

北京市 6 座垃圾填埋场地下水环境质量的模糊评价

李春萍¹, 李国学^{1*}, 罗一鸣¹, 李彦富²

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 北京垃圾渣土管理处, 北京 100067)

摘要:以接纳北京市城八区生活垃圾的 6 座填埋场的渗滤液和地下水环境质量为研究对象, 2006 年对 6 座垃圾填埋场的渗滤液性质以及丰水期、平水期和枯水期的地下水水质进行监测分析和模糊评价. 除北神树垃圾填埋场渗滤液中的 BOD_5 和悬浮物含量 2 项指标合格外, 所有垃圾填埋场渗滤液中的 COD、铵态氮和粪大肠菌群指标均超过了 GB 16889-1997 三级标准. 其中铵态氮和粪大肠菌群超标最为严重. 应用模糊数学进行综合评价的结果表明, 6 座垃圾填埋场枯水期、丰水期和平水期的地下水水质均不合格, 且综合评价结果为很差的占 95% 以上. 地下水中的主要污染物是总硬度, 其次为大肠菌群.

关键词:生活垃圾; 填埋场; 渗滤液; 地下水水质; 模糊数学; 综合评价; 北京

中图分类号: X820 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)10-2729-07

Fuzzy Mathematics-Based Groundwater Quality Evaluation of Six MSW Landfills in Beijing

LI Chun-ping¹, LI Guo-xue¹, LUO Yi-ming¹, LI Yan-fu²

(1. College of Resource and Environment Science, China Agriculture University, Beijing 100094, China; 2. Beijing Solid Waste Administration Department, Beijing 100067, China)

Abstract: The qualities of leachate and groundwater of six MSW landfills in wet period, water period and dry period in Beijing in 2006 were analyzed. The results demonstrated that: although BOD_5 and suspended solids content in the leachate of Beishenshu landfill were within acceptable levels according to China standards, COD, ammonia, fecal coliform, BOD_5 and suspended solids content in other landfills were greatly high above the permissible range of GB 16889-1997 standards. Ammonia and fecal coliform were mostly serious among assaying index. Using fuzzy mathematics, comprehensive evaluation was that: the underground water qualities of six MSW landfills are all substandard and 95% of groundwater quality was bad. The primary pollutants in groundwater of six MSW landfills were total hardness, followed by fecal coliform.

Key words: MSW; landfills; leachate; groundwater quality; fuzzy mathematics; comprehensive evaluation; Beijing

垃圾填埋由于其构筑简单, 建设和运行费用较低而成为国内外城市生活垃圾处理的主要手段^[1,2], 但同时也产生了如填埋气、渗沥液等诸多问题, 对生态环境及人类健康存在着潜在的危险^[3~5]. 垃圾渗沥液是垃圾在堆放和填埋过程中, 由于发酵和雨水的淋浴、冲刷以及地表水和地下水的浸泡而渗沥出来的污水, 蕴藏着填埋场内部几乎所有的可溶物质^[6]; 一些有毒物质也能够渗入地下含水层, 污染地下水. 由垃圾填埋场渗滤液造成的地下水污染已引起世界广泛关注^[7~9].

目前, 北京已有 22 个正规填埋场, 每年可消纳城市生活垃圾约 3.3×10^6 t^[10]. 其中, 阿苏卫、安定、北神树、六里屯、高安屯和焦家坡卫生填埋场主要是用于接纳来自北京市 8 个城区的生活垃圾. 但是, 随着北京市生活垃圾产生量逐渐增加, 有的城区垃圾填埋场因未采取防护措施, 对环境和水资源已构成了严重威胁^[11,12]. 因此, 通过对生活垃圾填埋场地下水观测井水质进行监测和评价, 了解垃圾渗滤液对地

下水的影响, 可检验填埋场防渗措施的有效性, 以便改进填埋场环保措施, 减轻乃至消除因填埋不当对地下水造成的污染, 达到保护地下水资源, 保护生态环境的目的.

本研究应用模糊数学法^[13~19], 首次对接纳来自北京市城八区生活垃圾的 6 座填埋场 2006 年的地下水质量进行了全面监测和综合评价, 监测与评价结果不仅为垃圾填埋场综合治理提供科学依据, 亦可作为北京市“十一五”时期环卫专业规划的实施依据.

