

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.01.007

南水北调工程北京市受水区非正规垃圾填埋场控高水位研究

杨忠山, 窦艳兵, 王志强

(北京市水文总站, 北京 100089)

摘要 近年来北京市平原区地下水污染范围已呈现从城区向郊区延伸、从浅层向深层扩散的趋势。地下水污染源调查评价研究表明,垃圾填埋堆放场是造成地下水污染的主要污染源之一。以北京市南水北调工程受水区内存在被浸泡可能的 27 个非正规垃圾填埋场为研究对象,在垃圾填埋场基本特征的基础上,对典型非正规垃圾填埋场进行水文地质勘察和水、土、垃圾样的分析化验,建立北京西郊地下水流模型和典型区溶质运移模型,初步掌握污染因子间的协同关系和污染物的迁移规律,应用非饱和带一维非稳定溶质运移模型,确定南水北调工程受水区垃圾填埋场区域地下水控高水位,并优选了适宜的控高方案,以减轻和防止垃圾填埋场淋滤浸泡液对当地地下水的污染。

关键词 南水北调工程 受水区 控高水位 垃圾填埋场 溶质运移模型 地下水
中图分类号 X523 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)01-0028-06

Study on groundwater level control of non-sanitary municipal solid waste landfill in Beijing in the Benefited Regions of SNWDP

YANG Zhong-shan, DOU Yan-bing, WANG Zhi-qiang
(Beijing Hydrologic Center, Beijing 100089, China)

Abstract : In recent years, groundwater pollution bound had presented trend from the urban to suburb, from shallow aquifer to deep aquifer. The results from investigating and evaluating groundwater pollutant sources indicated that waste landfill was one of main pollutant sources. Aimed at the area in 27 typical non-sanitary municipal solid waste landfill in the Benefited Regions of SNWDP (the South-North Water Transfer), a groundwater and solute transport model was established on the basis of finding the characteristics of waste landfill, carrying hydrogeological investigation and analysis of water sample, soil sample and waste sample of the waste landfill. According to the simulation results, the relationship between the pollution factors and transportation law of the pollutants were mastered. This study also confirmed control groundwater level of typical non-sanitary municipal solid waste landfill in Beijing in the Benefited Regions of SNWDP by using one-dimension unsteady solute transport model in unsaturated soil. The optimized scheme controlling groundwater level in order to mitigate and prevent the groundwater pollution by waste landfill leachate was brought out.

Key words : Benefited Regions of SNWDP ; control groundwater level ; solid waste landfill ; solute transport model

南水北调工程向北京供水后,将在其受水区范围内有计划地减少对地下水的开采,即在城市自来水管网供水范围内,逐步取消自备井供水,预计北京市地下水水位将会抬升。据研究预测^[1],南水北调

工程北京市受水区内将有 27 个非正规的垃圾填埋场存在被浸泡的可能,而这些未防渗的非正规垃圾场主要分布在北京西郊防护条件差的地下水补给区和饮用水水源地,若垃圾浸泡液中的污染物进入含

基金项目 北京市水务局重点攻关项目(2006016)
作者简介 杨忠山(1960—),男,山东阳谷人,教授级高级工程师,从事水资源优化配置研究。E-mail :yangzhongshan60@163.com
通讯作者 王志强,高级工程师。E-mail :wzqikm@163.com

水层将会造成地下水资源的严重污染^[2-3]。由于北京市 1999—2007 年遭遇连续 9 年干旱,全市供水总量的 70% 左右源于地下水,地下水已成为北京应对水资源危机的主要依靠,若补给区的地下水受到非正规垃圾场浸泡液的污染,后果将极其严重。笔者在收集相关部门已有工作成果的基础上,采用野外调查勘探与室内试验相结合的方法,实地勘察与区县调查相结合的工作路线,以南水北调工程受水区存在被浸泡可能的 27 个非正规垃圾填埋场为研究对象,在掌握典型区域的水文地质条件和地下水资源的补径排特征以及垃圾填埋场基本情况、典型垃圾样主要污染组分变化^[4-5]、基础环境背景的前提下,建立北京西郊地下水流模型^[6]、典型地段溶质运移模型^[7],初步掌握污染因子间的协同关系和污染物的迁移规律,应用非饱和带一维非稳定溶质运移模型^[8-9],确定南水北调工程受水区垃圾填埋场区域地下水控高水位,并优选出适宜的控高方案,为科学调控南水北调工程受水区地下水水位提供了技术支持。

