

工程场地高密度电法探测典型剖面的分析与探讨

梁久亮

(安徽省地震局, 安徽合肥 230031)

摘要:通过三个典型的实测案例说明高密度电阻率法在隐伏断裂探测中的具体应用。结合钻孔地质资料对实测反演剖面进行解释分析,探讨了隐伏断裂的判定与异常的排除,以及它们不同的电性特征和解译方法。

关键词:高密度电法; 工程场地; 隐伏断裂; 异常判定

中图分类号: P631.3⁺22 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2008)02-0189-04

Analysis and Discussion on Application of High-density Resistivity Method to Typical Surveying Sections in Some Engineering Sites

LIANG Jiu-liang

(Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: Through three typical surveying examples from engineering sites, the application of high-density resistivity method to detect buried faults is illustrated. Compared with geological data, the inversion sections are explain and analyzed, and the methods for detecting buried fault, excluding other anomalies, explaining different electrical characters of fault and rocks are also discussed.

Key words: High-density resistivity method; Engineering site; Buried faults; Anomaly judgement

0 引言

工程场地地震安全性评价工作的一项重要任务就是探测工程场地是否存在隐伏断裂。高密度电法探测技术以其简便、快速、成本低,且成像快速,断层判定准确而在工程场地的隐伏断层探测中普遍得到推广和应用。地下电阻率分布图像虽然能够直观表示,但得到的电阻率剖面往往因地表环境的影响有较大差异,因此其解译工作需要很强的经验积累^[1]。本文从长期勘探工作中选取不同的实例,阐述高密度电阻率法探测技术在工程场地应用中的异常解释及在测量中应注意的问题。

1 高密度电法探测仪器及工作原理

1.1 基本工作原理及特点

高密度电阻率法观测仪器是近年来研制开发出的一种新型的直流电法探测系统,是一种在方法和技术上有较大进步的方法^[2]。其基本原理与传统

的电阻率法相同,但它采用了一次布极并实现了跑极和数据采集的电脑程序自动化。现场测量时只需将全部电极设置在一定间隔的测点上,然后用多芯电缆将其连接到程控式电极转换开关;通过高密度电法测量系统中的软件,根据控制系统中选择的探测装置类型,对电极进行相应的排列组合;按照测点位置的排列顺序或探测剖面的深度顺序逐点且逐层探测;测量完毕通过数据传输软件把探测系统中存储的数据调入计算机中,便可根据需要按给定程序对原始资料进行处理并给出相应的图示结果。

因此相对常规电阻率法来说,它具有以下特点:(1)由于电极的布设是一次完成的,测量过程中无需跑极,因此可防止因电极移动而引起的故障和干扰;(2)在一条观测剖面上,通过电极变换或数据转换可获得多种装置的 ρ_s 断面等值线图;(3)可进行资料的现场适时处理与成图解释;(4)成本低,效率高。

收稿日期:2007-09-20

作者简介:梁久亮(1957-),男(汉族),山东东平人,工程师,从事工程勘探及工程地震研究。

1.2 主要仪器设备

本单位用于工程场地探测的仪器是由重庆地质仪器厂生产的 DUK-2A 型高密度电法测量系统,由 DZD-6A 多功能直流仪和 60 道(或 120 道)多路电极转换器组成,配合常规电阻率的测量方法及电阻率成像(CT)等高新技术来进行高分辨、高度率电法勘探。该仪器采用全数字化自动测量,可对自然电位、漂移及电极化进行自动补偿。

工作中采用灵敏度最高的温纳(wenner)装置,该方法既能提供地质体某一深度沿水平方向的岩性变化情况,又能反映在铅垂方向岩性变化的情况,一次完成纵横二维的勘探目的。电阻率层析成像是根据目标体周围不同方向的发射和接收的直流电信号的多次覆盖,重构目标体的图像,可清晰、直观、准确地反映地下断面电阻率分布状况,而最关键的技术是对构造周围不同方向多次覆盖,要求测线应有尽可能的长度。

