

偏轴钻具防斜效果探讨^{*}

张玉胜 陈 平

(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院)

张玉胜等.偏轴钻具防斜效果探讨.天然气工业,2004;24(12):89~92

摘 要 文章运用纵横弯曲连续梁理论,分析井斜平面二维井眼中的偏轴钻具组合的力学特性。所建立的偏轴钻具防斜效果的评价指标,综合考虑了地层倾角、地层各向异性指数、钻头横向切削指数,用于预测实钻井眼速率,效果良好。文章还运用该指标衡量了主要钻井参数变化对偏轴钻具防斜效果的影响。

主题词 偏轴 防斜打快 钻头 钻具 井眼曲率 预测

偏轴钻具组合是钻井现场中常用的防斜打快钻具组合之一,但是,对该钻具组合的防斜规律的研究还不够详尽。作者在前人研究的基础上,运用纵横弯曲连续梁模型,分析了偏轴下部钻具组合的力学特征,考虑钻头和地层的各向异性因素及地层倾角

对防斜的影响,探讨了偏轴钻具组合在井斜平面二维井眼中的防斜效果。

一、偏轴钻具组合力学分析方法

偏轴钻具防斜组合的结构示意图如图 1。图 1

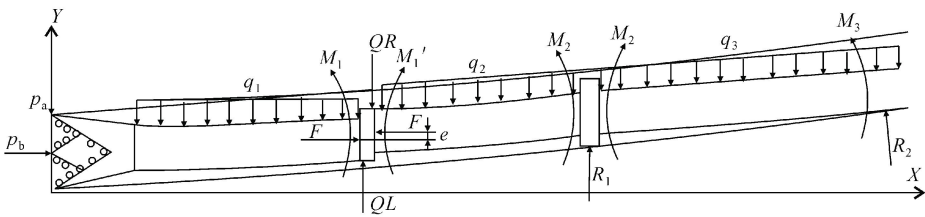


图 1 偏轴钻铤偏向井眼低边时的力学模型

中, q_1 、 q_2 、 q_3 分别为第一、二、三段钻柱自重产生的侧向均布载荷, N/m ; M_1 、 M_1' 为偏轴接头左端和右端的内弯矩, Nm ; M_2 、 M_3 为扶正器和上切点处的内弯矩, Nm ; F 为偏轴接头处钻柱的轴向载荷, N ; e 为偏轴距, mm ; Q_L 、 Q_R 为偏轴接头左右两侧的剪力, N ; R_1 、 R_2 为扶正器和上切点处的井壁支反力, N 。

本文应用纵横弯曲连续梁模型^[1]分析偏轴下部钻具组合的力学行为,由于篇幅限制,在此省略详细步骤。所作的基本假设有:① 井眼为铅垂平面内二维,且井身剖面与地层走向所在直线垂直。② 钻压恒定,沿井眼轴线作用。③ 偏轴钻铤处于公转状态。

(1) 公转离心载荷的处理。偏轴钻具由于其本身结构特点,上部钻柱自转的同时,带动下偏轴钻铤公转。公转作用产生的侧向均布离心载荷可由式

(1)计算:

$$q_1' = \frac{\rho \pi}{4} (D_{co}^2 - D_{ci}^2) \omega^2 D_{ec} \tag{1}$$

式中: ρ 为钻铤密度, kg/m^3 ; D_{co} 、 D_{ci} 、 D_{ec} 为偏轴钻铤的外、内径,偏轴距, m ; ω 为转盘转速, r/s 。

钻柱在井眼中旋转一周的过程中,偏轴钻铤上的侧向均布载荷随位置不同而不同。为讨论偏轴钻具的防斜性能,重点考虑对井斜影响较大的两个时刻——偏轴钻铤偏向上井壁和偏向下井壁时钻具的力学行为。当偏轴钻铤偏向下(或上)井壁一侧时,第一段钻铤横向均布载荷应在钻柱自重产生的侧向均布载荷 q_1 的基础上,加上(或减去) q_1' 。

(2) 偏轴接头的处理。偏轴接头处转角连续。考虑偏轴接头产生的附加弯矩^[2]和偏轴作用对梁柱

^{*} 本文系中国石油新疆油田分公司重点科技攻关项目“准噶尔南缘勘探井筒配套技术研究”的部分内容及西南石油学院基金项目(编号:院 237)。

作者简介: 张玉胜,1980 年生,西南石油学院在读硕士研究生。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话:(028)83032734。

