

doi: 10.11720/wtyht.2014.5.11

苏永军, 梁建刚, 张国利, 等. 不同电法组合在找水中的应用[J]. 物探与化探, 2014, 38(5): 925-928. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.5.11>

Su Y J, Liang J G, Zhang G L, et al. The application of combination of different electrical methods to groundwater prospecting[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(5): 925-928. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.5.11>

# 不同电法组合在找水中的应用

苏永军, 梁建刚, 张国利, 孟利山, 高学生, 贺福清

(中国地质调查局 天津地质调查中心, 天津 300170)

**摘要:** 针对河南省新乡市凤泉区严重缺水的现状, 利用高密度电阻率法、EH-4 电导率测深和激发极化对称四极测深不同电法组合, 在水文地质条件复杂的松散岩和基岩干旱地区找水取得显著的效果, 总结出针对不同水文地质条件下的不同电法找水组合模式, 不同电法组合模式的应用能为地下水勘查定井位提供可靠的科学依据, 为机井工程成功率提供重要保障。

**关键词:** 高密度电阻率法; EH-4 电导率测深; 激发极化对称四极测深; 干旱地区; 地下水

**中图分类号:** P631      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2014)05-0925-04

自 2010 年 10 月以来, 华北、黄淮等地降水持续偏少, 河南省大部分地区出现了多年不遇的大旱, 做好抗旱找水打井工作已十万火急, 刻不容缓。根据中国地质调查局总体安排, 天津地质调查中心承担了河南省新乡市凤泉区内的抗旱找水任务。根据河南省水文地质图, 初步定为松散岩类成井 7 眼, 基岩井 3 眼, 其中松散层成井深度 200 m 以内, 基岩井成井深度 350 m 左右。据此, 物探工作投入高密度电阻率法、EH-4 电导率测深、天然场选频法、超低频电磁法、激发极化对称四极测深、物探综合测井等多种方法综合进行孔位选择, 定井 11 眼(2 眼未施工), 钻井 9 眼, 出水 9 眼, 定井成功率 100%。本次应用电法组合抗旱找水恰当, 资料解释正确, 物探在该项目中发挥了重要作用。

## 1 工作区含水层的地球物理特征

根据地下水的赋存条件、水力性质特征, 区内含水岩类型可分为三大类: 松散岩类孔隙含水岩组、碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组、碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组。

本次工作的找水目的层主要是新近系碎屑岩类孔隙裂隙、新近系泥灰岩裂隙岩溶和奥陶系裂隙岩溶等含水岩组。新近系泥灰岩虽然是碳酸盐岩, 但是较破碎。裂隙岩溶发育(或较发育)的泥灰岩的

地球物理特征与新近系碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组的地球物理特征基本一致, 且由于泥灰岩与泥岩、砂岩交互沉积, 此次将新近系碎屑岩类孔隙裂隙、新近系泥灰岩裂隙岩溶统称为新近系含水岩组。

本区的主要含水层为新近系含水岩组, 是指砂岩、粉砂岩及泥灰岩的裂隙、岩溶等, 主要隔水层为泥岩(黏土)及完整的泥灰岩。含水层相对隔水层表现为高阻, 但是完整的泥灰岩的电阻率又远高于新近系含水层, 因此, 在新近系地层中寻找相对高阻地层是本区物探工作的主要目的。在实际工作中要注意区分完整泥灰岩与含水层。

奥陶系碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组主要是灰岩、白云岩中的裂隙、破碎带及岩溶中含水。完整岩体中出现裂隙、断裂<sup>[1]</sup>、岩溶并充水或充泥时, 含水矿物质电解导电能力增强, 电阻率下降, 出现相对低阻。所以在本区寻找相对低阻层可寻找碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组。

该区的物性资料见表 1。在新生界覆盖层找水主要是寻找相对黏土的高阻区, 在基岩区找水主要是寻找相对完整基岩的低阻区, 表征岩溶发育或裂隙。新近系含水岩组和奥陶系碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组都表现为高极化、高半衰、高衰减度, 这对评价激电异常和利用激电法找水具有重要意义。

