

瞬变电磁法探水在新裕煤矿中的应用

王宗林¹, 牟铁超¹, 陶永文², 梁冰¹, 兰波³

(1. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 大同煤矿集团朔州煤电公司, 山西 怀仁 038300;

3. 东北煤田地质局一〇七勘探队, 辽宁 阜新 123000)

摘要:新裕煤矿为资源整合矿井,其整合的小窑可能含有采空积水,所以采用瞬变电磁法对该地区进行勘测。本次瞬变电磁勘测工作采用的是中心回线装置,工作区域网度 40m×20m,共布置了 21 条测线,测线由南向北编号依次为 21~41,并得到 21 条测线的视电阻率剖面图,同时根据 5[#]层和 8[#]底板等高线分别对两个煤层作了视电阻率顺层切片图,从而查明 5[#]和 8[#]采空积水分布情况,为矿方的安全生产提供保障。

关键词:瞬变电磁;采空积水;资源整合

文章编号:1003-8035(2014)02-0077-06

中图分类号:P631.2

文献标识码:A

0 引言

瞬变电磁法是一种时间域的电磁勘探方法,这种方法最早由 20 世纪 30 年代的苏联科学家提出,我国直到 70 年代才开始开展瞬变电磁的研究工作,近些年来,瞬变电磁法以其施工方便,节约成本,勘探速度快等特点迅速在煤矿地面和井下勘探采空积水领域中得到应用。新裕煤矿为资源整合矿井,其南部资源即将采完,为保证生产的正常接续,决定向北部开拓。由于北部周围分布着资源整合时关闭的小窑,地质情况不明,可能含有采空积水,因此采用瞬变电磁法对该地区进行勘测,查明采空积水分布情况。

1 瞬变电磁法工作概述

1.1 瞬变电磁法基本原理

瞬变电磁法亦称时间域电磁感应法,是利用不接地回线(磁偶源)或接地电极(电偶源)向地下发送一次脉冲场,在一次场间歇期间,利用另一回线或专用探头测量由地下介质产生的感应电场,即二次场。该二次场是由地下的不同导电介质受一次场激励引起的涡流产生的非稳定电磁场,与地下介质有关。根据观测到的二次场,通过观察其衰减特征和资料处理,可以判断地下地质体与介质分布特征、电性、规模和产状等^[1-3]。

由于介质的欧姆损耗,这一感应电流将迅速衰减,由它产生的磁场也随之迅速衰减,这种迅速衰减的磁场又在其周围的地下介质中感应出新的强度更弱的涡流^[4,6-9]。涡流场在大地中以扩散形式传播,

在这一过程中由于趋肤效应,高频部分主要集中在地表附近,且其分布范围是源下面的局部,较低频部分传播到深处,且分布范围逐渐扩大^[5-11]。其传播速度和深度为:

$$D = \frac{a}{2u^{\frac{1}{2}}} \{ C_1(v) + [C_1^2(v) + 2]^{\frac{1}{2}} \} \quad (1)$$

$$V = \frac{dD}{dt} = \frac{\sqrt{u}}{\sigma u_0 \alpha} \left\{ \frac{C_1(V) + [C_1^2(V) + 2]^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{C_2(V)}{[C_1^2(V) + 2]^{\frac{1}{2}}}} u C_2(V) \right\} \quad (2)$$

式中: D ——传播深度(m);

V ——“烟圈”的扩散速度(m/s);

σ ——半空间电导率(ms/m);

$$u = \frac{\sigma u_0 \alpha^2}{4t};$$

$$C_1 V = \frac{3}{4} \sqrt{\pi} \left[1 - \frac{V}{4} - \sum_{k=2}^{\infty} \frac{(2k-3)!!}{k!(k+1)!!} \left(\frac{V}{2} \right)^k \right]$$
$$C_2 V = \frac{3}{4} \sqrt{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(2k-1)!!}{k!(k+1)!!} \left(\frac{V}{2} \right)^k。$$

瞬变电磁法所观测的二次场包含地下地质体丰富的地点信息,因此对视电阻率和瞬变电磁场随时间

收稿日期:2013-05-29;修订日期:2013-12-10

基金项目:教育部高等学校博士学科点专项科研基金
(20112121120001)

作者简介:王宗林(1965—),男,辽宁沈阳人,教授级高级工程师。

E-mail:317394559@qq.com

的变化规律的研究,可得出地下地质体的分布情况,但瞬变电磁法野外勘探采集的数据的感应电动势,须将感应电动势转化为视电阻率,其转换公式为:

$$\rho_{\tau} = \frac{u_0}{4\pi t} \left[\frac{2uS_T S_R}{5t(V(t)/I)} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

