



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104895553 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 09

(21) 申请号 201510258292. 3

(22) 申请日 2015. 05. 20

(71) 申请人 东华大学

地址 201620 上海市松江区松江新城人民北路 2999 号

(72) 发明人 吴国文 陆玉恒 周平安

(74) 专利代理机构 上海泰能知识产权代理事务所 31233

代理人 宋纓 孙健

(51) Int. Cl.

E21B 47/022(2012. 01)

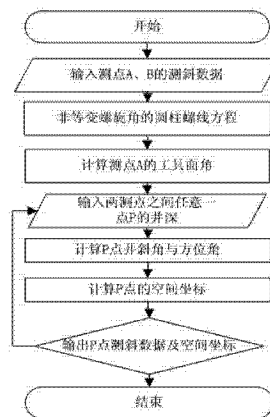
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,包括以下步骤:获取两个相邻测点的测斜数据;根据两个相邻测点的测斜数据利用非等变螺旋角的圆柱螺线模型计算出两个相邻测点之间任意一点P的测斜数据;根据得到的点P的测斜数据得到该点的空间坐标信息;根据得到的空间坐标信息计算实钻轨迹。本发明适用于钻盘钻出的井眼轨迹,能够减小误差。



1. 一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 获取两个相邻测点的测斜数据;

(2) 根据两个相邻测点的测斜数据利用非等变螺旋角的圆柱螺线模型计算出两个相邻测点之间任意一点 P 的测斜数据;

(3) 根据得到的点 P 的测斜数据得到该点的空间坐标信息;

(4) 根据得到的空间坐标信息计算实钻轨迹。

2. 根据权利要求 1 所述的基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,其特征在于,所述步骤 (2) 包括以下子步骤:

(21) 计算两个相邻测点中井段始点的工具面角;

(22) 根据得到的井段始点的工具面角和井深计算出点 P 的井斜角和方位角。

3. 根据权利要求 2 所述的基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,其特征在于,所述非等变螺旋角的圆柱螺线模型基于局部坐标系建立;所述局部坐标系以两个相邻测点中井段始点为坐标原点, ξ 轴指向井眼轨迹的主法线方向, η 轴指向井眼轨迹的副法线方向, ζ 轴指向井眼轨迹的切线方向。

一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及钻井勘探技术领域,特别是涉及一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法。

背景技术

[0002] 地质勘探是指根据国民经济、国防建设和科学技术发展的需要,对一定地区内的岩石、地层、构造、矿产、地下水、地貌等地质情况进行重点有所不同的调查研究工作。在地质勘探过程中,钻井勘探和坑探是两种经常采用的方法。在钻井勘探领域,实钻井眼轨迹的测斜计算方法一直是研究的热点。

[0003] 在测斜计算方面,1968年 G J Wilson 首次提出了井眼曲率的计算公式,1983年 E. E. Fitchard 和 S. A. Fitchard 提出了圆柱螺线井眼轨迹的井眼挠率计算公式,在此期间,测斜计算方法已经有了 20 多种。实践证明,对于上千米的定向井或水平井,利用测斜计算方法求得的结果最大偏差可达 10 米,为了提高计算精度,国外学者一直致力于测斜计算理论的研究,使其不断发展和完善。由于数值逼近理论在测斜计算中的应用,使得测斜计算理论取得了显著发展。测斜计算方法在理论方面日趋成熟之时,测斜计算方法误差分析越来越受到重视,成为研究学者关注的热点。

[0004] 典型的测斜计算方法有四种,这四种测斜算法的数学模型为直线、折线、空间圆弧和圆柱螺线。

[0005] (1) 直线井眼轨迹模型,假设测段形状为直线;

[0006] (2) 折线井眼轨迹模型,假设一个测段内分为两个直线段,两个直线段的长度等于测段长度的一半,其方向分别与上下两个测点的井眼方向一致;

[0007] (3) 空间圆弧井眼轨迹模型,假设测段间为一条空间圆弧轨迹,该圆弧的上下两个测点处与井眼方向相切;

[0008] (4) 圆柱螺线井眼轨迹模型,假设测段间为一条圆柱螺线,传统的圆柱螺线测斜算法的数学模型是一条等变螺旋角的圆柱螺线,其端点处分别与上下两测点的井眼方向相切。

