

渭北旱塬区地下水动态研究

张向飞¹, 周维博¹, 云涛¹, 刘小学², 董起广¹

(1. 长安大学, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地下水管理监测局, 陕西 西安 710002)

摘要: 渭北旱塬区地表水资源短缺, 地下水成为城市和农村的重要供水水源, 为了掌握该区地下水动态变化特征, 本文以渭北旱塬区 2000-2009 年间水文气象和地下水浅层监测井实测资料为依据, 根据地下水补给排泄条件及自然、人为影响因素之间的关系, 将研究区地下水动态成因分为灌溉-开采、渗入-蒸发、渗入-开采和径流-开采 4 种类型, 对各类型地下水变化特征进行分析, 并运用差分自回归移动平均 (ARIMA) 模型对地下水埋深进行模拟预测。结果表明: 拟合程度较高, 预测效果较好。

关键词: 地下水动态; 次降雨; ARIMA 模型; 渭北旱塬区

中图分类号: TV138; P641.74

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0089-05

Dynamic research on groundwater in Weibei upland

ZHANG Xiangfei¹, ZHOU Weibo¹, YUN Tao¹, LIU Xiaoxue², DONG Qiguang¹

(1. Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Shaanxi Bureau of Groundwater Management Monitoring, Xi'an 710002, China)

Abstract: The surface water resource in Weibei upland is scarce and the groundwater is the main water supply source for city and rural area. In order to analyze the groundwater variation characteristics, based on the shallow observation hydrometeorology data of Weibei Upland from 2000 to 2009, the variation factors were defined as four types (irrigation-exploitation, infiltration-evaporation, infiltration-exploitation & runoff and runoff-exploitation) according to the relationship between the recharge-discharge condition with natural and human activity influencing factors. The groundwater variation characteristics of each type were analyzed and the groundwater depth was simulated and predicted by autoregressive integrated moving average model (ARIMA). The results showed that the model meet the actual data very well.

Key words: groundwater dynamics; precipitation; auto regressive integrated moving average model (ARIMA); Weibei upland

0 引言

地下水动态是指在含水层与环境相互作用下, 各要素 (如水位、水量、水化学成份、水温等) 随时间的变化^[1], 含水层 (含水系统) 经常与环境发生物质、能量与信息的交换, 时刻处于变化之中。研究区域地下水动态, 了解地下水的变化规律, 对于指导区域地下水资源合理开发利用、生态环境保护以及保障地下水资源的安全性均有重要的意义。

最早对地下水进行动态分析, 采用的是比较直观简单的水均衡法以及水文地质比拟法^[2]。20 世纪以来, 对地下水动态的研究进入了高速发展时期。T. H. 卡门斯基用解析法分析群孔潜水动态, 系统地研究了存在降水入渗条件下的有限差分法, 并用它

来预测地下水的动态变化^[3]。澳大利亚 Queensland 大学在实践中模拟了流域地下水与地表水的动态耦合问题^[4]。徐大录等人定量分析了地下水位的季节性动态特征和多年变化规律及其分布地带^[5]。杨德贵、陈素霞等人研究发现地下水开采和有效降水入渗补给量是影响地下水位动态变化的主要因素^[6-7]。随着人类大量开采地下水, 地下水水流场发生了显著变化, 降水、地表水、地下水在人为干预下寻求新的转化关系^[8]。渭北旱塬是陕西省重要的粮棉基地, 也是国家二十个粮食生产基地之一。由于该区域地表水资源短缺, 地下水为城市和农村的重要供水水源。近年来, 随着当地经济社会的快速发展, 对水资源的需求量不断增加, 地下水的开采量急剧增大, 随之出现了一系列环境地质问题。为了

收稿日期: 2011-10-20; 修回日期: 2011-10-28

基金项目: 陕西省水利厅科技项目

作者简介: 张向飞 (1986-), 男, 陕西西安人, 硕士, 主要从事地下水资源评价及开发利用研究。

通讯作者: 周维博 (1956-), 男, 陕西乾县人, 教授, 博士生导师, 从事水资源与水环境及节水灌溉方面的教学与研究工作。

保障地下水资源的可持续利用,有必要对渭北旱塬地区地下水动态做进一步的分析与研究。

1 渭北旱塬区基本概况

渭北旱塬位于陕西省关中平原以北,陕北丘陵沟壑区以南,东西分别与山西省和甘肃省接壤,东西长 400 km,南北宽 275 km,面积 43140 km²,平均海拔高度在 800 m 以上,北部和西北部沿山地带高达 1 300 m 以上。研究区地貌以北山为界,北山以北属陕北黄土高原地形,以中低山和黄土原梁峁为主;北山以南属渭河断陷盆地,具有明显的阶梯状台面,以冲积平原、黄土台塬、洪积平原和微地貌构造等为主,总体来讲可划分为陕北黄土高原和关中盆地渭河以北地区。

