

套管锻铣技术在柯20井储气库建井的应用

李鑫羽, 周洪云, 王蕾琦, 孙 鸿, 韩 磊, 袁万鑫

(中国石油天然气集团有限公司塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:柯20井是位于柯克亚凝析气田一口储气库建井, 储气层顶界以上井段固井质量不满足要求, 需进行套管锻铣后重新封堵。由于该井锻铣点深、锻铣套管钢级高, 现场设备施工排量 and 泵压不足, 锻铣工具不能完全锻铣套管接箍且铣刀张力不够, 给锻铣作业带来诸多困难。通过优选锻铣刀具、设计锻铣施工参数和钻井液体系、泵车配合泥浆泵增大排量、打磨锻铣刀具限位装置、分阶段调整钻井液漏斗粘度后, 单趟钻锻铣进尺19.33 m, 锻铣速度0.48 m/h, 返屑率71%, 铣刀利用率90%, 相较于前几趟钻, 各指标分别提高55.5%、26.3%、9.2%、26.3%, 有效提高井的锻铣效率, 并为其它同类型套管锻铣井的高效施工提供重要经验参考。

关键词:储气库建井; 锻铣工具; 套管锻铣; 锻铣施工参数; 锻铣效率

中图分类号:TE256;P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)06-0129-07

Application of casing forging and milling technology in Well Ke-20 for gas storage well construction

LI Xinyu, ZHOU Hongyun, WANG Leiqi, SUN Hong, HAN Lei, YUAN Wanxin

(Tarim Oilfield Company, CNPC, Korla Xinjiang 841000, China)

Abstract: The Well Ke-20 is a gas storage well located in the Kekeya condensate gas field. The cementing quality of the well section above the top boundary of the gas reservoir does not meet the requirements, and it needs to be resealed after casing forging and milling. Due to the deep forging and milling point, the high steel grade of the forging and milling casing, the insufficient construction displacement and pump pressure of the on-site equipment, the forging and milling tools cannot completely forge and mill the casing coupling, and the milling cutter tension is not enough, it brings about many difficulties for the forging and milling operation. After optimizing the forging milling tool selection, designing the forging and milling construction parameters and drilling fluid system, increasing the displacement of the pump truck with the mud pump, polishing the forging and milling tool inhibiting device, and adjusting the viscosity of the drilling fluid funnel in stages, the forging and milling footage in a single drilling trip is 19.33m, the forging and milling speed is 0.48m/h, the cutting return rate is 71%, and the milling tool utilization rate is 90%. Compared with the previous drilling trips, the indicators mentioned above are increased by 55.5%, 26.3%, 9.2% and 26.3% respectively, and the forging and milling efficiency is improved effectively. Which provides an important experience reference for the efficient construction of other similar casing forging and milling wells.

Key words: gas storage well construction; forging and milling tools; casing forging and milling; forging and milling construction parameters; forging and milling efficiency

0 引言

储气库井运行时需应对频繁工况转换和承受

高强度交变载荷, 而储气库建井多为老井利用, 普遍存在固井质量不满足建库要求的情况, 需进行套

收稿日期: 2023-04-21; 修回日期: 2023-07-14 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.06.017

第一作者: 李鑫羽, 男, 汉族, 1997年生, 工程师, 石油与天然气工程专业, 硕士, 从事采油气和井下作业工作, 新疆库尔勒市塔指小区, 958379803@qq.com。

引用格式: 李鑫羽, 周洪云, 王蕾琦, 等. 套管锻铣技术在柯20井储气库建井的应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(6): 129-135.

LI Xinyu, ZHOU Hongyun, WANG Leiqi, et al. Application of casing forging and milling technology in Well Ke-20 for gas storage well construction[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6): 129-135.

