

# 四维电法探测技术在煤矿防水注浆 检测中的应用与研究

周明磊, 王秀东, 汝亮, 朱裕振, 钟伟杰, 沈立峰

(山东省煤田地质规划勘察研究院, 山东 泰安 271000)

摘要: 鲁中某煤矿西边界煤柱防治水为注浆加固工程, 为检测注浆工程效果, 确保煤矿安全生产, 采用瞬变电磁法进行勘查, 查明采空区的位置、范围、深度及含水特征, 同时通过对比注浆前后视电阻率等值线形态变化, 应用四维电法技术对所有注浆钻孔情况进行评价, 为煤矿防水注浆工程质量提供物探技术依据。

关键词: 四维电法; 瞬变电磁; 采空区; 防水注浆检测

中图分类号: P631.325 文献标志码: A 文章编号: 1003-1375(2013)04-0006-04

## 0 引言

鲁中某煤矿由于开采时间较长, 西部小矿老空水补给水源复杂, 动水量大, 加上西边界煤柱过水通道过水量存在逐渐降低趋势, 造成老空水位逐年升高。西部小矿老空水大量进入矿井, 而且西边界两处煤柱存在重大溃水隐患, 严重威胁矿井安全。经综合分析, 确定西边界煤柱防治水工程为注浆加固, 共完成 29 个钻孔, 其中注浆孔 25 个, 机动检查孔 4 个。为了检测注浆工程效果, 确保煤矿安全生产, 需要对本次注浆情况进行物探检测。

本次采用的物探方法为瞬变电磁法 (TEM)。这是一种时间域人工源电磁勘探方法, 它利用不接地回线或接地线源向地下发送一次场, 在其激发下, 地下地质体中激励的感应涡流将产生随时间变化的二次场。二次磁场随时间衰减的规律主要取决于地质体的导电性、体积规模和埋深、发射电流的形态和频率, 因此, 我们可以通过对二次场的提取和分析, 来探测地质体的空间分布情况<sup>[1-2]</sup>。

## 1 勘查区地质地球物理特征

勘查区的主要地层有: 第四系、侏罗系红砂岩、煤系地层, 煤系地层以粉砂岩、砂岩为主, 含可采煤层 4 层 (9 煤、11 煤、13 煤、15 煤)。

根据钻孔测井资料可知, 测区内从泥岩→粉砂

岩→细砂岩→中砂岩→煤层→灰岩其电阻率值逐渐升高 (表 1)。正常地层组合条件下, 在横向上电性都有规律可循, 地层电性呈现出规律均一的响应特征, 表现为电阻率等值线相对平滑, 无剧烈的梯度变化; 在纵向上地表干燥, 表现为第四系视电阻率相对较高, 侏罗系地层以砂岩、泥岩互层为主, 在上部地层电阻率为中低阻表现, 在中下部由于隔水层影响, 岩层含水量相对较低, 视电阻率表现为相对高阻, 因此整套地层的电阻率在纵向上呈现为高一低一中一高的特征响应, 视电阻率曲线尾支为 HA 型。

表 1 地层电性参数一览表

地层	岩性	平均视电阻率/ ( $\Omega \cdot m$ )
第四系 Q	黄土、粘土、砂类等	5~15
侏罗系红层 (J <sub>3</sub> )	泥岩、粉砂岩、细砂岩互层	10~30
煤系 P+C	泥岩、砂岩、煤、灰岩	40~500
奥陶系 O	石灰岩	>500

## 2 工作方法与技术

本次采用加拿大产 PROTEM-57 瞬变电磁仪, 探测目的层是深度 500 m 以内的采空区及注浆区。为了获得施工所需要的一些合理的待定参数, 施工前在已知采空区和工区进行了一定量的试验工作, 根据试验结果和以往经验, 选择 360 m × 360 m

收稿日期: 2013-05-03

作者简介: 周明磊 (1962—), 男, 山东即墨人, 研究员, 主要从事物探新技术、新方法的应用与研究, 以及地质报告、物探专业报告的编制工作。E-mail: ZmL426@163.com