1 研究区概况

1.1 研究区概况

北京市地处华北平原的西北边缘,东、西、北三面群山环绕,东南为一块缓缓向渤海倾斜的平原,总面积为 16 410.54 km²。属典型暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,多年平均降雨量为 585 mm,降雨多集中在 6—9 月份,降水量占年降水量的 80% 以上,多年平均气温 11.7℃,日极端最高气温可达 42.6℃,最低气温 -27.4℃,多年平均蒸发量为 1 023 mm。

北京市南水北调工程受水区的典型非正规垃圾填埋场主要分布于永定河冲洪积扇的中上部——北京西郊的单层砂卵砾石含水层上,该区域以第四系含水层为主,自西向东岩性由粗变细,层次由少变多,地下水类型由潜水转变为承压水。由参考文献^[1]可知,垃圾填埋区域属于北京市地下水的主要补给区,防污性能较差,这些非正规垃圾填埋场对北京市地下水安全存在着极大的威胁。

1.2 南水北调工程北京段概况

南水北调中线工程主管线由河北境内经北拒马河进入北京境内,途经房山城关,过大石河、小清河、永定河(均为立交),穿丰台西铁路编组站进入市区,然后沿京石高速公路南侧东行,在大井村西穿京石高速公路于岳各庄环岛处沿西四环路北,穿过京广铁路、五棵松地铁、永定河引水渠(均为立交)直至团城湖,全长约 80 km,见图 1 所示。

1.3 调查试验

a. 非正规垃圾场现状调查:从 2006—2008 年对 27 处非正规垃圾填埋场进行了实地踏勘、调查与核实。据调查统计,垃圾填埋堆放类型大部分是生活与建筑渣土混合垃圾,其次是建筑渣土与生活混合垃圾,其中生活与建筑渣土混合垃圾 16 处,建筑渣土与生活混合垃圾 8 处,生活垃圾填埋堆放场 3 处,均未采取防渗漏措施,垃圾填埋量为 878.5 万 t,填埋时间为 1975—1998 年不等。

b. 勘探及淋滤、浸泡试验^[2]:对 27 处垃圾坑进行了勘探施工,完成 39 眼勘探孔,总进尺 1 287 m,分层采集了土壤样、垃圾样和地下水样,并对垃圾样进

