

陕北严重缺水地区勘查找水的途径

畅俊斌 董永超

(陕西省地质调查院第三水文地质调查所)

陕北黄土高原地区,人均拥有水资源量小于 $300 \text{ m}^3/\text{a}$,人畜饮用水短缺现象严重。严重缺水地区按地域可分为:西部白于山区、中部黄土丘陵区 and 东部沿黄河土石山区三个区片。中部黄土丘陵区的南部因有黄土残塬地形,又可进一步划分出黄土残塬区。

在有限的水资源总量中,地表水所占份额大,但季节变化大、泥沙含量高,且多集中于河谷区较为狭小的地域,可利用性差。因此广大的陕北黄土高原地区,严重缺水问题只能主要依靠开发利用地下水来解决。为此,2001年度在陕北吴旗、志丹、富县专门开展了人畜饮用地下水勘查项目。吴旗、志丹县地处陕北白于山区,富县属陕北南部黄土残塬区,代表着陕北黄土高原两类重要的严重缺水地区。结合项目实施取得的成果和勘查找水获得的重大突破,浅议陕北黄土高原这两类严重缺水地区解决人畜饮用水进行勘查找水的途径,即勘查找水目的层(层段)和勘查开采方式。

1. 水文地质概况

陕北黄土高原属温带半干旱大陆性季风气候,四季分明。多年平均降雨量 $316.00 - 578.23\text{mm}$,总体从东南向西北呈现递减趋势,降水多集中于七、八、九三个月,且多为暴雨;多年平均蒸发量达 $941.9 - 1469.1\text{mm}$ 。

白于山区为厚层黄土覆盖,其下的白垩系志丹群为一套半胶结的河湖相、风成相碎屑岩。从东往西依次出露:洛河组(k_{1L})以巨厚交错层而独具特色,区域厚 $350 - 400\text{m}$;华池组(k_{1hc})为浅棕红色长石砂岩夹薄层泥岩;环河组(k_{1h})为棕红色、灰绿色泥岩、页岩及粉细砂岩,裂隙孔隙不发育。黄土层及浅埋的基岩因沟谷切割,地下水基本为半疏干状态,仅在沟谷中有零星少量渗水,地下水主要赋存于白垩系孔隙裂隙含水介质之中,区域上构成鄂尔多斯盆地白垩系天环向斜储水构造的东部缓翼,含有较丰富的地下水。白垩系潜水以大气降水补给为主,地下水从东(裸露区)往西(浅埋区、深埋区)径流,逐渐过渡为承压水;东部水质较好,往西部,随着岩相、含水层结构的变化,循环深度的增加,矿化度有增高的现象,水质逐渐变差,到吴旗西部可达 2.4g/L 以上,水质变化十分复杂。

南部黄土残塬区,由于河谷深切、地形破碎,黄土层地下水的赋存与富集条件差;下伏三叠系、侏罗系碎屑岩,岩性以砂岩、泥岩、页岩互层为主,裂隙不发育,且地层中夹有生、储油岩层,水量极贫乏,水质差,不具供水意义;洛河等较大河谷区分

布有第四系含泥砂砾卵石层，结构松散，孔隙率较大，透水性能较好，有利于地下水的赋存富集，且与下伏碎屑岩风化裂隙带形成统一含水体，水质较好，矿化度小于1g/L，是该地区具有人畜饮用水供水意义的主要含水层。但第四系冲洪积含泥砂砾卵石含水层一般厚3 - 8m，仅在一定范围内连续分布，单井出水量50m³/d。另外局部地区小规模构造，可形成相对富水地段和强径流带。

2. 勘查找水目的层（层段）和勘查开采方式

2.1 白于山区

白垩系孔隙—裂隙含水岩组是白于山区具有供水意义的主要含水岩组，在区基本连续分布，可分为环华、洛河两个含水岩组，其水质变化十分复杂。白于山区东部洛河组地层裸露于地表，为洛河含水岩组潜水区。洛河含水岩组可直接接受大气降水入渗补给，补给条件好，易于径流和排泄，地下水交替循环相对较快，具有赋含较好水质的补、径、排条件；而且洛河组地层厚度大，区域厚度340m左右，河谷谷坡上出露厚度仅有5 - 40m，绝大部分沉积于河网侵蚀基准面以下，赋含地下水。因此洛河潜水含水岩组一般水量较丰，可满足管井开采解决人畜饮用水供给。