的单匝发射线框, 采样频率为 6.25 Hz, 供电电流为 17 A, 采集道数为 30 道。

数据处理分为预处理和解释处理。预处理包括数据转换与质量检查、调整极性, 解释处理包括噪音剔除、计算 BZ、计算全程视电阻率、一维反演计算、拟二维剖面、拟三维切片等, 并将数据转换为 Surfer 绘图软件所需的格式, 利用 Surfer 软件绘制 TEM 电阻率等值线断面图以及视电阻率顺层切片平面图。在综合分析各测线视电阻率等值线断面图的基础上, 对低阻异常体进行分析研究, 再通过对主采煤层视电阻率顺层切片图的综合分析, 对煤层、煤层采空区及注浆区的物性条件、含水异常区进行地质解释, 圈定低阻异常区在平面上的范围, 检测注浆工程质量。

### 3 成果分析

通过对比钻探、试验资料, 本次在综合已知资料、分析对比的基础上确定: 煤系地层上界视电阻率

值在  $15 \sim 35 \Omega \cdot \text{m}$  之间, 煤系地层视电阻率值在  $30 \sim 50 \Omega \cdot \text{m}$ , 奥灰视电阻率值大于  $45 \Omega \cdot \text{m}$ 。一般情况下, 如果注浆效果较好, 那么其附近的视电阻率比其周围充水采空区的视电阻率值明显增高; 反之, 如果注浆效果不理想, 则其视电阻率值和其周围充水采空区阻值相比变化不大。

#### 3.1 视电阻率平面分析

图 1 为顺煤层切片组合图, 从上至下依次为红层、9 煤、11 煤、13 煤、15 煤, 结合施工时红层、11 煤、13 煤层水位, 综合对比可以得出: 测区西边界的低阻异常是老空区积水的表现, 如 9-1 # 异常、11-3 # 异常; 而测区东边界的异常推测是由于断层渗水所致, 如 9-3 #、9-4 #、11-4 #、11-5 # 异常; 由于在 9-2 #、11-7 # 异常位置存在巷道, 推测该处低阻异常为巷道影响; 9-5 #、11-6 # 异常在红层位置也存在该低阻异常, 推测 9-5 #、11-6 # 异常为 1998 年粘土注浆和红层富水引起。

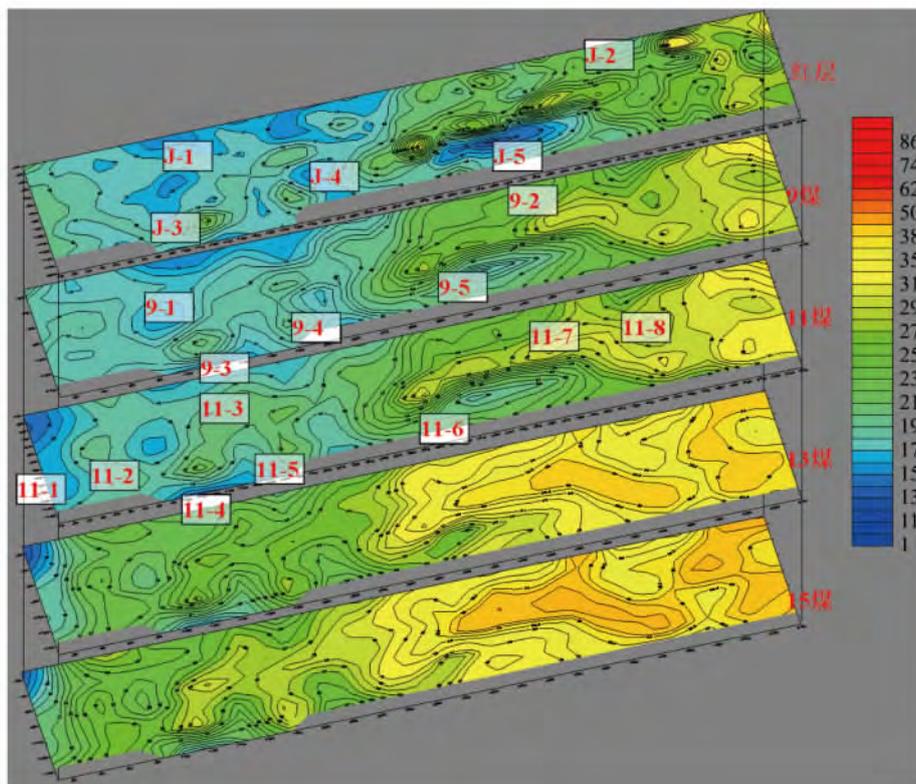


图 1 立体顺层切片组合图

以 11 煤为例(图 2), 11-1 #、11-3 #、11-4 # 低阻异常推测是由于煤层开采后采空区充水所致; 11-2 # 异常推测是注浆效果不够理想引起, 因为从断面

