

# 玛纳斯河流域地下水水位变化及水量平衡研究

李小龙, 杨广, 何新林, 赵纯, 王翠, 陈思, 许双堆, 杨明杰, 乔长录

(石河子大学水利建筑工程学院/现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000)

**摘要:**天山北坡玛纳斯河流域地下水长期大规模开采引发了一系列生态环境问题,地下水均衡状态和地下水流动模式明显发生了改变。为研究节水灌溉条件下的地下水系统流动模式及其对地下水均衡要素的改变规律,以平原绿洲区为研究对象,采用三维地下水数值模拟方法,研究玛纳斯河流域地下水水位动态变化及水量平衡规律。结果表明:研究区地下水水位的抬升和回落受农业灌溉的影响显著,具有一定的周期性,存在着明显的时空差异;地下水均衡处于负均衡状态,补排差为 $-2.81 \times 10^8 \text{m}^3$ 。模拟期内观测水头与计算水头两者相关系数各月均在0.81以上,模拟效果较好。

**关键词:**地下水;数值模拟;地下水水位变化;水均衡;玛纳斯河

中图分类号:P641.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)04-0085-08

## 1 引言

在气候干旱、蒸发强烈、降水稀少的干旱区,地下水是衡量生态与环境状况和质量的重要指标<sup>[1]</sup>。西北内陆流域是山地、绿洲和荒漠组成的典型的干旱区复合生态系统,气候干旱,生态环境脆弱<sup>[2]</sup>。玛纳斯河流域作为我国典型干旱区内陆河流域,其水资源的分配和利用是决定该地区土地利用、农业生产和社会经济发展的关键性因素。近年来过度开采地下水导致玛纳斯河流域中下游灌区土壤次生盐渍化、土地荒漠化日趋严重,由此引发了一系列生态环境问题<sup>[3]</sup>。为此有必要研究农灌区地下水动态变化及水量均衡问题,为地下水资源可持续利用提供技术支撑。近几十年来数值模拟技术取得了长足进步,不仅能够有效解决地下水流动问题,还能解决水质问题、污染物在地下水中的运移问题、地下水最优管理问题等<sup>[4]</sup>。国内外有关地下水数值模拟的研究很多,薛禹群<sup>[5]</sup>回顾了我国地下水数值模拟的发展历程,指出了当前地下水模拟研究领域存在的问题,并就地下水数值模拟做了展望,指出今后十年(2011~2020年)优先发展的8个研究方向。路瑞利<sup>[6]</sup>运用MODFLOW软件,建立了青铜峡某水源区

地下水开采的数学模型,对该地下水开采区进行了20年地下水水位变化的模拟预测。Varouchakis E A<sup>[7]</sup>在希腊Viannos盆地运用Visual MODFLOW软件,根据水文地质条件,对地下水系统进行模拟,预测了接下来20年当地地下水资源不会受到显著的影响。本文在分析玛纳斯河流域山前平原区地下水资源赋存情况基础上,依据水资源动态变化特点及开采区含水层结构特点,应用Visual MODFLOW建立非均质各项同性三维非稳定流数学模型进行地下水模拟,并采用有限差分法对模型进行数值离散,通过边界条件及垂向水交换量的动态模拟、潜水和承压水非稳定流动态流场的拟合,实现整个地下水系统的动态模拟,获取地下水系统水文地质参数,对于流域地下水的合理开采利用、社会经济的可持续发展及生态环境的保护和改善具有重要意义。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究区概况

玛纳斯河流域位于新疆天山北麓,准噶尔盆地南缘,行政区划上主要包括石河子市、玛纳斯和沙湾两县,地处北纬 $43^{\circ}27' \sim 45^{\circ}21'$ ,东经 $85^{\circ}01' \sim 86^{\circ}32'$ ,流

收稿日期:2015-09-08

基金项目:国家自然科学基金项目(U1203282)(51269026)(41361096);兵团创新团队(2014CC001);石河子大学优秀青年项目(2012ZRKXJQ08);石河子大学高层次人才启动基金项目(RCZX201321);新疆研究生科研创新项目(XJGR12014051)(XJGR12015043)

作者简介:李小龙(1990-),男,回族,新疆石河子人,硕士研究生,主要从事分布式流域水文模型研究。E-mail:18699282278@163.com

通讯作者:杨广(1983-),男,新疆石河子人,副教授,主要从事水资源高效利用及生态水文学的研究。E-mail:mikeYork@163.com

域面积  $1.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域远离海洋,气候干燥,蒸发量大,既有中温带大陆性干旱气候特征,又有垂直气候特征,为典型的大陆性气候<sup>[8]</sup>。第四纪时期,随着青藏高原的隆起,流域气候向干旱化方向发展,形成了大范围的戈壁沙漠地带,成为我国最干旱的地区之一。地貌具有明显的分带性,从南向北可以划分为五个地貌带:山地带、山前褶皱丘陵带、串珠状冲积扇带、平原曲流带、玛纳斯河尾间湖泊和沙漠<sup>[9]</sup>。由东向西分别由塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河、巴音沟河以及相连的五片冲积平原组成(如图1)。流域降水分布十分不均,年降水量只有蒸发量的 1/10 左右,垂直分带特征明显,其中中高山区年降水 400~600mm,低山区 340~420mm,平原区 110~200mm,其中 6~8 月份的降水量占全年的 68%。

