

长水平段大位移井井眼轨道优化设计

窦玉玲

(胜利石油管理局钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要: 摩阻和扭矩是制约长水平段大位移井水平段延伸的主要因素, 井眼轨道优化是减小钻具摩阻和扭矩的方法之一。模拟了不同造斜率和靶前位移情况下长水平段大位移井的摩阻和扭矩, 分析了不同轨道类型对摩擦系数的敏感性。结果表明, 长水平段大位移井应优先选用较低造斜率的轨道, 无特殊需要时尽量简化轨道类型。

关键词: 水平井; 大位移井; 长水平段; 井眼轨道; 优化设计

中图分类号: TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)07-0050-03

Optimizing Design of Well Trajectory for Extended Reach Well with Long Horizontal Section/DOU Yu-ling (Sheng-li Drilling Technology Research Institute, Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: Friction and torque are main factors that hinder extending of long horizontal section well. Optimization of well trajectory is one way to reduce friction and torque. Friction and torque of various well profiles with different build-up rate and different displacement before target are calculated, and the influence of friction coefficient on various well profiles is analyzed. The results show that low build-up rate and simple trajectory are suitable for extended reach horizontal well with long horizontal section.

Key words: horizontal well; extended reach well; long horizontal section; well trajectory; optimizing design

长水平段大位移井的突出特点是水平位移大、裸眼井段长, 施工中钻柱和套管柱在井眼内的摩阻和扭矩大^[1]。长水平段大位移井与常规大位移井有着本质的区别, 后者的水平位移长主要体现在靶前位移大, 前者则主要体现在水平段长度大。对于常规大位移井而言, 由于其靶前位移大, 井眼轨道的造斜点、稳斜角、造斜率和轨道类型可选择的范围很大, 井眼轨道优化的空间也很大^[2-5]。长水平段大位移井因水平段很长, 靶前位移一般不宜太大, 否则井底水平位移会更长, 从而导致钻井过程中的摩阻和扭矩过大, 严重时钻压难以传递到井底, 无法进行正常的钻井施工。受靶前位移的限制, 在大位移井轨道优化中倍受青睐的悬链线轨道的优势难以体现。实践表明, 减小造斜率对降低摩阻有较好的效果, 但对于长水平段水平井来说, 造斜率不能过低, 因为过低的造斜率需要较大的靶前位移。因此, 长水平段水平井轨道优化的另一个关键是造斜率与靶前位移的平衡。

笔者借助现有软件对长水平段大位移井井眼轨道进行了模拟分析, 对比了目前常用的几种轨道类型, 力求找到造斜率与靶前位移的平衡点, 最大限度地优化井眼轨道及降低摩阻和扭矩, 为长水平段大位移井的设计、施工提供指导。

1 井眼轨道优化设计模拟分析

1.1 造斜率对摩阻和扭矩的影响

对造斜率分别为 7.5°、15°、20° 和准悬链线轨道进行摩阻和扭矩的模拟分析, 轨道基本数据见表 1。分析条件: 钻头扭矩 4011 N·m; 复合钻进钻压 120 kN; 滑动钻进钻压 80 kN; 钻井液密度 1.05 g/cm³; 钻井液塑性粘度 18 mPa·s; 钻井液动切力 10 Pa; 套管内摩擦系数 0.15; 裸眼段摩擦系数 0.2。模拟结果见表 2。

表 1 不同造斜率情况下的模拟轨道基本参数

序号	靶前位移/m	造斜率(°)/100 m	造斜点井深/m	井深/m	斜井段长/m	水平段长/m
轨道 1	900	7.5	1700.00	5262.55	1562.55	2000
轨道 2	900	15	1700.00	5185.39	1485.39	2000
轨道 3	900	20	1700.00	5168.39	1468.39	2000
轨道 4	900	准悬链线				

