

陕北黄土区找水勘查方法

马思锦 许毅

(陕西省地质调查院第三水文地质调查所)

陕北为黄土覆盖区,地表水资源贫乏,缺水状况严重,找水难度大。2001年在陕北延安市吴旗、志丹、富县实施的缓解人畜饮用水专项找水工作,效果明显,是两种对不同地区类型的勘查方法、取水工艺,在陕北地区较具代表性。

吴旗、志丹两县毗邻,位于延安市西北,海拔 1252 - 1895m,白于山为区域分水岭,黄土梁峁呈波浪状起伏,沟谷切割强烈,大多切割出露第三系泥岩及白垩系砂岩。富县位于延安市南部,川塬相间,沟壑纵横,塬面切割强烈,地形较破碎,河道弯曲狭窄。

1 水文地质背景

工作区属温带半干旱大陆季风气候。年降水量较少,多集中在七、八、九 3 个月,呈暴雨形式降落,蒸发较强烈。多年平均降水量 316~578.23mm,由南而北逐渐变小,蒸发度 941.9~1469.1mm,由南而北增加。

工作区属于洛河水系。洛河丰水期在七、八、九月,枯水期在十一月至次年二月,河水暴涨暴落。洛河上游(吴旗县城以上)年平均流量 $2.03\text{m}^3/\text{s}$,最大含砂量 $1180\text{kg}/\text{m}^3$,矿化度达 $1.2\text{g}/\text{L}$ 以上,不能直接利用。洛河下游(富县交口水文站,北距富县城 37.5km)多年平均流量 $14.9\text{m}^3/\text{s}$,多年平均含砂量 $200 - 300\text{kg}/\text{m}^3$ 。

本区分布的地层有:

三叠系为灰白色长石细砂岩与灰黑色泥岩、页岩互层,夹可采煤层和煤线,砂岩单层厚 2~3m,地层总厚 186~412m。

侏罗系为砂岩、泥岩夹煤层、煤线。

白垩系下统志丹群为一套砂岩和泥岩地层,连续沉积,由老向新依次为洛河组 (K_1l)、华池组 (K_1hc)、环河组 (K_1h)。洛河组 (K_1l) 主要出露于志丹县刘坪以东,岩性为棕红色块状长石砂岩,中细粒结构,铁钙质胶结,疏松,具大型交错层理,厚 280~350m。华池组 (K_1hc) 主要出露于工作区北部吴旗县马营以下至志丹县旦八的洛河河谷两侧及两侧支沟中下游、杏子河及两侧支沟中下游,岩性为浅棕红色长石砂岩夹薄层泥岩,厚 110~170m。环河组 (K_1h) 主要出露于

工作区北部洛河及支沟中，岩性为棕红色、灰绿色泥岩、页岩及粉细砂岩，铁钙质胶结，厚150~390m。

第三系上新统岩性为深红、棕红色粘土岩、砂质粘土岩，厚0~80m。

第四系风成黄土广泛分布，沟谷中分布有冲洪积层。

2 水文地质概况

工作区内主要含水岩组有冲洪积松散层组成的孔隙含水岩组及白垩系孔隙—裂隙含水岩组。

松散层含水岩组分布于南部富县洛河及其较大支沟中。冲积含水层顺河发育，岩性为含泥砂卵砾石层，结构松散、孔隙率较大，但含泥量大，透水性能较差，单井出水量多小于 50 m³/d。

分布在工作区北部的白垩系含水岩组，是白垩系天环向斜贮水构造东部缓翼的一部分。从东部志丹县到西部吴旗县，地层由老到新依次出露，地下水在地层出露区为潜水；往西洛河、华池组地层整体依次缓慢西倾，埋深逐渐增加，上覆含水岩组逐渐变厚，构成承压水。地下水矿化度由低到高变化。