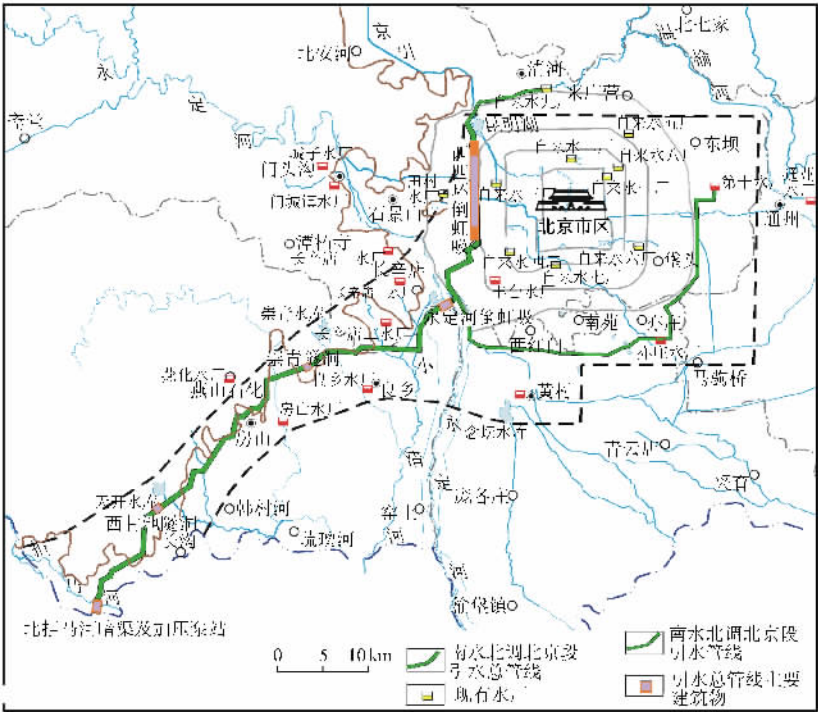


图 1 南水北调中线工程北京段规划图

行淋滤、浸泡试验,初始浸泡液主要有纯净水、Ⅱ类地下水和Ⅳ类地下水,纯净水由实验室制备,Ⅱ类和Ⅳ类地下水取自西郊相应含水层的第四系水井。

c. 为反映地下水变动对垃圾填埋场淋滤、浸泡结果的影响,试验设计如下:①Ⅳ类水浸泡 0—2 d、2—4 d(指垃圾样浸泡 2 d 后过滤,风干再浸泡 2 d);②Ⅳ类水浸泡 0—8 d、8—15 d;③Ⅳ类水浸泡 0—15 d;④Ⅱ类水浸泡 0—2 d、2—4 d、4—8 d、8—15 d;⑤Ⅱ类水浸泡 0—15 d;⑥纯净水浸泡 0—2 d、2—4 d、4—8 d、8—15 d;⑦纯净水浸泡 0—15 d。

淋滤、浸泡试验的数据显示,从污染指标来看,氯离子、硝酸盐、总硬度及溶解性总固体是垃圾淋滤浸泡液的主要污染指标,从浸泡的时间尺度来看,垃圾样浸泡时间长,浸出液中污染物浓度越高,短期浸泡主要是淋溶作用,表现为易溶盐溶解,长期浸泡则较复杂,存在着溶解-沉淀、吸附-解析、氧化-还原及生物化学反应;从初始浸泡液与垃圾淋滤液水质的对比来看,并非所有垃圾场浸泡均加剧地下水污染,部分现有非正规垃圾场在经过长时间淋滤固化后危险性已经降低,如老山、北坞垃圾(1985 年填埋)对Ⅳ类水并未加剧污染。

2 数值模拟

为模拟北京西郊地区地下水流程、典型区域溶质运移的特征及典型非正规垃圾填埋场对地下水的污染程度,采用 GMS 模型来建立北京西郊水流模型和典型区域溶质运移模型。

2.1 研究区和典型区的选取

根据南水北调工程北京市受水区典型非正规垃圾填埋场的分布特点及地层结构,建立的地下水水流模型研究区位于永定河冲洪积中上部(图 2),西

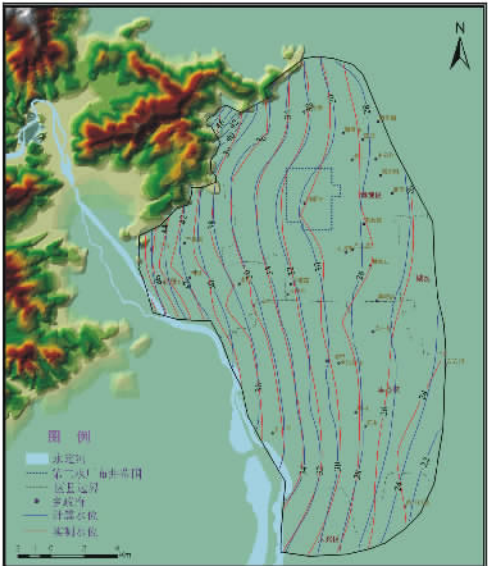
南以永定河为边界,西北以北京西山与平原的交界为边界,东北、东以及南部边界大致在单一/多层含水层交界处,模拟区面积为 364.4 km²。

