

物探方法组合在宁夏南部干旱带找水中的应用效果

尹秉喜^{1,2} 余秋生^{1,2} 于艳青^{1,2} 赵东山³

(1.中国地质大学(北京) 10083; 2.宁夏地质工程勘察院 银川市 750011; 3.中卫县水利局 中卫 751700)

摘要:宁夏南部山区是我国水资源最缺乏的地区之一,针对该地区存在的这一严重缺水现状,利用多种物探方法组合,在水文地质条件复杂、已知资料缺少的固原东部寻找深埋碳酸盐岩岩溶水和基岩裂隙水中取得了显著效果。

关键词: 缺水 物探方法组合 应用效果

1 概述

宁夏南部山区是我国水资源严重缺乏的地区之一。由于地处西北内陆,属干旱、半干旱大陆性气候,降雨稀少(年降水量仅 200—450mm,蒸发量高达 1400—2100mm),植被稀疏,水土流失严重,生态环境极为脆弱。当地群众只能靠天吃饭,流传有“水贵如油”之说,常年靠吃窖水度日,更有甚者,有的地方要到七、八十里之外拉水吃。

针对宁南地区这一缺水现状,我院 96—98 年利用常规物探方法(电阻率测深法)在宁南干旱地带寻找第四系孔隙水取得了重大突破,先后在红寺堡、固原黑城寻找出成片淡水,得到党和国家及自治区领导的肯定。但是,由于固原东部地下水埋藏条件复杂、水位埋深大,常规物探找水(电阻率测深法)已不能满足需要。为能够在固原东部寻找深埋碳酸盐岩基岩裂隙水储水构造,99 年度在固原县马渠乡吕家套探采孔位确定中,首次尝试将常规电测深方法、音频大地电场法与物探新方法(EH—4 电阻率成像)多种方法组合应用,取得了显著效果,从而实现了宁南找水的又一重大突破。

2 地质、水文地质及地球物理特征

2.1 地质概况

2.1.1 地质背景

宁南在地貌上除北部的灵、盐台地和同心北部属较低(海拔高程 1200—1500m)的荒漠、草原景观外,其中——南部均为海拔高程 1600—2100m 的黄土高原。

在区域上该区属华北地层区,主要是以蓟县系(J_x)、寒武系(C)、奥陶系(O)碳酸盐岩为基底,沿南北向的中轴线部位,古侵蚀面较高,海拔在 1600—1800m。云雾山高程 2148m,蓟县系王全口硅质白云岩裸露地面。自官厅乡向南,古侵蚀面逐渐下潜至 1000—1400m。在以碳酸盐岩为主体,南北向延伸的古隆起上部缺失白垩系地层,西缘甘城、高台、炭山、云雾山一线与官厅以南地区,有始新统(E_{2s})砖红色砂岩和较厚的渐新统(E_{3q})

尹秉喜,男,1965- ,高级工程师,一直从事水文工程物探研究工作,现在中国地大攻读博士学位。

紫红色泥岩沉积外，其余地区仅有中新统 (N_{2h}) 砂质泥岩沉积，且厚度小于 150m，局部地段，缺失中新统 (N_{2h}) 砂质泥岩，致使第四系黄土直接覆盖于古老的碳酸盐岩之上^[1~2]。

本区处于中国东、西两大构造地域的衔接地带，地质构造极为复杂。构造单元上主要属于祁吕贺兰山字型构造的脊柱—贺兰山断相带所控，(俗称“南北古脊梁”)，其东西两侧分别属于由下白垩系志丹群和六盘山群碎屑岩组成的鄂尔多斯西缘拗陷带和陇西旋卷构造带。同时该区由于受来自青藏台块和华北台块两大构造东西向挤压应力作用，形成了一系列北北东向延伸，呈边幕状排列，伴有水平位移的高角度逆冲断层^[3]。而这些近于平行排列的逆冲断层多切穿第三系，成为主要的控水构造，被第四系覆盖，只能通过物探揭示。

2.2 水文地质条件

当地的大气降水，大部分以洪水形式流失，或消耗于垂直蒸发，其余则沿第四系黄土垂直入渗地下，第三系泥质岩为隔水底板。地下水沿古地形起伏，向地势低洼的部位运移，在汇水条件好的部位，便形成零星分布，水量有限，水质复杂的第四系黄土潜水。这类地下水，在冲沟沟脑部位，被第三系切穿，排出地表成泉，进而又转化为地表径流。在缺失第三系或基岩裸露地段，大气降水直接入渗基岩裂隙或透过第四系黄土层入渗基岩裂隙，又形成了深层基岩裂隙水和岩溶水。基底为白垩系地层，其厚度有限且所处位置较高，基本不含水或富水性极弱，而侏罗系地层不仅富水性弱，而且水质差(矿化度大于 10g/l)。所以只有基底为蓟县系、寒武系、奥陶系为主的碳酸盐岩，在其构造裂隙中富含矿化度 1—4g/l 的岩溶裂隙水，该类地下水是本地区唯一可供人畜饮用水水源^[4]。

