

考虑方位漂移的水平井井眼轨道设计

王世栋, 张志刚, 耿雪樵, 于彦江, 陈 奇

(广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760)

摘要:目前, 深层页岩气水平井在钻井过程中经常出现方位漂移的问题, 方位漂移严重影响了水平井的井眼轨迹控制, 进而影响水平井的准确中靶。在现场施工中, 通常根据施工区以前的钻井经验, 在进行定向造斜时, 先估计出一个“方位超前角”, 这种现场的做法有着很大的不确定性, 并且可能出现较大误差。本文提出了考虑方位漂移的水平井井眼轨道优化设计的方法, 解决了仅凭现场经验给出的“超前角”不准确的问题。考虑方位漂移的水平井井眼轨道优化设计按照井段划分, 将地层因素与井身剖面结合起来求取井段的平均方位漂移率。根据该方法研制开发了考虑方位漂移的水平井井眼轨道优化设计软件, 并通过举例进行了验证, 证明了方法是可行的。

关键词:页岩气; 水平井; 方位角; 漂移; 轨道设计

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)07-0014-05

Horizontal Well Trajectory Design Based on Azimuth Drift/WANG Shi-dong, ZHANG Zhi-gang, GENG Xue-qiao, YU Yan-jiang, CHEN Qi (Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou Guangdong 510760, China)

Abstract: At present, the azimuth drift often occurs in the drilling process of deep shale gas horizontal wells, which seriously affects the trajectory control of the horizontal well, and then affects the accurate target of the horizontal well. In the field construction in this area, usually according to the previous drilling experience, an “advanced azimuth angle” should be estimated before the directional slanting is carried out, but there are a lot of uncertainties in this field practice and there may be some big error. In this paper, a method of horizontal well trajectory optimization design based on azimuth drift is proposed, which solves the inaccuracy of “advanced azimuth angle” only estimated by the field experience. The optimization design of horizontal well trajectory is divided according to the well sections; the average azimuth drift rate of the well section is obtained by combining the stratigraphic factors with the well profile. Based on this method, the software for the optimization design of horizontal well trajectory based on azimuth drift is developed. The feasibility of this method is proved by the examples.

Key words: shale gas; horizontal well; azimuth; drift; trajectory design

在深层页岩气水平井钻井过程中, 无论钻柱下部是稳斜组合、增斜组合、还是降斜组合, 都有可能发生井斜方位漂移。这种方位漂移有可能是向“右漂”的, 也有可能出现“左漂”趋势。这种方位漂移严重影响了水平井的井眼轨迹控制, 进而影响水平井的准确中靶, 在很多情况下, 通常需要采用井下动力钻具“扭方位”, 需要间断定向钻进修正井眼轨迹, 造成了平均机械钻速降低、钻井周期加长、成本增大。所以, 对考虑方位漂移的轨道设计进行研究, 具有重要意义。图 1 为方位自然漂移值 α 的地层图示。

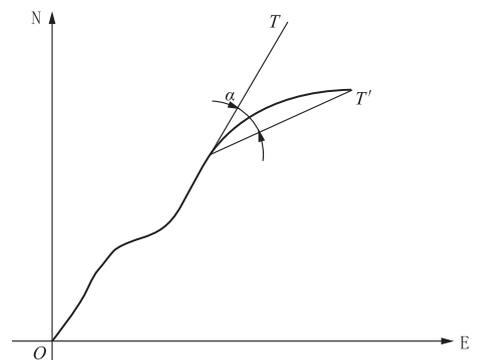


图 1 方位自然漂移值 α 的地层图示

1 深层页岩气水平井钻井现状

近年来, 页岩气勘探开发主要采用水平井^[1], 页岩气水平井, 特别是深层页岩气水平井要求严格准确

地控制井眼方位。在水平井钻进过程中, 如果井眼方位发生漂移, 则有可能导致水平井脱靶, 被迫进行纠方位作业。地层和钻头原因是导致井眼方位漂移的主要原因, 井眼方位漂移指的是井眼方位发生变

