

中浅层水平井井眼轨道优化设计与现场施工

李增乐

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院,黑龙江 大庆 163413)

摘要:针对大庆油田中长、长水平段水平井钻井施工和下套管过程中摩阻、扭矩大,导致钻井速度慢,而井眼浸泡时间长易导致井壁失稳而进一步减缓施工进度,从而形成恶性循环,对钻完井施工影响极大的问题,从井眼轨道的合理设计进行了模拟计算,针对不同的剖面类型、造斜率和靶前距进行优化设计,确定合理的井眼轨道,以降低定向钻进和下套管过程中的摩阻和扭矩,为中长、长水平段水平井的顺利施工提供技术支持。

关键词:水平井;井眼轨道;摩阻;扭矩;靶前距

中图分类号:P634.5;TE243 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2013)10-0043-03

Optimized Design of Trajectory for Middle-shallow Horizontal Well and the Site Construction/LI Zeng-le (Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling & Exploration Engineering Corporation, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: Low drilling efficiency was caused by large friction and high torque in drilling and casing running process in middle-long and long horizontal wells in Daqing oilfield and the borehole wall collapsing led by long time contact with drilling fluid further slowed down the construction speed. The stimulation was made to rationally design the well trajectory according to different profile types, build-up rates and frontal distances to hitting target to reduce the friction and torque in drilling and casing running process and provide technical support for the smooth construction of middle-long and long horizontal wells.

Key words: horizontal well; well trajectory; friction; torque; frontal distance to hitting target

近年来,随着水平井在大庆油田的推广应用,中短、短水平段水平井钻井技术已经相当成熟,而对于中长、长水平段水平井的钻完井技术还需要不断地完善。目前中长、长水平段水平井在钻完井过程中的关键技术主要体现在降摩减扭技术、定向控制技术、井眼清洁技术等方面,而解决这些问题的前提是合理的井眼轨道设计。因此本文主要针对中浅层长水平段水平井井眼轨道的优化进行模拟分析,从而进行合理的井眼轨道设计,尽可能地降低在钻井过程中钻具的摩阻/扭矩和下套管时摩阻,从而避免钻进托压和钻具的疲劳破坏,降低下套管风险,从而实现安全高效钻井^[1]。

1 井眼轨道优化设计

井眼轨道设计的前提:首先必须满足勘探开发目的及后期作业需求;其次应考虑定向钻具造斜能力及完井管柱、采油管柱和采油设备顺利下入所需的最小曲率半径;再次要求设计斜深相对较短,管柱的摩阻/扭矩相对较小。

1.1 优化井眼轨道剖面

目前水平井井眼轨道设计主要采用恒曲率法和

变曲率法 2 种。恒曲率法指造斜率为常量,变曲率法指造斜率为变量。变曲率法又可分为悬链线、准悬链线等方法^[2],3 种方法的优缺点在很多文献中均有明确的说明,在此不再赘述。

假设水平位移 3000 m,套管内摩阻系数 0.20,裸眼内摩阻系数 0.30,进行悬链线、准悬链线和圆弧剖面的井眼轨道设计和摩阻/扭矩计算,其中圆弧剖面井眼轨道相对圆滑,井眼曲率最大为 $5.00^{\circ}/30$ m,设计最大井斜角为 89.66° ,水平段井眼曲率最大不超过 $0.50^{\circ}/30$ m;而悬链线剖面 and 准悬链线剖面井眼曲率最大,分别为达到 $6.66^{\circ}/30$ m、 $7.80^{\circ}/30$ m,设计最大井斜角均超过 90° ,水平段井眼曲率达到 $0.58^{\circ}/30$ m 左右。同时结合不同井眼轨道数据进行摩阻/扭矩模拟计算,分别从起钻摩阻、下钻摩阻以及平均摩阻 3 方面进行对比(见表 1),其中圆弧剖面平均摩阻最小,所以综合考虑井眼曲率和平均摩阻大小,优选圆弧剖面为最优设计剖面。

