

# 高密度电法在沪蓉高速公路勘察中的应用

张亮国<sup>1</sup> 徐义贤<sup>1</sup> 王云安<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074; 2. 湖北省交通规划设计院, 湖北武汉 430071)

**【摘要】** 论述了高密度电法的基本原理, 结合实例介绍了高密度电法的在沪蓉高速公路上的应用, 并提出了一些高密度电法应注意的问题和建议。

**【关键词】** 沪蓉高速; 高密度电法; 溶洞; 桥梁; 隧道; 应用

**【中图分类号】** P 631. 322

## Application of the High Density Resistivity Method in Hu-Rong Highway Survey

Zhang Liangguo<sup>1</sup> Xu Yixian<sup>1</sup> Wang Yunan<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences(Wuhan), Hubei Wuhan 430074;

2. Hubei Communications Planning and Design Institute, Hubei Wuhan 430071 China)

**【Abstract】** The basic theory is introduced at first, then some examples about application of the high density resistivity method in Hu-Rong highway survey are introduced, and some advices about application of the high density resistivity method are suggested.

**【Key Words】** Hu-Rong highway; high density resistivity method; karst; bridge; tunnel; application

### 0 引言

沪蓉高速公路是西部大开发的重要通道, 西起成都, 东到上海, 途经四川、湖北等省市。其中的湖北恩施段海拔高, 地形复杂, 大部分又是灰岩地区, 区内溶蚀现象较为普遍, 不仅导致基岩面起伏较大, 还有较多的溶蚀带、溶洞、土洞等不良地质现象, 严重地影响工程的施工和高速公路的安全, 因此查明溶洞、土洞、破碎带、断层等不良地质现象分布, 为高速公路的施工提供依据是当务之急。然而这些不良地质现象出现的随机性大, 仅用钻探难以达到效果, 因此必须借助物探方法, 但地震方法速度慢, 价格昂贵, 传统电法信息量小, 效益低。近年来发展的高密度电法, 它集电剖面 and 电测深于一体, 采用高密度布点, 二维地电断面测量, 提供的数据量大, 信息多, 观测精度高, 速度快, 且探测深度灵活<sup>[1]</sup>。通过在沪蓉高速公路恩施段的勘测表明: 高密度电法是一种行之有效的方法。

### 1 高密度电阻率法的工作原理

电阻率法勘探都是要将所测的电流或电压值换算成电阻率值, 但是只有当地面为无限大的水平面, 并且地下充满均匀各向同性的导电介质的条件下才

可以得到大地的真电阻率值。在实际工作中, 地形往往起伏不定, 地下介质也不均匀, 各种岩石相互重叠, 断层和裂隙纵横交错, 或者有矿体充填其中。这时候经过测量所求得的电阻率既不是围岩电阻率, 也不是目标体电阻率, 我们称其为视电阻率, 用  $\rho_s$  来表示<sup>[2]</sup>:

$$\rho_s = K \frac{\Delta U_{MN}}{I} \quad (1)$$

式中:  $K$  为装置系数。

视电阻率虽然不是岩石的真电阻, 但却是地下电性不均匀体和地形起伏的一种综合反映。故可利用其变化规律发现和勘查地下目标体的分布, 达到解决工程地质问题的目的。

高密度电阻率法实际上是多种排列的常规电阻率法与资料自动反演处理相结合的综合方法, 它仍然是以岩土体导电性差异为基础的一类电法勘察, 只不过电极布设一次完成, 能有效进行多种电极排列方式的测量, 如温纳装置、施伦贝射装置、偶极-偶极装置等, 从而可以获得较丰富的地电结构信息, 数据的采集基本实现了自动化。它的基本原理与常规电阻率法相同, 研究在施加电场的作用下地中传导

电流的分布规律,在求解简单地电条件的电场分布时,通常采用解析法,即根据给定的边界条件解下面的偏微分方程:

$$\nabla^2 U = -\frac{1}{\sigma} \delta(x-x_0) \delta(y-y_0) \delta(z-z_0) \quad (2)$$

