

基于 GMS 鄱阳湖拟建枢纽对地下水影响探讨

兰盈盈^{1,2}, 曾马荪³, 靳孟贵¹, 邹友琴⁴, 陈保平³, 吴力泓³

(1.中国地质大学环境学院,湖北 武汉 430074;2.南昌工程学院水利与生态工程,江西 南昌 330099;
3.江西省勘测设计研究院,江西 南昌 330095;4.南昌大学环境与化学工程学院,江西 南昌 330031)

摘要:针对拟建鄱阳湖水利枢纽工程对地下水影响问题,选择赣江三角洲为代表区,采用资料收集、野外调查、统计分析和数值模拟等方法进行研究。依据地质钻探资料、地下水与河流动态关系、区域数字高程模型,结合鄱阳湖历史形成与演化过程确定研究区边界条件,运用 GMS 模拟软件建立了研究区地下水三维运动模型。依据推荐的枢纽调度方案,利用数值模型计算枢纽运行后对地下水运动影响的时空变化规律。结果表明:枯水年份影响大,距离河流、坝址近的地方影响大,反之亦然。影响幅度范围 0~2 m,地下水径流交替因此减弱,丰水年份土壤潜育化面积增加 9.3%。

关键词:鄱阳湖水利枢纽工程;地下水模拟;地下水位;GMS

中图分类号:TV641.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)06-0037-05

1 引言

鄱阳湖是我国第一大淡水湖,承纳赣江、抚河、信江、饶河、修水等五大水系及区间的来水,通过调蓄后经湖口流入长江。受东亚季风性气候和湖盆形态的影响^[1],鄱阳湖属于吞吐型、季节性浅水湖泊。依据 1951~2010 年水文观测站水位资料,鄱阳湖星子水文站的年最高平均水位为 17.1m(黄海高程基准,下同),年最低水位平均为 6.0m,呈现“洪水一片水连天,枯水一线滩无边”的湿地水文景观特征。降水量的年内分配不均匀,降水量主要集中在 4~6 月,占全年降水量的 53%。7 月下旬至 8 月,鄱阳湖水系常受副热带高压控制,出现伏旱现象;9、10 月,全流域雨季后先结束。10 月三峡水库蓄水期间,长江宜昌多年平均流量由 19 000m³/s 降到 11 000m³/s,湖口水位下降 2.0m 左右,又由于湖口水位偏低的拉空作用,加之入湖来水补充不足,易形成持续 2~3 个月的枯水期^[2]。鄱阳湖水利枢纽(以下简称枢纽)建设基本可解决湖区枯水期缺水问题^[3]。枢纽工程的目的是“控枯不控洪”,主要调节枯水水量。水库的修建将会改变河流的基本水文特征和下游河道的水文情势。枯水期水位抬升,湖容积最大增加约 80 多倍,

湖面积增加 40 多倍^[4],地表水与地下水的循环并不是孤立的^[5],且鄱阳湖及其水系主河道下切较深,枢纽的调控对区域地下水动态必定会造成一定程度的影响^[6]。枢纽对地下水的影响程度、时空变化情况及可能的生态环境问题是本次研究的重点。

本次研究采用了 GMS(Groundwater Model System)模拟软件^[7]。利用模型计算枢纽建成后不同水文条件下地下水位变化情况,并与未经过人工调节天然状态下地下水位进行对比,分析枢纽调控后对地下水位产生的影响。考虑到丰水期、枯水期,丰水年、枯水年影响程度不同,分别对其影响的时空变化进行计算分析。

2 区域地质与水文地质

鄱阳湖地区兼有山地、丘陵、岗地、平原(包括湖泊)、河谷等多种地貌形态,山、丘、岗分布于本区四周。山脊线与构造线方向一致,均呈北东走向,因被五河及其支流分隔,且地处山脉边缘,故呈山地零星而山岗广布的特点。庐山为本区最高山,主峰大汉阳峰标高 1 474m。山地前缘丘岗绵延分布极广,围绕山地及鄱阳湖四周呈环状分布,宽 20~90km,标高在 500~

收稿日期:2014-06-08

基金项目:江西省重大科研专项计划项目(项目编号 20124ABE02104);江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ11254);科技计划项目(20151BBG70008)

