

# 基于膨胀管技术的小井眼水平井钻井技术应用

张晓明, 胥豪, 崔海林, 仇恒彬, 王涛

(中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257017)

**摘要:**塔河油田地质情况复杂,岩性差异大,地层压力变化大,局部区域有高压盐水层和膏盐层,开孔尺寸受限,给钻井工程带来诸多技术难题。针对这些难题,提出了坐封斜向器开窗侧钻、定向随钻扩眼、膨胀管和小井眼水平井钻井技术。TK7-640CH井的钻井实践表明,以上技术在塔河油田奥陶系 $\phi 177.8\text{ mm}$ 套管开窗侧钻水平井的应用具有可行性,能够封隔复杂地层和异常压力系统。就侧钻井技术难点和技术方案的可行性进行了探讨和分析,总结该井实钻所取得的成功经验,为塔河油田老井的恢复及再生提供了技术支撑。

**关键词:**斜向器;开窗侧钻;定向随钻扩眼;膨胀管;小井眼水平井;塔河油田

**中图分类号:**TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)03-0006-05

**Application of the Slim Hole Horizontal Well Drilling Technology Based on the Expansion Tube/ZHANG Xiaoming, XU Hao, CUI Hai-lin, QIU Heng-bin, WANG Tao** (Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Engineering Company, Sinopec, Dongying Shandong 257017, China)

**Abstract:** The geological conditions are complex with large lithology difference and stratum pressure difference in Tahe oilfield, there are local high pressure brine zone and gypsum salt bed, the hole size is restricted, which bring many technical difficulties for drilling engineering. Aiming at these problems, sidetracking by setting whipstock, directional ream while drilling, expansion tube and slim-hole horizontal well drilling technology were put forward. TK7-640CH drilling practice shows that the above technologies are feasible in the application for  $\phi 177.8\text{ mm}$  casing whipstock sidetracking horizontal well in ordovician of Tahe oilfield, can seal complex formation and the abnormal pressure system. The paper discusses and analyzes the feasibility of the technical difficulties and technical schemes in sidetrack drilling; sums up the successful experience in real drilling, which provides technical support for the recovery and regeneration for old wells in Tahe oilfield.

**Key words:** whipstock; sidetrack drilling; directional ream while drilling; expansion tube; slim hole horizontal well; Tahe oilfield

## 0 前言

塔河油田位于塔里木盆地沙雅隆起中段阿克库勒凸起西南斜坡,是以石炭系砂岩、奥陶系碳酸盐岩为主要储集层的油气藏,储层发育和储量富集、分布是以缝洞系统为基本单元发育分布的<sup>[1,2]</sup>。原直井井身结构主要有2种,四开四完的常规井身结构和简化的三级井身结构(图1),受地质条件约束,2种结构的 $\phi 177.8\text{ mm}$ 套管下在奥陶系顶界,管鞋距产层 $50\sim 80\text{ m}$ <sup>[3]</sup>。TK7-640CH井是中石化西北油田分公司在塔河油田部署的一口基于膨胀管技术开发塔河油田奥陶系剩余油的小井眼开窗侧钻重点试验井。受地层条件和工程技术的限制,钻完井作业难度随之增加,某些井间剩余油不能得到经济开采。鉴于膨胀管技术在解决地质与工程难题方面具有优势,因此采用膨胀管技术实施老井开窗侧钻水平井。

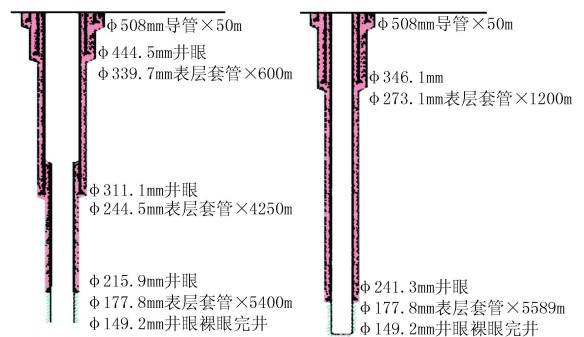


图1 塔河油田直井井身结构示意图

## 1 工程概况

### 1.1 井身结构设计

TK7-640CH井钻遇地层分别为石炭系卡拉沙依组沙泥岩段及上泥岩段、巴楚组双峰灰岩段及下泥岩段和奥陶系鹰山组泥晶灰岩。从石炭系到奥陶系地层层位缺失、厚度变化差异明显,压力系统较为