环河、华池含水岩组潜水区含水层厚度 50~390m，水位埋深 11.45~33.04m，最深达 90m。矿化度 0.22~2g/L，水化学类型主要为 HCO₃-Mg•Na 和 SO₄•Cl-Na•Mg 型水。向西过渡为承压水区，水位埋深 20~88.87m，吴旗县城附近华池组含水岩组顶板埋深 100~120m，底板埋深为 230~250m，含水层厚度 110~150m，单井出水量小于 200m³/d，渗透系数 0.35~0.46m/d，矿化度 1.82g/L，水化学类型主要为 Cl•SO₄-Na•Mg 型水。

洛河含水岩组在东部潜水区，含水层厚度在 100~270m，钻孔涌水量一般 200~400m³/d，矿化度 0.44~0.6g/L，水化学类型主要为 HCO₃ - Na•Ca•Mg 型。承压水区含水层厚度 280~350m，在深埋区（顶板埋深 > 300m）承压水头埋深 67~171m，单井涌水量 300~1500 m³/d，矿化度 1.98~2.6g/L，水化学类型为 SO₄•Cl - Na、Cl•SO₄ - Na 型水。

3 找水技术方法

勘查中针对不同的水文地质条件，采用不同的找水技术方法，做到有的放矢。

3.1 白于山区

该地区为黄土覆盖区，主要找水目的层为白垩系洛河含水岩组。在充分收集分析已有资料的基础上，进行了岩相古地理研究，开展了地面水文地质调查，并进行了综合物探，为钻孔的设计及施工提供了充分的依据。

3.1.1 岩相古地理研究

吴旗、志丹县处在白于山区，白垩系为本区的主要含水岩组，已有的资料说明白垩系地下水水质十分复杂，矿化度普遍较高，尤其是在吴旗县铁边城镇，洛河组含水层矿化度达 2.5g/L。其上覆的环河华池含水岩组矿化度更高。

同期开展的鄂尔多斯盆地地下水勘查项目进行了白垩系岩相古地理研究，划分了下白垩系地层特别是洛河组地层的沉积相类型，总结了沉积相带分布规律。早白垩世洛河组为内陆沙漠湖沉积环境，该时期区内的古地理总体显示为风成和河湖沉积共存的面貌（图 1）。

