

# 新技术方法在宁夏南部严重缺水地区

## 找水工作中的应用效果

尹秉喜 余秋生 于艳青

(中国地质大学(北京))

### 1. 宁夏南部山区缺水现状和找水成果

宁夏南部大致指  $37^{\circ}25'$  以南地区,包括固原市五县(彭阳、西吉、海原、隆德、泾源)一区(原州)和吴忠市所辖的同心、盐池二县及中卫县、中宁县、青铜峡市、灵武市的山区,总面积约为 3.54 万  $\text{km}^2$ 。约占自治区总面积的二分之一,其中大部分为回族居住地,而且多为丘陵山区,地形地质条件复杂。具有显著的大陆性气候特征,由于地处内陆,降雨稀少,蒸发强烈(降雨量自南而北,从六盘山区 500—700mm/a 递减到北部丘陵区 200—300mm/a,而蒸发量则从 1400mm/a 递增至 2000mm/a),且降水量的 50—73%多集中在 7—9 月份。灾害性天气尤以干旱的危害最大,平均五年中有四年干旱,每遇旱季(年),当地人畜饮水难以保证,农牧业生产损失严重。

根据宁夏水资源公报,宁夏南部山区地表水资源总量约为 5.9 亿  $\text{m}^3/\text{a}$ ,地下水天然资源总量约 3.7 亿  $\text{m}^3/\text{a}$ ,水资源总量约为 6.3 亿  $\text{m}^3/\text{a}$ ,人均占有量仅为 273 $\text{m}^3/\text{a}$ ,仅为国际标准生存线的 27.3%。且多以咸水分布,全区地下水矿化度大于 3g/l 的咸水资源分布面积达 1.67 万  $\text{km}^2$ ,占宁夏南部山区总面积的 47%,这种水资源分布特征,更加加重了宁夏南部山区的缺水程度,尤以固原市五县一区及吴忠市所辖的同心县、盐池县最为严重。在正常年份,宁夏中南部地区仍有 21.8 万人饮水困难,在大旱之年有 50 万人、11 万大家畜、57 万只羊饮水困难。可谓“十年九旱,水贵如油”,这一极端缺水现状,严重制约着该地区经济发展,人民生活十分贫困,有“贫甲天下”之称,成为闻名全国的贫困山区。

为缓解宁夏南部山区严重缺水的紧张局面,自 1996 年以来,在实施“西北地区地下水资源勘查特别计划”、“宁夏回族自治区扶贫计划”、“宁夏地下水生命工程”找水工作及“鄂尔多斯盆地地下水勘查”、“宁南水资源综合评价与合理开发利用”、“宁夏回族自治区固原东部地下水勘查”等项目中,进行了大量的找水工作,先后在苦咸水区、无水区找到了十分珍贵的人畜饮用水源,其中集中供水中型水源地一处、小型水源地两处、农田灌溉水源两片、万立方米大流量岩溶水一眼,总计先后为当地探采结合成井 81 眼,总出水量 11 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,可解决 21 万

人口、18 万大牲畜的饮水和 5000 亩农田的灌溉问题。这些找水重大突破不仅取得了社会效益和经济效益，同时也为我们在运用新技术、新方法找水方面积累了经验。

## 2. 宁夏南部水文地质条件

大气降水是宁南山区地下水主要的补给来源，大气降水的绝大部分直接消耗于蒸发或汇于河道、沟谷中形成地表径流，只有一小部分入渗地下形成地下水，由于该地区降雨稀少，因此地下水补给资源十分贫乏。

苦咸水广泛分布是宁南山区地下水的主要特征。由于区内第三系膏盐地层广泛分布，使得苦咸水分布十分普遍，只有在部分基岩山地或径流条件较好的地段才有可能形成淡水资源。受自然地理、地貌和地质构造条件控制，宁南地下水赋存主要以第四系松散层孔隙水，第三系、白垩系碎屑岩孔隙裂隙水和元古界、古生界碳酸盐岩岩溶裂隙水三种类型赋存。

