

南水北调供水前后京杭运河梁济段沿岸 地下水埋深变化预测研究

祁元昊¹, 张鑫², 焦莹³, 白淑娟⁴

(1. 上海市浦东新区海塘管理署, 上海 201200; 2. 淮海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098;
3. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222; 4. 杭州萧山水利建筑工程有限公司, 浙江 杭州 311215)

摘要: 运用地下水模型软件 Visual Modflow 建立了地下水数值模拟模型, 并利用模型对梁济运河沿岸南水北调受水区进行了地下水数值模拟和趋势的预测。预测结果表明, 在预测过程中降水及蒸发量未做改变, 河流水位相应提高。在数值模型模拟期末, 地下水埋深在京杭运河济宁段的西岸附近在 7 m~8 m 左右, 而在预测末期, 地下水埋深变为 1 m~2 m 左右, 变化幅度超过 5 m, 地下水埋深等值线相对密集, 说明河流水位的抬升, 对地下水的影响不容忽视。

关键词: 南水北调; 京杭运河梁济段; 地下水; 数值模拟

中图分类号: TV212

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)03—0145—05

Prediction for Groundwater Depth Changes in Intake Area of South-to-North Water Transfer Project in Liangji Reach of Hangzhou Canal

QI Yuan-hao¹, ZHANG Xin², JIAO Ying³, BAI Shu-juan⁴

(1. Pudong New Area Seawall Administration Office of Shanghai City, Shanghai 201200, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;
3. Zhongshui Beifang Investigation and Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China;
4. Hangzhou Xiaoshan Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311215, China)

Abstract: The simulation and prediction for groundwater are made by the model built with the software Visual Modflow and based on the numerical simulation and trend prediction for the groundwater in the intake area of South-to-North Water Transfer Project in Liangji Reach of Hangzhou Canal. The results show that during the prediction, the precipitation and evaporation would not be changed, and the river level would be raised relevantly. In the last phase of the simulation, the groundwater depth is about 7~8 m in the west bank of Jining Canal, and in the final phase of the prediction, the groundwater depth is about 1~2 m. When the change range of the groundwater depth is over 5 m, the isolines of the groundwater depth are relevantly concentrated, which could explain that the influence of river level raising on the groundwater level should not be neglected.

Keywords: South-to-North Water Transfer Project; Liangji Reach of Hangzhou Canal; groundwater; numerical simulation

0 引言

国家实施南水北调工程, 为缓解黄淮海平原, 特别是城市供水紧张和生态环境恶化的严峻局面提供了机遇^[1]。一方面补充地下水, 另一方面沿途用于农田灌溉, 这将从根本上改变黄淮海平原干旱缺水

及生态环境恶化的局面^[2]。南水北调工程对减少与制止受水区地下水超采可以提供必要的条件。同时, 南水北调沿线的配置水量及与日剧增的水资源尤其是地下水资源的需求量, 都要求对南水北调来水及地下水资源进行合理的开发利用, 充分发挥地表水与地下水联合利用的效益^[3]; 另外, 外来客水也

将会对受水区水污染治理及生态环境产生一定影响^[4],非常有必要对外来客水进行科学有效的利用,发挥开源节流、改善生态环境、利用改造咸水和防止土壤盐碱化等。

南水北调东线一期工程建成后,由于输水干线跨越不同类型的地貌单元,沿线地形地貌、地质及水文地质条件复杂,当沿线河水位抬高后,原有的河水与地下水的补排关系必将发生变化,对工程沿线附近地区的地下水水位和水量必然产生一定的影响,因此,有必要结合不同的地貌、地质和水文地质条件,对输水干线沿线可能发生的河渠渗漏量及其地下水量的变化进行分析研究。土壤盐碱化一直是黄淮平原地区突出的环境问题,尤其在京杭运河济宁段以西的黄泛平原地区更加突出^[5]。地下水开采使得地下水位下降,虽对土壤盐碱化起到了一定遏制作用,但是随着南水北调工程济宁段河水位的抬升,使某些地区的地下水位有上升的趋势。本文在前人研究的基础上,结合 Visual Modflow^[6]模型模拟预测地下水流场趋势,为南水北调工程实施后受水区土壤次生盐碱化研究提供依据。