流域水文地质剖面图(见图2)显示平原区南部为山前洪积扇潜水饱和含水区,厚度在 400m 以上,这里位于山前凹陷带,第四系沉积厚度巨大,形成了一个水量稳定、水质优良的单一结构的潜水埋藏区,对应的地貌单元是玛纳斯河第二期冲积扇。乌伊公路以北

为多层结构含水层,层间隔水层并不完整,呈犬牙交错状,上部浅层潜水含水层向北逐渐变薄形成滞水含水层,下部为多层承压水-自流水含水层,在 100~200m 深度内存在 2~3 个含水层,200m 以下存在 5 个含水层<sup>[10]</sup>。潜水和承压水均丰富区在石河子、奎屯以北,对应的地貌单元是第三期冲积扇。承压水埋藏较浅区位于石河子-奎屯以南,承压水含水层顶板深度为 30~100 m,对应地貌单元为冲积扇扇缘地带。承压水埋藏较深区在莫索湾-下野地以南,承压水含水层顶板深度为 100~200 m,对应地貌单元为曲流带。承压水埋藏很深区位于莫索湾-下野地以北,冲积平原与沙漠交替地带,承压水含水层顶板深度大于 200 m。

### 2.2 含水层系统概化

研究区层间隔水层并不完整,加上上千眼开采井贯穿了这几个含水层,形成了人工天窗。各含水层在纵向上的水交换使层间相互联通,故观测水位是多层含水层水位的综合体现,传统的潜水含水层、弱透水层和承压水含水层分层使模拟精度无法得到保证。本文采用有限差分法对研究区进行数值离散,在水平方

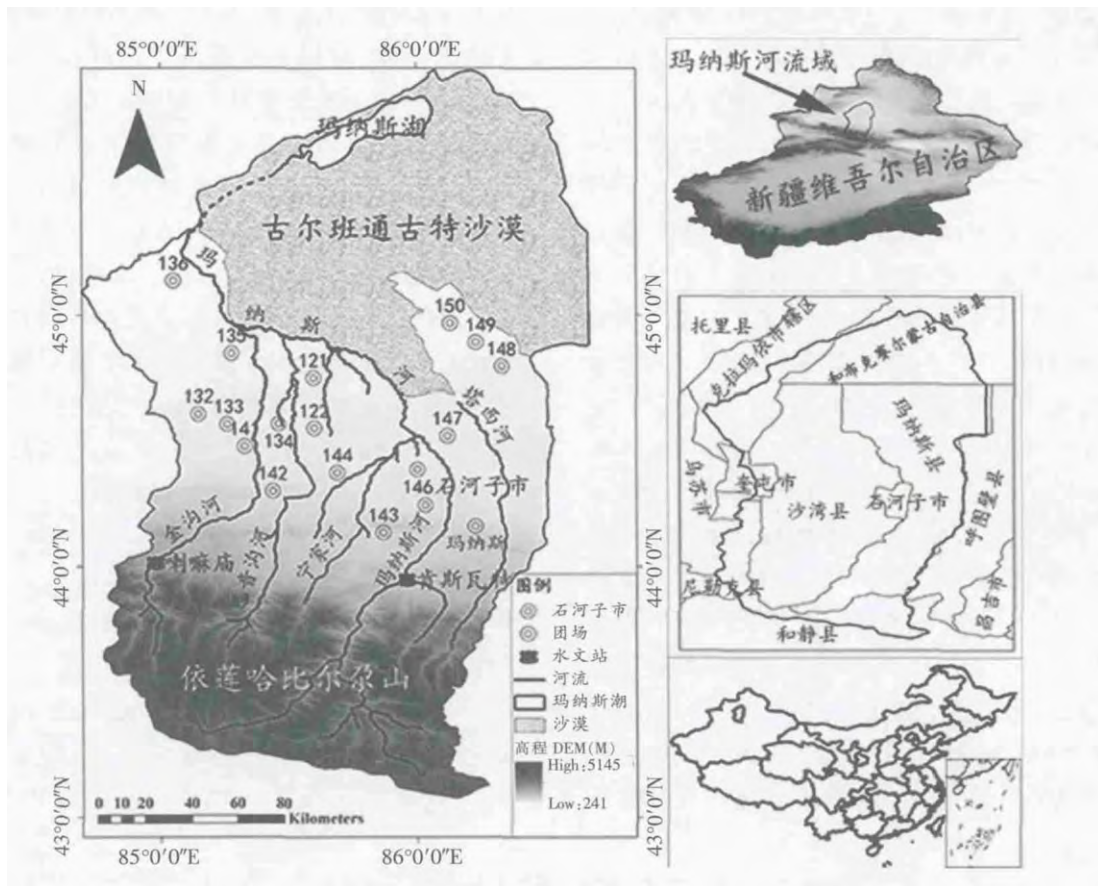


图1 玛纳斯河流域水系分布及地理位置

Fig.1 Distribution of the river systems and geographical locations in the Manasi river basin

