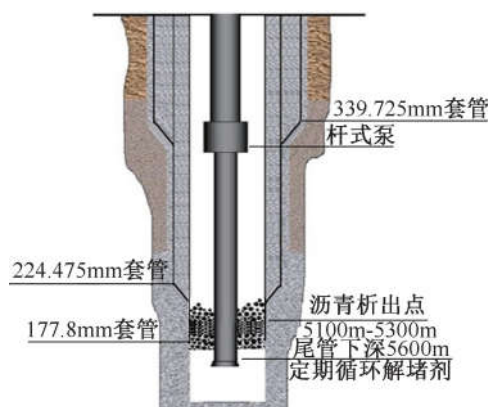


图4 加长尾管防沥青质堵塞一体化管柱示意图

Fig.4 Schematic integrated asphalt plugging string with a lengthened tail pipe

+解堵剂正、反循环洗井, 便于有效解除沥青质堵塞; 另一方面实现了生产后期可以不动管柱检泵, 作业周期短, 费用低。

(2) 在正常生产期间连续向油套环空注入高效沥青分散剂<sup>[15]</sup>, 防止胶质沥青质析出堵塞井筒。

该工艺目前已在高含胶质沥青质油井 TH6 等 4 口井成功实施, 避免了井筒堵塞, 实现了连续稳定生产, 年度创效达 810 万元。TH6 井胶质含量  $5.54\%$ , 沥青质含量  $51.4\%$ , 两年内出现 3 次胶质沥青质桥堵  $5\,000 \sim 5\,300 \text{ m}$  井筒的问题, 造成机抽生产供液不足, 必须大修处理井筒后才能恢复正常生产, 存在作业频繁、施工费用高、生产时效低等问题。2012 年 3 月处理井筒作业结束, 下入  $73.025 \text{ mmEUE}$  喇叭口 +  $73.025 \text{ mmEUE}$  油管  $2\,940 \text{ m}$  +  $\Phi 44 \text{ mm}$  杆式泵泵座 +  $88.9 \text{ mmEUE}$  油管  $2\,489 \text{ m}$  完井管柱, 下入  $\Phi 44 \text{ mm}$  深抽杆式泵杆柱, 泵挂深度  $2\,498 \text{ m}$ , 日产液  $36.9 \text{ t}$ , 日产油  $36.6 \text{ t}$ , 含水  $0.7\%$ , 机抽完井生产期间环空持续加注沥青分散稳定剂  $8 \text{ L/d}$ , 未发现井筒堵塞迹象, 实现了长期连续稳定生产。

## 2.4 在套漏井的应用

针对老井  $177.8 \text{ mm}$  套管悬挂器处或油层套管破裂出水影响油井生产的问题<sup>[16]</sup>, 设计应用了机械堵水、深抽一体化管柱。

在机抽管柱设计时, 考虑封堵套漏, 增加套管封隔器设计。管柱结构如图 5 所示。

由图 5 可以看出, 机械堵水、深抽一体化管柱具有以下技术特点:

(1) 在不影响正常机抽生产的前提下, 实现了封堵套漏和防止水窜的目的。

(2) 避免处理井筒和下入完井管柱的作业工序, 大大提高作业时效、降低作业风险及修井费用。

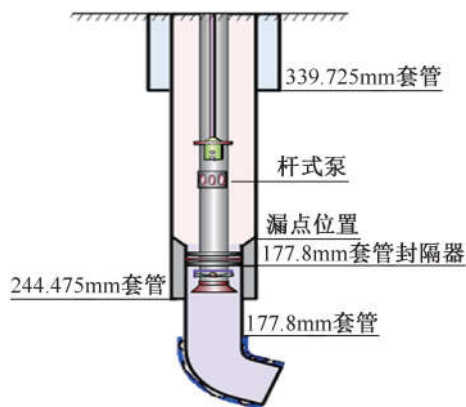


图5 机械堵水深抽一体化管柱示意图

Fig.5 Schematic integrated mechanical plugging and deep rod pump string

该工艺已在 TH7 等井成功实施 4 井次,实现了一趟管柱完成堵水、深抽作业,相对化学堵水平均单井节约作业成本 40 万元以上。TH7 井产液剖面测试显示 2 890~2 920 m 井段套管漏,2013 年 9 月机械堵水下入 73.025 mm 丝堵+73.025 mm 油管 4 根+73.025 mm 割缝筛管 5 根+坐封球座+73.025 mm 油管 1 根+177.8 mm MCHR 液压封隔器+73.025 mm 油管 2 根+压井滑套+73.025 mm 油管 1 根+伸缩节(伸缩距 1.5 m)+73.025 mm 油管 2 370 m+ $\Phi 44$  mm 杆式泵泵座+88.9 mm 油管 2 995 m 完井管柱。投  $\Phi 38$  mm 钢球候球入座,正打压泵压由 0 逐级上升至 18 MPa,各级稳压 3 min,坐封封隔器,继续打压至 21 MPa 时,压力突降至 4 MPa,坐封球座被击落,封隔器中胶位置 5 401 m,套管打压 10 MPa 稳压 10 min,证明封隔器坐封合格。下入  $\Phi 44$  mm 深抽杆式泵杆柱,泵挂深度 3 005 m,机抽完井。带 MCHR 液压封隔器和杆式泵的机械卡封堵水管柱有效抑制了套漏<sup>[17-20]</sup>,投产后含水由套漏时的 99% 下降至 41.4%,日增油 30 t,实现了连续稳定生产。在杆式泵发生故障后,进行不起管柱换泵作业,避免了解封封隔器起管柱工序,大幅节约修井费用,提高油井时效性。

## 2.5 在 TCP 射孔中的应用

针对 TCP 射孔完井的井停喷后需更换机抽管柱转抽的问题,设计应用了 TCP 射孔、深抽一体化管柱。

在设计油管传输射孔管柱的同时,考虑转抽设计,加装杆式泵泵座,射孔停喷后下入带杆式泵的抽油杆直接机抽完井。TCP 射孔、深抽一体化管柱的技术特点是,一趟管柱进行射孔、深抽作业,在实现地质目的、保证工程质量的同时大大降低了作业周期,节约作业成本。

该工艺已在 TH8 等井成功实施 4 井次,平均单井作业周期节约 3 d,平均单井节约作业成本 12 万元。TH8 井 2013 年转层测试下入射孔枪+安全枪+起爆器+88.9 mm 割缝筛管 4 根+校深短节+88.9 mm 油管 2 345 m+ $\Phi 44$  mm 杆式泵泵座+88.9 mm 油管 2 768 m 完井,射孔井段 5 166~5 174 m,油管打压 20 MPa 时突然下降至 16 MPa 引爆射孔枪,打压时泵入密度  $1.10 \text{ g/m}^3$  压井液  $4 \text{ m}^3$ ,泄压返出压井液  $1.5 \text{ m}^3$ ,压力由 16 MPa 降至 0,自喷生产两天后停喷,直接下入  $\Phi 44$  mm 深抽杆式泵杆柱,泵挂深度 2 798 m,机抽完井,日产液 26.2 t,日产油 0.3 t,含水 99%,连续稳定生产 662 d 后侧钻。

## 2.6 在酸化压裂井的应用

针对油井酸化压裂停喷后需更换机抽管柱转抽的问题,设计应用了酸化压裂、深抽一体化管柱。

在设计酸化压裂管柱的同时,考虑转抽设计,加装杆式泵泵座,酸化压裂停喷后下入带杆式泵的抽油杆直接机抽完井<sup>[21-22]</sup>。

酸化压裂、深抽一体化管柱的技术特点是,一趟管柱完成酸化压裂、深抽作业,避免了转抽施工起酸化压裂管柱、下机抽管柱两趟作业。

该工艺在 TH9 等井成功实施 73 井次,平均单井节约修井周期 5 d,平均单井节约作业成本 20 万元,实现了一趟管柱完成酸化压裂、深抽两项工艺。TH9 井 2017 年 1 月下入酸化深抽一体化管柱:喇叭口+88.9 mm TP-JC 抗硫油管 357 根+变丝+ $\Phi 57$  mm 杆式泵泵座+变丝+88.9 mm TP-JC 抗硫油管 219 根,对奥陶系一间房组 6 129.11~6 180.00 m 裸眼井段进行酸化改造,挤入地层液量  $490 \text{ m}^3$  (滑溜水  $150 \text{ m}^3$ +冻胶  $180 \text{ m}^3$ +地面交联酸  $260 \text{ m}^3$ ),最高泵压 64.1 MPa,最大排量  $6.4 \text{ m}^3/\text{min}$ ,停泵测压降 20 min,油压由 1.4 MPa 下降至 1.2 MPa,套压由 5.1 MPa 下降到 4.9 MPa。自喷生产至 2017 年 12 月停喷,不动管柱注氮气作业<sup>[23-24]</sup>,累计注氮气 500 400  $\text{m}^3$ ,周期注水 1 280.5  $\text{m}^3$ ,自喷生产至 2018 年 3 月停喷,转抽直接投  $\Phi 57$  mm 杆式泵杆柱机抽完井,功图正常,日产液 45 t,日产油 45 t,不含水。