表1 河南新乡测区地层电阻率统计

岩性	$\rho/(\Omega \cdot m)$	岩性	$\rho/(\Omega \cdot m)$
黄土	20~100	疏松砂岩	20~50
黏土	1~10	致密砂岩	20~1000
泥岩	5~60	泥灰岩	5~500
页岩	10~100	石灰岩	60~6000
泥质页岩	5~1000	白云岩	50~6000

### 2 方法概述

高密度电阻率法是一种以地下介质体的电阻率差异为地球物理前提,用直流电阻率法的阵列形式进行二、三维地电断面测量的电阻率勘查技术<sup>[2-3]</sup>。该方法成本低,效率高,信息丰富,解释方便,在本次地下水勘查中被广泛使用,发挥了重要作用,可以清晰划分出第四系、新近系及基岩地层及地层内的含水层、隔水层、断层等。

EH-4 电导率测深<sup>[4]</sup>在本次地下水勘查中同样被广泛使用,该方法探测深度大,可以清晰划分出第四系、新近系、基岩地层、断裂构造和破碎带,及地层内的含水层、隔水层、断层等。

激发极化法找水最大的特点是受地形影响小,对岩溶裂隙水的水位埋深和相对富水带反映得比较

直观。但该方法最好与高密度电阻率法、EH-4 电导率测深等结合使用,这样可以大大降低解释的多解性,提高找水成功率。高密度电阻率法在确定高、低阻地质体方面具有优越性,但要注意的是低阻地质体并不都代表富含地下水,也可能是泥岩,这时,可以使用激发极化法<sup>[5]</sup>来区分含水地层和泥岩(层)。因为激电二次场与岩石的孔隙有关,在纯泥岩中极化率较小,在含水砂砾岩中极化率较大,通过该方法的应用可以排除泥岩(层)的干扰。

### 3 应用实例

#### 3.1 堡上村测区

在堡上村布置 1 条高密度电法剖面,长 790 m,方位 139°,极距 10 m,80 个电极。从高密度反演电阻率拟断面(图 1)中可以看出,整条剖面第一层为第四系黄土,厚度不均(5~40 m);第二层电阻率大于 100  $\Omega \cdot m$ ,推断为灰岩岩体;第三层电阻率约 10~100  $\Omega \cdot m$ ,推断为水或断层充填泥。

在根据高密度电法的测量结果推断出的含水段 460~660 m 范围内布设 EH-4 测量剖面,长 200 m,点距 10 m。从反演断面(图 2)上可以看到,在 560

