

偏轴防斜钻具井底钻具组合受力分析模型的建立

夏宏南¹, 王小建¹, 戴 俊², 欧阳勇¹, 谭家虎¹

(1. 长江大学 东校区 石油工程学院 湖北 荆州 434023 ; 2. 扬州石油化工厂 江苏 江都 225200)

摘 要 : 偏轴防斜钻具是一种新的防斜钻具 , 其井底钻具组合受力分析比较复杂。对偏轴钻具井底钻具组合受力分析模型进行了探讨。依据该理论模型研究设计的偏轴钻具组合在辽河油田进行了现场试验 , 取得了比较好的效果 , 既控制了井斜 , 又保持了较高的机械钻速。

关键词 : 钻井 防斜 偏轴防斜钻具 井底钻具 受力分析 模型

中图分类号 : TE243 文献标识码 : A 文章编号 : 1672 - 7428(2004)10 - 0039 - 04

Establishment of Force Model for Eccentric BHA/XIA Hong-nan¹, WANG Xiao-jian¹, DAI Jun², OUYANG Yong¹, TAN Jia-hu¹(1. Changjiang University, Jingzhou Hubei 434023, China ; 2. Yangzhou Petrochemical Works, Jiangdu Jiangsu 225200, China)

Abstract : Eccentric BHA is a new deflection controlling tool. It 's difficult for us to analyze the stress of eccentric BHA. The paper probed into the theory model of it. The eccentric BHA based the theory model was carried out field testing in Liaohe Oil Field. Good results have been gotten. Borehole deflection was controlled and high penetration rate was also kept.

Key words : drilling ; deflection control ; eccentric BHA ; BHA force analysis ; model

防斜是钻井作业中的一个重要难题。最近出现的偏轴防斜钻具具有比较好的应用前景。其特点是改变传统防斜钻具轻压慢钻的情况 , 采用大钻压和高转速 , 在保证井身质量的前提下 , 取得比常规防斜钻具组合更高的机械钻速^[1] , 从而提高钻井速度 , 缩短钻井周期 , 降低钻井成本 , 提高油田开发的综合经济效益。

偏轴防斜钻具是在两根钻铤之间接一个偏轴接头 , 造成井底钻具几何中心和重心不重合 , 见图 1。其独特结构使得对其井底钻具组合进行受力分析比

较麻烦。本文采用纵横弯曲连续梁法对偏轴防斜钻具井底钻具组合受力分析模型进行了探讨。

1 工作原理

偏轴钻具能够防斜降斜 , 主要有以下几点原因。

(1) 在常规钻具中 , 钻柱容易形成稳定的自转 , 使得钻头总是切削井底的高边 , 造成井斜角不断增大 ; 采用偏轴钻具时 , 钻柱受压后产生较常规钻具大得多的弯曲 , 可以获得较大的离心力 , 离心力促使钻柱在井眼内做稳定的弓形回旋运动 , 以至钻头均等切削井壁四周 , 从而能够防斜。

