

文章编号: 1006 - 2106( 2013) 04 - 0009 - 05

# 大地电磁法探测中条山隧道及断层的结构特征<sup>\*</sup>

唐海敏<sup>1\*\*</sup> 张吉振<sup>1</sup> 王 银<sup>1</sup> 陈 亮<sup>1</sup> 董 威<sup>2</sup>

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251; 2. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 武汉 430023)

**摘要:** 研究目的: 近年来, 对于长大深埋铁路隧道的工程地质勘察, 大地电磁法已经成为目前最为行之有效的物探勘察手段之一。大地电磁法利用天然电磁场信号为场源, 观测天然电磁场的时间序列信号, 然后将时间序列数据转化为频率域数据, 进而计算出每个频点的电阻率值和阻抗相位。野外数据经 Robust 处理和带地形的一维反演, 能真实地反应地下的地质信息。

**研究结论:** 在中条山选线研究中, 应用天然源音频大地电磁法(AMT)进行物探勘察, 基本查明了测区内地层情况及一些不良地质体, 达到预期勘察目的。本次中条山隧道勘察, 共推断物探 I 类异常 11 处, 物探 II 类异常 8 处, 断层分别为 F2、F3、F4, 施工时应加以注意。大地电磁法以天然大地电磁信号为场源, 具有野外施工简便, 成本低廉, 探测深度大的优点。音频大地电磁法由于频率较高, 对浅部的分辨率较高, 更适用于工程勘察, 对本次中条山隧道的勘察取得良好效果。

**关键词:** 天然源音频大地电磁法; 隧道; 断层; 结构特征

中图分类号: P319.1+1 文献标识码: A

## Exploration of Structure Characteristics of Fault for Zhongtiaoshan Tunnel with Magnetotelluric Method

TANG Hai-min<sup>1</sup>, ZHANG Ji-zhen<sup>1</sup>, WANG Yin<sup>1</sup>, CHEN Liang<sup>1</sup>, DONG Wei<sup>2</sup>

(1. The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China; 2. Wuhan Municipal Engineering Design&Research Institute Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430023, China)

**Abstract: Research purposes:** In recent years, the magnetotelluric method has become one of the most common and effective ways for the geophysical exploration for the long and deep-buried railway tunnel. The magnetotelluric method uses the natural electromagnetic signal as the field source to observe the time serials of the natural electromagnetic signal and compute the value of resistivity and its impedance phase by transforming the observed data from time domain to frequency domain. After the Robust processing and 1-d inversion of the topography are conducted, the field data can actually reflect the underground geological information precisely.

**Research conclusions:** In the research on the alignment of the Zhongtiaoshan Tunnel, the natural source audio frequency magnetotelluric was used for the geophysical exploration to find out the stratum condition and unfavorable geological structures in the survey area, achieving the expected survey target. During the exploration for the Zhongtiaoshan Tunnel, the 11 Class-I geophysical abnormalities, 8 Class-II geophysical abnormalities and faults of F2、F3、F4 were deduced, and to them the more attention would be paid during construction. The magnetotelluric method has the features of simple out-door application, low cost and deep depth detecting due to using the natural MT signal as the field source. As the AMT uses higher band frequencies, it has higher resolution in the shallow areas. It is available for the engineering

\* 收稿日期: 2012-12-20

\*\* 作者简介: 唐海敏, 1986 年出生, 男, 助理工程师。

investigation, and the desirable results of the exploration for the Zhongtiaoshan Tunnel was achieved.

**Key words:** natural source audio frequency magnetotelluric; tunnel; fault; structural feature

在山西运城地区开展 AMT 天然场音频大地电磁法勘探,目的是查明中条山隧道土石界面及第三系碎石土(砾岩)情况,及中条山北麓断层的位置、走向等。根据地质调查资料,中条山隧道自上而下地层大致为:黄土、第三系地层(胶结砾岩夹砂层和土层)、基岩(主要由太古界变质岩类和岩脉、元古代浅变质岩类、古生代寒武至奥陶系浅海相沉积的碳酸盐类组成)。不同地层间存在一定的电性差异,具有开展地球物理勘探的前提条件。本文论述音频大地电磁法在中条山隧道及断层勘察中的应用情况,实践表明应用效果良好。

## 1 大地电磁法原理

利用天然电磁场的平面电磁波垂直入射地下时,不同频率的电磁波具有不同的穿透深度(频率越低,周期越长,穿透越深)的原理,通过选频手段,探测不同深度的地质结构的方法叫大地电磁法<sup>[1-3]</sup>。不同的地质结构表现出不同的电性指标——视电阻率( $\rho_a$ ),它与勘探周期( $T$ )和与该周期呈函数关系的电场的水平分量( $E_x$ )、磁场的水平分量( $H_y$ )以及勘探深度( $h$ )的关系式如下:

$$\rho_a = 0.2T \left| \frac{E_x}{H_y} \right| \quad (1)$$

$$h = 356 \sqrt{\rho_a \cdot T} \quad (2)$$

式中  $T$ ——周期(s),由仪器的频率关系给定;

