

# DT-RO 处理垃圾渗滤液工程介绍

刘研萍<sup>1</sup> 李秀金<sup>1</sup> 王宝贞<sup>2</sup>

(1 北京化工大学环境工程系, 北京 100029; 2 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

**摘要** 重庆长生桥垃圾卫生填埋渗滤液处理工程, 是我国第一座采用碟管式反渗透(DT-RO)技术处理的工程。在半年多的运行中, 该系统效能高且稳定。COD<sub>Cr</sub>、TOC 和电导率去除率均在 99% 以上, NH<sub>3</sub>-N 去除率达 98%, Ca<sup>2+</sup>、Ba<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 截留率均在 99.9% 以上, 出水中未检出 SS。浓缩液回灌于垃圾填埋场, 形成回灌型生物反应器。

**关键词** 渗滤液处理 碟管式反渗透 运行效能 浓缩液回灌

## Disc tube reverse osmosis process for refuse leachate treatment

Liu Yan-ping<sup>1</sup>, Li Xiu-jin<sup>1</sup>, Wang Bao-zhen<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;  
2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** The disc tube reverse osmosis (DT-RO) process has been constructed and operated effectively and stably over half year at the Changshengqiao Refuse Disposal Yard for leachate treatment. Removals excess 99% for COD<sub>Cr</sub>, TOC and conductivity and 98% for NH<sub>3</sub>-N respectively have been obtained. Also the intercepts of Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> exceeded 99.9%, no SS was detected in effluent. The concentrated liquid returned to the landfill yard to form a biological recharge reactor.

**Keywords:** Leachate treatment; Disc tube reverse osmosis (DT-RO); Operating effectiveness; Concentrated liquid recharge

## 0 引言

垃圾填埋渗滤液是一种污染严重且成分复杂的高浓度污水, 其成分及流量随季节及填埋时间变化极大, 随填埋时间的延长可生化性变差, 处理难度高<sup>[1,2]</sup>。随着膜技术的发展, 反渗透技术已被认为是当时最先进有效的渗滤液处理技术<sup>[3-6]</sup>之一, 反渗透技术不但能够保证产水水质, 并可最大浓缩分离出渗滤液成分。

碟管式反渗透技术是板式膜构型中最先进的形式之一。1988 年 PALL 公司将其作为单一处理工艺用于德国的 Ihlenberg 渗滤液处理工程, 目前世界使用 DT-RO 的工程已达 200 多座<sup>[7-9]</sup>。

2002 年在国内几座垃圾填埋场进行了 DT-RO 处理渗滤液中试研究, 试验结果表明出水水质稳定, 达到我国《城市垃圾卫生填埋污染控制标准》

(GB 16889—1997) 中生活垃圾渗滤液一级排放标准<sup>[10]</sup>。第一座 DT-RO 渗滤液处理工程于 2003 年 10 月在重庆长生桥卫生填埋场投入运行, 出水达到设计排放标准, 浓缩液回灌至垃圾填埋场, 有效地保证不污染三峡库区。

## 1 工程概况

### 1.1 工艺流程

重庆长生桥垃圾填埋场是三峡库区最大的垃圾填埋场, 是重庆市世界银行环境项目中固体废物管理项目的一个子项, 总占地面积 1 037 亩, 日处理垃圾量 1 500 t, 服务年限 20 年, 用来处理重庆市渝中区、南岸区、巴南区的全部垃圾, 以及大渡口区、九龙坡区的部分城市生活垃圾。

渗滤液处理系统是长生桥垃圾填埋场重要组成部分之一, 核心处理技术采用碟管式反渗透(DT-RO)

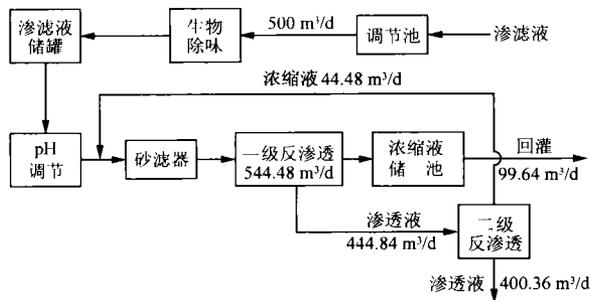


图1 垃圾渗滤液处理工艺流程

设备,处理能力 500 m<sup>3</sup>/d,回收率 80%。渗滤液处理工艺流程见图 1。

## 1.2 处理反应单元

### 1.2.1 调节池

有效容积 38 000 m<sup>3</sup>,1 座,分为 2 格,钢筋混凝土结构,可串联、并联或交替(单独)使用。每池进、出水端的最低点高差为 1 m,在每池进水端设有 4 个潜水曝气机在调节池投加 Microbe-Lift® 生物制剂以去除臭味。每池安装一台潜水排污泵用于提升池底污泥。在设计中,考虑到自然地形,并本着尽量减少土石方工程量的原则,两池池底高差设计为 1.9 m,池顶高差为 0.8 m。进水由配水槽中的闸板控制按需要分别流入各池。

