

ParaView 用于矿井瞬变电磁法工作面探测三维可视化

王宇 闫圆圆 张瑞瑞

北京探创资源科技有限公司 北京 丰台区 100067

【摘要】文章介绍了利用多匝、小重叠中心回线装置探测工作面内富水异常体的技术方法，并将ParaView三维可视化程序用于物探数据处理，在经过坐标转换，使用克里金算法对三维散点数据进行插值并网格化后，选择相应的模式进行三维成像，同时使用过滤器进行异常区块提取，最终实现数据三维可视化分析。便于对异常体的精确定位和展示，有利于指导矿方在回采前对工作面内的富水体进行提前疏放。

【关键词】矿井瞬变电磁法；工作面探测；ParaView；三维可视化

为保障煤矿工作面的安全回采，较常用的探测工作面内富水体的方法包括瞬变电磁法、音频电透视法、高密度直流电法等，其中矿井瞬变电磁方法具有数据采集速度快、测量设备轻便、工作效率高、探测深度大、不受巷道长度的限制、易于控制探测方向、可探测不同方位、不同形态的突水构造等优点，成为最普遍、最常用的物探方法^[1]，自推广应用以来，均取得了良好的效果。

1 基本原理

瞬变电磁法的时间域电磁法，它遵循电磁感应原理。它的原理是使用单个不接地回线或磁偶极子向指定方向发射脉冲电磁波作为激发场源（“一次场”），在发射结束后，探测范围内包含目标体的地层受激发场作用产生感应涡流，其强弱受目标体的空间、电性和激发场的特征等因素影响，同时因能量消耗逐渐衰减至消失。应用仪器观测这种涡流感生的电磁场（“二次场”）的强弱、空间分布和时间特性，经数据分析处理后得到探测范围内的水文地质信息。矿井瞬变电磁探测是在地面瞬变电磁法基础上发展而来，机理相同机理，但由于在矿井中探测时受到巷道的限制，得到的信息是整个全空间分布岩层电磁特性的综合反映^[2]（见图1）。

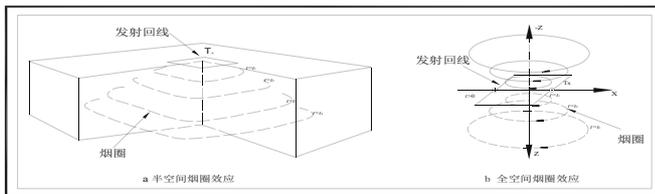
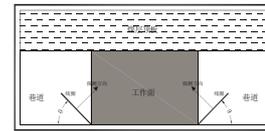


图1 瞬变电磁半空间与全空间烟圈效应示意图

2 施工方法

矿井瞬变电磁法在煤矿井下巷道内进行，测点间距一般2~20m之间（通常为10m，视具体情况可调整）。根据多匝小线框发射电磁场的方向性，可认为线框平面法线方向即探测方向。因此，将发射接收线框平面分别对准煤层顶板、底板或平行煤层方向进行探测，就可得到反映煤层顶底板岩层或平行煤层内部的地质异常数据，在构成工作面的两条平行巷道内布置探测点采集到的数据，可以在处理后得到整个工作面一定探测高度范围内空间的立方体形探测数据体（见图2）。



注：θ 可根据实际探测需要调整
图2 矿井瞬变电磁探测方向示意图

3 探测成果三维可视化

VTK是由Kitware公司开发的一个可视化工具包，可供C++、Python、Java等多种编程语言使用。ParaView是一种基于VTK开发的交互软件，允许不编程的数据和可视化的输入。可用于处理结构、非结构等多种数据类型，可以指定的点、面或网线等多种方式进行显示。ParaView的界面图形交互十分人性化，处理过程简洁，插值方式具有简便合理，操作便捷的优势；同时其允许用户个性化设置过滤器的参数，突出显示目标部分的图像；另外，其可利用属性面板设置独特的色谱、显示方式和透明度等图形属性；同时，其允许用户使用鼠标控制图形的缩放、移动、旋转等功能，用以选择最佳的观测视角。以上功能完全满足矿井瞬变电磁三维可视化的要求^[3]。