2.3 地球物理特征

测区地层岩性电性参数分别为：干黄土 $s=50\sim 200$ ，黄土状粘砂土、砂粘土 $s=30\sim 50$ ，第三系泥岩、砂岩 $s < 20$ ，侏罗系砂岩 $s < 10$ ，灰岩(破碎) $s=50\sim 300$ ，灰岩(完整) $s > 300$ 。各类岩性之间具有明显电性差异，对于深埋碳酸盐岩岩溶水，其富水性受构造控制，其发育程度决定于构造裂隙水的水量大小。从地球物理角度出发，完整的岩体与其中存在构造时二者所反映的地球物理参数明显不同。这种围岩与裂隙之间存在的物性差异是必会引起不同物探方法异常反应。

3 物探方法组合应用

3.1 组合原则

此次物探方法组合是以电测深法、音频大地电场法进行初勘，利用它灵活机动、快速之特点，初步确定地层的大致岩性结构、埋藏情况，并在初勘确定有意义找水地段布置电测深精测剖面。在此基础上选择近年来国内外领先的物探新方法 EH—4 视电导率成像法，使得各种方法解释结果具有相互补充、相互印证。从而更详细地确定被探测目地层的地质结构、

地质构造位置，为最终确定探采孔宜井位置提供详细的科学论证依据。

3.2 组合方法有效性实验

众所周知，电测深法是研究垂向地层岩性变化的成熟方法，它是通过了解测点地下介质垂向上电阻率变化来确定基岩起伏、覆盖层厚度，并初步定性确定具有明显电阻率差异的断层破碎带、陡立岩性接触界线。表 1 为测区仅有的二个揭露石灰岩孔旁电测深曲线解释对比结果，可以看出其电测深推测结果与钻探揭露灰岩顶面较为吻合。

表 1 已知孔旁电测深解释对比表

孔号及编号	马渠 G8 孔	寨科 G10 孔
地层岩性	蓟县系灰岩	蓟县系灰岩
钻孔揭露顶板 m	33.28	196.98
电测深推测顶板 m	28.5	181
对比误差 %	14.3	8.1

音频大地电测场法是利用大地中天然交变电磁场的音频电场信号来研究岩石电学性质，以达到了解浅层地质构造的一种方法。其探测对象是陡立的地质体，如断裂构造带、岩溶裂隙发育带、岩脉等。该方法在碳酸盐地区取得了较好的应用效果，它具有工作仪器轻便、效率高的特点，本次在宁南山区首次运用。图 1 为马渠已知孔旁音频大地电场实验剖面。在钻孔位置表现为明显的低值异常，其异常幅度：

$$F = \frac{\nabla Va_{\max} - \nabla Va_{\min}}{\frac{\nabla Va_{\max} + \nabla Va_{\min}}{2}} \% = 63.4\%$$

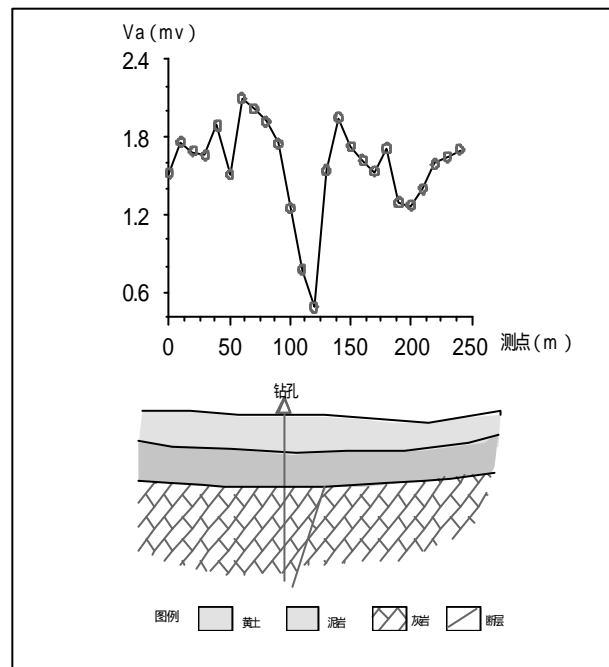


图 1 孔旁音频大地勘测实验剖面

EH—4 电导率成像是近年来从国外新引进的物探找水方法，已在新疆罗布泊、塔克拉玛干沙漠塔中油田、内蒙古苏红图、陕西富平县杨家坡、四川筠连县沐艾乡等地均取得了良好效果。该方法由于它观测的基本参数为：正交的电场分量 (E_x, E_y) 和磁场分量 (H_x, H_y)。

