

# 延安城市供水二期工程水源地选区方略

冯建国<sup>1</sup>, 李云峰<sup>1</sup>, 李友成<sup>2</sup>, 郭路<sup>1</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2 陕西省水工程勘察规划研究院, 陕西 西安 710003)

[摘要] 通过对延安市城区及临近地区水资源与水文地质条件分析, 排除了就近在这些地区再新建水源地的可能性, 接着从延安市所辖县区范围内的水文地质条件出发, 在原有 1 : 20 万水文地质普查资料的基础上, 确定了未来供水含水层选用白垩系洛河组潜水、承压水及第四系潜水。在分析比较区内的白垩系、第四系富水地段之后, 概略计算了这些地段的地下水补给量, 并从中选出 3 个富水地段, 拟在此 3 个富水地段开展水文地质详查工作, 作为寻找地下水源的重点工作区。

[关键词] 水文地质学; 延安市; 地下水; 二期供水; 水源地; 选区

[中图分类号] P641 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)01-0057-05

## Selection of Groundwater Supplying Field in Second Period Water Supply Project of Yan' an City

FENG Jian guo<sup>1</sup>, LI Yun feng<sup>1</sup>, LI You cheng<sup>2</sup>, GUO lu<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Water Project Survey and Planning Research Institute of Shaanxi Province, Xi'an 710003, Shaanxi, China)

**Abstract** With the rapid growth of economy of Yan' an city, the present water resources can not meet the city' s demand by the year 2015. The differences between demand and supply are about 28 300 m<sup>3</sup> /d. To solve the long term water shortage of Yan' an city, new sources of water supply need to be found. Through the analysis of water resources and hydrogeological condition in and near Yan' an city, the possibility of building new groundwater supply field in these areas is ruled out. On the basis of 1 : 200 000 hydrogeologic prospecting results for counties governed by Yan' an, this paper concluded the water bearing stratum of Luohe group (Cretaceous System) phreatic water, artesian water and Quarternary system phreatic water should be used as the future supplying water. Through analyzing the Cretaceous System, Quarternary system, the sections rich in groundwater were selected and the amount of groundwater in these areas was calculated. Base on the above results, three locations were chosen as areas where detailed hydrogeological survey need be launched.

**Key words:** hydrogeology; Yan' an city; groundwater; second period water supply project; groundwater source field; selection of groundwater supplying field

## 0 延安市自然地理与社会经济概况

延安市位于陕西省北部, 是陕北政治、经济、文化的中心, 是晋、陕、蒙 3 省的交通枢纽。延河及其支流南川河、西川河在此交汇, 是一座依山傍水的

山区城市。该市地处陕北黄土高原中部, 属于黄土梁峁丘陵区, 区内黄土梁峁平均海拔高度 1 100 m 左右, 四周梁峁密布, 沟壑纵横。市区气候属半干旱大陆性气候, 年均气温 9℃左右, 温差变化大, 多年平均降水量 550 mm。延安城区现有面积 10 km<sup>2</sup>, 城市人口 2000 年末为 14 万人, 其中非农业人

[收稿日期] 2005 03 14

[作者简介] 冯建国(1976-), 男, 河北秦皇岛人, 博士研究生, 从事水文学及水资源研究。

口 11.5 万人,国民生产总值 9 亿元,工业总产值 6 亿元。

### 1 选取水源地的必要性

随着延安城市国民经济的迅速增长,到 2015 年,延安市现有的供水设施将不能满足用水需求,经计算,其差额约为  $2.83\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。为了解决城市长远发展过程中水的供需矛盾,建立新的供水源地势在必行。目前延安市的人畜用水已日益紧张,解决延安市的供水问题迫在眉睫。

本次研究主要是为进一步弄清延安地区的水文地质情况,为延安市开辟第二水源提供水文地质依据,以解决目前延安市的用水紧张以及实现 2015 年的远景规划,使延安市的城市用水得到保障,促进经济可持续发展。

