

文章编号:1000-582X(2008)01-0077-06

## 三峡库区垃圾填埋场和焚烧厂渗滤液水质特征

方 芳<sup>1</sup>, 刘国强<sup>1</sup>, 郭劲松<sup>1</sup>, 官 鲁<sup>2</sup>, 张晓卫<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400030; 2. 中冶赛迪工程技术股份有限公司, 重庆 400013)

**摘 要:**分析了重庆长生桥垃圾填埋场和同兴垃圾焚烧厂冬季渗滤液的常规水质特征, 并与国内外部分渗滤液进行了比较。结果表明, 长生桥填埋场渗滤液水质和同兴焚烧厂差别很大, 与填埋时间为 10 a 左右渗滤液相似, 具有较低的 COD 值(4 173 mg/L)和 VFA 含量(384 mg/L)、较高的 NH<sub>3</sub>-N 含量(3 885 mg/L)和 pH 值(7.83), 很低的 BOD<sub>5</sub>/COD 值(0.09); 而同兴焚烧厂渗滤液与早期填埋场的水质相似。对比研究了长生桥填埋场和同兴焚烧厂渗滤液中 DOM 的构成及各组分的分子量分布特征, 结果表明, 焚烧厂渗滤液中 DOC 的含量远大于填埋场, 但填埋场中 HA 所占比例高于焚烧厂; 分子量分布表明, 在大于 10 kDa 的范围内 HA 占了 60% 以上, 且 HA 的分子量随腐化程度的加剧有增大的趋势, 而 FA 和 HyI 主要分布在 2 kDa 以下。

**关键词:**填埋场渗滤液; 焚烧厂渗滤液; 溶解性有机质; 腐殖质; 分子量分布

中图分类号: X705

文献标志码: A

## Characterization of Water Quality of Leachates from Landfill Site and Incineration Plant in Three Gorges Area

FANG Fang<sup>1</sup>, LIU Guo-qiang<sup>1</sup>, GUO Jin-song<sup>1</sup>, GONG Lu<sup>2</sup>, ZHANG Xiao-wei<sup>2</sup>

(1. Key Eco-Environment of Laboratory of Three Gorges Reservoir Region Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. CISDI Engintring Co., Ltd, Chongqing 400013, P. R. China)

**Abstract:** The winter water quality of leachates from Chongqing Chang Shengqiao municipal solid waste landfill and Tongxing incineration plant were tested. The results were compared with domestic and overseas landfill and incineration leachates. The water quality of Chang Shengqiao landfill leachate had a very high NH<sub>3</sub>-N concentration (3 885 mg/L), a high pH value(7.83), low concentrations of COD(4 173 mg/L) and VFA(384 mg/L), and poor biodegradability (BOD<sub>5</sub>/COD=0.09). The Chang Shengqiao landfill leachate was very different from the Tongxing incineration leachate, but was very similar to ten-year-old landfill leachate. The water quality of Tongxing incineration leachate was similar to fresh landfill leachates, however. Based on DOC measurements, the incineration leachate had much more DOM, but the percentage of HA in landfill leachate was much higher. Molecular size distribution data revealed that more than 60% of humic acids distributed in the large molecules region (>10 kDa), while FA and HyI mainly were comprised of low molecules (<2 kDa). Leachate humic substance molecular size had a tendency to increase as humification increased.

**Key words:** landfill leachate; incineration leachate; dissolved organic matter; humic substance; molecular weight distribution

收稿日期: 2007-09-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50608071)

作者简介: 方芳(1973-), 女, 重庆大学副教授, 研究方向为废水处理技术与理论, (Tel)023-65120768; (E-mail)xiduo@tom.com。

郭劲松(联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, (E-mail) guo0768@vip.sohu.com。

