

用于检测煤层构造构造扰动的矿井内地电调查

阿科斯·古莱¹, 米哈伊·多布罗卡^{1,2}, 塔马斯·奥莫斯¹, 改变TURAI¹,
和 Tibor SASVÁRI³

¹米什科尔茨大学地球物理和地理信息学研究所, 米什科尔茨, 匈牙利; 电子邮件: doboka@uni-miskolc.hu MTA-ME 米什科尔茨大学

²工程地球科学研究组, 米什科尔茨, 匈牙利 Global Minerals Ltd, 科希策, 斯洛伐克

3

抽象的

米什科尔茨大学地球物理系在前“Borsod”的有效支持下, 于 1970-80 年代开发了用于探测煤层构造扰动的矿井煤层探测和透照 (地电层析成像) 方法。”煤矿有限公司

概述了煤层测深原理和特殊地电层析反演技术, 介绍了采用垂直电极偶极子的矿井内地电煤层测深和透照测量系统。本文的第二部分介绍了矿井内地电测量的结果, 该测量的目的是检测斯洛伐克中新世老化煤层的构造扰动。根据地球物理调查的结果, 作者预测了煤层的构造特征。该公司通过有关调查区域挖掘所产生的煤层扰动和构造特征的独立信息证实了这一结果。

关键词: 矿井地电层析成像, 煤层测深, 巷道测深, 构造扰动。

1. 简介

煤矿开采的效率和安全性需要充分了解煤矿床的构造和岩性特征。通过表面地球物理学,通常无法以足够的精度获得该信息。然而,有一些地球物理方法可以在矿井内进行必要的测量,并且可以检测到煤层结构的更小的扰动(煤层地震反射和传输方法)。本文介绍了Csókás等人提出的矿井内地电层析成像方法。(1986)应用于斯洛伐克煤矿构造扰动的检测。

2 矿井地电法原理

使用该方法的物理条件是:高导电性(低电阻率)岩石必须嵌入低导电性(高电阻率)岩石。电导率差异越大,这些方法就越有效。根据对由煤层组成的地质序列的一般经验,这个条件几乎总是满足:高电阻率煤层通常嵌入在低电阻率底板和顶板之间。

该方法的原理如图1所示。电流电极A

B和电位电极M、N以赤道偶极子阵列布置在煤层上下边界处。对于“接缝探测”,偶极子被放置在同一个漂移中。偶极子之间的距离 r 在探测过程中逐渐扩大。如果研究区域有两个巷道,我们可以使用地电层透照法。

在这种情况下,当前偶极子放置在一个漂移中,而潜在偶极子放置在另一个漂移中。偶极子阵列应尽可能以扇形形式覆盖床层。因此,电流流经的煤层的电阻率比其嵌入物的电阻率高得多。如果煤层中没有破坏(断层),那么沿着高电阻率煤层,在电阻率低得多的底板和顶板岩石中,距电流电极很远的地方,电流密度仍然保持在非常高的值。因此,煤层起到绝缘体的作用,安装在煤层上下边界的电位电极M和N之间可以测量到高电位差 ΔU (图1)。如果接缝被断层带穿过,接缝的连续性沿着该断层带被破坏,并且接缝与地板和屋顶直接连接,则当前短路的很大一部分会通过该区域。结果,距离断层带较远的地方电流密度减小,因此接缝两侧的可测量电位差也随着测量电流(的大小)而减小。因此,商的局部减少

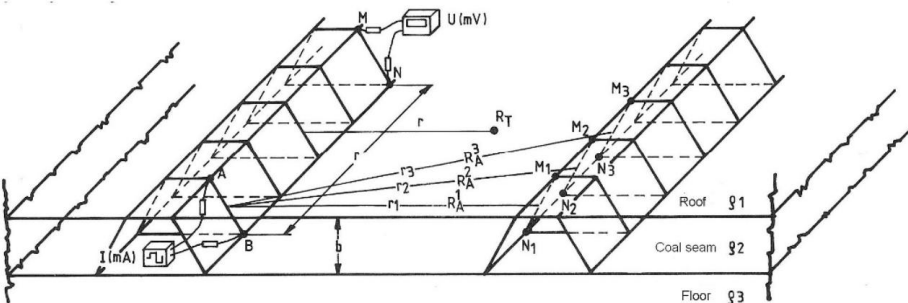


图 1. 地电煤层探测和 (层析)透射照明的原理。A和B表示电流电极， M和Ni表示电位电极；里平均AB-MiNi偶极距离； RA是在第 i 个MiNi偶极子上测得的视电阻率； RT表示焊缝测深参考点； b表示接缝的厚度； p1、 p2、 p3分别表示顶板、煤体、底板的电阻率。