管锻铣后重新封堵。目前套管锻铣技术普遍采用机械式切割、锻铣一体化工具,多应用于浅井。在中深—深井应用时,由于锻铣点深、排量不足易导致铣刀不能完全张开,造成锻铣失败,同时锻铣施工参数和钻井液性能一般依靠过往资料、经验来进行选择,时常造成套管抖动、铁屑返出困难等问题,导致锻铣效率低^[1]。本文通过优选和改进锻铣刀具、提升现场施工设备性能等方式,成功解决柯克亚储气库建井柯20井锻铣点深、施工设备排量不足、锻铣刀具不能完全锻铣套管接箍的技术难题,同时通过合理设计锻铣施工参数和钻井液体系提高了锻铣效率。

1 基本概况

柯20井是位于柯克亚凝析气田中的一口中深老井,完钻日期1983年6月20日,目前人工井底3848.97 m,完钻井深4030.72 m,井型为三开直井(见图1、表1)。该井历史生产井段3799.8~3837.0 m,层位 X_7^2 ,累计产气 $1.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、产油 $4.93 \times 10^4 \text{ t}$ 、产水 604 m^3 ,后因 X_7^1 地层水下窜导致出水严重后关井。2022年柯20井所处断块需转换为储气库,需按储气库建库要求对储气层段3831.8~3857.0 m进行封堵作业。

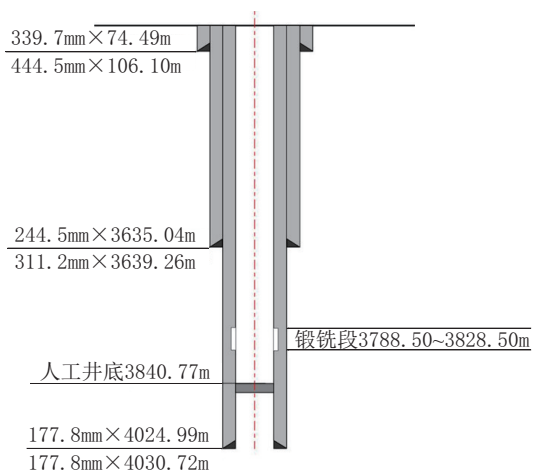


图1 柯20井井身结构

Fig.1 Well structure of Ke-20

2 套管锻铣工艺及技术方案研究

根据井筒目前条件(见表2)及国内外技术现状,单凭挤水泥补救管外固井质量不能达到建库密封要求,根据《气藏型储气库老井封堵技术规范》,储气库上部盖层段固井质量连续优质胶结长度 $<25 \text{ m}$ 且累计优质胶结长度 $<50 \text{ m}$,则需对储气层顶界

表1 柯20井井身结构及参数

Table 1 Well structure and parameters of Ke-20

井眼直径/mm	井深/m	套管尺寸/mm	套管下深/m	钢级	壁厚/mm
444.50	350.65	339.7	0~76.49	J55	9.65
311.15	3639.26	244.5	0~3635.04	P110	11.99
215.90	4030.70	177.8	0~4024.99	P110	11.51

以上盖层段进行套管锻铣,锻铣长度 $<40 \text{ m}$ 。设计初始切割点3788.5 m(需避开套管箍和扶正器^[2]),锻铣井段3788.50~3828.50 m,段长40 m,预留20 m“口袋”。

表2 柯20井固井质量评价(部分)

Table 2 Cementing quality evaluation of Well Ke-20 (in part)

固井井段/m	固井质量	固井井段/m	固井质量
3620.6~3683.1	好	3770.6~3773.3	中
3683.1~3691.4	中	3773.3~3802.9	差
3691.4~3706.4	好	3802.9~3805.8	中
3706.4~3718.4	差	3805.8~3818.9	差
3718.4~3721.6	中	3818.9~3824.1	中
3721.6~3741.1	好	3824.1~3826.5	好
3741.1~3760.3	中	3826.5~3832.8	中
3760.3~3770.6	差	3832.8~3838.8	好

2.1 优选锻铣刀具

对3个厂家所提供的锻铣刀具技术参数进行对比优选(见表3),GRDS刀具刀片最大张开外径最大,但施工时所需排量大、转速高,本次施工设备性能不易满足;YSD刀具刀片最大张开外径和套管接箍外径一致,且所需锻铣排量较高,施工要求和设备性能都不易满足;LKWR刀具所需锻铣排量最小、转速最低,因此选用LKWR刀具进行本井锻铣施工作业。

LKWR刀具结构如图2所示,实物见图3。其工作原理:开泵后,作业液流经喷嘴产生压力降,形成助推力推动活塞上行将锻铣刀片推出,作业完成停泵,压力降消失,活塞依靠弹力和自身重力复位,刀片依靠自身重力或外力收回。

