

长水平段水平井井眼轨道优化设计方法

胥 豪,董志辉

(中石化胜利石油管理局钻井工艺研究院,山东 东营 257017)

摘 要:井眼轨道优化设计是长水平段水平井降低摩阻扭矩的有效途径之一,利用先进的计算机软件对轨道设计关键参数进行优选,可以得到优化轨道设计,从而达到降低施工难度的目的。结合华北油田某井工程实例,论述了长水平段水平井井眼轨道优化设计方法。

关键词:长水平段水平井;轨道;优化;摩阻;扭矩

中图分类号:TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)03-0035-03

Wellbore Trajectory Optimization Design Methods for Long Horizontal-section Well/XU Hao, DONG Zhi-hui
(Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Administration Bureau, Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: Optimization design of wellbore trajectory is one of the most effective way for long horizontal-section horizontal well to reduce the friction and torque. Using advanced computer software, the key parameters of wellbore trajectory can be optimized, which can decrease the construction difficulty. Based on a project case in North China oilfield, the design method of long horizontal-section wellbore trajectory is introduced.

Key words: long horizontal-section horizontal well; trajectory; optimization; friction; torque

长水平段水平井的主要特点在于水平段长度较长;又由于不同于普通大位移定向井,其井斜角多在 90° 左右,因此形成了长水平段水平井施工的最大困难,即管柱在井内的摩阻和扭矩特别大。在相同工况下,长水平段水平井的水平段长度延伸能力主要取决于管柱摩阻扭矩的大小;或者说长水平段水平井延伸能力取决于克服管柱摩阻扭矩的技术水平和能力。

减小长水平段水平井摩阻扭矩的方式方法有很多,首先从井眼轨道设计入手,设计出摩阻扭矩最小的井眼轨道是长水平段水平井摩阻扭矩控制技术的关键之一,而长水平段水平井设计的基本原则则在于降低摩阻和扭矩^[1]。

1 最困难作业工况分析^[2]

长水平段水平井作业的工况也不外乎起钻、下钻、滑动钻进、旋转钻进、划眼、下套管油管等作业工况。对应不同的工况,管柱的受力也不相同,所遇到的困难也不同,哪种工况的作业难度最大,则可能成为整口井施工的制约因素,因此,轨道设计时需首先考虑作业难度最大的工况。

(1)起钻。起钻时大钩需要承受全部的钻柱重力和提升加速阶段的动载荷,还要承受井眼对钻柱

的摩阻,而且起钻时钻柱所受的摩阻在钻柱所有作业工况中是最大的。在起钻过程中,会出现大钩载荷的最大值、钻柱所受的轴向力最大值,这将可能导致现场提升设备的提升能力不够,或者钻柱强度不够,但是就目前的钻机设备提升能力和钻具的抗拉强度而言,起钻不应当成为最困难的工况。

(2)下钻。下钻过程中钻柱摩阻的方向与重力方向相反,所以大钩载荷和钻柱轴向受力都不会太大,不会出现钻机提升能力不够或者钻柱强度不够的情况;但是下钻过程中如果摩阻很大,甚至可能会出现大钩载荷为零的情况,导致下钻下不下去的现象。国内目前长水平段水平井钻井多采用顶驱系统进行钻进,可在下放钻具的同时旋转钻具,使一部分轴向摩阻变为周向摩阻,从而大大减小轴向摩阻。因此,下钻工况不应当成为最困难的工况。

(3)旋转钻进。旋转钻进时下部钻具承受着轴向压力,上部钻柱承受着轴向拉力,全井钻具承受着破岩和旋转摩阻产生的扭矩,同时还有少量的轴向摩阻。此工况时钻柱轴力不是很大,但是所承受的扭矩是所有工况下的最大值,甚至会出现钻柱强度不够的问题,所以旋转钻进时应当考虑钻柱扭矩^[3]。

(4)滑动钻进。滑动钻进时全井钻柱不旋转,

收稿日期:2012-12-21

作者简介:胥豪(1982-),男(汉族),四川绵阳人,中石化胜利石油管理局钻井工艺研究院工程师,石油工程专业,从事定向井、水平井技术服务工作,山东省东营市北一路827号钻井院钻井所,xuhaoswpi@yahoo.com.cn。

只有轴向运动,其状态基本与下钻相同,但该工况下的最大问题在于轴向摩阻可能很大,大到完全平衡掉上部钻柱重力在轴向上的分量,使得钻头难以得到钻压,钻头无钻压将无法钻进。顶部驱动装置对此也无能为力,而要解决这个问题,只能通过降低摩阻的方式,因此滑动钻进是长水平段水平井最困难的工况之一。