2 工程场地探测工作方法

在对工程场地进行隐伏断裂探测时,为了达到对电法剖面解译的准确性,主要应以考虑探测隐伏断层电性特征及避免场地环境带来的干扰因素为出发点,实测前须首先注意以下几点工作方法:

(1) 探测前要首先查阅探测区的区域地质资料,仔细了解该区地质构造的分布状况、地形地貌及覆盖层厚度,并对该区断层电性可能的表现形式及结构有初步的认识。

(2) 如已知工程场区内可能有断层发育,应将测线走向尽量垂直于推测构造走向,以使探测能最大程度的获得可能出现的隐伏断层的异常,即通常采用的横向剖面法^[3]。实践结果表明,相同异常体横向剖面电阻率异常比纵向电阻率异常幅值较为显著。

(3) 选择合适的高密度电阻率探测方法(温纳、温施或施贝等)。一般来说常用温纳剖面法,在发现异常时或地表覆盖层不厚的情况下,再辅以温施或施贝测深更有利于判定异常的真伪。在场地条件允许的情况下测线越长越好,因为这样所得到的剖面越深,有利于对地质异常体的判定。

(4) 在充分利用高密度电阻率探测方法确定地质异常体存在以后,如果判据不足,最好辅以钻孔进行验证。

(5) 当测线切过断面时,高低视电阻率差异分界线即为断面,根据测线的方位可推算出断面的

倾角及视倾角 α 值,但倾向方位角需通过多条平行切过断层面的测线得出断层走向在地表的投影,并只有在测线足够多时才能排除断层走向变化的干扰,根据断层走向及倾向可以得到倾向方位角的唯一解。

3 探测实例

3.1 淮北某变电所工程场地隐伏断裂探测

该工程场地地貌单元属江淮丘陵,微地貌为剥蚀残丘和小型冲沟组成,地形稍有起伏,东北高西南低。场地地层主要由寒武系中下统灰岩和少量第四系全新统坡积形成的碎石土组成。覆盖层厚度一般小于 5 m,且局部分布,主要为粉质粘土和少量碎块石,稍密,局部松散,厚度一般 0.5~3 m。下部基岩主要为强风化~中等风化的泥质白云岩、灰岩,绝大部分出露,上部裂隙节理发育且被粘土充填。

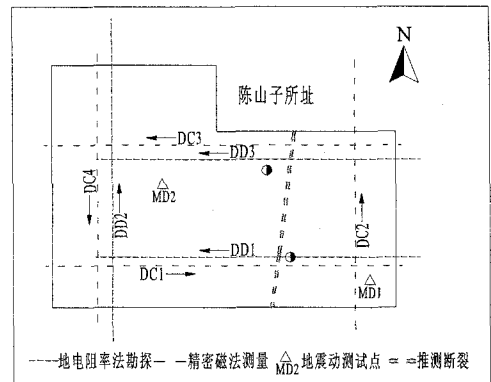


图1 淮北某变电所电法测量布线图

Fig.1 The surveying layout in an electric transformer substation site in Huaibei.

电法测量布线如图1所示,电极间距为 5 m,长度为 300 m。场地东侧为一小山丘,上有植被,埋深较浅(1~2.5 m),向西逐渐加深,最深处达 12 m 左右(由高密度电法视电阻率图可见)。测线 DD1 在场地南侧自 E 向 W 布设,由电法视电阻率图及温纳法反演图(图2)可见在 120 m 处两侧电性差异迅速变大,地表宽度达 40 m 左右,向下逐渐变窄且向东倾斜。为验证异常,在其北 100 m 处平行布设了第二条测线 DD3,在 125 m 处出现了形态类似的较为明显的异常。两条测线确定异常带为 N7.5°E 方向,向东倾斜,倾角 75°左右。后在 DD1 测线 110 m 异常处进行钻探,揭露岩性为泥质白云岩,岩芯呈破碎状,证实为断层。

