

基于开放图形库的井眼数据处理软件开发

李 毅 张春熹 高 爽 林 铁

北京航空航天大学光电技术研究所,北京 100191

摘要:

井眼轨迹形成过程中,影响轨迹的许多因素都难于精确测量或描述。为使测斜仪所测数据更准确地反映真实轨迹情况,同时使其能够以最直观、形象的方式显示,利用 Visual Studio 编程工具和开放图形库开发了一套集数据处理功能及二维、三维图形化显示为一体的测斜数据处理软件。算法采用基于 M 估计的稳健估计方法去除原始数据中的粗差,将处理后的数据以二维图和三维图的形式显示出来。通过对马蓬 63 井的测斜资料进行处理并与未处理的数据进行对比,经过本软件处理后,不仅数据质量有明显提高,而且显示更为直观、形象,有利于观察井眼轨迹的位置及其变化趋势,软件为其他仪器测量数据的处理软件开发在选择开发工具和语言上提供了参考。

关键词:

数据处理;稳健估计;选权法;开放图形库;软件开发;MFC

文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2011)06-0084-05

0 前言

井眼轨迹形成过程中,影响轨迹的许多因素都难于精确测量或描述,这些不确定因素对井眼轨迹综合作用是随机的、不确定的。在油井测斜过程中,井眼轨迹位置参数的确定与描述为复现井眼轨迹提供了最直接有效的方法。但是,在测斜过程中,由于井下环境的干扰和传感器的偶然跳动时以及井壁稳定性^[1]等不确定因素的影响,实测数据中可能出现不合理的跳点,称之为粗差或野值。含有粗差的测斜数据不仅会降低数据的可信度,而且在其后续处理中会严重影响处理结果的质量,甚至得出错误的结论。因此,需要对测斜数据粗差进行识别、剔除与补正。光纤陀螺连续测斜仪是基于光纤陀螺捷联惯性测量技术的测斜仪器,该仪器利用井下探管中正交安置的光纤陀螺和加速度计传感器组件,敏感仪器相对惯性空间的角运动

和线运动参数,通过航迹推算实时解算出被测井眼的井斜角、井斜方位角、工具面角等信息,绘制出井眼轨迹曲线^[2]。

本文以基于光纤陀螺测斜仪为工程背景,对所测得的井眼轨迹数据进行分析,运用稳健估计的思想,采用测量界常用的 Hampel 法对原始测斜数据进行处理,不仅有效降低粗差对数据的干扰,还能实现误差补偿,从而正确体现测斜仪器的精度。另外,为了使用户更直观地了解井筒信息,本文将测斜数据还原成井眼轨迹并通过二维投影图以及三维立体图的形式呈现给用户。基于此,本文采用稳健估计的数据处理基本思想并利用 Visual Studio 6.0 编程工具和开放图形库开发了一套集数据处理功能及三维图形化显示功能为一体的测斜数据处理软件,解决了光纤陀螺连续测斜仪数据资料的抗粗差处理及轨迹显示问题。

收稿日期:

2011-08-11

基金项目:

国家863高技术研究发展计划项目“高精度光纤惯性组合测斜仪技术研究”(2007AA06Z101)

作者简介:

李 毅(1988-),男,江西吉安人,硕士研究生,主要从事光纤陀螺测斜仪测量数据处理研究工作。

1 抗差算法

1.1 稳健估计

稳健估计,在测量中也称为抗差估计,它是在针对最小二乘法抗粗差的干扰差这一缺陷提出来的,在粗差不可避免的情况下,选择适当的估计方法使未知量估计值尽可能减免粗差的影响,得出最佳估值^[3]。抗差估计的原则是要充分地利用有效信息,限制利用不可用信息,排除有害信息。但是往往由于事先不大可能准确知道观测数据中有效信息和有害信息所占的比例,以及它们具体包含在哪些观测值中,从抗差估计的主要目标着眼要冒险损失一些效率的风险,去获得较可靠的、具有实际意义的和较有效的估值。

设观测样本 $l_1, l_2, \dots, l_n, X$ 为待估参数,观测值 l_i 的分布密度为 $f(l_i, \hat{X})$,由极大似然估计准则为:

$$\sum_{i=1}^n \ln f(l_i, \hat{X}) = \max \quad (1)$$

若以 $\rho(x)$ 代替 $-\ln f(x)$,则式(1)可改写为:

$$\sum_{i=1}^n \rho(l_i, \hat{X}) = \min \quad (2)$$

对式(2)求导,得:

$$\sum_{i=1}^n \varphi(l_i, \hat{X}) = 0 \quad (3)$$

$$\text{式中 } \varphi(l_i, \hat{X}) = \frac{\partial \rho(l_i, \hat{X})}{\partial \hat{X}}$$

