

多种软件联合实现等值线快速绘制的制图模式

赵豫, 张慧利, 武秀江

(河南省地球物理工程勘察院, 河南 郑州 450053)

摘要: 针对地震解释成图的特点, 提出了一种多种软件联合绘制等值线的制图模式, 它包括用 Excel 取数据、用 Surfer 网格化模型自动绘制等值线、用 AutoCAD 修改等值线和用 MapGIS 处理成图 4 个步骤。应用该制图模式减少计算工作量, 避免人为误差, 实现了高精度高效率地勾绘有构造的等值线。通过实例对比线性内插的三角网法、距离倒数乘方法、最小曲率法、径向基本函数法和克立金法这 5 种网格化法的特点, 说明克里金网格化模型绘制等值线的效果最佳, 以及 AutoCAD 比 MapGIS 在编辑修改等值线图形时的优异之处。

关键词: Excel; Surfer; 网格化模型; AutoCAD; MapGIS; 等值线; 制图模式

中图分类号: P631; TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2009)04-0472-05

目前地震解释日趋自动化和综合化, 计算机辅助的地震解释系统绘图日益普及, 但是用地震解释系统绘图需要专业的解释软件, 成本高, 对解释员的素质要求高, 否则人机联作解释的高效率和高精度是不易达到的^[1]。用时间剖面解释配合绘图软件绘制等值线构造图仍非常实用有效。地震解释成图有自身的特点: ①由于地震波传播的特点, 地层倾斜时需作空间校正, 绘制等深度构造图时需要作时深转换, 计算复杂且工作量大; ②实际采集到的地震数据有限, 绘制等值线需将有限的离散数据进行网格化内插, 这是科学可视化的前提^[2]; ③地震构造图的等值线被断层分割成不同的断块, 仅仅使用某一种网格化模型绘制的等值线往往与真实的地质构造不尽相符, 构造附近等值线的精细绘制需要手动完成。由于以上原因, 单一软件(如 MapGIS)并不能完全胜任快速绘制地震构造图, 改进单一软件制图的方法已势在必行。现在计算和绘图的软件非常多, 如 Excel、Surfer、AutoCAD 和 MapGIS 等, 通过实践总结出了一套制图模式, 综合利用以上 4 种软件联合制图, 充分发挥各自所长, 既实现解释绘图的高效率和高精度, 又对人员的素质要求不高。

此制图模式的基本步骤是: ①利用 Excel 的单元格公式计算功能和 VBA 编程功能获取三维数据; ②Surfer 软件的网格化数据内插功能自动生成等值线; ③AutoCAD 强大的精确制图功能组合断层并合理地修改等值线; ④最后调入 MapGIS 中利用专业符号库处理成图, 满足了利用 MapGIS 建库、入库的

需要。该制图模式使用轻松灵活, 方便测量、绘图、物探等不同技术人员之间快速协作。时深转换计算、部分空间校正由擅长计算的 Excel 完成; Surfer 是通过数学模型自动计算网格插值点、绘制等值线, 更准确高效; 各种数据展绘、断层组合连接、修改等值线由擅长精确几何制图的 AutoCAD 处理, MapGIS 可以轻松地建立专业的点线面图库。由于从各个重要环节提高效率, 充分发挥每个软件的优势, 比单一使用 MapGIS 绘制等值线构造图要快一倍。

1 绘制等值线的制图模式

煤田地震勘探的成果图件有各地层的等 t_0 时间图和等深度构造图等, 其中煤层底板等值线图是最重要的成果图件, 现在以制作煤层底板等值线图为例将这个制图模式详细说明如下。

1.1 用 Excel 获取三维数据

Excel 具有强大的公式计算功能和 VBA 编程功能, 内置了丰富的函数, 如数学与三角函数、统计函数、逻辑函数等, 可以进行各种数据计算和统计。针对地震解释的数据计算创建一些含有公式的表格来获取数据, 例如时—深转换表格、地层倾角计算表、空间校正表、速度计算表格等, 在这些表格中桩号、时间、速度、深度和坐标等各自有固定的列和相应的公式。随着地震、地质、钻孔等资料掌握的丰富全面, 需要增加或调整数据时, 只需对个别数据作修改即可得到结果, 不需重复输入公式, 非常灵活实用。

