

文章编号: 1001-1749(2023)01-0115-06

物探方法组合在公路路基隐伏断层勘察中的应用

孙茂锐¹, 李星¹, 朱伟², 刘路¹, 陈超¹

(1. 安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司, 合肥 230088;

2. 长江大学 地球物理与石油资源学院, 武汉 430100)

摘要: 地震折射法和高密度电法是工程勘察中常用的两种物探方法, 然而每种物探方法都存在着数据的多解性问题。为加强物探异常的判定, 提高地球物理解释的可靠性和准确性, 可以将不同的地球物理方法进行组合应用。以灌阳至天峨高速公路某段岩溶路基工程中的隐伏断层探查为例, 介绍了浅层地震折射波法和高密度电阻率法的综合应用。实际资料结果表明, 两种方法组合精确判定了隐伏断层的位置, 圈定高密度电法剖面图前段低阻异常为断层的反应, 更好地定义和解释目标异常体。

关键词: 浅层地震折射; 高密度电法; 公路勘察; 隐伏断层; 物探方法组合

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.01.15

0 引言

地下隐伏构造探测一直是公路工程勘察的重点和难点, 单一的物探方法并不能准确判断断层异常的位置, 而物探组合方法(基于两种及以上的物性参数)对于同一异常可以相互验证, 更好地定义和解释异常体^[1-5]。高密度电法作为一种高效、高分辨率的电阻率法, 可以获取浅层地下结构的电阻率分布, 但引起电阻率异常的因素较多, 单一的低阻或高阻异常无法作为断层的判定依据^[6]。地震折射波法是一种基于弹性波理论的探测方法, 可观测并计算覆盖层和基岩波速, 评价岩体质量和工程地质围岩分类, 且根据折射波原始记录图上的异常形态特征还可推测隐伏断层、破碎带的位置^[7-8]。

这里以某公路存在断层的岩溶路基为研究对象, 为兼顾断层及岩溶的探测效果, 在该段布置高密

度电法测线, 结果显示在剖面的前段有两处明显的条带状低阻异常, 均可能为断层的反应, 为准确圈定断层位置, 在该处增布设折射波排列, 两种物探组合方法精确判定了隐伏断层的位置。

1 研究区域概况及测线布设

研究区域位于桂林市大境瑶族乡境内的某山间侵蚀堆积河谷, 地下水资源丰富, 上覆为第四系全新统冲洪积层及残坡积层卵石土、圆砾土、漂石土、粉质黏土, 下伏基岩为泥盆系中统东岗岭阶上段灰岩, 覆盖层及基岩分别有较大的电性及弹性波速度差异, 这些差异为地球物理勘探提供了前提条件。区域地调资料显示该区域地质构造复杂, 断层 F 与公路线位 K61+350~K62+050 段大角度相交, 具体位置不明。

基于以上地质条件及勘探要求, 本次工作沿公

收稿日期: 2021-10-30

基金项目: 地球内部多尺度成像湖北省重点实验室开放基金(SMIL-2017-10)