选择能够满足稳健化要求的函数 ρ (或 φ),利用式(2)或式(3)估算参数 X ,这就是 M 估计。

1.2 选权迭代法

M 估计的估计方法在测量平差中应用最广泛,易于程序实现的是选权迭代法。

设独立观测值为 L ,未知参数向量为 $\hat{X}$,误差方程及权阵为

$$V = B\hat{X} - L = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix} \quad \hat{X} = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中 b_i —— $1 \times t$ 系数向量。

考虑误差方程, M 估计的函数 $\rho(l_i, \hat{X})$ 可表述为:

$$\rho(l_i, \hat{X}) = \rho(v_i) \quad (5)$$

由于待处理的每组测量数据都是同一仪器在某段特定时间所测得的数据,所以本文采用等权观测的方法。按 M 估计极大似然估计准则并取 ρ 函数为式

(5),则有

$$\sum_{i=1}^n \rho(v_i) = \min$$

上式对 X 求导,同时记 $\varphi(v_i) = \frac{\partial \rho}{\partial v_i}$,可得:

$$\sum_{i=1}^n \varphi(v_i) b_i = 0$$

对上式进行转置并做简单变换,得:

$$\sum_{i=1}^n b_i^T \frac{\varphi(v_i)}{v_i} v_i = 0 \quad (6)$$

令 $\omega_i = \frac{\varphi(v_i)}{v_i}$,并将上式写成矩阵形式,得:

$$B^T W V = 0 \quad (7)$$

式中

$$W = \begin{pmatrix} \omega_1 & & & \\ & \omega_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \omega_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\varphi(v_1)}{v_1} & & & \\ & \frac{\varphi(v_2)}{v_2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \frac{\varphi(v_n)}{v_n} \end{pmatrix}$$

称为稳健权矩阵,其元素 ω_i 称为稳健权因子,是相应残差 v_i 的函数。

将误差方程(7)带入所得 M 估计的法方程式为

$$B^T W B \hat{X} = B^T W L \quad (8)$$

当选定 ρ 函数后,稳健权矩阵 W 可以确定,但是 ω_i 是 v_i 的函数,故需要对权进行迭代求解。

其迭代计算步骤为:

a) 列误差方程,令权因子初值为 1,即 $W = I$ 。

b) 解算法方程(8),得出参数 $\hat{X}$ 和残差 V 的第一次估值:

$$\hat{X}^{(1)} = (B^T W B)^{-1} B^T W L$$

$$V^{(1)} = B \hat{X}^{(1)} - L$$

c) 由 $V^{(1)}$ 按 $\frac{\varphi(v_i)}{v_i} = \omega_i$ 确定观测值新的权因子:

$$\hat{X}^{(2)} = (B^T W^{(1)} B)^{-1} B^T W^{(1)} L$$

$$V^{(2)} = B \hat{X}^{(2)} - L$$

d) 由 $V^{(2)}$ 构造新的等价权 $W^{(2)}$,在解算法方程,类似迭代计算,直至结果收敛。即得:

$$\hat{X}^{(k)} = (B^T W^{(k-1)} B)^{-1} B^T W^{(k-1)} L \quad (9)$$

$$V^{(k)} = B \hat{X}^{(k-1)} - L \quad (10)$$

从迭代过程可以看出,随着 ρ 函数选取的不同,

构成了权函数的多种不同形式,但权函数总在一个平差过程中随改正数变化,其中 ω_i 与 v_i 大小成反比,因此经过多次迭代,可以使含有粗差的观测值的权函数为零(或接近零),使其在平差中不起作用,从而在变权过程中实现参数估计的稳健性^[4]。

1.3 Hampel 方法

本文采用测量界在工程上应用效果最好的是 Hampel 方法。下式是 Hampel 方法的权函数表达式:

$$\omega(u)=\begin{cases} 1, & |u| \leq a \\ \frac{a}{|u|}, & a < |u| \leq b \\ \frac{c-|u|}{(c-b)|u|}, & b < |u| \leq c \\ 0, & c < |u| \end{cases} \quad (11)$$

