

文章编号:1001—6112(2011)S1—0143—03

超深抗稠油电泵的研制与应用

王 刚, 梁尚斌, 赵普春, 张 宁, 陈华强

(中国石化 西北油田分公司 塔河采油二厂, 新疆 轮台 841604)

摘要:塔河油田原油地面黏度大于 100×10^4 mPa · s, 油藏埋深超过 5 700 m, 随着油田的开发, 地层能量不断降低, 常规的深抽工艺已难以满足开发需求。该文在分析塔河油田原油物性与井筒温度场的基础上, 对电泵结构和性能参数进行优化。通过提升电机的耐温等级、绝缘与密封性能; 增强潜油离心泵的抗压强度, 提高单级叶轮扬程, 并配套高温电缆、正弦滤波器等技术, 研制出了超深抗稠油电泵, 并在塔河油田 TH10113CH 井成功应用, 创造了电泵下深 5 029.8 m 的世界纪录。

关键词:深抽工艺; 电泵; 稠油; 油田开发; 塔河油田

中图分类号:TE35

文献标识码:A

Development and application of ultra-deep and anti-heavy-oil electric pump

Wang Gang, Liang Shangbin, Zhao Puchun, Zhang Ning, Chen Huaqiang

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

Abstract: In the Tahe Oil Field, surface viscosity of crude oils is over 100×10^4 mPa · s and reservoirs are buried over 5 700 m deep. When drilling deeper, formation energy decreases and normal deep-pumping techniques fail to meet exploration needs. Based on analyses of crude oil physical properties and wellbore temperature fields in the Tahe Oil Field, structure and performance parameters of electric pump were improved. Heat resistance, insulation and sealing capacities of motor were enhanced. Compressive strength of submersible pump was strengthened. Lift of single-stage impellers and diffusers was increased. Combined with high temperature cable and sine filter technologies, an ultra-deep and anti-heavy-oil electric pump was developed and successfully applied in Well TH10113CH of the Tahe Oil Field, resulting in the deepest drilling depth in the world, 5 029.8 m.

Key words: deep-drawing technology; electric pump; heavy oil; oil field exploration; Tahe Oil Field

塔河油田油藏为碳酸盐岩岩溶缝洞型油气藏^[1], 稠油主要集中在奥陶系, 埋深 5 700 m 以下, 地层温度 120~150 °C, 稠油密度介于 0.954 3~1.08 g/cm³, 平均 1.017 g/cm³, 属于超重质原油; 地面原油黏度 $(180 \sim 700) \times 10^4$ mPa · s (70 °C)。由于油藏埋藏深, 油层温度高, 流体在地层中黏度低, 流动性好, 但原油在井筒流动过程中, 随着温度的降低, 黏度急剧增大, 流动性变差, 需要进行井筒降黏生产。

随着地层能量的下降, 机械举升泵挂深度不断加深, 有杆泵深抽主要靠优化杆柱组合和配套大型抽油机实现, 目前 TK716 井通过玻璃钢抽油杆与加重杆的优化组合, 并配套 22 型直线电机抽油机, 下深达到 5 312 m。虽然该井实现了深抽, 但 $\Phi 32$ 小泵无法满足掺稀生产时排量的要求。因为稠油开采采用掺稀降黏工艺^[2], 稀油占据近 40% 的泵

排量, 产液量相对减少, 难以满足稠油深抽提液的要求。为满足低产能超深井稠油掺稀生产开发需求, 最大限度地发挥地层潜能, 达到提液目的, 须研制适应掺稀深抽的电泵工艺技术。

1 超深抗稠油电泵技术难点

1.1 稠油摩阻大

稠油在产出过程的任一阶段都存在胶质沥青等重质成分的沉积而产生较大的摩擦阻力, 它可能存在近井地层、电潜泵、油管、流动管线和生产处理设备中。胶质沥青在电动机表面上沉积会使其散热量减少而引起电动机过热, 导致机械故障而损坏电动机。沥青在密封件的密封面与内部零件之间的沉积可使绝缘油膨胀, 致使油井流体与干净的电

沉积和原油黏度影响在泵内形成的较大的摩擦阻力,都表现为泵内径向阻力增大和轴向载荷的增加,当泵所需功率大于电动机的输出功率时,可能导致离心泵卡死、泵轴断裂或过载停机。

1.2 超深井压高强

塔河油田油井井深在 5 000 m 时,压力在 52.39 MPa,而普通电泵下深在 3 000 m 以内,对应压力为 30.57 MPa,普通电泵各部分抗压能力不能满足 5 000 m 井的环境压力要求。高压对潜油电机、离心泵、保护器的密封性能提出了很高的要求,潜油电机的密封一旦被破坏,电机绝缘就会降低,离心泵密封性能降低也会造成泵效低或泵漏,保护器的关键结构胶囊,为最薄弱点,破坏后将直接导致井筒内液体进入电机,造成电机损伤或烧坏。

