

## 河南省安阳市平原区地下水控制性管理水位研究

方 樟<sup>1,2</sup>, 谢新民<sup>2</sup>, 马 喆<sup>1</sup>, 柴福鑫<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 地下水资源与环境教育部重点实验室, 吉林 长春 130026;

2. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 从目前我国各级水行政主管部门在地下水管理中存在的实际问题出发, 提出了地下水控制性管理水位及阈值的概念与确定方法, 并提出以地下水可开采量作为总量控制指标、以地下水控制性管理水位及阈值作为考核指标的地下水资源管理模式。以河南省安阳市平原区作为示范区, 利用地下水流数值模拟方法确定了示范区不同季度不同水平年在不同降水保证率下的控制性管理水位及阈值, 将地下水控制性管理水位定量化。通过示范区的研究, 为试点开展最严格的地下水管理提供技术支撑, 对推动全国地下水管理工作的规范化、制度化和科学化具有重要的意义。

关键词: 地下水资源管理; 控制性管理水位; 阈值; 数值模拟

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.2014.10.009

## 1 研究背景

随着社会经济的快速发展, 近30多年来我国用水量持续增加<sup>[1]</sup>。许多地区在当地地表水资源供给不足的情况下, 长期大量超采地下水, 导致区域地下水位持续下降、含水层疏干、地面沉降、海(咸)水入侵、土地沙化、水质恶化等一系列环境地质问题<sup>[2-3]</sup>。

我国许多专家及学者对于地下水资源的管理方面开展了大量的工作。王浩等<sup>[4]</sup>对于最严格水资源管理制度的科技支撑进行了探析。夏军等<sup>[5]</sup>对可持续水资源管理研究进行了总结及展望。鹿海员等<sup>[6]</sup>通过系统分析水资源优化配置模型和地下水数值模拟模型的数据交换, 并将二者耦合迭代, 确定了新疆鄯善县的地下水可开采量。吴丽英等<sup>[7]</sup>通过分析提出了地下水资源管理中存在的问题并提出了建立以流域为单元的水资源统一管理体系。陶洁等<sup>[8]</sup>建立了最严格水资源管理制度三条红线控制指标及确定方法。唐克旺等<sup>[9]</sup>构建了以地下水自然属性、社会经济属性、生态环境属性为基础的地下水二级功能区划体系, 为不同地区地下水有针对性的管理提供了技术依据。

综上所述, 目前我国对于地下水的管理主要采用基于地下水可开采量的管理模式<sup>[10]</sup>。但地下水可开采量很难直接测量, 所以用多年平均可开采量这一指标来控制并指导地下水资源的开发利用时就可能在短期内引起地下水位的急剧变化, 很容易造成不可逆转的生态环境问题或地质灾害<sup>[10]</sup>。

地下水位是反映地下水资源量变化最直观的因素, 因此如果能将地下水位也作为地下水管理工作中的约束条件, 就可以弥补单纯以地下水水量控制指标管理地下水资源产生的问题。文献[11]基于地下水水量和水位的控制指标, 建立了地下水的二元管理体系, 提出了红线水位和蓝线水位以及地下水的红黄蓝分区模式。但对于我国目前地下水开采现状, 许多地区形势严峻, 难以达到设定期望的蓝线水位值, 而红线水位采用含水层厚度的2/3来划定, 划定过程非常机械, 没有针对不同地区因地制宜的确定。针对上述问题, 本文从地下水管理的实际问题出发, 提出以地下水可开采量为总

收稿日期: 2013-12-01

基金项目: 北京市科技计划项目(Z1211000003120036); 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室开放

研究基金项目(IWHR-SKL-201310)

作者简介: 方樟(1981-), 男, 浙江淳安人, 博士, 讲师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: azhang9456@126.com

量控制指标、以地下水控制性管理水位及阈值作为考核指标的地下水资源管理模式，建立地下水控制性管理水位及阈值的概念，并列举确定方法，最后以河南省安阳市平原区为示范区进行地下水控制性管理水位及阈值的确定。

## 2 地下水控制性管理水位及阈值的概念及确定方法

地下水控制性管理水位是从水资源管理者的角度出发，根据各个地区地下水开发利用现状及未来社会经济发展的用水需求，在不同现状水平年情景下(丰水年、平水年和枯水年)、不同规划管理阶段目标下地下水的极限控制水位。地下水控制性管理水位在不同季节应呈现动态变化。

根据不同现状水平年情景以及不同规划管理阶段目标可以确定多个地下水控制性管理水位。各控制性管理水位整合在一起构成一个由最小值到最大值的区间(阈值)，对于地下水位的控制管理允许在这个阈值中弹性变动。所以地下水控制性管理水位阈值是指针对不同现状水平年情景下、不同阶段管理目标下所有地下水控制性管理水位的区间范围。