[0009] 利用圆柱螺线模型的测斜算法主要有曲率半径法和校正平均角法,两种方法虽然用的井眼轨迹模型相同,但测斜计算过程却不相同。

[0010] (1) 曲率半径法

[0011] 根据等变圆柱螺线的性质,测段内的等变圆柱螺线轨迹在垂直剖面图和水平投影图上都是圆弧。利用此性质推出,曲率半径法的测斜计算公式如下:

$$[0012] \quad \Delta H_i = \begin{cases} \Delta L_i \cos \alpha_i, & \alpha_i - \alpha_{i-1} = 0 \\ R_i (\sin \alpha_i - \sin \alpha_{i-1}), & \alpha_i - \alpha_{i-1} \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$[0013] \quad \Delta E_i = \begin{cases} \Delta S_i \sin \phi_i, & \phi_i - \phi_{i-1} = 0 \\ r_i (\cos \phi_{i-1} - \cos \phi_i), & \phi_i - \phi_{i-1} \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$[0014] \quad \Delta N_i = \begin{cases} \Delta S_i \cos \phi_i, & \phi_i - \phi_{i-1} = 0 \\ r_i (\sin \phi_i - \sin \phi_{i-1}), & \phi_i - \phi_{i-1} \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$[0015] \quad \text{其中, } \Delta S_i = \begin{cases} \Delta L_i \sin \alpha_i, & \alpha_i - \alpha_{i-1} = 0 \\ R_i (\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_i), & \alpha_i - \alpha_{i-1} \neq 0 \end{cases}, \quad R_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta \alpha_i}, \quad r_i = \frac{\Delta S_i}{\Delta \phi_i}。$$

[0016] (2) 校正平均角法

[0017] 校正平均角法是曲率半径法的近似方法,近似的条件是两个相邻测点之间的井斜角之差和方位角之差都很小。

[0018] 其测斜计算公式如下:

$$[0019] \quad \Delta H_i = f_{v,i} \Delta L_i \cos \alpha_v \quad (4)$$

$$[0020] \quad \Delta E_i = f_{h,i} \Delta L_i \sin \alpha_v \sin \phi_v \quad (5)$$

$$[0021] \quad \Delta N_i = f_{h,i} \Delta L_i \sin \alpha_v \cos \alpha_v \quad (6)$$

$$[0022] \quad \text{其中, } f_{v,i} = 1 - \frac{\Delta \alpha_i^2}{24}, \quad f_{h,i} = 1 - \frac{\Delta \alpha_i^2 + \Delta \phi_i^2}{24}。$$

[0023] 目前,国内研究学者已证明,平均角法由于选择是直线为模型,故误差会相对偏大,最小曲率法选择空间圆弧为数学模型,故误差会比平均角法小,以等变圆柱螺线为模型的测斜算法,误差会比最小曲率法小,但是仍然存在误差。

发明内容

[0024] 本发明所要解决的技术问题是提供一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,适用于钻盘钻出的井眼轨迹,能够减小误差。

[0025] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:提供一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,包括以下步骤:

[0026] (1) 获取两个相邻测点的测斜数据;

[0027] (2) 根据两个相邻测点的测斜数据利用非等变螺旋角的圆柱螺线模型计算出两个相邻测点之间任意一点 P 的测斜数据;

[0028] (3) 根据得到的点 P 的测斜数据得到该点的空间坐标信息;

[0029] (4) 根据得到的空间坐标信息计算实钻轨迹。

[0030] 所述步骤 (2) 包括以下子步骤:

[0031] (21) 计算两个相邻测点中井段始点的工具面角;

[0032] (22) 根据得到的井段始点的工具面角和井深计算出点 P 的井斜角和方位角。

[0033] 所述非等变螺旋角的圆柱螺线模型基于局部坐标系建立;所述局部坐标系以两个相邻测点中井段始点为坐标原点, ξ 轴指向井眼轨迹的主法线方向, η 轴指向井眼轨迹的副法线方向, ζ 轴指向井眼轨迹的切线方向。