考虑非正规垃圾填埋场的危害程度、代表性及西郊主要供水厂的位置,溶质运移的典型区(图 2)确定在垃圾填埋场比较集中的北坞村——西冉村北——水源三厂地段,面积为 49.815 km²。该地段共有杨庄、老山、西黄村、福田寺、西冉村、田村、廖公庄、巨山等 11 个垃圾填埋场,其下游为北京市水源三厂位置。

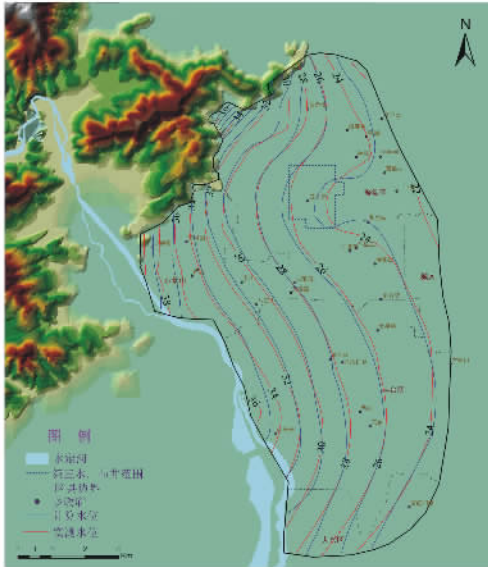
2.2 数值模拟

2.2.1 数值模型的建立与验证

在水文地质概念模型基础上,以 2000 年的监测数据建立了研究区非均质、各向异性、非稳定、三维地下水流程数学模型和溶质运移模型,通过流场和典型孔水位过程线的拟合识别水文地质条件和参数,由图 3 地下水流程拟合情况可知,计算流场基本上



(a) 2000-12 拟合



(b) 2005-12 拟合

图 2 研究区位置图

图 3 第一含水层流场拟合

表 1 典型区垃圾填埋处浸泡模拟预测

垃圾填埋场位置	垃圾场底板高程	2020-12末水位	浸泡时间	垃圾填埋场位置	垃圾场底板高程	2020-12末水位	浸泡时间
杨庄东	41.10	41.40	2017-09	福田寺	48.35	35.88	未浸泡
田村东	39.57	33.13	未浸泡	北坞西	33.14	32.56	未浸泡
田村西	33.34	32.25	未浸泡	北坞东北	41.14	31.34	未浸泡
西冉村	36.72	30.47	未浸泡	北坞东南	36.72	30.21	未浸泡
西黄村	44.28	38.56	未浸泡	巨山	35.60	41.84	2013-11
老山西	25.75	37.82	2008-09	狼堡	22.22	29.40	2011-10
老山东	36.30	36.34	2018-11	看丹北	30.43	33.27	2012-08
廖公庄西	35.50	35.52	2017-11	看丹西南	31.48	34.74	2011-08
廖公庄东	34.80	35.52	2016-11	北天堂	33.43	35.82	2011-09

反映了地下水流动的趋势和规律,说明拟合后的各类参数能较真实地反映实际的水文地质条件,模型具有较好的模拟识别效果。

在 2000 年参数识别基础上,利用 2005 年的源汇项数据,对已建模型进行验证(图 3(b)),从流场的拟合情况来看,计算流场和实测流场的拟合程度较高,进一步说明所建模型合理可行,能够用于研究区流场和溶质运移的预测。

2.2.2 地下水流场的模拟预测

预测阶段根据是否有‘南水北调’水进京和地下水调整开采等因素,划分为 2 个阶段,第 1 阶段是地下水保证程度阶段,该阶段无‘南水北调’水,本地地表水和地下水维持 2005 年利用量。第 2 阶段是地下水调蓄与恢复阶段,即南水北调中线工程调水进京,供水量为 10 亿 m³,将考虑对地下水进行控制性开采。根据水流模型的预测,在预测阶段,典型区内只有杨庄、老山、廖公庄和巨山垃圾填埋场被浸泡(表 1)。

