

# 陕西省乾县地下水位动态变化特征分析

俱战省<sup>1</sup>, 刘文兆<sup>1 2</sup>, 郑粉莉<sup>1 2</sup>, 刘俊民<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 依据渭北高塬与关中平原过渡地带的陕西省乾县近 16 a 地下水位埋深监测资料, 结合研究区数字高程模型( DEM) 反映的地貌和水系分布状况, 选取 7 口地下水位监测井, 对乾县城区、羊毛湾灌区和宝鸡峡灌区地下水位年际和年内动态变化特征进行了分析。结果表明, 乾县城区近 10 a 地下水位以 0.31 m/a 的速度上升; 羊毛湾灌区和宝鸡峡灌区近 16 a 地下水位均呈下降趋势, 并且前者下降幅度大于后者; 降水量偏多使得水库水位高于其附近地下水位, 距离水库近的地区, 地下水位受水库补给和降雨入渗补给双重作用迅速上升; 距离水库远的地方, 地下水位主要受降雨入渗补给, 地下水位上升具有滞后性。灌区地下水位具有在 2 月和 10 月左右达到高水位, 7 月降至低水位的特征。实施节水和井渠结合灌溉是保证乾县地下水资源可持续利用的有效途径。

**关键词:** 地下水位; 羊毛湾灌区; 宝鸡峡灌区; 灌溉入渗; 乾县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0178-04

中图分类号: P332.3

## Groundwater Table Dynamics in Qianxian County of Shaanxi Province

JU Zhan-sheng<sup>1</sup>, LIU Wen-zhao<sup>1 2</sup>, ZHENG Fen-li<sup>1 2</sup>, LIU Jun-min<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Inter-annual and seasonal characteristics of groundwater table fluctuations in the urban area of Qianxian County, Yangmaowan irrigation area, and Baojixia irrigation area were analyzed based on the groundwater table data collected from seven monitoring wells between 1992 and 2007, along with DEM which reflects the topography and drainage system distribution of the study area. The study area is located in the transition zone from the North Weihe to Guangzhong region. The results indicate that the groundwater table in the urban area of Qianxian County rose at a rate of 0.31 m/a during the study period. However, the groundwater tables in Yangmaowan and Baojixia irrigation areas were declining in the past sixteen years; the groundwater table of Yangmaowan irrigation area declined faster than that of Baojixia irrigation area. In wet years, the groundwater tables of the wells that is close to reservoirs rose quickly due to the combined effects of both reservoir recharge and rainfall infiltration. On the contrary, the groundwater tables of the wells that is far from reservoirs rose more slowly as rainfall infiltration was the only recharging source. The irrigation areas had the relatively higher groundwater tables in February and October and the lower groundwater tables in July. Combination of channel and well irrigation is suggested for the sustainable use of groundwater resources in Qianxian County.

**Keywords:** groundwater table; Yangmaowan irrigation area; Baojixia irrigation area; irrigation infiltration; Qianxian County

收稿日期: 2011-08-09

修回日期: 2011-11-17

资助项目: 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室专项课题“侵蚀和干旱逆境下土壤物质循环与调控机制”(10502-T2)

作者简介: 俱战省(1985—), 男(汉族), 陕西省乾县人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与生态水文。Email: zhansju@126.com。

通信作者: 郑粉莉(1960—), 女(汉族), 陕西省西安市蓝田人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn。

## 1 研究区概况

乾县地处陕北黄土高原南缘与关中平原的过渡地带,位于北纬  $34^{\circ}19'36''$ — $34^{\circ}45'05''$ ,东经  $108^{\circ}00'13''$ — $108^{\circ}24'18''$ 之间,人口 56 万,面积  $1\,002.7\text{ km}^2$ 。北部为浅山丘陵沟壑区,地势波状起伏;中部和南部分别为下覆洪积物和冲积物的黄土台塬区,前者地面坡度微向南倾,后者为呈阶梯状的原面。依据县城气象站 1960—2007 年降水资料,该县多年平均降水量  $544.7\text{ mm}$ ,6—9 月份占全年降水量的  $57.1\%$ ,11—2 月仅占  $8.1\%$ ,空间分布上具有北部和南部较多,中部较少,而西部多于东部的特征<sup>[1]</sup>,属于暖温带大陆性季风气候。

