

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2021.0011

杨阿敏, 李文溢, 周维博, 等. 某水库试验段区域地下水位动态特征与影响因素[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(1): 111-118. YANG A M, LI W Y, ZHOU W B, et al. Dynamic characteristics and influence factors of groundwater level in the experimental section of a reservoir[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2021, 19(1): 111-118. (in Chinese)

某水库试验段区域地下水位动态特征与影响因素

杨阿敏^{1,2}, 李文溢³, 周维博^{1,2}, 安宝军⁴, 杨浩⁴

(1. 长安大学水利与环境学院, 西安 710054; 2. 长安大学旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710054; 3. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710054; 4. 陕西省西咸新区沣东新城水库建设管理中心, 西安 710086)

摘要: 研究某水库蓄水对区域地下水动态的影响, 以为水库后期建设以及区域水资源管理提供相关科学依据。通过建立水库试验段气象-地下水监测系统, 运用 M-K 趋势分析法分析研究区地下水位动态特征, 选用变异系数法分析地下水位的时空变异特征, 采用灰色关联度法揭示其主导影响因子。结果表明: 水库试验段地下水位整体表现为上升趋势且具有明显的丰枯特征, 升幅约为 0.5~2.0 m/a; 试验段渗漏量与地下水位变化呈负相关关系, 渗漏对地下水位的影响存在一定空间差异, 即对东部地下水位的影响大于西部; 西部地下水位的主导影响因子为降雨量, 东部地下水位的主导影响因子为渗漏量和降雨量。

关键词: 地下水位动态; 影响因子; 水库试验段; 渗漏量; 降雨量

中图分类号: TV 211; P641 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



地下水位是反映地下水系统特征的重要要素之一, 是地下水系统水量均衡的外在表现^[1,2]。对地下水位动态特征开展研究, 对认识区域地下水的补排关系^[3]、地下水资源评价管理^[4]、指导农业灌溉^[5]、水利建设^[6]等方面有着重要的意义。影响地下水位动态特征的因子有很多, 包括气候、水文、地质、人类活动等^[7]。一方面, 随着人类社会的不断发展, 全球气候表现出新的变化特征^[8,9]。另一方面, 城市化的推进使得人类活动对区域地下水系统产生了更为深远的影响^[10]。因此, 地下水位动态特征及其影响因子也呈现出新的变化规律, 成为了相关学科的研究热点。Yun 等^[11]以韩国梁山市断裂带为研究对象, 采用希尔伯特黄变换(HHT)、改进移动平均(MMA)等方法分析了区域地下水位动态变化特征, 结果表明地震等因素是影响地下水位动态的重要因子。Apaydin

等^[12]以土耳其安纳托利亚中部 Halacli 含水层为研究对象, 分析了气候变化对区域地下水位影响与地下水位异常的原因, 并在此基础上对土耳其半干旱地区可持续水资源管理提出了相关建议。张曼菲等^[13]以陕西省泾惠渠灌区为例, 分析了区域地下水埋深的变化特征及其影响因子, 结果表明蒸发、开采、灌渠引水是影响地下水埋深动态的重要因素。李生潜等^[14]以石羊河流域盆地为例, 利用 ArcGIS 分析了地下水位动态特征, 结果表明地下水位动态受气候和人类活动共同影响, 以区域水资源管理为主。

国内外针对地下水位动态特征及其影响因子的相关研究多以城市、流域、灌区等较大面积的区域为研究对象, 对较小尺度范围内的地下水位变化的反映不够精确, 而在目前的城市化建设中, 以人工湖(水库)为代表的水景工程对局部地下水位动

收稿日期: 2020-02-23 修回日期: 2020-07-10 网络出版时间: 2020-08-11

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20200811.1438.010.html>

基金项目: 陕西省水利科技项目(2018slkj10)

作者简介: 杨阿敏(1993—), 女, 陕西武功人, 主要从事地下水位动态研究。E-mail: 929612101@qq.com

通信作者: 周维博(1956—), 男, 陕西乾县人, 教授, 博士生导师, 主要从事地下水环境研究。E-mail: zwbyz823@163.com

态影响明显^[15],带来了一系列的环境生态问题^[16]。作为引汉济渭重点工程之一的陕西省某水库,湖底利用天然防渗层,未做防渗处理,区域地下水环境对水库建设的响应情况尚未有人研究。因此本文以水库试验段为例,分析区域地下水位动态特征,并运用数理统计方法,揭示影响地下水位的主要因子,以期水库后期建设、复核防渗效果、西安市水生态文明建设以及地下水资源管理提供相关科学依据。

1 研究区概况

研究区位于陕西省西咸新区沣东新城境内。水库试验段 2017 年 2 月开始蓄水,水面面积约 0.47 km²,正常蓄水位 400.47 m,蓄水量 155 万 m³。研究区属暖温带大陆性半湿润季风气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干旱。多年平均气温 26.3 °C,多年平均降水量 660.6 mm,多年平均蒸发量为 1100 mm^[17]。地下水主要补给来源为大气降水、水库渗漏补给;区内地下水流向受地形地貌、地表水系和人为因素的综合影响,与地形坡度基本一致,由东南流向西