### 1.2.2 砂滤器

3 台,2 用 1 备,交替使用,每台容积 450 L,直径 614 mm,高 2 011 mm,经过砂滤器后的渗滤液中粒径大于 50 μm 的颗粒被全部除去。砂滤器压力降达 200 kPa 时,需进行反冲洗,包括空气反冲洗、水力反冲洗和正向水力压实三个阶段,历时 20 min,冲洗后的废水进入调节池。反冲洗可由自控系统自动完成,也可手动完成。

### 1.2.3 精密过滤器

2 台,纤维滤芯过滤,过滤精度 10 μm,以确保高压泵的正常运转及 DT-RO 的进水水质。芯式过滤器不须清洗,当工作压力降达到 200 kPa 时,必须更换。

### 1.2.4 第一级 DT-RO

膜柱型号为 ROAW 9162-DTS200,共 200 根,膜面积 1 549.1 m<sup>2</sup>,膜通量为 12 L/(m<sup>2</sup>·h),膜材质为聚酰胺。一级 RO 进水设计流量为 545 m<sup>3</sup>/d,透过液 445.3 m<sup>3</sup>,日产浓缩液 99.7 m<sup>3</sup>,回收率为

81.7%。设计操作压力 5 MPa。

200 根膜柱分两组并联,每组膜柱又按膜柱数 14-29-29-28 排列,除第一段外,均设置了管道在线泵,该泵同时从高压泵和前级的膜柱组中吸收浓液,因此前级部分浓液将再次流过膜柱组(即浓缩液循环),使得透过液产量最大。透过液进入第二级 DT-RO 做精化处理,浓缩液排到浓缩液储池,再回灌至垃圾填埋场。

### 1.2.5 第二级 DT-RO

二级 RO 型号为 ROAW 9165-DTS56,共 56 根膜柱,膜面积为 482 m<sup>2</sup>,膜通量为 34.6 L/(m<sup>2</sup>·h)。设计操作压力 3 MPa。处理水量 445.3 m<sup>3</sup>,产出浓缩液 45 m<sup>3</sup>,净水 400.3 m<sup>3</sup>,回收率为 90%。按 38-18 二段运行,该级的浓缩液通过高压泵前的补偿管回到高压泵,进行浓缩液循环。最终浓缩液通过阀门回流至砂滤器的进水端,二级反渗透的透过液进入脱气塔脱除 CO<sub>2</sub>,提高出水 pH。

### 1.2.6 脱气塔

在渗滤液储罐为防止结垢而加入的硫酸会与碳酸氢盐反应产生 CO<sub>2</sub>,CO<sub>2</sub> 不被 RO 截留,因此它通过 RO 膜进入透过液中,使得透过液带酸性;因此二级透过液通过脱气塔去除 CO<sub>2</sub>。

### 1.2.7 罐系统

包括所有的储罐,有渗滤液储罐、硫酸罐、清洗剂罐、阻垢剂罐等,通过液位传感器控制其运行,所有关键部位均装有检漏装置。

### 1.2.8 浓缩液储池

1 座,容积 1 000 m<sup>3</sup>,储存浓缩液,以便根据季节调整浓缩液回灌时间及回灌量。

## 2 系统处理效果

表 1 为渗滤液处理系统运行半年多(2004 年 4 月 16 日采样)的处理效果。因目前调节池内未投加生物制剂,渗滤液只在调节池均化水质水量后即进入砂滤器。

## 3 DT-RO 处理性能

### 3.1 去除效果

DT-RO 系统对污染物的去除效果见表 2。在 6 个月的运行中,尽管渗滤液水质变化幅度较大,处理效果稳定,COD<sub>Cr</sub>,TOC 和电导率的去除率达 99.2%~99.5%,99.2%和 99.6%,NH<sub>3</sub>-N 的去除率达 98%,

