

基于 MATLAB 平台实现电法数据的三维可视化

朱占升, 谭捍东

(中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

摘 要: 电法三维数据采集和三维正反演获得的信息是三维分布的。对这些三维数据体进行快速有效的立体显示是展示电法成果的最好方式。结合电法数据的特点, 以 MATLAB2010b 为平台实现了电法数据的三维可视化。该程序可方便地用于研究电法成果的三维展布特征, 也可为其他地球物理数据的三维可视化所参考。

关键词: Matlab; 电法数据; 交互式; 三维可视化

中图分类号: P631.3; TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)02-0312-05

MATLAB 是矩阵实验室 (Matrix Laboratory) 的简称, 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件, 用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境, 主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分, 其最新版本为 Matlab7.11 (建造编号 R2010b)。

电法工作者在显示反演数据时, 通常选用 surfer 软件或相关 GIS 软件。surfer 软件主要支持二维剖面图像显示, 很难进行三维立体显示与切片显示, 而 GIS 类软件虽然可以绘制三维图形, 但不是操作繁琐复杂, 便是无法简捷地满足电法工作的特殊要求。为此, 尝试通过 MATLAB 软件平台, 实现电法勘探所采数据的三维显示, 并开发交互式界面。

1 三维可视化原理简介

三维数据的可视化方法主要有面绘制和体绘制两类。面绘制 (surface based method) 是指体表面的重建, 也即由三维数据中抽取出等值面, 然后采用图形学技术实现表面绘制; 面绘制可以有效地绘制三维体的表面, 但缺乏内部信息的表达。体绘制 (volume rendering) 以体素作为基本单元, 直接由切片数据集生成三维体的图像, 也称直接体绘制, 能够表示对象体内部信息, 但计算量大^[1]。

电法勘探所采集的数据和反演的结果最终可以整理成 4 列的形式 (x, y, z, R), 每列数据对应不同的信息。在图 1 所示的三维坐标系中, 将 x 轴对应经度, y 轴对应纬度, z 轴对应海拔, R 代表电阻率, 可以通过颜色来表示。通常, 三维可视化过程包括数据预处理、构造模型、绘图及显示等几个步骤^[2]。

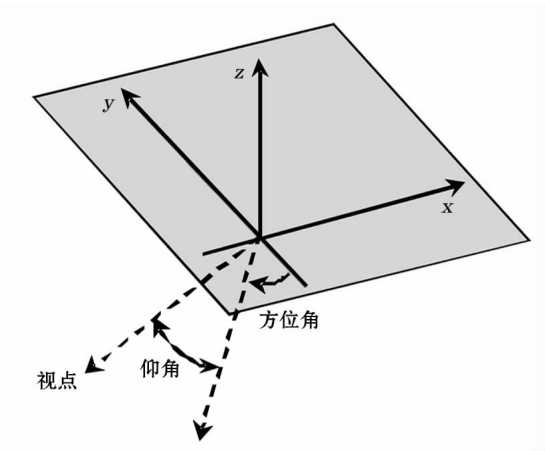


图 1 三维坐标系示意图

图形绘制成功后, 通过仰角与方位角的调整, 便可以从不同方位对三维图形进行观察。

2 电法数据的特点

电法勘探具有一些独特的优势与特性, 采集获得的数据体也具有自己的一些特点。

数据种类多。电法勘探利用物性参数多, 场源、装置类型多, 观测内容或测量要素多, 对应的数据就相对复杂。例如, z 方向上数据就可以是海拔、深度、频率、时间、 $AB/2$ 等多种数据类型。 R 就更为丰富, 可以是电场、磁场、相位、视电阻率、视极化率、反演电阻率与极化率等多种类型。

数值变化范围大。电法勘探获得的数据体变化范围往往跨度较大, 如电磁法的采集频率范围及获得的视电阻率均可覆盖多个数量级。为了缩小变化范围, 常采用取对数的方法来改善这种情况。

数据分布不规则。在电法勘探中,观测数据经常是不规则分布的,这种不规则包括测点水平分布不均,垂向地形起伏变化。如海上作业存在羽状漂移,陆上地形起伏不平,测区中存在障碍物而需要绕过,测线、测点排放不规则,或者重复排放等^[3]。

