

大位垂比油水平井安全钻完井技术研究与应用

姜慧强, 李录科, 柳伟荣

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安 745100

摘要 : 陇东页岩油宁县、合水等区域水平井目的层浅 (垂深 1550–1700 米), 位移大 (2000–3000m), 其中施工的乐 H32-1 井设计水平段长 2235 米, 入窗垂深 1649.87 米, 水平位移 3024.62 米, 位垂比 1.83, 是目前无顶驱设备施工的最大位垂比水平井, 水平段后期摩阻显著大, 接单根后后期下放钻具难, 施工效率低, 完井电测送测难以直接下到底, 下套管风险高。本文分析了大位垂比水平井面临的主要技术难题, 研究了安全钻井、顺利下入套管的关键技术方法, 并进行了现场应用, 为后续布井及高效开发需求提供了良好的技术支持。

关键词 : 大位垂比; 油水平井; 钻完井

Research and Application of Safe Drilling and Completion Technology of Large Vertical Ratio Oil Horizontal Well

Jiang Huiqiang, Li Luke, Liu Weirong

Chuanqing Drilling Engineering Co., LTD. Changqing Drilling Corporation, Xi'an, Shaanxi 745100

Abstract : Longdong Oil County, Heshui and other areas is shallow (1550–1700 m deep), with large displacement (2000–3000m), among which the designed horizontal section of well Le H32-1 is 2,235 m long, and the window vertical depth is 1649.87 m. The horizontal displacement is 3024.62 m, and the vertical ratio is 1.83, which is the largest vertical well without top drive equipment at present, which is difficult to go directly to the bottom. This paper analyzes the main technical problems faced by the large vertical ratio horizontal well, studies the key technical methods of safe drilling and smooth entry of the casing, and carries out the field application, which provides good technical support for the subsequent well distribution and efficient development requirements.

Keywords : large vertical ratio; oil horizontal well; drilling and completion

随着长庆油田页岩油的大规模开发, 为了动用水源保护区、林区的储量, 并且提高单井产量和采收率, 长水平段水平井的钻探成为首要选择^[1]。目前长庆油田陇东页岩油施工的水平井均集中在 1500m 以上水平段的井, 而宁县、合水区域垂深浅, 相应的位垂比大, 下面就长水平段水平井在施工过程中遇到的难点和关键技术进行分析总结。从降摩减阻、泥岩防塌、参数优选及套管安全下入等方面有针对性的进行研究与攻关, 实现安全施工。

一、大位垂比水平井施工难点

大达到 400 ~ 500 kN。

(一) 长水平段钻进过程中摩阻扭矩大, 滑动钻进困难^[2]。水平段超过 1600 m 后, 钻具下放摩阻达到 300 ~ 600 kN, 扭矩达到 25 000 ~ 30 000 N · m, 易发生钻具胀扣和疲劳损坏。滑动钻进时工具面无法及时调整到位, 钻进效率低, 接单根钻具下放难。

(二) 区域内易发生溢流出水^[3], 部分井水平段存在断层漏失带, 易发生失返性井漏^[4]; 处理复杂时加重材料、堵漏材料在井壁堆积、留置, 造成摩阻扭矩大大增加。

(三) 垂深浅, 完井油层套管重量不能消减井下摩阻, 套管难以保证一次顺利下到位^[5]。下套管作业时间长, 水平段套管贴下井壁易发生压差卡钻, 经过泥岩段时易遇阻, 套管下放摩阻最

二、钻井关键技术

(一) 钻具组合优化改进

1. 导向工具应用及钻具组合优化
1. 应用旋导工具, 以改变钻具与地层之间的摩擦方式^[6], 避免长水平段后期摩阻大滑动调整困难的问题, 提高钻井速度。

旋导钻具组合:
215.9PDC × 0.2m+ 旋转导向 × 4.04m+ 座键接头 × 0.92m+ 信号传输短节 × 4.41m+ 随钻测量仪 × 6.74m+ 螺杆 × 9.6m+ 411* 410 × 0.49m 回压凡尔 + 127HWDP6 根 + ...