北;受水库建设影响,周边村庄大面积拆迁,地下水开采大幅减少,因此区域地下水排泄方式以侧向径流排泄为主。

2 研究方法数据来源

选用在气象、水文、地质等相关学科得到应用和认可的 M-K 趋势分析法^[18]进行研究区监测井地下水位的分析,该方法具有排除异常值干扰的优点,适用于分析水位埋深这一非正态分布数据的变化趋势。选用变异系数法^[19]计算分析地下水位的时空变异特征。选用灰色关联度法^[20]进行主导影响因子的揭示。

为对本文研究提供坚实的数据支撑,在水库试验段北侧布设监测井 6 眼,采用 Solinst 3001 地下水水位自记仪进行地下水水位的监测,监测频率为 12 h 监测 1 次,监测井基本信息见表 1。在试验段西北侧布设小型气象站 1 座,采用 ELO105 数采系统进行区域降雨量、蒸发量的监测。监测系统监测时长为 2018 年 3 月—2019 年 2 月。人工测量库水位,监测频率 1 次/d。

表 1 监测井地下水水位 M-K 趋势分析结果

Tab. 1 M-K trend analysis results of groundwater level in monitoring wells

| 监测井 | 极大值 | 极小值 | 水位变幅 | 统计量 | 水位变化趋势 | 趋势是否显著 |
|----------------|--------|--------|------|------|--------|--------|
| A ₁ | 396.47 | 394.36 | 2.11 | 2.84 | 上升 | 显著 |
| B ₁ | 396.06 | 393.96 | 2.10 | 3.36 | 上升 | 显著 |
| C ₁ | 396.32 | 394.33 | 1.99 | 1.75 | 上升 | 显著 |
| D ₁ | 396.59 | 394.27 | 2.32 | 4.81 | 上升 | 显著 |
| E ₁ | 395.74 | 394.36 | 1.38 | 1.12 | 上升 | 不显著 |
| F ₁ | 394.87 | 394.14 | 0.73 | 0.96 | 上升 | 不显著 |

单位: m

3 地下水位动态特征

根据研究区地下水监测井数据,绘制 2018 年 3 月—2019 年 2 月地下水位动态特征变化曲线,见图 1。由图 1 可以看出:(1)各监测井地下水位在 393~397 m,水位上升在 0.5~2.0 m,其中西侧监测井 A₁、D₁ 水位较高且上升幅度较大,东侧监测井 F₁ 水位较低且上升幅度较小;(2)各监测井水位均表现出明显的季节性变化特征,即 3—10 月地下水位整体表现为上升,11 月—次年 2 月表现为下降。同时采用 M-K 趋势分析法,取显著性水平 α 为 0.05,临界值为 1.65,对水位埋深时间序列进行了变化趋势分析,分析结果见表 1。可以看出:各监测井地下水位均呈上升趋势,但在水位变幅及是否显著之间存在一定差异,相

比于东部监测井(E₁、F₁),西侧及中部监测井地下水位(A₁、D₁)变幅更大,上升趋势更为显著,这说明不同位置的监测井地下水位在空间分布上存在一定差异。

为进一步分析各监测井地下水位之间的差异,运用变异分析法,计算各监测井地下水位的均值和标准差,从而得到各监测井地下水水位的时间变异系数,计算结果见表 2。

由表 2 可以看出:各监测井地下水位时间变异系数均小于 0.1,属于极弱变异。但对比来看,不同监测井地下水位时间变异系数大小存在一定差异,表现为西侧及中部监测井地下水位时间变异系数大于东侧,说明不同位置地下水位的时间变化特征存在一定差异,这与 M-K 趋势检验分析结果相符。