1.1 区域水文地质条件

(1)黄土层孔隙裂隙潜水含水岩组。区内黄土为富水性上强下弱的具多层结构的潜水含水层。黄土梁峁区主要含水层为下更新统黄土,水位埋深 60 ~ 80 m,水量极微弱,泉水流量多小于 10 m³/d。黄土塬区潜水普遍分布,主要含水层为上中更新统下部至下中更新统黄土。由塬面中心到塬周边,黄土含水层由厚变薄,潜水位由浅变深,富水性由强变弱。黄土台塬区,主要含水层为上中更新统黄土,一般在完整平坦的塬面或较开阔的洼地中,水位较浅,多为 10 ~ 50 m,富水性较强。

(2)砂卵石层孔隙潜水含水岩组。主要分布在河谷阶地及北山山前洪积平原。河谷阶地,含水层由全新统至中更新统的砂卵石、砂层组成,厚 5 ~ 65 m,一般分布在较大河流两侧的近河地段,如千河、泾河、石川河及黄河漫滩至二级阶地,水位小于 20 m,单井涌水量大于 1 000 m³/d。洪积平原区,含水层主要为全新统至中更新统含泥砂、砾卵石、漂石、粘质砂土层,分布不稳定,一般是近山前地带含水层层次少、颗粒粗大,水位 30 ~ 120 m,单井涌水量一般为 100 ~ 500 m³/d;至前缘含水层层次增多、颗粒变细,水位 5 ~ 30 m,单井涌水量可达 400 ~ 1 000 m³/d。

除了以上两大含水岩组外,区内还分布有以砂岩为主的孔隙裂隙含水岩组、砂、泥页岩互层裂隙含水岩组、碳酸盐类裂隙岩溶含水岩组、结晶岩类裂隙含水岩组等。

1.2 降雨的时空分布及蒸发变化过程

(1)降雨的时空分布。对渭北旱塬区 30 个雨量站 2004 - 2010 年的雨量资料分析整理。结果表

明降雨在年内各季节的分配极不均匀,冬春少雨,约占全年降雨量的 16.18% ~ 23.59%,夏秋多雨,约占全年降雨量的 76.41% ~ 83.82%。各月分配亦不均匀,大多集中在汛期,占全年降雨量的 65.72% ~ 75.43%。降雨的年际变化相差也很大,年降雨量最大为陇县站 2005 年 946.40 mm,年降雨量最小为澄城站 2008 年 317.10 mm。对各站 7 年系列资料进行数理统计分析,用离差系数表征变化程度,最大为陇县站 0.33,最小为合阳站 0.11。可以看出渭北西部降雨量离差系数较大,东部地区相对较小。

渭北旱塬区降雨的空间分布主要有以下特点:降雨分布从西到东整体呈下降趋势,宜君地区降雨量最高,年平均达 680.03 mm,西部的陇县、麟游、凤县、岐山降雨量次之,达 550 ~ 600 mm,中部地区降雨量 500 ~ 550 mm,东部的高陵、澄城、蒲城、大荔降雨量最小,在 450 ~ 500 mm 之间。由于受地势条件的控制,关中地区年降雨量一般在 500 ~ 600 mm,北部山区在 550 ~ 660 mm,南少北多的规律比较明显。

(2)蒸发的变化过程。统计分析 2005 - 2010 年渭北旱塬地区各市县蒸发资料,区内蒸发量以年为周期有着明显的波动规律。最高蒸发量出现在每年的 5、6 月份,最低蒸发量出现在每年的 12 月份至次年 1 月份。月平均最高蒸发量发生在 2009 年 6 月富平县,最高蒸发量为 342 mm。月平均最低蒸发量发生在 2008 年 1 月永寿县,最低蒸发量 19.2 mm。多年月平均蒸发量波动范围 19.2 ~ 342 mm。

