

裸眼侧钻技术在川马页1井的应用实践

程悦瀚¹, 张统得¹, 赵瞻², 樊腊生¹, 钱锋¹

(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川成都 611734; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610218)

摘要:川马页1井为部署在四川省马边地区的一口页岩气参数井,该井在钻进至3437.58 m时出现井内复杂,在第一阶段处理无果后对其进行了注水泥封井。针对川马页1井的复杂情况,提出了三开裸眼段侧钻方案。在分析了近钻头位置侧向力影响因素的基础上,结合实际情况优选了侧钻点、侧钻方式和侧钻钻具组合,确定了侧钻技术措施。经过2次侧钻施工,克服了邻井资料缺乏、侧钻深度大、地层复杂易垮塌、侧钻井段井温高、地层强度高、原井眼井斜小、侧钻方位限制等施工难点,最终侧钻出新井眼并钻达预定井深。为该地区后续钻井施工与复杂处理提供了借鉴。

关键词:页岩气参数井;裸眼侧钻;侧向力;钻头选型;硬地层;钻井复杂

中图分类号:P634.7;TE243 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2024)05-0122-08

Application of open hole sidetracking technology in Well Chuanmaye 1

CHENG Yuehan¹, ZHANG Tongde¹, ZHAO Zhan², FAN Lasheng¹, QIAN Feng¹

(1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China;

2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu Sichuan 610218, China)

Abstract: Well Chuanmaye 1 is a shale gas parameter well deployed in Mabian, Sichuan. When drilling to 3437.58m, there were drilling complexes and sealed with cement after the first stage of treatment was unsuccessful. This article proposes a three hole open hole section sidetracking technology scheme for the complex situation of Well Chuanmaye 1. Based on the analysis of the factors affecting the sidetracking force near the drill bit position, combined with the actual situation, the sidetracking point, sidetracking method, and sidetracking tool combination were optimized, and the sidetracking technical measures were determined. After two rounds of sidetracking construction, the construction difficulties such as lack of adjacent well data, large sidetracking depth, complex formation prone to collapse, high temperature and formation strength in the sidetracking section, small inclination of the original wellbore, and limited sidetracking direction were overcome. Finally, a new wellbore was drilled and reached the predetermined depth. Provided reference for subsequent drilling construction and complex treatment in the region.

Key words: shale gas parameter well; open hole sidetracking; sidetracking force; drill bit selection; hard formation; drilling complex

0 引言

为贯彻落实党中央、国务院关于新一轮找矿突破战略行动的重要指示精神,保障国家能源资源安全,加快推进川西南—滇东北油气资源基地建设,中国地质调查局2023年度在四川省马边地区部署

了一口页岩气参数井——川马页1井,该井构造属四川盆地西南缘五指山构造带西翼,主要目的为获取美姑—五指山油气退出区块新层系三叠系须家河组页岩气地腹地质评价参数,兼顾雷口坡组三段碳酸盐岩储层,力争获得页岩气、常规气发现,为评

收稿日期:2024-07-18 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.05.015

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“四川盆地及周缘页岩气地质调查与评价(探矿工艺研究所)”(编号:DD20230320)

第一作者:程悦瀚,男,汉族,1995年生,助理工程师,石油与天然气工程专业,硕士,从事深部钻探技术工作,四川省成都市郫都区成都现代工业港(北区)港华路139号,cyuehan@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:程悦瀚,张统得,赵瞻,等.裸眼侧钻技术在川马页1井的应用实践[J].钻探工程,2024,51(5):122-129.

CHENG Yuehan, ZHANG Tongde, ZHAO Zhan, et al. Application of open hole sidetracking technology in Well Chuanmaye 1[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(5):122-129.

价新层系页岩气及常规油气资源前景、矿业权二次出让提供依据,支撑新一轮找矿突破战略行动^[1-3]。

川马页1井设计井型为直井,设计井深3400.00 m(其中目的层取心不少于60 m),完钻口径 $\phi 215.9$ mm。在实钻过程中因地层厚度及埋深发生变化,经地质论证需要加深钻进至3635.00 m。在开展目的层取心钻进至井深3437.58 m时发生井壁失稳,出现垮塌、掉块等现象,后续在3350.00~3437.58 m井段通井、划眼处理过程中发生多次卡钻、憋泵等复杂情况,尽管采取了优化钻具组合、调整钻井液性能、改进钻进工艺等多项技术措施,始终难以通过复杂井段。