2.2.3 地下水污染物浓度场变化趋势预测

根据预测,在垃圾填埋场未被浸泡之前,地下水中污染物浓度主要受垃圾填埋场淋滤液入渗量影响,高值区主要集中在垃圾填埋场附近,多年变化不

大,在垃圾填埋场被浸泡后,由于被浸泡位置作为定浓度的内边界,其周围浓度场受地下水流动情况影响明显,相对未浸泡前,垃圾填埋场位置浓度有所上升,污染物浓度整体也呈上升趋势。

2020 年末地下水污染物浓度场的分布见图 4(a)(b),在预测过程中 Cl⁻ 均为Ⅰ、Ⅱ类水,不再重点论述,重点分析 NO₃⁻-N 和总硬度的变化。从图中可以看出,NO₃⁻ 在Ⅲ类水标准以上水的面积为 4.03 km²,Ⅴ类水面积为 1.467 km²,其余为Ⅰ~Ⅲ类水,垃圾场下游Ⅳ类水以上的污染距离在 398~897 m。总硬度大于Ⅲ类水标准的面积为 0.638 km²,大于Ⅴ类水标准的面积为 0.117 km²,垃圾场下游Ⅳ类水以上的污染距离在 172~782 m。

3 地下水控高水位及方案确定

3.1 控高方案的确定原则与方法

根据垃圾填埋场所处的水文地质单元及其防污性能,在垃圾淋滤浸泡实验的基础上,建立了非饱和带一维非稳定溶质运移模型,模拟得到了典型非正规垃圾场渗漏液的溶质锋运移距离及溶质浓度变化规律,即溶质锋面上的溶质浓度随运移距离的增

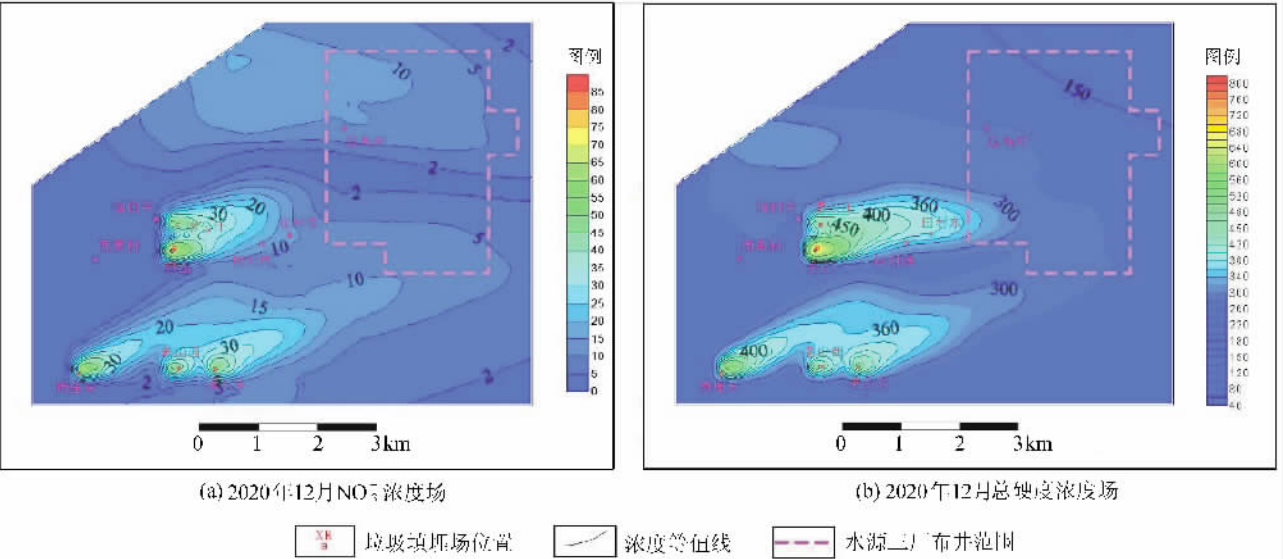


图 4 典型区 NO₃⁻ 与总硬度浓度场(mg/L)

