

地质勘探钻孔轨迹计算新模型

李 静, 张金昌, 陈晓琳

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 确定钻孔轨迹是分析处理钻孔偏斜问题的前提。将测斜参数中的孔深 s 作为变量, 用多项式函数逼近的方式建立钻孔轨迹的参数方程, 推导了确定钻孔轨迹空间位置的数学模型, 通过算例表明模型有较好的精度。

关键词: 钻孔轨迹; 测斜参数; 多项式函数

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)01-0022-03

New Model for Drilling Trajectory Calculation in Geo-Exploration/Li Jing, ZHANG Jin-chang, CHEN Xiao-lin (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Determining the borehole trajectory is the premise of analyzing and correcting drilling deviations. Taking the borehole depth s measured during inclination survey as the variable, this paper establishes a parameter equation for the borehole trajectory with polynomial fitting, and a new mathematical model for the 3D borehole trajectory is therefore deduced. Calculations demonstrate that the new model gives better accuracy.

Key words: borehole trajectory; inclination survey; polynomial function

对于超深钻孔和定向钻孔而言, 保证钻孔满足设计的偏斜要求, 准确进入目标区域是钻探工程的关键。为了随时掌握与控制钻孔在空间位置的变化, 以便预防和纠正钻孔的偏斜, 应按实际情况和有关规范对钻孔轨迹参数进行动态测量, 根据钻孔偏斜数据对钻孔轨迹进行空间定位, 并绘制钻孔轨迹图。

1 钻孔轨迹及其计算方法

钻孔轨迹是钻孔轴线的弯曲形态, 呈一条空间曲线。施工钻进过程中, 由于各种因素的综合影响, 实际钻孔轨迹常常偏离预先设计的路径发生钻孔偏斜。钻孔偏斜情况通过轨迹参数来计量, 基本的轨迹参数有孔深、顶角、方位角。在实际施工过程中对这些参数进行跟踪测量, 确定当前孔底的顶角、方位角和孔深, 通过计算或者作图的方式确定和绘制出钻孔空间的实际轨迹。

钻孔轨迹图是钻孔轨迹的直观反映, 是了解钻孔在地下空间的位置及其空间形态的重要手段和方法。传统确定钻孔轨迹的方法有解析法和作图法两大类, 作图法直观, 精确度不够; 解析法存在一定的计算量, 但比较精确。无论是解析法还是作图法, 其基本思路是在钻进过程中通过每隔一定测程(如 25 m 或 50 m) 测量钻孔一点轨迹参数, 所测值实际上代表的是钻孔轨迹在该点切面的产状, 对测点之间

的孔段作直线或圆弧等几何假设, 建立钻孔轨迹数学模型来间接描述。目前钻探中常用的计算方法有均角全距法和曲率半径法。

均角全距法是把相邻两测点之间的钻孔轨迹看作直线, 每段直线的顶角和方位角都取上、下测点顶角和方位角的平均值。整个钻孔轨迹表现为由许多直线段组成的折线。曲率半径法是把相邻两测点之间的钻孔轨迹看作一段圆弧。钻孔剖面线圆弧和水平投影圆弧的中心角分别是上、下两测点顶角之差和方位角之差, 剖面线圆弧长度是上、下两测点间的间距。整个钻孔轨迹表现为由许多曲率半径不等的圆弧连成的弧线。任意两测点之间的顶角和方位角都是逐渐变化的, 所以将孔段轨迹假设成圆弧比假设成直线更符合实际情况。

假设条件与推导思路的不同, 形成了数学模型形式的多样化, 但其基本思路都是对两测点之间的孔段作几何假设, 计算出的钻孔轨迹为一空间折线。本文将测斜参数中的孔深 s 作为变量, 用多项式函数逼近的方式建立整条钻孔轨迹的参数方程模型, 避免各孔段几何假设的误差, 保证了钻迹曲线的光滑连续性。

2 钻孔轨迹计算模型

2.1 空间直角坐标系的选取

收稿日期: 2010-06-28; 修回日期: 2010-12-06

作者简介: 李静(1984-), 女(汉族), 陕西宝鸡人, 中国地质科学院在读硕士, 地质工程专业, 河北省廊坊市金光道 77 号, lijing840907@126.com。

为方便模型建立,选取如下坐标系:

原点——取在钻孔开孔点位置;

X 轴——与正北方向一致;

Y 轴——与 X 轴在同一水平面内,以 X 轴顺时针旋转 90°方向为正;