1 川马页1井钻井复杂分析

川马页1井设计井身结构如图1所示。

分析发生井内复杂情况的主要原因有以下几个方面:

(1)三开井段层位主要为侏罗系自流井组、珍

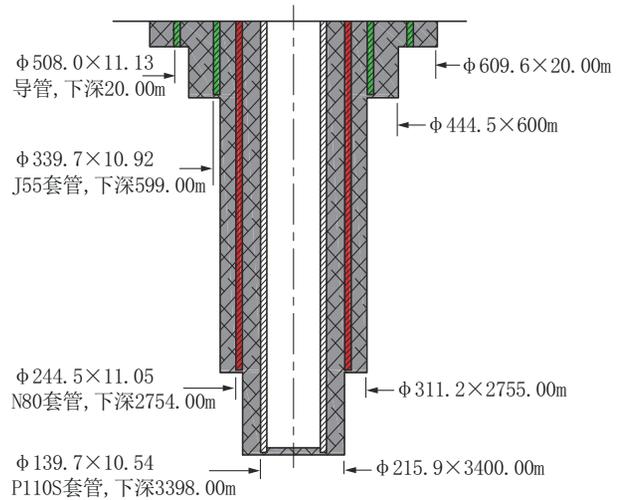


图1 设计井身结构示意图

Fig.1 Design wellbore structure

珠冲组和三叠系须家河组、垮洪洞组(如表1所示),尤其是须家河组和垮洪洞组岩性为强水敏性泥岩,微裂隙发育,极易发生剥落掉块。

表1 三开钻遇地层

Table 1 Encountering strata during three drilling operations

地层情况		实钻数据			岩性		
系	统	组	段	顶深/m		底深/m	钻厚/m
侏罗系		自流井组		2654	2816	162	暗紫红色泥岩,底部为灰色细粒石英砂岩
		珍珠冲组		2816	2871	55	紫红色泥岩为主,夹同色砂质泥岩及粉砂岩,底部为浅灰绿色砂岩
三叠系	上统	须家河组	六一五段	2871	3092	221	灰、深灰色泥岩为主,夹灰色粉砂岩、细砂岩及煤线、煤层。泥岩中植物化石丰富
			四段	3092	3234	142	灰色厚层状细一中粒岩屑砂岩为主,局部夹泥砾;中部夹灰色泥岩
		一段	三段	3234	3294	60	中上部为灰色细一中粒砂岩夹泥岩,下部为深灰—灰黑色泥岩
			二段	3294	3356	62	浅灰色细一中粒岩屑砂岩为主,下部夹灰黑、深灰色泥岩
			一段	3356	3413	57	灰黑色泥岩夹薄层状粉—细砂岩、薄煤层;与下伏地层为假整合接触
		垮洪洞组		3413	3437	23	浅灰色泥质灰岩、深灰色钙质泥岩,底部为灰色白云质泥岩

(2)钻井液体系为钾钙基聚合物体系,该体系对须家河组水敏性泥岩的抑制性存在不足,同时在钻井中为了尽可能保证气测显示,需要控制钻井液密度,致使钻井液液柱压力对井壁的正向支撑不足,导致井壁失稳。

(3)进入目的层后需要在不同层位开展取心作业,频繁的起下钻更换钻具组合,对井壁形成多次

抽吸或压力激动,加剧了不稳定地层的失稳。

因此,为了确保下部井段的顺利施工,同时临近春节,经与地质方面讨论研究对二开技术套管以下裸眼井段进行注水泥暂封闭井,其中对井眼底部150 m及套管鞋底部220 m注入水泥塞进行封固,两段水泥塞中间注入高密度封闭浆,暂封闭井示意图见图2所示。