收稿日期:2013-09-19; 修回日期:2013-12-19

作者简介:张晓明(1984-),男(汉族),山东寿光人,中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院助理工程师,石油工程专业,从事钻井技术服务工作,山东省东营市北一路827号钻井工艺研究院钻井所,zhangxm1202@163.com。

复杂,为低-高-低压力体系<sup>[4]</sup>,给开发和侧钻带来难度。因此采用  $\phi 177.8$  mm 套管斜向器开窗侧钻工艺,侧钻点选择在石炭系卡拉沙依组 5217.52 m。为了保证侧钻成功,首先使用  $\phi 149.2$  mm 牙轮钻头侧钻至 5228 m。侧钻成功后自井深 5228 m 开始进行定向随钻扩眼作业钻进至一开设计井深 5572 m, $\phi 139.7$  mm 膨胀管下至井深 5569 m 膨胀固井,封隔巴楚组不稳定泥岩地层。二开采用  $\phi 130$  mm 钻头钻至设计完钻井深 5985.02 m,裸眼完井,井身结构设计见图 2。

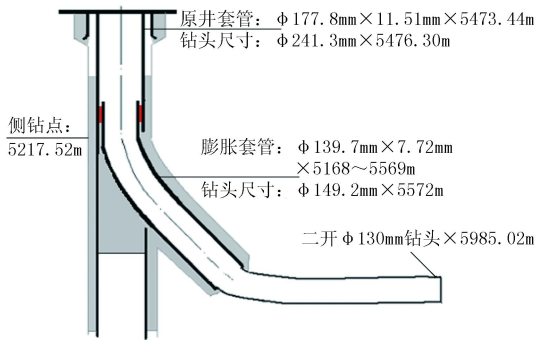


图2 TK7-640CH 井井身结构设计示意图

### 1.2 井眼轨道优化设计

由于本井采用定向随钻扩眼技术和膨胀管技术,结合地层特点,设计剖面类型为“直-增-稳-增-平”五段制(表 1)。一开为保证膨胀管的顺利下入膨胀,限定定向随钻扩眼段造斜率  $> 10^\circ/30$  m 和最大井斜  $50^\circ$ 。二开初始钻进垂深与 A 靶垂深之间的高度只有 20 m 左右,造斜井段短,只能采用连续增斜的单圆弧剖面,以满足短半径水平井高造斜率的要求。

## 2 钻井施工难点

(1)斜向器开窗侧钻点深。设计侧钻点 5217 m, $\phi 88.9$  mm 钻杆长度达到 5200 m,对扭矩传递造成一定困难,给井下情况判断造成较大困难;增加了斜向器坐封、陀螺测方位和顺利开窗的难度。

(2)定向随钻扩眼段,轨迹控制难度大。双心钻头初始定向钻进中,钻头受力不均匀,工具面不稳定,初始定向造斜率低。

(3)在深井、大斜度井段第二次进行膨胀套管用作技套封堵试验,对 $\phi 139.7$  mm膨胀套管性能和

表 1 TK7-640CH 井井眼轨道设计

斜深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	南北位移/m	东西位移/m	投影位移/m	全角变化率/[ (°) · (30 m) <sup>-1</sup> ]	靶点
5217.52	0.00	0.00	5217.52	0.00	0.00	0.00	0.000	
5431.81	50.00	199.84	5405.62	-82.51	-29.77	87.71	7.000	
5584.98	50.00	199.84	5504.08	-192.88	-69.59	205.05	0.000	
5639.67	86.51	199.84	5524.00	-239.85	-86.57	255.00	20.028	A
5985.02	86.51	199.84	5545.00	-564.09	-203.59	599.71	0.000	B

施工要求较高。

(4)膨胀套管施工时,固井胶塞在深井中正常顶替碰压面临较大考验,胶塞碰压是保证顺利实现液压膨胀的技术关键。

(5)二开井眼尺寸小,泵压较高,环空间隙窄,导致环空压耗增加,对钻具、MWD 仪器抗压能力和钻井地面高压循环系统都是一个严重的考验。

## 3 膨胀管钻井技术方案可行性分析

### 3.1 开窗侧钻技术方案

套管内斜向器开窗(图 3)优选造斜点<sup>[5]</sup>,尽量选择稳定性较好、可钻性好的地层,同时选择固井质量较好、井斜小的井段确保形成良好的窗口,并避免形成连续的“狗腿”。经过多方验证选择开窗点在井深 5217.52 m,层位为石炭系卡拉沙依组。

