

定向井斜向器座放方位最优化设计

张 焱*

(辽河石油勘探局)

吴 爽 刘坤芳 彭 飞 李 骥

(中国地质大学·武汉研究生院)

张焱等. 定向井斜向器座放方位最优化设计. 天然气工业, 2001; 21(6): 51~54

摘 要 利用斜向器开窗侧钻是最主要的侧钻方式之一。现场施工中常用三种方法: ①斜向器座放在窗口和靶点的设计方位线方向; ②根据设计井眼轨迹的井斜方位变化趋势和斜向器对井斜方位的影响关系, 确定斜向器座放在哪一象限内; ③斜向器始终座放在井眼高边, 若设计轨迹为降方位趋势, 则座放在高边的左边, 否则, 座放在高边的右边。研究证明, 这三种方法都不能准确地确定出斜向器应当座放在一个准确具体的角度, 和施工者的经验有关, 不是最优方法。文章把非线性最优化理论引入到定向井斜向器座放方位的最优化计算中, 建立了非线性规划方程组, 并应用序列无约束极小化混合法(SUMT 混合法)求解, 解决了定向井斜向器开窗侧钻问题。该方法已经利用 Visual Basic 语言编制成为一个用户界面非常友好的软件 WSS, 操作简单, 使用方便。

主题词 定向井 斜向器 方向 最优化设计

本文利用非线性最优化理论, 首次把定向井斜向器座放方位计算问题归结为非线性不等式约束下的非线性规划问题, 并应用序列无约束极小化方法(SUMT 混合法)求解。分析时, 把问题分为两种情况, ①允许斜向器座放在井眼低边; ②斜向器只能座放在井眼高边附近一区域内。

基 本 思 路

文献[1]详细地研究了斜向器对井斜角和方位角的影响关系:

$$\sin \omega = \frac{\sin \alpha_2 \sin \Delta \varphi}{\sin \gamma} \quad (1)$$

$$\cos \alpha_2 = \cos \alpha_1 \cos \gamma - \sin \alpha_1 \sin \gamma \cos \omega \quad (2)$$

$$\tan \Delta \varphi = \frac{\sin \gamma \sin \omega}{\sin \alpha_1 \cos \gamma + \cos \alpha_1 \sin \gamma \cos \omega} \quad (3)$$

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (4)$$

式中: α_1 、 φ_1 分别表示开窗点的井斜角和方位角; α_2 、 φ_2 分别表示新井眼的井斜角和方位角; γ 表示斜向器的导斜角; ω 表示斜向器座放方位角(又称为装置角)。

文献[1]还得到斜向器对井斜角和方位角的影响范围是有限的, 一般为 $L_X \approx 30$ m 左右, 可根据下部钻具组合的刚性和钻头尺寸来确定。假定, 开窗点的井深为 L_W 。因此, 可以把井深为 $L_W + L_X$ 井

结 论

1) 高密度水基钻井液流变性能维护困难的原因在于: ①高固相含量带来的粘度高; ②高固相粒子分散带来的粘度高; ③固相粒子间相互作用产生的粘度高; ④对外来物质的侵污敏感性更强。

2) 增强高密度水基钻井液体系流变性的稳定性途径有: 增强体系的抑制性, 改善钻井液中固相颗粒的分散度; 大幅度降低钻井液中的膨润土含量; 大幅度降低钻井液中的总固相含量; 前几种方法的

结合。

3) 通过形成良好的内滤饼来控制外滤饼质量的观点对于钻井液的失水造壁性控制具有实际意义。

4) 采用钻井液流变性、造壁性控制原理指导新疆准噶尔盆地安 4 井深井高密度钻井液配方优选, 获得了满意的流变性能和造壁性能, 为该井钻井成功奠定了良好基础。

(收稿日期 2001-03-26 编辑 钟水清)

* 张 焱, 1971 年生, 博士后, 教授; 1998 年 9 月于西南交通大学获取固体力学博士学位, 现在辽河石油勘探局工程技术研究院工作; 研究方向: 石油工程、固体力学、铁路轮轨关系、多底井开采技术等, 曾发表 30 多篇学术论文。地址: (124010) 辽宁省盘锦市辽河石油勘探局工程技术研究院。电话: (0427) 7829097。