如2001年度专项找水在志丹县顺宁镇黄草湾村实施的探采结合井，该井位于白于山东部周河与杏河分水岭地带的黄土梁上，地面高程1590m，洛河组地层在周河和杏河河谷的下部裸露于地表，属洛河含水岩组潜水区。即使是在补给条件相对较差的分水岭地带，探采结合井以洛河含水岩组为主要开采层，结合上部环华含水岩组，取得了日出水量312.72m³的优质地下水。说明白于山区东部洛河潜水含水岩组在水质、水量上均可满足管井开采解决人畜饮用水严重短缺的问题。

由洛河潜水区往西到白于山中部，洛河含水岩组向西北倾伏，其埋深逐渐加大，上覆的环华组地层逐渐变厚，洛河含水岩组由潜水变为承压水，单井涌水量一般500 - 1000m³/d。但往西部，水质逐渐变差，洛河含水岩组到深埋区新寨、铁边城一带水质虽仍相对优于上覆环华含水岩组，矿化度却高达1.98 - 2.42g/L，上覆含水岩组和地表水还要更高，均属苦、咸水，这就是该区人畜饮用水长期严重短缺的根源，属典型的水质型缺水类型。所以勘查找水的主要任务是寻找到水质相对较好、可供当地群众饮用的供水层段。依据同期鄂尔多斯盆地地下水勘查关于白垩系岩相古地理的研究成果(如图1)，环华组基本为湖积相，易溶盐含量普遍较高，基本不存在赋含较好水质的岩相条件。