1 材料与方法

1.1 研究对象

以接纳来自北京市城八区生活垃圾的 6 座垃圾

收稿日期: 2007-11-14; 修订日期: 2007-12-26

基金项目: 北京市绿色奥运城市垃圾污染控制战略研究项目

作者简介: 李春萍(1970~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为废弃物处理与资源化, E-mail: lichp-xj@163.com

* 通讯联系人, E-mail: ligx@cau.edu.cn

卫生填埋场的 2006 年的地下水环境为研究对象.这 6 座垃圾卫生填埋场分别是:阿苏卫、安定、北神树、六里屯、高安屯和焦家坡卫生填埋场.各垃圾填埋场的空间分布如图 1 所示.

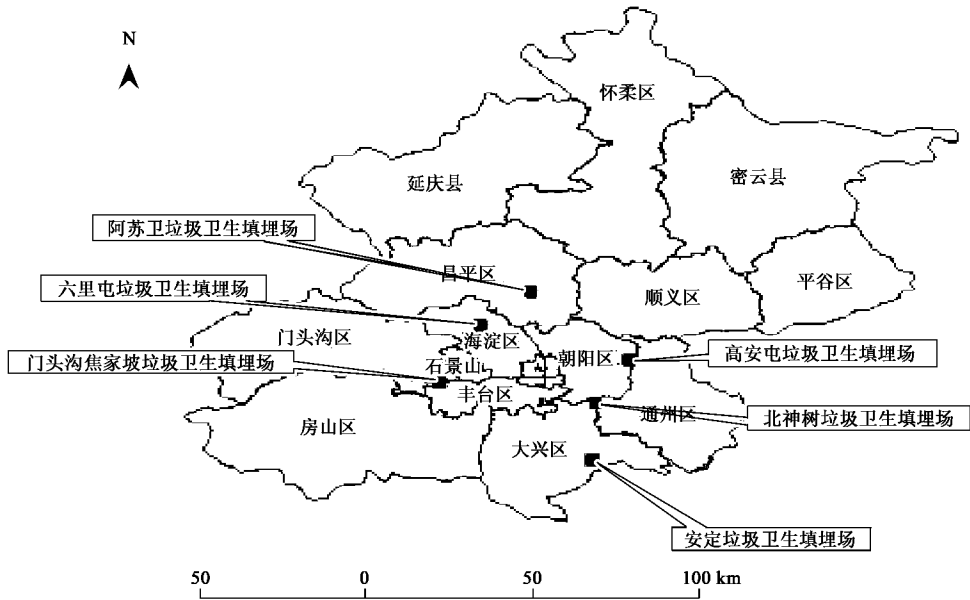


图 1 北京市生活垃圾处理处置设施空间分布
Fig.1 Space distribution of the MSW landfills

1.2 评价标准

垃圾渗滤液评价执行《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB 16889-1997);地下水水质评价执行《地下水质量标准》(GB/T 14848-93).

1.3 污染物样品采集

试验于 2006 年的枯水期(4 月)、丰水期(8 月)和平水期(11 月)进行.在 6 座填埋场的各渗滤液集液池通向地面的井口处,用特制的小水桶分别采集渗滤液样品;测定悬浮物的样品用采样瓶单独采集.在每座填埋场的 5 个地下水观测井(编号为 1、2、3、4、5)分别采集地下水水样.每个水样样品均采集 2 000 mL.采集的样品放入冷藏车中运回实验室分析.枯水期、丰水期和平水期均监测 1 次,分析结果取 5 个观测井的平均值.

1.4 测定指标与测定方法

根据《GB 16889-1997 生活垃圾填埋污染控制标准》,垃圾渗滤液的监测项目为悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD₅)、铵氮和大肠菌值;监测方法如表 1 所示.

地下水样的测定指标包括 pH、高锰酸盐指数、铵氮、总硬度、氯化物、挥发酚、氰化物、氟化物、总大肠菌群、汞、铅、砷、六价铬等,共 13 项.监测方法如表 2 所示.

