维普资讯 http://www.cqvip.com

第23卷 第4期 地球物理学进展 Vol. 23 No. 4
2008年8月(页码:1269~1272) PROGRESS IN GEOPHYSICS Aug. 2008

可控源音频大地电磁法在隐伏煤矿区的应用

成江明[1,2]
(1. 安徽理工大学地球与环境学院,淮南 232001; 2. 福建省196煤田地质勘探队,沙县 365500)

摘 要 应用可控源音频大地电磁法在福建隐伏煤矿区进行了勘探研究.针对"三下找煤",在试验区做了CSAMT探测,分析原始数据,结合各矿区相关的地质资料,比对反演结果,进行了地层划分,圈定了靶区.研究结果表明,在隐伏煤矿区应用CSAMT法探测煤系地层有切实可行的效果.

关键词 CSAMT法,隐伏煤矿区,煤系地层
中图分类号 P631 **文献标识码** A **文章编号** 1004-2903(2008)04-1269-04

Application of CSMAT method in hidden coalmine

CHEN Jiang-ming[1,2]
(1. *Earth & Environment Institute ,AnHui University of Science & Technology, Huainan* 232001, *China*;
2. *Fujian Province Coal — field Geologic Branch* 196 *Brigade, Sha xian* 365500, *China*)

Abstract CSAMT method has been applied to carry out exploration on coal stratum under volcanic stratum , old stratum and red stratum in Fujian hidden coal mine. Original data has been analysized and processed. Combined with relative geologic data in test area, CSAMT inversion result has been verified. The stratum has been carved up, and the target area has also been plotted out. The result of study can show us that CSAMT method is an effective one in exploring coal stratum in hidden coal mine.

Keywords CSAMT method, hidden coal stratum, coal stratum

0 引 言

可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)作为资源勘查的新技术,在地形起伏变化较大的山区及探测目标较深的隐伏煤矿区,该方法有一定的优越性.福建省未来煤田勘探工作主要面对隐伏煤矿区,在火山岩下、老地层下、红层下的"三下"找煤.在其它物探手段难以开展的福建山区,以及探测目标体埋藏较深的矿区,CSAMT法能发挥其先导作用,为下一步钻探工作的开展提供方向.通过该方法在福建大田县东西坑隐伏煤矿区应用实例,对其找煤应用效果进行分析和探讨.

1 方法原理

可控源音频大地电磁法简称CSAMT法.20世纪70年代Goldstein,和Strangway引入该方法,是20世纪80年代末开始兴起的一种地球物理新技术,我国从80年代开始研究,取得了一些重要成果,其大勘探深度和高分辨率使得它在寻找勘查油气、矿产资源探测、地下水以及工程地质研究中应用颇多.

该法基于电磁波传播理论和麦克斯韦方程组导出的水平电偶极源在地面上的电场及磁场公式:

$$E_x = \frac{IAB\rho_1}{2\pi r^3}(3\cos^2\theta - 2)\ , \tag{1}$$

$$E_y = \frac{3IAB\rho_1}{4\pi r^3}\sin^2\theta\ , \tag{2}$$

$$E_z = (i-1)\frac{IAB\rho_1}{2\pi r^2}\sqrt{\frac{\mu_0\omega}{2\rho_1}}\cos\theta\ , \tag{3}$$

$$H_x = -(1+i)\frac{3IAB}{4\pi r^3}\sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}}\cos\theta\sin\theta\ , \tag{4}$$

$$H_y = (1+i)\frac{IAB}{4\pi r^3}\sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}}(3\cos^2\theta - 2)\ , \tag{5}$$

收稿日期 2008-03-10; **修回日期** 2008-06-20.
基金项目 2006年全国危机矿山项目资助.
作者简介 成江明,男,1968年生,1990年毕业于中国地质大学(武汉),现在福建省煤田地质局196地质队从事电法野外方法研究,资料解释工作,安徽理工大学地球与环境学院在职工程硕士研究生.(E-mail:fjcjm196@sina.com)

维普资讯 http://www.cqvip.com

$$H_z = \mathrm{i}\frac{3IAB\rho_1}{2\pi\mu_0\omega r^4}\sin\theta\ , \tag{6}$$

式中 I 为供电电流强度；AB 为供电偶极长度；r 为场源到接收点之间的距离.