收稿日期: 2018-01-05; 修回日期: 2018-06-13

作者简介: 王世栋, 男, 汉族, 1991 年生, 石油与天然气工程专业, 硕士, 主要从事钻探技术方面的相关研究工作, 广东省广州市黄埔区南岗街道广海路 186 号大院, 956601787@qq.com。

化。而这种方位的变化可能受到地层因素、钻井参数、钻井液性质及钻具组合等多种因素影响。因此,需要大量地收集和整理各个页岩气田区块的资料,对各个区块地层进行大量深入系统的分析,并分析出各个页岩气区块地层自然漂移的一般规律,并在以后的水平井井眼轨迹设计和控制中利用漂移规律,节省扭方位工作量,提高定向成功率。图 2 为方位漂移轨道设计模型。

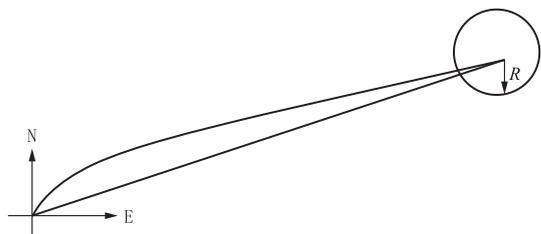


图 2 方位漂移轨道设计模型

2 钻井现场的做法

从地层因素和钻具因素 2 个方面对出现方位漂移的原因进行分析。

(1) 地层因素导致方位漂移。

在一般情况下,地层的可钻性在不同方向上是不同的,地层可钻性具有各向异性,并且由于地层的倾斜,井眼便发生了方位漂移。钻头有着“欺软怕硬”的特性,哪里的地层容易钻进,钻头就哪里靠近,这导致了井眼方位的漂移。钻头前进的方向总是向着垂直地层层面的方向偏斜,即地层有着向地层上倾方位偏离的趋势,便出现了井斜。

在钻水平井时,井身本身是倾斜的。井眼的方位和地层倾斜方向是有一定夹角的,这时钻头就会偏向垂直于地层的方向钻进,这导致了井眼发生方位漂移。可以看出,从地层因素来说,井眼方位可能会发生左漂,也可能会发生右漂。

(2) 钻具因素导致方位漂移。

钻柱的旋转方向是井眼方位漂移的另一个重要原因。如图 3 所示,圆柱体为钻头在内的下部钻具组合,由于重力的作用,圆柱体将压向井壁下侧,对井壁下侧造成压力。在钻柱旋转运动过程中,钻柱和井壁下侧之间产生摩擦阻力的方向与钻柱旋转方向相反,会阻止钻柱的旋转运动。由于钻柱都是顺时针方向转动的,所以摩擦阻力的方向总是“向右”的。在摩擦力的作用下,钻头将偏离井眼轴线,靠向井壁的右侧,在钻进的过程中,右侧的井壁也是不断的被

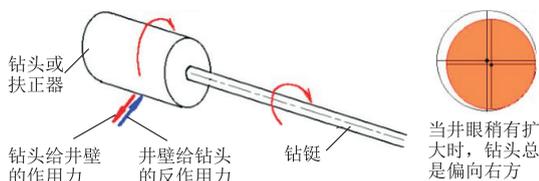


图 3 钻具原因导致方位漂移

切削,从而使井眼方位发生右漂。

综合分析以上 2 个因素,井眼方位有可能发生左漂,也有可能发生右漂,关键要看哪种因素起主导作用。

涪陵地区地层非均质性强,水平井井眼轨迹受控于地层倾角,钻进过程中井眼轨迹存在不同程度的漂移。而且涪陵地区页岩气井多是三维轨迹井,井眼轨迹控制工作量大。

一般情况下,用方位漂移率来表示方位漂移规律。在井眼轨迹控制过程中,井眼方位发生增加的情况为“右漂”,方位漂移率为正数;相反,在钻井过程中,方位发生减小的情况,称之为“左漂”,此时的方位漂移率取负数。如果未发生方位漂移,则方位漂移率为零,一个区块的方位漂移率不是固定不变的。由于地层的非均质性、地层产状的不同,以及井的井斜和方位的变化,方位漂移率也是不断变化的。不同井段的方位漂移率是不同的,在掌握和了解了不同地层和井段上的方位漂移率之后,充分利用其规律,进行井眼轨迹控制。