乾县地下潜水主要类型为第四系松散岩层孔隙水或黄土孔隙—裂隙水,径流方向从西北到东南。北部地下水埋深一般为  $40\sim 100\text{ m}$ ,储藏条件差;中部黄土层深厚,地下水储量大,埋深  $10\sim 30\text{ m}$ ;南部除洼地外,地下水埋深一般为  $50\sim 80\text{ m}$ <sup>[2]</sup>,开采难度大。乾县农田灌溉面积仅占宝鸡峡羊毛湾灌区灌溉面积(简称宝羊灌区)的很小部分,宝羊灌区位于渭北黄土台塬中部,耕地面积  $1.2\times 10^5\text{ hm}^2$ ,是关中粮油果的重要生产基地。乾县中南部虽有羊毛湾、老鸭咀以及大北沟等大中型水库,但是地表水资源匮乏,地下水开采利用成为实现该县社会经济快速发展的重要途径。地下水位变化不但影响地下水资源的可持续利用,而且对县域经济的可持续发展具有一定的制约作用,所以对该区地下水位动态变化进行研究具有重要的实践意义。

## 2 研究方法

乾县地下水监测井分布在中南部地区,包括乾县城区、羊毛湾和宝鸡峡灌区。根据地下水位监测井的布设位置,结合数字高程模型(DEM)反映的地貌和水系分布状况,并考虑地理位置与代表性,选取 7 口地下水位监测井(图 1),其中城关北寺监测井属于乾县城区,漠西陈东、城关南仁、大杨祥符和灵源高家监测井属于羊毛湾灌区,王村砖厂和周城庄里监测井属于宝鸡峡灌区;根据监测井地下水位埋深资料对乾县城区、羊毛湾灌区和宝鸡峡灌区的地下水位动态变化特征加以分析。年平均地下水位埋深和地下水开采量资料分别来自乾县地下水工作队和水资源水政办公室,羊毛湾和宝鸡峡灌区灌溉引水量分别来自羊毛湾管理局和宝鸡峡引渭灌溉管理局。



图 1 研究区数字高程模型(DEM)

## 3 地下水位动态特征分析

### 3.1 乾县城区

乾县县城位于洪积扇平原中部北侧,地下水属孔隙裂隙水,埋深  $10\sim 30\text{ m}$ ,含水层岩性以黄土为主。县城(城关镇北寺)地下水位监测始于 2001 年。乾县城区面积仅  $3.15\text{ km}^2$ ,但是人口密度大,居民生活和企事业单位需水量大。县城供水水源地主要是距县城  $20\text{ km}$  处的大杨乡四眼深井和距县城  $1\text{ km}$  处的县城北关四眼深井。县政府严格控制城区地下水开采,利用距县城有一定距离的深井供水,不但缓解了城区水资源供需矛盾,而且在一定程度上保护了该区地下水,从根源上阻止了城区地下水漏斗区的形成。随着城区道路面积的增加以及排水管道的完善<sup>[3]</sup>,降雨入渗对地下水的补给作用虽然逐渐减弱,但是由于乾县北部地下水位高于县城地下水位<sup>[4]</sup>,因此在重力作用下可补给城区地下水,所以 2001—2009 年城区地下水位以  $0.31\text{ m/a}$  的速度上升,说明地下水在该时期补给量大于排出量(图 2)。

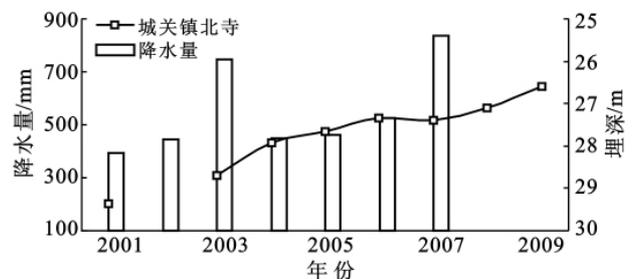


图 2 乾县城区地下水位年际动态变化

### 3.2 宝鸡峡和羊毛湾灌区

3.2.1 宝羊灌区潜水动态年际变化特征 1967 年开灌前,羊毛湾灌区水位埋深平均为  $22.83\text{ m}$ <sup>[5]</sup>,1992 年灌区水位埋深平均为  $15.39\text{ m}$ 。根据乾县地下水位监测资料,1992—2007 年漠西陈东和灵源高