#### 1.1 城市经济与社会发展对供水工程建设的需求

为满足延安市发展远期(即 2015 年)的用水需求,根据远期需水预测,年需水量为  $2.78\times 10^7\text{ m}^3$ 。目前,作为延安市主要供水水源的王窑水库向延安市供水  $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,加上原有取水  $3.62\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,实际供水量为  $8.62\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,年供水量  $2.09\times 10^7\text{ m}^3$ ,仅能满足延安市当前用水需求。为满足 2015 年延安市供水量日平均需求  $1.14\times 10^5\text{ m}^3/\text{d}$ ,年均需水量  $2.78\times 10^7\text{ m}^3$ ,日供水量尚需  $2.83\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,年供水量尚需  $0.68\times 10^7\text{ m}^3$ 。

#### 1.2 存在的问题

(1)作为延安市主要供水水源地的王窑水库,汛期须泄洪排沙,空库运行,空库排沙期间,将影响延安市城市的供水问题。

(2)北关水厂的延河即西川河取水点,出现持续高浑浊水质和断流时,对城市供水有较大影响。

(3)王窑水库供水工程输水管线事故或检查期间,年平均停水天数为 55~60 d,在水库运行后期不能在有效时间恢复到原设计水位。

### 2 城区及临近地区地下水资源概况

#### 2.1 延河、西川河、南川河、杜甫川地下水概况

(1)延河自沿河湾—姚店段地下水埋藏浅,第四系及侏罗系含水层总厚度 50~90 m,单井出水量 (1.20~121.44) t/d,矿化度一般大于 3.0 g/L,总硬度约 3.0 mmol/L(以  $\text{CaCO}_3$  计),pH 值 6.5~

8.2。按文献[1],不适宜饮用,尤其是延河河水及覆盖层潜水,污染严重,水质较差,不能作为城市供水水源。

(2)西川河自裴庄—卷烟厂地下水埋深 10 m,单井出水量 40 t/d,矿化度 4.1 g/L,总硬度 2.55 mmol/L(以  $\text{CaCO}_3$  计),pH 值 7.5。按文献[1],不适宜饮用。

(3)南川河自南二十里铺—宝塔桥,地下水埋深 7.4~50.65 m,单井出水量一般小于 200 t/d,矿化度 1.1~12.6 g/L,总硬度 4.6~7 mmol/L(以  $\text{CaCO}_3$  计),pH 值 6.5~7.8。按文献[1],大部分井水不适宜饮用。

(4)杜甫川自延安万花山庄—马家湾,地下水埋深 8.6~12.0 m,单井出水量小于 140 t/d,矿化度为 1.1~7.25 g/L,总硬度为 3.4~6.8 mmol/L,pH 值 6.7~7.5。按文献[1],大部分井水不适宜饮用。

由此可见,延安市城区范围内,地下水埋藏浅(图 1),含水层厚度较小,水量分布不均匀,日出水量均小于 240 t/d,大多数水井的水质差,不适宜饮用,不能作为城市供水水源地。

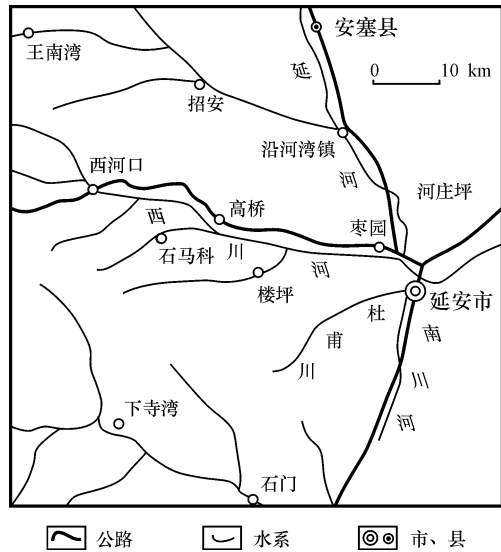


图 1 延安市城区及临近地区地下水资源分布  
Fig. 1 Groundwater Resource Distribution of Yan'an City and Its Neighbor Area