从图2中看出,电阻率异常部位在 100~140 m 之间,为低值异常区。在其东侧视电阻率值由 60

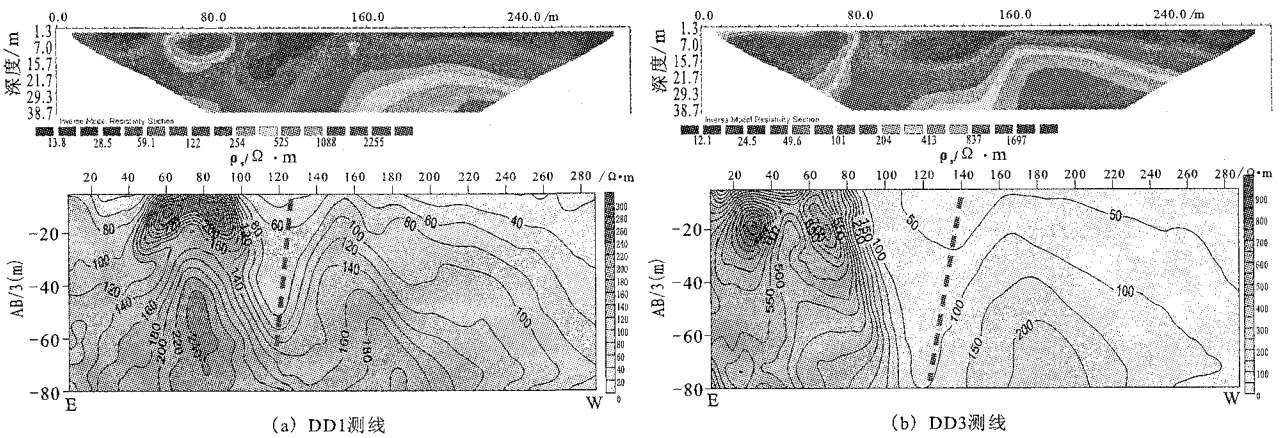


图2 探测线反演结果及视电阻率等值线图

Fig. 2 The inversion models and resistivity isogram of the surveying line in the substation of Huaibei.

$\Omega \cdot m$ 迅速增至 $200 \Omega \cdot m$ 以上,表明覆盖层较薄,实际上已可见基岩出露;在其西侧视电阻率值向深部缓慢变化,并有向西倾斜的特征,表明覆盖层相对较厚,而且向西有加厚的趋势。和完整的岩层相比,破碎带内含水量较高,因而形成低阻异常。

3.2 肥东某变电所工程场地隐伏断裂探测

变电所场区主体位于合肥盆地之内,属平原区,总体上地势平坦。合肥盆地属中生代断陷盆地,在新生代前消亡,在新生代整体上隆的基础上局部继续沉降,受活动性断裂控制明显,一侧断陷,另一侧超覆,形成小型断陷盆地。第四系地层厚度一般为 $10 \sim 20 m$ 。

对变电站场地先后进行了两次测量:先沿场区进行了高密度电法探测,在场地南缘发现有异常后进行了复测。场地内各测线反演结果电性差异不大,基岩界面清晰,盖层较浅;电阻率等值线线性较好。测线布置如图3。在场地南缘,剖面 DD1-1 及复测剖面 DD1-1F 均在约 $9 \sim 10 m$ 深处开始出现明显的阻值边界线;剖面 DD3 在平行 DD1-1F,距其西侧 $180 m$ 进行布置,同样也出现阻值突变边界线。后经实地布设钻孔证实,在钻孔 $31 \sim 33 m$ 深处出现断层破碎带。综合分析推测在距场地南缘约 $120 m$,有一条近 EW 向,倾向 S、倾角约 70° 的隐伏断裂存在。

从图4上可直观地看出:在测线 $150 m$ 处右侧阻值迅速变高,视电阻率值由 $14 \Omega \cdot m$ 迅速增至 $25 \Omega \cdot m$ 以上,且封闭性较好,可认为是完整的岩层所表现的电性特征;而左侧视电阻率值则变化较为平缓,且竖向阻值变化不大。从视电阻率反演图上可明显地看到:在测线 $150 m$ 左右有一明显的陡立断面,经钻孔资料证实右侧由较完整的红砂岩构成,左

