

关中盆地地下水资源评价与解析

段磊¹, 王文科¹, 王雁林^{1,2}, 杨泽元¹

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省国土资源厅环境处, 陕西 西安 710082)

摘 要: 陕西关中盆地是西部经济最活跃的地区, 而水资源不足成为经济进一步发展的制约因素。以地质和水文地质条件为依据, 从影响地下水形成的诸因素出发, 对关中地下水资源进行评价和解析。结果表明: 受自然因素和人类活动的影响, 区内天然资源量和可采资源量发生了变化, 其中天然资源量和可采资源量分别减少了 $5.39 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $4.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。渭河以北地区地下水资源形成中, 降水补给和灌溉补给占主导地位, 二者占 83.9%; 渭河以南地区, 降水补给和河水渗漏补给是地下水资源形成的主要因素, 二者占 94.2%。在此基础上, 提出了水资源合理开发利用的对策和措施, 以期实现水资源的永续利用和生态环境良性循环。

关键词: 地下水资源; 解析; 评价; 关中盆地

中图分类号: S273.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)05-0172-05

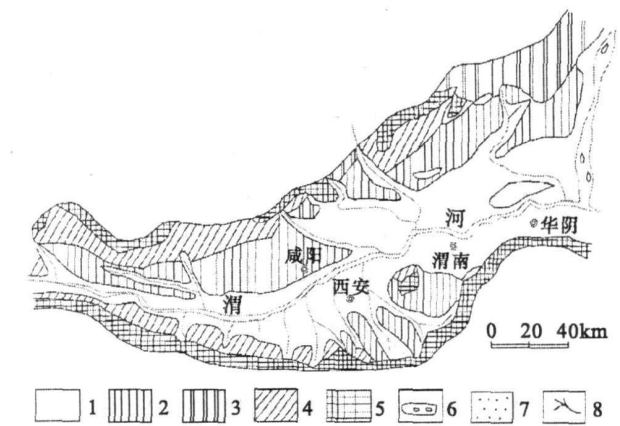
关中盆地地势平坦, 素有“八百里秦川”之称, 是陕西省政治、经济、科技和教育的集聚区, 形成了机械、电子、高新技术产业和现代农业经济带, 但水资源匮乏, 已成为经济快速发展的制约因素之一。自 20 世纪 80 年代以来, 受自然因素变异和人类经济活动对水资源开发强度的加大, 使“三水”转化关系和地下水补、径、排发生了改变, 导致地下水资源形成和数量及空间分布产生变化。因此, 有必要对地下水资源重新进行评价, 系统分析地下水资源的构成, 提出水资源合理开发利用的对策和措施, 实现关中盆地社会、经济和生态环境协调发展。

1 区域地质和水文地质条件

关中盆地南倚秦岭, 北界北山, 西起宝鸡, 东止潼关, 东西长约 400 km, 南北宽 30~80 km, 面积 $1.90 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地势西高东低, 自山前向盆地中心, 分布着冲洪积扇—黄土台塬—河流阶地等地貌类型(图 1)^[1]。

秦岭山前冲洪积扇主要堆积粗粒物质, 厚度较大; 北山山前洪积扇颗粒较细, 大部分被黄土覆盖。黄土台塬具阶梯状台面, 微向河谷方向倾斜, 塬面上分布有洼地、丘岗等。渭河由东向西贯穿盆地, 为盆地最低排泄基准面, 一、二级阶地较发育, 阶面平坦开阔, 二级以上阶地主要分布在宝鸡至眉县及渭南岸等。

关中盆地是一个三面环山向东敞开的断陷盆地, 沉积了大量巨厚的松散岩类沉积物, 为地下水储



1. 渭河冲积平原; 2. 一级黄土台塬; 3. 二级黄土台塬; 4. 山前倾斜平原; 5. 山区; 6. 沼泽地; 7. 沙丘; 8. 河流
1. Weihe alluvial plains; 2. The first loess platform; 3. The second loess platform; 4. The slope plain in piedmont; 5. Mountain region; 6. Marshland; 7. Dune; 8. River