向上将研究区剖分为 400 行、410 列 360m×560m 的规则网格,单个网格面积约 0.2km<sup>2</sup>。依据研究区土地利用条件,分为农灌区和非农灌区。农灌区包括下野地灌区、莫索湾灌区、石河子灌区、安集海灌区以及金沟河灌区; 非农灌区包括古尔班通古特沙漠和剩余计算单元(如图 3)。垂向上概化为 10 个含水层组,

以 2011~2012 全年作为模拟期,模拟深度为 300m(如图 4)。

### 2.3 研究区边界条件概化

研究区南部单一潜水系统主要接收山前侧补、渠系入渗、降雨入渗等补给; 北部潜水-多层承压水混合结构子系统主要接收南部潜水子系统的侧补及渠系、

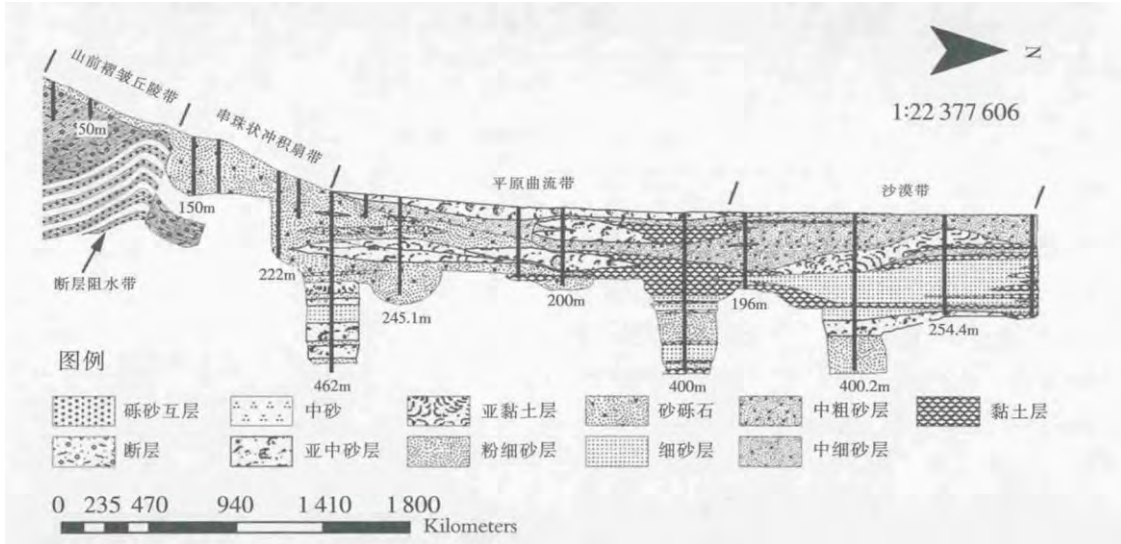


图 2 玛纳斯河流域(红山嘴-莫索湾)水文地质剖面图

Fig.2 The hydrogeological section of the Manasi river basin



图 3 研究区灌区分布及地下水观测井位置

Fig.3 Distribution of the irrigation district and location of the groundwater observation well in the study area