Z——垂直于 X 轴和 Y 轴所决定的平面,正向铅垂向下。

2.2 钻孔轨迹参数方程

钻进过程中利用测斜仪测量得到一系列点的偏斜参数 $(s_i, \theta_i, \alpha_i), i = 0, 1, 2 \dots n$ (其中 s 为孔深,视为钻孔轨迹曲线长度; θ 为顶角; α 为方位角)。通过这 $n + 1$ 个点的空间曲线处处连续可导,用参数方程描述:

$$\begin{cases} x = x(s) \\ y = y(s) \\ z = z(s) \end{cases} \quad (1)$$

假设 $x(s)$ 、 $y(s)$ 和 $z(s)$ 为多项式函数:

$$\begin{cases} x = x(s) = a_{n+1}s^{n+1} + a_n s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1 s \\ y = y(s) = b_{n+1}s^{n+1} + b_n s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_1 s \\ z = z(s) = c_{n+1}s^{n+1} + c_n s^n + c_{n-1}s^{n-1} + \dots + c_1 s \end{cases} \quad (2)$$

如图 1 所示,空间曲线任一点切向量为:

$$\{x'(s_i), y'(s_i), z'(s_i)\} = (\sin\theta_i \cdot \cos\alpha_i, \sin\theta_i \cdot \sin\alpha_i, \cos\theta_i) \quad (3)$$

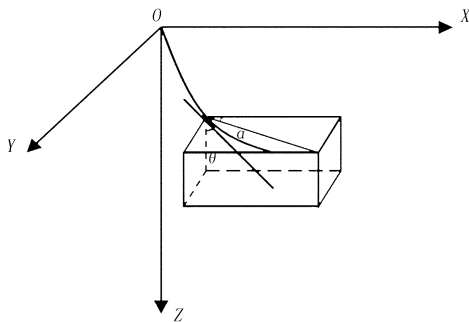


图 1 钻孔轨迹

为了求 $x(s)$, 根据测斜参数建立方程组:

$$\begin{cases} x'(s_0) = (n+1)a_{n+1}s_0^n + na_n \cdot s_0^{n-1} + (n-1)a_{n-1}s_0^{n-2} + \dots + 2a_2 \cdot s_0 + a_1 \\ x'(s_1) = (n+1)a_{n+1}s_1^n + na_n \cdot s_1^{n-1} + (n-1)a_{n-1}s_1^{n-2} + \dots + 2a_2 \cdot s_1 + a_1 \\ \dots \\ x'(s_n) = (n+1)a_{n+1}s_n^n + na_n \cdot s_n^{n-1} + (n-1)a_{n-1}s_n^{n-2} + \dots + 2a_2 \cdot s_n + a_1 \end{cases} \quad (4)$$

$n + 1$ 个方程求解得到多项式函数 $x(s)$ 的 $n + 1$ 个系数。为方便求解,写成矩阵形式:

$$\begin{bmatrix} (n+1)s_0^n & ns_0^{n-1} & \dots & s_0 & 1 \\ (n+1)s_1^n & ns_1^{n-1} & \dots & s_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (n+1)s_n^n & ns_n^{n-1} & \dots & s_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{n+1} \\ a_n \\ \dots \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta_0 \cos\alpha_0 \\ \sin\theta_1 \cos\alpha_1 \\ \dots \\ \sin\theta_n \cos\alpha_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

同样可以求得 $y(s)$ 和 $z(s)$ 。各测点坐标为:

$$\begin{cases} x_i = x(s_i) \\ y_i = y(s_i) \\ z_i = z(s_i) \end{cases} \quad (6)$$

3 计算实例

根据上述钻孔轨迹参数方程模型,确定各测点空间坐标的步骤为:

- (1) 按(3)式计算各测点切向量;
- (2) 求解线性方程组(4)或者(5),确定参数方程系数;
- (3) 利用(6)式计算各点空间坐标。

设某一孔深 $s = 300$ m 的钻孔,以 50 m 的间距测得顶角和方位角见表 1。

表 1 某钻孔测斜结果

测点号	孔深 s/m	顶角 θ	方位角 $\alpha/(^\circ)$
0	0	2°	27
1	50	4°	40
2	100	7°30'	62
3	150	10°15'	86
4	200	13°35'	113
5	250	16°15'	116
6	300	16°35'	130

该例 $n = 6$, 根据式(5)建立线性方程组,利用 Excel 的矩阵求逆函数参数“minvers()”和两矩阵乘积函数“mmult()”,二个函数嵌套“= mmult(minvers(),)”,可立即求出线性方程组的解。方程系数计算结果见表 2。

表 2 参数方程系数

参数 j	1	2	3	4	5	6	7
$x(s) a_j$	0.0311	0.0951	-0.2259	0.2896	-0.1837	0.0529	-0.0056
$y(s) b_j$	0.0158	0.0039	0.0186	0.0437	-0.0420	0.0137	-0.0016
$z(s) c_j$	0.9994	0.0086	-0.0251	0.0229	-0.0109	0.0025	-0.0002

各测点空间坐标计算结果见表 3, 钻孔轨迹如

图2、3所示。

表3 测点三维坐标

测点号	X/m	Y/m	Z/m
0	0	0	0
1	2.42	1.28	49.98
2	5.34	5.21	99.71
3	7.56	12.64	149.11
4	5.65	22.49	198.03
5	0.14	33.97	246.24
6	-5.09	45.70	293.85

