

## 地质与测量

# 矿井采空区积水网络并行电法探测技术

吴超凡<sup>1,2</sup> 刘盛东<sup>2</sup> 邱占林<sup>1</sup> 杨胜伦<sup>3</sup>

(1. 龙岩学院 资源工程系 福建 龙岩 364012; 2. 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室 江苏 徐州 221008;  
3. 安徽惠洲地下灾害研究设计院 安徽 合肥 230088)

**摘要:**随着煤矿开采深度的增加,采空区积水成为影响煤炭安全生产的重大隐患,其积水区边界的划定是有效防治采空区突水的关键。在建立采空区积水区边界模型基础上,运用网络并行电法探测技术对7130工作面采空区放水前及放水过程进行连续动态监测,获取含水异常体与渗流场、地电场之间的响应特征,以此建立积水区边界与视电阻率之间变化关系,可圈定矿井采空区积水范围。结果表明:有效富水系数为0.1226的积水区边界与网络并行电法探测技术测量得到的电阻率参数所划定的积水区边界具有很好的一致性,且可在动态监测中形成不同时段的电阻率剖面。

**关键词:**采空区积水;电阻率;网络并行电法;积水区边界

中图分类号:P631.323 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2013)04-0093-03

## Technology of Network Parallel Electric Method Applied to Detection of Water Ponding in Mining Goaf

WU Chao-fan<sup>1,2</sup> LIU Sheng-dong<sup>2</sup> QIU Zhan-lin<sup>1</sup>, YANG Sheng-jun<sup>3</sup>

(1. School of Resource Engineering, Longyan University, Longyan 364012, China;  
2. National Key Lab of Deep Geomechanics and Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;  
3. Anhui Huizhou Research and Design Institute of Underground Disaster, Hefei 230088, China)

**Abstract:** With the mining depth increased in the mine, the water ponding in the mining goaf would be major hidden danger affected to the mine coal safety production and the delineation of the water ponding boundary would be the key to effectively prevent and control the water inrush from the goaf. Based on establishment on the boundary model of water ponding, the network parallel electric method was applied to the continued dynamic monitoring and measuring the goaf in mining face No7130 before the water drainage and during the water drainage process. Response features of water bearing anomalous body between the seepage field and the geoelectric field were obtained and were applied to establish the variation relationship between the water ponding boundary and the resistivity in order to delineate and analyze the water ponding scope in the goaf of the mine. The results showed that the water ponding boundary with an effective watery coefficient of 0.1226 and the water ponding boundary delineated with resistivity parameters measured by the network parallel electric method would have a good consistency and would format the resistivity section at different stage during the dynamic monitoring and measuring.

**Key words:** water ponding in mining goaf; resistivity; network parallel electric method; boundary of water ponding

## 0 引言

渗流场与煤矿开采过程中出现的顶板突水事故有着密切相关性<sup>[1]</sup>。地下水运移于岩土孔隙、裂隙及溶隙中<sup>[2]</sup>,以渗流形式进行运动与物质交换。地

电场对于地层中某些物质的作用是非常明显的<sup>[3-5]</sup>。地下渗流场和地电场是岩体物理力学环境中的重要组成部分,裂隙岩块渗流受地电场的影响,而渗流场的改变也会对地电场产生影响,两者产生相互影响的耦合作用<sup>[6-7]</sup>。因此,可基于此理论寻

收稿日期:2012-12-12;责任编辑:曾康生

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAK07B02);福建省自然科学基金资助项目(2010J01262);龙岩市科技计划资助项目(2011LY53)

作者简介:吴超凡(1964—),男,福建仙游人,副教授,硕士。Tel:13605916606 E-mail:cif6606@163.com

引用格式:吴超凡,刘盛东,邱占林等.矿井采空区积水网络并行电法探测技术[J].煤炭科学技术,2013,41(4):93-95,67.