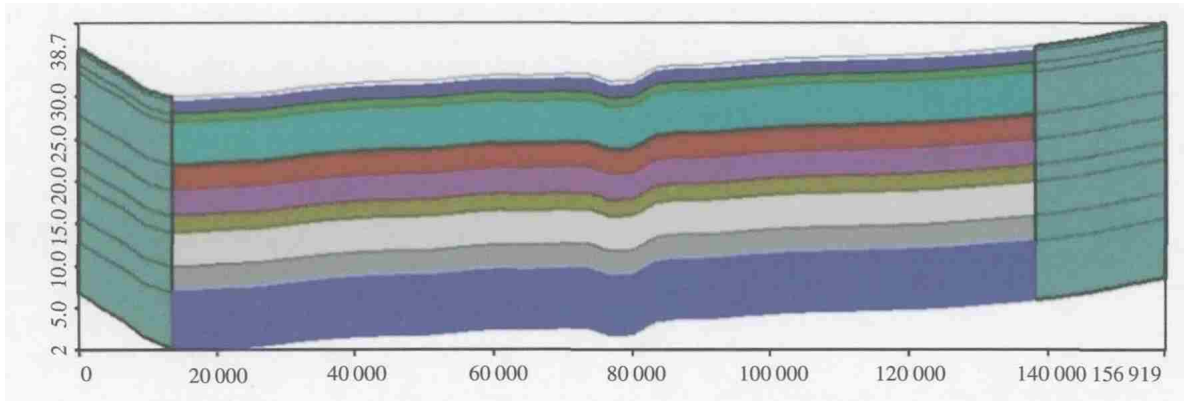


图4 研究区含水层系统概化

Fig.4 Generalization of the aquifer system in the study area

田间灌溉及降雨入渗等补给；排泄量主要为农业灌溉开采、蒸发、植被蒸腾和向北部边界的侧向渗流。基于以上分析,研究区边界条件可进行以下概化:研究区南边为侧向补给边界,东边为塔西河冲洪积扇对研究区的侧向补给边界;北边为侧向排泄边界,以上均可概化为二类流量边界;西边处于扇区外沿与相邻扇区分水岭位置,与等水位线垂直,在无大规模开采影响地下水流向时可概化为二类隔水边界或零流量边界,在模型中具体选用墙边界。蒸发边界参考研究区多年平均蒸发量。流域各子系统含水层岩性、富水性和透水特性无明显方向性,故将研究区概化为非均质各项同性三维非稳定流含水系统,表示如下:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial H}{\partial z} \right) + W = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (x, y, z) \in D$$

$$H(x, y, z)|_{t=0} = H_0(x, y, z) \quad (x, y, z) \in D$$

$$H|_{B_1} = H_1(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in B_1, t > 0$$

$$k \frac{\partial H}{\partial n} |_{B_2} = q(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in B_2, t > 0$$

式中: $D$ 为渗流区域; $k$ 为含水层渗透系数(m/d); $H$ 为地下水水头值(m); $W$ 为源汇项(m/d); $\mu$ 为潜水的含水层给水度,承压水的含水层储水系数; $H_0(x, y, z)$ 为初始流场水头分布值(m); $n$ 为第二类边界外法线方向; $H_1(x, y, z, t)$ 为第一类边界水头分布值(m); $B_1$ 为第一类边界; $q(x, y, z, t)$ 为第二类边界单宽流量(m<sup>3</sup>/d); $B_2$ 为第二类边界。

研究区地表水补给地下水的途径主要为降雨补给、渠系渗漏和灌溉回归水补给。将降雨、渠系渗漏、田间灌溉水等入渗均以面状补给的形式补给到

模型第一层含水层表面,模型源汇项赋值方式表如表1所示。

表1 源汇项赋值方式

Table1 Assignment method of the source and sink

源汇项	补给项	
	面源 线源	降水、渠系渗漏、田间灌溉入渗 侧向补给
排泄项	面源 线源	侧向排泄 开采井

为模拟地表水对地下水的补给,地面补给水量依据各灌区灌溉制度表分时段,按总灌溉水量的一定比例进行补给。以2011年1月研究区地下水埋深为初始水位,各农灌区当年4月、5月、6月、7月、8月、9月上旬、10月下旬和11月上旬集中了全年大部分灌溉水补给;而当年1~3月份、9月中下旬、10月上中旬、11月中下旬和12月份这段时间灌溉水补给分配为零,将整个模拟期划分为13个计算时段。研究区降雨数据来源于炮台、莫索湾、石河子、乌兰乌苏4个国家气象站实测数据以及15个区域气象站数据。模型表面的补给量统计如表2所示。

#### 2.4 地下水观测井和抽水井

研究区地下水观测数据由当地水利主管部门提供。普遍采用ZKGD-3000型水位、水温观测仪自动监测地下水水位,探头埋深分布在8~215m之间,为潜水观测井。在剔除地下水观测数据异常值后,选用有代表性的47眼观测井作为此次地下水数值模拟的观测井数据,选择观测井时考虑了各种因素,包括观测井所在研究区位置的代表性,仪器状态和数据收集的完整性等方面(如图3)。研究区抽水井由于抽水量和抽

表2 模型表面的补给量统计  
Table2 The statistics of the recharge water amount on surface of the model