[0034] 有益效果

[0035] 由于采用了上述的技术方案,本发明与现有技术相比,具有以下优点和积极效果:本发明与等变圆柱螺线井眼轨迹算法绝对误差较小,与空间圆弧井眼轨迹算法绝对误差较大,与空间直线井眼轨迹算法绝对误差更大,这符合预期结果,因为圆柱螺线模型的测

斜算法精度大于空间圆弧井眼轨迹测斜算法,空间圆弧井眼轨迹测斜算法大于空间直线井眼轨迹测斜算法。其次,本发明分别与等变圆柱螺线井眼轨迹测斜算法、空间圆弧井眼轨迹测斜算法、空间直线井眼轨迹测斜算法等三种测斜算法的绝对误差在误差范围之内,说明了非等变圆柱螺线测斜算法的正确性。最后,对于使用地面转盘旋转钻井法钻出的井眼轨迹具有一般性,利用假设的非等变螺旋角的圆柱螺线井眼轨迹,更具合理和适用性。

附图说明

[0036] 图 1 是本发明的流程图;

[0037] 图 2 是本发明中非等变螺旋角圆柱螺线与坐标系统图。

具体实施方式

[0038] 下面结合具体实施例,进一步阐述本发明。应理解,这些实施例仅用于说明本发明而并不用于限制本发明的范围。此外应理解,在阅读了本发明讲授的内容之后,本领域技术人员可以对本发明作各种改动或修改,这些等价形式同样落于本申请所附权利要求书所限定的范围。

[0039] 本发明的实施方式涉及一种基于非等变圆柱螺线测斜算法的实钻轨迹获取方法,如图 1 所示,包括以下步骤:获取两个相邻测点的测斜数据;根据两个相邻测点的测斜数据利用非等变螺旋角的圆柱螺线模型计算出两个相邻测点之间任意一点 P 的测斜数据;根据得到的点 P 的测斜数据得到该点的空间坐标信息;根据得到的空间坐标信息计算实钻轨迹。

[0040] 非等变螺旋角与等变螺旋角的圆柱螺线模型的区别在于螺旋角的变化。等变螺旋角的圆柱螺线:定义为螺旋角随螺旋角线性变化的圆柱螺线。非等变螺旋角的圆柱螺线:定义为螺旋角随螺旋角非线性变化的圆柱螺线。图 2 为非等变螺旋角的圆柱螺线井眼轨迹与井口坐标之间的关系图。

[0041] 由于非等变螺旋角的圆柱螺线模型是基于局部坐标系下建立的。如图 2 所示,局部坐标 A- ξ η ζ 是以测点 A 为坐标原点, ξ 轴指向井眼轨迹的主法线方向, η 轴指向井眼轨迹的副法线方向, ζ 轴指向井眼轨迹的切线方向。将 AB 井段的局部坐标系转换为井口坐标系来刻画描述,有利于表征圆柱螺线井段轨迹及其摆放姿态。因此,井口坐标与局部坐标转换关系如下:

$$[0042] \quad \begin{cases} \Delta N = T_{11} * \xi + T_{21} * \eta + T_{31} * \zeta \\ \Delta E = T_{12} * \xi + T_{22} * \eta + T_{32} * \zeta \\ \Delta H = T_{13} * \xi + T_{23} * \eta + T_{33} * \zeta \end{cases} \quad (7)$$

[0043] 其中, ω_A 为测点 A 的工具面角, ϕ_A 为测点 A 的方位角, α_A 为测点 A 的井斜角。

$$[0044] \begin{cases} T_{11} = \cos \alpha_A \cos \phi_A \cos \omega_A - \sin \phi_A \sin \omega_A \\ T_{12} = \cos \alpha_A \sin \phi_A \cos \omega_A + \cos \phi_A \sin \omega_A \\ T_{13} = -\sin \alpha_A \cos \omega_A \\ T_{21} = -\cos \alpha_A \cos \phi_A \sin \omega_A - \sin \phi_A \cos \omega_A \\ T_{22} = -\cos \alpha_A \sin \phi_A \sin \omega_A + \cos \phi_A \cos \omega_A \\ T_{23} = \sin \phi_A \sin \omega_A \\ T_{31} = \sin \phi_A \cos \phi_A \\ T_{32} = \sin \phi_A \sin \phi_A \\ T_{33} = \cos \alpha_A \end{cases} \quad (8)$$