## 3 结论

(1) 介绍了新型深抽杆式泵的结构优化设计,泵座、柱塞总成、球阀总成等关键部件的材质改善,在大幅提升允许下泵深度的同时,实现了不起管柱互换不同规格杆式泵作业。

(2)结合塔河油田深抽、换泵、机械堵水、酸化压裂、TCP射孔、防胶质沥青质析出堵塞井筒等配套工艺要求,进行了杆式泵管柱设计优化,形成了以深抽杆式泵为核心的一体化管柱工艺技术,对机械采油和井下作业技术完善提供了更多的经验借鉴。

(3)现场实例应用说明新型深抽杆式泵有效解决了生产难题,缩短了井下作业周期,取得了良好的经济效益和社会效益,适合在陆地油田推广应用。

致谢:感谢渤海钻探工程公司井下作业分公司任源峰专家对完善本文提出的宝贵意见;感谢“十三五”国家重大专项“缝洞型油藏超深多靶点定向钻井及高效深抽工艺研究与配套”资助。

### 参 考 文 献

- [1] 黄太柱,蒋华山,马庆佑.塔里木盆地古生界碳酸盐岩油气成藏特征[J].石油与天然气地质,2014,35(6):780-787.  
HUANG Taizhu, JIANG Huashan, MA Qingyou. Hydrocarbon accumulation characteristics in Lower Paleozoic Carbonate reservoirs of Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 780-787.
- [2] 漆立新,云露.塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶发育特征与主控因素[J].石油与天然气地质,2010,31(1):1-12.  
QI Lixin, YUN Lu. Development characteristics and main controlling factors of the Ordovician carbonate karst in Tahe oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 1-12.
- [3] 李鹏,杨瑞莎,林海斌,等.深抽防气杆式抽油泵的研制与应用[J].石油机械,2016,44(6):88-91.  
LI Peng, YANG Ruisha, LIN Haibin *et al.* Development and application of deep anti-gas rod pump [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(6): 88-91.
- [4] 蒋孟岑.新型防卡防气深抽泵的研制与试验[J].石油机械,2015,43(9):102-104.  
JIANG Mengcen. A new anti-sticking and anti-gas deep-well pump [J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(9): 102-104.
- [5] 张磊,李传昌,梁珀,等.射采联作工艺在苏北工区的应用[J].油气藏评价与开发,2015,5(3):50-52.  
ZHANG Lei, LI Chuanchang, LIANG Po *et al.* Application of joint operation of perforation and production in Northern Jiangsu work area [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2015, 5(3): 50-52.
- [6] 栾雪伟,李太平,黄学娥,等.射孔一下泵一体化工艺完善与发展[J].化工管理,2014(27):186.  
LUAN Xuewei, LI Taiping, HUANG Xue'e *et al.* Improvement and development of joint technology of perforation and pumping [J]. Chemical Enterprise Management, 2014 (27): 186.
- [7] 杨小辉.深抽杆式泵的研制与应用[J].石油机械,2016,44(12):93-95.  
YANG Xiaohui. Development and application of rod pump for deep well pumping [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(12): 93-95.
- [8] 朱洪征,陆梅,崔文昊,等.可互换作业杆式抽油泵研制[J].石油矿场机械,2015,44(8):82-85.  
ZHU Hongzheng, LU Mei, CUI Wenhao *et al.* Development of rod pump interchangeable operation [J]. Oil Field Equipment, 2015, 44(8): 82-85.
- [9] 牛彩云,张宏福,甘庆明,等.双卡式杆式泵的研制及应用[J].石油矿场机械,2014,43(5):73-76.  
NIU Caiyun, ZHANG Hongfu, GAN Qingming *et al.* Development and application of double clamping rod pump [J]. Oil Field Equipment, 2014, 43(5): 73-76.
- [10] BOYER L, FRED C, DAVE J,等.杆式泵在非常规资源井中的应用[J].国外测井技术,2017,38(6):67-73.  
BOYER L, FRED C, DAVE J *et al.* Application of rod pump in unconventional resources well [J]. World Well Logging Technology, 2017, 38(6): 67-73.
- [11] 郝耀钢.杆式泵优化设计及其在超低渗透油藏的应用研究[D].西安:西安石油大学,2014.  
HAO Yaogang. The optimization design of rod pump and its application of ultra-low permeability reservoir [D]. Xi'an: Xi'an Petroleum University, 2014.
- [12] 陈灿,李勇,施硕,等.塔河油田深抽工艺技术及应用[J].油气藏评价与开发,2012,2(1):45-49.  
CHEN Can, LI Yong, SHI Shuo *et al.* Deep pumping technology in Tahe oilfield and its application [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(1): 45-49.
- [13] 缪明才,周明卿,王观华.杆式泵深抽技术的配套及应用[J].石油矿场机械,2001,30(增刊1):102-104.  
MIAO Mingcai, ZHOU Mingqing, WANG Guanhua. The completion and application of technology of rod pump [J]. Oil Field Equipment, 2001, 30(S1): 102-104.
- [14] 陈灿,李勇,施硕,等.塔河油田深抽工艺技术及应用[J].油气藏评价与开发,2012,2(1):45-49.  
CHEN Can, LI Yong, SHI Shuo *et al.* Deep pumping technology in Tahe oilfield and its application [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(1): 45-49.
- [15] 徐海霞,任利华,卢培华,等.哈得碳酸盐岩油藏井筒异物堵塞原因分析及对策[J].化学工程师,2017(1):71-74.  
XU Haixia, REN Lihua, LU Peihua *et al.* Cause analysis and prevention of wellbore blocking in the carbonate reservoirs of Hade oilfield [J]. Chemical Engineer, 2017(1): 71-74.
- [16] 张梦华.套管悬挂器密封失效原因及对策分析[J].油气井测试,2011,20(3):47-48.