1 水文地质条件

由于京杭运河梁济段流经山东省济宁市,根据济宁市的自然地理条件、水文地质条件,本文研究范围在前人研究模型的基础上,以 2001 年平均潜水等水位线为依据,边界大致沿 30 m 标高对应的地下水等水位线,区内地表高程在 34 m~49 m 之间。南部以南四湖的北端小北湖为界,西边界到安居镇,东南以京杭运河的济宁段为界。研究区南北长约 14 km,东西宽约 10 km,面积约为 140 km²,如图 1。

京杭运河以西的广大地区,则因黄河多次改道、泛滥,故在近河之嘉祥、济宁两县,埋藏深度约 30 m 以上,主要为黄河冲积层,局部有湖相沉积。埋深在 30 m 以下,为黄河冲积层与汶泗河冲洪积层交错地段。向西,黄河冲积物厚度逐渐增大,汉、泗河冲洪积层逐渐消失,其含水层岩性以粉细砂为主。

本地区上部浅层地下水的主要补给来源为大气降水,其次是上游地下径流、灌溉入渗及河流侧渗等补给,地下水天然流向与地表水流向基本一致,大致由北向南,湖区为主要汇集处。

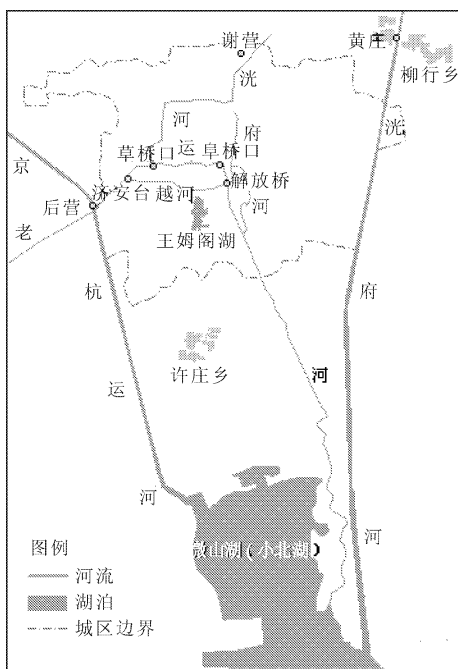


图 1 研究区示意图

2 地下水流模型

2.1 水文地质概念模型

地下水数值模拟模型是地下水资源评价、地下水变化趋势和管理的有效工具^[7-9]。运用地下水流数值模拟模型,可预测各种地下水开发利用条件下的地下水流场和水位动态变化趋势,从而评价地下水对环境的影响。根据地质钻孔资料及含水层埋藏条件,将研究区内地层概化为三层,从上至下,依次代表潜水含水层,弱透水层和承压水含水层,潜水通过弱透水层越流补给承压水。研究区内水位呈非稳定状态,含水层为非均质各向异性,同一参数分区内可视为均质,水流服从达西定律。根据边界附近的水位观测孔资料将边界概化为一类水头边界,即模型中的通用水头边界(GHB);补给以降水入渗和京杭运河等研究区内河流的入渗补给为主;排泄以人工开采和补给河流为主。根据实际资料情况,选择模拟时段为 2001 年 1 月至 2003 年 12 月,计算时段以月为单位,以 2001 年 1 月份研究区内的水头分布作为初始条件,如图 2。

2.2 地下水水流数值模型

根据上述水文地质概念模型,建立相应的二维水流数学模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[K(H - B) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(H - B) \frac{\partial H}{\partial y} \right] + W - Q_E - Q_V = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, & (x, y) \in D \\ H(x, y, t) |_{t=0} = H_0(x, y), & (x, y) \in D \\ K(H - B) \frac{\partial H(x, y)}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, t), & (x, y) \in \Gamma_2, t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: K 为渗透系数(m/d); H 为潜水水位(m); B 为含水层底板标高(m); t 为时间; W 为单位体积流量, 用以代表流进(源)的水量(m^3/d); Q_E 为潜水蒸发蒸腾量(m^3/d); Q_V 为地下水开采量; μ 为孔隙介质给水度; Γ_2 为模型边界; D 为模型范围, 包括 Γ_2 。

