

AMT在公路沿线断层快速勘察中的应用

陈超 孙茂锐 刘路 李星

安徽省交通规划设计研究院股份有限公司

摘要: 断层勘察不清易引发挖方边坡坍塌、隧道塌落或涌水等工程地质灾害,严重影响公路工程的施工安全。在勘察阶段查清公路沿线断层的特征对于公路工程选线、设计以及施工均有重要意义。笔者以安徽省G329夏阁至含山界段改建工程沿线断层勘察为例,验证了音频大地电磁测深(AMT)在断层快速勘察中的有效性和便捷性,对类似工程有一定的借鉴意义。

关键词: 音频大地电磁测深(AMT); 公路工程; 断层

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.017

一、引言

公路工程沿线的断层勘察常用物探方法有高密度电法、地震折射法、瞬变电磁以及音频大地电磁法等,均有各自应用条件和特点^[1-3]。但高密度电法、地震折射法等多种便捷的工程物探手段受勘探深度小、地形效应大、高阻屏蔽等应用条件限制,在埋深较大的隧道、场地空间不足的桥位区或基岩广泛出露的山区往往效果一般,更难以有效查明埋深较大无出露的隐伏断层。

音频大地电磁测深(AMT)是基于电磁感应原理研究天然场源在地层中激励的交变电磁场分布,并借此研究地球电性结构及地质特征的一种物探方法。相较于其他物探方法,AMT具有工作效率高、勘探深度范围大、高阻屏蔽作用弱、地形影响小、仪器轻便等特点,在工程勘察中已有广泛应用^[4-7]。G329夏阁至含山界段改建工程几个AMT应用实例表明,在人文干扰不大的情况下,AMT能快速准确地查明断层的产状、倾角、走向等地质特征,揭示断层与公路工程线位的空间相对位置关系,有助于评价断层对公路工程的影响,为拟建项目的选线、设计和施工提供了有力支持,实际钻孔验证了物探结果的准确性。

二、音频大地电磁测深(AMT)简介

(一) 基本原理

音频大地电磁测深(AMT)采集天然交变场源在地层传播过程中与介质发生电磁感应作用后的变化特征,以卡尼尔电阻率的差异以及在地下的展布形态来区分地层岩性及构造等,识别地下地质体的空间分布和性质^[7, 8]。卡尼尔电阻率计算公式为:

$$\rho_a = \frac{1}{\omega\mu} |Z|^2 \quad (1)$$

根据趋肤效应理论,不同频率的电磁波在介质中具有不同趋肤深度,因此可通过在地表观测不同频率的地球电磁响应序列达到测深的目的。趋肤深度公式为:

$$\delta \approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2)$$

式中 δ 代表趋肤深度, ρ 代表电阻率, f 代表频率。

一般将电磁波衰减到一半时的穿透深度称为勘探深度,经验公式为:

$$H = 0.6932\delta \approx 356 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (3)$$

由(3)可见,随着电磁波频率增大或卡尼尔电阻率减小,AMT的勘探深度变小;反之,随着电磁波频率减小或卡尼尔电阻率增大,AMT的勘探深度变大。由于不同深度地层的电阻率本身不会变化,通过对不同频率电磁感应强度的观测可以得到该频率所对应地层深度的地电参数,从而达到测深目的。影响地层电阻率的主要因素有岩石的矿物成分及结构、构造及含水情况等,而断层破碎带与完整岩体等存在明显的电性差异,多呈现为低阻,因此通过AMT可以快速有效查明断层。

(二) 数据的采集与处理

音频大地电磁测量野外施工一般采用张量观测方式,布极方式一般采用“+”字形、地形不利时可采用“L”或“T”型。干扰区或信号较弱时应延长观测时间,增加有效叠加次数。

AMT资料处理应首先检查原始数据质量,针对不同的噪声干扰,采用相应的去噪方法。干扰严重或数据失真时,应重复采集或换用另外的物探方法。AMT数据反演坚持由粗到细、逐步深入和多次反复、多方法佐证的原则,可按BOSTICK反演、一维反演、二维反演三个层次进行,由粗到细,前一步的反演结果作为后一步反演的初始模型,可以降低二维反演的多解性,并减少一维反演的“挂面条”现象。若一维反演已经可以达到效果可不进行二维反演。AMT资料解译应结合各种地质构造的响应规律和常规经验,首先全面分析原始资料,定性解译AMT成果,对测区内的地层起伏、断裂位置、构造形态等建立整体认识,然后结合钻孔及其他地质资料,在定性分析认识的基础上进行定量解释。