### 2.1 第四系松散层孔隙水

黄土类孔隙水：广泛分布于宁夏南部的黄土丘陵和黄土塬区，多以相对隔水的第三系红色泥质岩层为基底，依古地形起伏而披盖第四系黄土和类黄土。大气降水沿黄土垂直入渗至第三系受阻，沿古地理面向低洼处运移汇集，常常形成零星分布的黄土孔隙潜水。其水位埋深一般小于 25m，含水层厚度小于 5m，单井涌水量小于  $1\text{m}^3/\text{d}$ ，水质复杂多变，一般在洼地周边及沟侧台地的后缘，水质好，矿化度小于  $3\text{g/L}$ ，而在洼地中心和沟侧台地前缘，水质差，矿化度高达  $15\text{g/L}$ 。该类地下水是目前广大丘陵区主要的人畜饮用水源。

第四系砂砾石孔隙水：多分布在河谷平原、断陷洼地、山前断陷及山间沟谷地带。含水层主要是松散砂砾石，基底多为相对隔水的第三系或白垩系泥质地层。地下水主要接受来自山地丘陵区的地表水和大气降水垂直入渗补给，受基底制约向洼地中心或河谷下游运动，以地下径流形式排出地表又转化为地表水。在河谷平原中，地下水位埋深一般 10 - 50m，单个含水层厚度小于 50m；在山前洪积扇中，地下水位埋深一般为 50 - 100m，局部地段大于 100m。含水层为多层结构，累计厚度 100m 左右。单井涌水量一般为  $100 - 1000\text{m}^3/\text{d}$ 。在宁夏境内最大的黄河一级支流清水河河谷中下游地带水质复杂，无论垂向上和水平方向均表现较大变化，矿化度一般在  $1 - 5\text{g/L}$ ，最大可达  $10\text{g/L}$ 。除此而外，其它河谷平原、断陷洼地、山前断陷带地下水水质较好，矿化度一般小于  $1\text{g/L}$ 。该类地下水是宁南主要的城镇供水、农田灌溉用水及人畜饮用水源。

### 2.2 第三系、白垩系碎屑岩类孔隙水

第三系上新统砂砾岩孔隙水：主要小面积分布于月亮山西麓、南华山以东、香山北东麓及罗山西麓。含水层为多层结构的砂砾岩、砂层夹层。地下水主要接受来自山区地下径流侧向补给和大气降水、地表洪水垂直补给，向远离山前方向运动，在上、下部泥质地层隔水作用下形成层间孔隙承压自流水。单井涌水量一般为 500 - 1000 m<sup>3</sup>/d，部分地带超过 2000 m<sup>3</sup>/d。水质佳，矿化度一般在 1 g/L 以内。

始新统寺口子组砂砾岩孔隙水：广泛隐伏于第三系底部，但由于埋藏深，富水性弱，水质差，多无供水意义，仅在六盘山山区一些裸露区及其附近分布有较为丰富的淡水水源，单井涌水量 500 m<sup>3</sup>/d 左右，局部超过 800 m<sup>3</sup>/d。

下白垩系砂砾岩、砂岩孔隙水：主要分布于六盘山及月亮山区，含水岩层为六盘山群和尚铺组或志丹群罗汉洞组砂岩、砂砾岩。地下水主要接受大气降水和地表水垂直入渗补给及地下侧向径流补给，向东运动，在上部泥质岩层或阻水断裂的制约下形成承压自流水，以地下径流形式排泄。单井涌水量一般在 1000 - 3000 m<sup>3</sup>/d，矿化度小于 1 g/L。