目前,中国有相当一部分垃圾渗滤液处理工艺不能正常运行,这主要是由于渗滤液水质的复杂性、易变性和不同渗滤液水质的差异性所造成,而目前对渗滤液水质特征的表征还主要停留在 COD 等常规指标上,但这不能够完全表征出不同渗滤液间水质的差异性。垃圾渗滤液中溶解性有机质(dissolved organic matter, DOM) 占总有机质的 85% 左右<sup>[1-3]</sup>,是造成出水 COD 较高的主要原因。一般地渗滤液中的 DOM 可分为腐殖酸(Humic acids, HA)、富里酸(Fulvic acids, FA)和亲水性有机质(Hydrophilic organic matter, HyI) 3 种成分,且不同地区、不同填埋龄、不同来源渗滤液中 DOM 的组成结构有很大差别<sup>[2-5]</sup>。在垃圾渗滤液的各种处理工艺中,对 DOM 各成分的处理效果不一,对低分子量、腐殖化程度较高的富里酸处理效果尤差,对同一组分不同分子量的 DOM 处理效果相差也很大<sup>[2, 6-8]</sup>。因此,研究垃圾渗滤液中 DOM 的组分和各组分的分子量分布特征,对于反映填埋场的稳定化程度和选择合适的渗滤液处理工艺,具有重要的指导意义。

为此,笔者对比分析了位于三峡库区的重庆长生桥垃圾填埋场和同兴垃圾焚烧厂冬季渗滤液的常规水质特征,以及渗滤液中 DOM 的组成和各组分的分子量分布特征,为选择或开发相应的处理工艺提供依据。

## 1 试验方法与材料

### 1.1 水样

填埋场渗滤液取自重庆长生桥垃圾填埋场渗滤液出水口,取样时间为 2006 年 12 月。从 2006 年 10 月到 2007 年 2 月,重庆市降雨极少,可认为该渗滤液主要来源于垃圾中原有持水和微生物代谢所产生的水。长生桥垃圾填埋场是三峡库区第一个现代

化的大型垃圾卫生填埋场,于 2003 年开始运行,主要填埋城市生活垃圾。

焚烧厂渗滤液取自重庆同兴垃圾焚烧厂渗滤液调节池,其渗滤液产生于焚烧前的垃圾储坑,取样时间为 2007 年 1 月。同兴垃圾焚烧厂是西部地区第一座大型现代化的垃圾发电厂,建成于 2005 年。

### 1.2 测试项目及方法

COD(HACH 法)、BOD<sub>5</sub>(稀释接种法)、NH<sub>3</sub>-N(纳氏试剂比色法)、VFA(比色法)、pH(HACH 便携式 pH 计)、SS(103 ~ 105 °C 烘干重量法)、TOC(HACH-ANATOC, 400 nm 近紫外光催化氧化)。

### 1.3 溶解性有机质的富集与分离

采用 XAD-8 树脂富集分离渗滤液中的 HA、FA 和 HyI。XAD-8 树脂被广泛应用于污水和天然水体中溶解性有机质的富集与分离<sup>[5, 8-10]</sup>。笔者按照 Thurman<sup>[9]</sup>和 Christensen<sup>[10]</sup>提供的分离和净化方法对渗滤液中 DOM 进行分离。

### 1.4 分子量分布测定

采用超滤法测定溶解性有机质中各组分的分子量分布,并以商业腐殖酸(化学纯,天津市津科精细化工研究所)的分子量分布作为对比。超滤杯为 SCM-300,滤膜为 HM 平板膜,截留分子量分别为 100、50、10、4、2 kDa,均为上海原子核应用物理研究所提供。采用梯度过滤法,氮气加压(0.25 MPa)。测试各个阶段滤膜出水的 DOC,采用差值法表示各分子量间有机质含量。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 常规水质特征