斜角为 α_2 , 方位角为 φ_2 作为井眼轨迹设计的初始条件, 进行井眼轨迹的最优化设计, 使设计井眼轨迹满足: ①设计井眼最短; ②井眼曲率相对最小; ③管柱摩擦/扭矩相对最小; ④满足现场工具造斜能力等特点。由此得到的斜向器的装置角 ω^* 就是最优解。

理论分析

本节以变斜变方位+稳斜稳方位井眼剖面类型1为例^[2], 讨论定向井斜向器最佳座放方位问题。从文献[2]可知, 井眼剖面类型1的最优化数学模型中含4个约束变量, S_1 、 S_2 、 K_α 和 K_ϕ 。从式(1)~(4)可知, 当斜向器型号确定后, 井斜角 α_2 和方位角 φ_2 只与斜向器座放方位 ω 有关, 而井斜角 α_2 和方位角 φ_2 正是井眼轨迹最优化设计的已知条件, 因此斜向器座放方位 ω 就是井眼剖面类型1最优化数学模型的第五个约束变量。

为了分析方便, 改写式(1)~(3)中的井斜角 α_2 为 α_A , 方位角 φ_2 为 φ_A , 从而可以得到此种类型定向井剖面斜向器座放方位的最优化数学模型:

$$\begin{aligned} \min S(K_\alpha, K_\phi, S_1, S_2, \omega) = \min S_1 + S_2 \\ \text{s. t. } \left. \begin{aligned} |K_\alpha| &\leq K_{\alpha\max} \\ |K_\phi| &\leq K_{\phi\max} \\ 0 \leq S_1 &\leq L_{\text{bfwdc}} \\ S_2 &\geq 0 \\ b_1 - |EF| &\geq 0 \\ \omega &\in [\omega_1, \omega_2] \end{aligned} \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

此种类型水平井剖面斜向器座放方位的最优化数学模型:

$$\begin{aligned} \min S(K_\alpha, K_\phi, S_1, S_2, \omega) = \min S_1 + S_2 \\ \text{s. t. } \left. \begin{aligned} |K_\alpha| &\leq K_{\alpha\max}, |K_\phi| \leq K_{\phi\max} \\ S_2 &\geq 0 \\ 0 \leq S_1 &\leq L_{\text{bf}} \\ b_1 - |FF| &\geq 0 \\ \alpha_{D\min} &\leq \alpha \leq \alpha_{D\max} \\ \Phi_{D\min} &\leq \Phi \leq \Phi_{D\max} \\ \omega &\in [\omega_1, \omega_2] \end{aligned} \right\} \quad (6) \end{aligned}$$

$$\text{其中: } \sin \omega = \frac{\sin \alpha_A \sin(\varphi_A - \varphi_1)}{\sin \gamma} \quad (7)$$

$$\cos \alpha_A = \cos \alpha_1 \cos \gamma - \sin \alpha_1 \sin \gamma \cos \omega \quad (8)$$

$$\tan(\varphi_A - \varphi_1) = \frac{\sin \gamma \sin \omega}{\sin \alpha_1 \cos \gamma + \cos \alpha_1 \sin \gamma \cos \omega} \quad (9)$$

$$E_T = E_A + \frac{30}{K_\phi^2 - K_\alpha^2} [K_\alpha (\cos \alpha \sin \Phi - \cos \alpha_A \sin \Phi_A) + K_\phi (\sin \alpha_A \cos \Phi_A - \sin \alpha \cos \Phi)] + \sin \alpha \sin \Phi S_2 \quad (10)$$

$$N_T = N_A + \frac{30}{K_\phi^2 - K_\alpha^2} (K_\alpha (\cos \alpha \cos \Phi - \cos \alpha_A \cos \Phi_A) - K_\phi (\sin \alpha_A \sin \Phi_A - \sin \alpha \sin \Phi)) + \sin \alpha \cos \Phi S_2 \quad (11)$$

$$Z_T = Z_A + (\sin \alpha - \sin \alpha_A) 30 / K_\alpha + \cos \alpha S_2 \quad (12)$$