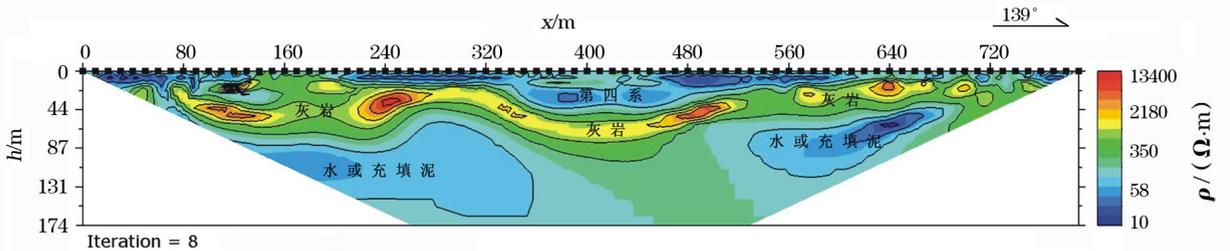


图1 堡上村高密度反演电阻率断面

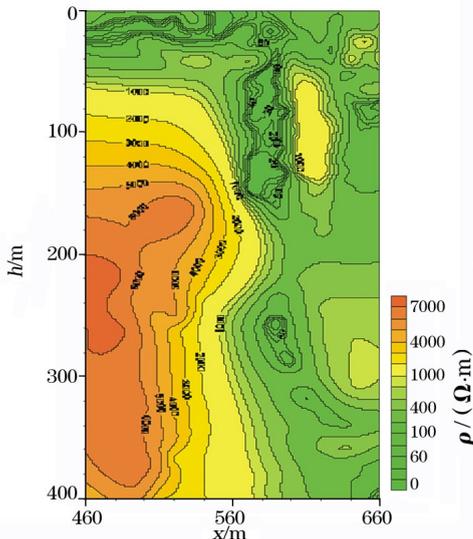


图2 堡上村 EH-4 反演电阻率断面

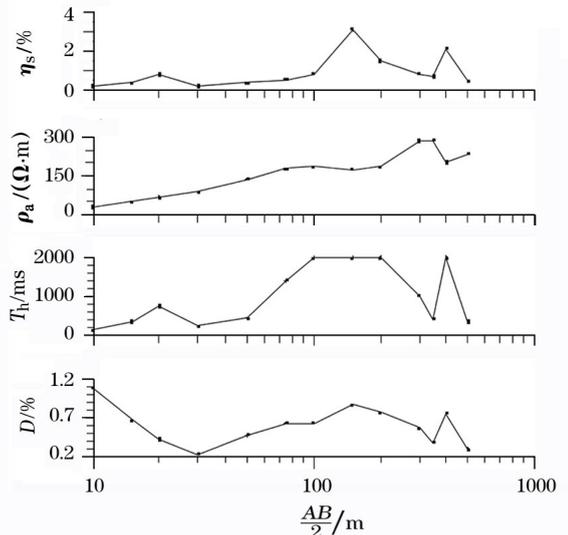


图3 堡上村预选井激电测深参数曲线

~600 m 范围内出现明显的低阻异常,深度分别为 60~140 m 和 220~280 m,推断为岩溶或裂隙部位。

为了进一步解剖高密度电法剖面,在该剖面 575 m 处布置了激电测深点。从该处的激电测深曲线(图 3)上可以看到,视极化率  $\eta_s$ 、半衰时  $T_H$ 、衰减度  $D$  在  $AB/2=100\sim 200$  m 之间出现高值。其中, $\eta_s$  最高值出现在  $AB/2=150$  m 处,为 3.13%, $T_H$  最高值为 1 992 ms, $D$  最高值为 0.86%,而此范围的  $\rho_a$  曲线出现微弱的相对低值;根据该区含水层的激电特征,初步判断该异常为含水层的反映。另外,在  $AB/2=400$  m 处同样出现这种  $\eta_s$ 、 $T_H$ 、 $D$  高值, $\rho_a$  相对低的情况,初步判断这也是一个含水层。激电测深的结果也部分验证了 EH-4 拟断面图上的两段低阻异常。

根据上面三种不同电法解释和水文地质条件的分析,预选井孔位定在 575 m 处,孔深 300 m。后经钻机打井验证,实际结果和物探推断结果十分吻合,出水量为 845 m<sup>3</sup>/d。

### 3.2 分将池测区

分将池测区的高密度电法剖面长 504 m,64 个电极,极距 8 m,剖面方位角 118°,216 号点对应已

有井位。EH-4 剖面总长 200 m,21 个测点,点距 10 m。为建立该区的物探找水模型,在已知井和拟定井位置均布置了激电测深工作。

从图 4 可以看到,整条剖面电阻率变化较大,总体上西边电阻率较高(>1 000  $\Omega \cdot m$ ),推断为灰岩,东边电阻率低,其中 200~355 m 范围内从地表至 20 m 深度,电阻率为 20~30  $\Omega \cdot m$ ,推断为第四系覆盖。地貌上该段为大型冲沟,20 m 深度往下有一高阻层,推断为灰岩,厚约 20 m;再往下又是一低阻层,该低阻与已有井下方的低阻区连成一片,电阻率 10~100  $\Omega \cdot m$ 。结合水文调查情况,该层应为已有井的赋水层,从构造上讲,已有井正好处于正断层的上盘。