在图形绘制过程中,以上这些电法数据的特点要充分考虑,以满足电法勘探的特殊要求。

3 技术实现

当数据体读入 MATLAB 工作空间后,第一步要对数据信息进行分析,包括不同维数据的最大值、最小值、分布情况等,其中数据 R 的分析直接关系到显示效果的好坏。当获得读入数据的特征信息之后,便可进行网格化处理。

3.1 网格化

网格化是三维显示的核心,关系到图件的质量、效果和可靠性。空间域的网格化方法主要有线性插值法、最小曲率法、克里格法、自然邻接点法、最邻近点法、样条函数法等,这些方法均有各自的理论和特点^[4-7]。针对电法勘探数据的特点,笔者选取了基于 Delaunay 三角剖分的 3 种网格化方法,包括线性插值、最邻近插值和自然邻接点插值。

对不规则分布数据进行 Delaunay 三角剖分后,采用线性插值法根据待插值点 P 与所在三角单元 3 个顶点的几何位置关系推导出 P 点的数值(图 2a)。该方法计算速度较快,70 × 70 × 70 的网格耗时仅几秒,插值数据圆滑性良好。当数据不规则分布时,显示区域主要集中于测点覆盖区域内。

最邻近插值方法采用距离网格节点最近的数据点的值来表示网格节点的值^[8],因此在数据密度低时,图形圆滑度就差。该方法耗时与线性插值相近,但显示区域覆盖全部网格空间(图 2b)。

自然邻接点插值算法相对复杂,计算速度较慢。笔者计算 70 × 70 × 70 的网格耗时近 20 min,但其数据圆滑度是 3 种插值方法中最高的,并可以保留数据的局部相关性,显示区域与线性插值类似(图 2c)。

综合对比 3 种插值方式,如果测点均匀分布于测区内,建议采用最邻近插值;测点分布不均匀的数据,建议采用线性插值;原始数据连续性较差又要求图形圆滑度较高或考虑局部相关性时,可采用自然邻接点插值。

3.2 数据空间的“白化”