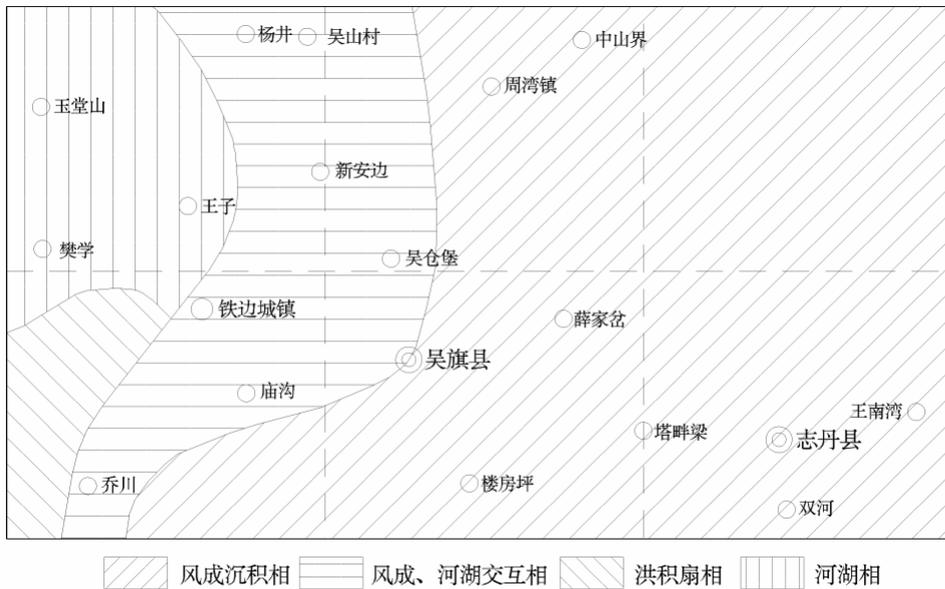


图 1 吴旗、志丹县沉积相平面图

东部志丹县基本为风成相，吴旗县城及其以西为风成沙漠与河湖相的过渡带。洛河含水岩组的沉积相对其水质有明显的控制作用，风成相洛河组砂岩段赋存较好水质的地下水，湖积相的洛河含水岩组水质相对较差。因此通过岩相古地理研究，可宏观地勾画出洛河含水岩组水质依其沉积相的空间分布状况，结合水文地质条件综合分析，认为在吴旗县西部地区，洛河含水岩组中存在风成相堆积，即可能存在矿化度较低的地下水。

3.1.2 水文地质调查

通过重点对白垩系基岩出露地层的岩性特征及变化规律的调查，确定地层的成因类型、时代、层序及接触关系，测量地层产状、厚度及分布范围，调查节理、裂隙发育特征，判定大气降水对基岩的补给情况；采集易溶岩样，分析地下水水

化学形成背景。由于吴旗、志丹县分布有较多的石油开采井，地面调查时对石油井的分布、孔深、结构进行了调查，对其上部白垩系的止水情况、效果，尤其是石油开采井周围的注水井的位置、井深、结构（止水情况）、采用的注水水源、注水量、水质等进行了较详细的调查，分析了其对白垩系含水层可能造成的水质污染。

3.1.3 综合物探方法

为吴旗、志丹县找水勘探井的布设进行了综合水文物探工作。

（1）野外工作基本原则：以大极距激发极化电测深法为重点，遵循从已知到未知的原则，对区内和邻区已有的较深的勘探井进行孔旁测深，取得各标志层资料，并以此指导物探工作，划分出矿化度较低的含水层。

（2）工作方法：采用对称四极大极距激发极化法，最大 $AB/2=1200m$ ，在勘查目的层洛河组段内，采用加密极距的方法，分别为 $AB/2=350m$ 、 $430m$ 、 $500m$ 、 $600m$ 、 $700m$ 、 $800m$ 、 $890m$ 、 $1000m$ 、 $1200m$ 。供电电压 $200\sim 500V$ 。当极距大于 $170m$ 时，采用多组电极供电（最大供电电极组每边 5 组），以增大供电电流强度，保证观测精度。