### 3.2 定向随钻扩眼技术方案

随钻扩眼技术(Ream While Drilling, 简称RWD)

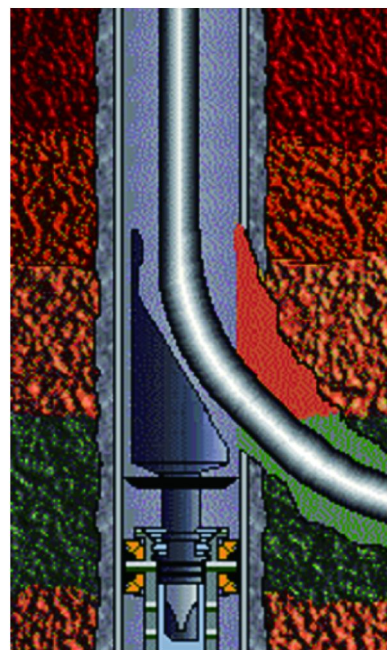


图3 斜向器开窗侧钻示意图

就是采用随钻扩眼工具和钻头程序,在全面钻进的同时扩大井眼的一种钻井技术<sup>[6-9]</sup>。

### 3.2.1 双心钻头优选

双心钻头没有易掉入井内的活动部件,而常规水力扩眼器刀翼易掉入井内而造成井下事故的风险,也会因刀翼收缩不到位而造成起钻困难等复杂情况<sup>[10]</sup>;选择余地大, National Varco、Bakerhughes Christensen 等公司生产双心钻头的技术已经非常成熟,且钻头切削齿具有耐磨性和良好的稳定性。经过前期大量调研,优先考虑国民油井的 CSDR5211S-B2 型双心钻头(图4),由领眼钻头和扩眼体2部分组成,领眼部分与常规钻头结构几乎相同,可钻出1个直径较小的领眼,扩眼体是带有切削刃的棱柱结构,沿圆周方向布置于双心钻头的侧面,能将领眼扩大为工艺要求尺寸的井眼<sup>[11]</sup>。



图4 CSDR5211S-B2型随钻扩眼钻头实物图

### 3.2.2 动力钻具优选

鉴于TK7-640CH井的特殊工艺,定向随钻扩眼后下入膨胀管。需优选高转速,稳定扭矩动力钻具,才能达到随钻扩眼钻头转速 $< 180$  r/min的要求,扩眼效果比较好。因此选用国外PAISANO公司高性能 $\varnothing 120$  mm螺杆,其性能参数见表2。

表2 PAISANO产 $\varnothing 120$  mm螺杆性能参数

型号	排量 /(L· s <sup>-1</sup> )	最大 压降 /MPa	转速 /(r· min <sup>-1</sup> )	单位排量 转速/(r· L <sup>-1</sup> )	最大扭 矩/(N· m)	钻头 水功率 /kW
UK114	6.31~	7.240	100~	0.27	3796.8	100
UK100D	18.93	5.722	280		3051.0	80

### 3.3 膨胀管技术方案

常规技术是在 $\varnothing 177.8$  mm套管内开窗侧钻后 $\varnothing 149.2$  mm井眼钻进至奥陶系顶部,下入常规 $\varnothing 127$  mm无接箍套管封隔石炭系泥岩、水层及易漏层位,继续下步钻进。但 $\varnothing 127$  mm无接箍套管内径仅有108 mm,只能采用 $\varnothing 60.3$  mm钻杆,小钻杆抗扭和传

压能力弱,柔性大且内径小(46.1 mm),循环压耗高(30 MPa以上),现有机泵条件很难满足。

而膨胀管是一种由低碳钢经特殊加工而制成的套管,由于含碳量低,膨胀管比普通套管柔性好,可塑性强<sup>[12]</sup>。在 $\varnothing 177.8$  mm套管内开窗侧钻后 $\varnothing 146$  mm $\times$  $\varnothing 165$  mm随钻扩眼钻头钻出 $\varnothing 165$  mm井眼,下入 $\varnothing 139.7$  mm实体膨胀管,膨胀后内径可达到134 mm,然后使用 $\varnothing 130$  mm PDC钻头+ $\varnothing 105$  mm单弯螺杆+ $\varnothing 105$  mm无磁钻铤+ $\varnothing 88.9$  mm特殊钻杆(接箍外径108 mm)钻具组合可完成二开小井眼施工。此方案在工具配套、钻具组合和钻井参数优选下具有可行性。