LKWR刀具特点:(1)本体上带有的三组铣刀呈 60° 夹角排列,提高切割和锻铣速度;(2)刀片由定制的碳化钨硬质合金铺焊,增强耐磨性,提高单趟锻

表3 锻铣刀具技术参数对比

Table 3 Comparison of technical parameters of forging and milling tools

厂家	工具 型号	刀片 个数	本体外 径/mm	刀片收拢时 外径/mm	刀片张开最 大外径/mm	切割排量/ (L·s ⁻¹)	锻铣排量/ (L·s ⁻¹)	锻铣最大排 量/(L·s ⁻¹)	钻压/t	转速/(r· min ⁻¹)
GRDS	7寸	6(单支)	144	144	216	11	18	20	1~2	90~120
LKWR	7寸	6(3组)	137.7	146	204	11	15	17	1~3	80~120
YSD	7寸	6(3组)	149	149	200	11	16	20	1~3	80~120



图2 LKWR锻铣工具结构示意图

Fig.2 Structural schematic diagram of LKWR forging and milling tool

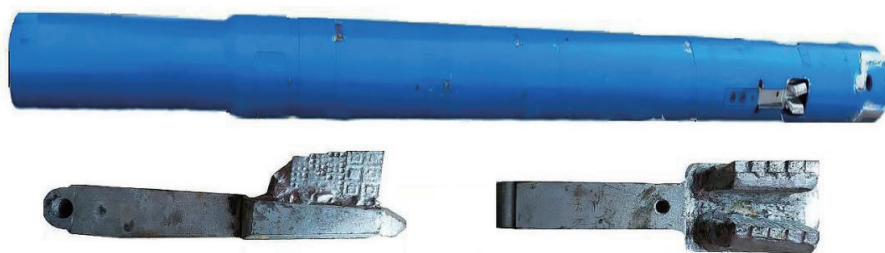


图3 LKWR锻铣工具

Fig.3 LKWR forging and milling tool

铣进尺;(3)采用大活塞为铣刀提供更多液压动力,增强切割和锻铣的稳定性;(4)刀片下配有水眼,能够保持切削结构冷却、清洁;(5)锻铣刀片尖端经锐化处理,在切割套管时,刀片尖端与套管内壁之间呈点接触方式,利于刀片吃入套管;(6)刀片采用方形凹凸面型,锻铣过程中使套管锻铣部位非均匀受力,防止形成细长铁丝,有利于断屑和携屑^[3]。

2.2 锻铣施工参数设计

2.2.1 锻铣速度设计

设计钻具组合:Ø177.8 mm LKWR 套管锻铣器+变扣接头+Ø120.65 mm 钻铤 8 根+变扣接头+Ø84.67 mm 钻杆。根据 LKWR 锻铣刀具技术参数要求,设计锻铣排量 15 L/s,则套管段环空返速为 1.14 m/s,锻铣段环空返速为 0.71 m/s,假设不考虑切割套管时锻铣刀具逐步打开和锻铣套管时井壁受钻井液冲蚀产生的扩径影响,通过式(1)确定理论锻铣速度为 0.51 m/h^[4]。

$$v = Q D_c M_c / [10(D_h^2 - D_p^2)] \quad (1)$$

式中: v ——理论锻铣速度,m/h; Q ——设计锻铣排

量,L/s; D_c ——钻铤外径,cm; M_c ——锻铣段环空 1 L 钻井液所占高度,cm/L; D_h ——套管内径,cm; D_p ——钻杆外径,cm。

2.2.2 铁屑当量直径的确定

铁屑当量直径通过式(2)表示,铁屑当量直径与转盘转速和锻铣速度有关,当锻铣速度一定时,转速与铁屑当量直径呈负相关关系。由于柯 20 井锻铣段固井质量差,不宜选用高转速,而低转速会形成大当量直径的铁屑,不易携带。根据 LKWR 锻铣刀具转速参数要求,折中设计转速 100 r/min,确定返出铁屑当量直径为 0.5 cm。