第一作者: 孙茂锐(1984-), 男, 学士, 高级工程师, 主要从事工程物探勘察工作, E-mail: sunmaorui123@163.com。

通信作者: 李星(1995-), 男, 硕士, 主要从事电法观测系统及正反演研究, E-mail: 1075484120@qq.com。

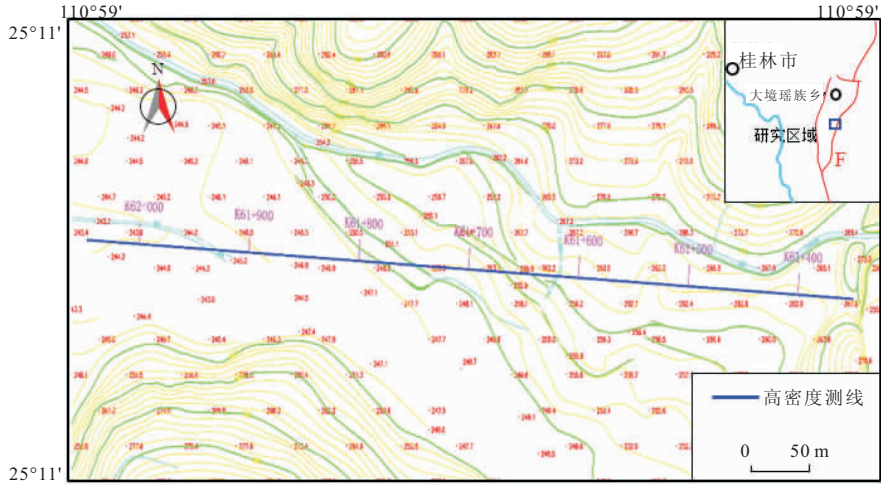


图 1 测区及测线示意图

Fig. 1 Survey area and line survey

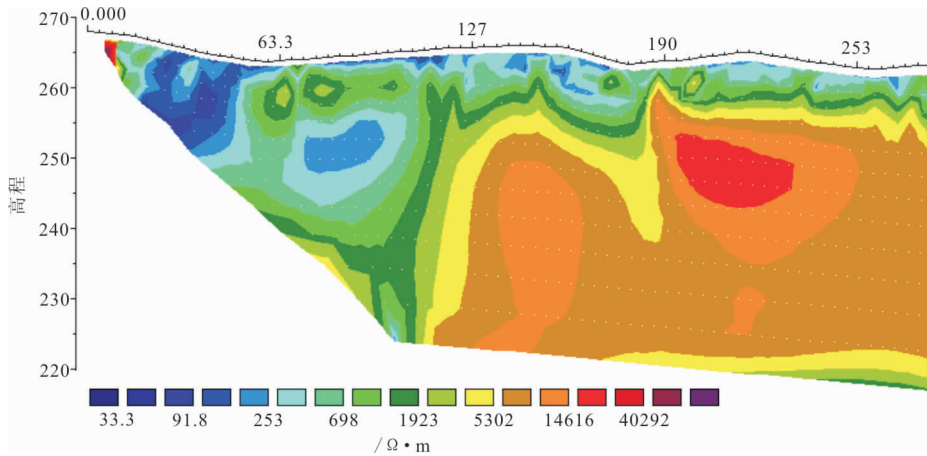


图 2 高密度电法电阻率反演断面图

Fig. 2 High density electrical resistivity inversion section

路线位中心线 K61+350~ K62+050 段落区间, 布置了 1 条高密度电法剖面, 并在高密度电法剖面低阻异常区域重合布设了 1 条地震折射测线(图 1)。

2 野外工作方法

2.1 高密度电法

高密度电法是通过阵列电极向地下供电并同时测量电位差及电流的一种传导型电阻率法, 与常规电法勘探原理相同, 即根据测量得到的电位差和电流数据结合装置系数 K , 并由视电阻率推算公式计算, 根据视电阻率数据结合反演结果和地质资料对地下结构进行推断解释, 高密度电法作为一种阵列观测的勘探方法, 具有效率高、数据量大的

特点^[9]。

本次高密度工作使用的仪器是重庆奔腾数控技术研究所产 WDA-1 高密度电法仪(主机和转换模块), 电极距为沿地形斜距 3 m, 测量时所有物理点均采用 RTK 实时定位, 经过对比试验, 工作装置采用温纳 α 测深装置。

2.2 地震折射波法

浅层地震折射波法是通过人工震源激发的地震波在地下介质中传播, 当下层介质的波速大于其上层介质波速以及波的人射角等于临界角的情况下, 地震波就会沿着速度界面传播, 产生折射波, 在地面接收、分析和解释原始记录图及时距曲线, 了解地下的地质情况达到勘探的目的。浅层地震折射波法的优点是可以从原始记录图及时距曲线两个方面获得

