

定向侧钻工艺技术

裴绪建

(中原石油勘探局)



填井侧钻是钻井施工中处理井下事故和井身质量超标的一种老方法。随着油田的开发,调整井中小位移限方位直井和定向井的数目也日益增多,对填井侧钻也提出了方位要求,由一般侧钻发展成定向侧钻。本文针对侧钻点深度选择的老方法提出了以井眼到靶的最小狗腿严重度为准则的定量选择方法,同时对填井施工、侧钻前的准备工作以及定向侧钻工艺进行了论述,对定向侧钻具有较大的指导意义。

关键词 侧钻 定向钻井 定向控制 工艺技术

作者裴绪建,1966年生,1988年毕业于大庆石油学院钻井工程专业,现任钻井四公司技术大队定向井组助理工程师。

当发生井下事故,井底落鱼无法处理时;当直井井身质量严重超标时;当定向井的已钻井眼轨迹严重偏离设计井眼轨迹,必然大幅度调整井斜角或井斜方位角才能中靶时;当狗腿严重度超标时,都需要进行填井侧钻。侧钻是定向钻井的一种形式,通常可分为一般侧钻和定向侧钻两种。一般侧钻主要用于直井事故处理,无特殊的方位要求,只要使侧钻后的新井眼顺利地绕过落鱼,与原井眼保持一定的距离即可,以后按直井要求继续钻进。定向侧钻主要用于调整井中限方位直井的侧钻和定向井的侧钻,不仅要侧钻出新井眼,而且对新井眼还要有一定的方位要求,特别是定向井的侧钻,还要保证侧钻后的新井眼能以允许的狗腿严重度顺利中靶。定向侧钻比一般侧钻具有更大的施工难度和更高的技术要求。

一、定向侧钻点深度选择

定向侧钻点的深度选择,除考虑井斜和井径扩大率等基本因素外,最主要的是确保新侧钻出的井眼狗腿严重度不大于允许的井眼狗腿严重度,即在每个测点都要计算出井眼到靶点处的狗腿严重度,然后选择具有允许的井眼到靶的狗腿严重度的那个测点进行侧钻。下面讨论数学方程,以解决侧钻点深度选择问题。

如图1所示,用 x 表示东坐标系 E , y 表示北坐标系 N , z 表示垂深 H ,建立 $o-xyz$ 坐标系。设点 P_2 是井眼轨迹上的一个测点,其井斜角为 θ ,井斜方位角为 ϕ ,坐标为 x_2, y_2, z_2 ,设点 P_3 为靶点,其坐标为 x_3, y_3, z_3 。

直线 $\overline{P_2P_3}$ 是 P_2 点处井眼轴线的切线,向量 $\overline{P_2P_3}$ 的方向余弦为

$$\cos\alpha_2 = \sin\theta\sin\phi \quad (1)$$

$$\cos\beta_2 = \sin\theta\cos\phi \quad (2)$$

$$\cos\gamma_2 = \cos\theta \quad (3)$$

向量 $\overrightarrow{P_2P_6}$ 和另外一点(P_3)可以决定平面 P 。用矩阵方程可以求出平面 P 的方程为

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\ \cos\alpha_2 & \cos\beta_2 & \cos\gamma_2 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

其简化形式为

$$Ex + Fy + Gz + H = 0 \quad (5)$$

式中 $E = (y_3 - y_2)\cos\gamma_2 - (z_3 - z_2)\cos\beta_2$

$$F = (z_3 - z_2)\cos\alpha_2 - (x_3 - x_2)\cos\gamma_2$$

$$G = (x_3 - x_2)\cos\beta_2 - (y_3 - y_2)\cos\alpha_2$$

$$H = (x_3y_2 - x_2y_3)\cos\gamma_2 + (y_3z_2 - y_2z_3)\cos\alpha_2 + (z_3x_2 - z_2x_3)\cos\beta_2$$