实际工作中有些计算比较复杂或专业, 用 Excel

的 VBA 语言编写宏程序来计算,更简便,例如某区横向变速时,根据已知的几点速度和其对应的桩号,求取其他桩号相应的速度,仍输入公式来计算烦琐易出错,用 VBA 语言编写速度内插计算程序实现自动判断计算,程序界面见图 1。勾绘等值线需要三维数据(x, y, z),桩号的平面 x, y 坐标,逐个在测量成果中查找工作量大,而用测量公式计算,则受专业知识制约。因此编写了坐标内插计算程序实现计算自动化,程序界面见图 2。使用时点击执行便能得到结果,非常简单快捷。

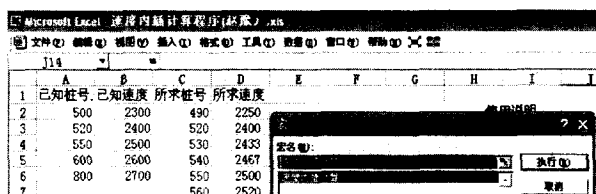


图 1 速度内插计算程序界面

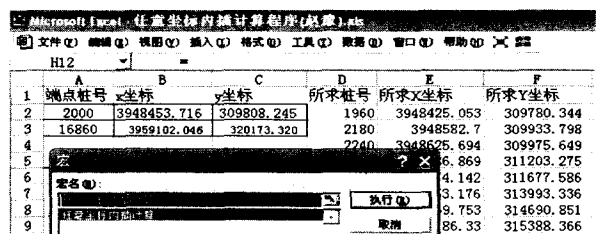


图 2 坐标内插计算程序界面

经过计算获取了绘制等值线的三维坐标(x, y, z)(表 1),一对 x, y 坐标可以对应多个 z 值, z 值可以代表 t_0 时间、煤层底板高程 h 、地层厚度、元素含量等。这个 Excel 数据可以直接被 Surfer 绘图软件打开调用,不用转换格式。

表 1 三维数据(x, y, z)

桩号	t/ms	h	x	y
1790	1840	-3942.72	3800771.803	616754.220
2289	1856.667	-3995.53	3801270.802	616754.227
2453	1846.667	-3963.81	3801434.801	616754.229
2889	1806.667	-3837.85	3801870.800	616754.235
3289	1736.667	-3618.14	3802270.798	616754.240

1.2 用 Surfer 软件自动绘制等值线

由于经济条件和地理因素的制约,实际采集到的地震数据有限,通过有限的地震数据来直观地显示大范围内的地层信息通常要对离散不规则数据(x, y, h)作空间插值得到网格数据,这一过程称为网格化,最后通过网格内插得到的网格化数据就可以对地下情况进行科学可视化展示,如生成的地质剖面图、等值线图、立体图等^[2],由此可以迅速地建立对地层构造形态的整体认知。美国 GOLDEN 公司的 Surfer 软件具有卓越的网格化和等值线功能,是目前最强大、最灵活和最简便易用的等值线和三维立体图形绘图软件。Surfer8.0 采用的 12 种网格

化数据插值方法,几乎包括了目前所有的网格化插值方法。Surfer 软件可以直接调用 Excel 格式(*.xls)的数据,并且该软件可以导出 dxf 文件,从而被 AutoCAD 调用。

不同方法有不同的数学模型,下面结合实际的地震资料来分析这些方法的原理和特点。以河南省禹州预查区的地震数据为例,使用 12 种网格化模型插值方法绘制等值线,其中多项式回归法、改进的 Shepard 法、移动平均值法、Data Metrics 法、局部多项式法、最近邻法绘制的等值线形态与真实地层相差太大,受篇幅限制不再叙述。笔者选择线性内插的三角网法、距离倒数乘方法、最小曲率法、径向基本函数法、克立金法这 5 种网格方法绘制的等值线(图 3~图 7)来作比较。观察以下 5 幅等值线图,每幅图的中部都有一条等值线密集的条带,这是因为网格化插值时没有加入断层数据,断层的落差以密集的等值线表现出来。断层未进行平面组合时,仅根据等值线的疏密,就可以大致确定断层的形态和位置。下面具体来分析这 5 种网格方法绘制的等值线。