#### 2.2 杏子河川王窑水库下游地下水概况

杏子河川王窑水库下游,包括王窑王南沟、招安王沟门、招安下第二大支沟,其中王南沟川道长约 30 km,为洛河组砂岩分布区,含水层厚度 100~200 m,水质较好,供水井一般深度为 80~120 m,单井出水量 350 t/d,距一期供水管线仅 8~10 km,施

工条件便利, 但已有长庆油田供水水源地水井 13 口, 不宜在此再建新水源地, 以免相互干扰、争夺水资源。从区域上看, 招安王沟门和招安下第二大支沟处于洛河组砂岩与三叠系侏罗系的分界地段, 在水量和水质上没有保证, 不能列为选择区。

从统计分析中可以看出, 延安市城区及临近地区, 地下水水量、水质均不能满足要求, 不具备再建地下水新水源地的可能性, 故不能作为供水水源地的选择区, 只能把新水源地的区域向西扩展到西部白垩系洛河组砂岩分布区<sup>[2-3]</sup>。

### 3 白垩系洛河组砂岩分布区中等以上富水地段

#### 3.1 富水岩层及分布

这里指的是统一井径、统一降深情况下, 单井涌水量 1 000 ~ 5 000 t 的含水层及其分布, 包括志丹幅下白垩系洛河组潜水及承压水含水层(表 1)。

表 1 富水岩层及分布

Tab. 1 Aquifer of Which One Well Can Yield 1 000 ~ 5 000 t Water Per Day and Its Distribution	
项目	志丹幅
富水岩层	下白垩系洛河组砂岩(潜水、承压水)
分布范围	潜水含水层在区内全面分布, 本区中南部与西部为承压水浅埋区
岩性	大厚度巨型交错层发育的中细粗粒砂岩
水位埋深 /m	潜水 7.19 ~ 39.13, 承压水 25 ~ 84.77
单位涌水量 / [ t ( d · m ) <sup>-1</sup> ]	9.50 ~ 151.2
矿化度 / ( g · L <sup>-1</sup> )	潜水 0.44 ~ 0.6, 承压水 0.62 ~ 1.11
渗透系数 / ( m · d <sup>-1</sup> )	潜水 0.3 ~ 1.12, 承压水 0.058 ~ 0.98
水化学类型	潜水 HCO <sub>3</sub> - Na · Mg · Ca, 承压水 HCO <sub>3</sub> · SO <sub>4</sub> - Mg · Na · Ca, Cl · SO <sub>4</sub> - Na · Mg

#### 3.2 中等富水岩层及分布

这里指的是在统一井径、统一降深的情况下, 单井涌水量 100 ~ 1 000 t 含水层及其分布, 包括子长幅、老合水幅下白垩系砂岩裂隙孔隙潜水含水层、志丹幅第四系全新统一上更新统冲积层潜水含水层(表 2)。

表 2 中等富水岩层及分布

Tab. 2 Aquifer of Which One Well Can Yield 100 ~ 1 000 t Water Per Day and Its Distribution			
项目	老合水幅	子长幅	志丹幅
富水岩层	下白垩系、侏罗系砂岩(裂隙孔隙潜水)	下白垩系洛河组砂岩(裂隙孔隙潜水)	第四系全新统一上更新统冲积层(潜水)
分布范围	洛河河谷的永宁一桥镇一带	测区南缘西川河、自砖窑湾至西部图区边缘	志丹顺宁以南周河漫滩及二级阶地
岩性	厚层中细砂岩为主夹中粗砂岩	大交错层中细砂岩	砂砾石
水位埋深 /m	7.90 ~ 30.91	5 ~ 15	一级阶地 2 ~ 5 二级阶地 30 ~ 40
降深 /m	9.3 ~ 30.91	20 ~ 25	
单位涌水量 / [ t ( d · m ) <sup>-1</sup> ]	6.44 ~ 2 873	4.66 ~ 17.28	101.95 ~ 272.16
矿化度 / ( g · L <sup>-1</sup> )	0.33 ~ 1.57	0.3 ~ 0.8	< 1
渗透系数 / ( m · d <sup>-1</sup> )	0.096 ~ 0.541	0.065 ~ 2.48	3.19 ~ 28.1
水化学类型	HCO <sub>3</sub> - Ca · Na HCO <sub>3</sub> - Ca · Na · Mg SO <sub>4</sub> - Na	HCO <sub>3</sub> - Na · Ca	HCO <sub>3</sub> - Na · Mg HCO <sub>3</sub> · SO <sub>4</sub> - Mg · Na