电势差和测量电流 $R_a = \Delta U / I$ [ohm] -即视在电阻 - 指示断层带 (Csókás 1979,Gyulai 1993) 。

在测量过程中,将电极放置在高导电性岩石中 (靠近岩煤界面)非常重要.如果煤层比巷道直径厚,或者巷道部分打入底板或顶板岩石中,则必须使用小直径、短钻孔来与嵌煤岩石接触。

测量评估的基本概念是归一化偏差E.在矿井地电勘探中,归一化偏差表示测量的视在电阻 R_a 与原状视电阻 (对于给定的偶极子距离 r (当前偶极子与潜在偶极子之间的距离) , R_a 是无构造的)煤层 (即正常值) 。

测量

规范

$$埃() = \frac{RRRR() - 规范 ()}{雷_A ()} \quad (1)$$

如果归一化偏差E(r)的值为零或接近于零,则表明电路通过高电阻率煤层闭合;因此,没有发现构造扰动.如果发生构造扰动,则该值

在相同偶极距下,测得的视电阻率 R_a r会低于正常值 R_a r.因此,归一化偏差E(r)将具有负值.根据我们的经验,这些偏差甚至可以达到 -10 或 -50% 的值,具体取决于煤基岩电阻率对比和断层的大小 (Csókás 1979,Gyulai 1993) 。

为了计算归一化偏差 $E(r)$, 将根据偶极子距离 r 确定正常值 Ra_r 。这些值也可以直接在煤矿未受构造干扰的部分进行测量。如果没有这样的煤层剖面, 则应使用地电节理反演方法来估计地球物理模型 (包含煤层)。正常值 ()

Ra_r 可以根据这些模型参数计算出来 (Csókás et al. 1986, Breitzke et al. 1987, Dobróka et al. 1991, Gyulai 1993)。

3 矿井地电测量联合反演

为了确定嵌入一个或多个煤层的多层地质剖面的原状一维地电模型, 开发了联合反演方法 (Breitzke等人, 1987年; Dobróka等人, 1991年)。该方法的输入值是煤层测深和所谓的漂移测深的测量数据。

漂移探测是一种特殊的附加矿井地电方法。

这些测量使用 AMNB (即 Schlumberger 或任何其他) 电极配置。电极布置在煤层-底板-岩体边界 (底板探测布置) 或煤层-顶板-岩体边界 (顶板探测布置)。矿井内地电测深方法采用不同的展开几何形状, 并位于煤层的不同侧面, 因此对各种层参数 (即层厚度和电阻率) 具有不同的灵敏度。

漂移测深主要对周围岩石的电阻率变化敏感: 在屋顶上进行屋顶测深, 在地面上进行地面测深。煤层测深对煤层电阻率变化最为敏感。该特征在联合反演过程中至关重要。灵敏度被定义为视电阻率 (电阻) 相对于地质结构相关参数的对数导数。

将所有三种方法结合在一个称为联合反演的过程中, 可以实现包括煤层的多层地质模型的电阻率深度分布的最佳分辨率。在一维联合反演中, 由于不同测深方法的灵敏度不同, 降低了等效效果。使用线性最小二乘法 (LSQ) 迭代求解反问题。从所得的原状模型中, 我们可以很容易地计算出正常电阻值 Ra_r (Gyulai 1993)。

规范

, 如 Breitzke等人所示。 (1987), 多布罗卡等人。 (1991) 和 Gyu-

4. 矿井内地煤层测深
和断层扫描

上述理论应用于两种地电方法,即煤层探测和透照(地电断层扫描)。这两种方法的不同之处在于电流偶极子和电势偶极子的放置以及数据处理和评估的方法。

当只有一个巷道可用于调查时,我们会考虑进行煤层测深;因此,AB电流偶极子和MN测量偶极子必须放置在同一漂移中(图1)。

如果要调查的区域完全或部分被煤层中驱动的空气、运输和横向漂移所包围,则有机会进行透照。在透照情况下,AB 电流偶极子和 MN 测量偶极子必须安装在穿过场的所有漂移中(图1)。探索的领域必须在多个方向上尽可能密集地透照。这个条件越不满足,我们的断层扫描结果图以及构造预测就越不可靠。