### 2.3 元古界、古生界碳酸盐岩岩溶裂隙水

主要分布于鄂尔多斯西缘云雾山—青龙山一线，呈南北走向，东西宽约 30 余公里的碳酸盐岩为主体的“南北古脊梁带”古隆起地带。该古隆起带其南北中轴线部位，古侵蚀面较高，在南部有固原县东部云雾山蓟县系王全口硅质白云岩裸露地面，北部有同心县东部的青龙山寒武系、奥陶系地层出露，除此而外大部被第四系黄土及第三系地层覆盖，仅在沟谷切穿第四系及第三系地层部位有零星出露。以碳酸盐岩为主体，南北向延伸的古隆起东西两侧，分布着相对隔水的侏罗系、白垩系、第三系地层，形成了南北古脊梁带独立的碳酸盐岩地下水阻水边界。大气降水除部分以洪水流失和消耗于垂直蒸发外，其余则沿第四系黄土垂直渗入地下或直接在基岩裸露处入渗地下。据以往研究资料及地下水同位素测定表明，该古脊梁带以云雾山为地下分水岭，南部以郑家大泉，北部为太阳泉作为岩溶地下水排泄口。地下水主要以深部古岩溶及构造裂隙作为导水通道，且构造裂隙多呈近南北发育。地下水水质具有南部好于北部，据近年来宁南找水勘探资料可知，马渠吕家套到双井严湾地下水具有明显跃变，以南水质小于 3 g/L；北部大于 4 g/L。

## 3. 宁南找水工作中的方法应用及其效果

宁夏南部找水成功经验可概括为：在前人资料的基础上，通过二次研究，以分析不同类型地下水形成与运动规律，并以此为依据，选择找水靶区，针对性的

布置找水勘查工作，其勘查工作除采用常规勘探技术方法外，广泛运用了先进的遥感技术和先进的探测技术及其先进的钻探工艺。总之，新方法、新技术应用是该地区找水突破的成功体现，也为今后该地区地下水勘查找水工作打下了基础。

### 3.1 黑城苦咸水区中寻找成片淡水经验总结

#### 3.1.1 工作区基本现状

黑城苦咸水地区位处清水河中上游平原，地势平坦、土地肥沃、人口稠密。该地区苦咸水广泛分布，第四系浅层地下水普遍苦咸，矿化度 3-6g/L，局部地段超过 10g/L。有史以来，人畜饮用水源极端短缺，近十年来，由于当地群众大量开采浅层高矿化度地下水，进行农田灌溉，使得土壤次生盐碱化灾害严重。

#### 3.1.2 勘查方法及其应用

根据黑城苦咸水分布及区内少数几个分层抽水深孔资料，结合清水河平原的区域地质及水文地质条件综合分析，初步认为黑城地区深部可能埋藏有丰富的淡水资源。于是采用了常规电测深物探方法，通过对横穿清水河平原 14 条电测深勘查剖面，与少数几个已有分层抽水资料孔旁电测深资料分析对比，初步总结出地层岩性电性参数为：不含水砂砾石  $s > 100$ ；含水砂砾石（水质矿化度小于 2g/L） $s = 40 - 100$ ；含水砂砾石（水质矿化度在 2 - 3g/L） $s = 20 - 40$ ；含水砂砾石（水质矿化度大于 3g/L） $s < 15$ ；粘砂土及砂粘土层  $s = 10 - 15$ ；第三系泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩  $s < 10$ 。

依据各电测深勘测剖面显示在深度 50—150m 等视电阻率断面表现的相对高

阻，推测有淡水体分布。图 1 为其中一条电测深勘测经反演后的等视电阻率断面图，根据视电阻率断面特征推测  $s > 30$  等值线为相对淡水体断面空间分布。

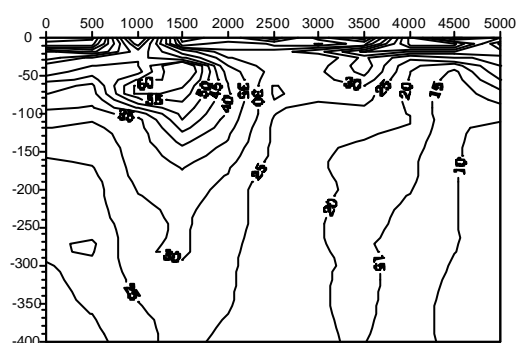


图 1 黑城地区电测深勘测成果剖面

3.1.3 应用效果：由各剖面电测深断面等值线图初步圈定淡水体分布面积 144km<sup>2</sup>。后经探采结合成井 15 眼，地下水矿化度 1.2-1.5g/L，单井出水量 1200 - 2500m<sup>3</sup>/d，允许开采量超过 20000m<sup>3</sup>/d。