将(1)式沿 x 方向的电场(E_x)与(5)式沿 y 方向的磁场(H_y)相比，并经过一些简单运算，就可获得地下的视电阻率(ρ_s)公式：

$$\rho_s = \frac{1}{5f}\frac{|E_x|^2}{|H_y|^2}\ , \tag{7}$$

式中 f 代表频率. 由(7)式可见，只要在地面上能观测到两个正交的水平电磁场(E_x，H_y)就可获得地下的视电阻率 ρ_s，也称卡尼亚电阻率.

又根据电磁波的趋肤效应理论，导出了趋肤深度公式：

$$H \approx 356\sqrt{\frac{\rho}{f}}\ , \tag{8}$$

式中 H 代表探测深度，ρ 代表地表电阻率，f 代表频率.

从(8)式可见，当地表电阻率固定时，电磁波的传播深度(或探测深度)与频率成反比. 高频时，探测深度浅，低频时，探测深度深. 人们可以通过改变发射频率来改变探测深度，从而达到变频测深的目的.

2 野外工作方法

此次勘探采用可控源音频大地电磁法，仪器为 V8 系统. 野外工作方法示意图见图 1. CSAMT 法野外装置包括场源和测站，在 CSAMT 法野外工作中，把观测区域布置在一个梯形面积内，梯形的上底为 AB 发射偶极所在的位置，测线到 AB 的距离应大于三倍的趋肤深度，测线的长度应保持在梯形面积内. 发射机发送一定的频率的信号供电，接收机在远区接收电场和磁场两个分量，电场和磁场的信号通过叠加和平均，直到得到指定精度的数据为止.

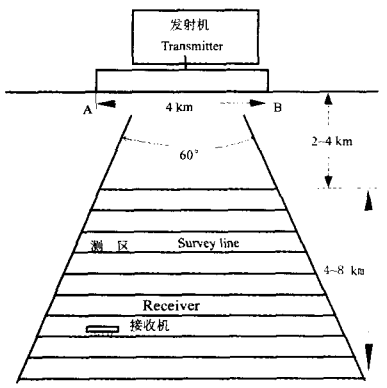


图 1 CSAMT 法野外工作布置示意图
Fig. 1 Setch of CSAMT survey

探测的深度要求为地表下 1500 m 以内，为了达到深度要求以及满足解释需要，采集频率选择为 7680～0.125 Hz，48 个频点采集，采用自动采集方式，发射和接收采用 GPS 时钟对时达到时间上的严格一致.

AB 偶极布设根据测区剖面的长度和实地考察情况，确定为 1800～2000 m，收发距为 7～12 km，使接收信号测线均落在 AB 电极中间张角 60°范围内；AB 接地电阻尽可能降低，一般小于 120 Ω，发射电流为 6～10 A.

正式开展工作前，首先对仪器进行标定以确定仪器处于良好的工作状态，在每个工区进行磁棒的标定. 测量时仪器根据信噪比的情况选择最佳信噪比的增益.

3 研究对象及物性条件

福建主要含煤地层为早二叠世下二叠统童子岩组煤系地层，为一套海陆交互相含煤沉积，约 800 多米厚，广泛分布于闽中、闽西南地区，是主要地质勘查对象. 煤系地层从下往上一般分为 3 个段，其中一、三段为含煤段、二段为浅海相不含煤的泥岩段，童子岩组煤系地层平均深度含煤系数为 2%，全属高变质无烟煤. 在地球物理特性上，反映为低电阻率、低放射性、低密度和高波速. 童子岩组煤系地层以砂质泥岩、泥质砂岩、泥岩、炭质泥岩、细砂岩及煤层有规律的交替分布，总体上为低电阻率.