电法勘探区域常常位于起伏地形上。这种情况下,往往不需要将地表以上的空间给予显示。在

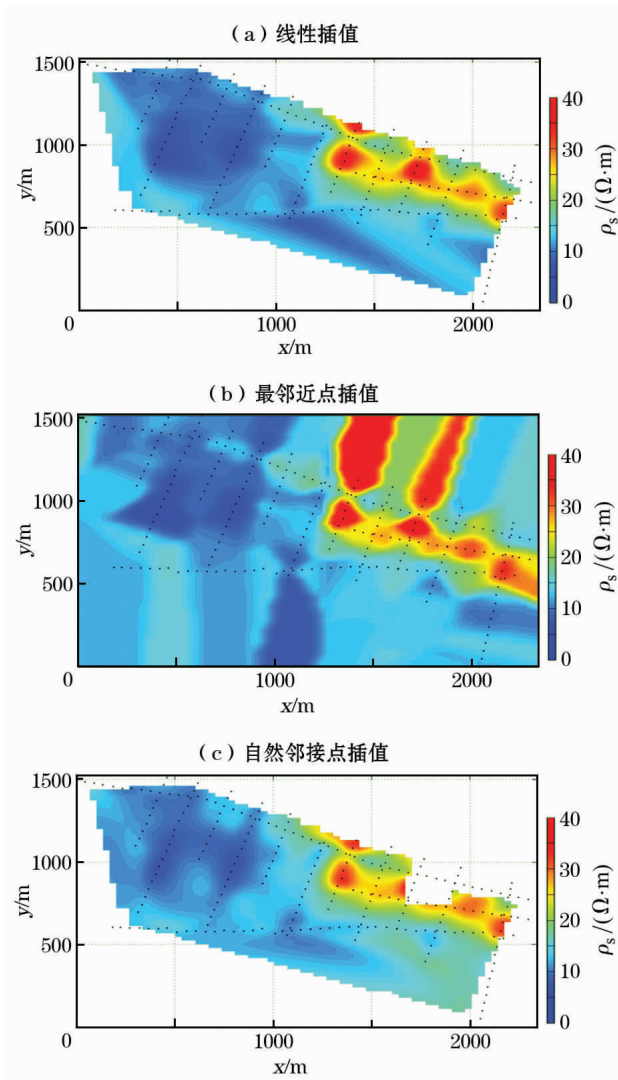


图 2 不规则数据体不同方法的网格化效果

MATLAB 平台中,当网格数据为 NAN 时,绘图时便显示为无色;将地表以上网格数据赋值为 NAN,即可实现地表以上空间的“白化”。

3.3 图形显示

3.3.1 显示方法

三维显示常用的方法有面绘制与体绘制。进行体绘制时通常采用在各种位置对显示空间进行切片,显示该切面上的图像,若切片位置连续动态变化,则可以对全空间数据分布有整体的认识。如图 3 所示,通过拖动右侧滑标,可以在 x 、 y 、 z 三个方向上实现连续动态的切片观察,也可以在编辑框内输入 x 、 y 、 z 方向切片的位置或地表的起点与终点,获得任意方向的静态切片。

面绘制可以有效地绘制三维体的表面,通过渲染与光源设定可以获得较真实的显示效果。当地形有起伏时,可以通过菜单栏地形选项卡来实现起伏地形上的数值显示。将等值面与地形综合显示,可

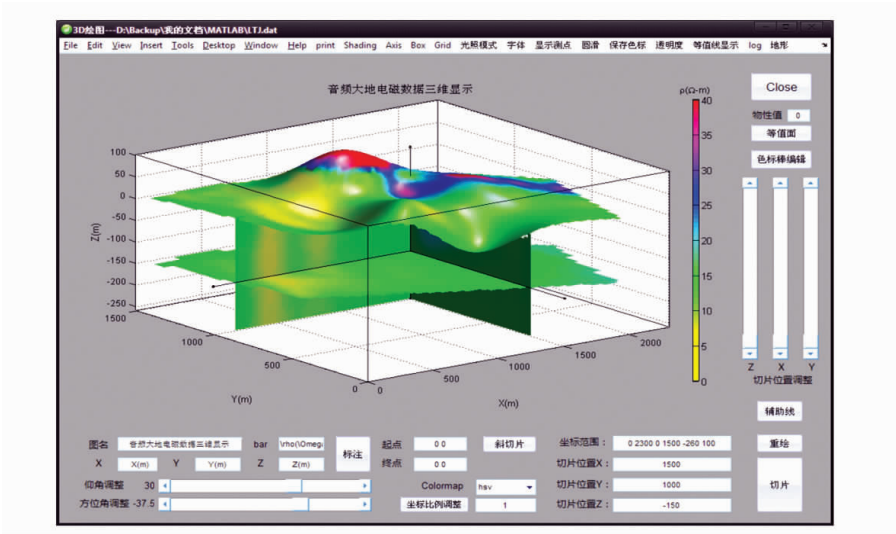


图 3 程序界面

以很好展现三维体的形态与空间位置,尤其是相对起伏地表的埋深。

3.3.2 色标设置

电法勘探中色标的设置直接影响到目标层的识别、物性分析乃至地质解释。笔者采用了动态实时显示色标棒编辑模块(图 4)。该模块可以显示当前着色信息,任意设定色标范围,选择不同插值模式进行着色,并且在绘图区给予实时显示。此外,电法图件在同一测区常要求使用相同的色标棒,鉴于此种需求,设计了保存色标菜单来实现色标信息的保存与载入(见图 3)。

