

考虑测地数据影响的定向井测斜计算修正方法^{*}

管志川¹ 陈炜卿¹ 都振川²

(1. 中国石油大学·华东 2. 中国石化胜利油田钻井工程技术公司)

管志川等. 考虑测地数据影响的定向井测斜计算修正方法. 天然气工业, 2006, 26(10): 86-88.

摘要 根据大地测量学理论, 利用椭球体来近似地球, 在考虑了测地数据对定向井、大位移井测斜计算的影响作用的基础上, 建立了一套新的针对现有测斜计算方法的修正方法。该方法从井口的测地数据出发, 分别针对高斯—克吕格投影和通用横轴墨卡托投影两种常用的投影方式, 利用两个重要的转换参数: 方格收敛度和比例系数, 将每个测段作为一个计算单元, 采用逐步近似的方法, 对每个测点上得到的测斜数据进行测地修正, 将这些测斜数据由“椭球体”模型中的数据转化到投影平面的三维坐标系当中进行测斜计算。从根本上解决了常规测斜计算中“平面地球”模型所带来的不足, 进一步提高了测斜计算的精度。此外, 还利用 Visual C++ 编程环境开发了相应的程序可实现快速计算。最后利用以南海油田 1 号井的实测数据资料, 采用此修正算法和常规的测斜计算进行了对比验证。

关键词 钻井 定向井 水平井 测斜 计算方法 大地测量学

目前的定向井施工时, 所进行的测斜计算前提是将地球假想成平面的。相对于长井深、短靶区半径来说, 这种近似的影响已经不能忽略。为了解决这个问题, 结合测地学有关知识, 对现有的测斜计算方法加以修正, 建立了一套新的测斜计算的修正算法, 以求更加准确的描述井眼位置。

一、概念引入^[1]

按照测地学的定义, 方格收敛度可按照下述公式计算得到。已知地理坐标 (B, L) 求解方格收敛度 (γ) :

$$\frac{\partial x}{\partial l} = N \cos B \sin B \cdot \left[1 + \frac{1}{6} \cos^2 B (5 - t^2 + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) \times \right. \\ \left. t^2 + \frac{1}{120} \cos^4 B (61 - 58 t^2 + t^4) t^4 \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial y}{\partial l} = N \cos B \left[1 + \frac{1}{2} \cos^2 B (1 - t^2 + \eta^2) t^2 + \frac{1}{24} \cos^4 B \times \right. \\ \left. (5 - 18 t^2 + t^4 + 14 \eta^2 - 58 t^2 \eta^2) t^4 \right] \quad (2)$$

$$\tan \gamma = dx/dy = \frac{\partial x}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial l} \quad (3)$$

式中: N 表示地球椭球体上某点的卯西线曲率半径, m ; B 表示该点的地理纬度, $(^\circ)$; l 表示该点与井口之

间的地理经度差, $(^\circ)$; 参数 $t = \tan B$; 参数 $\eta = \sqrt{e'^2 \cos^2 B}$, e' 表示椭球体的第二偏心率。

方格比例系数按照如下公式计算, 由地理坐标 (B, l) 求解方格比例系数的公式为:

$$m = 1 + t^2 \cos^2 B (1 + \eta^2) + \frac{t^4}{24} \cos^4 B (5 - 4 t^2) \quad (4)$$

二、测斜计算修正方法的建立

1. 理论前提

一般现场进行测斜计算所采用的坐标系是当地坐标系, 在其上^[2-3] 利用方格收敛度 (γ) 和方格比例系数 (m) , 测深增量 (ΔD_m) 、井斜角 (α) 、方位角 (φ) 应修正为 (其中角标 G 代表修正后, T 代表修正前):

$$\text{井斜角修正: } \alpha = \arctan(m \tan \alpha) \quad (5)$$

测深增量修正:

$$(\Delta D_m)_G = (\Delta D_m)_T / \sqrt{\cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{m^2}} \quad (6)$$