线性内插的三角网法是通过在原始数据点之间连线形成一张由三角形拼接而成的覆盖整个数据的三角网,网中所有三角形的边都不能与另外的三角形相交。给定三角形内的全部结点由定义该三角形的 3 个原始数据点计算出。该方法是一种严密的插值器,其工作过程与手工绘制等值线类似,然而生成的等值线不光滑,且不推断轮廓以外的等值线(图 3)。该方法在数据均匀分布时网格效果最佳。实际数据不可能完全分布均匀,所以效果不好。

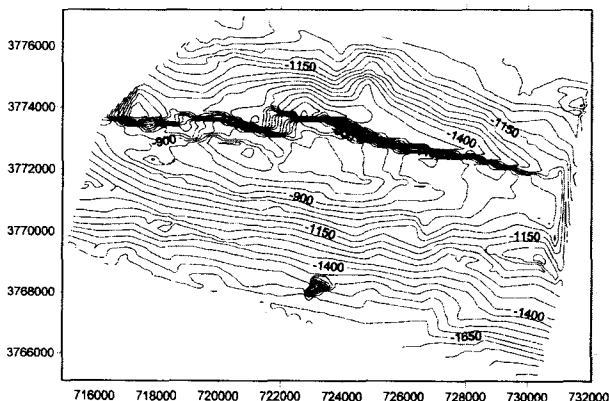


图 3 采用线性内插的三角网法绘制的等值线

距离倒数乘方法是一种加权平均插值的方法,通过乘方系数控制权重,随着离格网结点距离的增大而权重减小。随着乘方系数的增大,网格结点的数值越接近最邻近点的值。距离加权平均插值法非常快,但是它通常围绕数据点生成靶心“bull's-eye”

状的等值线。这种方法没有考虑方向,当某个方向上的数据点很集中时,其他方向上已知数据点的影响就有可能被忽略,从而造成较大的误差^[3]。地震野外数据采集是沿一条条的测线进行,由于纵横向采样不均匀带来一定的误差(图4)。

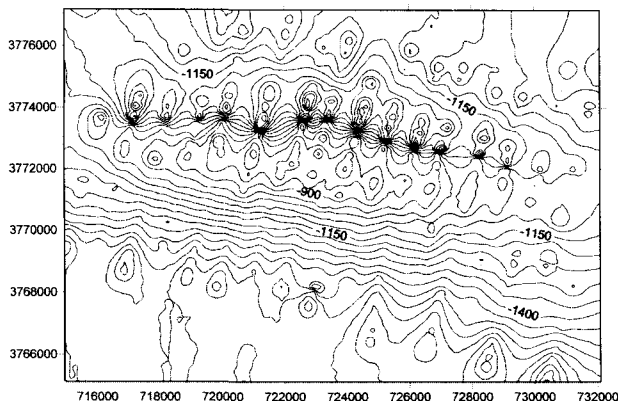


图4 采用距离倒数乘法绘制的等值线

最小曲率法广泛用于地球科学。用最小曲率法生成的插值面类似于一个薄的矩形弹性面,这个弹性面通过各个数值点且具有最小曲率。最小曲率法在最大限度照顾数据的同时,生成尽可能圆滑的曲面。最小曲率法不是确切的内插方法,并不总是尊重数据。并且在没有数据的区域生成大量杂乱曲线,如图5。实际地层情况是非常复杂的,这种方法将地下情况设计得过于理想化^[2,4]。

