

垃圾渗滤液处理难点及其对策研究

龙腾锐, 易洁, 林于廉, 尤鑫
(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘 要: 对垃圾填埋场渗滤液处理现状和处理方法的难点进行了阐述和总结。在综合分析垃圾渗滤液处理工艺优缺点的基础上, 选择了渗滤液较为理想的处理方式, 即预处理 + 生物处理 + 后处理组合模式。介绍了微电解、氧化沟、砂滤三种工艺的特点, 提出了垃圾渗滤液处理新的组合方式——微电解 + 氧化沟 + 砂滤的组合处理工艺, 并分析了该组合工艺的优势。

关键词: 渗滤液; 组合工艺; 微电解; 氧化沟; 砂滤

中图分类号: X705 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2009)01-0114-06

Treatment Difficulties and Strategies for Landfill Leachate

LONG Teng-rui, YI Jie, LIN Yu-lian, YOU Xin

(College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The current status of leachate treatment in garbage landfills and its treatment difficulties were elaborated and summarized. Based on the advantages and disadvantages of various landfill leachate treatment technologies, a multi-stage treatment composed of pretreatment, bio-treatment and deep treatment was suggested as an ideal treatment. A new way to treat landfill leachate was presented. It combines electrochemical and oxidation ditches with sand filtration. The advantages of the new technique were also analyzed.

Key words: landfill leachate; combined process; electrochemistry; oxidation ditches; sand filtration

垃圾渗滤液是指垃圾在填埋和堆放过程中由于垃圾中有机物质分解产生的水和垃圾中的游离水、降水以及入渗的地下水, 通过淋溶作用形成的污水^[1]。渗滤液的产生量受诸多因素的影响, 如降水量、蒸发量、地面流失、地下水渗入、垃圾的特性、地下层结构、表层覆土和下层排水设施情况等。渗滤液产量的计算方法有水量平衡法、经验公式法与经验统计法等。

填埋场渗滤液作为一种水溶性的组分, 其性征目前已基本被人们掌握。渗滤液的 COD 与 BOD 值都非常高, 含有大量有机质、氮、磷以及重金属等, 其浓度高、色度深^[2]。垃圾填埋场渗滤液对周围地下水和地表水均会造成严重的环境污染。

垃圾填埋场大量的地下水污染事件表明: 渗滤

液是地下水最重要的污染源^[3-4]。渗滤液中含有相当多的有毒物质, 且浓度很高, 正成为环境的巨大威胁^[5-7], 渗滤液不经处理完全排入江河湖泊, 其中的有机污染物、无机污染物会使水生生物和农作物受到污染, 并通过食物链和生态环境对人体健康产生危害^[8]。因此必须对垃圾渗滤液进行有效的处理, 将其对环境的影响降至最低。但垃圾渗滤液却由于其性征的复杂性而使得对其的处理成为目前世界上较为棘手的科学难题之一。

1 垃圾渗滤液的处理现状

渗滤液性质的复杂多变性给渗滤液的处理处置带了极大的困难, 到目前国内外尚未发展出完善的适合垃圾渗滤液处理的工艺。对渗滤液的处理处置

收稿日期: 2008-09-25

基金项目: 中荷国际合作项目 (203-MOC-NGGP-03)。

作者简介: 龙腾锐 (1939-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事水污染控制研究, (E-mail) longtengrui1@sina.com。

目前的途径主要有以下几个方面:(1)将渗滤液输送到城市污水处理厂与城市生活污水合并处理;(2)采用渗滤液回灌技术处理;(3)现场建造渗滤液处理厂处理^[9-10]。

1.1 与城市生活污水合并处理

渗滤液与规模适当的城市污水厂合并处理,是最为简单的处理方案,它不仅可以节省单独建设渗滤液处理系统的大额费用,还可以降低处理成本,利用污水处理厂对渗滤液的缓冲、稀释作用和城市污水中的营养物质,实现渗滤液和城市污水的同时处理,但这并非是普遍适用的方法。一方面,由于垃圾填埋场往往远离城市污水厂,渗滤液的输送将造成较大的经济负担;另一方面由于渗滤液所特有的水质及其变化特点,在采用此种方案时,如不控制,则易造成对城市污水厂的冲击负荷,甚至破坏城市污水厂的正常运行。因而,在考虑合并处理方案时,必须研究其工艺上的可行性^[11]。

