

交互式航磁异常切线法系统研制

黄旭钊, 郭志宏, 徐昆

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 人机交互航磁异常切线法系统模拟手工切线法计算磁性体顶面埋深的流程, 充分发挥解释人员的经验和智慧, 同时利用计算机善于计算、查表以及图形处理的强大能力, 实现了单测线和多测线显示、缩放以及平移, 局部异常特征线和特征点自动绘制、交互修改、磁性体形态参数、深度、宽度以及磁化强度的自动查表计算, 特征线和特征点、计算结果显示、保存等实用功能, 极大地提高了航磁异常深度计算的可视化程度, 减轻了解释人员的劳动强度, 提高了工作效率, 同时为个别异常的精细解释提供了不同方法。该系统采用面向对象设计方法, 以 VC++ 作为开发工具, 可运行于各类 Win32 平台之上。

关键词: 人机交互; 切线法; 航磁异常; 深度计算; 可视化

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2007)06-0572-05

中国国土资源航空物探遥感中心自 20 世纪 60 年代便开始研究深度计算方法, 许多年来积累了大量的经验, 并著有专著^①。自 20 世纪 90 年代起开始研究 ΔT 切线法自动计算深度^②。

传统手工切线法是定量计算磁性体上界面深度的一种常用方法, 因为其充分发挥了解释人员的经验和智慧, 在异常的分析、拐点位置和特征段的判断上, 解释人员起了至关重要的作用, 因此计算结果比较接近实际情况。但是手工计算时所有工作都是由解释人员伏案完成, 一个工区往往耗费 2~3 个月, 甚至更长的时间, 因此, 很繁琐很费时。于是 ΔT 切线法自动计算深度法应运而生。但是, 一是由于航磁异常的形态千变万化, 磁异常之间相互叠加干扰, 拐点和极值位置不易取准, 导致深度计算误差; 二是测线与磁性体斜交造成 ΔT 磁异常发生畸变, 也会使计算结果产生较大误差。

交互式航磁异常切线法系统就是为了解决以上问题而研制的, 它既能发挥人的经验和智慧, 又能借助计算机简化计算过程, 极大地提高了航磁异常深度计算的可视化程度, 减轻了解释人员的劳动强度, 提高了工作效率。

1 交互式航磁异常切线法系统设计

1.1 系统目标

鉴于传统切线法和全自动切线法存在的问题,

为了充分利用航磁异常解释人员的经验, 同时辅助以计算机在计算、绘图、查表和存储等方面强大的能力, 非常有必要为航磁异常解释人员提供一个方便、快捷和有效的航磁异常深度计算及结果显示与管理平台。

1.2 设计思路

首先要能够方便地将航磁异常显示在计算机屏幕上, 并根据需要随时改变显示比例尺。系统提供绘制特征点和特征线的工具, 解释人员可以使用它们交互式绘制异常特征点和特征线。也可以先由解释人员圈定异常范围, 再由计算机自动绘制异常特征点和特征线, 如果不合适则可以由解释人员通过人机交互进行调整。异常特征点和特征线确定后由计算机自动完成方程组求解和查表, 从而求出深度、宽度和磁化强度并将结果直接显示在电脑屏幕上。

1.3 系统功能设计

新建测区, 打开测区, 多测线和单测线剖面曲线显示, 数据预处理, 自动绘制并可人机交互修改异常两翼切线、极值点、极值线和拐点, 自动查表计算, 结果点显示, 特征点、特征线和计算结果保存, 将计算结果输出为 MAPGIS 明码文件 *.wat。

2 程序设计与实现

2.1 主要对象类型

该程序采用 MFC 应用程序框架设计, 程序中除

① 杨华. ΔT 航磁异常构造地质解释——磁性体产状常用切线法及系数表. 1985.

② 韩守华, 赵晋芳, 蔡振京, 等. ΔT 切线法自动计算深度及应用研究. 中国国土资源航空物探遥感中心, 1990.