表 2 典型非正规垃圾填埋场控高水位

垃圾场位置	污染带运移距离/m	控高水位/m	控高埋深/m	垃圾场位置	污染带运移距离/m	控高水位/m	控高埋深/m
狼堡	1.4	25.6	22.1	西黄村	1.6	42.7	23.1
西毓顺	1.6	15.4	16.6	福田寺	1.9	46.5	16.9
瀛海	1.0	13.6	16.4	北坞村西	1.7	31.5	24.2
看丹南	1.1	30.3	19.9	北坞村东北	1.4	39.8	13.9
看丹北	0.0	30.4	19.0	北坞村东南	1.2	35.5	16.7
北天堂北	1.3	32.2	19.1	西冉村	0.0	36.7	17.7
北天堂南	1.2	22.3	28.5	田村西	1.6	31.7	26.3
单店	1.1	14.9	12.1	田村东	0.0	39.6	17.5
沈家村	0.0	9.5	20.5	廖公庄西	1.4	34.1	28.4
沙子营西	0.8	20.0	7.5	廖公庄东	1.4	33.4	29.1
沙子营东	0.7	18.4	8.8	巨山村	1.5	34.1	28.0
杨庄	1.8	39.3	27.9	肖家河北	0.9	26.6	16.9
老山西	1.6	24.1	38.6	肖家河南	1.0	28.0	17.0
老山东	0.0	36.3	24.6				

大呈对数曲线递减。以Ⅲ类水为标准,根据溶质锋面上溶质浓度的变化得到非正规垃圾场淋滤液的污染带运移安全距离和垃圾场的控高埋深,进而确定典型垃圾填埋场控高水位。

3.2 典型垃圾场地下水控高水位确定

依据典型垃圾场地下水控高水位的确定原则和方法,可以得到南水北调工程受水区 27 个非正规垃圾场的控高水位,详见表 2。

3.3 地下水控高方案及流场变化趋势预测

3.3.1 地下水控高方案的提出

由前面的预测结果可知,典型研究区内的杨庄、老山、廖公庄、巨山垃圾填埋场被浸泡,在典型区外,狼堡、看丹和北天堂垃圾填埋场被浸泡。对比分析了多种控高方案后,确定了最优的控高方案,即在现行预测方案的基础上,适当加大杨庄水厂的开采量,使其开采量达到 0.204 亿 m³,达到 0.204 亿 m³,使得大部分垃圾填埋处的水位在控高水位以下,个

别水位高出较多的提出垃圾场处理方案(如对垃圾填埋场进行衬砌或在上游修筑挡水墙),通过这些处理措施隔绝或减少垃圾填埋场对地下水的污染。

3.3.2 地下水控高方案下典型区浓度场预测

在加大杨庄水厂开采量后,杨庄、廖公庄、巨山垃圾填埋处地下水位在预测时段内均在控高水位以下,同时,对老山垃圾填埋场进行防渗处理,即典型区内的垃圾填埋场仅在淋滤条件下对地下水造成影响,而老山垃圾填埋场对地下水不造成污染。在控高方案下,预测了 2020 年末地下水污染物浓度场的分布,结果见图 5(a)、(b)。

从图 6(a)、(b)中可以看出,控高方案下,NO₃⁻整个典型区均为Ⅰ~Ⅲ类水,其中Ⅲ类水的面积为 13.182 km²,受垃圾淋滤液和化肥施用的影响,在典型区的西北角上存在一定范围的Ⅲ类水;总硬度基本为Ⅰ、Ⅱ类水。因此,在控高方案下,典型区地下水水质将得到很大的改善,地下水控高方案的实施对

