

非正规垃圾填埋场地下水污染控制技术比较

郭敏丽^{1,2}, 王金生¹, 刘立才²

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100048)

摘要 :以我国北方某非正规垃圾填埋场为例,应用数值模拟方法,分别对不同的地下水污染控制技术效果进行了模拟预测。结果显示:针对研究区的水文地质结构特征及场区内垃圾特性,抽水为短期内最优控制技术,源项去除控制技术则为长期的最优选择,帷幕灌浆、河流防渗以及顶部覆盖不透水层的控制技术,只能阻滞场区内潜水中污染物向外迁移,无法阻止污染物对微承压水的入渗。

关键词 :非正规垃圾填埋场,地下水污染控制,数值模拟

中图分类号 :X523 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2009)04-0028-03

Comparison of different techniques for control of groundwater pollution in an informal landfill

GUO Min-li^{1,2}, WANG Jin-sheng¹, LIU Li-cai²

(1. College of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China)

Abstract : Using an informal landfill in north China as an example, different techniques for control of groundwater pollution were simulated and their effectiveness was predicted with numerical modeling. The results showed that, based on the hydrogeological structural properties and solid waste dumping characteristics in the study area, pumping groundwater was the best technique for a short period, and the technique of removing the pollution sources was the optimal choice for a long period. Pollution control technology such as curtain grouting, anti-seepage walls between the river and the dumping site, and an upper impermeable layer cover can only be used to block migration of groundwater pollutants out of the landfill, but cannot prevent migration of pollutants in feeble confined water.

Key words : informal landfill; groundwater pollution control technique; numerical simulation

非正规垃圾填埋场由于没有采取防渗措施,对地下水存在严重污染^[1-2]。目前我国地下水污染形势十分严峻,迫切需要采取控制技术,防止和控制非正规垃圾填埋场对地下水的进一步污染。以往在选择非正规垃圾填埋场的地下水污染控制技术时,首先根据垃圾特性及场区的自然环境概况,初步筛选出几种适合的方案之后通过实验方法来最终确定控制方案。这种做法通常周期长,费用高。随着计算技术的进步和计算机的推广,数学模型在垃圾填埋场中逐步得到应用^[3-4]。

本文以我国北方某非正规垃圾填埋场为例,应用数值模拟方法,分别对源项去除、垂直隔离防渗、

抽水以及控制地下水补给源等地下水污染控制技术的效果进行了预测分析,提出了适合场址特性的地下水污染控制技术,研究成果可为制定非正规垃圾填埋场的地下水污染控制方案提供参考。

1 研究区背景

1.1 自然环境概况

研究区属温带半湿润、半干旱大陆性季风气候,年平均气温 10~12℃,年平均降水量约 516 mm,全年降水量的 2/3 集中在 7~8 月,地表水及地下水水位随降水季节性变化很大。

研究区地层在垂向上为多层结构,水平方向基

本为连续分布。从上到下,地层岩性分别为细砂、砂质粉土、细砂、砂质粉土和中砂。上层细砂被开采利用,之后该层被垃圾填满。

研究区内自然地表面下 20 m 范围内浅层地下水划分为潜水和微承压水两种类型。潜水水位埋深为 2.1~7.8 m,含水层介质主要为细砂。微承压水水位埋深为 5.3~12.5 m,含水层介质主要为中砂。潜水和承压水之间的隔水层介质岩性为砂质粉土。

1.2 填埋场概况

某非正规垃圾填埋场原为采砂形成的废弃砂石坑,总面积约 17 hm²。在停止采砂后由于未及时回填,被陆续填入大量建筑垃圾和生活垃圾。现该砂石坑已基本填平,所填埋的建筑垃圾约占总垃圾量的 82%,其主要成分为房渣土、砖瓦块和木块;生活垃圾所占比例为 18%,主要成分为有机质、杂物和塑料布。场区填埋堆放的生活垃圾较为集中,如图 1 所示。其中,Ⅰ区为生活填埋区,Ⅱ区为建筑垃圾和生活垃圾混合区,Ⅲ区为建筑垃圾填埋区。

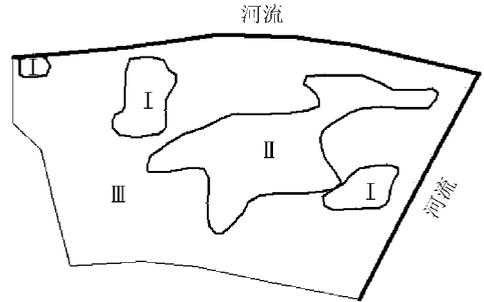


图 1 场区垃圾分布

该垃圾填埋场位于 2 条河流交叉处,河流沿途汇入了大量生活污水和工业废水,河流水质浓度远高于 V 类水标准浓度。

2 地下水污染控制技术比较

2.1 控制方案初选

从检索资料来看,非正规垃圾填埋场的地下水污染控制技术研究主要集中在源项控制和切断污染途径两方面^[5]。源项控制一般包括两种方式:源项去除和源项削减。源项去除是将场区的垃圾挖走外运填埋,直接去除污染源。源项削减则是将垃圾填埋场改造为生物反应器,加快垃圾填埋场的稳定化进程^[6]。切断污染途径主要采取 3 种方式:①采取垂直隔离防渗措施,阻止场区污染物的向外扩散;②采取抽水等水动力控制方法,改变地下水流向,控制场区污染物的向外扩散;③控制地下水补给来源,减少垃圾渗滤液产生量。