圆弧剖面应用最多,最有代表性的为单弧剖面、双弧剖面、三弧剖面。结合大庆油田中浅层水平井实际情况,综合考虑工具的造斜能力和地层不确定性,优选出井眼轨道剖面设计采用“直井段-造斜段

收稿日期:2013-05-10

作者简介:李增乐(1982-),男(汉族),山东青州人,大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院设计中心,化学工程与工艺专业,主要从事钻井工程及相关科研工作,黑龙江省大庆市红岗区八百垅,lizengle@cnpc.com.cn。

表1 三种井眼轨道的摩阻预测计算数据

剖面类型	设计最大井眼曲率 /[$(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$]	起钻摩阻/kN	下钻摩阻/kN	平均摩阻/kN
圆弧剖面	5.00	421.5	444.0	432.8
悬链线剖面	6.66	426.8	442.8	433.5
准悬链线剖面	7.80	426.8	440.2	434.8

—稳斜段—造斜段—微增探油顶着陆段—水平段”二维六段制三增圆弧剖面,优化第一稳斜段长度10~15 m,探油顶段长度30~50 m,探油顶井眼曲率 $3^{\circ}/30 \text{ m}$,该轨道设计法有利于在实钻过程中对工具造斜率的误差进行调整,同时又能实现在油层顶界深度存在误差(地层提前或滞后)时实现对井眼轨迹的有效控制^[3]。

1.2 优化井眼轨道靶前距和井眼曲率

影响水平段钻进长度的最大因素为摩阻、扭矩,即由于钻柱和套管或裸眼之间的接触力的存在而产生的摩阻,接触力的大小取决于井眼曲率、井斜角、钻具自重等因素,因此对井眼轨道剖面进行优化设

计时,选择合理的井眼曲率是减少接触力的重要措施。而井眼曲率的大小直接受制于靶前距的大小,如果靶前距过小,则造斜段短,井眼曲率大,钻具的弯曲应力会直接作用在井壁上,从而增大摩擦阻力;若靶前距过大,将增加造斜段长度,导致接触面积增加,从而同样会增大摩擦阻力,并且过多的无效进尺会降低钻井效率。因此,对于不同水平段长的水平井,应对靶前距与井眼曲率大小进行优化,在条件允许的情况下,尽量选择合适的靶前距和造斜率,从而在降低钻柱(或套管)摩阻/扭矩的同时尽可能缩短设计井深,减少无效进尺,提高钻井时效,降低钻井成本。因此笔者以1000、1500、2000、3000 m四种水平段长为例进行了不同靶前距、不同井眼曲率下的钻具摩阻/扭矩和屈曲情况的模拟计算(见表2),以探索最优的靶前距和井眼曲率,为不同水平段长的水平井轨道设计提供参考^[4]。