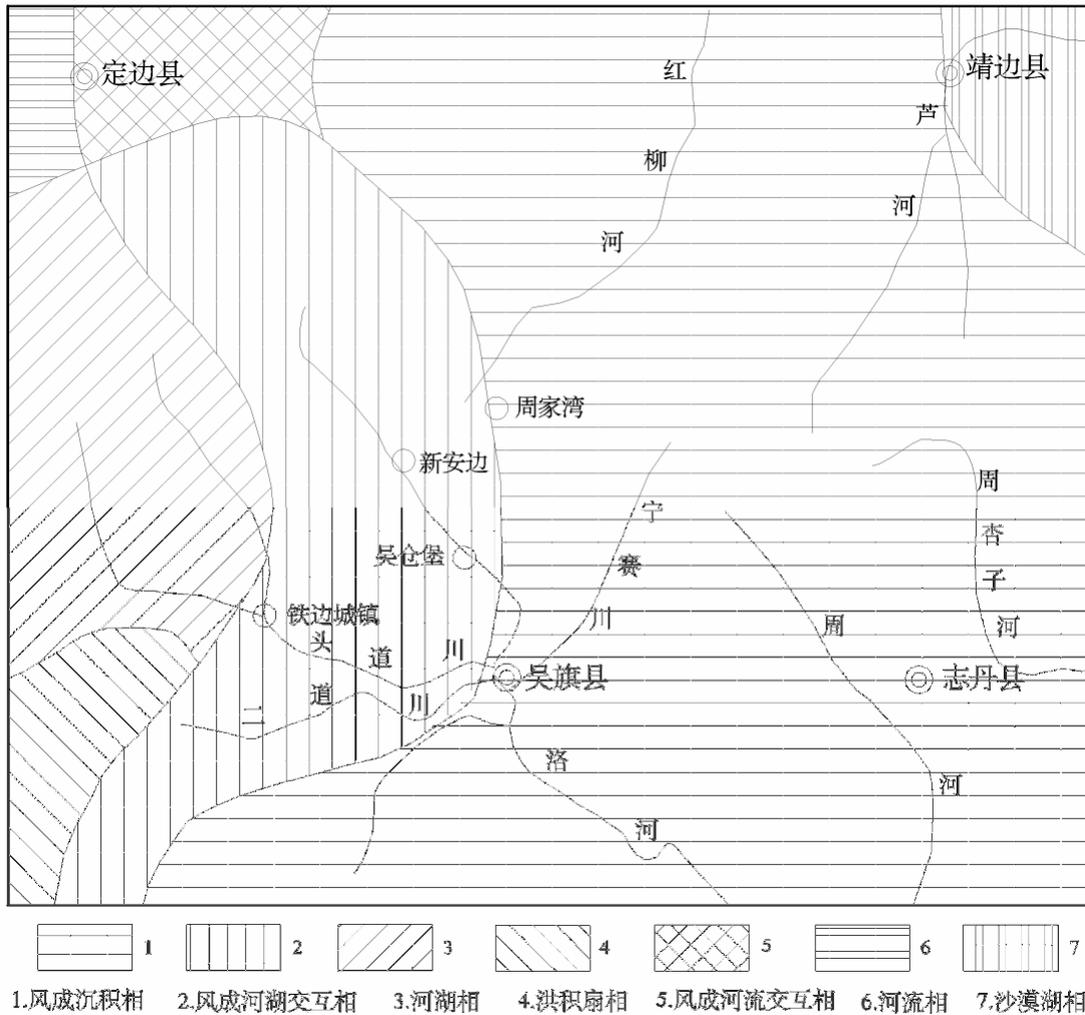


图 1 陕西省白于山区白垩系洛河组沉积相平面图

洛河组地层在东部潜水区为风成相，往西部到吴旗县城及其以西，为风湖交互相沉积，风成相与湖积相在同一地点分层交互出现。风成相砂岩岩性比较单一，结构均匀，以原生粒间孔隙为主，孔隙率较大，赋水性普遍较强，易溶盐含量低，水质好；而湖积相砂岩，粒度变细较为明显，以原生粒间孔隙和次生溶蚀孔隙为主，孔隙率相对较小，不利于地下水的赋存和交替循环，地层中易溶盐含量也大为增加，水质较差。说明该地带洛河含水岩组矿化度升高主要是由于湖积相砂岩中的高易溶盐及径流条件较差所致，而风成相砂岩中由地下水径流途径增加而引起的矿化度升高作用将极为有限，岩相古地理对其交互层段间的水质具有明显的控制作用，在垂向上洛河含水岩组的水量、水质，尤其是水质将因岩相成因的不同差别较大，风成相的洛河组砂岩中具有赋存较好水质的前景条件，是进行管井开采解决当地人畜饮用水困难的供水层段。

为缓解该区人畜饮用水困难，2001 年度专项找水勘查中在白于山中部铁边城镇成

功实施的探采结合管井，已对此进行了充分验证。该井深 778m，揭穿洛河含水岩组，在分别洗井合格后，该井首先作了环华组（第 1 试段）和整层洛河组（第 2 试段）抽水试验工作（抽水试验成果对比见表 1），环华组地下水矿化度达 2.586g/L，超标严重；整层洛河组混合水矿化度 2.390g/L，与环河、华池组相比降低不大；为探寻到洛河组中以风成相为主、水质相对较好的含水层该井又进行了第二次综合水文测井工作，洛河组视电阻率电位曲线随深度增加呈现由高值到低值的走势，即 433 - 510m，视电阻率达 70 - 80 $\Omega \cdot m$ ，显示岩性粒度较粗，孔隙率较大，赋水条件好，与以风成相为主的岩性特征相对应；510m 以下，视电阻率为 40 - 50 $\Omega \cdot m$ ，表明岩性粒度较细，对应于以湖积相为主的岩性特征，赋水性则相对较差。自然电位曲线的基线为 0mV，550m 以上为正偏转，以下为负偏转，在全洛河组承压水为微咸水的背景下，说明 550m 以下水质较差，以上水质较好，结合岩性和水质特征综合考虑，在 513m 进行止水，仅开采水质较好、赋水性较强的 433.00 - 513.00m 洛河组上部层段。

经止水后抽水试验分析，洛河组上段水矿化度仅 1.433g/L，略高于国家生活饮用水标准，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 0.6g/L。表明环华组和整层洛河组混合水水质均差，洛河组上段水水质较好，在长期饮用苦、咸水和高氟水的当地，是目前所找到的最好人畜饮用水，说明该井分层取水获得了成功，为经济落后，吃水困难的铁边城人民解决了困扰多年的大难题。