由于方位漂移现象的存在,二维井眼轨道在现场施工^[5-7]中无法钻出理想的二维井。通常在现场,首先不考虑方位漂移进行井眼轨道设计,在钻井施工过程中再考虑方位漂移。施工过程中,根据本地区以前的钻井经验,在进行定向造斜时,先估计出一个“方位超前角”,并以此计算定向方位角,假设原来的设计方位角为 φ_t 、定向时的定向方位角为 φ_s ,两者差值即为“方位超前角” $\Delta\varphi$ 。图 4 为现场定向示意图。

这种现场的做法有着很大的不确定性,并且可能出现较大误差,因此有必要在进行井眼轨道设计时就考虑井眼方位漂移,在钻井施工过程中,按照设计的定向方位角进行钻进,这样发生井眼漂移时井眼也会按照设计的井眼轨道进行漂移。

3 考虑方位漂移的水平井井眼轨道设计方法

在进行考虑方位漂移的水平井井眼轨道设计

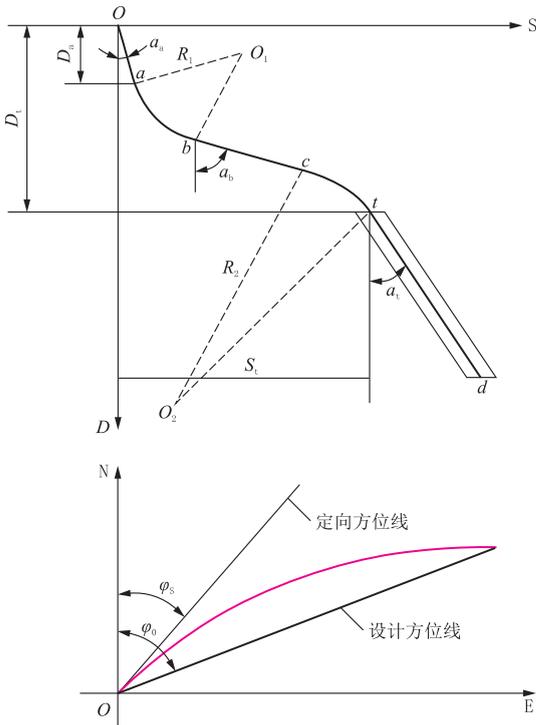


图4 现场定向示意图

之前,首先将原设计轨道按照造斜段、稳斜段和水平段进行划分,研究本地区的方位漂移规律,统计不同地层和井段上的方位漂移率。

图5为相似法轨道设计示意图。根据以上分析,相似法轨道设计可分为以下几个步骤^[8-10]:

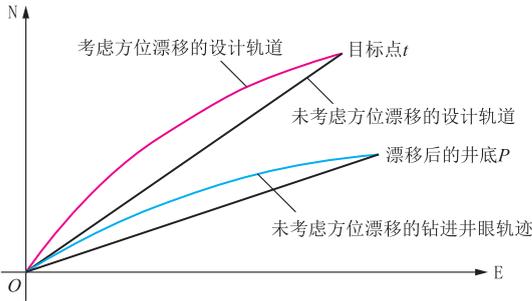


图5 轨道设计示意图

(1)将原设计轨道划分为造斜段、稳斜段和水平段,并对井眼轨道的各井段参数(水平位移、平移方位角、井深、井斜角、方位角、垂深以及N坐标、E坐标)进行收集,假设原设计轨道的闭合方位角为 θ_1 ,闭合距为 C_1 。