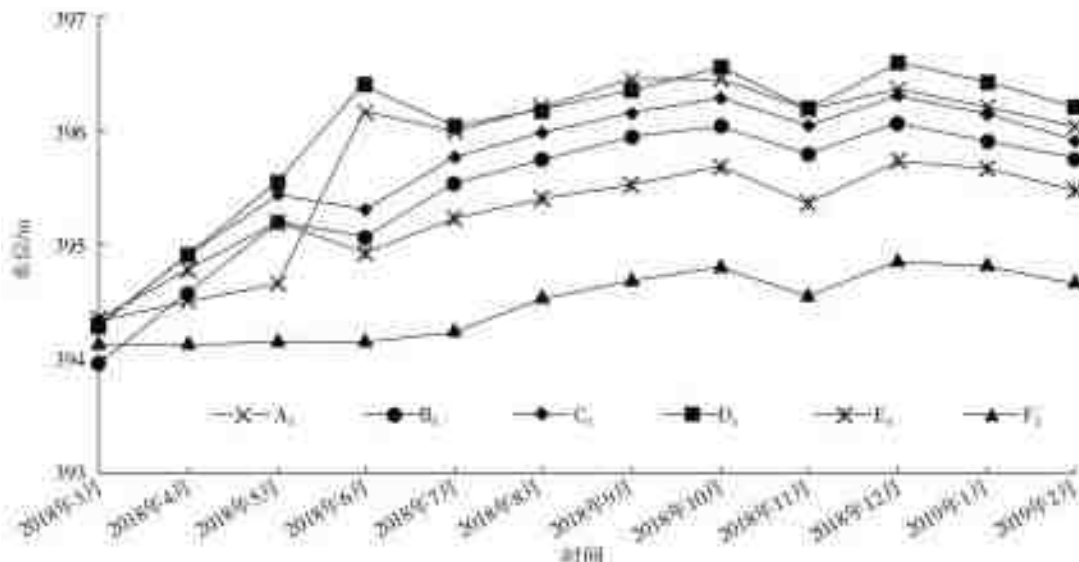


图 1 研究区地下水位动态特征变化曲线

Fig. 1 Dynamic characteristic change curve of groundwater level in the study area

表 2 各监测井地下水位变异性分析结果

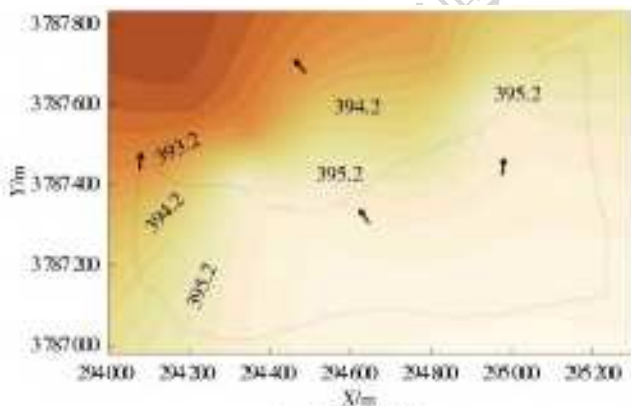
Tab. 2 The analysis results of variability in groundwater level in monitoring wells

| 监测井 | 平均值/m | 标准差/m | 变异系数 |
|----------------|--------|-------|---------|
| A ₁ | 395.80 | 0.762 | 0.00193 |
| B ₁ | 395.47 | 0.626 | 0.00158 |
| C ₁ | 395.71 | 0.586 | 0.00148 |
| D ₁ | 395.97 | 0.686 | 0.00173 |
| E ₁ | 395.28 | 0.397 | 0.00100 |
| F ₁ | 394.42 | 0.378 | 0.00096 |

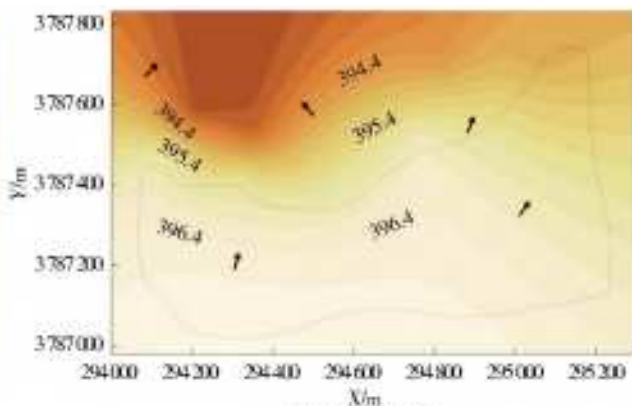
为研究水库试验段蓄水对区域地下水流场的改变情况,采用 Surfer16 绘制水库蓄水 1 年和蓄水 2 年的流场图(图 2)。可以看出水库蓄水 2 年相比于

蓄水 1 年地下水动力场有明显的不同,其中东部流向变化最为显著。区域地下水位整体上升约 0.5~2.0 m/a,其中西北部地下水位上升幅度较大,东北部上升幅度较小,主要原因是西北部为区域地下水流场的汇流区,多个方向的地下水汇流导致其水位升幅较高。

结合以上分析可知,水库试验段不同位置的监测井地下水位变化特征有所不同,即区域地下水位存在一定的空间差异,根据这种差异,可将研究区监测井分为 2 类:(1) 西侧及中部监测井(A₁—D₁),水位较高变幅较大且上升趋势显著;(2) 东侧监测井(E₁、F₁),水位较低且变幅较为稳定。



(a) 2018年3月



(b) 2019年2月

图 2 区域地下水流场图

Fig. 2 Regional underground flow field diagram

4 区域地下水位影响因子

4.1 影响因子的选取

受到工程建设的影响,该区域的地下水开采已经被暂停,因此开采量忽略不计。根据研究区

地下水补径排特征,选取降雨量、蒸发量、库水位、渗漏强度等 4 个因子进行区域地下水位影响因子的分析。其中,降雨量、蒸发量、库水位通过数据监测获取,渗漏强度在监测数据的基础上通过解析法^[21]计算得出。

4.2 影响因子变化特征

4.2.1 降水

根据气象监测资料,绘制研究区各月降雨量变化柱状图,见图 3。可以看出:研究区各月降雨量约在 1~150 mm,总降水量为 541.2 mm,各月差异较

大,9、10、11 月份较高,2、3、4 月份较低,其中:9 月份最高,为 141.8 mm;2 月份最低,为 1.2 mm。对比地下水位变化曲线和各月降雨量分布可以看出地下水位表现出明显的丰枯特征,即丰水季节呈上升趋势,枯水季节呈下降趋势,这说明研究区降雨入渗对地下水位产生了较为明显的影响。

