

# 高密度电法勘探在场址小型断裂构造调查中的研究

王 龙, 于 宇, 韩 俊

核工业西南勘察设计研究院有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2023年9月19日; 录用日期: 2023年12月5日; 发布日期: 2023年12月13日

---

## 摘 要

简要介绍了高密度电阻率法的工作原理及特点, 将高密度电法勘探应用在西南某低中放固体废物处置场小型断裂调查中, 通过对拟建场地及周边的断裂构造在高密度电法剖面上的反演分析及研究, 判断断裂构造的几何分布, 为进一步采用山地工程及钻探等手段对断裂构造研究提供了方向及依据。

## 关键词

高密度电法, 小型断裂构造, 调查

---

# The Study of High-Density Electrical Prospecting in Small-Scale Fault Structure Survey

Long Wang, Yu Yu, Jun Han

Nuclear Industry Southwest Survey & Design Institute Co. Ltd., Chengdu Sichuan

Received: Sep. 19<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 5<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 13<sup>th</sup>, 2023

---

## Abstract

This thesis has briefly introduced the operation principle and characteristics of high-density electrical resistivity method, and the application of high-density electrical prospecting in small fault structure survey at a low/intermediate-level radioactive waste disposal field in southwest China. Based on back analysis and research of fault structure at the proposed site and surroundings on high-density electrical profile, relevant personnel may determine the geometric distribution of

the fault structure, which provides a direction of and acts as a basis for research of fault structure by means of drilling and shaft & adit engineering.

## Keywords

High-Density Electrical Method, Small Fault Structure, Research

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

西南某低中放固体废物处置场是我国西南地区极为重要的低中放固体废物处置场, 拟建处置场运行时间将超过 100 年, 因此要求处置场场地长期稳定。同时就要求为本项目提供断裂构造研究方面的资料, 为场地稳定性评价打下基础。拟建场地所在区域地质构造环境复杂, 有断层和节理密集带通过。

以往高密度电法物探在工程勘察中主要应用于覆盖层勘察、岩溶勘察、城市管线探测、地下采空区探测及大中型断裂带探测。而拟建场地覆盖层较厚, 断裂构造露头较少, 特别是场地内存在的小型断裂, 常规勘探方法无法准确确定其分布位置, 遂根据场地及周围局部断裂构造露头, 采用高密度电法勘探手段确定其展布方向和具体位置。

## 2. 高密度电法基本工作原理及特点

高密度电法即高密度视电阻率法, 是一种以研究地下介质的电阻率差异为地球物理基础, 集电剖面和电测深为一体, 采用高密度布点, 进行二维地电断面测量的一种电阻率法勘察技术[1] [2]。高密度视电阻率测量基本原理是: 以地下被探测目标体与周围介质的电性差异为基础, 利用人工建立的稳定地下直流电场, 依据预先布设的若干道电极可灵活选定装置排列方式进行扫描观测, 研究地下大量丰富的空间电性特征, 从而查明和研究有关地质问题的一组直流电法勘探方法[3]。断裂与围岩之间的导电性差异与断裂带的宽度、胶结程度、含水饱和度等性密切相关, 断裂所形成的破碎带随着时间的发展其胶结程度逐渐增强, 含水率逐渐降低, 致使电阻率逐渐增高[4]。高密度电法集电测深和电剖面装置于一体, 具有采集信息多, 数据量大, 观测精度高, 速度快和探测深度较大等特点[5] [6]。

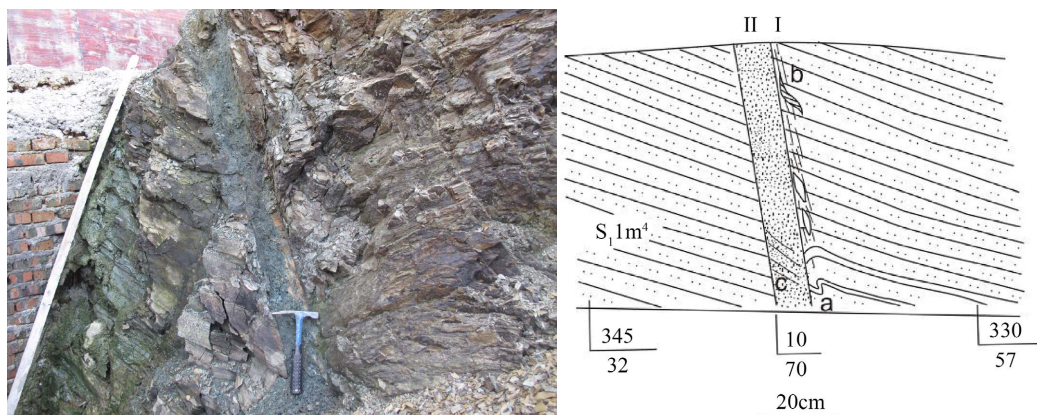
本项目利用组成拟建场地断裂构造中断裂带及两侧物质成份的电性差异(电阻率值与岩体的性质、孔隙度及其矿物的性质有密切的关系), 研究勘探点下物质(岩土体)的视电阻率值沿深度和水平方向断面的变化状况, 借以探查场区断裂构造分布状况。