(2)给出原设计轨道上的一点,根据该点所在井段的地层方位漂移率和分段长度,算出该段的方位漂移量:

$$\text{万方数据 } \Delta\varphi_i = \Delta L_i K_{pi} \quad (1)$$

式中: $\Delta\varphi_i$ ——第*i*段的方位漂移量, $^\circ$; ΔL_i ——第*i*段的分段长度,m; K_{pi} ——第*i*段的地层方位漂移率, $^\circ/m$ 。

在原设计轨道的基础上各点的设计方位加上此方位漂移量。

(3)根据上一步计算,得到方位漂移后的轨道及其各点新的水平位移和平移方位角,假设方位漂移后轨道井底*p*点的闭合方位角为 θ_p ,闭合距为 C_p 。

(4)对漂移后的轨道进行相似处理,即不改变漂移后轨道的形状,将其平移使*p*点和*t*点重合。

在这个过程中,漂移后轨道上点的水平位移为 C_i 乘以系数*K*,其中:

$$K = C_t / C_p \quad (2)$$

式中:*K*——系数,无单位; C_t ——*t*点的闭合距,m; C_p ——*p*点的闭合距,m。

平移方位角 θ_i 减去 $\Delta\theta$,其中:

$$\Delta\theta = C_p - C_t \quad (3)$$

式中: $\Delta\theta$ ——平移方位角差值, $^\circ$; C_t ——*t*点的闭合距,m; C_p ——*p*点的闭合距,m。

(5)计算考虑方位漂移的井眼轨道设计的水平坐标,如下:

$$N_i = C_i \cos\theta_i \quad (4)$$

$$E_i = C_i \sin\theta_i \quad (5)$$

式中: N_i ——*i*点的北坐标,m; E_i ——第*i*点的东坐标,m; C_i ——第*i*点的闭合距,m; θ_i ——第*i*点的平移方位角, $^\circ$ 。

(6)计算每一点的井深、井斜角和方位角。垂深 D_i 保持不变。

计算每个分点的井斜方位角:

已知:

$$\Delta D = D_2 - D_1, \Delta N = N_2 - N_1, \Delta E = E_2 - E_1$$

$$\varphi_c = \arctan(\Delta E / \Delta N) (\Delta N > 0) \quad (6)$$

$$\varphi_c = \arctan(\Delta E / \Delta N) + 180 (\Delta N < 0) \quad (7)$$

$$\varphi_2 = 2\varphi_c - \varphi_1 \quad (8)$$

式中: ΔE ——2个点的东坐标差值,m; ΔN ——2个点的北坐标差值,m; E_i ($i=1,2$)——第*i*点的东坐标值,m; N_i ($i=1,2$)——第*i*点的北坐标值,m; D_i ($i=1,2$)——第*i*点的垂深,m; φ_i ($i=1,2,c$)——第*i*点的平移方位角, $^\circ$ 。

计算每个分点的井斜角:

$$\alpha_c = \arctan \frac{(E_2 - E_1)(\varphi_2 - \varphi_1)}{(D_2 - D_1)(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1)} \quad (9)$$

$$\alpha_2 = 2\alpha_c - \alpha_1 \quad (10)$$

式中: $\alpha_i (i=1, 2, c)$ ——第 i 点的井斜角, ($^\circ$); $E_i (i=1, 2)$ ——第 i 点的东坐标值, m; $D_i (i=1, 2)$ ——第 i 点的垂深, m; $\varphi_i (i=1, 2)$ ——第 i 点的平移方位角, ($^\circ$).

计算每个分点的井深:

$$\Delta L = \frac{(D_2 - D_1)(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1} \quad (11)$$

式中: ΔL ——井深, m.

4 应用实例

通过编制考虑方位漂移的井眼轨道优化设计软件,输入已知的地层方位漂移率和原轨道设计数据,进行计算.