求某些含水体与地电场或渗流场之间的响应特征，并相应地建立各种分析模型。某煤矿7<sub>1</sub>31回风巷与7<sub>1</sub>30工作面采空区间的防水煤柱宽为38 m，由于7<sub>1</sub>30采空区积水量大，且可能存在补给源，7<sub>1</sub>31回风巷安全掘进受到7<sub>1</sub>30采空区积水的严重威胁。根据安全生产相关规定，为了确保7<sub>1</sub>31回风巷掘进和工作面安全回采，7<sub>1</sub>31回风巷掘进之前需对7<sub>1</sub>30工作面采空区积水进行综合治理。为此，在构建积水区边界模型并对其进行分析的基础上，通过网络并行电法探测技术测量富含水体与渗流场、地电场之间的地球物理响应特征，以期达到对矿井采空区积水的圈定与分析的目的。

## 1 地质概况

某矿7<sub>1</sub>31工作面的回风巷位于井田东翼一水平三采区，东以DF5断层为界，西以三采区第1中部车场，南北分别以设计回风巷、运输巷为界。工作面沿走向布置，7<sub>1</sub>31回风巷位于7<sub>1</sub>30采空区下部，距7<sub>1</sub>30运输巷间留有宽5 m防水煤柱。工作面起止标高-393—-473 m，平均走向长1 677 m，倾向宽161~166 m，煤层最大厚度为4.1 m，最小煤厚2.5 m，平均厚度3.19 m，煤厚变异系数9%，综合评定为稳定煤层；工作面地质储量120.7万t。

该工作面直接充水水源为顶板砂岩裂隙水和7<sub>1</sub>30采空区积水。利用承压水、潜水完整型公式，求得顶板砂岩裂隙水正常涌水量49 m<sup>3</sup>/h。该工作面上限至-393 m，该区域四含水层底界受古地貌地形制约，为一残坡积～漫滩沉积，两极厚度0~30 m，平均8 m。第29—30号勘探线以东部四含水层厚度逐渐变小，局部无四含水层分布，属风化剥蚀区，巷道距四含水层底界最近处约60.2 m，正常情况下对巷道掘进无影响。目前7<sub>1</sub>30采空区（矿井12号积水区）积水外缘标高-397 m，最深积水标高-434 m，积水深度37 m，预计7<sub>1</sub>30采空区（12号积水区）积水面积约34 757 m<sup>2</sup>，积水量约31 280 m<sup>3</sup>（图1）。

## 2 网络并行电法探测技术原理及测线布置

1) 探测原理。网络并行电法探测技术是继常规电法和高密度电法后发展起来的新一代电法数据采集技术。和常规电法及高密度电法每次供电只能采得1个测点数据不同，平行电法探测技术每次供电可同时获得多个测点数据，是一种全电场观测技

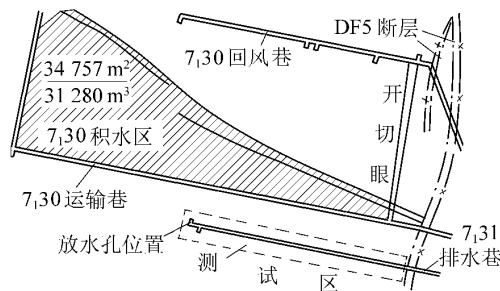


图1 测试工作面位置

术<sup>[8~10]</sup>。根据电极观测装置和场源形式的不同，将网络并行电法数据采集方式分为AM法和ABM法<sup>[11]</sup>。AM法是基于点电源场形式采集：如测线上布置64个电极，则任一单电极（A极）供电时，其余63个电极（M极）同时采集电位，一次采集的数据可进行所有点电源场的电阻率反演，包括二极、三极等装置；而ABM法则基于异性点电源场：由任2个电极组成偶极供电（AB极），其余62个电极（M极）同时采集电位数据，一次采集的数据可进行所有双点电源场电阻率反演，包括偶极、对称四极、微分装置。

2) 测线布置。本次电法探测试验选择在7<sub>1</sub>31排水巷内进行（图1），现场共布置4条测线（图2）。其中测线Ⅰ布置在排水巷右帮，位于4~5号放水孔之间，方位角160°，倾角14°，向上挑高0.5 m，钻孔深29 m，钻孔顶端距离7<sub>1</sub>30工作面采空区积水区域13 m，孔径75 mm。共布置8个电极，电极距3 m。测线Ⅱ位于右帮腰线位置，布置电极16个，电极距5 m。测线Ⅲ位于右帮底板，布置电极16个，电极距