(2) 在斜井内 , 偏轴钻具的自重产生的钟摆力可以降斜 , 斜井内钻柱的弓形回旋运动使得钻头更有利于切削井底低边 , 这样也可以降斜。

(3) 周期性的旋转不平衡性使下部钻柱产生强迫弹性横向振动 , 再加上大钻压和高转速 , 大大提高了钻头切削井壁的能力 , 从而提高了钻井速度。

2 处理方法

2.1 简化处理

偏轴防斜钻具下端装有偏轴接头 , 造成接头两

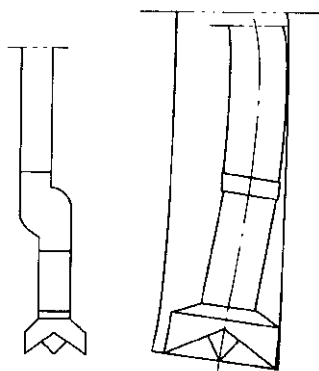


图 1 偏轴防斜钻具井底钻具组合

收稿日期 2004 - 04 - 12

作者简介 : 夏宏南(1962 -) , 男(汉族) , 湖北监利人 , 长江大学副教授、硕士研究生导师 , 油气井工程专业 , 博士 , 从事钻头、钻井工艺和钻井仪器等方面的研究开发工作 , 湖北省荆州市长江大学(东校区) 石油工程学院钻井教研室 (0716) 8430457 , jpuadrill@ tom. com ; 王小建(1980 -) , 男(汉族) , 湖北黄冈人 , 长江大学硕士在读 , 油气井工程专业 , 从事钻井工艺和钻井仪器等方面的研究开发工作 , wangxiaojian_99@ 163. com ; 戴俊(1974 -) , 男(汉族) , 江苏江都人 , 扬州石油化工厂管理人员 , 企业管理专业 , 从事石油炼制方面的工作 , 江苏省江都市 (0514) 6760198 , daijun111@ 263. net。

段钻铤的几何中心和重心不重合,使得在对井底钻具组合进行受力分析时非常困难。为了能够按一般常规方法对带有偏轴接头的井底钻具组合进行受力分析,现将带有偏轴接头的井底钻具看成一个几何中心和重心重合的、直径一致的单一钻柱,见图 2。

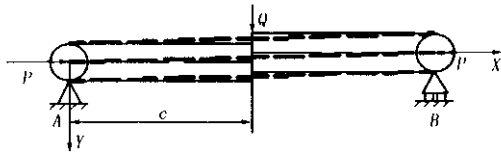


图2 简化处理模型

简化后的钻柱外径与钻铤外径相同,在偏轴接头处受一个当量集中载荷 Q 的作用。

采用纵横弯曲连续梁法对井底钻具组合进行受力分析。首先把井底钻具组合从扶正器处断开,得到若干受纵横弯曲载荷的简支梁柱,再用弹性稳定理论求出每跨简支梁的端部转角值。利用连续梁柱在支座处转角相等的连续条件和上切点处的边界条件,即可得到一系列以支座内弯矩和最上一跨长度为未知数的代数方程组,解此代数方程组,即可完全确定该弹性体系的受力与变形^[2]。

2.2 研究对象

为了对井斜作出定量控制,必须计算钻头对井壁施加的钻具侧向力和钻头的内侧倾角或外侧倾角,求此2个参数是计算的主要目的。在研究偏轴防斜钻具防斜问题时,所研究的主要对象是临近钻头的较短的一段钻铤,在此小范围内,井眼轨迹的变方位角可以忽略不计,即将井眼轴线看作一条倾斜的直线。

2.3 基本假设

在简化和建立井底钻具组合的纵横弯曲连续梁的力学模型时,采用如下假设:

- (1) 钻头、钻铤、扶正器组成的井底钻具组合是小弹性变形体系;
- (2) 钻压为常数,沿井眼轴线方向作用;
- (3) 井壁为刚性体,井眼尺寸不随时间变化;
- (4) 扶正器与井眼之间为点接触;
- (5) 每跨内的钻柱(钻铤)截面不变,且不存在原始弯曲。