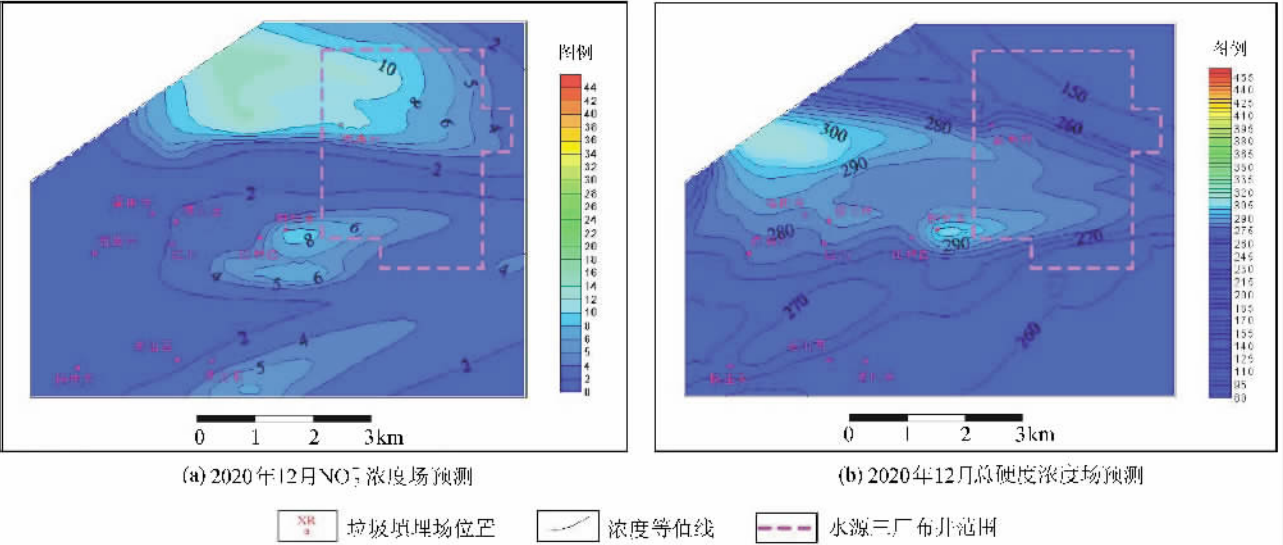


图 5 控高方案下 NO₃⁻ 与硬度浓度场(mg/L)

减轻和防止地下水污染起到了显著的效果。

4 结论与建议

a. 根据垃圾场勘探试验、垃圾浸泡淋滤试验及地下水水流、溶质运移模型的预测成果,结合垃圾淋滤液的污染物在非饱和带中的运移规律,初步提出了南水北调工程受水区不同水文地质单元中非正规垃圾填埋场的控高水位,并优选出相应的控高水位,可为北京市科学调控南水北调工程受水区地下水位提供了技术支持。

b. 通过模型预测,在控高方案下,典型区地下水水质将得到很大的改善,地下水控高方案的实施对减轻和防止地下水污染起到了显著的效果。

c. 浸泡实验工作主要获得了淋溶浸泡作用下垃圾所产生的污染情况,考虑到地下水污染往往是多种因素共同作用的结果,应进一步开展模拟实验工作,查明地下水与垃圾之间水岩作用的生物、化学机理,掌握垃圾场对地下水污染的贡献程度,为垃圾污染预测及垃圾治理提供更可靠的实验数据和依据。