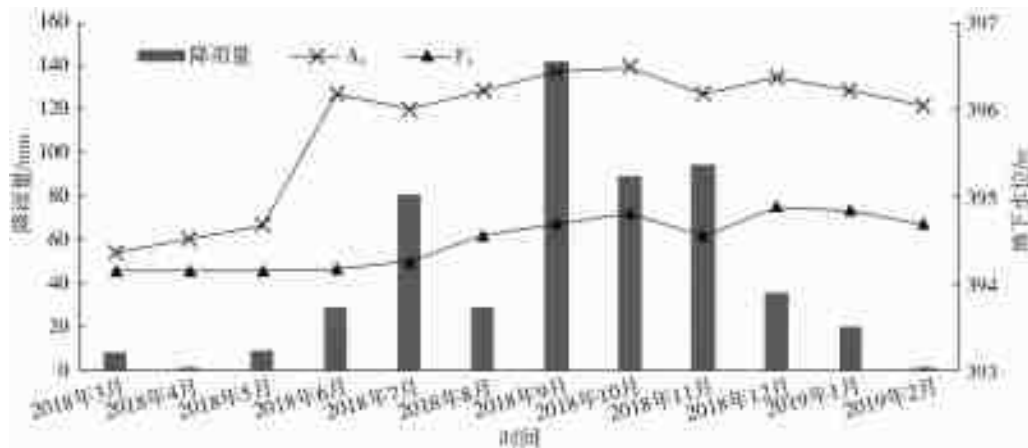


图 3 研究区各月降雨量柱状图

Fig. 3 Histogram of monthly rainfall in the study area

为进一步分析研究区地下水位与降雨量之间的关系,计算并绘制 A₁、F₁ 两口监测井累积水位升幅、累积降雨量随时间的变化趋势,见图 4。可以看出:累积降雨量与累积水位升幅随时间表现出相似

的变化趋势,在累积降雨量增幅较快的丰水季节(7、8 月),地下水位累积升幅也呈现出较快的增长趋势,这说明降雨入渗对地下水位动态有着明显的影响,与图 4 分析结论相符。

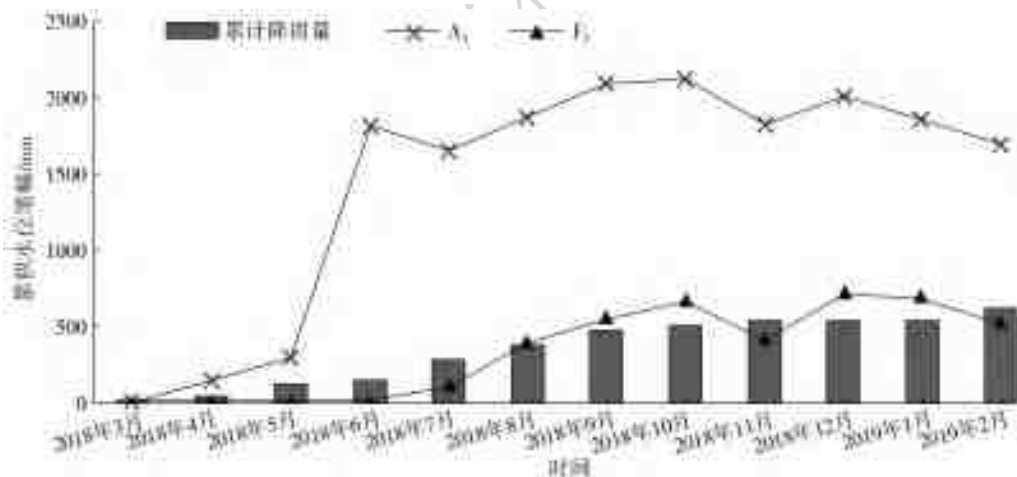


图 4 累计地下水位及累计降雨量变化趋势

Fig. 4 The variation trend of accumulated groundwater level and accumulated rainfall

为了对比分析降雨量对 A₁、F₁ 地下水位影响的差异,绘制累积水位升幅及累积降雨量之间的关系,见图 5。可以看出:累积降雨量与累积水位升幅呈现出较好的拟合关系,相关系数平方 R^2 分别约为 0.79(A₁)、0.89(F₁),这说明降雨对地下水位有着明显的影响,与前文分析一致,但部分点存在离群现象,说明地下水位还可能受到渗漏、库水位、蒸发等因素的影响。

4.2.2 蒸发量

蒸发量的测算主要通过观测定制的美国 A 级蒸发器的水位来计算,蒸发器直径 121 cm,高 25.5 cm,内置防浪桶和水位计。因为分析研究区蒸发量对地下水位的影响,采用蒸发器蒸发量,不进行系数折算。根据监测数据绘制各月蒸发量柱状图,见图 6。可以看出:研究区各月蒸发量在 60~180 mm,区域蒸发量为 1113 mm,各月差异较大,3、4、5 月份较高,