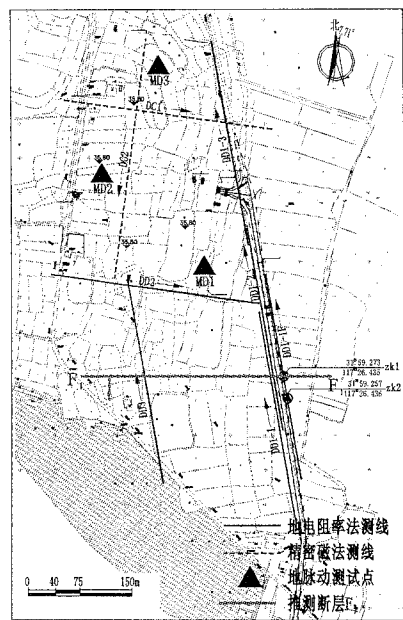


图3 肥东某变电所测线布置图

Fig. 3 Surveying layout in an electric transformer substation site in Feidong county.

侧为破碎带形成的低阻值区。

地质资料表明:近场区内断裂在新构造期具有明显的活动,它控制了新第三纪地层及喷出岩以及第四纪更新世地层的分布。结合断裂剖面分析,区内的断裂在第三纪时期活动明显,但在第四纪时期活动减弱,晚第四纪时期以来的活动不明显。

3.3 马鞍山某长江码头工程场地电法探测异常实例

此例为一典型的断裂假象,它从反面提供了区别于真实断裂的一个范例。

码头近场区地貌特征为宁芜中生代断陷盆地的中南段,工程场地地势平坦开阔,地貌单元较简单,

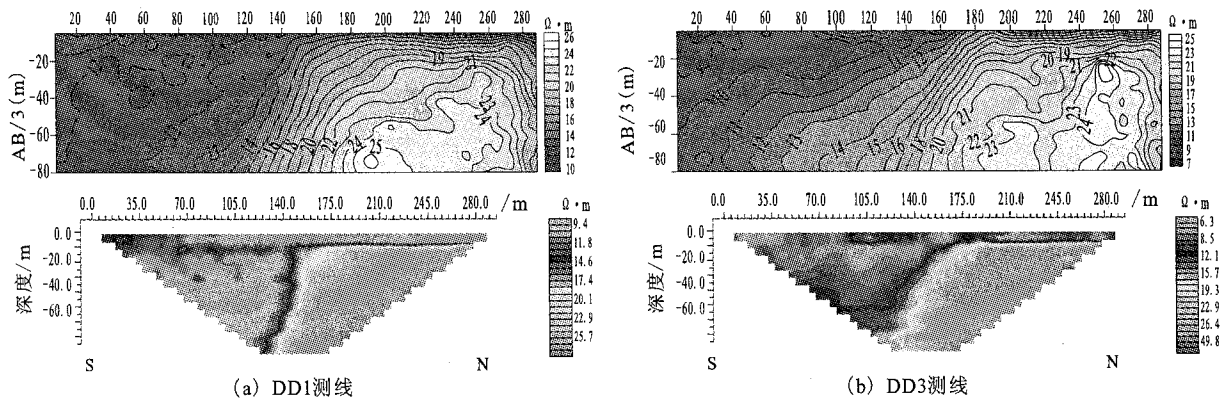


图4 反演结果及视电阻率等值线图

Fig. 4 The inversion models and resistivity isograms of the surveying lines in the substation of Feidong county.