表 1 各处理单元运行半年后的去除效果

水质参数	渗滤液	调节池		砂滤器		膜系统		脱气塔	
	数值	数值	去除率/%	数值	去除率/%	数值	去除率/%	数值	去除率/%
COD <sub>Cr</sub> /mg/L	12 400	11 400	8	11 200	2	56	99.5	53	5
SS/mg/L	1 090	655	31	450	32	0	100		
NH <sub>3</sub> -N/mg/L	4 530	3 250	8.4	577	82	11.54	98	10.21	11.6
pH/mg/L	7.41	7.5		5.97		4.14		6.14	
电导率/ $\mu$ S/cm	194 700	191 300	2	190 700	0.3	87	99.9	68	22

表 2 DT-RO 系统处理效果

水质参数	渗滤液	一级 RO 进水	一级 RO 透过液	二级 RO 透过液	去除率/%
COD <sub>Cr</sub> /mg/L	3 680~12 400	3 620~11 200	79.4~197	29.6~56	99.2~99.7
TOC/mg/L	4 970	4 500	37	0	99.2
NH <sub>3</sub> -N/mg/L	302~4 530	229~438	26.5~125	4.54~5.44	>98
Ca <sup>2+</sup> /mg/L	532.5	528	1.06	0.383	99.9
Mg <sup>2+</sup> /mg/L	259	272	0.597	0.043 4	99.98
Ba <sup>2+</sup> /mg/L	1.3	1.24	0.008 56	0.001 22	99.9
SS/mg/L	18.5~1 090	340~550	0~0.25	0	100
pH	6.8~7.41	6.04~7.06	5.90~6.30	5.14~5.71	
电导率/ $\mu$ S/cm	7 700~19 070	7 600~18 610	350~728	50.8~77	>99.6

对 Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup> 及 Mg<sup>2+</sup> 的截留率均在 99.9% 以上, 出水中未检出 SS。出水水质达到了我国《城市垃圾卫生填埋污染控制标准》(GB 16889—1997)中的一级排放标准。

### 3.2 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果

从图 2 中可知, 尽管渗滤液的 COD<sub>Cr</sub> 随着垃圾填埋场的运行, 由 3 680 mg/L 升至 12 400 mg/L, DT-RO 对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率很高, COD<sub>Cr</sub> 的去除率为 99.2%~99.7%。有研究表明, 渗滤液的一部分 COD<sub>Cr</sub> 难以生物降解, 甚至不能被活性炭吸附, 因此反渗透是一项截留有机物的理想技术。DT-RO 对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率维持在 99%, 对 VOC 的去除率可达 90% 以上。

### 3.3 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果

运行期间, 渗滤液 NH<sub>3</sub>-N 浓度由 302 mg/L 升至 4 530 mg/L, 远远高于生活污水。尽管 NH<sub>3</sub>-N 是中性且分子量很小, 但是与 UF 和 NF 的处理效果相比, DT-RO 对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率很高, 达 98% 以上, 其中一级 DT-RO 去除率为 71.5%~88.4%, 二级 DT-RO 去除率为 82.8%~95.6%, 如图 3。

在溶液中, 氨氮以游离氨和铵根离子两种形式存在, pH 较低时, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 比例较高。在渗滤液中加入

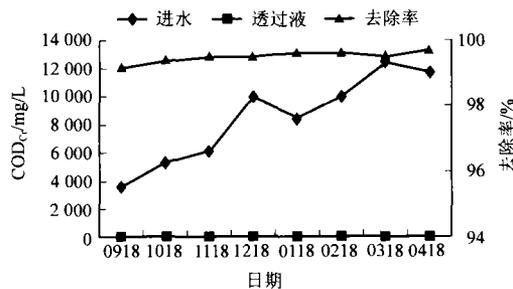


图 2 DT-RO 对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果

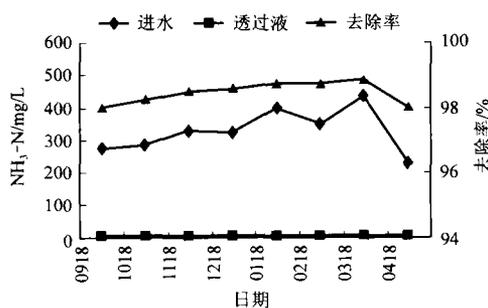


图 3 DT-RO 对 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果

酸将 pH 调至 6~6.5 以阻止碳酸盐结垢, 其附加效应就是使得 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度高于游离氨。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 可以与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> 等离子形成盐, RO 对盐有很高的截留率, 因此氨氮得以高效截留。

DT-RO 二级  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率高于一级, 可以由反渗透的盐透过量方程式解释。

$$Q_s = K_s \Delta c A / \tau$$

式中  $Q_s$ ——盐透过量;

$K_s$ ——系数;

$\Delta c$ ——膜两侧盐的浓度差;

$A$ ——膜面积;