作者简介:兰盈盈(1979-),女,江西九江人,在职博士生,讲师,从事水文与水资源教学与研究工作。E-mail:lan-yy@163.com;lanyy@nit.edu.cn

50m以下。由于水流的侵蚀、搬运、堆积作用,形成了五河下游的冲积平原、河口三角洲及滨湖滩地,地势低洼平缓,一般高程为15~20m。以松门山为界,鄱阳湖分为南湖和北湖,南鄱阳湖宽广,为主湖区,北鄱阳湖狭长,为湖水入长江水道区。湖区地貌由水道、洲滩、岛屿、内湖、汉港组成。

鄱阳湖盆地及其陆地水系的形成和发展,是晚三迭世末期以来,内、外地质作用长期雕塑的结果。区内各时代地层皆有出露,鄱阳湖区发育最为广泛的第四纪沉积是全新世流水沉积,尤其是在赣江河口区,不仅分布广泛,而且厚度颇大。依据 ^{14}C 测年结果表明鄱阳湖区全新世湖相沉积可能局限于现代湖泊水域区的沉积物上部。鄱阳湖在上更新世呈现一片河网交错的平原地貌景观,但因全新世以来,鄱阳湖地区的新构造运动呈现出庐山隆升、湖盆下降,原来鄱阳湖南湖的平原景观逐步向沼泽演化。到唐末五代至北宋初期,今天鄱阳湖的范围和形态已基本形成^[9]。

鄱阳湖地区跨两个一级大地构造单元,历经多次构造运动,地质构造复杂。本区主要含水层为第四系松散层孔隙水含水层。其结构、导水性及组合深度受地貌条件控制,大体可以分为二个含水层,即第四系全新统、上更新统含水层和中、下更新统含水层。全新统、上更新统含水层结构单一,上部为亚粘土、亚砂土,厚度5~10m,赣抚平原较大,可达10~20m,支流河谷区较小,多小于5m。导水性微弱,渗透系数0.001~0.5m/d;下部为中粗砂、砂砾石及砾卵石,厚度变化大,有自上游向下游厚度递增的规律,一般厚度7~16m,赣抚平原区较大,为20~36m,最厚的地区可达60m。导水性较好,受含水层岩性变化的影响,不同地区略有差异,渗透系数可达2~60m/d。河谷平原区具有横向变化规律,边缘区富水性较弱,赣抚平原区富水性较强,单位涌水量可达10.33~14.86 l/s·m。中、下更新统含水层主要由红土砾石、砂砾石以及同期残坡积、网纹红土组成。厚度不稳定,一般3~15m,富水性弱,单位涌水量0.02~0.09 l/s·m,渗透系数0.7~1.60m/d。

3 建立模型

3.1 概念模型

依据鄱阳湖河网数字高程模型、地质钻探资料、枯水期的鄱阳湖河流特征以及上述鄱阳湖的形成过程可以确定赣江外洲(下游)–昌邑–吴城–星子(上游)–都昌–棠荫–康山–外洲(下游),为一个天然的封闭的水

头边界(图1);河流水位与距离较近的地下水位间相关系数可达0.9以上,距离较远的大部分也有0.7以上,其动态关系也可以断定河流切割到含水层。依据江西省鄱阳湖平原水文地质工程地质综合勘察报告(1983.03~1985.12),共收集到研究区内及其附近地质钻孔83个,利用GMS软件的地质统计模块分析含水层结构,并给出含水层三维剖视图(图2),第四系含水层为二元结构,上覆主要为粘土层,且其连续性较好,局部有细砂砾石出露,下覆为砂砾石夹淤泥和网纹红土层,但淤泥和网纹红土在空间上分布不连续,形成统一含水层。第四系含水层在赣江河谷靠近湖区及湖盆比较厚,最厚可达60m,湖区两侧及湖盆北侧逐渐变薄,湖盆底板呈现凹陷形状,这与前述湖盆下沉,庐山隆起相吻合。边界条件均为水头边界,水位利用区域内7个水文站实测资料控制,沿程上其它点水位呈线性插值。研究区主要补给项为降雨入渗补给、丰水期河流补给;主要排泄项为枯水期地下水向河流排泄以及人工开采,由于上覆土层较厚,蒸发排泄微弱忽略不计。降雨补给采用入渗系数法,根据江西省鄱阳湖地区地下水资源调查报告中地下水位动态分析成果,入渗系数取值范围0.06~0.1,在模型识别中进行微