收稿日期: 2007-09-01

了包括应用程序类、主窗口框架类、文档类以及作为文档类组成部分的 GDB 数据库类、文件系统类、专业应用类、坐标变换类以外,在视图方面做了较大调整,引入了测线列表视图类、多测线图形视图类、单测线图形视图类。

2.2 外部接口

该数据库中存有测区内全部剖面异常数据以及相关信息,是航磁异常切线法程序的全部数据来源,

它是一个只读的数据文件。读取该数据库需要利用航遥中心探针系统提供的 API。

2.3 人机交互界面

窗口设计:将窗口分割为 3 个视图窗口(图 1):左窗口显示测线列表,包括打开、关闭、正在处理 3 种状态;右上窗口显示多剖面平面图;右下窗口显示正在处理的单剖面平面图,交互操作都在这个视图窗口中进行。

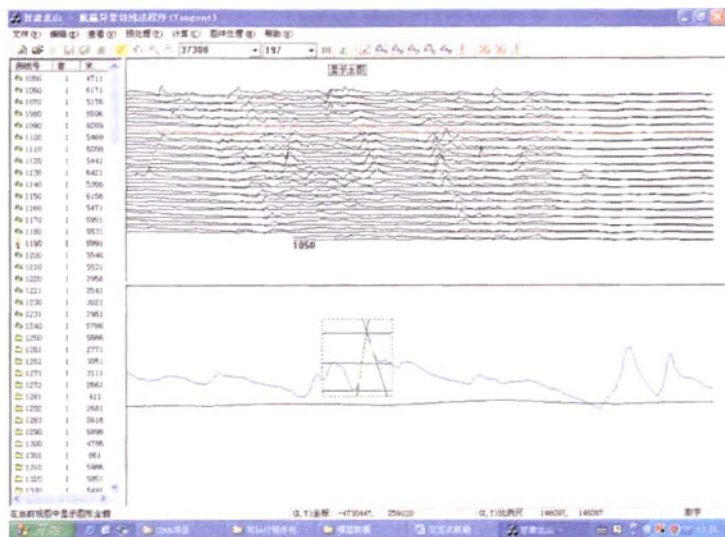


图 1 航磁异常人机交互切线法窗口设计示意

程序资源:在 Windows 图形用户界面中,菜单是用户最熟悉、使用最频繁的元素。程序所包含的所有功能都体现在菜单中。但对于二级甚至三级菜单,如果进行频繁的操作,则是一件令人头疼的事情。为此,设计了常见功能的快捷方式,并有浮动的鼠标提示功能,即当鼠标光标放在程序的某个控件上时,弹出一个提示框显示该控件的功能(图 1)。

2.4 关键算法

(1)窗体分割:为了在屏幕上同时显示更多的信息,一个窗口是不够的,于是根据需要将窗口分割为测线列表视图窗口、多剖面显示窗口、单剖面显示及交互操作窗口。窗口的客户区被分成了 3 个部分,可以通过拖动切分条来调整窗口的相对尺寸。

(2)坐标变换(映射模式、平移、旋转):交互绘图程序的开发不可避免地要遇到坐标转换的问题,虽然 Windows 预定义了一些坐标映射模式,但我们需要和几个坐标系打交道。首先需要明确的是,设备描述表中使用的坐标始终是逻辑空间的坐标,而我们最终要绘制的目的地是屏幕空间。鼠标消息中的坐标是设备坐标,用户看到的是实际坐标。因此,要将剖面曲线最终显示在视图窗口中,首先要将大

地坐标映射到视图窗口中;再进行交互操作时要从视图窗口中映射回到大地坐标。从设备坐标到屏幕坐标的转化是由系统自动实现的,但从逻辑坐标到设备坐标的映射,就是程序员要完成的任务了。构造逻辑空间需要考虑 3 个要素:单位刻度值、方向、原点。首先要选择映射模式,我们选择 MM_HIMETRIC 模式,它表示的逻辑空间的单位刻度是 0.01 mm, x 轴正向向右, y 轴正向向上,原点与设备空间的原点重合。因为我们所选择显示的测线是在不断变化的,为了使剖面曲线正常显示在视图窗口的合适位置,还要进行坐标平移。各测区的测线方向不同,为使剖面曲线以我们习惯的方式显示在计算机屏幕上,需要进行坐标旋转。旋转公式为

$$x = x_0 \cos \alpha - y_0 \sin \alpha,$$

$$y = y_0 \cos \alpha + x_0 \sin \alpha。$$

(3)多剖面曲线绘制、单剖面曲线绘制:首先从外部数据库中读取测区数据,并将测线列表显示在左视图中,此时所有测线均显示为关闭状态;然后将选中的测线东向距、北向距以及 ΔT 经过坐标变换,绘成异常剖面平面图显示在右上视图窗口中,同时左视图中测线列表显示为打开状态;程序还自动将

最后打开的测线设置为当前正在处理的测线,以单剖面形式显示在右下视图窗口中,左视图中测线列表显示为正在处理状态,亦即交互和计算状态,在左视图测线列表中双击任何测线,都可将其设置为正在处理的测线显示在右下视图窗口中。