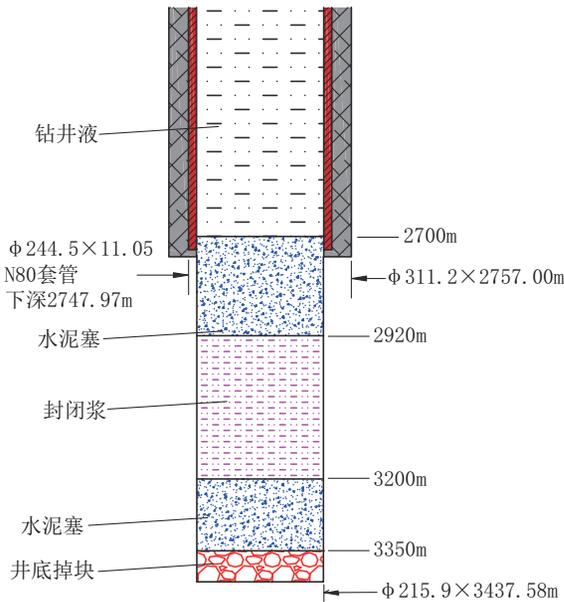


图2 暂闭封井示意

Fig.2 Temporary closure of the well

2 复杂井段施工方案对比分析

为了钻至目标层位,实现地质目标,在暂闭封井后对于下步施工主要有两种方案:

第一种方案是利用暂闭封井时水泥浆对井底复杂井段实现的加固作用,沿原井眼扫水泥塞,协同采取钻井液或其它工艺措施恢复正常钻进后再钻进至目标井深。该方案的优势是可以充分利用原井眼进尺,后续钻探工作量较少,仅剩余不到200m。但底部复杂地层仍然存在井壁失稳风险,虽然采用了注水泥浆加固井壁,但由于井底掉块较多,水泥未完全封固易垮塌层段,钻探施工风险仍然较高,处理时间和成本较高。

第二种方案是从技术套管鞋底部直接侧钻出新井眼,汲取原井眼复杂井段施工经验教训,进一步优化相关技术工艺措施,钻至目标井深(如图3所示)。该方案的优势是侧钻后不用处理下部复杂井段掉块,充分利用原井眼钻井地质和工程资料作为参考,采用全面钻进,迅速通过复杂井段。但同时也存在重复工作量多、侧钻点“狗腿”度较大、对后期下套管可能存在影响等不利因素。

因此,根据以上两种方案对比分析,综合考虑保障地质目标、施工风险、施工时间以及成本等多种因素,决定采用第二种裸眼侧钻方案,该方案虽然重复工作量较多,但有了前期原井眼的施工经验

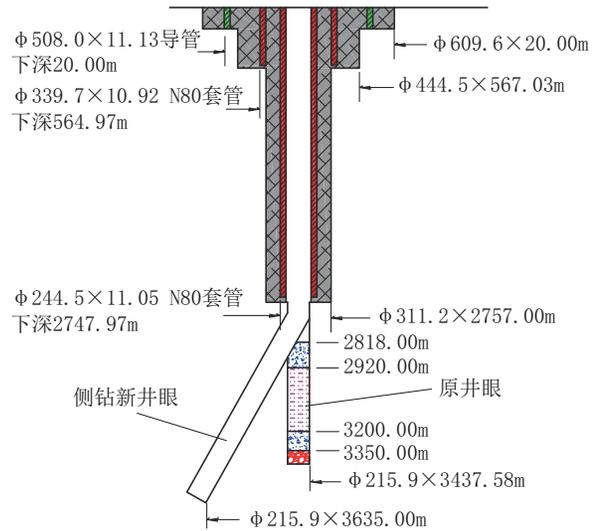


图3 川马页1井实钻井身结构及侧钻施工示意

Fig.3 Actual drilling body structure and sidetracking construction of Well Chuanmaye 1

教训,可以充分做好相关技术预案,优化钻进工艺,对于完成整个钻井的风险相对较小,保障实现地质目的。

3 侧钻难点分析

3.1 无邻井资料

川马页1井为部署在马边地区的第一口页岩气勘探井,周边无实钻工程资料,对于钻头选型、钻具组合、钻井液体系、钻井液密度、井身结构设计等方面都没有可供参考的资料,对于侧钻施工更是没有可借鉴的技术经验。

3.2 侧钻深度大

由于复杂发生在三开钻进下部井段,为尽量减少报废进尺,降低经济成本,选择侧钻点在三开裸眼段,侧钻点位置深,钻压、扭矩传递困难。同时由于深度大也增加了施工风险。

3.3 地层复杂

(1)根据返出岩屑与取心显示三开井段岩性以泥岩为主,水敏性强,呈脆性,极易发生井壁失稳甚至垮塌形成新的复杂情况。(2)根据侧钻前下钻扫塞显示,出二开套管鞋后扫塞至2765.00m时钻具上提下放遇阻,振动筛返出大量掉块(如图4所示)。判断此处是由于侏罗系泥岩剥落掉块形成超径,岩屑在规则井径处形成砂桥致使上提下放遇阻,为后续侧钻施工带来很大风险。



