

10-13

专 论

# 垃圾填埋场渗滤液的水质特征及其变化规律分析

## An Analysis of Characteristics of Landfill Leachate and Its Variations

沈耀良 王宝贞 (哈尔滨建筑大学, 哈尔滨 150008)

Shen Yaoliang & Wang Baozhen (Harbin Architectural University, Harbin 150008)

X705  
X703

**摘要** 对垃圾填埋场污染物的溶出、渗滤液的水质及其变化规律和污染物成份进行了较系统的分析。

**关键词** 渗滤液 水质特征 废水处理

垃圾填埋场 变化规律 污染物

**Abstract** A systematic analysis on the leaching of pollutants from municipal solid waste landfill, the characteristics of leachate and its variations was made in this paper.

**Keywords** Landfill leachate Characteristics Wastewater treatment

### 1 前言

垃圾卫生填埋是目前广泛应用的垃圾处理(置)方法之一。在垃圾的填埋过程中,由于压实、降雨和微生物的分解作用,会从垃圾层中渗出高浓度有机废水—渗滤液。对垃圾填埋场渗滤液水质特征的分析及其变化规律的研究是垃圾填埋场环境污染控制的重要内容,更是合理选择渗滤液处理工艺方案的先决条件。

### 2 垃圾填埋场中污染物的溶出分析

垃圾渗滤的产生来自三个方面:一是大气降雨和径流;二是垃圾中原有的含水;三是在垃圾填埋后由于微生物的厌氧分解作用而产生的水。引起渗滤液污染负荷的原因主要有微生物的厌氧分解作用和降雨的淋溶作用。虽然垃圾本身含有一定量的水份,而且也会因厌氧发酵而产生一定的水份,但垃圾渗滤液的主要来源还是降雨。也就是说,特定垃圾填埋场渗滤液量的多少主要与气候变化、水文条件及季节交替的变化有关,而垃圾渗滤液的水质特征除与上述几个因素有关,还与垃圾的性质、垃圾填埋的时间、填埋的方式及垃圾本身的含水率等因素有关。因而,垃圾渗滤液不仅是一种高浓度的有机废水,而且其水质和水量的变化很大,水质成份也较为复杂。

垃圾中污染物的溶出是在厌氧微生物的作用下实现的。垃圾层中厌氧微生物的作用特性对渗滤液的水质变化有紧密的联系。事实上,上述诸多影响渗滤液水质特征因素中,大部分是通过微生物生长特性的影响而体现的,如图1所示。由图1可见,直接与污染物溶出率有关的因素有垃圾特征、微生物生长特性、大气降雨等,间接影响因素有垃圾场温

度、垃圾填埋深度、垃圾初期含水等。

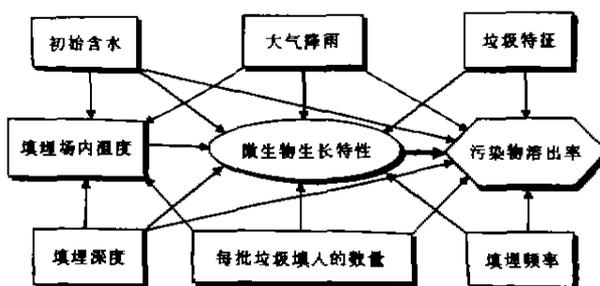


图1 诸因素对垃圾中污染物溶出率的影响

垃圾填埋场本身是一个以微生物为中介体的、受各运作和环境条件影响的动态生物转化系统。Pohland和Reinhart等人分别于1991年和1993年报道了他们对垃圾稳定化过程中渗滤液中污染物溶出及生物转化的中试和生产性试验结果<sup>[1]</sup>,在单批填埋的垃圾稳定化过程中,有机和无机成份的溶出和转化,其中易生物降解有机成分的溶出和转化为无机成份和难降解的溶出和转化提供了良好的生物和化学环境,而在微生物作用所发生的氢(H<sub>2</sub>)的转化、亚硝酸盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)、硝酸盐(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)以及硫酸盐的还原等,又为垃圾中其它组份的溶出或转化提供了有利的物理化学环境。实际上,这些转化过程是与城市和工业废水的厌氧处理过程类似的。而在垃圾填埋场内,由于其大量的序批式基质的供给和相当长的停留时间,其生物转化过程的特征更为明显。图2反映了在垃圾稳定化过程中,各污染物的溶出和有关指标的转化规律。