$\tau$ ——膜厚度。

因为二级 DT-RO 单元的进水是一级 DT-RO 的透过液, 与一级 DT-RO 单元相比, 进料浓度低, 浓差极化轻,  $\Delta c$  较低, 导致  $Q_s$  较低, 因此二级 DT-RO 单元对  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的截留率高于一级 DT-RO 单元。

### 3.4 电导率的去除效果

电导率反映了渗滤液中的含盐量, 可作为 RO 性能的重要指标, DT-RO 系统对电导率的去除效果见图 4。DT-RO 对电导率有很高的去除率, DT-RO 入水口的电导率为 7 600~17 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 由于调节池内长期沉淀, 低于调节池入口处的电导率。DT-RO 一级透过液的电导率为 255~470  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 二级透过液电导率为 34~58  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 电导率的总去除率达 99.9%。

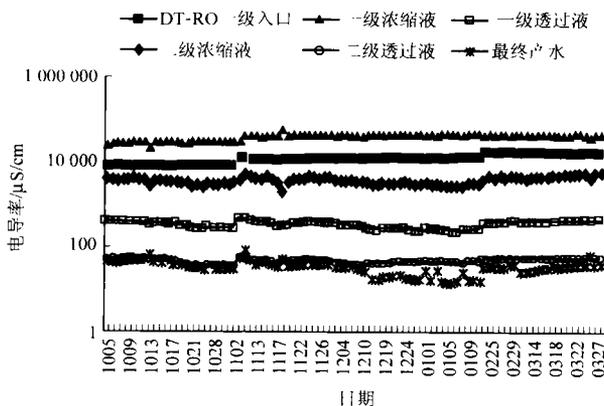


图 4 DT-RO 系统对电导率的去除效果

## 4 浓缩液回灌

处理浓缩液的方法中最经济的是回灌于填埋场。浓缩液回灌可促进垃圾加速降解, 减少渗滤液流量, 有效固结重金属, 有利于反硝化脱氮, 防止污染地下水资源, 有利于垃圾中有机物的气化, 促进垃圾场的稳定化。加速了垃圾中有机物尽快氧化和向腐殖质方向转化, 这样就促使垃圾更趋于稳定, 促进

垃圾堆提前沉实, 缩小体积, 延长垃圾填埋场的服务年限<sup>[11-13]</sup>。

在填埋场建设时, 首先将浓缩液回灌管铺设到拦渣坝以上, 然后向左右各延伸 200 m, 每隔 20 m 预留一个接口, 每个接口设有控制阀门。当需要回灌时, 用活动管道连接任意一个接口, 打开阀门, 在浓缩液储存池加压, 就可以把浓缩液输送到填埋场。

回灌浓缩液要求垃圾填埋场至少有 10 m 的填埋高度, 在填埋高度不足 10 m 而高于 5 m 时, 要求回灌点距离渗滤液收集管出口至少有 100 m 的距离, 而且回灌点要每年更换一次, 使垃圾场内的水分均匀分布。长生桥垃圾填埋场高差 47 m, 拟使用 20 年, 采用分层填埋、清污分流的作业工艺, 每层 2.5 m, 覆盖粘土 20 cm; 整个填埋场共分 17 层, 每层的平均填埋时间为 1.18 年。该垃圾场底部表面积较小, 顶部开阔, 所以最初几层的填埋时间不会超过 1 年。因此, 该垃圾场可在 4 年内超过 10 m 的填埋高度。

## 5 结语

重庆长生桥垃圾卫生填埋渗滤液处理工程, 是我国第一座采用了碟管式反渗透 (DT-RO) 技术的处理工程。在半年多的运行中, 该系统的运行效能高且稳定。COD<sub>Cr</sub>、TOC 和电导率去除率均在 99% 以上,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率达 98%,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  截留率均在 99.9% 以上, 出水中未检出 SS。浓缩液进行回灌, 达到了污染物零排放。

浓缩液处理采用回灌于填埋场技术, 使垃圾场成为回灌型生物反应器。在填埋场建设时, 首先将浓缩液回灌管敷设到拦渣坝以上, 然后向左右各延伸 200 m, 每隔 20 m 预留一个接口, 每个接口设有控制阀门。当需要回灌时, 用活动管道连接任意一个接口, 打开阀门, 在浓缩液储存池加压, 就可以把浓缩液输送到填埋场。垃圾填埋场高度每层 2.5 m, 覆盖粘土 20 cm, 平均填埋时间为 1.18 年。由于垃圾场底部表面积较小, 所以最初几层的填埋时间不会超过 1 年。