1.2 渗滤液回灌处理技术

渗滤液回灌处理技术是指采用适当措施,将从填埋场底部收集到的渗滤液,经一定方式预处理或直接利用动力设施重新打到填埋场覆盖层表面或覆盖层下部,利用填埋场覆土层及各年龄段垃圾的物化以及生物降解作用对渗滤液进行处理的一种方法^[12]。美国最早于 20 世纪 70 年代对渗滤液回灌处理技术进行研究,随后欧洲一些国家也开始利用可控制的渗滤液循环系统来治理垃圾填埋场的渗滤液。20 世纪 80 年代末期国内开始对渗滤液回灌处理进行研究,近几年国内外主要进行回灌加速稳定化的研究^[13]。

渗滤液回灌技术实质上是以填埋场为巨大的生物滤床,将渗滤液收集起来,通过喷灌使之回流到填埋场。回灌技术具有很多显著的优点,如设施简单,投资省,耐冲击负荷强,对重金属去除率较高,有效降低渗滤液氮含量,促进垃圾填埋场的稳定化等等。但同时,回灌技术也存在许多难以解决的问题,如回灌过程恶臭气体的挥发增加,产气量加大容易引发安全问题,对垃圾填埋场的正常运行产生一定的干扰等等,而且单纯的回灌技术并不能保证污水的达标排放。

1.3 现场建渗滤液处理厂

现场建渗滤液处理厂在国外应用比较多,近些年国内也有不少大型填埋场修建了配套的渗滤液处理厂,但国外在这面积累的经验较多。现场修建渗滤液处理厂必然涉及到渗滤液处理工艺,目前渗滤液的处理工艺基本上都是采用的废水处理所运用

的工艺,包括生物法、物化法与土地法等。

1.3.1 渗滤液处理工艺简介

生物法是目前国内外渗滤液处理的主体工艺,它又包括好氧技术、厌氧技术及其两者的耦合技术。好氧生物处理技术国内外研究都很多,比如申秀英等^[14]人较早对活性污泥法进行了研究,而氧化沟、SBR、生物膜、氧化塘及其改进工艺等也是好氧生物处理的常见工艺。厌氧生物处理技术也较为丰富,如 UASB 工艺在世界上许多国家都有良好的运用^[15,16],另外,厌氧生物滤池、厌氧 SBR 等厌氧生物处理工艺也运用较为广泛。厌氧-好氧生物处理工艺是中、高浓度有机废水的适宜工艺^[17],在国内有许多该工艺的运用实例,比如广州垃圾填埋场^[18]和深圳下坪生活垃圾卫生填埋场等均采用了厌氧-好氧生物处理技术。

渗滤液的物化处理过程包含了混凝吸附、蒸发、高级氧化^[19]、浮选和膜处理技术^[20]等。蒋建国等^[21]的实验研究表明,复合混凝剂(90% PAC + 10% PAM)及试剂 A(一种壳聚糖)的处理效果明显优于 PAC 和 PAM。尚爱安等^[22]对混凝在预处理与后处理渗滤液中的作用进行了研究。张微晨等^[23]研究提出,高级氧化技术与生物处理联合运用和各种高级氧化工艺之间的优化组合将是实现高级氧化技术在渗滤液处理中工程化运用的发展方向。陈钰等^[24]以反渗透处理技术为例,重点介绍了膜处理技术在城市垃圾渗滤液处理中的应用,分析了膜处理技术的优势并提出膜处理技术在未来城市垃圾渗滤液处理中的发展趋势。

渗滤液的土地处理技术主要包括塘处理技术和人工湿地处理技术。美国、加拿大、英国、澳大利亚和德国的小试、中试和生产规模的研究都表明,采用曝气稳定塘能获得较好的垃圾渗滤液处理效果。李寒娥^[25]认为设计方案、基质、水生植物的选用以及微生物降解等方面,是决定人工湿地系统净化效果的主要因素。在国外,美国、芬兰、挪威、加拿大、英国、斯洛文尼亚等国都成功地应用了人工湿地系统工艺处理垃圾渗滤液^[26-27]。

1.3.2 各处理工艺优缺点比较

垃圾渗滤液的生物处理方法运行费用相对较低,处理效率高,不会出现化学污泥等造成二次污染,但出水很难达到渗滤液的排放标准,同时渗滤液中高浓度的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 导致 C/N 过低,磷元素缺乏,不能满足 $\text{BOD}:\text{N}:\text{P} = 100:5:1$ 的微生物营养需求,因而,对处理垃圾渗滤液这种高浓度、成分复杂的有机废水来说,生化法的应用受到一定限制。