在使用ParaView实现数据三维可视化之前，需对实测的二维视深数据进行处理，将其转化为三维数据体，将二维数据坐标转化为三维散点坐标。通常使用的terraTEM仪器采集的数据在每个探测方向和每一层探测角度具有的固定数量，将其按照.vtk的数据格式进行整理便可导入程序成图。导入的数据后首先选择apparent_resistivity、surface模式，以实现用颜色显示视电阻率值，之后通过Choose Preset编辑视电阻率色谱，突出异常体形态及空间分布特征，即可实现初步、整体的数据整体三维可视化。另外，可在属性面板中使用Filters模块，分别通过Contour、Clip、Slice等不同模式展示异常区块、部分数据块或切片数据体，同时可用鼠标对图形进行旋转，找出最佳观测角度或对切片位置进行移动，确定最佳切片位置。相比于传统的切片三维成像，此种方式所得的切片图或等值面图等更贴近实际。

4 工程案例

4.1 工程概况

使用瞬变电磁法对内蒙某煤矿工作面内的煤岩层含水性进行探测，并使用 ParaView 软件完成三维可视化指

4.2 方法布置

本次勘探使用 terraTEM 瞬变电磁仪，重叠回线装置，根据 288m 的面宽，使用的收、发射装置回线为 2.5×2.5 m，探测距离为 28~154m。在工作面东西两侧巷道内分别由切眼向停采线布置 81 个探测点，探测 800m 工作面，每个点设置顶板 30° 、 60° 、 90° 三个探测方向，共布置物理测点 162 个，采集数据点数 486 个。将得到的原始二维数据坐标使用三角函数处理，转化为三维坐标，按照 .vtk 文件的顺序填写坐标和视电阻率，导入到 ParaView 内得到三维数据体（图 3、图 4、图 5）。

