

定向对接连通井轨迹设计

向军文

(中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院,北京 100083)

摘要:定向钻井轨迹计算方法很多,但在轨迹处理及图示反馈上均不直观清楚。通过坐标变换,建立了以井口与靶点连线为基准参考面的定向对接连通井轨迹设计方法。比较校正平均角法和最小曲率法,通过两次坐标旋转,说明建立以井口与靶点(或靶井)连线方位为参考面的坐标系的定向对接井轨迹设计方法及优点。并且这种设计方法也可用于其它轨迹计算方法中。通过本设计方法,可及时反应自井口到靶点(靶井)的钻井轨迹与目标的误差偏离。通过 EXCEL 编程及图示,运用 EXCEL 功能及时跟踪设计,使定向对接井设计与施工简单直观。采用此法累计已成功完成的对接井达 100 余对。

关键词:定向井;定向对接井;定向对接连通井;轨迹设计

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)05-0011-04

Intersected Well Path Design/XIANG Jun-wen (College of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: There are many ways to calculate directional drilling trajectory, but none of them are straightforward in trajectory processing and graphic display. A design method for directional well intersection is created with the connection line between the well point and the target as the reference plane through conversion of co-ordinates for twice. Through comparison with the calibrated average angle method and the minimum radius method, the design method is described with its advantages. This design method can provide errors between the drilling trajectory and the target in real time. Excel based software and graphics are used to track the design, resulting in simple and straightforward directional drilling design and construction. This method has been used to complete more than 100 pairs of intersected wells.

Key words: directional well; directional intersected well; directional connected well; drilling path design

定向对接连通井是要求定向水平井与另一井的靶点对接连通,过去采用的轨迹设计方法均建立在地理坐标系中,不利于及时反应对接井偏离误差分析。为此,需要建立一井口与靶点(靶井)的定向对接井轨迹设计方法,以便及时反应对接井钻井要求。

1 变换原理

假定坐标系 XOY 绕原点沿逆时针方向旋转 θ 度后,变成坐标系 $X'OY'$ (如图 1 所示)。则 M 点在原坐标系中的坐标为 (X, Y) , 旋转后的新坐标为 (X', Y') 。

则可推导出:

$$\begin{cases} X' = X\cos\theta + Y\sin\theta \\ Y' = Y\cos\theta - X\sin\theta \end{cases} \quad (1)$$

按矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (2)$$

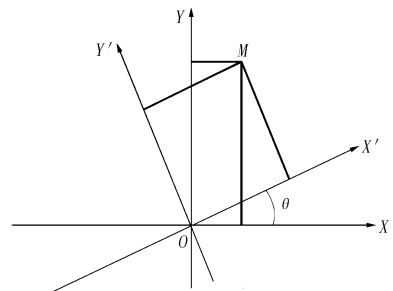


图 1 坐标系旋转

2 校正平均角法设计

校正角法的经典公式为^[1]:

$$\begin{cases} \Delta H = (1 - \frac{\Delta\alpha^2}{24}) \Delta L \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \\ \Delta N = (1 - \frac{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2}{24}) \Delta L \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cos \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \\ \Delta E = (1 - \frac{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2}{24}) \Delta L \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \end{cases} \quad (3)$$

收稿日期:2011-01-17

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“高精度定向钻进中靶系统”(1212010816011)

作者简介:向军文(1967-),男(汉族),湖北黄梅人,中国地质大学(北京)教授级高级工程师,地质工程专业,博士,从事定向钻进技术与开发工作,北京市海淀区学院路29号地球物理与信息技术学院,xiangjunwen@vip.sina.com。

式中: ΔH ——轨迹垂增, m; ΔN 、 ΔE ——轨迹北增和东增, m; ΔL ——井段长度, m; α_1 、 α_2 ——上下测点井斜角, ($^\circ$); φ_1 、 φ_2 ——上下测点方位角, ($^\circ$); $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\varphi$ ——上下测点井斜角增量和方位角增量, ($^\circ$)。

采用井口与靶点连线方位为 X 轴, 按逆时针建立 Y 轴。假设井口与靶点连线方位为 β , 则此时 ΔX 、 ΔY 分别对应 ΔN 、 ΔE 。

延连线方位指向, 为方便理解起见, 按右手边为增大, 左手边为减小原则。

如图 2 所示, 设点在 N 、 E 坐标系中, 其坐标为 $M(\Delta N, \Delta E)$ 。自 N 、 E 地理坐标系转化为 X 、 Y' 连线坐标系, 则需要逆时针方向旋转 $\frac{\pi}{2} - \beta$ 角, 再以 X 轴旋转 180° 后, 即得到 X 、 Y 坐标系。

