

水文地质环境地质

## GMS在白泉湿地公园地下水数值模拟中的应用

齐欢,秦品瑞,耿付强,刘同喆

(山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

**摘要:**为探究白泉湿地公园建设过程中白泉湖开挖对白泉的影响,在系统分析白泉泉域水文地质条件的基础上,采用地下水数值模拟专业软件 GMS 建立 2012—2014 年白泉泉域地下水流数值模型。在此基础上,利用 10 年平均和 10 年典型 2 种降雨情景对公园建成前、后白泉水位和流量进行预测。通过对比分析,结果表明公园建成后未来 10 年白泉可以保持持续喷涌,不会有断流情况的发生。在保证白泉湖景观用水的前提下,每天至少有 100 m<sup>3</sup> 的泉水通过河道排泄到小清河。白泉湿地公园建成后,随着附近地下水的进一步减采,白泉的流量将逐渐增大,白泉湖的景观水位更加有保障。

**关键词:** GMS;数值模拟;白泉湿地公园;济南市

**中图分类号:** P631.222

**文献标识码:** B

**引文格式:** 齐欢,秦品瑞,耿付强,等.GMS在白泉湿地公园地下水数值模拟中的应用[J].山东国土资源,2017,33(9):55-61. QI Huan, QIN Pinrui, GENG Fuqiang, etc. Application of GMS in Groundwater Numerical Simulation in Baiquan Wetland Park[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(9): 55-61.

## 0 引言

白泉泉群历史文化底蕴深厚,金、明、清三代均被列为济南“七十二名泉”,是 2004 年颁布的《济南市名泉保护条例》中济南市十大泉群之一。20 世纪五六十年代白泉泉水涌量大,形成开阔的水域和纵横交错的水渠、河沟,使该地区成为旱涝保收的万亩稻田,素有“鱼米之乡”和“小江南”之称。20 世纪 70 年代以来,随着东郊工业区地下水开采量的增加,地下水被大量超采,致使地下水位逐年下降,白泉停止喷涌。自 2003 年 9 月以来,在东郊实施了东联供水工程,减少了地下水的开采,白泉泉群的水量有较大恢复<sup>[1-6]</sup>。

为了保护 and 强化白泉泉群,提升泉水的周边环境,济南市拟建立白泉湿地公园,并对白泉进行适量开挖,因此研究白泉泉群地下水运动规律,准确预测公园建成后地下水系统的运动状态已势在必行。地下水数值模拟可以比较精确的模拟地下水流系统运动状态,GMS(Groundwater Modeling System)是

地下水模拟系统的简称,是目前国际上最先进的综合性的地下水模拟软件,可进行水流模拟、溶质运移模拟、反应运移模拟<sup>[7-10]</sup>。该文运用 GMS 建立白泉泉域地下水流数值模型,并对公园建成后不同降雨情景白泉水位变化趋势进行预测,从而为公园设计施工提供科学依据。

## 1 研究区概况

白泉泉群位于济南市历城区鲍山街道,有白泉、冷泉、当道泉、草泉、麻泉、团泉、惠泉、漫泉、漂泉、灰泉、葫芦头泉、柳叶泉、李家泉、张家泉、唐家泉等 15 处名泉。是由来自济南东南部补给区的岩溶地下水径流至纸房村附近,遇到西侧济南岩体和北侧石炭—二叠系的阻隔,在南北高差的压力下,使部分岩溶水在地形低洼部位通过松散土层上升而形成<sup>[1]</sup>。当地历年平均气温 14.2℃,多年平均降水量为 646.55 mm。

公园位于济南市历城区鲍山街道办事处纸房村附近,北距济青高速公路 500 m 左右,南至纸房村

收稿日期:2016-11-09;修订日期:2017-05-15;编辑:陶卫卫

基金项目:山东地矿重大科技攻关项目(2012-045)

作者简介:齐欢(1986—),男,河北邢台人,助理工程师,主要从事水文地质与环境地质勘察工作;E-mail:943314446@qq.com

北,西至南滩头村,东至东梁王庄三村,公园总面积 94 hm<sup>2</sup>,对白泉进行开挖形成白泉湖,湖底的设计标高为 23.74 m,白泉水直接排泄到湖内,当白泉水湖水位达到 25 m 设计标高时,溢出的水通过河道排泄至小清河,白泉泉群及公园位置见图 1。