三、应用实例

(一) 桥位区AMT实例

G329夏阁至含山界段改建工程K10+551.48分离立交桥桥位区地貌单元为江淮波状平原区,微地貌为岗坡地,地面标高在25.0~42.0m之间,地形较平坦。勘察查明,在钻探所达深度范围内,第①层为人工填土,第②层为第四系全新统冲积层(Q_4^{al}),第③~④层为第四系上更新统冲积层(Q_3^{al}),下伏基岩为志留系下统高家边组(S_1g)泥质粉砂岩。钻孔ZK-1、CMB-1和CZK-1揭露断层破碎带(见图1),受断层影响,岩体极破碎,岩芯呈砂土状夹碎块状。

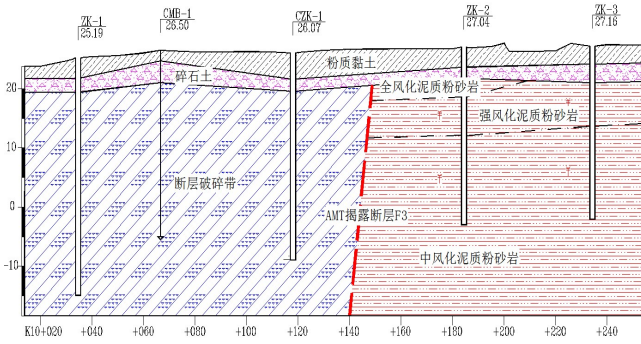


图1 工程地质纵断面图 (图件叠合)

根据区域地质资料和钻探成果, 布置平行于线位的AMT测线两条 (见图2)。测线一 (见图3) 和测线二 (见图4) 纵向地层沉积层序清晰稳定, 电阻率基本呈现逐渐增加的趋势; 从横向上看, 粉质黏土、碎石土层视电阻率变化平缓, 呈水平层状分布, 电阻率多小于 $100 \Omega \cdot m$ 且变化范围较小; 测线一剖面中部 K10+120.0 左 37.0m~K10+164.2 左 36.7m 段以及测线二剖面中部 K10+087.0 右 31.2m~K10+149.0 右 31.0m 段电阻率梯度值较大, 结合地质资料推测为断层破碎带 F3 边界; 测线一剖面左侧和测线二剖面左侧位于断层破碎带及影响带内, 电阻率较低, 多为 $150 \sim 400 \Omega \cdot m$; 测线一剖面右侧和测线二剖面右侧电阻率稍大, 多为 $600 \sim 1000 \Omega \cdot m$ 。综合地质资料及音频大地电磁测深成果查明桥位区附近发育的夏阁~盛桥主干断层 (F3), 在拟建桥梁小桩号桥台至 K10+140 左右位置与线路大角度相交, 为逆断层。根据破碎带中北东向压扭面产状推断本段层面倾向北西, 倾角 70° 左右, 对本工程建设有一定影响。

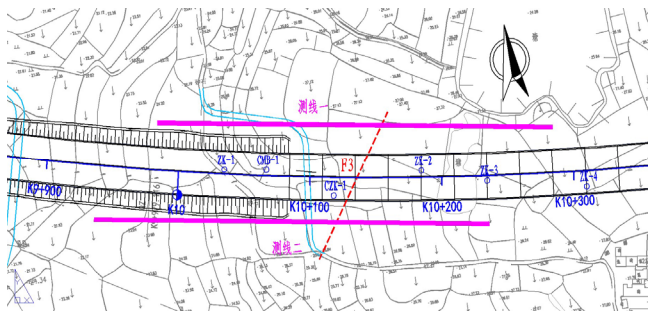


图2 AMT测线布置图 (标注钻孔位置)