## 3. 测线布置

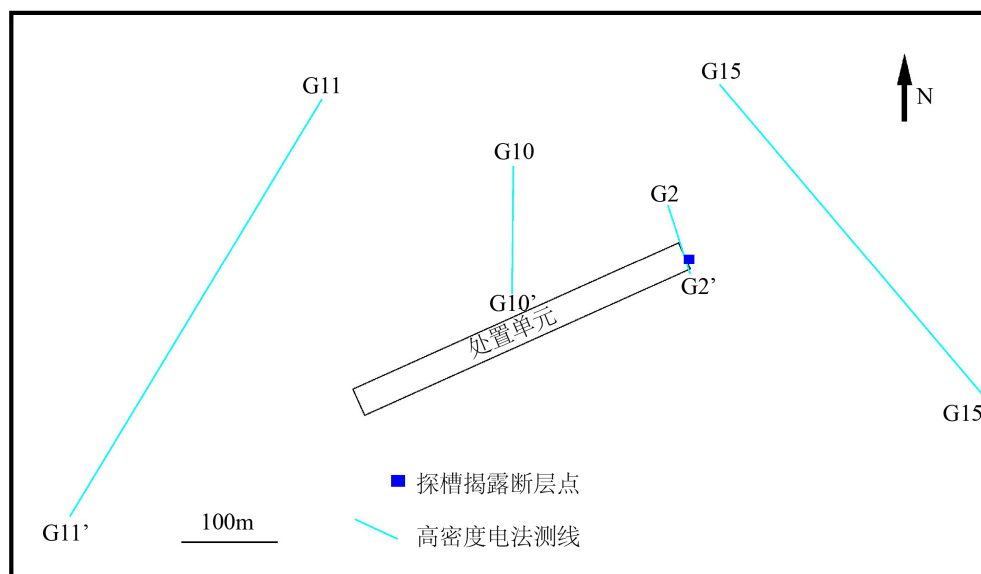
为了发挥物探工作在断裂构造调查中的作用, 更好、更快、更准确地了解拟建场区的小型断裂分布情况, 此次我们选择的高密度视电阻率法是通过在地表剖面线上布设电极, 并在一组或两组电极上供电, 快速高效地完成多种电极模式、不同电极距的设置, 以采集到地下不同地点、不同深度的视电阻率值, 再对蕴含各种地质体信息的视电阻率值, 用计算机进行数据处理、解释及成图, 从而推演出拟建场区断裂构造的电性特征及分布。

在此以拟建场区内 F1 断层为例进行说明。在处置单元东侧探槽内发现有该断层出露点(图 1)。断层

出露于志留系灰色薄层粉砂岩中，断层面产状  $10^{\circ}/\angle 70^{\circ}$ ，上盘产状  $330^{\circ}/\angle 57^{\circ}/335^{\circ}/\angle 63^{\circ}$ ，下盘产状  $345^{\circ}/\angle 32^{\circ}$ 。断层破碎带可见宽度约为 10 cm，断层带物质为碎粒、泥质及劈理化物质为主。根据该断层出露点情况，沿该断层走向方向在其东西两侧布置 4 条横向物探测线(图 2)。其中：G2 测线参数设定为电极距：2.0 m；电极个数：36 个；测线总长 70 m；供电周期：2 s；供电电流 2 A。G10 测线参数设定为电极距：1.5 m；电极个数：84 个；测线总长 124 m；供电周期：2 s；供电电流 2 A。G11 测线参数设定为电极距：5.0 m；电极个数：100 个；测线总长 500 m；供电周期：2 s；供电电流 2 A。G15 测线参数设定为电极距：5.0 m；电极个数：200 个；测线总长 1000 m；供电周期：2 s；供电电流 2 A。



