

# 太行山前倾斜平原区地下水位动态特征分析 及其趋势预测

——以河北省栾城县为例

王贵玲<sup>1,2</sup>, 蔺文静<sup>2</sup>, 刘花台<sup>2</sup>, 陈浩<sup>2</sup>

(1. 南京大学地球科学系, 南京 210093; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

**摘要:** 随着太行山前社会经济的飞速发展, 地下水的开采量大大增加, 多年的连续超采, 导致地下水位大幅度持续下降。本文以河北省栾城县为例, 在研究区内水文地质条件以及对区内的地下水进行全面监测的基础上, 对区内多年的地下水动态特征进行了综合分析研究, 并在此基础上采用灰色系统理论对区内的浅层地下水位总体变化趋势进行了预测。研究表明, 区内地下水开发利用程度较高, 农业的季节性开采是影响地下水动态的主要因素, 地下水位表现为典型的开采型动态, 在现有地下水开采条件下, 地下水位将以  $1\text{m/a}$  的速度下降。

**关键词:** 栾城县; 地下水动态; 趋势预测

中图分类号: P641.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2004)01-0019-05

研究区位于石家庄市东南栾城县(图1), 属太行山东麓山前倾斜平原的一部分, 区内多年平均气温  $12.2^{\circ}\text{C}$ , 蒸发量  $1644.5\text{mm}$ , 降水量  $483.5\text{mm}$ 。区内农田灌溉以开采地下水为主, 随着开采规模的不断扩大, 全区机井已由 1953 年的 20 眼增长到 1999 年的 9558 眼, 地下水埋深也由 1949 年的  $3\sim 4\text{m}$  下降到 2000 年的  $20\sim 30\text{m}$ 。由于地下水位的下降, 造成了大量机井的报废。另外, 本区又是南水北调中线工程的重要受

水区, 如何合理地利用当地的水资源, 缓解地下水位的持续下降, 已成为当前关注的问题<sup>[1,2]</sup>。

## 1 地下水的赋存特征

由于该区受基底构造控制, 第四系沉积物由西北向东南逐渐增厚, 按沉积次序及岩性共划分为滹沱河冲、洪积扇与槐沙河冲积扇 2 个亚区。

### 1.1 滹沱河冲、洪积扇亚区

分布于研究区的北部、中部及东南部, 根据岩性可分为 4 个含水岩组。

第 I 含水组( $Q_4$ ): 底板埋深  $12\sim 20\text{m}$ 。含水层一般为 2 层, 单层厚  $2\sim 5\text{m}$ 。颗粒一般为细—中细砂, 赋存孔隙潜水, 水量小, 无单独成井价值。

第 II 含水组( $Q_3$ ): 底板埋深  $60\sim 120\text{m}$ 。含水层 3~7 层。北部单层厚度  $5\sim 15\text{m}$ , 个别达  $20\text{m}$ , 南部较薄。含水层岩性从北向南由粗变细。该组与第 I 含水组有密切的水力联系, 属微承压含水岩组, 是目前主要开采段, 也是本文的重点研究对象。

第 III 含水组( $Q_2$ ): 底板埋深  $160\sim 230\text{m}$ 。含水层上段以中—中细—中砂为主, 个别地方含卵砾石。下段以粗—粗中砂含卵石为主。含水层 5~10 层, 单层厚  $3\sim 7\text{m}$ 。该含水组顶部有一厚度为  $10\sim 30\text{m}$ 、以亚粘土—亚砂土为主组成的稳定隔水层, 使其成为承压水。

第 IV 含水组( $Q_1$ ): 含水层变化很大, 底板埋深  $308\sim 421.7\text{m}$ , 含水层最多 10 层, 单层厚  $5\sim 15\text{m}$ 。

### 1.2 槐沙河冲积扇亚区

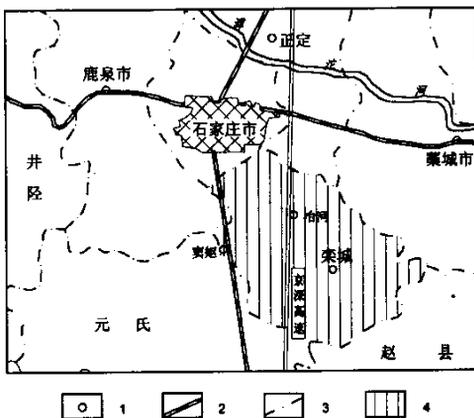


图1 研究区位置图

Fig.1 Location map showing the study area

1—城镇 2—铁路 3—县界 4—研究区

收稿日期: 2003-04-12; 修订日期: 2003-06-04

基金项目: 河北省科技厅院士节水项目(01220703D)