图上分析判断注 14 #、注 21 # 两孔的注浆效果均较差; 11-6 # 异常推测是由于 1998 年粘土注浆引起, 和边界采空区联通的可能性不大; 11-5 # 异常附近

由于断层发育,推测为断层充水的反映;11-7#异常推测由巷道引起,11-8#异常原因不祥,推测可能存在裂隙。

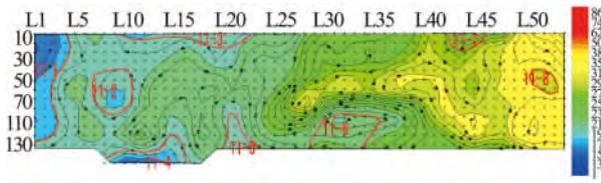
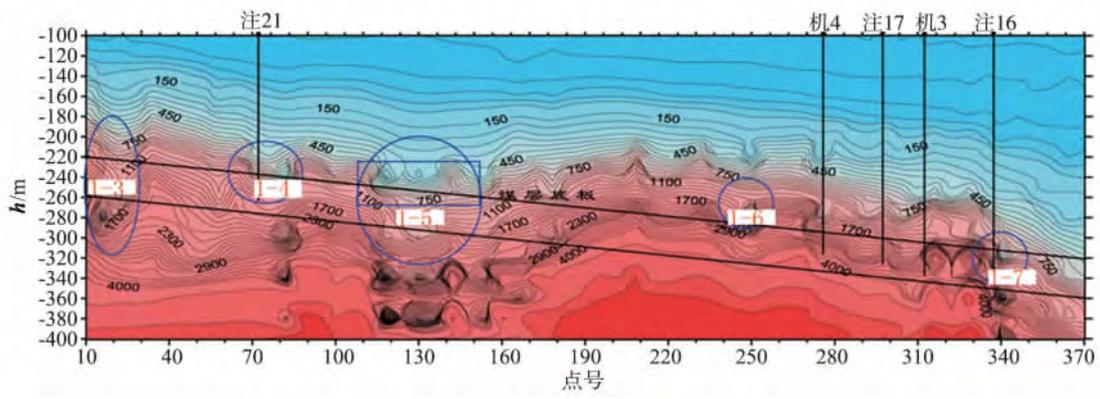