### 3 渗滤液水质及其变化规律

由于垃圾性质的不同,稳定化过程所需的时间以及渗滤液的特征也会有所不同。如Robinson在

研究英国和香港的不同城市垃圾的填埋和渗滤液的特性时指出,由于压实和微生物的作用,垃圾填埋场内常常可产生较高的温度,从而可加速微生物对垃圾中有机成份的降解速度<sup>[2]</sup>。在垃圾的稳定化过程中,主要存在两种作用,一是固体垃圾中有机物的分解并形成可溶性或可挥发性的产物,这些产物及由其引起的溶出和洗脱作用而产生的重金属离子而形成污染极为严重的渗滤液,同时有机物被转化为气体,所形成的渗滤液和气体最终将离开填埋场;二是稳定的腐殖质的合成。由以上两作用的综合结果,使渗滤液中既含有高浓度的有机物,也含有大量的植物营养物(主要是  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )及多种重金属离子

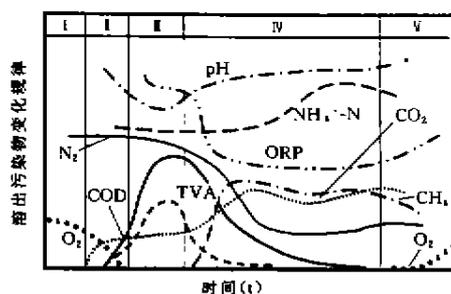


图2 渗滤液中污染物随垃圾稳定过程的变化规律

采用填埋的方法处理城市垃圾,实际上是一个垃圾的填充、复土和压实等多过程的循环过程,这样使得垃圾场内各不同位置的垃圾层可能处于不同稳定化阶段,或者说垃圾场中不同部位垃圾的“年龄”是不同的。因而,各部分垃圾中微生物的物理、化学和生物学特性及其活动方式是不同的。随着所填埋的垃圾的增多即填埋场使用年限的延长,渗滤液的水质将发生变化。垃圾渗滤液通常可根据填埋场的“年龄”分为两大类:一类是“年轻”的渗滤液,其填埋时间在5年以下,所产生的渗滤液的水质特点是pH值较低,  $\text{BOD}_5$  及 COD 浓度较高,且  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  的比值较高,同时各类重金属离子的浓度也较高(因较低的pH值所致);另一类是“年老”的填埋场所产生的渗滤液,其填埋时间在5年以上,所产生的渗滤液的主要水质特点是pH接近中性(一般在6~8之间),  $\text{BOD}_5$  和 COD 浓度较低,且  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  的比值较低,而  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的浓度较高(由于含氮可生化有机组份的厌氧水解和发酵所致,尤其是当采用利于易生物降解组份降解的循环回喷处理方法时,渗滤液中  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度将更高),重金属离子浓度则开始下降(因pH值升高所致)。Amokrane 等人报道<sup>[5]</sup>,美国、法国及欧洲其它国家的许多10年以上的垃圾填埋场的渗滤液水质与“年轻”填埋场的明显

不同,前者的稳定化程度远高于后者。

表1 渗滤液特征随填埋场“年龄”的变化<sup>[3,4]</sup>

考察指标	<5年 (年轻)	5~10年 (中年)	>10年 (老年)
pH	<6.5	6.5~7.5	>7.5
COD(g/L)	>10	<10	<5
COD/TOC	<2.7	2.0~2.7	>2.0
$\text{BOD}_5/\text{COD}$	<0.5	0.1~0.5	<0.1
VFA(% TOC)	>70	5~30	<5

表1列出了 Chian 和 Scott 等人对渗滤液特征与填埋场“年龄”关系的研究结果,由表中数据可清楚地看出渗滤液中主要污染物指标随填埋场“年龄”而变化的规律。垃圾的填埋方法(如压实密度、填埋深度等)对渗滤液的水质具有一定的影响。增加垃圾的填埋密度和填埋深度,即减少垃圾的含水量和土壤的渗水量,限制外来水进入填埋场,可推迟垃圾中有机成份的降解作用,致使渗滤液的浓度较低,延长渗滤液的产生时间。渗滤液的水质还与气候条件、垃圾填埋场所在地的地形地貌有关。大气降雨和填埋场的地形地貌对进入填埋场的外来水量的多少有密切的关系,从而对渗滤液的污染物负荷产生明显的影响。垃圾渗滤液是通过垃圾层中厌氧微生物的作用将有机成份分解转化,并使它们溶出而进入垃圾层中的水体而形成的,因而污染物的溶出规律亦是决定渗滤液水质的重要因素之一,而气温则是影响其溶出规律的重要因素。垃圾层内较高的温度可加速微生物对有机成份的降解作用的垃圾的稳定化过程,并可在短期内产生高浓度的渗滤液。