(4)特征点、特征线的自动绘制:分3种情况自动绘制特征点和特征线,即完整对称异常特征点和特征线的自动绘制、单翼对称异常特征点和特征线的自动绘制、非对称异常特征点和特征线的自动绘制。由于篇幅限制,这里只阐述非对称异常特征点和特征线的自动绘制。

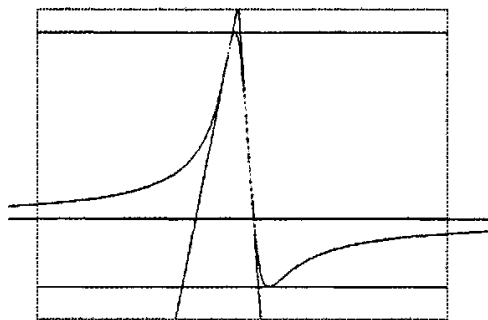


图2 非对称异常特征点和特征线自动绘制示意

首先由软件使用者利用鼠标在屏幕上画一个矩形框,圈定异常的范围(图2),经坐标变换将屏幕坐标转换到真实物理坐标,异常范围 $[(x_{\text{left}}, T_{\text{top}}), (x_{\text{right}}, T_{\text{bottom}})]$,系统在该范围内自动搜索最大值点 $(x_{\text{max}}, T_{\text{max}})$ 、最小值点 $(x_{\text{min}}, T_{\text{min}})$,相对最小值点位于最大值点另一翼的异常最低点 $(x_{\text{pmin}}, T_{\text{pmin}})$,以及异常曲线切线斜率变化最大的两点 $(x_{\text{lkmax}}, T_{\text{lkmax}})$ 和 $(x_{\text{rkmax}}, T_{\text{rkmax}})$ 及对应的斜率 $K_{\text{lkmax}}, K_{\text{rkmax}}$ 。异常曲线切线斜率变化最大的两点中,位于异常正峰与异常负峰之间的一点为异常拐点,拐点处异常曲线切线为正负峰切线,另一点处异常曲线切线为正翼切线。

确定异常零值如下:

$$T_{\text{zero}} = \text{Min}(T_{\text{min}}, T_{\text{pmin}}) + 2 * |T_{\text{min}} - T_{\text{pmin}}| / 3。$$

根据异常范围和上述特征点,可得到各特征线如下:

$$\text{零值线: } L_{\text{zero}} = [(x_{\text{left}}, T_{\text{zero}}), (x_{\text{right}}, T_{\text{zero}})];$$

$$\text{极大线: } L_{\text{max}} = [(x_{\text{left}}, T_{\text{max}}), (x_{\text{right}}, T_{\text{max}})];$$

$$\text{极小线: } L_{\text{min}} = [(x_{\text{left}}, T_{\text{min}}), (x_{\text{right}}, T_{\text{min}})];$$

根据峰值两翼切线斜率变化最大的点得到2个切线方程:异常峰值左翼切线方程, $T = K_{\text{lkmax}}x + C$,其中, $C = T_{\text{lkmax}} - K_{\text{lkmax}}x_{\text{lkmax}}$;异常峰值右翼切线方程, $T = K_{\text{rkmax}}x + C$,其中, $C = T_{\text{rkmax}} - K_{\text{rkmax}}x_{\text{rkmax}}$ 。

根据异常峰值左翼切线方程与异常范围上、下边界直线方程,可分别得到2个交点 $(x_{\text{li}}, T_{\text{li}})$ 和

$(x_{\text{lb}}, T_{\text{lb}})$,根据异常峰值右翼切线方程与异常范围上、下边界直线方程,可分别得到2个交点 $(x_{\text{ri}}, T_{\text{ri}})$ 和 $(x_{\text{rb}}, T_{\text{rb}})$,由此可得到异常左、右两翼切线:

$$\text{异常左翼切线: } L_{\text{lkmax}} = [(x_{\text{li}}, T_{\text{li}}), (x_{\text{li}}, T_{\text{li}})];$$

$$\text{异常右翼切线: } L_{\text{rkmax}} = [(x_{\text{ri}}, T_{\text{ri}}), (x_{\text{ri}}, T_{\text{ri}})].$$

上述特征点和特征线的坐标都是实际物理坐标,经坐标变换得到软件系统的逻辑坐标,设置好合适的画笔和画刷,即可自动绘制出异常特征点和特征线。

(5)特征点、特征线的保存:为了便于事后检查、验证计算结果的正确性,需要在保存计算结果的同时将与其相关的一组特征点和特征线同时保存起来。每个异常计算结果(包括深度、宽度和磁化强度)是基于一组特征点和特征线计算得来的。为此,通过扩展计算结果数据结构,将计算结果与特征点和特征线联系起来,从而,将特征点和特征线与计算结果一并保存起来,但可以根据需要分别显示在屏幕上。

