

文章编号:1673-5005(2006)06-0042-04

井眼轨迹测斜计算方法误差分析

陈炜卿, 管志川

(中国石油大学 石油工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:通过数值方法构造了用于井眼轨迹测斜计算方法对比分析的参考曲线,获得了测斜计算误差分析的参考条件。在此基础上对常用的平均角法、校正平均角法、平衡正切法、最小曲率法、弦步法以及它们的平均井眼位置的误差进行了对比分析。结果表明,无论哪种测斜计算方法,所表现出来的误差特性都很相似,均遵循随测深增加而线性增加的变化趋势。误差散点图表现出的分散性不强,与典型的随机误差的散点图相比,更偏向于系统误差的分布。由于井眼轨迹测斜计算方法误差对轨迹综合误差分析影响较小,因此,经过较大样本空间的分析,几种测斜计算方法所产生的误差概率密度函数均可用统一的解析式表示,通过最小二乘法拟合得到了该解析式的参数值。

关键词:井眼轨迹; 测斜计算; 误差分析; 拟合; 最小二乘法

中图分类号:TE 21

文献标识码:A

Error analysis of well path survey calculation methods

CHEN Wei-qing, GUAN Zhi-chuan

(College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: By use of numerical method, a kind of reference curve could be constructed to analyze the error of well path survey calculation, and the reference conditions for error analysis of suney calculation were obtained. And on this basis, several usual survey calculation methods such as average angle method, corrected average angel method, balance tangent method, minimum curvature method and cord segment method were examined. The result indicates that these survey calculation methods' errors have the similar error characteristics. The survey calculation error takes linear variation tendency with the variation of measure depth parameter. On the error diverse points' plots, the dispersivity of the error is weak and prone to be the systematic error. Through the analysis of the relative large sample space, the result indicates that all survey calculation methods' error could be expressed approximately by one uniform formula if undergoing comprehensive well trajectory's error analysis. The parameters of the uniform formula were calculated by means of the least square method.

Key words: well path; survey calculation; error analysis; matching; least square method

1 对比参考曲线的构造

无论哪种测斜计算方法,都是将测段假设为某种确定性质的曲线段,而实际的井眼形状是未知的,因此,测斜计算得到的井眼位置与真实井眼位置之间必然存在误差。鉴于实际井眼空间形状未知,可以采用构造理论参考曲线的方法来分析各测斜计算方法的计算误差特性。井眼轨迹计算的关键是确定测段上的井眼位置增量,而位置增量的确定则与测深 D_m 、井斜角 α 和井斜方位角 Φ 这3个基本测斜参数密不可分。3个参数的非连续性造成测段上的计

算误差。为了能够尽可能逼近实际情况,假设:

(1) 构造参考井眼轨迹测深 L 满足: $0 \leq L \leq 20\,000\text{ m}$ 。

(2) 构造时采用的微测段为直线段,长度为 ΔL 。 ΔL 程序中可调,数值实验中采用0.1,1,2,5。之所以采用这种微小直线段就是为了从数值逼近的角度近似实际的井眼轨迹,以连续的微小直线段近似连续变化的井眼轨迹。而实验结果显示,如果采用的微测段长度增加且微测段上的角度增量增加,则构造曲线的总体变化趋势将增加,得到的曲线更贴近大斜度井眼的情况;反之则更贴近直井眼的情况。

收稿日期:2006-10-16

作者简介:陈炜卿(1977-),男(汉族),四川射洪人,博士研究生,研究方向为井下系统信息与控制工程。

总测点数为 n (包括第0测点),则第 i 个测点处的测深为: $L_i = L_{i-1} + \Delta L$ 。

(3) 利用随机生成数构造井斜角参数 α , $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$,再利用累加的方法得到每个测点上的井斜角 α_i , $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \Delta\alpha_i$ 。同样的,通过累加的方法还可以得到测点 i 上的垂深坐标 D_i ,

$$D_i = D_{i-1} + \Delta D_m \cos \alpha_i.$$

(4) 利用随机生成数构造井斜方位角参数 Φ , $0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$ 。根据井斜方位角的定义,计算测段在水平投影面上的投影长度 ΔS_i , $\Delta S_i = \Delta L_i \sin \alpha_i$ 。并利用 $\Delta\Phi_i$ 计算得到东西位移和北南位移的增量 ΔE_i 和 ΔN_i ,即