这在苦咸水区仍不失为非常宝贵的地下水资源，宜于灌溉和人畜饮用，可解决该地区 3 乡镇 2—3 万人的吃水问题和万亩农田灌溉。使得祖祖辈辈吃苦咸水、窖水和远途拉水吃的回汉群众发自内心地喊出了“共产党万岁”。这一重大发现实现了宁南找水的重大突破。

### 3.2 红寺堡山前断陷型水源地的成功勘查

#### 3.2.1 红寺堡地区基本现状

红寺堡水源地位于罗山西北麓，属于山前新生代断陷型赋水构造。地貌上处于灵盐台地南西边缘与宁南黄土丘陵的过渡地带。该地区地势平坦，土地资源极为丰富，由于地表严重干旱缺水，区内基本无人居住。“九五”期间，宁夏回族自治区人民政府决定开发红寺堡移民灌区。为此，宁夏扶贫扬黄灌溉指挥部多次请专家论证，认为无适合饮用水源，都予以否定。

#### 3.2.2 勘查方法及其应用

对区域地质资料研究推测分析认为，在喜马拉雅运动期末，地壳处于下降状态，岩性受构造控制十分明显，从古地理形态上看，甜水河以南，大罗山西麓为最低，成为北北东向展布的凹陷。甜水河以北中新统红柳沟组地层裸露地表，以南受两条断层控制，构成了罗山西麓第四系断陷带，第四纪以来形成了巨厚的洪积砂砾石层。甜水河平行大罗山发育，是众多下降泉汇合成的常年性河流，这些证据表明红寺堡地区可能存在第四系富水断陷带。据此，横切可能存在的断陷带，布置控制性电测深剖面四条，开展了电测深工作，总结本区地层岩性电性参数分别为：不含水砂砾石

$s=120-350$ ；含水砂砾石夹含砾粘砂土层（水质矿化度小于  $1g/L$ ） $s=60-120$ ；含水砂砾石夹含砾粘砂土层（水质矿化度大于  $1g/l$ ） $s=40-60$ ；第三系泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩  $s < 10$ 。其勘探结果证实了该断陷带存在。图2为其中的一条勘测剖面，电测深等值线断面图表现有明显的高阻等值区域，初步推测，断陷带可能存在。