图1 模拟范围及观测井分布

Fig.1 The range of the simulation area and distribution of the observation wells

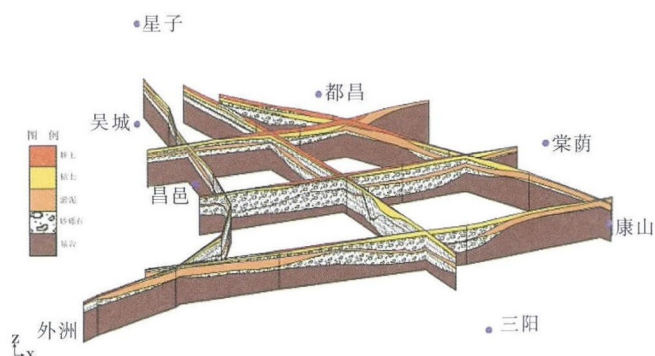


图2 研究区含水层剖视图

Fig.2 Sectional view of the study area aquifer

调。研究区开采量为分散开采,根据调查报告以及居民分布和生产生活习惯估计。水文地质参数渗透系数、储水系数依据钻孔资料的抽水实验成果统计分析确定,然后在模型识别中进行微调。

3.2 数学模型

目标层为第四系松散层,上有 5~10m 土层覆盖,地下水位埋深 0.5~5m,含水层为微承压含水层。自然界经常是水平方向上渗透系数为各向同性^[9],水平方向与垂直方向渗透系数比按经验取值 10^[10]。依据含水层结构概化为非均质三维非稳定的承压水流模型,水平方向为各向同性,模型数学表达式见公式(1)^[11],依据上述概念模型边界条件均为给定水头 I 类边界。

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(K_{rr}\frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{rr}\frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \\ h(x, y, z, 0) = h_0(x, y, z) \\ h(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = h_1(x, y, z, t) \end{cases} \quad (1)$$

式中: K_{rr} 、 K_{zz} 分别为水平方向和垂直方向渗透系数; h 为水头; W 为源汇项强度; S_s 为储水系数; t 为时间; Γ_1 为 I 类水头边界; $h_0(x, y, z)$ 为初始水头; $h_1(x, y, z, t)$ 为边界处水头。

4 模拟预测与结果分析

4.1 模型识别与校核

研究区总面积 1 817.8km², 根据所收集资料分布情况,将研究区进行矩形剖分,共剖分成 50×70 个单元格,其中活动单元格 1 613 个,每个单元格面积为 1.12×1.0km²。研究区 1986~1988 年进行了长期监测,后期未有连续监测资料,且 1988 年监测不完全。因此,选择 1986 年 1 月 1 日至 1987 年 12 月 26 日作为模型

的识别与参数校核。研究区共有长期观测孔 22 个(图 1),均为 5 日观测。图 3 为部分观测孔拟合结果图,本次模拟效果好的观测孔 100% 满足精度要求,大部分观测 80% 以上满足精度要求。平均绝对误差为 0.57 m,均方根误差为 0.83 m,个别观测孔误差较大,最大误差达到 1.5 m,但总的效果还算理想,大部分观测孔模拟计算的水位变化趋势与实际观测的趋势较一致,该模型可以用来进行模拟预测。

4.2 模拟预测

根据推荐的调度方案^[1],水位调控期为 9 月至次年 2 月,3 月开始江湖联通,枯水期水位人为抬高,丰水期停止人为控制。由于枢纽调控改变了坝址水位,研究区边界水头也发生相应的变化,这样就改变了地下水与地表水间的水力梯度,从而影响到地下水场。利用上述水流模型模拟建坝后的地下水位,并在鄱阳湖前缘不同位置设了 4 个观测孔 (G1-G4),观测孔监测结果见图 4。为了反映枢纽调控后地下水场时空变化情况,绘制了不同时期地下水位变幅空间分布图(图 5,水位变幅为同等条件下建坝后水位与建坝前水位之差)。并且模拟了枢纽建成后对地下水的长期影响过程,考虑到三峡运行后鄱阳湖水位发生了一定程度上的改变,选择三峡蓄水后为起始时间,预测了 2003~2010 年枢纽调控下地下水位的变化情况(图 6)。