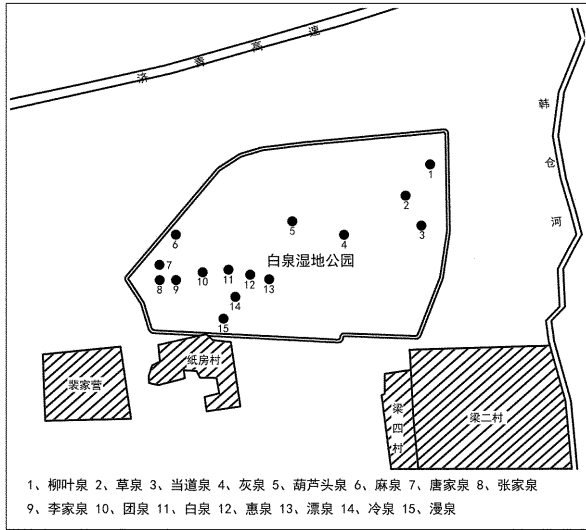


图 1 白泉泉群及公园位置图

公园位于白泉泉域的下游,属于白泉泉域的承压排泄区。白泉泉域地下水可划分为松散岩类潜水含水岩组和碳酸盐岩类裂隙承压水含水岩组。根据研究区地下开采现状以及水文地质资料,确定该次研究对象为第四纪孔隙含水层和裂隙岩溶含水层,潜水主要补给来源为降水入渗、渠道渗漏、灌溉回渗和侧向补给。排泄主要为泉水排泄、人工开采和蒸发排泄。

## 2 模型建立

### 2.1 概念模型

#### 2.1.1 含水层结构概化

该次模拟范围为整个白泉泉域。西部以东坞断裂为界;北部以奥陶系与石炭系接触带为界,该地区岩溶最大发育深度为 400 m 左右,所以以地层顶板埋深 400 m 为界线;东部以文祖断裂为界;南部以寒武-奥陶纪九龙群张夏组底部为界,模拟面积 667.24km<sup>2</sup>(图 2)。

在该次模型中,将研究区分为 2 层,分别概化为:

第一层为潜水含水层,该目的层主要为第四纪全新统及上更新统地层,含水层岩性为中粗砂、砂砾

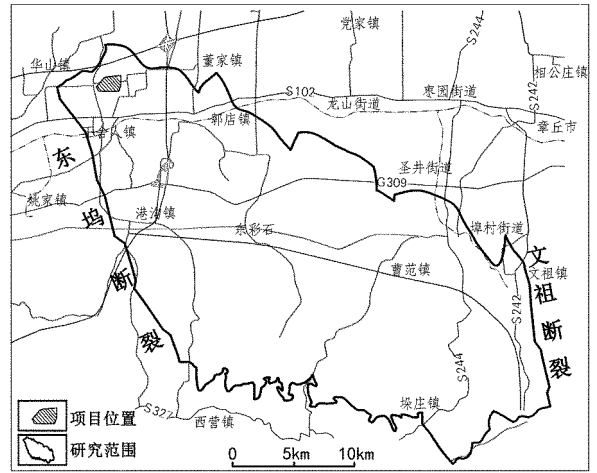


图 2 模拟范围及拟建项目位置图

石层,含水层总厚 10~40 m。

第二层为承压水含水层,该目的层是寒武-奥陶纪九龙群和奥陶纪地层。根据钻孔资料,灰岩埋藏深度,该地区最大岩溶发育深度为 400 m 左右,地下水受地层产状、地形、地貌及构造所控制,主要流向为 NNW,地下水径流通畅,具有统一的水面形态。地下水由南部的潜水逐渐向北转化过渡到北部承压水,虽然南部灰岩裸露,上部无隔水层,为裂隙岩溶潜水,但因含水层厚度大,潜水水位变化幅度小于整个含水层厚度的十分之一,因此在计算中将南部裂隙岩溶水区按承压水流处理。

#### 2.1.2 边界条件概化

考虑到岩溶含水系统的完整性,以及边界有可能对研究区计算结果造成一定影响,在确定模型边界时的主要原则为:①尽量以自然边界作为模型边界;②在没有自然边界的情况下,模型边界尽可能远,以减小边界对研究区计算结果的影响。基于以上原则,结合该区实际条件认为,研究区边界条件可概化为隔水边界、定流量边界以及通用水头边界<sup>[1]</sup>(图 3)。