对于一个区域内地下水控制性管理水位的确定方法主要包括水量均衡法、开采强度法、大井法、抽水试验法、数值模拟法以及地下水长系列动态资料分析方法等。对于地下水控制性管理水位可以通过分析历史开采量与地下水位之间的关系、现状用水量与地下水位之间的关系并结合未来地下水的需水量规划和预测确定未来地下水控制性管理水位。地下水模型在地下水开发和管理以及预测管理措施中扮演着重要角色<sup>[10]</sup>，本文以河南省安阳市平原区浅层地下水为研究对象，采用数值模拟法对示范区地下水控制性管理水位进行确定。

## 3 示范区研究

**3.1 示范区基本概况** 安阳市位于我国河南省最北部的晋、冀、豫三省交界处，属半湿润温带大陆性季风气候区，多年平均降水量约 565 mm，全市多年平均水资源总量为 12.56 亿  $\text{m}^3$ ，平原区面积 2 536.8  $\text{km}^2$ 。自 20 世纪 70 年代以来，安阳市地下水一直处于严重超采状态，水资源总量呈现出逐年减少的趋势，截止到 2010 年全市地下水已累计超采约 80 亿  $\text{m}^3$ <sup>[12]</sup>。

安阳市平原区地下水以孔隙潜水为主，总体流向由西向东。主要含水层为第四系中粗砂层、粉细砂层等。研究区地下水的补给以降水入渗和地表水入渗为主，其次为地下水灌溉回渗及侧向径流补给；地下水的排泄方式主要为人工开采，其次以内黄县东北部侧向径流排泄，由于地下水位埋藏均较深(一般>5 m)，蒸发排泄在安阳市平原区内极其微弱，可忽略不计<sup>[13]</sup>。由于近十几年气候干旱和超量集中开采，在安阳市城区已形成大面积地下水降落漏斗(约 142.84 ~ 149.38  $\text{km}^2$ )<sup>[12-14]</sup>。

**3.2 地下水流数值模型的建立** 根据示范区水文地质条件，结合地下水位长期观测资料以及地下水实际开采情况等，利用三维地下水流数值模拟软件 GMS(Groundwater Modeling System 6.0)，将安阳市平原区潜水开采层概化为一个具有统一水力联系的地下水系统，并将该系统概化为非均质各向同性且与外界环境有密切联系的开放性系统。计算区域内地下水径流方向总体为由西南向东北，而安阳市中心则以地下水降落漏斗为中心，由四周向漏斗中心汇流，因此将系统的部分边界概化为 I 类水头边界；将地下水的水动力特征概化为微承压准三维非稳定流，并且符合达西定律。假设不同的降水入渗补给条件下，不同规划水平年全区地下水的管理红线水位，并以代表性监测井所在位置的控制性管理水位作为规划水平年地下水的控制性管理水位，可为示范区地下水的控制管理提供科学依据。

**3.2.1 水文地质参数分区概化及参数初值** 为了便于管理，本次水文地质参数的分区考虑将行政管理分区和水文地质分区相结合。首先按照行政分区，将安阳市平原区划分为安阳市(郊)、安阳县、汤阴县和内黄县 4 个地级行政管理分区(2011 年 6 月起，滑县作为省直管试点县之一，不包含在本次研究范围之内)，然后根据区内搜集的抽水试验、钻孔柱状图及水文地质剖面等资料分析示范区的水文地质条件后，又将这 4 个地级行政管理分区划分为 13 个管理子分区(表 1)。其中建成区内的安阳市

Figure 1 consists of two maps showing the distribution of monitoring points in the study area. The left map shows the urban area of Anyang City, including Long'an District, Diemei District, and Wufeng District, with monitoring points J1-J4 and SC1-4. The right map shows the surrounding area with monitoring points AYX1-32, NHX19-30, and TYX7-18. A legend at the bottom explains the symbols for urban boundaries, administrative boundaries, groundwater sources, monitoring points, county boundaries, county-level boundaries, and rivers.