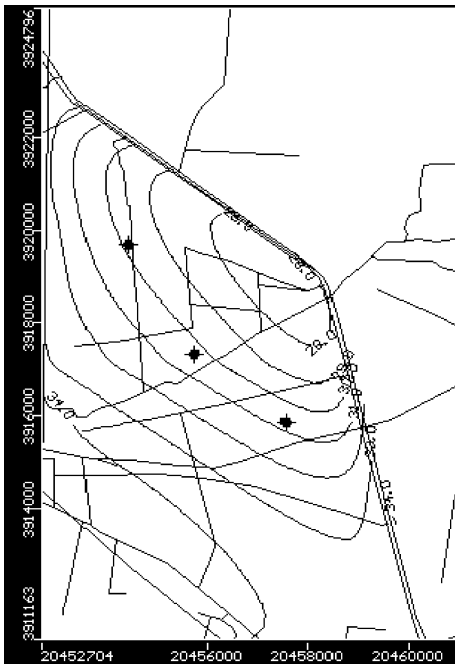


图 2 2001 年 1 月地下水水位等值线图

2.3 模型的识别和验证

研究区剖分为 20 行, 20 列, 共计 400 个单元格。其中, 有效单元格 175 个, 无效单元格 225 个, 每个单元格面积约为 0.35 km^2 。在垂向上, 根据区域内地质钻孔资料及含水层埋藏条件, 概化为三层, 从上至下, 依次代表潜水含水层, 弱透水层和承压水含水层, 剖分结果剖分结果如图 3、图 4, 图中白色网格为有效单元格, 灰色网格为无效单元格。

根据实际资料情况, 选择模拟时段为 2001 年 1 月至 2003 年 12 月, 进行逐月模拟计算。在研究区内共有 3 眼观测井, 大致均匀分布, 以期达到控制全区流场的目的。其位置分布见表 1 和图 5。研究区域分布有水稻田和鱼塘, 其用水以引河湖水为主, 同时也开采少量潜水, 所以概化为少量潜水开采井。模型识别结果表明, 这样的概化是合理的, 开采井分布情况如图 6。

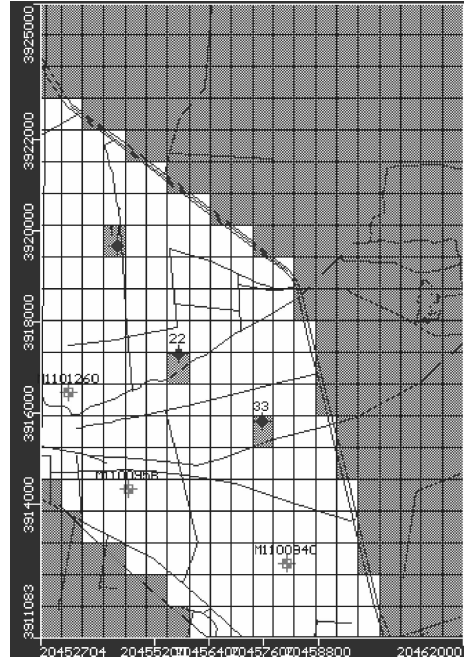


图 3 纵向网格剖分图

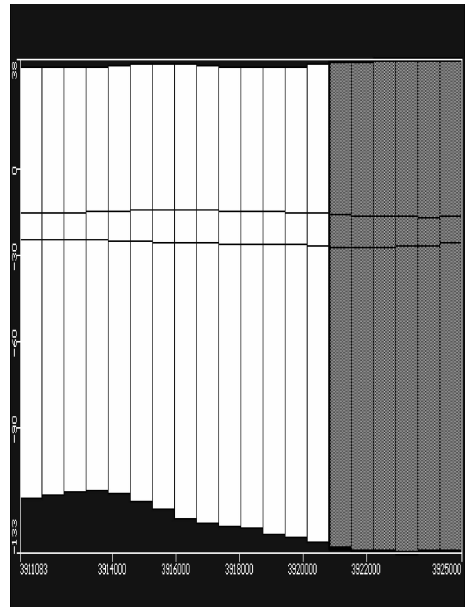


图 4 垂向网格剖分图(沿第 8 行)