导矿方生产。

该工作面主要充含水层为 II -3 煤顶板延安组和直罗组砂岩含水层，工作面顶板砂岩含水组的含水层平均厚度为 184.82m。

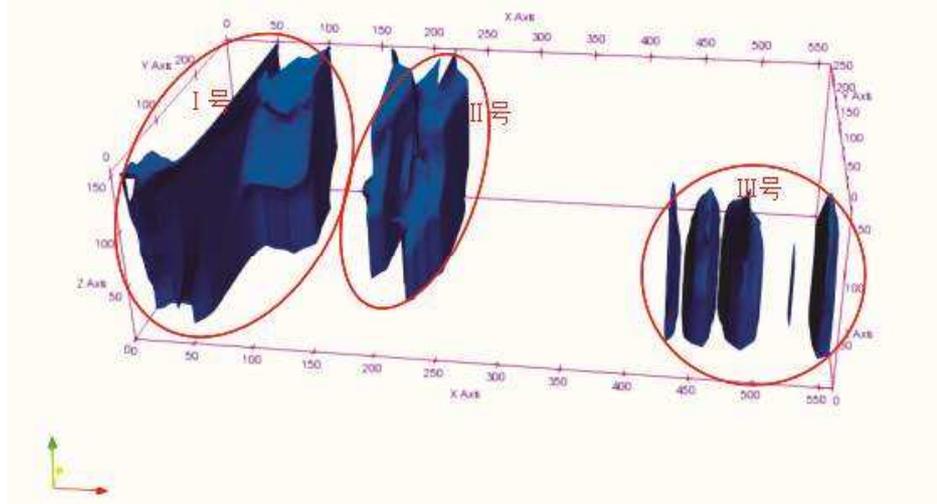


图 3 瞬变电磁工作面探测异常区分布显示图

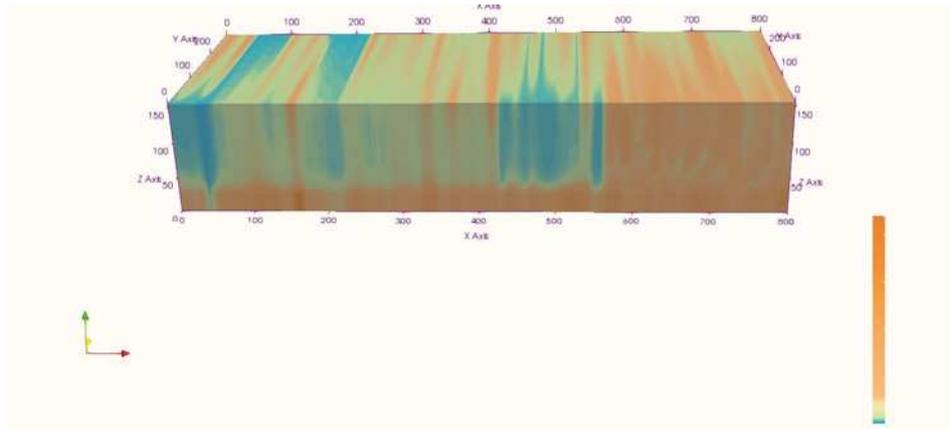


图 4 瞬变电磁工作面探测三维立体图

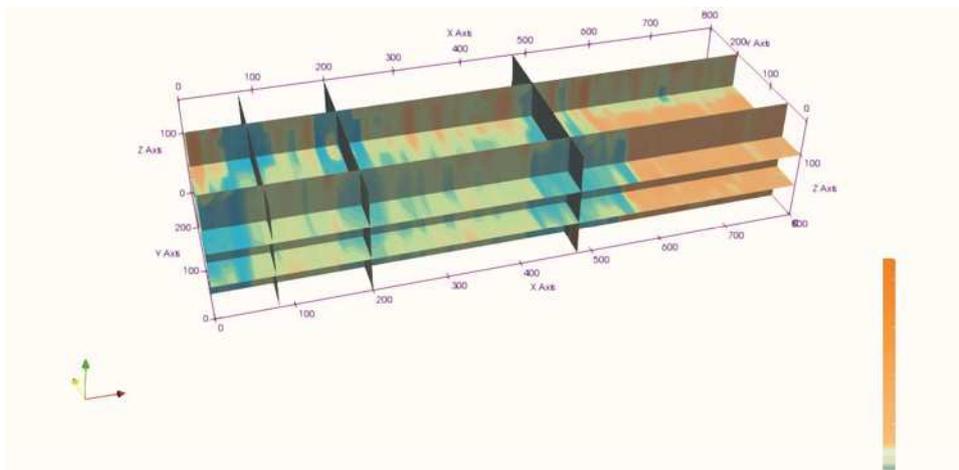


图 5 瞬变电磁工作面探测三维立体切片图

4.3 解释与验证

从图中可以读出,在工作面内存在3处相对低阻异常区,以下方巷道的切眼处为原点描述异常区位置,三处异常区的具体位置分别为I号为回风顺槽(下方巷道)0~50m到胶运顺槽(上方巷道)50~100m范围内,发育高度为25~120m;II号为回风顺槽170~260m到胶运顺槽160~230m,发育高度为25~120m;III号为回风顺槽一侧430~560m范围内,发育高度为20~120m。矿方在胶运顺槽距切眼310m位置处布置1处钻孔,方位角 235° ,倾角 50° ,孔深157m,终孔出水量 $9.7\text{m}^3/\text{h}$;胶运顺槽距切眼560m位置处布置2处钻孔,分别为1号孔方位角 234° ,倾角 50° ,孔深157m,终孔出水量 $10\text{m}^3/\text{h}$,2号孔方位角 270° ,倾角 55° ,孔深147m,终孔出水量 $11\text{m}^3/\text{h}$ 。钻孔验证了II号和III号异常区的富水性,探测成果与钻孔揭露的实际地质情况基本吻合,证明了此方法的有效性,可为一线生产提供更直观,具有指导钻孔布置位置意义的参考资料。

5 结论

(1) 瞬变电磁工作面探测三维可视化对矿井工作面回采签的水害防治具有良好的效果,在指导矿方精确布

置打钻位置具有良好的定位作用,为工作面的安全回采提供了有力保障。

(2) ParaView软件能清晰地展示瞬变电磁探测结果的视电阻率三维立体图,并使用contour功能定位目标视电阻率低值中心,为后续的钻探工作提供更精确的指导作用。

【参考文献】

[1] 蒋邦远.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社,1998.

[2] 张淑源,时志浩,周金.瞬变电磁井下探测三维可视化解释应用研究[J].中国金属通报,2019,(01):1-8.

[3] 石深涵.基于云平台的大数据并行可视化方法研究与实现[D].武汉:长江大学,2018.

【作者简介】王宇(1993-),男,硕士研究生,副部长,主要从事矿井地球物理勘探方向研究。