

CSAMT 法在包神铁路地基勘察中的应用

谢兴兵, 严良俊

油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北 荆州 434023
长江大学地球物理与石油资源学院, 湖北 荆州 434023

孟凡军

(铁道部第一勘测设计院, 甘肃 兰州 730000)

[摘要] CSAMT 法是在 MT 和 AMT 的基础上发展起来的一种人工源频率域测深方法, 勘探深度适中、分辨率高、抗干扰能力强、工效高成本低廉, 在工程物探中是一种行之有效的办法。讨论了基于 V8 系统的 CSAMT 法的原理、工作方法和资料解释处理, 并应用于包神铁路复线乌兰木伦段地基勘察中, 成功地解释了地基采空区的位置、埋深、范围, 为包神铁路复线建设提供了依据。

[关键词] CSAMT (可控源音频大地电磁测深); V8; 采空区; 正演修正法; 静态偏移

[中图分类号] P631. 34 [文献标识码] A [文章编号] 1673-1409 (2007) 03-N105-03

包神铁路承载着巨大的运输压力, 主要为煤炭的外运, 对于包头、鄂尔多斯及陕北等地区的经济发展具有重要意义, 复线的建设势在必行; 而复线乌兰木伦段途经煤矿采空区, 地形、地质条件复杂。为了避免施工风险和预防施工过程中可能出现的地质灾害, 采用 CSAMT (可控源音频大地电磁测深)^[1]法对该段地基采空区的位置、埋深、范围进行勘测, 可为铁路建设中避开采空区塌陷等地质灾害提供依据。

1 工程概况

包神铁路为地方铁路, 始建于 1988 年, 途经很多煤窑。这些煤窑多为解放前无序乱采, 修建铁路时曾加固处理, 采用清渣、清淤到基岩, 用干砌片石分层码砌, 不留空隙, 紧贴顶板加固, 加固宽度 20~ 30m。线路位于乌兰木伦左岸阶地前缘斜坡较陡地段, 该段地势起伏较大, 线路右侧狭窄, 多为陡坎, 海拔高程介于 1158~ 1189m 之间, 前缘坡面为薄厚不均的风、冲积细砂覆盖, 下伏砾岩 (K_2^{lg})、砂岩夹页岩 (J_1^{st-sh}), 岩层产状近水平, 表层为风积细砂; 斜坡陡坎为风积、冲积细砂及风化基岩, 页岩易风化加之渗水易引起边坡的坍塌, 局部斜坡有表层溜坍现象; 煤窑斜井井口多从陡坎底部进入。

2 野外方法与技术

2.1 仪器选择

CSAMT 法是在 MT (大地电磁测深) 和 AMT (音频大地电磁测深) 的基础上发展起来的一种人工源频率域测深方法, 勘探深度适中、分辨率高、抗干扰能力强、工效高成本低廉, 在工程物探中是一种行之有效的方法^[1]。该次 CSAMT 勘探使用的仪器是加拿大凤凰公司生产的新一代网络化多功能电法仪 V8。V8 汇集高精度 GPS、无线网络、远程控制、移动存储等当代最新科技于一身, 是目前世界上电磁系统的顶级产品, 成功地解决了很多过去在实际生产中所遇到的瓶颈问题, 使 V8 即使在复杂的山区施工也变的如履平川。该设备总体由 4 大系统组成: ①发射系统由发电机、发射机、控制盒子 (控制器) 组成; ②采集 (接收) 系统由 V8 主机、RXU-3 采集盒子、电极、磁棒、电缆等组成; ③高精度 GPS 模块和无线传输模块组成定时及网络系统, 保持采集系统与发射系统之间及 V8 主机与 RXU-3 采集盒子之间时钟同步和相互通讯; ④数据记录系统将所采集的数据保存在可移动 CF 卡上。

V8 的出现开创了真正的电法三维或四维观察新阶段。V8 系统采用的是先进的模块化技术, 包括天然场的远参考大地电磁 (MT) 和音频大地电磁 (AMT) 以及人工场源的可控源声频大地电磁 (CSAMT)、各种时域和频域电磁功能 (TDEM、FDEM)、激发极化-时间域和频率域、相位和谱 IP (IP)、各种电阻率功能 (偶极法、斯伦贝谢法或温纳法等)。