作者简介: 王贵玲(1964-)男, 在职博士生, 主要从事地热及地下水资源研究。E-mail: wguiling@heinfo.net

位于研究区西南部。该冲积扇含水组底板埋深40~80m,含水层厚22~24m。岩性以中粗砂及砂砾石为主。

研究区地下水在西部接受太行山前侧向径流补给,在东部以侧向径流形式流出,是太行山山前侧向径流对河北平原地下水补给的重要径流区<sup>[3~6]</sup>。

## 2 监测点的布置

水位监测点以能控制全区、在区域上能较为完整地反映区域地下水流场为布设原则,各观测点沿地下水流向和垂直地下水流向布置,主要对区域浅层地下水系统的上、中、下游进行监控,控制其边界的侧向径流及重点开采区的水位动态(图2)<sup>[7]</sup>。

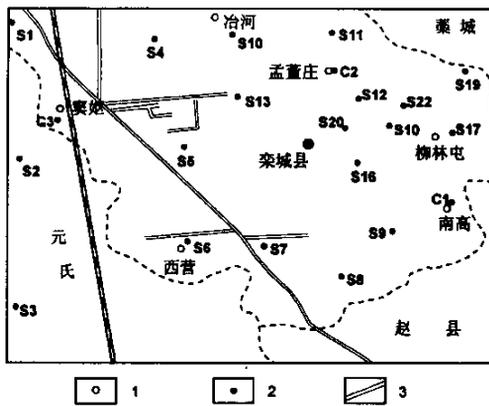


图2 地下水位监测点布置示意图

Fig.2 Sketch map showing the distribution of observational wells

1—居民点 2—水位观测点 3—污水渠

## 3 地下水动态特征

### 3.1 地下水多年动态特征

图3为研究区浅层地下水位多年动态变化曲线,可以看出,该区浅层地下水水位与多年的气候变化及人工开采密切相关,总体上呈现出阶梯连续下降趋势。

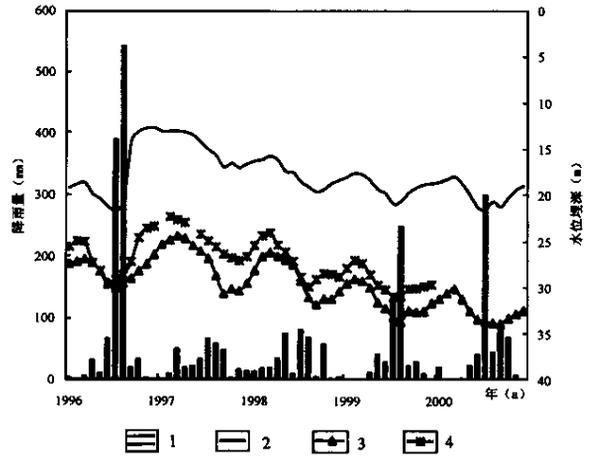


图3 研究区浅层地下水位及降雨量动态变化曲线

Fig.3 Relationship between groundwater table and precipitation in Luancheng County

1—降雨量(mm) 2—窦姬地下水埋深 3—南高地下水埋深; 4—聂家庄地下水埋深

由于受季风气候的影响,太行山前降雨量时空分布极不均匀,每遇旱年地下水的补给量减少,而开采量增加,引起地下水位大幅度下降;每遇丰年补给量增加,开采量相对减少,引起地下水位上升。现将研究区窦姬观测站的水位变幅与降雨量资料列于表1。

表1 窦姬观测站历年水位与降雨量关系

Table 1 Statistical values of groundwater table and precipitation in study area

年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
降雨量(mm)	554	441.1	420.7	475.1	687.3	1097.1	328.8	374.7	518.7	595.9
高水位埋深(m)	18.24	17.42	18.74	18.15	18.50	13.12	13.10	15.00	17.41	17.94
低水位埋深(m)	20.54	23.63	22.16	21.7	21.88	22.07	17.45	19.88	21.09	21.93
降幅(m)	2.3	6.21	3.42	3.55	3.38	8.94	4.35	4.88	3.68	3.99
升幅(m)	3.12	5.49	4.01	3.2	8.76	8.97	2.45	2.47	3.15	3.79