该填埋场填埋垃圾主要以建筑垃圾为主,生活垃圾量仅占总垃圾量的 18%,因此可以考虑采取源

项去除方式,将场区生活垃圾挖出外运填埋,彻底清除污染源。帷幕灌浆、抽水为非正规垃圾填埋场中常用的一种地下水污染控制技术^[7-8]。场区地下水流方向为东北向西南,可在典型生活垃圾填埋区域西南方向设置帷幕灌浆或抽水井,阻滞地下水中污染物向下游的扩散。

根据水均衡分析,河水补给和降雨是场区地下水的主要补给来源。因此,在紧挨垃圾填埋场的河流一侧设置垂直防渗墙,或在场区顶部覆盖不透水层,均可有效地减少垃圾渗滤液的产生量,从而减少对地下水的污染。

2.2 控制技术效果模拟比较

2.2.1 模型建立与参数识别

应用数值模拟方法,对初选的几种地下水污染控制效果进行比较。模拟时将研究区范围分别沿 2 条河流向外进行了延伸,如图 2 所示。

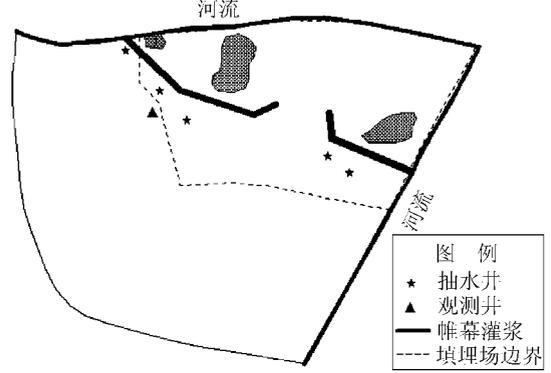


图 2 地下水污染控制技术方案设计

研究区地面 20 m 以内地下水分为潜水和微承压水。模拟时将研究区地下水流模型概化为三维非均质地下水流模型,垂向上概化为 3 层:上层为潜水含水层,厚度为 7~10 m;中部为隔水层,厚度为 0.7~4 m;下部为微承压水含水层,厚度为 3~7 m。

研究区北边、东边紧邻 2 条河流,模拟时设研究区北边、东边为一类边界,其他边界为二类边界。地下水流初始参数采用抽水试验数据结合经验值,见表 1。应用 FEFLOW 软件^[9],建立研究区的三维地下水流模型。采用 2006 年 6 月观测到的地下水流场作为初始流场,2007 年 7 月的地下水流场作为拟合流场,对地下水流模型参数进行识别。通过反复调整参数,确定出模型中的地下水流参数(表 1)。

表 1 地下水流参数初值取值和识别后的参数

分层	岩性	渗透系数/(10 ⁻⁴ m·s ⁻¹)		给水度/释水系数	
		初值	识别后	初值	识别后
1	回填垃圾	0.1	0.1	0.10	0.12
	细砂	0.5	0.3	0.19	0.21
2	砂质粉土	0.001	0.005	0.0006	0.00032
3	中砂	1.67	1.5	0.0005	0.00026

在流场模拟基础上,弥散度参数采用试验值,以2006年6月监测到的研究区内氯化物浓度为初始浓度,2007年7月的氯化物浓度为拟合浓度,对污染物迁移参数进行识别,确定研究区的污染物迁移模型参数,见表2。

表2 污染物迁移参数初值取值和识别后的参数

分层	岩性	纵向弥散度/m		横向弥散度/m	
		初值	识别后	初值	识别后
1	回填垃圾	2.90	2.60	0.290	0.260
	细砂	3.77	3.43	0.377	0.343
2	砂质粉土	2.03	1.85	0.203	0.185
3	中砂	5.14	4.68	0.514	0.468