上式中系数平方和的平方根为

$$J = (E^2 + F^2 + G^2)^{1/2} \quad (6)$$

平面 P 的法线向量 \vec{n} 的方向余弦为

$$\cos\alpha_n = E/J \quad (7)$$

$$\cos\beta_n = F/J \quad (8)$$

$$\cos\gamma_n = G/J \quad (9)$$

P_6 点是直线 $\overline{P_2P_6}$ 与含有 P_3 点的水平面 H 的相交处,有

$$z_6 = z_3 \quad (10)$$

$$x_6 = (\cos\alpha_2/\cos\gamma_2)(z_3z_2) + x_2 \quad (11)$$

$$y_6 = (\cos\beta_2/\cos\gamma_2)(z_3 - z_2) + y_2 \quad (12)$$

直线 $\overline{P_6P_3}$ 的长度为

$$|\overline{P_6P_3}| = [(x_6 - x_3)^2 + (y_6 - y_3)^2 + 0]^2 \quad (13)$$

向量 $\overline{P_6P_3}$ 的方向余弦为

$$\cos\alpha_6 = (x_3 - x_6)/|\overline{P_6P_3}| \quad (14)$$

$$\cos\beta_6 = (y_3 - y_6)/|\overline{P_6P_3}| \quad (15)$$

$$\cos\gamma_6 = 0 \quad (16)$$

平面 P 上直线 $\overline{P_2P_6}$ 与直线 $\overline{P_6P_3}$ 之间的夹角为

$$\angle 6 = \cos^{-1}[\cos\alpha_2\cos\alpha_6 + \cos\beta_2\cos\beta_6] \quad (17)$$

平面 P 与水平面 H 之间的夹角为

$$\angle 2 = \cos^{-1}(G/J) \quad (18)$$

$\angle 1$ 是井眼与水平面 H 之间的夹角,与井眼的井斜角互余。根据 P_3 点所在层位的地层倾向可以选择 $\angle 1$, $\angle 1$ 与数理方程的关系也许是随机的。平面 P 上直线 $\overline{P_6P_3}$ 与直线 $\overline{P_3P_7}$ 之间的夹角为 $\angle 3$ 。根据几何关系可以算得 $\angle 3$ 为

$$\angle 3 = \sin^{-1}(\sin\angle 1/\sin\angle 2) \quad (19)$$

弧 S 的弧弦角 $\angle 4$ 为

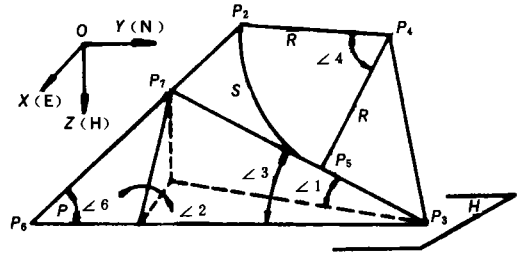


图1 井眼到靶点的狗腿严重度示意图

$$\angle 4 = 180^\circ - (\angle 6 + \angle 3) \tag{20}$$

点 P_6 与点 P_2 之间的距离为

$$|\overline{P_2P_6}| = [(x_6 - x_2)^2 + (y_6 - y_2)^2 + (z_6 - z_2)^2]^{1/2} \tag{21}$$

根据正弦定律求得直线 $\overline{P_7P_6}$ 的长度为

$$|\overline{P_7P_6}| = |\overline{P_6P_3}| (\sin \angle 3 / \sin \angle 4) \tag{22}$$

直线 $\overline{P_2P_7}$ 的长度为

$$|\overline{P_2P_7}| = |\overline{P_2P_6}| - |\overline{P_7P_6}| \tag{23}$$

弧 S 的曲率半径为

$$R = |\overline{P_2P_7}| / \text{tg}(\angle 4 / 2) \tag{24}$$

弧 S 的狗腿严重度为

$$K = 5\,400 / \pi R \quad (^\circ / 30\text{m}) \tag{25}$$

例如文 25-81 井, 是一口定向井。由于地面井位限制多, 致使设计方位与地层走向基本平行, 施工中方位控制困难。该井钻至 2 283m 井深时, 钻铤断裂落井。由于该井扭方位次数多, 井眼轨迹弯曲严重, 落鱼偏向井眼一侧, 打捞几次无效后, 决定填井侧钻。根据数理方程计算部分测点的井眼到靶点的狗腿严重度见下表。侧钻前后的井眼轨迹见图 2。

井眼到靶点的狗腿严重度计算值

序号	测深 (m)	井斜角 (°)	井斜方位角 (°)	狗腿严重度 (°/30m)	序号	测深 (m)	井斜角 (°)	井斜方位角 (°)	狗腿严重度 (°/30m)
1	2 283	14.33	247	2.12	6	2 214	17.00	266	1.39
2	2 274	15.50	253	1.80	7	2 194	16.50	265	1.31
3	2 255	16.83	260	1.57	8	2 139	16.00	255	1.07
4	2 252	16.16	260	1.59	9	2 100	14.83	252	1.24
5	2 233	17.50	267	1.54	10	2 060	13.50	243	1.41

