

基于数值模拟的松花江大顶子山水库浸没评价

孙思淼^{1,2}, 戴长雷^{1,2}, 李治军^{1,2}, 高淑琴³

(1. 黑龙江大学水利电力学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江大学寒区地下水研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080; 3. 太原科技大学环境与安全学院, 山西 太原 030024)

摘要 以大顶子山水库上游浸没影响区为研究对象, 在分析地下水动态及水量均衡的基础上, 通过数值模拟方法对现状条件下的浸没态势进行评价, 并对结果进行了讨论。结果表明, 在截渗效果上贯穿式截渗墙优于悬挂式截渗墙, 但 2 种截渗方案都会对生态环境干预严重, 该区治理方案有待于进一步研究确定。

关键词 地下水 水库浸没 浸没评价 数值模拟 大顶子山水库

中图分类号 :TV697 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2011)S1-0026-04

水库浸没是由于水库蓄水或其他工程活动造成地表水位上升, 导致浅层地下水位壅高, 从而引起各类地质、环境灾害的一种现象^[1-2]。由于水库浸没引起的多种环境地质灾害往往会给浸没区的生态环境、生命财产安全及社会经济带来严重的危害, 因此水库浸没问题引起了人们的重视^[3-4]。

松花江大顶子山航电枢纽工程是以航运、发电为主的多功能水利工程, 地理位置为东经 127°15'、北纬 46°03', 上游库区北岸为哈尔滨市呼兰区, 南岸为哈尔滨市道外区以及宾县。坝址位于松花江干流呼兰河汇合口下游 46 km 处, 自 2007 年春季蓄水以来, 水库正常蓄水位为 116 m, 比蓄水前天然河道水位 110 m 高出许多。由于地表水位与两岸地下水位具有密切的水力联系, 加上该漫滩区具有地形狭长、地势较低、含水层透水性好等特点, 使得由江水位升高引起的南、北两岸地下水位壅高以及随之而来的水库浸没现象十分明显^[5]。笔者拟建立具有一定精度的数值模拟模型, 对不同预设情境进行模拟, 进行方案的对比分析^[6]。

1 水文地质概念模型

1.1 研究区位置

选取大顶子山航运枢纽工程上游松花江干流南北两岸 2 部分浸没影响区作为研究区^[7-8]。江北部分位于哈尔滨市呼兰区腰堡乡所处的腰堡灌区, 总

面积为 58.48 km², 地面高程在 117.00 ~ 120.00 m 之间, 江南部分主要包含哈尔滨市道外区东风镇、民主乡、巨源乡所处的新仁灌区, 总面积为 117.65 km², 地面高程在 116.00 ~ 121.00 m 之间, 见图 1^[9]。

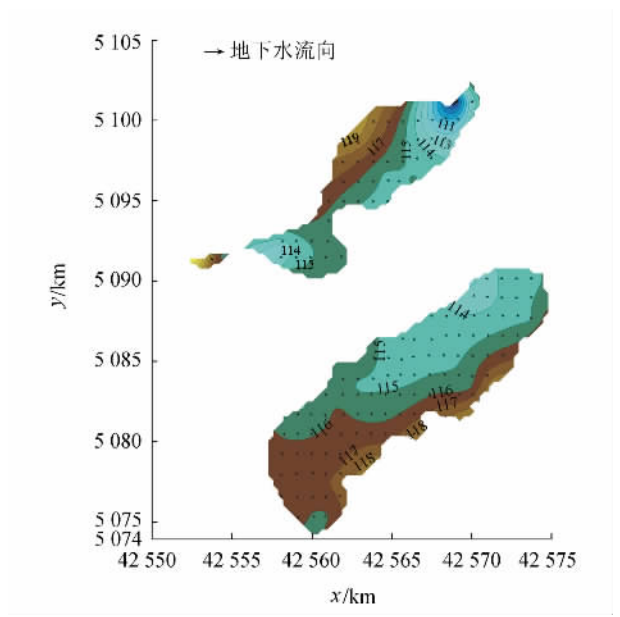


图 1 研究区地下水水位等值线(单位 :m)

1.2 研究区边界条件

研究区潜水含水层侧向与研究区外水量交换, 故将含水层侧向边界概化为透水边界。研究区江北部分南以松花江为边界、北以高台地为边界, 由于江水位、边界上地下水位观测资料不足, 将其概化为二

基金项目 “十一五”国家科技支撑计划(2006BAB14B04-06); 黑龙江省水利厅指导性科技项目(HSKY2011-01); 黑龙江省教育厅面上项目(11551330)