表 1 研究区水位观测井位置一览表

井号	位置
M110095B	唐口镇西王庄村西 700 m
M1100940	唐口镇大张庄村西 200 m
M1101260	安居镇居北村

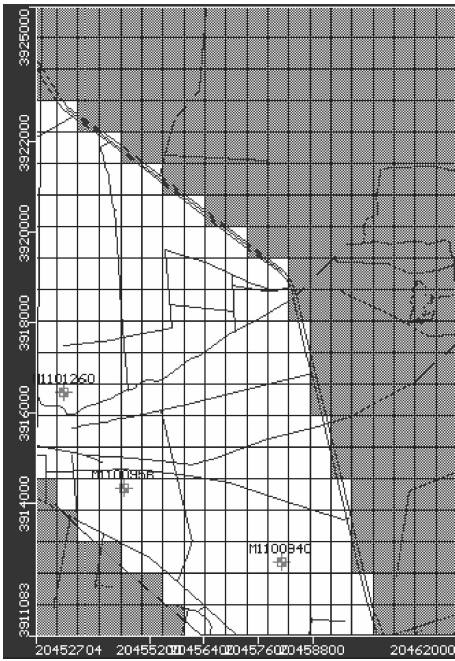


图 5 研究区水位观测井分布图

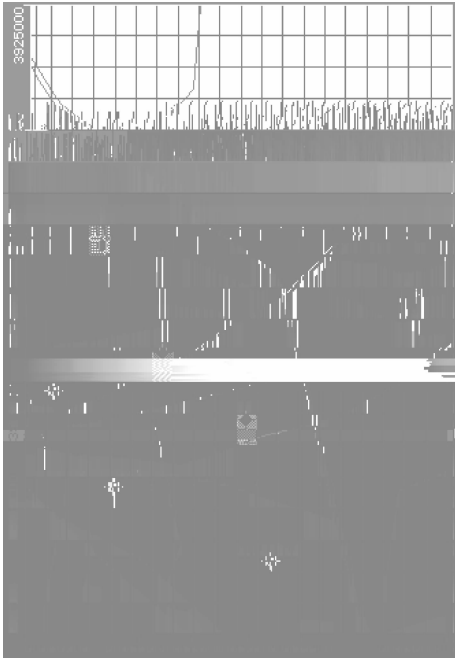


图 6 研究区开采井分布图

本次研究,利用试错法对模型参数进行了率定,经过反复调参,得到了较为理想的模型识别结果。例如,在第 365 天,3 个拟合点的绝对误差均位于 ± 1 m 范围内,其中在 ± 0.5 m 内的拟合点数占到 94%,类似地,在第 731 天和 1 095 天,绝对误差位于

± 0.5 m 内的拟合点数分别占到 96% 和 95%。

此外,Visual MODFLOW 软件自身也具有强大的模拟结果自动统计功能,在此,采用 *RMS* 和 *NormalizedRMS* 两参数对模拟结果进行分析。

残差均方根 *RMS* (Root Mean Squared Residual) 计算公式如下:

$$RMS = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n R_i^2} \quad (2)$$

式中: n 为计算拟合点个数, R 为单个拟合点的绝对误差。

由此计算第 365 天、731 天和 1 096 天的 *RMS* 分别为:0.39 m、0.414 m 和 0.531 m。因为 *RMS* 计算公式中没有考虑拟合水位变化幅度对模型精度的影响,因此,Visual MODFLOW 引入另外一个更加准确的判别参数:标准化残差均方根 *NormalizedRMS*,其计算公式为:

$$NormalizedRMS = \frac{RMS}{(X_{obs})_{max} - (X_{obs})_{min}} \quad (3)$$

式中: $(X_{obs})_{max}$ 为观测值的最大值; $(X_{obs})_{min}$ 为观测值的最小值。

计算第 365 天、731 天和 1 096 天的 *NormalizedRMS* 分别为 1.33%、2.36% 和 2.16%,说明模型的拟合结果较好,所拟合的参数也能反映实际的水文地质条件,可为土壤次生盐碱化分析提供依据。

3 地下水位变化趋势预测

本文基于南水北调受水区的地下水位流场趋势变化,因此主要考虑河流水位上升的影响,在预测过程中降水及蒸发量未做改变,河流水位相应提高。利用已率定的地下水数值模型,在已有各参数不变的情况下,预测河水位上升后,地下水埋深变化过程。在数值模型模拟期末,如图 7,地下水埋深在京杭运河济宁段的西岸附近在 7 m~8 m 左右,研究区中部在 2 m~5 m 左右,研究区的南部,因与南四湖北岸相接,地势低洼,地下水埋深相对较小,整个研究区地下水埋深等值线比较稀疏;而在数值模型预测期末,如图 8,在京杭运河济宁段沿岸,地下水埋深变为 1 m~2 m 左右,变化幅度超过 5 m,地下水埋深等值线相对密集,说明河流水位的抬升,对地下水的影响不容忽视。