不同渗滤液的常规水质指标见表 1。

表 1 不同渗滤液的常规水质指标

mg · L<sup>-1</sup>

水样来源	时间/a	COD	BOD <sub>5</sub>	TOC	NH <sub>3</sub> -N	SS	VFA	pH	BOD <sub>5</sub> /COD
长生桥填埋场	3.5	4 173	374	946	3 885	812	384	7.83	0.09
数据 1 <sup>[12]</sup>	0.5	45 000 ~ 52 000	—	—	1 200 ~ 1 400	—	—	5.6	0.5 ~ 0.7
数据 2 <sup>[13]</sup>	新鲜	35 000 ~ 50 000	21 000 ~ 25 000	—	2 020	2 630 ~ 3 930	—	5.6 ~ 7.0	> 0.50
数据 3 <sup>[3]</sup>	5	41 507	32 790	18 362	1 896	1 873	—	6.6	0.79
数据 4 <sup>[14]</sup>	5	733 ~ 1 358	16 ~ 271	—	476 ~ 1 150	300 ~ 400	—	8.0 ~ 8.5	< 0.20
数据 5 <sup>[15]</sup>	10	2 483	165	867	—	156	—	7.91	0.06
数据 6 <sup>[3]</sup>	10	5 348	2 684	1 630	1 826	143	—	7.9	0.5
数据 7 <sup>[16]</sup>	> 10	1 360	320	—	1 098.6	—	—	8.65	0.24
数据 8 <sup>[17]</sup>	> 10	5 350	1 050	—	940	480	—	7.9	0.19
数据 9 <sup>[15]</sup>	> 11	689	49	249	—	33.9	—	7.74	0.06
数据 10 <sup>[3]</sup>	15	1 367	145	863	892	17.2	—	8.2	0.11
焚烧厂	同兴焚烧厂	59 387	30 881	15 928	1 225	6 822	12 098	5.96	0.52
数据 11 <sup>[11]</sup>		56 600	31 000	24 000	480	6 800	—	4.8	0.55
数据 12 <sup>[18]</sup>		49 800	19 200	—	1 200	1 120	—	6.4	0.39

同兴焚烧厂渗滤液中, COD、BOD<sub>5</sub>、TOC、SS 和 VFA 含量很高, 分别为 59 387、30 881、15 928、6 822 和 12 098 mg/L, 且具有较高的 NH<sub>3</sub> 浓度(1 225 mg/L) 和较低的 pH 值(5.96)。焚烧厂渗滤液与填埋场早期渗滤液(如数据 1、2)的各项常规水质指标很相似, 表现为很高的 COD、BOD<sub>5</sub>、SS 值, 较高的 NH<sub>3</sub>-N 浓度和较低的 pH 值, COD 一般在 35 000~60 000 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 在 2 000 mg/L 以下, pH 在 6.0 左右, 个别低于 5.0, 生化性良好, 可以采用生物法作为主要处理工艺。此外, 同兴焚烧厂渗滤液中 VFA 含量高达 12 098 mg/L, 约为长生桥填埋场的 31.5 倍。何晶晶等<sup>[11]</sup>人曾采用气相色谱测试了焚烧厂渗滤液中挥发性有机物, 得出其主要由乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸、甲醇、乙醇、乳酸等构成, 其中乳酸和乙酸含量很高, 分别为 16 800 和 3 710 mg/L, 占总的挥发性有机物 85% 以上。

长生桥填埋场运行时间仅有 3.5 a, 按相关数据<sup>[19]</sup>, 其渗滤液应该属于早期渗滤液, 但却表现为较低的 COD(4 173 mg/L) 和 VFA(384 mg/L)、较高的 NH<sub>3</sub>-N 含量(3 885 mg/L) 和 pH(7.83) 值, 以及极差的生化性(BOD<sub>5</sub>/COD = 0.09), 与填埋时间达 10 a 左右的水质特征极为相似(如数据 5、8)。这可能是由于重庆地区的年平均气温较高, 同时国内城市垃圾中的厨余垃圾含量又较高(50% 左右)<sup>[20]</sup>, 加快了填埋场垃圾的稳定化速度。

分析不同填埋场渗滤液, 可发现填埋时间短的渗滤液的 COD、BOD<sub>5</sub>、SS 和 BOD<sub>5</sub>/COD 值总体上大于填埋时间长的, 其中填埋 5 a 以下的渗滤液的 COD 值可高达 50 000 mg/L 左右, 填埋 10 a 以上渗滤液的 COD 可降到 1 000 mg/L 左右, 这与同一填埋场渗滤液 COD 值随填埋时间的变化规律基本一致<sup>[21]</sup>。填埋时间短的渗滤液生化性良好, BOD<sub>5</sub>/COD 值可高达 0.79, 而填埋场晚期的 BOD<sub>5</sub>/COD 值可低于