这里统计的“白垩系洛河组砂岩分布区中等以上富水地段”的位置与后面“选取的水文地质详查地段”的位置大体相当(图 2)。

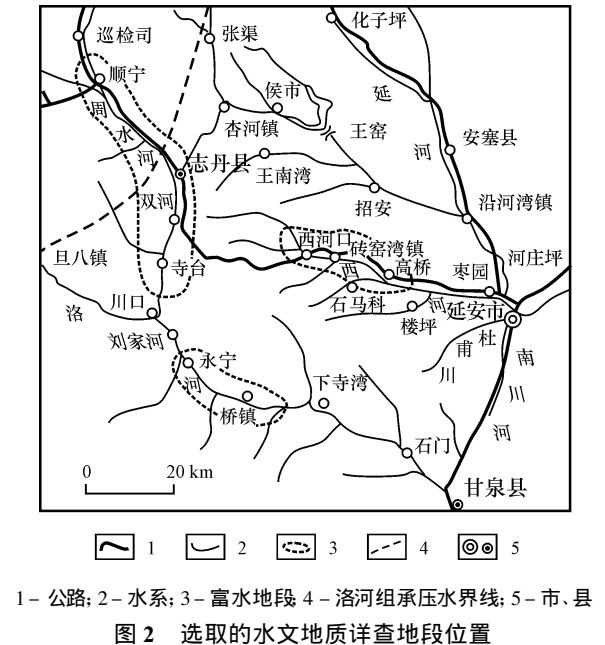


图 2 选取的水文地质详查地段位置

## 4 洛河组砂岩分布区中等以上富水地段的地下水资源估算

根据工作区地下水主要靠侧向径流及大气降水入渗补给的特点,对上述含水层进行降水入渗量和断面径流量概略计算<sup>[4-7]</sup>,计算公式为:

$$Q_{\text{降}} = P\alpha F / (365 \times 1\,000)$$

式中: $Q_{\text{降}}$ 为降水入渗量( $\text{m}^3/\text{d}$ ); $P$ 为年降水量( $\text{mm}/\text{a}$ ); $\alpha$ 为降水入渗系数; $F$ 为计算区面积( $\text{m}^2$ )。

$$Q = BKIM$$

式中: $Q$ 为断面流量( $\text{m}^3/\text{d}$ ); $B$ 为计算断面宽度( $\text{m}$ ); $K$ 为渗透系数( $\text{m}/\text{d}$ ); $I$ 为水力坡度; $M$ 为含水层厚度( $\text{m}$ )。

计算结果见表 3。

表 3 洛河组砂岩分布区中等以上富水地段的地下水资源估算

Tab.3 Groundwater Resource Estimate of Gritstone Aquifer of Which One Well Can Yield Over 1 000 t Water Per Day of Luohe Group

计算地段	含水层及地下水类型	降水入渗量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	断面流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )
老合水幅(永宁一桥镇地段)	下白垩系砂岩裂隙孔隙潜水	9 057.3	468.14
志丹幅(顺宁一寺台地段)	下白垩系洛河组潜水及承压水	80 493.56(承压水径流量)	8 517.87(潜水)
志丹幅(顺宁一寺台地段)	第四系全新统一上更新统冲积层潜水	15 983.54	365.36
子长幅(砖窑湾一新嵯岷、西河口一石马科水库地段)	下白垩系洛河组裂隙孔隙潜水	11 028.64	6 225.33