权函数的取值分为若干个区间,根据自变量不同的取值决定其所占权重。不同的区间划分方式必将影响到权函数的适用范围以及数据处理效果。式(11)的 Hampel 方案是基于测量误差的有界性提出来的,根据不同的工程数据的特点,采用不同的阈值范围,通过将超出误差范围的异常值直接剔除,显著提高计算速度,对测量抗差估计比较有效。从以下四方面考虑,确定的抗差处理的算法流程见图 1。

a)确定数据迭代步长及更新步长。由于本系统数据更新间隔为 80 ms,在井下运行速度为 1 m/s,根据相关石油标准^[5],以及数据处理的稳健性原则,将数据处理容量定为 m 个,每次更新 n 个数据,其中 m 和 n 满足 $m/3 < n < m/2$ 。即用本次得到校正的 $m-n$ 个数据加上 n 个待处理数据作为下次处理的原始数据。同时起始端先处理 $(2*m)$ 个数以保证初始信息的准确性;

b)遴选出不同的权函数,根据不同权函数的抗差效果,从数据处理的平滑性以及运算效率方面来考虑,确定一种最有效的权函数;

c)确定每次计算的权重,根据权函数不同每次计算不同的量,如均值、标准差等。每次迭代更新相应数据的权重;

d)设定迭代收敛规则。根据井斜角的实际工程情况,当前后两次迭代的加权平均值之差的绝对值小于 0.3° 时,即停止迭代。将校正数据输出至最终文件。

2 测斜数据处理软件开发

2.1 软件功能模块

在井场使用软件对功能、安全性以及运行效率均提出了较高的要求^[6],基于此,本软件使用可视化应用程序开发工具 Visual Studio 和三维图形库进行开发。

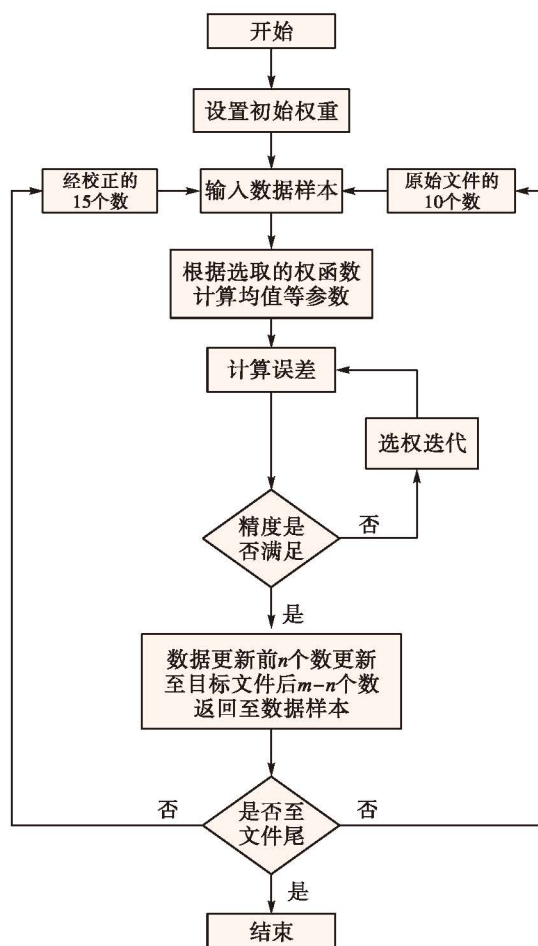


图1 算法流程图

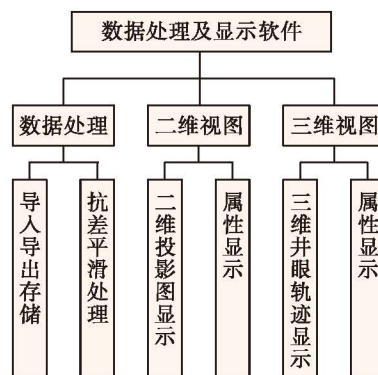


图2 软件功能模块

根据仪器数据处理及显示的功能需求分析,实现四大功能模块,见图 2。

测斜数据处理及显示系统采用常规的 Windows 界面见图 3,包括菜单栏、工具栏、状态栏、操作区以及视图区。操作区和视图区分别采用标签栏的形式。操作区的标签栏分别为平面图和数据表:在平面图标签中用户可以设定不同的投影图以及投影图的坐标范围;在数据表标签中的功能按钮分别实现数据列表初始化、数据导入、抗差算法参数设置、数据平滑处理和数据存储及导出功能。在视图区中,有三个标签分别为平面

图、立体图和数据表,用于显示井眼轨迹的二维投影图、三维立体图以及井筒的数据信息。其中,在三维图中可以通过鼠标进行任意方向旋转和缩放操作,更全面、直观地观察井眼轨迹在三维空间中的形态。