表 2 不同造斜率情况下的摩阻和扭矩

序号	造斜率(°)/100 m	起钻摩阻/kN	下钻摩阻/kN	钻进扭矩/(N·m)
轨道 1	7.5	141	165	18565
轨道 2	悬链线	143	163	18245
轨道 3	15	167	168	19120
轨道 4	20	197	189	21400

由表 2 可以看出, 在靶前位移相同的情况下, 随

收稿日期: 2010-12-28

作者简介: 窦玉玲(1981-), 女(汉族), 山东青州人, 胜利石油管理局钻井工艺研究院工程师, 油气井工程专业, 硕士, 从事钻井技术研究与钻井工程设计工作, 山东省东营市东营区北一路 827 号, douyuling163@163.com。

着造斜率的增大,井眼轨道的摩阻和扭矩逐渐加大,悬链线轨道因受靶前位移的限制,优势不明显(轨道 1~4 的靶前位移均为 900 m,若再缩小靶前位移,悬链线轨道的优势会更不明显)。因此,在靶前位移允许的情况下,长水平段大位移井井眼轨道设计应优先选用低造斜率。

1.2 靶前位移对摩阻和扭矩的影响

在水平井井眼轨道设计参数中,靶前位移和造斜率不是 2 个独立的变量,靶前位移制约着造斜率的选择。靶前位移大,造斜率的可选择范围广,反之则只能采用相对高的造斜率才能设计出较为合理的井眼轨道。假定靶前位移取 350、500、600 和 700 m,基于前面的结论,对每种靶前位移优选造斜率最小的轨道进行摩阻和扭矩的模拟分析,模拟轨道的基本参数见表 3,模拟结果见表 4。

表 3 不同靶前位移情况下的模拟轨道基本参数

序号	靶前位移/m	造斜率(°)/100 m	造斜点井深/m	井深/m	斜井段长/m	水平段长/m
轨道 5	350	16~17	2440.00	4496.51	556.51	1500
轨道 6	500	11~12	2280.00	4579.40	799.40	1500
轨道 7	600	9~10	2170.00	4634.35	964.35	1500
轨道 8	700	8~9	2070.00	4684.39	1114.39	1500

表 4 不同靶前位移情况下摩阻和滑动钻进钩载对比

靶前位移/m	起钻摩阻/kN	下钻摩阻/kN	滑动钻进钩载/kN	摩擦系数
350	146.4	200.9	374.2	
500	149.8	207.7	366.0	套管内:0.25
600	156.4	212.1	362.2	裸眼内:0.30
700	168.8	216.2	356.4	
350	315.7	395.4	99.4	
500	309.4	395.5	117.1	套管内:0.25
600	306.5	395.4	129.5	裸眼内:0.60
700	316.4	396.9	133.6	
350	349.9	444.3	-0.8	
500	343.6	441.0	36.3	套管内:0.25
600	340.6	438.5	56.6	裸眼内:0.66
700	350.4	438.5	69.4	

目前国内尚未应用旋转导向,在此情况下滑动钻进是制约长水平段水平井钻探成功的主要工况。由表 4 可见:裸眼内摩擦系数为 0.3 时,随着靶前位移的增大,滑动钻进钩载有所减小,但均远远大于零(钩载大于零说明正常钻进时可以顺利施加钻压);裸眼内摩擦系数达到 0.6 时,滑动钻进钩载渐渐增加,表明靶前位移较大的轨道对水平段延伸的“驱动”能力强;裸眼内摩擦系数达 0.66 时,350 m 的靶前位移对应的滑动钻进钩载为负值,表明钻压已无法传递到井底,但大于 500 m 的靶前位移仍可以施

加钻压正常钻进。

通过对模拟结果进行分析,得出如下结论。

(1)摩擦系数小时,小靶前位移更有利于钻进。该结论已被钻井实践证明,常规水平井水平段短,摩擦系数很容易控制在 0.3 以内。目前,胜利油田已完钻的常规水平井,其设计轨道一般均采用中曲率半径,靶前位移在 350 m 左右,可以满足常规水平井的顺利施工。