d. 今后应针对垃圾填埋污染羽的水平 and 垂向分布范围的确定、原位修复技术的精确选取及相关模型的运行参数等的精确确定做深入研究,建立垃

圾填埋场的污染组分对地下水影响的预测预警系统,为北京市地下水资源的精细化管理提供支撑。

参考文献：

[1] 北京市地质调查研究院.北京市垃圾处置的地质生态环境评价报告[R].北京:北京地质调查研究院,2000.
[2] 杨艳,王全九.层状土溶质运移特征及其参数分析[J].灌溉排水学报,2005,24(6):19-21.
[3] 郜洪强,樊延恩,丁文萍等.生活垃圾填埋场对地下水的污染研究[J].水资源保护,2009,25(5):61-64.
[4] 董维红,林学钰.浅层地下水氮污染的影响因素分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(2):231-235.
[5] 魏秀琴.河南省平原地区浅层地下水总硬度的分布及演化趋势[J].水资源保护,2009,25(4):37-39.
[6] 董少刚,唐仲华,马腾,等.太原盆地地下水数值模拟[J].水资源保护,2009,25(2):25-27.
[7] 董维红.浅层地下水中氮的分布规律及污染机理研究:以松嫩盆地松花江北部为例[D].长春:吉林大学,2001.
[8] 李旭华,王心义.包气带中污染物迁移转化规律研究[J].西部探矿工程,2006,118(2):239-241.
[9] 刘春平,邵明安.土壤溶质锋运移的解析解[J].水土保持学报,2001,15(4):82-86.

(收稿日期:2009-11-19 编辑:高渭文)

(上接第 23 页)

参考文献：

[1] 戴薇,汪群,王华.太湖流域水资源承载力研究[J].水利经济,2005,23(6):11-15.
[2] 李娟,纪昌明.水资源承载力理论探析与研究发展趋势[J].人民长江,2004,35(10):41-45.
[3] 曹红军.浅评 DPSIR 模型[J].环境科学与技术,2005,28(1):110-111.
[4] 陈洋波,陈俊合,李长兴,等.基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载力评价指标体系[J].水利学报,2004(7):98-103.

(上接第 27 页)

[5] 邱新法,刘昌明,曾燕.黄河流域近 40 年蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J].自然资源学报,2003,18(4):54-59.
[6] 王艳君,姜彤,许崇育.长江流域蒸发皿蒸发量及影响因素变化趋势[J].自然资源学报,2005,20(6):70-76.
[7] ZHANG Qiang, JIANG Tong, GENMMER M, et al. Precipitation, temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze basin, China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2005,50(1):62-80.
[8] SU Bu-da, JIANG Tong, SHI Ya-feng, et al. Observed precipitation trends in the Yangtze River Basin from 1951—2002[J]. Journal of Geographical Science, 2004, 14(2):204-

[5] 王好芳,董增川.区域水资源可持续开发评价的层次分析法[J].水力发电,2002,28(7):12-14.
[6] 王好芳,龚实,郭乐.东江流域水资源承载力评价[J].水资源保护,2009,25(1):40-43.
[7] 水利部太湖流域管理局.太湖流域 2000-2006 年水资源公报[R].上海:水利部太湖流域管理局,2000-2006.
[8] 陈洋波,李长兴,冯智瑶,等.深圳市水资源承载力模糊综合评价[J].水力发电,2004,30(3):10-14.
[9] 崔广柏,陈星,余钟波.太湖流域富营养化控制机理研究[EB/OL].中国科技论文在线,http://211.68.23.123/was40/search,2007,2(6):424-429.

(收稿日期:2009-09-22 编辑:高渭文)

208.
[9] 洪霞,陈建平.江西省 1960 年以来气温和降水变化趋势分析[J].江西气象科技,2004,27(2):20-22.
[10] 谢新民,郭洪宇,尹明万,等.我国华北地区蒸发能力及其变化趋势[J].水利规划与设计,2001(4):24-27.
[11] 陈吉琴.近 50 年来长江流域气象因素分析及蒸发变化原因初探[D].南京:河海大学,2007.
[12] 刘波.近四十年中国蒸发皿蒸发变化与气候变化的关系及潜在蒸散的估算[D].南京:南京信息工程大学,2005.

(收稿日期:2009-12-24 编辑:高渭文)