$$D_T = 1.29099 \times (D_w^2 - D_N^2) v / n \quad (2)$$

式中: D_T ——铁屑当量直径,cm; D_w ——锻铣套管外径,cm; D_N ——锻铣套管内径,cm; n ——转速,r/min。

2.3 钻井液体系

2.3.1 钻井液静切力

钻井液静切力大小关系到其悬浮铁屑的能力,理想状态下停泵时,铁屑保持静止或下沉极缓,根据

地层压力系数设计钻井液密度为 1.3 kg/L, 通过式 (3) 计算钻井液终切力为 53.53 Pa^[5]。

$$\delta = 98.0665 \times (\rho_t - \rho_z) D_T / 6 \quad (3)$$

式中: δ ——钻井液静切力, Pa; ρ_t ——铁屑的密度, 一般取 7.85 kg/L; ρ_z ——钻井液质量密度, kg/L。

2.3.2 流核直径

锻铣作业时, 钻井液在井筒中理想状态为平板型层流, 层流相比紊流能在小排量下有效携带铁屑, 降低钻井液在环空和钻具内的阻力损失, 减少对锻铣段井壁的冲蚀, 避免井壁扩径和塌陷。通过流核直径表征流动剖面的平板化程度, 塑性流体的流核直径越大, 越接近平板型层流, 需调整钻井液参数使流核直径间隙比达到 60%~70%, 有利于井眼清洗。流核直径与动塑比、锻铣段环空上返速度有关, 根据理论计算和试验结果, 优化调整钻井液动切力 30~45 Pa, 塑性粘度 50 mPa·s, 计算流核直径为 1.3~1.58 cm (式 4), 间隙比 60%~73%^[6] (式 5)。

$$d = \tau / \mu (D_N - D_C)^2 / [24v_d + 3\tau / \mu (D_N - D_C)] \quad (4)$$

$$J = 2d / (D_w - D_C) \quad (5)$$

式中: d ——流核直径, cm; v_d ——锻铣段环空返速, m/s; τ ——钻井液动切力, Pa; μ ——塑性粘度, mPa·s; J ——间隙比, %。

2.4 铁屑携带能力的确定

铁屑下沉速度和铁屑当量直径、钻井液密度和塑性粘度相关, 代入式 (6) 计算铁屑下沉速度为 0.31 m/s。铁屑上返速度由式 (7) 计算, 套管段铁屑上返速度为 0.83 m/s, 锻铣段铁屑上返速度为 0.4 m/s。钻井液携带铁屑能力由式 (8) 确定, 正常的铁屑携带能力在 0.4~0.6, 良好的铁屑携带能力应在 0.6 以上, 经计算套管段铁屑的携带能力为 0.73, 锻铣段铁屑的携带能力为 0.56, 经验证设计参数满足要求。

$$v_c = 0.707 D_T (\rho_t - \rho_z)^{2/3} / (\rho_z \mu)^{1/3} \quad (6)$$

$$v_{tf} = v_t - v_c, \quad v_{df} = v_d - v_c \quad (7)$$

$$C_t = v_{tf} / v_t, \quad C_d = v_{df} / v_d \quad (8)$$

式中: v_c ——铁屑下沉速度, m/s; v_{tf} ——套管段铁屑上返速度, m/s; v_{df} ——锻铣段铁屑上返速度, m/s; v_t ——套管段环空返速, m/s; C_t ——套管段铁屑携带能力; C_d ——锻铣段铁屑携带能力。

3 现场施工难点及对策

3.1 施工难点

3.1.1 套管锻铣位置深

锻铣井段 3788.50~3828.50 m, 锻铣深度深, 钻井液循环摩阻大, 所需泵压高、排量大, 且井筒内工作管柱长, 钻压和扭矩传递慢且在传递过程中消耗大。

3.1.2 施工设备泵压和排量不足

现场泥浆泵实际最大泵压 17 MPa、最大排量 13.3 L/s, 不易满足本次锻铣施工要求。泵压和排量不足会造成刀具不能完全打开, 对套管贴壁力不足, 发生套管剥皮现象, 同时可能存在携屑能力不足的问题^[7-8]。

3.1.3 套管钢级、壁厚高

切割和锻铣的 7 寸套管钢级为 P110, 壁厚 11.51 mm, 钢级强度高且套管壁较厚, 所需切割时间长, 易造成钻具疲劳。

3.1.4 锻铣刀具最大张开外径不足

LKWR 刀具现场实测完全张开的状态下最大外径仅有 190 mm, 分析认为刀片限位机构不合理导致刀片张开幅度不够, 使得刀片根部的合金齿不能充分接触套管起到锻铣作用, 并且不能完全锻铣套管接箍 (外径 200 mm), 导致刀片使用效率低、使用寿命短。