$$\alpha = \alpha_A + K_\alpha S_1 / 30 \quad (13)$$

$$\Phi = \Phi_A + K_\phi S_1 / 30 \quad (14)$$

$$|FF| = \sqrt{(E_D - E_T)^2 + (N_D - N_T)^2 + (Z_D - Z_T)^2} \quad (15)$$

式中: b_1 为 D 、 T 间的距离精度控制常数; α_1 、 Φ_1 分别表示开窗点的井斜角和方位角; α 、 Φ 分别表示设计轨迹的井斜角和方位角; S_1 为变斜变方位段长; S_2 为稳斜稳方位段长; K_α 、 K_ϕ 分别为 S_1 段的变斜率和变方位率; E_T 、 N_T 、 Z_T 为设计轨迹坐标; E_D 、 N_D 、 Z_D 为靶点坐标。

需要说明的是, 式(5)、(6)中 $\omega \in [\omega_1, \omega_2]$ 的含义是:

1) 如果只允许斜向器座放在井眼高边, 则 $\omega \in [\omega_1, \omega_2]$ 就必须写为 $\omega \in [-90, 90]$ 或 $\omega \in [0, 90]$ 或 $\omega \in [270, 360]$ 。

2) 如果斜向器可以座放在任意角度, 则 $\omega \in [\omega_1, \omega_2]$ 为 $\omega \in [0, 360]$ 。

3) 如果只允许斜向器座放在井眼高边左右 β 角内, 则 $\omega \in [\omega_1, \omega_2]$ 就必须写为 $\omega \in [-\beta, \beta]$ 或 $\omega \in [0, \beta]$ 或 $\omega \in [360 - \beta, 360]$ 。

最优化求解

方程(5)、(6)为非线性不等式约束下的非线性规划问题, 本文采用序列无约束极小化混合法 (SUMT 混合法) 进行求解, 收敛性和稳定性都能达到一定要求。SUMT 法包括外点法、内点法和混合法。它们的主要特点是在内点法中, 依靠障碍项 $r \sum_{i=1}^p \frac{1}{g_i(x)}$ 或 $-r \sum_{i=1}^p \lg g_i(x)$ 限制所求解的点被围在可行域的附近; 而在外点法中, 尽量消耗不在可行域的现象就完全依赖于下面消耗项的作用: $R(x) = \sum_{i=1}^p [\min(0, g_i(x))]^2$ 。

如果按照序列无约束极小化技巧, 即一般的 SUMT 的算法, 几乎每一步都会得到所求极值点对一部分约束条件成立, 而对另一部分并不成立。所以, 最好的办法是对那些不成立的约束部分采用消耗项; 而对成立的部分, 特别是那些合于不等式约束严格为不等的部分, 采用障碍项。这就是所谓的

SUMT 混合法。由于篇幅所限,在此不予详细讨论。

实例分析

对于海 14-20F1 井,开窗点井深为 1 603 m,北坐标为 370.29 m,东坐标为 -114.17 m,井斜角为 16.6° ,方位角为 358° ,垂深为 1 525.5 m。斜向器导斜角为 3° 。靶点垂深为 1 770 m,北坐标为 381.7 m,东坐标为 -131.8 m。应用斜向器座放方位的确定方法①,该井斜向器应座放在 302.91° ;应用斜向器座放方位的确定方法②,该井斜向器应座放在 $(180^\circ, 270^\circ)$;应用斜向器座放方位最优化计算方法,该井斜向器应座放在 270° (仅在高边), 249° (可在任意方位)。实际上,斜向器座放在 210° 。

对于海 14-20F2 井,开窗点井深为 1 586 m,北坐标为 365.14 m,东坐标为 -112.44 m,井斜角为 17° ,方位角为 357.29° ,垂深为 1 509.42 m。斜向器导斜角为 3° 。靶点垂深为 1 800 m,北坐标为 396.7 m,东坐标为 -241.8 m。应用斜向器座放方位的确定方法①,该井斜向器应座放在 283.71° ;应用斜向

器座放方位的确定方法②,该井斜向器应座放在 $(270^\circ, 360^\circ)$;应用斜向器座放方位最优化计算方法,该井斜向器应座放在 270° (仅在高边), 223° (可在任意方位)。实际上,斜向器座放在 282° 。

