

三维绕障定向井设计方法^{*}

刘维凯 闫铁 毕雪亮 高磊 徐月庆
(大庆石油学院)

刘维凯等.三维绕障定向井设计方法.天然气工业,2008,28(2):73-75.

摘 要 随着油气田加密井的不断增多,加密定向井的设计变得越来越困难。为此,针对密井网的特点,通过对密井网障碍井空间位置和空间形态的描述,经过坐标转换,建立了适合于密井网三维绕障定向井设计的双图设计法设计模型。该方法的特点是将垂直剖面图和障碍水平投影图联合使用,分别研究出障碍物的区间和可行域范围。同时充分考虑了障碍物的数量、形状及位置,可绕多障、复杂形状的井,具有一定的通用性。根据以上方法,应用 Delphi 语言和 OpenGL 编写了软件,对绕障定向井进行了实际计算,设计效果良好。

主题词 定向井 水平井 三维绕障 设计模型 井网 安全距离

随着各油气田勘探程度的提高,开发处于高含水期和进入加密阶段,加密井的不断增多,井眼轨道类型复杂,井距越来越小,再设计定向井时有的可能需要绕障防碰,而且可能是需绕复杂井型的多个障碍。以往的绕障三维定向井都是单障碍的,障碍物多考虑为直井^[1-5],但对于复杂井型、多障的定向井绕障设计,国内外很少研究。笔者结合大庆地区的钻井实际情况,提出了三维多障定向井的绕障方法,具有非常重要的实际意义。

一、障碍井的描述

该模型考虑了已钻井眼的复杂情况,应用三次样条法和圆柱螺旋线法对测斜数据进行计算,给出井眼轨迹在空间坐标系下的坐标。此坐标系的 3 个坐标方向分别是正北、正东和铅垂向下的方向,坐标系的原点区在井口,如图 1 所示。

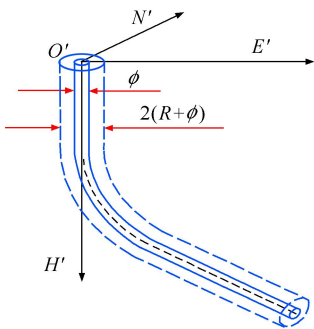


图 1 障碍井的描述图

所设计井与障碍井之间的最小距离不能小于一个极限值(R),否则在实际钻井中就可能发生相撞事故。因此,井眼直径为 ϕ 的障碍井可被描述成轴线是该井眼轨迹、半径为 $R+\phi$ 的空间管状形状,其外表是一个管状曲面。如果障碍井的轨迹坐标函数为 $X'=(N',E',H')$,那么可把此曲面表示成如下函数方程:

$$F(X')=0 \tag{1}$$

二、坐标转换

障碍井可能不只一口,需要将每口障碍井所在的坐标系的坐标都转换到新设计井的坐标系中去,新坐标系是以新设计井的井口 O 点为坐标原点,以垂直水平面的铅垂线为 H 轴,正向竖直向下,以 OA' (A' 点为靶点 A 在 O 点所在水平面的投影)直线为 N 轴,方向由 O 到 A' ,此时从上向下看,将 N 轴顺时针旋转 $\pi/2$,所得轴线为 E 轴,方向与 N 轴旋转后的方向相同,如图 2 所示。据此可得任意一口障碍井的坐标转换公式:

$$X_i=K_i(X'_i-X'_{i0}) \tag{2}$$

式中: X_i 为第 i 个障碍井在新坐标系下的坐标; K_i 为用于第 i 个障碍井的转换矩阵; X'_i 为第 i 个障碍井在原坐标系下的某点坐标; X'_{i0} 为新设计井的井口在第 i 个障碍井原坐标系下的坐标; ϕ 为第 i 个障碍井原坐标系的 N'_i 轴与新坐标系 N 轴在水平投影面

^{*} 本文受到黑龙江省科技厅科技项目(编号:GCO5A310)的资助。
作者简介: 刘维凯,1974 年生,博士研究生,2003 年于大庆石油学院硕士毕业;从事钻井工程方面的研究工作。地址:(163318)黑龙江省大庆市。电话:13936873107。E-mail:lwkd@sina.com

