

一种瞬变电磁法顺煤层底板视电阻率等值线图绘制方法

刘 沧¹ 刘才华^{2*} 傅 燕¹ 王 朋³

1. 中陕核工业集团综合分析测试有限公司 陕西西安 710024

2. 中陕核工业集团二一四大队有限公司 陕西西安 710100

3. 长安大学地球科学与资源学院 陕西西安 710054

摘 要: 瞬变电磁法具有工作效率高、经济成本低、高阻围岩中找低阻地质体灵敏度优异的优点使其常用于煤田采空区、富水区勘查、水文地质勘查和防治水工程设计。顺煤层视电阻率等值线图常作为研究煤层富水程度和识别电性异常的重要成果图件, 本文作者团队针对当前公开出版物中鲜有兼容电性源和磁性源两种瞬变电磁法绘制此图件方法的现状, 总结出一套基于Surfer和GeoSoft Oasis montaj软件绘制顺煤层底板视电阻率等值线图的方法, 实践证实该方法可兼容磁性源和电性源两种瞬变电磁法的顺煤层底板视电阻率等值图的绘制并提高作图效率。

关键词: 瞬变电磁法; 视电阻率; 顺煤层底板视电阻率等值线图

The present invention relates to a transient electromagnetic method for drawing apparent resistivity contour map along coal seam floor

Cang Liu¹, Caihua Liu^{2*}, Yan Fu¹, Peng Wang³

1. Comprehensive Analysis and Test Co., LTD., China Shaanxi Nuclear Industry Group, Xi 'an 710024, China

2. 214th Brigade Co., LTD., China Shaanxi Nuclear Industry Group, Xi 'an 710100, China

3. School of Earth Sciences and Resources, Chang 'an University, Xi 'an 710054, China

Abstract: The transient electromagnetic method has the advantages of high efficiency, low economic cost, and excellent sensitivity to find low resistance geological bodies in high resistance surrounding rock, so it is often used in the exploration of goaf, water-rich areas, hydrogeological exploration, and water control engineering design in the coalfield. The apparent resistivity isoline map along the coal seam is often used as an important achievement map to study the degree of coal seam water abundance and identify electrical anomalies. In view of the fact that there are few tem methods compatible with electrical sources and magnetic sources in the current public publications, the author's team summarized a set of methods based on Surfer and GeoSoft Oasis Montaj software to draw the apparent resistivity contour map along the coal seam floor. The practice proves that this method can be used to draw an apparent resistivity contour map of coal seam floor with magnetic source and electrical source and improve the mapping efficiency.

Keywords: Transient electromagnetic method; Apparent resistivity; Contour map of coal steam floor with apparent resistivity

基金项目: 陕西省重点研发计划项目“核与辐射应急防控关键技术研究”(2020SF-381); 中陕核工业集团二一四大队有限公司科技攻关项目“一种物探预处理软件服务系统集成开发与应用”(202005)和“地空电性源短偏移距瞬变电磁数据预处理软件系统开发与应用”(202103)联合资助。

作者简介: 刘沧(1988-), 男, 硕士, 地球物理勘查与遥感工程师, 研究方向: 大地电磁测深法、工程物探、金属矿勘查、辐射环境监测与检测, E-mail: 824588062@qq.com。

***通讯作者简介:** 刘才华(1990-), 男, 硕士, 地球物理勘查与遥感高级工程师, 研究方向: 瞬变电磁法、大地电磁测深法、航空物探, E-mail: zha@fcode.cn。

引言:

瞬变电磁法具有工作效率高、经济成本低、高阻围岩中找低阻地质体灵敏度优异的优点^[1-2],在煤田采空富水区勘查^[3]、水文地质勘查^[4]、防治水工程设计^[5]、含水层富水性^[6]分析中已得到广泛应用。顺煤层底板视电阻率等值线图是煤田瞬变电磁法勘探成果重要图件之一,常用于分析目的煤层的视电阻率分布特征,研究含水层富水程度和提取采空区引起的视电阻率异常。当前仅有少数公开出版物中介绍了磁性源瞬变电磁法成果的顺煤层底板视电阻率等值线图的绘制方法^[7, 8],而电性源瞬变电磁法作为一种新兴的应用热点方法,其新技术规程仅于2021年11月印刷发行^[9],针对电性源瞬变电磁法的国产软件SOTEMsoft也于2021年对外发布出售,截止本文撰写该软件仅能够实现单测线剖面的一维等效源半定量快速反演、自适应正则化一维反演、拟二维横向约束反演,单测线反演结果视电阻率断面图采用相对坐标呈现(即横轴是沿测线方位横向距离,纵轴是高程或标高),不具备自动整理使用绝对坐标(如CGCS2000坐标系的X, Y, 标高)的整个工区反演结果视电阻率三维数据体和绘制整个工区顺煤层底板视电阻率等值线图的功能^[10]。针对目前缺乏一种能够兼容磁性源和电性源两种瞬变电磁法勘探成果绘制顺煤层底板视电阻率等值线图方法的现状,本文作者团队结合使用电性源瞬变电磁法SOTEMsoft软件在煤田物探工程经验提出基于Surfer和GeoSoft Oasis montaj软件绘制顺煤层底板视电阻率等值线图的方法,使其能够在兼容磁性源瞬变电磁法的同时,指导地面和半航空电性源瞬变电磁法顺煤层底板视电阻率等值线图的绘制,使其能够更贴近生产一线需求。