## 5 选取的水文地质详查地段

按照上述的地下水资源估算,结合含水层的相对位置关系,排除黄土梁峁分水岭地段,在延安市附近的白垩系分布区内划出 3 个地段作为水文地质详查地段:

### 5.1 永宁一桥镇地段

永宁一桥镇地段地跨志丹和甘泉两县,详查目的层为下白垩系砂岩(裂隙孔隙潜水),含水层为厚

层中细砂岩为主夹中粗砂岩,裂隙比较发育。揭露含水层厚 63.20 ~ 102.86 m,水位埋深 7.90 ~ 30.91 m,降深 9.3 ~ 30.91 m 时涌水量(168.22 ~ 33.44) t/d,单位涌水量(6.44 ~ 287.3) t/( $\text{d} \cdot \text{m}$ ),渗透系数(0.096 ~ 0.541) m/d,计算的统降 30 m 时涌水量(140.62 ~ 586.71) t/d;水质一般较好,矿化度(0.33 ~ 1.57) g/L,水化学类型属  $\text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Na}$ ,  $\text{HCO}_3^- \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ ,  $\text{SO}_4^- \text{Na}$  型水(见图 2)。

地段面积 21  $\text{km}^2$ ,估算保证率 95% 年份水资源补给量约  $0.95 \times 10^4$  t/d。该地段中心距延安城区中心 40 km,距王窑水库向延安市输水管网入口处 34 km,高程高于延安市区的地面标高。

### 5.2 顺宁一寺台地段

顺宁一寺台地段位于志丹县境内,详查目的层为第四系全新统一上更新统冲积层(潜水)、下白垩系洛河组(潜水及承压水)。

该地段中,第四系全新统一上更新统冲积层潜水分布于志丹县顺宁以南周河漫滩及一二级阶地,含水层岩性主要是砂砾石层,微含泥质,含水层厚度 7.25 ~ 12 m,钻孔最大涌水量 363.7 t/d,渗透系数(3.19 ~ 28.1) m/d,为矿化度小于 1 g/L 的淡水,水化学类型一般为  $\text{HCO}_3^- \text{Na} \cdot \text{Mg}$ ,  $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^- \text{Mg} \cdot \text{Na}$  型,该含水层与下伏白垩系洛河组基岩潜水有密切的水力联系,其间无隔水层。下白垩系潜水及承压水含水岩组在区内广泛分布,大致以志丹周河以东为潜水分布区,以西则过渡为承压水区。含水层岩性为大厚度巨型交错层发育的中细粗粒砂岩,一般较疏松,孔隙率达 19.2% ~ 21.5%,裂隙甚少,基本上是孔隙水类型。潜水含水层厚度在河谷区内 100 ~ 270 m,在河谷侵蚀基准面以上泉水出露,流量一般(2.6 ~ 6.0) t/d。河谷区的钻孔涌水量(300.7 ~ 4 079.8) t/d,渗透系数(0.3 ~ 1.12) m/d,矿化度(0.44 ~ 0.6) g/L,水化学类型以  $\text{HCO}_3^- \text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca}$  型为主。下白垩系承压含水层在志丹幅中南部与东部顶板埋深小于 300 m,厚度 333 ~ 339 m,承压水位埋深 25 ~ 84.77 m,钻孔涌水量(369.8 ~ 504.6) t/d,矿化度(0.62 ~ 1.11) g/L,渗透系数(0.058 ~ 0.98) m/d。

该地段面积 28  $\text{km}^2$ ,估算保证率 95% 年份水资源补给量为  $10.5 \times 10^4$  t/d。其中,根据含水层的岩性结构、志丹县县城所处的地理位置,并且考虑到上游断面的地下水补给量,在顺宁一志丹段,水