属长江中下游冲积平原,多为第四系地层所覆盖。沿长江东南岸有一条带状分布的山峰、丘陵,由石英砂岩组成,山脊起伏,有典型的三角面分布。

该码头工程场地位于长江东侧堤内,电法测量布线如图5所示,DD1及DD3均平行于江堤,电极间距为5m,长度为300m。主要任务是探明工程场内有无影响码头及长江堤岸安全的断裂和溶洞存在,同时查明由于修筑江堤而淤积于江底下的杂填物。

推测其为隐伏断层 F_1 (图5中虚线),断层倾向S,走向NE84°,倾角64°。

但在随后进行的复测测线DD4、DD5中证明,以上仅是局部异常,在反演图上与实际的断裂有明显差别。此处异常上部开口较小,随深度加深而尖灭。分析等值线图不难发现,异常区较狭窄、且有封闭的高阻圈包容在其中,两侧等值线基本平直,由此推断此处电极之下可能有异常体存在,与电极的接触而电性受到影响。经钻探验证,此处电极正好布设在淤积于江底水泥石块及杂物之上。要注意,尽管测量接地电阻没有异常,那是因为异常体上还有一定的覆盖土层,但在实测时随着供电极长度的扩大、深度增加,视电阻率就愈加受到干扰和影响。

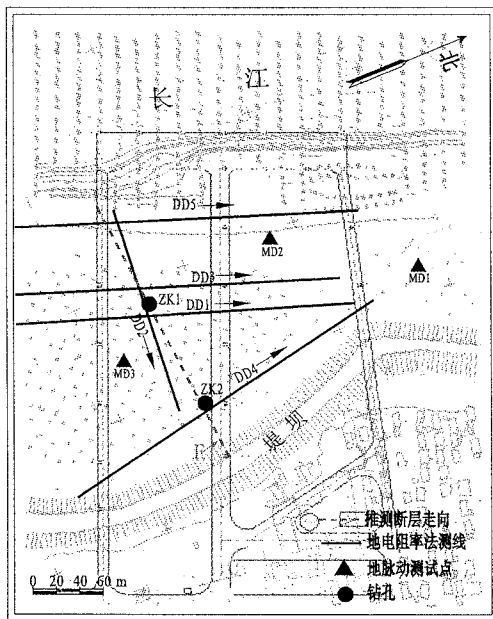


图5 马鞍山某码头电法测量布线图

Fig. 5 The surveying layout in a dock site in Ma'anshan city.

图6表明,工程场地各测线反演结果垂向电性有一定差异,基岩界面清晰,电阻率等值线线性较好。DD1和DD3两测线在距离场地右边缘分别为160m和150m处出现异常,反演图均在深度约40m处出现两条带状异常,解释为疑似破碎带引起。

4 结论与认识

在工程场地中进行高密度电法测量时,利用高密度电法测得的视电阻率值一般不对单个点绘制测深曲线,而是使用 surfer 作剖面等值线,再用专业软件进行地层反演,异常形态不难判断。但对电阻率异常做地质判定是值得研究的。对于隐伏断层的地质表现形式与电性特征,从上述实例中得到如下启示:

(1) 当基岩比较完整且地表覆盖层无干扰时,电性在横向上基本是相对均匀的,在竖向上呈有规律的变化,一般电阻率随深度增高。反之当基岩发育有溶洞及断层时,电性不再均匀有规律,电阻率曲线不再平行及疏密一致。

(下转 200 页)

120(8):1607-1629.

[57] Li G Q, Li J J. A tapered Timoshenko - Euler beam element for analysis of steel portal frames[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58(12):1531-1544.
 [58] Kim N I, Kim M Y. Exact dynamic/static stiffness matrices of non-symmetric thin-walled beams considering coupled shear deformation effects[J]. Thin-walled Structures, 2005, 43(5):701-

734

[59] Hwang J S, Chang K C, Lee G C, et al. Shaking table tests of pinned-base steel gable frame[J]. Journal of Structural Engineering, 1989, 115(12):3031-3043.
 [60] Hwang J S, Chang K C, Lee G C. Seismic behavior of gable frame consisting of tapered members[J]. Journal of Structural Engineering, 1991, 117(3):808-821.