家地下水位持续下降,下降幅度分别是 0.58 和 0.41 m/a。城关南仁与大杨祥符地下水位动态变化分为两个阶段:波动下降阶段(1992—2003 年)和持续上升阶段(2003—2007 年);城关南仁和大杨祥符 1992—2003 年地下水位分别下降了 6.07 和 4.85 m,2003—2007 年地下水位分别上升了 5.08 和 1.72 m(图 3)。平均而言,羊毛湾灌区 1992—2007 年地下水位在下降,下降幅度从大到小依次是漠西陈东(0.58 m/a)、灵源高家(0.41 m/a)、大杨祥符(0.2 m/a)和城关南仁(0.06 m/a)。

宝鸡峡灌区 1967 年开灌前地下水位埋深平均是 55.4 m<sup>[5]</sup>,1992 年水位埋深平均为 34.55 m。1992—2002 年周城庄里地下水位以 0.71 m/a 的幅度急剧下降,随后到 2007 年,下降趋势变缓,波动在 1 m 之内(图 4)。王村砖厂 1992—2007 年地下水位波动在 2 m 左右,2003—2007 年地下水位稳中有升,1992—2003 年年上升速率为 0.05 m/a。

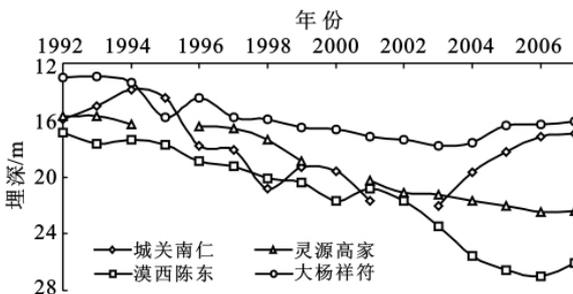


图 3 羊毛湾灌区地下水位埋深年际动态变化

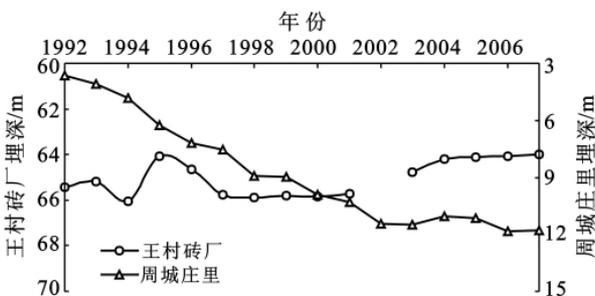


图 4 宝鸡峡灌区地下水位埋深年际动态变化

3.2.2 宝羊灌区潜水动态年内变化特征 乾县农作物主要是冬小麦和夏玉米,经济作物以苹果为主。灌溉主要是调节降水时间和作物生长需水时间的矛盾,因此地下水位年内变化不仅受季节降水影响,而且受灌溉影响。图 5 为 2007 年乾县宝羊灌区月地下水位变化情况,年内最高水位出现在 2 月和 10 月左右,最低水位发生在 7 月。而在无灌溉条件下(长武县塬区)地下水位埋深较浅的地方在雨季均有所回升,地下水位埋深较深的地方与降水关系不明显<sup>[6]</sup>。

3.2.3 地下水位动态变化因素分析

(1) 年际地下水位动态变化因素分析。灌溉系

统中,水体运动遵循水循环规律和水量守恒原理<sup>[7]</sup>。河水引入灌区会有不同的消耗,主要包括蒸发消耗,蒸腾消耗,提高田间土壤含水量的土壤贮水、灌溉水的深层渗漏以及发生在灌区的弃水排水消耗;由于存在这些因素,所以灌溉水利用系数仅约为 0.5<sup>[8]</sup>。宝羊灌区灌溉渠系密集,交织成网,灌区内通过干、支、斗、毛渠等将地表水引入田间。虽然区内干渠经过衬砌,但大多已年久失修,支渠部分衬砌、而斗渠以及毛渠基本无衬砌,所以各级渠系在行水期间均有可能通过渠系渗漏补给地下水。