陕北白于山区西部，洛河组岩相组合复杂多样，主要有河湖沉积相、洪积扇沉积相、风成河流交互相和河流相，其中风成砂岩，河流相砂岩是最有利的含水砂岩体，并且水质好。湖积相中虽然砂岩体也较发育，但含水性和水质相对较差，局部地区虽然可能含水性好，但水质一般较差。因此该区在以后的找水勘查中，以白于山中部分层开采水质较好的风成相含水层段为启示，以寻找最有利的含水层段如风成砂岩，河流相砂岩为勘查找水的方向，来解决人畜用水困难。

见表 1 铁边城镇探采结合结合井抽水试验成果对比表

2.2 南部黄土残塬区

全区无稳定连续的供水层，¹⁹²基岩裂隙不发育，含水量小，水质差。较大河流河谷区，分布含泥砂砾卵石冲积含水层，厚度薄，仅数米；或有小构造裂隙发育带，连续性差，只在一定范围内基本连续，以管井、大口井方式开采，出水量小，一般 $50\text{m}^3/\text{d}$ 和 $200\text{m}^3/\text{d}$ 左右，难以满足城镇集中供水需求，使得城镇缺水在该区表现得尤为突出和严重。但冲积含水层和小构造裂隙发育带赋水性和渗透性较强，采用增大过水断面，充分截取地下潜流量，并在开采过程中激发河水入渗补给量的水平取水方式，如大口井加渗渠、渗流井方式开采可予以解决。

水平取水方式可克服含水层厚度小、储水空间有限、调节能力差所引起的管井、大口井开采量小的局限，能充分发挥砂卵石冲积含水层或构造裂隙发育带透水性能好，补给条件较为充足的优势，通过渗流孔群或渗渠，使强径流带含水层与其下的输水平巷直接连通，含水层能够不断的向积水平巷中排泄地下水，腾出接受补给的空间，不断地受到侧向径流和河水的补给，使含水层中的水体得到最大程度的释放和连续不断地补给，单井出水量就会得到最大程度的增加。而且渗流井取水方式不开挖含水层表面，保持了河床、漫滩的天然状况，含水层接受河水补给的能力不会因河水高含量泥沙的淤积而出现衰减。渗流井等水平取水方式，竖井可建于阶地等地势较高的部位，其余结构则隐埋于地下，还具有安全防洪、易于管理和运营成本低等优点。

富县地处陕北南部黄土残塬区，县城位于洛河河谷。由于冲洪积泥质砂砾卵石含水层厚度薄，仅 5 - 8m，管井、大口井开采，难以解决县城集中供水需求，居民供水量不足 $12\text{L}/\text{d}$ ，只有实行分片、分时、定量供水，冬春枯水期，多数群众要到十余公里外拉水、买水。2001 年专项找水勘查中，为解决富县县城供水水源，投入水文地质调查、地面综合物探和钻探等方法手段，逐级勘查和论证，大胆引进渗流井水平取水新技术，合理开发利用洛河河谷区有限的第四系松散层孔隙水，实施了富县渗流井取水工程。

工程结构主要由竖井、平巷、硐室和渗流孔群组成（如图 3、图 4）。完成工作量为竖井 28.0m，主平巷 54.5m，支平巷 176.5 m，硐室四个，辐射孔总孔数

47 个，累计进尺 935.3m。经开采性抽水试验，稳定出水流量 3264m³/d。该井水无色、透明，除溶解性固体（1104.04mg/L）略超标外，其它指标符合国家生活饮用水卫生标准，可作为富县县城供水水源，成功地解决了县城集中供水问题。

这也证明了渗流井等水平开采方式在陕北南部黄土残塬区是可行的，可进一步推广。在水资源贫乏的陕北南部黄土残塬区，主要采用水文地质调查和地面综合物探方法，在冲洪积泥质砂砾卵石含水层基本连续的宽大河谷中，寻找含水层厚度相对较大的古河道和岩性分选较好的强径流带，或下伏基岩小构造裂隙发育带，结合补给条件，选择适宜部位，采用渗流井等水平取水新技术开采地下水，是解决这一地区城镇集中供水问题行之有效的途径。