1.3 超深井温度高

塔河油田油井井深在 5 000 m 时,井温在 130 ℃ 左右,目前电泵的抗温能力最高为 100 ℃,不能满足 5 000 m 井的抗高温要求。测试表明当电缆所处环境温度超过其电缆的额定温度值后,每提高 10 ℃,其绝缘层的老化程度会提高一倍。由此类推,当电泵机组所处环境温度超过其额定温度后,随着温度的提高,其使用寿命同样会缩短。同时,由于电泵机组各部位的材质不一,在相同温度下的膨胀系数存在差异,为保证整个机组运行时各项参数达到最佳,必须研究泵下深环境温度下各材质的膨胀情况。

2 超深抗稠油电泵技术

在充分研究 5 000 m 超深稠油井筒环境的基础上,通过研究,提升了电机的抗压等级、耐温等级、绝缘与密封性能,增强潜油离心泵的抗压强度,提高单级叶导轮扬程,并配套高温电缆、正弦滤波器等技术研制出了超深抗稠油电泵。

2.1 潜油电机技术

潜油电机是潜油电泵的动力机,主要由定子、转子、电机头、壳体组成,为提高潜油电机耐温等级和适应高温高压的井下运行环境的要求,主要做了以下技术改进:1)设计为 143 mm 大直径电机,以实现更高的电机效率;2)通过优化潜油电机设计参数,改进结构设计,提高其效率,减少其热损耗;3)通过采用高温绝缘材质,将电机耐温等级提高至 180 ℃,以满足 5 000 m 环境下运行温度要求。

2.2 保护器技术

保护器的主要作用是隔离井液和为电机提供电机润滑油,达到保护潜油电机的目的。由于 5 000 m

环境下压力高、温度高,为达到较好的密封效果,保护器采用了双胶囊式设计,用胶囊隔离井液与电机油,只要胶囊不破损,井液就不会进入电机。同时针对塔河油田原油硫化氢含量高的特点,胶囊采用抗硫化氢材质,保证油井在含硫化氢情况下寿命达到 5 a。保护器的机械密封设计为 6 道,既改善了机械密封的散热条件,又保证保护器密封性能,完全适应 60 MPa 下长期工作。

2.3 油气分离器技术

油气分离器位于保护器和多级离心泵之间,是井液的吸入口和分离气体的装置。为满足稠油掺稀生产要求,分离器采用旋转式分离原理,增加了一级搅拌叶轮,以提高稀油与稠油的混合^[3]效果。同时为保证油气分离器在长期搅拌增加负载的状态下,能够稳定工作,增加了一道固定支撑。通过以上改进,改善了稀油与稠油的混合效果,有利于离心泵的运行。

2.4 潜油离心泵技术

潜油离心泵是将潜油电机的机械能传递给潜油泵,潜油泵内的叶轮高速旋转,将原油从井中抽送至地面的装置。5 000 m 超深抗稠油电泵针对高黏度、高扬程、高温、高压的特点,对普通离心泵做了以下改进:

1)增宽叶轮通道。由于黏度的影响会使泵的效率降低,作为弥补采用宽流道设计将叶轮通道由 R9 升级到 H27,即流道宽度由 4 mm 加宽至 7 mm,过流面积是原来的 4.3 倍。

2)优化叶轮水利角度。为节省功率,提高电泵的功率因数,通过优化叶导轮进口及出口角度,可在相同排量的条件下,降低单级叶导轮的摩擦阻力。优化后的水利角度能使单级扬程由 5 m 提高至 6.2 m,提高了离心泵效率,可有效缩短机组整体长度。目前单级叶轮扬程为 6.2 m,根据 $H=z h$,共设计了 806 叶轮。

3)大泵轴设计。5 000 m 深、黏度 1 720 mPa·s,按照日举升液体 50 m³ 的要求,为防止因长时间高强度工作造成轴断,保证泵的使用寿命,将离心泵轴直径由 17.2 mm 增加到 22 mm。

4)耐磨涂层设计。耐磨涂层是指在叶轮和导壳表面镀镍 0.05 mm,目的是增加表面的光洁度,减少摩擦阻力,提高抗稠油能力与抗腐蚀能力,适合在高含硫化氢油井使用;同时增加耐磨程度,使其在长期运行条件下不被磨损,保证泵效。