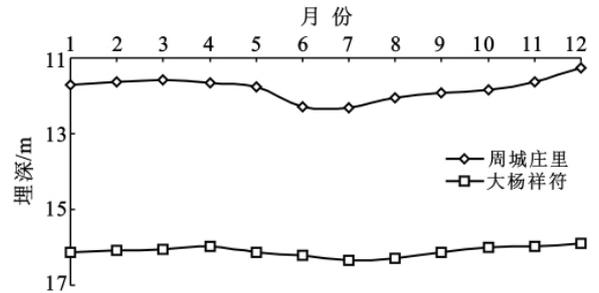


图 5 2007 年宝羊灌区地下水位埋深季节变化

20 世纪 90 年代以来,宝鸡峡灌区灌溉引水量逐年减少,羊毛湾灌区灌溉引水量按其实际灌溉面积换算成灌溉定额与降水量一起呈递减趋势,仅有个别年份由于降水量变大而增加(表 1);因此宝羊灌区降雨入渗和灌溉入渗(包括渠系渗漏补给和田间入渗补给)补给地下水量呈减小趋势;另外由于土地利用类型的变化,特别是乾县果树面积从 20 世纪 90 年代初的 6 053 hm<sup>2</sup> 增加到 2005 年的 2.4 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup><sup>[9]</sup>,经济作物需水量比农作物大,地下水开采强度增加,羊毛湾灌区 1992—2007 年地下水位均下降。

对 1992—2000 年城关南仁地下水位埋深与同期开采量、降水量、灌溉引水量进行相关性分析,相关系数分别为 0.92,0.63 和 -0.68,表明城关南仁 1992—2000 年地下水位主要受开采影响呈下降趋势(图 6)。其次 1992—2003 年平均降水量比多年平均降水量低 9.14%,说明地下水位下降也与降雨入渗量减少有一定联系。2003—2007 年平均降水量比多年平均降水量高 10.7%,降雨入渗量的增加引起地下水位上升。位于漠谷河中游的老鸭咀水库坝体为碾压式均质土坝,设计水位 610.4 m,水库正常蓄水位 598.8 m。2003 年以来,降水量偏多使得水库蓄水量增加,羊毛湾水库水位高于周围潜水水位,由于降雨入渗和老鸭咀水库补给双重作用,城关南仁 2003—2007 年地下水位大幅上升;大杨祥符距离老鸭咀水库远,接受水库入渗补给作用不大,主要受降雨入渗补给使得地下水位在 2004 年才上升,说明降水的突变年,地下水位的变化具有滞后性。

表 1 宝鸡峡灌区灌溉引水量和羊毛湾灌区灌溉定额

年份	宝鸡峡灌区 灌溉引水量/ 亿 m <sup>3</sup>	羊毛湾灌区 灌溉定额/ mm	降水量/ mm	羊毛湾灌区灌 溉定额与降水 量之和/mm
1992	2.73	88.2	504.5	592.7
1993	2.34	81.7	441.3	523.0
1994	3.39	96.3	377.5	473.8
1995	2.24	53.1	303.5	356.6
1996	2.35	25.8	691.2	717.0
1997	2.11	69.8	528.9	598.7
1998	1.52	61.1	601.6	662.7
1999	1.95	98.6	515.2	613.8
2000	1.68	36.7	439.8	476.5
2001	1.52	40.7	394.2	434.9
2002	1.76	87.7	446.1	533.8
2003	1.18	78.5	745.1	823.6
2004	1.50	93.4	450.2	543.6
2005	1.11	68.9	461.3	530.2
2006	1.34	90.0	524.0	614.0
2007	0.60	44.7	835.0	879.7