灌区	团场	地下水 /10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	地表水 /10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	降雨 /mm	控制面积 /m <sup>2</sup>	补给深度 /mm·yr <sup>-1</sup>																																																					
石河子灌区	石总场	10 230	10 569	197.9	3.6E+08	905.34																																																					
	石河子乡	293	4 165				下野地灌区	121 团	3 331.8	6 418	127.8	7.3E+08	680.63	122 团	305.94	4 993	132 团	1 193.4	5 425	133 团	233.46	4 396	134 团	238.68	4 219	135 团	1 847.88	3 049	136 团	2 148.12	2 618	莫索湾灌区	147 团	3 925	5 004	132.7	5.8E+08	852.90	148 团	2 862	7 912	149 团	3 443	6 073	150 团	5 587	6 894	金安灌区	144 团	1 977	6 364	211	1.9E+08	1701.87	143 团	5 050	15 096	141 团	624
下野地灌区	121 团	3 331.8	6 418	127.8	7.3E+08	680.63																																																					
	122 团	305.94	4 993																																																								
	132 团	1 193.4	5 425																																																								
	133 团	233.46	4 396																																																								
	134 团	238.68	4 219																																																								
	135 团	1 847.88	3 049																																																								
	136 团	2 148.12	2 618				莫索湾灌区	147 团	3 925	5 004	132.7	5.8E+08	852.90	148 团	2 862	7 912	149 团	3 443	6 073	150 团	5 587	6 894	金安灌区	144 团	1 977	6 364	211	1.9E+08	1701.87	143 团	5 050	15 096	141 团	624	4 283	142 团	9 530	6 751																					
莫索湾灌区	147 团	3 925	5 004	132.7	5.8E+08	852.90																																																					
	148 团	2 862	7 912																																																								
	149 团	3 443	6 073																																																								
	150 团	5 587	6 894				金安灌区	144 团	1 977	6 364	211	1.9E+08	1701.87	143 团	5 050	15 096	141 团	624	4 283	142 团	9 530	6 751																																					
金安灌区	144 团	1 977	6 364	211	1.9E+08	1701.87																																																					
	143 团	5 050	15 096																																																								
	141 团	624	4 283																																																								
	142 团	9 530	6 751																																																								

水时间难以精确统计,依据年抽水总量对抽水井进行概化,具体是将位置相近的若干小开采量的抽水井概化成一个大开采量的抽水井。各灌区全年抽水量和抽水井数量分配在各灌区内部,抽水时长和各时段抽水量均按灌区灌溉制度确定。

### 2.5 模型参数率定及验证

模型参数率定主要是渗透系数  $k$ 、给水度  $\mu$  和贮水率。参考研究区前人相关研究结果,给定初始参数<sup>[11]</sup>。然后运行模型对比实际地下水流场与模拟流场的拟合效果,通过模型自动参数识别和手动调参相结合的方法进行模拟结果比较,使拟合效果最佳。以 43 眼长期观测井的地下水水位作为参数率定的依据,并且以水均衡量计算结果作为模型参数验证标准<sup>[12]</sup>。率定后的参数取值范围均在我国水文地质相关参数经验值范围内,具有一定的参考性。表 3 为研究区率定后不同土壤类型水文地质参数表。

## 3 结果与分析

### 3.1 研究区地下水水位动态变化

研究区地下水水位动态变化主要是由含水层水量变化引起的水位变化,包括天然降水、蒸发、人工开采以及渠系入渗、灌溉回渗等。这些影响因素主要对参与水循环积极的浅层含水层发生作用,并且水位的宏观动态变化就能体现浅层含水层对外界条件的响应,其

决定性条件包括空间上地形地貌、岩性、地下水埋深、含水层的水文地质条件等差异。根据灌区农业灌溉对地下水的补给时间,分别挑选模拟时间在第 24 天、120 天、240 天和 300 天的地下水模拟流场分析地下水动态变化规律(如图 5)。

在时间变化上,第 120 天模拟的研究区地下水埋深在 24 天的基础上略有减小,其中石河子灌区、金沟河灌区平均地下水埋深减小约为 1m;安集海灌区、莫索湾灌区和下野地灌区地下水埋深减小约为 2m。初步估计是因为在 1~4 月份灌区农用机井处于停抽状态,地下水水流稳定,受人为干扰因素较小,且这个时

表3 研究区不同土壤类型水文地质参数  
Table3 The hydrogeological parameters of the different soil types in the study area

土壤类型	渗透系数 /m·s <sup>-1</sup>	给水度	贮水率 /m <sup>-1</sup>
砂砾石	8.68E-04	0.1	1.00E-05
亚中砂	4.05E-04	0.06	1.00E-05
粘土	5.79E-07	0.3	1.00E-05
中粗砂	5.21E-04	0.15	1.00E-05
亚粘土	2.31E-06	0.3	1.00E-05
中细砂	3.47E-04	0.12	1.00E-05
细砂	2.31E-04	0.11	1.00E-05
砾砂互层	8.68E-04	0.1	1.00E-05
粉细砂	5.79E-04	0.07	1.00E-05

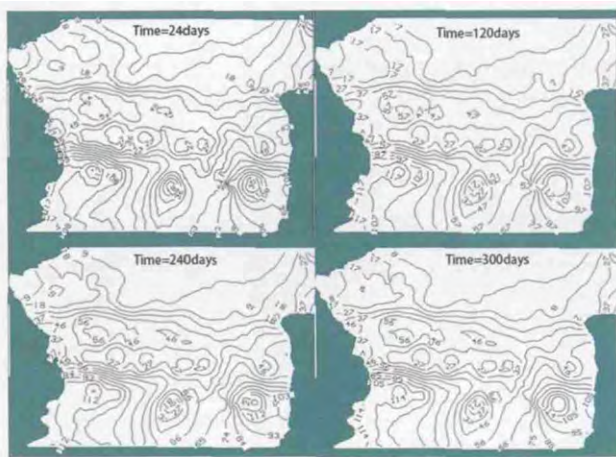


图5 模型模拟各时段研究区地下水流场

Fig.5 The groundwater flow fields in the various periods of the model simulation in the study area