(2)摩擦系数大时,大靶前位移更有利于水平段的延伸。长水平段水平井井壁稳定问题、携岩问题突出,钻进过程中摩擦系数很难控制在较低的水平。这类水平井的关键问题是如何延伸水平段,因此应选择大一些的靶前位移。

1.3 井眼轨道对摩擦系数的敏感性对比

假定轨道 5、轨道 6 和轨道 8 的摩擦系数不同(其他参数取值相同),随着摩擦系数的变化,不同靶前位移对应的轨道摩阻的变化趋势见图 1。

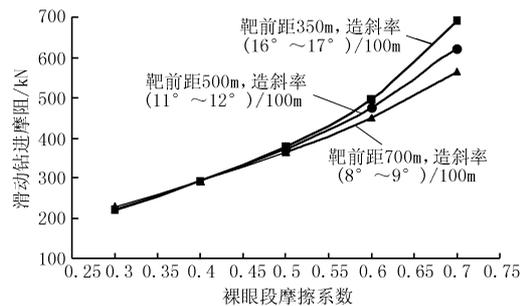


图 1 滑动钻进时井眼轨道对摩擦系数的敏感性 (注:套管内摩擦系数 0.25)

由图 1 可见:造斜率(8°~9°)/100 m 的轨道对摩擦系数的敏感性明显小于造斜率(16°~17°)/100 m 的轨道。这主要是因为摩擦阻力的大小与摩擦系数和正压力有关系,正压力包括管柱重力引起的接触正压力、轴向力和弯曲井眼耦合作用产生的正压力,管柱弯曲刚度与弯曲井眼耦合作用产生的正压力,在裸眼段摩擦系数较小时,管柱重力引起的接触正压力对摩擦力的影响最大,造斜率较高的井眼轨道其造斜段短,正压力相对较小,因此摩擦力小。随着摩擦系数的增大,轴向力和弯曲井眼耦合作用产生的正压力在总正压力中的比例升高,此时“狗腿度”对摩擦力的影响开始表现出来,造斜率较高的井眼轨道其“狗腿度”较大,与钻柱轴向力耦合产生的正压力较高,因此摩擦力相对较大。

对于长水平段大位移井来说,随着水平段的延伸,井眼底边易形成岩屑床,且水平段通常为裸眼段,易出现井壁稳定问题,岩屑床、井壁掉块导致摩

擦系数增大。随着摩擦系数的增大,滑动钻进摩擦阻会迅速增加,为了尽可能降低摩擦阻增量,长水平段大位移井井眼轨道优化设计应优选合适的造斜率,尽量降低井眼轨道对摩擦系数的敏感性。

2 井眼轨道类型优选

水平井常用轨道类型有“直—增—平”、“直—增—增—平”、“直—增—稳—增—平”3种。其中,“直—增—稳—增—平”轨道中的稳斜段主要是为入靶留有余地,即在入靶前井斜角达到 85° 左右时稳斜钻进 $30\sim 40\text{ m}$,以调整轨迹,确保水平段在预定油层穿过。这种考虑主要是基于造斜率较高[($20^{\circ}\sim 25^{\circ}$)/ 100 m 或更高]时,若地层深度预测不准,没有稳斜段预留的调整余地,地层提前时很难命中目的层。

“直—增—平”或“直—增—增—平”剖面(“直—增—增—平”剖面斜井段的造斜率为先高后低)既能满足LWD/FEWD仪器钻水平井的使用条件,又有利于准确控制着陆点(第一靶点)及缩短靶前位移和造斜段的长度,改善水平井斜井段的井眼形状,使井眼轨道更加平滑,降低摩擦阻和扭矩。因此,长水平段大位移井宜优先选用单增(或双增)剖面,没有稳斜段,轨道更平滑,而且不用调整钻具组合及相应的技术措施,同时 $10^{\circ}/100\text{ m}$ 左右的造斜率即使地层提前也能满足入靶的需要。