2 地下水位动态分析

渭北旱塬区地下水位动态分析采用 2000 - 2009 年研究区内 162 眼监测井的同期监测数据。根据《地下水监测规范》规定:地下水位变幅在 ± 0.5 m 之内为稳定区,上升幅度大于 0.5 m 为上升区,下降幅度超过 0.5 m 为下降区。10 年间区内地下水动态为:关中盆地内的泾西地区,漆泾河间地块的部分洪积扇、河谷阶地区为下降区,黄土塬区大部分为上升区,漆西河间地块的部分洪积扇、黄土塬、塬间洼地区为上升区,河谷阶地区有升有降;泾东地区,泾洛河间地块河谷阶地区为下降区,部分洪积扇、黄土塬区为上升区,洛东河间地块黄土塬区为上升区,河谷阶地区有升有降。陕北黄土高原除合阳、澄城的黄土塬区、长武、彬县的风积黄土塬区为上升区外,大部分地区处于稳定或下降区(图 1)。

从全区地下水动态情况看,地下水位大部分属于下降区域,主要是受到人为持续开采的影响。渭

北旱塬区多年来地下水供水量占总供水量的 50% 左右,地下水在该区的居民生活和工农业发展中起着非常重要的作用,如不能合理控制地下水开采,不采取有效措施扭转地下水下降趋势,研究区内下降区面积将进一步扩大,引起更多的环境地质问题,对人类生活和生态环境将造成不可估量的损害。

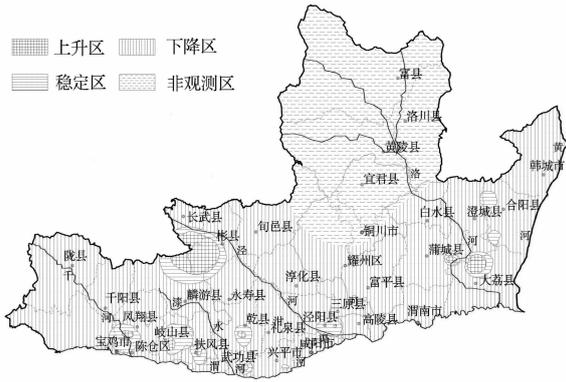


图 1 渭北旱塬区 2000 - 2009 年地下水水位变幅分区图

3 地下水动态成因类型分析

潜水动态是指其在自然因素(气象、水文、地质、土壤、生物等)和人为因素(开采、引灌、蓄排、污染等)影响下,随时间的变化状态和规律^[9]。由于各个影响因素相互交错,可组成多种混合地下水动态成因类型,依据渭北旱塬区地形地貌特征、水文地质条件及人为自然因素等,将地下水动态成因类型分为以下五类:

3.1 灌溉 - 开采

主要分布在泾惠、洛惠和交口抽渭灌区。以西安市高陵县 312# 监测井(图 2)为例可知,潜水动态曲线为双峰型,高水位期一般出现在 3 - 4 月及 11 月 - 次年 1 月,低水位期一般在 7 - 9 月。

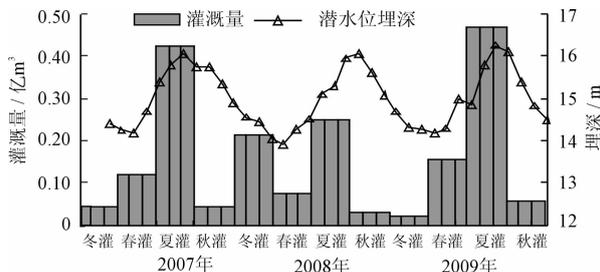


图 2 西安市高陵县 312# 监测井灌溉量与水位埋深关系

冬灌至春灌早期,气温低、蒸发作用小,为高水位期,此时渠道引水量可以满足大部分农作物的需求,地下水开采量较小,潜水水位持续升高,水位升幅主要与灌溉入渗补给有关,称为灌溉型。在夏灌

期,农作物需水量大,渠道引水量远不能满足农作物的需求,集中开采地下水使得排泄量大于补给量,潜水水位持续下降,成为低水位期,此时段为开采型。秋灌期为雨季,降水多而集中,农作物耗水量相对减少,潜水位持续回升,称为灌溉 - 开采型。水位上升速度塬间洼地比黄土台塬快,上升幅度也大。

