

# 地面瞬变电磁法在煤田岩层含水层富水区探测的应用

刘玉宁

中国煤炭地质总局物测队

**摘要:** 地面瞬变电磁法是电法勘探中常用的一种, 通过研究不同地层(岩性)的电阻率存在明显差异, 与已知地质资料结合可以评价含水层地层和地质构造的含水性等目的。在煤矿富水性探测中瞬变电磁法可以用于查明岩层的含水层富水区情况。此次研究利用地面瞬变电磁法对某煤田含水层富水区进行探测分析, 为煤矿安全生产提供基础资料。

**关键词:** 地面瞬变电磁法; 富水区; 资料整理; 定性解释

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.11.122

## 引言

地面瞬变电磁法在煤田含水层富水性探测的相关研究, 是提高煤矿开采安全与科学屏蔽不利因素的重要措施。因为含水层富水区的存在, 导致煤矿开采与安全生产方面遭受威胁, 所以为进一步了解含水层富水区分布状态, 获取更精准的地质信息资料, 需应用地面瞬变电磁法进行探测。该方法又被称之为“纯异常场法”, 其核心在于激发阶跃波形电磁脉冲, 从而了解煤矿地层岩性的地电信息条件。地面瞬变电磁法在含水的断层及岩层的电阻率远小于不含水岩层的电阻率即高阻围岩中寻找低阻地质体时表现出极佳的灵敏度, 因此近些年在煤矿含水层的富水性探测中应用频繁。

## 一、地面瞬变电磁法原理及特点

瞬变电磁法的工作原理是基于电磁感应定律。瞬变电磁法(TEM)是地球物理勘探方法的一种, 它利用电磁感应原理来探测地下结构。具体来说, 首先在地面上通过一个发射线圈激发出瞬变电流, 从而产生向地下传播的瞬变磁场。这个磁场会在地下介质中产生感应电流, 也称为涡流。当一次场(即直接由发射线圈产生的磁场)消失后, 这些涡流并不会立即消失, 而是随时间衰减, 形成二次场。通过测量这个随时间变化的二次场, 可以推断出地下介质的电性参数。瞬变电磁法的探测过程一般分为早期、中期和晚期, 不同时间段的电磁场对应不同的深度范围, 从而实现对不同深度地层的探测。瞬变电磁法的特点包括时间域与空间域的可分性、探测深度大、地形限制小、工作效率高以及对低阻体敏感等。瞬变电磁法的一个显著特点是时间上的可分性,

即由于观测的是纯二次场, 不存在一次场源的干扰, 这允许在不同延时观测主要的频域成分, 进而控制探测的深度范围。空间上的可分性则是指不同频率的成分在地层中的传播速度不同, 因此可以通过观测不同时间的二次场来区分不同的空间位置。此外, 瞬变电磁法具有较大的探测深度, 受地形影响较小, 适用于复杂地形条件下的勘探。它的工作效率较高, 尤其适合较大面积、高效率的地质勘查工作。该方法对于寻找高阻围岩中的低阻地质体特别灵敏, 且在施工过程中可采用同点组合观测方式, 与探测目标有最佳耦合, 异常响应强, 形态简单, 分辨能力强。

## 二、项目概况

本次勘探区为山西某矿, 区内最高点位于测区东部山上, 海拔+1452.78m, 最低位于测区西北角沟内, 海拔+1251.23m, 相对高差201.0m。井田内地表无常年性流水, 仅在雨季才有水流过井田, 向北汇合后注入汾河。井田内地层大部分面积被第四系黄土覆盖, 部分出露二叠系上统上石盒子组, 现由老至新依次为: 奥陶系、石炭、二叠系、第四系。根据以往钻孔揭露地层本次瞬变电磁法拟视电阻率反映的特点的主要地层电性参数为: 新生界视电阻率 $5-20 \Omega \cdot m$ ; 二叠系视电阻率 $20-45 \Omega \cdot m$ ; 石炭系视电阻率 $45-65 \Omega \cdot m$ ; 奥陶系视电阻率 $65-120 \Omega \cdot m$ 。

## 三、地面瞬变电磁法对富水性分析的具体实施

### (一) 工作装置的选择及测线布置

在本次研究中, 我们选择了瞬变电磁法中大定源框内回线装置作为核心工具, 这种装置在瞬变电磁探测领

域近些年已经被广泛采纳，它融合了中心回线的场地优势与定源回线的测量灵活性，其明显优势在于能够顾及水平和垂直方向上的电磁变动。整合探测要求与相关数据，设置了三个探测试验点，试验位置选择在580线160点至320点和580线的740点至900点，位于测区的深部和浅部。根据测区地形地质情况，此次瞬变电磁勘探线方向为东西向，布置测线20条，基本线距40m，坐标点820个，试验点17个（占坐标点2%），检测点25个（占坐标点3%），共计物理点862个。