4.3 结果分析

从模拟结果可以看出,枢纽对区域地下水场产生了一定程度的影响,建坝后地下水水位相应于建坝前同等条件下水位抬高,主要影响时期为枢纽调控时期(当年 9 月~次年 3 月),下面从影响变化的时间、空间、不同水平年的特点进行分析和探讨。

(1) 从一个调节年度模拟结果来看(图 4),9 月份以后该区进入枯水期,地下水位逐渐降低,受枢纽调控影响地下水位下降速度减慢,受影响最大的为最枯时段,影响幅度大约 0~2m。3 月份末期枢纽调控结束,鄱阳湖与长江连通,地表水位很快恢复到未调控的天然状态。地下水位受枢纽影响的幅度也逐渐回落,8 月份全区受影响的地下水位基本恢复到未调控的天然状态。

(2) 地下水位影响的空间分布主要受地表水位的变化以及水文地质条件控制,变化幅度沿着河流呈规律性分布(图 5)。其影响程度横向上随离河流的距离增大而减小,纵向上沿着河流下游至上游也

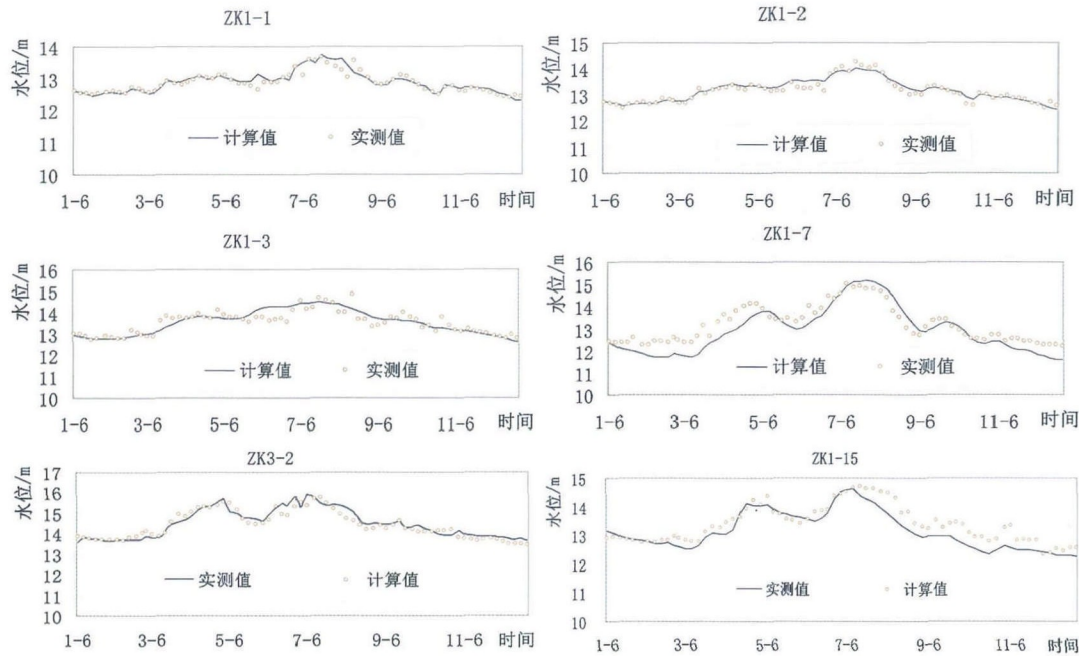


图3 模型计算水位与实测水位对比
Fig.3 Comparison between the simulated and observed water levels