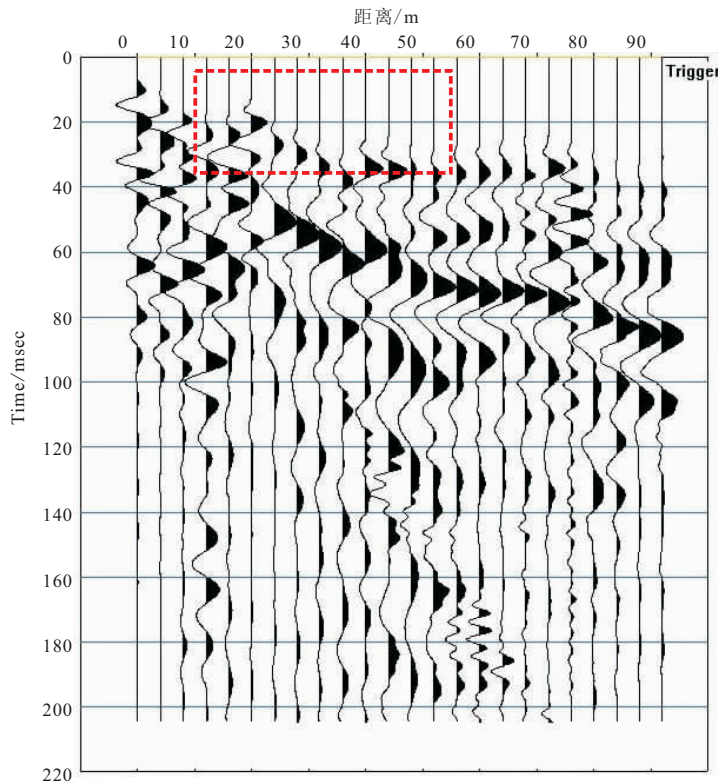


图3 左侧端炮地震折射原始记录

Fig. 3 The original seismic refraction records of the first shots

信息,精度较高,但野外布线时易受地形限制^[10-13]。

经过系列试验,本次浅层地震折射波野外勘探工作采用18磅铁锤作为震源,数据采集使用青岛骄鹏的Miniseis24型工程地震仪,24道采样,道间距为沿地形斜距4m,采样点数1024,采样间隔为0.2ms。

3 资料处理与解释

3.1 高密度电法

对高密度电法原始数据进行地形改正、滤波等预处理后,经过5次最小二乘法迭代反演,得到高密度电法电阻率剖面图。由于本次探测断面较长,选取可能为断层反映的倾斜带状异常的电阻率剖面图进行分析研究(图2)。从图2可看出,断面中电阻率值整体呈左低右高、上低下高趋势,剖面浅部电阻率值整体较小,在 $30\ \Omega\cdot\text{m}\sim 700\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间,深部电阻率值较大,最大可达上万,在剖面24m~51m、51m~111m处分别存在向左倾斜的条带状低阻异常,对应的里程桩号分别为K61+374~K61+

401、K61+401~K61+461,根据断层在电阻率剖面图上特征,两处异常均可能为断层所致。

3.2 地震折射波法

野外获得的地震折射波原始记录图经过检查评价,正确地分析与识别有效波,读出各点波到达的旅行时,再经过一些必要的校正,绘制时距曲线。然后根据时距曲线解释出各点的地震界面的深度并作出地震界面的深度变化剖面^[14-15]。本例的原始记录图在波分析与对比中即发现有断点绕射的存在。

图3及图4分别为里程桩号K61+350~K61+442地震折射左右侧端的原始记录图。由图3、图4可见,折射波初至较明显,剖面20m~50m处同相轴起伏弯曲,对应里程桩号为K61+370~K61+400。据钱玉贵等^[16]研究断层的折射波时距曲线特征,隆起部位可近似看成连接其左右两支同相轴的绕射波,据此可判断该处即为断层发育位置。研究其他干扰波的特征,未发现其他异常现象。