尽管物化处理技术受水质变动影响小,出水水质比较稳定,对于 BOD_5/COD_{Cr} 比值较低,难以进行生物处理的渗滤液有较好处理效果,但仅使用物化方法处理很难达标,而且操作复杂、处理费用昂贵,因此物化法不适于单独对大量的渗滤液进行处理。土地处理主要是利用土壤的自净能力对垃圾渗滤液进行处理。这种方法简便经济,缓冲容量大,适合于土地广阔的地区,但该方法容易产生重金属和盐类在土壤中积累的问题,对土壤和地下水造成污染,过量的盐类也会对植物的生长产生影响。另外,土壤的渗透能力也会随着时间的延长而逐渐下降,对渗滤液的处理效率也随之降低。

1.3.3 组合工艺处理技术

垃圾渗滤液由于其特殊的性质使得几乎任一单一工艺均不能完全达到理想的处理效果。由于渗滤液特别难以降解,尤其是后期的填埋场渗滤液更具复杂性,所以在填埋场现场修建渗滤液处理厂时,宜采用较为复杂的组合工艺对渗滤液进行处理。

国内外目前已经发展出众多的组合工艺,大都取得了较为良好的处理效果。王坚等^[28]在研究 UASB + MBR 组合工艺对渗滤液进行处理的实验后指出,垃圾渗滤液中存在较多的惰性有机物,要想达到较高的水质标准,需要采用物化法和生物法相结合的组合工艺。吴军等^[29]在实验条件下研究了 UASB + SBR + ARF (陈腐垃圾生物反应床) + EF (蚯蚓生物滤床) 组合处理上海老港填埋场的渗滤液,研究表明,虽然该组合对 BOD_5 和 $NH_4^+ - N$ 的去除率均超过 99%,但 COD 的去除率仅能达到约 76%,出水 COD 接近 1400 mg/L,超出 1000 mg/L 三级排放标准,而且由于容易降解的有机物总是首先被去除,所以后续工艺的反硝化过程仍然面临碳源不足的问题。而熊小京等^[30]采用 A/O MBR 与 BAF 组合工艺处理垃圾渗滤液时可进一步降解 A/O MBR 出水中的剩余氨氮,但 BAF 处理单元几乎不能降解 A/O MBR 出水中的剩余 COD,并且随着 A/O MBR 出水氨氮浓度的升高,BAF 硝化活性受抑制的程度也随之增大。

由此可见,目前国内外对渗滤液的处理工艺,总体上均采用生物处理为主体工艺,把物化法作为预处理或者后处理工艺,而土地法作为后处理工艺的系统或者作为单独的处理系统。但这些组合工艺在实际运行中也都存在一定的问题,为了尽可能地对渗滤液进行较为全面、有效地处理,在生物处理的基础上,必然需要对渗滤液进行一定的预处理,为了提高处理效果,还必须增加部分后处理工艺。

2 微电解 + 氧化沟 + 砂滤组合工艺

通过对目前国内外渗滤液处理部分组合工艺的研究可以发现,预处理 + 生物处理 + 后处理组合方式是目前较为理想的渗滤液处理模式。为此,结合各工艺的特点,笔者提出了微电解 + 氧化沟 + 砂滤的组合工艺对渗滤液进行处理。

2.1 微电解工艺

渗滤液的预处理方法很多,但主要还是集中在物化法上面,如混凝吸附、蒸发、高级氧化、浮选和膜处理技术等。而微电解虽然属于电化学范畴,但同时也是一种高级氧化技术^[31]。

2.1.1 微电解原理及优点

微电解法是利用金属腐蚀原理,形成原电池对废水进行处理的良好工艺,又称为内电解法、铁屑过滤法等。微电解一般采用铁屑(较多使用铸铁屑)与其它的一些物质(比如 C、沸石等)组成反应系统。从机理来看,微电解处理废水是由下面五点机理协同作用的结果:(1)氧化还原反应;(2)电化学絮凝;(3)物理吸附;(4)铁的混凝作用;(5)铁离子的沉淀作用。其优点主要有经济性强,适用范围广,处理效果好,可同时处理多种毒物,使用寿命长,操作维护简便等等^[32]。