式中的  $x_0, y_0, z_0$  为源点坐标,当  $x_0 \neq x, y_0 \neq y, z_0 \neq z$  时,即当只考虑无源空间时,上式变为拉氏方程<sup>[2]</sup>:

$$\nabla^2 U = 0 \quad (3)$$

当地电模型为均匀半空间或水平层状均匀介质时,借助场的边界条件可以求得上述拉氏方程的解析解。在研究复杂的地电模型的电场分布时,则主要采取各种数值模拟方法。

### 2 数据处理

首先假设地层的层数和测深曲线上的点数一样多。在初始的模型里,第一层的电阻率就采用曲线上第一个点的视电阻率,第二层就采用第二个点的视电阻率,整个曲线依次类推。每一层的平均深度采用测量时相应电阻率的电极距乘以某一常数。

用初始模型得到一条理论测深曲线,将该曲线与野外实测曲线进行比较,如果所用地电模型参数适当,则两条曲线“同相”,但幅值一般不会相同。然后进行迭代处理以调整模型各层的电阻率,直至实测曲线和模型曲线的均方根误差减至预先规定的范围之内或迭代次数达到预先设置的次数。(见图1)

先经过2.5维有限元法正演计算后,便可以得到理论拟断面,将其与野外实测数据比较,然后调整该模型每个网格单元的电阻率,整个过程交替重复直至均方根误差降至预定水平。为了提高数据质量,在实测值与计算值进行拟合时,两者均取对数,

即均方差:

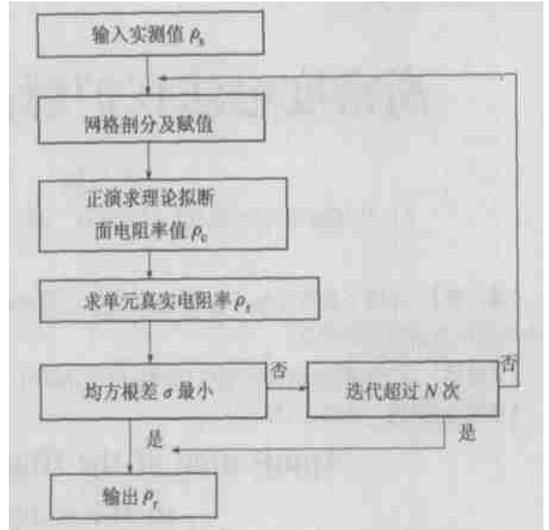


图1 计算机反演流程图

$$\text{均方根差} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{ \ln[\rho_0(j)] - \ln[\rho_i(j)] \}^2} \quad (4)$$

式中:  $N$  —— 测点总数;

$\rho_0(j)$  —— 第  $j$  点实测电阻率值;

$\rho_i(j)$  ——  $i$  次迭代后第  $j$  点计算电阻率值。

### 3 高密度电法的应用

本文选择在沪蓉高速公路上高密度电法在一些隧道和桥址勘探的应用加以简单说明。此次测量全部采用温纳装置,其优点是:温纳装置异常幅值不大,信号震荡也较好,缺点是在电极数量一样时,勘探深度浅,数据点少一些。各种方法的具体特点见后面的讨论。