式中: ρ_{τ} ——视电阻率($\Omega \cdot m$);

$u_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨/m;

S_T ——发送回线面积(m^2);

S_R ——接收线圈面积(m^2);

t ——测道时间(s);

$V(t)/I$ ——归一化感应电动势的瞬变值(mV)。

1.2 瞬变电磁法地形校正分析

虽然瞬变电磁法与其他电法勘探相比受地形影响较小,但是研究地区往往地形复杂,地势起伏较大,这将影响瞬变电磁法勘探结果的解释。

瞬变电磁法接收的是纯二次场,当接收线圈敷设在倾斜大地上,线圈中心点接收的地下地质信息是中心点垂直于地面的法线方向的信息,而在资料解释中则误认为该信息为中心点地面垂线方向,如果接收线圈敷设在水平大地上,则中心点垂直于地面的法线与中心点垂线重合,接收的地质信息能准确反映该点的地质体分布^[10-11](图1)。

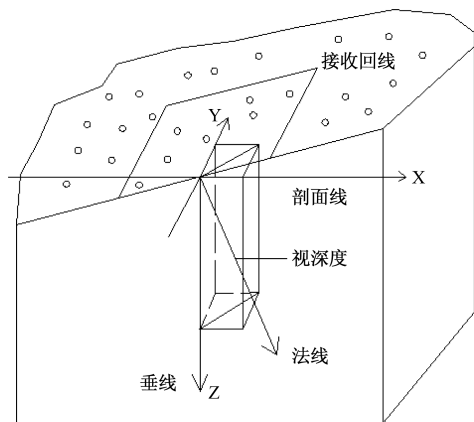


图1 地形校正原理图

Fig.1 The principle diagram of the terrain correction

地形校正就是将每个观测点在法线方向上的不同视深度的点电阻率投影到垂线方向上。根据图2所示,推导出地形校正计算公式:

$$\rho_s = 6.32 \times 10^{-3} (2L)^{\frac{8}{3}} \left[\frac{V(t)}{I} \right]^{-\frac{2}{3}} t^{-\frac{5}{2}} \quad (4)$$

式中: ρ_s ——校正后的视电阻率。

2 新裕煤矿地质情况

2.1 地层

新裕煤矿位于大同煤田的中部东缘地段,大同向斜的中东翼边缘。该煤田出露的地层由老到新有:太古代集宁群,古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二迭系,中生界侏罗系、白垩系、新生界第三系、第四系。井田内部分被第四系黄土所覆盖,部分范围内有基岩零星出露。

新裕煤矿井田内主要含煤地层为石炭系中统本溪组(C_2b)、石炭系上统太原组(C_3t)和二叠系下统山西组(P_1s)。

2.2 地球物理基础

由新裕煤矿已掌握的资料上看,煤层的视电阻率在 $90\Omega \cdot m$ 左右,而围岩(泥岩、砂岩等)的电阻率约为 $70\Omega \cdot m$ 左右。详细的岩层的电性特征见表1。

表1 主要岩层的电性特征

Table 1 Main electrical characteristics of the rock

地层	电阻率($\Omega \cdot m$)
第三系、第四系	25 ~ 45
泥岩、砂岩	> 70
煤层	> 90
砂岩裂隙带	35 ~ 55
奥陶系灰岩	> 100

从表1中可以看出不同岩层的电性有较为明显的差异,特别是在煤层与砂岩裂隙带之间,这是本次瞬变电磁勘探的地球物理基础。

3 新裕矿瞬变电磁探水工程概况

3.1 工程布置

本次瞬变电磁探水工作采用的是中心回线装置,工作区域网度 $40m \times 20m$,共布置了21条测线,测线由南向北编号依次为21~41号。该工作区域内,无大型变电站和高压电线,建筑物较少,仅有一条公路在本区域穿过。

3.2 数据处理

本次瞬变电磁勘探数据处理采用是中国矿业大学自主研发的RUSSIA1.1版瞬变电磁数据处理软件。并对采集的数据逐点检查、编辑、统计并进行适当的圆滑和滤波处理,在一定程度上压制和剔除干扰,突出有用信号(图2、3)。将所得有用数据利用SURFER软件绘制视电阻率剖面图和顺层切片图。