### 3.4 二开小井眼钻进方案

膨胀管膨胀后内径为134 mm,在钻井工艺技术成熟的前提下,考虑到钻头的安全性和加工性,选用我院生产的 $\varnothing 130$  mm 6FPDC(PK6167M)钻头;相应配套 $\varnothing 102$ 和 $105$  mm动力钻具、特制 $18^\circ$ 锥度 $\varnothing 88.9$  mm斜坡钻杆和美国Boreview耐高温 $175^\circ\text{C}$ 的小径无线随钻测斜仪。

## 4 钻井施工工艺及技术措施

### 4.1 坐封斜向器开窗侧钻

#### 4.1.1 斜向器坐封

钻具组合:斜向器+ $311\times 310$ 定向接头+ $\varnothing 88.9$  mm钻杆。

将工具下到预定位置后,由定向井工程师下入陀螺测量仪器斜向器定向,确定斜向器工具面摆放在 $200^\circ$ 。取出陀螺仪器,投球,接方钻杆下至设计井深,开泵憋压到 $18\sim 22$  MPa(斜向器坐封压力 $20\pm 2$  MPa),稳压5 min,压降 $\geq 1$  MPa即可。然后丢手,起出送入工具。

#### 4.1.2 开窗侧钻

钻具组合:复式开窗铣锥(310扣)+ $\varnothing 88.9$  mm加重钻杆30根+ $\varnothing 88.9$  mm钻杆。

磨铣至5223 m。下入 $\varnothing 149.2$  mm HJS517G牙轮钻头+ $1.25^\circ$ 单弯螺杆钻具组合钻进至5233 m,打出10 m测斜零长,为后续随钻扩眼阶段做准备。

### 4.2 定向随钻扩眼

从井深5233 m开始进行随钻扩眼钻进。

钻具组合: $\varnothing 146$  mm $\times$  $\varnothing 165$  mm CSDR5211S随钻扩眼PDC+ $\varnothing 120$  mm  $1.5^\circ$  PDM+ $311\times 310$  F/V+MWD坐键短节+ $\varnothing 88.9$  mm NMDP+ $\varnothing 88.9$  mm HWDP+ $\varnothing 88.9$  mm DP。

钻进参数:钻压 $20\sim 30$  kN,排量 $11.5$  L/s,转速

螺杆,下钻过窗口处无遇阻现象。前期井斜小,工具面稳定性较差,钻时慢约 50 ~ 80 min/m。造斜率比预期的要低,基本在 2° ~ 3°/30 m,造斜率始终低于设计的 7°/30 m,定向增井斜钻进困难,实钻井斜和位移逐渐落后设计。钻进至井深 5265.11 m、井斜 6.36°、方位 169.46°,由于造斜率不够,起钻调整单弯度数为 1.83°。下钻到底后,定向增井斜钻进,井斜增至 15°后,工具面较稳定,定向钻时在 30 ~ 40 min/m,造斜率基本控制在 7° ~ 10°/30 m,满足了轨迹控制的需要。

稳斜段钻具组合: Ø146 mm × Ø165 mm CS-DR5211S 随钻扩眼 PDC + Ø120 mm 1.25° ~ 1.5° PDM + 311 × 310 F/V + MWD 坐键短节 + Ø88.9 mm NMDP + Ø88.9 mm DP + Ø88.9 mm HWDP + Ø88.9 mm DP。

钻进参数: 钻压 20 ~ 30 kN, 排量 11.5 L/s, 转速

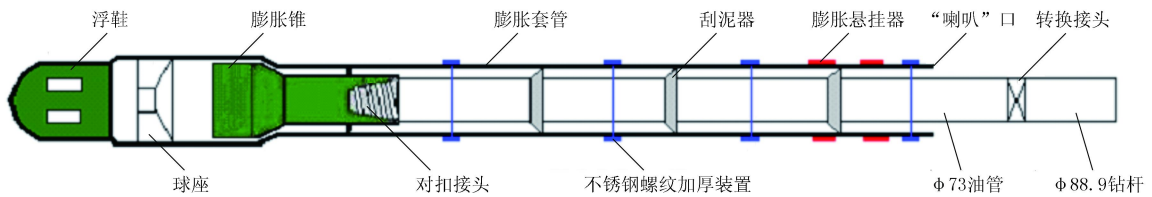


图 5 Ø139.7 mm 膨胀管管串整体方案示意图

膨胀套管柱自下而上为: 旋流管 + 浮鞋 + 启动器 + 膨胀套管 + 膨胀悬挂器 + 喇叭口(螺纹处有不锈钢加厚装置)。内管柱自下而上为: 膨胀工具组合 + 对扣接头 + 挡泥器 + Ø73 mm 加厚油管 + 挡泥