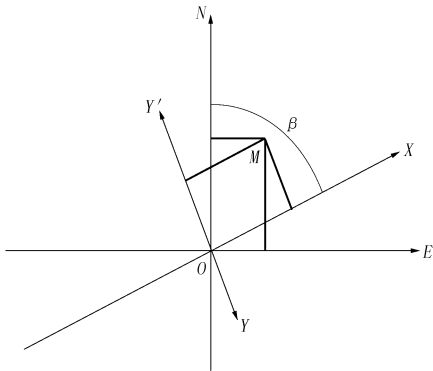


图 2 由 N 、 E 坐标系旋转到 X 、 Y 坐标系

其对应旋转后的坐标为 $M(\Delta X, \Delta Y)$ 。根据(2)式有:

$$\begin{cases} \Delta X = \Delta E \cos(\frac{\pi}{2} - \beta) + \Delta N \sin(\frac{\pi}{2} - \beta) \\ \Delta Y = \Delta E \sin(\frac{\pi}{2} - \beta) - \Delta N \cos(\frac{\pi}{2} - \beta) \end{cases}$$

根据三角函数关系式:

$$\begin{cases} \cos(\alpha' - \beta') = \cos\alpha' \cos\beta' + \sin\alpha' \sin\beta' \\ \sin(\alpha' - \beta') = \sin\alpha' \cos\beta' - \cos\alpha' \sin\beta' \end{cases}$$

设旋转后 M 的三维坐标为 $M(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ 。结合式(3), 则以井口与靶点连线方位为参考轴的定向对接井轨迹设计式为:

$$\begin{cases} \Delta X = (1 - \frac{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2}{24}) \Delta L \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cos(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} - \beta) \\ \Delta Y = (1 - \frac{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2}{24}) \Delta L \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \sin(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} - \beta) \\ \Delta Z = (1 - \frac{\Delta\alpha^2}{24}) \Delta L \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \end{cases} \quad (4)$$

3 最小曲率法设计

最小曲率法的经典公式为^[1]:

$$\begin{cases} \Delta N = \frac{\Delta L}{2} (\sin\alpha_1 \cos\varphi_1 + \sin\alpha_2 \cos\varphi_2) \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \\ \Delta E = \frac{\Delta L}{2} (\sin\alpha_1 \sin\varphi_1 + \sin\alpha_2 \sin\varphi_2) \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \\ \Delta H = \frac{\Delta L}{2} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \end{cases} \quad (5)$$

式中: γ ——“狗腿弯”, ($^\circ$); 其它同上。

同理, 根据以上原则, 由式(2), 则式(5)变换为:

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{\Delta L}{2} [\sin\alpha_1 \cos(\varphi_1 - \beta) + \sin\alpha_2 \cos(\varphi_2 - \beta)] \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \\ \Delta Y = \frac{\Delta L}{2} [\sin\alpha_1 \sin(\varphi_1 - \beta) + \sin\alpha_2 \sin(\varphi_2 - \beta)] \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \\ \Delta Z = \frac{\Delta L}{2} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \end{cases} \quad (6)$$

此即为以井口和靶点连线方位为参考轴的定向对接井轨迹设计最小曲率法。

4 关于井口与靶点连线方位

钻井工程中, 依据地质要求确定井位及靶点大地坐标, 而依据大地坐标所计算的与靶点方位为地理方位, 但钻井工程测量所用的仪器为磁性测量仪器。其方位对应变换和以下各因素有关。

$$\xi = f(\varphi, r, \delta) \quad (7)$$

式中: ξ ——地理方位角, ($^\circ$); φ ——磁方位角, ($^\circ$); r ——子午线收敛角即地球椭球体面上一点的真子午线与位于此点所在的投影带的中央子午线之间的夹角, ($^\circ$), 该角有正、负之分, 以真子午线北方向为准, 当坐标纵轴线北端位于以东时称东偏, 其角值为正, 当坐标纵轴线北端位于以西时称西偏, 其角值为负; δ ——磁偏角即真子午线与磁子午线的夹角, ($^\circ$), 东为正值, 西为负值。