为了评价以构造预测为目的的煤层测深,采用归一化偏差值E的分布图

必须建造。地图构造的基础是在信息最重要部分来自的接缝点处示出标准化偏差值E。如果在垂直于偶极子中点漂移轴的线上测量AB和MN偶极子之间的距离,则可以获得这个所谓的RT参考点。

可以为这些标准化偏差值构建等值线图。这些地图仅显示由断层带引起的异常(扰动)值。根据我们以往的经验,可以从-10%到-30%之间的正常偏差值来确定哪条等值线遵循构造扰动或区域(Csókas 1979, Gyulai 1993)。

测量的透照数据通过米什科尔茨大学地球物理系开发的地电层析成像方法分两个重要步骤进行评估(Csókas等人, 1986年)。在第一步中,生成归一化偏差E(r)的值,其是被视为第二步的断层摄影重建的输入数据。断层()图形重建算法生成计算透射照明测量数据的E(r)归一化偏差所需的Ra r正常值(方程(1))。

规范

为了表征接缝破坏(不均匀性),我们引入

$$(\text{前}) = \frac{r_A(\text{前}) \cdot xy - r_A^{\text{规范}}(\text{前}) \cdot xy}{r_A^{\text{规范}}(\text{前}) \cdot xy}, \tag{2}$$

局部电阻率异常,表示调查区域中未扰动煤层的电阻率随x、y横坐标变化的程度。e (x, y) 的值适合构造扰动的定位。因此,地电层析成像问题意味着根据Ra r ()测量数据得出的E (r)归一化偏差值计算局部电阻率异常e (x, y)

测量。

解决问题e (x, y) 是通过适当选择的二元基函数的级数展开来描述的,

$$e(x,y) = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N \phi_{nm}(x,y) B_{nm} \quad (3)$$

其中Bnm表示级数展开系数， $\phi_{nm}(x,y)$ 是二元基函数。M和N的值分别表示x和y方向上级数展开系数的必要数量。对于 $\phi_{nm}(x,y)$ 的基函数,我们应用了多项式。

第 k 次透照得出的归一化偏差Ek (r)与局部电阻率异常之间的联系由以下积分定义：

$$E_k(r) = \frac{1}{\int_{A_{KS}} e_k(y) dA} \int_{A_{KS}} e_k(y) dA \quad k, \quad (4)$$

式中，Sk为煤层平面内的积分面，Ak为煤层面积。

替换方程后。(3) 代入等式。将式(4)重新整理,得到透照法归一化偏差Ek (r)与描述局部电阻率异常的级数展开系数Bnm之间的联系。

$$E_k(r) = \frac{1}{\int_{A_{KS}} \phi_{nm}(x,y) dA} \int_{A_{KS}} \phi_{nm}(x,y) B_{nm} dA \quad (5)$$

地电层析成像重建 (换句话说,反演)是通过方程 (1)的迭代解来实现的。(5)使用L2范数。反演的结果是生成Bnm展开系数,并且通过使用 $\phi_{nm}(x,y)$ 基函数,可以计算探索区域中任意位置的局部异常e (x, y)。绘制e (x, y)的计算值,值较低的区域表明构造破坏 (Csókás等, 1986) 。

5 矿内煤层探测测量及评价结果

上述方法已在斯洛伐克煤矿得到应用。我们的任务是调查两个准备挖掘的邻近场地 (Sas-

瓦里等人。 2006)。在第一场比赛中,只有一个漂移可用;因此我们只能根据煤层测深给出构造预测。在另一个领域,三个漂移可用,因此这里应用了建议的层析成像方法。具有焊缝探测参考点和透照射线路径的研究区域如图 2 所示。

在评估测量结果之前,正常值 $Ra r$ ()
计算[欧姆]。为了进行计算,包括煤层的地电模型是通过根据测得的煤层和巷道探测数据进行联合反演来估计的(表1)。该模型包括两个煤层,根据岩石的电阻率由六种介质组成。上部质量较好的煤层正在开采,巷道被切入其中。

根据表 1 的模型计算出正常值,我们将其用于根据方程式进行评估。(2)(图3a)。在局部未受干扰的矿井部分也测量了正常值(图 3b)。对比10~80 m范围内的数据集可以看出