[0045] 井眼轨迹的一般方程如下：

$$[0046] \begin{cases} \xi = \frac{1}{2} \kappa \Delta L^2 \\ \eta = \frac{1}{6} \kappa \tau \Delta L^2 \\ \zeta = \Delta L \end{cases} \quad (9)$$

[0047] 其中， κ 为井眼曲率、 τ 为井眼挠率。 ΔL 为井段上某一点至井段始点的井深长度差。实钻井眼轨迹中，假设井段间的井眼轨迹是非等变螺旋角的圆柱螺线，则井段的井眼曲率和井眼挠率取的是平均井眼曲率和平均井眼挠率。根据平均井眼曲率、平均井眼挠率定义，得到计算公式：

$$[0048] \begin{cases} \kappa = \frac{\varepsilon}{\Delta L} \\ \tau = \operatorname{sgn}(\Delta \phi) \frac{\theta}{\Delta L} \end{cases} \quad (10)$$

[0049] 其中， ε 为测段始点和终点之间的弯曲角，始终为正值。 θ 为测段的扭转角， $\Delta \phi$ 为下测点 B 与上测点 A 的方位角之差。由于圆柱螺线分为左旋和右旋，并且是由测段两端

点的方位角决定。因此， $\operatorname{sgn}(\Delta \phi) = \begin{cases} +1, \Delta \phi > 0 \\ 0, \Delta \phi = 0 \\ -1, \Delta \phi < 0 \end{cases}$ 。

[0050] ε 和 θ 公式如下

[0051]

$$\begin{cases} \cos \varepsilon = \cos \alpha_A \cos \alpha_B + \sin \alpha_A \sin \alpha_B \cos \Delta \phi \\ \cos \theta = \frac{1}{k_A k_B} \left[k_V^2 \cos \Delta \phi - k_V k_H (\sin^2 \alpha_B \cos \alpha_B - \sin^2 \alpha_A \cos \alpha_A) \sin(\Delta \phi) + c k_H^2 \sin^2 \alpha_A \sin^2 \alpha_B \right] \end{cases} \quad (11)$$

[0052] 其中， α_A 、 α_B 为 A、B 的井斜角， k_V 、 k_H 为圆柱螺线在水平投影图和垂直投影图上的井眼曲率， k_A 、 k_B 为井段 AB 两个端点的井眼曲率， d 为中间参数并由如下公式求出：

[0053] $d = \sin \alpha_A \sin \alpha_B + \cos \alpha_A \cos \alpha_B \cos \Delta \phi$ 。

[0054] 由式 (7) 和式 (8) 看出，为得到井段 AB 上任意一点 P 的空间坐标，需要测出测点 A 的工具面角，但由于测斜仪一般测得的数据为测点 A 的井深、井斜和方位角，因此在现有测

点数据基础上,假设井段 AB 为一条非等变螺旋角的圆柱螺线井眼轨迹,给出了测点 A 的工具面角求解方法,为测出井段 AB 任意一点 P 的井斜角与方位角扫除障碍。

[0055] 通常,无论是设计轨道还是实际钻井轨迹,都是将井段始点的轨迹参数作为已知数据,由井段始点的工具面角与下测点的井斜角关系可知,井段 AB 的初始点 A 的工具面角可以与终点 B 的井斜角进行换算。当已知初始点 A 的工具面角,可以求出终点 B 的井斜角和方位角。当已知终点 B 的井斜角 α_B ,则通过下式求出初始点 A 的工具面角:

$$[0056] \quad \omega_A = \arccos \frac{m}{\sqrt{n^2 + k^2}} + \arccos \frac{n}{\sqrt{n^2 + k^2}} \quad (12)$$

$$[0057] \quad \text{其中,} \begin{cases} m = \cos \alpha_B - \frac{\zeta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} \cos \alpha_A \\ n = -\frac{\xi'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} \sin \alpha_A \\ k = -\frac{\eta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} \sin \alpha_A \end{cases} \quad (13)$$