2.2.2 控制技术效果模拟预测

应用所建立的三维地下水数值模型和污染物迁移模型,分别对场区生活垃圾填埋处采取源项去除、抽水、帷幕灌浆、河流防渗以及顶部覆盖不透水层的地下水污染控制效果进行模拟预测。模拟时帷幕灌浆位置布置在场区生活垃圾区地下水下游方向,灌浆材料选用目前国内普遍使用的水泥或混凝土,灌浆深度到潜水含水层底板,灌浆材料渗透系数取 $1 \times 10^{-9} \text{m/s}^{[10]}$ 。抽水井深度、河流垂直防渗墙深度设计到潜水含水层底板。帷幕灌浆位置和抽水井设计见图2。

选择垃圾填埋场中的主要污染物氨氮为预测因子,考虑对流、弥散和介质对氨氮的吸附作用,忽略氨氮的生物降解反应^[11]。模拟时假设生活垃圾填埋区进入到潜水含水层中的氨氮源项质量浓度为500 mg/L,氨氮分配系数采用室内静态吸附实验测试值。模拟以2007年为初始预测时间,预测时间为20 a。模拟结果见图3。图3(a)为模拟预测的生活垃圾填埋区下游潜水观测井中的污染物浓度变化曲线,图3(b)为模拟预测的生活垃圾填埋区下游微承压水观测井中的污染物浓度变化曲线。

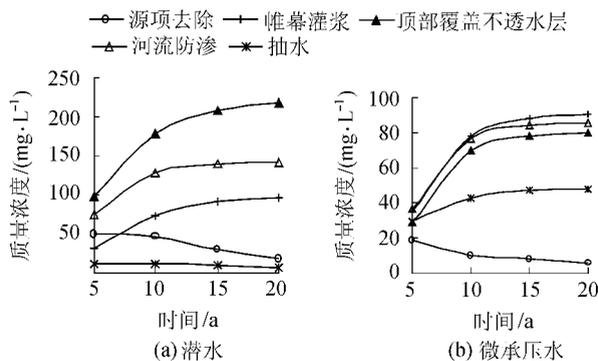


图3 不同控制技术下氨氮预测浓度比较

3 结果分析与讨论

3.1 潜水中的污染控制效果比较

从图3(a)的预测结果可以看到,潜水的污染控

制技术中,抽水的控制效果最好,其次为源项去除、帷幕灌浆、河流防渗,顶部覆盖不透水层的污染控制效果最差。

采用抽水的地下水污染控制技术,不仅将生活垃圾新产生的渗滤液从地下抽了出来,还将部分已经污染的高浓度地下水抽出,因此地下水水质得到迅速改善,且改善效果明显。相比较于抽水技术,源项去除控制技术则属于长期的地下水污染控制措施。源项去除将生活垃圾挖走外运,彻底去除了场区地下水的主要污染源,但由于场区原有填埋垃圾已经产生了大量较高浓度的渗滤液,在污染源去除后场区地下水水质在相当长一段时间内还较差,但从长期来看,水质将逐渐好转。

在生活垃圾集中区的地下水流下游实施帷幕灌浆,也可以将污染物较好地阻滞在填埋场区内,阻滞污染物的向外迁移。顶部覆盖不透水层和河流防渗的污染控制效果相对较差,其中顶部覆盖不透水层的地下水污染控制效果最差。这是由于河水和大气降水均为场区地下水的主要补给来源,但河水补给量大于大气降水,在紧靠场区河水一侧采取防渗措施后,将大大减少垃圾渗滤液的出水量,此外,河水水质劣于地下水,将河水防渗,还可以阻滞河水中的污染物进入到地下水中,因此,河水防渗的地下水污染控制效果优于顶部覆盖不透水层。

3.2 微承压水中的污染控制效果比较

从微承压水中的观测井浓度变化来看(图3(b)),采取源项去除和抽水技术后,微承压水中的污染物浓度得到了降低,而采取帷幕灌浆、河流防渗和顶部覆盖不透水层的污染控制技术后,水中的污染物浓度仍然很高。这是由于源项去除和抽水技术是将污染物从地下清除,地下水中的污染源减少,因此水中的污染物浓度较低。帷幕灌浆、河流防渗和顶部覆盖不透水层的控制技术则是控制场区内潜水中污染物的向外扩散。从研究区的水文地质勘察情况来看,研究区内潜水和微承压水之间的隔水层很薄,且隔水层介质透水性相对较好,污染物很容易穿过隔水层,进入到承压水中。而帷幕灌浆、河流防渗以及在垃圾场顶部覆盖不透水层的控制技术主要是阻滞污染物在潜水中的扩散。污染物一旦进入到承压水中,则会迅速得到扩散,对下游地下水造成严重污染。可见,针对该填埋场的特性,采取源项去除和抽水技术,可以较好地改善场区地下水的污染状况,帷幕灌浆、河流防渗以及顶部覆盖不透水层的控制技术只能控制场区潜水中的地下水污染,而无法阻滞微承压水中的水质恶化。

(下转第36页)