表 1 垃圾渗滤液分析方法

Table 1 Standard analyzing methods of leachate		
项目	分析方法	方法来源
悬浮物	重量法	GB 11901-1989
化学需氧量(COD)	重铬酸钾法	GB 11914-1989
生化需氧量(BOD ₅)	稀释与接种法	GB 7488-1987
铵氮	蒸馏和滴定法	GB 7478-1987
大肠菌值	多管发酵法	GB 7959-1987

2 填埋场垃圾渗滤液及地下水井监测结果

2.1 填埋场垃圾渗滤液监测结果

2006 年各填埋场渗滤液性质监测平均数据见表 3.

由表 3 可知,填埋场渗滤液水质恶劣,主要为有机污染类型,化学需氧量和生化需氧量含量非常高,最高浓度分别可达 8 640 mg/L 和 18 200 mg/L.此外,高浓度的铵氮也是渗滤液的水质特征之一,其浓度从 1 100 ~ 2 930 mg/L 不等.不同填埋场垃圾渗滤液水质相差较大,如北神树填埋场的悬浮物含量平均值是 324 mg/L、生化需氧量含量均值为 90.2 mg/L,而六里屯填埋场的悬浮物含量平均值却高达 4 720 mg/L、生化需氧量含量均值也高达 18 200 mg/L.

表 2 地下水水质分析方法

Table 2 Standard analyzing methods of groundwater quality

项目	分析方法	方法来源
pH	《水质 pH 值的测定玻璃电极法》	GB/T 6920-1986
总硬度	《生活饮用水标准检验法》	GB/T 5750-1985
氯化物	《生活饮用水标准检验法》	GB/T 5750-1985
氰化物	《生活饮用水标准检验法》	GB/T 5750-1985
氟化物	《生活饮用水标准检验法》	GB/T 5750-1985
铵氮	《水质铵的测定纳氏试剂比色法》	GB/T 7479-1987
高锰酸盐指数	《水质高锰酸盐指数的测定》	GB/T 1189-1989
挥发酚	《生活饮用水标准检验法》	GB/T 5750-1985
总大肠菌群	《生活饮用水标准检验法》	GB/T 5750-1985
铅	《水质铜锌铅镉的测定原子吸收分光光度法》	GB/T 7475-1987
六价铬	《水质六价铬的测定二苯碳酰二肼分光光度法》	GB/T 7467-1987
总汞	《水质总汞的测定冷原子吸收分光光度法》	GB/T 7468-1987
砷	《水质总砷的测定二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法》	GB/T 7485-1987

表 3 6 座垃圾填埋场渗滤液监测结果

Table 3 Mean results of leachate assaying of six MSW landfills

检测项目	阿苏卫	安定	北神树	六里屯	高安屯	焦家坡
pH	7.73	7.85	7.77	6.83	7.81	7.91
铵氮/mg•L ⁻¹	2.93 × 10 ³	2.22 × 10 ³	1.64 × 10 ³	1.65 × 10 ³	2.61 × 10 ³	1.10 × 10 ³
BOD ₅ /mg•L ⁻¹	1.12 × 103	949	90.2	1.82 × 10 ⁴	3.93 × 10 ³	1.07 × 10 ³
COD/mg•L ⁻¹	5.20 × 10 ³	5.04 × 10 ³	1.69 × 10 ³	3.33 × 10 ⁴	8.64 × 10 ³	2.07 × 10 ³
SS/mg•L ⁻¹	834	1.12 × 10 ³	324	4.72 × 10 ³	1.08 × 10 ³	920
粪大肠菌群/个•L ⁻¹	2.38 × 10 ⁶	2.30 × 10 ⁵	2.38 × 10 ⁶	2.30 × 10 ⁵	2.30 × 10 ⁵	2.38 × 10 ⁶
电导率/mS•cm ⁻¹	29.0	27.2	22.8	24.2	28.7	18.05
溶解性总固体/mg•L ⁻¹	1.34 × 10 ⁴	1.38 × 10 ⁴	1.26 × 10 ⁴	2.40 × 10 ⁴	1.67 × 10 ⁴	1.02 × 10 ⁴

垃圾渗滤液中的 COD、BOD₅、NH₄⁺-N 等被列为我国和美国 EPA 环境优先控制污染物的“黑名单”^[20]. 渗滤液中有机污染物多的主要原因与垃圾有机物含量高有关^[21]. 因此,垃圾在填埋前应该严格实施分类,限制填埋垃圾的有机物含量.