[0058] 由工具面角的定义, ω_A 的取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

[0059] 由于两个测点 A 和 B 之间的实际钻井轨迹目前无法确定,假设井段 AB 为一条非等变螺旋角的圆柱螺线井眼轨迹,建立圆柱螺线井眼轨迹方程,目的是为了在测点 A 和测点 B 测斜数据为已知的情况下,测出井段 AB 任意一点 P 的井斜角、方位角等测斜数据,从而得出在一般的圆柱螺线井眼轨迹下 P 点的空间坐标。

[0060] 井斜角和方位角都是用井眼轨迹的切线来表征的。由于井段 AB 上任意一点 P 的单位切向矢量 t_P 在井口坐标系和局部坐标系下,可分别表示为:

$$[0061] \quad \begin{cases} t_P = t_N i + t_E j + t_H k \\ t_P = \frac{\xi'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} e_\xi + \\ \frac{\eta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} e_\eta + \frac{\zeta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} e_\zeta \end{cases} \quad (14)$$

[0062] 而由坐标转换的关系,知:

$$[0063] \quad \begin{cases} e_\xi = T_{11} i + T_{12} j + T_{13} k \\ e_\eta = T_{21} i + T_{22} j + T_{23} k \\ e_\zeta = T_{31} i + T_{32} j + T_{33} k \end{cases} \quad (15)$$

[0064] 所以

$$[0065] \quad \begin{cases} t_N = \frac{\xi'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{11} + \frac{\eta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{21} + \frac{\zeta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{31} \\ t_E = \frac{\xi'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{12} + \frac{\eta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{22} + \frac{\zeta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{32} \\ t_H = \frac{\xi'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{13} + \frac{\eta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{23} + \frac{\zeta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{33} \end{cases} \quad (16)$$

[0066] 上式中, i, j, k 分别为 N, E 和 H 坐标轴上的单位矢量; e_ξ, e_η, e_ζ 分别为 ξ, η, ζ 坐标轴上的单位矢量, ξ', η', ζ' 为点 P 的局部坐标的导数; t_N, t_E, t_H 表示 t_P 在井口坐标系下的坐标位置。根据井斜角和方位角的定义, 有

$$[0067] \quad \begin{cases} \cos \alpha = t_H = \frac{\xi'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{13} + \frac{\eta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{23} + \frac{\zeta'}{\sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2}} T_{33} \\ \tan \phi = \frac{t_E}{t_N} = \frac{\xi' T_{12} + \eta' T_{22} + \zeta' T_{32}}{\xi' T_{11} + \eta' T_{21} + \zeta' T_{31}} \end{cases} \quad (17)$$

[0068] 非等变圆柱螺线轨井眼迹用井深 L 和初始工具面角 ω_A 来表征非等变圆柱螺线轨迹的形状和摆放状态, 基于井段测点 A, B 处的轨迹参数可计算井段 AB 上任意井深处的井斜角、方位角和空间坐标。注意式 (17) 中, 井斜角的取值区间为 $-90^\circ \sim 90^\circ$, 方位角的取值范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

[0069] 在实际钻井轨迹上, 通过测斜仪采集测点的井深、井斜角、方位角以及计算工具面角, 假设井段 AB 为一条非等变的圆柱螺线轨迹模型, 都是为了刻画实钻井眼迹的空间形态。井段内任意点 P 的空间坐标 (x_P, y_P, z_P) 的确定, 需要井段 AB 中 A 点井斜角 α_A 、方位角 ϕ_A 、井深 L_A 、工具面角 ω_A 、空间坐标 (x_A, y_A, z_A) 和 B 点井斜角 α_B 、方位角 ϕ_B 、井深 L_B 以及非等变圆柱螺线轨迹方程, 由式 (7) 和 (8) 得到。

$$[0070] \quad \begin{cases} x_P = \frac{1}{6} \kappa \tau T_{21} (L_P - L_A)^3 + \frac{1}{2} \kappa T_{11} (L_P - L_A)^2 + T_{31} (L_P - L_A) + x_A \\ y_P = \frac{1}{6} \kappa \tau T_{22} (L_P - L_A)^3 + \frac{1}{2} \kappa T_{12} (L_P - L_A)^2 + T_{32} (L_P - L_A) + x_A \\ z_P = \frac{1}{6} \kappa \tau T_{23} (L_P - L_A)^3 + \frac{1}{2} \kappa T_{13} (L_P - L_A)^2 + T_{33} (L_P - L_A) + x_A \end{cases} \quad (18)$$