在此基础上又布置了5条电测深勘测剖面，发现该高阻带长度大于  $20km$ ，宽约

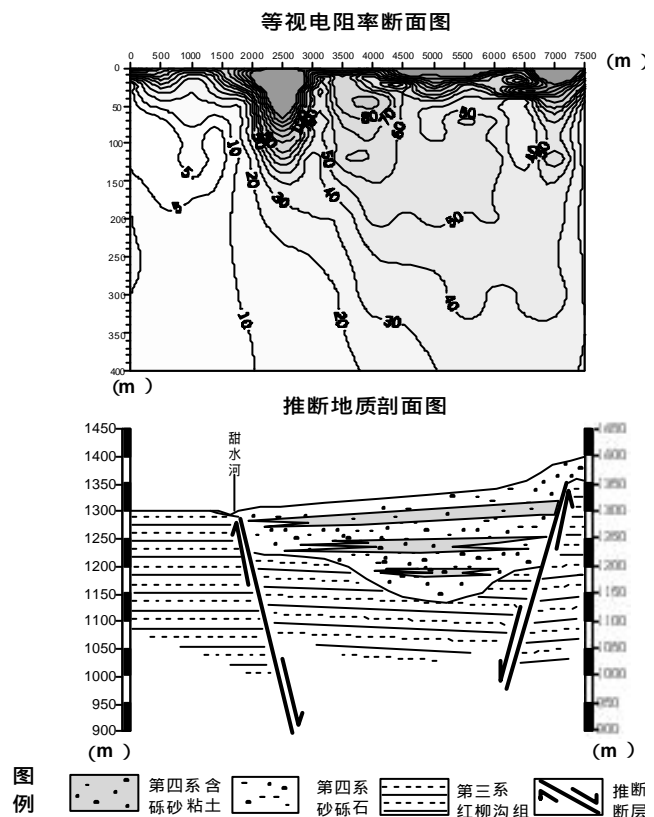


图2 红寺堡地区电测深勘测成果剖面

2.5-6.0km 呈北东向延伸，进而推测，在柳泉地区隐伏着一个长度大于 20km，宽约 2.5—6.0km 的断陷带，断陷带内第四系厚度大于 230m。

### 3.2.3 应用效果

在物探推测隐伏断陷带内，投入钻探，揭露第四系含水层岩性为砂砾石，厚度 18—121m，地下水位埋深 10—50m，单井涌水量大于 2000m<sup>3</sup>/d，地下水矿化度小于 1g/L，其它各种离子都符合生活饮用水卫生标准，是较好的生活饮用水水源，经资源委批准红寺堡柳泉水源地地下水“B”级储量 3 万 m<sup>3</sup>/d。

## 3.3 深埋岩溶裂隙水勘查的重大突破

### 3.3.1 宁南岩溶裂隙水勘查的基本现状

元古界、古生界碳酸盐岩岩溶裂隙水主要分布于固原市原州区最缺水的东部八乡和同心县最缺水的四乡镇。由于位置处于鄂尔多斯西缘“南北古脊梁带”古隆起带，地下水位埋藏较深，过去受探测技术及其钻探工艺限制，这类地下水基本没有得以开发利用。

### 3.3.2 新技术、新方法的组合应用

深埋碳酸盐岩地下水勘查是在实施“鄂尔多斯盆地地下水勘查”及“宁南水资源综合评价和合理开发利用”中，在先进的遥感技术和地面调查相结合的基础上，采用常规电阻率测深法与具有国内领先水平的新技术、新方法等多种物探方法组合，其效果较为明显，下马关白家滩探采结合孔首先由前期电测深法进行初勘，发现有 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 断层构造形迹，在此基础上，选择了 EH-4 电阻率成像、瞬变电磁法，根据 EH-4 电阻率成像、瞬变电磁法勘测，不仅证实了 F<sub>2</sub> 断层的存在，而且还发现了 F<sub>4</sub> 断层及 F<sub>3</sub> 次级断层，在水文地质条件上讲，大型构造其供水意义一般不大，而恰恰是中小型构造，其破碎带富水性较强，供水意义大，因而对 F<sub>3</sub> 次级断层进行研究具有重要的找水意义。为了准确确定 F<sub>3</sub> 断层平面位置及其产状，又选择了高分辨率浅层地震法进行了详细勘查，推测验证了上述 F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub> 三条断层存在，而且确定了 F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub> 断层产状要素，并推测 F<sub>3</sub> 断层为较好的富水构造。依此，建议孔位选择 F<sub>3</sub> 断层位置，设计孔深 600m，预计 300 - 450m 可揭示 F<sub>3</sub> 断层。

根据物探资料进行钻探施工，钻孔钻进至 114m 时，孔内开始漏浆，钻进 120.14m 时，孔内不再返浆，被迫停钻采用锯沫、水泥、膨润土、麦草段混拌注入孔内堵漏，堵漏成功后继续钻进至 350.14m，孔内又开始严重漏浆，停钻不断向孔内送浆，不见泥浆返出孔口，此处总计漏浆约 160m<sup>3</sup>，采取一系列措施堵漏未能成功。常规钻探工艺已不能继续施工，而后与长春科技大学合作，采用水泵