根据资料^[2], 则连线磁方位为:

$$\varphi = \xi - \delta + r \quad (8)$$

设井口及靶点地理坐标分别为 (X_0, Y_0, Z_0) , (X_1, Y_1, Z_1) 有:

$$\xi = \text{tg} \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \quad (9)$$

则校正平均角法及最小曲率法的轨迹设计式(4)、(6)中:

$$\beta = \xi - \delta + r \quad (10)$$

5 工程实例

采用此设计方法已顺利完成100多对定向对接井的轨迹设计,现以其中一个工程为例。工程某地水平井口坐标为(402711.397, 449452.052, 852.899),要求对接靶点坐标为(402906.926,

449986.907,872.781),并且途中需要通过2个控制点A、B(参见图4)。当地磁偏角为西偏4.3°,子午线收敛角为-1.3°。根据下列方法编制的EXCEL程序及结果见图3、图4。

计算	1	角法	890.30	88.50	17.80	校正角法	569.09	-0.85	-395.82	两种计算方法结果		
999.00	曲法	890.30	88.50	17.80	最小曲率	569.00	-0.91	-395.82				
1 实时		2 设计			定向对接井钻井轨迹计算程序							
井深	顶角	方位角	井深	顶角	方位角	工具角	造斜率	角法 X	Y	曲法 X	Y	垂深 Z
(m)	(°)	(°)	(m)	(°)	(°)	(°)	(°/m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.01	0.01	14.38	0.01	0.01	14.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
465.40	79.60	14.50	482.50	88.88	15.53	13.81	0.41	144.80	2.60	144.88	2.66	-382.49
466.40	80.00	14.60	483.50	89.20	15.53	13.82	0.41	145.78	2.60	145.87	2.66	-382.67
467.40	80.40	14.70	484.50	89.30	15.53	13.84	0.41	146.77	2.61	146.85	2.67	-382.84
468.40	80.80	14.80	485.50	89.30	15.53	13.86	0.41	147.76	2.61	147.84	2.67	-383.00
469.40	81.10	14.90	486.50	89.30	15.53	13.88	0.41	148.74	2.62	148.83	2.68	-383.16
470.40	81.40	15.00	487.50	89.30	15.53	13.90	0.41	149.73	2.63	149.82	2.69	-383.31
471.40	81.70	15.10	488.50	89.30	15.53	13.92	0.41	150.72	2.64	150.80	2.70	-383.46
472.40	82.10	15.20	489.50	89.30	15.53	13.94	0.41	151.71	2.66	151.79	2.72	-383.60
473.40	82.50	15.30	490.50	89.30	15.53	13.96	0.41	152.70	2.67	152.78	2.73	-383.73
474.40	83.00	15.40	491.50	89.30	15.53	13.98	0.41	153.69	2.69	153.78	2.75	-383.86
475.40	83.60	15.50	492.50	89.30	15.53	14.00	0.41	154.69	2.71	154.77	2.77	-383.98
476.40	84.00	15.60	493.50	89.30	15.53	14.02	0.41	155.68	2.73	155.76	2.79	-384.08
477.40	84.50	15.70	494.50	89.30	15.53	14.04	0.41	156.67	2.75	156.76	2.81	-384.18
478.40	84.90	15.80	495.50	89.30	15.53	14.06	0.41	157.67	2.77	157.75	2.83	-384.28
479.40	85.30	15.90	496.50	89.30	15.53	14.08	0.41	158.67	2.80	158.75	2.86	-384.36
480.40	85.70	16.00	497.50	89.30	15.53	14.10	0.41	159.66	2.83	159.75	2.89	-384.44
481.40	85.70	16.10	498.50	89.30	15.53	14.12	0.41	160.66	2.86	160.74	2.91	-384.51
482.40	86.10	16.20	499.50	89.30	15.53	14.14	0.41	161.66	2.89	161.74	2.95	-384.59
483.40	86.40	16.30	500.50	89.30	15.53	14.16	0.41	162.65	2.92	162.74	2.98	-384.65
484.40	86.80	16.40	501.50	89.30	15.53	14.18	0.41	163.65	2.95	163.74	3.01	-384.71
485.40	87.00	16.50	502.50	89.30	15.53	14.20	0.41	164.65	2.99	164.73	3.05	-384.76
486.40	87.00	16.60	503.50	89.30	15.53	14.22	0.41	165.65	3.03	165.73	3.09	-384.82
487.40	87.20	16.70	504.50	89.30	15.53	14.24	0.41	166.64	3.07	166.73	3.13	-384.87
488.40	87.10	16.80	505.50	89.30	15.53	14.26	0.41	167.64	3.11	167.73	3.17	-384.92
489.40	87.10	16.90	506.50	89.30	15.53	14.28	0.41	168.64	3.15	168.72	3.21	-384.97
490.40	87.00	17.00	507.50	89.30	15.53	14.30	0.41	169.64	3.20	169.72	3.25	-385.02

