

文章编号:1005-0523(2013)02-0021-07

垃圾渗滤液处理技术的研究进展

聂发辉,李文婷,刘占孟

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:垃圾渗滤液是一种难处理的高浓度有机废水,文章从垃圾渗滤液的产生及其特点出发,介绍了国内外垃圾渗滤液的处理技术,分析各种处理方法的特点,并指出结合实践选用联合工艺处理将是未来渗滤液处理研究的主要方向。

关键词:垃圾渗滤液;物化法;生化法;土地法

中图分类号:X703

文献标志码:A

卫生填埋法具有成本低、处理简单、对垃圾成分要求低、无二次污染、环保效果显著等优点,因此,此法得到世界各国的普遍采用^[1]。然而,卫生填埋会产生大量垃圾渗滤液,据2010年度最新调查报告显示:我国城市垃圾填埋场所排放的渗滤液产生化学需氧量32.46万吨,氨氮3.22万吨,渗滤液作为一种污染严重的废水其处理已经成为科研热点^[2]。

1 渗滤液的来源及特点

垃圾渗滤液是一种成分复杂的高浓度有机废水,主要来源有自然降水、垃圾原有的含水量、地表径流、地下水的渗入、垃圾降解生产水等^[3]。其性质取决于垃圾成分、填埋时间、气候、水文条件等因素。一般来说有以下特点:

1) 水质成分复杂,危害性大。目前检测出垃圾渗滤液中主要有机污染物63种,可信度在60%以上的有34种。被列入我国环境优先污染物“黑名单”的有6种。

2) COD_Cr 和 BOD_5 浓度高。渗滤液中 COD_Cr 和 BOD_5 最高分别可达90 000,38 000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 甚至更高,是生活污水值的几十倍甚至是上百倍。

3) 氨氮含量高,并且随填埋时间的延长而升高,最高可达1 700 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

4) 金属含量较高。垃圾渗滤液中含有十多种金属离子,浓度均大大超过了对微生物毒害作用的限值。

5) 渗滤液中的微生物营养元素比例失调。渗滤液中溶解性磷酸盐主要以 $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ 形式存在,受到 Ca^{2+} 浓度和总碱度的影响后,大多数磷酸根离子都转化为沉淀物质,从而导致总磷偏低。

6) 水质水量变化大。雨季是产生渗滤液的高峰期,而干旱季节基本上没有渗滤液流出。根据填埋场的年龄,垃圾渗滤液分为两类:一类是填埋时间在5年以下的“年轻”渗滤液,其特点是 COD_Cr 、 BOD_5 浓度较高, $\text{BOD}_5/\text{COD}_\text{Cr}$ 比值也较高,可生化性较好;另一类是填埋时间在5年以上的“年老”渗滤液,由于新鲜垃圾逐渐变为陈腐垃圾, $\text{BOD}_5/\text{COD}_\text{Cr}$ 比值减小,可生化性极低,而氨氮浓度依然较高。

因此,垃圾渗滤液不经处理或处理不当,排入到河流、水库、农田,将严重污染农作物和水生物,污染地下水、地表水及土壤,并通过食物链直接或间接地进入人体组织与细胞中,导致各种疾病的产生,危害人类的身体健康和生态环境。

收稿日期:2012-12-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51148006;51169006);江西省科技支撑项目(20112BBG70005;20122BBG70081)

作者简介:聂发辉(1977—),男,副教授,博士,主要从事城市面源污染控制方面的研究。

2 渗滤液处理主要工艺

2.1 物理化学处理法

目前常用的物化方法有吸附、磷酸铵镁沉淀法(MAP法)、超声波、混凝、膜分离、高级氧化等^[4]。物化法同生化法相比较,一般不受垃圾渗滤液水质水量变动的影响,出水水质比较稳定,尤其对BOD₅/COD比值较低(0.07~0.20)难以生物降解的垃圾渗滤液有较好的处理效果。

2.1.1 吸附法

吸附剂主要用于脱除渗滤液中难降解的有机物、金属离子和色度等。目前应用较为普遍的吸附材料是活性炭。Aziz等^[5]研究采用序列间歇式反应器处理渗滤液,在曝气率为 $1\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 和接触时间5.5 h的条件下,PAC-SBR对COD、色度、NH₃-N和TDS的去除率分别为64.1%,71.2%,81.4%和1.33%。Rodriguez等^[6]分别采用活性炭和XAD-8等3种不同的树脂处理沉淀后的渗滤液上清液,发现活性炭的吸附能力最强,能将渗滤液上清液的COD从 $1\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上降到 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下。于清华^[7]研究絮凝-吸附法预处理垃圾渗滤液,在经絮凝之后,吸附剂粉煤灰的最佳投放量为 $200\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的条件下,COD_{Cr}、NH₃-N、悬浮物、色度和重金属离子去除率分别达79.64%,83.23%,58.75%,92.56%和60.37%~96.33%。