[0071] 至此, 在测点 A 和测点 B 的测斜数据以及假设两测点之间为一条非等变的圆柱螺线井眼迹条件下, 给出了两测点之间的井眼迹上任意一点 P 的测斜数据的计算方法并最终确定了 P 点的空间位置, 相比假设两测点之间的井眼迹为等变螺旋角的圆柱螺线井眼迹, 更具有一般性, 结果也更具有一般性。

[0072] 改进前后的比较: 由钻进过程中测斜计算可知, 测斜数据是离散的点数据, 对于相邻两个测点之间的实钻轨迹是通过假设曲线去模拟的。因此, 假设曲线不同, 通过测斜计算

方法计算出的测点空间位置坐标（垂深，东坐标，北坐标）也不同。鉴于目前所有的测斜计算方法中，实钻轨迹都是在假设的曲线模型基础上进行计算的，因此都不是绝对精确的计算方法，这必然导致通过测斜计算方法计算出的实钻轨迹与实际的实钻轨迹有差异。因此，将基于非等变圆柱螺线测斜计算方法计算出的实钻轨迹与传统等变圆柱螺线测斜算法、基于空间圆弧曲线为假设模型的测斜算法、基于空间直线为假设模型的测斜算法进行误差分析是有必要的。

[0073] 现选取了 20 个定向井中的测点数据，每个定向井测点数据量平均为 2000 条进行相对误差分析，分析数据结果如表 1 所示：

[0074] 表 1 四种测斜算法结果对比

[0075]

计算方法	北坐标 (m)	东坐标 (m)	垂深 (m)	绝对误差 (m)
非等变圆柱螺线	-39.4011	27.4846	1330.17	0
等变圆柱螺线	-39.388	27.479	1330.16	0.0197
最小曲率法	-39.3925	27.4602	1330.16	0.0301
平均角法	-39.378	27.46	1330.16	0.03519

[0076] 上述表格中，北坐标、东坐标、垂深都是平均值，绝对误差为样本数据中东坐标、北坐标、垂深的平均值之差的平方和的平方根，并且绝对误差都是相对于非等变圆柱螺线。在上述四种算法结果中，由于实际钻井井眼轨迹上任意一点的实际参数无法得知，误差分析是以非等变圆柱螺线为基准，误差产生的原因是选择的数学模型不同而产生的。目前，国内研究学者已证明，平均角法由于选择是直线为模型，故误差会相对偏大，最小曲率法选择空间圆弧为数学模型，故误差会比平均角法小，以等变圆柱螺线为模型的测斜算法，误差会比最小曲率法小。

[0077] 经过数据分析可以得出，首先，非等变圆柱螺线测斜数据结果与等变圆柱螺线井眼轨迹算法绝对误差较小，与空间圆弧井眼轨迹算法绝对误差较大，与空间直线井眼轨迹算法绝对误差更大，这符合预期结果，因为圆柱螺线模型的测斜算法精度大于空间圆弧井眼轨迹测斜算法，空间圆弧井眼轨迹测斜算法大于空间直线井眼轨迹测斜算法。其次，非等变圆柱螺线测斜算法分别与等变圆柱螺线井眼轨迹测斜算法、空间圆弧井眼轨迹测斜算法、空间直线井眼轨迹测斜算法等三种测斜算法的绝对误差在误差范围之内，说明了非等变圆柱螺线测斜算法的正确性。最后，对于使用地面转盘旋转钻井法钻出的井眼轨迹具有一般性，利用假设的非等变螺旋角的圆柱螺线井眼轨迹，更具合理和适用性。