- ZHANG Menghua. Reasons of Seal Nonoperative of Casing Suspender and Sounter measure[J]. Well Testing, 2011, 20(3): 47-48.
- [17] 王峰,汪建伟,韩国强,等. MCHR 液压封隔器完井管柱在塔里木油田的应用[J]. 油气井测试, 2011, 20(6): 53-54.
- WANG Feng, WANG Jianwei, HAN Guoqiang *et al.* Application of completion string with MCHR hydraulic packer in the Tarim oilfield [J]. Well Testing, 2011, 20(6): 53-54.
- [18] 刘志明,李淑民,王峰,等. MCHR 封隔器在特殊施工井中的应用[J]. 油气井测试, 2010, 19(1): 52-53.
- LIU Zhiming, LI Shumin, WANG Feng *et al.* Application of MCHR packer in special operations [J]. Well Testing, 2010, 19(1): 52-53.
- [19] 高定祥,刘磊,孔祥云. 超深井封隔器故障因素及处理技术研究[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(1): 27-28.
- GAO Dingxiang, LIU Lei, KONG Xiangyun. Research on factors and treatment technologies for packer in super-deep well [J]. West-China Exploration Engineering, 2015, 27(1): 27-28.
- [20] 黄振琼,徐燕东,杜春朝. 高温高压深井用液压封隔器研制及试验[J]. 石油矿场机械, 2013, 42(10): 33-36.
- HUANG Zhenqiong, XU Yandong, DU Chunchao. Development and field test of a hydraulic-set packer for HPHT deep wells [J]. Oil Field Equipment, 2013, 42(10): 33-36.
- [21] 钟晓,刘练,赵刚,等. 新型超深井酸压管柱体系在塔河油田的应用[J]. 石化技术, 2016, 23(2): 73-74.
- ZHONG Xiao, LIU Lian, ZHAO Gang *et al.* Application of new acid fracturing string system in ultra-deep well of Tahe oilfield [J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23(2): 73-74.
- [22] 周娜. 压裂后快速返排转抽技术研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2014.
- ZHOU Na. Research of quick-flow back and oil pumping technique after fracturing [D]. Qingdao: China University of Petroleum (Huadong), 2014.
- [23] 苑登御,侯吉瑞,王志兴,等. 塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏注氮气及注泡沫提高采收率研究[J]. 地质与勘探, 2016, 52(4): 791-797.
- YUAN Dengyu, HOU Jirui, WANG Zhixing *et al.* Research of N<sub>2</sub> flooding and N<sub>2</sub> foam flooding for EOR fractured-vuggy carbonate reservoirs of the Tahe oilfield [J]. Geology and Exploration, 2016, 52(4): 791-797.
- [24] 马清杰,曾文广,张建军,等. 超深缝洞型油藏氮气吞吐注采一体化技术研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(23): 188-190.
- MA Qingjie, ZENG Wenguang, ZHANG Jianjun *et al.* Research on injection-production integrated technology of nitrogen stimulation in ultra-deep fracture-cavity reservoir [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(23): 188-190.

编辑 刘述忍

第一作者简介:张中宝,男,1983年出生,工程师,2008年毕业于西南石油大学石油工程专业,获工学学士学位,现从事机械采油与修完井工艺研究工作。电话:0996-4676586, 18999621086; Email: zhangzb224@126.com。地址:新疆阿克苏库车市塔里木乡采油三厂,邮政编码:842012。