4.1 右漂设计实例 1

已知某口井水平段垂深为 3500 m,待钻点坐标 X 为 10000,待钻点坐标 Y 为 10000,东坐标增量为 1500 m,北坐标增量为 1500 m,方位漂移率为 $1^\circ/100$ m,初始方位角为 45° ,输入已知数据,经计算结果如图 6 所示.

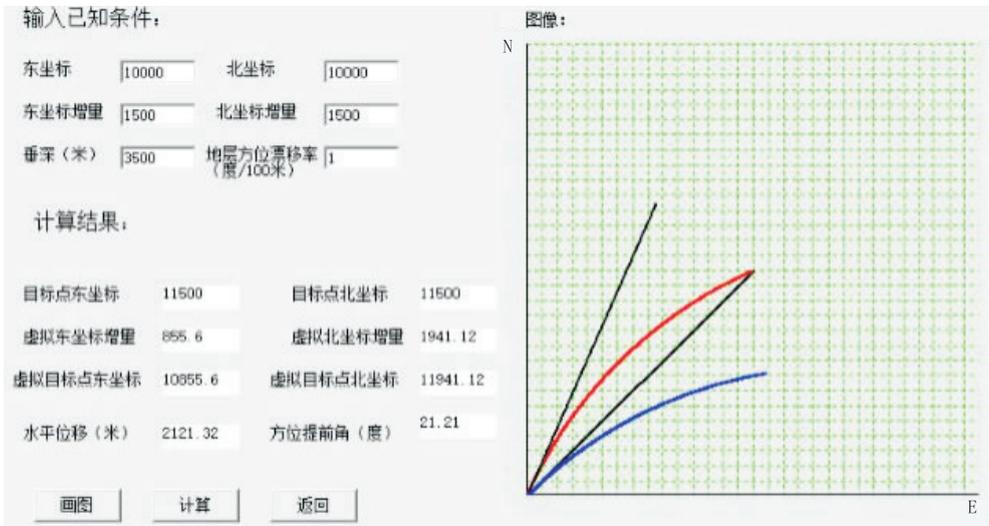


图 6 右漂设计实例 1

其中,红色线为考虑地层漂移的水平段井眼轨迹;蓝色线为全复合钻进井眼轨迹.

4.2 右漂设计实例 2

已知某口井水平段垂深为 3500 m,待钻点坐标

X 为 10000,待钻点坐标 Y 为 10000,东坐标增量为 1500 m,南坐标增量为 1500 m,方位漂移率为 $1^\circ/100$ m,初始方位角为 45° ,输入已知数据,经计算结果如图 7 所示.