第一层边界概化为:东部边界潜水含水层厚度较薄,与下伏灰岩水量交换量较少,可以概化为隔水边界;西部边界仅在徐家庄至济南铁厂一带和宿家张马以北有一段具弱透水层,与西部的济南泉域存在水力联系,故将此段概化为定流量边界;南部边界以山前冲洪积扇的南缘为界,可以概化为隔水边界;北部边界由于潜水含水层与北部含水层存在水量的交换,可概化为通用水头边界。

第二层边界概化为:东部边界以文祖断裂为界,

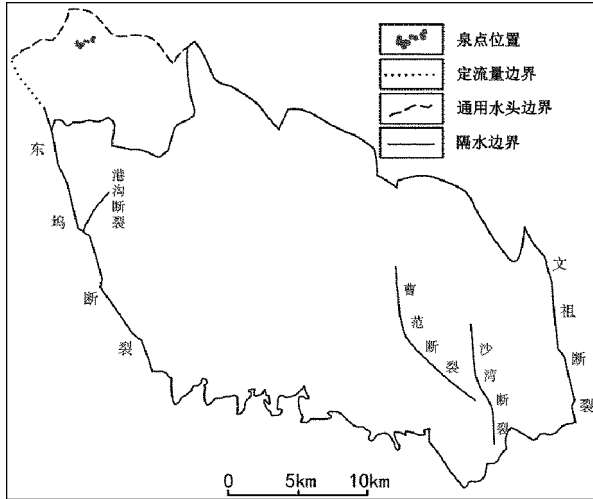


图 3 模型边界概化示意图

概化为隔水边界；西部东坞断裂总体上为隔水断裂，仅在徐家庄至济南铁厂段具弱透水层，与西部济南泉域存在水力联系，故将此段概化为定流量边界；南部边界以寒武-奥陶纪九龙群张夏组底部为界，概化为隔水边界；北部奥陶纪灰岩埋藏在石炭、二叠系以下，灰岩最大埋深在 400 m 左右，故以埋深 400 m 为界，概化为隔水边界。

内部边界：研究区内构造比较发育，多呈 NNW 方向，构造不仅影响地下水径流方向，也影响岩溶地下水的赋存规律。勘察资料表明，港沟断裂大部分为透水，仅在莲花山至港沟西山段隔水；孙村断裂具透水性；曹范断裂除南端地层隔水外，大部透水；沙湾断层隔水，这些断裂在计算中按内部边界处理。

## 2.2 地下水流数值模型

### 2.2.1 地下水流数学模型

对于上述非均质各向同性、空间三维结构、非稳定地下水流系统，可用如下方程的定解问题来描述：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_z \frac{\partial h}{\partial z}) + W = S \frac{\partial h}{\partial t} & (x, y, z) \in \Omega, t > 0 \\ h(x, y, z, t) |_{t=0} = h_0(x, y, z) & t > 0 \\ k_n \frac{\partial h}{\partial n} |_{\Gamma_2} = q(x, y, z) & (x, y, z) \in \Gamma_2, t > 0 \end{cases}$$

式中： $K_x, K_y$  和  $K_z$ — $x, y, z$  方向渗透系数 ( $LT^{-1}$ )； $h$ —水位标高 (L)； $W$ —含水层的源汇项 ( $T^{-1}$ )； $S$ —含水介质的贮水率 ( $L^{-1}$ )； $h_0$ —初始水位 (L)； $\Gamma_2$ —二类边界； $K_n$ —一界面法向方向的渗透系数 ( $LT^{-1}$ )； $n$ — $\Gamma_2$  边界的外法线方向； $q(x, y, z, t)$ —二类边界上已知流量函数，流入为正，流出为负，隔水边界为 0 ( $LT^{-1}$ )； $\Omega$ —渗流区域。

利用 GMS 软件建立地下水流数值模型。在平面上剖分为 230 行，399 列规则网格，各层均采用  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  的剖分格式，垂向上剖分为二层<sup>[12-14]</sup>。