对于海 14-20F3 井,开窗点井深为 1 561.55 m,北坐标为 358.07 m,东坐标为 -111.09 m,井斜角为 18.85° ,方位角为 356.1° ,垂深为 1 486.05 m。斜向器导斜角为 3° 。靶点垂深为 1 800 m,北坐标为 416.7 m,东坐标为 3.2 m。应用斜向器座放方位的确定方法①,该井斜向器应座放在 62.84° ;应用斜向器座放方位的确定方法②,该井斜向器应座放在 $(0^\circ, 90^\circ)$;应用斜向器座放方位最优化计算方法,该井斜向器应座放在 90° (仅在高边), 146° (可在任意方位)。实际上,斜向器座放在 67.5° 。

图 1 给出了 14-20F3 井装置角对轨道参数的影响规律。由图 1 可知,斜向器的装置角对设计井眼总长 S_{12} 、井斜角、方位角变化总量的影响较小,但对变斜变方位段 S_1 和 S_2 稳斜稳方位段的影响较大,最大值与最小值之差达 37 m,这将影响到使

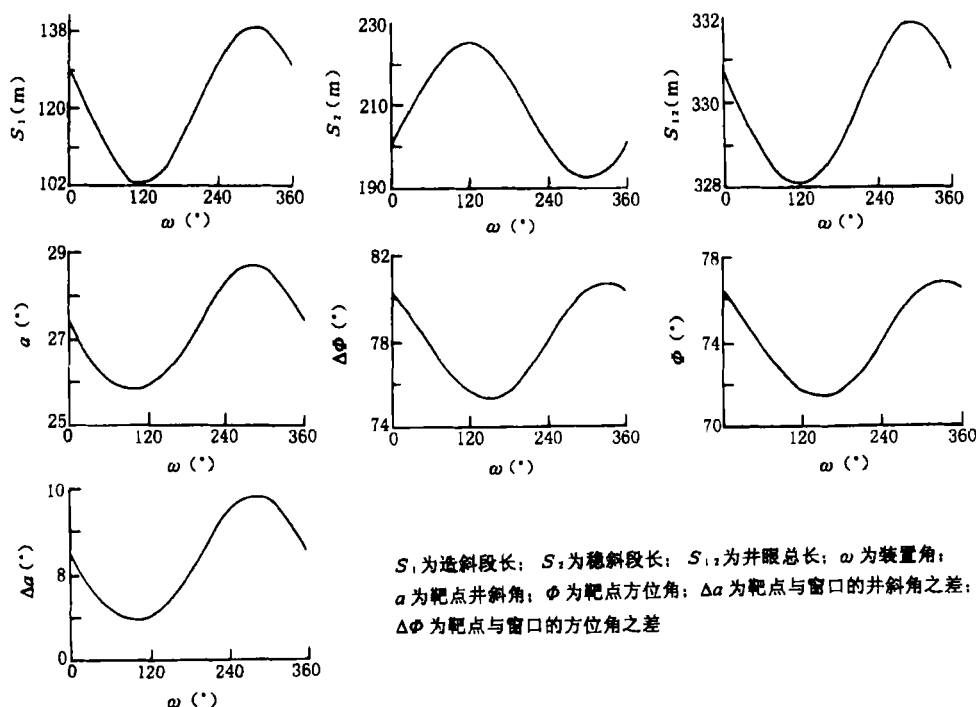


图 1 斜向器装置角轨道参数图

用动力钻具的钻井进尺,影响到钻井成本的高低。

结论

本文成功地把非线性最优化数学理论引入到定

向井斜向器座放方位的最优化计算中,考虑到定向井和水平井的特点,分别建立定向井和水平井剖面斜向器装置角的最优化数学模型,并应用序列无约束极小化混合法(SUMT 混合法)求解,填补了国内

酯基钻井液研究^{*}

张 琰^{**} 任丽荣

(石油大学石油工程系)

张琰等. 酯基钻井液研究. 天然气工业, 2001; 21(6): 54~57

摘 要 近海钻井过程中产生的钻屑通常直接向海洋排放以致形成一个钻屑堆, 海底探测发现, 使用油基钻井液的钻井过程中所产生的钻屑上残余的矿物油降解速率非常慢, 岩屑堆下的动植物被窒息, 而且还影响到岩屑堆周围的海洋生命, 因为残余的矿物油许多年内都在进行缓慢的有氧生物降解过程, 耗尽了油周围水中的氧。因而需要研究既不污染环境又具有优良特性的新型钻井液, 文章首先对酯基液的制备和性能以及乳状液配方的优选进行了简单描述, 然后对优选出的酯基钻井液配方进行了系统的评价试验。研究结果表明, 所研制的酯基钻井液体系具有优良的润滑性和储层保护性, 其页岩抑制性介于柴油基和水基钻井液之间, 适用于井底温度不超过 120℃ 的钻井条件。