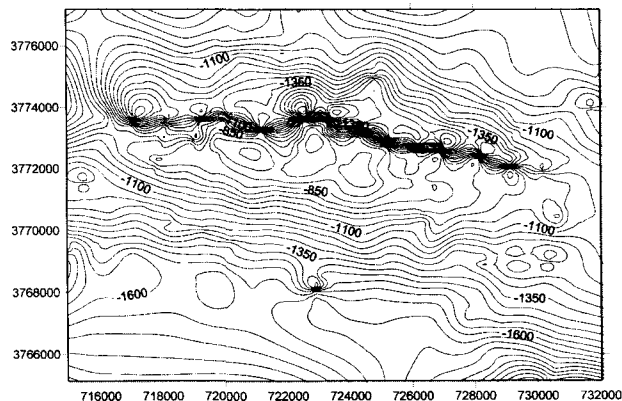


图5 采用最小曲率法绘制的等值线

径向基本函数法是多个数据插值方法的组合。根据数据特性和生成圆滑曲面的能力,其中的复二次函数(multiquadric)被许多人认为是最好的方法。所有径向基本函数法都是很准确的插值器,为了能够生成一个更圆滑的曲面,所有这些方法都引入了一个圆滑系数。可以指定的函数类似于克立金法中的变化图。当对一个格网结点插值时,这些函数为数据点规定了一系列最佳权重值。但观察图6中的等值线,靶心状等值线多,对各项异性表现多。

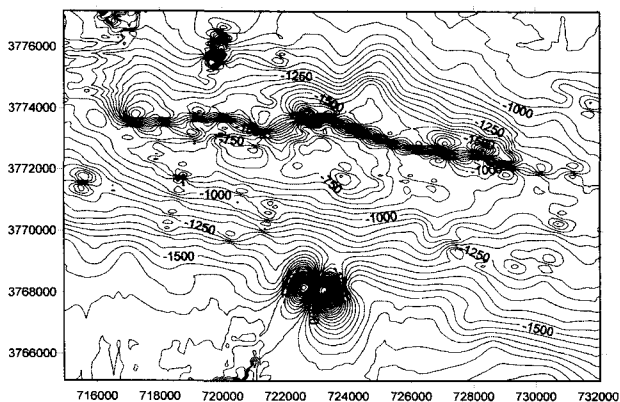


图6 采用径向基本函数法绘制的等值线

克立金法是一个在许多领域已广泛应用的和受欢迎的地质统计学的网格化方法,这种方法从不规则的空间数据产生一个视觉吸引力的真实地图,并且根据数据尽量地表现趋势。克立金法分为两步:第一步是对空间场进行结构分析,即在充分了解场的性质的前提下,提出变差函数模型;第二步是在该模型的基础上进行计算。克立金法以空间结构分析为基础进行估值,这种方法可以自动识别数据点的空间分布,如果若干数据距离较近而且在同一方向,那么离待估点较近的点的权值较大,而其他点的权值较小,这样就消除了由于采样不均匀带来的误差。

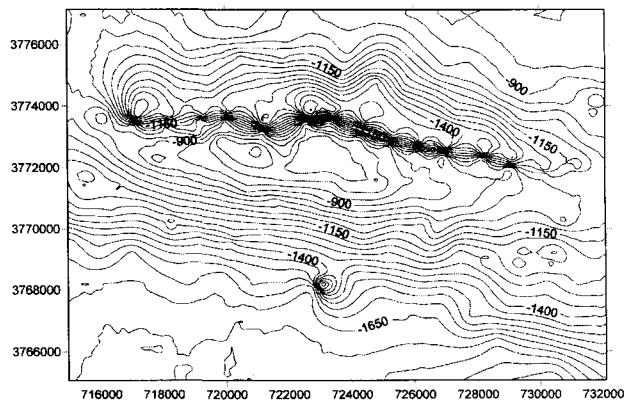


图7 采用克立金法绘制的等值线

由上述对比可知:普通克里金法是对空间数据求最优、线性、无偏内插估计量的方法,所绘等值线既保持数据的细节又尽力地表现趋势,能够最大程度的利用所给的信息,具有很高的空间外推精度。所以我们选择克里金法绘制等值线。

使用 Surfer 绘制等值线的具体操作为:

(1) 自动绘制等值线。首先使用网格菜单中“GRID | Data”命令将准备好的数据直接调入 Surfer 中,对话框中 x 、 y 、 z 放入对应的 x 、 y 、 h 列数据,选择克里金网格化插值方法,生成网格文件(*.grd)。然后用“Map | Contour Map | New Contour Map”菜

单命令调入网格文件自动生成等值线。另外,在坐标 x 、 y 不变化的情况下,调换 z 值为 t 或其他数值,就可以生成等时线图或其他符合要求的等值线图。

(2) 绘点位图。利用 x 、 y 、 z 数据生成数据点位图(post map),并使用 Surfer 的标注功能将 z 列中的高程快速地标注出来,方便在 AutoCAD 中依据数据准确修改等值线。

