

Voxler 平台在煤矿富水性勘查中的三维可视化应用

张超¹⁾, 孔媛政¹⁾, 袁国霞²⁾, 耿祥峰¹⁾, 万晓磊¹⁾, 苗德刚¹⁾

1) 山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队, 济南, 250014;

2) 山东省地质测绘院, 济南, 250014

内容提要:煤矿安全是全国安全生产工作的重中之重,特别是近年来煤矿水害时有发生,我国煤矿水文地质条件较为复杂,地表水、老空水、冲积层水和顶板水等各种类型的水害俱全,无论是受水威胁的面积、类型,还是受水害威胁的严重程度,都为世界罕见。瞬变电磁法在煤矿富水性的勘探中已得到广泛应用,但对于结果的解释仍处于二维水平,往往是先在断面图上圈定异常体的范围,再根据相对的位置关系落到平面图上进行解释,因此对于异常体的空间分布描述较差,存在一定的局限性。本文结合山西某煤矿富水性勘查中瞬变电磁法的实测数据,利用 Voxler 平台从三维数据的整合、三维模型的建立、模型的地形校正及白化等关键点进行了研究,绘制了三维视电阻率模型,展示了异常体的空间分布形态,使成果更为直观、立体,从而更好的指导煤矿的安全生产。

关键词:瞬变电磁法;煤矿富水性;Voxler 平台;三维模型

随着计算机行业的高速发展,地球物理勘探技术也有了长足进步,大量的高精尖仪器及相关数值模拟软件被设计开发,并投入生产使用。瞬变电磁法作为一种圈定煤矿富水区的有效手段已被广泛使用(Zhu Ling, 2019),但对其成果的解释往往还停留在二维水平,而本文基于 Golden Software 公司开发的 Voxler 平台,将传统的二维数据整合为三维数据,建立三维地质体模型,直观的展示了异常体的形态和空间分布,提高了地球物理勘探解释的准确性、可靠性。

1 工程概况

1.1 区域地质概况

本次工作区位于山西省灵石县,面积为 0.85 km²,井田内大部分黄土覆盖,在井田北部、东南部有基岩出露。根据地表出露和钻孔的揭露,并结合区域地质资料,井田内地层由老至新依次为:奥陶系中统峰峰组(O₂f):本组在井田内没有出露,为含煤地层基底,由灰色、深灰色厚层状石灰岩夹薄层泥质灰岩、泥质灰岩组成,厚度大于 100 m。

石炭系中统本溪组(C₂b):本组井田北部及东南部沟谷有小面积出露,与下伏奥陶系峰峰组呈平行不整合接触。主要岩性下部为铁铝岩,上部为碎屑岩,本组厚 12.58 m。

石炭系上统太原组(C₃t):本组在井田北部及东南部沟谷有小范围出露,是井田主要含煤岩系之一,岩性主要为灰色、深灰色泥岩,砂质泥岩、灰色砂岩夹三层稳定的石灰岩及九层煤层,与下伏本溪组呈整合接触。厚度 69.63~119.83 m,平均 92.20 m。

二叠系下统山西组(P₁s):本组在井田东部及北部有小面积出露,为井田的另一主要含煤岩系。以滨海沼泽泻湖相为主。岩性为灰白色细-粗粒砂岩、灰黑色粉砂岩、砂质泥岩、泥岩,夹煤层,与下伏太原组呈整合接触。厚度为 22.78~66.37 m,平均 40.14 m。

二叠系下统下石盒子组(P₁x):在井田北部、西部及南西角有较大范围出露,其岩性以砂岩、砂质泥岩及泥岩为主,夹有少量粘土岩及薄煤层等,为一套陆相沉积的陆源碎屑物地层,与下伏山西组呈整合接触。本组最大残存厚度 29.84 m。

注:本文为山西灵石红杏元富煤业有限公司地面物探勘查项目资助的成果。

收稿日期:2019-08-09;改回日期:2019-09-12;责任编辑:李曼。

作者简介:张超,男,1986 年生,长安大学硕士研究生,现从事地球物理相关专业。Email:516716301@qq.com。

引用本文:张超,孔媛政,袁国霞,耿祥峰,万晓磊,苗德刚. 2019. Voxler 平台在煤矿富水性勘查中的三维可视化应用. 地质学报, 93(s1):310~313, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019256.