- [11] 徐贵泉, 褚君达, 吴祖扬, 等. 感潮河网水环境容量影响因素研究[J]. 水科学进展, 2000, 11(4): 375-380.
- [12] HOLLAND J. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Ann Arbor, MI :University of Michigan Press, 1975.
- [13] GOLDBERG D. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning[M]. Roston, MA :Addison Wesley Publishing Company, 1989.
- [14] 韩龙喜. 河道一维污染源控制反问题[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 40-44.
- [15] MCKINNEY D C, LIN M D. Genetic algorithm solution of groundwater management models [J]. Water Resource Research, 1994, 30 :1987-1906.
- [16] BURN D H, YULIANTI J S. Waste-load allocation using genetic algorithm[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2001, 127(2):121-129.
- [17] CHEN H W, CHANG N B. Water pollution control in the river basin by fuzzy genetic algorithm-based multi-objective programming modeling[J]. Water Science and Technology, 1998, 37(3): 55-63.
- [18] CHO J H, SUNG K S, HA S R. A river water quality management model for optimising regional wastewater treatment using a genetic algorithm[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 73(3): 229-242.
- [19] GAO J W, LIU B D. Fuzzy multilevel programming with a hybrid intelligent algorithm[J]. Computers and Mathematics with Application, 2005, 49 :1539-1548.
- [20] LIU B D. Random fuzzy dependent-chance programming and its hybrid intelligent algorithm[J]. Information Science, 2002, 141 :259-271.
- [21] CHEN W C, CHANG N B. Advanced hybrid fuzzy-neural controller for industrial wastewater treatment[J]. Journal of Environmental Engineering, 2001, 127(11):1048-1059.
- [22] MULETA M K, NICKLOW J W. Decision support for watershed management using evolutionary algorithms[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2005, 131(1): 35-44.
- [23] 苑希民, 李鸿雁, 刘树坤, 等. 神经网络和遗传算法在水科学领域的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [24] STEUER R E, CHOO E U. An interactive weighted Tehebycheff procedure for multiple objective programming[J]. Mathematical Programming, 1983, 26(1): 326-344.
- [25] SUN M, STAM A, STEUER R E. Solving multiple objective programming problems using feed-forward artificial neural networks the interactive FFANN procedure[J]. Management Science, 1996, 42(6): 835-849.
- [26] HECHT-NIELSEN R. Theory of the back-propagation neural network[C]//Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. Washington, DC, USA [s. n.], 1989 :593-605.
- [27] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.

(收稿日期 2008-08-20 编辑 陈吉平)

(上接第 30 页)

4 结 论

a. 针对某垃圾填埋场区水文地质结构特征及垃圾特性, 在短期内, 采用抽水的地下水污染控制技术, 控制效果最好; 但从长期来看, 采取源项去除控制技术为最优选择。

b. 帷幕灌浆、河流防渗以及顶部覆盖不透水层的控制技术只能阻滞潜水中的污染物向外迁移, 而无法阻止污染物对微承压水的入渗。

参考文献:

- [1] 沈东升, 何若, 刘宏远. 生活垃圾填埋生物处理技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2003 :11-15.
- [2] 陈忠荣, 王翊虹, 袁庆亮, 等. 北京地区垃圾填埋场对地下水的污染及垃圾填埋场选址分区[J]. 城市地质, 2006, 1(1): 29-33.
- [3] FOOSE G J, BENSON C H, EDIL T B. Prediction leakage through composite landfill liners[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, 127(6): 510-520.
- [4] 王翊虹, 赵勇胜. 北京北天堂地区城市垃圾填埋对地下水的污染[J]. 水文地质工程地质, 2002(6): 45-48.
- [5] REINHART D R, MCCREANOR P T, TOWNSENT T. The bioreactor landfill : its status and future[J]. Waste Management & Research, 2002, 20 : 172-186.
- [6] 蒋建国, 邓舟, 杨国栋. 生物反应器填埋场技术发展现状及研究前景[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(2): 122-126.
- [7] 程天, 赵新泽, 熊辉. 垃圾卫生填埋场防渗及水收集系统设计[J]. 环境保护, 2005(5): 12-14.
- [8] 戴伟华, 俞觐觐. 灌浆帷幕防渗技术在天子岭生活垃圾卫生填埋场中的应用[J]. 有色金属, 2003, 55(S1): 113-117.
- [9] HANS-JORG G D. FEFLOW 有限元地下水流系统[M]. 谷源泽, 译. 徐州:中国矿业大学出版社, 2001 :3-10.
- [10] 郑建民. 帷幕灌浆法防渗技术在垃圾填埋场建设中的应用[J]. 浙江建筑, 1999(4): 38-39.
- [11] BUSS S R, HERBERT A W, MORGAN P, et al. A review of ammonium attenuation in soil and groundwater[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2004, 37 : 347-359.

(收稿日期 2008-08-02 编辑 傅伟群)