对照《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB 16889-1997)规定的生活垃圾渗滤液排放限值标准,对各填埋场渗滤液水质进行单因子评价^[22]:除北神树垃圾填埋场渗滤液中的 BOD₅ 和悬浮物含量外,其余垃圾填埋场渗滤液中的各控制排放项目均超过了 GB 16889-1997 三级标准.其中:铵氮和粪大肠菌群超标最为严重,铵氮超出 GB 16889-1997 三级标准的 44 倍(阿苏卫)至 117 倍(焦家坡);粪大肠菌群超出 GB 16889-1997 三级标准的 106 ~ 107 倍.

渗滤液是一种污染性极强的高浓度有机废水,如果处理不当,它将会对垃圾填埋场的周围环境、底

层土壤和地下水都造成严重污染^[23]. 因此,为防止生活垃圾填埋对地表水和地下水产生二次污染,渗滤液必须经过处理后才能排放.此外,各填埋场还应加强防渗措施,避免对地下水造成污染.

2.2 垃圾填埋场地下水井监测结果

6 座垃圾填埋场的地下水水质监测结果见表 4.

3 填埋场地下水环境质量的模糊综合评价

3.1 确定模糊评价因子和评价分级标准

从测得的 13 项指标中,选择污染贡献率较大的 10 项地下水污染项目进行评价,主要包括高锰酸盐指数、总硬度、铵氮、氯化物、挥发酚、氟化物、总大肠菌群、铅、砷、六价铬.

将地下水质量分为 5 个等级:1 级(好)、2 级(较好)、3 级(中)、4 级(差)、5 级(很差).各评价因子的分级标准见表 5.

表 4 地下水水质分析结果

Table 4 Assay results of groundwater quality of six MSW landfills

时间	检测项目	阿苏卫	安定	北神树	六里屯	高安屯	焦家坡
枯水期	pH	7.93	7.34	7.67	8.32	7.65	7.06
	高锰酸盐指数/mg•L ⁻¹	0.82	4.17	3.94	1.74	1.72	0.592
	铵氮/mg•L ⁻¹	0.15	0.29	0.19	0.28	0.57	0.167
	总硬度/mg•L ⁻¹	211.98	807.25	743.20	179.37	648.40	315
	氯化物/mg•L ⁻¹	18.61	158.83	281.50	27.00	124.44	13.8
	挥发酚/mg•L ⁻¹	0.00	0.00	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	氰化物/mg•L ⁻¹	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	氟化物/mg•L ⁻¹	0.92	0.89	0.70	0.61	0.30	0.21
	总大肠菌群/个•L ⁻¹	34.83	76.25	22.00	>230	101.80	<3
	汞/mg•L ⁻¹	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	铅/mg•L ⁻¹	<0.01	<0.000 1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	砷/mg•L ⁻¹	0.01	0.02	0.01	<0.007	<0.007	<0.007
丰水期	六价铬/mg•L ⁻¹	0.01	0.01	0.02	0.08	0.01	0.008
	pH	7.87	7.66	7.81	8.18	7.67	7.21
	高锰酸盐指数/mg•L ⁻¹	1.63	2.98	3.51	1.05	1.63	0.459
	铵氮/mg•L ⁻¹	0.46	0.25	0.56	0.29	0.37	0.332
	总硬度/mg•L ⁻¹	223.17	549.25	682.20	152.78	474.40	314
	氯化物/mg•L ⁻¹	20.04	97.75	276.70	31.88	117.10	9.59
	挥发酚/mg•L ⁻¹	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003
	氰化物/mg•L ⁻¹	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	氟化物/mg•L ⁻¹	0.73	0.67	0.65	0.92	0.28	0.17
	总大肠菌群/个•L ⁻¹	85.17	>230	96.80	97.75	105.00	4
	汞/mg•L ⁻¹	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	铅/mg•L ⁻¹	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01
平水期	砷/mg•L ⁻¹	<0.007	<0.007	0.01	<0.007	<0.007	<0.007
	六价铬/mg•L ⁻¹	<0.004	0.01	<0.004	<0.001	0.01	<0.004
	pH	7.64	7.08	7.61	8.35	7.33	7.26
	高锰酸盐指数/mg•L ⁻¹	0.93	5.87	4.12	1.74	1.52	0.50
	铵氮/mg•L ⁻¹	0.10	0.25	0.12	0.22	0.35	0.158
	总硬度/mg•L ⁻¹	206.80	720.00	768.4	158.19	539.40	301
	氯化物/mg•L ⁻¹	15.92	169.28	315.12	32.50	105.76	9.76
	挥发酚/mg•L ⁻¹	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	氰化物/mg•L ⁻¹	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	氟化物/mg•L ⁻¹	0.80	0.70	0.64	0.85	0.29	0.23
	总大肠菌群/个•L ⁻¹	100.20	212.75	81.6	13.63	71.80	4
	汞/mg•L ⁻¹	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	铅/mg•L ⁻¹	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	砷/mg•L ⁻¹	0.01	0.01	<0.007	0.01	<0.007	<0.007
	六价铬/mg•L ⁻¹	<0.004	<0.004	<0.007	<0.004	<0.004	<0.007