3.3 综合分析解释

通过对高密度电法及地震折射波资料的分析,高密度电法剖面K61+401~K61+461处低阻异常

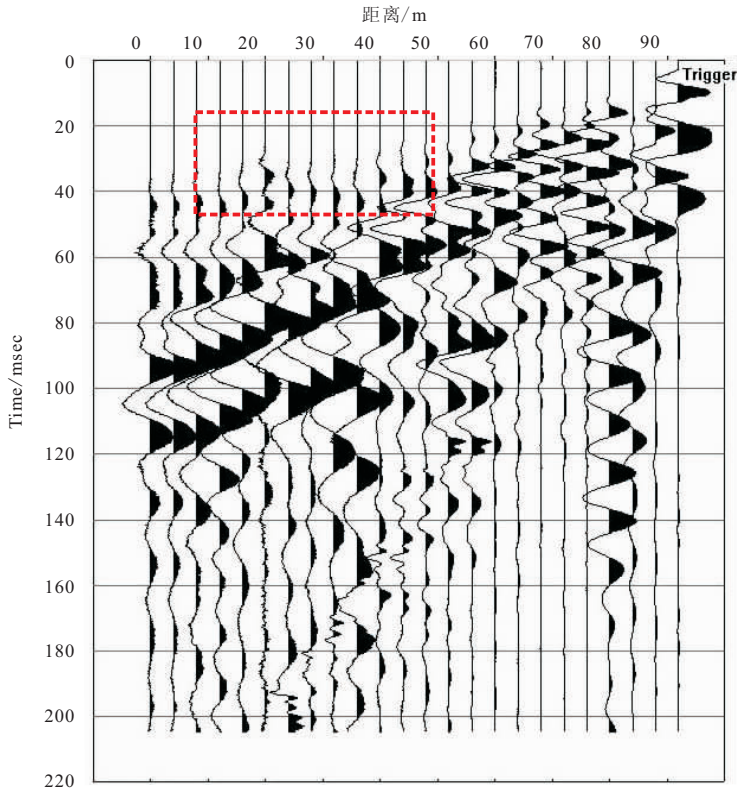


图4 右侧端炮地震折射原始记录

Fig. 4 The original seismic refraction records of the last shots

在地震折射波方法上未有相关显现,该低阻异常应为断层附近发育的岩溶在剖面图上的反映。而 K61+374~K61+401 的低阻异常段落与地震折射波形异常段落 K61+370~K61+400 吻合性较好。两种物探方法勘探结果表明,高密度电法及地震折射波分别利用其电阻率差异及原始记录图的波形差异综合判定了断层的位置。区域断层 F 的位置与公路线位相较于段落 K61+370~K61+400 处。

4 结论及建议

通过此次物探组合方法的综合应用,可以得出以下结论与建议。

1) 复杂地质条件下高密度电法与浅层地震折射法组合对断层及其破碎带的勘查效果明显,两种方法相互补充,相互验证,能够准确定位断层的位置。

2) 电阻率大小的影响因素有很多,低阻异常可能为断层、富水、岩溶等因素造成,实际工作中应采用物探组合的方法加以验证。

3) 地震折射勘探中,应着重对比波的同相性、相似性及振幅的规律变化。

4) 受地形及方法所限,高密度电法剖面的断层

异常缺少深部电性信息,后期应采取其他电法勘探补足深部电性信息。

参考文献:

- [1] 温学飞,何滔,孟海东,等.基于综合物探法的矿山土质滑坡滑动面探测[J].物探化探计算技术,2018,40(4):479-486.
WEN X F, HE T, MENG H D, et al. Detection of sliding surface of mining landslide based on comprehensive geophysical prospecting method[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2018,40(4):479-486. (In Chinese)
- [2] 郑龙金,罗海权,邹磊,等.综合物探法在浙西地区拟建隧道地质勘察中的应用研究[J].物探化探计算技术,2020,42(5):678-683.
ZHENG L J, LUO H Q, ZHOU L, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in geological survey of planned tunnels in western zhejiang[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2020,42(5):678-683. (In Chinese)