$E_x$ 、 $H_y$ ——地面互为正交的电磁观测系统的电场及磁场水平分量( $\gamma$ );

$\rho_a$ ——视电阻率( $\Omega \cdot m$ )。

可知,探测深度( $h$ )将随电阻率( $\rho_a$ )和勘探周期( $T$ )的改变而改变,频率较高的数据反映浅部的电性特征,频率较低的数据反映较深的地层特征。

大陆内部地块边界、深大断裂带、古缝合带往往容易受水、松散沉积物充填,导致自身电阻率的显著降低,而大地电磁测深的特点之一就是对低阻体敏感,因此该方法对揭示断裂带结构及延伸状态具有重要的指示意义<sup>[4]</sup>。大地电磁法一般可用来进行电性分层,查明深大断层及深部地质构造<sup>[5-6]</sup>。目前已广泛应用于油气田、煤田、地热田等工程领域的勘探和地震监测<sup>[7]</sup>。

## 2 外业布置

### 2.1 野外电极的布置

接收信号使用不极化电极,野外共布置五个电极,

四个测量电极,一个接地电极。每两个测量电极组成一个电偶极子,长度为 25 m。电极布置方式采用十字型,十字中心点为数据采集点。野外布置电极时浇灌一定量饱和盐水,保证偶极接地电阻小于 2 k $\Omega$ 。为了避免设备损坏,在连接电极之前,盒子使用一个不极化电极进行接地。电极方向均用森林罗盘仪确定,误差小于 1°。

### 2.2 野外磁棒布置

磁棒使用森林罗盘仪确定方向, $H_x$ 磁棒与隧道线位平行, $H_y$ 磁棒与隧道线位垂直,其中方向误差小于 2°,同时  $H_x$ 、 $H_y$  磁棒使用水平尺保证两根磁棒水平,并且两根磁棒不放置在同一象限内。为了消除人文干扰,两个磁棒要埋在地下至少 5 cm,并且距采集盒子 5 m 以上。MTU5 工作布置如图 1 所示。

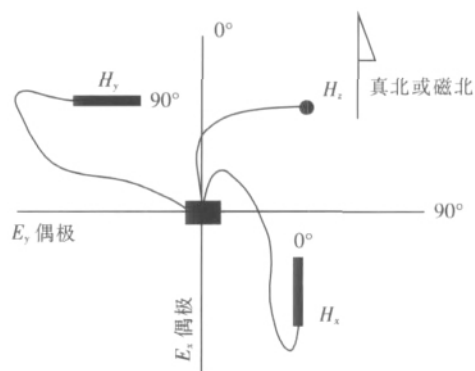


图 1 MTU5 工作布置图

### 2.3 具体操作

仪器设备使用加拿大凤凰地球物理公司的 MTU-5A 仪器,采集盒子能记录两道不极化电极测量的电道和两道三个利用探头测量的磁道数据。记录单元之间通过全球卫星定位系统(GPS)与世界通用协调时间(UTC)同步。在开始数据采集前以及数据采集完成后,对大地电磁仪器都进行了标定,并进行了一致性试验,结果表明使用的仪器在整个数据采集期间性能稳定。