Legend:

- 城区界线 (Urban boundary)
- 地市级管理亚区 (Sub-administrative area of city/county level)
- 地下水源地 (Groundwater source)
- 代表性监测井 (Representative monitoring well)
- 代表性监测井位置及编号 (Position and number of representative monitoring well)
- 研究区边界 (Study area boundary)
- 管理分区 (Management division)
- 县市 (County/City)
- 县市界线 (County/City boundary)
- 河流 (River)

图2 非建成区代表性监测井位置分布

地市级管理分区	县市面积/km <sup>2</sup>	地市级管理亚区	分区域别	分区面积/km <sup>2</sup>	渗透系数/(m/d)	给水度
安阳市(郊)	166.5	I <sub>1-1</sub>	建成区集中供水水源区	9.29	90	0.202
		I <sub>1-2</sub>	建成区分散式开发利用区	157.21	90	0.202
安阳县	786.3	II <sub>1</sub>	非建成区分散式开发利用区	86.8	90	0.202
		II <sub>2</sub>	非建成区分散式开发利用区	244.8	90	0.202
		II <sub>3</sub>	非建成区分散式开发利用区	234.5	80	0.182
		II <sub>4</sub>	非建成区分散式开发利用区	220.2	60	0.152
汤阴县	438.0	III <sub>1</sub>	非建成区分散式开发利用区	247.4	80	0.182
		III <sub>2</sub>	非建成区分散式开发利用区	190.7	50	0.115
内黄县	1146.0	IV <sub>1</sub>	非建成区分散式开发利用区	118.2	50	0.115
		IV <sub>2</sub>	非建成区分散式开发利用区	111.4	60	0.152
		IV <sub>3</sub>	非建成区分散式开发利用区	436.1	40	0.110
		IV <sub>4</sub>	非建成区分散式开发利用区	455.9	50	0.120
		IV <sub>5</sub>	非建成区分散式开发利用区	24.3	50	0.121
合计	2536.8			2536.8		

(2)垂向边界条件。示范区潜水含水层上部为水量交换边界,接受大气降水等补给项的入渗补给,含水层底部与第四系泥岩以及奥陶系灰岩等基岩接触,本文将其概化为隔水边界。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \partial}{\partial x} \left[ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y} \right] + Q_r - Q_d - \sum_{i=1}^n Q_i = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \\ H(x, y, t) \Big|_{t=0} = h_0(x, y, t) \quad (x, y) \in D \\ H(x, y, t) \Big|_{\Gamma_1} = h_1(x, y, t) \quad (x, y) \in D, t > 0 \\ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, t) \quad (x, y) \in D, t > 0 \end{array} \right. \quad (1)$$



式中： $K$ 为含水层、弱透水层渗透系数， $\text{m/d}$ ； $\mu$ 为潜水含水层给水度； $H$ 为地下水水位， $\text{m}$ ； $h_0$ 为初始水位， $\text{m}$ ； $B$ 为潜水含水层底板高程， $\text{m}$ ； $Q_r$ 为补给量， $\text{m}^3/\text{d}$ ； $Q_d$ 为排泄量， $\text{m}^3/\text{d}$ ； $Q_i$ 为大井开采量， $\text{m}^3/\text{d}$ ； $h_1$ 为Ⅰ类边界点的水位， $\text{m}$ ； $q$ 为Ⅱ类边界单宽流量， $\text{m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$ ； $x, y$ 为坐标， $\text{m}$ ； $D$ 为计算区范围； $n$ 为边界上的内法线； $\Gamma_1, \Gamma_2$ 为Ⅰ类及Ⅱ类边界。

上述偏微分方程、初始条件和Ⅰ类、Ⅱ类边界条件，共同组成定解问题。

3.2.4 数学模型的求解 GMS具有良好的使用界面，强大的前处理、后处理功能及优良的三维可视效果。其求解方法是在区域D上采用矩形剖分和线性插值，应用克里金有限差分法将上述数学模型离散为有限差分方程组，利用计算程序自动求解。同时应用软件对示范区进行单元自动剖分和数据自动采集，包括各结点含水层顶、底板高程、地下水水位等大量数据的自动插值，在确保计算精度的基础上，极大地提高了工作效率。

示范区面积为 $2\,536.8\text{ km}^2$ ，使用MODFLOW模块对计算区进行自动剖分，共剖分为 $9\,352$ 个网格（ $150\text{行}\times 150\text{列}$ ），每个网格长 $560\text{ m}$ ，宽 $500\text{ m}$ ，面积为 $0.28\text{ km}^2$ （图3）。

模型的识别期为2005年1月到2008年12月，模型的应力期为6个月，每个应力期6个时间步长。故整个识别期时间长度为4年，共分为8个应力期，每个应力期分为6个时间段。验证期选择2009年1月到2009年12月，应力期为1个月，每个应力期3个时间步长。故整个验证期时间长度为1年，共分为12个应力期，每个应力期分为3个时间段。

3.3 模型的识别与验证 本文采用2005年1月1日至2008年12月31日的实测数据对模型进行识别，采用2009年1月1日至2009年12月31日实测数据对模型进行验证。