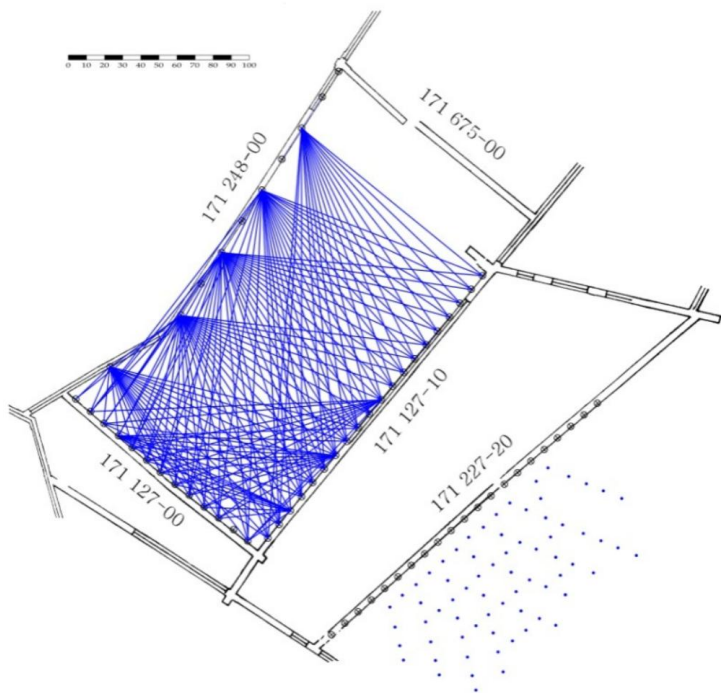


图2 矿图中地电勘探地点。符号表示AB、MN偶极子的位置,符号·表示接缝测深的参考点。透照“光线”用直线突出显示。

表格1

含煤层层状地质结构模型

层厚 [米]	电阻率 [欧姆]	岩性
5.5	11660	顶板
5.8	20.3	煤层
8.0	8	地坪
2.0	200	粘土/页岩
1	1	煤层粘土/页岩
		岩

注:该模型是根据测得的煤层、顶板和底板探测数据通过联合反演计算得出的。

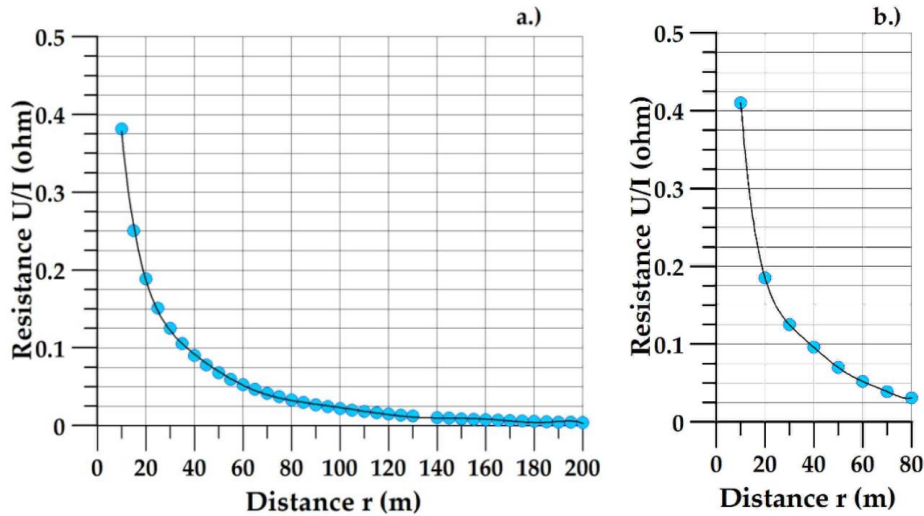


图 3. 地电煤层探测和透照的正常值随偶极子距离的变化:(a) 根据表 1 中的数据计算,(b) 在煤层未扰动部分测量。

曲线之间的差异非常小。由于局部未受干扰的区域较小,我们无法测量偶极子距离超过 80 m 的较长剖面。

我们在长度为200 m的第171 227-20号巷道中进行了煤层测深实验测量(图 2)。AB 电流和 MN 测量偶极子安装在直径 43 mm、最大长度 3 m 的钻孔中。这些位于地板和屋顶上的钻孔是