作者简介 孙思淼(1986—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 从事寒区包气带土壤水分迁移研究。E-mail : sunsimiao_work@126.com
• 26 • 水利水电科技进展, 2011, 31(S1) Tel : 025-83786335 E-mail : jz@hhu.edu.cn http : //kbb.hhu.edu.cn

类流量边界^[10]。研究区江南部分南以高台地为二类流量边界、北以松花江为二类流量边界,西部边界与地下水流线基本平行,近似做隔水边界处理。二类边界流量利用不同江水位与浸没区测点间水力坡度确定。

研究区潜水含水层的上部边界为水量交换边界,主要为降水入渗、灌溉及鱼塘回渗补给;区域底部边界为埋深约 40 m 的透水性极差的前第四纪白垩系嫩江组泥岩^[11],故为相对隔水边界。

1.3 研究区地下水流态

在研究区内含水层分布广泛,平面上无限延伸;潜水含水层的天然水力坡度为 $1.1 \times 10^{-4} \sim 2.1 \times 10^{-4}$,地下水流场较为平缓,渗流基本符合达西定律^[12-13]。水流形式可以概化为平面二维流或准三维流;各水流要素随时间发生变化,为非稳定流。据此,可将研究区地下水流运动概化为均质各向异性、潜水、非稳定、平面二维地下水流^[14-15]

2 源汇项、地下水动态信息的处理

2.1 数据来源

动态数据源于 2010 年 8 月 22 日至 10 月 23 日利用研究区内民井进行的地下水位统测及地下水均衡调查工作(江南研究区区内及边界测点井共 52 眼,江北研究区测点井为 24 眼),含水层相关水文地质参数源于研究区已有的地质钻孔资料。

2.2 地下水动态

通过绘制研究区等水位线、等埋深线(图 1、图 2)可见,江北研究区地下水水位在 108 ~ 119 m 之间,水位在空间分布上呈西北向东南递减的态势,最低水位出现在研究区东北部近江地区,自南部至东南

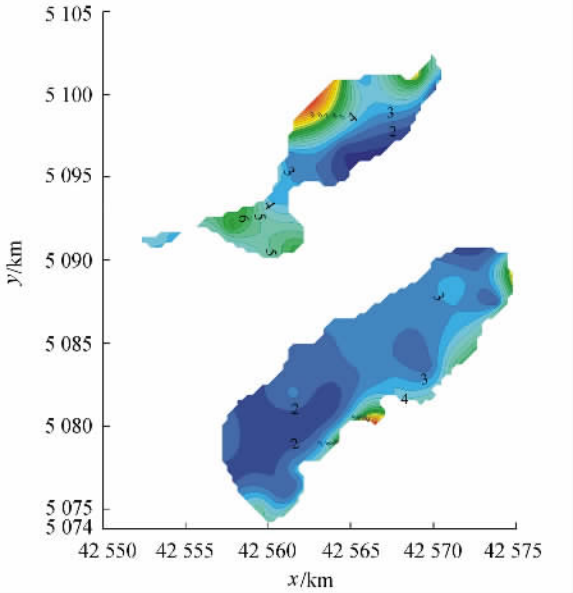


图 2 研究区地下水埋深等值线(单位: m)

近江地区普遍水位在 116 m 以下,江南研究区地下水水位在 113 ~ 117 m 之间,水位空间分布整体呈西、南高,北、东低态势,最低水位出现在研究区北部临江地区,自西北至北部临江地区普遍水位在 115.5 m 以下。同时,区内地下水位埋藏浅,江北部分埋深多为 1 ~ 5 m,江南部分埋深多为 1 ~ 3 m。

2.3 源汇项计算

通过研究区均衡计算可知,补给项包括降水入渗、松花江水补给地下水、台地侧向补给地下水、农田灌溉回渗及鱼塘回渗,排泄项包括潜水蒸发、人工开采。从现状条件下的均衡计算结果可以看出,总体态势为补给大于排泄。研究区开采量在排泄总量中比例达到 40% ~ 60%,是本区浸没态势的重要影响因素。在浸没态势以及治理方案的预报中,必须考虑其可能存在的变化。

3 模型构建、识别

基于水文地质模型,本次地下水流的数值模拟采用 GMS 软件建立模型并求解。利用水位动态观测井的水位实测值与模型计算值进行比较,调整模型的水文地质参数,直至拟合效果较好。