模拟期为 2012 年 10 月 1 日至 2014 年 9 月 30 日，其中 2012 年 10 月 1 日至 2013 年 9 月 30 日为模型的识别期，2013 年 10 月 1 日至 2014 年 9 月 30 日为模型的验证期，以 5 天作为一个应力期，每个应力期内包括若干时间步长，时间步长根据模拟计算量设定，严格控制每次迭代的误差。

### 2.2.2 源汇项的处理

大气降水是地下水的重要补给项，据统计 2012 年 10 月至 2013 年 9 月泉域内平均降雨量为 731 mm，2013 年 10 月至 2014 年 9 月平均降雨量为 497 mm。结合该区地质、水文地质条件，崮山组灰岩入渗系数为 0.01，炒米店组灰岩入渗系数 0.30，裸露张夏组灰岩入渗系数 0.33，奥陶纪灰岩入渗系数 0.45，第四系的入渗系数为 0.39<sup>[15-17]</sup> (图 4)。

GMS 中的 RCH 模块用来模拟对地下水系统的面状补给，一般来说，面状补给主要来自大气降水的入渗，降水对模型的补给可以用下式来表示。

$$QR_{i,j} = I_{i,j} DELR_j DELC_i$$

其中： $QR_{i,j}$ —单位时间对单元格 ( $i, j$ ) 的降水补给量 ( $L^3 T^{-1}$ )； $I_{i,j}$ —单位时间的补给量 ( $LT^{-1}$ )； $DELR_j$ —单元格的面积 ( $L^2$ )。

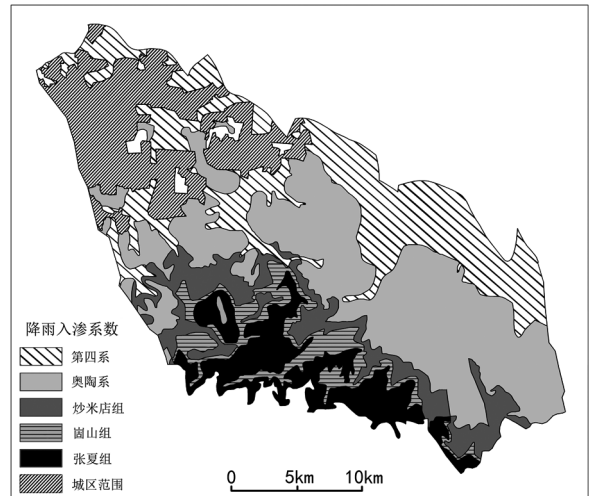


图 4 研究区降水入渗系数分区图

研究区模拟期年蒸发量为 1 421 mm，此模型中蒸发折算系数取 0.6，蒸发极限埋深定为 4 m，然后利用阿维扬诺夫公式计算区内地下水蒸散量：

$$E_g = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ E_0(1 - \frac{d}{d_0}) & 0 \leq d \leq d_0 \end{cases}$$

式中： $E_g$ —地下水蒸发强度( $LT^{-1}$ )； $E_0$ —水面蒸发强度( $LT^{-1}$ )； $d_0$ —地下水蒸发极限埋深(L)，其与包气带的岩性有关； $d$ —地下水位埋深(L)。

GMS 中的 Drain 模块用来模拟泉对含水层的排泄，该模块包含的参数有泉口的标高和底积层的水力传导系数。当含水层的水位高于泉口标高时，Drain 排泄地下水；当含水层的水位低于泉口标高时，Drain 对含水层不起作用(图 5)。

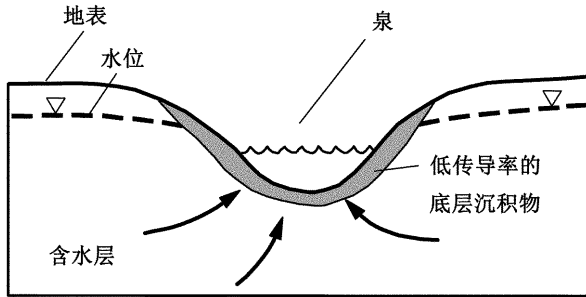


图 5 Drain 模块示意图

Drain 排泄含水层地下水的的能力可以用下列数学公式来表示。

$$Q_{out} = CD(h_{i,j,k} - HD) \quad h_{i,j,k} > HD$$

$$Q_{out} = 0 \quad h_{i,j,k} \leq HD$$

其中： $Q_{out}$ —泉排泄含水层的水量( $L^3T^{-1}$ )； $CD$ —Drain 的水力传导系数( $L^2T^{-1}$ )； $h_{i,j,k}$ —Drain 所在单元格的水位(L)； $HD$ —泉口标高(L)。