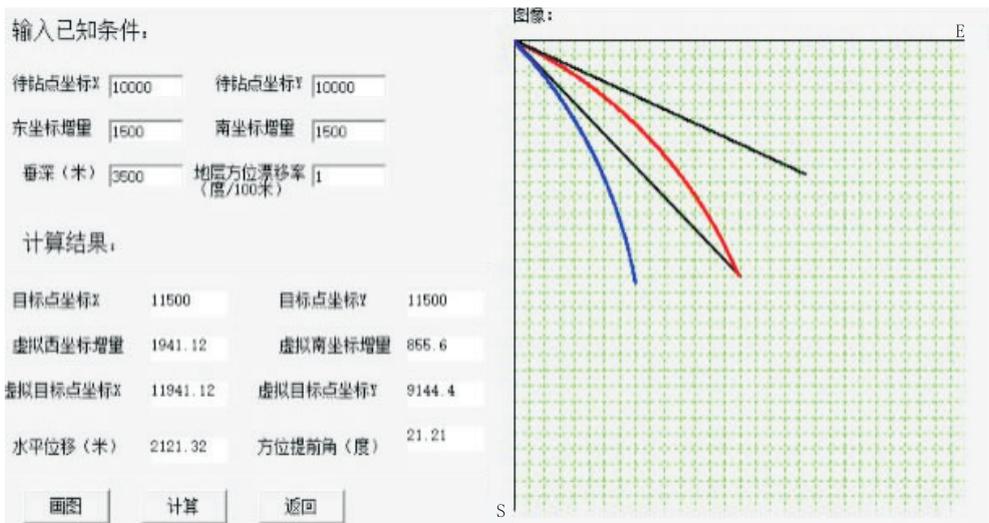


图 7 右漂设计实例 2

其中,红色线为考虑地层漂移的水平段井眼轨迹;蓝色线为全复合钻进井眼轨迹。

4.3 左漂设计实例 1

已知某口井水平段垂深为 3500 m,待钻点坐标

X 为 10000,待钻点坐标 Y 为 10000,东坐标增量为 1500 m,北坐标增量为 1500 m,方位漂移率为 $-1^\circ/100$ m,初始方位角为 45° ,输入已知数据,经计算结果如图 8 所示。

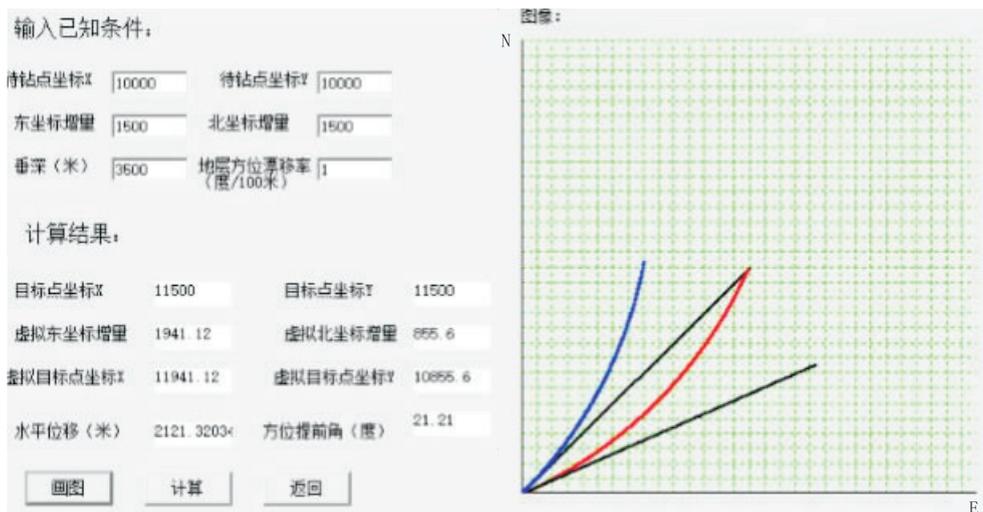


图 8 左漂设计实例 1

其中,红色线为考虑地层漂移的水平段井眼轨迹;蓝色线为全复合钻进井眼轨迹。

4.4 左漂设计实例 2

已知某口井水平段垂深为 3500 m,待钻点坐标

X 为 10000,待钻点坐标 Y 为 10000,东坐标增量为 1500 m,南坐标增量为 1500 m,方位漂移率为 $-1^\circ/100$ m,初始方位角为 45° ,输入已知数据,经计算结果如图 9 所示。