应用效果: 如表 1 所示, 合 H8 平台平均入窗垂深 1557 米,

位垂比大, 使用旋导水平段施工效率高, 水平段机械钻速提高 5.69m/h, 周期缩短 3.92 天。

表1 水平段使用旋导周期对比

	水平段长 (m)	水平段机械钻速 (m/h)	水平段滑动进尺 (m)	水平段滑动机械钻速 (m/h)	水平段周期 (d)	位垂比	备注
合 H8-1	1628	8.66	125.2	2.31	15.92	1.53	
合 H8-3	1536	14.35	-	-	12.00	1.61	使用旋导

2. 优化钻具组合

(1) 理论计算

为了防止水平段钻井过程中的最大扭矩大于钻杆抗扭强度、起钻上提力大于钻杆抗拉强度和下钻时钻具发生屈曲现象, 利用 Landmark 软件进行计算, 计算旋转钻进、起钻及下钻等工况下的扭矩、轴向拉力和钻具屈曲情况。

以乐 H32-1 井为例: 校核水平段钻具强度, 通过理论计算分析, 该井实钻的抗拉、抗扭强度、钻柱屈曲分析、摩擦阻力等均在钻柱及钩载安全范围之内。计算结果见表2: (裸眼内摩阻系数 0.25, 套管内摩阻系数 0.20)

表2 各种工况下钻具屈曲分析表

工况	大钩载荷 (Tonf)	地面扭矩 (KN.m)	中和点距钻头 (m)	中和点测深 (m)	摩阻 (Tonf)	钻柱伸长 (m)	最大侧向力 (Tonf)
起钻	107.48	0.00	0.00	4345	25.67	2.24	7.39
下钻	54.79	0.00	2202.10	1704.29	27.15	0.44	7.39
滑动钻进	50.80	0.00	2276.40	1629.89	28.11	0.22	7.39
旋转钻进	76.82	23.56	1918.40	1987.94	0.00	1.11	7.35

(2) 实钻分析

近几年研究和工程实践表明, 采用倒划眼扶正器、岩屑清除器^[7]、清砂钻杆^[8]等特殊工具组合能够有效清洁井眼, 减摩降阻^[9]。在造斜段, 选用柔性钻具减小与井壁摩擦, 提高施工效率; 在水平段采用无磁抗压钻杆或加重钻杆, 减少稳定器和钻铤的使用, 减小钻具重量和与井壁接触面积来降低摩阻, 同时加装水力振荡器解决托压和降低摩阻。

螺杆钻具或者随钻仪器局部直径较大, 与井壁的间距小, 稳定器会直接紧贴在井壁上, 使得钻具的滑动速度变低, 出现托压现象; 柔性钻具, 使得倒装钻具不能发挥自身的作用, 钻具屈曲, 反而使摩擦阻力变大, 出现托压现象。现在在此基础上, 大位垂比浅层水平段井钻具组合需要进一步优化改进。

对策: (1) 井口-1500m 增加加重钻杆来提高钻具本身重量; (2) 拐点段使用厚壁钻杆来提高钻具抗扭能力, 减少钻具屈曲; (3) 无磁钻杆代替无磁钻铤, 降低井底钻具的刚性; (4) 使用水力振荡器, 以降摩减阻, 保证滑动钻进效率^[10]。

应用效果: 乐 H32-1 井设计水平段长 2235 米, 入窗垂深 1649.87 米, 水平位移 3024.62 米, 位垂比 1.83, 是目前无顶驱设

备施工的最大位垂比水平井。

(二) 钻进及定向关键技术

1. 及时调整钻井参数

在水平井的钻进过程中, 钻具易紧贴井壁, 传至钻头上的钻压减少, 钻时相对明显升高, 同时为满足井眼清洁、定向施工的需要, 时常要进行钻压、转盘转数和排量等工程参数的调整。