研究区主要河流有小清河、白泉河、韩仓河、巨野河、巴漏河等，主要的水库有蟠龙水库和郎茂山水库。由于水库都进行了防渗处理，而在枯水年份主要河流基本无表流，因此与含水层之间不存在水量交换，仅在丰水年份丰水期时巴漏河部分河段河水补给地下水。

经调查，在模拟期内，研究区农业开采为  $2.91 \times 10^4 m^3/d$ ，灌溉回渗系数以 0.15 计。生活饮用开采  $1.14 \times 10^5 m^3/d$ ，白泉水源地  $1.1 \times 10^4 m^3/d$ ，滩头水厂开采量为  $0.9 \times 10^4 m^3/d$ ，武家水源地开采量为  $0.9 \times 10^4 m^3/d$ ，黄土崖水源地开采量为  $8.0 \times 10^4 m^3/d$ ，港沟、彩石以北的地区农用自备井生活用水开采量为  $0.5 \times 10^4 m^3/d$ 。工业用水开采  $4.16 \times 10^4 m^3/d$ ，济钢开采量为  $0.9 \times 10^4 m^3/d$ ，炼油厂开采量为  $1.16 \times 10^4 m^3/d$ ，黄河石料厂开采量为  $1.0 \times 10^4 m^3/d$ ，济

南化肥厂开采量  $0.1 \times 10^4 m^3/d$ ，埠村煤矿开采量为  $0.4 \times 10^4 m^3/d$ ，埠村医院开采量为  $0.1 \times 10^4 m^3/d$ ，郭店铁矿排水量为  $0.5 \times 10^4 m^3/d$ 。

### 2.3 模型的识别和验证

#### 2.3.1 水位拟合

以 2012 年 10 月 1 日的流场作为初始流场，期间的源汇项均按照实际收集的资料进行换算后输入，经过参数的调整，得到典型潜水、承压水观测井的水位过程拟合曲线如图 6 所示：

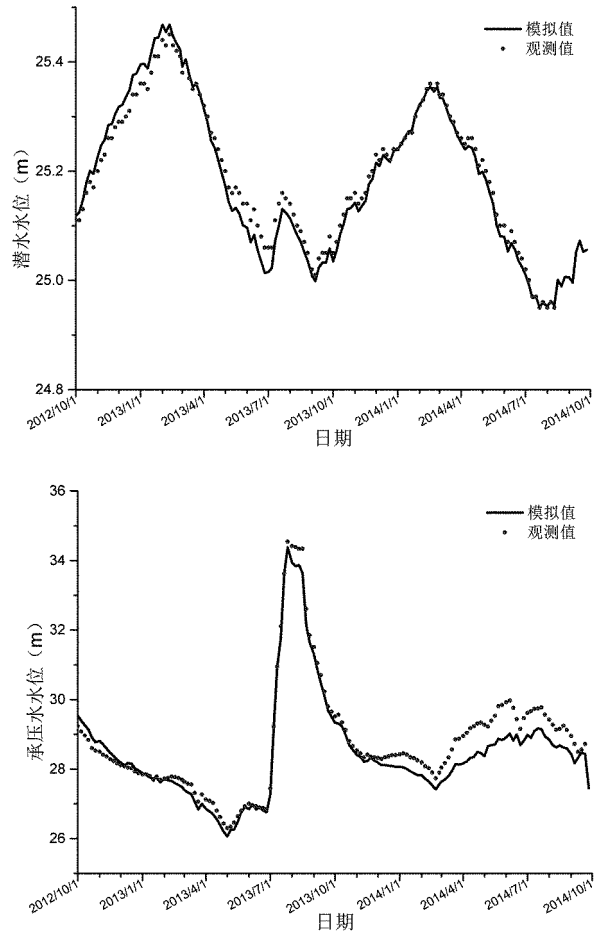


图 6 典型潜水、承压水观测井水位过程拟合曲线

从图 6 可以看出，该模型较好地反映了研究区的地下水流场的变化趋势，模型与实际情况具有良好的吻合性，符合研究区水文地质条件，基本反映了地下水系统的水力特征，可利用模型进行地下水位预测。