[收稿日期] 2007-06-20

[作者简介] 谢兴兵 (1978), 男, 2001 年大学毕业, 硕士, 助教, 现主要从事电法勘探方面的研究工作。

该系统被油田、煤田、铁路系统、国土资源部、国家地震局以及环境监测系统等用户广泛应用于油气储量的调查、地热储量的勘察、地下水调查、地壳及地震的研究、活断层的研究以及金属矿和矿产调查、金伯利岩的开发、环境工程调查、连续性或长周期的检测等领域。

2.2 CSAMT 方法原理

CSAMT 法原理和常规大地电磁测深法类似，即测量互相垂直的水平磁场分量 H_y 和电场分量 E_x ，计算卡尼亚视电阻率 ρ 。在实际工作中，标量 CSAMT 法 MKS 制单位计算视电阻率公式(f 为频率) 为^[2,3]：

$$\rho = \frac{1 |E_x|^2}{5f |H_y|^2} \quad (\Omega \cdot m) \tag{1}$$

CSAMT 采用人工源具有较强的抗干扰能力，且更容易获得对地电变化较灵敏的相位信息，野外数据质量高、重复性好，解释与处理方法简单（解释方法可直接套用 MT 方法），解释剖面横向分辨率高，勘探深度较大及工作成本低廉，高阻层屏蔽作用小等优点；其不足之处是场源效应影响时常存在，静偏移严重，受地形的影响较大。

2.3 工作布置

沿老线铁道两侧平行铁道设计 CSAMT 测线 2 条，总长约 4700m，共设计物理点 222 个，点距 20m；在重点区域设计短测线 2 条分别长约 300m，物理点 24 个，点距同为 20m。供电极距 2000m，收发距 8000m。测量采用多道排列方式，每个排列为 6 个电道(E_x)，一个磁道(H_y)；频率范围 500~ 10000Hz。

3 资料处理与成果解释

3.1 资料预处理

针对 CSAMT 资料易受静态偏移和地形影响等特点，在 CSAMT 资料处理时，采取从功率谱开始进行有效编辑，然后进行圆滑和剔飞点处理，在做这些处理时特别注意了与相邻点的对比（逐个频点），从而保证了曲线形态的连续性；其次是 CSAMT 曲线的静校正，静校正方法主要采用 EMAP 方法和 TEM 相结合来完成。

3.2 CSAMT 资料处理与反演方法

3.2.1 视电阻率与相位的计算

对于标量观测方式^[2]，视电阻率 ρ 与相位 φ 按下式计算^[2]：

$$\rho = 0.2T |Z|^2 \tag{2}$$

$$\varphi = \arctan | \operatorname{Im}(Z) / \operatorname{Re}(I) | \tag{3}$$

式中, Z 为波阻抗; T 为周期; I 为电流。

3.2.2 资料反演

1) 静偏移量的计算与地表电性异常体的判断依据 在 CSAMT 勘探中，地下表层不均匀体表面积累电荷能使电场数据向上或向下移动一个常数（它与频率无关），因而视电阻率曲线也沿纵轴在双对数坐标中发生上下平移，这种现象称为静态位移^[4]。利用 CSAMT 视电阻率曲线的静偏移现象来判断和识别地表电性不均匀体，继而实现采空区目标勘探的方法技术是近年来开发的新技术。众所周知，静态偏移在电磁勘探，特别是在构造勘探中都认为是一种干扰，资料处理时要进行校正处理。在采空区勘探时，采空区本身可视作表层电性异常，按静态偏移现象，视电阻率曲线会发生平移现象。利用这种平移或突变现象，可对采空区的位置进行准确划定，但埋深还得利用反演的视电阻率剖面。

2) 资料反演 资料反演用到的是自主研发的“正演修正法”非线性反演方法^[5]。图 1、图 3 为 1 号测线和 2 号测线特征段的反演电阻率剖面图，图 2、图 4 为 1 号线和 2 号线特征段静偏移曲线图。这些基本图件是进行采空区解释的重要依据。

3.3 电法地质综合解释

1) 1 号线 从反演电阻率剖面（图 1）和静态偏移曲线（图 2）可以发现，电性异常在测线上分布较广。根据异常分布和静偏移曲线突变情况，在静态偏移曲线上解释异常体高阻异常体 5 个，编号为 D1、D2、D3、D4、D6；低阻异常体 1 个，编号为 D5。位于里程 K146400 附近的低阻异常带未在图中给予解释，认为该异常体可能为低阻煤系地层。对比反演电阻率剖面上高阻位置发现，2 种方法解释的

