

## 农业节水缓解地下水位下降效应的模拟

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

(1. 北京大学 环境学院, 北京 100871; 2. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

**摘要:** 本文结合河北省栾城县农业节水措施的实施, 在分析研究区地下水赋存及运移规律的基础上, 采用FELLOW软件和有限差分方法进行了农业节水措施的实施对地下水影响的模型研究。在模型中设计了两个水资源开发利用方案: 方案 , 保持现有的地下水开发利用模式; 方案 , 根据中国科学院石家庄农业现代化研究所在研究区所作的试验研究, 将不同节水技术配套组装后的地下水开发利用模式。通过这两个水资源开发利用方案的模型研究表明: 采取综合农业节水措施后, 地下水位下降速率明显减缓, 10年后水位减缓下降达10.18m, 农业节水缓解地下水位下降效果明显。

**关键词:** 节水农业; 地下水位; 模型

**中图分类号:** S273.4 **文献标识码:** A

利用模拟模型对地下水流和溶质运移等问题进行模拟的方法以其有效性、灵活性和相对廉价性逐渐成为地下水研究领域的一种不可缺少的重要方法, 得到了广泛的应用。运用先进的地下水模拟软件, 建立区域地下水水流模型, 进行区域水资源评价, 预测各种变异条件下地下水的变化趋势, 已成为研究区域地下水一种非常有效的方法。

研究区位于石家庄市东南郊栾城县, 区内农业发达, 是华北平原重要的商品粮基地。农田灌溉以开采地下水为主, 随着开采规模的不断扩大, 地下水位持续下降, 造成了大量机井的报废, 给当地农民造成了很大的经济负担, 在一定程度上制约了本区工农业的发展<sup>[1, 2]</sup>。农业节水措施的实施, 必将在一定程度上减少地下水开采量, 从而直接影响到区内的浅层地下水水位, 因此, 研究农业节水措施的实施对区内浅层地下水水位的影响有着非常重要的意义。

## 1 研究区概况

**1.1 地下水系统划分** 研究区位于太行山前倾斜平原区, 属于太行山山前平原区水文地质单元的一部分。由于受基底构造控制, 第四系沉积物较厚, 且由西北向东南逐渐增厚(图1)。按沉积次序及岩性共划分为两个亚区, 即滹沱河冲、洪积扇与槐沙河冲积扇亚区<sup>[3]</sup>。

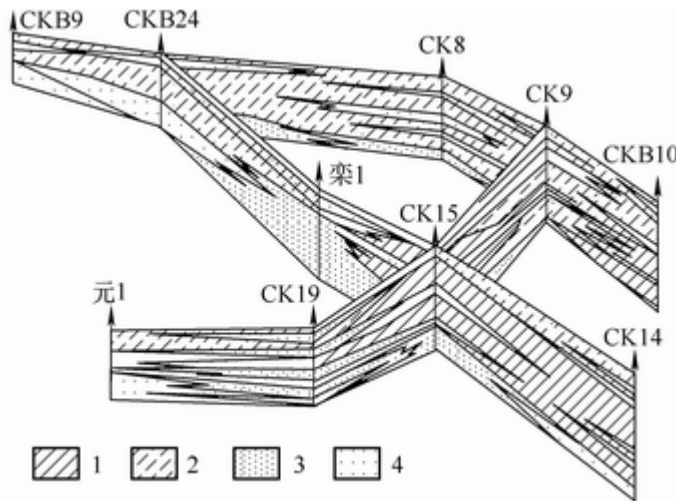
**1.1.1 滹沱河冲、洪积扇亚区** 第 含水组(Q<sub>4</sub>): 底板埋深在12~20m。含水层一般0~2层, 单层厚2~5m。颗粒一般为细-中细沙, 赋有孔隙潜水, 量小无单独成井价值。第 含水组(Q<sub>3</sub>): 底板埋深60~120m。含水层3~7层。单层厚度, 北部5~15m, 个别达20m, 南部较薄。含水层岩性从北向南由粗变细。该组与第一含水组有密切的水力联系, 属微承压含水岩组, 是目前主要开采段, 也是本文的重点研究对象。第 含水组(Q<sub>2</sub>): 底板埋深160~230m。含水层岩性, 上段以中、中细沙为主, 个别地方含卵砾石, 下段以粗-粗中砂含卵石为主。含水层5~10层, 单层厚3~7m。该含水组顶部有一厚度为10~30m, 以亚黏土-亚砂土为主