螺杆 + 45 r/min。

由于复合钻进井斜微降,采取增井斜措施,定向钻时 40 ~ 50 min/m,复合钻时 10 ~ 15 min/m。地质录井卡准层位后钻进至井深 5579 m 一开。

### 4.3 膨胀管施工

#### 4.3.1 膨胀管准备阶段

定向钻达设计层位后起钻测井,确定膨胀套管封隔段具体位置;采用 Ø151 mm 通井规通井,充分循环洗井,无沉砂、无落物,井眼畅通;对 Ø88.9 mm 钻杆和 Ø73 mm 油管在入井前应检查丝扣完整性,试压 40 MPa;准备清水用来灌满膨胀管及内管柱,固井水泥浆系统需采用超缓凝水泥浆,稠化时间在 20 ~ 24 h 以上;调整好钻井液性能,提高钻井液的护壁性、抑制性、悬浮能力和润滑能力,保证性能的稳定。

#### 4.3.2 膨胀管下入管串(图 5)

器 + Ø73 mm 加厚油管 + 挡泥器 + Ø73 mm 加厚油管 + 变扣 + Ø88.9 mm 钻杆。

#### 4.3.3 膨胀管性能参数(表 3)

表 3 膨胀管性能参数

技术套管		膨胀套管系统(近似尺寸)						机械性能	
外径/mm	内径/mm	膨胀前		初始壁厚/mm	膨胀后		通径/mm	膨胀后	
		外径/mm	内径/mm		外径/mm	内径/mm		抗内压/MPa	抗外压/MPa
177.80	154.8	139.7	124.2	7.75	149.3	134.5	131.3	≥45	≥25

#### 4.3.4 膨胀管施工工艺

浮鞋、球座、启动器及膨胀锥等内管工具装配;下入膨胀管;膨胀管下入的同时坚持灌浆;接近预定位置,开泵循环钻井液,再缓慢下放,保持钻具内畅通,确保胶塞到位正常碰压。当压力达到约为 20 ~ 25 MPa 时,膨胀过程开始,但不要超过 35 MPa,泵的排量控制在 80 L/min 以下,膨胀第一个立柱,直到管柱接头提出钻台平面后,坐放吊卡,停泵并放压,卸扣;卸立柱,并放入钻杆排上,再安装另一个泵入接头和高压水龙带于下一钻杆立柱上,记录下内管柱脱离膨胀面以后的质量;提高泵压继续膨胀,以立柱的方式膨胀并提升内管柱,直至完成膨胀悬挂器

及“喇叭”口的膨胀。当膨胀套管系统完全膨胀后,开泵循环出“喇叭”口以上水泥浆;按照作业规程的要求对膨胀套管进行试压,起出内管柱及膨胀工具;候凝测固井质量。

### 4.4 二开 Ø130 mm 井眼施工

钻具组合: Ø130 mm PDC 钻头 + Ø105 mm 1.75°单弯螺杆 + 211 × 210 F/V + Ø105 mm MWD 坐键短节 + Ø105 mm 无磁钻铤 + 211 × ST30 接头 + Ø88.9 mm 特殊钻杆 + ST31 × 310 接头 + Ø88.9 mm 加重钻杆 + Ø88.9 mm 钻杆。

二开层位为巴楚组下泥岩段和奥陶系鹰山组,岩性分别为灰色泥岩和泥晶灰岩,定向钻进钻时在

40 ~ 60 min/m, 1.75°的单弯螺杆造斜率在 17° ~ 20°/30 m 左右, 能满足轨迹控制需要。钻至井深 5611 m 时, 高造斜率井段施工完, 需要 10°/30 m 即可满足下部斜井段施工, 考虑到 1.75°螺杆禁止复合钻进, 故起钻更换 1.5°螺杆。采用复合钻进与滑动钻进相结合的方式钻进至 A 靶。水平段控制合适钻进参数: 钻压 20 ~ 30 kN, 排量 10 ~ 11 L/s, 转速螺杆 + 40 r/min。钻进至 B 靶加深 50 m 至 6040 m 完钻。