0.1, 这主要是由于早期渗滤液中含有大量易生物降解的有机物(如挥发性脂肪酸), 而晚期渗滤液中难降解的、腐殖化程度较高的腐殖质(包括腐殖酸和富里酸)所占比例提高所致<sup>[2-3]</sup>。挥发性脂肪酸的减少, 也使得渗滤液 pH 值随填埋时间的增加而逐渐升高。新鲜渗滤液(如数据 1、2)的 NH<sub>3</sub>-N 浓度在 1 200~2 000 mg/L 间, 填埋时间在 3.5 a 的(如长生桥填埋场)NH<sub>3</sub>-N 浓度高达 3 885 mg/L, 到填埋时间为 5~10 a 的渗滤液(如数据 3、6), NH<sub>3</sub>-N 浓度降到 1 000~2 000 mg/L 左右, 在填埋时间为 10 a 以上的渗滤液(如数据 8、10), NH<sub>3</sub>-N 也将长时间维持在 500~1 000 mg/L。由此可见填埋场渗滤液中 NH<sub>3</sub>-N 含量在早期(3.5 a 以前)快速增加, 中后期(5 a 以后)逐步衰减, 并将长时间维持在 500~1 000 mg/L, 其衰减速率和衰减幅度低于 COD、BOD<sub>5</sub> 指标。这一现象与刘疆鹰等人<sup>[22]</sup>研究同一填埋场 NH<sub>3</sub>-N 的衰减规律基本一致, 主要是由于微生物生长繁殖对主要营养元素(碳、氮、磷)的不同需求所引起的<sup>[21]</sup>。

此外, 从表 1 还可发现不同地区相近填埋龄的填埋场间渗滤液水质特征也存在较大差别(如数据 3 与 4; 数据 5 与 6; 数据 8、数据 9 与 10)。这主要是由于不同地区填埋场, 其垃圾组分、填埋方式、气候以及填埋场的运行状况等因素使得填埋场的稳定化进程不一而导致的。

## 2.2 DOM 的组成结构

不同渗滤液中溶解性有机质的组成有很大差别。笔者采用 XAD-8 树脂, 将重庆长生桥填埋场和同兴焚烧厂渗滤液中的溶解性有机质分为腐殖酸(HA)、富里酸(FA)和亲水性有机质(HyI), 用 DOC(Dissolved Organic Carbon, DOC)表示其含量。各组分 DOC 值和相对含量如表 2 所示。

表 2 不同渗滤液中溶解性有机质的组成结构

项目	长生桥填埋场渗滤液				同兴焚烧厂渗滤液			
	L-DOM	L-HA	L-FA	L-HyI	I-DOM	I-HA	I-FA	I-HyI
DOC 值/(mg·L <sup>-1</sup> )	927	178	422	327	12 089	213	6 710	5 166
比值/%		19.2	45.5	35.3		1.8	55.5	42.7
COD/DOC	4.0	3.7	3.4	5.0	5.3	4.9	4.1	6.8

长生桥填埋场中 DOC 占 TOC 的 98.0%, 而同兴焚烧场中 DOC 只占了 75.9%, 这是由于焚烧场渗滤液中含有更多悬浮态有机物。在填埋场渗滤液 DOC 中, HA、FA 和 HyI 分别占了 19.2%、45.5% 和 35.3%; 而焚烧厂中分别为 1.8%、55.5% 和 42.7%。填埋场中腐殖质(humic substance, 包括 HA 与 FA)所占比例

大于焚烧厂, 特别是 L-HA 所占比例远高于 I-HA, 约为其 10 倍; 而在焚烧厂渗滤液中, FA 占有很大比例, 而 HA 所占比例很低, 这是由于在有机物的腐化过程中, FA 是在腐化的初期便形成, 而 HA 则随有机物腐化进程逐步形成<sup>[23]</sup>。Huan-jung Fan 研究表明<sup>[15]</sup> 填埋时间近 10 a 和 15 a 渗滤液中 HA、FA 和 HyI 所占

比例分别为 21%、26% 和 53%，以及 28%、30% 和 42%。可见长生桥填埋场中 HA 的含量与填埋近 10 a 渗滤液中 HA 所占比例相当，但小于填埋 15 a 的渗滤液；而 L-FA 所占比例均远高于 Fan 研究的 2 种填埋场，可见长生桥渗滤液中腐殖质所占比例较高。而同兴焚烧厂渗滤液中 HA 所占比例与填埋场初期 (<0.5 a) 渗滤液中 HA 所占比例相差不大(0.6%)，即 HA 所占比例很低<sup>[2]</sup>。