(5)划眼。正划眼类似于下钻过程,倒划眼则类似于起钻过程,又由于均划眼时均旋转钻柱,因此不属于困难工况。

(6)下套管。下套管类似于下钻工况,但是由于管柱不同,下套管工况要比下钻工况困难。一方面套管尺寸、重力、刚度都比钻柱大很多,摩阻也比钻柱大,另一方面,套管柱的连接螺纹多属于细螺纹扣,不能承受较大扭矩,因此下套管作业也是长水平段水平井作业的难点。但是由于下套管作业是一次性作业,而且现场也有较好的办法来克服下套管摩阻,如采用漂浮法下套管、采用滚轮式扶正器将滑动摩阻变为滚动摩阻等。所以下套管不应成为最困难工况。

综上所述,长水平段水平井井眼轨道设计的基本原则在于降低摩阻和扭矩,而滑动钻进时的摩阻力最大,旋转钻进时的扭矩值最大,设计时可主要考虑这2方面的问题,以简化问题并达到降低作业风险和困难的目的。

2 关键设计参数

通过分析可知,长水平段水平井轨道设计的基本原则是降低钻进时的摩阻和扭矩^[4]。由于滑动钻进时摩阻最大,旋转钻进时扭矩最大,设计时主要考虑这两方面的因素,以简化作业风险和困难、提高效率。

影响长水平段水平井摩阻和扭矩的参数较多,通常需要考虑水平段长度、靶前位移、轨道类型及造斜点、造斜率、造斜率变化趋势等。其中,水平段长度主要取决于油藏地质需要和钻井施工能力,其余参数则成为长水平段水平井轨道设计的重点考虑对象。

2.1 靶前位移的选择

进行长水平段水平井轨道设计,靶前位移的选择是关键。如果靶前位移大,则完钻位移也大,由此可以导致后期摩阻和扭矩增大,施工难度增加;若靶前位移过小,则造斜率较高,钻具与井壁的接触力增大,不仅导致摩阻和扭矩增加,而且不利于钻井安

全。因此,选取合适的靶前位移是长水平段水平井设计的重点。

2.2 井眼轨道类型的选择

靶前位移确定后,需要优选井眼轨道类型,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轨迹调整留有余地,确保在造斜率不理想的时候能够采取措施,避免井眼轨迹失控。该类型轨迹在各大油田得到普遍推广,对其进行设计时,造斜点的优化主要考虑稳斜角度,合适的稳斜角度可以避免岩屑床堆积。

2.3 造斜率的选择

优选长水平段水平井的造斜率也是轨道设计重点,造斜率太高,钻具与井壁的接触力增大,必然导致摩阻和扭矩增加,但造斜率过低,又会使井眼长度增加,不利于现场施工。在选取造斜率的时候,针对工具的造斜能力和入靶控制难度,需要对造斜率变化趋势进行优选。

3 辅助软件选择

井眼轨道和摩阻扭矩计算涉及大量公式,利用先进的计算机软件可以达到化繁为简,事半功倍的效果。

3.1 COMPASS 设计软件

Landmark 公司旗下 COMPASS(计算机辅助设计和测量分析系统)应用软件能进行复杂井眼轨迹设计和分析,该软件的设计功能强大,可进行多种剖面类型和参数的井眼轨道设计,能够进行必要的轨迹优化设计,可对同一口井预设计出多套设计方案,并对多套设计和实钻数据进行优化,供最终选择一种相对合理的轨道剖面。

3.2 WELLPLAN 设计软件

Landmark 旗下 WELLPLAN 应用软件(数据分析和技术工程应用软件)可进行钻具受力分析、摩阻扭矩分析、临界转速分析、疲劳破坏系数分析。将钻井设计和理论分析一体化,以帮助钻井技术人员更有效分析数据,最终作出更好的决策^[5]。

同时 WELLPLAN 与 COMPASS 软件共享数据库,可以简化参数输入,提高效率。因此长水平段水平井可优先采用该系列软件进行轨道优化设计。

4 设计实例

以华北油田某长水平段水平井为例,进行井眼

轨道优化设计。

该井 A 靶点垂深 2471.50 m, B 靶点垂深 2475.00 m, 一开采用 Ø444.5 mm 钻头钻深 301.00 m, 套管下深 300.00 m; 二开采用 Ø311.2 mm 钻头钻进至 A 靶点, 套管下入至 A 靶点; 三开采用 Ø215.9 mm 钻头钻进, 要求水平段长度 2000.00 m。

井眼轨道优化设计的目的是减小施工过程中的摩阻、扭矩, 其关键参数是靶前位移、造斜点、造斜率、造斜率变化趋势。在优化过程中由于参数较多, 因此进行某一参数优化时, 其余参数均采用相同设置, 可以达到简化操作的目的。