#### 2.3.2 均衡分析

采用均衡法对地下水各均衡要素分析得出识别期、验证期承压水含水层与潜水含水层水量均衡结果。识别期，潜水总补给量为  $3.45 \times 10^4 m^3/d$ ，总排

泄量  $5.23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 均衡差为  $1.78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 补给小于排泄, 为负均衡。承压水总补给量为  $22.79 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 总排泄量为  $25.48 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 均衡差为  $2.67 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 补给小于排泄, 为负均衡。验证期, 潜水总补给量为  $1.90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 总排泄量  $3.45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 均衡差为  $1.55 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 补给小于排泄, 为负均衡。承压水总补给量为  $11.26 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 总排泄量为  $23.51 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 均衡差为  $12.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 补给小于排泄, 为负均衡(表 1, 表 2)。

表 1 白泉泉域识别期均衡分析

含水层	源汇项	补排量 ( $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )	合计
潜水 含水层	降雨入渗	1.85	3.45
	河流	0.00	
	侧向流入	0.00	
	越流	1.61	
	地下水开采	0.20	
承压水 含水层	蒸发	1.75	25.48
	侧向流出	0.72	
	泉	0.00	
	越流	2.57	
	地下水开采	21.59	
均衡差			-1.78
承压水 含水层	降雨入渗	19.97	22.79
	河流	0.27	
	侧向流入	0.00	
	越流	2.57	
	地下水开采	21.59	
潜水 含水层	蒸发	0.00	25.48
	侧向流出	0.00	
	泉	2.28	
	越流	1.61	
	地下水开采	21.59	
均衡差			-2.67

## 2.4 预报模型

该次模型的主要预报方案是预测白泉湿地公园建成后, 未来 10 年对评价影响范围区地下水位和水量的影响。

### 2.4.1 降雨的设置

该次预报时间为 10 年, 起始时间为 2014 年 10 月, 目标时间确定为 2024 年 9 月, 共计 3652 天。对于降水量的确定, 采取 2 种不同的降雨量值, 预测不

同的降雨量对模拟结果的影响。

(1) 未来 10 年降雨量按研究区多年平均降雨量 651.2 mm 输入。根据多年统计资料显示, 研究区表现出枯水期和丰水期分别为 10 月 1 日至 5 月 31 日、6 月 1 日至 9 月 30 日的特点, 这 2 个时间段基本代表了白泉的最低水位和最高水位。据此, 每年分为 2 个应力期, 即 243(或 244)天、122 天, 分别占降水量的 23% 和 77%。

表 2 白泉泉域验证期均衡分析

含水层	源汇项	补排量 ( $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )	合计
潜水 含水层	降雨入渗	0.84	1.90
	河流	0.00	
	侧向流入	0.07	
	越流	0.99	
	地下水开采	0.18	
承压水 含水层	蒸发	1.64	3.45
	侧向流出	0.25	
	泉	0.00	
	越流	1.39	
	地下水开采	20.88	
均衡差			-1.55
承压水 含水层	降雨入渗	9.62	11.26
	河流	0.27	
	侧向流入	0.00	
	越流	1.39	
	地下水开采	20.88	
潜水 含水层	蒸发	0.00	23.51
	侧向流出	0.00	
	泉	1.65	
	越流	0.99	
	地下水开采	20.88	
均衡差			-12.25

(2) 根据研究区 1982 年至 1991 年 10 年降水序列资料(表 3), 该时间序列内降水量按照“平、枯、平、枯、特枯、丰、枯、特枯、丰、平”分布, 10 年平均降水量为 641.7mm, 与研究区多年平均降水量基本相等, 能够较为真实地反映降水的实际情况, 因此对未来 10 年按照这个典型时间序列进行降水量的输入。每年也分为 2 个应力期, 即 243(或 244)天、122 天, 分别占降水量的 23% 和 77%。

表 3 1982—1991 年降水量

年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
降水量 (mm)	646.85	560.06	640.7	581.7	395.8	992	532.3	340.3	1047.3	680