**Figure 1.** F1 outcrop point of steep dipping fault near E-W direction  
**图 1.** 近 E-W 向陡倾断层 F1 出露点



**Figure 2.** Layout and distribution of F1 Fault survey line  
**图 2.** F1 断层测线布置分布图

岩石(土)具有非常复杂的结构与组份，在电法勘探中，为了便于分析，可以近似地把岩石模型看成是由两相介质构成的，即矿物骨架(固相)和水(液相)。因此不同组份的岩石(土)会有不同的电阻率，即使组份相同的岩石，也会由于结构和含水情况的不同而使电阻率在很大的范围内变化。常见介质电阻率如表 1 所示：

**Table 1.** Common dielectric resistivity  
**表 1.** 常见介质电阻率

类别	名称	电阻率( $\Omega \cdot m$ )	类别	名称	电阻率( $\Omega \cdot m$ )
松散层	<b>粘土</b>	<b><math>1 \times 10^0 \sim 2 \times 10^2</math></b>	变质岩	片麻岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$
	含水粘土	$2 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^1$		大理岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	<b>粉质粘土</b>	<b><math>1 \times 10^0 \sim 2 \times 10^2</math></b>		石英岩	$2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	砾石含粘土	$2.2 \times 10^2 \sim 7 \times 10^3$		片岩	$2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^4$
	粉质粘土含砾石	$8 \times 10^1 \sim 2.4 \times 10^2$		板岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
	乱石	$3 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$		花岗岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	含水乱石	$1 \times 10^2 \sim 8 \times 10^2$		正长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
沉积岩	<b>泥质页岩</b>	<b><math>6 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3</math></b>	岩浆岩	闪长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	砂岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$		辉绿岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	泥岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$		辉长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	砾岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^4$		玄武岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$
	石灰岩	$6 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$	其他	地下水	$< 1 \times 10^2$
	泥灰岩	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^2$		河水	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^2$
	白云岩	$5 \times 10^1 \sim 6 \times 10^3$		冰	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^8$
	破碎含水白云岩	$1.7 \times 10^2 \sim 6 \times 10^2$		岩溶水	$1.5 \times 10^0 \sim 3 \times 10^0$
	硬石膏	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$		海水	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^0$
	岩盐	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$		雨水	$> 1 \times 10^3$

注：表中黑体部分为拟建场地分布的岩(土)体。

## 4. 测试成果及分析

探测成果解释的第一步即电阻率剖面中岩性与电阻率之间关系分析，依据电阻率值的等级划分不同电性层。分析不同电性层与地质层位、构造破碎、裂隙等之间的关系。在上述分析解释的基础上确定不同剖面的不同部位电性变化与地质层位、构造发育、地下水活动用电性剖面图展示最终的工作成果。资料处理流程如下：录入原始数据→格式转换→编辑→反演处理→电阻率成图[1] [2]。这里主要对测试成果图中解译的断裂构造发育情况进行分析。

### 4.1. 反演成果分析

高密度电法南北向 G2 测线显示(图 3)，在 48 米处存在低阻条带，表现为蓝—绿色低阻体条带，向北倾(左侧)，向下延伸可达近 30 米，该低阻带解译情况与断层在探槽中的出露情况一致。