根据表 1 和 2，焚烧厂渗滤液的 BOD<sub>5</sub>/COD 值均大于 0.3(同兴焚烧厂为 0.52、数据 11 为 0.59)，且各组分的 DOC/COD 值均比填埋场中的高，表明焚烧厂渗滤液宜采用生化处理。但在实际处理过程中，生化处理出水 COD 值维持在 2 000 ~ 6 000 mg/L<sup>[24]</sup>，即使采用两级生化法，出水 COD 也维持在 1 000 mg/L 以上<sup>[25]</sup>，难以达到排放标准。原因在于焚烧厂渗滤液中较难生物降解的 HA 和 FA 绝对含量也很高，如同兴焚烧厂的 HA 和 FA 分别为 213 和 6 710 mg/L，尽管其 COD/DOC 值较高，但在生化处理系统中，同样不能被微生物所完全降解，且会形成芳香化程度更高的 HA 与 FA，这在利用回灌法处理渗滤液的研究中得到证实<sup>[4]</sup>。这表明，仅仅采用生化法处理焚烧厂渗滤液，是很难达到有关排放标准的。

### 2.3 分子量分布特征

填埋场和焚烧厂渗滤液 DOM 中各分离组分和商业腐殖酸的分子量分布采用 DOC 来表征，结果如图 1 所示。

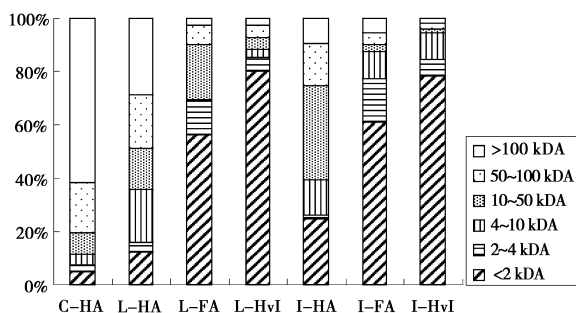


图 1 不同渗滤液中各分离组分和商业腐殖酸(C-HA)分子量分布图

从图中可以看出，HA 的分子量主要分布在 10 kDa 以上，C-HA 中占了 88.7%、L-HA 中占了 64.1%，I-HA 中占了 60.2%；而 FA 和 HyI 的分子量主要分布在小分子量阶段(<10 kDa)，尤其集中在 2 kDa 以下，2 kDa 以下的 FA 占了约 61%，HyI 占了约 80%，这一结果与相关研究基本一致<sup>[2,4]</sup>。

对比分析商业腐殖酸、填埋场和焚烧厂 HA 的分子量分布，在大于 100 kDa 范围内，C-HA 占了 61.5%，L-HA 占了 28.7%，I-HA 占了 9.2%；同时，C-HA 的分子量主要集中在 100 kDa 以上(61.5%)，L-HA 主要集中在 50 kDa 以上

(48.7%)，而 I-HA 集中在 10 ~ 100 kDa (51.0%)，由此可看出从焚烧厂到填埋场，再到商业腐殖酸，HA 的中大分子量阶段 DOC 所占比例在增加。相关研究表明<sup>[3]</sup>，填埋时间长的渗滤液中 HA 的腐殖化程度大于填埋时间短的，则本文中的 HA 的腐殖化程度应该为 C-HA > L-HA > I-HA。而有关的腐殖质形成假说认为腐殖质是由小分子量的化合物，如糖、氨基酸、酚和芳香族化合物，在微生物的作用下，进行自由基的缩合与聚合逐渐形成大分子量的腐殖质<sup>[26]</sup>，则说明腐殖化程度越高的腐殖质在大分子量阶段所占比例更多，而本文中 HA 在大分子量阶段所占比例依次为 C-HA > L-HA > I-HA，也符合这一认识。