之间的夹角。那么,第 i 个障碍井外表曲面的函数方程变为 $F(X_i)=0$ 。

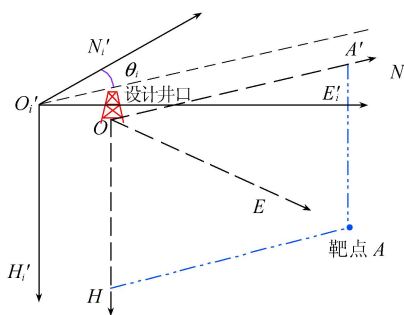


图2 空间坐标系关系示意图

三、双图法绕障的理论模型

像用柱面图描述井眼轨迹一样,这里也是要用两张图来进行轨迹的设计,一张图是垂直剖面图,另一张是障碍水平投影图。

1. 垂直剖面图设计

在设计前要知道一些设计条件,如目标靶点的位置,井口位置,造斜段的工具造斜范围 $[K_{1\min}, K_{1\max}]$,降斜段的工具造斜范围 $[K_{2\min}, K_{2\max}]$,以及造斜点的位置范围 $[H_{\min}, H_{\max}]$ 等等。下面以 S 型井眼为例来说明两面法绕障。在设计绕障井时,用来绕障的井段一般都是斜井段。根据井眼轨迹设计的特点,地下岩层构造以及现场施工工具、技术等情况,地下留给井眼穿越的空间是有限的,这里把不考虑障碍物时井眼可能穿越的空间称为井眼的可行域。如果把设计展现在垂直剖面图上,那么这个可行域就是如图 3 所示的 $abcAc'b'a'a$ 所围区域, $B_1 \sim B_4$ 为各障碍物在剖面图上的边界。显然,可行域外的障碍井井眼对设计是不会产生影响的,只有障碍物涉及到的可行域才对新设计的井构成障碍,为此引入“障碍区间”来辅助设计。其定义是:在可行域内,在垂深方向上按一定原则,将可行域按 0 到 1 从上到下进行刻划,即区间为 $[0, 1]$,这时把某一障碍物在可行域内的所覆盖的刻划区间记录下来,称为这个障碍物的障碍区间,如图 3 所示。各障碍物在可行域的情况是不一样的,有的可能是部分阻挡,有的是全部阻挡,部分阻挡也有不同情况。这里给出了障碍区间,同时也就给出了设计井的设计区间。如果障碍物 B_1 的障碍区间是 $[0, 0.26]$,那么留给设计的区间就是 $[0.26, 1]$,这样把所有障碍物的障碍区间取并集,然后对其求补集,就得到了设计的可行区间。如果可行区间不为空,那么就在这个区间内

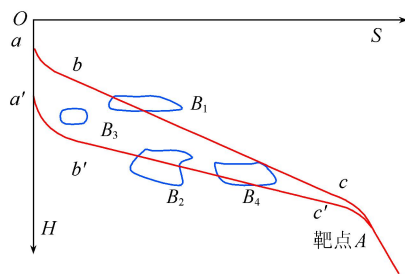


图3 可行域与障碍区间图

进行设计计算,给出设计轨迹。如果可行区间为空,就像如图 3 所示,障碍物 B_1 挡住了所有的可行的路径,那么只有改变障碍水平投影图的设计,重新进行绕障设计。

2. 水平投影图设计

这里定义的障碍水平投影图是将障碍井在可行域所在垂深范围内的井段投影到水平面所得图形。障碍水平投影图的设计要尽量避免交替增减方位,最好是增稳方位设计或减稳方位设计。

在设计障碍水平投影图时,如果需要绕障,首先要确定需要绕哪一个障碍物。一般可选择对可行域阻挡程度最大的障碍物。另外,在设计过程中,有可能遇到只绕障一次并不能完成设计的情况,这时就要考虑第二次绕障。如图 4-a 所示,这里选择障碍物 B_1 进行绕障,则靶点 A 在垂直剖面图上的水平长度 S_A 是直线 OM_1, M_2A 和点 M_1, M_2 之间的弧线,那么直线 OM_1, M_2A 和点 M_1, M_2 之间的弧线连到一起所构成的曲线上的每一点所作的铅垂线形成的新曲面就是新的垂直剖面图。这时再考虑新的垂直剖面图内障碍物的情况,寻找可行区间,设计井眼轨迹。如果在新垂直剖面图内的可行域内仍然没有可行区间,那么就在此次设计的基础上再寻找一个障碍物进行绕障,如图 4-b 所示,直到找到一条可行