- [3] 王其合. 综合物探技术在城市轨道交通勘察中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2021, 43(3): 360—366.
WANG Q H. Application of comprehensive geophysical prospecting technology in urban rail transit survey [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 43(3): 360—366. (In Chinese)
- [4] 陈斌文. 公路岩溶洞穴探测的综合物探方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
CHEN B W. Study on comprehensive geophysical exploration methods of Karst cave exploration for the highway [D]. Changsha: Central South University, 2009. (In Chinese)
- [5] 彭明涛, 王磊, 曾明勇, 等. 综合物探方法在川东高陡断褶带隐伏断层勘探中的应用研究[J]. 物探与化探, 2021, 45(04): 882—889.
PENG M T, WANG L, ZENG M Y, et al. The application of integrated geophysical prospecting to the exploration of buried faults in the high and steep fault—fold zone in eastern Sichuan[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(04): 882—889. (In Chinese)
- [6] 孙茂锐, 陈超, 刘路, 等. 高密度电法与低频雷达天线同位置岩溶区实测分析[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18(04): 519—523.
SUN M R, CHEN C, LIU L, et al. Field study of high density electrical method and low frequency radar antenna at the same location in Karst areas [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2021, 18(04): 519—523. (In Chinese)
- [7] 黄洪泽. 折射波法探测断层的模型试验[J]. 地球物理学报, 1978, 21(2): 174—181.
HUANG Z H. A model experiment of prospecting of faults by the refraction method—certain features on the seismograms [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1978, 21(2): 174—181. (In Chinese)
- [8] 唐湘蓉, 彭绪洲, 陈新球. 浅析浅层折射地震资料解释中检波距选择的合理性[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(4): 341—344+335.
TANG X R, PENG X Z, CHEN X Q. Analysis on the rationality of the geophone range selection in the interpretation of shallow refraction seismic data[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 32(4): 341—344+335. (In Chinese)
- [9] 李星, 刘海飞, 柳建新, 等. 物探方法组合在岩溶区地面塌陷勘查中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2021, 43(1): 108—115.
LI X, LIU H F, LIU J X, et al. Application of geophysical prospecting method combination in the exploration of ground subsidence in karst area[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 43(1): 108—115. (In Chinese)
- [10] 朱怡诺. 折射波走时层析成像方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
ZHU Y N. Study on refraction travelttime tomography [D]. Changchun: Jilin University, 2019. (In Chinese)
- [11] 秦晶晶, 刘保金, 许汉刚, 等. 地震折射和反射方法研究郟庐断裂带宿迁段的浅部构造特征[J]. 地球物理学报, 2020, 63(02): 505—516.
QIN J J, LIU B J, XU H G, et al. Exploration of shallow structural characteristics in the Suqian segment of the TanLu fault zone based on seismic refraction and reflection method[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2020, 63(02): 505—516. (In Chinese)
- [12] 沈杨. 近地表走时层析成像与波形偏移成像的方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.
SHEN Y. Near surface travelttime tomography and seismic wavefield migration [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2021. (In Chinese)
- [13] 王树威. 黄土塬区煤系非常规气地震勘探资料处理方法的应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2019, 41(4): 547—553.
WANG S W. Application research on seismic data processing approach of unconformity gas in coal measures of Loess Yuan region[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 41(4): 547—553. (In Chinese)
- [14] 孙茂锐. 折射波法探测断层的实例分析[J]. 工程地球物理学报, 2012, 9(06): 705—707.
SUN M R. Case analysis of refraction wave to detect the fault[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2012, 9(06): 705—707. (In Chinese)
- [15] 孙茂锐, 罗术. 高频大地电磁法与地震折射波法在某隧道隐伏断层勘探中的综合应用[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(05): 657—660.

SUN M R, LUO S. The integrated application of high frequency electromagnetic and seismic refraction methods to hidden fault of tunnel exploration[J]. Chinese

Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10(05): 657—660. (In Chinese)

Application of combination of geophysical methods in the investigation of hidden faults in highway subgrade

SUN Maorui¹, LI Xing¹, ZHU Wei², LIU Lu¹, CHEN Chao¹

(1. Anhui Transport Consulting & Design Institute Co., Ltd., Hefei 230088, China;

2. College of Geophysics and Petroleum Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: Seismic refraction and high-density electrical methods are among engineering surveys' most commonly used geophysical methods. However, each geophysical method has the problem of data ambiguity. In order to strengthen the determination of data anomalies and improve the reliability and accuracy of geophysical interpretation, different geophysical methods can be combined and applied. This paper introduces the comprehensive application of shallow seismic refraction wave and high-density resistivity methods by taking concealed fault exploration in a particular section of Guanyang-Tian'e expressway engineering as an example. The actual data results show that the combination of the two methods accurately determines the location of the concealed fault, delineates the low-resistance anomaly in the front section of the high-density electrical profile as the response of the fault, and better defines and interprets the target anomaly.

Keywords: shallow seismic refraction; high-density electrical method; highway survey; concealed fault; combination of geophysical methods