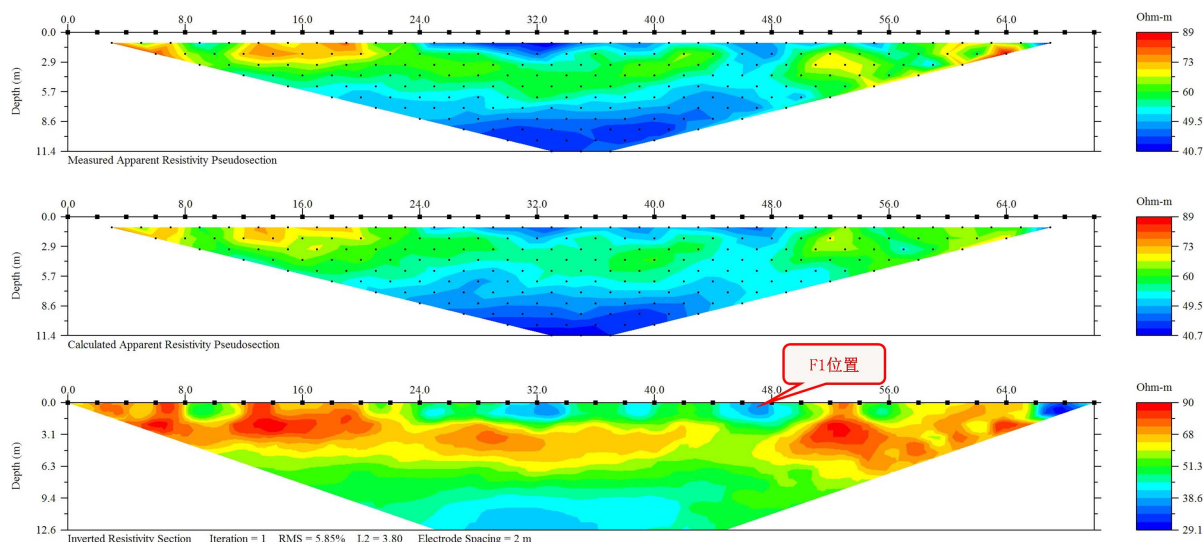
高密度电法南北向 G10 测线显示(图 4)，80 m 处表现为蓝色低阻条带，向北倾(左侧)陡倾，向下延伸可达十余米，该处存在左倾断层，即 F1 在该测线上的反映。

高密度电法南北向 G11 测线显示(图 5)，在 100 米处附近，存在一个宽约 30 m 的低阻带，淡蓝色低阻体呈条带状分布，近直立向下延伸可达 40 m，判断其为断层破碎带，即 F1 在该测线上的反映。

F1 向东延伸的情况可通过 G15 测线反映，处置单元东侧 150 m 处的高密度电法南北向 G15 测线显示(图 6)，555 m 处表现为蓝色低阻条带，向北倾，向下延伸 30 余米，该处存在左倾断层，即 F1 在该测线上的反映。在其南侧有一个低阻带，图 3~6 的 300 m 处，向北倾(左侧)陡倾，向下延伸可达 70 余米，