3 几何模型

3.1 整体模型

将偏轴接头对下部钻柱的作用用一当量横向集中载荷 Q 对钻柱的作用来替代。这样,井底钻具组合是具有等截面的直梁柱,这根梁柱受轴向载荷 P 、

横向均布载荷 q (重力的横向分量)、内弯矩 M_A 和 M_B 以及集中载荷 Q 作用,见图 3。

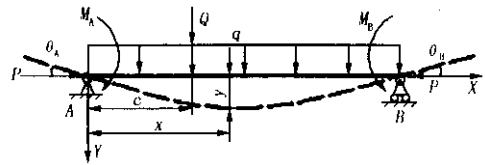


图3 整体几何模型

要做的工作就是求出钻柱中心线的变形曲线方程,然后利用变形曲线方程求出钻柱的最大挠度和两端转角。若最大挠度和井壁之间的距离小于钻柱半径,则钻柱就紧贴井壁。

3.2 纵横弯曲梁的变形叠加原理

Timoshenko 证明,在多种载荷作用于受轴向力的梁时,总的变形可由各个载荷单独与轴向力 P 共同作用时所产生的变形叠加得到^[3]。

3.3 载荷的分解

根据纵横弯曲梁的变形叠加原理,可将偏轴防斜钻具的井底钻具组合分解为一个受均布载荷 q 的弯曲梁、一个受内弯矩 M 作用的弯曲梁和一个在偏轴接头处受一个集中载荷 Q 的弯曲梁,用纵横弯曲连续梁法分别分析各自的受力情况,推导出各自的三弯矩方程组,求出相应的变形情况,然后将三者的变形进行叠加,即可求出总的变形。由图 3 的整体模型分解出来的 3 个子模型见图 4、图 5 和图 6。

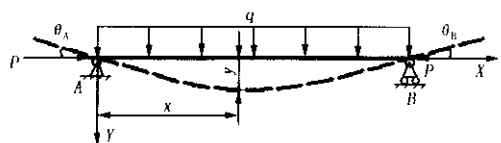


图4 受均布载荷 q 作用的弯曲梁

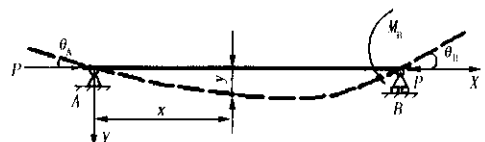


图5 受内弯矩 M 作用的弯曲梁

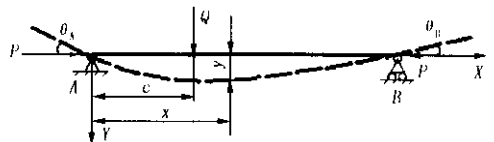


图6 受集中载荷 Q 作用的弯曲梁

4 用纵横弯曲连续梁法分析井底钻具组合的受力与变形

4.1 横向均布载荷作用下的梁柱的变形

如图 4 所示,具有等截面的直梁柱受有沿长度

为常量的轴向载荷 P 和横向均布载荷 q 的共同作用。梁柱的变形曲线方程为：

$$y = \frac{qL^4}{16EIu^4} \left[\frac{\cos(u - \frac{2u}{L}x)}{\cos u} - 1 \right] - \frac{qL^2}{8EIu^2} x(L-x) \quad (1)$$

$$u = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

$$h = \left[\frac{24EIu^3}{3q(\operatorname{tg} u - u) \sin \alpha} \cdot \frac{D-d}{2} \right]^{-0.25} \quad (2)$$

式中 q ——单位长度钻铤在钻井液中的浮重, kN/m; L ——所分析的钻柱长度, m; E ——弹性模量, GPa; I ——惯性矩, m⁴; α ——井斜角 (°); P ——钻压, kN; D ——井眼直径, m; d ——钻铤外径, m; h ——切点高度^[4], m。

4.2 在端部有力偶作用时的梁柱的变形

梁柱受右端铰链 B 处力偶 M_B 作用后的变形挠曲线方程为：

$$y = \left(\frac{e}{2} - \frac{qEI}{P^3} \right) \left(\frac{\sin(kx)}{\sin(kL)} - \frac{x}{L} \right) \quad (3)$$

$$k = \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

式中 e ——扶正器与井壁间的间隙值, m。

4.3 横向集中力 Q 作用下梁柱的变形

4.3.1 接头处的当量集中载荷

对于在两根钻铤之间装有偏轴接头的井底钻具组合, 钻柱在其自身重力作用下, 会在接头处产生明显的变形, 形成一定角度的折角。这种初始存在的变形对梁柱的变形影响比较大。

对于这种结构上存在的突变, 可用一当量横向集中载荷 Q 代替它对梁柱挠度的影响, 见图 7。 Q 所产生的弯矩图, 应与轴向力 P 由于初弯曲所产生的弯矩图相同。