Zhang Chao, Kong Yuanzheng, Yuan Guoxia, Geng Xiangfeng, Wan Xiaolei, Miao Degang. 2019. Application of voxler platform in 3D visualization of coal mine water yield exploration. Acta Geologica Sinica, 93(s1):310~313.

第四系中、上更新统(Q_{2+3}):大面积分布于沟谷和梁坡之上,与下伏地层呈角度不整合接触。岩性主要为黄色砂土、粘土,下部夹钙质结核,底部可见砾岩透镜体,柱状节理发育,地表冲沟附近常呈直立悬崖并形成陡坎。地层厚 0~96.24 m,平均 20.88 m。

第四系全新统(Q_4):为现代冲积层,分布在井田冲沟中,由亚砂土及砂砾石组成,厚度为 0~10.00 m,平均厚度为 5.00 m,与下伏地层呈角度不整合接触。

1.2 煤层特征

本井田含煤地层为石炭系上统太原组和二叠系下统山西组。井田内共有三层可采煤层,分别为 2、6、10 号煤层。2 号煤层位于山西组上部,煤层厚度 0.03~1.56 m,平均 0.75 m,煤层结构简单,直接顶板为灰色泥岩,底板为灰黑色砂质泥岩,下部为泥岩。本井田南部大部分已剥蚀,属较稳定局部可采煤层,已采空。

6 号煤层位于太原组上段下部,上距 2 号煤层 36.83~88.37 m,平均 57.82 m,煤层厚度 0~1.79 m,平均 0.58 m,煤层结构简单,直接顶板为灰黑色泥岩,底板为灰黑色泥岩,局部为灰色砂质泥岩。本井田南西部局部已剥蚀,属较稳定局部可采煤层,已采空。

10 号煤层位于太原组下段上部。上距 6 号煤层 32.34~62.09 m,平均 45.64 m,煤层厚度 0.51~2.15 m,平均 1.65 m。煤层结构简单,煤层顶板为砂质泥岩,底板为泥岩、粉砂岩、砂质泥岩。属基本稳定可采煤层,局部有采空。

1.3 主要含水层

根据井田岩性特征和含水性质自上而下分别为:

第四系孔隙含水层:主要分布于井田沟谷中,补给条件好,富水性较好,水面埋深为 0.5~3.0 m,受季节影响较大。

二叠系下统下石盒子组砂岩裂隙含水层:在井田内因埋藏浅,以中粒砂岩为主,风化裂隙较发育,易于接受大气降水,补径排条件较好,其富水性受季节影响较大,变化较大。

二叠系下统山西组砂岩裂隙含水层:山西组砂岩发育少且不稳定,平均厚约 3.37 m,属富水性弱的含水层。

太原组砂岩、灰岩裂隙岩溶含水层:太原组在井田内出露于北部、东南部。该组地层在井田内平均

厚度约 92.20 m。为本组主要含水层。

中奥陶统石灰岩含水层:该含水层组在井田内没有出露,主要为中奥陶统的峰峰组,上马家沟组,该组地层深埋于井田深部,距地表深浅不一,地层厚度大,分布广泛,溶洞和裂隙发育。

2 瞬变电磁法工作原理及选用仪器

瞬变电磁法所依据的是电磁感应现象。当发射机以交变电流 I_1 供入发射线圈时,就在该线圈周围建立了交变磁场 H_1 , H_1 称为一次场。若这个交变磁场穿过地下良导体,则由于电磁感应,可使导体内产生二次感应电流 I_2 (这是一种涡旋电流)。这个电流又在周围空间建立了交变磁场 H_2 , H_2 称为二次场或异常场。利用接收线圈接收二次场或总场(一次场与二次场的合成),在接收机上记录或读出相应的场强值,并分析它们的分布规律,就可以达到寻找有用矿产或解决其它地质问题的目的(Guo Fengwei et al., 2019)。

本野外工作使用的是加拿大凤凰公司的 V8 电法工作站,采用定源回线装置,选择工作参数:发射线框:300 m×300 m;增益:4×4;电流:12~18 A;积分时间:不小于 90 s。

根据测区地形地质情况,瞬变电磁勘探测线方向为东西向,基本线距 40 m,基本点距 20 m,共布设测线 17 条,物理点 1148 个。

3 三维模型的建立及资料解释

3.1 模型建立

建立三维模型时,需要每个测点精确的空间位置及其特定的属性值(视电阻率、波速等),因此要对每个测点的实测数据进行去噪、滤波及反演(Liu Yi et al., 2011),得到每个测点不同深度对应的视电阻率值,然后赋予其空间直角坐标系属性,将数据转化为 X、Y、Z 和属性列(视电阻率、波速等)四列(Chang Xiaojun et al., 2019);再将整个工作区内的所有测点进行整合,形成完整的三维数据。