#### 4 渗滤液中污染物成份分析

渗滤液中含有多种污染物,且浓度变化往往很大。表2列出了国内外渗滤液的典型污染物组成及浓度变化的综合数据<sup>[2,5-7]</sup>。由表可见,渗滤液不仅具有复杂的成份,含有多种污染物质,是一种高浓度的有害有机废水,如不加以收集处理,则将对环境带来严重的污染问题,而且各污染物的浓度变化范围很大,给处理工艺的选择带来了困难。

##### 4.1 有机污染物

垃圾渗滤液中含有大量的有机物。郑曼英等人对广州大田山垃圾填埋场渗滤液有机污染物的分析研究表明,渗滤液中含有主要有机物77种,其中有芳烃29种,烷烃烯烃类18种,酸类8种,脂类5种,醇、酚类6种,酮、醛类4种,酰胺类2种,其它5种<sup>[8]</sup>。77种有机物中,有可疑致癌物1种、辅致癌物5种,被列入我国环境优先污染物“黑名单”的有5种以上<sup>[9]</sup>。上述77种有机物仅占该渗滤液中COD的10%左右。Pirbazari 等人对美国 BKK 公司

运作的 West Covina 垃圾填埋场渗滤液的研究,也监测出了 18 种特殊有机物<sup>[10]</sup>。一般而言,垃圾渗滤液中的有机物可分为三类,即:(1)低分子量的脂肪酸类;(2)腐殖质类高分子的碳水化合物;(3)中等分子量的灰黄霉酸类物质。

表 2 渗滤液中污染物的组成及其浓度变化

组 份	变化范围
COD(mg/L)	100~90 000
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	40~73 000
TOC(mg/L)	265~8 280
pH	5~8.6
TS(mg/L)	0~59 200
SS(mg/L)	10~7 000
总碱度(CaCO <sub>3</sub> 计)(mg/L)	0~25 000
TP(mg/L)	0~125
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)	6~10 000
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	0.2~124
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	23~7 200
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	5~6 420
Na <sup>+</sup> (mg/L)	0~7 700
K <sup>+</sup> (mg/L)	28~3 770
Mn(mg/L)	0.07~125
Fe(mg/L)	0.05~2 820
Mg(mg/L)	17~1 560
Zn(mg/L)	0.2~370
Cu(mg/L)	0~9.9
Cd(mg/L)	0.003~17
TCr(mg/L)	0.01~8.7
Pb(mg/L)	0.002~2
E. Coli(CFU/L)	23 000~2.3×10 <sup>8</sup>
VFA(mg/L)	10~1 702
Ni(mg/L)	0.1~0.8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	1~1 600

对于相对不稳定的填埋过程而言,大约 90% 的可溶性有机碳是短链的可挥发性脂肪酸,其中以乙酸、丙酸和丁酸为主要成份,其次是带有较多个羧基和芳香族羟基的灰黄霉酸;对于相对稳定的填埋过程而言,挥发性脂肪酸(易生物降解)随垃圾的填埋时间而减少,而灰黄霉酸物质(难生物降解)的比重则增加<sup>[5,11]</sup>。这种有机物组份的变化,意味着 BOD<sub>5</sub>/COD 比值的下降,即渗滤液可生化性的降低。对于这一点,必须在选择处理工艺时加以充分考虑。有资料表明,渗滤液中的 BOD<sub>5</sub> 一般在垃圾填埋后 6 个月至 2.5 年间逐步增加并达到高峰,此阶段的 BOD<sub>5</sub> 多以溶解性有机物为主。此后, BOD<sub>5</sub> 的浓度保持在一定范围内,波动较小。要注意的是,表 2 所列的 COD 和 BOD<sub>5</sub> 浓度变化范围值不仅说明垃圾渗滤液是一种水质变化大的高浓度的有机废水,而且还表明了不同的垃圾组成对水质的变化有重要影响。对国内部分城市垃圾成分及其相应的有机物浓度的分析表明,垃圾中的有机组份越高,则其