$$\Delta E_i = \Delta L_i \sin(\Phi_{i-1} + \Delta\Phi_i),$$

$$\Delta N_i = \Delta L_i \cos(\Phi_{i-1} + \Delta\Phi_i).$$

再根据上测点的东西位移 E_{i-1} 和北南位移 N_{i-1} 计算得到下测点的东西位移 E_i 和北南位移 N_i ,即

$$E_i = E_{i-1} + \Delta E_i,$$

$$N_i = N_{i-1} + \Delta N_i,$$

从而可计算得到下测点处的方位角参数 Φ_i ,即

$$\Phi_i = \arcsin(E_i / \sqrt{E_i^2 + N_i^2}).$$

本文中都是采用随机生成数来产生每个点上的井斜角和方位角参数,这是因为:(1)实际的井眼轨迹是连续变化的,但具体的变化情况不得而知,所有的测斜计算方法都是假设测段曲线特征之后进行的近似计算。这里以每个微小测段上随机生成的井斜角和方位角来生成构造曲线,由于随机生成数的取值为 $0.01^\circ, 0.1^\circ, 0.5^\circ, 1.0^\circ, 2.0^\circ$,而且对于较大的微测段增量采用较大的角度增量,较小的微测段增量采用较小的角度增量,从而保证了构造曲线在整体上能很好地逼近实际井眼轨迹连续变化的特征。(2)实际测点之间的井眼轨迹变化未知,只能根据临近的测点井斜角和方位角大致判断其变化趋势,而实验中采用的微测段长度远小于实际测段长度,因此,假设在微测段上的角度增量为微小的随机变化量,既保证了整体的近似性,又保证了局部范围内的随机变化特性。由于随机数是依靠计算机生成的,因此所构造曲线的井斜角、方位角的变化呈均匀变化的特性。图1为井斜角、方位角随测深变化的曲线,图2为某构造曲线的三维轨迹图,均表现出了构造曲线良好的近似性。

从图1,2可以看出,所构造的曲线变化趋势缓和且近似连续,可以用于模拟实际的井眼轨迹曲线。

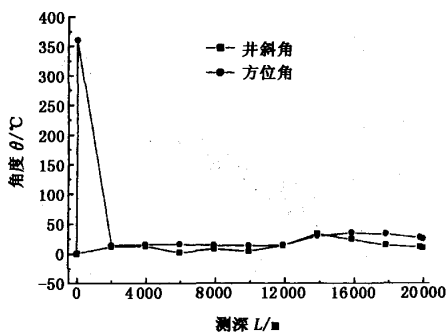


图1 某条构造曲线的井斜角、方位角随测深的变化

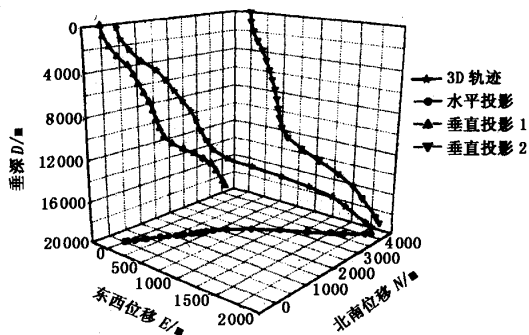


图2 某条构造曲线的三维轨迹图

2 测斜计算误差在单次构造曲线情况下的误差分布

测斜计算误差指的就是由某种测斜计算方法得到的井眼位置与相应的构造曲线相同测深处的井眼位置之间的距离。这里以测深为参照变量构造每个测点上的误差序列,那么根据误差理论,误差序列的散点图可以在直观上描述测斜计算误差的特性。图3~8为构造了多条参考曲线的情况下,各种测斜计算方法误差以及它们的均值误差的序列散点图。