#### 1) 杆龙塘桥址勘探

本测区共布置了两条测线,其中12164线沿公路方向,12163线与公路线80°左右方向斜交,二维视电阻率反演图见图2、图3。

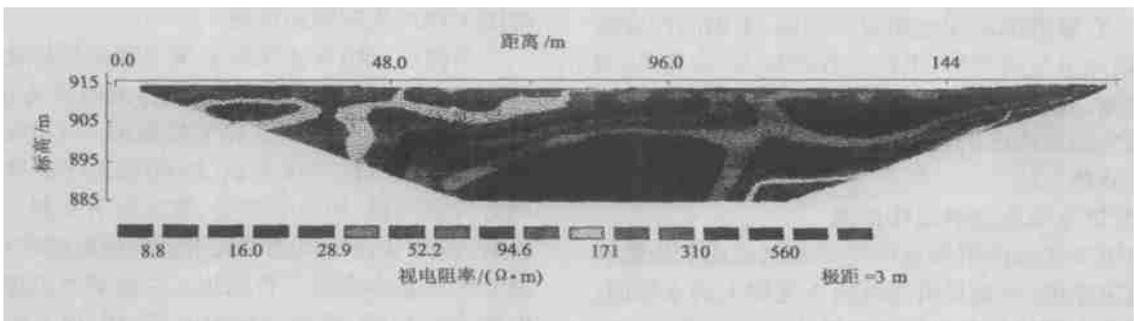


图2 测线12163二维视电阻率反演图

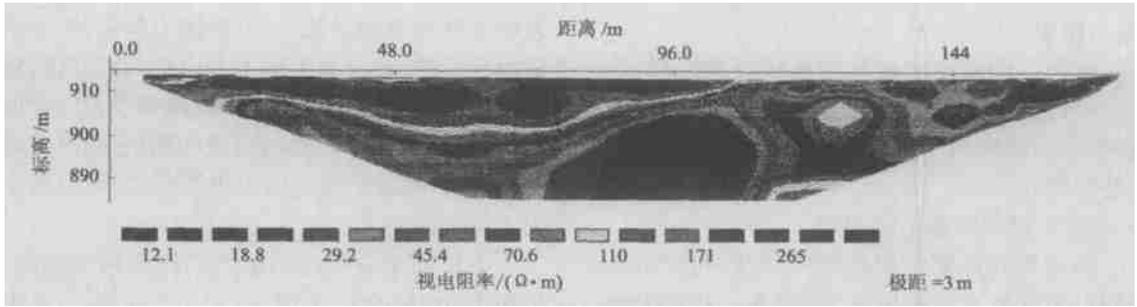


图3 测线 12164 二维视电阻率反演图

从图2可以看出,在测线12163上,0~78 m处上部视电阻率较高,是由于上部覆盖着乱石,接地电阻不好,电阻高;108~177 m处上部电阻较低,为粘土覆盖层,在69~96 m处10 m以下存在明显的椭球状低阻异常,且不见底,推测为充满粘土或水的溶洞或古地下河流。经钻探验证表明,在钻进40多米深后,仍不见基岩。

测线12163与12164分别在80 m处相交,从上

面图2、图3中可以看出,异常吻合得非常好,形状与规模大小基本相同。

## 2) 崔坝隧道勘探

本测区布置了两条测线,其中测线12131沿隧道方向,极距3 m;测线12132垂直于隧道方向,极距2 m。两条测线在测线12131的190 m和测线12132的80 m处相交。