1 瞬变电磁法原理

如图1所示,磁性源瞬变电磁法和电性源瞬变电磁法本质区别在于它们激励电磁场的方式不同由于电性源需要接地使长导线与大地构成回路,大地中存在因感应

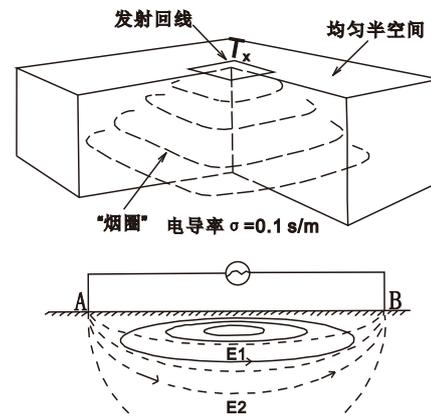


图1 瞬变电磁法发射源装置示意图

(上:磁性源瞬变电磁法^[15];下:电性源瞬变电磁法^[16])产生的水平感应流E1和垂直感应流E2,因此电性源瞬变电磁场中存在生TE和TM两种极化模式,而回线源只存在TE模式^[11]。磁性源瞬变电磁法从发射接收装置类型分为定源装置、中心回线装置、偶极装置和重叠回线装置,其中大定源装置采用发射线圈固定接收线圈在其内部按测网逐点测量的方式外,其他三种装置采用发射线圈和接收线圈同时在测网上进行测点的数据采集。电性源瞬变电磁法观测系统是布置好发射线源AB后,采用短偏移距或长偏移距的方式,在AB发射源导线两侧一定位置范围内进行面积性旁线测量,观测网度要求与磁性源瞬变电磁法的规范相同^[9, 13]。

2 顺煤层底板视电阻率等值线图绘制方法

煤层底板等高线是确定煤田储量计算过程中确定井田边界线深度界线、“包曼法”(等高线法)计算井田储量的重要基础图件^[14],也是物探成果提取顺目标煤层物性参数的重要基础图件,如含水层标高、各煤层顶板和底板标高等。本文提出兼容电性源或磁性源瞬变电磁反演结果的顺煤层底板视电阻率等值线图绘制流程如下:

2.1 煤层底板等高线数据提取

在煤田物探工作过程中,业主方通常提供的煤层底

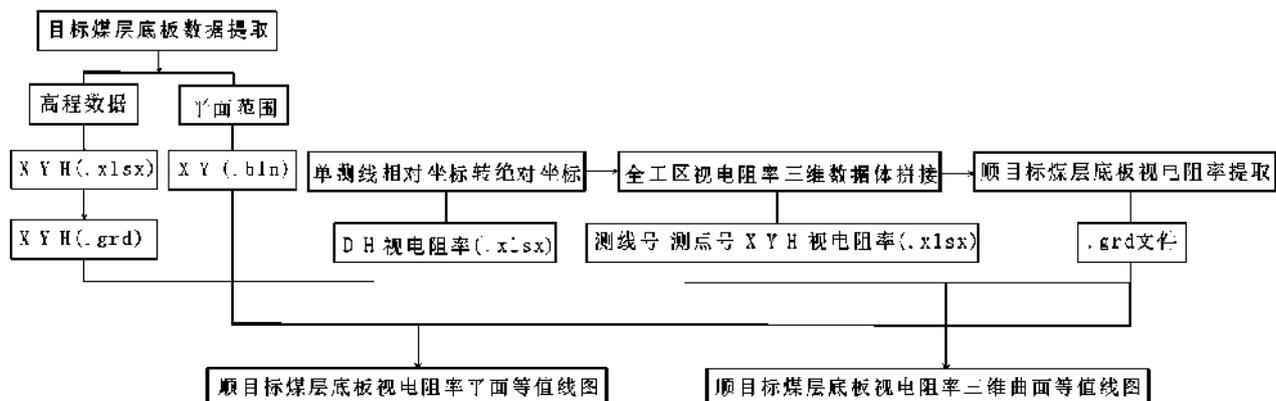


图2 顺目标煤层底板视电阻率等值线图绘制流程

板等高线图通常是以CAD格式或MapGIS格式呈现,因此煤层等高线上高程数据的提取有所差别。CAD文件可在CAD中先进行图面坐标校正至实际绝对坐标后使用查询点坐标功能或使用坐标读取工具进行读取导出;MapGIS文件可在MapGIS或Section软件中进行导出。提取后保存目标煤层的“X Y H”三列数据和煤层的平面范围“X Y”两列数据。

2.2 各测线相对坐标转绝对坐标

当前磁性源瞬变电磁法和电性源瞬变电磁法的处理软件都是对单测线进行一维反演或者二维反演,导出的反演结果文件中横向距离往往是沿着测线方位在反演过程中根据横向步长网格剖分后横向节点对应的横向距离,不完全和实际测点位置完全重合。因此使用相对坐标的单测线反演结果导出后需要转换成网格节点所对应的实际绝对坐标才能够将反演结果和工区实际情况相联系。不妨以各测线起点作为参考点,根据反演节点在测线上的横向距离和测线方位角通过解三角形的途径实现相对

坐标大批量自动化向高斯-克里格投影的绝对坐标转换,计算原理和公式如下^[15]:

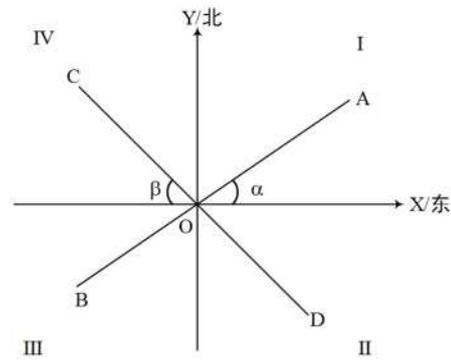


图3 计算节点与测线起点方位关系示意图

在高斯-克里格投影坐标系中,已知以东和北两个方向数值逐渐增大,如图3所示在I、II、III、IV四个象限中,假设已知测线起点坐标为O (X₁, Y₁),则当前节点与测线起点距离为d的情况下,各测线上正演网格剖分后节点绝对坐标(X_i, Y_i)满足下表规律:

表1 绝对坐标与参考点规律统计

计算方向	与 X 轴角度计算	增量	坐标计算表达式
B → A	α = arctan $(\frac{Y_A - Y_B}{X_A - X_B})$	Δx = d · sinα Δy = d · cosα	$X_i = X_1 + \Delta_x \cdot (i - 1)$
A → B			$Y_i = Y_1 + \Delta_y \cdot (i - 1)$
C → D	β = arctan $(\frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C})$	Δx = d · sinβ Δy = d · cosβ	$X_i = X_1 + \Delta_x \cdot (i - 1)$
D → C			$Y_i = Y_1 - \Delta_y \cdot (i - 1)$
O → 北	90°	d	$X_i = X_1$
O → 南	270°		$Y_i = Y_1 + d \cdot (i - 1)$
O → 东	0°		$X_i = X_1$
O → 西	180°		$Y_i = Y_1 - d \cdot (i - 1)$
			$X_i = X_1 + d \cdot (i - 1)$
			$Y_i = Y_1$
			$X_i = X_1 - d \cdot (i - 1)$
			$Y_i = Y_1$

表2 单测线反演网格剖分横向节点坐标转换前后相对关系

单测线网格剖分横向节点相对坐标			转换后横向节点绝对坐标			
D/测线方位距离	H/标高	视电阻率	X/经度	Y/纬度	H/标高	视电阻率

当前磁性源和电性源瞬变电磁反演软件仅能够进行单测线的一维反演或二维反演,三维反演因计算量大、时间成本高仅应用于科研项目技术攻关未在生产一线得到大面积应用转化和商业化市场技术服务。只有将各测

线反演结果相对坐标转换为绝对坐标(即上表D数据列转换为工区高斯-克里格投影的实际经纬度坐标X Y两列数据)才能够将数据处理成果以工区实际坐标呈现在成果图件上。

2.3 整工区反演结果视电阻率数据融合拼接

各测线相对坐标转为绝对坐标后批量整理出“测线号 测点号 X Y H 视电阻率”六列数据的一个文件。本文作者团队使用C#和Fortran两种编程语言混合编程开发了“半航空电性源瞬变电磁预处理与反演结果三维数据体拼接系统V1.0”软件实现了批量自动化的整个工区测线