2.5 配套技术

通过对潜油电泵机组的不断优化与改进,满足

了 5 000 m 环境下运行的条件。要实现现场应用,对配套技术进行了改进。电缆设计采用圆形抗高温电缆设计,圆形电缆相对扁形电缆具有抗挤压、抗高压、抗拉伸的特点,适用于高压环境;同时将电缆抗高温能力提高到 150 ℃;井下电缆下深深度达到 5 000 m,将产生更大的谐波,为有效降低谐波,地面变频配电系统设计了加强型正弦波滤波器,可以有效地减少谐波对电缆的损伤,保证机组的正常运行。

3 现场应用

3.1 TH10113CH 井简况

TH10113CH 井于 2009 年 5 月对 O₁₋₂ y 的 6 132.63~6 308.00 m 进行酸压完井,自喷生产 11 d 后停喷转 Φ70/44 抽稠泵生产,泵挂 2 399.7 m,生产至 2010 年 6 月,因地层能量下降快,液面下降至 2 130 m,抽油机运行载荷大、电流高、地层产液低、间开生产无效,须进行深抽。

3.2 深抽电泵参数设计

综合潜油电泵自身特性,结合 5 000 m 深抽环境下井筒温度场(图 1)与黏度分布(图 2)情况,结合公式(1)^[4],以最高效率为目标函数,通过计算,当掺稀比 1:1、日产原油 25 m³ 时,配套 562 系列、功率 90 kW 的电机能够满足生产要求。为了有效保护电机频繁启动故障,在变频控制柜后增添强滤波柜,防止因调频等引起电流波动损伤电泵机组。动力电缆根据井温模拟结果优选两套电缆,(2 500 m/150 ℃)+(2 550 m/150 ℃)组合电缆,防止电缆在高温下被击穿或者导致电流损失。具体设备配套见表 1。

$$Q'=C_QQ \quad H'=C_HH \quad \eta'=C_E\eta \quad (1)$$

式中:Q',H',η'分别表示举升黏度液体的流量、扬程、

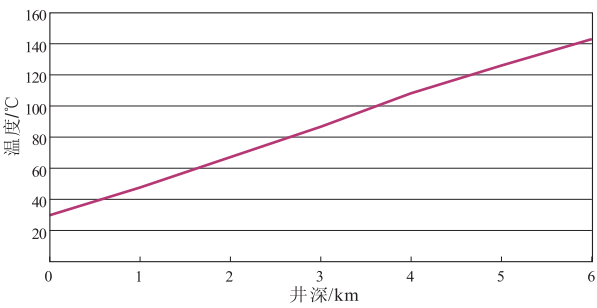


图 1 塔河油田 TH10113CH 井井筒温度场
Fig. 1 Wellbore temperature field in Well TH10113CH, Tahe Oil Field

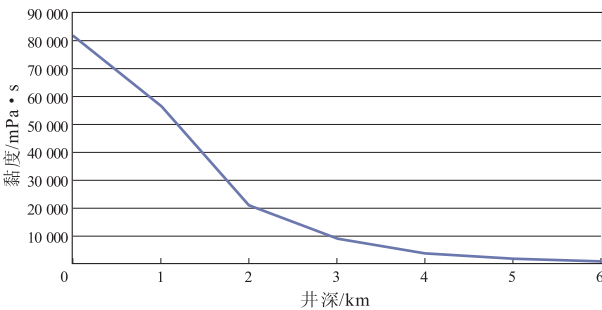


图 2 塔河油田 TH10113CH 井井筒黏度分布
Fig. 2 Viscosity distribution in Well TH10113CH, Tahe Oil Field

效率;Q,H,η 分别表示计算的流量、扬程、效率。

3.3 施工与生产情况

根据设计要求,TH10113CH 井于 8 月 6 日至 22 日进行深抽作业,为防止因井壁脏在下泵过程中对电缆或电泵机组造成伤害,下泵前采用刮削器对全井筒刮削。为防止因井筒内砂等杂物对泵的生产造成影响,下泵前进行了冲砂与充分洗井作业。同时,下泵过程中采用每根油管打 1 个铸铁卡子和 3 个电缆卡子方法,加强对电缆的固定与保护。

经过高效组织与精细施工将 Φ50/5 000 m 电泵

表 1 塔河油田 TH10113CH 超深抗稠油电泵优化设计结果

Table 1 Improvements of Well TH10113CH in Tahe Oil Field using ultra-deep and anti-heavy-oil electric pump