表 5 模糊评价分级指标

Table 5 Classification index of groundwater quality

水质项目	I（好）	II（较好）	III（中）	IV（差）	V（很差）
高锰酸盐指数/mg•L ⁻¹	1.0	2.0	3.0	10	30
总硬度/mg•L ⁻¹	150	300	450	550	1 650
铵氮/mg•L ⁻¹	0.02	0.02	0.2	0.5	1.5
氯化物/mg•L ⁻¹	50	150	250	350	1 050
挥发酚/mg•L ⁻¹	0.001	0.001	0.002	0.01	0.03
氟化物/mg•L ⁻¹	1.0	1.0	1.0	2.0	6.0
总大肠菌群/个•L ⁻¹	3.0	3.0	3.0	100	300
铅/mg•L ⁻¹	0.005	0.01	0.05	0.1	0.3
砷/mg•L ⁻¹	0.005	0.01	0.05	0.05	0.15
六价铬/mg•L ⁻¹	0.005	0.01	0.05	0.1	0.3

3.2 隶属度函数

根据地下水质量标准的各级标准分别建立每种评价因子相应于不同水质级别的隶属函数.本研究采用指派方法中的降半梯形模糊分布建立隶属函数^[24],表达式如下.

$$R_I(C_i) = \begin{cases} 1 & 0 \leq C_i \leq II \\ \frac{II - C_i}{II - I}, & I < C_i < II \\ 0 & C_i \geq II \end{cases}$$
$$R_{II}(C_i) = \begin{cases} 0, & C_i \leq I \text{ 或 } C_i \geq III \\ \frac{C_i - I}{II - I}, & I \leq C_i \leq II \\ \frac{III - C_i}{III - II}, & II < C_i < III \end{cases}$$
$$R_{III}(C_i) = \begin{cases} 0, & C_i \leq II \text{ 或 } C_i \geq IV \\ \frac{C_i - II}{III - II}, & II \leq C_i \leq III \\ \frac{IV - C_i}{IV - III}, & III < C_i < IV \end{cases}$$
$$R_{IV}(C_i) = \begin{cases} 0, & C_i \leq III \text{ 或 } C_i \geq V \\ \frac{C_i - III}{IV - III}, & III \leq C_i \leq IV \\ \frac{V - C_i}{V - IV}, & IV < C_i < V \end{cases}$$
$$R_V(C_i) = \begin{cases} 0, & C_i \leq IV \\ \frac{C_i - IV}{V - IV}, & IV < C_i < V \\ 1, & C_i \geq V \end{cases}$$

式中, $R_I \sim R_V$ 分别为某项污染因子的隶属度, $I \sim V$ 分别为某项污染因子 $I \sim V$ 级标准限值, C_i 为第 i 种因子实测浓度值.

3.3 生成隶属度矩阵

将各填埋场地下观测井水质的实际监测值代入相应的隶属函数,计算隶属度得到相应的隶属度矩阵 R . m 个评价因子隶属于 n 个不同级别的隶属度组成隶属度矩阵 R (R 为 $m \times n$ 阶).文中 $m = 10, n = 5$.

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix}$$

以枯水期和平水期的阿苏卫填埋场为例,计算评价因子隶属度矩阵.