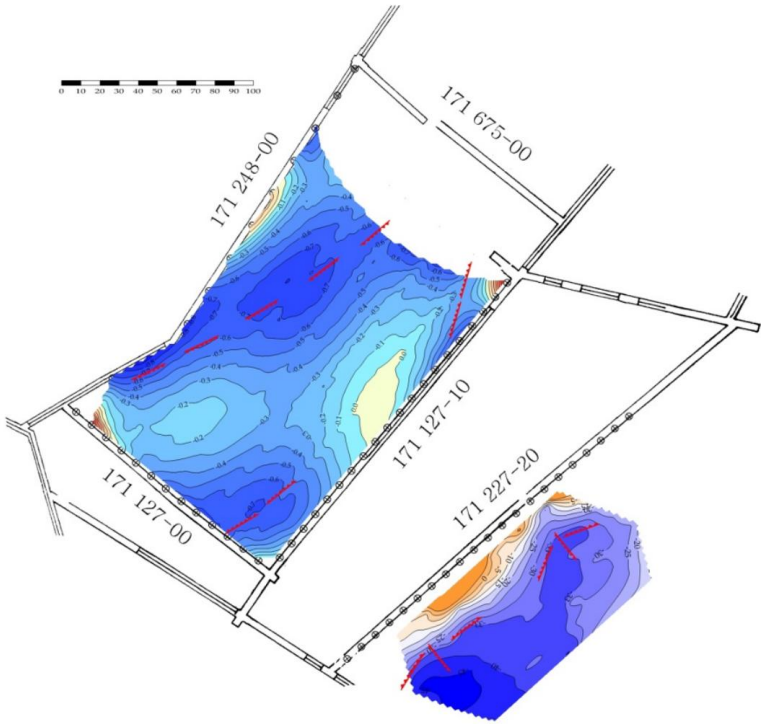


图 4. 地电透照（断层扫描）和煤层测深结果。局部电阻率异常 e 显示在层析成像图中，归一化偏差 E 在煤层测深图中以 % 表示。根据测量预测的构造特征以红色表示。

该图的彩色版本仅提供电子版。

每 10 m 分布一次。参考点处的归一化偏差 $E(r)$ 的分布以等高线图表示（图 4）。根据类似情况的经验，我们预测沿等高线的断裂带为-35%。

只有 3 个（编号 171 127-00、171 127-10 和 171 248-00）穿过指定进行透照（断层扫描）的区域的巷道是可到达的。从第四个巷道（No.177 675-0）一侧（均无法用于测量），所调查测量区域的“射线”覆盖范围很差（图3）。为了确定电流偶极子和测量偶极子的位置，该公司还在该区域每隔 10 m 打了一个钻孔。在第 171 248-00 号运输漂移中，由于内置技术和缺乏空间，测量构建/实施很困难；因此，该巷道中只安装了电流偶极子，与相反的通风巷道相比，彼此之间的距离更大。

根据我们的实践经验,这种稀疏并不会显著影响断层重建的可靠性,相反,由于第四个漂移无法使用,我们无法对上述两个漂移进行并行透照。

断层扫描重建的结果 介质的归一化局部电阻率异常 可以在图 4 的等高线图中看到。我们在地图中标记了由地图最小值指示的断层带。

六,结论

报道了米什科尔茨大学地球物理系开发的矿井内地电方法 (煤层测深和地电层析成像) 的最新应用。在进行了理论介绍之后,我们描述了地电测量系统,并给出了矿内测量数据集的解释结果,对煤层结构中的构造扰动和断层的位置进行了预测。