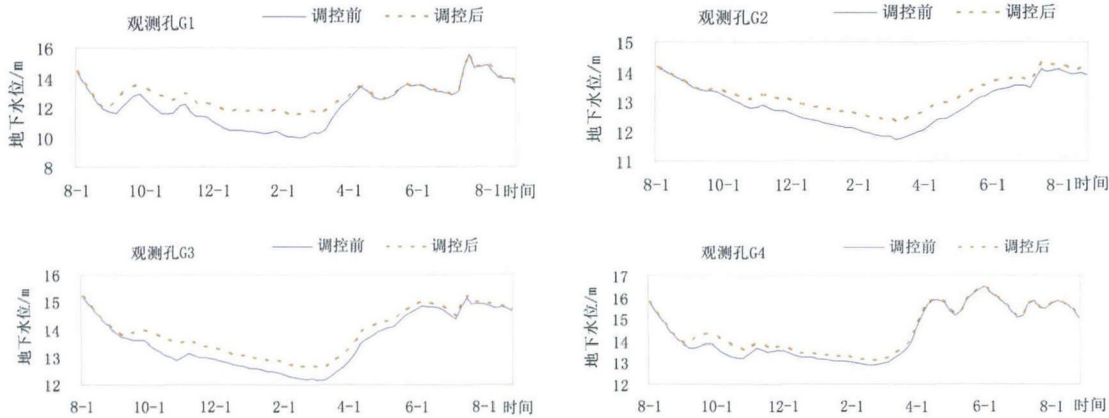


图4 建坝前后一个调节年度地下水位对比
Fig.4 The annual adjustment groundwater level comparing before and after the dam construction

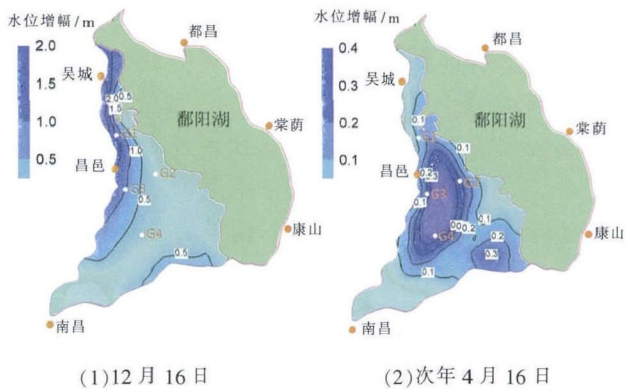


图5 建坝前后地下水位增幅时空变化
Fig.5 The groundwater level variation in temporal and spatial

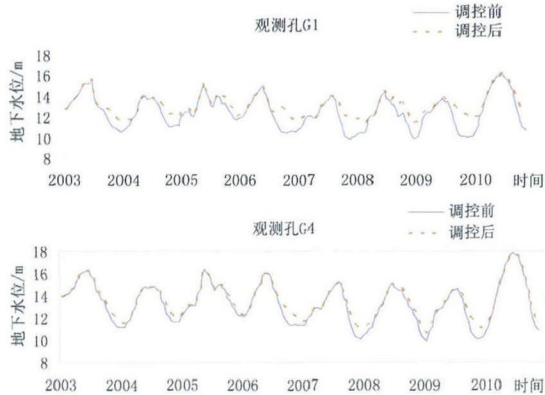


图6 建坝前后长期运行情况下地下水位对比
Fig.6 The groundwater level comparing before and after the dam construction in long-running case

逐渐减小。赣江西支地下水渗透性较好,且距坝址距离相对较近,地下水位增幅为 0~2.0m,影响明显的范围大约为昌邑水文站(距坝址 63km)以下、距赣江西支 3km 以内(图 5-(1))。当调控期结束,地表水能很快恢复无调控状态,其附近的地下水水位也回落比较快,但离河流较远和渗透系数较差的地区回落比较慢(图 5-(2)),当下一个调节周期开始时,河间地块中间区域还有 0.05~0.1m 的影响程度,影响基本消失。

(3)从长时段运行结果来看,丰水年份影响幅度小,枯水年份影响幅度大(图 6)。例如 2006、2007、2008、2009 连续 4 年来水较少,为枯水年组,地下水位受枢纽影响程度比较大,其中 2006 年鄱阳湖出现了罕见的长时间枯水位过程,受枢纽影响程度最大(0~3m),比一般枯水年份影响幅度高 0.5m 左右。2010 年为丰水年,地下水位最低点明显回升,受枢纽影响程度也明显减小。