长生桥填埋场与同兴焚烧厂的水质特征的差异，是由于有机质处于不同腐化阶段所造成的。长生桥填埋场垃圾的腐化时间相对较长，其氨氮含量和 pH 值较高，COD 和 VFA 较低，生化性较差，表明填埋场中大部分有机质应处于产甲烷阶段。尽管这一阶段 DOM 中腐殖质绝对量较少，但腐化程度和 HA 所占比例较高，且在大分子量阶段(>10kDa) HA 所占比例在增加，这一现象在有机堆肥的研究中得到证实<sup>[27]</sup>。Kang 等人<sup>[3]</sup>研究具有不同填埋龄的填埋场渗滤液中的腐殖质时，也得到 HA 的相对含量、腐化程度和平均分子量随填埋时间的增加而增大。而焚烧厂储坑里的有机垃圾腐化时间很短，pH 值较低，COD 和挥发性脂肪酸含量很高，表明其处于水解酸化阶段，此阶段产生了大量的腐化物，则水溶性腐殖质总量是远大于处于产甲烷阶段的有机质，但其腐化程度很低且不稳定，还能作为微生物代谢所需的碳源<sup>[28]</sup>，这一点在填埋场 DOM 各成分的 COD/DOC 值均高于焚烧厂得以体现，同时焚烧厂渗滤液高的 BOD<sub>5</sub>/COD 值也说明了这一问题。

## 3 结 论

1) 常规水质对比分析表明，长生桥填埋场和同兴焚烧厂渗滤液冬季水质差异很大，其水质与填埋时间在 10 a 左右渗滤液相似，具有较低的 COD 和 VFA、较高的 NH<sub>3</sub>-N 含量(3 885 mg/L)和 pH 值，以及极差的生化性(BOD<sub>5</sub>/COD = 0.09)，而同兴焚烧厂渗滤液水质与其它焚烧厂水质差别不大，呈现出较好的生化性(BOD<sub>5</sub>/COD = 0.52)。

2) 同兴焚烧厂渗滤液中 DOC 的含量远大于长生桥填埋场，但各组分所占比例有较大差别，填埋场渗滤液 DOC 中，HA、FA 和 HyI 分别占了 19.2%、45.5% 和 35.3%；而焚烧厂中分别为 1.8%、55.5% 和 42.7%。

3)分子量分布测定表明,DOM中各组分的分子量分布差异很大,HA在10 kDA以上占了60%以上,而FA和HyI主要分布在2 kDA以下,且焚烧厂和填埋场DOM中相同组分的分子量分布也存在较大差异。