收稿日期: 2003-12-29

基金项目: 河北省重点科技攻关项目资助(01220703D)

作者简介: 王贵玲(1964-), 男, 河北邢台人, 博士, 研究员, 主要从事地热及水资源研究。

组成的稳定隔水层，使其成为承压水。第 含水组( $Q_1$ )：含水层变化很大，底板埋深308~421.7m，含水层0~10层，单层厚5~15m。



1-黏土；2-亚黏土、亚砂土；3-中细砂、粉砂；4-粗砂、卵砾

图1 研究区浅层含水层立体结构剖面

1.1.2 沙河冲积扇亚区 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。

1.2 区域地下水动态特征 研究区农业发达，是华北平原重要的商品粮基地。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 3~4m 下降到 2000 年的 20~30m(图 2)。区内浅层地下水排泄量为 1.82 亿  $m^3/a$ ，人工开采所占比例高达 95%，多年平均开采量为 1.649 亿  $m^3/a$ ，其中农业开采量约占总开采量的 86.5%，农业开采量所占比重居高不下是造成区内浅层地下水位逐年下降的主要原因。由于地下水位的下降，造成了大量机井的报废，给当地农民造成了很大的经济负担，在一定程度上制约了本区工农业的发展。

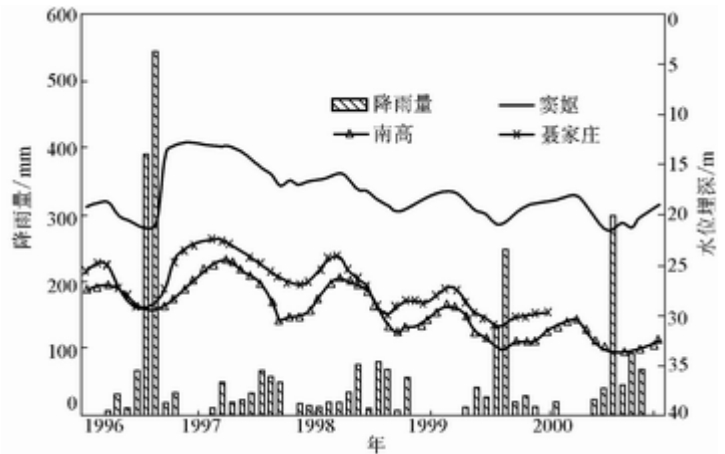


图 2 研究区浅层地下水水位及降雨量动态变化曲线

## 2 农业节水缓解地下水位下降的数值模拟

2.1 水文地质概念模型 根据前述的水文地质条件，区内浅层地下水含水层交错层叠，混合开采，主要开采段第一、第二含水层具有统一的地下水位，故在垂向上可概化为1层，即浅层潜水和微承压水含水

组,上边界为潜水含水层的自由水面,通过该边界,地下水系统与外界发生垂向水量交换,如降水和灌溉入渗、潜水蒸散发等,下边界为一相对隔水的黏土层,可视为隔水边界。研究区的南北边界与地下水等值线近似直交,水量交换量很小,视为隔水边界;研究区在西北部边界接受太行山的侧向径流补给,侧向流入量较大,为第二类边界(流量边界);东南部边界与地下水水位等值线近似平行,水力坡度变化不大,为交流量边界,流出水量随边界地下水位的变化而变化。