异常对应关系良好。

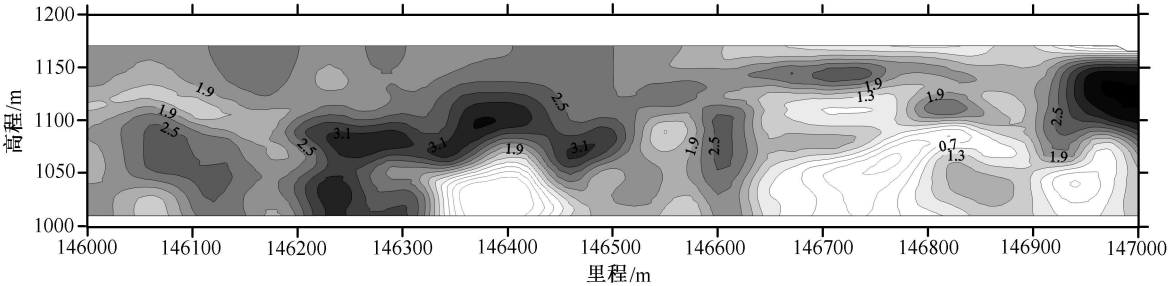


图 1 1 号线特征段反演电阻率剖面图(等值线 $\lg(\rho/\Omega \cdot \text{m})$)

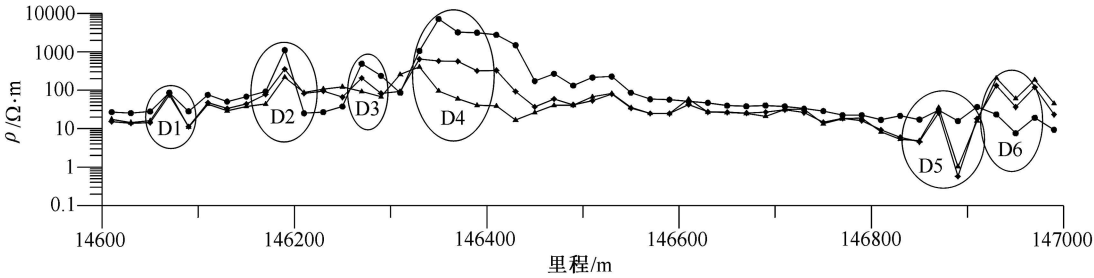


图 2 1 号线特征段静偏移曲线图

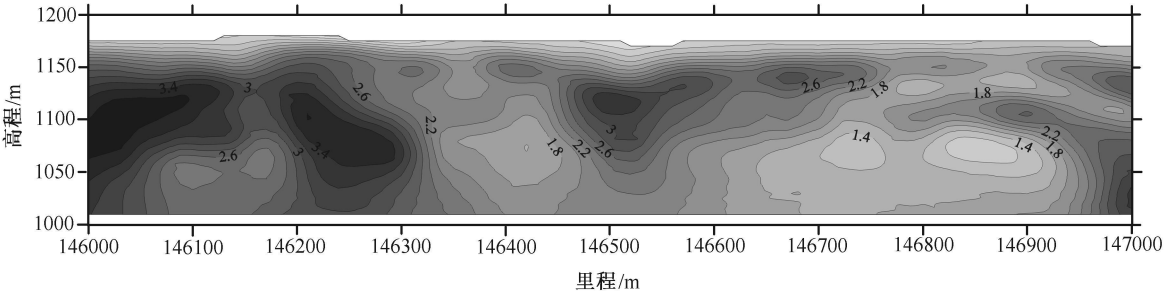


图 3 2 号线特征段反演电阻率剖面图(等值线 $\lg(\rho/\Omega \cdot \text{m})$)