2. 充分活动钻具, 释放钻具扭矩

配备有顶驱扭摆系统的, 可以调节使用扭摆系统提高滑动效率; 在摆放工具面后大幅度活动钻具, 使钻具的扭矩得到充分地释放, 例如提起单根进行大幅度活动, 如果仍然不能有效解决问题, 也可先采用在摆放工具面前开启转盘转动一段时间或先活动钻具, 然后再摆放工具面。在摆放过程中要每次少转动转盘的方式多次活动转盘, 然后充分活动钻具, 工具面稳定后再继续摆放, 这样通过几次使工具面摆放到预定的位置, 起到手动扭摆的效果。

(三) 降摩减阻关键技术

通过从降低固含、井筒净化、强化润滑三个方面优化方案措施, 有效降低整体摩阻, 提高滑动效率。

1. 降低钻井液整体固相含量

(1) 密度优化: 入窗密度由 1.25-1.30g/cm³, 进一步优化为 1.20-1.23g/cm³。

泥岩井段的稳定是密度优化的前提, 通过查询周边井资料, 对大斜度-水平段无高伽玛泥岩的井, 通过降低入窗钻井液的滤失量 1-2ml、封堵剂加量提高 50% 倍, 增强入窗钻井液封堵防塌能力, 在此基础上, 尝试逐步降低入窗密度 0.05-0.11g/cm³, 未发生泥岩段井壁坍塌问题。通过降低入窗密度, 合 H48-7 井电测及下套管正常。

(2) 加重剂优化: 上罐转化钻井液后, 在原浆中一次性加入工业盐 50 吨, 代替重晶石提高密度, 减少固相的加量, 密度达到 1.23g/cm³ 后采用加重晶石提高密度。后期逐步加入 10 吨 KCL, 提高钻井液抑制性, 补充抑制剂 K-PAM 胶液, 确保钻井液形成的泥饼薄、致密、光滑; 整体上达到工业盐使用量翻倍, 重晶石的使用量减半。

(3) 全过程固相控制: 二开聚合物井段优化循环流程, 每班开启高速离心机 4-6 小时清除劣质固相; 钻井液转化前, 不落地罐清水聚合物钻井液提前 12 小时上罐, 开启高速离心机, 清除聚合物钻井液中地层造浆的劣质固相, 保证钻井液转化时能够形成薄而致密的泥饼。加强固控设备的使用、勤清理锥形罐和过渡槽, 避免过多固相进入钻井液, 导致固相含量升高。同时优化固控流程, 钻井液“半替代”转化, 不落地罐沉降补充; 钻进期间固控设备全开启, 起下钻期间开启离心机清除地面钻井液中的有害固相。

2. 加强井筒净化

(1) 处理剂优化: 黄原胶替代 PAC, Φ6 读数从 2-3 提高至 5-8。

(2) 工程措施: 在提高钻井液的携岩能力的同时, 结合摩阻扭矩变化情况, 在钻进 200-300m 井段进行一次短起下作业修整

井壁、携带岩屑；在钻进一段时间之后要进行一次长起下作业，使得井下沉积的岩屑，从井底和井壁上分离出来，清洁井眼，减少托压现象产生的机率。

在钻井设备允许的情况下，起出泥岩段加大钻井液泵的排量，提高钻井液的上返速度，为岩屑返出创造有利条件。

扶正效果最好，套管居中程度最高。

3. 强化润滑：水平段钻进中润滑剂加量达到1~2吨/200米。

（四）套管安全下入的对策

影响套管下入的三大因素：摩擦重量损失、力学重量损失、套管重量。显然对大位垂比水平井而言，减少摩擦重量损失、力学重量损失是下套管技术的关键。应用漂浮下套管技术，并采取辅助技术措施减少摩阻，得以将套管顺利下到位。