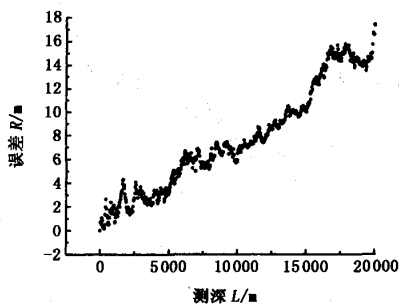


图3 平均角法(AA)误差序列散点图

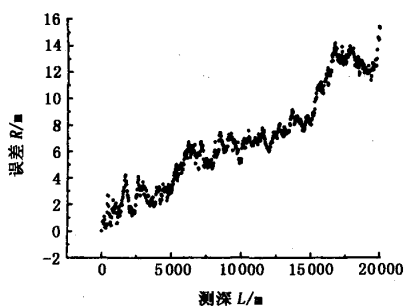


图4 测斜计算平均井眼位置(ASC)误差序列散点图

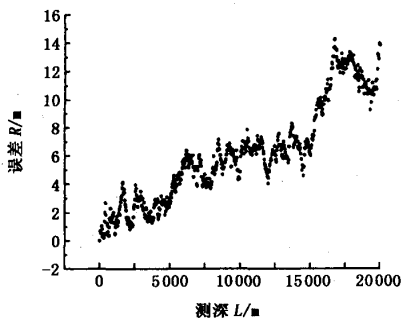


图5 平衡正切法(BT)误差序列散点图

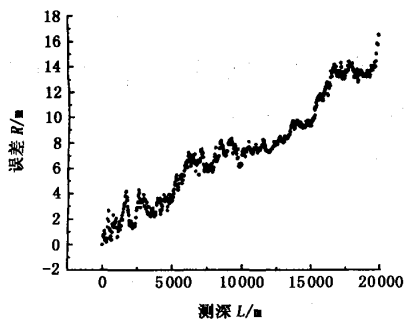


图6 弦步法(CS)误差序列散点图

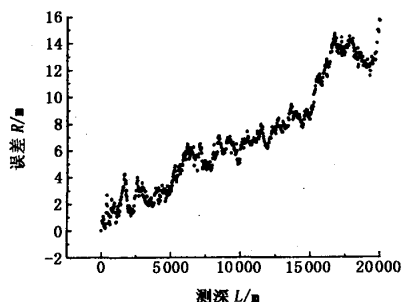


图7 校正平均角法(CAA)误差序列散点图

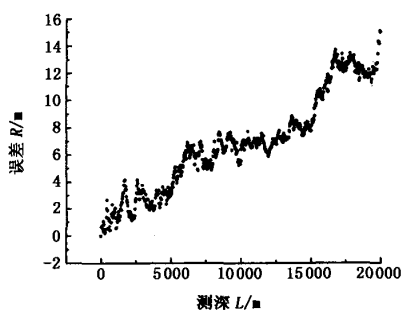


图8 最小曲率法(MC)误差序列散点图

3 对比分析

(1) 对于每条特定的构造曲线,无论是误差的大小还是误差的变化趋势,不同测斜计算方法的误差之间表现出一定的相似性,这在一定程度上说明了测斜计算方法之间在计算精度上差别不大。

(2) 从图3~8可以看出,误差的幅值相对于构造曲线的测深来说是极小量。因此,虽然不同的构造曲线对测斜计算的误差分布有影响,但影响很小,可以将测斜计算误差看作随测深增加而呈线性变化的趋势。

(3) 每个散点图表现出的分散性不强,与典型的随机误差的散点图相比,列出的散点图更偏向于系统误差的分布情况,即在特定的构造曲线条件下,测斜计算误差在整条曲线上表现为较强的相关性。经过多次构造参考曲线条件下绘制的散点图对比,测斜计算误差又表现为随机分布的特性,构造曲线不同,误差变化不同。测斜计算误差的这种单分布趋向系统性、多分布趋向随机性的特征恰好符合随机过程的特点。然而,在随机过程中随机变量是时间的函数,而且更为重要的是,按照随机过程的定义,多次测量的误差相比的基础是测量条件相对稳定,这些与测斜计算误差不符,因此,将测斜计算误差称为“类随机过程”更为合适。

4 较大样本空间中的各种测斜计算方法误差的统计分布规律

针对数值实验中的计算结果,将100条构造曲线下的测斜计算误差作统计处理,以寻求其分布规律。

4.1 测斜计算误差统计规律描述

图9为较大的样本空间中各种测斜计算误差的分布频率曲线。

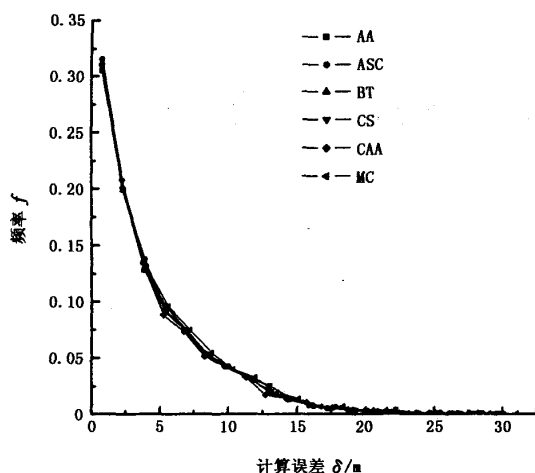


图9 100条构造曲线下的各种测斜计算误差与其分布频率的关系

从图9可以看出:

- (1) 误差主要集中在小误差范围内,超过10 m的测斜计算误差在整个样本空间中所占的比例很小。
- (2) 不同测斜方法之间在较大样本空间中的相互差别较小,因此在井眼轨迹测量误差的整体分析

表1 几种常用测斜计算方法误差概率密度分布函数——自然指数函数拟合计算结果

参数	平均角法	平衡正切法	校正平均角法	最小曲率法	弦步法	5种测斜计算的平均值
$\hat{a}$	-1.073 230 84	-1.026 387 24	-1.005 714 28	-0.993 638 68	-1.050 298 11	-0.997 376 5
$\hat{b}$	0.223 694 969	0.234 616 084	0.242 655 984	0.229 307 784	0.233 077 954	0.237 454 524

5 结论与建议

(1) 测斜计算误差随测深增加而呈线性变化的趋势。

(2) 测斜计算误差应纳入未定系统误差范畴加以考虑,在其他诸如井眼轨迹误差综合分析时,可以按照此结论进行进一步的研究,将测斜计算误差作为均匀分布加以考虑。

(3) 如果要对井眼轨迹进行综合误差分析,常用的几种测斜计算方法误差可以采用相同的解析式表达其误差概率分布密度函数,这使得后续的综合误差分析更加简明。

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,1989:20-40.
- [2] 龚伟安.斜井的空间形态及其实用计算理论[J].天然气工业,1996,16(4):35-39.
- GONG Wei-an. Spatial configuration of deflecting well and it's practical calculation theory[J]. Natural Gas In-

dustry, 1996, 16(4): 35-39.

4.2 测斜计算误差分布概率密度函数的拟合

利用数据拟合的方法得到测斜计算误差的连续概率密度函数关系式。从图9可以看出,不同测斜计算方法所产生的计算误差的频率分布几乎相同,并且其关系可以用 $f = \exp(a - b\delta)$ 表示,为此,利用最小二乘法进行拟合,确定待求的参数 a 和 b 。由于这里是将误差分布范围划分为20等份,因此角标 $i = 1, 2, \dots, 20$, 根据最小二乘法得,

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^{20} \delta_i^2 \sum_{i=1}^{20} (\ln f_i) - \sum_{i=1}^{20} \delta_i \sum_{i=1}^{20} [\delta_i (\ln f_i)]}{20 \sum_{i=1}^{20} \delta_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{20} \delta_i \right)^2},$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^{20} \delta_i \sum_{i=1}^{20} (\ln f_i) - 20 \sum_{i=1}^{20} [\delta_i (\ln f_i)]}{20 \sum_{i=1}^{20} \delta_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{20} \delta_i \right)^2}.$$

根据数值计算的结果,每种测斜计算方法都对应着一对 $\hat{a}, \hat{b}$ 值(表1)。

- [3] 刘修善,艾池,王新清.井眼轨道的插值法[J].石油钻采工艺,1997,19(2):12-14.
- LIU Xiu-shan, AI Chi, WANG Xin-qing. Value intercalation method of wellbore track[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1997, 19(2): 12-14.
- [4] 常兆光,王清河,宋岱才,等.随机数据处理方法[M].东营:石油大学出版社,1997:43-60.
- [5] CHIA C R, PHILIPS W J, AKLESTAD D L. A new wellbore position calculation method[R]. SPE 85111, 2003.
- [6] 陈炜卿,管志川,赵丽.井眼轨迹随钻测量中的测斜仪器不对中随机误差分析[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(2):41-44.
- CHEN Wei-qing, GUAN Zhi-chuan, ZHAO Li. Stochastic error analysis of misalignment between axis of inclinometer and trajectory in process of measuring while drilling[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2006, 30(2): 41-44.

(编辑 李志芬)