图4 井深2765.00 m处振动筛返出的掉块

Fig.4 The blocks of vibrating screen returned from 2765.00m depth

3.4 侧钻井段井温高

根据测井资料显示,侧钻井段的地层温度接近90°,较高的地层温度使钻井液性能加速老化,性能参数难以保持,同时对螺杆钻具和随钻测量工具的抗高温性能均提出了更高的要求。

3.5 地层强度较高

侧钻井段主要为泥岩及砂岩互层,部分砂岩较为致密,石英含量和地层强度较高,而水泥相对地层来说强度较低,两者可钻性差距大,侧钻过程中钻头容易沿原井眼滑行,新老井眼难以分离。

3.6 原井眼井斜小

原井眼在钻井过程中井斜质量控制较好,侧钻段最大井斜角仅为0.65°。在侧钻过程中导致钻具对井壁的重力分量较小,钻头对井壁产生的侧向切削不够,增加了侧钻难度。

3.7 侧钻方位限制

根据地质提示,工作区内主要发育4条断裂,以近南北向和北西向为主,其中距井位以北约500 m处为北东方向的靛兰坝断层,因此从保护油气藏和后期的地层含气性测试角度出发,侧钻方位应尽可能远离断裂,要求侧钻方位控制在200°左右。

4 侧钻施工技术

4.1 侧钻点选择

按照侧钻点要选择稳定、可钻性好的地层,避开断层和软硬交错的井段;同时该处固井质量要好,通常水泥塞的强度用正常钻压钻进不放空的原则^[4-5]。综合分析,选择在井深2778.00 m开始进行侧钻,磁性工具面角选择200°。从前期该井段的机械钻速及岩性来看,该处位于自流井组,下部岩性主要为灰红色泥岩、细砂岩等,地层较软,钻速较高,地层稳定,适宜于进行侧钻施工。侧钻井段地层情况如表2所示。

表2 侧钻段地层情况

Table 2 Formation conditions of the sidetracking section

井深/m	地 层 情 况			
	岩 性	岩 屑 描 述	组	
2778~2780	灰红色泥岩	岩屑多呈碎片状,少量碎粒状,性脆,可塑性差	自流井组	
2781~2784	灰绿色细砂岩	泥质胶结,较疏松,成分以石英为主,少量暗色矿物和云母片,细粒结构,分选性一般,多为次圆状,少量次棱角状,岩屑以碎粒为主,少量片状		
2785~2804	灰红色泥岩	岩屑多呈碎片状,少量碎粒状,性脆,可塑性差		
2805~2812	灰色粉砂岩	性硬,硅质胶结,粉粒结构,岩屑多呈碎粒状,少量片状		
2813~2816	紫红色泥岩	岩屑多呈碎片状,少量碎粒状,性脆,可塑性差		
2817~2818	灰色细砂岩	泥质胶结,较疏松,成分以石英为主,少量云母片,细粒结构,分选性一般,多为棱角状,少量次圆状,岩屑以碎粒为主,少量片状		
2819~2823	暗紫红色泥岩	岩屑多呈碎片状,少量碎粒状,性脆,可塑性差		珍珠冲组

4.2 侧钻工具选择

4.2.1 钻头优选

考虑此段以泥岩为主,易垮塌,首先考虑快速通过减少起下钻频次,防止钻具扰动致使井壁失稳,因此首选五刀翼双排齿的PDC钻头,配备大尺

寸喷嘴,减少了水眼处的射流冲击力,避免对侧钻窗口井壁过度冲刷。而在侧钻过程中,在同等侧向力的情况下,钻头冠部轮廓至关重要。一般内锥角越大、冠部长度越短,钻头侧向切削能力越强,越有利于钻头侧切造斜。主要是因为这样的冠部轮廓

会降低钻头受到的地层侧向约束力,使钻头前进方向更容易改变,钻头侧向切削能力得到加强^[6-8]。

备选牙轮钻头,造斜率高。

4.2.2 螺杆钻具选择

选用螺杆时考虑到螺杆钻具与侧钻段环空间隙小和螺杆钻具弯角大等特征,要使下部螺杆钻具组合在侧钻段内安全通过,应满足下列条件:

(1)强度条件:下部螺杆钻具的工作应力小于许用应力,不发生断裂破坏。

(2)力学平衡条件:下部螺杆钻具自重足以克服摩擦阻力。摩擦阻力计算公式为:

$$F_f = \mu \sum F_i \quad (1)$$

式中: F_f ——摩擦阻力; μ ——摩擦因数; F_i ——下部螺杆钻具与侧钻接触点处的接触力。

(3)几何条件:下部螺杆钻具组合的弯曲变形应小于许用变形值,确保能够正常工作。

在螺杆弯角选择过程中,弯螺杆钻具的造斜率应比井身设计造斜率高10%~20%,以便能够解决侧钻过程中可能出现的造斜率不足等问题,但同时如果选择弯度过大的螺杆钻具造斜率偏高,“狗腿”度偏大,为后期起下钻、下套管等带来很大的施工风险^[9-10]。

在施工过程中对比两种不同型号的螺杆钻具理论造斜率与螺杆弯角的关系曲线见图5,综合考虑施工风险和成本、侧钻成功率、井眼轨迹等因素。优选7LZ172×7.0型弯角为1.5°的单弯螺杆钻具。具体参数见表3。

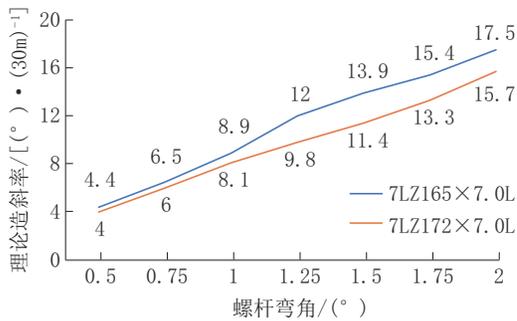


图5 螺杆理论造斜率与螺杆弯角关系曲线

Fig.5 The relationship curve between the theory slope and the bending angle of the screw

4.2.3 钻具选择

应简化钻具组合,减少钻具与井壁的接触面积,降低摩擦,提高钻压、扭矩的传递效率,减少钻

表3 7LZ172×7.0型螺杆钻具主要性能参数

Table 3 Main performance parameters of 7LZ172×7.0 screw drilling tool

性能	参数
推荐流量/(L·s ⁻¹)	22~36
钻头转速/(r·min ⁻¹)	83~136
马达头数	7:8
马达级数	5
马达压降/MPa	4.0
工作扭矩/(N·m)	7388
制动扭矩/(N·m)	10454

铤使用数量,以加重钻杆代替钻铤,且加重钻杆避开侧钻点位置。

优选的钻具组合为:Ø215.9 mm PDC 钻头+7LZ172×7.0 螺杆(1.5°)+止回阀+定向接头+Ø172 mm 无磁钻铤+Ø127 mm 加重钻杆×3根+Ø127 mm 钻杆串。

4.3 侧钻钻具组合力学分析

侧钻时钻头对井壁进行不对称切削,所需力的大小由侧钻工具的几何因素(提供侧向位移)、力学因素(提供侧向力)、姿态及工具面决定。为了分析井壁受力的影响因素,根据研究内容,忽略次要因素并做以下假设:(1)钻头、螺杆、无磁钻铤刚度相同,在滑动钻进过程中不发生形变;(2)忽略PDC或牙轮钻头在破岩时所受的反扭矩作用及钻井液对侧钻工具的浮力作用;(3)假设工具的状态为滑动钻进,不考虑振动对钻头引起的其他力作用。对井底侧钻工具建立力学模型见图6。

对图6所示的侧钻工具弯点在Y、X方向的受力进行分析。

Y方向受力为:

$$P \sin(\varphi - \alpha) - T \cos \alpha + N \cos \alpha + F \sin \alpha - G = 0 \quad (2)$$

X方向受力为:

$$P \cos(\varphi - \alpha) - T \sin \alpha + N \sin \alpha + F \cos \alpha = 0 \quad (3)$$

式中: P ——钻头对井底施加的正压力,kN; φ ——螺杆的弯角,(°); α ——当前的井斜角,(°); T ——井壁所受的力(侧向切削力),kN; N ——螺杆弯点处井壁的支撑力,kN; F ——弯点以上第一个切点的摩擦力,kN; G ——螺杆重力,kN^[11-14]。