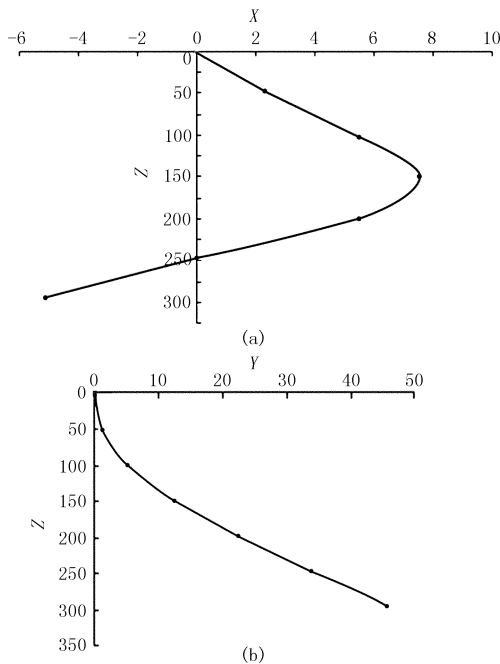


图2 钻孔轨迹平面投影图(单位:m)

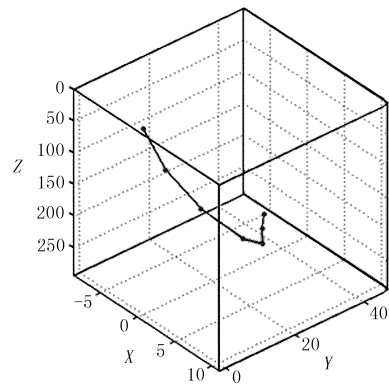


图3 钻孔轨迹三维图(单位:m)

求解,借助一般的数学软件(如 Excel、Matlab 等)计算十分方便。

(2)传统的计算模型思路基于对两测点间钻迹作几何假设,分段迭代求解。直线假设不能反映某孔段顶角、方位角的渐变性。实际上,钻孔轨迹曲线任一点的曲率半径也可能是不等的,这是影响最小曲率法精度的重要原因。

(3)新模型避免分段计算导致钻孔轨迹不光滑,直接求解空间钻孔轨迹曲线的参数方程,仍具有较高的精度,对于大斜度、大扭曲定向钻孔的定位比传统模型适用性更强。

参考文献:

- [1] 齐瑞忱. 钻孔轨迹空间位置的预测方法[J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(3): 113-120.
- [2] 朱永宜. 钻孔轨迹数学模型在地质勘探中的定位精度验证[J]. 探矿工程, 2001, (1): 37-39.
- [3] 李子川. 地质勘探中钻孔测斜数据的数学处理[J]. 江西地质, 1991, 5(3): 284-291.
- [4] 武汉地质学院, 等. 钻探工艺学(上册)[M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [5] 李山. 定向钻孔施工控制计算[J]. 探矿工程, 1985, (4).

4 小结

(1)以孔深作为变量,利用多项式函数建立钻孔轨迹三维曲线的参数方程,为地质钻探成果数字化提供了一种有用的数学模型。该模型确定钻孔空间位置有较高精度,计算过程涉及线性方程组的

“十二五”地调工作确定九大目标

国土资源部网站消息 2011年1月15~16日召开的全国地质调查工作会议明确了我国“十二五”地质调查工作的九大目标。

一是大幅提高重点成矿区带基础地质调查程度。以整装勘查区为重点,基本完成重点成矿带中比例尺基础地质调查和重要找矿远景区1:5万区调、航磁和化探调查,重点成矿带1:5万区调、航磁工作程度达到65%,全国达到33%。

二是基本完成重点成矿区带远景区矿产远景调查。圈定找矿靶区1500处,新发现大中型矿产地500处,累计形成10处以上大型资源基地。

三是显著提高重要经济区、重大地质问题区、重大工程区中大比例尺基础地质调查程度。完成全国地下水污染调查评价,解决严重缺水地区和地方病区800万人饮水困难。

四是大幅提高地质灾害调查程度和预警预报能力。完成地灾高发区1:5万隐患详细调查120万 km^2 ,为建立地灾易发区调查评价、监测预警、防治、应急四个体系提供基础保障。

五是加快提高科技创新能力和水平。

六是加强国际合作,加大境外地质工作力度。

七是整体提升海洋地质工作程度。力争实现我国海域1:100万比例尺区域地质调查全覆盖,完成重点海域1:25万区域地质调查15万 km^2 。

八是显著提高地质资料信息服务水平。

九是公益性队伍体系进一步完善。中央公益性队伍得到充实和加强。地方公益性队伍进一步完善体制,理顺关系,建实建强,逐步形成政事企分开的地质勘查新局面。