## 3 成果与解释

### 3.1 隧道部分

从物探大地电磁断面图整体可以看出,隧道进口段向出口段电阻率值呈现出由高至低的变化趋势,以下选几段加以说明。

#### 3.1.1 CHK 628 + 050 ~ CHK 629 + 600

该段整体看电阻率值很高,如图 2 所示,等值线变



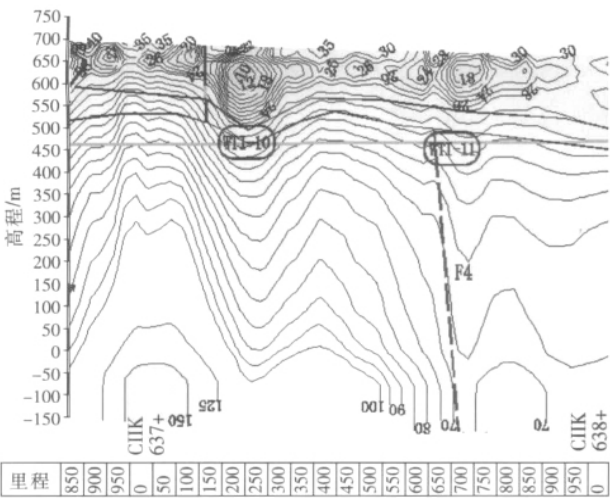


图 5 CIHK 636 + 825 ~ CIHK 638 + 000 段物探剖面成果图

3.2 断层勘察部分

在隧道进口附近 ,布置了四条断层勘察测线: AM - 4 ,AM - 5 ,AM - 6 和 AM - 7 ,由中条山隧道断层勘察物探断面图( 图 6) 可看出 ,每条测线断面图均有明显的高低阻分界线 ,且在分界附近等值线变化剧烈 ,成竖直向下的走势。推断此为断层的表现。

经物探勘察 ,由断层剖面成果图( 图 6) 可知 ,每条测线均出现明显的高低阻分界 ,分界线附近等值线密集且呈垂向分布 ,在平面布置图中依据剖面成果标识为断层 F1 ,推断断层 F1 交线位里程 CIHK 626 + 625 ,断层 F1 走向在 AM - 6 线为转折点 ,两侧分别 N82°E 和 N69°E ,断层倾向小里程。