对于川马页1,井由于上部井段井斜角较小,接

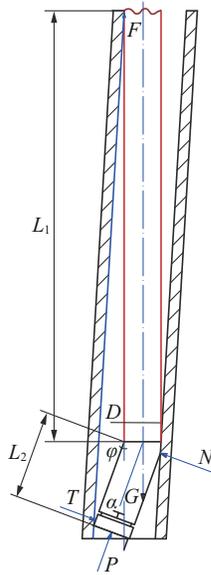


图6 侧钻工具力学模型

Fig.6 Mechanical model of sidetracking tool

近于0°。井斜角 α 取0°,此时钻具处于垂直状态,根据受力平衡在X方向上 $T = P \sin \varphi$ 即井壁受力随弯角的增大而增大。工具面角在0~360°范围内侧向力相同,几何因素占主导。在钻进过程中取钻压 $P = 20 \sim 30$ kN,计算得出侧向力 $T = 0.52 \sim 0.78$ kN。因此,从钻具组合力学分析来看,井壁所受的侧向切削力较小,侧钻难度也较大,对钻头的选型要求高。

4.4 钻井液类型

侧钻施工要求钻井液要具有良好的润滑性能,确保钻具不粘附,同时还要保证侧钻过程中能够使岩屑及时返出、钻压及扭矩传递平稳,要求钻井液具备良好的携岩性、润滑性及抗高温性等特点^[15-16]。本次采用的钻井液类型为聚合物防塌钻井液体系。漏斗粘度50~74 s,密度1.34~1.38 g/cm³,滤失量3.8 mL/30 min,pH值9~10。

4.5 侧钻施工

4.5.1 第一回次侧钻施工

采用控时定向钻进,当钻头接近侧钻点2778.00 m时,摆好工具面后,继续下钻接触水泥塞顶后,静置循环一段时间并在井底造台阶,然后开始控制钻时滑动定向钻进,根据返砂情况判断是否进入地层。

钻进参数:钻压20~30 kN,泵压14 MPa,泵排量29~32 L/s,工具面控制在200°,机械钻速控制在

0.25 m/h左右。

侧钻效果:第一回次侧钻采用控时定向钻进至2798.50 m,总段长20.50 m,纯钻时间79.16 h,机械钻速0.24 m/h。返出岩屑显示大部分为水泥屑,依然是在原井眼,侧钻效果不理想。第一次侧钻施工数据见表4。

表4 第一回次侧钻施工数据

Table 4 First sidetracking construction data

井深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	机械钻速/(m·h ⁻¹)
2782.00	0.47	19.03	0.20
2787.00	0.32	10.39	0.25
2792.00	0.51	54.10	0.32
2797.00	0.66	38.25	0.31

原因分析:(1)水泥塞与地层强度差异较大。虽然侧钻前采用静压100 kN钻具不下行测试水泥强度满足侧钻要求,但相比地层强度仍然不足;同时由于原井眼垂直度高,螺杆侧向力较小,导致钻头始终难以进入地层;(2)钻头攻击性较弱。本回次采用的是五刀翼双排齿的PDC钻头(如图7),在钻头外圈增加了侧向齿,但侧向齿与地层的适应性较弱,在较低侧向力的条件下,难以发挥侧向齿的切削能力,进而侧钻失败。



图7 第一回次侧钻使用的PDC钻头

Fig.7 The PDC drill bit used for the first round sidetracking

4.5.2 第二回次侧钻施工

为了确保侧钻效果,改善钻头的侧向切削能力,在第二回次侧钻施工时将PDC钻头更换为牙轮钻头(HJT537GK型),见图8所示,充分利用牙轮钻

头在自转和公转工作中产生的冲击压碎作用和滑动剪切作用,提高侧向切削能力^[17-18]。第二回次侧钻施工在 2798.50~2812.00 m 依然控制机械钻速 0.25 m/h 左右,从 2812.00 m 开始控制机械钻速 1 m/h 左右。其余钻进参数保持不变。本回次侧钻的牙轮钻头适用于有较硬研磨性夹层的中软地层,偏顶勺形内排齿,楔形外排齿。



图8 第二回次侧钻使用的牙轮钻头

Fig.8 The roller bit used for the second round of sidetracking

钻具组合为: $\Phi 215.9$ mm 牙轮钻头+7LZ172 \times 7.0型螺杆(1.5°)+止回阀+定向接头+ $\Phi 172$ mm 无磁钻铤+ $\Phi 127$ mm 加重钻杆 \times 3根+ $\Phi 127$ mm 钻杆串。