其地层的视电阻率由下式求出：

$$r_s = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

其中， r_s 为地层视电阻率， f 为电磁频率， E_x 为电场强度， H_y 为磁场强度。

另外，根据电磁波在介质中传播特征，趋肤深度由下公式求出：

$$d = 503 \sqrt{\frac{r}{f}}$$

其中， d 为趋肤深度 (m)， r 为地层平均视电阻率 (Ω·m)， f 为频率 (Hz)。

由上式可知，该方法是通过改变频率达到探测不同深度地层变化。它具有勘探深度大，分辨率高之特点，弥补了前两种方法勘探深度小、深部异常分辨率低不足。根据测区两个揭露石灰岩孔旁 EH—4 剖面勘测实验，马渠有水钻孔位置视电阻率等值线发生明显低值畸变，这是由于该钻孔打在岩溶裂隙发育带位置，而寨科无水钻孔勘测剖面视电阻率等值线连续平滑、无畸变，说明该钻孔位置基岩完整、无裂隙。

3.3 方法组合有效性评价

针对“南北古脊梁”带岩溶地下水水位埋深大、水质分布复杂之特点，采用多种物探方法组合具有明显的优势性。这是由于常规电测深法勘测深度有限，只能探测到目的岩层和浅部构造形迹，但不能有效查清楚深部岩层结构及岩溶构造；音频大地电场法往往受到目的层基岩上覆厚度不等的第四系黄土、类黄土及第三系泥岩低阻层限制，从宁南部分实验资料来看，覆盖层厚度大于 100m 后，其音频异常幅度 F 几乎为零，亦不能有效确定深部岩溶构造；EH—4 视电导率成像法它具有探测深度大、分辨率高。因而，物探方法组合应用有效性在于利用常规电测深法、音频大地电场法灵活机动、快速特点，进行目的含水岩层及浅部构造形迹追踪，在此基础上，利用 EH—4 视电导率成像法进行岩层结构及其岩溶构造位置准确确定，以此结果确定最佳布孔位置。根据多种物探方法组合在固原东部找水成功经验，总结出适合干旱地带寻找基岩裂隙水物探方法组合的最优勘查模式为：