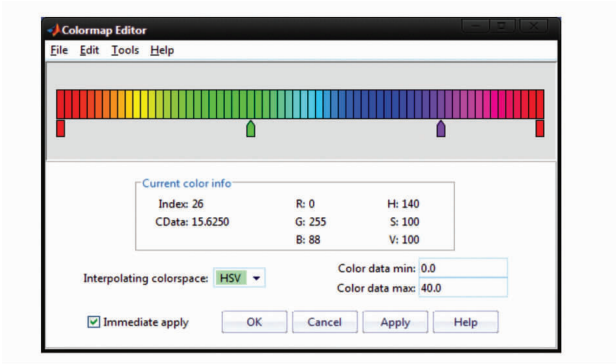


图 4 色标棒编辑模块

3.3.3 显示控制

电法勘探领域常需要对特定区域进行放大显示,为了满足这种需求,设计了数据空间约束与坐标比例缩放等功能。通过设定三维空间的坐标范围,对数据空间进行裁剪,以放大显示重点数据空间。通过坐标比例缩放,可以部分解决切片间互相遮挡的问题。对于遮挡问题,还可以采用图形透明度结合光照模式来部分解决。

3.4 其他功能

除以上功能外,还实现了图片保存、光照模式、背景色设置、坐标轴与网格控制、字体调整、测点显示、数据圆滑、显示三维等值线、对数据 R 取对数与还原等功能。

4 应用实例

4.1 激电测深数据

图 5 是新疆某矿区激电测深数据进行带地形三维反演后的结果,测区内共计 21 条测线,测点近似均匀分布。鉴于测点水平向分布较均匀,采用了最邻近插值。针对激电数据的特征,采用不同的三维显示方式进行显示。

图 5a 为三维等值面显示(极化率 = 10.72%)。由于极化率高值部分与矿体对应关系密切,所以这种图件就相当于给出了测区内可能矿(化)体的分布空间。从图中可以看出工区内有 4 个较大规模的异常体,彼此分离,位于测区中部的异常规模最大。

图 5b 为带地形的三维切片显示。这种图件可以看出测区起伏地形上的物性分布情况,便于与地表的勘探结果进行对比验证,也可以结合其他地球物理测量结果进行综合显示(如磁法、重力数据)。

图 5c 为带地形的等值面显示。这种图件可以对异常体埋深有较准确的了解。对比图 5a、图 5c,可见等值面不连续是因为靠近地表而造成异常的不圈闭现象。

图 5d 为三维自由切片显示。这种图件的切片可以自由穿过主要异常区域,而不必沿正东正西,或者测线的方向。这种切片图形可以给出更多的异常体内部细节,如异常体的水平位置、深度、规模、产状、延伸等信息。通过以上这些三维图形获得的信