二、定向侧钻施工

1. 填井施工 ①根据选择好的侧钻深度, 计算所需光钻杆的立柱数。下光钻杆到欲填井段的底部。开泵大排量循环洗井 1~2 周, 调整好钻井液性能, 使粘度、切力尽量低, pH 值要高, 以增强钻井液的抗钙侵能力。②停泵倒好闸门, 用水泥车通过立管向井内打入清水和隔离液, 然后大排量注入水泥浆。为保证水泥塞有足够的强度, 水泥浆密度不得低于 1.90g/cm³。③注完水泥浆后, 紧接着开泵大排量替钻井液, 根据钻井液罐液面下降尺寸算准替入量, 及时停泵。一般情况下, 以光钻杆下入深度与填井井段长度之差来计算钻井液替入量。为了保证起钻时钻杆水眼内不反喷钻井液, 根据 U 形管原理, 必须保证钻杆水眼内流体总压力大于环空内流体总压力。④替完泥浆后, 立即卸掉方钻杆, 起钻到水泥面以上 20~30m, 开泵循环 1 周, 冲洗掉钻杆水眼内剩余水泥浆。放掉被水泥污染的钻井液, 然后起出钻杆候凝 48~72h。

2. 侧钻前准备 ①工具准备。工具有与井眼尺寸相匹配的井下动力钻具, 无磁钻铤, 导向

角合适的弯接头,适合高速转动的钢齿钻头(如MP1、J1、J2、X3A、PDC-D、BSTIM钻头),定向需要的磁性单点测斜仪及其钻杆打印规,量角规,方钻杆定标规等。②设备准备。设备有方钻杆滚子方补心,能正常运转的固控设备,保证钻井液含量控制在0.3%以下,两台钻井液泵工作正常,上水良好,排量合适,并能交替工作,指重表和泵压表灵敏、准确、可靠,刹把高度合适,灵活好用。③井眼准备。水泥塞深度准确,停泵停转盘后静止承压在100kN以上,井眼无垮塌、卡阻现象,保证下井下动力钻具一次到底,钻井液性能良好,不受水泥浆侵。

3. 定向侧钻工艺 利用磁性单点测斜仪定向侧钻的方法与定向造斜方法基本一样。常用的钻具组合为: $\varnothing 215.9\text{mm}$ (8 $\frac{1}{2}$ ") 井眼—— $\varnothing 215.9\text{mm}$ 钻头 + $\varnothing 159\text{mm}$ 动力钻具 1根 + 1.5°弯接头 + $\varnothing 159\text{mm}$ 无磁钻铤 1根 + $\varnothing 159\text{mm}$ 钻铤 6根 + $\varnothing 127\text{mm}$ 钻杆。 $\varnothing 311\text{mm}$ (12 $\frac{1}{4}$ ") 井眼—— $\varnothing 311\text{mm}$ 钻头 + $\varnothing 197\text{mm}$ 动力钻具 1根 + 1.5°弯接头 + $\varnothing 197\text{mm}$ 无磁钻铤 1根 + $\varnothing 178\text{mm}$ 钻铤 3根 + $\varnothing 159\text{mm}$ 钻铤 3根 + $\varnothing 127\text{mm}$ 钻杆。侧钻开始时,在新井眼还没有完全形成以前,必须严格控制钻压和钻时,使钻头慢慢在井壁上造出台肩,一般钻压5~15kN,钻时30min/m左右。因为水泥塞的硬度较地层软得多,侧钻初期钻头很容易顺着原井眼下滑。只有造出台肩,才有侧钻出新井眼的可能。待确定侧钻出新井眼后,再将钻压增至50~70kN,使井下动力钻具的负荷压降在2.5MPa左右。侧钻过程中保持钻压恒定不变,送钻均匀,防止因加压不均匀造成反扭角忽大忽小,工具面不稳定,影响侧钻效果。另外,侧钻时必须密切注视指重表和泵压表的变化,当发现钻压不断上升,泵压下降(逐渐下降到循环泵压)并且没有进尺时,说明钻具已经粘附在井壁上,要及时上提、上下大幅度活动钻具,以确保井下正常,待悬重恢复,扭劲消失后方可继续钻进。新井眼是否形成的判断,要根据井眼参数的变化,钻时的快慢不同和返出岩屑的百分比来确定。当返出来的钻屑中,岩屑与水泥碎块的比例为50%时,必须仔细观察岩屑的形状,形状不规则,呈多角棱状的为新岩屑;形状圆滑,呈光滑表面的是附着在井壁上的旧岩屑。侧钻后如果井眼参数发生变化,如钻时减慢、新岩屑比例在50%以上时,说明已经侧出新井眼,反之,就说明未侧钻出新井眼。

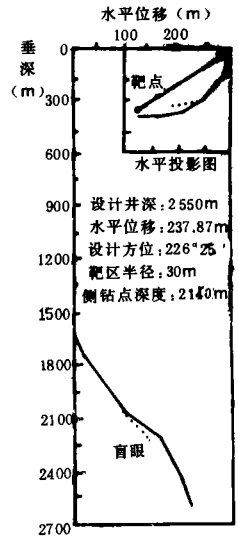


图2 文25-81井
井眼轨迹图

(本文收到日期 1992年1月24日)

[本文责任编辑 应硕源]