### 2.4.2 其他约束条件的设置

预测期间,白泉湖湖底的设计开挖标高为 23.74 m,白泉泉群直接排泄到人工湖内,当白泉湖水位达到 25 m 设计标高时,溢出的水通过河道排泄,最终流入小清河。因此,在潜水含水层采取 Drain 模块,并将 Drain 的底板高程设置为 25 m 来预测白泉湖建成后的情况。由于泉流量缺少实测资料,在预测阶段对 Drain 的设置仍然按照现状条件下底积层的水力传导系数给值,用以预测白泉湿地公园建成前、后白泉泉群的出水量。

预测模型的初始水位采取 2014 年 10 月的模拟水位,模型的其他各个源汇项的值仍采取现状条件下地下水的开采量,从而预测未来 10 年白泉湿地公园建成前、后,在保持现状开采条件下,不同的降水量对研究区水位和均衡的影响。

选取白泉水位预测公园建成前、后泉水位的变化情况:

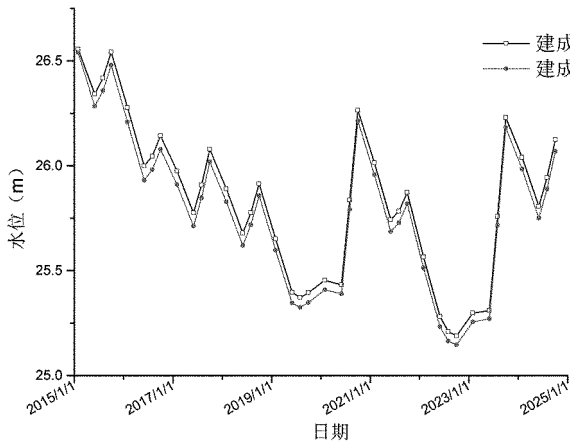


图 7 典型降雨序列公园建成前、后白泉水位对比图

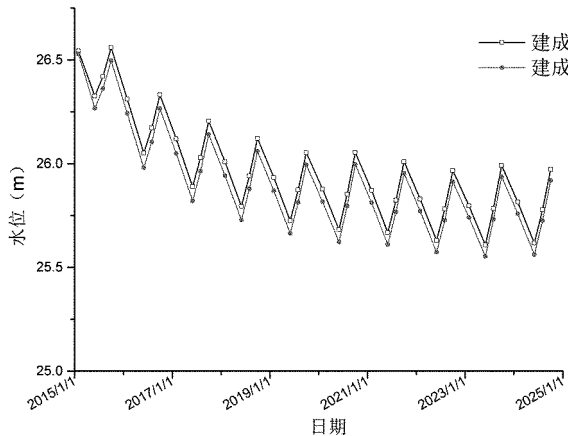


图 8 平均降雨序列公园建成前、后白泉水位对比图

典型序列降雨时(图 7),白泉湿地公园建成之后,2019 年降雨量最少,6 月 1 日白泉的水位最低,最低水位为 25.32 m,此时建成前、后水位相差 0.05 m,白泉泉群的总流量为  $0.98 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,通过白泉湖排泄的水量为  $106.14 \text{ m}^3/\text{d}$ ;2023 年降雨量最多,10 月 1 日白泉的水位最高,最高水位为 26.18 m,此时建成前、后水位相差 0.04 m,白泉泉群的总流量为  $1.91 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,通过白泉湖排泄的水量为  $814.8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

10 年平均序列时(图 8),白泉湿地公园建成之后,白泉水位逐渐降低并趋向于稳定,2023 年 6 月 1 日白泉的水位最低,最低水位为 25.55 m,此时建成前、后水位相差 0.06 m,白泉泉群的总流量为  $1.24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,通过白泉湖排泄的水量为  $349.25 \text{ m}^3/\text{d}$ ;2020 年 10 月 1 日白泉的水位最高,最高水位为 25.99 m,此时建成前、后水位相差 0.05 m,白泉泉群的总流量为  $1.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,通过白泉湖排泄的水量为  $588.33 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

## 3 结语

(1)在对白泉泉域地质、水文地质条件系统分析的基础上,建立了白泉泉域概念模型和数学模型,并采用 GMS 软件建立地下水流数值模型。通过模型的识别和验证,使模型可以更好地反映模拟区地下水实际情况。

(2)在现有开采强度条件下,采用 10 年平均和 10 年典型 2 种降雨情景对公园建成前、后白泉水位和流量进行预测,结果表明公园建成后未来 10 年白泉可以保持持续喷涌,不会有断流情况的发生,在保证白泉湖景观用水的前提下,每天至少有  $100 \text{ m}^3$  的泉水通过河道排泄到小清河。