3.2 解决对策

3.2.1 施工设备性能优化

采用千型泵车与泥浆泵并联的方式, 增大施工排量和泵压, 确保施工设备实际性能满足锻铣刀具技术参数要求, 提高作业液携屑能力和铣齿的贴壁力和切割力, 确保施工安全和锻铣质量^[9-11]。

3.2.2 钻井液性能调整

分阶段调整钻井液漏斗粘度, 在下钻前采用低漏斗黏度 60~70 s, 有利于在预定深度点顺利开泵; 锻铣过程中提高漏斗粘度至 80~90 s, 保持良好的悬浮性和流变性, 降低铁屑沉降速度同时提高携带能力^[12-14]。施工过程中如遇泵压升高, 可采用混油增加润滑性来降低井下摩擦阻力。

3.2.3 锻铣刀具性能改进

为提高刀具在套管切割和锻铣过程中的使用效率和寿命, 将刀具限位部位进行打磨, 打磨后刀片张开最大外径 204 mm (增大 14 mm), 满足了刀片下端与套管锻铣面充分接触并锻铣套管接箍的需要 (见图 4)。同时对锻铣工具总成结构进行改进, 活

塞推盘改为下推式,改进后,活塞下行推动刀片伸出,活塞不需克服自身重力,作用在刀片的外推力增大,使刀片更易咬合在套管壁上,提高了刀片进行套管切割和锻铣的稳定性(见图5)。



图4 锻铣工具限位器打磨后实物

Fig.4 Image of forging and milling tool

根据参数设计结果控制钻井液参数:初切力15~20 Pa(10 s),终切力45~55 Pa(10 min),动切力30~45 Pa,塑性粘度50 mPa·s,滤失量<5 mL;控制锻铣施工参数:钻压10~25 kN,转盘转速在80~100 r/min,锻铣速度控制在0.3~0.5 m/h,开始锻铣



图5 施工情况及效果分析

Fig.5 Image of the piston of the improved pushdown forging and milling machine

时采用低钻压、低转速,待稳定后适当提高锻铣速度来提升锻铣效率,各施工参数间要匹配,同时根据现场实际情况和返出物情况在取值范围内进行调整^[15-19]。

柯20井锻铣作业共用5趟钻,锻铣总长度40 m,纯锻铣时间122 h。其中套管切割共用2趟钻,第1趟钻失败,第2趟钻切割+锻铣成功,后用3趟钻,锻铣到设计长度。柯20井锻铣作业共用5趟钻,各趟钻详细情况见表4及图6。

表4 柯20井各趟钻锻铣施工情况

Table 4 Construction Conditions of forging and milling for each drilling trip of Well Ke-20

作业阶段	锻铣趟数	井段/m	进尺/m	纯锻铣时间/h	锻铣速度/(m·h ⁻¹)	刀片利用率/%	出屑量/kg	出屑率/%	单趟评价
套管切割	1	3788.5	/	/	/	10	少量	/	不正常
套管切割+锻铣	2	3788.50~3796.74	8.24	21	0.38	50	231.72	65	正常
	3	3796.74~3809.17	12.43	36	0.35	70	333.17	62	正常
套管锻铣	4	3809.17~3809.53	0.36	25	0.01	20	9.4	60	不正常
	5	3809.17~3828.50	19.33	40	0.48	90	592.94	71	正常



(a) 第1趟钻

(b) 第2趟钻

(c) 第3趟钻

(d) 第4趟钻

(e) 第5趟钻

图6 锻铣工具起出后刀片磨损情况

Fig.6 Wear conditions of the blade after the run

第1趟钻在套管切割过程中出口返出铁屑量少,出屑不正常,停转盘后下探钻压无变化、上提无挂卡。起出锻铣器发现前端刀片合金齿、胎体有轻微磨损,后端刀片合金齿均完好。分析认为锻铣位置深,提供泵压不足,钻压、扭矩不能有效传递,导致刀具张开力度不足,铣齿切割出现套管内刮壁情况,未能成功。

第2趟钻开始采用千型泵车与泥浆泵并联施工,返屑率65%,锻铣进尺8.24 m,锻铣速度0.38 m/h,施工过程中停转盘后下放钻压增加,上提管柱遇阻,判断套管切割成功。起出管柱后发现锻铣器3副铣刀底部前部端面及刀翼合金齿均磨损严重,但后部端面位置存在磨损不到的问题。