附加转角的影响,当偏轴接头与井壁未接触时,采用“纵横弯曲连续梁理论”处理变截面梁的方法,对偏轴下部钻具组合进行力学分析。偏轴接头与井壁接触时,把偏轴接头视为稳定器,可用“纵横弯曲连续梁理论”处理一般钻具组合的方法,分析偏轴下部钻具组合的力学行为。

二、偏轴钻具防斜效果的评价指标

偏轴钻具的钻头转角和钻头侧向力,在偏轴钻铤偏向下井壁瞬间和偏向上井壁瞬间有很大不同,为综合考虑偏轴钻具的防斜效果,引入钻头合位移角(ψ)的概念。 ψ 为钻头钻进方向与井底处井眼轴线的夹角。通过推导可得下面的定义式(2):

$$\psi = (\theta + \varphi + \theta + \varphi) / 2 \quad (2)$$

式中: θ 为钻头转角, $^{\circ}$; φ 为钻头轴向与侧向切削合速度的方向与钻头轴线的夹角, $^{\circ}$,可通过下面的分析求出;下角标 1,2 代表偏轴钻铤偏向下井壁和上井壁的两个瞬间。

如图 2 所示,钻压 p_b 和钻头侧向力 p_a 可以分解为:沿钻头轴线的作用力 F_a 和垂直于钻头轴线的作用力 F_d ,见式(3)和(4)。

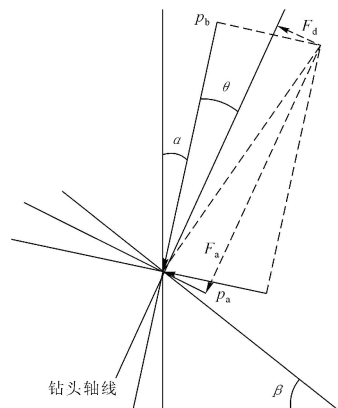


图 2 钻头受力分析示意图

$$F_a = p_b \cos \theta + p_a \sin \theta \quad (3)$$

$$F_d = p_a \cos \theta - p_b \sin \theta \quad (4)$$

如图 3,假设地层可钻性在井斜平面上呈椭圆形分布,即椭圆长轴对应于沿地层面法线方向岩石的可钻性系数,设此可钻性系数为 1.0。椭圆短轴对应于地层面上垂直于地层法线方向的可钻性系数,设此可钻性系数为 h' ,地层各向异性指数为 h , $h = 1.0 - h'$ 。则沿钻头和垂直于钻头方向上的两个地层可钻性系数可由式(5)和(6)求出。

$$k_a = 1.0 \times \cos^2 \gamma + h' \sin^2 \gamma \quad (5)$$

$$k_d = h' \cos^2 \gamma + 1.0 \times \sin^2 \gamma \quad (6)$$

式中: k_a 和 k_d 为沿钻头轴向和沿钻头横向的地层可钻性系数; γ 为钻头轴线与地层法线的夹角, $^{\circ}$, $\gamma = \beta - \alpha - \theta$; β 为地层倾角, $^{\circ}$; α ,钻头处井斜角, $^{\circ}$; θ 为钻头转角, $^{\circ}$ 。

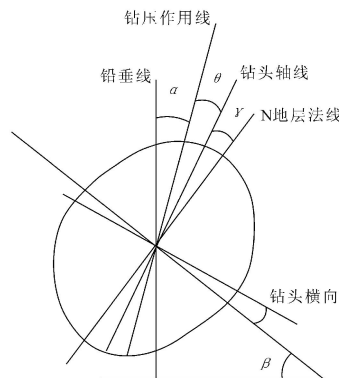


图 3 地层可钻性椭圆图

假设在其它钻井参数不变的情况下,钻头轴向钻速 v'_a 、横向钻速 v_d 与这两个方向上的钻头切削指数、岩石可钻性系数、有效作用力成正比,见关系式(7)和(8)。

$$v_a = c k_a F_a c_a \quad (7)$$

$$v_d = c k_d F_d c_d \quad (8)$$

式中: c 为与转速、水力参数、钻具组合参数、井身轨道参数等有关的系数; c_a 和 c_d 为钻头轴向和横向切削指数,取 $c_a = 1.0$ 。

钻头轴向、横向切削的合速度方向与钻头轴线间的夹角 φ 可由式(9)计算:

$$\tan \varphi = v_d / v_a \quad (9)$$

一定工况下与井眼曲率相适应的钻具组合,有保持原有曲率钻进的作用,所以当 $\varphi = 0$ 时,钻具等曲率钻进; $\varphi > 0$ 时,钻具增曲率钻进; $\varphi < 0$ 时,钻具降曲率钻进。