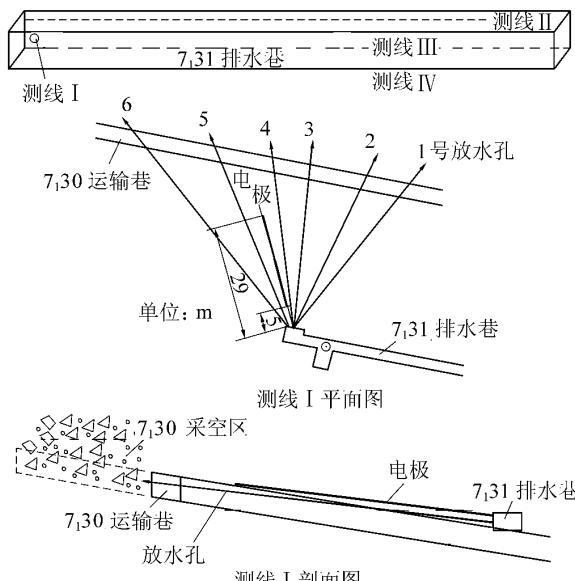


图2 巷道中测线布置示意

2.5 m。测线IV位于左帮底板 布置电极16个,电极距2.5 m。测试过程中,采用网络并行电法探测仪器进行探放水前后5次有效的连续动态监测。

### 3 探测资料处理与分析

#### 3.1 积水区边界计算

本次探测工作是基于积水区模型的基础上,通过计算该区富水系数来进行分析的。首先根据煤层采空区特征构建采空区积水区模型,其次根据实际探放水资料并结合7130工作面实际地质资料,取该区域煤层平均厚3.41 m(最大煤厚4.1 m,最小煤厚2.9 m),再次由实测放水量与采空区的空间关系,通过相关公式计算得出该区富水系数为0.1226,最后由此计算出2010年11月23日(放水前)、11月25日、12月6日、12月8日和12月14日的积水区

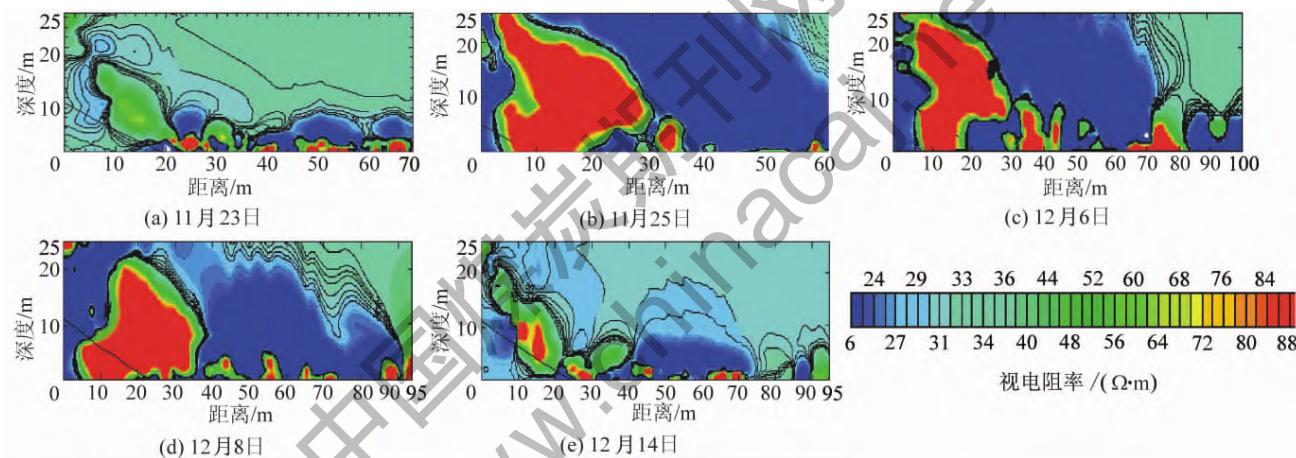


图4 积水区边界视电阻率探测结果

放水之前2010年11月23日防水煤柱中未有水流填充,表现为高阻体。此时积水区边界位置在监测系统之外,视电阻率图像不具有实时反映积水区边界位置的特性。通过分析发现,当积水区边界位于探测区域之外时,积水区范围大于11月23日或者小于11月25日监测测线所在的探测区,视电阻率图像不能反映积水区边界位置。由于钻孔周围岩层(煤层)有裂隙发育,放水后,由于毛细现象等,水流沿裂隙运移至防水煤柱中,使防水煤柱视电阻率下降,如图4a、4b所示。