2.1.2 微电解的研究应用现状

微电解是处理高浓度废水的一种很有效的方法,特别是对生化性较差,用普通生化方法难于处理的渗滤液效果明显。刘金香等^[33]在处理衡阳吉星垃圾填埋场的渗滤液时,通过实验得出,采用微电解处理该垃圾渗滤液的最佳 HRT 为 80 min,最佳 pH 值为 3.5,在此条件下 COD_{Cr} 的去除率达到 29.9%。丛利泽等^[34]在处理厦门某生活垃圾填埋场渗滤液时也采用了微电解对渗滤液进行预处理,通过对比实验得出,当 pH = 3、电解时间为 30 min 时 COD_{Cr} 、 $NH_3 - N$ 的去除最为理想,通过微电解处理可去除渗滤液中的大部分 $NH_3 - N$ 和重金属离子,改善了废水的可生化性,有利于后续生化处理。

2.2 氧化沟工艺

在城市生活污水处理中,氧化沟技术由于其耐冲击负荷强、处理单元少、处理效果好、脱氮效果佳、产泥率低等诸多优点而被广泛应用^[35]。氧化沟的种类各式各样,有帕斯韦尔(Pasveer)氧化沟、卡鲁塞尔(Carrousel)氧化沟、奥尔伯(Orbal)氧化沟和一体化氧化沟等多种类型。而作为一门技术相当成熟的污水处理工艺,氧化沟自然而然地被人们运用到垃圾渗滤液的处理中来。

在国内,许多填埋场对渗滤液处理都采用了氧

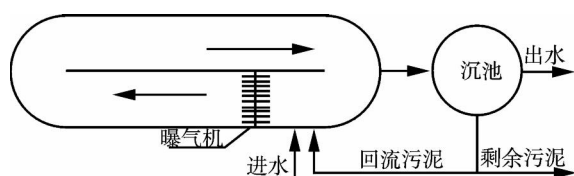


图1 传统氧化沟工艺

化沟工艺作为生物处理单元。福州市红庙岭、中山市老虎坑、江苏姜堰市前堡^[36]、中山市坦州、北京市六里屯等多个垃圾卫生填埋场均采用了氧化沟工艺。在这些渗滤液处理厂中,氧化沟的运行均较为良好,对 COD 去除率达到 50~80%,SS 去除率为 80%以上,而 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率在 90%左右。因此,氧化沟作为笔者提出的组合工艺中的生物处理单元是非常可行的。

2.3 砂滤工艺

过滤主要用于给水处理及污水深度处理,一般是指以石英砂等粒状滤料层截留水中悬浮杂质,从而使水获得澄清的工艺过程。过滤对杂质的全面去除涉及到三个方面,即迁移机理、附着机理和脱落机理^[37]。过滤过程的影响因素有滤层厚度与粒度、有效粒径和不均匀系数、滤速、水温、水力波动以及化学因素等,一般来说,滤料越细、滤层越厚、过滤时间越长则处理效果越好^[38]。

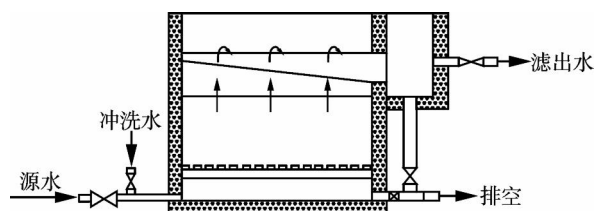


图2 上向流滤池

在垃圾渗滤液的处理工艺中,砂滤一般作为后续处理工艺。这主要是因为砂滤主要是去除水中的悬浮固体,垃圾渗滤液有机物浓度、氨氮含量高,但是渗滤液里的悬浮物并不多。所以过滤在垃圾渗滤液的 COD 等方面的去除效果不理想,但作为后续处理,可进一步去除垃圾渗滤液的 COD、降低色度等指标^[39]。李亚峰等^[40]在进行了均粒石英砂滤料过滤效果的生产性实验后得出结论,均粒滤料的过滤性能优于非均粒滤料,将常规石英砂滤料更换为平均粒径相同的均粒石英砂滤料,能够延长过滤周期,提高产水量,经济效益明显。