3.2 渗入 - 蒸发

主要分布于潜水开采量较少的黄土台塬和洪积扇前缘、河谷阶地等地段。受人类影响较少,最主要与最直接的补给排泄方式为降水与蒸发。以渭南市大荔县 262# 监测井为例(图 3),年内水位呈季节性变化,7 - 9 月为丰水期,地下水获得大量补给,但由于该井地下水位埋深在 15 m 以上,降水补给受到了包气带的阻隔,同时降水入渗系数 α 与地下水位埋深成反比,使得降水入渗具有一定滞后性。1 - 3 月为枯水期,降水量减小,水面蒸发量也随之减小;4 - 6 月为平水期,降水量适中,但蒸发量持续增大,土壤层残留水分蒸发消耗,使得降水有效补给量减少。

地下水位升高的幅度是多次降雨的综合反映,水位升高常常滞后降水一段时间,考虑到降水、蒸发与地下水位之间的非线性关系,运用灰色关联法探求次降雨对地下水位的影响。

设水位埋深参考序列 $x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$, 前 m 月降水及蒸发量组成比较序列 $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n-1), x_{蒸}(n)\}$, $j = 1, 2, \dots, m$, 则存在下列关系式:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_s |x_0(t) - x_s(t)| + 0.5 \max_s \max_s |x_0(t) - x_s(t)|}{|x_0(t) - x_i(t)| + 0.5 \max_s \max_s |x_0(t) - x_s(t)|} \quad (1)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (2)$$

$\xi_i(k)$ 为比较序列 x_i 对参考序列 x_0 在 k 时刻的关联系数,系数越大,说明二者在 k 时刻的相关性越大; $r_{蒸}$ 为比较序列 x_i 对参考序列 x_0 的关联度,值越大,说明二者相关性越大。在计算时会遇到降水量为 0 的情况,这时需要对埋深、降水量以及蒸发量进行百分比变换,即每一个月的值除以多年系列的最大值。

对于 262# 监测井(表 1),降水入渗要相对滞后 4 ~ 5 个月才能有效影响地下水位。此后前 6 个月关联度从 0.639 减少到 0.584,影响性逐渐衰退,有效补给量也在逐渐减少。由此推断,当水位埋深大于 14 m 时,包气带作用尤为明显,对雨水的调节性逐渐增强。

表1 渭南市大荔县 262[#] 监测井降雨量、蒸发量对埋深的关联度表

r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	$r_{蒸}$
0.5790	0.5990	0.6230	0.6430	0.6570	0.6630	0.6390	0.6130	0.5980	0.5840	0.713

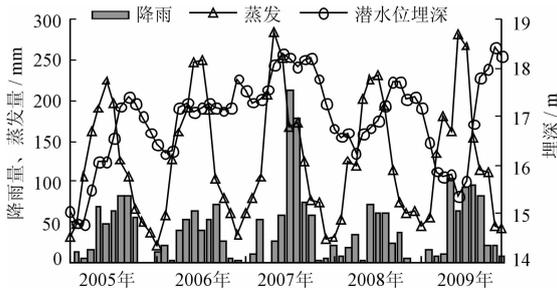


图3 渭南市大荔县 262[#] 监测井降雨量、蒸发量与水位埋深关系

3.3 渗入—开采

主要分布在长武洛川黄土塬区、漆泾河间地块区及大荔沙苑地区。潜水动态受降水入渗、开采及蒸发的影响。在丰水年开采量很小,影响甚微;平水年影响也不大;只在干旱年,才有明显影响。以宝鸡市凤翔县 69[#] 监测井(图4)为例,由于埋深较浅,降水补给的滞后性相对较弱,在时间上水位变化与降水量变化基本保持同步,降水量大,水位升高,包气带越薄,影响愈明显,滞后时间愈短。其中 2007—2009 年,由于开采量逐年增大,水位埋深逐渐增大,排泄作用远大于降水补给作用,每年的 7—9 月,降水集中,水位有所上升,但幅度不大。