7月份较低。对比地下水位变化曲线和蒸发量分布可以看出:地下水位整体呈上升趋势,而蒸发量呈“先增大后减小”的趋势,二者的变化趋势相似

性较低。其原因主要是研究区监测井 A₁、F₁ 的地下水位埋深较大,在 6~ 8 m,蒸发微弱可忽略不计^[22]。

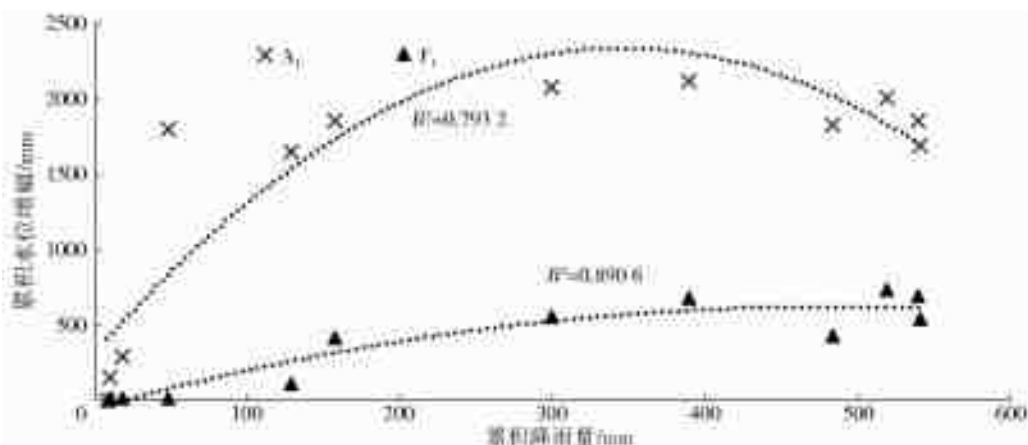


图5 累计地下水水位升幅与累积降雨量关系

Fig. 5 The relationship between cumulative groundwater level and cumulative rainfall