图2 11煤层顺层视电阻率等值线切片平面图

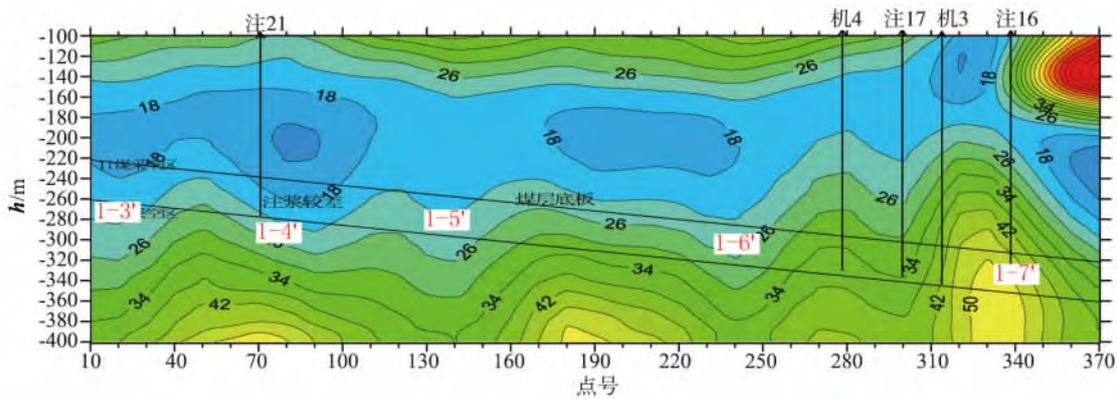
### 3.2 注浆前后视电阻率断面图对比

为了有效地评价注浆效果,将所测的54条测线

转换成沿煤柱走向的测线13条,与注浆前瞬变电磁探测的视电阻率等值线断面图进行对比、分析。以转换后的1线为例,注浆前图3a中10~40号点处的1~3#异常、120~150号点处的1~5#异常和230~260号点处的1~6#异常在注浆后的图3b中同样呈“V”形低阻异常,为采空区充水的反映。图3a中70~100号点处的1~4#异常在注浆后图3b中依然呈低阻异常,推断70号点处的注21#注浆孔效果不够理想。图3b中250~340号点处的注浆孔位置呈高阻反映,推断该处的机4#、注17#、机3#和注16#注浆孔效果较好。



a 注浆前瞬变电磁视电阻率断面图



b 注浆后瞬变电磁视电阻率断面图

图3 注浆前后的瞬变电磁视电阻率断面图对比

## 4 结论

本次勘查以瞬变电磁法为主要技术手段,应用四维电法探测分析技术,通过对其反演数据的认真研究,结合测区地质条件和钻井资料,基本查明了采空区的位置、范围、深度及含水特征,同时通过对比注浆前后视电阻率等值线形态变化,对所有注浆钻

孔情况进行了瞬变电磁探测评价:注浆质量较好的钻孔19个,质量一般的钻孔7个,注浆效果较差的钻孔3个。相关资料及实际开采情况证明探测效果良好,为煤矿安全生产及采空区进一步治理提供了可靠的技术支持和安全保障,为煤矿防水注浆检测提供了物探技术依据<sup>[3]</sup>。

**参考文献：**

- [1] 牛之琰. 时间域电磁法原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 2007.
- [2] 朴化荣. 电磁测深法原理[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [3] 薛国强, 李 貅, 底青云. 瞬变电磁法理论与应用研究进展[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(4): 1195-1200.

## Application and Study of Four-dimensional Electric Method in Detection of Coal Waterproof Grouting

ZHOU Ming-lei, WANG Xiu-dong, RU Liang, ZHU Yu-zhen, ZHONG Wei-jie, SHEN Li-feng  
(Shandong Provincial Research Institute of Coal Geology Planning And Exploration, Tai'an 271000, China)

**Abstract:** In western boundary of a coal mine in middle Shandong area, a grouting reinforcement works is done to prevent hidden trouble caused by water. To detect the effect of grouting, and ensure the safe production of coal, we use the transient electromagnetic method to identify the location, scope, depth, and aquifer characteristics of the goaf, and compare with the morphological changes of the apparent resistivity contour. We evaluate all the grouting drilling applying four-dimensional electrical technique and provide basic geophysical technique for mine grouting quality.

**Key words:** four-dimensional electrical technique; transient electromagnetic method; goaf; the detection of waterproof grouting

---

## 欢迎订阅《华北地震科学》

《华北地震科学》是由河北省地震局主办的地震科学综合性学术刊物, 国内公开发行。主要刊登地震学方面具有创新性的研究成果, 也登载地球物理、地震地质、地震工程等方面的学术论文及国内外地震科学研究的最新进展和成果。

《华北地震科学》均为季刊, 每季末出版, 每年 4 期, 每期定价 15 元, 全年定价为 60 元(含邮寄费)。2014 年继续由编辑部直接发行。凡欲订本刊的读者可通过全国非邮发报刊联合发行部或与本刊编辑部联系均可。

(1) 全国非邮发报刊联合征订服务部

邮 编: 300381

地 址: 天津市卫津南路李七庄邮局 9801 信箱全国非邮发报刊联合征订服务部

电 话: 022-23973378, 23962479

电子邮件: LHZD@public.tpt.tj.cn

(2) 本刊编辑部

邮 编: 050022

地 址: 石家庄市槐中路 262 号《华北地震科学》编辑部

电 话: 0311-85814313

电子邮件: he3g@eq-he.ac.cn