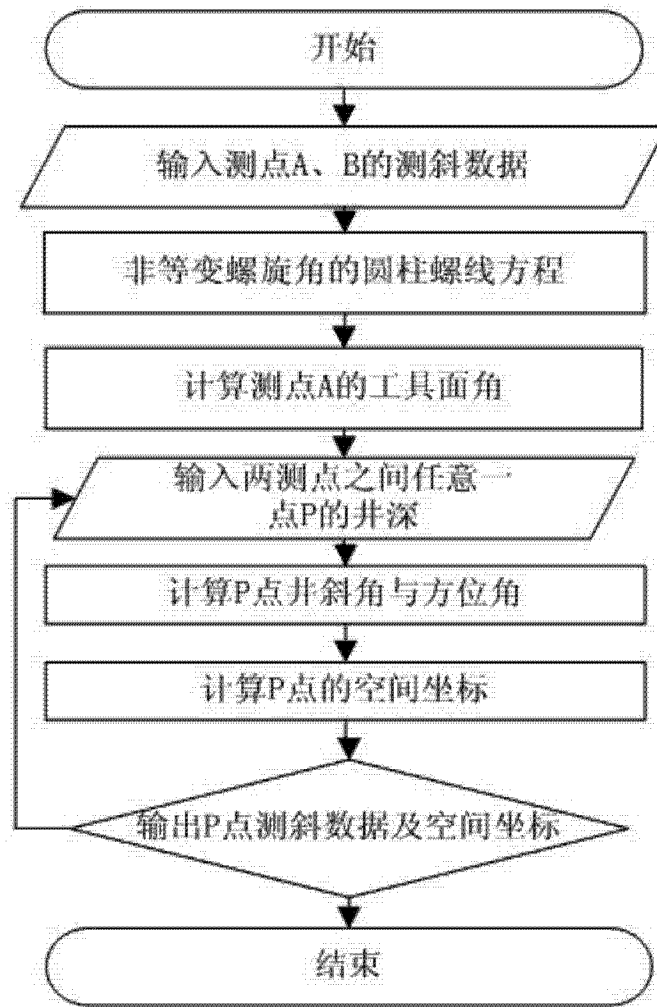


图 1

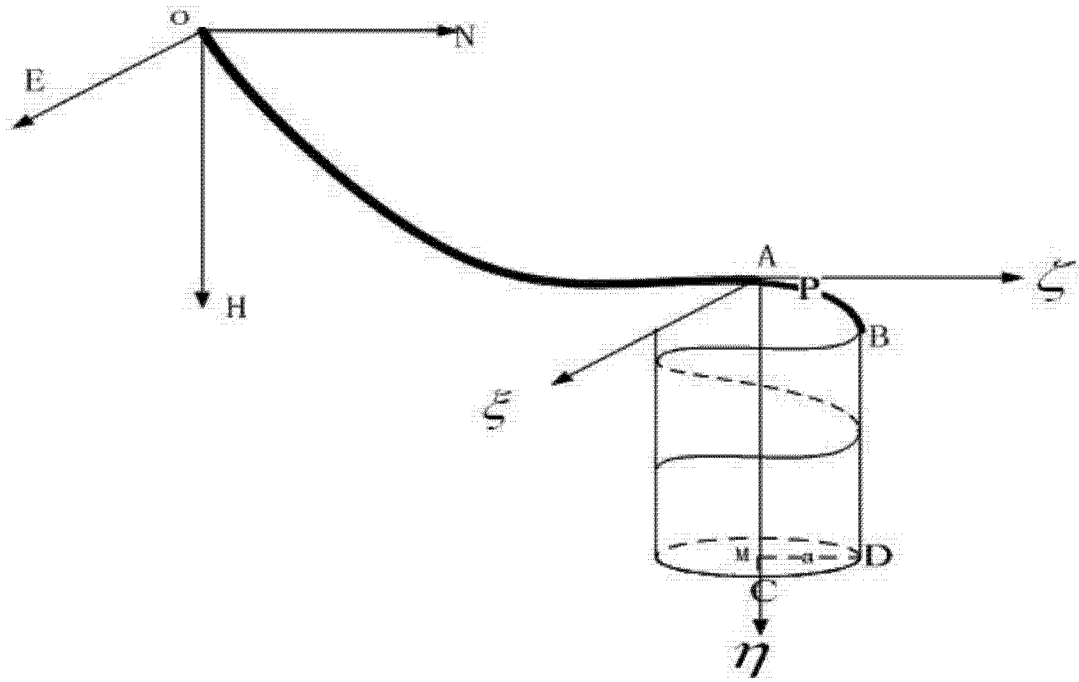


图 2