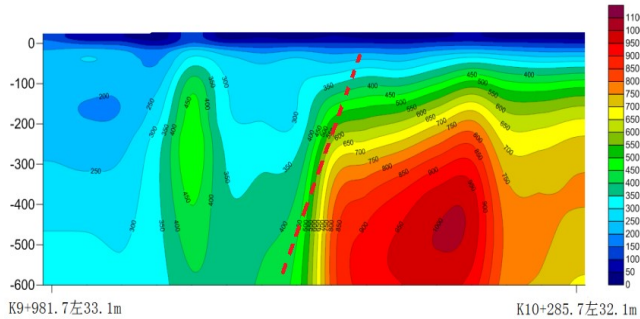


图3 测线一AMT电阻率断面图

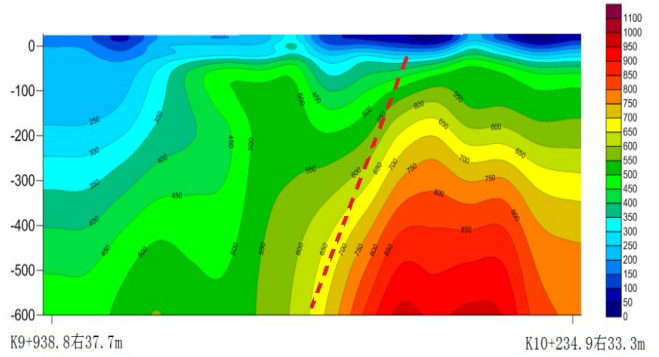


图4 测线二AMT电阻率断面图

(二) 隧道AMT实例

G329夏阁至含山界段改建工程试刀山隧道隧址区地层属扬子地层区下扬子地层分区六合-巢县地层小区。场地基岩大多出露地表, 岩性主要为志留系 (S) 泥质粉砂岩、砂岩、泥盆系 (D) 石英砂岩夹砾岩、石炭系 (C) 石英砂岩夹泥质粉砂岩和页岩、二叠系 (P) 灰岩, 岩层产状为 $100 \sim 275^\circ \angle 35 \sim 82^\circ$ 。局部上覆第四系全新统 (Q_4^{col+d1}) 崩坡积碎石土和 (Q_4^{e1+d1}) 残坡积粉质黏土。

为探明隧址区内断裂构造发育情况, 本次勘察采用音频大地电磁测深结合地质调绘、钻探进行综合勘察。隧道K线AMT电阻率断面图及对比验证测线的AMT电阻率断面图共发现4条断裂 (见图5、图6), 断裂编号分别为 F1、F2、F3 和 F4, 断层发育规模与性质特征详见表 1。断裂构造发育处, 岩体破碎、充水, 在电阻率等值线图上反映为电阻率相对低值区、电阻率梯度值较大以及等值线分布形态发生明显变化等。钻孔和现场调绘成果验证了 AMT 成果的准确性, 断层带内岩体破碎, 岩性软硬不均, 围岩稳定性差, 对隧道工程影响较大。