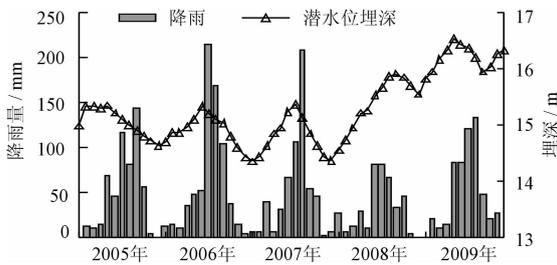


图4 宝鸡市凤翔县 69[#] 监测井降雨量、水位埋深关系

3.4 径流—开采

主要分布在渭河及其支流漫滩和部分一级阶地地区。当地下水与河流水力联系密切时,其动态几乎与河水动态同步,且与二者水位变化周期相一致。地下水水位随着地表水水位升高、流量增大、过流时间延长而上升,水位峰值和起伏程度随着远离地表水体而逐渐减弱。一般情况下,河水对地下水的影响存在一定的范围限制,对于渭河北岸,其影响带宽度一般为 1~3 km,支流影响带为 0.5~1.0 km^[10]。高水位期出现在 5—6 月及 9—10 月,低水位期出现在 1—3 月及 7—8 月,年变幅一般小于 1.5 m;多年

变幅一般小于 ± 0.5 m。

以渭南市蒲城县 125[#] 监测井为例(图5),每年 11 月至次年的 1 月为枯水期,随着北洛河径流量的减少,地下水位逐步下降,地下水向北洛河排泄。而到了洪水季节,如 2005 年 6—7 月,北洛河月均径流量从 12.4 m³/s 上升至 32.6 m³/s,监测井水位从 10 月份开始逐渐上升,增幅可达 1.93 m 左右。由此推断出,河流补给同样存在滞后性,主要与观测孔距离河流的远近及沿岸的水文地质条件有关。125[#] 监测井位于黄土台塬区,含有亚粘土及亚砂土,该地段潜水传播速度为 20~40 m/d,地下水位变化与河流的径流变化不同步,同时由于河水压力存在,也会对地下水动态产生影响。

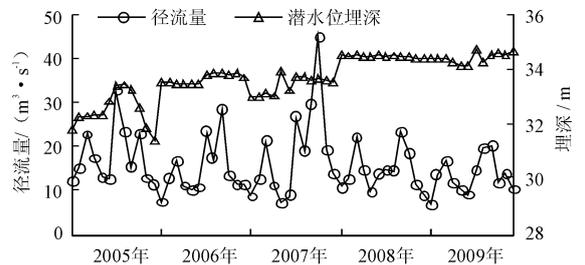


图5 渭南市蒲城县 125[#] 监测井北洛河径流量与水位埋深关系

4 地下水埋深动态随机模拟与分析预测

地下水位动态变化是一个受多种因素影响的复杂过程,总的来说模拟与预测方法分为 3 类:模拟模型方法、地下水动力学方法和数理统计方法。比如:BP 神经网络、MODFLOW、RS 方法、GIS、MGM(1, n) 随机模型、灰色模型、时间序列法^[11]等。时序分析法是将地下水系统视为“灰箱”,根据地下水位动态观测资料,提取和分析历史资料本身所蕴涵的信息,找出其规律,并利用这些规律,达到预报未来的目的,无须再进行专门的试验来获取其它参数,这给大区域地下水动态预报分析带来了极大的便利,并且,该方法易于掌握,计算工作量小,易于应用推广^[12]。因此这里采用时间序列法对渭北旱原地下水位埋深进行动态模拟与分析预测。借助 SPSS 统计分析软件,应用差分自回归移动平均模型 ARIMA^[13],对渭北旱原区 32 眼监测井 2000—2009 年地下水位埋深数据分析建模。分别得到这 32 眼监测井截止 2011 年 12 月份的地下水位埋深预测值。从图 6 看出,该模型的拟合程度较高,预测效果较好。并以此绘制“渭北旱原区 2011 年 12 月地下水位埋深预测图”,对比该区 2009 年 12 月地下水位埋深(图 7,8),预测结果表明短期内渭北旱原区地下水位下降趋势有所缓和,其中泾河