4.1 靶前位移优化

选取水平段长度 2000.00 m, 靶前位移分别选取 300.00、400.00、500.00、600.00、750.00、900.00 m, 套管内摩阻系数取 0.20, 裸眼段摩阻系数取 0.40, 进行井眼轨道优化, 优化结果如图 1 所示。

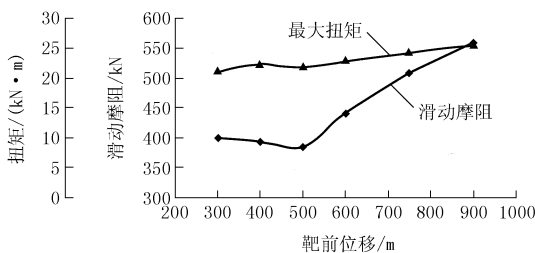


图 1 不同靶前位移对应的摩阻和扭矩值

根据对比结果可知, 当靶前位移为 500.00 m 时, 滑动摩阻值最小, 当靶前位移为 300.00 和 500.00 m 时, 扭矩值最小, 因此轨道优化应当首选 500.00 m 靶前位移。

4.2 造斜点优化

选取 500.00 m 靶前位移, 以 18°/100 m 造斜率, 分别选取造斜点 1900.00、2000.00、2100.00 m 进行井眼轨道优化, 优化结果如图 2 所示。

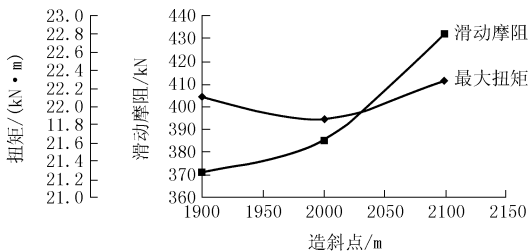


图 2 不同造斜点对应的摩阻和扭矩值

根据对比结果可知, 造斜点深度 2000.00 m 时扭矩值最小, 造斜点深度增大, 滑动摩阻变大, 因此优选造斜点 1900.00 ~ 2000.00 m。

4.3 造斜率优化

选取靶前位移 500.00 m, 造斜点 2000.00 m, 分别选取 30°/100 m、20°/100 m、18°/100 m、16°/100 m、13°/100 m 进行井眼轨道优化, 优化结果如图 3 所示。

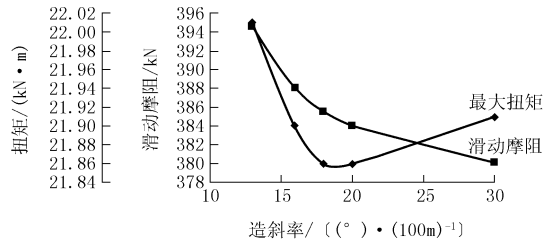


图 3 不同造斜率对应的摩阻和扭矩值

根据对比结果可知, 随着造斜率增加, 滑动摩阻呈现降低趋势; 当造斜率为 16° ~ 20°/100 m 时, 扭矩值最低。因此优选造斜率 16° ~ 20°/100 m。

4.4 造斜率变化趋势

靶前位移选取 500.00 m, 造斜点选取 2000.00 m, 分别采用 16°/20°、17°/19°、18°/18°、19°/17°、20°/16°/100 m 变曲率轨道, 进行井眼轨道优化设计, 设计结果如图 4 所示。

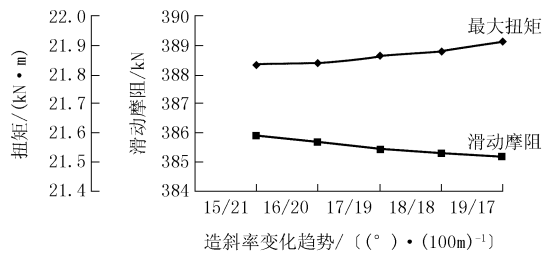


图 4 不同造斜率变化趋势对应的摩阻和扭矩值

根据对比结果可知, 造斜率变化趋势对摩阻和扭矩影响不大。当采用增曲率时, 滑动摩阻呈现降低趋势, 而扭矩呈现增大趋势。为了降低入靶时造斜率压力, 可采用降曲率方式进行井眼轨道优化设计。

4.5 井眼轨道优化设计结果

根据以上分析采用靶前位移 500.00 m, 造斜点 1920.00 m, 造斜率 18°/100 m 和 16°/100 m 前高后低方式。井眼轨道优化结果如表 1 所示。

5 结论

(1) 长水平段水平井井眼轨道设计是摩阻扭矩控制的关键因素之一, 对于钻井施工具有重要的意义。

(2) 长水平段水平井井眼轨道优化设计的首要原则在于降低摩阻和扭矩。 (下转第 41 页)