主题词 酯基钻井液 室内试验 性能评价 研究

自 80 年代末, 为了解决油基钻井液对环境的污染问题而又能保留其优异特性, 美国、英国、挪威等国石油公司投入一定的人力和物力从事合成基钻井液的研究和开发工作, 其中酯基钻井液于 1990 年 3 月在北海现场首次应用并获得成功。酯基钻井液是以人工合成的酯基液为连续相, 盐水为分散相, 再加上乳化剂、有机土、石灰以及其它添加剂组成的一种逆乳化钻井液。它在配制工艺和许多性能方面与油基体系相似, 但无毒、无荧光、生物降解速度快、对环境无污染, 可应用于环保要求比较严格的地区。

基液的制备与性能测试

基液是植物油脂和一元醇在催化剂作用下反应生成。在成功地制备出基液后, 通过蒸气压渗透法测定平均分子量, 验证了产物的纯度(即产物中脂肪酸酯的含量)在 95% 以上, 并且还通过红外光谱对产物进行了定性分析, 验证了产物为脂肪酸酯。将酯

外在这方面的空白。实例计算表明, 斜向器的装置角对井眼轨迹参数的影响是不可忽视的。

参 考 文 献

1 刘修缮, 王珊, 齐林. 井眼轨迹设计理论描述方法. 哈尔

基液的基本物性列于表 1。其中, 闪点(开杯)的测试

表 1 基液的基本物性参数

	密度 (25℃, g/cm ³)	运动粘度 (25℃, cst)	闪点 (℃)	倾点 (℃)	在氮气中起始 降解温度 (℃)
酯基液	0.88	4.94	189	0	237
0 号柴油	0.80	4.58	>65 ^[1]	0	/

执行 GB/T 3536 规定的标准, 倾点的测试执行 GB/T 3535 规定的标准, 测定密度所使用的仪器为 DMA45 型密度仪(澳大利亚 PAAR 公司), 粘度是用乌氏粘度计测定的, 起始降解温度是用 WCT-1A 型差热天平测量物质的质量与温度的关系, 即用热重分析法来确定的。由表 1 可知: 酯基液的运动粘度与 0 号柴油相近, 这种具有低粘性质的基液有利于调配粘切适中的钻井液; 与柴油相比, 酯基液的闪点较高, 说明它不易挥发、不易燃, 便于运输和储存,

滨: 黑龙江科学出版社, 1993

2 张焱, 吴爽, 刘坤芳. 定向井待钻井眼轨迹最优设计方法研究. 石油钻探技术, 1999; 27(6): 11~13

(收稿日期 2001-03-06 编辑 钟水清)

^{*} 中国石油天然气集团公司中青年创新基金“合成基钻井液的试验研究”课题的部分研究结果。

^{**} 张琰, 1956 年生, 女, 1985 年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 1996 年毕业于德国 Clausthal 工业大学获博士学位。主要从事钻井液和保护储层技术的研究。地址: (102249) 北京昌平。电话: (010) 89741215。

sium and calcium ions is proposed; and based on Darcy's law, a model showing the interrelation between internal and external mud cakes is set up, thus putting forward a viewpoint of controlling external mud cake quality by forming good internal mud cake. Through the laboratorial examination of well An-4 in Zhunge'er Basin, it is proved that the viewpoint and method proposed are of fair feasibility.

SUBJECT HEADINGS: Deep drilling, Water base mud, High density, Fluid property, Control, Theory

Pu Xiaolin (*professor*), born in 1957, has been engaged in the research on drilling fluids and completion fluids for a long time. Add: No. 30, Xueyuan Road, Nanchong, Sichuan (637001), China Tel: (0817)2643029

.....