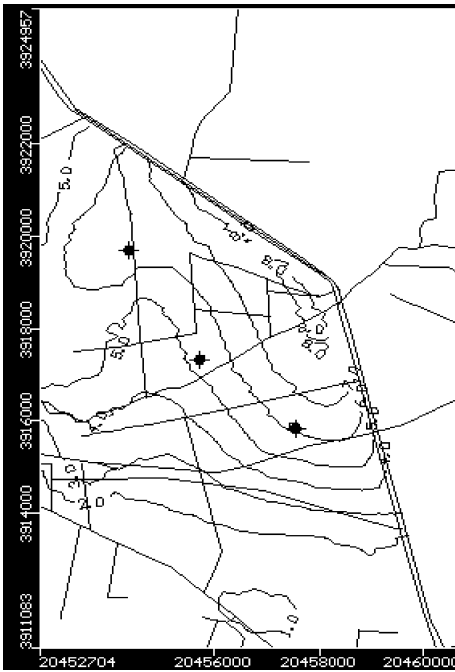


图7 模拟期(2003年6月)
地下水埋深等值线图

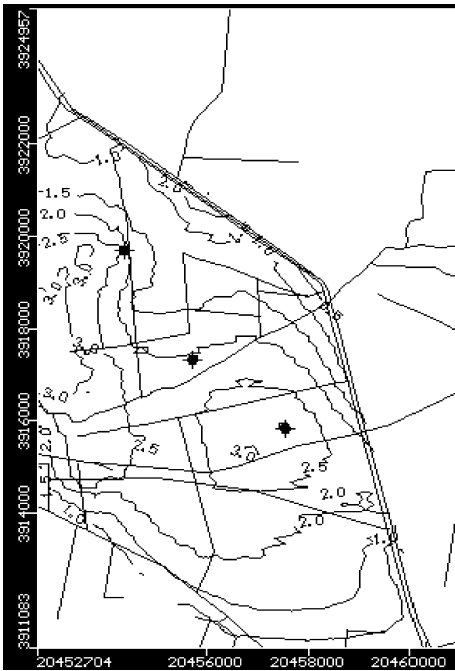


图8 预测期(2013年6月)
地下水埋深等值线图

从预测结果来看,南水北调工程造成地下水位回升,地下水埋深变浅,使地下水的生态功能得以恢复。但研究区附近为农田、耕地,若地下水埋深过浅,会产生土壤次生盐碱化问题。

4 结论与建议

(1) 建立的研究区地下水数值模拟模型对南水北调前后京杭运河梁济段沿岸地下水流动趋势进行了预测,结果表明:河水位上升1 m后,地下水埋深在10 a的预测期内变化幅度超过5 m。

(2) 地下水位的回升使当地的地下水资源日渐丰富,一系列的环境地质问题得到改善。

(3) 地下水位的回升同时也带了了不容忽视的土壤次生盐碱化问题,京杭运河梁济段沿岸为农田,如果地下水埋深一再变浅,水位升高,在蒸发的作用下,水被蒸发,但是盐分却留在土壤表面,不利于农作物的生长,因此要进一步遏制地下水水位上升,防治土壤次生盐碱化问题的产生。

参考文献:

- [1] 王秉忱,杨天行,王宝金,等.地下水污染地下水水质模拟方法[M].北京:北京师范学院出版社,1985:3-9.
- [2] 方生,陈秀玲.关于黄淮海东部平原南水北调受水区水资源优化配置与生态环境综合治理的建议[J].地下水,2002,24(3):131-133.
- [3] 束龙仓,Basil T. Iro Ong'or,刘佩贵,等.济宁市漏斗区地下水超采修复的风险评价[J].工程勘察,2007,(12):33-38.
- [4] 张慧,沈林栋,张凌东.浅谈南水北调对山东受水区的影响[J].山东水利,2007,(8):75-76,79.
- [5] 张长春,邵景力,李慈君,等.华北平原地下水生态环境水位研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2003,33(3):323-326,330.
- [6] <http://www.emrl.byu.edu/gms.htm>[EB/OL].
- [7] J. Bear 著,许绍铭,等译.地下水水力学[M].北京:地质出版社,1985.
- [8] 孙纳正.地下水流的数学模型和数值方法[M].北京:地质出版社,1981.
- [9] 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,2002.