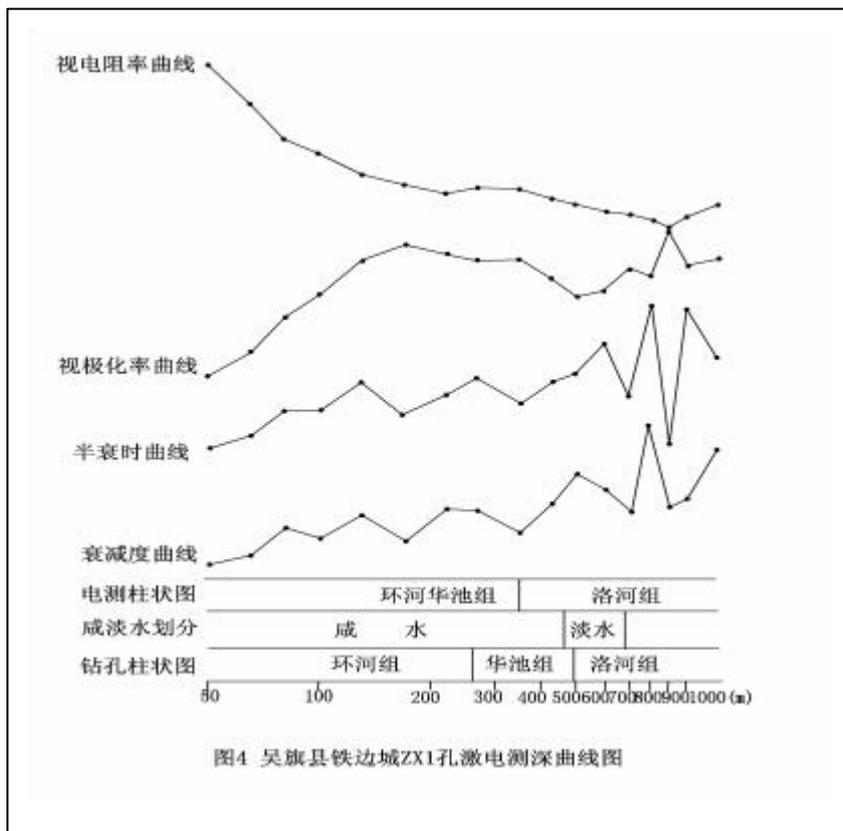
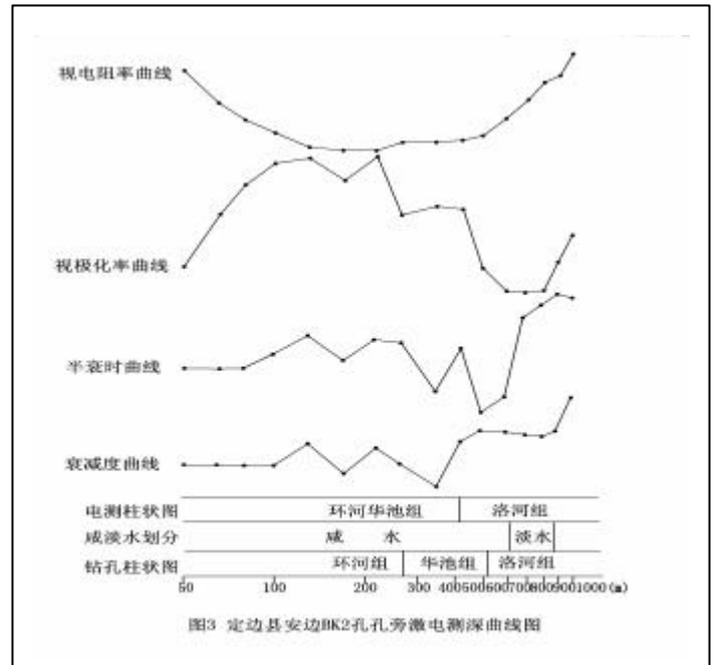
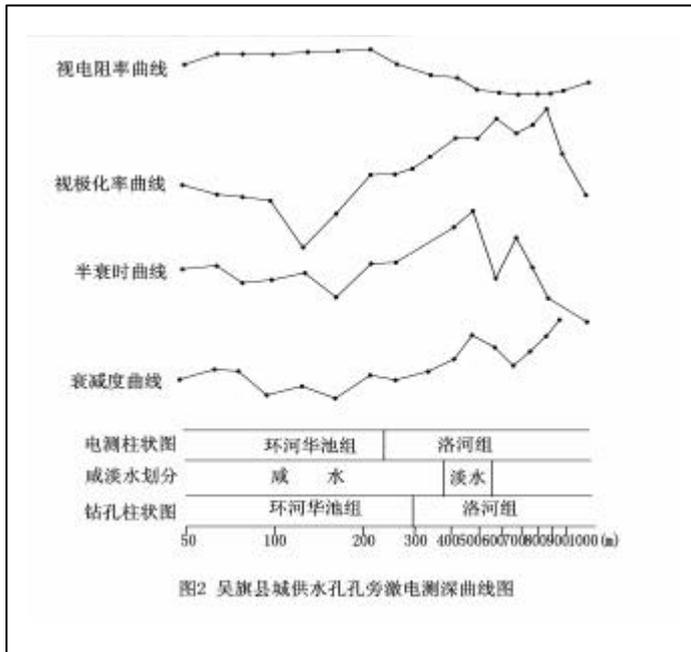
（3）分析思路：利用视电阻率、视极化率、半衰时、衰减度等参数在各含水层与非含水层、咸水体与非咸水体中的不同特征反映进行对比，划分含水层及相对淡水层。