侧钻效果:第二回次侧钻控时钻进至 2813.50 m 开始侧钻出新井眼,振动筛返出地层岩屑含量接近 35%,后返出地层岩屑含量不断增加。钻至 2818.00 m 完全进入地层,地层岩屑含量 90% 以上,侧钻成功。为巩固侧钻效果,新老井眼保持适当距离,逐步增大钻压继续进行定向钻进至 2824.50 m,为了避免侧钻井段“狗腿”度过大,起钻更换常规钻具进行复合钻进。本回次侧钻总段长 26.00 m,纯钻时间 82.00 h,平均机械钻速 0.31 m/h。

两回次侧钻总段长 46.50 m,总纯钻时间 161 h,平均机械钻速 0.29 m/h。新井眼形成后继续保持侧钻轨迹钻进至 3635.00 m 后完钻。原井眼与侧钻后井眼数据对比见表 5。

5 经验总结与认识

在钻井施工中,侧钻作为一种常用手段但又复

表5 川马页1井侧钻段新老井眼对比

Table 5 Comparison of new and old boreholes in the sidetracking section of Well Chuanmaye 1

测深/m	井斜(老眼)/(°)	井斜(新眼)/(°)	差值/(°)
2813	0.29	0.42	0.13
2814	0.28	0.44	0.16
2815	0.29	0.53	0.24
2816	0.35	0.61	0.26
2817	0.37	0.68	0.31
2818	0.37	0.71	0.34
2819	0.37	0.77	0.40
2820	0.38	0.83	0.45
2821	0.32	0.85	0.53
2822	0.41	1.02	0.61
2823	0.41	1.06	0.65
2824	0.32	1.08	0.76

杂的钻井工艺技术,需要考虑的因素众多。通过川马页1井的侧钻成功案例,为川西南地区油气资源调查复杂地层钻进侧钻施工提供了经验。

(1)在经济性方面,利用裸眼侧钻技术,可以及时避开钻井过程中严重的井内复杂情况,与继续处理井内复杂相比,减少了人、财、物力的消耗,争取了时间,保证了工期。具有良好的经济效益和社会效益。

(2)侧钻前准备:①侧钻点的选择非常重要,要对原井眼轨迹数据和侧钻井眼轨迹设计数据进行分析,根据采用的侧钻工艺选择利于侧钻的井段。同时也要考虑地质因素,确保侧钻段地层稳定。在此基础上还要兼顾尽量减少报废井段。②水泥塞的质量是保证侧钻成功的前提,若水泥塞太软,将不足以支撑钻头产生侧向位移脱离老井眼。③在保证侧向力的情况下,钻具组合尽量简化,提升钻效,在水泥塞强度与地层强度相差较大的情况下宜采用牙轮钻头。④钻井液性能对侧钻效果影响显著,尤其是固相含量和钻井液密度很大时会导致钻头破岩效率和侧向切削能力降低。

(3)在施工过程中要严格控制各项钻井参数与钻时,一般钻压 20~30 kN、排量 29~32 L/s,以保证钻头在井壁上造出台阶。同时还要加强井斜、方位监测,并注意观察返出钻屑情况。

(4)侧钻效果判断:在侧钻过程中一般通过砂样来判断是否侧钻成功,若地层岩屑达到 80% 以

上,说明侧钻成功。但在复杂地层进行侧钻施工时,侧钻成功与否的判断还需综合考虑测斜数据、钻井参数等信息。

参考文献(References):