(3) 将等值线图和点位图复制到粘贴板上,或者直接导出(export)扩展名为 dxf 文件即可被 AutoCAD 调用。

1.3 AutoCAD 中修改断层附近的等值线

Auto desk 公司推出的 AutoCAD 软件具有强大的图形处理功能,绘制等值线图时主要利用坐标 (x, y) 、几何图形、对象捕捉等精确制图的功能,大大提高了制图精度和速度。按工作顺序操作如下。

(1) 绘制底图。将测量成果、交点桩号、钻孔、煤层露头、断层和相应的标注等,根据坐标,利用 Excel 的编辑数据(Y&" ," &X)功能准确迅速地展绘到 AutoCAD 中作为底图。

(2) 断层的平面组合。断层平面分布图是构造图的骨架,作好断点的平面组合,连接断层。

(3) 修改断层附近的等值线。将粘贴板中 Surfer 等值线和点位图,利用 AutoCAD 中选择性粘贴将 Surfer 图形转换为 AutoCAD 图元。由于 Surfer 软件在进行网格化插值时,没有考虑到断层的影响,跨断层进行了插值,因此要根据断层的落差,钻孔资料,勘探线上的相关数据和数据点位图,利用 AutoCAD 强大的编辑功能,结合地质规律修改等值线,直到断层和等值线达到最合理为止。

(4) 把修改后的等值线、断层、钻孔等生成 dxf 文件,以便 MapGIS 调用。

使用 AutoCAD 编辑断层附近的等值线而不直接在 MapGIS 中编辑,是因为两者在制图方面相比 AutoCAD 有下列优点。

(1) AutoCAD 可以直接调用粘贴板上的 Surfer 图形,但 MapGIS 必须将 Surfer 生成的 dxf 文件用文件转换子系统转换成 MapGIS 标准格式文件 *.WP、*.WL、*.WT 后方能使用。

(2) AutoCAD 在同一窗口界面中用各种工具能完成不同操作,而 MapGIS 需要调用不同的子程序(文件转换、图形裁剪、投影变换等)进行操作。例如 Surfer 图形叠加到地理底图上需要调整比例,在 MapGIS 中需要在投影变换子系统中进行投影变换调整比例,而在 AutoCAD 中只使用缩放一个命令即可完成,简单易操作。

(3) AutoCAD 比 MapGIS 图形编辑功能强。如 AutoCAD 中使用复制、粘贴能将一系列坐标 (x, y) 一次绘成线;将捕捉按钮按下去,绘制同一条线时可以捕捉不同的如圆心、端点、中点、交叉点、垂足等特征点连线;可以利用各种几何方法绘图等功能,非常方便快捷。MapGIS 在后期版本上增加了用点连线和解析造线功能,由于其文件有点(*.WT)、线(*.WL)、面(*.WP)之分,用点连线或解析造线时只能在单一的状态下编辑,所以使用中远不如 AutoCAD 方便。

虽然 MapGIS 具有完善的制图功能,毕竟它是地理信息系统,在绘图方面与 AutoCAD 这个专业制图软件相比功能不如其强大且使用烦琐,效率不高,所以使用 AutoCAD 修改断层附近的等值线,虽然增加了一个步骤,但效率和准确度反而提高。

1.4 MapGIS 地图入库并使图面更丰富

MapGIS 是国产优秀的桌面地理信息系统(GIS)软件,具有强大的制图功能,图面美观;对于各种专题图例符号的制作较其他软件方便灵活得多;基本上完成了 GIS 方面的分析功能^①。MapGIS 软件有内容丰富、功能完善的符号库编辑子系统。目前地震勘探项目要求提交 MapGIS 格式文件,各种规范、标准是针对 MapGIS 制定的。用户可以根据规范要求,通过简单的图形编辑,快速生成子图库、线型库、填充图案库和矢量字库,建立专业的地质符号库,同时这些符号库可以单独复制出来,运用方便。

