

子午线收敛角对定向钻进精度的影响

向军文¹, 刘志强²

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:在定向钻进井眼轨迹计算时,以前方位计算只考虑磁偏角,而没有考虑子午线收敛角对定向控制精度的影响。在井距 400 m 以上时,子午线收敛角最大误差可达 10 m 以上,说明子午线收敛角对水平定向钻进精度影响较大。文中给出了通过井口的地理坐标简便计算子午线收敛角方法,其误差在 20% 以内,可满足对接连通井工程需要。并通过与美国产高精度磁中靶系统 RMRS 在土耳其 29 对对接连通井工程应用进行了验证,结果中靶误差较小。说明在定向钻进井眼轨迹计算时,考虑子午线收敛角对长距离水平定向井、定向对接连通井和非开挖工程精确设计和施工具有重要指导意义。

关键词:子午线收敛角;定向钻进精度控制;方位计算;地理坐标

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0011-03

Effect of Meridian Convergence on Directional Drilling Accuracy/XIANG Jun-wen¹, LIU Zhi-qiang² (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In design of directional drilling trajectories, only magnetic deviations were taken into account, while effects of meridian convergences on directional drilling accuracy were not included. When the well spacing exceeds 400m, the meridian convergence will result in a maximum error of 10m, indicating a substantial impact on directional drilling accuracy. This paper presents a simplified method of meridian convergence calculation with the geographical co-ordinates of the well collar with an error less than 20%, which can meet the field requirements. It has been proven by use of the RMRS system that the drilling error to the target is reduced to the minimum in 29 pairs of intersected wells. It shows that consideration of meridian convergences provides important guidance to the precise design and drilling of long-reach horizontal wells, intersected wells and pipeline installation wells.

Key words: meridian convergence; control of directional drilling accuracy; azimuth calculation; geographical co-ordinates

定向钻进工程中,常发现尽管为提高勘探中靶精度,采取了多次测量仪器校正,减少仪器测量系统误差;采取缩短测量长度,增加测量控制点;采取随钻定向钻进,随时了解井下钻井轨迹;进行各种轨迹计算方法比较及采用高精度 MWD 等,仍难以将定向钻进最终控制靶点范围精确在偏差 ± 3 m 以内。

在采矿或煤层气对接连通井中,往往直井的建腔直径有限,如不提前有效地提高前期水平钻进垂深及水平误差,将对后续对接连通造成较大的困难。

为了提高中靶精度,减少定向分支工作量,有必要加强对定向控制精度的因素进行研究,减少数据处理误差。而其中常常被忽视的就是井的子午线收敛角,要在计算井与靶点连线方位过程中必须考虑井的子午线收敛角对钻井轨迹的影响。

1 子午线收敛角

子午线收敛角^[1] (Convergence of Meridian,

Gauss Grid Convergence) 是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。即在高斯平面上的真子午线与坐标纵线的夹角,通常用 r 表示。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。某地面点此角的大小与此点相对于中央子午线的经差 ΔL 和此点的纬度 B 有关,其角值可用下面的近似计算公式计算:

$$r = \Delta L \sin B$$

$$\Delta L = L - L_0$$

式中: r ——该点子午线收敛角; L ——该点子午线经度; L_0 ——该点所在的投影带的中央子午线经度。

2 子午线收敛角计算方法

2.1 子午线收敛角与井口地理坐标计算方法

子午线收敛角计算方法多种,但总体上复杂,参

收稿日期:2009-12-03

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,博士后,从事定向钻进技术与开发工作,北京市海淀区学院路 29 号,xiangjunwen@vip.sina.com。

数多,现场计算需要换算。根据资料表明^[2],采用 $r = \Delta L \sin B$ 可以满足定向钻进工程需要。但实际测量中,往往知道的是井口地理坐标 (X, Y, Z) 。经过推理和数据处理软件,可以得出如下简便计算式:

$$r = (1/2) \operatorname{atan}(X/Y) \cdot (X/Y) \quad (1)$$

式中: X, Y ——分别为该点地理纵、横坐标。

计算对比见表1。

表1 简便计算子午线收敛角偏差^[3~6]