（4）分析方法：根据各参数在含水层与非含水层及咸水与淡水中的不同反映，考虑多种影响，对实测各曲线进行分解分析。首先采用各参数曲线综合对比的方法确定环河华池组及洛河组的主要含水层。主要依据参数为半衰时值及衰减度值，在含水层中，该参数应呈高值反映。其次利用视极化率值在含水层相对淡水体中应呈低值反映的特征及视电阻率值在含水层相对淡水体中应呈相对高值反映的特征划分咸淡水界面，确定水质相对较好的地段。

（5）实测资料分析：通过对已知孔的对比、分析、解译，对吴旗县铁边城镇勘探孔旁测深（图 2、3），结论如下：

第四系覆盖层厚度 $40\sim 50m$ ；环河华池组段，视电阻率呈相对高值反映，视电阻率在 $60\sim 70 \Omega \cdot m$ 之间，视极化率、半衰时及衰减度均呈相对低值反映，说明环河华池组段与洛河组相比，为弱含水层，水量较小，环河组与华池组界面较为清楚，曲线解释与钻孔资料吻合，分界面埋深 $270m$ 左右；洛河组顶板埋深曲线解释 $360\sim 380m$ ，钻孔揭露为 $440m$ 。环河组水质水量相对较好地段埋深 $110\sim 140m$ ；华池组水质、水量相对较好地段埋深 $220\sim 300m$ ；洛河组视电阻率值

约为 35~60 m，半衰时及衰减度高值出现在埋深 470m~640m 段内，为洛河组水质、水量相对较好段；三者相比，洛河组的水质、水量好于环河、华池组。



(6) 实施效果：通过物探定孔，实施探采结合。在小口径钻探结束后，进行了全孔及洛河组段的物探测井，进一步确定洛河组中的矿化度较低段在

443~513m。确定实施分层止水，仅取 443~513m 段的地下水。

经分层抽水试验，各层水量、水质差别较大。环华组水量 215m³/d，矿化度达 2.586g/L，超标严重；整层洛河组(443~776m)混合水降深 4.2m 时，水量 919 m³/d，矿化度 2.390g/L，矿化度与环河、华池组相比降低不大；而洛河组上段水(443~513m) 降深 9.88m 时，水量 682 m³/d，矿化度仅 1.433g/L，其矿化度、氯化物、硫酸盐含量比上两层水明显降低，氟离子含量仅 0.6mg/L。表明物探解释基本揭示了实际情况，较好的指导了勘探工作，为该地区实施找水勘探积累了经验。

3.2 富县县城

富县县城找水勘查以洛河河谷区为主，主要寻找洛河古河道或地下水强径流带。通过找水勘查，查清水文地质条件，设计出合理的开采方案。

3.2.1 地面调查

以河谷川道区调查为主，主要调查第四系松散层的厚度、岩性、结构，调查地下水的埋深、松散层的富水性、地表水与地下水的补排关系、水质等；通过民井调查，判断河谷区基岩风化壳的分布、厚度、含水性等。通过调查初步判断古河道及地下水强径流带。

3.2.2 综合水文物探

(1) 野外工作基本原则：富县地面物探的主要目的是勘查河谷川道中第四系含水层及基岩风化壳的分布、厚度、水量、水质等。工作量主要布设于洛河河谷、河谷与支流交汇处，且测线垂直于河谷布置。采用的方法是先用音频大地电场及 杯联合扫面，主要查清富县县城洛河河谷区是否存在隐伏构造带及基岩风化裂隙发育带的空间展布，寻找地下水强径流带，然后用视电阻率测深、激电测深等方法进行综合对比、分析，以提高工作成果的可靠性，进一步确定取水点及取水深度。