第3趟钻返屑率62%,锻铣进尺12.43 m,锻铣速度0.35 m/h。起出锻铣器发现3副铣刀相较于第2趟钻磨损程度增加,但后部端面位置依旧存在无法利用问题。

第4趟套管锻铣出现异常,进尺0.36 m后无钻压,出口返出铁屑仅有9.4 kg。起出管柱后发现锻铣工具箱内有铁屑,根据钻压、出口返出铁屑量及起出锻铣器情况判断异常原因为铁屑落入锻铣工具腔内,卡在推盘位置使铣刀不能完全推出,导致探不到窗口位置。

根据前几趟钻出现的异常问题和情况,将铣刀限位舌头进行打磨,并将活塞推盘更改为下推式,同时分阶段调整钻井液漏斗粘度,提高切削和携岩能力。第5趟钻返屑率71%,锻铣进尺19.33 m,锻铣速度0.48 m/h,起出管柱后发现锻铣器3幅锻铣刀片几乎全部磨损。相较于前几趟钻,单趟锻铣进尺、锻铣速度、铁屑的返排率、铣刀利用率分别提高55.5%、26.3%、9.2%、28.6%,成功高效完成了柯20井套管锻铣作业。

4 结论及认识

(1)对于现场设备性能不满足锻铣施工参数要求,可采用泵车配合泥浆泵增大排量,确保铣刀能够有力张开,同时有效携带铁屑。

(2)对于铣刀张开后不能完全锻铣套管节箍,可通过对刀具限位部位进行打磨,使刀片下端面与套管锻铣面充分接触。

(3)对于锻铣套管钢级高、壁厚大的情况,若锻铣刀具为上推式活塞推盘,可改进为下推式,提高刀片张力,更易咬合在套管壁上。

(4)对于锻铣点深度深,钻井液循环摩阻大,可

采用混油增加润滑性和分阶段调整钻井液漏斗粘度降低井下摩阻来控制泵压。

(5)通过理论设计的锻铣施工参数和钻井液体系,并结合现场实际情况进行工具、设备、参数调整优化后,单趟钻锻铣进尺19.33 m,锻铣速度0.48 m/h,返屑率71%,铣刀利用率90%,相较于前几趟钻,各指标分别提高55.5%、26.3%、9.2%、26.3%,有效提高了锻铣作业效率。

参考文献(References):

- [1] 林修阔,刘汪威,陈晓林,等.套管锻铣开窗技术在土耳其贝帕扎里碱矿中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(8):50-56.
LIN Xiukuo, LIU Wangwei, CHEN Xiaolin, et al. Application of casing section-milling technology in Beypazari Trona Mine in Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(8): 50-56.
- [2] 吴墨染,饶开波,董超,等.套管锻铣工艺在大港油田的应用[J].长江大学学报(自然科学版),2014,11(32):70-72,4.
WU Moran, RAO Kaibo, DONG Chao, et al. Application of casing section milling technology in Dagang Oilfield [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2014, 11(32): 70-72, 4.
- [3] 黄兵,苗娟,王平安,等.高性能套管锻铣工具在威阳89井应用[J].西部探矿工程,2021,33(2):35-38.
HUANG Bing, MIAO Juan, WANG Ping'an, et al. Application of high performance casing section milling tool in the Well Weiyang 89[J]. West-China Exploration Engineering, 2021, 33(2): 35-38.
- [4] 张传凤.金坛盐井套管锻铣关键技术研究与应用[J].地质学刊,2019,43(4):696-700.
ZHANG Chuanfeng. Research and application of casing section milling technology in Jintan salt well [J]. Journal of Geology, 2019, 43(4): 696-700.
- [5] 张亚明,高振涛,李军,等.苏桥储气库SU7井深井小井眼套管段铣技术[J].石油钻探技术,2017,45(3):38-41.
ZHANG Yaming, GAO Zhenhao, LI Jun, et al. Casing section milling technology in deep and small hole of well SU7 in Suqiao Gas Storage[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(3): 38-41.
- [6] 陈天成,李岱林.井下不同钢级套管段铣技术[J].西部探矿工程,2001(05):47-49.
CHEN Tiancheng, LI Dailin. Milling technology of casing section with different steel grades [J]. West-China Exploration Engineering, 2001(5): 47-49.
- [7] 冯志明,王秀亭.南1-斜1井套管锻铣技术[J].石油钻探技术,1997(2):22-24,61-62.
FENG Zhiming, WANG Xiuting. Casing forging and milling technology of Nan 1 Xie 1 well [J]. Petroleum Drilling Techniques, 1997(2): 22-24, 61-62.
- [8] 于修宏,王振光,许岱文,等.通61-侧123井套管开窗侧钻技术