3.3.1 源汇项的处理 本文的主要补给项包括：大气降水入渗补给、侧向径流补给、地表水入渗补给和井灌回归补给。

主要排泄项包括：人工开采（包括城市及农村生活用水、工业用水、农业井灌用水、林牧副渔用水和生态环境用水）、侧向径流排泄。通过均衡计算得到2005—2009年的源汇项计算结果见表2。

表2 2005—2009年安阳市平原区地下水源汇项计算结果 （单位： $10^4\text{ m}^3$ ）

源汇项	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
大气降水入渗补给	32 240.13	26 199.28	28 661.12	33 518.14	30 665.12
侧向径流补给	265.83	193.75	207.45	203.72	205.77
地表水入渗补给	5 567.28	7 343.81	7 404.30	10 580.90	7711.00
井灌回归补给	3 720.49	5 028.01	5 085.67	4 205.55	3970.28
城市生活用水	5 291.44	5 464.31	5 171.90	5 184.07	5828.82
工业用水	4 052.80	8 439.10	7 649.50	7 112.60	9110.10
农业井灌用水	47 952.86	57 915.29	51 395.61	40 221.68	33725.67
侧向径流排泄	80.64	86.66	101.38	138.25	168.00
农村生活用水	2 784.10	2 767.90	2 770.60	2 813.10	2817.40
林牧副渔用水	3 682.30	2 776.00	2 253.00	2 332.00	2867.90
生态环境用水	91.46	200.56	1 653.00	4 550.79	4213.86

3.3.2 模型识别及验证结果 模型模拟期的初始流场采用2005年1月1日示范区地下水流场（图4），将模拟期内各源汇项输入模型后，运行至2009年12月31日。将模拟期内各年丰枯水期模型计算水位