从已知井的激电测深结果(图 5a)中可以看出, $\eta_s$ 、 $T_H$ 、 $D$  在  $AB/2=150$  m 处同时达到最高值,而  $\rho_a$  在  $AB/2=150$  m 处有相对低阻。结合本区深度转换系数的经验值,推测该处的含水层深度跟水文调查情况符合,类比拟定井,拟定井激电测深点有同样的激电特征(图 5b)。

从 EH-4 反演电阻率剖面(图 6)可以看到,电阻率西低东高,解释为西边为冲沟,东边为灰岩岩体;

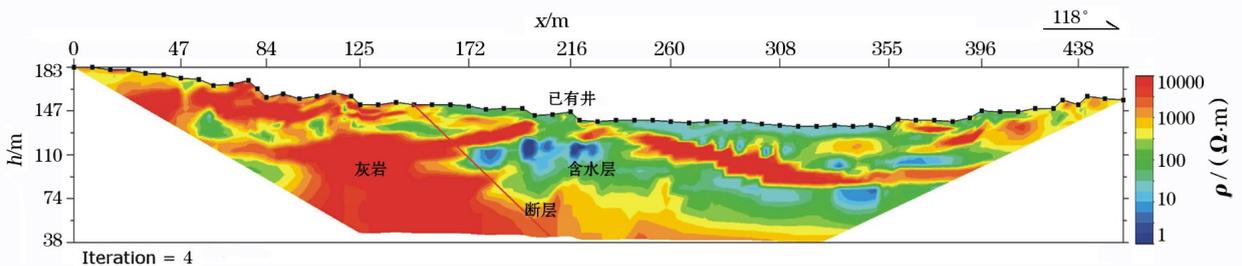


图 4 分将池高密度反演电阻率断面

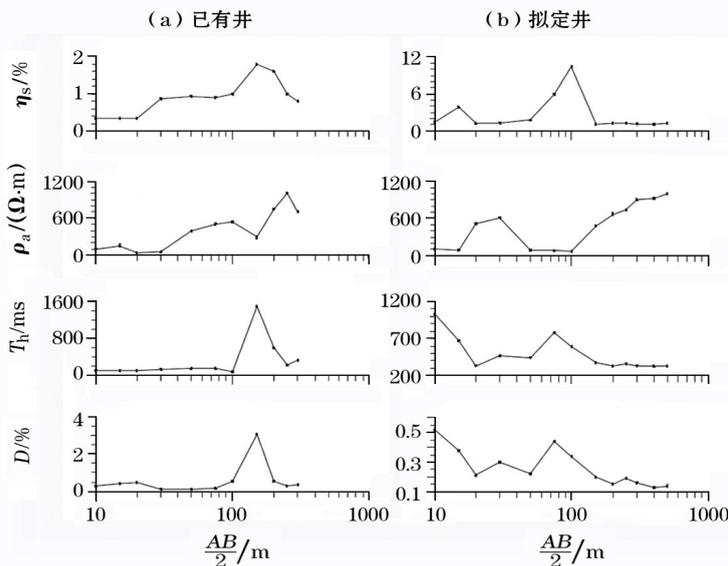


图 5 分将池激电测深参数曲线

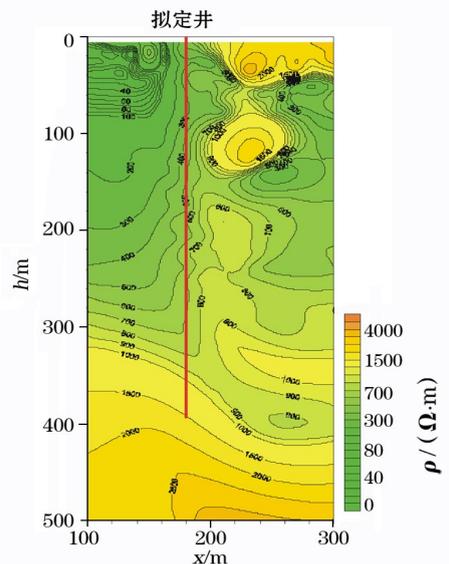


图 6 分将池 EH-4 反演电阻率断面

纵向上基本随深度的增加电阻率逐渐增加。类比已有井的剖面资料,选择在电阻率变化最剧烈处(180 m 处),即电阻率变化的梯级带上布井,设计井深 400 m。后经钻机打井验证,所获结果和物探推断结果十分吻合,出水量为 365 m<sup>3</sup>/d。