2.4 各工艺之间的组合

目前,国内并没有研究者提出微电解+氧化沟+砂滤的组合工艺来处理垃圾渗滤液。不过夏世斌等^[41]在研究微电解对其它废水的处理效果时提出

了微电解-生化组合工艺,并指出,微电解-生化组合处理废水的效果受废水中含盐量的影响较大,在实际运行时应注意控制进水中盐的浓度。其中研究表明,微电解-生化组合工艺具有有机物去除效果好、结构紧凑、运行操作简便、维护少的特点,而其中试验正是建立在微电解-氧化沟工艺的基础之上。

而王锋等^[42]对微电解和砂滤的组合工艺对渗滤液的处理效果进行了研究。其实验结果作出了重要的结论:在色度的去除上,砂滤起了很大作用。一方面,砂滤吸附了部分水样中的发色基团;另一方面,砂滤也去除了水样中的绝大部分 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 絮体。

由于本组合在预处理中提出了使用微电解技术,而氧化沟并不能对微电解产生的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 絮体进行很好的去除,使得其出水略带黄色,因此,砂滤工艺的强化加入作用明显。最后经过砂滤处理,出水变得清澈,达到较为理想的处理效果。根据上述分析,拟工艺流程图如图3所示。

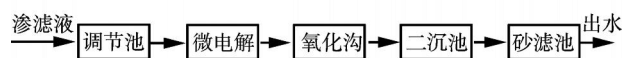


图3 组合工艺流程图

3 结 论

垃圾渗滤液是一种高浓度、成分复杂、水质水量易变化的污水,人们对渗滤液的处理一直处于探索和发展之中,单一的渗滤液处理技术并不能满足人们对渗滤液的处理要求,必须采用多种方法的组合工艺。在众多组合工艺中,预处理+生化处理+后处理的组合是较为理想的组合方式。微电解由于其经济性、处理能力以及操作性上的优势成为众多预处理技术中最为适用、有效的技术之一;氧化沟具有良好的去除 COD 等污染物的能力,同时还具有优良的脱氮功能,能很好地对渗滤液中的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 进行去除;砂滤是深度处理的常用技术之一,由于其对悬浮物和色度的良好去除功能而成为与微电解、氧化沟最理想的搭配。微电解+氧化沟+砂滤的组合工艺作为一种新的尝试,将会在今后的实践中进一步得到检验。

参考文献:

- [1] 赵由才,龙燕,张华.生活垃圾卫生填埋技术[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 楼紫阳,赵由才,张全.渗滤液处理处置技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [3] 王宝贞,王琳.城市固体废物填埋场渗滤液处理与处置