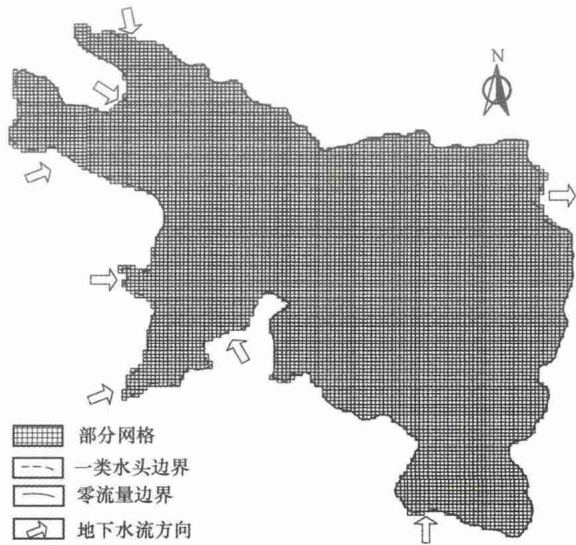


图3 示范区边界概化及网格剖分

与实测水位进行拟合。识别期、验证期拟合结果见图5与图6。

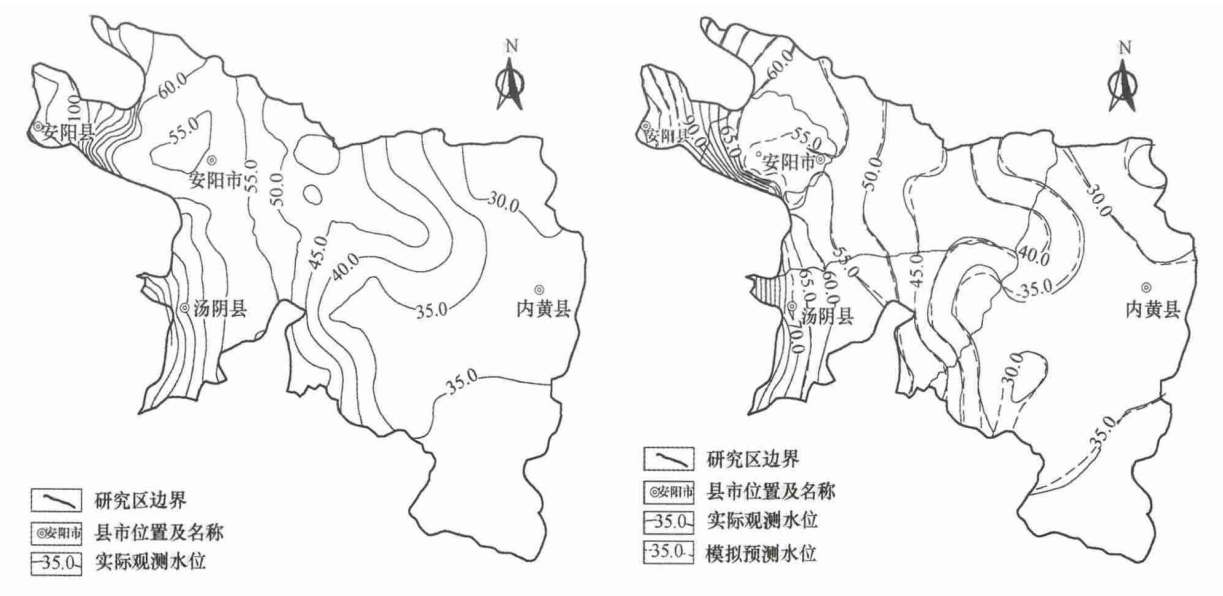


图4 识别期地下水初始流场(2005年1月1日)

图5 识别期末地下水流场(2008年12月31日)

对地下水计算出的水位与实测水位拟合误差进行统计,统计表明水位拟合误差小于0.5 m的结点占已知水位结点数的80 % 以上,从等水位线拟合图上可以看出,计算水位与实测水位等值线的整体拟合程度良好。部分代表性长观井实测水位与计算水位拟合曲线见图7 图10。



图6 验证期末地下水等水位线拟合(2009年12月31日)



图7 梁庄镇石庄村长观井(NHX22)识别期水位拟合曲线

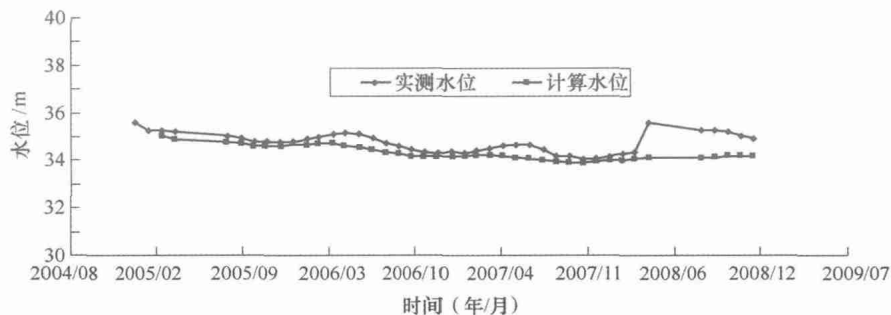


图8 六村乡长观井(NHX12)识别期水位拟合曲线

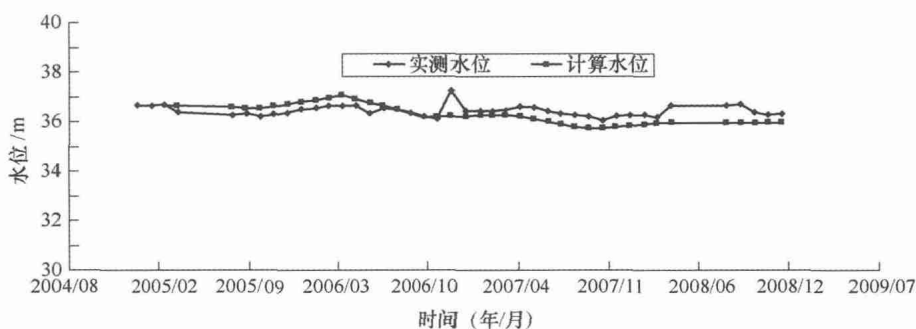


图9 中召乡东街村长观井(NHX23)识别期水位拟合曲线

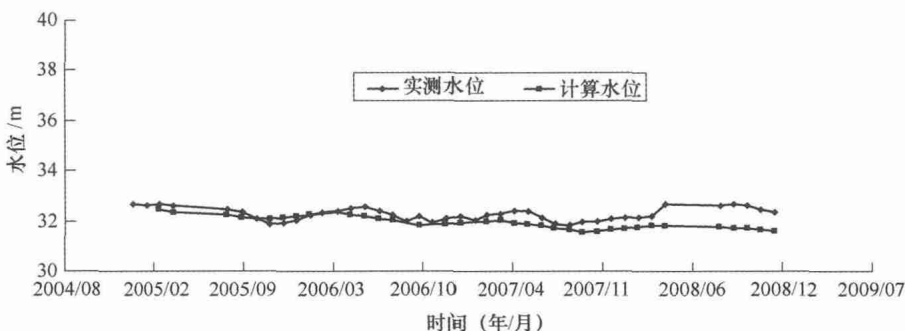


图10 张龙乡中流河村长观井(NHX35)识别期水位拟合曲线

以上分析表明,该数值模型的识别计算精度较高,通过长时间序列(多个水文年)识别、验证后的模型具有相当高的模拟能力和计算精度的保证,能反映出示范区第四系含水系统的实际特征,通过反演所确定的水文地质参数是可靠的。因此,该模型可以用于预测未来地下水流场的变化,识别后的水文地质参数见表3。