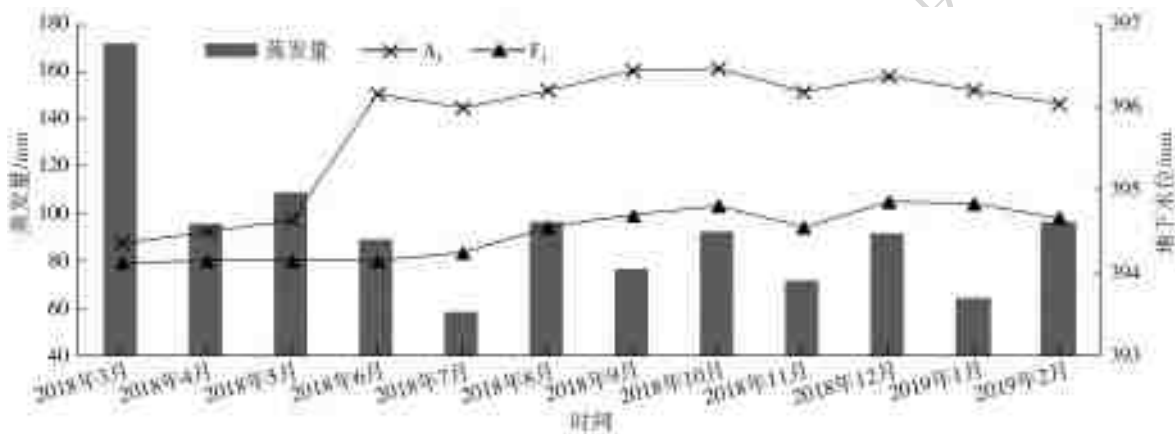


图6 地下水水位蒸发量变化

Fig. 6 The variation trend of water table and evaporation

4.2.3 库水位及其渗漏

根据监测数据绘制地下水位-库水位变化曲线,见图7。由于受到人工调蓄影响,库水位随时间波

动不大,其与地下水位的变化并无明显的直接关系,对地下水位的影响主要依靠渗漏间接影响地下水位的变化。

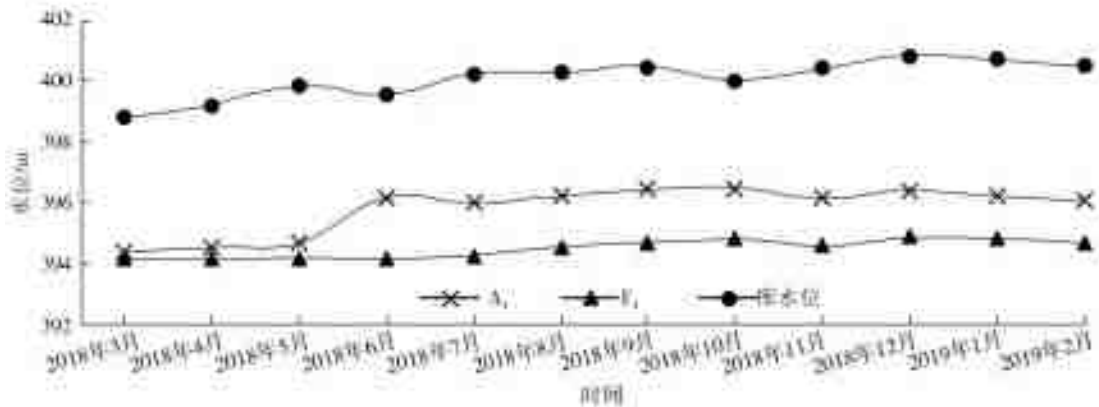


图7 地下水水位-库水位变化曲线

Fig. 7 The variation curve of groundwater level and reservoir water level

渗漏量的计算以库水位为依据,以达西定律为基础,采用解析法计算水库渗漏量,同项目组李文溢等^[21]采用该方法计算了水库试验段的渗漏量,本文

在其研究成果上绘制地下水位及渗漏强度变化,见图8。可以看出水库月渗漏量在 400~ 700 m³,年渗漏量约为 7000 m³。试验段渗漏量与地下水位变化

呈负相关关系: 在地下水位较低的情况下, 渗漏量增高, 这是因为受到人工调蓄影响, 库水位随时间波动不大; 当地下水位降低时, 地下水与库水之间的水位

差增大, 水力梯度随之增大, 这就使得渗漏量增大。渗漏量增大又使地下水位升高, 进而又影响了水库的渗漏量。

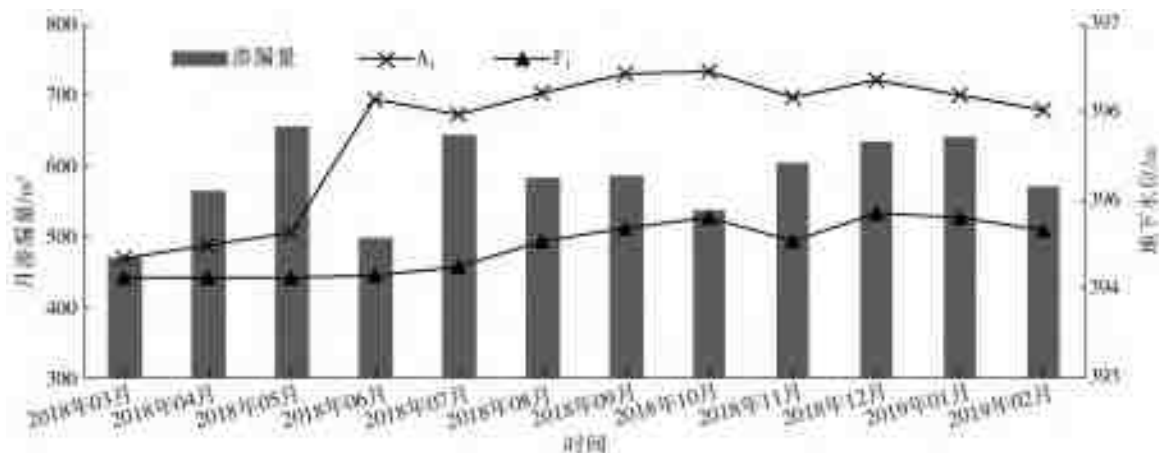


图 8 地下水位 渗漏量变化趋势

Fig. 8 The variation trend of seepage and groundwater level

5 主导影响因子的确定

为了定量分析影响因子对地下水位的影响程度, 揭示其主要影响因子, 运用灰色关联度法, 分别以监测井 A₁、F₁ 地下水位为参考数列, 以降雨量、蒸发量、库水位、渗漏量为比较数列, 计算各因子与地下水位之间的灰色关联度, 计算结果见表 3。

表 3 灰色关联度计算结果

Tab. 3 The grey correlation degree calculation results

| 监测井 | 影响因子 | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 降雨量 | 蒸发量 | 库水位 | 渗漏量 |
| A ₁ | 0.743 | 0.325 | 0.582 | 0.684 |
| F ₁ | 0.763 | 0.314 | 0.661 | 0.792 |

由表 3 的灰色关联度计算结果对影响因子进行排序可知: 影响 A₁ 监测井地下水位的各影响因子依次为降雨量、渗漏量、库水位、蒸发量; 影响 F₁ 监测井地下水位的各影响因子依次为渗漏量、降雨量、库水位、蒸发量。将关联度大于 0.7 的因子视为主导因子, 则可得监测井 A₁ 地下水位的主导因子是降雨量, 监测井 F₁ 地下水位的主要因子是降雨量和渗漏量, 这说明水库渗漏存在一定的空间差异, 使得渗漏对东部地下水位产生了更为显著的影响。两眼监测井地下水位与蒸发量之间的关联度均较小, 与前文分析相符。地下水位与库水位之间的关联度略小于与渗漏量之间的关联度, 这是因为渗漏量是引起地下水位变动的直接因素, 而库水位通过影响渗漏量从而影响到地下水位, 属于间接因素。

6 结论

(1) 水库试验段地下水位变化呈现出明显的季

节变化特征, 即 3—10 月地下水位整体表现为上升, 11 月—次年 2 月表现为下降。水位上升幅度约为 0.5~2.0 m/a, 表现出一定的空间差异, 西部地下水位(A₁) 升幅较大, 东部地下水位(F₁) 较小。同时, 水库试验段蓄水对地下水动力场产生较为明显的影响。