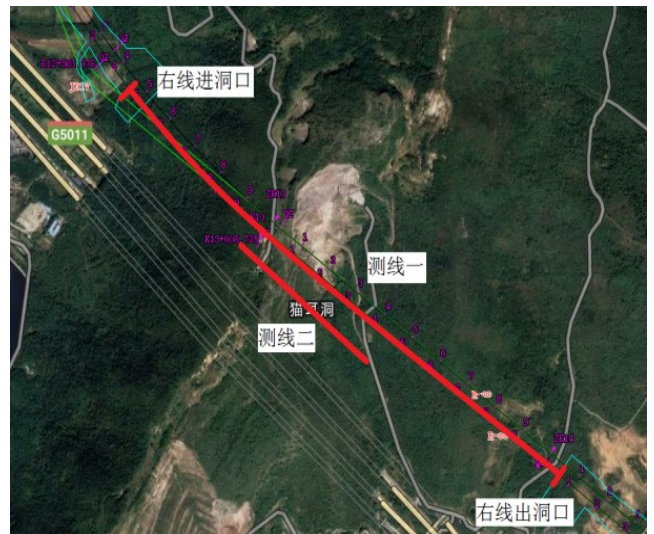


图5 隧道K线 (测线一) 及对比验证测线 (测线二) 卫片位置示意图

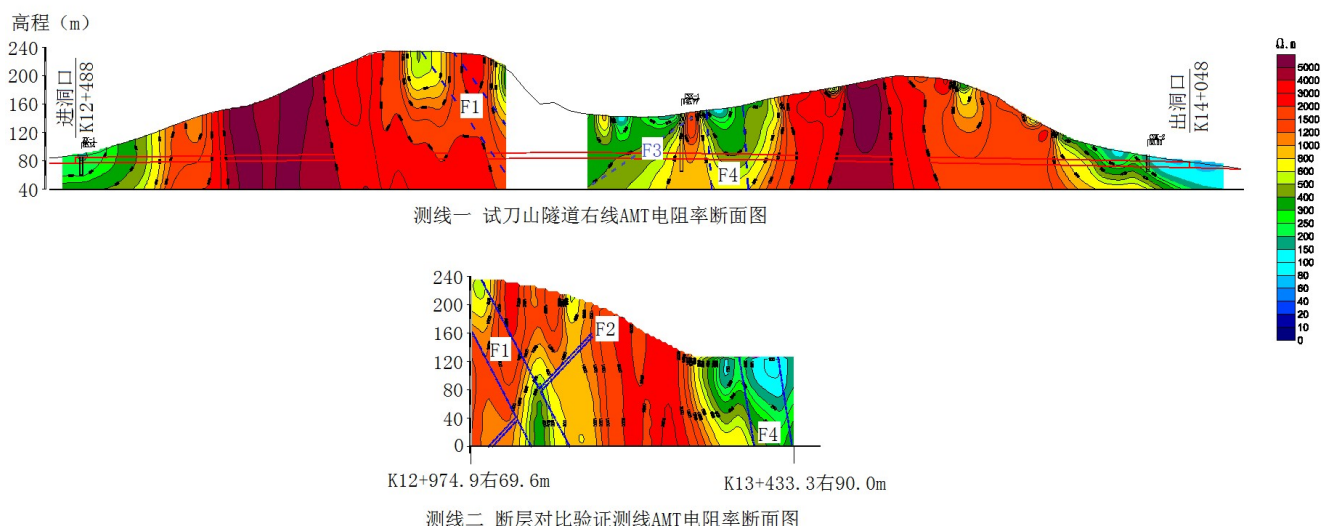


图6 隧道K线及对比验证测线AMT电阻率断面图

表1 隧址区断层统计表

断层编号	电阻率 (Ω·m)	断层产状	规模 (宽度)	与隧道相交位置
F1	200~2000	走向: 近南北; 倾向大致向东	30~40m	K13+070~K13+130
F2	200~2000	285° ∠40°	3~5m	K13+060~K13+070
F3	400	走向: 北北西	约0.5m	K13+270~K13+280
F4	80~800	走向: 北东东; 近直立	约50m	K13+375~K13+435

四、结语

(1) 本文采用音频大地电磁测深 (AMT) 查明了G329夏阁至含山界段改建工程沿线部分桥位区和隧道的断层构造, 结合调绘和钻探的结果, AMT揭露的断层与实际基本一致, 说明AMT是公路工程断层勘探中快速有效的探测手段。

(2) 地层折射法或高密度电法等多种便捷的工程物探手段受勘探深度小、地形影响大、高阻屏蔽等限制, 在埋深较大的隧道、场地空间不足的桥位区或基岩广泛出露的山区效果不佳, 而音频大地电磁测深 (AMT) 仪器轻便、施工迅速、场地空间要求小, 是很好的快速勘察手段。

(3) 合理选用物探方法可以提高勘察效率、节约勘察成本, 在强人文干扰区, 尤其是电磁干扰, AMT应用受限, 需结合其他物探手段相互验证, 保证勘察质量。

参考文献

[1] 中国水利电力物探科技信息网. 工程物探手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
 [2] 刘猛, 徐健楠, 汤斌峰. 高密度电法在城市轨道交通工程隐伏断层探测中的应用 [J]. 铁道勘察, 2016, 42 (05): 78-80.

[3] 蒋全科, 雷宛, 黄霄寒, 等. 应用综合电阻率法勘察隐伏断层 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2016 (03): 378-384.

[4] 龚旭亚, 涂运中. 多种勘察技术在马峦山隧道断层勘察中的应用 [J]. 城市勘测期刊, 2018 (04): 164-169.

[5] 王晓龙, 程志平, 邱尚文. 物探方法在探测隐伏断层中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2013 (02), 161-164.

[6] 李法滨, 俞仁泉, 何文勇. 综合物探在复杂岩性地区断层勘察中的应用 [J]. 公路交通技术, 2013 (02), 17-20.

[7] 王品丰, 康世海, 孔凡涛, 等. 音频大地电磁在长大深埋隧道勘探中的研究与应用 [J]. 物探化探计算技术, 2018 (01): 95-101.

[8] 雷宛, 肖宏跃. 工程与环境物探教程 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.

作者简介: 陈超, 男, 1989年生, 硕士研究生, 2014年毕业于中国矿业大学 (北京) 地球探测与信息技术专业, 主要从事工程物探与工程检测方面的研究工作。