### 3.4 各分区控制性管理水位及阈值的确定

3.4.1 不同降水补给条件和规划水平年的确定 利用已建立的地下水水量模型,以2010年1月1日地下水流场作为初始流场,通过不同情景下的地下水流场的预测,得到不同情景下代表性监测点的地下水位,作为该情景下地下水控制性管理水位。由于安阳市是南水北调工程的受水区之一,预计到2015年之后将为该区提供补给,因此地下水的开采量将明显下降,本文设置了3个情景。

(1)情景一。利用已有降水资料(1965—2010年),选择丰水段地下水补给量作为2011—2015年的补给量,在2015年选择降水量(取 $P=25\%$ ),地下水在2011—2015年按照现状开采量开采,并在此基础上考虑2015年后南水北调工程影响下地下水需水量变化,预测地下水位到2020年时的变化情况。

(2)情景二。利用已有降水资料(1965—2010年),选择平水段地下水补给量作为2011—2015年的补给量,在2015年选择降水量(取 $P=50\%$ ),地下水在2011—2015年按照现状开采量开采,并在此基础

表3 识别后各分区参数值

县 市	分区编号	分区面积/km <sup>2</sup>	渗透系数/(m/d)	给水度
安阳市(郊)	I <sub>1-1</sub>	9.29	95	0.212
	I <sub>1-2</sub>	157.21	95	0.212
安阳县	II <sub>1</sub>	86.8	85	0.202
	II <sub>2</sub>	244.8	85	0.202
	II <sub>3</sub>	234.5	80	0.182
	II <sub>4</sub>	220.2	65	0.152
	III <sub>1</sub>	247.4	70	0.182
汤阴县	III <sub>2</sub>	190.7	55	0.125
	IV <sub>1</sub>	118.2	45	0.118
内黄县	IV <sub>2</sub>	111.4	55	0.122
	IV <sub>3</sub>	436.1	40	0.115
	IV <sub>4</sub>	455.9	38	0.112
	IV <sub>5</sub>	24.3	35	0.110

上考虑2015年后南水北调工程影响下地下水需水量变化,预测地下水位到2020年时的变化情况。

(3)情景三。利用已有降水资料(1965—2010年),选择枯水段作为2011—2015年的地下水补给量,在2015年选择降水量(取 $P=90\%$ ),地下水在2011—2015年按照现状开采量开采,并在此基础上考虑2015年后南水北调工程影响下地下水的需水量变化,预测地下水位到2020年时的变化情况。

3.4.2 各分区控制性管理水位及阈值的确定 目前在国内地下水资源管理部门对于用水单位的开采量考核基本是每个季度1次<sup>[4]</sup>。因此为了便于水资源管理和考核,在年内每个季度确定1个红线水位,以便与当前水资源管理部门的用水量季度考核制度相匹配。利用安阳市长观井多年观测资料结合模型综合确定不同规划水平年各管理分区各季度的地下水控制性管理水位见表4和表5。

表4 模拟法确定建成区部分代表性监测点地下水控制性管理水位阈值 (单位:m)

管理分区	分区面积/km <sup>2</sup>	编 号	春季	夏季	秋季	冬季
I <sub>1-1</sub>	9.29	SC1-1	55.1 ~ 55.99	53.92 ~ 57.09	53.61 ~ 57.48	53.57 ~ 57.52
		SC1-2	54.71 ~ 55.60	53.53 ~ 56.70	53.22 ~ 57.09	53.18 ~ 57.13
		SC2-1	55.04 ~ 55.93	53.86 ~ 57.03	53.55 ~ 57.42	53.51 ~ 57.46
		SC2-2	53.94 ~ 54.83	52.76 ~ 55.93	52.45 ~ 56.32	52.41 ~ 56.36
		SC3	53.78 ~ 54.67	52.6 ~ 55.77	52.29 ~ 56.16	52.25 ~ 56.2
		SC4-1	56.66 ~ 57.55	55.48 ~ 58.65	55.17 ~ 59.04	55.13 ~ 59.08
		SC4-2	54.81 ~ 55.70	53.63 ~ 56.80	53.32 ~ 57.19	53.28 ~ 57.23
I <sub>1-2</sub>	157.21	J1	56.84 ~ 57.77	55.66 ~ 58.87	55.35 ~ 59.26	55.31 ~ 59.30
		J2	63.86 ~ 64.79	62.68 ~ 65.89	62.37 ~ 66.28	62.33 ~ 66.32
		J3	56.01 ~ 56.94	54.83 ~ 58.04	54.52 ~ 58.43	54.48 ~ 58.47