#### 参考文献:

- [1] 楼紫阳, 欧远洋, 赵由才, 等. 老港填埋场新鲜渗滤液性质研究[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(1): 8-11.  
LOU ZI-YANG, OU YUANG-YANG, ZHAO YOU-CAI, et al. Study on the characterization of raw leachate in Laogang landfill [J]. Environmental Pollution & Control, 2004, 26(1): 8-11.
- [2] HE P J, XUE J F, SHAO L M, et al. Dissolved organic matter (DOM) in recycled leachate of bioreactor landfill [J]. Water Research, 2006, 40: 1465-1473.
- [3] KI-HOON KANG, HYUN SANG SHINB, HEEK YUNG PARK. Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications [J]. Water Research, 2002, 36: 4023-4032.
- [4] 薛俊峰, 何晶晶, 邵立明, 等. 渗滤液循环回灌厌氧填埋层前后的分类表征[J]. 水处理技术, 2005, 41(7): 24-27.  
XUE JUN-FENG, HE PIN-JING, SHAO LI-MING, et al. Variation characteristic of isolated fractions from leachate recirculating through anaerobic landfill layer [J]. Technology of Water Treatment, 2005, 41(7): 24-27.
- [5] XU Y D, YUE D B, ZHU Y, et al. Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes [J]. Chemosphere, 2006, 64: 903-911.
- [6] 薛俊峰, 何晶晶, 邵立明, 等. 渗滤液循环回灌出水在混凝处理中的去除特性[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(3): 164-168.  
XUE JUN-FENG, HE PIN-JING, SHAO LI-MING, et al. Study on removal characteristic of the recirculated leachate by coagulation [J]. Environmental Pollution & Control, 2005, 27(3): 164-168.
- [7] 王里奥, 顾恒岳. 垃圾渗滤液的处理试验研究[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2002, 25(2): 99-102.  
WANG LI-AO, GU HENG-YUE. Experiment research on leachate treatment of sanitary landfill for municipal solid waste [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2002, 25(2): 99-102.
- [8] RODRIGUEZ J, CASTRILLON L, MARANON E, et al. Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption [J]. Water Research, 2004, 38: 3297-3303.
- [9] THURMAN E M, MALCOLM R L. Preparative isolation of aquatic humic substances [J]. Environ Sci Technol, 1981, 15(4): 463-466.
- [10] CHRISTENSEN J B, JENSEN D L, GRON C, et al. Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate-polluted groundwater [J]. Water Research, 1998, 32(1): 125-135.
- [11] 何晶晶, 冯军会, 瞿贤, 等. 生活垃圾焚烧厂贮坑沥滤液的污染与可处理特性[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 86-89.  
HE PIN-JING, FENG JUN-HUI, QU XIAN, et al. Characteristics and treatment alternatives of leachate from refuse storage pit in municipal solid waste incineration [J]. Research of Environmental Sciences, 2006, 19(2): 86-89.
- [12] 曹占峰, 何晶晶, 邵立明, 等. SBR法处理垃圾填埋场新鲜渗滤液的实验研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(2): 33-36.  
CAO ZHAN-FENG, HE PIN-JING, SHAO LI-MING, et al. Study on treatment of fresh leachate from municipal solid waste landfill by SBR [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2005, 6(2): 33-36.
- [13] LZZET OZTURK, MAHMUT ALTINBAS, ISMAIL KOYUNCU, et al. Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates [J]. Waste Management, 2003, 23: 441-446.
- [14] 赵宗升, 李炳伟, 刘鸿亮, 等. 晚期渗滤液脱氮过程中的抑制现象及其消除[J]. 中国环境科学, 2004, 24(4): 484-488.  
ZHAO ZONG-SHENG, LI BING-WEI, LIU HONG-LI-ANG, et al. The inhibition phenomenon of denitrification process of later period leachate and its elimination [J]. China Environmental Science, 2004, 24(4): 484-488.
- [15] FAN HUAN-JUNG, SHU HUNG-YEE, YANG HSIN-SIN, et al. Characteristics of landfill leachates in central Taiwan [J]. Science of the Total Environment, 2006, 361: 25-37.
- [16] 吴文继, 孙亚兵, 冯景伟, 等. 中晚期垃圾渗滤液的处理研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(2): 112-115.  
WU WEN-JI, SUN YA-BING, FENG JING-WEI, et al. Study on the treatment of metaphase landfill leachate [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2006, 7(2): 112-115.
- [17] TATSU A A, ZOUBOULIS A I, MATIS K A, et al. Coagulation flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates [J]. Chemosphere, 2003, 53: 737-744.
- [18] 兰建伟, 颜学宏, 曾贤桂. 垃圾焚烧厂中沥滤液的处理[J]. 工程设计与建设, 2004, 36(5): 39-42.  
LAN JIAN-WEI, YAN XUE-HONG, ZENG XIAN-GUI. Treatment of leachate in garbage incineration plant [J]. Engineering Design and Construction, 2004, 36(5): 39-42.
- [19] 刘可. 城市垃圾渗滤液的特性分析及厌氧处理试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学硕士学位论文, 2004.
- [20] 方云飞. 城市生活垃圾(MSW)有机物降解和变形规律研究[D]. 南京: 河海大学硕士学位论文, 2005.