图3 定向对接井设计程序

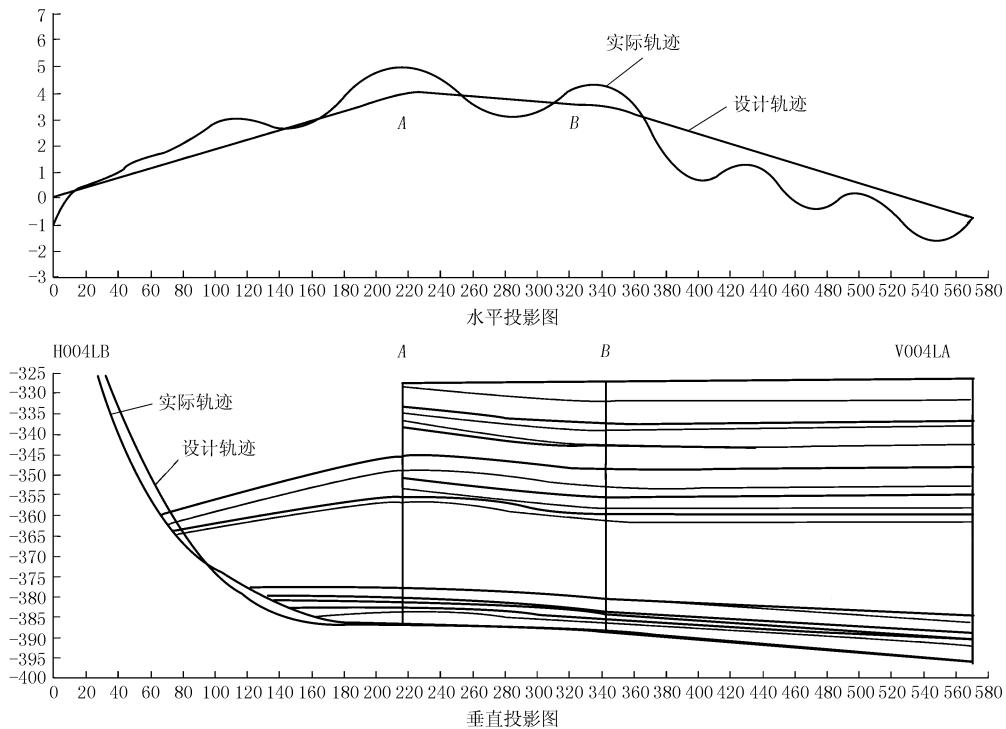


图4 对应的轨迹水平投影图及垂直投影图

(注:为说明起见图中标明了设计轨迹和实钻轨迹,水平层状曲线为分界线)

根据式(10)有:

$$\beta = 20.081 - 4.3 - 1.3 = 14.481^\circ$$

对应的轨迹设计为:

(1)校正平均角法

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta X = \left(1 - \frac{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2}{24}\right) \Delta L \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cdot \\ \quad \cos\left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} - 14.481\right) \\ \Delta Y = \left(1 - \frac{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2}{24}\right) \Delta L \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cdot \\ \quad \sin\left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} - 14.481\right) \\ \Delta Z = \left(1 - \frac{\Delta\alpha^2}{24}\right) \Delta L \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \end{array} \right. \quad (11)$$

(2)最小曲率法

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta X = \frac{\Delta L}{2} [\sin\alpha_1 \cos(\varphi_1 - 14.481) + \\ \quad \sin\alpha_2 \cos(\varphi_2 - 14.481)] \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \\ \Delta Y = \frac{\Delta L}{2} [\sin\alpha_1 \sin(\varphi_1 - 14.481) + \\ \quad \sin\alpha_2 \sin(\varphi_2 - 14.481)] \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \\ \Delta Z = \frac{\Delta L}{2} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2) \frac{2}{\gamma} \text{tg} \frac{\gamma}{2} \end{array} \right. \quad (12)$$