| 测点 编号 | 地理坐标 | | 子午线收敛角 $r/(\circ)$ | | |
|----------|-------------|-------------|--------------------|------|-------|
| | X | Y | 实际 | 计算 | 误差/% |
| 1 | 4866250.321 | 21692478.58 | 1.39 | 1.42 | 2.03 |
| 2 | 5849170.760 | 21702625.88 | 2.25 | 2.03 | -9.66 |
| 3 | 5449416.978 | 25402798.90 | 1.43 | 1.30 | -9.18 |
| 4 | 3861152.714 | 39532974.33 | 0.23 | 0.27 | 18.44 |
| 5 | 5450403.219 | 25403055.14 | 1.43 | 1.30 | -9.15 |
| 6 | 4163140.193 | 20669380.08 | 0.83 | 1.15 | -1.98 |

由表1可以看出,采用简便计算可以达到工程计算精度。

2.2 子午线收敛角计算方法

根据已知井口地理纵横坐标 (X, Y) , 可采用高斯投影坐标反算经迭代法计算出子午线收敛角, 其公式^[1]为:

$$B = B_f - \frac{\rho t_f}{2M_f N_f} y^2 + \frac{\rho t_f}{2M_f N_f^3} (5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9t_f^2 \eta_f^2) y^4 - \frac{\rho t_f}{720M_f N_f^5} (61 + 90t_f^2 + 45t_f^4) y^6 \quad (2)$$

$$L = L_0 + l$$

其中:

$$l = y \left[\frac{N_f \cos B_f}{\rho} + \frac{(1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) \cos B_f}{6N_f \rho} y^2 \right]^{-1} + \frac{\rho}{360N_f^5 \cos B_f} (5 + 44t_f^2 + 32t_f^4 - 2\eta_f^2 - 16t_f^2 \eta_f^2) y^5$$

子午线收敛角为:

$$r = l \sin B \left[1 + \frac{l^2 \cos^2 B}{3\rho^2} (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) + \frac{l^4 \cos^4 B}{15\rho^4} (2 - t^2) \right] \quad (3)$$

$$\rho = 180/\pi$$

$$t = \operatorname{tg} B$$

式中: B ——纬度; L ——经度; L_0 ——中央经度; l ——经差; $M_f, N_f, B_f, t_f, \eta_f$ ——分别为垂直纬度时对应的子午线曲率半径、卯酉曲率半径及相应参数。

3 定向井方位与子午线计算方法

过去通常在计算实际测点方位时,采用通式为:

$$\vartheta = \vartheta_0 \pm \Delta\vartheta \pm \varphi \quad (4)$$

式中: ϑ ——测点实际方位, ($^\circ$); $\Delta\vartheta$ ——仪器方位偏差, ($^\circ$); φ ——当地磁偏角, 东为加, 西为减, ($^\circ$)。

考虑子午线收敛角后, 则测点实际方位角式为:

$$\vartheta = \vartheta_0 \pm \Delta\vartheta \pm \varphi \pm r \quad (5)$$

式中: r ——井口子午线收敛角, 东为加, 西为减, ($^\circ$)。

4 工程实例

4.1 概述

土耳其天然碱矿位于土耳其 Ankara 省境内, 是土耳其境内迄今为止发现的最大的天然碱矿, 其天然碱地质储量为 2.37 亿 t, 品位高、杂质少, 是加工低盐优质纯碱的上好原料。矿区东距 Ankara 市 110 km, 有简易公路相通, 交通便利。为世界第二大天然碱矿区。

4.2 基本地质情况

矿区地层依次为扎维依 (Zaviy)、卡基鲁巴 (Cakiloba)、沙里亚吉尔 (Saragil)、卡拉杜鲁克 (Karadoruk)、河卡 (Hirka) 和玻亚利 (Boyalı) 地层。碱矿层位于主要由粘土层和含沥青的页岩组成的河卡地层中, 埋深在 250~430 m 之间。其围岩主要为 Hirka (河卡组) 的油页岩类、粘土岩类、凝灰岩及白云石灰岩, 矿体以透镜形态产出, 共有 33 层厚度在 0.4~2 m 的矿层, 天然碱矿层总厚度在矿田边缘为 2.5 m, 中心部位达 34 m。矿层在垂直方向上可分为上、下两个矿段, 上部天然碱矿段展布面积 8 km², 含矿段厚度 40 m, 其中有 6 个主矿层, 矿层总厚度约 8~20 m, 平均总厚度 12 m; 下部天然碱矿段与上矿段之间有 20~25 m 的一套粘土岩、凝灰岩、油页岩隔层, 下矿段展布面积 5.5 km², 矿段总厚度 40~60 m, 共 16 个矿层, 其中有 6 个主矿层, 矿层总厚度 3~15 m, 平均总厚度 7~8 m。