增压泡沫钻进技术，成功达到设计孔深 600.28m，单井涌水量大于 3000 m<sup>3</sup>/d。

### 3.3.3 应用突破

白家滩勘探孔是在“南北古脊梁带”寻找深埋碳酸盐岩岩溶裂隙水的重大突破，其突破点在于：在对区域地质、构造、水文地质条件进行研究的基础上，利用遥感技术、物探新技术新方法，尤其是物探方法组合应用确定勘探孔，经钻探证实，在勘探精度上有突破性的提高。在复杂严重漏浆裂隙发育的碳酸盐岩地层施工中，实现了水泵增压泡沫钻进在宁夏南部复杂条件施工大口径超深钻进成功，突破这一技术仅适于 200—300m 小口径钻进的局限，在严重漏浆而常规钻探方法已无法施工的情况下顺利钻进至 600m 深度。这一钻探技术在确保采芯率的前提下，大大提高了钻探效率，是在钻探工艺改进应用上取得重大突破。在严重缺水的“南北古脊梁带”区，先后在固原市原州区寨科乡、马渠吕家套、甘城严湾村、彭阳县红河乡宽坪村及同心县探采结合井，单井实抽水量 10000 m<sup>3</sup>/d，为我区第一口大流量深水井，从而解决了大旱年份当地群众吃水问题，是该地区水文地质认识的重大突破。

## 3.4 月亮山西麓地区第三系碎屑岩类孔隙水寻找中的应用

### 3.4.1 月亮山西麓地区的基本缺水现状

多年来，月亮山西麓西吉县是我区严重缺水的县城之一，一直没有正规的供水水源地，仅靠葫芦湖上游的河滩地下截流引水。由于近年来连续干旱，葫芦河干枯，供水水源更加不足，县自来水公司只能定时供水，有时甚至几天供不上水，县城居民只好买水喝或喝高矿化度水。

### 3.4.2 勘探方法应用

在实施西北地区地下水资源特别计划中,充分收集前人资料的基础上,认为月亮山西麓可能存在有第三系干河沟组碎屑岩类孔隙水,据此在月亮山西麓布置电测深剖面四条,勘查总结第四系不含水干黄土及砂砾石  $s > 200$ ,含水砂砾石夹粘性土  $s = 80 - 200$ ;第三系干河沟组砂质泥岩、泥质砂岩地层  $s = 15 - 30$ ,砂岩、砂砾岩地层  $s = 30 - 80$ ;第三系红柳沟组、清水营组地层  $s < 15$ ;下白垩系六盘山群砂砾岩  $s = 150 - 250$ 。图3为其中的一条勘测成果剖面,电测深勘测与水文地质调查认识一致,在此基础上辅以激电测深法拟选了探采结合井位,图4为一激电测深成果图,电测深曲线对应高电阻率均对应高激化率及半衰时高峰值,由此认为高电阻率对应第三系干河沟组富水砂砾岩层。按其布孔成井五眼,其单井涌水量大于  $1000\text{m}^3/\text{d}$ 。与物探推测结果较为吻合。

### 3.4.3 应用效果

经过勘查在西吉县火石寨乡沙岗子村实现了该县城供水勘探方向的重大突破。勘探含水层为新第三系干河沟组砂砾岩、细砂岩,其顶板埋深  $41.22\text{m}$ ,底板埋深  $196.46\text{m}$ ,地下水水文埋深  $38.14\text{m}$ ,单井涌水量大于  $1000\text{m}^3/\text{d}$ ,矿化度  $0.58\text{g/L}$ ,氟离子含量  $0.25\text{mg/L}$ 。并经资源委批准,该水源地为B级储量  $10000\text{m}^3/\text{d}$ ,从而结束了西吉县城居民饮用高矿化水的历史。