其中: $\alpha = 0.5 [(\alpha)_i + (\alpha)_{i+1}]$ 。

$$\text{方位角修正: } \varphi = \varphi - \gamma \quad (7)$$

2. 修正方法

^{*} 本文为中国石化集团公司重点项目“大位移井钻井技术研究”(编号: JP01022)的研究成果。

作者简介: 管志川, 1959 年生, 教授, 博士生导师; 1995 年获原石油大学(东营)工学博士学位; 现从事油气井管柱力学, 油气井井下过程监测、诊断与控制, 油气井流体力学研究。地址: (257061) 山东省东营市北二路 271 号。电话: (0546) 8391908。E-mail: guanzhich@hdpu.edu.cn

假设已知的是某一测段上下两测点 A 、 B 两点的测斜数据 $(D_m)_A$ 、 α_A 、 φ_A 、 $(D_m)_B$ 、 α_B 、 φ_B 、 A 点的钻井地图坐标 (x_{A-dm}, y_{A-dm}) 、钻井地图原点 O 在投影坐标系中的坐标 (x_{O-pm}, y_{O-pm}) ，求 B 点的钻井地图坐标 (x_{B-dm}, y_{B-dm}) 。

(1)利用 (x_{d-dm}, y_{b-dm}) 和 (x_{O-pm}, y_{O-pm}) 求 A 点在投影坐标系中的坐标 (x_{A-pm}, y_{A-pm}) 。

(2)由 (x_{A-pm}, y_{A-pm}) 计算该点的点比例系数 (m_A) 和方格收敛角 (γ_A) 。

(3)将第(2)步中得到 m_A 和 γ_A 应用于整个测段，即 $m_B = m_A$ ， $\gamma_B = \gamma_A$ 。

(4)将第(3)步中所得的 m_B 、 γ_B 代入式(5)、(6)、(7)中求得第一次修正后的 B 点得测斜参数 $(D_m)_B$ 、 α_B^{rev} 、 φ_B^{rev} 。

(5)利用 $(D_m)_B^{rev}$ 、 α_B^{rev} 、 φ_B^{rev} 和 $(D_m)_A$ 、 α_A 、 φ_A 、计算测段上的东方位增量 ΔE_{AB} 、北方位增量 (ΔN_{AB}) 和垂深增量 (ΔD_{AB}) 。

(6)求得 B 点的投影坐标 (x_{B-pm}, y_{B-pm}) ，重复第(2)步计算 B 点的方格收敛角 γ_B 和点比例系数 m_B 。

(7)根据 B 点的投影坐标 (x_{B-pm}, y_{B-pm}) 和钻井地图原点 O 在投影坐标系中的坐标 (x_{O-pm}, y_{O-pm}) ，求得 B 点的钻井地图坐标 (x_{B-dm}, y_{B-dm}) 。

(8)将 B 点作为下一测段的起始点，重复上述步骤。

三、实例对比

采用 Visual C++ 开发平台，根据前面叙述的算法，编制了相应的对比程序^[4]。下面将利用南海油田 1 号井的测斜数据，采用常规的、修正后的最小曲率法进行测斜计算，得到如下数据表和示意图。

1.1 号井的基本测地数据

表 1 列出的是该井的基本测地参考数据。

表 1 1 号井基本测地参考数据表

井号	磁偏角 (°)	参考椭球	井口地理坐标 (B, L)(°)	井口投影 方式	井口投影带	投影方位 角(°)
1	-1.26	WGS 84	(20.8366, 08.9002)	UTM	UTM Zone 49, L:108~114 (°)	263.87

2. 实测数据计算结果对比表及对比图^[5-6]

根据上面介绍的修正测斜计算方法，将该井的原始测斜数据及基本测地数据输入程序，计算得到的部分结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出，考虑了测地数据影响之后的测斜计算方法所得到的井眼位置数据，在东方位和北方位参数的变化较大，例如