其二维视电阻率反演图见图4、图5。

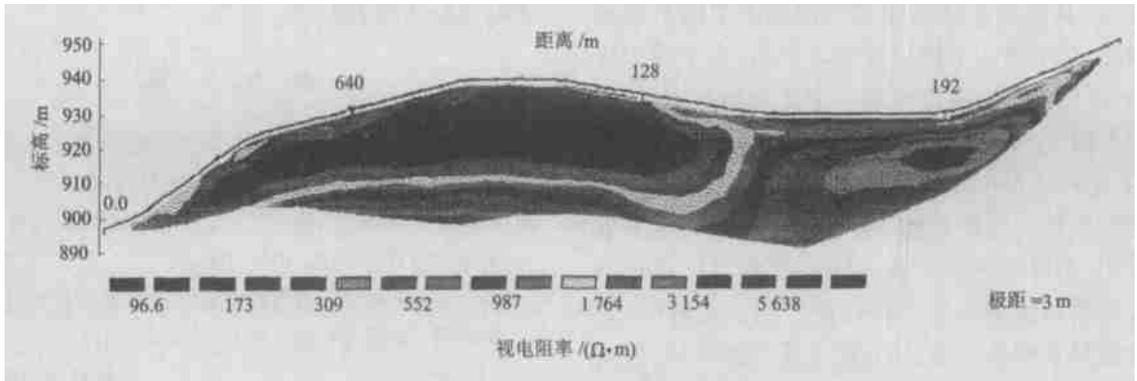


图4 测线 12131 二维视电阻率反演图

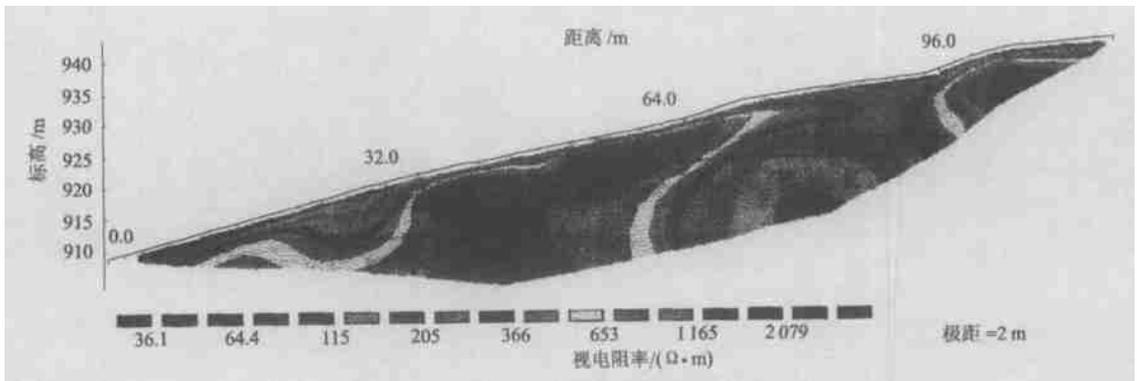


图5 测线 12132 二维视电阻率反演图

从图4可以看出,0~160 m视电阻率都较高,且成一个整体,因为该地段都是灰岩,且大面积出露,下部视电阻变低,但由于测深不够,不好推断,在190 m左右下部20~30 m深处,存在一个明显低阻异常,推测为填充粘土的溶洞或破碎带。

从图5可以看出,在测线12132的70~80 m下部20~30 m处也存在一个明显的低阻异常,位置与测线12131的低阻异常吻合非常好,推测为填充粘土的溶洞或破碎带。后经钻探验证,在该处钻进29 m左右发现岩石中夹杂1 m左右的粘土物质。

#### 4 结论与建议

事实证明高密度电法在灰岩地区查找溶洞、破碎带等是可行的,在二维视电阻率反演剖面上,溶洞、破碎带等的规模和位置是非常准确的,但必须要注意一些问题。

##### 1) 电极布设和接地电阻问题

工区的地形和地质情况都比较复杂,布设电极时会遇到很多意想不到的困难,比如在一些灰岩地区,地表出露的岩石面积较大,或者在一些地方,有房屋或垃圾堆等等,都会影响电极布设完整性。对于这些特殊情况,需要在设计测线时尽可能地避免。但是如果必须在出露的岩石上布设电极,则可以用比较潮湿的泥土堆成土包,将电极插入其中,实在不行,则可以缺失部分电极。另外,岩石的出露面积不是很大时,可以将电极适当的向周围偏移。

接地电阻是衡量电极接地好坏的标志,主要由电极附近( $r \sim (5 \sim 10)r$ )处的大地物质(土壤或岩石)的电阻决定,越靠近电极的物质对接地电阻的贡献越大。因此,在干燥的土壤里埋设电极时,为了减少接地电阻,可在电极周围浇水或一定比例的盐水,减小电极周围物质的电阻率 $\rho$ ,使接地电阻减小。

##### 2) 排列装置选择和电极极距选择问题

排列装置的选择对整个勘探的效果起着至关重要的作用,不同的装置对于不同的探测目标具有不同的分辨率和探测深度。在几种常用的装置中,微分装置的异常幅值最小,信号的震荡出现最早;温纳装置异常幅值不大,信号震荡也较好;偶极-偶极装

置的异常幅值相对较大,分辨能力较强,但是信号震荡却很激烈,甚至高阻体上方出现低阻异常;施伦贝射装置对地下电阻率在水平方向和垂直方向的变化都比较敏感,集中了温纳装置和偶极-偶极装置的优点。偶极-偶极系统适用于浅部探测,而温纳系统适用于深部探测<sup>[3]</sup>。

电极间距越小对目标体的探测精度越高,但电极距太小,则会产生震荡,形成假异常。常规上来讲,最小电极距与目标体相当。因此野外探测时,要先收集相关资料,对地下探测目标体的尺寸大小和分布深度有大致的了解,然后设计合理的数据采集装置和极距。

##### 3) 视电阻率剖面图上异常的辨认问题

由于物探方法的多解性,异常辨认是非常困难的一件事情。例如溶洞是低阻还是高阻,两个洞体在一起怎样划分,基岩面怎样确定等等。这就需要结合地质、水文、钻探等其他方面的资料,加以对比,多种反演方法相结合。

#### 参 考 文 献

- 1 葛如冰,黄伟义,张玉明. 高密度电阻率法在灰岩地区的应用研究. 物探与化探, 1999(2): 28~37
- 2 陈仲侯,王兴泰,杜世汉. 工程与环境物探教程. 北京:地质出版社, 1999. 104~106
- 3 郭秀军,王兴泰. 用高密度电法进行空洞探测注意的几个问题. 物探与化探, 2001(8): 306~315

收稿日期 2004-04-12