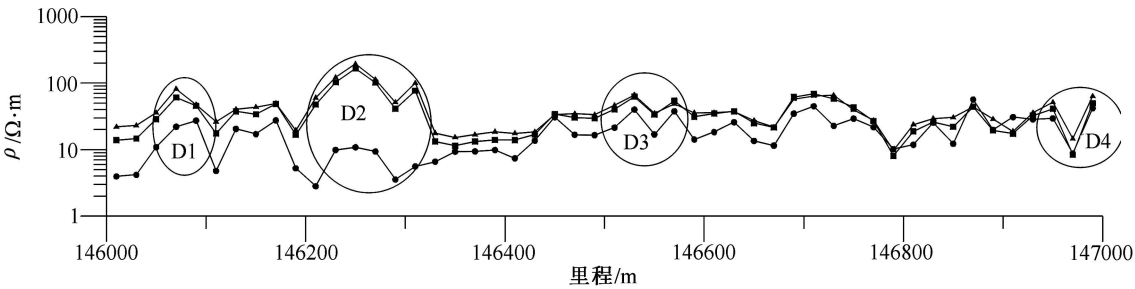


图 4 2 号线特征段静偏移曲线图

2) 2 号线 2 号测线位置基本与 1 号线平行。从反演电阻率剖面 (图 3) 和静态偏移曲线 (图 4) 可以发现, 根据异常分布和静偏移曲线突变情况, 在静态偏移曲线上解释异常体高阻异常体 4 个, 编号分别是 D1、D2、D3、D4。对比反演电阻率剖面上高阻位置发现, 异常对应关系良好, 说明 2 种方法解释结果是可靠的。

[参考文献]

[1] 汤井田, 何继善. 可控音频大地电磁法及其应用 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005
[2] Cagniard L. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting [J]. Geophysics, 1953, (18): 605~ 635
[3] Kaufman A A, Keller G V. 时间域与频率域电磁测深 [M]. 北京: 地质出版社, 1987
[4] 罗延钟, 何展翔. 可控音频大地电磁法的静态效应校正 [J]. 物探与化探, 1991, 15 (3): 196~ 202
[5] 苏朱刘, 胡文宝. 大地电磁测深 “降维逼近法” 二维反演 [J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37 (5): 516~ 523

[编辑] 弘 文

and quantitative methods are provided, long-term prewarning capacity based SVM model was analyzed. The results show that SVM used in finance is feasible and practical. The possibility of identifying the prewarning level with multi-mode classification is presented.

Key words: financial prewarning; SVM; model

88 **Editor Design Based on Core Image Compression**

GUO Wei (Shengli Oilfield Co Ltd, SINOPEC Dongying 257077)

LI An (China University of Petroleum, Dongying 257061)

Abstract: Data volume of core image was big, not appropriate for storage and transfer, it needed to be compressed. Standard JPEG compression method was used in core image editor, thus it needed to be designed. The editor structures include encoding and decoding. Its function include FDCT, IDCT, quantification and anti-quantification, DC encoding and AC coefficient ordering, entropy encoding and decoding. It can be used for lossless core data compression.

Key words: image compression; editor; encode; decode; function design

97 **New Methods for Analyzing and Designing Planar Linkages**

HUANG Qing-shi, WANG Li-juan (Yangtze University, Jingzhou 434023)

Abstract: A direct linkage connection for kinematic analysis by using planar mechanism was proposed. An algebra method of a 4 linkage mechanism was designed according to multiple prepositions and analytical method for 4 linkage mechanism was designed for a given stroke-velocity ratio. The 3 methods were analyzed in detail. The methods are simple for teaching and engineering design.

Key words: mechanical principle; planar linkage mechanism; analytical method

102 **Binary Comparison Fuzzy Optimization Theory Applied to the Selection of Pile Foundation**

LU Hai-lin, YU Guang-chao (Yangtze University, Jingzhou 434023)

Abstract: Building construction needs to use different pile foundations. Pile foundation selection is based on the evaluation of many factors which have the characteristics of faintness. The previous researches use marking points for pile foundations, compared to the weight approach. Enterprises often use the dual relatively fuzzy optimization theory to the selection of pile foundation. The evaluation of various factors is analyzed, its weight is compared and fuzzy optimization theory is used combining with example of a project. An optimized pile-selection program is obtained.

Key words: pile foundation; fuzzy optimal; expression operator; relatively optimal degree

105 **Application of CSAMT Technique in Foundation Exploration of Baoshen Railway**

XIE Xing-bing, YAN Liang-jun (Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou 434023)

Meng Fan-jun (The First Survey and Design Institute of Ministry of Railways, Lanzhou 730000)

Abstract: CSAMT was an artificial source method of frequency domain sounding, which developed on the basis of MT and AMT. It had moderate exploration depth, high resolution, strong anti-jamming ability, high efficiency and low cost, so it was an effective method in engineering geophysics. The principle, working methods and data interpretation of CSAMT are introduced based on the V8 system, which applies to the Wulanmulun sector foundation exploration of Baoshen Railway multiple track and successfully explains the location, buried depth, limit of the foundation gobi area, providing a basis for Baoshen Railway multiple track construction.

Key words: CSAMT; V8; gobi area; forward amendment method; static drift