模型识别期拟合结果表明拟合程度比较好(图 3),87.18% 的观测孔计算水位与观测水位误差小于 0.5 m,从而说明该模型中的各参数能较好地反映研究区内的水文地质条件^[12-13],故该模型可用来进行哈尔滨市大顶子山航电枢纽工程上游松花江两岸浸没影响区地下水位的预报。

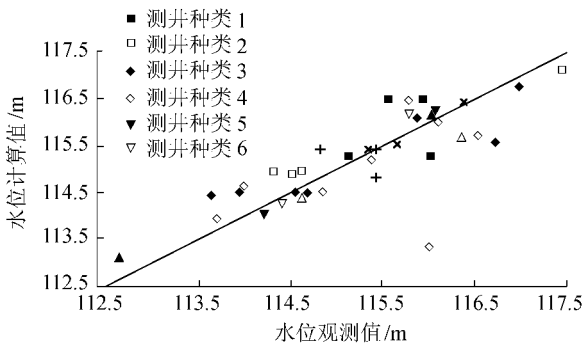


图 3 模型识别期地下水位拟合结果

4 模拟结果与评价

分别以在研究区近江一侧含水层边界设置贯穿式截渗墙、悬挂式截渗墙为 2 种预设方案,利用经过识别和验证的地下水数值模拟模型进行计算后得出模拟结果。预测模拟期限为 10 年,源汇项(降水)预报利用回归、时序迭合模型原理进行计算。

4.1 方案 1 贯穿式截渗墙条件下的浸没评价

贯穿式防渗墙是指在打穿含水层直至基岩的防

渗工程,研究区含水层厚度约在 31 ~ 40 m 之间。

设置贯穿式截渗墙后,江北部分的水位普遍降低至 106 ~ 118 m,江南部分的水位普遍降低至 113 ~ 117 m。江北部分浸没影响区面积约为零,过渡区浸没影响面积约占 10%,呈窄带状分布于研究区东南沿江三村(西飞虎图、东飞虎图、陈排头屯)以及呈小块分布于研究区最西端的呼兰口子东侧;不发生浸没的区域面积约占 90%,呈大块遍布于整个区域。江南部分浸没影响区面积约为零,过渡区浸没面积约占 19%,呈窄条、小块状分布于研究区的西部村屯(王尖屯、后五棵树以及周凤屯、程家屯、王家屯、大肖店、席家屯、小七队屯、万发屯、西三合)、东部(金家屯、韩家屯、白鱼泡)的近江区域;无浸没影响区约占 81%,呈大块遍布于整个区域,见图 4。

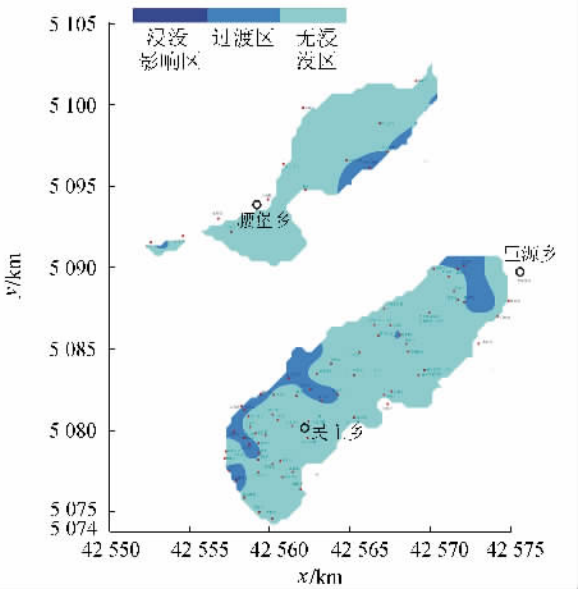


图 4 方案 1 条件下的浸没态势预测

4.2 方案2 悬挂式截渗墙条件下的浸没评价

悬挂式截渗墙是指设置在地面向下布设截留材料的防渗工程,本截渗墙情形下设计深度为 25 m。除去区内防洪堤高 4 m 左右,实际截渗墙基底位于埋深 21 m 左右处。

设置悬挂式截渗墙后,江北部分水位普遍降低至 107 ~ 119 m,江南部分水位普遍降低至 113 ~ 118 m。江北部分浸没影响区面积约为 2%,呈小块状位于研究区东南近江的西飞虎图村;过渡区约占 19%,呈窄条状分布于研究区南部及东南部的东飞虎图、陈排头屯及高家屯南部;不发生浸没的区域约占 79%,位于研究区西、西北、东北部。江南部分,浸没影响区面积约为 7%,呈圆形位于研究区东北部的大肖店村以及东部的朝鲜屯东侧及白鱼泡地区;过渡区约占 37%,呈带状分布于研究区西北 29 村(以前五棵树、李院头屯、高玉环屯、新发屯、后双