从表中可以看出,示范区内地下水控制性管理水位及阈值总体趋势为由西往东逐渐降低。全区代表性监测点地下水控制性管理水位最大值为102.79 m,在示范区西部的安阳县境内的II<sub>1</sub>区(AYX28),最小值为19.1 m,在研究区东南部的汤阴县境内IV<sub>3</sub>区(TYX18),分析原因该处由于近年城区地下水集中超采较严重,形成了局部的小降落漏斗,导致用水高峰季节的地下水位较低,但在春季用水量较少,水位迅速抬升,基本保持在35.5 ~ 35.72 m之间。

从地下水控制性管理水位阈值区间来看,各地区变化也较大,阈值区间范围在0.03 ~ 4.67 m之间。最小的只有0.03 m(NHX25、NHX29),为内黄县的春季,表明这一地区地下水的动态变化很不明显,分析原因为该区为农业灌溉区,这一季节受人工开采影响很小,因此地下水控制性管理水位基本保持不变;阈值区间范围最大的达到了4.67 m(SC4-1),为安阳市市区的冬季,表明这一地区该



表5 模拟法确定非建成区部分代表性监测点地下水控制性管理水位阈值

(单位:m)

管理分区	分区面积/km <sup>2</sup>	编 号	春季	夏季	秋季	冬季
II <sub>1</sub>	86.8	AYX28	102.38 ~ 102.79	100.93 ~ 101.6	101.39 ~ 101.97	101.33 ~ 102.34
		AYX33	91.05 ~ 91.45	85.35 ~ 85.52	86.42 ~ 86.7	84.44 ~ 84.85
II <sub>2</sub>	244.8	AYX25	42.92 ~ 43.07	42.12 ~ 42.59	41.59 ~ 42.06	41.65 ~ 42.62
		AYX32	48.62 ~ 48.77	47.79 ~ 48.26	46.5 ~ 49.97	47.59 ~ 48.66
II <sub>3</sub>	234.5	AYX21	47.60 ~ 47.82	45.67 ~ 45.89	46.06 ~ 47.24	46.7 ~ 47.03
		AYS27	55.40 ~ 55.52	52.08 ~ 52.30	53.29 ~ 54.07	54.19 ~ 54.52
II <sub>4</sub>	220.2	AYX17	43.38 ~ 43.50	41.94 ~ 42.20	40.68 ~ 41.67	41.27 ~ 42.02
		AYX30	33.25 ~ 33.37	31.02 ~ 31.28	32.54 ~ 33.73	34.01 ~ 34.33
III <sub>1</sub>	247.4	TYX7	74.36 ~ 74.57	69.62 ~ 69.85	69.22 ~ 70.17	68.28 ~ 69.40
		TYX16	59.56 ~ 60.17	55.6 ~ 55.83	54.44 ~ 55.69	56.05 ~ 56.57
		TYX28	56.91 ~ 57.52	54.38 ~ 54.61	54.45 ~ 55.70	55.87 ~ 56.29
III <sub>2</sub>	190.7	TYX18	35.50 ~ 35.72	19.10 ~ 19.45	19.19 ~ 20.40	19.23 ~ 20.26
IV <sub>1</sub>	118.2	NHX25	36.08 ~ 36.11	34.9 ~ 34.97	35.01 ~ 36.02	35.45 ~ 35.97
IV <sub>2</sub>	111.4	NHX29	35.31 ~ 35.34	34.44 ~ 35.25	34.31 ~ 35.52	34.54 ~ 35.17
		NHX30	23.79 ~ 24.03	23.0 ~ 24.73	24.09 ~ 24.39	23.76 ~ 23.81
		NHX19	30.01 ~ 30.25	28.95 ~ 30.41	29.82 ~ 30.12	29.96 ~ 30.01
IV <sub>3</sub>	436.1	NHX23	36.41 ~ 36.54	35.47 ~ 35.8	36.54 ~ 36.8	36.6 ~ 36.84
		NHX26	28.57 ~ 28.9	26.37 ~ 26.69	27.5 ~ 27.74	27.43 ~ 27.46
		NHX21	37.55 ~ 37.88	36.51 ~ 36.83	37.6 ~ 37.84	37.42 ~ 37.55
IV <sub>4</sub>	455.9	NHX23	36.41 ~ 36.54	35.47 ~ 35.8	36.54 ~ 36.8	36.6 ~ 36.84
IV <sub>5</sub>	24.3	NHX23	36.41 ~ 36.54	35.47 ~ 35.8	36.54 ~ 36.8	36.6 ~ 36.84