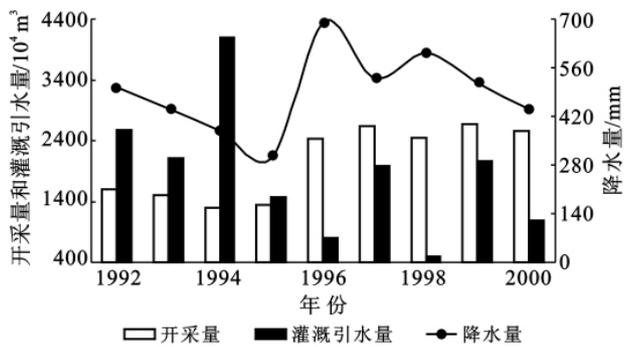


图 6 羊毛湾灌区降水量、灌溉引水量和开采量

周城庄里处于洼地之中,当地群众为了减少明水带来的灾害,1985 年竣工的排水工程投入使用,地下水开采导致周城庄里 1992—2002 年地下水位持续下降 7.82 m。2003 年是丰水年,王村砖厂地下水位在 2004 年仅上升 0.6 m;2007 年也是丰水年,地下水位却基本没有变化,主要原因是王村砖厂地下水位埋深大于 60 m,降雨入渗和灌溉入渗补给路径长,补给地下水的量小而且滞后时间长。其次当地政府为了解决群众生产生活用水问题,普遍开挖深井,地下水开采强度有所增加,但是降雨入渗和灌溉入渗的滞后性缓解了地下水开采造成的地下水位显著下降,使得王村砖厂地下水位稳中有升。

(2) 年内地下水位动态变化因素分析。宝羊灌区 1—2 月份是冬灌和春灌后期,农田灌溉用水量和开采量均减少,由于这一时期气温低,农作物需水量少,所以入渗补给量大,地下水位由前一年的冬灌开始回升,2 月份成为高水位期;5 月份以后,气温升高,开始夏灌,一般在 8 月份雨季来临之前结束,故灌溉

引水量大,由于灌溉入渗补给和地下水位在时间反应上存在滞后现象,同时农作物需水量大,地下水进入集中开采期,水位呈现持续下降,7 月份达到低水位期;8 月份以后,灌区雨季来临,降水量增加,地下水开采量减少,同时夏灌的灌溉水入渗补给到达含水层,在降雨入渗和灌溉入渗的双重作用下,地下水位开始回升,在 10 月份又达到一个高水位期。降水的垂直入渗是无灌溉条件下(长武县塬区)地下水的唯一补给来源,但是该区高产农田及果园强烈的蒸腾耗水作用所形成的生物利用型干层却减弱或者隔断了降雨入渗对地下水的补给作用<sup>[10]</sup>,地下水位波动随季节变化不明显。

### 4 结论

乾县城区地下水开采受到政府严格控制,水源地主要来源于距县城有一定距离的其它乡镇。由于乾县北部地下水位高于城区地下水位,因此城区地下水接受北部山区地下水的补给,近 10 a 城区地下水补给量大于排出量。宝羊灌区近 16 a 来地下水位均下降,其中宝鸡峡和羊毛湾灌区地下水位分别平均下降 3.36 和 4.99 m。灌区地下水位季节变化在 2 月和 10 月左右达到高水位,7 月降至低水位。2005 年该县果园面积已占耕地面积的 36%,果园较农作物需水量更大,宝羊灌区的灌溉用水量将会整体增加,渠灌和井灌结合的方式才能保证乾县地下水资源可持续利用,实施节水技术是节约水资源的重要途径。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘俊民,马耀光,魏晓妹,等. 陕西省乾县水资源评价及开发利用现状分析[R]. 陕西: 杨凌: 西北农业大学, 1991.
- [2] 袁富民,张汉,师荃荣,等. 乾县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2003.
- [3] 侯建忠,马碧峰,王保强,等. 乾县建设志[M]. 西安: 三秦出版社, 2003.
- [4] 谢璐. 黄土原灌区地下水形成条件与动态预测[D]. 陕西: 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [5] 刘俊民. 论渭北黄土原灌区地下水新含水层[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 1994, 24(1): 1-6.
- [6] 王锐,刘文兆,赵小鹏. 长武塬区地下水位动态特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 48-52.
- [7] 李佩成. 关于水源问题及其解决途径的商榷[J]. 灌溉科技, 1975(3/4): 10-19.
- [8] 李佩成. 论自流灌区的节水与养水[J]. 灌溉排水, 2000, 19(1): 12-15.
- [9] 薛光炜,王荣君,王永辉,等. 乾县年鉴[M]. 2006.
- [10] 黄明斌,杨新民,李玉山. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 7-13.