1、收集并研究区内由地质及水文地质资料，应重点了解区内地层岩性特征及区域构造特征分布，为物探方法布置提供基础资料。

2、布置常规电测深剖面、音频大地电场法，初步确定目的层（灰岩）分布、覆盖层厚度。其次在勘查有意义异常地段布置电测深精测

3、在上述两种方法勘测异常地段布置勘探深度大、分辨率高的 EH—4 视电导率成像剖面，最终确定勘探孔宜井位置。

其最优勘查模式框图见（图 2）

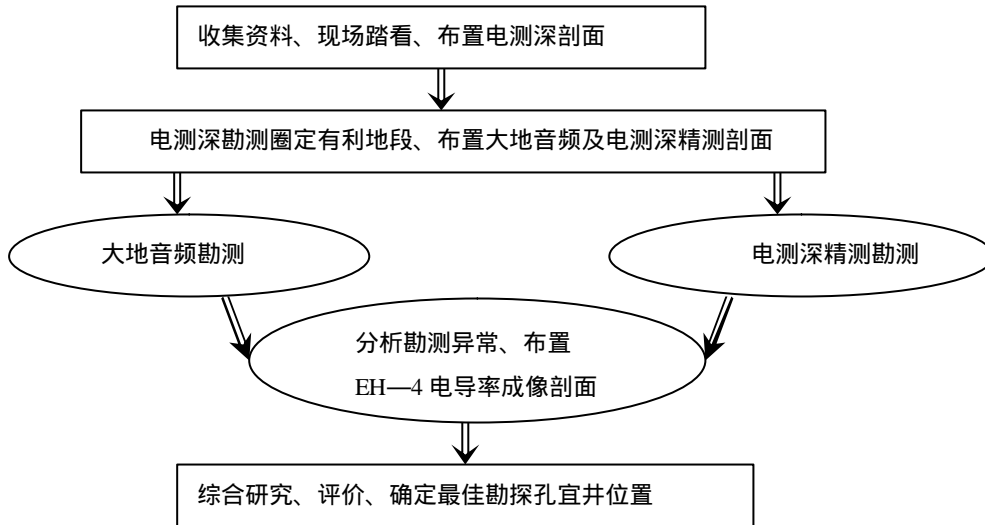


图 2 干旱地带物探方法寻找基岩裂隙水最佳勘查模式框图

4 马渠乡吕家套探采孔方法组合应用效果

该井位于马渠乡吕家套村，区域地质资料分析认为，目的层可能为蓟县系王全口灰岩，其上覆盖一定厚度的第三系及第四系中更新统风积黄土。电测深推测，其上部黄土覆盖厚度 50—60m，下部直接为巨厚层蓟县系灰岩。据此，先投入音频大地电场法勘查，剖面呈东西向布置。音频勘测反应出明显低值异常，其异常幅度 F 为 (30.4—48.4) %，对异常追踪，异常走向为南北向。为了进一步证实音频低值异常为基岩构造引起，又垂直异常走向布置了电测深精测剖面及 EH—4 剖面，两种方法勘测均在剖面 200—400m 处有明显异常反应，与音频勘测剖面异常吻合，见组合勘测剖面（图 3）。依据方法组合综合分析推测吕家套位置存在断层构造，且岩溶裂隙发育，岩性破碎，具备地下水储存条件。据此，在此异常位置布置勘探钻孔。设计孔深 700m，钻孔钻进到 38.87m 见灰岩，137.74-230m，281.68-390m，480-700m 岩石破碎，钻孔中漏浆现象严重。成井，静水位 327.7m。抽水，降深 31.29m，出水量 $603\text{m}^3/\text{d}$ ，矿化度 2.2g/l 。

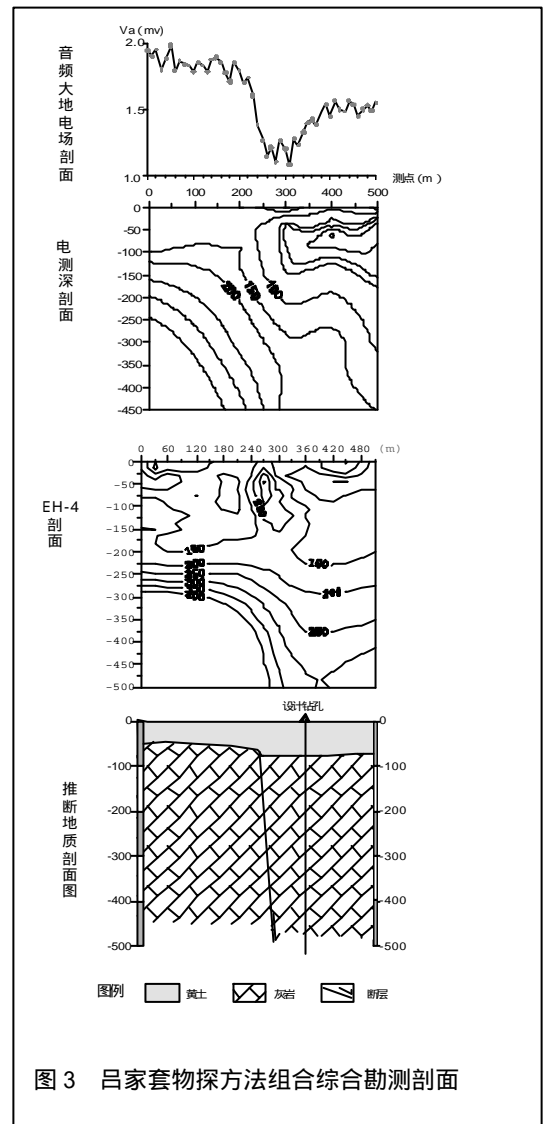


图 3 吕家套物探方法组合综合勘测剖面

6 结论

1、通过采用常规电测深法、音频大地电场法、EH-4 物探方法组合，在宁南干旱山区寻找深埋岩溶水、基岩裂隙水方法是有效可行的。利用这种组合模式在固原东部成功布置四眼勘探孔，实践证明了这种组合模式在干旱缺水山区寻找基岩裂隙水的可行性和可靠性。

2、在储水目的层基岩埋藏不深地区，利用仪器轻便，效率高的音频大地电场法进行扫面普查，可以快速圈定 V_a 低值异常，在此基础上布置电测深精测剖面或 EH-4 剖面，确定最佳探采结合井位置，可以取得最经济、最快速、最好的找水效果。

参考文献：

- [1] 霍福臣主编 《宁夏地质概论》，科学出版社，1989 年。
- [2] 赵荣霞等编 《宁夏回族自治区区域地质志》，地质出版社，1982 年 7 月。
- [3] 王利、朱宝成编 《宁夏构造地貌》，地质出版社，1994 年 2 月。
- [4] 顾其昌等编 《宁夏回族自治区岩石地层》，地质出版社，1996 年 4 月。
- [5] 郭建强、武毅等编 《宁南干旱缺水地区地下水勘查物探新技术、新方法研究报告》，地质矿产部水文地质、工程地质方法研究所，1999 年 10 月。
- [6] 连克编 《基岩地下水勘查技术方法》，地质矿产部水文地质、工程地质方法研究所，1998 年 9 月。