图 3 软件操作区界面

2.2 数据处理功能

软件读取井斜仪器测量的井斜数据后,通过设定抗差参数和数据更新量,见图 4。运用稳健估计中的 Hampel 权函数法,将原始数据中的粗差滤除。可将更新的数据显示在数据列表中,并具有数据存储等辅助功能。



图 4 参数设置示意图

2.3 图形显示功能

该软件可对多口井进行二维轨迹图(水平投影图、垂直剖面图、垂直投影图)显示、三维轨迹图显示,并能灵活控制。

2.3.1 二维图形显示功能

该软件提供了二维井眼轨迹的显示功能。通过操作区标签的选择,可以绘制井眼轨迹在水平方向和垂直方向的投影图。通过投影图可以查看井眼轨迹在东西方向和南北方向上的延伸变化情况以及任一深度

处的位移偏移量,同时利用属性修改功能可以调整图形的显示属性。

2.3.2 三维图形显示功能

由于井眼轨迹同时受井深、井斜角和方位角的影响,在地层中具有三个方向的分量,因此只凭借井斜数据和二维图形难以直观、准确地了解井眼轨迹在地层中延伸变化情况,而通过软件的三维显示功能可以在三维空间中显示井眼轨迹,可以更直观、形象地观察井眼轨迹在空间中的位置、轨迹变化等。

通过软件提供的旋转、平移、缩放功能,可以在任意角度、任意位置观察井眼轨迹在地下三维空间的真实形态;属性修改功能可以调整图形的显示范围以及图元颜色和线条宽度等,便于存档与审查^[7]。

3 软件应用

本软件多次用于光纤陀螺测斜仪下井测试后的数据处理及显示中,目前已累计处理测斜数据资料十余口,均取得了较好的应用效果。

现以马蓬 63 井的井筒数据为例验证本软件的工程实用性。该井是在马井背斜构造轴部北西翼部署的一口开发井。为了重新确认该井在油藏中的准确位置并落实油层的微构造和防止新井钻进过程中发生井碰,用光纤陀螺测斜仪对其进行复测,并将测试结果用本软件进行事后处理。

从数据处理的结果来看,首先在二维投影图中将经过本软件处理的数据和原始数据进行对比,图 5 为原始数据生成的投影图,从图 5 可以看出,原始测斜数据有多处异常值,且数据噪声较多,经过抗差处理后,噪声得到较好抑制,数据质量明显提高,见图 6。再将处理过后的数据和解释中心提供的数据对比发现,两者井斜数据基本相同(表 1 中为摘取的部分数据),