(6)图形放大和移动:矢量图形应具有无级放大的功能,所谓“无极”,指的是图形能以任何比例进行显示。实现矢量图形缩放的操作很多,本系统采用的是通过窗口放大,即用鼠标在图形屏幕上选中一个窗口区域,系统会调整放大比例和屏幕基点坐标,把选中的区域正好放大到整个图形屏幕区域中。图形移动的实现方法与图形放大类似,不同的是对于图形屏幕只是参数 m_{xstart} 和 m_{ystart} 变化,比例尺不变。

(7)显示全图:随着绘制功能的加入,图形首屏可能无法包含所有的图形元素。如每次打开不同数量的测线剖面,所有的测线剖面或者都在视图屏幕的一个角上,或者测线并不显示在视图屏幕上。这就需要有一个操作功能,调整视图屏幕左下角原点的实际坐标和显示比例,使所有的图形元素正好能够绘制到视图屏幕中,显示全图功能就是为完成此功能而设置的。实现显示全图功能的思路是:通过得到每一类图形元素的边界矩形,根据视图屏幕的逻辑坐标进行计算,得到屏幕左下角原点的实际坐标和显示比例。

(8)删除计算结果点:当我们对计算结果不满意时,需要删除计算结果点。为了实现计算结果点的删除,首先应该实现点的选中操作。该系统通过判断点是否包含在一个矩形区域内来确定点是否被选中,然后进行删除处理,同时可删除多个点。

(9)特征线拖动:自动绘制的切线有时不会达到令人满意的效果,所以需要将其拖动到合适的位

置。实现的方法是选中切线的端点,然后通过鼠标拖动进行点的移动,在移动过程中实时形成新的切线,以便观察切线的位置。点是否被选中通过所给阈值来控制。

此外,还包括钩子技术、鼠标绘图的橡皮筋效果、捕捉所有的鼠标输入等技术。

3 应用案例

3.1 理论模型验证

为了了解人机交互切线法深度计算的精度,计算了3种形体(厚板状体、薄板状体、水平圆柱体)的正演模型,以及厚板状体几个不同深度的正演模型,包括厚板顶面埋深 h 分别为1 000、2 500、3 000、5 000 m,宽度 $W=4\ 000$ m,磁化强度 $M_s=1\ 000\times 10^{-3}$ A/m,磁化方向 $i=90^\circ、80^\circ、60^\circ、45^\circ$ 等16种模型数据;薄板顶面埋深 $h=2\ 000$ m,宽度 $W=1\ 000$ m,磁化强度 $M_s=1\ 000\times 10^{-3}$ A/m,磁化方向 $i=90^\circ、80^\circ、60^\circ、45^\circ$ 等4种模型数据;水平圆柱体埋深 $h=2\ 000$ m,半径 $R=1\ 000$ m,磁化强度 $M_s=1\ 000\times 10^{-3}$ A/m,磁化方向 $i=90^\circ、45^\circ$ 等2种模型数据。现将厚板($h=2\ 500$ m)、薄板(用厚板公式计算)以及水平圆柱体模型的反演结果列于表1,将厚板状体($i=80^\circ$)反演不同埋深计算结果列于表2。

表1 几种模型反演计算结果

i	厚板状体			薄板状体			水平圆柱体 $h_{中点}$ m
	h m	W m	M_s 10^{-3} A/m	h m	W m	M_s 10^{-3} A/m	
90°	2490	3980	970	1990	830	1220	1810
80°	2580	4180	970	2060	410	2220	
60°	2840	4200	1070	1780	1960	490	
45°	2530	3990	1020	1950	740	1280	

表2 $i=80^\circ$ 的厚板状体反演不同埋深计算结果

反演结果	$h=1\text{ km}$		$h=2.5\text{ km}$		$h=3\text{ km}$		$h=5\text{ km}$	
	结果	误差	结果	误差	结果	误差	结果	误差
$\frac{h}{\text{km}}$	1.00	0.00	2.58	3.20	3.11	3.67	5.06	1.20
$\frac{W}{\text{km}}$	4.14	3.50	4.18	4.50	4.23	5.75	4.05	1.25
$\frac{M_s}{10^{-3}\text{ A/m}}$	944.3	5.57	974.3	2.57	967.3	3.27	984.8	1.52