(4)鄱阳湖地区存在一定程度的土壤潜育化问题,枢纽调控后会增加潜育化程度。枢纽调控后枯水年份对地下水位影响的幅度相对较大。但是,丰水年份地下水位比枯水年份高 1~2m,经枢纽调控后丰水年地下水位仍比枯水年高。依据地下水位埋深小于 0.6m 的统计结果,经枢纽调控后新增的潜育化面积比率分别是:枯水年份 0.1%、平水年份 0.5%、丰水年份 9.3%。从统计结果可以看出,受枢纽调控影响,使农业渍害加重的主要是丰水年份,其它年份影响的范围和程度都很小。

5 结论及建议

鄱阳湖水利枢纽工程对地下水位造成了一定程度的影响,影响时段主要在枯水期,丰水年份影响幅度小,枯水年份影响幅度大。影响空间分布情况为距离河流近的地方影响程度大,离河流远的地方影响程度小,但调节期结束后离河流近的恢复较快,离河流远的恢复较慢。影响的主要结果是地下水位抬高,减小地表水与地下水间水力梯度,区域地下径流交替强度减弱,丰水年份潜育化面积增大。地下水位抬升会使土壤含水量发生相应的变化,应进行农业渍害的影响研究。地下水排泄对地下水水质的影响非常关键,后继还应进行地下水水质影响分析。这些研究工作可以为枢纽工程的可行性以及生态环境影响评价提供科学依据。

参考文献:

- [1] 齐述华,廖富强.鄱阳湖水利枢纽工程水位调控方案的探讨[J].地理学报,2013,68(1):118-126.(QI Shuhua,LIAO Fuqiang. A study on the scheme of water level regulation of the Poyang Lake hydraulic project[J]. Acta Geographica Sinica,2013,68(1):118-126.(in Chinese))
- [2] 胡四一.对鄱阳湖水利枢纽工程的认识和思考[J].江西水利科技,2009,35(2):79-81.(HU Siyi.The understanding and thinking to Poyang Lake water control project [J].Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2009,35(2):79-81.(in Chinese))
- [3] 张双虎,蒋云钟.鄱阳湖水利枢纽运行调度方式及其对水资源与防洪的影响[J].中国水利水电科学研究院学报,2011,9(4):257-263.(ZHANG Shuanghu,JIANG Yunzhong. Study on dispatching scheme of water control project in Poyang Lake and its influence on water resources and flood control [J].Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2011,9(4):257-263.(in Chinese))
- [4] 胡春宏,阮本清.鄱阳湖水利枢纽工程的作用及其影响研究[J].水利水电技术,2011,42(1):1-7.(HU Chunhong, RUAN Benqing. Study on roles and impacts of Poyang Lake water control project[J].Water Resources and Hydropower Engineering,2011,42(1):1-7.(in Chinese))
- [5] 凌敏华,陈喜,程勤波,等.地表水文过程与地下水动力过程耦合模拟及应用[J].水文,2011,31(6):8-13.(LING Minghua,CHEN Xi,CHENG Qinbo. Couple modeling between surface hydrology process and groundwater dynamic process and its application[J]. Journal of China Hydrology,2011,31(6):8-13.(in Chinese))
- [6] 陶虹,陶福平,刘文波.关中城市群 50 年地下水动态变化及影响因素研究[J].水文地质工程地质,2013,40(6):37-43.(TAO Hong,TAO Fuping,LIU Wenbo. Characteristics and influencing factors of groundwater dynamics in Guanzhong urban agglomeration during the last 50 years[J].Hydrogeology & Engineering Geology, 2011,42(1):1-7.(in Chinese))
- [7] 兰盈盈,赵康文,肖长来.洮儿河扇形地区地下水资源可持续开发利用对策研究[J].水文,2007,27(1):86-88.(LAN Yingying,ZHAO Kangwen, XIAO Changlai. Research of sustainable development of water resource about Taoerhe River[J]. Journal of China Hydrology, 2007,27(1):86-88.(in Chinese))
- [8] 丁明军,郑林.鄱阳湖沙山地区沙化土地特征及成因分析[J].水土保持通报,2010,30(2):159-163.(DING Mingjun, ZHENG Lin. Characteristics and driving factors of sandy desertification in the sandy hill area of Poyang Lake [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010,30(2):159-163.(in Chinese))
- [9] 陈崇希,林敏.地下水动力学[M].北京:中国地质大学出版社,2009:26-27.(CHEN Chongxi, LIN Ming. Groundwater Dynamics [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 2009:26-27.(in Chinese))
- [10] Jacek Gurwin, Maciek Lubczynski. Modeling of complex multi-aquifer systems for groundwater resources evaluation—Swidnica study case (Poland) [J]. Hydrogeology Journal, 2005,13:627-639.
- [11] Almasri MN, Kaluarachchi JJ. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds [J].Hydrology, 2007,343:211-229.