表 2 1 号井修正前后的测斜计算结果对比表

测点	测深 (m)	未修正的					已修正的				
		井斜角 (°)	方位角 (°)	垂深 (m)	北方位 (m)	东方位 (m)	井斜角 (°)	方位角 (°)	垂深 (m)	北方位 (m)	东方位 (m)
120	3613.82	38.59	251.94	2544.592	-250.08	-2264.30	38.63	252.70	2543.39	-218.97	-2269.16
121	3642.13	37.59	251.93	2566.873	-255.50	-2280.90	37.63	252.69	2565.66	-224.17	-2285.84
122	3653.55	37.30	251.75	2575.94	-257.66	-2287.50	37.34	252.51	2574.72	-226.25	-2292.47
123	3666.00	37.30	251.75	2585.84	-260.02	-2294.67	37.32	252.51	2584.62	-228.52	-2299.67

在第 123 个测点上，东方位的差值达到了 5 m，北方位的差值达到了 31.5 m，垂深差值达到 1.22 m，可见相对于靶区半径（一般为 20 m）来说，地球曲率对井眼位置的计算影响是较为显著的。相应的对比图见图 1、2。

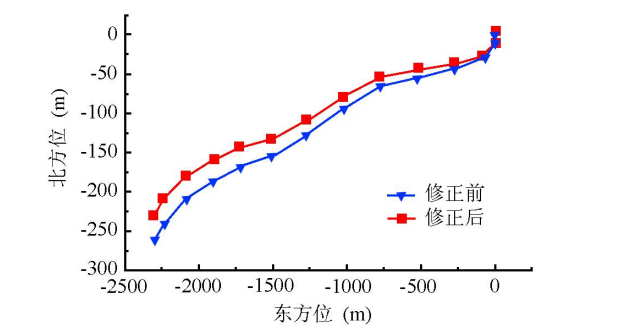


图 1 1 号井修正前后的测斜计算结果水平投影对比图

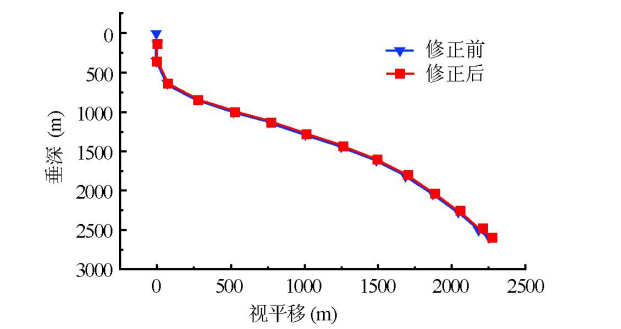


图 2 1 号井修正前后的测斜计算结果垂直投影对比图

四、结 论

(1)以往的不考虑测地数据影响的测斜计算存在着误差，而且这种误差会随着钻井深度的增加而

增大。相对于越来越小的靶区范围,这种误差已经不能忽略不计,必须按照地图投影的原理,对原有的测斜计算方法予以修正。

(2)鉴于方格收敛度和比例系数两参数是随着井眼位置的变化而变化的。因此,在利用二者对原始的测斜参数进行修正时,也必须考虑到这种变化,而不能简单的将井口处的方格收敛度和比例系数作为恒定值直接应用于全井段的测斜计算上。

(3)根据以上列出的两口井的对比及其他几口井的计算结果来看,修正后的测斜计算方法在东方位、北方位参数的计算上表现较为明显的差别,而对垂深参数的计算作用相对于前者并不明显。可见,考虑了测地因素经修正后的测斜计算方法能够进一步提高测斜计算的精度,更加准确地描述实际的井眼位置。

参考文献

- [1] 施一民. 现代大地控制测量[M]. 北京: 测绘出版社, 2003.
- [2] WRIGHT J W. Directional drilling azimuth reference system[J]. SPE 17212.
- [3] WILLIAMSON H S, WILSON H F. Directional drilling and earth curvature[J]. SPE 62114.
- [4] 王华, 叶爱亮, 等. Visual C⁺⁺ 6.0 编程实例与技巧[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [5] 陈庭根, 管志川. 钻井工程理论与技术[M]. 东营: 原石油大学出版社, 2000.
- [6] 韩志勇. 定向井设计与计算[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.

(收稿日期 2006-04-07 编辑 钟水清)