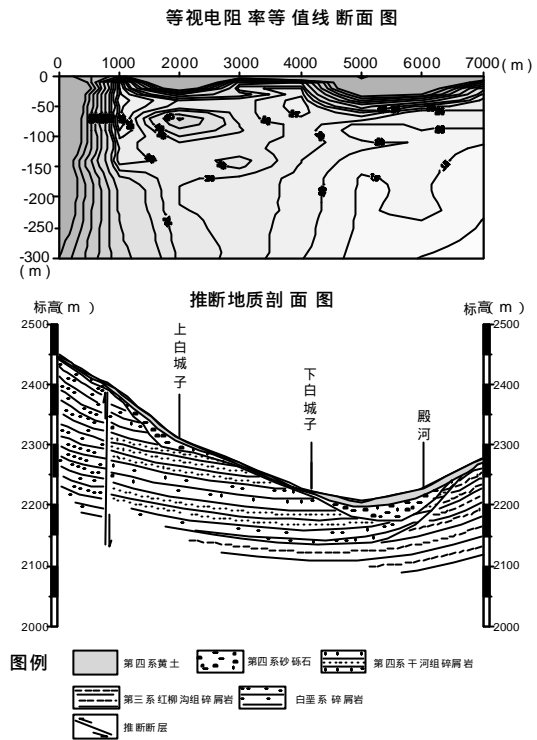


图4 月亮山西麓电测深勘测成果剖面图

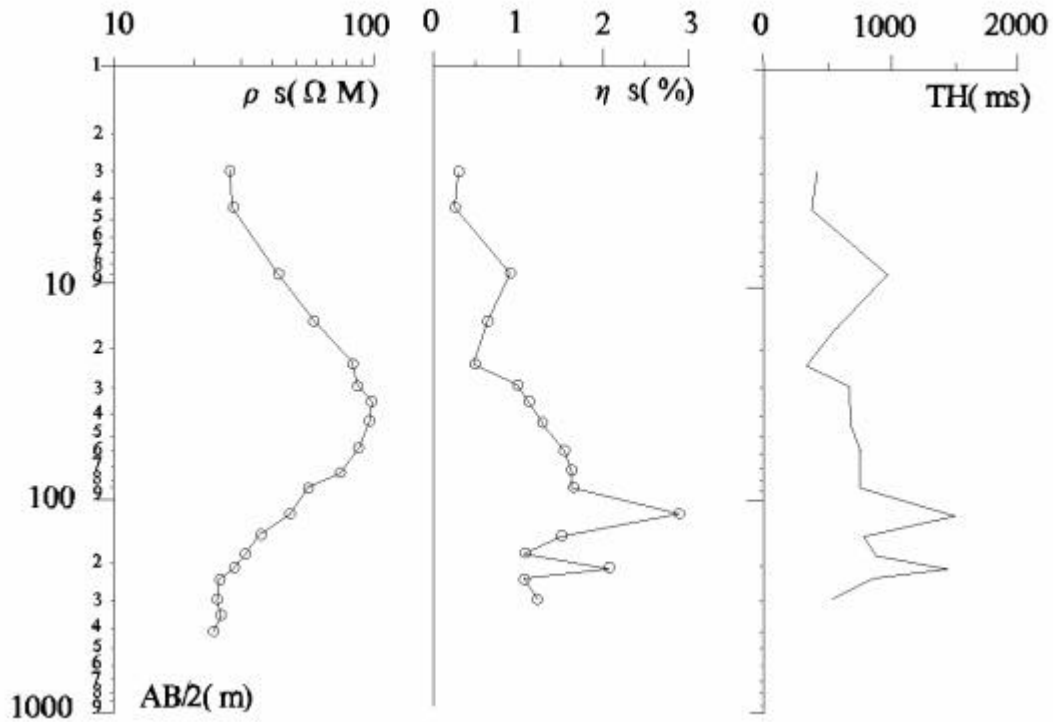


图4 拟定孔旁激电测深曲线

#### 4. 宁南不同水文地质条件的勘查技术方法选择

根据上述不同类型地下水寻找中的方法应用,可以看出各种方法的应用,多建立在对前人水文地质资料研究前提下,以地面调查结合遥感解译,重点借助物探方法进行勘查。其勘查方法是在充分分析不同类型水文地质条件而选择的。