通过物性测定，结合多年来电法的工作成果，工作区地层电阻率大致可分为高、中、低三类，高阻地层有元古界麻源群 Ptmy、下石炭 C_1～上泥盆系 D_3 和花岗岩 γm～$\gamma\pi$，视电阻率大于 2000 Ω·m；中阻地层二叠系栖霞组 P_1q～石炭系 C_2、二叠系翠屏山组 P_2cp、上侏罗统南园组 J_3n 和上侏罗统长林组 J_3c，视电阻率在 500～2000 Ω·m 之间；低阻地层 P_1t～P_1w 视电阻率一般小于 500 Ω·m，甚至只有几个 Ω·m. 按地层层序与地质结构，当上覆盖层 J_3c、J_3n、P_2cp，下伏 P_1t～P_1w，基底 P_1q～C_2、C_1～D_3 地层组合，可形成中低高阻的明显电性反映；有推覆构造存在时，上覆盖层为 C_1～D_3、Ptmy，下伏 P_1t～P_1w，基底 P_1q～C_2、C_1～D_3 地层组合，可形成高低中阻的较明显的电性反映.

4 实例分析

福建省大田县东西坑矿区位于大田县北端广平镇境内，处在闽西南拗陷带龙岩～大田早二叠系聚

维普资讯 http://www.cqvip.com

煤拗陷盆地的北段，广平～龙岩复式向斜西翼. 区内两翼地层由于受断裂和岩浆岩破坏，各地层保存不完整，区内断裂构造发育，以北东向为主，存在半隐伏和隐伏的缓倾角断裂，其对煤系地层的破坏性大. 其大面积出露的地层有：加里东期花岗岩体（γm_3）及上侏罗统长林组（J_3c）、南园组（J_3n），部分为早石炭系林地组（C_1l）和上泥盆统桃子坑组（D_3tz），区内隐伏煤系地层为下二叠统童子岩组，地质找煤工作程度较低. 童子岩组的盖层为印支期二层式推覆体，上层为广平推覆体，其推覆体由麻源群（$Pt_{2-3}my$）和加里东期花岗岩（γm_3）构成，下层为上泥盆桃子坑组－下石炭林地组（D_3tz－ C_1l）构成. 在勘查区周边矿区内保存的林地组，多以“飞来峰”形式覆盖在煤系之上. 根据矿区周边矿区的相关资料，综合童子岩组煤系地层的赋存及其基本构造形态，总体为一宽缓的复式向斜，推覆体下煤系地层，由于受挤压褶曲作用常形成次级的斜歪、倒转甚至翻转的背向斜，构成实际有利煤层保存的地质背景. 图 2 为矿区地质及物探工程布置图.

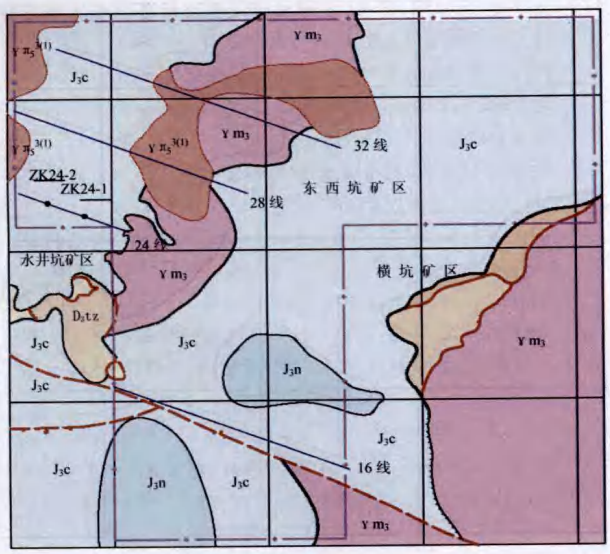


图 2　矿区地质及物探工程布置图

Fig. 2　Mining area geology and physical prospecting project arrangement

东西坑矿区作为全国危机矿山项目，矿区西南的水井坑矿区已探明一千多万吨的资源储量，本次工作是在前人地质工作的基础上有选择性开展 CSAMT 法工作，在 16 线、24 线、28 线、32 线共投入了 350 个物理点工作量，取得显著效果. 野外采集的数据用计算机进行预处理后进行反演处理，生成影像剖面，再结合矿区地质和电性作出适宜的推断，最终成果为 CSAMT 综合剖面图. 图 3 为福建省大田县东西坑矿区 24 线 CSAMT 综合剖面图. 从 CSAMT 影像图上可明显看到测线浅部（表层下 200～300m）、西侧（测线 0～300m）和东侧（测线 1100～1800m）的电阻率比较高，测线 300～1100m 之间有大片的低阻异常区，其中小于 100Ωm 的区域占 50%，而从以往经验和本区电性特征判断，应该是煤系地层引起的大片低阻异常，通过 24-1、24-2 号钻孔验证，发现了童子岩组煤系地层，其中可采煤层 24-2 号为 5 层煤，24-1 号为 9 层煤. 本区其它测线发现的低阻异常区也正在验证中.