渗滤液中的有机物浓度越高(表 3)。

表 3 我国部分城市垃圾有机成份比率与渗滤液中有机污染物的浓度变化范围<sup>[13~15]</sup>

城 市	垃圾中有机成份比率(%)	渗滤液中有机物浓度(mg/L)	
		BOD <sub>5</sub>	COD
广 州	28.40	400~2 000	1 400~5 000
上 海	38.78	200~4 000	1 500~8 000
深 圳	61.00	5 000~3 6000	15 000~60 000
苏 州	45.00	500~3 200	800~8 900
杭 州	—	100~4 480	230~5 380

#### 4.2 磷

垃圾渗滤液的含磷量通常较低,尤其是溶解性的磷酸盐浓度更低。渗滤液中溶解性磷酸盐的含量主要由 Ca<sub>5</sub>OH(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的控制<sup>[12]</sup>。由表 2 可知,垃圾渗滤液中的 Ca<sup>2+</sup> 浓度和总碱度水平均很高,可分别达到 7 200 mg/L 和 2 500 mg/L,而 TP 的浓度仅为 0 mg/L~125 mg/L。因而渗滤液中的溶解性磷酸盐含量受到 Ca<sup>2+</sup> 浓度和碱度水平的影响,导致生物处理中的缺磷问题。笔者在进行厌氧(ABR)一好氧工艺处理渗滤液与城市污水的混合废水的过程中发现,当渗滤液与城市污水的体积混合比达 4:6 至 5:5 时,仍发现了缺磷问题<sup>[16]</sup>。

#### 4.3 金属离子

渗滤液中含有多种金属离子,其浓度与所填埋的垃圾类型、组份及时间密切相关。对仅填埋城市生活垃圾的填埋场渗滤液而言,它们的浓度通常是比较低的;但对工业垃圾和生活垃圾混合填埋的垃圾场来说,重金属离子的溶出量将会明显增加,对此须予以注意<sup>[17]</sup>。

#### 4.4 氨氮

“中老年”填埋场渗滤液中很高的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度是垃圾渗滤液的重要水质特征之一和导致其处理难度增大的一个重要原因。由于目前多采用厌氧填埋技术,因而渗滤液中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度在填埋场进入产甲烷阶段后不断上升,其达到高峰值后延续很长的时间并直至最后封场,甚至当垃圾填埋场稳定后仍可达到相当高的浓度(10 000 mg/L)。

Shiskowski 等人对加拿大 Burns Bog 垃圾填埋场渗滤液为期 160 天的研究表明, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度由 200 mg/L 迅速增加至 1 200 mg/L,最高达 1 500 mg/L<sup>[18]</sup>。此外,渗滤液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的含量常占 TN 的 85%~90%<sup>[19]</sup>。渗滤液中高浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 及其随时间的变化,不仅加重了其对受纳水体的污染程度与性质,也给其处理工艺的选择带来了困难,增加了复杂性。由于 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度过高,使得渗滤液的 C/N 过低(如广州市老虎窿填埋场渗滤液的 C/N

PP, 2(1) - 13

比仅为 4.0, 而大田山填埋场渗滤液的 C/N 更低, 仅为 2.0)。过高的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  要求进行脱氮处理, 而过低的 C/N 比则对常规的生物处理有抑制作用, 而且因有机碳源缺乏, 难以进行有效的反硝化。

#### 4.5 固体物

垃圾渗滤液中含有较高浓度的总溶解性固体。这些溶解性固体在渗滤液中的浓度通常随填埋时间的延长而变化, 一般在填埋 6 个月至 2.5 年间达到峰值(总溶解性盐可高达 10 000 mg/L), 同时含有高浓度的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等无机类溶解性盐和铁、镁等。此后, 随填埋时间的增加, 这些无机盐类的浓度将逐渐下降, 直至达到最终稳定。

此外, 渗滤液均具有很高的色度, 其外观多呈淡茶色、深褐色或黑色, 色度可达 2 000~4 000 倍, 有极重的垃圾腐败臭味。

#### 5 结语

渗滤液是垃圾填埋过程中产生的高浓度的复杂有机废水, 对其进行有效的处理是防止二次污染和促进垃圾卫生填埋技术在我国应用的重要内容。鉴于渗滤液水质及其变化的复杂性, 在选择合理的处理工艺方案之前, 充分了解和把握渗滤液的产生、水质及其变化规律和污染物成份是十分必要。