以西,漆泾河间地块塬间洼地,泾河以东,泾洛河间地块河谷阶地、洪积扇及白水-合阳黄土塬等部分地区地下水位已有略微抬升。

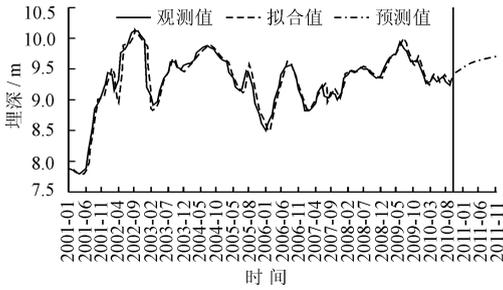


图 6 渭南市大荔县 217#监测井 ARIMA(2,1,1)模型观测值、拟合值、预测值曲线图

由于前期地下水的过量开采,短期内下降区缺失的地下水量难以完全恢复。在未来开发利用地下水资源的过程中,应注重地表水与地下水统一管理、联合调蓄、调整开采井布局 and 开采量,控制最优地下水位、加强节水,推行废水处理回用、提高农灌技术等。以防止渭北旱塬区地下水位的进一步下降,实现人与自然的和谐共存。



图 7 渭北旱塬区 2009 年 12 月地下水位埋深图

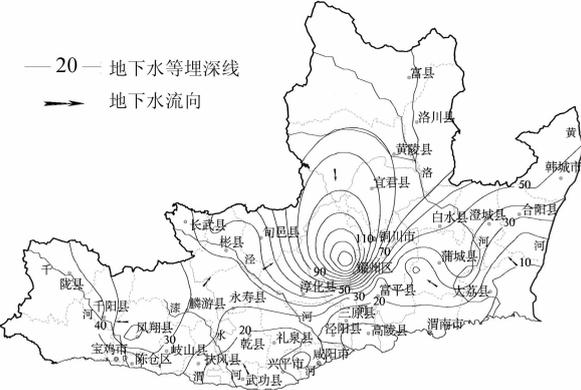


图 8 渭北旱塬区 2011 年 12 月地下水位埋深预测图

5 结语

(1)2000 年以来渭北旱塬区由于大规模机井开采地下水,导致全区占 64% 面积的地下水处于下降

区。主要集中在风翔、岐山的洪积扇区和富平的黄土塬、河谷阶地地区,咸阳-蔡家坡的河谷阶地区及渭北低山丘陵、长武洛川黄土塬的部分地区,下降幅度一般为 2~10 m,关中盆地的几个较大的下降漏斗均在此范围内,人为因素对地下水的动态影响较大。

(2)对于地下水季节性动态分析,按照地下水成因类型,可把渭北旱塬区地下水动态分为灌溉-开采型、径流-开采型、径流-蒸发型及渗入-开采型,初步分析了地下水位埋深与降雨、蒸发、径流及灌溉、开采的之间的关系,对于降雨情况,运用灰色关联法,分析了地下水位与当年降雨和次降雨之间的关系,研究了降雨补给地下水滞后性特点。

(3)将时间序列模型应用于地下水位短期预测能够得到很好的结果,可用来分析研究地下水位动态变化规律,为合理开发、可持续利用地下水资源提供参考依据。但是要及时更新新数据,加入新的观测数据重新建模,以提高预测精度。

参考文献:

- [1] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [2] 尚守忠. 北京地区地下水动态预测方法[J]. 水文地质工程地质,1983,27(2):45-49.
- [3] 董志高,黄勇. 地下水动态预测模型综述[J]. 西部探矿工程,2002,14(4):36-39.
- [4] Zhang Q, Schaeffer J, Bradley J. A 3D groundwater flow model for the collie basin [C] // . International Groundwater Conference, Australia, 2002. 5.
- [5] 徐大录,丁宏伟,杨建军,等. 石羊河流域中下游地区地下水位动态特征及变化趋势[J]. 甘肃地质,2009,18(2)63-68.
- [6] 杨德贵,宋立志,张国建. 安阳市区地下水动态特征及影响因素分析[J]. 地下水,2010,32(5):72+107.
- [7] 陈素霞. 太原盆地地下水位动态特征分析[J]. 山西水利科技,2008,38(2),23-24.
- [8] 岳步德,孙尚胜,韩晓琳,等. 岩溶水水资源系统动态配置初探[J]. 山东水利,2004,6(11):38-39.
- [9] 蓝俊康,郭纯青,张惠昌,等. 水文地质勘察[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [10] 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,2006.
- [11] 张树京,齐立心. 时间序列分析简明教程[M]. 北京:清华大学出版社,北方交通大学出版社,2003.
- [12] 杨金忠,蔡树英. 一种区域地下水预报的时间序列分析方法[J]. 武汉水利电力大学学报,1996,29(4):6-10.
- [13] 张文彤,闫洁. SPSS 统计分析基础教程[M]. 北京:高等教育出版社,2005.