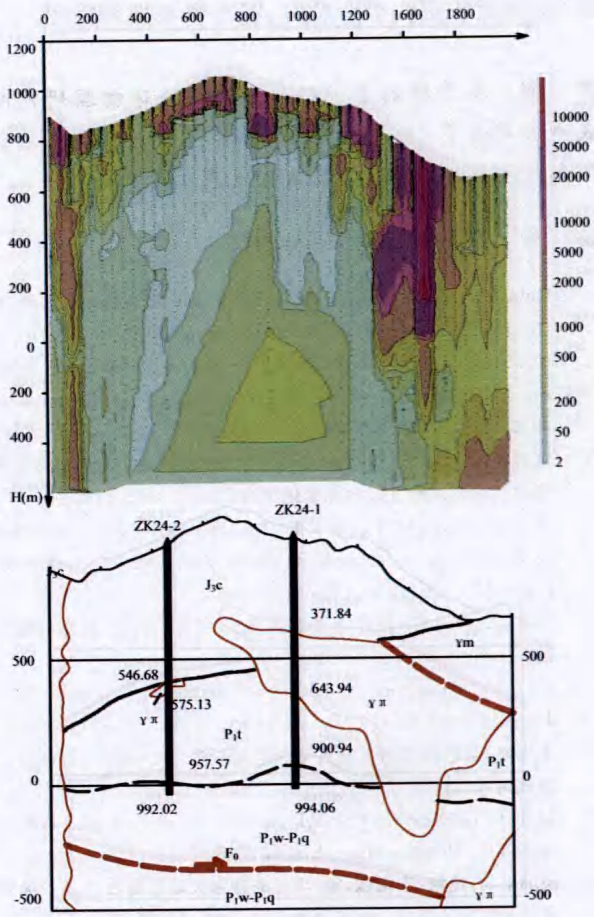


图 3　24 线 CSAMT 综合剖面图

Fig3　24line CSAMT comprehensive profile

5　结　论

CSAMT 法是电阻率频率测深，它具有探测深度大、快捷、能及时提供视电阻率频率拟断面图等优点，但也有静态效应、近场效应、场源附加效应，以

维普资讯 http://www.cqvip.com

及所测电阻率参数单一等因素增加解释难度的不足.CSAMT法在大田东西坑矿区找煤效果经两个钻孔和其它地质成果验证,该方法对煤系地层低阻异常反映可清晰识别,童子岩组煤系地层电阻率大致在100Ωm以下,就目前所作的工作以及解释结果来看,煤系地层与上覆的老地层、红层和火山岩之间存在着明显的电性差异,该方法可作为福建山区找煤的一种主要物探手段.

运用CSAMT法在福建山区进行找煤工作研究,在资料解释方面还存在许多不完善的地方,如静态校正、近场校正、消除地电干扰等方面,需要对上述问题继续加以分析研究,解决CSAMT法在复杂盖层隐伏煤矿区找煤内业数据处理和资料解释的难题,结合地质资料综合解释,提高物探解释效果.

致 谢 本文得到了中科院地质与地球物理研究所底青云研究员、王光杰博士、安志国博士和我队郭韶华高级工程师的指导,在此谨表衷心的感谢!

参 考 文 献 (References):

[1] Goldstein M A. Magnetotelluric experiments employing an artificial dipole source[D]. Univ. Toronto, 1971.

[2] Goldstein M A, STRANGWAY D W. Audio frequency magnetotelluric with a grounded dipole source[J]. Geophysics, 1975, 40(4):669～683.

[3] 底青云, 王妙月, 石昆法. 高分辨率V6系统在矿山顶板涌水隐患中的应用研究[J]. 地球物理学报, 2002, 45(5):744～754.
Di Q Y, Wang M Y, Shi K F. An applied study on prevention of water bursting disaster in mines with high resolution V6 system[J]. Geophysica Sinica, 2002, 45(5):744～754.