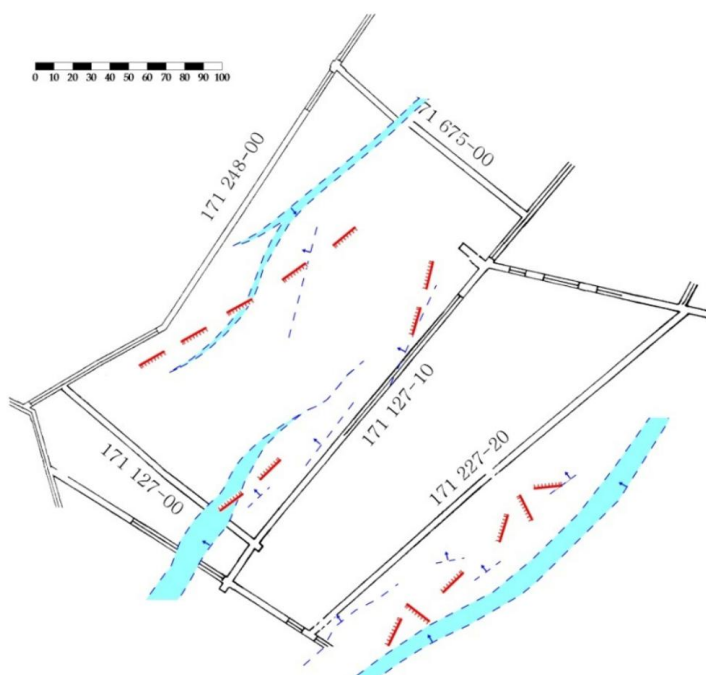


图5 地电透照 (层析成像)和煤层测深结果的构造预测与开采过程中发现的构造对比已发现的断裂带用蓝色虚线和区域表示,预测的构造特征用红线表示。该图的彩色版本仅提供电子版。

在我们的测量之后,对所调查的煤田进行了挖掘,并绘制了挖掘过程中发现的构造带和断层的位置(Sasvári等人, 2006年)。在图5中,我们展示了根据我们在这张挖掘图中的煤层测深和断层摄影结果预测的断层和构造带。

预测结果和已发现的构造要素被认为非常吻合。较大的差异出现在第 177 675-00号漂移区附近,该区域没有被透照射线正确覆盖,这是由于上述原因而预料到的(Ormos等,2016)。

2008a,b,2009)。

该方法的优点是成本低,测量和解释所需的时间相对较短。然而,为了获得可靠的结果,煤与周围地层之间的高电阻率对比以及“透照射线”的良好覆盖非常重要。

客户公司将此次勘探视为对矿内地电方法的“测试”;因此,他们没有提供该公司已有的地质构造信息。

利用先验信息可以给出更精确的预测。

致谢。作者感谢斯洛伐克矿业公司领导提供这项研究的机会。上述工作中的方法开发是作为匈牙利新发展计划框架内 TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 项目的一部分进行的。该项目的实现得到了欧盟的支持,并由欧洲社会基金共同资助。作为 MTA-ME 工程地球科学研究组的成员,其中一位作者对匈牙利科学院表示感谢。

参考

Breitzke, M., L. Dresen, J. Csókás, A. Gyulai 和 T. Ormos (1987), 煤矿三分量地震和地电勘测的参数估计和故障检测, *Geophysics* 前景. 35, 7, 832-863, DOI:10.1111/j.1365-2478.1987.tb02261.x。

Csókás, J. (1979), 用地电方法检测煤层构造扰动, 博士。匈牙利科学院论文 (匈牙利语)。

Csókás, J., M. Dobróka 和 Á. Gyulai (1986), 煤矿床质量变化和构造扰动的地电测定, *地球物理学*。前景. 34, 7, 1067-1081, DOI:10.1111/j.1365-2478.1986.tb00513.x。

多布罗卡,M.Á. Gyulai,T. Ormos,J. Csókás 和 L. Dresen (1991),地下煤矿记录的地震和地电数据的联合反演,地球物理学。前景。 39, 5, 643-665,DOI:10.1111/j.1365-2478.1991.tb00334.x。

久莱,A. (1993),地下地电测量及其评估,候选论文 (CSc) ,匈牙利科学院。

Ormos, T.,A. Gyulai,M. Dobróka,T. Sasvári 和 S. Zelenak (2008a),使用矿内地电法检测构造断层。在:过程。 EAGE 第 70 届会议暨展览,2008 年 6 月 9-12 日,意大利罗马, P213。

奥莫斯,T.Á. Gyulai 和 M. Dobróka (2008b),用于检测煤层构造扰动的矿内地电方法。在:过程。第 14 届欧洲环境与工程地球物理学会议“近地表”,2008 年 9 月 15-17 日,波兰克拉科夫, P62。

奥莫斯,T.Á. Gyulai 和 M. Dobróka (2009),用于检测煤层构造扰动的矿内地电方法。在:过程。第 22 次症状。关于地球物理学在工程和环境问题中的应用 (SAGEEP),2009 年 3 月 29 日至 4 月 2 日,美国沃斯堡,“最佳 NSG”。

Sasvári, T.,B. Pandula,J. Kondela 和 S. Zelenák (2006),利用地电方法确定西喀尔巴阡山脉上尼特拉盆地软煤矿床的断裂带, VSB 学报 – 技术大学俄斯特拉发土木工程学院爵士。 6, 2, 261-272 (斯洛伐克语)。

2012 年 10 月 15 日收稿

2012 年 11 月 26 日收到修订版

2012 年 12 月 6 日接受