3 实钻分析

一口部署在大牛地气田的长水平段大位移井,水平段井眼尺寸 $\varnothing 215.9\text{ mm}$,设计水平段长 1500 m ,靶前位移 500 m (大牛地工区首次采用该种设计),造斜率 $11.4^{\circ}/100\text{ m}$ 左右。由于本井目的层以上没有煤层,不用考虑钻遇煤层而设计稳斜段,而且设计造斜率较低,如果地层提前完全有能力满足入靶的需要,因此轨道类型选用了单增剖面。

(上接第49页)

5 结语

在河南铝土矿勘探中采用PDC肋骨钻头单动双管钻探工艺能加大了钻具和孔壁的间隙,大大降低了铝土矿地层钻探中钻具粘附卡钻的可能性,事故率明显降低,钻探效率明显提高。在河南铝土矿勘探中采用PDC肋骨钻头单动双管钻探工艺是适宜的,由于我国铝土矿与河南铝土矿类型多属一水硬铝石型沉积矿床,相信对相似铝土矿地层勘探时

实钻过程中,斜井段充分利用了地层和钻具组合的自然造斜规律,复合钻进比例达到 75% 以上,创造了该工区二开钻井周期最短的纪录(二开完钻累计 29.75 天)。同时,因斜井段“狗腿度”较小,水平段施工顺利,在水平段长度 $<1300\text{ m}$ 之前能很好的实现滑动钻进,取得了较好的实钻效果。

4 结论

(1)综合考虑摩擦阻扭矩及轨道对摩擦系数的敏感性,长水平段大位移井井眼轨道优先选用 $10^{\circ}/100\text{ m}$ 左右的造斜率,在此前提下,优选靶前位移较小的轨道类型。

(2)对于浅层长水平段大位移井,由于受目的层垂深的限制,如果采用 $10^{\circ}/100\text{ m}$ 的造斜率,其造斜点可能太浅,无法保证定向的顺利实施,只能采用中曲率半径造斜率的井眼轨道。

(3)在造斜率为 $10^{\circ}/100\text{ m}$ 左右的情况下,如果不存在需要设计稳斜段进行轨道调整的特殊地层,轨道剖面优选单增或双增剖面。

(4)为了保证长水平段大位移井水平段能顺利延伸,上述分析是从优化轨道设计方面进行的模拟探索,目前该项技术尚处于探索阶段,在理论上还需做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 陈乐亮. 水平井钻井的降摩擦阻问题综述[J]. 钻采工艺, 1994, 17(1): 6-10.
- [2] 董德仁, 齐月魁, 何卫滨, 等. 大位移井钻井摩擦阻预测及井眼轨道优选[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(S1): 14-16.
- [3] 卢明辉, 管志川. 大位移井摆线轨道设计方法[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(6): 33-35.
- [4] 卢明辉, 管志川. 大位移井轨道设计中关键参数的确定[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(5): 70-71.
- [5] 宋执武, 高德利, 李瑞营. 大位移井轨道设计方法综述及曲线优选[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(5): 24-27.

优选钻探工艺具有一定参考意义。

参考文献:

- [1] 钱书红. PDC钻头对常规地质录井影响及应对方法[J]. 录井技术, 2003, (1): 35-36.
- [2] 周龙昌. PDC复合层厚度对金刚石钻头性能影响的现场试验分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(12): 48-49.
- [3] 吴小建, 李新民. PDC钻头在寺河煤矿瓦斯预抽放钻井中的应用[J]. 中国煤田地质, 2006, (1): 65-66.
- [4] 杨俊德, 杨洪武, 彭振斌. 钻进过程中金刚石钻头磨损规律试验研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2003, (5): 43-44.