枯水期的阿苏卫填埋场的隶属度矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.672 & 0.328 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

平水期的阿苏卫填埋场的隶属度矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.37 & 0.63 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.153 & 0.847 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.4 评价因子权重计算

本研究运用的权重计算式为:

$$w_i = \left(\frac{c_i}{s_i} \right) / \sum_{i=1}^m \frac{c_i}{s_i}$$

式中, w_i 为第 i 种评价因子的权重; c_i 为第 i 种评价因子实测值; s_i 为第 i 种评价因子分级标准平均值; m 为评价因子个数.

计算出各因子权重后,组成权重模糊矩阵 W , $W = \{w_1, w_2, \cdots, w_m\}$.

3.5 模糊评价结果

模糊综合评价结果是通过模糊数学矩阵的乘法求出运算结果 $A \cdot R$,算法与普通矩阵类似,只将矩阵乘法运算中的加号“+”改为“ $\vee$ ”,将乘号改为“ $\wedge$ ”,“ $\vee$ ”的意义取加数中最大者为“和”,“ $\wedge$ ”的意义为取相乘两数较小者为“积”.得到:

$$B = A \cdot R = (V_1, V_2, V_3, \cdots, V_m) \times \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix}$$
$$= (b_1, b_2, b_3, \cdots, b_n)$$

式中, b_n 为复合运算结果,此结果对应于各级水质的隶属度,水质评价结果一般采取隶属度最大的原

则.当同时存在有 2 个或 2 个以上个最大值时,取次大值贴近的一个作为最后评价结果的级别.

各垃圾填埋场地下水质的模糊评价结果见表 6.

表 6 模糊评价结果
Table 6 Results of the fuzzy mathematics evaluation

时期	名称	模糊评价矩阵(<i>WR</i>)	等级	评价	主要污染物
枯水期	阿苏卫	{0.157, 0.071, 0.16, 0.16, 0.48}	V	很差	总硬度
	安定	{0.053, 0.057, 0.123, 0.123, 0.643}	V	很差	总硬度
	北神树	{0.045, 0.031, 0.061, 0.109, 0.641}	V	很差	总硬度
	六里屯	{0.048, 0.033, 0.149, 0.149, 0.488}	V	很差	总大肠菌群
	高安屯	{0.053, 0.053, 0.036, 0.195, 0.612}	V	很差	总硬度
	焦家坡	{0.049, 0.049, 0.085, 0, 0.707}	V	很差	总硬度
丰水期	阿苏卫	{0.096, 0.051, 0.153, 0.301, 0.389}	V	很差	总硬度
	安定	{0.04, 0.035, 0.043, 0.35, 0.436}	V	很差	总硬度
	北神树	{0.039, 0.056, 0.098, 0.155, 0.541}	V	很差	总硬度
	六里屯	{0.13, 0.041, 0.071, 0.372, 0.287}	IV	差	总大肠菌群
	高安屯	{0.059, 0.059, 0.043, 0.24, 0.536}	V	很差	总硬度
	焦家坡	{0.049, 0.049, 0.125, 0.125, 0.696}	V	很差	总硬度
平水期	阿苏卫	{0.103, 0.053, 0.064, 0.345, 0.352}	V	很差	总硬度
	安定	{0.036, 0.051, 0.071, 0.291, 0.487}	V	很差	总硬度
	北神树	{0.037, 0.017, 0.128, 0.128, 0.597}	V	很差	总硬度
	六里屯	{0.164, 0.08, 0.097, 0.071, 0.406}	V	很差	总硬度
	高安屯	{0.055, 0.055, 0.168, 0.168, 0.623}	V	很差	总硬度
	焦家坡	{0.051, 0.051, 0.088, 0.01, 0.7}	V	很差	总硬度

从表 6 得知:除六里屯垃圾填埋场外,阿苏卫垃圾填埋场、安定垃圾填埋场、北神树垃圾填埋场及焦家坡垃圾填埋场在 2006 年的枯水期、丰水期和平水期其地下水水质均为 V 级,即地下水质量很差.地下水中的主要污染物为总硬度.2006 年的枯水期和平水期,六里屯垃圾填埋场的地下水质量也是 V 级,地下水水质很差.地下水中的主要污染物分别为总大肠菌群和总硬度.2006 年丰水期,六里屯垃圾填埋场的地下水水质为 IV 级,地下水水质为差.地下水中的主要污染物是总硬度.