#### 4 结语

通过此次工作,总结出多种电法在找水中的适用范围与各自特点,以及不同电法组合在不同类型地电条件下找水中的经验,建立了针对不同水文地质条件下不同电法找水组合模式。

(1)在松散层地区:沉积环境相对稳定,水文条件相对简单,可通过对一定范围内已有水井的调查,确定区域含水层位置。在物探方法的选择上,可以利用高密度电法进行探测,应用该方法在高密度反演电阻率拟断面图上清晰地确定出含水层及富水区段,然后在赋水有利位置开展激电测深确定拟定井位。

(2)基岩区:含水层类型主要为奥陶系碳酸岩裂隙岩溶地下水,水文地质条件复杂,富水地段主要受构造控制,在这一地区找水时,可通过一定范围内已有水井的调查确定区域含水层的埋深,采用高密度电法或 EH-4 电导率测深法(200 m 深度以内采用高密度电法,200 m 以上采用 EH-4 电导率测深)寻找跟赋水相关的低阻异常带的位置,结合水文地质

条件与断裂构造等地质信息选定拟定井位,然后在拟定井位上作激电测深,进一步确定拟定井的深度。

总之,应用不同电法组合寻找地下水是行之有效的,充分发挥各种电法本身的优势,合理应用,可以产生较好的应用效果。不同电法组合为本次地下水勘查井位的布置提供科学、可靠的信息,为提高机井工程成功率提供了重要保障,取得了良好的效果。相信随着物探技术及其方法的不断发展,物探方法找水一定会有更加广阔的发展前景。

#### 参考文献:

- [1] 兰自亭,刘玉忠. 断裂找水在豫北山区的应用[J].地质调查与研究,2005,28(2):120-123.
- [2] 傅良魁. 电法勘探教程[M].北京:地质出版社,1990.
- [3] 苏永军,王绪本,罗建群. 高密度电阻率法在三星堆壕沟考古勘探中应用研究[J].地球物理学进展,2007,22(1):268-272.
- [4] 张胜业,潘玉玲.应用地球物理学[M].武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [5] 王聿军. 电法在某山区的找水效果[J].物探与化探,1999,23(5):351-355.
- [6] 杨湘生. 综合电法在黄花国际机场后勤基地找水中的应用[J].物探与化探,2009,33(4):403-405.
- [7] 李国占,王璇. 综合物探在花岗岩地区找水应用效果[J].勘察科学技术,2009,(3):55-57.
- [8] 李世军,王力斌. 物探方法在找水方面的应用[J].吉林地质,2008,27(3):110-112.

## The application of combination of different electrical methods to groundwater prospecting

SU Yong-Jun, LIANG Jian-Gang, ZHANG Guo-Li, MENG Li-Shan, GAO Xue-Sheng, HE Fu-Qing  
(Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** Fengquan district in Xinxiang is one of the areas in China characterized by shortage of groundwater resources. To tackle this situation, the authors applied the combination of high density resistivity method, EH-4 conductivity sounding and induced polarization of symmetrical quadrupole to groundwater resources prospecting in loose rock and bedrock regions, and achieved remarkable results under complex hydrogeology conditions. The experience gained by using the combination mode of different electrical methods for water prospecting under different hydrogeological conditions was summed up in this paper. The application of combined mode provides reliable and scientific basis for determining location of well in the process of groundwater prospecting, and also guarantees high success rate in well drilling.

**Key words:** high-density resistivity method; EH-4 conductivity sounding; induced polarization of symmetrical quadrupole; arid area; groundwater

作者简介: 苏永军(1981-),男,地球物理和地质工程双硕士研究生,主要从事地球物理研究工作。