由图4c、4d可知,当积水区边界位于探测区测线范围之内(12月6日、8日)时,视电阻率图中的高阻体扩展方向指示积水区收缩的方向,高阻体扩展方向边界的形态的延长线精确地指示了积水区边界位置。当积水区边界下降后,裂隙中的毛细水由

边界(图3)。

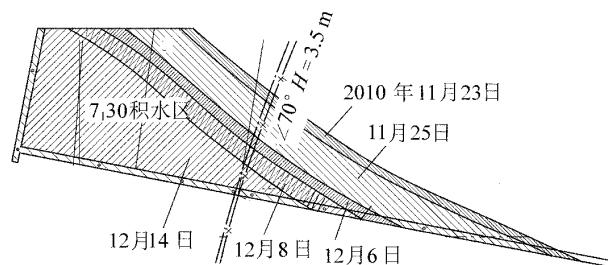


图3 根据放水资料记录计算的积水区边界示意

#### 3.2 网络并行电法探测技术电法测试结果分析

利用网络并行电法探测技术处理软件进行数据解编与处理,形成AGI数据处理格式文件,使用AGI三维反演软件对数据计算,形成不同时间段的探测剖面图,并结合相关地质资料分析计算的积水区边界,获得其对应积水区边界的视电阻率分布(图4)。

于压力减小,将析出并向下补充,在视电阻率图像上显示为视电阻率增加。因此,放水后可以通过高阻区的位置指示积水区边界位置。

由图4e可知,当积水区边界收缩至监测系统所控制的监测范围之外时(12月14日),积水区通过测线范围短时间内,视电阻率图仍具有定位积水区边界的依据。

### 4 结 论

1) 通过研究采空区放水过程中视电阻率的变化情况,并结合已有的地质生产资料,分析了积水区边界位置与视电阻率变化之间的关系。为7131工作面回风巷掘进及后期回采时所采取的相应措施提供依据和指导。使用网络并行电法对7130采空水

(下转第67页)

采技术后初始瓦斯抽采纯流量提高了80%,31 d后仅衰减12%,本煤层瓦斯实现了高效抽采。

## 4 结语

本煤层双套管高效抽采技术在煤体普氏系数 $f \geq 0.25$ 的本煤层钻孔瓦斯抽采中能有效防止钻孔塌孔,提高本煤层钻孔密封质量。对本煤层瓦斯抽采具有良好的适应性。该技术在平煤股份八矿已<sub>15</sub>-13330工作面运输巷应用后单孔瓦斯抽采平均初始浓度达到89%,瓦斯纯流量提高了80%,31 d后瓦斯抽采流量仅衰减12%,抽采干管瓦斯体积分数维持在18%以上,已<sub>15</sub>-13330工作面煤层瓦斯预抽率达到45%,解决了本煤层瓦斯抽采钻孔浓度低、流量小的问题,实现了煤与瓦斯共采。平煤股份八矿抽采的高浓度瓦斯已用于发电,按瓦斯补贴8元/m<sup>3</sup>的标准,瓦斯发电一项已产生近200万元的效益,安全效益和经济效益显著。

## 参考文献:

- [1] 范维澄.能源化工行业安全形式分析与关键技术[M].合肥:中国科技大学出版社,2002:109-117.
- [2] 国家安全生产监督管理总局.煤矿安全规程[M].北京:煤炭工业出版社,2011.