合、火力岗子、新生屯、胜利屯、西三合、东三合、田刚屯为界)、东北近江一侧(以大马家窝棚、王家垌、孙木桥、监狱一大队、万家屯为边界);无浸没影响的区域约占 56%,主要沿南部台地成条状分布并在中部扩展至近江地区,见图 5。

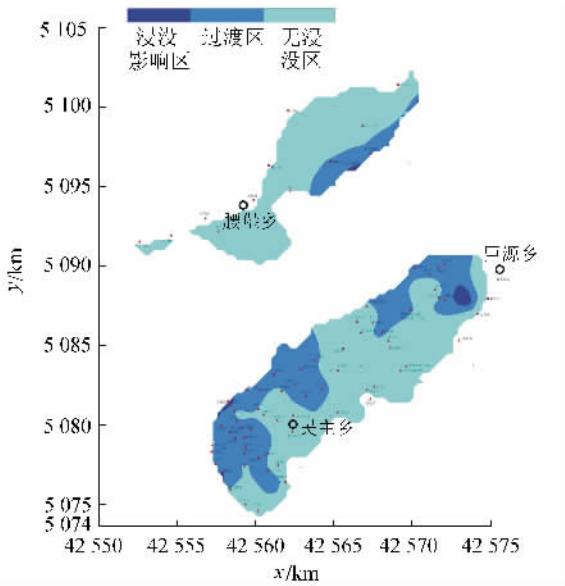


图 5 方案 2 条件下的浸没态势预测

经 2 种方案对比,得出结论如下:贯穿式截渗墙截渗效果较好,但工程量大,对生态环境干预较严重;悬挂式截渗墙由于改变水力梯度带来的含水层非截渗段进水量会抵消一部分截渗量,所以截渗效果不够明显,且工程量较大。

5 结论与讨论

a. 关于水库浸没的研究及本文的应用价值。由于水库浸没问题的逐渐明显以及水库管理研究的不断深入,目前国内已有很多关于水库浸没问题的研究,主要涉及东北^[10]、华北^[16]、华中^[17]、西南^[18]和华南^[19]地区等。其中东北地区以松花江大顶子山水库为代表的平原区水库浸没曾有过相关讨论^[5,7,9-10],但研究范围均为江北部分。本文在范围上对该流域浸没影响区进行了补充。同时,在浸没范围预报上上述研究是对现状开采条件下的近、远进行预报,而本文的浸没态势预报是建立在源汇项预报与不同治理措施叠加的基础上,其实用性、难度都有所增加,可为该地区的浸没治理提供参考。

b. 关于水库浸没研究方法。水库浸没研究方法主要有经典水动力学原理^[20]、有限单元法^[21]、解析元素法^[22]、数值模拟法等。本文采用数值模拟方法是基于以下原因:①研究区水位统测资料较少;②在没有设立截渗工程之前无法通过浸没调查方法评价治理效果;③需要掌握在源汇项预测条件下浸

没的具体范围。由于地下水监测网无法在短期内建成,无法对浸没态势进行实时监测控制,因此数值模拟方法的灵活性特别适用于本研究。

c. 关于研究区浸没治理建议。笔者以大顶子山水库上游浸没影响区为研究对象,以数值模拟为研究方法,在分析地下水动态及均衡的基础上对现状条件下的浸没情况进行评价。对不同预设方案下(贯穿式截渗墙、悬挂式截渗墙)的浸没态势进行预测。模拟结果表明,无论是从水位降深还是从浸没范围来看,贯穿式截渗墙都比悬挂式截渗墙处于优势地位。然而,进行截渗后必然会对生态环境造成一定影响,建议综合考虑经济、社会、环境多重效益,权衡利弊后为该区设计一套综合治理、保护方案,从而实现该区域综合效益的最优化。

参考文献：

[1] 邓晓颖,陈鸿汉,龚晓凌,等. 郑州龙湖工程建设中的环境地质问题分析[J]. 水利水电科技进展,2009,29(1) 66-68.

[2] 王发刚. 巴州希尼尔水库库外浸没浅析[J]. 新疆水利,1999(3) 33-38.

[3] 吉勇,李铎,杨晓荟,等. 廖坊水利枢纽工程浸没范围研究[J]. 水文地质工程地质,2001(6) 48-50.