将整合好的三维数据导入 Voxler 平台中,对其进行网格化,网格属性管理器中常规属性的平滑度、几何属性的解析度及间隔三个参数共同决定了三维模型的精细程度,其中几何属性的解析度和间隔是两个相互关联的参数,解析度越高间隔越小,反之亦然。网格化程度越精细三维模型刻画效果越逼真,相应的网格计算时间也越长,因此网格参数的选择应综合考虑精度要求及所使用的计算机性能。

网格结束后选择形体渲染,输出三维地质模型,在属性管理器中可以对模型的渲染方式、渐变色谱及透明度等属性进行设置,使其达到预期效果;再将三维数据中的 X、Y、Z 三列数据进行网格化,网格的间隔大小同样决定了地形地貌的刻画程度,也同样取决于精度要求及计算机性能。网格后生成的 .grd 文件即为地形文件,将其与三维模型的网格文件相关联,利用 Math 语句对其显示效果进行限定,使高于地表及地形文件范围以外的部分不予以显示;调整地形文件的色标显示,使其区别于三维地质体的色标文件,显示出地形效果,完成整个三维模型的建立过程。

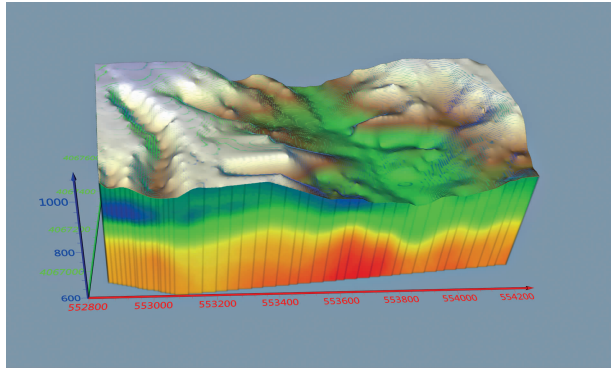


图 1 地形校正及白化后的三维模型
Fig. 1 Three-dimensional model after topographic correction and whitening

3.2 资料的解释

电法勘探资料反映了地下介质的电性特征,正常情况下煤系地层的视电阻率约为 $40\sim60\ \Omega\cdot\text{m}$,当地层受构造运动等地质作用的影响时,砂岩、灰岩常发育有破碎裂隙,造成砂岩、灰岩富水性增强,引起岩石的导电性显著增强,地层视电阻率明显降低,这就是说寻找煤层顶板富水区的问题就转换为寻找地层中低阻异常分布的问题。按照区域电性特征和本次实测视电阻率值认为,视电阻率值小于 $40\ \Omega\cdot\text{m}$ 的异常区为富水区。

首先利用矿方提供的煤层顶板等高线图提取工作区内所有测点的煤层顶板标高,按照添加地形文件的操作方式,将工作区煤层顶板等值线平面图导入 Voxler 平台中;其次将三维模型中视电阻率大于 $40\ \Omega\cdot\text{m}$ 部分的透明度修改为 0,便得出了富水区的空间分布情况,以及富水区与煤层顶板的相对空间关系,通过视角的旋转可以从任意角度观察异常体的形态及分布(Li Donglin et al., 2017)。结合已知的采掘图及井上井下对照图,对于煤层顶板以上

的富水区推断解释为煤层顶板富水,煤层顶板以下的富水区推断解释为采空区富水。通过 Voxler 平台可以更清晰、更直观的了解煤层顶板的富水情况和煤层采空区的充水情况,从而有效的指导煤矿安全生产,减少重大事故的发生率。