## 参考文献

- 1 沈耀良, 王宝贞 垃圾填埋渗滤液的水质特征及其变化规律 污染防治技术, 1999(12), 3: 10~13

# 移动冲洗罩滤池的改造

章峰<sup>1</sup> 金嗣红<sup>2</sup> 徐震<sup>1</sup>

(1 杭州市自来水总公司, 杭州 310009; 2 杭州市城乡建设设计院有限公司, 杭州 310003)

**摘要** 针对移动冲洗罩滤池中出现的問題, 介绍了对移动冲洗罩滤池的配水系统、滤料进行改造的设计与施工经验。改造后经过一年多运行证明, 可提高出水水质、反冲洗均匀程度及运行效果。

**关键词** 移动冲洗罩滤池 配水系统 改造

杭州钱江水利赤山埠供水分公司于1980年8月建成通水, 设计规模为15万m<sup>3</sup>/d, 分成两组净水处理构筑物。工艺流程为: 原水→加矾→孔室加隔板絮凝→斜管沉淀→移动冲洗罩过滤→消毒→清水池。移动冲洗罩滤池单池处理规模7.5万m<sup>3</sup>/d, 分成6组, 每组面积54m<sup>2</sup>, 分24格, 单格平面尺寸1.44m×1.44m, 池高3.7m, 设计滤速12m/h, 反冲洗采用泵吸式移动冲洗罩, 反冲洗强度15L/(s·m<sup>2</sup>), 冲洗时间5min。配水系统采用小阻力钢筋混凝土孔板, 上铺30目及36目尼龙网各一层, 以及d1~2mm、d2~3mm、d4~8mm、d8~16mm级配的砾石承托层厚300mm和d0.5~1mm级配的石英砂滤料厚600mm, 钢筋混凝土孔板与隔板、池体结构采用承插方式固定。

## 1 存在的主要问题

一期工程建成运行至今已有二十余年, 主要存在两个问题: 一是原预制构件的滤板、隔板与池壁之间出现裂缝, 造成各滤格的水串流, 上下层水流短路, 导致反冲洗不均匀, 影响反冲洗; 二是滤池配水系统采用的是多孔滤板加尼龙网组成的小阻力配水方式, 尼龙网容易老化, 运行中出现了滤格漏砂、跑砂现象, 造成砂层过滤负荷不均匀, 降低了过滤效果, 从而也影响了滤后水的水质。随着对出厂水浊度要求的不断提高, 需对滤池配水系统工艺进行改造, 以满足出水水质要求。

## 2 改造方法

根据滤池的运行和结构情况, 2003年5月进行了改造。改造工程主要是将原多孔板尼龙网配水系

- 2 Tatsi A A, Zouboulis A I. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece). *Advances in Environmental Research*, 2002, 6:207-219
- 3 Bilstad T, Madland M V. Leachate minimization by reverse osmosis. *Wat Sci Tech*, 1992, 25(3): 117~120.
- 4 Linde K, Jonsson A, et al. Treatment of three types of landfill with reverse osmosis. *Desalination*, 1995, 101:21~30
- 5 Ahn W Y, Kang M S, et al. Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process. *Desalination*, 2002, 149: 109~114
- 6 Jenkins B M, Mannapperuma J D, et al. Biomass leachate treatment by reverse osmosis. *Fuel Processing Technology*, 2003, 8:223~246
- 7 Peter T A. Purification of landfill leachate by membrane filtration. *Filtration and separation*, 1996, (1/2):33~36
- 8 Rautenbach R, Linn T, Eilers L. Treatment of severely contaminated waste water by a combination of RO, high-pressure

- RO and NF - potential and limits of the process. *Journal of Membrane Science*, 2000, 174:231~241
- 9 Ushikoshi K, Kobayashi T, et al. Leachate treatment by reverse osmosis system. *Desalination*, 2002, 150:121~129
- 10 齐小力. DT-RO在中国处理垃圾渗滤液的试验. *环境卫生工程*, 2003, 11(3):141~142
- 11 Yazdani R, Augensein D, et al. EPA project XT: Yolo county's accelerated anaerobic and aerobic composting project. *Proceedings of California integrated waste management board symposium on landfill gas assessment and management*. LA, CA, U S A, 2000
- 12 孙玥, 李国建, 王勇. 垃圾填埋场渗滤液平衡的水量实验研究. *上海环境科学*, 1999, 18(8):371~373
- 13 张瑞明, 张水雨, 等. 污水回喷法处理垃圾渗滤液. *环境污染与防治*, 2000, 13(1):58~61

◎电话:13552445328

E-mail:liushuihan@163.com

收稿日期:2004-08-05