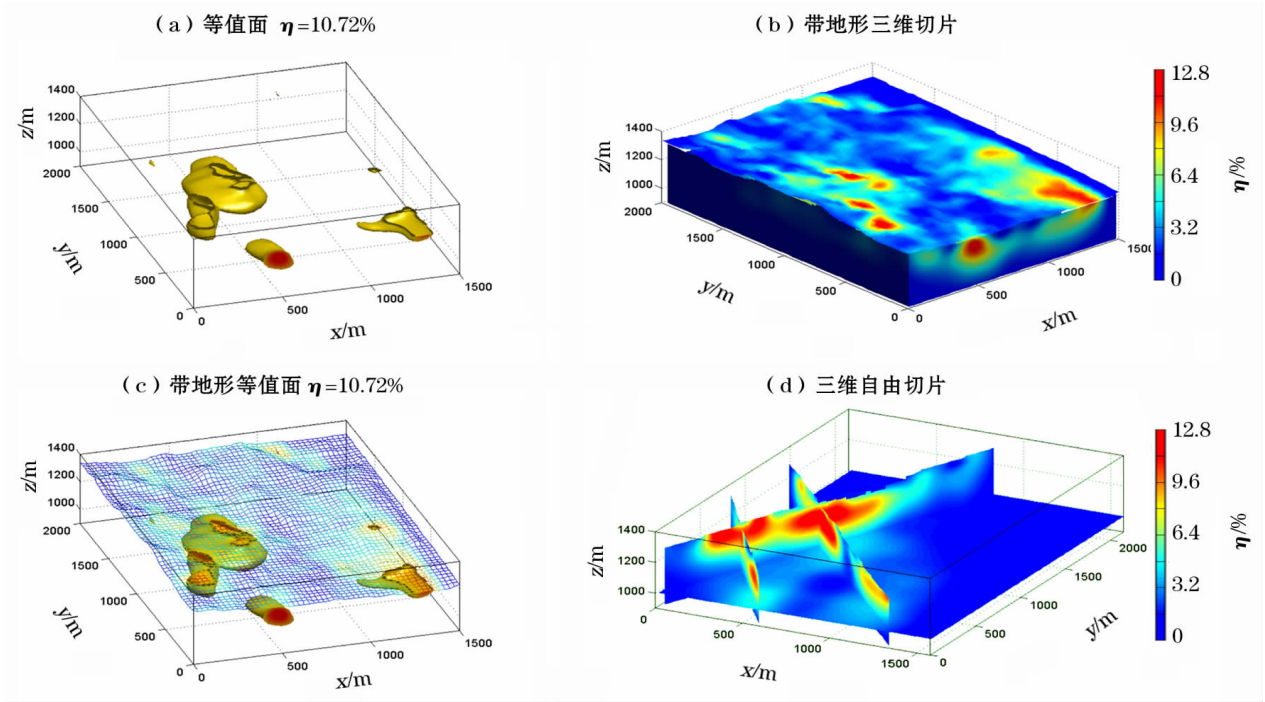


图 5 激电测深数据三维反演综合显示

息,将对后续工作具有重要的指导意义。

4.2 音频大地电磁数据

为了加深对西北某地区地下水文地质情况的认识,在该区应用频率域电磁测深法(EH4 电导率成像系统)进行了多条剖面测量,获得了非规则化音频大地电磁数据体^[9]。由于仅仅依靠简单的二维

剖面图像不能直观、精确地反映预测目标层空间分布^[10],笔者绘制了不同方向的电阻率模型三维切片(图 6)。鉴于数据非规则化分布于测区内,采用了线性插值,这种插值方式会使图形显示区域主要集中于测点覆盖的区域内。