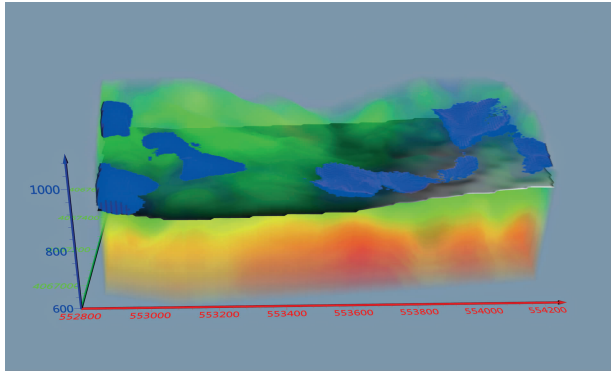


图 2 异常空间形态的综合展示
Fig. 2 Comprehensive display of abnormal spatial form

4 结论

- (1)Voxler 平台将原本二维的平面解释转化为三维的立体解释,可以全面直观的描述出异常区的形态和空间分布,提高了物探解释的准确性。
- (2)通过将三维地电模型、多平面多角度的切片图及煤层顶板等值线图相结合,可以更直观的理解异常的空间位置,对钻探和煤矿安全生产有非常重要的指导作用。
- (3)无论是三维立体解释还是二维平面解释,都是建立在野外工作的基础之上,这就要求在野外作业时,确保原始数据的质量,从而保证物探解释的可靠性。

References

Chang Xiaojun, Ge Weiya, Zhou Dankun, Jia Junyuan, Lei Yan. 2019. 3D visualization of urban geological survey data based on Voxler platform. Urban Geology, 14 (2): 6 ~ 11 (in Chinese with English abstract).

Guo Fengwei, Sun Erfeng. 2019. Application of water-rich area prospecting of coal mines with TEM. China Energy and Environmental Protection, 41 (3): 108 ~ 112 (in Chinese with English abstract).

Li Donglin, Gu Huidong. 2017. A research on TEM data based on Voxler multi-angle 3D visualization. China's Manganese Industry, 35 (1): 145 ~ 146 (in Chinese with English abstract).

Liu Yi, Liu Shucui, Yan Sai, Sun Lin. 2011. Research on detecting property of water-bearing in coal gob using large fixed TEM. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 8 (1): 10 ~ 15 (in Chinese with English abstract).

Zhu Ling. 2019. The Application of transient electromagnetic method in coal mine water control. Energy Technology and Management, 44 (2): 162 ~ 163 (in Chinese with English abstract).

abstract).

参 考 文 献

常晓军,葛伟亚,周丹坤,贾军元,雷延. 2019. 基于 Voxler 平台的城市地质调查数据的三维可视化. 城市地质, 14(2):6~11.
郭峰伟,孙二峰. 2019. 瞬变电磁法在煤矿富水区探测中的应用. 能源与环保, 41(3):108~112.

李东林,顾慧冬. 2017. TEM 数据基于 Voxler 多角度 3D 可视化研究. 中国锰业, 35(1):145~146.
刘赓,刘树才,闫赛,苏林. 2011. 大定源瞬变电磁法在探测煤矿采空区富水性中的研究. 工程地球物理学报, 8(1):10~15.
朱玲. 2019. 瞬变电磁法在煤矿防治水工作中的应用. 能源技术与管理, 44(2):162~163.

Application of voxler platform in 3D visualization of coal mine water yield exploration

ZHANG Chao^{*1)}, KONG Yuanzheng¹⁾, YUAN Guoxia²⁾,
GENG Xiangfeng¹⁾, WAN Xiaolei¹⁾, MIAO Degang¹⁾

1) No. 801 Hydrogeology and Engineering Geology Brigade of Shandong Exploration Bureau of
Geology and Mineral Resources, Jinan, Shandong, 250014;
2) Shandong Geo-Surveying & Mapping Institute, Jinan, Shandong, 250014
** Corresponding author: 516716301@qq.com*

Abstract

Coal mine safety is the top priority of national safety production. Especially in recent years, coal mine water disasters have occurred frequently. The hydrogeological conditions of coal mines in China are complex which have various types of water damage, such as surface water, goaf water, alluvial water and roof water. It is rare in the world, whether the area or type threatened by water or the severity of the threat of water damage. Transient electromagnetic has been widely used in the exploration of water-rich coal mines, but the interpretation of the results is still at the two-dimensional level. It is often first to define the range of anomalous bodies on the cross-section, and then fall on the plan according to the relative positional relationship. So the spatial distribution of the anomalous body is poorly described and has certain limitations. This paper combines the measured data of the transient electromagnetic method in the water-rich exploration of a coal mine in Shanxi Province, and uses the Voxler platform to study the key points of three-dimensional data integration, three-dimensional model establishment, model terrain correction and whitening, and draws three-dimensional apparent resistivity. The model shows the spatial distribution of the anomalous body, makes the results more intuitive and three-dimensional, and thus better guides the safe production of coal mines.

Key words: transient electromagnetic method; coal mine water yield property; voxler platform; three-dimensional model