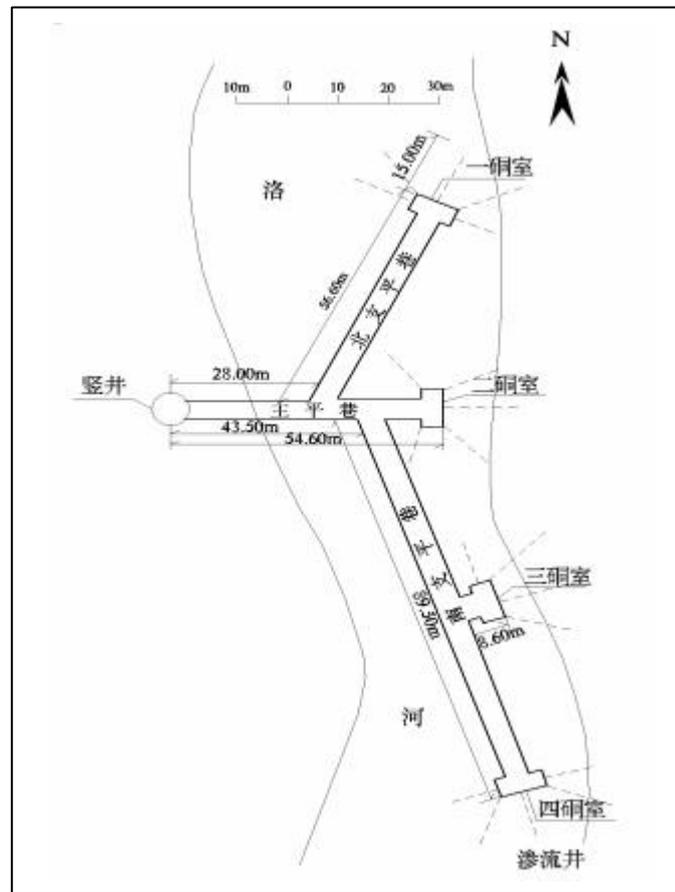


图 3 渗流井平面图

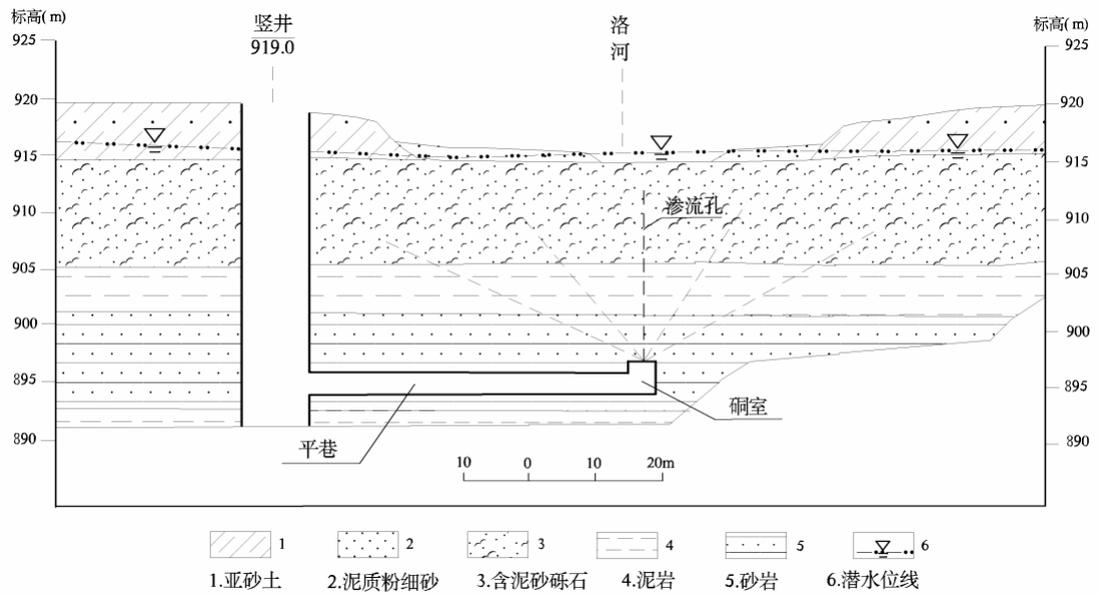


图 4 富县渗流井剖面示意图