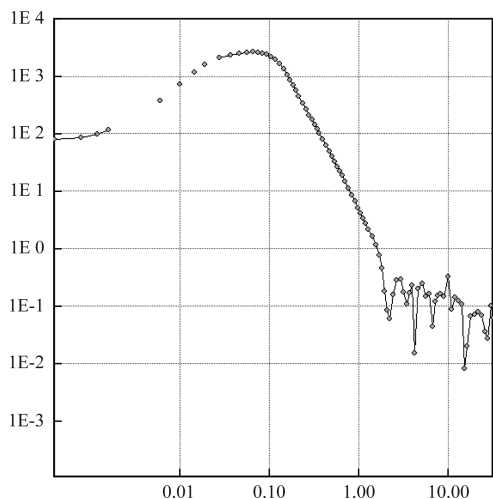


图2 原始数据的二次场衰减曲线

Fig. 2 The secondary field diminishing curve of original data

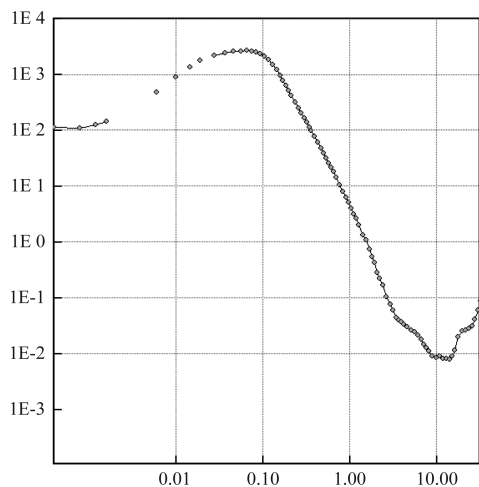


图3 圆滑滤波处理后的二次衰减曲线

Fig. 3 The secondary field diminishing curve of smooth filtering processing

3.3 TEM 剖面图分析

图4为21线的TEM断面图,据该测线66号测点附近的钻孔ZK-3的资料显示,表层第四系覆盖

层埋深下存在一层风化煤,埋深6.45m,其下为煌斑岩。结合其他钻孔资料,分析此煤层亦为天然焦遭受风化所致,测井曲线此段无电阻率测量记录,根据地区经验和一般规律,风化煤的电阻率和天然焦类似,电阻率很低甚至接近 $0\Omega\cdot m$ 。距地面35.7m处出现采空区,厚度约为1.4m。该图右侧显示有一低阻异常,视电阻率普遍低于 $20\Omega\cdot m$,局部甚至接近 $0\Omega\cdot m$,为强富水区,异常范围从59号点直至剖面边界75号点,其中59~63号点的低阻异常纵向延伸较深,达8#煤层,形成由浅至深的纵向低阻异常带。推断此处浅部的低阻异常系由风化煤和采空区积水共同影响形成,而纵深方向的低阻异常带为一断层构造所形成的破碎带含水以及8#煤层采空区积水所致。

由21号线开始,向北的22~25号测线的断面图中的异常区和21号测线基本一致。再向北部的26、27号测线的断面图低阻异常已不明显,深部也仅局部有低阻异常分布。说明此处为富水区的边缘。

在27线的中部偏西,即42~50号点间,出现了一U型低阻异常带,其视电阻率值低于 $100\Omega\cdot m$,该异常带从27~30测线连续存在,且向北逐渐降低,至30线已降至 $40\Omega\cdot m$ 即由中等富水区转变为强富水区。对25线44和45号测点间的钻孔(ZK-2)资料分析,此处的5#煤已采空,而此U型区地势相对较低,推测该U型异常带为采空区积水所致,积水量由南向北逐渐增大(图5)。

3.4 TEM 顺层切片图分析

根据钻探资料提供的5#和8#煤层底板等高线,在对各测线数据进行地形校正后,分别绘制5#煤层和8#煤层的视电阻率顺层切片图,对两个煤层的顺层切片图进一步分析,可得出异常范围沿煤层的分布状况。

图6中东南部的低阻异常影响深度大且异常幅值低,最低值不足 $8\Omega\cdot m$,与围岩的差异显著,为显著强富水区。此区域内的3号钻孔(ZK3)和附近的5号钻孔(ZK5)资料显示,4#煤已风化,为低阻反映;5#