**2.2 地下水流数值模拟模型** 综上所述,将研究区浅层地下水系统概化为平面二维潜水非稳定流含水层,可用以下微分方程的定解问题来描述<sup>[4,5]</sup>

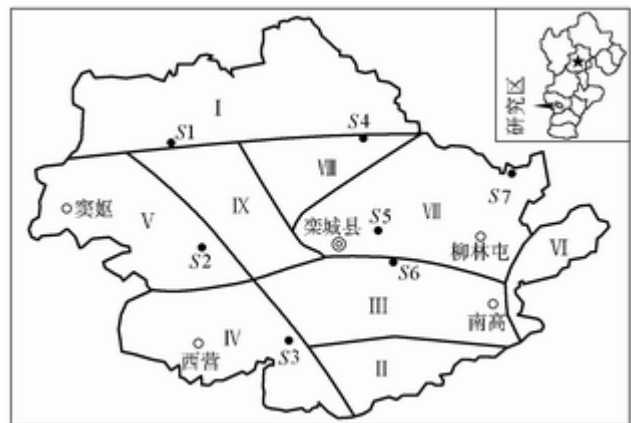
$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y} \right] = \mu \frac{\partial H}{\partial t} + W(x, y) \in D \quad t \geq 0 \\ H(x, y, t)|_{t=0} = H_0 \quad (x, y) \in D, t \geq 0 \\ K_n(H-B) \frac{\partial h}{\partial n} |_{\Gamma_1} = q(x, y, t), \quad (x, y) \in \Gamma_1, t \geq 0 \end{cases}$$

式中:K为含水层渗透系数(m/d);H(x, y, t)为区内各点不同时刻的水位(m);B(x, y)为区内各点含水层底板标高(m);μ为给水度;t为计算时间(d);W为含水层的源汇项(m<sup>3</sup>/d);D为渗流区域;K<sub>n</sub>为边界法向方向的渗透系数;Γ<sub>1</sub>为渗流区域二类边界;q(x, y, t)为二类边界的单位面积流量(m<sup>3</sup>/(d·m<sup>2</sup>)),流入为正,流出为负,隔水边界为0。

**2.3 地下水数值模拟模型** 采用FEFLOW对研究区地下水流进行模拟,利用该系统的地理信息系统接口,用户可方便的直接利用已有的GIS空间多边形数据生成有限单元网格,设置模型参数。模拟结果既能按ASCII码文件、GIS地理信息系统文件、DXF文件输出,又能在FEFLOW系统中直接显示和成图,FEFLOW提供了其他任何地下水模拟软件都无法比拟的、丰富实用的图形显示和数据结果分析工具<sup>[6,7]</sup>。本模型将Arcview地理信息系统与FEFLOW相结合,用Arcview处理区域空间数据,模型中源汇项、水文地质参数的确定以及不同农业用水模式基于已有的研究及野外调查成果。

**表1 浅层含水层分区水文地质参数**

参数分区	渗透系数/ (10 <sup>-4</sup> m/s)	释水系数/ (m/d)
	4.63	0.11
	3.47	0.08
	4.63	0.095
	9.26	0.11
	6.64	0.12
	3.47	0.08
	4.63	0.15
	4.63	0.17
	9.26	0.14



**图3 研究区监测点布置及模型参数分区**

**2.3.1 水文地质参数的确定** 根据水文地质条件、岩性分布规律可将模拟区划分为9个参数区(图3),各区

水文地质参数初值(表1)根据研究区以往研究成果(“六五”国家重点科技攻关项目第38项《水资源系统分析及其数学模型的研究——以石家庄为中心的滹沱河冲洪积平原为试点》)以及本次工作结果综合确定。参数分区赋值通过Arcview地理信息系统的.shp文件属性实现。

**2.3.2 源汇项的确定** 源汇项包括降雨入渗补给量、灌溉回归补给量、渠系渗漏量(主要指汶河渗漏)及开采量等。各项均换算成相应分区的时间序列开采强度,然后分配到相应的单元格,通过Arcview地理信息系统的.shp文件属性实现。根据前人在该地区研究的成果(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,1993。)以及本次工作收集的资料、现场监测资料,研究区模型计算均衡表见表2。