OPTIMIZATION DESIGN OF MULESHOE ORIENTATION ANGLE IN DIRECTIONAL WELL

Zhang Yan (Liaohe Petroleum Exploration Bureau) and Wu Shuang, Liu Kunfang, Peng Fei and Li Ji (Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan). *NATUR. GAS IND.* v. 21, no. 6, pp. 51 ~ 54, 11/25/2001. (ISSN1000 - 0976; In Chinese)

ABSTRACT: Sidetracking by the aid of a muleshoe is one of the most important sidetracking ways. There are three operation methods on the spot, i. e. ① the muleshoe is set on the designed orientation line from kickoff point to target point; ② which quadrant should be located in by the muleshoe is dependent upon the change trend of inclination orientation of the designed hole track and the effect of the muleshoe on the inclination orientation; and ③ the muleshoe is always set on the high side of borehole; if the inclination orientation of the designed hole track is on a decreasing trend, the muleshoe is set on the left of the high side; otherwise, on the right of the high side. Through research it is proved that the three methods aren't the optimization ones, by which an exact muleshoe setting angle can not be obtained and its being obtained is related to the experience of the operators. In the paper, the non-linear optimization theory is introduced into the optimal calculation of the muleshoe orientation angle in directional well; and the non-linear programming equations are founded and solved by SUMT method, thus settling the question of the sidetracking by the muleshoe in directional well. The WSS software with a good user interface has been programmed for these method by use of Visual Basic and it is very easy to be operated and used.

SUBJECT HEADINGS: Directional well, Muleshoe, Direction, Optimization design

Zhang Yan (*postdoctorate, professor*), born in 1971, received his Doctor's degree in solid mechanics from the Southwest Jiaotong University in 1998. He is engaged in the research on petroleum engineering, solid mechanics, wheel-rail relation, and the production technology of multi-bore well, etc. He pub-

lished more than 30 articles. Add: Panjin, Liaoning (124010), China Tel: (0427)7829097

.....

A RESEARCH ON ESTER-BASE DRILLING FLUID

Zhang Yan and Ren Lirong (University of Petroleum·Beijing). *NATUR. GAS IND.* v. 21, no. 6, pp. 54 ~ 57, 11/25/2001. (ISSN1000 - 0976; In Chinese)

ABSTRACT: The cuttings produced in offshore drilling are almost always discharged into the ocean so as to form a stack of cuttings at the sea floor. Through detecting the sea floor, it is found that the degradation rate of mineral oil left on the cuttings produced in the drilling process by use of oil-base drilling fluid is very slow, which makes the animals and plants under the stack of cuttings be stifled to death and the marine organisms around it be menaced, because a slow biodegradation reacting on the remained mineral oil within many years causes the oxygen in the seawater around the oil to be consumed. Therefore it is necessary to develop a novel drilling fluid that not only can't pollute environment but also retains superior property. Firstly, the preparation and performance of ester-base fluid and the optimization of emulsion formulas are simply described, then a systematical evaluation of the ester-base drilling fluid formula optimized is conducted in the paper. The research result shows that the ester-base drilling fluid system developed is of an excellent lubricity and reservoir damage resistance and its shale inhibition is between the shale inhibition of diesel oil-base drilling fluid and the one of water-base drilling fluid. It is suitable for the drilling condition at the bottomhole temperature of less than 120℃.

SUBJECT HEADINGS: Ester-base drilling fluid, Laboratory test, Performance evaluation, Research

Zhang Yan (*Doctor*), born in 1956, graduated from the China University of Geosciences and received her Master's degree in 1985, then received her Doctor's degree from the Clausthal University of Technology, Germany, in 1996. She is mainly engaged in the research on drilling fluid and reservoir damage resistance. Add: Changping, Beijing (102249), China Tel: (010)89741215

.....

A STUDY OF SHALE STABILITY OF WATER-BASE POLYETHYLENE GLYCOL DRILLING FLUID

Liu Pingde, Niu Yabin, Wang Guijiang and Xia Zhaohui (Research Institute of Petroleum Exploration and Development) and Zhang Mei (Daqing Oil Field Co. Ltd.). *NATUR. GAS IND.* v. 21, no. 6, pp. 57 ~ 59, 11/25/2001. (ISSN 1000 - 0976; In Chinese)

ABSTRACT: Owing to the filtrate invasion of drilling fluid during drilling, the mechanical strength of rock is weakened be-