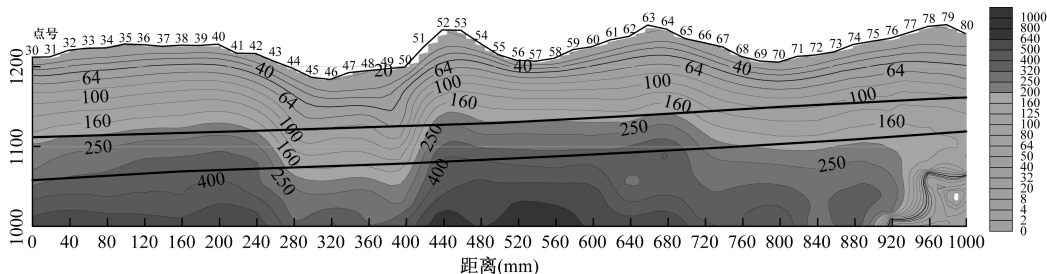


图4 新裕煤矿21号线TEM断面图

Fig. 4 The 21 line profile of Xinyu coal mine

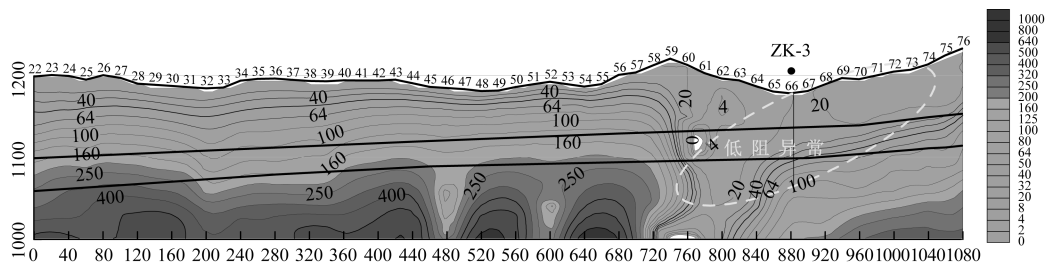


图5 新裕煤矿27号线 TEM 断面图

Fig. 5 The 27 line profile of Xinyu coal mine

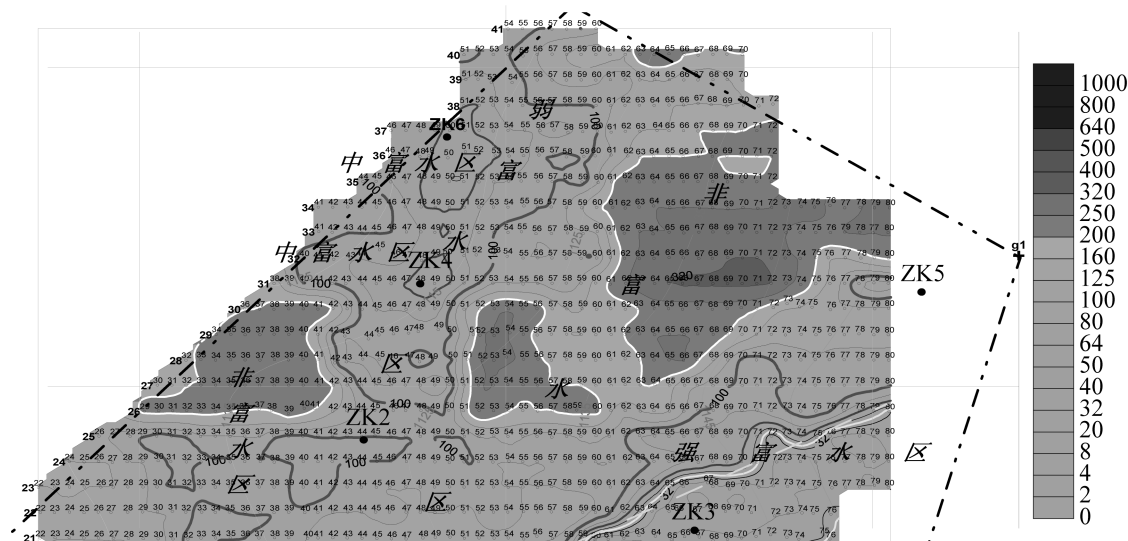


图6 新裕煤矿5#号线 TEM 顺层切片图

Fig. 6 The 5th line TEM bedding section graph of Xinyu coal mine

煤层采空,也为低阻反映。推测此低阻异常区为采空区积水与低阻风化煤共同影响所致,同时根据矿区防治水工作的要求,将5[#]煤层划分为强富水区、中富水区、弱富水区和非富水区。其中东南部存在低于