季节地下水的动态变化非常明显,分析原因因为该区的地下水水厂主要供应生活用水,地下水开采量较大且年内分配较均匀,而这一季节地下水的补给量较少,因此冬季地下水位的变动幅度较大。

#### 4 结论

地下水控制性管理水位是从水资源管理者的角度出发,根据各地区地下水开发利用现状及未来社会经济发展的用水需求,在不同现状水平年情景下(丰水年、平水年、枯水年)、不同规划管理阶段目标下地下水的极限控制水位,地下水控制性管理水位应随季节呈现动态变化。而地下水控制性管理水位阈值是指针对不同现状水平年情景下、不同阶段管理目标下所有地下水控制性管理水位的区间范围。

本次研究以河南省安阳市平原区为示范区,通过对该区地质及水文地质条件分析、地下水实际利用情况、可开采资源量以及不同频率地下水资源量分析,建立地下水模型,通过不同方案下地下水流场的预测,确定了研究区不同地区代表性监测井的地下水控制性管理水位及阈值,为地下水的有效控制管理提供了参考。

#### 参 考 文 献:

- [ 1 ] 左其亭,谈戈.可持续发展与地下水资源管理研究[J].工程勘察,1999(6):24-28.
- [ 2 ] 水利部水资源司,南京水利科学研究院水资源研究所.21世纪初期中国地下水资源开发利用[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [ 3 ] 左其亭,周可法,夏军,等.干旱区流域可持续水资源管理量化研究方法及应用[J].中国科学:D辑,2006,36(S2):9-14.



- [ 4 ] 王浩. 实行最严格水资源管理制度的科学支撑探析[R]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2012.
- [ 5 ] 夏军. 可持续水资源管理研究与展望[J]. 水科学进展, 1997, 18(4): 370-375.
- [ 6 ] 鹿海员, 谢新民, 郭克贞, 等. 基于水资源优化配置的地下水可开采量研究[J]. 水利学报, 2013, 44(10): 1182-1188.
- [ 7 ] 吴丽英. 地下水资源管理中存在的问题及解决方法[J]. 地下水, 2011, 33(3): 26-27.
- [ 8 ] 陶洁, 左其亭, 薛会露, 等. 最严格水资源管理制度 三条红线 控制指标及确定方法[J]. 节水灌溉, 2012(4): 64-67.
- [ 9 ] 唐克旺. 地下水功能区划体系及其应用[J]. 水利学报, 2012, 43(11): 1349-1356.
- [ 10 ] 宫爱玺. 天津市地下水资源水位-水量 二元 管理体系研究[D]. 天津:天津大学, 2011.
- [ 11 ] Fawen Li, Ping Feng, Wei Zhang, et al. An integrated groundwater management mode based on control indexes of groundwater quantity and level[J]. Water Resource Management, 2013, 27: 3273-3292.
- [ 12 ] 安阳市水利局. 安阳市水资源公报[Z]. 2010.
- [ 13 ] 任国峰. 基于可持续发展的安阳城市节水管理工程体系研究[D]. 南京:河海大学, 2006.
- [ 14 ] 席蕾, 刘清霞, 李景海. 安阳市地下水资源保护措施探讨[J]. 河南水利与南水北调, 2012(12): 1-5.
- [ 15 ] Tamma Rao G, Gurunadha Rao V V S, Surinaidu L, et al. Application of numerical modeling for groundwater flow and contaminant transport analysis in the basaltic terrain, Bagalkot, India[J]. Arab. J. Geosci., 2013(6): 1819-1833.

## Confirmation of controlled groundwater management level and demonstration study in Anyang City, Henan Province

FANG Zhang<sup>1,2</sup>, XIE Xin-min<sup>2</sup>, MA Zhe<sup>1</sup>, CHAI Fu-xin<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education,  
Jilin University, Changchun 130026, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** In view of the practical problems existing in groundwater management for correspond departments in China, a kind of management mode for groundwater is proposed in this paper. The mode indicates that both water quality and groundwater level should be considered. In the proposal, the groundwater extraction volume is the total control indicator and the controlled groundwater management level is taken as an assessment indicator. Taking the plain area of Anyang city in Henan Province as an example, a groundwater model has been developed on the basis of the analysis of historical water level variation and groundwater assessment. The controlled groundwater management level and its range in different seasons and target years under the different guarantee rates of precipitation are confirmed by the model. The quantification of groundwater quantity and water level provides technical support for the pilot to carry out the stringent groundwater management, and it will be a promotion of the national groundwater management standardization and institutionalization.

**Key words:** groundwater resources management; controlled groundwater management level; threshold value; numerical simulation

(责任编辑:王学凤)