期研究区处于冬季,气温一般在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下,蒸发强度微弱,流域地下水受到融雪补给水位缓慢上升。第240天模拟的地下水埋深在120天的基础上增幅较大,其中莫索湾灌区、下野地灌区和石河子灌区地下水埋深增加均超过了10m,金沟河灌区和安集海灌区地下水埋深增加均超过了5m。分析原因可能是因为4月份积雪消融殆尽,农业活动开始,区内上千口农用机井开始抽水,地下水水位迅速下降,一直到8月份地下水水位埋深达到最大值,之后由于抽水量减小,地下水水位又开始缓慢回升,但在10月份又有一次“洗盐保墒”的集中灌水,抽水量大,地下水水位小幅度下降,10月份之后地下水水位缓慢回升,直至恢复到初始水位。可见研究区地下水埋深在年内的变化跟农业灌溉有直接的关系,地下水埋深的动态变化受地表水的影响显著。

在空间变化上,山前地下水埋深程度较高,其位于城镇附近、工农业用水集中。该区的地下水变化特点是水位呈现缓慢持续下降的趋势,受降水影响不明显,即使在夏季降水量大的季节水位也没有回升,每年只有在用水量少的1和2月份埋深减小。山前至平原区的过渡带,地下水埋深波动性大,最大地下水埋深出现在7~8月份。中部冲洪积平原区,土壤类型主要由各种粒级的砂组成,孔隙大,渗透、径流、排泄条件好,地下水埋深具有明显的季节性变化规律。由于春灌抽水的影响,地下水埋深下降,灌溉后地下水受到回渗补给作用,埋深有减小现象,根据灌溉的时间,地下水埋深也出现周期性的波动。下游荒漠区,地下水开发利用程度较低,地下水埋深动态受到降水入渗和蒸发排泄的双

重作用。最大埋深出现在地下水蒸发强烈,且降水量较少的7~8月份。研究区地下水埋深从大到小依次是石河子灌区、安集海灌区、金沟河灌区、下野地灌区以及莫索湾灌区。研究区南部由东西两边向中间地下水埋深逐渐减小,北部由西向东地下水埋深逐渐减小,南部地下水埋深普遍大于北部地下水埋深。地下水埋深等值线在各个灌区内部较为密集,并呈现由灌区内部向外部辐射减小的现象。

从图6研究区各时段计算水头和观测水头分散图可以看出:模拟期内观测水头和计算水头相关系数均在0.81以上,其中前四个月无抽水井作用情况下两者相关系数在0.93以上,模拟效果较好。

### 3.2 研究区地下水水均衡分析

水均衡计算结果中研究区地表水补给地下水水量约为 $9.45 \times 10^8 \text{m}^3$ (不包括层间越流量),占总补给水量的20.92%;蒸发量约 $1.81 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占总排泄量的3.77%。平原区接受南部山前洪积扇潜水饱和含水区以及东部边界的侧向补给水量约为 $3.57 \times 10^9 \text{m}^3$ ,占总补给水量的79.08%,可见流域地下水资源主要来自上游冰川融雪水在山前的侧向补给。总体而言研究区地下水均衡处于负均衡状态,补排差为 $-2.81 \times 10^8 \text{m}^3$ 。表4为研究区模拟计算水均衡汇总表。

## 4 结论和建议

通过模拟结果可以看出各月份研究区观测水头和计算水头相关系数均在0.81以上,其中前四个月无抽水井作用情况下两者相关系数在0.93以上,模拟效果较好。研究区地下水水位变化受农业灌溉影响显著,具有一定的周期性。未来应在原有数据基础上,对模型进一步细化,力求在考虑各种动态影响条件下对地下水进行数值模拟,才能更进一步分析地下水在空间上和时间上的动态变化规律。Visual MODFLOW以

表4 研究区水均衡汇总

Table4 The statistics of the water balance in the study area

水均衡项	贡献量	总量	占总水量
	/m <sup>3</sup>	/m <sup>3</sup>	百分比/%
补给项	地表水补给地下水	9.45E+08	20.92
	侧向流入	3.57E+09	79.08
	侧向流出	4.02E+09	83.78
排泄项	人工开采	5.98E+08	12.46
	蒸散发	1.81E+08	3.77