表2 不同水平段长度时不同靶前距、不同井眼曲率下摩阻/扭矩和屈曲计算数据

水平段长度/m	靶前距/m	井眼曲率/[$(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$]	起钻摩阻/kN	下钻摩阻/kN	平均摩阻/kN	空转扭矩/[$(\text{kN} \cdot \text{m})$]	下钻时钻具屈曲长度/m	滑动时钻具屈曲长度/m
1000	240	7.5-8.0-3.0	177.2	159.9	168.6	10.61	/	50.63(正弦屈曲)、16.88(螺旋屈曲)
	300	5.5-5.5-3.0	174.8	163.9	169.4	10.76	/	50.63(正弦屈曲)
	350	4.8-5.0-3.0	171.8	168.1	170.0	11.25	/	/
	400	3.8-4.0-3.0	166.7	174.2	170.5	11.87	/	/
	450	3.3-3.5-3.0	162.2	175.9	169.1	12.37	/	/
1500	240	7.5-8.0-3.0	247.5	218.6	233.1	14.56	54.00(正弦屈曲)	42.19(正弦屈曲)、132.26(螺旋屈曲)
	300	5.5-5.5-3.0	241.4	216.1	228.8	14.27	/	42.19(正弦屈曲)、33.75(螺旋屈曲)
	350	4.8-5.0-3.0	241.7	219.3	230.5	14.56	/	25.31(正弦屈曲)
	400	3.8-4.0-3.0	242.0	224.0	233.0	14.96	/	/
	450	3.3-3.5-3.0	233.9	227.9	230.9	15.55	/	/
2000	240	7.5-8.0-3.0	315.8	270.9	293.4	18.44	26.04(正弦屈曲)	52.09(正弦屈曲)、69.45(螺旋屈曲)
	300	5.5-5.5-3.0	309.0	281.5	295.3	18.42	/	52.99(正弦屈曲)、8.73(螺旋屈曲)
	350	4.8-5.0-3.0	310.2	278.8	294.5	18.49	/	26.19(正弦屈曲)
	400	3.8-4.0-3.0	308.6	287.9	298.3	18.89	/	/
	450	3.3-3.5-3.0	302.8	294.6	298.7	19.63	/	/
3000	240	7.5-8.0-3.0	452.8	376.8	414.8	26.49	52.60(螺旋屈曲)	262.27(正弦屈曲)、140.27(螺旋屈曲)
	300	5.5-5.5-3.0	446.7	384.8	415.8	26.19	43.83(正弦屈曲)、26.30(螺旋屈曲)	262.88(正弦屈曲)、70.14(螺旋屈曲)
	350	4.8-5.0-3.0	447.2	383.8	415.5	26.19	26.30(正弦屈曲)	271.59(正弦屈曲)
	400	3.8-4.0-3.0	449.6	387.5	418.6	26.19	/	245.25(正弦屈曲)
	450	3.3-3.5-3.0	446.5	389.4	418.0	26.46	/	210.36(正弦屈曲)

已知条件:(1)靶点情况:A点垂深2099.00 m,水平段井斜角 86° ;(2)钻具组合: $\varnothing 215.9 \text{ mm}$ 钻头+ $\varnothing 172 \text{ mm}$ 螺杆+ $\varnothing 172 \text{ mm}$ LWD+ $\varnothing 127 \text{ mm}$ 无磁加重钻杆 $\times 1$ 根+ $\varnothing 127 \text{ mm}$ 加重钻杆 $\times (3 \sim 6)$ 根+ $\varnothing 127 \text{ mm}$ 斜坡钻杆 \times 若干根(根据进尺调整斜坡钻杆长度,使加重钻杆处于井斜角 30° 以上)+ $\varnothing 127 \text{ mm}$ 加重钻杆 $\times (24 \sim 30)$ 根+ $\varnothing 127.0 \text{ mm}$ 斜坡钻杆

至井口;(3)设计参数:二开套管下到靶点A,水包油 $\rho = 1.20 \text{ g/cm}^3$,滑动钻进钻压80 kN;(4)摩阻系数:套管内0.20,裸眼内0.30,采用六段制三增圆弧剖面。试计算在不同水平段长、不同靶前距和造斜率情况下的摩阻扭矩。

水平段长为1000 m时,综合考虑平均摩阻、扭矩、屈曲情况及钻井时效,靶前距设计以300 m左右

为宜,造斜率以 $(5.0^\circ \sim 6.0^\circ)/30\text{ m}$ 为宜,虽然在滑动钻进时有一段正弦弯曲,但长度很短,且正弦弯曲对钻具影响程度不大。

水平段长为1500 m时,靶前距以350 m左右为宜,造斜率以 $(4.8^\circ \sim 5.5^\circ)/30\text{ m}$ 为宜。

水平段长为2000 m时,靶前距以350 m左右为宜,造斜率以 $(4.8^\circ \sim 5.5^\circ)/30\text{ m}$ 为宜。

水平段长为3000 m时,靶前距以350 m左右为宜,造斜率以 $(4.8^\circ \sim 5.5^\circ)/30\text{ m}$ 为宜。

通过对以上数据进行分析:随着水平段的生长,相同靶前距情况下,钻具的屈曲程度增加,因此可以适当增加靶前距,降低造斜率,来改善钻具的屈曲情况。综合考虑靶前距、井眼曲率、钻柱受力以及屈曲程度等多种因素,水平段长为1000 m时,靶前距推荐300 m左右,造斜率推荐 $(5.0^\circ \sim 6.0^\circ)/30\text{ m}$;水平段长为1500~3000 m时,靶前距推荐350 m左右,造斜率推荐 $(4.8^\circ \sim 5.5^\circ)/30\text{ m}$ 。