(2) 工作方法选择及目的

音频大地电场法：使用国土资源部保定水文技术方法研究所生产的 YDD-B 型音频大地电场仪，音频剖面点距采用 10m。目的是查清测区内是否存在隐伏构造带。

核技术 卡法：使用成都理工大学生产的 LGHY 型 卡找水仪，仪器本底读数 1 脉冲/30S，实际工作中埋卡（自然 卡）6 小时后观测。目的是查清测区内的隐伏构造、基岩的风化裂隙发育带、古河槽的发育位置。

对称四极激发极化电测深：使用重庆奔腾数控技术研究所生产的 WDJD-1 型

多功能直流激电仪。实际工作中根据地形及实测情况，随时调整 $AB/2$ 的大小，选用加密极距（极距密度 2-3m）等办法以保证工作成果精度。目的：查清测区第四系覆盖层厚度及岩性在纵向埋深上的变化及富水性情况变化；查清基底的起伏形态。

（3）实测资料分析

音频大地剖面：统计分析 19 条音频剖面，各剖面曲线均未有异常出现，各剖面之间，实测数据虽有不同，但同一剖面间，实测数据接近，结合 卡剖面实测数据及邻近地区多年工作经验，可以判定区内没有较大的隐伏构造带存在。

核技术 卡剖面：统计 16 条 卡剖面曲线，每条曲线均有高值异常出现，其异常幅度平均为背景值的 1.5~3 倍（测区内 卡背景值为 4），但异常值的绝对值相对较低，在 6~12 之间。分析异常点带的分布形态，可知测区内 卡异常较有规律，表现为在河谷有一条异常带，带宽 20~40m，结合音频剖面在测区内没有异常反映及 卡异常值较低，综合判断该异常为古河槽与古河槽内基岩风化裂隙共同作用所致，且裂隙发育程度相对较低、深度较浅，此外，各 卡剖面上也出现了一些无规律的 卡异常点，说明基岩裂隙发育不均匀。

对称四极激发极化电测深：

工作中选取洛河河谷中异常明显的 5 条剖面为激电测深剖面，点间距 50~70m， $AB/2 = 50 \sim 100m$ ，在地形条件较好的局部地段， $AB/2$ 选用 350m 以了解地层深部的富水性程度。

对野外实测资料进行综合整理、分析、计算机解释，结合水文地质调查结果，分别绘制出视电阻率等值线图，视极化率等值线图、半衰时等值线图、解释地质剖面图等综合图件（图 5），分析如下：

- a) 第四系冲积层在高漫滩及阶地上，厚度可达 8~20m，其中：洛河河谷冲积层厚度为 10~20m，岩性以亚砂土、卵、砾石层为主。
- b) 测区内没有较好的贮水隐伏构造，基岩裂隙总体不发育。
- c) 洛河古河槽宽 70~90m，厚度约 20m。
- d) 主要含水岩组为卵、砾石层，含水层厚 10~16m。