- [M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [4] A A TATSU, A I ZOUBOULIS. A Field Investigation of the Quantity and Quality of Leachate from a Municipal Solid Waste Landfill in a Mediterranean Climate [J]. *Advances in Environmental Research*, 2002,6:207-208.
- [5] AIZHONG DING, ZONGHU ZHANG. Biological control of Leachate from Municipal Landfills [J]. *Chemosphere*, 2001,44:1-2.
- [6] Irene M C Lo. Characteristics and Treatment of Leachates from Domestic Landfills [J]. *Environment International*, 1996,22(4):433-434.
- [7] 邓贤山,周恭明,高廷耀.垃圾填埋场渗滤液的处理方法[J]. *工业用水与废水*,2003,34(1):43-44.
DENG XIAN-SHAN, ZHOU GONG-MING, GAO TING-YAO. Treatment of Percolate at City Refuse Landfill Sites [J]. *Industrial Water & Wastewater*, 2003,34(1):43-44.
- [8] 夏越青,李国建.城市垃圾填埋场渗滤液循环回灌处理技术[J]. *环境卫生工程*,1999,7(4):141-142.
XIA YUE-QING, LI GUO-JIAN. Recirculation Treatment Method of Leachate from Municipal Solid Waste Landfill Site [J]. *Environmental Sanitation Engineering*,1999,7(4):141-142.
- [9] 许文龙,等.城市生活垃圾管理与处理技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [10] 张小平,萧锦.固体废物污染控制工程[M].北京:化学工业出版社、教材出版中心,2004.
- [11] 沈耀良,等.城市垃圾填埋场渗滤液处理方案[J]. *污染防治技术*,2000,13(1):17-20.
SHEN YAO-LIANG, et al. Analyses on the Treatment Schemes of Municipal Solid Waste Landfill Leachate [J]. *Pollution Control Technology*, 2000,13(1):17-20.
- [12] 沈耀良,曹晓莹.城市垃圾填埋场渗滤液的回灌处理及其作用[J]. *江苏环境科技*,2004,17(2):4-6.
SHEN YAO-LIANG, CAO XIAO-YING. Recirculation Treatment of Municipal Landfill Leachate and Its Functions [J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2004,17(2):4-6.
- [13] 张益,陶华.垃圾处理处置技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社、环境科学与工程出版中心,2002.
- [14] 申秀英,等.垃圾填埋场渗滤液的活性污泥法处理[J]. *中国给水排水*,1995,11(3):37-40.
SHEN XIU-YING, et al. Activated Sludge Process Treatment of Landfill Leachate [J]. *China Water & Wastewater*, 1995,11(3):37-40.
- [15] Glas H, Notenboom G J, Liem G H. High rate biological leachate treatment [C]. In *Proc. Sardinia 93, Fourth international landfill symposium*. Italy: Cagliari, 1993.
- [16] 胡浩元,周恭明. UASB 反应器处理垃圾渗滤液的快速启动方法[J]. *工业用水与废水*, 2002,33(6):29-31.
HU HAO-YUAN, ZHOU GONG-MING. Quick Start-up of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor in Treating Landfill Leachate [J]. *Industrial Water & Wastewater*, 2002,33(6):29-31.
- [17] 王宝贞,王琳.城市固体废物渗滤液处理与处置[M].北京:化学工业出版社、环境科学与工程出版中心,2005.
- [18] 周少奇,杨志泉.广州垃圾填埋场渗滤液中有有机污染物的去除效果[J]. *环境科学*, 2005,26(3):186-191.
ZHOU SHAO-QI, YANG ZHI-QUAN. Investigation on Removal of Organic Pollutions in Landfill Leachate in Guangzhou City, China [J]. *Environmental Science*, 2005,26(3):186-191.
- [19] 蒋明,等.氧化法处理垃圾渗滤液的研究进展[J]. *环境卫生工程*, 2004,12(3):148-153.
JIANG MING, et al. Research Progress of Oxidation on Treating Landfill Leachate [J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2004,12(3):148-153.
- [20] 申欢,等.膜生物法处理城市垃圾渗滤液[J]. *中国给水排水*, 2004,20(3):56-59.
SHEN HUAN, et al. MBR on Treating Municipal Solid Waste Leachate [J]. *China Water & Wastewater*, 2004,20(3):56-59.
- [21] 蒋建国,等.垃圾渗滤液的混凝处理实验研究[J]. *上海环境科学*, 2003,22(7):465-516.
JIANG JIAN-GUO, et al. Experimental Study on Coagulation-flocculation Treatment of Landfill Leachate [J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2003,22(7):465-516.
- [22] 尚爱安,等.混凝在垃圾渗滤液处理中的作用研究[J]. *中国给水排水*, 2004,20(1):50-52.
SHANG A-FAN, et al. Study on the function of Coagulation-flocculation in Solid Waste Leachate Treatment [J]. *China Water & Wastewater*, 2004,20(1):50-52.
- [23] 张微晟,等.高级氧化技术处理垃圾渗滤液的研究进展[J]. *四川环境*, 2005,24(5):72-78.
ZHANG ZHI-SHENG, et al. Progress of Advanced Oxidation Processes for Treating Landfill Leachate [J]. *Sichuan Environment*, 2005,24(5):72-78.
- [24] 陈钰,杨顺生,潘科.膜处理技术在城市垃圾渗滤液处理中的应用[J]. *工业用水与废水*, 2005,36(1):13-16.
CHEN YU, YANG SHUN-SHENG, PAN KE. An Application of Membrane Technology in Treatment of Urban Garbage Percolate [J]. *Industrial Water & Wastewater*, 2005,36(1):13-16.
- [25] 李寒娥.人工湿地系统在我国污水处理中的应用[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2004,5(7):9-12.
LI HAN-E. Application of Constructed Wetland to Sewage Treatment in China [J]. *Techniques and*