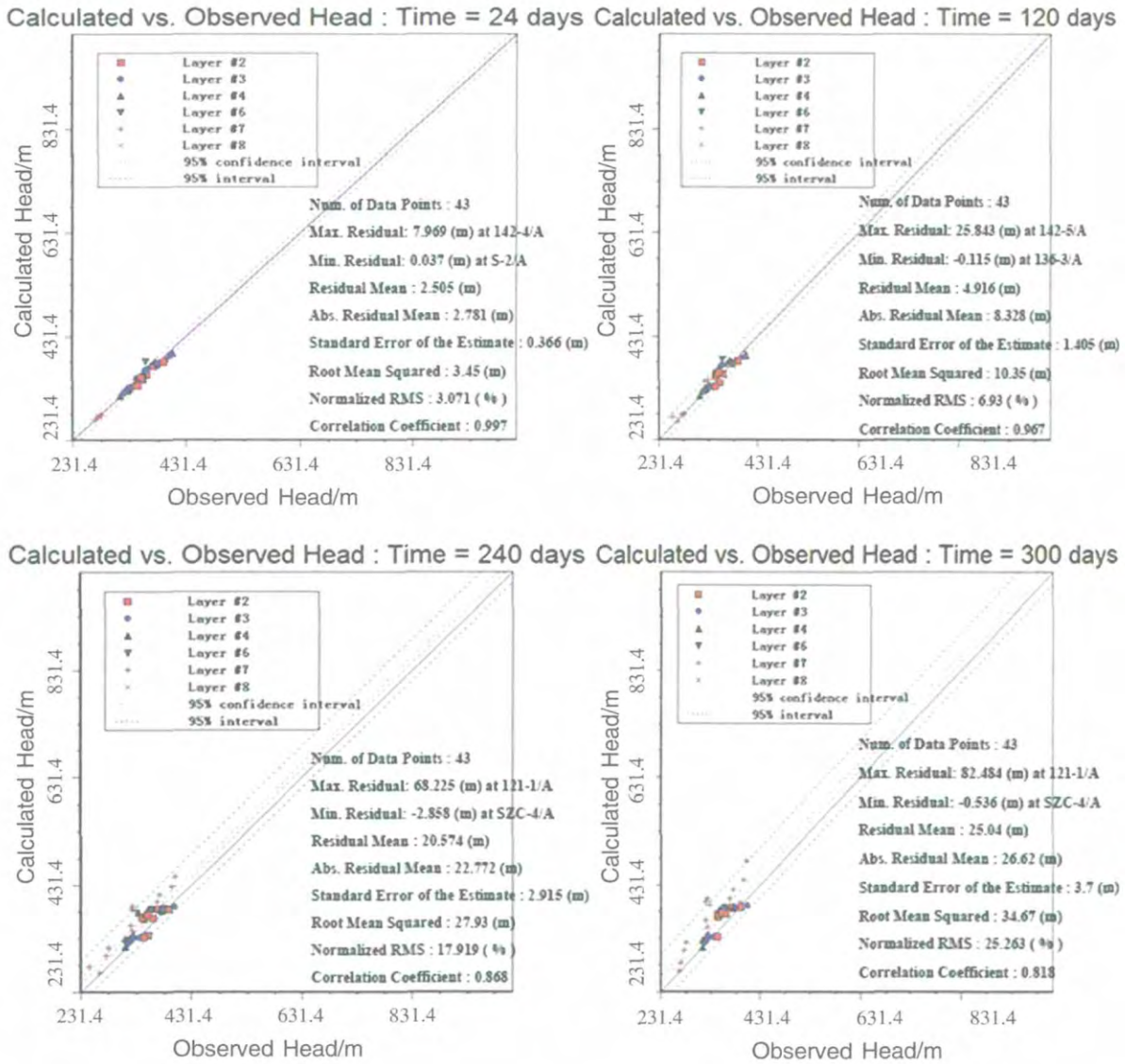


图6 研究区各时段计算水头和观测水头分散图

Fig.6 Scatter graphs in the various periods of the calculated head vs observed head in the study area

其强大的数值计算功能是可以用于流域地下水循环研究的。但是,开采条件下的数值模拟,由于开采量难以精确统计,求解更具有不确定性。除了采用物理数学方法,还应当利用包括同位素技术在内的化学方法,以及包气带求取补给的方法,多通道获取地下水补给量的信息,以提高地下水资源评价的信度。

参考文献:

[1] 刘革,刘波,季叶飞,束龙仓. 阜阳市农灌区浅层地下水安全开采量评价 [J]. 水利水电科技进展,2015,(4):70-74. (LIU Ge, LIU Bo, JI Yefei,SHU Longcang. Research on safe exploitation quantity of shallow groundwater in agricultural irrigation area of Fuyang city[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2015,(4): 70-74. (in Chinese))

[2] 刘金巍,靳甜甜,刘国华,等. 新疆玛纳斯河流域 2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素 [J]. 生态学报,2014,12:3211-3223.(LIU Jinwei, JIN Tiantian, LIU Guohua, et al. Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas river basin,Xinjiang [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,12:3211-3223. (in Chinese))