1. 确保井眼通畅，下套管按要求通井，使用岩屑清除钻杆、倒划眼扶正器，水平段配置新的钻井液，并加入足够的润滑剂，确保井筒清洁。

2. 选择整体式扶正器，确定安装扶正器的最优间距。在安装扶正器时，应从井况和施工条件出发，选择最优间距，使扶正器所受的侧向合力尽可能地减小，扶正效果最好，套管居中程度最高。

3. 漂浮下套管技术。计算漂浮节箍安装位置、液柱压力及打开压力，在减轻整个管柱在钻井液中的重量的同时预留足够的套管重量推动套管前行。

案例：乐H32-1井，入窗垂深1649.87米，水平位移3024.62

米，位垂比1.83。接单根后下放困难，上提摩阻40~50吨，下放摩阻50~70吨；下套管使用长庆自研漂浮接箍，套管安装位置为水平段长度85%，下放摩阻20~25吨，效果明显。

（五）应用效果

2023年宁县、合水区域浅目的层大位垂比水平井完井8口，位垂比达到1.16~1.83，通过降摩减阻措施的细化落实，钻进和下套管前通井摩阻显著降低，完井作业顺利。替除溢流和井漏影响因素，对比2022年页岩油水平井，平均机械钻速提高24.10%，平均钻机月速提高12.73%。

三、结论与建议

（一）优选出了适用于延长组页岩油水平井的高性能水基钻井液，其具有良好的润滑性和强抑制性，能防止长水平段井壁坍塌，降低了摩阻和扭矩，是解决大位垂比长水平段水平井后期钻具下放难，滑动困难施工效率低，下套管风险高等问题的有效手段。

（二）推广应用旋转导向工，并结合现场实际进行钻具组合优化，灵活运用钻进及定向关键技术，提高了大位垂比长水平段水平井长水平段井眼轨迹的控制能力及机械钻速。

（三）采用漂浮下套管技术，优选漂浮长度，能降低套管下入难度和摩阻，可保证套管顺利下至设计位置，对更长水平段水平井下套管作业有一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 李伟才, 刘宇, 张云, 等. 利用长水平井实现超薄层未动用储量有效开发——以下二门油田梨树凹区块为例 [J]. 石油地质与工程, 2024, 38(03):18~22.
- [2] 柳伟荣, 倪华峰, 王学枫, 等. 长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(01):9~14.
- [3] 刘小利. 长庆油田超前注水区块固井技术难点分析及配套工艺技术研究 [J]. 钻采工艺, 2016, 39(02):16~18+1.
- [4] 胡祖彪, 张建卿, 王清臣, 等. 长庆油田华H50-7井超长水平段钻井液技术 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(04):28~36.
- [5] 赵朝阳, 林铁军, 朱泽林, 等. 页岩油水平井上提下放过程中套管力学特征分析 [J]. 石油管材与仪器, 2024, 10(03):33~38+112.
- [6] 何俊杰, 毛良杰, 杨森, 等. 推靠式旋转导向系统钻具组合力学性能分析 [J]. 石油机械, 2024, 52(04):41~48.
- [7] 毕晨光. 水平井V形岩屑床清除工具研制与应用 [J]. 钻探工程, 2024, 51(05):130~137.
- [8] 张帅, 颜廷俊, 朱庆利, 等. 井下局部反循环清砂系统研究 [J]. 石油矿场机械, 2021, 50(06):1~6.
- [9] 孙磊磊, 陈远军, 程旭, 等. 长庆油田HQ区块长段水平井下套管降摩减阻技术 [J]. 钻采工艺, 2023, 46(04):167~172.
- [10] 肖新磊, 席境阳, 杜旭, 等. 胜利油田页岩油大井眼高效钻进技术研究与应用 [J]. 钻探工程, 2023, 50(06):122~128.