2 现场应用

大庆油田A平1井设计井深3938.71 m,水平段长1802.51 m,目的层垂深2094.40 m,该井设计采用“直-增-稳-增-探-着-平”七段制剖面,多段圆弧造斜率采用 $6.50^\circ - 7.70^\circ - 3.00^\circ - 7.80^\circ/30\text{ m}$,靶前距253.73 m,完钻斜深3532.00 m,垂深2047.25 m,钻进周期149.96 d,造斜段采用 1.5° 单弯螺杆常规导向钻具组合,发生2起复杂,因此起下钻频繁,平均机械钻速仅为1.08 m/h;水平段采用旋转导向钻具组合进行施工,平均机械钻速8.40 m/h。

针对该井施工中遇到的问题,为了降低摩阻对钻井施工的影响,通过理论分析和软件模拟,对井眼轨道剖面和靶前距、造斜率等进行优化设计,将2011年部署的垣平1井优化设计为“直-增-稳-增-探-平”二维六段制三增圆弧剖面,造斜率分别采用 $4.80^\circ - 5.00^\circ - 3.00^\circ/30\text{ m}$,靶前距353.91 m。该井水平设计井深4693.75 m,水平段长3017.04 m,目的层垂深1546.40 m,于2011年6月开钻,由于后期钻进过程中岩性为干砂岩,决定提前完钻,完钻井深4300.00 m,水平段长2660.00 m,造斜段采用 1.5° 单弯螺杆常规导向钻具组合,共进行

6趟钻施工,平均机械钻速达到3.72 m/h;水平段进尺2660 m,平均机械钻速17.59 m/h,是同区块水平井水平段钻速的2.1倍,且全井安全无复杂、事故,完井电测及下套管施工顺利,钻进周期57.31 d,与之前井相比缩短了92.65 d,缩短62%,充分证明了本井轨道剖面的类型、靶前距和造斜率设计合理,使施工中井眼轨迹流畅,摩阻小,满足施工需要^[5]。

2012年,在A平1井附近部署A平2井,设计斜深3530.88 m,水平段长1200.01 m,目的层垂深2152.50 m,根据井眼轨道优化成果采用,“直-增-稳-增-探-平”六段制圆弧剖面,造斜率分别采用 $5.00^\circ - 6.00^\circ - 3.00^\circ/30\text{ m}$,靶前距321.26 m。完钻斜井深3530.00 m,垂深2174.37 m,钻进周期54.92 d,与A平1井相比缩短了63.38%。

上述应用结果表明,改进后的井眼轨道设计合理,能够有效降低中长、长水平段水平井钻完井过程中的摩阻/扭矩,从而有效降低施工风险和难度,有利于安全高效钻井。

3 认识与建议

(1)合理的靶前距与井眼曲率,可以降低钻柱发生屈曲的程度和摩阻/扭矩大小,降低施工难度,提高钻井效率。

(2)在保持水平段条件不变的情况下,随着靶前距的增加和井眼曲率的降低,滑动钻进时钻柱发生正弦与螺旋屈曲的长度减少,最终达到一个临界值后保持不变。

(3)合理的轨道设计是降低中长、长水平段水平井钻井施工过程中摩阻与扭矩的有效技术措施之一。

参考文献:

- [1] 杨国发. 古平1井井眼轨道设计与控制[D]. 黑龙江大庆:东北石油大学,2011.
- [2] 刘修善,石在虹. 水平井轨道实用设计方法[J]. 石油钻采工艺,1994,(1).
- [3] 苏义脑. 大斜度井和水平井井眼轨道控制的几个问题[J]. 石油钻采工艺,1992,(2).
- [4] 窦玉玲. 长水平段大位移井井眼轨道优化设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7).
- [5] 相玉辉,屈展. 大位移井钻井工程优化设计与应用[J]. 石油机械,2006,34(10).