[3] 吉磊,刘兵,何新林,等. 玛纳斯河下游灌区地下水埋深变化特征及成因分析[J]. 灌溉排水学报,2015,9:59-65.(JI Lei, LIU Bing,HE Xinlin, et al. Changing characteristics and influencing causes of groundwater depth in irrigation areas in the lower reaches of the Manas river [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015,9:59-65. (in Chinese))

[4] 王浩,陆垂裕,秦大庸,等. 地下水数值计算与应用研究进展综述[J]. 地学前缘,2010,(6):1-12.(WANG Hao,LU Chuiyu,QIN Dayong, et al. Advances in method and application of groundwater numerical

- simulation[J].Earth Science Frontiers, 2010,(6):1-12. (in Chinese))
- [5] 薛禹群. 中国地下水数值模拟的现状与展望 [J]. 高校地质学报, 2010,(1):1-6.(XUE Yuqun. Present situation and prospect of groundwater numerical simulation in China [J].Geological Journal of China Universities, 2010,(1):1-6. (in Chinese))
- [6] 路瑞利,方树星,王红雨. 基于 Modflow 的某水源区地下水开采三维数值模拟[J]. 武汉大学学报(工学版),2011,(5):618-623. (LU Ruili, FANG Shuxing, WANG Hongyu. The 3D numerical simulation of groundwater mining in a water source area based on Modflow [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2011, (5):618-623. (in Chinese))
- [7] Varouchakis E A, Karatzas G P, Giannopoulos G P. Impact of irrigation scenarios and precipitation projections on the groundwater resources of Viannos basin at the island of Crete, Greece[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(11):7359-7374.
- [8] 杨广,李俊峰,何新林,等. 基于 Visual MODFLOW 玛纳斯河流域下游地下水位的预测 [J]. 石河子大学学报 (自然科学版),2015,(5):1-7. (YANG Guang,LI Junfeng,HE Xinlin, et al. The groundwater table prediction in the Manas river basin downstream based on the Visual MODFLOW[J]. Journal of Shihezi University(Natural Science), 2015,(5):1-7. (in Chinese))
- [9] 史兴民,杨景春,李有利,等. 玛纳斯河流域地貌与地下水的关系[J]. 地理与地理信息科学,2004,(3):56-60.(SHI Xingmin,YANG Jingchun, LI Youli, et al. The relation between groundwater and landform in the Manasi river valley [J].Geography and Geo-Information Science, 2004,(3):56-60. (in Chinese))
- [10] 高佩玲,雷廷武,张石峰,等. 玛纳斯河流域山前平原区地下水系统模型研究 [J]. 水动力学研究与进展(A辑),2005,(5):648-653.(GAO Peiling, LEI Tingwu, ZHANG Shifeng, et al. Dynamic simulation to ground water resource in Manas plain [J]. Journal of Hydrodynamics, 2005,(5):648-653. (in Chinese))
- [11] 杜玉娇. 莫索湾灌区地下水水位动态变化及数值模拟研究 [D].石河子大学,2013.(DU Yujiao.Research on Groundwater Level Dynamic Changes and Numerical Simulation in Mosuowan Irrigation Area[D]. Shihezi University,2013. (in Chinese))
- [12] Wilke H, Tecklenburg C, Güntner A, et al. Hydrogeology of a young moraine area in NE Germany: Testing hypotheses on subsurface structures with an iterative groundwater modeling approach[C]. EGU General Assembly Conference Abstracts, 2015,17: 12468

## Study on Groundwater Level Changes and Water Balance in Manasi River Basin

LI Xiaolong, YANG Guang, HE Xinlin, ZHAO Chun, WANG Cui, CHEN Si, XU Shuangdui, YANG Mingjie, QIAO Changlu

(College of Water & Architectural Engineering, Shihezi University/ Xinjiang Production & Construction Group Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** In the Manasi River Basin on the northern slope of the Tianshan Mountains, long-term and large-scale exploitation of groundwater has caused a series of ecological and environmental problems, and the water balance of groundwater and the flow pattern of groundwater have been changed obviously. In order to study the flow pattern of groundwater system under the condition of water saving irrigation and the change law of water saving irrigation to groundwater balance element, the dynamic changes of groundwater level and water balance in the Manasi River Basin were studied by using three-dimensional groundwater numerical simulation method and taking the plain oasis area as the research object. The results show that the uplift and fall of the groundwater level in the study area is significantly influenced by the agricultural irrigation, and has a certain periodicity, there are obvious differences in time and space. The balance of groundwater is negative, with a recharge and discharge difference of  $-2.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ . The correlation coefficient between the observed head and the calculated head for the simulation period is greater than 0.81, indicating the simulation effect is well.

**Key words:** groundwater; numerical simulation; groundwater level change; water balance; Manasi River Basin