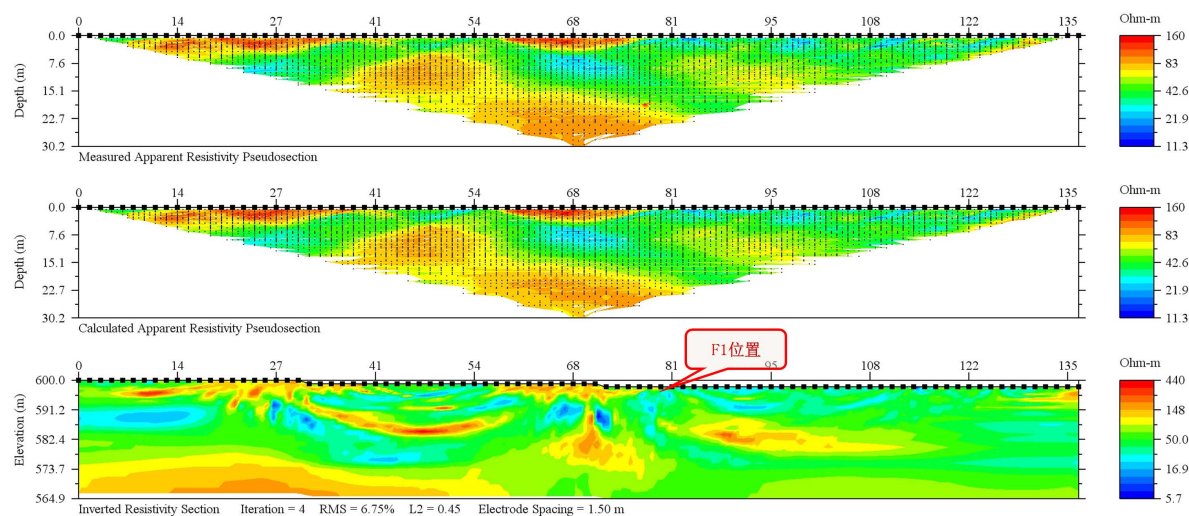


推测为其平行的小断层，或为其斜列分支。



**Figure 3.** Inversion results of high density electrical method G2 line (F1 Position at 48m)

**图 3.** 高密度电法 G2 测线反演结果(48m 处为 F1 位置)



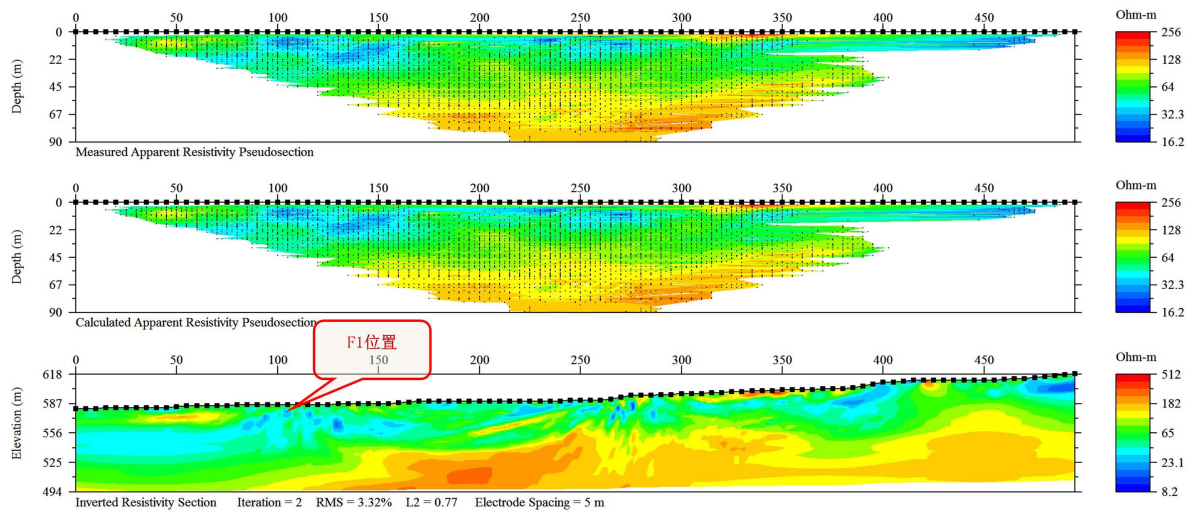
**Figure 4.** Inversion results of high density electrical method G10 line (F1 Position at 80 m)

**图 4.** 高密度电法 G10 测线反演结果(80 m 处为 F1 位置)

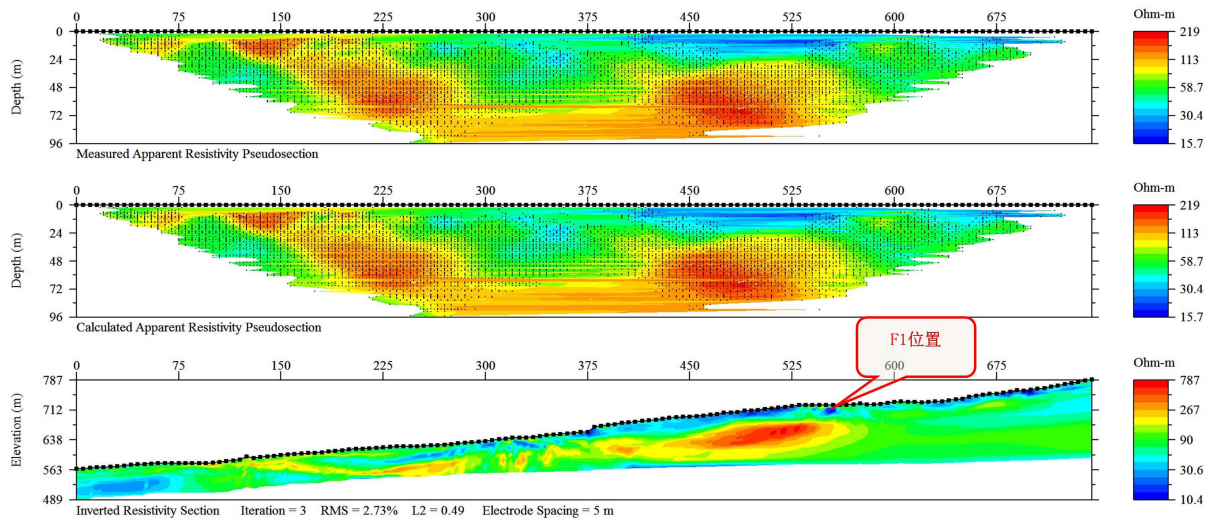
## 4.2. 应用效果

根据以上分析成果，后期有针对性的在场地内布置钻孔对小型断裂进行揭露，在钻孔 XZZK6 内约 49 m 与钻孔 XZZK10 内约 59.4 m~61.2 m 处均发现该断层破碎带(图 7、图 8)。由断层揭露位置与钻孔分布位置，可判断 F1 断层在区域上近 E-W 向展布，在场地内至少延伸 300 m。钻探揭露成果与物探成果是吻合的。