反演结果网格节点相对坐标转绝对坐标和视电阻率是三维数据体拼接, 该软件使用C#设计GUI界面和按钮事件触发调用Fortran语言编译发布的dll动态链接库实现软件架构设计, 并得到工程实践验证和实际应用, 取得了很好的应用效果, 显著提高了工作效率。

3 算例

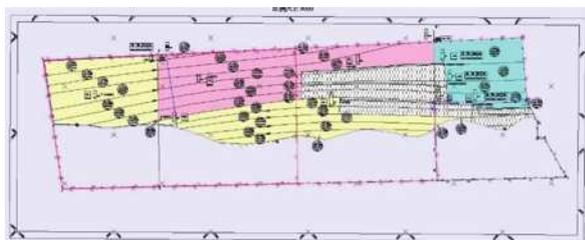


图4 新疆某井田B9煤层底板等高线图

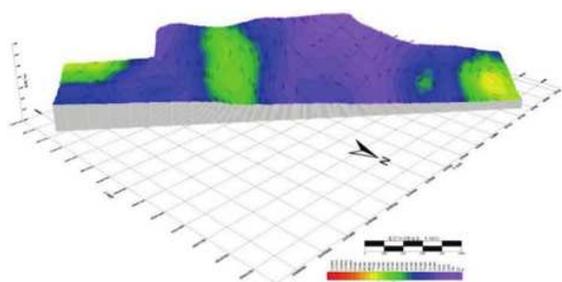


图5 新疆某井田顺B9煤层底板三维曲面视电阻率等值线图

如图4至图5所示, 依据本文提出的绘制方法作者团队针对新疆某井田瞬变电磁勘查项目13个煤层中B9煤层为例完成了井田矿权范围内顺B9煤层底板三维曲面视电阻率等值线图 and 顺B9煤层底板视电阻率平面等值线图的绘制。

4 结论

本文作者团队针对当前公开出版物中鲜有兼容电性源和磁性源两种瞬变电磁法绘制顺煤层底板视电阻率等值线图的现状, 总结出一套基于Surfer和GeoSoft Oasis montaj软件绘制顺煤层底板视电阻率等值线图的方法, 经实践证实该方法可行且高效, 可以在实际生产一线推广使用, 也为从事瞬变电磁法软件开发的技术人员提供思路借鉴。

参考文献:

- [1]刘国兴.电法勘探原理与方法[M].北京:地质出版社, 2005.
- [2]牛之琏.时间域电磁法原理[M].长沙:中南大学出版社, 2007.
- [3]刘洋.地面电法勘探在多层煤采空区积水探测中的应用[J].山东煤炭科技, 2019(07): 183-186.
- [4]李玉昆, 王松涛, 王宝琛.瞬变电磁法在煤矿水文地质勘查中的应用[J].西部探矿工程, 2019, 31(03): 116-117.
- [5]冯旭敏.瞬变电磁探测法在大桥沟煤矿防治水中的应用[J].内蒙古煤炭经济, 2020(06): 162-163.
- [6]赵磊, 胡建华, 周坦, 敖长金, 吴晓明, 王德华, 敖美玲.物探技术在超前探测矿井含水层富水性中的应用[J].采矿技术, 2021, 21(06): 80-82.
- [7]韦乖强, 徐克全, 韦欣.Surfer软件在顺层电性数据提取中的应用[J].煤炭技术, 2016, 35(03): 116-118.
- [8]孟红星.Surfer软件结合编程绘制顺层电性切片图[J].中国科技信息, 2015(7): 73-76.
- [9]T/CGS 002-2021, 电性源短偏移距瞬变电磁法勘探技术规程[S].
- [10]陈卫营, 薛国强.电性源短偏移距瞬变电磁法数据处理软件系统SOTEMsoft[J].地球科学与环境学报, 2021, 43(6): 1050-1056.
- [11]刘树才, 岳建华, 刘志新.煤矿水文物探技术与应用[M].中国矿业大学出版社, 2005.
- [12]陈卫营.短偏移距电性源瞬变电磁法研究[D].桂林理工大学, 2012.
- [13]DZ/T 0187-2016, 地面磁性源瞬变电磁法技术规程[S].
- [14]刘明亮等.现代煤田地质勘探、煤矿物探及测井新技术新方法[M].中国煤炭科技出版社, 2020.
- [15]刘才华, 姚惠明, 沈铭成等.基于VB和Fortran编程开发物探野外施工设计系统软件[J].防护工程, 2020(23): 15-21.