图 1 关中盆地地貌图

Fig. 1 Geomorphologic map in Guanzhong Basin

存和运移提供了良好的空间。其与南北两侧及西断山区之间的地下水联系微弱, 可视作为隔水边界或弱透水边界, 黄河是南北向的东部排泄边界, 故关中盆地是一个水文地质结构完整、含水系统与水流系统相对独立、水循环开放的地下水系统^[2]。根据地下水含水介质的结构组合、空间分布与地下水循环特征^[3], 关中盆地地下水系统划分为山前洪积平原地下水亚系统、黄土台塬地下水亚系统和冲积平原地下水亚系统; 进一步结合补给条件、包气带结构和水位埋深, 上述地下水亚系统划分 8 个水文地质亚段

收稿日期: 2006-06-13; 修订日期: 2007-03-11
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043606); 国家自然科学基金项目(40472131)
作者简介: 段磊(1978—), 男, 河南淮阳人, 讲师, 在读博士, 从事水文地球化学与生态环境研究。

(见表 1),即本次地下水资源评价的计算分区。

地下水系统的输入主要靠大气降水入渗、河水渗漏、灌溉回渗和侧向径流等补给,入渗系数在洪积扇、黄土台塬及高阶地区,一般为 0.1~0.3,漫滩及低阶地可达 0.3~0.4^①。山区河流进入平原地段时,地表水大量渗入补给地下水,如秦岭基岩谷中伸展出来的溪峪进入低洪积扇与河谷阶地后,水流绝大部分入渗补给地下水。地下水流向与地形基本一致,即由盆地两侧向盆地中心、由河谷上游向下游运动,最后排泄于河流与沟谷之中。地下水系统输出由潜水蒸发和河流排泄为主转化为人工开采为主、潜水蒸发为辅。自 20 世纪 80 年代以来,地下水开采量不断增长,区域水循环条件发生了变化,使得地下水动态发生了改变^[4]。

2 地下水资源评价

2.1 地下水天然资源量计算

由上述分析可见,研究区为一个独立完整的水文地质单元,补给项和排泄项比较简单;同时该区水文地质条件研究程度较高,积累了比较丰富的资料,水均衡要素容易获得,符合水均衡适用条件^[5]。因此,采用地下水水均衡法对研究区地下水补给量、排泄量及储存量进行均衡计算,并在此基础上计算地下水天然资源量。计算公式为:

$$Q_{总补} - Q_{总排} = \mu \times \frac{\Delta H \times F}{\Delta t} \tag{1}$$

$$Q_{总补} = Q_{降} + Q_{河补} + Q_{渠系} + Q_{渠灌} + Q_{库} + Q_{井回} + Q_{侧} \tag{2}$$

$$Q_{总排} = Q_{开} + Q_{河排} + Q_{蒸} + Q_{侧排} \tag{3}$$

(1)~(3) 式中, $Q_{总补}$ 为补给项总和; $Q_{降}$ 为降水入渗补给; $Q_{河补}$ 为河流渗漏补给; $Q_{渠系}$ 为渠系水渗漏补给; $Q_{渠灌}$ 为渠灌水渗漏补给; $Q_{库}$ 为库塘水渗漏补给; $Q_{井回}$ 为井灌水回归补给; $Q_{侧}$ 为地下水侧向径流补给; $Q_{总排}$ 为排泄项总和; $Q_{开}$ 为实际开采量; $Q_{河排}$ 为河流排泄量; $Q_{蒸}$ 为潜水蒸发量; $Q_{侧排}$ 为地下水侧向径流排泄; μ 为重力给水度; ΔH 为年平均水位变幅; Δt 为均衡时间; F 为计算面积。

本次计算从国土资源、水利、气象等部门收集了基础地质、水文地质、水文、气象等系列资料,并有丰富的地下水动态资料(1978~2003 年)作检验。参数的选择,主要参考国土资源和水利部门有关成果中具有代表性的水文参数、水文地质参数和有关试验资料,结合多年降水系列资料(1956~2003 年)和地下水动态资料,经综合分析后,确定本次计算使用参数。为了充分利用前人成果和评价工作的延续性