- Equipment for Environmental Pollution Control, 2004, 5 (7): 9-12.
- [26] 王丽霞,等.垃圾填埋场渗滤液的人工湿地处理[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(4): 61-65.
WANG LIXIA, et al. Treatment of Leachate from Refuse Landfill with Constructed Wetland [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2005, 6(4): 61-65.
- [27] Keith D Johnson, Craig D, Martin. Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates[M]. Chelsea: Lewis Publishers, 1998.
- [28] 王坚,等. UASB + MBR 工艺处理城市垃圾填埋场渗滤液实验研究与问题讨论[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 215-217.
WANG JIAN, et al. Municipal Landfill Leachate Treatment by Using Combined UASB and MBR System and Its Problems [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2003, 16(6): 215-217.
- [29] 吴军,等. 组合工艺处理填埋场渗滤液实验室研究[J]. 山东建筑工程学院学报, 2005, 20(4): 36-41.
WU JUN, et al. A Laboratory Experiment on Landfill Leachate Treatment Using Combination Processes [J]. Journal of Shandong University of Architecture and Engineering, 2005, 20(4): 36-41.
- [30] 熊小京, 简海霞. A/O MBR 与 BAF 组合工艺处理垃圾渗滤液[J]. 工业水处理, 2007, 27(9): 39-42.
XIONG XIAO-JING, JIAN HAI-XIA. Landfill Leachate Treatment by a Combination of A/O MBR and BAF Processes [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(9): 39-42.
- [31] 杨云军,等. 电解氧化法预处理垃圾渗滤液[J]. 环境科学研究, 2003, 16(6): 53-56.
YANG YUN-JUN, et al. Study on Electrolytic Oxidation Process for Preliminary Treatment of Landfill Leachates [J]. Research of Environmental Sciences, 2003, 16(6): 53-56.
- [32] 李小明,等. 电解氧化处理垃圾渗滤液研究[J]. 中国给水排水, 2001, 17(8): 14-17.
LI XIAO-MING, et al. Study on Electrolytic Oxidation for Landfill Leachate Treatment [J]. China Water & Wastewater, 2001, 17(8): 14-17.
- [33] 刘金香,等. 微电解-Fenton-MAP 沉淀法处理垃圾渗滤液的实验研究[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2007, 21(1): 90-93.
LIU JIN-XIANG, et al. An Experiment on Landfill Leachates Treatment by Composite Process of Micro Electrolytic-Fenton-Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) Method [J]. Journal of University of South China (Science and Technology), 2007, 21(1): 90-93.
- [34] 丛利泽,等. 微电解/混凝/厌氧膜生物反应器组合工艺处理高浓度垃圾渗滤液[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45(6): 824-827.
CONG LIZE, et al. Treatment of High Concentration Landfill Leachate by Combining Electrochemical/Chemical Coagulation/Anaerobic Membrane Bio-reactor Process [J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2006, 45(6): 824-827.
- [35] 邓荣森. 氧化沟污水处理理论与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [36] 殷琨, 秦俊芳. UASB/Orbal 氧化沟工艺处理垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水, 2006, 22(12): 74-77.
YIN KUN, QIN JUN-FANG. Leachate Treatment Using UASB/Orbal Oxidation Ditch Process [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(12): 74-77.
- [37] 谭美. 过滤、混凝沉淀法在垃圾渗滤液后续处理中的实验研究[D]. 武汉理工大学硕士学位论文, 2006.
- [38] 李思敏,等. 生物砂滤池除氨氮效果及影响因素分析[J]. 中国给水排水, 2006, 22(1): 74-76.
LI SIMIN, et al. Effect of Biological Quartz Sand Filter on NH_4^+ -N Removal and Its Affecting Factors [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(1): 74-76.
- [39] 高俊发. 对污水深度处理滤池工艺设计的探讨[J]. 长安大学学报(建筑与环境科学版), 2003, 20(3): 56-58.
GAO JUN-FA. Research on Filter Design of Wastewater Advanced Treatment [J]. Journal of Chang'an University (Arch. and Envir. Science Edition), 2003, 20(3): 56-58.
- [40] 李亚峰. 均粒石英砂滤料过滤效果的生产性实验与应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2007, 23(4): 635-638.
- [41] 夏世斌, 朱长青. 微电解-生化组合处理 DCB 染料废水中试研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2006, 28(4): 352-354.
XIA SHIBIN, ZHU CHANG-QING. Pilot-scale Study of DCB DYE Wastewater Treatment Using Biochemical and Microelectrolytic Process [J]. J of China Three Gorges Univ. (Natural Sciences), 2006, 28(4): 352-354.
- [42] 王锋, 周恭明. 铁-碳微电解法预处理老龄垃圾填埋场渗滤液的研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(3): 63-65.
WANG FENG, ZHOU GONG-MING. Research on Iron-carbon Micro-electrolytic Method for Pretreating Aged-landfill Leachate [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2004, 5(3): 63-65.

(编辑 胡玲)