#### 6 参考文献

- 1 Pohland F. G., *et al.*, Landfill Bioreactors; Fundamentals and practice, *Water Quql. Inter.*, 1996; (9/10): 18~22
- 2 Robinson H. D., Characterization and treatment of leachate from Hong Kong landfill sites, *Water and Environ. Manage.*, 1991; 5(3): 326~335
- 3 Chia E. S. K., *et al.*, Sanitary Landfill Leachate and their treatment, *JEE*. 1976; 102EES(2): 411~431
- 4 Scott M. P., Leachate treatment options, *Solid Waste Manage.*, 1981; 10(1): 13~24
- 5 Amokrane A., *et al.*, Landfill leachate pretreatment by coagulation - flocculation, *Water Res.*, 1997; 31(11): 2775~2782
- 6 Wang B. Z., *et al.*, A pilot scale study on the treatment of high strength sanitary landfill leachate, *European Water Pol-*

lut. Contrl., 1997; 7(6): 33~40

- 7 Majone M., *et al.*, Influence of metal speciation in landfill leachates on Kaolinite sorption, *Water Res.*, 1998; 32(3): 882~890
- 8 郑曼英等. 垃圾渗滤液中有机物初探. *重庆环境科学*, 1996; 18(4): 41~43
- 9 周文敏等. 水中优先控制污染物黑名单. *中国环境监测*, 1990; 6(4): 1~4
- 10 Pirbazari M., *et al.*, Hybrid membrane filtration process for leachate treatment, *Water Res.*, 1996; 30(11): 2691~2706
- 11 Nedwell D. B., *et al.*, Treatment of Landfill Leachate by methanogenic and sulphate-reducing digestion, *Water Res.*, 1996; 30(1): 21~28
- 12 王中民主编. 城市垃圾处理与处置. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
- 13 陈家耀. 城市生活垃圾处理工艺. 环境保护, 1998; (5): 17~19
- 14 王琳等. 垃圾填埋渗滤液的处理方法. 城市环境与城市生态, 1998; 11(1): 25~27
- 15 王宝贞等. A(缺氧活性污泥)/B(A/O)淹没式生物膜符合系统处理垃圾填埋场渗滤液. 给水排水, 1996; 22(5): 5~18
- 16 沈耀良. 城市垃圾填埋场渗滤液处理技术的研究. 博士论文. 哈尔滨建筑大学, 1998. 10
- 17 沈耀良等. 垃圾填埋场渗滤液中重金属的去除. 环境保护, 1994; (3): 15~16
- 18 Shiskowski D. M., *et al.*, Biological treatment of a high ammonia leachate: Influence of external carbon during initial startup, *Water Res.*, 1998; 32(8): 2533~2541
- 19 Oman C., *et al.*, Identification of organic compounds in municipal landfill leachates, *Environ. Pollut.*, 1993; 80(1): 265~271

沈耀良 副教授, 博士. 已发表论文 60 多篇. 现任苏州城建环保学院环保系主任. 从事环境工程专业水污染控制工程的教学和科研工作。

(收稿日期 1999-01-12)

#### ·动态·

#### 美研制废混凝土沉积物制水泥新工艺

美国气体技术公司和 Unitel 环境技术公司双方合作, 前不久研制成功用废弃混凝土和淤泥沉积物等有害物质制备高性能水泥的新工艺。这项试验在位于新泽西州的 Brookhaven 国家实验室进行。这项称之为“水泥同步法”的新工艺是把废弃的混凝土和有害的淤泥沉积物与石灰石混合在一起, 加温到华氏 3 000℃ 融化进行处理, 清除有机污染物, 生成重金属。把冷却后的重金属拉成一根根很细很细的纤维, 再把纤维粉碎后掺和到水泥中, 结果制成高性能建筑水泥。这种高性能建筑水泥不仅质量好, 而且成本低。美国有关方面决定采用水泥同步法新工艺, 用堆积在纽约港的有害废弃物生产高性能水泥。

沈镇平译自《Chemical Industry Notes》Vol. 27, No. 7