- [J]. 石油钻探技术, 1997(3):15-18, 28.
- YU Xiuhong, WANG Zhengguang, XU Daiwen, et al. Casing window sidetracking technology in Well Tong 61-side 123[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1997(3):15-18, 28.
- [9] 韦孝忠. 浅谈苏里格气田老井开窗侧钻水平井技术[J]. 钻采工艺, 2016, 39(1):23-25+7.
- WEI Xiaozhong. Brief talk on sidetrack horizontal well technology in Sulige Gas Field old wells[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(1):23-25, 7.
- [10] 张燕萍, 王金宏, 李峰, 等. 一种连续管开窗技术实践[J]. 钻采工艺, 2019, 42(4):124-126.
- ZHANG Yanping, WANG Jinhong, LI Feng, et al. A practice of coil tubing window cutting technology[J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(4):124-126.
- [11] 王占领, 陈立强, 吴占民, 等. 渤海油田油气井侧钻设计方法优化分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(2):36-41, 48.
- WANG Zhanling, CHEN Liqiang, WU Zhanmin, et al. Optimization design method for sidetracking wells in Bohai Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2):36-41, 48.
- [12] 杨凤春, 许军富. 套管锻铣技术[J]. 油气田地面工程, 2004(4):61.
- YANG Fengchun, XU Junfu. Casing section milling technology[J]. Oil-gasfield Surface Engineering, 2004(4):61.
- [13] 董来明, 李根奎, 袁小明, 等. S114-2cx 深井套管开窗侧钻作业难点及所采取的主要技术措施[J]. 中国海上油气, 2010, 22(6):403-405.
- DONG Lai ming, LI Gen kui, YUAN Xiao ming, et al. Casing sidetracking operation problems and main technique measures for S114-2cx deep well[J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6):403-405.
- [14] 刘仕银, 王龙, 毛鑫, 等. 塔河油田6区小井眼侧钻短半径水平井钻井技术探讨[J]. 钻采工艺, 2013, 36(3):21-23, 5.
- LIU Shiyin, WANG Long, MAO Xin, et al. Drilling technologies of sidetracking short radius horizontal well in No.6 block of Tahe Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2013, 36(3):21-23, 5.
- [15] 龚建凯. 连续管开窗工艺技术在辽河油田侧钻井中的应用[J]. 钻采工艺, 2020, 43(4):121-124.
- GONG Jiankai. Application of coiled tubing sidetracking technology in Liaohe Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(4):121-124.
- [16] 管申, 刘贤玉, 赵宝祥, 等. 北部湾盆地大尺寸隔水导管开窗再利用技术[J]. 钻采工艺, 2021, 44(5):22-25.
- GUAN Shen, LIU Xianyu, ZHAO Baoxiang, et al. Window opening and reuse technology of large-scale riser in Beibu Gulf Basin[J]. Drilling & Production Technology, 2021, 44(5):22-25.
- [17] 谭现锋, 张强, 赵长亮, 等. 侧钻绕障技术在干热岩 HDR-1 井中的应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(3):83-91.
- TAN Xianfeng, ZHANG Qiang, ZHAO Changliang, et al. Application of sidetracking to obstacle bypassing in hot dry rock Well HDR-1[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3):83-91.
- [18] 贾雍, 和鹏飞, 袁则名, 等. 海上某气田悬空侧钻水平分支井技术及应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(4):104-109.
- JIA Yong, HE Pengfei, YUAN Zeming, et al. Application of horizontal branch wells in an offshore gas field[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(4):104-109.
- [19] 贾生来. 地浸采铀开窗式切割钻孔施工技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1):371-374.
- JIA Shenglai. Construction technology of window cutting drilling for leaching uranium mining[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):371-374.

(编辑 王文)