2006 年 6 个垃圾填埋场的 3 个不同时期的地下水水质监测中,100% 不合格.地下水水质 95% 均为很差,6 座填埋场的防渗措施有待改进.

地下水是全人类赖以生存的重要水资源,世界上 50% 的人口以地下水为饮用水源^[25,26].但是,国内外均有有关垃圾渗滤液污染地下水、污染取水水源地的事故^[27].垃圾填埋场是一个重要的地下水污染源,在数十年的演变周期中,对于未使用适当衬垫的垃圾填埋场,垃圾渗沥液会持续产生并在相当长时期内造成污染^[28].Allen^[29]研究发现,即使是卫生填埋技术,也存在着衬垫层破损使垃圾渗沥液泄漏而造成地下水污染的潜在危险.在上海、石家庄以及全国其他城市,也存在因堆置垃圾而对地下水造成污染的情况^[30].

北京市共有垃圾场 490 处,正规垃圾场仅占 6.2%.其余 93.8% 均为非正规生活垃圾场^[12].每年仍有 1.2×10^6 t 的垃圾填埋在未经科学设计与工程防护的砂石坑或低洼地带中,对环境和水资源构成了严重威胁^[10].因此,应在所有垃圾填埋场,尤其是非正规垃圾进行实时监测;对已污染地下水的垃圾填埋场进行治理,建立有效的预警机制,否则将遗害无穷.此外,为防止地下水污染,选择垃圾填埋处置场址不仅要重视环境地质条件^[31],而且,必须加强填埋场防渗措施的有效性,否则,极有可能污染人类的生存环境和地下水资源,影响城市经济、环境的可持续发展.

4 结论

(1) 填埋场渗滤液水质恶劣,主要为有机污染类型,化学需氧量和生化需氧量含量非常高,最高浓度分别可达 8 640 mg/L 和 18 200 mg/L.此外,高浓度的铵氮也是渗滤液的水质特征之一,其浓度从 1 100 ~ 2 930 mg/L 不等.

(2) 除北神树垃圾填埋场渗滤液中的 BOD₅ 和悬浮物含量外,其余垃圾填埋场渗滤液中的各控制排放项目均超过了 GB 16889-1997 三级标准.其中:铵氮和粪大肠菌群超标最为严重,铵氮超出 GB 16889-1997 三级标准的 44 倍(阿苏卫)至 117 倍(焦

家坡);粪大肠菌群超出 GB16889-1997 三级标准的 106~107 倍。

(3) 2006 年的枯水期、丰水期和平水期,其地下水水质均为 V 级,即地下水质量很差。地下水中的主要污染物为总硬度。2006 年的枯水期和平水期,六里屯垃圾填埋场的地下水质量也是 V 级,地下水水质很差。地下水中的主要污染物分别为总大肠菌群和总硬度。2006 年丰水期,六里屯垃圾填埋场的地下水质量为 IV 级,地下水水质为差。地下水中的主要污染物是总硬度。

(4) 2006 年 6 个垃圾填埋场的 3 个不同时期的地下水水质监测中,100% 不合格。地下水水质 95% 均为很差,6 座填埋场的防渗措施有待改进。

(5) 应加强垃圾分类的推广实施,并对垃圾填埋场进行时时监测和有力治理,以减少垃圾渗滤液的产生及由此引起地下水资源的污染;同时,为防止水源污染,新建垃圾填埋场选址时必须加强防渗措施。

参考文献:

- [1] Ludvigsen L, Albrechtsen H J, Heron G, *et al.*, Christensen T H. Anaerobic microbial redox processes in a landfill leachate contaminated aquifer[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 1998, **33**(3-4): 273-291.
- [2] Berkun M, Aras E, Nemlioglu S. Country report disposal of solid waste in Istanbul and along the Black Sea coast of Turkey[J]. *Waste Management*, 2005, **25**(8): 847-855.
- [3] Castro H F, Willams N H, Ogram A. Phylogeny of sulfate-reducing bacteria[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2000, **31**(1): 1-9.
- [4] Slack R J, Gronow J R, Hall D H, *et al.* Household hazardous waste disposal to landfill: Using LandSim to model leachate migration[J]. *Environmental Pollution*, 2007, **146**(2): 501-509.
- [5] Garrod G, Willis K. Estimating lost amenity due to landfill waste disposal[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 1998, **22**(1-2): 83-95.
- [6] Bernard C, Guido P, Colin J, *et al.* Estimation of the hazard of landfills through toxicity testing of leachates. 1 Determination of leachate toxicity with a battery of acute tests[J]. *Chemosphere*, 1996, **33**(11): 2303-2320.
- [7] Milovanovic M. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe[J]. *Desalination*, 2007, **213**(1-3): 159-173.
- [8] Saxe J K, Wannamaker E J, Conklin S W, *et al.* Evaluating landfill disposal of chromated copper arsenate (CCA) treated wood and potential effects on groundwater: Evidence from Florida[J]. *Chemosphere*, 2007, **66**(3): 496-504.
- [9] Rapti-Caputo D, Sdao F, Masi S. Pollution risk assessment based on hydrogeological data and management of solid waste landfills[J]. *Engineering Geology*, 2006, **85**(1-2): 122-131.
- [10] 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.
- [11] 殷密英, 刘长礼, 张凤娥, 等. 北京市北天堂生活垃圾场地的地质环境效应评价[J]. *地球学报*, 2003, **24**(5): 445-448.
- [12] 陈忠荣, 王翊虹, 袁庆亮, 等. 北京地区垃圾填埋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.
- [13] Ocampo-Duque W, Ferré-Huguet N, Domingo J, *et al.* Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study[J]. *Environment International*, 2006, **32**(6): 733-742.
- [14] Khadam I M, Kaluarachchi J J. Multi-criteria decision analysis with probabilistic risk assessment for the management of contaminated ground water[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2003, **23**(6): 683-721.
- [15] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. *Information and Control*, 1965, **8**(3): 338-353.
- [16] Chang N B, Chen H W, Ning S K. Identification of river water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 2001, **63**(3): 293-305.
- [17] Icaga Y. Fuzzy evaluation of water quality classification [J]. *Ecological Indicators*, 2007, **7**(3): 710-718.
- [18] Uricchio V F, Giordano R, Lopez N. A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, **73**(3): 189-197.
- [19] Li J B, Huang G H, Zeng G M, *et al.* An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of groundwater contamination [J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, **82**(2): 173-188.
- [20] 张兰英. 垃圾渗沥液中有机污染物的污染及去除[J]. *中国环境科学*, 1998, **18**(2): 184-188.
- [21] 聂永丰. 三废处理工程技术手册-固体废物卷[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 217-302.
- [22] 蔡建安, 张文艺. 环境质量评价与系统分析[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2003. 65-79.
- [23] 刘东, 喻晓, 罗毅, 等. 城市生活垃圾填埋场渗滤液特性分析[J]. *环境科学与技术*, 2006, **29**(6): 55-58.
- [24] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002. 124-156.
- [25] 刘兆昌, 朱琨. 供水水文地质[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988. 8-15.
- [26] Katta J, Reddy, Lin J P. Nitrate removal from groundwater using catalytic reduction[J]. *Water Research*, 2000, **34**(3): 995-1001.
- [27] 张红梅, 速宝玉. 垃圾填埋场渗滤液及对地下水污染研究进展[J]. *水文地质工程地质*, 2003, (6): 110-116.
- [28] Hale-Booth D D, Smith M C, Gattie D K, *et al.* Characterization of microbial populations in landfill leachate and bulk samples during aerobic bioreduction [J]. *Advances in Environmental Research*, 2001, **5**(3): 285-294.
- [29] Allen A. Containment landfills: the myth of sustainability[J]. *Engineering Geology*, 2001, **60**(1-4): 3-19.
- [30] 刘长礼, 张云, 焦鹏程, 等. 上海浦东表层粘性土对城市垃圾污染质的阻隔能力[J]. *地球学报*, 2001(增刊): 360-368.
- [31] 刘长礼, 张云, 张凤娥, 等. 北京某垃圾处置场对地下水的污染[J]. *地质通报*, 2003, **22**(7): 531-535.