(下转第 56 页)

- [7] 顾世祥,李远华,何大明,等. 以 MIKE BASIN 实现流域水资源三次供需平衡[J]. 水资源与水工程学报, 2007,18(1):5-10. (GU Shixiang, LI Yuanhua, HE Daming, et al. Watershed water resources three-allocation based on MIKE BASIN [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2007,18(1):5-10. (in Chinese))
- [8] 陈欣,顾世祥,谢波,等. MIKE BASIN 在水资源论证中的应用研究[J]. 中国农村水利水电, 2009(10):8-11. (CHEN Xin, GU Shixiang, XIE Bo, et al. Application of MIKE BASIN software to assessment of water-draw and utilization [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009,(10):8-11. (in Chinese))
- [9] 肖志远, 陈力. 基于 MIKEBASIN 平台的汉江流域径流预测模型初探[J]. 长江科学院院报, 2008,25(6):43-48. (XIAO Zhiyuan, CHEN Li. Runoff prediction model for Hangjiang river basin based on Mike Basin program [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008,25(6):43-48. (in Chinese))

Simulation Model of Water Resources Management Based on MIKE BASIN for Shiyanghe River Basin

SUN Dongyuan, LU Shuchao, LI Yuanhong, WANG Junde, HU Xiangquan, CHENG Yufei

(Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The water resources high-effective management is effective mode for improving water resources dynamic management, and is comprehensive management measures for realizing conjunctive regulation for surface water, groundwater, reuse water and multiple sources of water and improving water resources utilization efficiency, which will offer technical support for water resources rational collocation and high-effective using. Taking Shiyanghe River as the study case, according to precipitation, evaporation and water use data, the water resources management model was established based on MIKE BASIN, and variation characteristics of runoff, reservoirs and water demand and used of irrigated area were simulated in the Shiyanghe River Basin. The results show that water resources management model is correct and the chosen parameter and calculated results are reasonable. The simulation results reflect variation of water resources and accord with the condition of the Shiyanghe River. The water demands in 2015 and 2020 were forecasted with MIKE BASIN model. The forecasted results show that water demands taken on downtrend from 2010 to 2020 in the Shiyanghe River. The water demands decreased by $23\,572.19 \times 10^4 \text{ m}^3$ in 2015 than those in 2010, and will decrease by $20\,926.77 \times 10^4 \text{ m}^3$ in 2020 than those in 2015, which means the water demands show a decrease trend.

Key words: MIKE BASIN; Shiyanghe River Basin; water resources management; simulation model

(上接第 41 页)

Discussion on Effects of Proposed Water Structure on Poyang Lake Groundwater Using GMS

LAN Yingying^{1,2}, ZENG Masun³, JIN Menggui¹, ZOU Youqin⁴, CHEN Baoping³, WU Lihong³

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Academy of Hydraulic and Ecology Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China;

3. Survey and Design Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330095, China;

4. School of Environmental and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: In this paper, the historical data, field survey, statistical analysis, numerical simulation were adapted, and Ganjiang River Delta was selected as typical research area to aim at the effects of a water structure on the groundwater in the Poyang Lake Basin. The boundary conditions were determined based on regional geological and hydrogeological data, dynamic relationship between groundwater and river, regional digital elevation model, and historical formation and evolution of the Poyang Lake. A three-dimensional groundwater flow model for the study area was established using GMS software. Then, the flow model was used to simulate the structure impact on the groundwater according to the scheduling scheme of the structure. The results show that there are big impact in dry years, large effect on the places near the river and dam, and vice versa. The groundwater level raised 0-2 m, groundwater runoff alternately decreased, and soil gleization area increased by 9.3% in wet year.

Key words: Water Conservancy Project for Poyang Lake; groundwater modeling; groundwater level; GMS