## 5 实钻效果

(1) 完钻井深 6040 m, 垂深 5547.44 m, 水平段长 394.72 m,  $\varnothing$ 130 mm 井眼段长 461 m, 说明膨胀管耐磨性能满足深井长井段钻进要求。

(2) 顺利完成膨胀管作业, 膨胀管下入井段 5192.60 ~ 5578.30 m, 段长 385.70 m, 最大井斜 53.42°, 最高“狗腿”度 9.35°/30 m。该井在完井后, 进行了酸化压裂作业, 膨胀管没有出现任何问题, 说明抗内压强度满足酸化压裂技术要求, 保证了后期完井采油作业的成功。

(3) 一开实际钻井周期 22.33 d, 比设计提前了 7.67 d; 全井实际定向周期 47.43 d, 平均机械钻速 1.39 m/h, 定向随钻扩眼钻进机械钻速见表 4。

表 4 定向随钻扩眼段机械钻速统计

岩性	井段/m	进尺 /m	纯钻时间 /h	机械钻速 /(m·h <sup>-1</sup> )
砂泥岩互层段	5233 ~ 5365	132	100.9	1.31
上泥岩段	5365 ~ 5427	62	39.4	1.57
双峰灰岩段	5427 ~ 5445	18	10.7	1.68
下泥岩段	5445 ~ 5482.5	37.5	21.2	1.77
砂泥岩互层段	5482.5 ~ 5487	4.5	2.1	2.14
泥晶灰岩	5487 ~ 5579	92	33.4	2.75

## 6 结论与建议

(1) TK7-640CH 井的顺利、优质完钻, 表明斜向器开窗、定向随钻扩眼和膨胀管技术在塔河油田奥陶系油藏深井小井眼水平井的综合应用具有可行性。

(2) 基于膨胀管技术的小井眼侧钻水平井经过

逐步开发和完善, 形成系列化生产, 对塔河油田老井后期挖潜增效是有力的技术支撑。

(3) 膨胀管在塔河油田  $\varnothing$ 177.8 mm 套管开窗侧钻水平井斜井段作为技术套管封堵复杂地层提供了新的技术手段, 促进了膨胀管及配套钻完井工艺技术的完善, 为后续开窗侧钻水平井施工提供了宝贵的经验。

(4) 加快定向随钻扩眼钻头、高效动力钻具及配套工具、仪器的改进和国产化, 以降低钻井成本的投入。

(5) 优选钻井参数、水力参数, 结合考虑各地层岩性, 根据实际情况作出适当的调整, 对现有工具的适应性和配套技术还需进行继续研究、改进和完善, 提高机械钻速和井身质量, 以达到定向随钻扩眼的良好效果。

## 参考文献:

- [1] 宋杉林, 张春冬, 王琪. 新疆塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及油气分布[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 53 - 57.
- [2] 李永宏, 闫相宾, 张涛, 等. 新疆塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及其控制因素[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 17 - 22.
- [3] 郝和伢, 周伟, 雷新超. 塔河油田  $\varnothing$ 177.8 mm 套管开窗侧钻井技术难题与对策探讨[J]. 海洋石油, 2012, 32(2): 91 - 94.
- [4] 何立成, 宫艳波, 胡清富. 塔河油田盐膏层钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(4): 85 - 87.
- [5] 周伟, 耿云鹏, 石媛媛. 塔河油田超深井侧钻工艺技术探讨[J]. 钻采工艺, 2010, 33(4): 108 - 111.
- [6] 宋颐, 夏宏南, 徐超, 等. 随钻扩眼工具的研究与优化[J]. 装备技术与制造, 2012, 34(8): 282 - 284.
- [7] 夏焱. 随钻扩眼工具结构及与之相匹配的钻具组合设计方法研究[D]. 山东东营: 中国石油大学, 2006.
- [8] 夏焱, 管志川. 随钻扩眼钻井钻进趋势影响因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2008, 32(6): 79 - 82.
- [9] 美国十大钻头公司的十大钻头新技术[J]. 国外油田工程, 2002, (7): 14 - 20.
- [10] 陈红, 杨兰田, 刘晓艳, 等. 塔河油田盐膏层井段随钻扩孔技术[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(3): 15 - 17.
- [11] 马汝涛, 纪友哲, 王辉. 油气钻井扩眼工具研究现状及发展趋势[J]. 石油机械, 2010, 38(8): 8 - 12.
- [12] 余金陵, 周延军, 王锡洲. 膨胀管技术的应用研究初探[J]. 石油钻探技术, 2010, 30(5): 55 - 57.