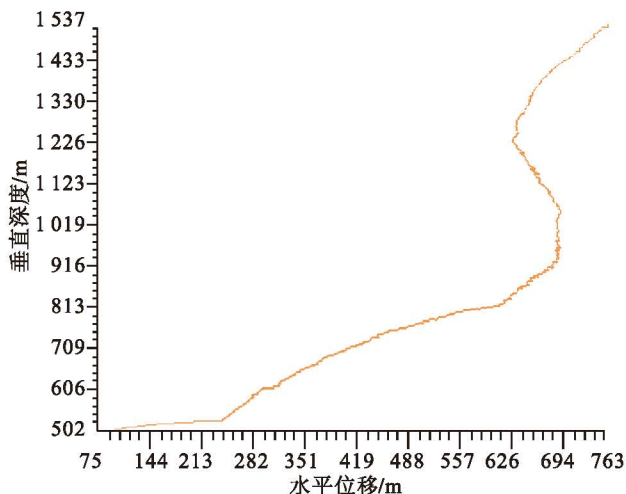


图 5 原始垂直-水平二维图

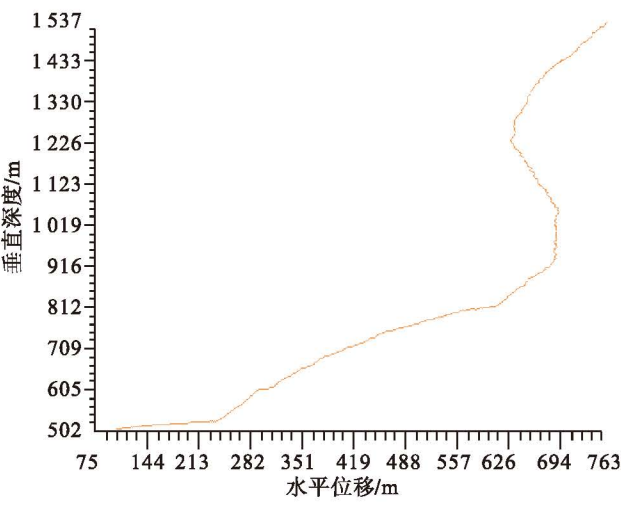


图6 处理后的垂直-水平二维图

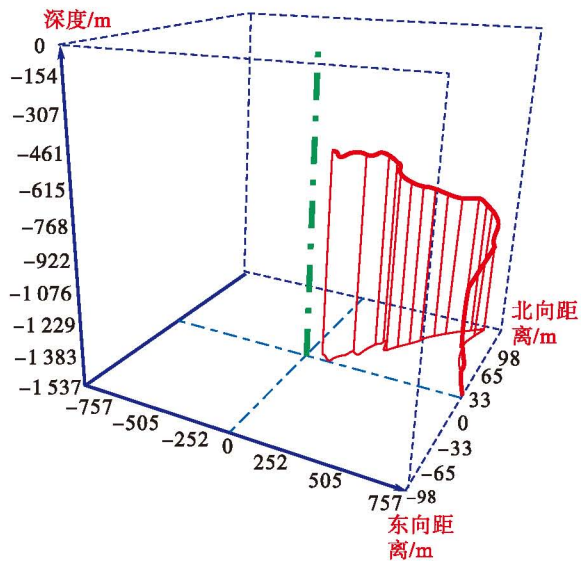


图7 井眼轨迹三维立体图

表1 部分井斜数据对比

光纤陀螺测斜仪测斜数据			测井报告数据			本软件抗差处理后数据		
斜深 /m	方位 /°	井斜 /°	垂深 /m	东向位移 /m	北向位移 /m	垂深 /m	东向位移 /m	北向位移 /m
1 240	82.37	33.55	1 136.6	367.32	47.10	1 136.6	368.32	47.87
1 280	82.75	32.08	1 170.1	388.94	49.96	1 170.1	391.92	49.16
1 310	83.34	30.37	1 195.7	404.41	51.87	1 195.7	406.41	52.24
1 340	84.03	28.91	1 221.8	419.18	53.55	1 221.8	418.35	53.85
1 370	84.31	27.42	1 248.2	433.32	55.01	1 248.2	435.34	55.19
1 400	84.48	26.82	1 274.9	446.88	56.34	1 274.9	447.98	56.14
1 440	85.10	26.14	1 306.3	462.43	57.79	1 306.3	465.44	57.16
1 470	85.54	26.08	1 333.2	475.61	58.88	1 333.2	476.31	58.86
1 500	85.98	25.81	1 360.2	488.72	59.88	1 360.2	487.92	60.12

证明该数据处理软件的算法和结果是比较可靠的。

从三维图形显示效果看,软件中绘制的三维井眼轨迹图可以让用户从不同角度观察,使观察显示更为直观、形象,不仅有利于检查测斜仪的工作情况,而且能有效观察井眼轨迹的位置及轨迹变化情况,见图7。

4 结论

本文针对井眼轨迹形成过程中,影响轨迹的许多因素都难于精确测量或精确描述的问题,以光纤陀螺测斜仪的原始测斜数据的质量提高和图形化为应用背景,采用基于稳健估计的抗差平滑处理算法,并利用 Visual Studio 6.0 编程工具和开放图形库函数开发了测斜数据处理软件,解决了测斜仪数据事后处理问题。该算法能在特定的临界值范围内收敛并完全定位粗差,证明了稳健估计中选权迭代法的抗差性,同时软件的二维和三维图形显示功能将井眼轨迹更为直观、形象地展示出来,更有利于观察井眼轨迹的位置及轨迹变

化情况,也为其他同类数据处理软件的开发提供参考。

参考文献:

[1] 张 益,佟晓华,李 慧,等. 苏里格气田上古地层裸眼完井可行性研究[J]. 天然气与石油,2011,29(4):41-43.
[2] 林 铁,林 恒,高 爽,等. 光纤陀螺测斜仪数据采集及传输单元设计与实现[J]. 测井技术,2009,33(4):402-405.
[3] 姚宜斌. 从混合正态分布的角度研究相关稳健估计函数模型[J]. 测绘工程,2001,10(4):30-32,44.
[4] 马洪滨,何 群,邵永东,等. 基于最小二乘的选权迭代抗差拟合模型研究[J]. 沈阳建筑大学学报,2007,23(5):768-771.
[5] SY/T 5435-2000,定向井轨道设计与轨迹绘图[S].
[6] 陈占山,路宽一,王尊天,等. 修井作业数据库的研究与应用[J]. 石油化工应用,2008,27(2):40-44.
[7] 李 明,王 非,康 智,等. 三维配管设计软件 Auto-PLANT 在西气东输站场工程的开发应用[J]. 天然气与石油,2005,23(5):61-63.