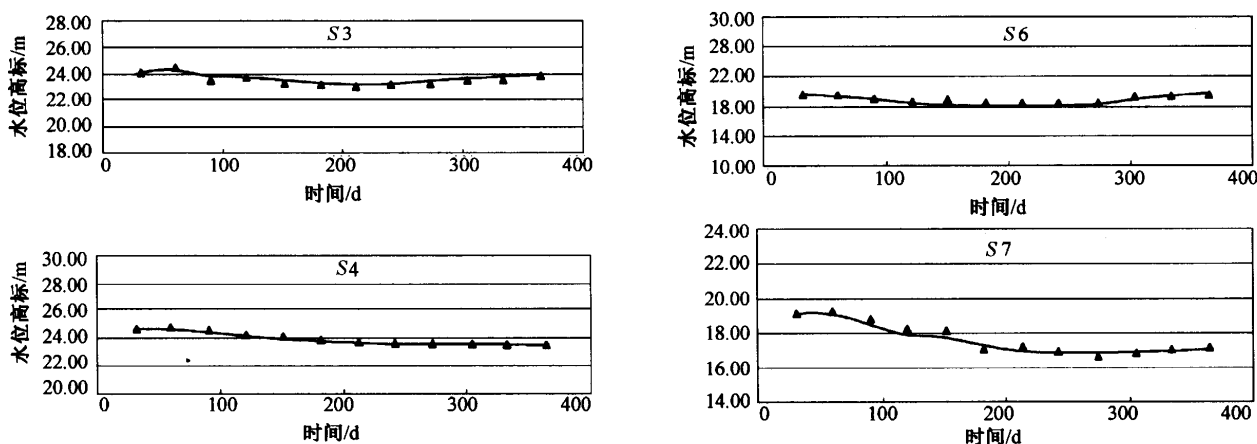
**2.3.3 模型的识别** 模型识别主要采用以预估校正法手工调参,以2002年1月份的平均水位作为初始水位,以2002年1月~2002年12月一个水文年作为模型识别期进行了模型识别。经过校正,末时流场拟合见图4,观测点(图3)的拟合曲线见图5,可看出模型拟合程度较高,所建模型能比较真实地反映研究区地下水含水层的实际情况,模型运行稳定、可靠,可用来进行预测分析。

**表2 模型计算均衡(2002年1月1日~2002年12月31日)(单位:亿m<sup>3</sup>/a)**

补给项	侧向径流	降雨入渗	灌溉回归	河流入渗	合计
	流入量	补给量	补给量	补给量	
	0.24	0.406	0.217	0.244	1.107
排泄项	侧向径流流出量		地下水开采量		合计
	0.12		1.72		1.84
补给项-排泄项				-0.733	



**图4 2002年末流场拟合**



**图5 研究区浅层含水层水头拟合曲线(实线为计算值,点为实测值)**

## 2.4 农业节水缓解地下水位下降效应预测 利用已建好的模型来预测研究区未来10年在不同农业用水模式下的地下水动态变化过程,进行农业节水缓解地下水位下降效果的分析评价。

根据中国科学院石家庄农业现代化研究所在研究区所作的试验研究,通过不同节水技术的配套,综合措施节水总量可达 $1705.5\text{m}^3/\text{hm}^2$ (见表3),以2002年实际地下水开采量为基础,将这一配套节水技术推广到整个研究区,农业用水量可减少到 $0.963\text{亿m}^3/\text{a}$ ,在其他用水规模保持不变的前提下,地下水总开采量减少28%。我们分别以2002年的实际地下水开采量和采取节水措施后的地下水预测开采量为基础来预测研究区内未来10年的地下水动态变化过程,预测效果图见图6、图7。

**表3 单项和综合措施节水量\***

综合节水项目		单项措施节水量 /( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )	综合措施节水总 量/( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )		
农艺节水	节水品种	310.5	1705.5		
	节水耕作	1. 麦秸机械覆盖		175.5	
		2. 玉米秸秆少耕覆盖麦田		324	
	节水灌溉	3. 小麦调亏灌溉		(1) 不冬灌	577.5
				(2) 春2水	318
(3) 春1水					

\* (据中科院石家庄农业现代化研究所)

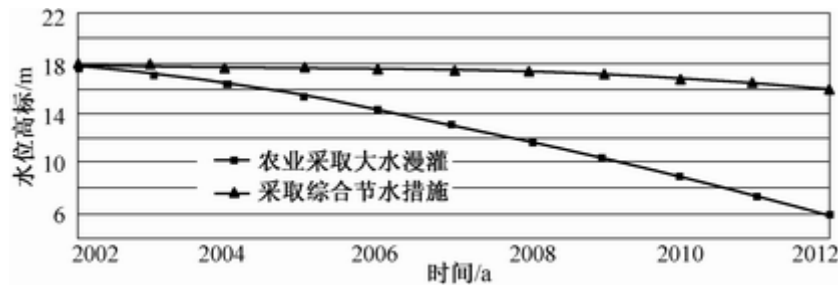


图6 研究区不同开采量时的未来10年水位预测(2003~2012年)