针对二开长封固段固井易漏难题,采取漂珠低密度水泥浆体系,上部封固段 0~1500 m 设计密度 1.50 g/cm³ 的漂珠水泥浆体系,下部封固段 1500~2505 m 设计密度 1.90 g/cm³ 的常规水泥浆体系,并加入塑性纤维,防漏堵漏同时提高水泥石的韧性^[11]。

2.5.2 主要技术措施

三开固井时,主要技术措施如下:

- (1) 采用加重隔离液提高顶替效率;
- (2) 采用塑性膨胀水泥浆体系^[12],加入晶格膨胀剂和塑性纤维,提高二界面胶结质量,防止油气窜;
- (3) 控制水泥浆自由水为 0,失水量 <50 mL,确保固井质量^[13]。

3 结语

哈深斜 1 井上部八道湾组泥岩及煤层易缩径坍塌;下部地层的可钻性差、机械钻速低、周期长,钻井过程中井眼轨迹极易偏离设计轨道、容易发生井涌、井漏,固井过程中存在高压防窜难题,固井质量难以保证。作为一口风险预探井,可借鉴的邻井实钻资料少,地层岩性、地层压力及层段变化的不确定性因素相对较大,为了确保钻井工程设计的科学性、先进性、针对性和经济性,从井眼轨道、井身结构、钻具组合及钻井方式、钻井液和固井等方面进行优化设计

可确保该井的顺利施工,为该地区的风险探井钻井工程设计与施工提供指导与借鉴。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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):24-26.
- [3] 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):60-64.
- [4] 唐志军,邵长明.钻井工程设计优化与应用[J].石油地质与工程,2007,21(3):75-78.
- [5] 陈明,窦玉玲,李文飞,等.川东北元坝区块井身结构优化设计[J].天然气技术,2010,4(3):44-47.
- [6] 冯光通,马凤清,曹向峰,等.高平 1 井井眼轨道与井身结构设计[J].石油钻探技术,2010,38(6):33-36.
- [7] 蒋世全.大位移井技术发展现状及启示[J].石油钻采工艺,1999,21(2):14-23.
- [8] 管志川,李春山,周广陈,等.深井和超深井钻井井身结构设计方法[J].石油大学学报,2001,21(6):42-44.
- [9] 唐志军.井身结构优化设计方法[J].西部探矿工程,2005,17(6):79-38.
- [10] 周延军,曾强渗,窦玉玲,等.金平 1 浅层大位移水平井钻井工程设计技术及应用[J].钻采工艺,2008,31(S1):24-27.
- [11] Halliburton Services. Gasmigration control solutions[Z]. 1991.
- [12] Rav Ki, Bosma M. Safe and economic gas wells through cement design for life of the well[J]. SPE75700.
- [13] 丁士东,张卫东.国内外防气窜固井技术[J].石油钻探技术,2002,30(5):35-38.

(上接第 37 页)

表 1 井眼轨道优化设计结果

井深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	水平位移/m	南北/m	东西/m	狗腿度/[(°)·(100 m) ⁻¹]	靶点
0	0	0	0	0	0	0	0	
1920.00	0	348.01	1920.00	0	0	0	0	
2111.91	34.54	348.01	2100.50	56.12	54.90	-11.66	18.00	
2375.32	34.54	348.01	2317.46	205.48	201.00	-42.69	0	
2721.47	89.93	348.01	2472.50	500.00	489.09	-103.87	16.00	A
4721.47	89.93	348.01	2475.00	2500.00	2445.46	-519.35	0	B

(3) 长水平段水平井井眼轨道施工的难点在于滑动钻进摩阻和旋转钻进扭矩的设计优化,轨道优化设计时应以这两个指标为介入点。

(4) 通过 COMPASS 和 WELLPLAN 软件可以大大提高长水平段水平井井眼轨道优化效率,得到最优剖面。

(5) 长水平段水平井轨道优化设计的关键因素在于靶前位移、造斜点、造斜率及造斜率变化趋势,轨道优化时应首先考虑这 4 个参数,但不局限于这 4 个参数,有时还应当考虑地层、工具、设备能力等。

参考文献:

- [1] 唐洪林,唐志军,闫振来.金平 1 井浅层长水平段水平井钻井技术[J].石油钻采工艺,2008,30(6):11-15.
- [2] 韩志勇.定向井设计与计算[M].北京:石油工业出版社,1989.
- [3] 董德仁,齐月魁,何卫滨,等.大位移井钻井摩阻预测及井眼轨道优选[J].石油钻采工艺,2005,27(7):14-16.
- [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):50-52.
- [5] 华远信,张桂强,朱伟鸿,等.COMPASS、WELLPLAN 软件在钻井设计和施工中的应用[J].西南石油学院学报,2004,26(1):83-86.