[4] 余际可,黄辉. 平原型水库浸没治理措施探讨[J]. 湖南水利水电,2008(5) 64-66.

[5] 秦雨,张立杰. 哈尔滨市松北区水库雍水浸没评价[J]. 吉林大学学报 地球科学版,2010,40(1) 134-139.

[6] LIN L, YANG J, ZHANG B, et al. A simplified numerical model of 3-D groundwater and solute transport at large scale area[J]. Journal of Hydrodynamics Ser B,2010,22(3) 319-328.

[7] 李欣,于新. 哈尔滨大顶子山航电枢纽工程蓄水后引起的浸没地质灾害研究[J]. 世界地质,2007,26(3) 330-332.

[8] 王汇明. 平原型水库库区浸没分析与研究[D]. 南京:河

海大学,2004.

[9] 冯焕勇,于新,苏凤全. 哈尔滨市松北规划区浸没分析与评价[J]. 黑龙江水利科技,2008,36(3) 6-7.

[10] 于新. 哈尔滨市松北区城市建设浸没影响评价[D]. 长春:吉林大学,2006.

[11] RASHIDI M, PEURUNG L, TOMPSON A F B, et al. Experimental analysis of pore-scale flow and transport in porous media [J]. Advances in Water Resources,1996,19(3) 163-180.

[12] 谢先红. 水库浸没及堤内排水降压效果研究[D]. 武汉:武汉大学,2005.

[13] 谢先红,杨金忠. 河岸浸没预测及排水沟效果研究[J]. 中国农村水利水电,2005(6) 47-50.

[14] CHAPUIS R P. Numerical modeling of reservoirs or pipes in groundwater seepage [J]. Computers and Geotechnics,2009,36(5) 895-901.

[15] DIEBELS S, EHLERS W. Dynamic analysis of a fully saturated porous medium accounting for geometrical and material non-linearities [J]. International Journal of Numerical Methods in Engineering,1996,39(1) 81-97.

[16] 冯超英. 官厅水库淤积浸没影响范围分析[J]. 水科学与工程,2010(3) 77-79.

[17] 张伟,李思慎. 王甫洲工程对老河口市市区浸没影响的研究[J]. 长江科学院院报,1996,13(1) 49-54.

[18] 张会刚,夏克勤,邓中文. 四川某水电站库区浸没问题预测[J]. 水土保持研究,2004(3) 140-142.

[19] 曹政之. 对江南地区水库浸没预测评价的浅见[J]. 水力发电,1986(1) 27-30.

[20] 袁宏利,杨计申,陈亚鹏,等. 水库浸没勘察研究工作的新思路[J]. 水利水电工程设计,2003(4) 42-44.

[21] 买买提·艾斯尔. 有限单元法数值计算在水库渗漏及渗流区浸没预测中的应用[J]. 地下水,2007(3) 30-31.

[22] 吴昌瑜,李思慎,张伟. 解析元素法用于老河口市城区地下水浸没影响的研究[J]. 长江科学院院报,2001,18(5) 61-64.

(收稿日期 2011-01-17 编辑 高建群)

· 简讯 ·

第 8 届全国泥沙基本理论研究学术讨论会将在南京召开

为了适应沿海地区社会经济建设发展的需要,中国水利学会泥沙专业委员会将于 2011 年 11 月 7—9 日在南京召开“第 8 届全国泥沙基本理论研究学术讨论会”。会议以“河口海岸与河流演变”为主题,将总结近年来我国在泥沙基本理论研究方面取得的新成果,进一步促进泥沙学科发展。会议议题有:①河口海岸泥沙,包括 河口海岸动力与泥沙运动 沿海开发与海岸演变 河口海岸泥沙与生态 河口治理及港口航道整治。②泥沙输移规律,包括 流域侵蚀、沉积、搬运过程 河流泥沙运动规律 河床演变及河道整治。③工程泥沙、模拟理论与试验技术,包括 港口及水利枢纽泥沙 涉河建筑物冲刷及防护 冰沙数值模拟理论与技术 冰沙试验及量测新技术 其他工程泥沙问题。④环境生态、资源泥沙,包括 泥沙与污染治理 泥沙与生态保护 疏浚吹填及泥沙循环利用 泥沙资源化。⑤泥沙灾害与防护,包括 水土流失及治理措施 泥石流、滑坡发生机理与治理措施 河流泥沙灾害及治理措施。会议将由水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、河海大学、南京水利科学研究院承办。

(本刊编辑部供稿)