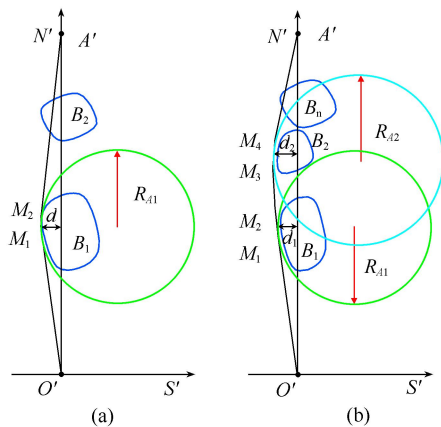


图4 障碍水平投影图

的设计井眼轨迹。否则就要重新考虑此次设计是否可行。需要说明的是,在设计过程中,情况十分复杂,有可能面临在所给设计条件下根本不能设计出所要求的轨迹的情况。例如由于造斜工具的造斜能力使得设计轨迹不能绕过障碍物。

四、设计实例

根据以上理论,采用 Delphi 语言和可视化的 OpenGL 编写了密井网三维绕障软件。图 5 是一个设计的三维井眼轨迹不同视点的效果图,如图 5-a 所示,在设计井口与靶点附近有 4 口井,靶点距离井口的水平长度为 359.82 m,垂深 2165.4 m,造斜工具的最大造斜率为 $10(^{\circ})/30\text{ m}$,对设计有较大影响的两口井的数据如下:障碍井 3 是一口直井,其井口在新坐标系的坐标是(159.24, -2.81, -1);障碍井 2 是一口水平井,其井眼轨迹在新坐标系的一段数据如表 1 所示。由于有安全半径的限制,本例中障碍井 3 将设计井口与靶点完全挡住(如图 5-b 所示),不可能在井口与靶点连线所在平面展成的垂直剖面图内完成设计,所以要进行绕障设计,需要绕开障碍井 3。也就是说,此设计二维绕障是不能解决的,需要进行三维绕障设计。在绕过障碍井 3 后形成的垂直剖面图中,发现障碍井 2 还是对设计有影响,这是因为其在这个垂直剖面图的可行域中形成了障碍,使其在可行域内的设计受到限制,但这个限制是有限的,还有空间进行设计,也就是说障碍区间不是 $[0,1]$,即可行区间不为空集,所以才有了如图 5 的设计。

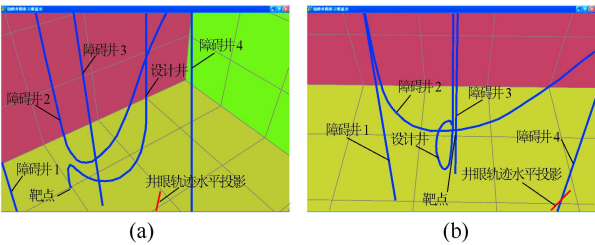


图 5 设计的三维效果图

表 1 障碍井 2 的轨迹计算数据表

井深(m)	N 坐标(m)	E 坐标(m)	H 坐标(m)
2185.2	269.67	133.55	2040.76
2186.9	270.81	134.78	2040.89
2190.5	273.24	137.42	2041.27
2192.5	274.58	138.89	2041.48
2194.5	275.92	140.36	2041.68
2196.5	277.26	141.85	2041.88

五、结 论

(1)提出用双图法进行绕障定向井设计的新方法,使得三维绕障定向井可以直接设计,不用先试算然后扫描防碰,避免了设计的不确定性。此方法不受障碍井的数量、形状及位置的限制,并提出了“可行域”和“障碍区间”的概念,使得三维绕障定向井的设计直观准确。

(2)在实际计算时,一些限制条件(如工具造斜能力、障碍物的实际位置等)要充分考虑,尽量避免在当前条件下无法设计出井眼轨迹的情况出现。

参 考 文 献

[1] 闫铁. 三维绕障定向井实用待钻设计方法[J]. 天然气工业, 1990, 10(2): 29-35.

[2] 谢国民. 定向井实用三维设计——方位比较法[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 77-81.

[3] 李枝林. 一种新的绕障三维定向井轨迹设计方法研究[J]. 钻采工艺, 2004, 27(1): 11-13.

[4] 苏义脑. 水平井井眼轨道控制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 1-88.

[5] 韩志勇. 定向井设计与计算[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 120-150.

(收稿日期 2007-11-19 编辑 钟水清)