 (上接 192 页)

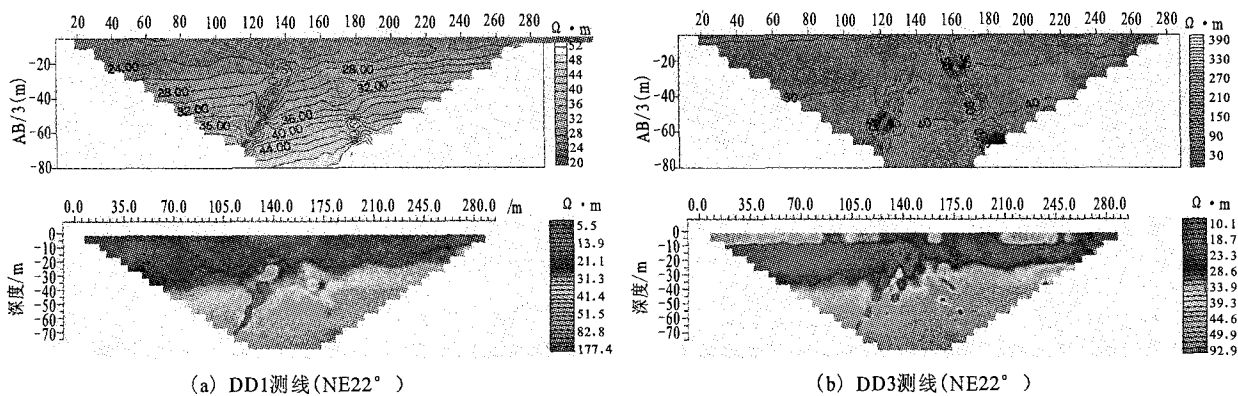


图 6 地电测线反演结果及视电阻率等值线图

Fig. 6 The inversion models and resistivity isograms of the surveying lines in a dock of Ma'anshan city.

(2) 相对于围岩介质的电阻率,断层可表现为低阻断层或高阻断层,决定于断层的性质、破碎带宽度、胶结程度、含水特征、岩脉侵入等特性及围岩电阻率特性。一般来说,新活动断层电阻率值较低,断层越老,胶结程度越强、电阻率值越高;断层破碎带越宽,越破碎,电阻率相对较小;地下和地表水越丰富,电阻率越小;压性断层少水,则为高阻,张性断层富水,则为低阻;有岩脉断层侵入,多为高阻^[4]。

(3) 本文仅对高密度电法视电阻率的反演图例进行了鉴别和分析,对异常的判别提供了直观定性的分析对比。如果工作做的足够细致,再辅以浅层人工地震勘探反射法,不但有利于利用多次覆盖技术提高异常体的分辨率,而且探测结果对地下构造更有直观形象的描述^[5],还可以对断层的性质和特征进行定量的解释。而且根据工作区地质、地貌环境,还可判断造成视电阻率高低差异的可能物质及其形成年代^[6]。

从上述实例可以看出,高密度电法在隐伏断层的探测方面有其独特的优点。通过对硬件设备的改

进,可以加大探测深度;结合地质方面的工作,不但可以对隐伏断层进行探测,还可以对断层性质做一些定量的解释。总之,随着研究的不断深入,高密度电阻率法在隐伏断层探测方面的应用会越来越广泛。

[参考文献]

[1] 王爱国,王大雁,柳煜,等. 电法联合探测在地震安全性评价中的应用[J]. 勘察科学技术, 2006, (1):61-64.
 [2] 邓启东,徐锡伟,张先康,等. 城市活断裂探测的方法和技术[J]. 地学前缘, 2003, 10(1):93-104.
 [3] 吴子泉,谭捍东,王成虎. 电阻率横向剖面探测走滑断层的数值模拟研究[J]. 西北地震学报, 2005, 27(2):146-249.
 [4] 王爱国,马巍,张向红,等. 隐伏断层电性特征及浅层电法探测[J]. 西北地震学报, 2006. 28(3):242-247.
 [5] 连玉平,张锦福,林松建,等. 高分辨率浅层人工地震勘探探测隐伏断裂实例[J]. 西北地震学报, 2007. 29(3):260-263.
 [6] 李志科,毛先进,韩明,等. 高密度电阻率法在隐伏断层探测中的应用[J]. 地震研究, 2003, 26(3):275-278.