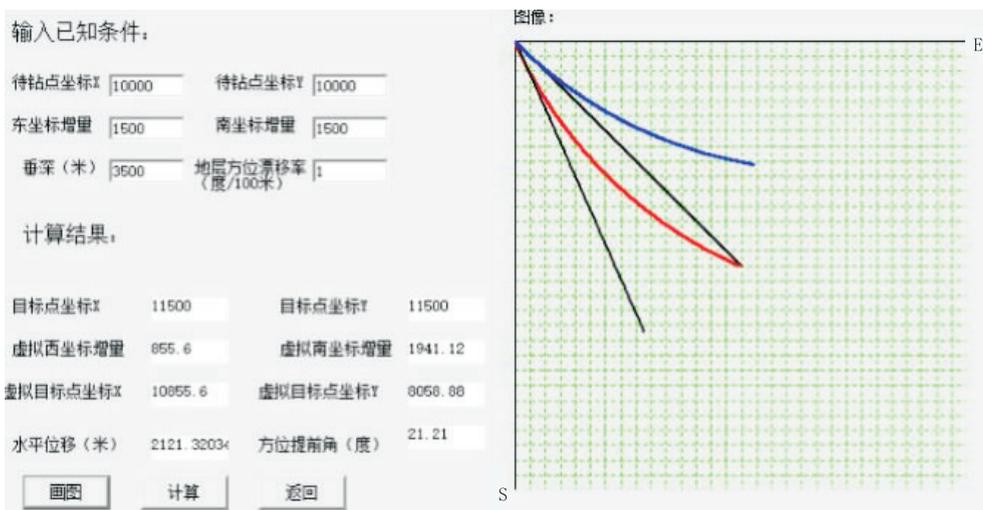


图 9 左漂设计实例 2

其中,红色线为考虑地层漂移的水平段井眼轨迹;蓝色线为全复合钻进井眼轨迹。

5 结论

(1)深层页岩气水平井方位漂移问题严重,利用方位漂移规律进行井眼轨道设计可以减少井眼轨迹

的调整频次和控制工作量,节省起下钻次数,从而降低钻井成本。

(2)提出的考虑方位漂移的水平井井眼轨道设计,并且编制了设计软件,通过举例进行了验证,证明了方法是可行的。

(下转第 24 页)

孔堵塞现象,为4组筛管中堵塞现象最严重,这说明采用 $\text{O}10\text{ mm}$ 圆孔型式筛管抗堵效果相对最差。

结合上节模拟分析结果来看,在这4种筛管割缝型式中, $2\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 割缝煤粉通过体积量最小, $3\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 割缝和 $6\text{ mm}\times 18\text{ mm}$ 割缝依次增大, $\text{O}10\text{ mm}$ 筛眼通过煤粉体积量最大,现场抽采试验基本验证了模拟分析的结果。

4 结论

(1)就总体趋势来说,割缝筛管的煤粉通过量要小于同等过流面积的圆孔筛管,圆孔筛管筛眼直径在 $4\sim 10\text{ mm}$ 时煤粉通过量分别是 $2\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 割缝筛管的 $12\sim 33$ 倍。

(2)对于割缝筛管,割缝宽度对煤粉通过量的影响要大于割缝长度,综合考虑割缝筛管材料性能和瓦斯抽采过流面积的需要,对于 $\text{O}25\text{ mm}$ 瓦斯抽采管将割缝参数设定为 $2\text{ mm}\times 30\text{ mm}$,煤粉通过量达到最小。

(3)通过4种型式的筛管现场抽采试验结合模拟分析,煤粉通过量越小的筛管,其抗堵性能越优,瓦斯抽采效果也越好,而割缝筛管整体上抽采效果优于常规圆孔筛管,表明采用割缝型式的筛眼布置方式可有效提高抗堵性能,更好保持瓦斯抽采通道的畅通。

(上接第18页)

(3)在实例中根据计算结果,通过预留因地层漂移造成的方位变化空间,水平段可减少 21° 的扭方位工作量。

参考文献:

- [1] 牛新明. 涪陵页岩气田钻井技术难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2014, (4): 1-6.
- [2] 刘修善, 曲同慈, 孙忠国, 等. 三维漂移轨道的设计方法[J]. 石油学报, 1995, 16(4): 118-124.
- [3] 韩志勇, 黄根炉. 考虑方位漂移的单元定向井轨道设计方法[J]. 中国海上油气, 2005, 17(1): 38-40.
- [4] 唐雪平, 苏义脑, 陈祖锡. 三维井眼轨道设计模型及应用[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(3): 62-72.
- [5] 韩志勇. 定向井设计与计算[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [6] 何树山, 刘修善. 三维水平井轨道设计[J]. 石油钻采工艺, 2001, 23(4): 16-20.
- [7] 陈庭根, 管志川. 钻井工程理论与技术[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2000.
- [8] 刘修善. 井眼轨道几何学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [9] 段玉廷. 三维定向井轨道设计中对方位漂移的考虑[J]. 天然气