## （二）地面瞬变电磁法实施参数

地面瞬变电磁法在煤田的含水层富水性探测实施中，为达到地面瞬变电磁探测的目的与提高探测有效性，必须在探测实施前进行试验工作，并对试验数据分组对比，根据对比结果去观察探测质量，继而制定更完善的实施参数方案。

### 1. 试验段内容

此次试验区域的最大勘探深度约为600m左右，试验位置选择测区深部和浅部。

由试成果获得适合本区的工作参数为发射边框600m×600m、发射电流16A、发射频率4Hz、叠加次数： $\geq 128$ 次。施工期间要求所有参数必须保持准确。采取“S”形将线框余线进行平铺，并注意检查供电导线必须满足绝缘电阻大于 $2M\Omega$ 的要求。

## （三）探测数据处理与分析

### 1. 探测资料处理

地面瞬变电磁法对岩层含水层的富水性探测中，必须高质量采集野外原始数据，包括瞬变电磁数值与地质条件、环境等参数，并对资料逐条验收与处理，根据探测标准完成室内评级。若发现原始数据出现畸变（剔除），需迅速锁定异常区域，并分析出现异常的原因，在此基础上重新对异常区域进行布置检测。试验探测过程中，如原始数据并未出现异常，将其转变为视电阻率、视深度等参数，进行滤波、一维反演等处理，从而对数据进行准确解释，为富水性探测视电阻率等探测参数确定做好准备。

图1 对地面瞬变电磁法探测数据处理流程示意图。

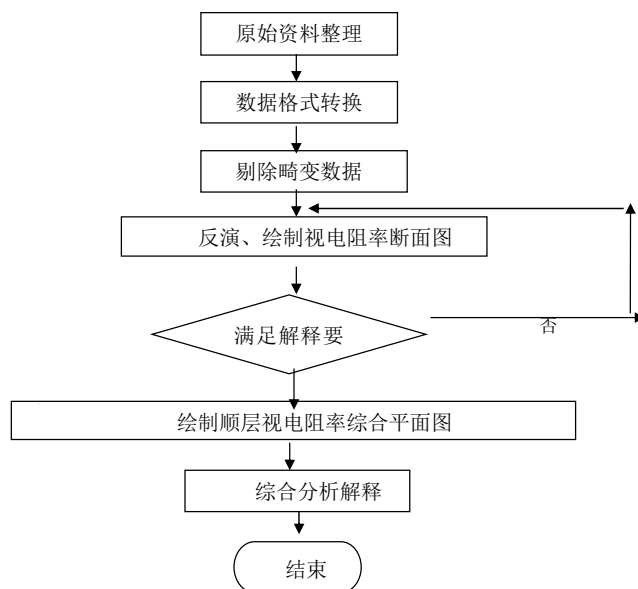


图1 地面瞬变电磁法应用数据处理流程示意图

### 2. 探测资料解释

定性描述是基于当沉积岩石层分布均衡在垂直方向上通常呈层状，但其在横向的变化并不显著。所以，电法的电性响应特点在电法中在视电阻率截面图显示为：视电阻率等值线持续均匀地变化是体现在纵向上，而视电阻率等值线则较为平稳、没有显著的褶皱变化则是体现在横向上。假如沉积岩石层的均衡完整性被破坏，例如由地应力引发的裂缝注水、地下水侵蚀导致的岩溶、煤炭开采后产生的冒落区、裂缝充水等现象，那么在视电阻率剖面图上，其电性响应特性可能呈现为异常，导致视电阻率等值线出现不同级别的弯曲和跳跃，形成一个封闭态。因此，依据计算机反演得到的视电阻率剖面图以及相关的地质数据，我们可以明确地确定勘探区内各个地质异常体的空间分布。

岩层富（含）水性的解释，剖面图上主要是依据视电阻率的横向变化特征，解释原则是富水地段的异常是低阻反映，富水性越强视电阻率越低，或在剖面图上反映为“波谷”形状的两高夹一低异常特征（也称为“V”字型相对低阻异常）。平面图上富（含）水区的解释也是依据视电阻率的变化，富（含）水区主要是平面上的低电阻值封闭圈，极小值封闭圈为强富水区，次一级的极小值封闭圈为弱富水区。

定量解释：当均匀地层中发育有裂隙、地下水等异

常地质体时, 可以通过仪器采集数据得到异常体的相关电性变化信息, 根据获得的视电阻率结果, 沿测线方向切取剖面, 分析其数据高低变化及形态分布特征, 并结合已知钻孔资料, 就可推断出有关地质体的相对定量解释标准。