序号	名称	描述	数量/套
1	ESP 机组	电机 562 系列,OD 143mm, YQY143-90kW,1470V,48A,50Hz,180℃	1
		保护器(沉降胶囊式) 400 系列,OD 102mm,QYH-102CJ,双节	1
		分离器旋转式 400 系列,QYF-102X	1
		离心泵 400 系列 QYB102-50m3/d-5000m 50Hz	1
2	电缆	大扁电缆 QYEQ 3X20m ² 2500m /150℃+2550m/150℃	1
		小扁电缆 DLT114-150R,24m,3kV 3X13 m ²	1
3	变压器	三相油浸式,180KVA 原边电压 380V,付边电压 1850±3*50V	1
4	控制柜	变频控制柜(含加强型滤波)ZC2500-200	1
		接线盒	1
5	安装配件	包括 O 型圈,铅垫,螺栓,电缆连接材料等	1
6	电缆卡子	不锈钢 1 700 个(含长卡子 50 个)	

曲线上来看,泵注液氮开始后,随着井筒中液体密度的降低,泵压开始逐渐上升,当施工至 60 min 时,在施工排量没有变化的情况下,泵压由 41 MPa 缓慢下降至 31 MPa,说明近井地带存在一定程度的污染。污染带解除后,将施工排量由 0.6 m³/min 提高至 1.1 m³/min,随着解堵液在储层中流动摩阻增加,泵压缓慢增加。

2009 年 7 月 30 日至 8 月 6 日抽汲诱喷成功,累计排液 248 m³。8 月 6 日 6 mm 油嘴自喷生产,油压 3.9 MPa,套压 3.7 MPa,日产液 44 t,含水 95%。目前 6 mm 油嘴自喷生产,油压 2.1 MPa,日产液 24.7 t,产油 2.8 t,含水 88.5%,日产气 4 208 m³,气井产能得到恢复。累计增油 2 983 t,增气 318×10⁴ m³,取得显著效果。

3 结 论

1)水锁效应严重影响了凝析气藏的开发,渗透

率越低越容易发生水锁效应。

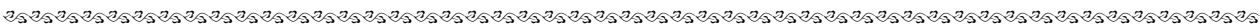
2)实施解除水锁应充分考虑地质因素,由于受边(底水)突破的气井,已形成水流通路,解除水锁效果差。

3)初步认为注入复合性解堵剂是解除水锁的有效手段。

参考文献:

[1] 汤勇,杜志敏,孙雷,等. 解除低渗凝析气井近井污染研究现状及进展[J]. 天然气工业,2007,27(6):88—91.
[2] 杜建芬,李士伦,孙雷. 多孔介质吸附对凝析油气相平衡的影响[J]. 天然气工业,1998,18(1):33—36.
[3] 贺承祖,胡文才. 浅谈水锁效应与储层伤害[J]. 天然气工业,1994,14(6):36—38.
[4] 杨建军,叶仲斌,赖南君,等. 水锁效应的研究状况及预防和解除方法[J]. 西部探矿工程,2005(3):54—56.
[5] 周小平,孙雷,陈朝刚. 低渗透凝析气藏反凝析、水锁伤害及解除方法现状[J]. 钻采工艺,2005,28(5):66—68.

(编辑 叶德燎)



(上接第 145 页)

下深至 5 029.8 m,并一次性以 30 Hz 频率、5 mm 油嘴成功启抽,运行电流 22.6 A,电压 1 174 V,泵效大于 100%。后期逐步将频率调整到 40Hz,平均日产液 27.8 t,日产油 27.8 t,日掺稀 30.6 t,实现日增油 16.4 t。

4 结 论

1)TH10113CH 井电潜泵单泵成功下深 5 029.8 m,刷新了电潜泵下深深度的世界纪录。

2)抗 180 ℃高温电泵机组技术的成功研制,为超深稠油井的机械举升提供了技术支撑,提高了深抽机械采油技术水平。

3)对于超深低产能稠油油井,通过加强泵轴强度、加宽叶轮通道、改进叶轮水利角度、提高密封性

等先进技术,可实现 5 000 m 深抽,能有效解决超深稠油井深抽难题。

4)该技术的成功应用,为发展更深更大排量超深抗稠油电潜泵提供技术保障,将有效推进塔河油田超深稠油的开采。

参考文献:

[1] 焦方正. 塔河油气田开发研究文集[M]. 北京:石油工业出版社,2006.
[2] 宋红伟,任文博. 塔河油田超深稠油井井筒掺稀降黏技术研究及应用[M]. 北京:中国石化出版社,2005.
[3] 蒋勇,稠油井掺稀降黏试油工艺技术在塔河油田的运用[J]. 油气井测试,2004,13(4):73—74.
[4] 董振刚,张铭钧,张雄,等. 潜油电泵合理选配工艺研究[J]. 石油学报,2008,29(1):128—131.

(编辑 徐文明)