参考文献:

- [1] 潘一山. 煤与瓦斯突出、冲击地压复合动力灾害一体化研究[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 105-112.
- [2] 唐巨鹏, 于宁, 陈帅. 瓦斯压力对煤与瓦斯射流突出能量的影响[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(3): 943-948.
- [3] 袁亮. 瓦斯治理理念和煤与瓦斯共采技术[J]. 中国煤炭, 2010, 36(6): 5-12.
- [4] 石智军, 姚宁平, 叶根飞. 煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2009, (7): 1-4.
- [5] 金新. 两淮矿区复杂煤矿瓦斯抽采PVC筛管完孔技术研究[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2017.
- [6] 陈功胜, 高艳忠. 松软煤层瓦斯抽采钻孔不提钻下入筛管技术[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2014, 33(5): 592-596.
- [7] 曹建明, 宋斌, 刘发义, 等. 松软煤层瓦斯抽采孔PVC管护壁技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 1-4.
- [8] 张士环, 童碧. 整体式柔性筛管全程快速护孔工艺在煤矿的应用研究[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(10): 25-27.
- [9] 张金宝. 基于离散元法的煤矿井下护孔筛管防堵性颗粒流分析[J]. 煤矿安全, 2017, 48(10): 178-181.
- [10] 刘大红, 宋秀英, 刘艳红, 等. 割缝筛管防砂设计及应用[J]. 石油机械, 2004, 32(8): 13-16.
- [11] 魏新芳. 石油割缝筛管及其防砂技术研究[D]. 山东东营: 中国石油大学(华东), 2007.
- [12] 杨睿月, 黄中伟, 李根生, 等. 煤层气水平井割缝筛管优化设计[J]. 煤炭学报, 2014, 39(11): 2269-2275.
- [13] Oda M, Iwashita K. Mechanics of granular materials: an introduction[M]. A. A. Balkema, 1999, 147-223.
- [14] 徐泳, 孙其诚, 张凌, 等. 颗粒离散元法研究进展[J]. 力学进展, 2003, 33(2): 251-260.
- [15] Zhu H P, Zhou Z Y, Yang R Y, et al. Discrete particle simulation of particulate systems: A review of major applications and findings[J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(23): 5728-5770.
- [16] 工业, 1989, 9(1): 25-29.
- [10] 刘修善, 孙忠国. 三维漂移轨道的设计方法[J]. 石油学报, 1995, 16(4): 118-124.
- [11] 谷红陶, 袁航, 夏海帮. 彭水页岩气水平井中靶技术与应用[J]. 油气藏评价与开发, 2015, 5(6): 76-80.
- [12] 马鑫. 火山岩气藏水平井探气顶优化设计研究[J]. 长江大学学报(自然版), 2014, 11(10): 77-78.
- [13] 胡丰金, 庞保军. 定向井扭方位三维轨迹设计简易解析法[J]. 石油钻采工艺, 1996, 18(3): 32-36.
- [14] 陈安明, 张辉, 宋占伟. 页岩气水平井钻完井关键技术分析[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(11): 98-103.
- [15] 查永进, 赵子仁. 水平井钻井优化设计技术[J]. 新疆石油科技, 1995, 5(4): 18-22.
- [16] 徐德行. 水平井地质设计中着陆点和断点确定技术研究[J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37(6): 92-94.
- [17] Lee B Y, Liu H S, Targ Y S. Modeling and optimization of drilling process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 74: 149-157.
- [18] Karlsson H, Cobbley R, Jaques G E. New Developments in Short, Medium, and Long-Radius Lateral Drilling[C]. Spe/Iadc Drilling Conference, 1989.
- [19] Eren T, Ozbayoglu M E. Real Time Optimization of Drilling Parameters During Drilling Operations[C]. // Spe Oil & Gas India Conference & Exhibition, 2010.