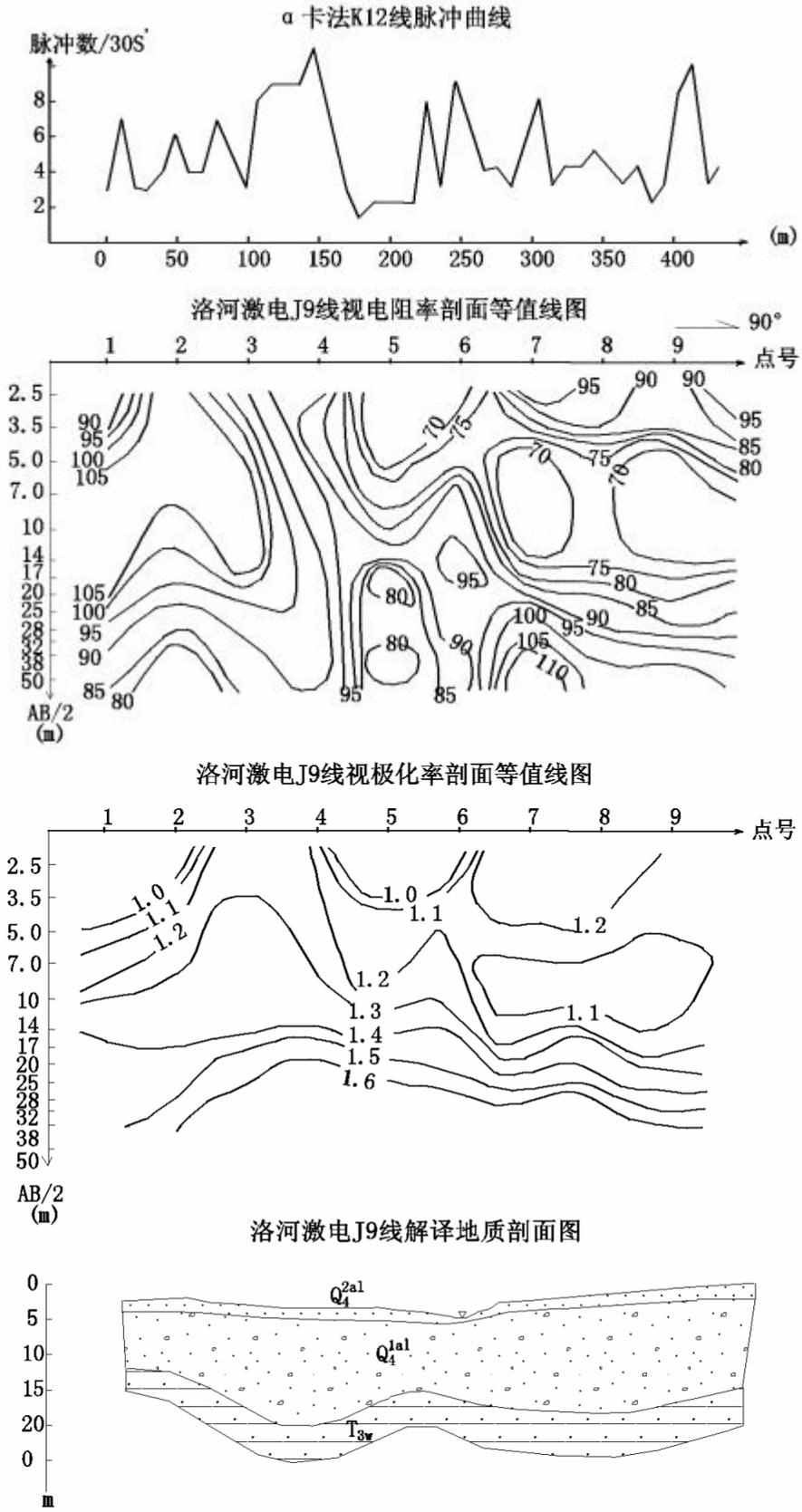


图 4 物探曲线图

e)富水地段：分布于古河槽内，地下水赋存条件相对较好，水量较丰富。

(4) 实施效果：根据勘查结果，结合近年来在该地区的找水经验，确定富县县城取水为水平集水方式，在富县火车站洛河河谷古河道中实施渗流井取水工程。工程竣工后出水量达 $3264\text{m}^3/\text{d}$ ，充分验证说明了勘查方法的有效性和选择渗

4 结论

在陕北黄土覆盖区开展找水勘查工作，根据不同的水文地质条件，采用新的方法和思路，利用不同的工作程序，投入相应的勘探方法，实施适合当地水文地质条件的取水工程，是可找到水量较大和水质较好的地下水的，并可缓解陕北地区人畜饮用水严重缺乏的局面。