(3)考虑到东联供水以及白泉湿地公园建成后附近地下水的进一步减采,白泉的水量将逐渐增大,白泉湖的景观水位更加有保障。因此白泉湿地公园建成后,未来 10 年白泉泉群的泉流量可以满足白泉湿地公园的景观用水,公园周边水位变幅较小,工程建设不会对周围村民的生活用水以及生态环境造成影响,也不会产生新的环境地质问题。

## 参考文献:

- [1] 王燕.济南新火车站及轨道交通建设对济南白泉泉群的影响分析[J].山东国土资源,2014,30(8):47-50.

- [2] 李常锁,秦品瑞.济南市水资源概况及开发利用初探[J].山东国土资源,2010,26(10):21-25.
- [3] 李常锁,秦品瑞,王少娟.济南水资源与可持续利用[J].南水北调与水利科技,2010,(6):114-117.
- [4] 徐军祥,邢立亭.济南泉域岩溶水数值预报与供水保泉对策[J].地质调查与研究,2008,(3):209-213.
- [5] 周娟,邢立亭,滕朝霞,等.制约济南岩溶大泉持续喷涌的主因素阈值研究[J].华东师范大学学报(自然科学版),2015,(3):146-156.
- [6] 孙斌,彭玉明,李常锁,等.济南岩溶水系统划分及典型泉域水力联系[J].山东国土资源,2016,32(10):31-34.
- [7] 白利平,王金生.GMS在临汾盆地地下水数值模拟中的应用[J].山西建筑,2004,(16):78-79.
- [8] 梁秀娟,林学钰,苏小四,等.GMS与苏锡常地区地下水流模拟[J].人民长江,2005,(11):28-30.
- [9] 沈媛媛,郭高轩,辛宝东,等.基于GMS的北京顺平地区三维地质结构模型[J].城市地质,2015,(2):67-71.
- [10] 祝晓彬.地下水模拟系统(GMS)软件[J].水文地质工程地质,2003,(5):53-55.
- [11] 贺国平,张彤,赵月芬,等.GMS数值建模方法研究综述[J].地下水,2007,(3):32-35.
- [12] 贾瑞亮,周金龙,刘延锋,等.应用GMS软件构建三维含水层结构模型[J].节水灌溉,2014,(1):57-59.
- [13] 刘丽花,张树清.基于GMS的多约束下三维地下水系统可视化模型构建[J].中国科学院大学学报,2015,(4):506-511.
- [14] 覃荣高,高建国,臧小豹,等.基于GMS基岩矿区地下水三维实体模型的构建[J].地下水,2009,(6):15-17.
- [15] 张杰,茅樵,宋玉琴.济南市玉符河回灌补源保泉研究[J].水利水电科技进展,2002,22(3):19-20.
- [16] 章亦兵.济南市人工回灌补源保护泉水的研究[D].南京:河海大学,2005.
- [17] 张文娟.济南泉域回灌补源问题研究[D].济南:山东大学,2006.

## Application of GMS in Groundwater Numerical Simulation in Baiquan Wetland Park

QI Huan, QIN Pinrui, GENG Fuqiang, LIU Tongzhe

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** In order to know the influence of excavation on Baiquan Spring during the construction of Baiquan Wetland Park, based on the analysis of hydrological and geologic conditions in Baiquan Spring area, groundwater numerical simulation software GMS was used to establish the numerical model of groundwater flow in Baiquan spring region from 2012 to 2014. On these basis, the water level and flow of Baiquan Spring were forecasted by using 10 years average and 10 years typical rainfall before and after the construction of Baiquan Wetland Park. It is showed that after the completion of the park in the next 10 years, Baiquan Spring can keep spewing without drying up. On the premise of ensuring water utilization of Baiquan Lake landscape, at least  $100\text{m}^3$  spring water will discharge to Xiaoqinghe River every day through river tunnel. After completing the construction of Baiquan Wetland Park, with further reduction of groundwater exploitation, the flow of Baiquan Spring will gradually increase, and the water level of Baiquan Lake landscape will be more secure.

**Key words:** GMS; numerical simulation; Baiquan Spring Wetland Park; Jinan city