##### 4.1 第四系松散层孔隙水

###### 4.1.1 黄土类含水层

宁夏黄土的基底主要为第三系红层,由于第三系泥岩的阻水作用,在适宜的部位可以形成一定规模的人畜饮用水水源。由于其水位埋深一般小于 25m,含水层厚度小于 5m,因此,应重点研究黄土区小流域地下水水质变化情况,借助常规电测深法、激电测深法、核磁共振物探方法可以定量给出地下含水层埋深、厚度、富水性、水质参数。其找水的程序应是:由地面调查和区域地质资料圈定找水远景区——利用电测深、激电测深进一步圈出可能含水区及其咸淡水分布——核磁共振法定量给出富水性参数。

###### 4.1.2 第四系砂砾石含水层

第四系砂砾石含水层多分布于河谷平原及山前断陷带内,因此对宁南各河谷

平原水、井点调查及山前隐伏构造条件研究是很重要的,在此基础上利用常规物探,测井以确定目的含水层分布及其埋藏条件、水质(矿化度)以达到找水目的。其找水前景应在宁南各河谷平原、山前洼地(兴仁、海原、贾淌)大小罗山东西麓等有望找到这种类型地下水。

#### 4.2 第三系、白垩系碎屑岩类孔隙含水层

这类地下水寻找应加强对区域地质资料分析,结合水点及其泉点调查初步圈定可能含水区段,在此基础上以常规电测深法辅以少部分激电测深其效果是显著的,可有望在海原县的树台、干盐池地带及香山的南北麓、牛首山东麓和盐池县的局部地区找到较好的地下水。

#### 4.3 元古界、古生界碳酸盐岩岩溶裂隙含水层

宁南深埋碳酸盐岩岩溶裂隙水勘测目的是圈定目的含水岩组,确定地层结构、基岩界面、准确确定基岩构造部位、构造发育规模等。据近几年这类地下水勘查方法应用,其勘查步骤首先是对区域地质资料(包含地质基础资料、区域构造资料、区域水文资料)进行综合研究,在结合遥感解译进行详细地面调查基础上进行常规电测深控制测量,以初步了解碳酸盐岩岩体的分部、顶界面及其构造形迹,而后进一步采用高分辨率的探测仪器和先进的勘探方法(目前,较理想的方法是音频大地电磁测深法,同时辅以瞬变电磁测深及浅层地震法),详细查明目的岩层结构、断层展布及其构造产状要素。在充分分析水文地质条件前提下确定勘探孔位。钻探可利用水泵增压泡沫钻进工艺。

### 5. 结语

自1996年我们在宁南山区实施勘查找水工作六年间,运用新技术、新方法,进行了大量的找水工作,先后在前人认为无水的地区找到了十分珍贵的人畜饮用水源,其中集中供水中型水源地一处、小型水源地两处、农田灌溉水源两片、万立方米大流量岩溶水,探采结合成井81眼,总出水量11万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,可解决21万人口、18万大牲畜的饮水和5000亩农田的灌溉问题。在该地区实现了找水重大突破。

红寺堡找水重大发现表明,在山前地带的新生代断陷构造是最富水的地段,也是寻找优质水源的理想地段。鉴于这一认识,分别在海原县南华山山前找到了闵家淌水源,在西吉县的月亮山南麓找到了西吉水源地,在香山东北麓找到了小洪沟水源地,实践证明,运用新构造运动——新地质理论是今后找水突破的方向。

在宁南找水工作中,前人做了大量的地质工作,积累了丰富的地质资料,

实践证明，不断在找水领域取得突破，就必须不断加强资料的综合研究和资料的二次开发，采用新的技术、新的找水方法，勇于实践是今后找水突破的方向。