从切片图可以看出,测区内电阻率分布整体表

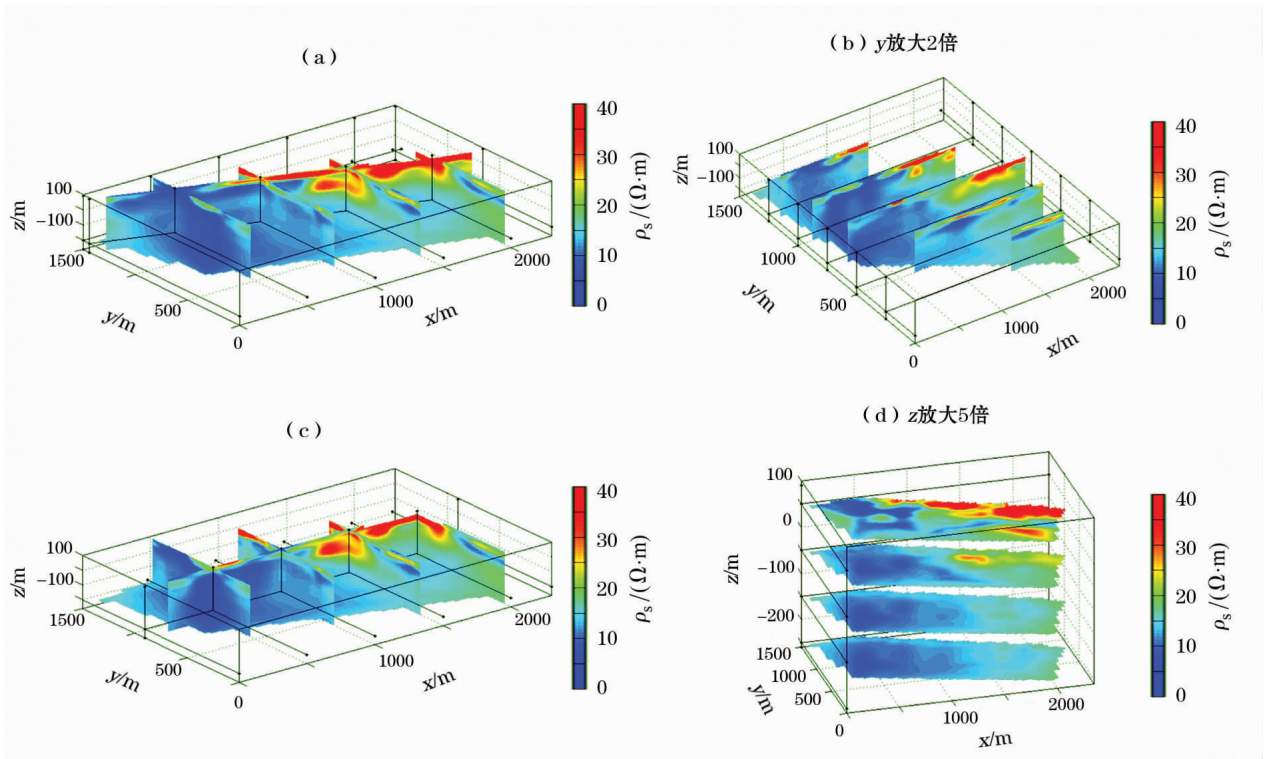


图 6 音频大地电磁数据不同方向三维切片显示

现为西低东高,高阻体主要集中在测区东北部的浅部地层;东部地区的北部高阻层较厚,南部高阻层较薄,并且下伏低阻薄层;西部地区地表为苦咸水富集区,地下介质电阻率明显呈低值分布。

由此可见,三维切片可以对地下电阻率的三维展布情况有较清晰的显示,如果再结合如图 5 中的三维等值面和地形显示,还可以对地下电阻率分布情况进行更好的展示,进而为下一步的钻探工作提供更形象的参考资料。

5 结论

采用 Matlab 软件平台,实现了电法勘探数据的三维显示。针对野外采集数据的特点,设计了不同的网格化方式,形成了带地形信息的数据空间。对数据空间实现了面绘制与体绘制等多种显示方式;并采用了三角面网格,着色渲染与光照模式等技术对模型进行修饰,获得了良好的显示效果。此外,程序读入的数据格式简单明了,并不局限于电法勘探领域。

电法数据的三维可视化是描绘和理解电性特征空间分布的一种有效手段,是数据体的一种表征形式。三维立体显示相对于二维剖面显示,能够更形

象、更准确地对目标体进行描绘,为分析、理解地下物性特征提供有利工具,尤其是各种信息的综合显示,对地质解释工作有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨钦,徐永安,翟红英. 计算机图形学[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 孙正兴. 计算机图形学教程[M]. 机械工业出版社,2006.
- [3] 郭良辉,孟小红,郭志宏,等. 地球物理不规则分布数据的空间网格化法[J]. 物探与化探,2005,29(10).
- [4] 刘兆平,杨进,武炜. 地球物理数据网格化方法的选取[J]. 物探与化探,2010,34(2).
- [5] Watson D F. Contouring[M]. Pergamon,1992.
- [6] Briggs I C. Machine Contouring Using Minimum Curvature[J]. Geophysics,1974,39(1).
- [7] Deutsch C V, Journel A G. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide[M]. Oxford University Press,1998.
- [8] 刘保柱,苏彦华,张宏林. MATLAB7.0 从入门到精通(修订版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [9] 曹福祥,尹秉喜,朱庆俊. 电导率成像系统在西部地下水勘查中的应用[J]. 物探与化探,2005,29(4).
- [10] 祁民,张宝林,梁光河. 地球物理场三维可视化建模研究[C]//中国地球物理第二十四届年会论文集. 北京:中国大地出版社,2008.

3D VISUALIZATION OF ELECTRICAL DATA BASED ON MATLAB PLATFORM

ZHU Zhan-sheng, TAN Han-dong

(School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The electrical information obtained by 3D collection and 3D inversion is stereoscopic. The best way to show electrical results is displaying 3D body of data stereoscopically, rapidly and efficiently. In this paper, in combination with the characteristics of electrical data, the authors realized 3D visual presentation of electrical data by using graphic user interface (GUI) on the MATLAB platform. The program can be used to study the characteristics of 3D electrical results and is also of reference value for visualization of other geophysical data.

Key words: Matlab; electrical data; interactive; 3D visualization

作者简介: 朱占升(1987-),男,中国地质大学(北京)在读硕士研究生,主要研究方向为地球物理数据处理与解释。