### (六) 探测结果分析

结合已知资料, 本次电法勘探在4号煤层顶板砂岩含水层视电阻率综合平面图上圈定异常区7个, 推断为富水区, 分别标注为4md-1至4md-7, 其中4md-2、4md-3、4md-6富水区富水性较强, 4md-1、4md-4、4md-5、4md-7富水区富水性较弱。9号煤层顶板K<sub>2</sub>灰岩含水层视电阻率综合平面图上圈定异常区9个, 推断为富水区, 分别标注为9md-1至9md-9, 其中9md-2、9md-5富水区富水性较强, 9md-1、9md-3、9md-4、9md-6、9md-7、9md-8、9md-9富水区富水性较弱。现将异常区分述如下: 一方面, 4号煤层顶板砂岩含水层富水区。4md-1异常区位于测区西南部, 范围较小, 推断为弱富水区。4md-2异常区位于测区的中西部, 范围较大, 视电阻率值较低, 推断为较强富水区, 4md-2异常区北部受高压线影响, 数据畸变严重, 控制程度差。4md-3异常区位于测区西北部, 范围较大, 异常区内F6断层穿过, 推断4md-3异常区为较强富水区, 4md-3异常区西部受高压线影响, 数据畸变严重, 控制程度差。4md-4异常区位于测区中部4md-2异常区东南部范围较小, 推断为弱富水区, 4md-4异常区北部受高压线影响, 控制程度较差。4md-5异常区位于测区中部4md-2异常区东北部范围较小, 推断为弱富水区, 4md-5异常区受高压线影响, 控制程度差。4md-6异常区位于测区东北部4md-3异常区东部, 4md-6异常区范围较大, 区内有F6断层穿过, 推断为较强富水区。4md-7异常区位于测区中东部4md-4异常区东部范围较小, 推断为弱富水区, 4md-4异常区受高压线影响, 控制程度差。另一方面9号煤层顶板K<sub>2</sub>灰岩含水层富水区。9md-1异常区位于测区西南部异常区范围较小, 推断为弱富水区。9md-2异常区位于测区西北部范围较大, 异常区内有F6断层穿过, 推断为富水性较强富水区。9md-2异常区西部受高压线影响, 数

据畸变严重, 控制程度差。9md-3异常区位于测区中部9md-1异常区的东北部, 9md-3异常区范围较小, 推断为弱富水区, 9md-3异常区东部受高压线影响, 控制程度差。9md-4异常区位于测区中部9md-3异常区的北部, 异常区范围较小, 推断为弱富水区, 9md-4异常区受高压线影响, 控制程度差。9md-5异常区位于测区东南部异常区范围较大, 推断为富水性较强富水区。9md-6异常区位于测区东南部9md-3异常区的东部, 异常区范围较小, 推断为弱富水区, 9md-6异常区受高压线影响, 控制程度差。9md-7异常区位于测区东北部, 异常区范围较小, 推断为弱富水区, 9md-7异常区下有巷道通过, 控制程度差。9md-8异常区位于测区东南部9md-5异常区的东北部, 9md-8异常区范围较小, 推断为弱富水区, 9md-8异常区受高压线影响, 控制程度差。9md-9异常区位于测区东部9md-8异常区的北部, 范围较小, 推断为弱富水区, 9md-9异常区受高压线影响, 控制程度差。

### 结语

综上所述, 地面瞬变电磁法在煤矿岩层含水层富水性探测中具有重要作用。通过这种方法, 可以查明煤系岩层主要含水层的富水性情况, 为煤矿的安全生产和资源开发提供重要的技术支持。以山西某煤矿开采煤田区域为研究对象, 利用地面瞬变电磁法对煤系主要含水层的富水性进行探测与圈定, 有效证明了地面瞬变电磁法在煤田含水层富水性探测中的应用价值。

### 参考文献

- [1] 李刚. 地面瞬变电磁技术在探测煤层顶底板富水区分布中的应用[J]. 中国煤炭, 2020, 46(08): 57-62.
- [2] 孙喆. 基于瞬变电磁法勘探地下富水状况[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018, (23): 152-154.
- [3] 刘兵. 瞬变电磁法在煤矿富水区探测中的研究[J]. 山西化工, 2017, 37(06): 119-121.
- [4] 刘文伍, 张钊. 煤矿地面瞬变电磁法应用研究[J]. 能源与节能, 2017, (11): 2-5.
- [5] 李飞. 煤矿防治水地面物探技术的综合应用[J]. 煤炭与化工, 2020, 43(10): 43-46.