不同的井,只需要更改图3中隐框显示的方位角为该井口与靶点连线磁方位角即可。如要计算地理坐标,只需要将该处输入当地磁偏角,初始X、Y、

Z输入井口地理坐标即可。

6 结语

(1)建立井口与靶点连线方位为基准参考坐标系,修正轨迹计算式,使轨迹设计直观,便于采用简单计算程序跟踪对比,可及时反应实钻轨迹与目标点的设计偏差,适用定向对接井及定向井工程。

(2)定向对接连通井轨迹设计计算可采用校正平均角法能满足连通要求。

(3)计算中需考虑磁偏角、子午线收敛角对轨迹精度的影响。

参考文献:

- [1] 韩志勇. 定向井设计与计算[M]. 北京:石油工业出版社, 1989.
- [2] 刘修善. 定向钻井中方位角及其坐标的归化问题[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(4): 1-5.
- [3] 刘海翔, 向军文, 刘志强. 基于 EXCEL 的定向钻井应用程序及其工程应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2).
- [4] 向军文, 胡汉月, 刘志强. 土耳其天然碱矿 30 对对接井工程[J]. 中国井矿盐, 2007, (5).
- [5] 向军文, 陈晓琳. 定向对接连通井技术的发展及其展望[J]. 探矿工程, 2003, (1).
- [6] 向军文. 受控定向钻探技术及对接井钻探技术现状与发展前景[J]. 探矿工程, 1999, (S1).
- [7] 周铁芳, 赵建亚, 向军文, 等. 采卤对接井钻井技术的研究[J]. 探矿工程, 1995, (1).
- [8] 向军文. 定向钻进技术发展及展望[J]. 探矿工程, 1998, (6).
- [9] 胡汉月, 向军文, 董迪壮. 土耳其贝帕扎里天然碱矿钻井工程 MWD 实地校核[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(7).

汪民指出地质找矿新机制的核心是整装勘查

国土资源部网站消息(2011-05-16) 5月13~14日,在云南昆明召开的全国地质找矿整装勘查经验交流会上,国土资源部副部长、中国地质调查局局长汪民解答了用找矿新机制推进整装勘查等问题。

汪民说:要在全国重点成矿区带,以国家紧缺矿种、找矿风险大而又具有找矿突破潜力的矿种为主,以集中成片、集中勘查的方式推进工作,落实地质找矿新机制。一是整装勘查要根据规划重点考虑国家紧缺矿种、找矿风险大的矿种;二是在成矿背景和成矿条件相近的区域选择;三是整装勘查区应该具备一定的工作基础。

在推进整装勘查时要高度重视以下问题:

第一,充分调动地勘单位找矿的积极性和找矿突破的能动性。国土资源管理部门一定要站在增强资源、能源保障能力的高度上,一方面为地勘单位找矿创造条件、做好服务;另一方面还要鼓励、引导地勘单位通过找矿积累资本,引导地勘单位在企业化的道路上与大企业联盟,抓住难得机遇走向市场。

第二,准确定位公益性地质工作。公益性地质工作是基础性工作,不加强就会削弱地质工作。加强公益性地质工作这个基础,不仅

为提高资源保障能力作贡献,同时也为解决重大资源环境问题提供支撑。

第三,培育探采一体化企业。在地质找矿新机制下全国涌现了许多整装勘查的模式,一些勘查主体本身既有勘查技术又有经济实力,走的都是探采一体化的路子,这为推进找矿突破战略行动提供了一个方向和思路;如果探矿就是为了采矿,找矿的速度就会加快。

第四,要抓好矿业权管理。矿业权管理是推进整装勘查的核心和最重要的手段。矿业权管理有六方面的内容:一是调查评价,要掌握和了解本地的资源价值,做好矿业权的规划、布局;二是推进资源整合,通过整合规范矿业开发秩序;三是通过市场方式配置矿业权;四是规范矿业权管理,严格监管;五是完善机制,顺畅管理;六是保护矿业权人权益,为他们提供优质服务。整装勘查区要优先重点落实好这些政策。

汪民强调,关于整装勘查的组织实施,首先要明确我们是地质找矿的主要推动者、发动者,也是整装勘查的参与者,我们自己要动起来,从找矿部署、方案制定、管理、服务和监督以及找矿技术、资金、队伍等方面实现对接,最终促成找矿的重大突破。