$40\Omega\cdot m$ 的强富水区,富水面积约为 $41926 m^2$; 西北部存在两处低于 $62\Omega\cdot m$ 的中等富水区域,富水面积约为 $12706 m^2$, $62 \sim 100\Omega\cdot m$ 的弱富水区面积约为 $87317 m^2$,无水采空区面积约为 $133823 m^2$ 。

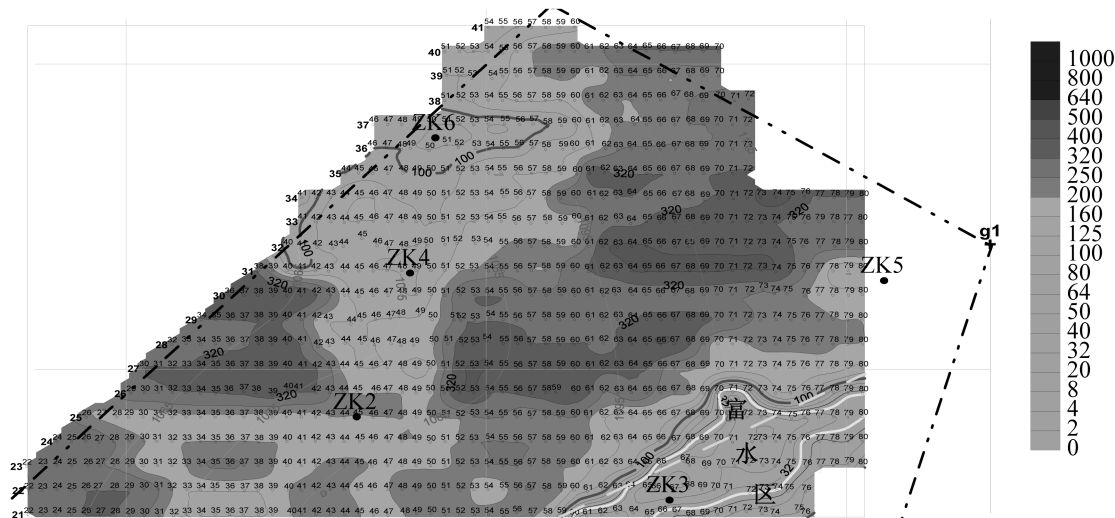


图7 新裕煤矿8#号线 TEM 顺层切片图

Fig. 7 The 8th line TEM bedding section graph of Xinyu coal mine

图7中仅在东南部出现一个低阻异常区,位置与5#层的低阻异常区一致,只是在范围上有所缩小,但是其视电阻率仍小于 $8\Omega\cdot\text{m}$,推断该区域为强富水区,面积约为 32494m^2 。根据地质资料,此区域为原杨树湾矿区,该区域的8#煤层已局部开采,因此推断此区域为采空区积水所致。

4 结论

综合分析TEM剖面图和顺层切片图,结合钻孔资料,推测东南部低阻异常区域可能存在含水断层,低阻异常的走向即为此断层的走向,大致为北东向,断层面的倾向为北西向。后经矿方在掘进打钻验证,5#层和8#层东南部低阻异常区存在采空积水,说明瞬变电磁法勘测采空积水是一种经济有效的勘探方法。