三、实例分析

首先,通过实钻资料反算地层各向异性指数和钻头横向切削指数。在给定钻具组合和钻井参数下,取两组不同井深处的井斜角、上一井段的井眼曲率,计算所对应的钻头侧向力、钻头转角、钻头合位移角,令钻头合位移角 $\varphi = 0$,即可反算出地层各向异性指数、钻头横向切削指数。

同样,带入地层各向异性指数、钻头横向切削指数,也可通过调整钻进参数观察钻具防斜效果的变化。

新疆某油田地层倾角为 50° 的一口井中使用了如下的钻具组合： $\varnothing 311.1\text{ mm}$ 钻头+ $\varnothing 228.6\text{ mm}$ 钻铤 $\times 1$ 根+ $\varnothing 265\text{ mm}$ 偏轴接头+ $\varnothing 228.6\text{ mm}$ 钻铤 $\times 2$ 根+ $\varnothing 311.1\text{ mm}$ 扶正器+ $\varnothing 228.6\text{ mm}$ 钻铤 $\times 4$ 根+ $\varnothing 203.2\text{ mm}$ 钻铤 $\times 4$ 根+ $\varnothing 127\text{ mm}$ 钻杆。在钻压 50 kN ，转速 110 r/min ，钻井液密度 1.5 g/cm^3 ，钻出如下井眼，平均井径扩大率 9.58% （见表 1）。

表 1 部分实钻井身数据表		
井 深 (m)	井 斜 ($^{\circ}$)	井斜变化率 ($^{\circ}/30\text{m}$)
1125	5	0.30
1150	5.25	0.30

根据以上的模型和数据编制程序，经计算得地层各向异性指数为 0.23 ，钻头横向切削指数为 0.05 。据此试算临近井段的井眼曲率，结果见表 2。

表 2 临近井段的井眼曲率表			
井 深 (m)	井 斜 ($^{\circ}$)	实钻曲率 ($^{\circ}/30\text{m}$)	预测曲率 ($^{\circ}/30\text{m}$)
1100	4.75	0.30	0.23
1175	5.5	0.15	0.12
1200	5.75	-0.15	-0.13

四、主要参数变化对防斜效果的影响

在以上所给的钻具组合和地层参数下，取 4.5° 井斜角， 0 曲率井眼，观察主要参数变化对防斜效果的影响，结果见图 4~9。

地层倾角及地层各向异性指数对防斜效果的影响见图 4。图 4 显示，偏轴钻具可适用于大倾角地层防斜，但对于地层各向异性指数不同的地层，需要设计不同的偏轴钻具组合来保持偏轴钻具的防斜效果。

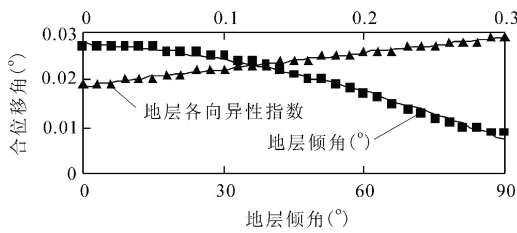


图 4 地层倾角和地层各向异性指数对防斜效果的影响

钻头横向切削指数对防斜效果的影响见图 5。由图 5 可知，同样的钻具组合在同样的工况下，使用横向切削能力不同的钻头，防斜效果不同。为了稳斜应使用横向切削能力较弱的钻头，为了降斜应使用横向切削能力强的钻头。