等值线图在 MapGIS 中的处理成图、入库的方法如下:在文件转换子系统中,将 AutoCAD 的 dxf 文件转换为 MapGIS 内部矢量文件 *.WP、*.WL、*.WT 格式。在图形编辑子系统中使用地质符号库修改、完善图面,使图面表现力更丰富。通过拓扑检查,生成区文件,可以进行储量计算等分析,提供 MapGIS 格式的数字化地图,满足利用 MapGIS 建库的需要。

2 结束语

在地震勘探中,由解释人员解释出来的层位信息包括大量不规则分布的三维深度数据和断层构造的断点数据,不规则数据网格化和最终的构造图成图是一件相当复杂而又难度较大的工作。由此可知,MapGIS 虽然有很多优点,但是并不完全适合绘制地震构造图。根据地震解释成图的特点,从每个

① MapGIS 地理信息系统使用手册.武汉:中地数码集团

制图环节入手提高精度和效率,制定了联合多种软件勾绘等值线的制图模式,将计算和绘图结合起来,避免了人为因素干扰,提高了工作效率,节约了成本。这个制图模式中对网格化模型的选择很重要,通过对比分析,笔者认为普通克里金法是对空间数据求最优、线性、无偏内插估计量的方法,所绘等值线兼顾表现各向异性和数据潜在的趋势。

在物探、化探、水文、地质工作中,很多成果资料使用等值线来表现,利用这个制图模式进行数据计算、网格化插值和绘图,可以高效高质量地绘制等值线,具有很好的应用前景。熟悉 Surfer 软件的各种网格方法的基本理论知识,根据各种数据的不同特点,结合数据分析的目的,科学地选择内插方法,灵活地进行参数设置,内插生成网格文件,在此基础上绘制各种符合要求的等值线图,供我们提取更多的

地学信息。

参考文献:

- [1] 陆基孟.地震勘探原理(下册)[J].东营:石油大学出版社,1993.
- [2] 程红杰,胡祥云,田米玛,等.地震数据网格化方法[J].工程地球物理学报,2006,3(1).
- [3] 颜辉武,祝国瑞,徐智勇.基于动态 Voronoi 图的距离倒数加权法的改进研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2004,29(11).
- [4] 武法东,田明中,柴春媚.实用计算机制图 Grapher4, Surfer8 及 CorelDRAW10 操作指南[M].北京:地质出版社,2005.
- [5] 靳国栋,刘衍聪,牛文杰.距离加权反比插值法和克里金插值法的比较[J].长春工业大学学报,2003,24(3).
- [6] 伍卓鹤,赵献军,陈明. MapGIS 高程模型网格化参数的确定及网格化模型的选择[J].广东地质,2003,18(4).

THE CONSTRUCTION OF THE MAPPING MODE FOR QUICK DRAWING OF CONTOURS BY USING VARIOUS KINDS OF SOFTWARE

ZHAO Yu, ZHANG Hui-li, WU Xiu-jiang

(Henan Institute of Geophysical Engineering Exploration, Zhengzhou 450053, China)

Abstract: In the light of characteristics of seismic interpretation and structural map, this paper deals with a mapping mode for quick production of structural contours by using various kinds of software, such as four processes for calculation of an XYZ data in Excel, automatic creation of a contour map using the gridding method in Surfer, completion of a more logical contour map in AutoCAD, and more perfect processing of the logical contour map in MapGIS. The mapping mode can help reduce the workload, avoid artificial errors, and realize the drawing of structural contours with high precision and efficiency. By producing grid files using five different gridding methods and comparing the results in practical application, this paper gives a quick overview of each gridding method and points out advantages and disadvantages of each method. The five Gridding methods include Triangulation with Linear Interpolation, Inverse Distance to a Power, Minimum Curvature, Radial Basis Function and Kriging. Under most circumstances, kriging is the selected default gridding method because it gives better results for most XYZ data sets. In addition, the merits of AutoCAD relative to MapGIS in editing and revising contours are emphatically discussed.

Key words: Excel; Surfer; Gridding method; AutoCAD; MapGIS; contour map; mapping mode

作者简介: 赵豫(1975-),女,工程师,1999年毕业于解放军测绘学院工程测量专业,一直从事工程测量和计算机制图工作,公开发表学术论文数篇。