(上接第95页)

的渗流视电阻率变化情况进行测试,取得了较好的效果。根据放水资料及地质资料可以得出:7<sub>130</sub>工作面内的有效富水系数为0.1226。根据该系数计算出的采空区积水区与网络并行电法测量得到的电性参数(电阻率)所划定的积水区边界具有很好的一致性。

2)通过网络并行电法的电阻率资料可以看出:放水过程中,当积水区边界位于监测系统测线观测范围之内时,可以根据电阻率图像的高阻区划分积水区的范围及边界位置。

3)放水后仍可以通过高阻区的位置定位积水区边界,且在动态监测过程中可以形成不同时段的探测剖面图。

## 参考文献:

- [1] 赵阳升.矿山岩石流体力学[M].北京:煤炭工业出版社,1994:231-238.
- [2] 章志洁,韩宝平,张月华,等.水文地质学基础[M].徐州:中国矿业大学出版社,1995:89-93.

- [3] 林柏泉.矿井瓦斯防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010.
- [4] 黄鑫业,蒋承林.本煤层瓦斯抽采钻孔带压封孔技术研究[J].煤炭科学技术,2011,39(10):45-48.
- [5] 徐庆武,王国君,董力.瓦斯抽放钻孔护孔技术探讨[J].煤矿安全,2007,38(1):39-40.
- [6] 王法凯,蒋承林,公衍伟,等.双套管带压注浆技术在瓦斯压力测定中的应用[J].工矿自动化,2010(9):5-9.
- [7] 李波,李长松,魏建平,等.套管带压固结封孔技术在瓦斯压力测定中的应用[J].煤炭科学技术,2009,37(3):34-37.
- [8] 刘三钧,林柏泉,郝志勇,等.钻孔密封机理及新型煤层瓦斯压力测定技术研究[J].中国煤炭,2009,35(10):96-99.
- [9] 尹志宏.低级无烟煤综放工作面煤层注水基础研究[D].太原:太原理工大学,2006.
- [10] 韩剑.岩巷下向孔瓦斯压力直接测定法的改进及应用[J].煤,2010,19(12):19-21.
- [11] 苏培莉.裂隙煤岩体注浆加固渗流机理及其应用研究[D].西安:西安科技大学,2010.
- [12] 李飞,林柏泉,翟成,等.新型水力压裂孔密封材料的试验研究[J].煤矿安全,2012,43(1):11-14.
- [13] 高振勇,张志刚,尹斌.提高聚氨酯封孔质量的研究[J].矿业安全与环保,2009,36(S):37-41.
- [14] 林柏泉,周世宁,张仁贵.煤巷卸压带及其在煤和瓦斯突出危险性预测中的应用[J].中国矿业大学学报,1993,22(4):44-52.
- [15] 沈春明,林柏泉,杨威,等.巷道围岩应力变化规律及其对封孔质量的影响作用[J].煤炭工程,2011(6):67-69.

- 
- [3] 张云琳.大地电场临震突变异常形态的初步研究[J].西北地震学报,1980,2(4):50-54.
  - [4] 左恒,吴爱祥,王贻明,等.地电场对裂隙岩块中溶浸液渗流特性影响的研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(5):972-976.
  - [5] 刘盛东,王勃,周冠群,等.基于地下水渗流中地电场响应的矿井水害预警试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(2):267-272.
  - [6] 王宏图,李晓红,鲜学福,等.地电场作用下煤中甲烷气体渗流性质的实验研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(2):303-305.
  - [7] 王宏图,杜云贵,鲜学福,等.地球物理场中煤层瓦斯渗流方程[J].岩石力学与工程学报,2002,21(5):644-646.
  - [8] 刘盛东,吴荣新,胡水根,等.网络分布式并行电法勘探系统[C]//中国地球物理·22届年会论文集.成都:四川科学技术出版社,2006:251-258.
  - [9] 吴荣新,张平松,刘盛东.双巷网络并行电法探测工作面内薄煤区范围[J].岩石力学与工程学报,2009,28(9):1834-1838.
  - [10] 郑晓亮,刘盛东.基于双处理器的并行采集网络电法仪器的设计[J].煤炭科学技术,2008,36(4):85-88.
  - [11] 刘盛东,张平松.分布式并行智能电极电位差信号采集方法:中国200410014020.0[P].2006-07-26.