由表1可以看出,近10年内枯水年、平水年多于丰水年(降雨量大于600mm),除了1995、1996两个丰水年份地下水位升幅大于降幅外,其余年份大多为降幅大于升幅。这种长期亏损的结果,造成了地下水位呈阶梯状下降。

### 3.2 地下水年动态特征

研究区内地下水年动态受多种因素影响,呈现出不同的变化态势,各种影响因素中,尤以农业的季节性开采影响最为明显,地下水位表现为典型的开采型动态。

研究区处于太行山前,山区降雨相对较为丰富,区内的地下水能及时地得到补给,故地下水位的动态主要受降雨入渗、侧渗补给、排出及农业季节性开采的共同影响。由于区内大量开采地下水,浅层地下水埋深大都位于20m以下,故降雨直接入渗引起的地下水水位变化已不太明显,地下水主要表现为开采型动态。

对照研究区内的作物生育期灌溉时间制度(表2)<sup>[8]</sup>与年内地下水位的动态变化曲线(图4~图6)可以看出,年内地下水水位受农业开采的影响,具有明显的上升与下降阶段。年初1~2月份由于农业开采停止,地下水开采量减少,受太行山前侧向径流的补给作用,地下水水位缓慢回升,2月底达到年内的最高水位。3~6月份,受冬小麦各生育期阶段的灌水影响,地下水得不到及时的补给,水位持续下降。8月份雨季开始后,地下水开采量减小,地下水水位又开始缓慢回升,到了11月份下旬,由于冬灌的影响,地下水水位出现年内第二次下降,但降幅明显小于第一次,总的趋势仍是回升,直到下年2月份回升到最高值。

表2 研究区农作物灌溉制度一览表

Table 2 The irrigation systems in study area

农作物	灌水时间	生育期	灌水次数
冬小麦	10月上旬	底墒水(播种前)	1
	11月上旬	冬灌	1
	3月下旬	起身	1
	4月中旬	拔节	1
	5月上旬	孕穗	1
	5月下旬	灌浆	1
夏玉米	10/6~30/6	苗期(播前底墒水)	1
	1/7~31/7	拔节孕穗期	1
	1/8~20/8	抽雄吐丝	
	21/8~20/9	灌浆期	1

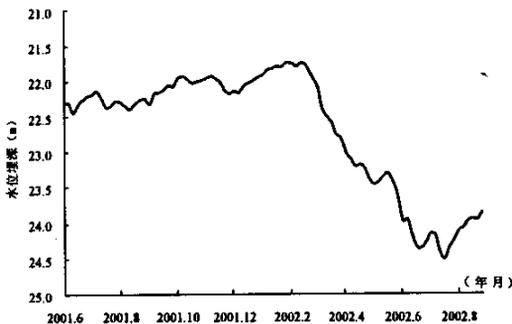


图4 S6观测点地下水水位动态变化曲线  
Fig.4 Groundwater burial depth curve of observational well S6

地下水年内动态不仅受本年度的开采强度和降雨量大小的影响,而且前一年的开采量和大气降雨对本年度的水位也有很明显的影 响。即前期的水位对后期的水位有制约性,后期的水位对前期的水位有继承性。1996年为丰水年,全区年降雨量1000多毫米,特别是“96.8”洪水后,全区地下水水位普遍得到回升,造成1997年的低水位期直到9月份才出现,且比上年低水位水位上升了近5m(图7)。

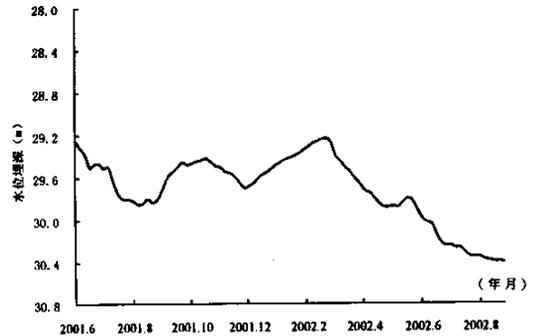


图5 S11观测点地下水水位动态变化曲线  
Fig.5 Groundwater burial depth curve of observational well S11

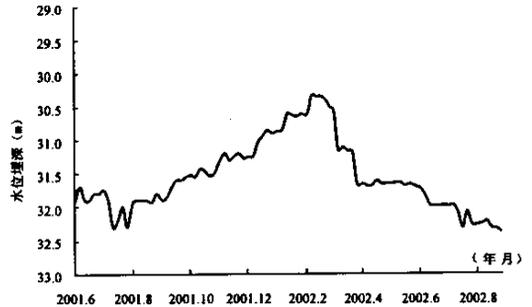


图6 S17观测点地下水水位动态变化曲线  
Fig.6 Groundwater burial depth curve of observational well S17