和可比性,计算分区与前人评价分区基本一致。根据上述计算公式(1)~(3),采用多年平均降水量和 1998 年各种源汇资料,分别计算研究区补给项、排泄项和 1998 年变幅贮存量。计算结果分别为:补给项为 $38.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,排泄项为 $32.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,地下水位年变幅带储存量为 $5.42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (见表 1)。由表 1 可见,关中盆地地下水补排差与 1998 年变幅储存量基本接近,说明地下水补给项和排泄项计算结果可靠。扣除地下水灌溉回渗量、渭河侧向激发量和地下水侧向径流转化重复量等,地下水天然资源量为 $31.18 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (表 2),与课题组采用数值法计算的地下水天然资源量($31.45 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)相吻合。

2.2 地下水可采资源量计算

关中盆地地下水主要用于农业供水及城镇生活和工业用水,农业供水采用地下水均衡法计算面状可采资源量,可采资源量的计算以维持现有生态平衡为原则,结合地下水位变化规律和动态特征及实际开采量等均衡要素,确定计算分区合理可采资源量;城镇生活和工业用水来自于集中供水水源地,集中供水水源地可采资源量由两部分组成,一是已建水源地现状开采量,二是预测渭河岸边取水段的可采资源量。经计算,面状开采区地下水可采资源量为 $26.30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,集中供水水源地可采资源量(河流激发补给量)为 $6.74 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ^②,合计 $33.04 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (表 2)。

2.3 地下水资源量对比

20 世纪 80 年代,研究区地下水天然资源量为 $36.57 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可采资源量为 $37.57 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。本次计算结果与其对比,地下水天然资源量减少 $5.39 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可采资源量减少 $4.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。造成这种变化的主要原因是由于上世纪 80 年代中期以来,降水量呈递减趋势,地下水的大量开采、局部过量超采及地表水利工程的兴建、引水和蓄水量的增加,致使地表水对地下水的补给量减少,水循环条件发生改变所致。

2.4 地下水资源分布特征

由表 2 可见,研究区内地下水资源空间分布不均匀,按水资源模数分析,宝鸡一户县低阶地地下水资源最丰富,其次为宝鸡一周至黄土台塬区、宝鸡一咸阳低阶地区和西安一华阴低阶地区,凤翔一礼泉

① 陕西省国土资源厅.陕西省地下水资源评价,2002.
② 陕西省地勘局第一水文地质工程队.关中盆地傍河水源地开发利用现状及潜力分析研究报告,1998.

黄土台塬区、泾阳一大荔低阶地区和长安—潼关黄土台塬区中等丰富,而三原—合阳黄土台塬区相对贫乏。可采资源量因包括傍河水源地激发河水补给量而大于地下水天然资源量,扣除傍河水源地可采资源量($6.74\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$),地下水可采资源量占天

然资源量的 84.34%。根据水资源模数分析,地下水可采资源量比较丰富区集中在含有傍河水源地的宝鸡—咸阳低阶地区、宝鸡—户县低阶地区和西安—华阴低阶地区,而三原—合阳黄土台塬区比较贫乏,其余地区可采资源量中等丰富。

表 1 关中盆地地下水均衡表
Table 1 Ground water budget in Guanzhong basin

计算分区 Zoning computation	补给面积 Recharge area (km^2)	补给项 Recharge ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)	排泄项 Drainage ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)	补排差 Deviation ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)	1998 年变幅储存量 Amplitude storage in 1998 ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)
凤翔—礼泉黄土台塬 Fengxiang—Liquan loess platform	4166.6	4.89	2.77	2.12	1.77
宝鸡—咸阳低阶地 Baoji—Xianyang low terrace	785.4	3.96	2.74	1.22	1.30
宝鸡—户县低阶地 Baoji—Huxian low terrace	1659.6	9.01	6.82	2.19	2.11
宝鸡—周至黄土台塬 Baoji—Zhouzhi loess platform	475.2	1.26	1.07	0.18	0.13
三原—合阳黄土台塬 Sanyuan—Heyang loess platform	3642.6	2.74	2.23	0.51	0.51
泾阳—大荔低阶地 Jingyang—Dali low terrace	3999.8	7.17	7.38	−0.21	−0.12
西安—华阴低阶地 Xi'an—Huayin low terrace	1701.6	6.21	5.98	0.23	0.03
长安—潼关黄土台塬 Chang'an—Tong'guan loess platform	2609.4	3.27	3.60	−0.33	−0.29
合 计 Sum	19040.2	38.50	32.60	5.90	5.42