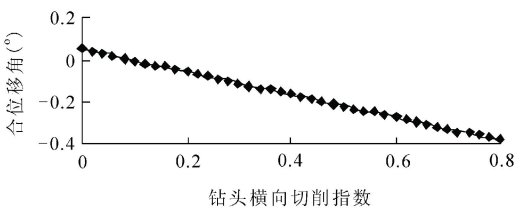


图 5 钻头横向切削指数对防斜效果的影响

钻压对防斜效果的影响见图 6。由图 6 可以看出，偏轴钻具在较大钻压范围内都有防斜效果，这对大钻压、高钻速下的防斜有较大意义。

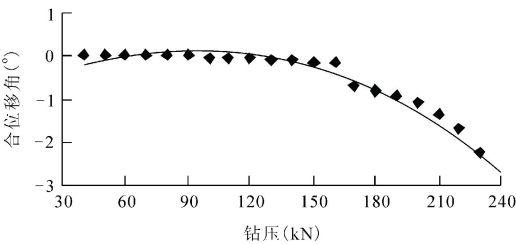


图 6 钻压对防斜效果的影响

转速对防斜效果的影响见图 7。由图 7 可以看出，一定工况下，给定的钻具组合只有转速超过某一值，偏轴钻具才具有防斜效果，且随着转速增高防斜效果变好。

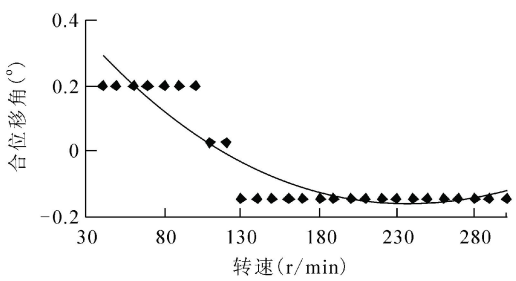


图 7 转速对防斜效果的影响

偏轴距对防斜效果的影响见图 8。由图 8 知，给定的钻具组合在一定工况下，只有偏轴距超过某一值，偏轴钻具才具有防斜效果，且随着偏轴距增大防斜效果变好。

偏轴接头的安放位置对防斜效果的影响见图 9。由图 9 可以看出，偏轴接头的安装位置距钻头不宜

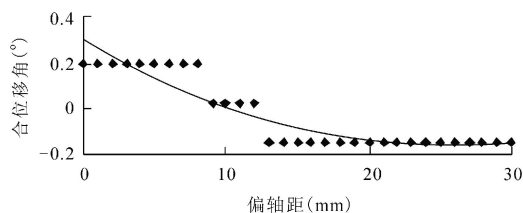


图8 偏轴距对防斜效果的影响

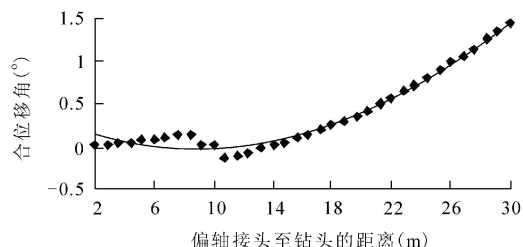


图9 偏轴接头至钻头的距离对防斜效果的影响

过远,以取 9~12 m 为宜。

五、结 论

(1)考虑偏轴接头产生的附加弯矩和偏轴作用对偏轴接头处附加转角的影响,可用纵横弯曲连续梁理论处理变截面梁的方法来分析偏轴钻具的力学行为。

(2)本文提出的衡量偏轴钻具的防斜效果的合位移角概念,综合考虑了地层、钻头、钻具结构和钻进参数对井眼轨迹形成的影响,用于预测实钻井眼曲率,效果良好。

(3)为了稳斜应使用横向切削能力较弱的钻头,为了降斜应使用横向切削能力强的钻头。

(4)偏轴钻具可适用于大倾角地层防斜;但对于地层各向异性指数不同的地层,应设计不同的偏轴钻具组合来达到防斜效果。

(5)一定工况下的偏轴钻具组合,只有当转速超过某一值时才有防斜效果,且防斜效果随转速增高而增强。

(6)给定工况下的偏轴钻具组合,只有当偏轴距超过某一值时才有防斜效果,且防斜效果随偏轴距增大而增强。

(7)偏轴接头的安装位置距钻头不宜过远。一定工况下,偏轴接头至钻头有一个最佳安装距离。

参 考 文 献

- 1 白家祉,苏义脑.井斜理论控制与实践.北京:石油工业出版社,1990
- 2 史玉才,管志川.偏轴钟摆钻具组合力学特性分析.石油大学学报(自然科学版),2004;28(2)
- 3 丰全会,王珍应等.偏轴防斜钻具的研究及在江苏部分地区的应用.石油钻采工艺,2002;24(2)
- 4 杜青才,石晓兵,陈平等.霍10井区大倾角地层自然造斜规律探讨与防斜打快对策探讨.天然气工业,2004;24(3)
- 5 余雄鹰.在钻井过程中对地层造斜力的研究.中国海洋平台,1995;10(5)

(收稿日期 2004-10-19 编辑 钟水清)