(2) 水库试验段年降雨量约为 541.2 mm/a, 降雨量变化对地下水位变化产生了明显的影响, 即丰水季节水位较高, 枯水季节水位较低。累积降雨量与累积水位升幅呈现出明显的正相关关系。

(3) 水库试验段渗漏量约为 7000 m³/a, 试验段渗漏量与地下水位变化呈负相关关系, 渗漏对地下水位的影响存在一定空间差异, 即对东部地下水位(F₁) 的影响大于西部(A₁)。

(4) 运用灰色关联度法分析水库试验段地下水位主导影响因子, 结果表明: 某部地下水位(A₁) 的主导影响因子为降雨量, 东部地下水位(F₁) 的主导影响因子为渗漏量和降雨量。

参考文献(References):

[1] 张人权, 梁杏, 靳孟贵, 等. 水文地质学基础[M]. 6 版. 北京: 地质出版社, 2010. (ZHANG R Q, LIANG X, JIN M G, et al. Fundamentals of hydrogeology[M]. 6th ed. Beijing: Geology Press, 2010. (in Chinese))

[2] 薛禹群, 吴吉春. 地下水动力学[M]. 3 版. 北京: 地质出版社, 2010. (XUE Y Q, WU J C. Dynamics of groundwater(third edition)[M]. 3rd ed. Beijing: Geology Press, 2010. (in Chinese))

[3] 周宇渤. 三江平原地下水循环环境演化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011. (ZHOU Y B. Research on evolur

- tion of groundwater circulation environment in Sanjiang plain[D]. Changchun : Jilin University, 2011. (in Chinese)
- [4] 顾礼明,张晟,金玉,等. 浅层地下水与地表水污染物交换关系研究——以常州市老城区为例[J]. 环境科技, 2012, 25(2): 4-8. (GU L M, ZHANG S, JIN Y, et al. Research on exchange relationship of surface water and ground water pollutants: Taking old city zone of Changzhou as an example[J]. Environmental Science and Technology, 2012, 25(2): 4-8. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2018.11.001.
- [5] 张光辉,费宇红,刘春华,等. 华北漳滏平原地下水位下降与灌溉农业关系[J]. 水科学进展, 2013, 24(2): 228-234. (ZHANG G H, FEI Y H, LIU C H, et al. Relationship between decline of shallow groundwater levels and irrigated agriculture on Hufu plain of north China [J]. Advances in Water Science, 2013, 24(2): 228-234. (in Chinese)) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2013.02.016.
- [6] 冯雪,赵鑫,李青云,等. 水利工程地下水环境影响评价要点及方法探讨——以某水电站建设项目为例[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(1): 39-42. (FENG X, ZHAO X, LI Q Y, et al. Key points and methods of assessing the environmental impact of water project on groundwater: A case study[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(1): 39-42. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1001-5485.2015.01.008.
- [7] 程训强,李江涛,张斌,等. 低丘红壤区浅层地下水影响因子分析——以江西省余江县为例[J]. 江西农业学报, 2007, 19(8): 80-82. (CHENG X Q, LI J T, ZHANG B, et al. Impact factors analysis of shallow groundwater in hill red soil area: A case study of Yujiang County Jiangxi Province[J]. Acta Agriculturae Jiangxi. 2007, 19(8): 80-82. (in Chinese)) DOI: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2007.08.030.
- [8] 王喜峰,贾仰文,陈冲,等. 变化环境下地下水循环和水环境演变研究综述[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(6): 18-21. (WANG X F, JIA Y W, CHEN C, et al. Research review on evolution of groundwater resources and environment under changing world[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(6): 18-21. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2014.06.004.
- [9] 李明乾,肖长来,梁秀娟,等. 变化环境下地下水埋深动态特征及驱动因素分析[J]. 水利水电技术, 2018, 49(11): 1-7. (LI M Q, XIAO C L, LIANG X J, et al. Analysis on the dynamic characteristics of groundwater and driving factors within changing environment[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(11): 1-7. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2018.11.001.
- [10] 李慧. 城市化对西安市地下水流场演变及其机制的影响[D]. 西安: 长安大学, 2018. (LI H. The evolution of groundwater flow field and its mechanism in Xi'an City with the influence of urbanization[D]. Xi'an: Chang'an University, 2018. (in Chinese))
- [11] YUN S M, HAMM S Y, CHEONG J Y, et al. Analyzing groundwater level anomalies in a fault zone in Korea caused by local and offshore earthquakes[J]. Geosciences Journal, 2018.
- [12] APAYDIN A. Response of groundwater to climate variation: fluctuations of groundwater level and well yields in the Halacli aquifer (Gankiri, Turkey) [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 165(1-4): 653-663. DOI: 10.1007/s10661-009-0976-8.
- [13] 张曼菲,周维博. 泾惠渠灌区地下水位埋深的动态特征及影响因素分析[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(2): 164-170, 195. (ZHANG M F, ZHOU W B. Analysis of dynamic characteristics and factors of groundwater depth in Jinghuiqu irrigation district[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(2): 164-170, 195. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2018.0054.
- [14] 李生潜,张彦洪,马雁萍,等. 石羊河流域盆地地下水动态变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(12): 145-151. (LI S Q, ZHANG Y H, MA Y P, et al. Analysis of groundwater dynamic changes in Shiyang River basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(12): 145-151. (in Chinese)) DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2018.379.
- [15] 张晗. 西安曲江南湖蓄水对地下水动力场的影响研究[D]. 西安: 长安大学, 2017. (ZHANG H. Study on the influence of the storage of Qujiang lake on the groundwater dynamic field in Xi'an[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017. (in Chinese))
- [16] 潘俊,王昭怡,梁海涛,等. 石佛寺水库周边地下水生态水位研究[J]. 水电能源科学, 2018(6): 141-145. (PAN J, WANG Z Y, LIANG H T, et al. Study on groundwater ecological level around Shifosi reservoir [J]. Water Resources and Power, 2018(6): 141-145. (in Chinese))
- [17] 王碧琦,王锦峰,陈莉. 陕西省水库工程可行性研究报告[R]. 水利部西安水土保持生态环境规划设计院, 陕西省水利电力勘测设计研究院, 2014. (WANG B Q, WANG J F, CHEN L. Feasibility study report of Doumen reservoir project in Shaanxi Province[R]. Xi'an Soil and Water Conservation Ecological Envi-