资源补给量约为  $6.5 \times 10^4 \text{ t/d}$ , 在志丹—寺台段, 水资源补给量约为  $4 \times 10^4 \text{ t/d}$ 。该地段中心(志丹县城北)距延安市区中心 79 km, 距王窑水库向延安市输水管网入口处 35 km, 高程高于延安市区的地面标高。

### 5.3 西河口川砖窑湾—新嵛岬、西河口—石马科水库地段

西河口川砖窑湾—新嵛岬、西河口—石马科水库地段位于安塞县境内, 详查目的层为下白垩系砂岩(裂隙孔隙潜水), 河谷地区地势开阔平坦, 集水面积大, 地下水位浅, 接受降水及冲沟、河流等地表水流的补给条件十分有利。区内地下水位埋深 5~15 m, 含水层厚 100~230 m, 水质和水量较好, 在含水层厚度大于 70 m 和距离河水边线 200 m 以内的地段, 水位降低 20~25 m 时, 钻孔涌水量可达  $(172.8 \sim 362.88) \text{ t/d}$ , 单位涌水量为  $(4.7 \sim 17.3) \text{ t/(d} \cdot \text{m)}$ , 渗透系数  $(0.065 \sim 2.48) \text{ m/d}$ 。

该地段面积  $16 \text{ km}^2$ , 估算保证率 95% 年份水资源补给量为  $1.7 \times 10^4 \text{ t/d}$ 。其中心距延安市区中心 30 km, 距王窑水库向延安市输水管网入口处 15 km, 高程高于延安市区的地面标高。

## 6 结论

在以上 3 个地段中, 永宁—桥镇地段地下水补给量只有  $0.95 \times 10^4 \text{ t/d}$ , 距市区 90 km, 距王瑶水库供水系统较远。西河口川地段虽距市区只有 30 km, 但地下水补给量只有  $1.7 \times 10^4 \text{ t/d}$ , 无法满足远期水量要求。只有顺宁—寺台地段水量丰富, 保证率 95% 年份水资源补给量为  $10.5 \times 10^4 \text{ t/d}$ , 按

补给量的 60% 为可开采量, 则可开采量为  $6.3 \times 10^4 \text{ t/d}$ , 此水量即为保证率 95% 的可供水量。另外, 该地段高程高于延安市区地面高程, 且距王瑶水库向延安市输水管网入口处仅 35 km, 所以本次规划推荐顺宁—寺台段作为延安市城区供水第二水源地的主要勘查区。

上述地下水资源量的估算及详查地段的拟选依据是 1:20 万水文地质普查资料, 它能为城市或经济区规划、大型建设项目的总体设计(预可行性研究)提供水源依据。因此, 建议首先在这 3 个地段中进行水文地质详查阶段的勘察工作, 在水文地质详查报告的基础上, 从中选出 1~2 个地段作为地下水水源地, 详查阶段的成果为选择水源地、给水初步设计(可行性研究)提供依据; 其次, 再在选定的水源地中开展勘探阶段的水文地质勘察工作, 勘察工作成果可以为建设水源地提供技术设计和施工设计依据。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] GB5749 85. 生活饮用水水质标准[S].
- [2] 王德潜, 刘 方, 侯光才, 等. 鄂尔多斯盆地地下水勘查[J]. 西北地质, 2002, 35(4): 167~174.
- [3] 刘平贵, 李雪菊. 黄土高原缺水的地质环境及找水途径[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(3): 18~22.
- [4] 褚恒晔, 张守信. 水资源计算评价中的两点质疑[J]. 吉林地质, 2000, 19(1): 79~80.
- [5] 李 林, 冯玉明. 关于地下水资源评价问题的探讨[J]. 山西科技, 2000(增刊): 65~66.
- [6] 王贵玲, 刘志明, 刘花台, 等. 地下水潜力评价方法[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 63~66.
- [7] 陈传友, 王春元, 高迎春. 论水资源学[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(2): 1~6.