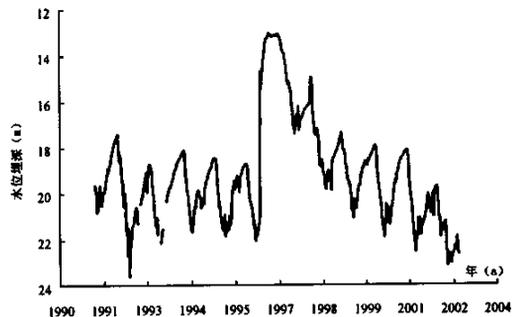


图7 窦姬观测站浅层地下水水位动态变化曲线  
Fig.7 Long-term burial depth curve of shallow water at Douyu observational station

另外,研究区局部地区由于常年利用石家庄市的城市污水进行灌溉<sup>[9]</sup>地下水的开采规模相对较小,地下水位年内变化幅度不太明显,图8为位于污灌区的浅层地下水位动态变化曲线。

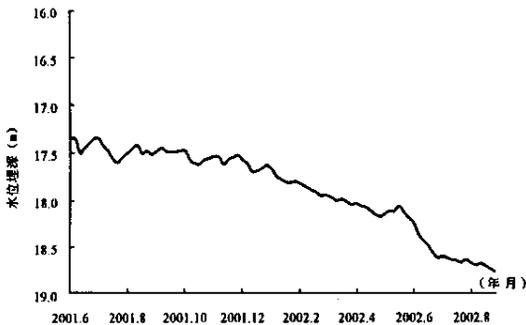


图8 S5观测点地下水位动态变化曲线  
Fig.8 Groundwater burial depth curve of observational well S5

#### 4 浅层地下水位趋势预测

采用灰色系统理论,对研究区现状开采条件下浅层地下水位总体变化趋势进行预测<sup>[10-13]</sup>。

##### 4.1 灰色 GM(1,1)模型建立

设某原始时间序列为:  $x_{(k)}$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, N$ 。其 GM(1,1)模型建模步骤如下:

(1)对原始数列  $x_{(k)}$ 作一次累加生成:

$$x_{(k)}^{(1)} = \sum_{m=1}^k x_{(m)}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, N$$

(2)构造矩阵  $B$  和  $Y$ :

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_{(1)}^{(1)} + x_{(2)}^{(1)}) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x_{(2)}^{(1)} + x_{(3)}^{(1)}) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x_{(N-1)}^{(1)} + x_{(N)}^{(1)}) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} x_{(2)} \\ x_{(3)} \\ \vdots \\ x_{(N)} \end{bmatrix}$$

(3)求模型中的系数向量:

$$\begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

(4)建立模型:

$$\hat{x}_{(k+1)}^{(1)} = \left[ x_{(0)}^{(1)} - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a}$$

其中:  $x_{(0)}^{(1)} = x_{(1)}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$

(5)还原数列:

$$\hat{x}_{(k)} = \hat{x}_{(k)}^{(1)} - \hat{x}_{(k-1)}^{(1)}$$

或 
$$\hat{x}_{(k+1)} = -a(x_{(1)} - u/a)e^{-ak}$$

(6)精度检验:

方法有相对误差法、关联度法、反验算法等。若拟合精度达到要求,即可进行预测。

##### 4.2 模型识别

根据上述原理,对研究区内孟董庄的长观点建立 GM(1,1)模型:

$$\hat{x}_{(k+1)}^{(1)} = 560.8684775 e^{0.035218k} - 541.5884775$$

此模型为指数形式,反映序列总体变化趋势(图9)。

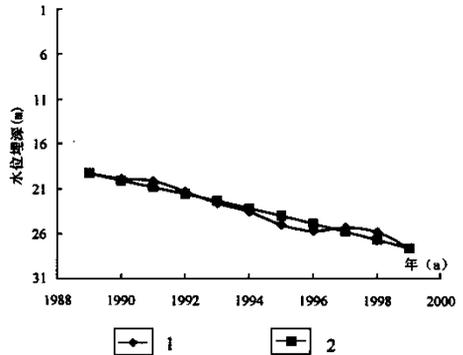


图9 孟董庄年均地下水位埋深拟合曲线

Fig.9 Fitted map of mean annual burial depth in Mengdongzhuang  
1—观测值 2—计算值

##### 4.3 精度检验

采取后验差检验法对模型精度进行检验,结果如下:

$$C = 0.22 < 0.35, P = 1 > 0.95 \text{ 精度为 GOOD}$$

模型预测精度均为 GOOD(很好),在研究区现状地下水开采条件下,保持井群布局与开采强度不变,可用该模型对地下水的总体发展趋势进行预测。

##### 4.4 模型预测

保持研究区的井群布局与开采强度不变,预测未来三年内孟董庄的年均地下水位埋深分别为 28.59、29.62 和 30.68m(平均每年下降 1.05m)。

#### 5 结论与建议

(1)研究区地下水开发利用程度较高,人为活动因素大,地下水动态完全是人为活动干扰下的动态过程,农业的季节性开采和各种形式的入渗量已成为影响地下水动态的主要因素。

(2)受农作物各生育阶段的灌水影响,地下水位表现为典型的开采型动态,年初 1~2 月份由于农业开采

停止,地下水位缓慢回升,2月底达到年内的最高水位,3~6月份,受冬小麦各生育期阶段的灌水影响,地下水位持续下降,8月份雨季开始后,地下水位又开始缓慢回升,到了11月份下旬,由于冬灌的影响,地下水位出现年内第二次下降,但总的趋势仍是回升,直到第二年2月份回升到最高值。

(3)由于开采规模的不断扩大,区内地下水埋深逐年下降,年下降幅度为1.05m。

(4)农业用水是研究区的用水大户,只有采取有效的农业节水措施,改变目前在研究区内普遍存在的大水漫灌方式,减少灌溉定额及灌溉水的输水损失,才能从根本上解决研究区的水资源压力,缓解地下水资源的持续下降。

#### 参考文献:

- [1] 栾城县水政水资源综合管理办公室. 石家庄市栾城县水资源开发利用现状调查报告[R]. 1993.
- [2] 潘家铮,张泽祯. 中国北方地区水资源的合理配置和南水北调问题[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2001.
- [3] 段永侯,肖国强. 河北平原地下水资源与可持续利用[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 2-8.

- [4] 韩再生. 海河流域地下水资源保护[J]. 水文地质工程地质, 2001, 28(1): 25-28.
- [5] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社, 1999.
- [6] 刘存富,王佩仪,周炼,等. 河北山前平原地下水<sup>32</sup>Si年龄初探[J]. 水文地质工程地质, 1999, 26(2): 1-9.
- [7] 陈葆仁,洪再吉,等. 地下水动态及其预测[M]. 北京:科学出版社, 1988.
- [8] 刘昌明,王会肖,等. 土-作物-大气界面水分过程与节水调控[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [9] 王贵玲,蔺文静. 污染灌溉对土壤的污染及其整治[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 163-166.
- [10] 黄咏庆,张勤,张至峰. 灰色GM(1,1)模型最优维数的研究[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 33-35.
- [11] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中工学院出版社, 1987.
- [12] 李俊亭,王文科. 灰色系统理论在水文地质工程地质中的应用[J]. 水文地质工程地质, 1997, 24(6): 17-18.
- [13] 左其亭. 地下水动态预测的灰色-周期外延组合预测模型[J]. 水文地质工程地质, 1996, 23(5): 16-19.

## Research on groundwater regime and its changing trends in Taihang Mountain-foot Plain of North China : A case study of Luancheng County , Hebei Province

WANG Gui-ling<sup>1,2</sup>, LIN Wen-jing<sup>2</sup>, LIU Hua-tai<sup>2</sup>, Chen Hao<sup>2</sup>

(1. Department of Earth Science , Nanjing University , Nanjing 210093 , China ;

2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology , CAGS , Shijiazhuang 050061 , China )

**Abstract :** With the rapid development of our national economy in the Taihang Mountain-foot Plain , the exploited volume of groundwater in this area has increased greatly , and the regional groundwater levels have sharp declined . On the basis of analyzing the hydrogeological condition and monitoring the shallow water levels in the whole study area , this paper revealed the groundwater regime features in Taihang Mountain-foot Plain . In addition , groundwater level changing trends were forecasted using GM(1,1) model and further some conclusions and suggestions were proposed . It 's suggested , seasonal agriculture exploitation is the main factor to affect the groundwater regime , and if we keep the actual state , the groundwater level will decline by 1m/a .

**Key words :** Luancheng County ; groundwater regime ; trend forecast