注:误差单位为%。

从表1可以看到:对于不同的磁化方向厚板状体,顶面埋深误差0.4%~13.6%,宽度误差0.5%~5.0%,磁化强度误差3%~7%。对于不同的磁化方向薄板状体,用厚板状体公式计算,顶面埋深误

差并不大,为0.5%~11%;在磁化方向 $i=80^\circ、60^\circ$ 情况下,宽度误差较大,已超出允许的范围;在此情况下磁化强度的误差也超出了允许的范围。

从厚板状体 $h=1\ 000、2\ 500、3\ 000、5\ 000$ m, $i=90^\circ、80^\circ、60^\circ、45^\circ$ 反演结果分析,各项参数反演结果误差都不大,均在10%以下,有些误差还相当小(表2)。

因此,我们得出结论:模型体用该软件进行反演计算时,厚板状体磁化方向、顶面埋深改变时,反演结果误差不大;薄板状体通常可以用厚板状体的公式来计算,顶面埋深误差不大,宽度和磁化强度的反演精度与磁化倾角有很大关系;而水平圆柱体斜磁化时反演结果误差较大。在对实测曲线进行计算时,由于地下磁性体的异常形态较模型体曲线更为复杂,因此,自动绘制的零值线、两翼切线要根据判断进行适当调整,以保证计算结果的可靠性。

3.2 实际测区使用情况

2005年,青藏高原、南海北部等几个项目组使用该软件进行了实测资料处理。青藏高原羌塘地区包括6个测区,涉及到比例尺1:20万、1:50万和1:100万的航磁资料,数据量较大,在短时间内计算了3 000多个深度点,获得了丰富的磁性体埋藏深度信息。南海北部项目组对15万测线公里的1:10万航磁剖面数据进行了深度计算,也在短时间内获得了比较满意的结果。各项目组在使用过程中,均提出了一些修改意见,经过逐步改进,目前已达到比较实用的程度。

4 结论

人机交互航磁深度计算软件功能较为齐全,包括从图形绘制、数据预处理到深度计算,再到最终结果输出等。本项目的研制成功,将航空物探异常深度计算主要靠手工操作向前推进了一步,使原来极其繁琐的工作变得容易,提高了工作效率。该软件既利用了解释人员的经验,又充分考虑到其计算习惯,提供了非常便捷的操作工具。

参考文献:

[1] 朱英.斜磁化切线法和特征点图解法[M].北京:地质出版社,1995.
[2] 郭志宏,于长春,周宝鑫.低磁纬度区 ΔT 剖面磁异常场源深度计算的切线法[J].物探与化探,2003,27(5).

THE DEVELOPMENT OF THE MANUAL COMPUTER INTERACTION AEROMAGNETIC TANGENT METHOD SYSTEM

HUANG Xu-zhao, GUO Zhi-hong, XU Kun

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The manual computer interaction aeromagnetic tangent method system is designed according to the flowchart of the manual tangent method. It combines manual experience and wisdom with strong computer power in calculating, consulting tables and processing graphs. It has many useful functions. Single profiles or multiple profiles can be displayed, zoomed and moved; characteristic lines and points can be protracted automatically and amended by manual computer interaction; depth, width and magnetization of magnetic body can be calculated automatically; results can be saved and displayed; visualization and work efficiency are improved considerably. Therefore, a great deal of work can be reduced. It also provides different means for effective interpretation of aeromagnetic anomaly. This system is developed with the VC++ development tool and is object-oriented. It can be applied on the win32 system.

Key words: manual computer interaction; tangent method; aero-magnetic anomaly; depth calculation; visualization

作者简介: 黄旭钊(1962-),女,教授级高级工程师,现从事航空物探解释与方法应用研究工作。主持开发了“建立在GIS平台上的航空物探综合解释系统”和“航磁异常人机交互深度计算软件”。发表论文数篇。

上接 571 页

EXPERIMENTAL RESEARCHES ON FIR LOWPASS DIGITAL FILTERS BASED ON WINDOW FUNCTIONS OF AIRBORNE GRAVITY DATA

GUO Zhi-hong, LUO Feng, An Zhan-feng

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Using FIR (Finite Impulse Response) lowpass digital filters based on window functions, the authors conducted experimental researches on the filtering of airborne gravity data, and obtained some useful results. By selecting proper window shape, window length and filter parameters, the window functions FIR lowpass digital filters can attain a good filtering effect on airborne gravity data.

Key words: airborne gravity; window functions; FIR (Finite Impulse Response); lowpass digital filters

作者简介: 郭志宏(1965-),男,1988年研究生毕业于长春地质学院应用地球物理系,博士,中国国土资源航空物探遥感中心教授级高工,主要从事物探重磁方法技术研究。