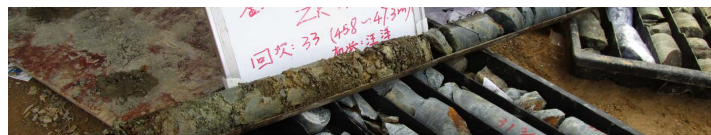
综合钻探和高密度电法探测结果，判断 F1 断层延伸约 500 米，东端有另一平行斜列的分支断层(图 9)。



**Figure 5.** Inversion results of high-density electrical method G11 line (F1 shows fault fracture zone at 95~125 m)  
**图 5.** 高密度电法 G11 测线反演结果(F1 于 95~125 m 处显示断层破碎带)



**Figure 6.** Inversion results of high density electrical method G15 line (F1 Position at 555 m)  
**图 6.** 高密度电法 G15 测线反演结果(555 m 处为 F1 位置)



**Figure 7.** Photo of fault fractured zone exposed by borehole XZZK6  
**图 7.** 钻孔 XZZK6 揭露断层破碎带照片



**Figure 8.** Photo of fault fractured zone exposed by borehole XZZK10  
**图 8.** 钻孔 XZZK10 揭露断层破碎带照片

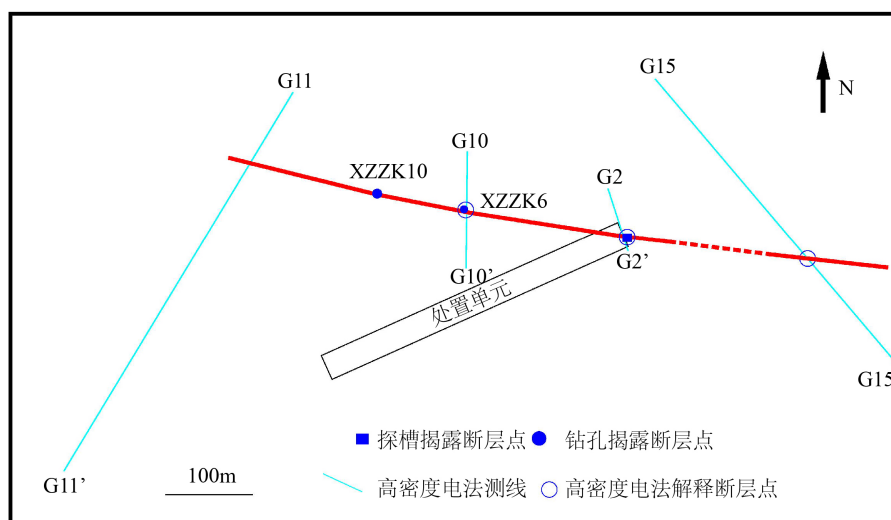


Figure 9. Inferred fault F1 distribution based on geophysical testing results  
图 9. 根据物探测试结果推断断层 F1 展布

## 5. 结语

1) 通过对西南某低中放固体废物处置场中小型断裂调查中高密度电法勘探资料的分析、对比、解译, 验证了高密度电法在小型断裂调查应用中的实用性和有效性, 后期针对隐伏小型断裂调查, 可优先采用高密度电法探明其位置及分布形态。

2) 高密度电法勘探地质异常现象直观、效率高、经济实用, 在断裂调查乃至整个工程勘察领域有着广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] 周扬, 陈服军, 等. 高密度电阻率法测深原理及应用实例[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2012.
- [2] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 樊力强, 翁爱华. 沈白铁路定测过程中隐伏断裂带的高密度电法探测[J]. 世界地质, 2023, 42(1): 168-175.
- [4] 李嘉瑞, 马秀敏, 等. 高密度电法探测第四纪玄武岩覆盖区断裂及其活动性分析——以鸭绿江断裂带抚松段西支断裂为例[J]. 地质与勘探, 2022, 58(1): 118-128.
- [5] 孔繁良, 陈超, 孙冠军. 高密度电法在清江水布垭库区滑坡调查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(2): 201-204.
- [6] 付丽丽, 丁鹏飞. 高密度电阻率法在核电勘察中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2011, 32(3): 99-101.