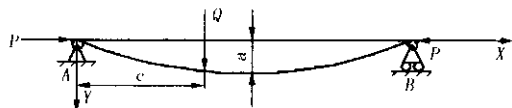


图 7 偏轴接头的影响及处理方法

由弯矩相等条件得：

$$Pa = \frac{Q(L-c)}{L} \quad (4)$$

式中 a ——梁柱最大挠度, m, 一般情况下, 取 $a = (D-d)/2$; c ——偏轴接头与钻头之间的距离, m; Q ——当量集中载荷, N。

解(4)式得：

$$\text{万方数据 } Q = \frac{PaL}{(L-c)} \quad (5)$$

4.3.2 梁柱的变形曲线方程

把上面求出的当量集中载荷 Q 附加作用在直梁柱上, 取代原来的突变进行变形分析计算, 得出挠曲线方程为：

左段：

$$y = \frac{Q \sin(kc)}{P k \sin(kL)} \sin(kx) - \frac{Qc}{PL} x \quad (0 \leq x < c) \quad (6)$$

右段：

$$y = \frac{Q \sin[k(L-c)]}{P k \sin(kL)} \sin[k(L-x)] - \frac{Q(L-c)}{PL} (L-x) \quad (c \leq x \leq L) \quad (7)$$

4.4 三种载荷作用下梁柱变形的叠加

把上面求出的三组挠曲线方程进行叠加, 得梁柱总的挠曲线方程为：

左段：

$$y_L = \frac{qL^4}{16EIu^4} \left[\frac{\cos(u - \frac{2u}{L}x)}{\cos u} - 1 \right] - \frac{qL^2}{8EIu^2} x(L-x) + \left(\frac{e}{2} - \frac{qEI}{P^3} \right) \left(\frac{\sin(kx)}{\sin(kL)} - \frac{x}{L} \right) + \frac{Q \sin(kc)}{P k \sin(kL)} \sin(kx) - \frac{Qc}{PL} x \quad (0 \leq x < c) \quad (8)$$

右段：

$$y_R = \frac{qL^4}{16EIu^4} \left[\frac{\cos(u - \frac{2u}{L}x)}{\cos u} - 1 \right] - \frac{qL^2}{8EIu^2} x(L-x) + \left(\frac{e}{2} - \frac{qEI}{P^3} \right) \left(\frac{\sin(kx)}{\sin(kL)} - \frac{x}{L} \right) + \frac{Q \sin[k(L-c)]}{P k \sin(kL)} \sin[k(L-x)] - \frac{Q(L-c)}{PL} (L-x) \quad (c \leq x \leq L) \quad (9)$$

纵横弯曲梁柱在任意截面(x)处的转角：

左段：

$$y' = \frac{Q \sin(kc)}{P k \sin(kL)} \cos(kx) - \frac{Qc}{PL} + \frac{qL^2}{8EIu^2} \left[\frac{L \sin(u - \frac{2u}{L}x)}{u \cos u} - (L-2x) \right] \quad (0 \leq x < c) \quad (10)$$

右段：

$$y' = -\frac{Q \sin[k(L-c)]}{P k \sin(kL)} \cos[k(L-x)] - \frac{Q(L-c)}{PL} + \frac{qL^2}{8EIu^2} \left[\frac{L \sin(u - \frac{2u}{L}x)}{u \cos u} - (L-2x) \right]$$

(c ≤ x ≤ L) (11)

4.5 计算离心力

以上考虑的是钻柱在静止不动情况下的受力情况 ,现在考虑钻柱转动时的情况。

当转盘以 n (r/min)的速度旋转时 ,所研究的井底钻具所产生的离心力为 :

dF₁ = dmrw² = qdxw² = qw²f(x)dx (12)

积分得

F₁ = ∫₀^L qw²f(x)dx = qw²∫₀^L f(x)dx
= qw²∫₀^L f_L(x)dx + qw²∫_c^L f_R(x)dx (13)

由于被积函数非常复杂 ,只有通过计算机来进行积分 ,具体过程是将积分区间[0 , L]划分成许多小区间 ,在每一个区间上用梯形法求其近似值^[5] ,也就是求每一小段钻柱的离心力。把各段钻柱的离心力加起来 ,就是整个钻柱的离心力(见图 8)。积分过程采用计算机完成。