4.3 工程目的

实施 P002 - P030 共 29 个井组的钻进工程量, 两井井距大于 400 m, 水平穿矿段长大于 200 m。实施对接连通, 要求所有井组均一次对接连通, 不允许压裂。总进尺约 38500 m。以提供年产 100 万 t 碱所需卤水。

4.4 根据分析计算结果误差

为检查计算与实际结果, 生产中, 在考虑区域子午线收敛角后, 因直井溶腔很小, 只有直径 3 m 左

右,为保证直接钻进连通。采用美国产高精度中靶系统 Vector magnetics 的 RMRS,该仪器精度可达左右 ± 0.1 m,上下 ± 0.1 m。实际工程中发现方位计算加上子午线收敛角后,定向控制精度误差较小,在

磁偏角为 -4.3° 时,以设计时考虑子午线收敛角后中靶精度误差为零情况下,实际与不考虑子午线收敛角误差对比结果见表 2。

表 2 土耳其天然碱矿 29 对对接井工程部分误差对比表

| 井组号 | 连线地理方位/ $^\circ$ | 井口距离/m | 实际角差值/ $^\circ$ | 不考虑子午线收敛角距离误差/m | 考虑子午线收敛角采用 RMRS 检查钻头与靶点实际距离/m |
|------|------------------|---------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| H002 | 19.45 | 437.887 | -5.76 | 11.16 | 0.58 |
| H003 | 19.83 | 451.718 | -5.71 | 11.14 | 0.55 |
| H004 | 18.26 | 439.375 | -5.64 | 10.25 | 0.20 |
| H011 | 129.50 | 415.623 | -5.86 | 11.31 | 0.65 |
| H012 | 135.36 | 411.878 | -5.91 | 11.55 | 0.68 |
| H017 | 153.97 | 450.092 | -5.84 | 12.12 | 0.64 |
| H018 | 153.95 | 449.916 | -5.81 | 11.87 | 0.51 |
| H022 | 179.80 | 443.183 | -5.68 | 10.71 | 0.16 |
| H023 | 182.49 | 406.814 | -5.65 | 9.60 | 0.37 |
| H027 | 197.76 | 366.418 | -5.56 | 8.07 | 0.27 |
| H028 | 201.65 | 450.180 | -5.59 | 10.16 | 0.56 |
| H029 | 201.00 | 416.007 | -5.48 | 8.59 | 0.51 |

由表 2 可以看出,考虑子午线收敛角后,尽管仍存在误差,但定向控制精度大大提高,结果每对井均在溶腔直径不大于 3 m 情况下,从相距 400 m 左右,均为一次直接钻进连通,且部分井组直接钻进到 $\varnothing 139.7$ mm 套管上。

5 结语

(1) 在定向钻进中,因水平距较长,工程设计与施工中,方位计算时必须考虑该井的子午线收敛角。

(2) 现场可采用简便计算方法计算子午线收敛角,该法能满足对接连通井工程施工需要。

(3) 精确计算子午线收敛角可采用高斯投影坐

标反算法经迭代算出。

参考文献:

- [1] 孔祥元,郭际明,刘宗泉.大地测量学基础[M].武汉:武汉大学出版社,2001.
- [2] 鄢熙娟,江国焰,高俊强.子午线收敛角计算公式及计算精度分析[J].现代测绘,2005,28(6):22-25.
- [3] 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.
- [4] 鄢熙娟,王维,高俊强.子午线收敛角和垂线偏差对陀螺方位角的影响[J].南京工业大学学报,2007,29(3):94-98.
- [5] 韩志勇.关于子午线收敛角校正问题[J].石油钻探技术,2006,34(4):1-4.
- [6] 刘福山.高斯投影坐标换带和子午线收敛角计算编程[J].长春邮电学院学报,1995,13(2):51-53.