- [1] 樊腊生,刘伟,张统得,等.四川沐川大口径地质调查井(川沐地2井)钻探施工技术[J].钻探工程,2021,48(12):43-53.
FAN Lasheng, LIU Wei, ZHANG Tongde, et al. Drilling of a large diameter geological survey well (Well Chuanmudi-2) in Muchuan County of Sichuan Province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12):43-53.
- [2] 张统得,李正前,蒋炳,等.塔里木盆地油气地质调查新乌地1井钻探工艺技术[J].中国地质调查,2019,6(4):58-63.
ZHANG Tongde, LI Zhengqian, JIANG Bing, et al. Drilling technology of Well Xinwudi 1 in oil and gas geological survey of Tarim Basin [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(4):58-63.
- [3] 李前贵,樊腊生,吴金生,等.套管开窗侧钻技术在汶川地震断裂带科学钻探项目中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):133-138.
LI Qiangui, FAN Lasheng, WU Jinsheng, et al. Application of casing sidetracking drilling technology in Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9):133-138.
- [4] 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.
- [5] 闫光庆,刘匡晓,郭瑞昌,等.元坝272H井超深硬地层侧钻技术[J].石油钻探技术,2013,41(1):113-117.
YAN Guangqing, LIU Kuangxiao, GUO Ruichang, et al. Ultra-deep sidetracking in Well Yuanba 272H[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(1):113-117.
- [6] 李乾,秦丙林,王家航,等.裸眼悬空侧钻技术在东海XX低渗气田的实践分析[J].石油地质与工程,2021,35(4):75-81.
LI Qian, QIN Binglin, WANG Jiahang, et al. Practice analysis of open hole suspended sidetracking technology in XX low permeability gas field in East China Sea [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2021, 35(4):75-81.
- [7] 杜雪雷,韩东东,李大伟,等.渤海油田欠尺寸钻头悬空侧钻技术应用[J].海洋石油,2022,42(1):86-89,116.
DU Xuelei, HAN Dongdong, LI Dawei, et al. Application of suspended sidetracking technology with under sized bit in Bohai Oilfield [J]. Offshore Oil, 2022, 42(1):86-89, 116.
- [8] 盖京明,李玮,刘刚军,等.定向双齿结构对PDC钻头破岩效率及侧向力的影响[J].特种油气藏,2023,30(5):158-165.
GAI Jingming, LI Wei, LIU Gangjun, et al. Effect of directional double-tooth structure on rock-breaking efficiency and lateral force of PDC drill bit [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2023, 30(5):158-165.
- [9] 张蒙.工厂化钻井模式下的BHA侧向力理论分析与应用研究[D].西安:西安石油大学,2018.
ZHANG Meng. Theoretical analysis and application research of BHA lateral force in factory drilling mode [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2018.
- [10] 程红文,朱恒银,刘兵.南岭科学钻探NLS-1孔防斜及纠斜技术[J].钻探工程,2022,49(3):109-117.
CHENG Hongwen, ZHU Hengyin, LIU Bing. Deviation prevention and correction technology for NLS-1 hole of Nanling Scientific Drilling [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(3):109-117.
- [11] 王恒.裸眼侧钻关键技术的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):26-29.
WANG Heng. Research on key technology of sidetracking in open hole and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(10):26-29.
- [12] 马鸿彦,孔凡刚,杨金生,等.超深超高温潜山气井AT-6X井小井眼侧钻技术[J].石油钻采工艺,2020,42(2):143-149.
MA Hongyan, KONG Fangang, YANG Jinsheng, et al. Slim-hole sidetracking techniques used in Well AT-6X, a gas well in the ultradeep and ultrahigh temperature buried hill [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2020, 42(2):143-149.
- [13] 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.
- [14] 于占森.鄂北气田小井眼钻完井关键技术研究及应用[J].钻探工程,2023,50(6):136-144.
YU Zhanmiao. Research and application of drilling and completion technologies for slim-holes in North Ordos Gas Field [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6):136-144.
- [15] 翟育峰,赵辉,王鲁朝,等.湘南3000m科学深钻孔内事故处理及对策[J].钻探工程,2023,50(4):32-40.
ZHAI Yufeng, ZHAO Hui, WANG Luzhao, et al. Down-hole incident treatment and prevention for the 3000m scientific deep borehole in southern Hunan [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(4):32-40.
- [16] 闫家,刘蓓,曹龙龙,等.下扬子地区页岩气地质调查皖望地3井钻井设计与施工技术[J].钻探工程,2023,50(3):74-82.
YAN Jia, LIU Bei, CAO Longlong, et al. Drilling design and construction technology of shale gas geological survey Well Wanwangdi-3 in the Lower Yangtze Block [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(3):74-82.
- [17] 冯云春.龙凤山气田火山岩地层个性化PDC钻头设计与应用[J].钻探工程,2024,51(2):94-101.
FENG Yunchun. Design and application of personalized PDC bit for volcanic rock formation in Longfengshan Gas Field [J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2):94-101.
- [18] 解超.悬空侧钻技术在红河油田水平井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):7-11.
XIE Chao. Application of suspended sidetracking technology in horizontal well of Honghe Oilfield [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(10):7-11.

(编辑 荐华)