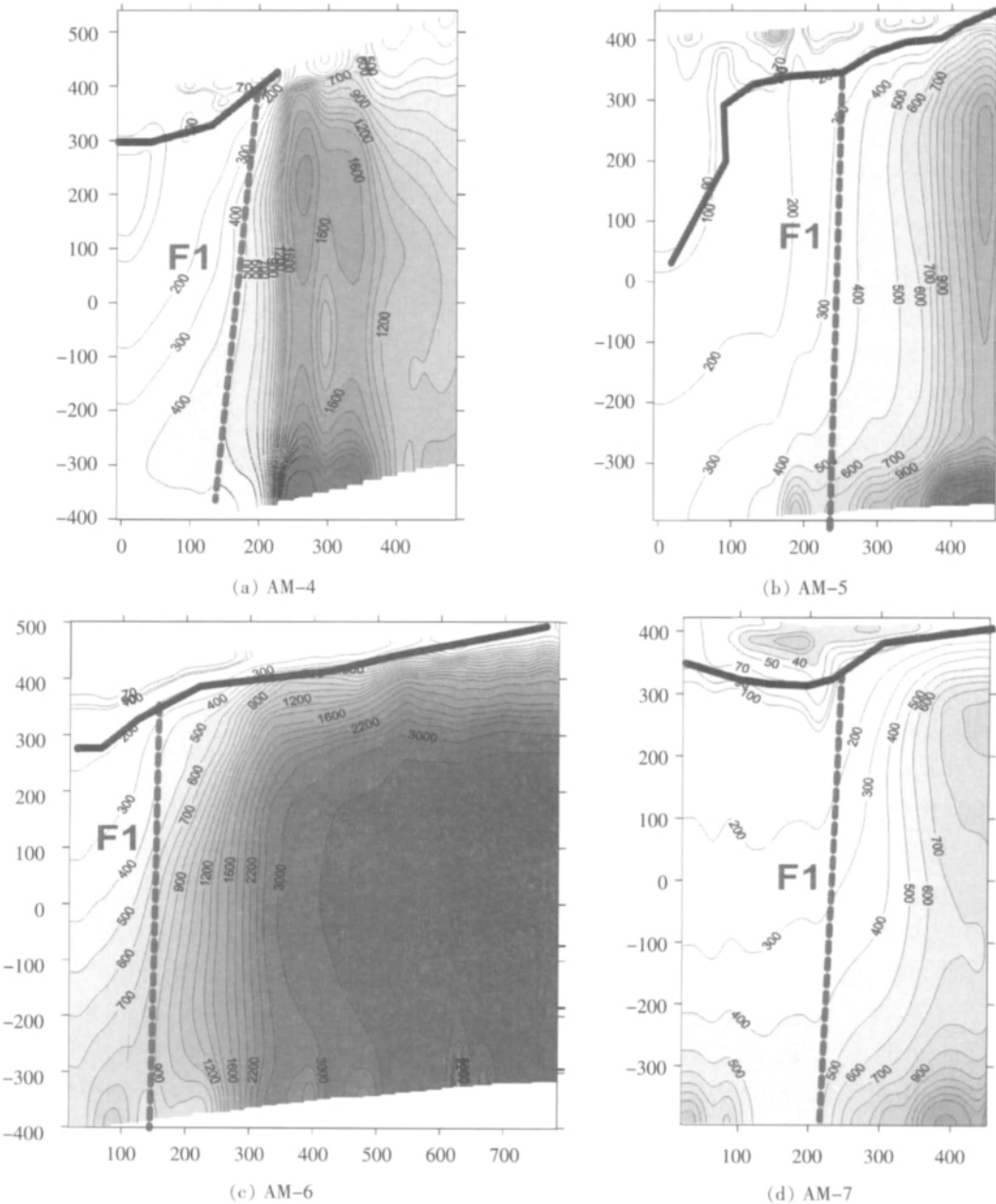


图 6 中条山北麓断层 AM - 4、AM - 5、AM - 6、AM - 7 勘察物探成果

## 4 结论

本次物探工作,基本查明了测区内地层情况及一些不良地质体问题,达到了预期的勘察目的。本次中条山隧道勘察,共推断出 I 类异常 11 处,物探 II 类异常 8 处,三个断层分别为 F2、F3、F4,施工时应加以注意。另外本次中条山北麓断层勘察,推断断层 F1,该断层交线位里程 CIIK 626+625,断层 F1 走向在 AM-6 线为转折点,两侧分别为 N82°E 和 N69°E,断层倾向小里程。

勘察过程中,有些地段由于高压线、房屋密集、地形陡峭等因素的干扰未能在线位上开展工作。同时,在某些电磁干扰过大的地区辅助性地做了电测深,对资料解译提供了良好的参考。

大地电磁测深具有轻便、高效、价廉、能克服高阻屏蔽、勘探深度大(几米~几十千米)、受场地限制小、应用范围广等优点。天然源大地电磁法与传统物探方法相比,具有不受地形限制、生产效率高、勘探深度大的优点,在本次中条山隧道及断层勘探过程中,推断出异常及不良地质体,满足了地质任务要求并查明了隧道进口地质断层的情况,对铁路工程地质勘探具有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 陈乐寿,王光镔. 大地电磁测深法[M]. 北京:地质出版社,1990.  
Chen Leshou, Wang Guange. Magnetotellurics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- [2] 石应骏,刘国栋,吴广耀,等. 大地电磁测深法教程[M]. 北京:地震出版社,1985.  
Shi Yinjun, Liu Guodong, Wu Guangyao, etc. The Course of Magnetotelluric Sounding [M]. Beijing: Earthquake Press, 1985.
- [3] A. A 考夫曼, G. V 凯勒. 频率域和时间域电磁测深[M]. 北京:地质出版社,1987.  
G. V. Keller, A. A. Kaufman. Frequency and Transient Sounding [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [4] 祁晓雨,许广春,李志华. 天然源大地电磁法在构造勘察中的应用研究[J]. 铁道工程学报, 2011(12): 11-14.  
Qi Xiaoyu, Xu Guangchun, Li Zhihua. Research on Application of Natural Source Audio Frequency Magnetotellurics in Structure Exploration [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(12): 11-14.
- [5] 许广春,等. 可控源音频大地电磁法(CSAMT)在隧道勘察中的应用[J]. 工程勘察, 2008(6): 68-71.  
Xu Guangchun, etc. Application of CSAMT Method on Tunnel Exploration [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2008(6): 68-71.
- [6] 朱金华,冒我冬,白锦琳,等. CSAMT 法在断层含水性评价中的应用[J]. 物探与化探, 2011(4): 569-572.  
Zhu Jinhua, Mao Wodong, Bai Jinling, etc. The Application of CSAMT Method to the Evaluation of Water-bearing Properties of Faults [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2011(4): 569-572.
- [7] 李志华,朱旭东. 复杂地质隧道的综合物探技术[J]. 铁道工程学报, 2008(8): 58-61.  
Li Zhihua, Zhu Xudong. The Application of Integrated Geophysical Exploration Technology in the Tunnel Under the Complicated Geological Conditions [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(8): 58-61.

(编辑 曹淑荣)

(上接第8页)

- International Heavy Haul Association. Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations: Line Construction and Operational Maintenance [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2011.
- [6] 姚远明. 中国铁路产业“走出去”战略研究[M]. 安徽:安徽大学出版社, 2010.  
Yao Yuanming. China Railway Industry Strategy Research for "Going Out" [M]. Anhui: Anhui University Press, 2010.
- [7] 铁道第三勘察设计院集团有限公司. 重载铁路设计规范(征求意见稿) [S]. 北京:中国铁道出版社, 2011.
- The Third Railway Survey and Design Institute Group Co. Ltd. Code for Designing Heavy Haul Railway (Exposure Draft) [S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2011.
- [8] 易明. 勘察设计企业向国际型工程公司战略转型的思考[J]. 铁道工程学报, 2012(2): 102-105.  
Yi Ming. Thoughts on Survey and Design Enterprises Change to International Engineering Companies [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012(2): 102-105.

(编辑 梅志山)