表 2 关中盆地地下水资源
Table 2 Groundwater resources' quantity in Guanzhong basin

计算分区 Zoning computation	天然资源 Natural resources		可采资源 Recoverable resources		可采资源占 天然资源 百分比(%) Percentage
	天然资源量 Natural resources ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)	模数 Modulus ($10^4\text{ m}^3/(\text{km}^2\cdot\text{a})$)	可采资源量 Recoverable resources ($10^8\text{ m}^3/\text{a}$)	模数 Modulus ($10^4\text{ m}^3/(\text{km}^2\cdot\text{a})$)	
凤翔—礼泉黄土台塬 Fengxiang—Liquan loess platform	4.79	11.52	3.69	8.87	77.00
宝鸡—咸阳低阶地 Baoji—Xianyang low terrace	1.94	24.72	5.62	71.60	289.66
宝鸡—户县低阶地 Baoji—Huxian low terrace	7.73	46.56	7.87	47.43	101.88
宝鸡—周至黄土台塬 Baoji—Zhouzhi loess platform	1.22	25.79	0.82	17.38	67.38
三原—合阳黄土台塬 Sanyuan—Heyang loess platform	2.69	7.38	2.14	5.86	79.50
泾阳—大荔低阶地 Jingyang—Dali low terrace	6.00	15.00	4.59	11.47	76.50
西安—华阴低阶地 Xi'an—Huayin low terrace	3.69	21.67	5.93	34.83	160.75
长安—潼关黄土台塬 Chang'an—Tong'guan loess platform	3.12	11.96	2.38	9.11	76.11
小 计 Sum	31.18	16.38	33.04	17.35	105.97

3 地下水资源解析与评价

在上述地下水资源评价的基础上,以渭河为界划

分渭河以南和渭河以北两个地段,分析地下水资源构成的主要因素,揭示不同地段地下水循环规律,为水资源合理开发利用和生态环境保护提供科学依据。

表 3 关中盆地地下水资源构成比例表
Table 3 Constituent ratio of groundwater in study area

分区 Zoning	补给项 Recharge(%)				
	降水入渗 Rainfall influent	河流渗漏 River leakage	灌溉水入渗 Irrigation influent	库塘水渗漏 Pond leakage	侧向径流 Side runoff
关中盆地 Guanzhong basin	64.8	20.4	6.8	6.1	1.9
渭河以南 South of Weihe river	55.6	38.6	4.0	1.8	0
渭河以北 North of Weihe river	74.2	1.8	9.7	10.5	3.8

由表 3 可得出以下认识:

(1) 关中盆地主要由降水入渗补给,其次是河水渗漏、灌溉水渗漏和库塘水渗漏补给,四项之和占天然资源的 98.1%。由此可见,气象和水文因素变化对地下水资源影响较大,加强“三水”综合调控与开发,是实现水资源可持续利用的关键。

(2) 渭河以南河水渗漏补给占 38.6%,对地下水补给具有重要作用,若修建地表水库或跨流域调水,必将改变区内水资源格局,进而产生生态环境负效应。因此实施地表水与地下水联合开发,发挥秦岭山前地下水库功能,以丰补歉,是合理开发和充分利用本区水资源的重要途径。实际上,秦岭北麓水系发育,习有“七十二”峪之称,山前第四纪冲洪积物厚度在 300~500 m 以上,河水渗漏系数为 0.2~0.4,个别高达 0.8~1.0,据估算地下水库调蓄量为 $15.6\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$ ^[6],相当于关中盆地地下水资源量的 50%。因此,在秦岭山前开发地下水库,可以调节水资源时间分配上的不均匀性,还可避免大量引地表水,使调出水区的生态环境恶化。

(3) 渭河以北降水入渗占据主导地位,占地下水天然资源的 74.2%;灌溉水入渗和库塘水渗漏补给,占地下水天然资源的 20.2%。但由于渭北地区广泛分布着黄土含水层,其垂向渗透系数远大于水平渗透系数,在采补失调的情况下,容易诱发生态环境负效应。因此宜采用地下水和地表水统一规划和调余补缺的供水原则。根据地区条件的差异,按以井灌为主、渠灌为辅,渠灌为主、井灌为辅,井渠双灌三种开发利用模式^[7]。同时,根据水文地质条件和开采技术、经济条件的差异,合理布置深井、浅井和混合开采井。