[4] 于昌明. CSAMT法在寻找隐伏金矿中的应用[J]. 地球物理学报, 1998, 41(1):133～138.
Yu C M. The application of CSAMT method in looking for hidden gold mine[J]. Geophysica Sinica, 1998, 41(1):133～138.

[5] 李志华. 某新建铁路复杂长隧道岩层地质与CSAMT特征[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4):1190～1195.
Li Z H. Geology and CSAMT character of long complex railway tunnel[J]. Progress in geophysics, 2005, 20(4):1190～1195.

[6] 吴璐苹,石昆法,李荫槐,等. 可控源音频大地电磁法在地下水勘查中的应用研究[J]. 地球物理学报,1996,39 (5):712～717.
Wu L P, Shi K F, Li Y H, *et al*. Applied study of CSAMT method on ground water exploration[J]. Geophysica Sinica, 1996, 39(5):712～717.

[7] 王若,王妙月,卢元林. 三维三分量CSAMT法有限元正演模拟研究初探[J]. 地球物理学进展,2007,22(2):579～585.
Wang R, Wang M Y, Lu Y L. Preliminary study on 3D3C CSAMT method modeling using finite element method[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(2):579～585.

[8] 于景邨,刘志新,岳建华,刘树才. 煤矿深部开采中的地球物理技术现状及展望[J]. 地球物理学进展,2007,22(2):586～591.
Yu J C, Liu Z X, Yue J H, Liu S C. Development and pospect of geophysical technology in deep mining[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(2):586～592.

[9] 李貅,薛国强,郭文波. 瞬变电磁法拟地震成像研究进展[J]. 地球物理学进展,2007,22(3):811～816.
Li X, Xue G Q, Guo W B. Research progress in TEM pseudo-seismic imaging[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(3):811～816.

[10] 李天成,牛滨华,孙春岩,赵丽. 2D电阻率正反演成像在水平和垂直模型上的异常响应研究[J]. 地球物理学进展,2007,22(3):940～946.
Li T C, Niu B H, Sun C Y, Zhao L. 2D resistivity tomography for anomalous response study on horizontal layered and vertical model[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(3):940～946.

[11] 汤井田,李飞,罗维斌. 基于逆重复m序列的精细探测电法发送机设计[J]. 地球物理学进展,2007,22(3):994～1000.
Li F, Luo W B, Tang J T. Electrical fine-exploration transmitter design based on invert-repeated m-sequence[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(3):994～1000.

[12] 王妙月. 固体地球内部几何结构成像和物性结构成像[J]. 地球物理学进展,2007,22(4):1126～1129.
Wang M Y. Interior Geometric and Physical Structure Imaging of Solid Earth[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(4):1126～1129.

[13] 赵国泽,陈小斌,汤吉. 中国地球电磁法新进展和发展趋势[J]. 地球物理学进展,2007,22(4):1171～1180.
Zhao G Z, Chen X B, Tang J. Advanced geo-electromagnetic methods in China[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(4):1171～1180.

[14] 汤井田,任政勇,化希瑞. 地球物理学中的电磁场正演与反演[J]. 地球物理学进展,2007,22(4):1181～1194.
Tang J T, Ren Z Y, Hua X R. The forward modeling and inversion in geophysical electromagnetic field[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(4):1181～1194.

[15] 白朝旭,刘洋,冯晅,鹿琪,刘财. 高频电磁波在不同目标体上反射图像特征研究[J]. 地球物理学进展,2007,22(5):1552～1557.
Bai C X, Liu Yang, Feng X, Lu Q, Liu C. The reflection imagine characteristics of electromagnetic wave on different target [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007,22(5):1552～1557.

[16] 郑圣谈,曾昭发,刘四新, 张代国,FengShan Liu. 宽带高频电磁场数据反演方法研究[J]. 地球物理学报, 2008, 51(1):266～272.
Zheng S T, Zeng Z F, Liu S X, Zhang D G, Liu F S. Inversion of the wideband and high frequency electromagnetic data[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2008, 50(1): 266～272.

[17] 底青云,伍法权,王光杰,等. 地球物理综合勘探技术在南水北调西线工程深埋长隧洞勘察中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(20):3631～3638.
Di Q Y, Wu F Q, Wang G J, *et al*. Geophysical exploration over long deep tunnel for west route of South-to-North water transfer project [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(20):3631～3638.