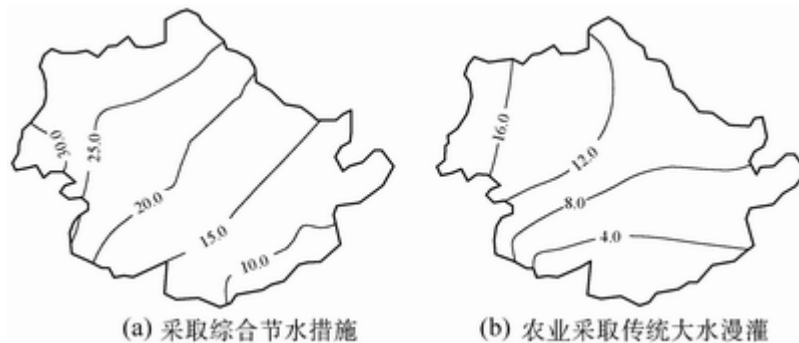


图7 模型运行10年后研究区浅层地下水等水位线

图6为中心节水示范区F1井水位预测曲线,可以看出,浅层地下水位随开采量的减少而呈上升趋势,

保持现有的灌溉模式(大水漫灌),到2012年时,研究区水位下降到7.64m;当采取节水措施后,到2012年,研究区水位与2002年相比,仅下降2.06m,为17.82m,水位降缓下降10.18m,农业节水缓解地下水位下降效果显著。

图7为模型运行10年后(2012年)研究区浅层地下水等水位线图,模拟结果显示,若农业采取传统的大水漫灌,未来10年内,研究区地下水位将急剧下降,与模拟初期(2002年)地下水流场相比,研究区东南部等水位线发生明显变化,赵县漏斗范围逐渐北移至研究区境内,受漏斗影响,地下水流方向向南发生偏转;而采取综合节水措施后,未来10年,研究区浅层地下水位下降缓慢,地下水流场与模拟初期(2002年)流场基本保持一致,地下水由西北向东南方向流动,农业节水缓解地下水位下降效果显著。

### 3 结论

FEFLOW软件具有灵活调节模型结构的特性,能较好地模拟各种变异条件下地下水的变化趋势,已成为研究区域地下水的一种非常有效的方法。本文利用FEFLOW软件建立了研究区的区域地下水流模型,反映了研究区的实际情况,可用于不同开采条件下地下水位的预测分析。河北平原农业用水量占总耗水量的75%以上,在没有外调水源的情况下,农业节水是缓解该地区地下水位持续下降的根本途径。预测表明,以中国科学院石家庄农业现代化研究所所作的农业节水试验研究结果为基础进行计算,与现有开采规模保持不变持续开采下去相比,10年后研究区地下水位减缓下降达10m,即地下水位少下降了10m,农业节水措施的实施将在一定程度上缓解地下水位的下降。

### 参考文献:

- [1] 王贵玲, 蔺文静, 等. 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[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(195): 19-23.
- [2] 王贵玲, 蔺文静, 等. 太行山前平原地下水环境演化规律研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 74-77.
- [3] 河北省栾城县地方志编撰委员会. 栾城县志[M]. 北京: 新华出版社, 1995.
- [4] 薛禹群. 地下水动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [5] 陈崇希, 唐仲华. 地下水流动问题数值方法[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- [6] H. J. G. Diersch. WASY Software FEFLOW 5.0(Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System)-User's Manual [M]. WASY Institute for Water Resources Planning and Systems Research Ltd., 2002.
- [7] H. J. G. Diersch. WASY Software FEFLOW 5.0(Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System)-Reference Manual [M]. WASY Institute for Water Resources Planning and Systems Research Ltd., 2002.

## Numerical modeling on groundwater table variation responding to water saving agriculture

WANG Gui-ling<sup>1,2</sup>, LIN Wen-jing<sup>2</sup>, CHEN Hao<sup>2</sup>

(1.Peking University, Beijing 100871, China;

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

**Abstract:** The effect of implementing the water saving agriculture on groundwater in Luan County, Hebei

Province, China, is numerically modeled by using software FEFLOW and finite difference method. The groundwater table variations in 10 years with and without adopting the comprehensive water saving measures are calculated. The result shows that the dropping of groundwater table will be reduced by about 10m if the water saving measures for agriculture is adopted. The effect is remarkable.

**Key words:** water saving agriculture; groundwater table; numerical modeling; FEFLOW; finite difference method