瞬变电磁法在复杂地形中实施时,应当注意地形起伏对勘探数据的影响,在坡度较大的地形中勘探时,应对采集的原始数据进行地形校正,从而给出准确的资料解释。

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,1992.
NIU Zhilian. The principle of Time domain electromagnetic method[M]. Changsha: Journal of Central South University of Technology Press, 1992.
- [2] 朴化荣. 电磁勘探法原理[M]. 北京:地质出版社,1990.
PU Huarong. The principle of electromagnetic prospecting method[M]. Beijing: Geological Press, 1990.
- [3] 傅茂朝. 瞬变电磁法原理及应用[J]. 军工勘察, 1996, 2: 55-56.
FU Maochao. The principle of transient electromagnetic method and application [J]. Military Reconnaissance, 1996, 2: 55-56.
- [4] 周先胜, 昌修林. 瞬变电磁法在矿井水文探测中的应用[J]. 煤矿现代化, 2006, 3: 63.
ZHOU Xiansheng, CHANG Xiulin. The application of transient electromagnetic method in mine hydrogeological survey[J]. Coal Mine Modernization, 2006, 3: 63.
- [5] 成剑文. 瞬变电磁法在煤矿应用中的研究[D]. 太原理工大学, 2007, 5.
CHENG Jianwen. Researches on the application of transient electromagnetic method in coal mining [D]. Taiyuan University of Technology, 2007, 5.
- [6] 刘树才, 岳建华, 刘志新. 煤矿水文物探技术与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005.
LIU Shucui, YUE Jianhua, LIU Zhixin. Geophysical exploration technology of coal mine hydrology and application [M]. Xuzhou: China University of Mining Technology Press, 2005.
- [7] 李貅. 瞬变电磁测深的理论与应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2002.
LI Xiu. The theory and application of transient electromagnetic method [M]. Xi'an: Sanxi Science and Technology Press, 2002.
- [8] 郭崇光, 田卫东. 瞬变电磁法在山西采空区探测中的应用[J]. 山西煤炭, 2003, 13: 25.
GUO Chongguang, TIAN Weidong. The application of TEM in goaf detection of Sanxi [J]. Sanxi Coal, 2003, 13: 25.
- [9] 路军臣, 苏维涛, 张济怀. 瞬变电磁法在探测小窑采空区中的应用[J]. 河北煤炭, 2002, 2: 25-27.
LU Junchen, SU Weitao, ZHANG Jihuai. Application of transient electromagnetic method in gob surveying [J]. Heibei Coal, 2002, 2: 25-27.
- [10] 薛云峰, 孙晓曦, 孙雅芳. 瞬变电磁电阻率成像法探测岩体渗漏通道的研究及应用[J]. 水文地质工程地质, 2004(3): 96-98.
XUE Yunfeng, SUN Xiaotun, SUN Yafang. Transient electromagnetic resistivity imaging formation in detecting rock seepage passage [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2004(3): 96-98.
- [11] 时哈. 综合物探方法在厚覆盖层地区勘查地下水源的应用实例[J]. 水文地质工程地质, 2005(5): 101-104.
SHI Han. The application of comprehensive geophysical prospecting in the exploration of underground water thick overburden areas [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(5): 101-104.

Applied research of Transient electromagnetic method in ground water in Xinyu coal mine

WANG Zong-lin¹, MU Tie-chao¹, TAO Yong-wen², LIANG Bing¹, LAN Bo³

(1. Liaoning Technical University, Institute Of Mining Technology, Fuxin 123000, China;

2. Shuo Zhou Coal Power Company Of Da Tong Coal Mine Group, Huaiaren 038300, China;

3. No. 107 Exploration Team, Northeast of coal Geological Exploration, Fuxin 123000, China)

Abstract: Xinyu coal mine is a resource integration mine, as the integrated small kiln may contain water in mined area, so the transient electromagnetic method is taken to survey this area. The transient electromagnetic survey work adopt central loop device, net dimension of working area is 40m × 20m, 21 survey lines are arranged in all, number of survey line is 21 to 41 from south to north, apparent resistivity section of 21 survey lines are contained, based on coal floor contour of 5[#] and 8[#] coal seams, apparent resistivity smooth layer slice map of the two seams are contained, so distribution of water in mined area of 5[#] and 8[#] coal seams can be ascertained, and it can provide protection for the safe production of the mining side.

Key words: transient electromagnetic; water in mined area; resource integration

关于为《中国地质灾害与防治学报》征集照片的启事

为了使本刊论文内容更加形象、生动,便于读者清晰地识别地质灾害的各种地质作用及现象,反映治理措施及治后效果,我刊每期另附彩版照片。凡为彩版或封面提供照片者,每版应附 100 ~ 500 字说明,每张照片也应有相应说明。为保证出版效果,请提供原照片;若用数码相机拍摄,请采用 200 万像素以上的模式拍照。照片的分辨率应在 1600 × 1200dpi 以上(Fine 或 High 模式);如照片文件为扫描版,请采用 600dpi 以上的设置扫描。如用电子邮件发送,请提供照片的原电子文档 JPG 格式(勿自行用 Photoshop 或 ACDsee 等软件处理),以保证照片的清晰度。另请提供 1 份 Word 文档,但其仅供排版时参考,不能作为印刷、排版的原始稿件。提供的照片采用刊登后,付稿酬。欢迎各地、各界同仁踊跃选送各种典型照片(含国外照片)。

感谢您的支持与合作!

本刊网址: <http://zgdzzhyfz.paperopen.com>

电子信箱: zgdh@chinajournal.net.cn zgdh@mail.cigem.gov.cn

《中国地质灾害与防治学报》编辑部