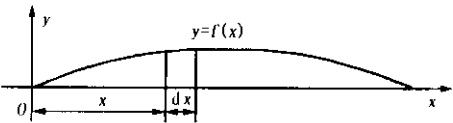


图 8 用积分的方法求离心力

求出离心力之后 ,再求离心力作用下的梁柱最终弯曲变形曲线。

根据梁柱变形曲线方程就可以求出总的挠度、井斜力和转角。

5 现场应用

根据上述理论模型 ,我们进行了计算 ,设计了偏轴接头和钻具组合 ,优化了施工参数 ,并于 2003 年 10 ~ 11 月在辽河油田雷 24 - 23 井和雷 25 - 23 井进行了现场试验。

5.1 钻具组合

雷 24 - 23 井 :Ø241 mm 钻头 + Ø177.8 mm 钻铤 1 根 + Ø213 mm 偏轴接头 + Ø177.8 mm 无磁钻铤 1 根 + Ø177.8 mm 钻铤 1 根 + Ø241 mm 扶正器 + Ø177.8 mm 钻铤 10 根 + Ø127 mm 钻杆。

雷 25 - 23 井 :Ø241 mm 钻头 + Ø177.8 mm 钻铤 1 根 + Ø213 mm 偏轴接头 + Ø177.8 mm 无磁钻铤 1 根 + Ø241 mm 扶正器 + Ø177.8 mm 钻铤 9 根 +

Ø127 mm 钻杆。

5.2 使用效果

使用偏轴接头的雷 24 - 23 井和雷 25 - 23 井统计数据见表 1。

表 1 使用偏轴接头的钻井统计数据表

井号	进尺 /m	机械钻速 /(m · h ⁻¹)	钻压 /kN	转速	最大井斜 /(°)
雷 24 - 23	1048.69	36.59	100	Ⅱ 挡	1.16
雷 25 - 23	1347	38.38	120	Ⅱ 挡	1.18

雷 24 - 23 井和雷 25 - 23 井的邻井未使用偏轴接头 ,采用的是钟摆钻具 ,钻压为 30 ~ 80 kN ,转速为 I ~ Ⅱ 挡 ,机械钻速为 5 ~ 29 m/h ,最大井斜 1.8° ~ 5.5°。

由数据统计对比可见 ,使用偏轴防斜接头在定向井直井段和直井不用吊打 ,“ 解放 ”了钻压 ,能够做到快速钻进下的防斜打直 ,从而降低定向段施工难度 ,控制最大井斜和“ 狗腿度 ” ,保证了井身质量 ,缩短了钻井周期 ,降低了钻井成本。

6 结论

经过研究分析 ,得出以下几点结论 :

(1)偏轴防斜钻具组合能够防斜打直打快 ,克服了目前常规防斜钻具防斜效果差、钻速低的缺点 ,具有很好的应用前景 ;

(2)对偏轴防斜钻具井下钻具组合进行了静、动力学分析 ,建立了数学模型 ;

(3)项目的主要研究成果在辽河油田雷 24 - 23 井和雷 25 - 23 井钻井生产作业中进行了试验 ,取得了明显的效果 ,并已开始大范围推广应用。

参考文献 :

[1] 高德利 ,高宝奎 ,等. 钻压防斜技术的实践与理论探讨[J]. 石油钻采工艺 ,1995 (6).
[2] 邓长洪. 国内外井斜控制理论及方法综述[J]. 石油钻探技术 ,1986 (1).
[3] 白家祉 ,苏义脑. 井斜控制理论与实践[M]. 北京 :石油工业出版社 ,1990.
[4] 赵国珍 ,龚伟安. 钻井力学基础[M]. 北京 :石油工业出版社 ,1988.
[5] 谭浩强 ,张基温 ,唐永炎. C 语言程序设计教程[M]. 北京 :高等教育出版社 ,1998.