- ronment Planning and Design Institute of Ministry of Water Resources, Shaanxi Water Resources and Electric Power Survey and Design Institute, 2014. (in Chinese)
- [18] 王乐, 刘德地, 李天元, 等. 基于多变量 M-K 检验的北江流域降水趋势分析[J]. 水文, 2015, 35(4): 85-90. (WANG L, LIU D D, LI T Y, et al. Trend analysis of precipitation in Beijiang river basin based on multivariate Mann Kendall test [J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(4): 85-90. (in Chinese))
- [19] 刘轩, 岳德鹏, 马梦超. 基于变异系数法的北京市山区小流域生态环境质量评价[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 66-71, 294. (LIU X, YUE D P, MA M C. Small watershed ecological environmental quality appraisal of Beijing mountain area based on coefficient variation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 66-71, 294. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2016.02.12.
- [20] 张海涛, 雷晓东, 张芳, 等. 灰色关联度法在盘锦市曙光地区地下水水质评价中的应用[J]. 世界地质, 2005, 24(1): 68-71. (ZHANG H T, LEI X D, ZHANG F, et al. Application of degree of grey incidence analysis on groundwater quality evaluation in Shuguang area of Panjin City [J]. Global Geology, 2005, 24(1): 68-71. (in Chinese))
- [21] 李文溢, 杨阿敏, 周维博. 平原水库渗流场模拟及渗流量计算——以水库试验段为例[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(1): 66-71. (LI W Y, YANG A M, ZHOU W B. Seepage field simulation and leakage calculation in plain reservoir: Taking the test section of Doumen reservoir as an example [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2019, 30(1): 66-71. (in Chinese)) DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2019.01.11.
- [22] 宋扬. 灞河橡胶坝库区沉积物渗透系数空间变异及河水——地下水交互作用研究[D]. 西安: 长安大学, 2017. (SONG Y. Spatial variability of sediment permeability coefficient and river groundwater interaction in Bahe rubber dam area [D]. Xi'an: Chang'an University, 2017. (in Chinese))

Dynamic characteristics and influence factors of groundwater level in the experimental section of a reservoir

YANG Amin^{1,2}, LI Wenyi³, ZHOU Weibo^{1,2}, AN Baojun⁴, YANG Hao⁴

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd, Xi'an 710054, China; 4. Doumen Reservoir Construction Management Center of Fengdong New City of Xixian New Area of Shaanxi Province, Xi'an 710086, China)

Abstract: Doumen reservoir is an important part of the water diversion and distribution project from the Hanjiang River to the Weihe river in Shaanxi province. The impact of Doumen reservoir's impoundment on regional groundwater dynamics was studied to provide a relevant scientific basis for the later construction of the reservoir and regional water resources management. Through the establishment of the Meteorological Groundwater Monitoring System of the Doumen reservoir experimental section, the dynamic characteristics of the groundwater level were analyzed by the Mann Kendall test in the study area. The time variation characteristics of the groundwater level were analyzed by the coefficient of variation method, and the grey correlation method was used to reveal its dominant influence factors. The results show that: the overall performance of the groundwater level in the experimental section of Doumen reservoir is an upward trend and obvious characteristics of high and dry conditions, with an increase of about 0.5-2.0 m/a; the leakage of the test section was negatively correlated with the change of groundwater level, and the leakage had an effect on groundwater level, there was a certain spatial difference in the impact, that was, the impact on the water table in the east was greater than that in the west; the dominant influencing factor on the groundwater level was rainfall in the west, and leakage and rainfall were in the east.

Key words: groundwater level dynamics; impact factor; Doumen reservoir experimental section; leakage; rainfall