- [21] 刘疆鹰, 赵由才, 赵爱华. 大型垃圾填埋场渗滤液 COD 衰减规律[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2000, 28 (3):328-332.  
LIU JIANG-YING, ZHAO YOU-CAI, ZHAO AI-HUA, et al. Natural reduction of COD in large-scale landfill leachate[J]. Journal of Tongji University, 2000, 28 (3): 328-332.
- [22] 刘疆鹰, 徐迪民, 赵由才, 等. 大型垃圾填埋场渗滤水氨氮衰减规律[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3):323-327.  
LIU JIANG-YING, XU DI-MIN, ZHAO YOU-CAI, et al. Natural reduction of ammonia-N in leachate of large-scale landfill [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001, 21 (3):323-327.
- [23] ARTIOLA F J, FULLER W H. Humic substances in landfill leachates; Humic acid extraction and identification[J]. J Environ Qual, 1982, 11:663-669.
- [24] 张微晟. 生活垃圾焚烧厂渗滤液处理工艺的研究[D]. 上海: 同济大学环境工程与科学学院硕士学位论文, 2006.
- [25] 胡晨燕. 生活垃圾焚烧厂渗滤液物化处理的工艺与机理研究[D]. 上海: 同济大学环境工程与科学学院博士学位论文, 2006.
- [26] 边文骅. 腐植酸形成的生物学机理研究概况[J]. 河北师范大学学报:自然科学版, 2000(4):1-5.  
BIAN WEN-HUA. The survey of study of the biological mechanism of humic acid formation[J]. Journal of Hebei Normal University: Natural Science, 2000(4):1-5.
- [27] 李吉进, 郝晋珉, 邹国元, 等. 高温堆肥碳氮循环及腐殖质变化特征研究[J]. 生态环境, 2004, 13 (3):332-334.  
LI JI-JIN, HAO JIN-MIN, ZOU GUO-YUAN, et al. Carbon and nitrogen circulation and humus characteristics of high-temperature composting [J]. Ecology and Environment, 2004, 13(3):332-334.
- [28] 楼紫阳, 赵由才. 渗滤液处理处置技术与工程实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

(编辑 张 苹)

(上接第 76 页)

## 参考文献:

- [1] 王永强, 律方成. 基于粗糙集理论和贝叶斯网络的电力变压器故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (8):137-141.  
WANG YONG-QIANG, LU FANG-CHENG. Synthetic fault diagnosis method of power transformer based on rough set theory and Bayesian network [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(8):137-141.
- [2] 卢新元, 张金隆. 基于粗糙集和贝叶斯理论的 IT 项目风险规则挖掘[J]. 计算机工程与应用, 2006, 22:12-15.  
LU XING-YUAN, ZHANG JIN-LONG. A method of risk rule mining in IT project based on rough set and bayes theory [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 22:12-15.
- [3] 文琪, 彭宏. 基于粗糙集和贝叶斯分类器的病毒程序检测[J]. 西南交通大学学报, 2005, 40(5):659-662.  
WEN QI, PENG HONG. Virus detection based on rough set and bayes classifier [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2005, 40(5):659-662.
- [4] 朱永利, 吴立增. 贝叶斯分类器与粗糙集相结合的变压器综合故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (10):159-165.  
ZHU YONG-LI, WU LI-ZENG. Synthesized diagnosis on transformer faults based on bayesian classifier and rough set [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (10): 159-165.
- [5] 代劲, 胡峰. 不完备信息系统下的不确定性度量方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(1):198-201.  
DAI JIN, HU FENG. Measurement for the uncertainty of incomplete information system [J]. Computer Applications, 2006, 26(1):198-201.
- [6] 赵翔, 刘同明. 不完备信息系统中基于加权联系度的粗糙模型拓展[J]. 计算机应用, 2005, 25(4):824-826.  
ZHAO XIANG, LIU TONG-MING. Extension of rough set model based on weighted connection degree in incomplete information systems [J]. Computer Applications, 2005, 25 (4): 824-826.
- [7] PAWLAK Z. Rough sets[J]. International Journal of Information and Computer Science, 1982, 11(5):341-356.
- [8] 张文修, 吴伟志. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科技出版社, 2006.
- [9] 刘清. 粗糙集及 Rough 推理[M]. 北京: 科技出版社, 2001.
- [10] PAWLAK Z. Rough sets approach to knowledge - based decision support[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 99: 48-57.
- [11] ZDZISLWA PAWLAK. Rough sets and intelligent data analysis[J]. Information Sciences, 2002, 147:1-12.
- [12] ZDZISLWA PAWLAK. Rough sets, decision algorithms and bayes' theorem[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 136: 181-189.
- [13] 边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [14] 胡彧, 李智玲. 一种基于区分矩阵的属性约简算法[J]. 计算机应用, 2006, 26:80-82.  
HU YU, LI ZHI-LING. An attribution reduction method based on discernibility matrix [J]. Computer Applications, 2006, 26:80-82.

(编辑 侯 湘)