(4) 地下水补给以垂向补给为主,侧向径流很

小。因此,加强大气降水—地表水—包气带水份—地下水转化机理研究是提高地下水资源评价可靠性的重要保障,同时为水资源的合理开发利用和生态环境保护提供理论支撑。

4 结 论

随着西部大开发战略的实施,关中盆地的经济发展驶入快车道,对水资源的需求日益增加,水资源的短缺已经成为经济发展的主要制约因素之一。受自然因素和人类活动的双重影响,地下水天然资源量和可采资源量与上世纪 80 年代相比,分别减少了 $5.39\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 和 $4.53\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。同时,结合不同地段地下水资源构成的差异,采用适宜的水资源开发利用模式,使水资源开发与生态环境相协调。因此,在渭河以南地区,发挥秦岭山前地下水库的调蓄功能,渭河以北地区采取不同的井渠开发模式,是水资源合理开发利用和生态环境保护的重要途径。

参 考 文 献:

[1] 王文科,王雁林,段磊,等.关中盆地地下水环境演化与可再生维持途径[M].郑州:黄河水利出版社,2007.
[2] 张茂省,朱立峰,王晓勇.关中盆地地下水系统分析与地下水资源可持续开发利用对策[J].第四纪研究,2005,25(1):15—22.
[3] 陈梦熊,马凤山.中国地下水资源与环境[M].北京:地震出版社,2002.
[4] 史鉴,陈兆丰,邢大伟,等.关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
[5] 林学钰,廖资生,赵勇胜,等.现代水文地质学[M].北京:地质出版社,2005.
[6] 王文科,孔金玲,王钊,等.关中盆地秦岭山前地下水库调蓄功能模拟研究[J].水文地质工程地质,2002,(4):5—10.
[7] 王文科,王钊,孔金玲,等.关中地区水资源分布特点与合理开发利用模式[J].自然资源学报,2001,16(6):499—509.

(英文摘要下转第 181 页)

Investigation of rhizobium resources of leguminous plants
and their ecological distribution in Ningxia

YANG Wen-quan, GUO Jun-kang, FENG Chun-sheng, WEI Ge-hong*
(College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An investigation was made on the nodule and nitrogen fixation resources of wild and cultivated leguminous plants in Ningxia and 748 nodule samples that belonged to 24 genera and 47 species were collected. The results showed: 1) *Oxytropis xinglongshanica* C. W. Chang and *Astragalus efoliolatus* Hand.-Mazz. were the newly-discovered ones capable of setting nodules. 2) The most nodules were yellow or brown, spherical or claviform, and grown on lateral roots. 3) The water and fertility of soil and the growth stage were important factors that affected the nodulation. 4) According to the growth character, distribution and utilization, the rhizobium of leguminous plants in Ningxia is distributed in aridity, mountainous grassland and plantation area.

Keywords: Ningxia; leguminous plants; rhizobium resources; ecological distribution

(上接第 175 页)

Evaluation and analysis of groundwater resources in Guanzhong basin

DUAN Lei¹, WANG Wen-ke¹, WANG Yan-lin^{1,2}, YANG Ze-yuan¹
(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;
2. Environmental Department, Shaanxi Bureau of Land and Resources, Xi'an, Shaanxi 710082, China)

Abstract: Guanzhong basin is the most economically prosperous region in West China, but the further growth of its economy is constrained because of the shortage of water resources. Based on geological and hydro-geological conditions, the paper evaluates and analyses groundwater resources from the point of factors that affect the formation of groundwater. The results show that natural resources of groundwater($5.39 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$) and available withdrawal of groundwater ($4.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$) have decreased greatly under natural factors and human activities. North to the Weihe River, the main factors affect the formation of groundwater are precipitate infiltration and irrigation leakage which amount for 83.9 percent of total recharge. However, south to the Weihe River, 94.2 percent of total recharge comes from precipitate water and river leakage which are chief factors of the formation of groundwater. On the basis of research mentioned above, the paper puts forth the countermeasures to develop and utilize water resources reasonably, which is important for sustainable use of water resources and benign circulation of the eco-environment.

Keywords: groundwater resources; analysis; evaluation; Guanzhong basin