2.1.2 微波法

微波法处理垃圾渗滤液也是国内外学者研究的一个热点。王杰等^[8]采用微波-活性炭-Fenton催化氧化预处理垃圾渗滤液。经微波功率300 W条件下预处理之后,组合工艺对垃圾渗滤液中COD、氨氮、SS和浊度去除率分别达到68.22%,78.08%,78.55%和99.02%,颜色由黑褐色去除为接近无色,BOD₅/COD由0.21提高到0.45。Orescanin等^[9]采用臭氧化-电氧化和臭氧化-微波法处理BOD₅/COD=0.001的渗滤液,最终色度、浊度、悬浮物、氨、COD和铁的去除率分别为98.43%,99.48%,98.96%,98.80%,94.17%和98.56%。

2.1.3 MAP沉淀法

磷酸铵镁沉淀法(MAP)具有不受温度限制,反应时间较短、工艺简单、不产生具有臭味和毒性的气体等优点,还可以有效去除垃圾渗滤液中的氨氮,另外,沉淀物中含有氮、磷等具有肥效的元素,可用来做多种植物的复合肥^[10]。

Baris等^[11]用磷酸铵镁法去除COD浓度为 $3\ 260\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 垃圾渗滤液,COD和氨氮去除率分别为20%和98%,表明鸟粪石对氨氮的去除效果要好于COD。宋玮华等^[12]采用MAP法去除渗滤液中高浓度氨氮。实验证明,在最佳条件下,渗滤液中NH₃-N的质量浓度由初始的 $1\ 671\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降至 $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,去除率达98.2%。Cao等^[13]在使用不同的絮凝剂和沉淀剂对渗滤液进行预处理发现,处理工艺对垃圾渗滤液污染物有良好的去除效能,当加入 $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 Na_2HPO_4 使 $\text{Mg}^{2+}:\text{NH}_4^+:\text{PO}_4^{3-}$ 之比为1.0:1.5:1.5,COD,NH₃-N和SS分别从 $12\ 250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $340.85\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $845\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降低到 $9\ 730.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $35\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $106.55\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.1.4 超声波

其原理是利用超声波使溶液产生5 000 K高温以上的气泡及强氧化性的自由基,使绝大部分有机物得到完全的降解,特别适用于有毒难降解有机物。

超声波技术由于具有简便、高效、少污染的特点,近来已受到国内外研究者的关注,并开始用于处理垃圾渗滤液。Roodbari等^[14]用超声波对渗滤液进行预处理。在最优实验条件下,实验证明渗滤液可生化性显著提高,BOD₅/COD由原来的0.210提高到0.786。Neczaj等^[15]用超声波技术预处理渗滤液,当频率为20 kHz,振幅为12 m时,COD和氨氮的去除率分别为90%和70%。Wang等^[16]用超声波辐射180 min后,渗滤液中氨氮的去除率可高达96%。

2.1.5 混凝法

混凝沉淀法是通过向废水中投加混凝剂,使废水中的悬浮物和胶体聚集形成絮凝体而沉淀,然后再加以分离。

Tatsi等^[17]用 FeCl_3 处理COD浓度为 $5\ 350\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的垃圾渗滤液时,投加 $1.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化铁的COD去除率

达80%。Maranon等^[18]研究用絮凝-混凝预处理渗滤液。得到最优处理条件为:在 $0.4\text{ g Fe}^{3+}\cdot\text{L}^{-1}$, $0.8\text{ g Al}^{3+}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ g PAX}\cdot\text{L}^{-1}$ (多氯化铝PAX)的条件下,浊度、色度和COD的去除率分别为98%,91%和26%。

2.1.6 膜分离技术

膜处理是以压力差(也称透膜压差)为推动力的膜分离过程,在膜两侧施加一定的压差时,可使一部分溶剂及小于膜孔径的组分透过膜,而微粒、大分子、盐等被膜截留下来,从而达到分离的目的。

利用新型的膜分离技术处理垃圾渗滤液在欧美等发达国家和地区正逐渐采用。郭健等^[19]利用多孔陶瓷微滤-两级反渗透工艺处理垃圾渗滤液。经过陶瓷微滤预处理后,再进行一级反渗透处理,出水的COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率、脱盐率分别维持在94.8%,91.3%,81.6%以上;经过二级反渗透处理后,最终出水的COD $<30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{NH}_3\text{-N}<25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,电导率 $<180\text{ }\mu\text{m}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。Mohammad等^[20]采用纳滤工艺处理Malaysia填埋场的垃圾渗滤液,试验结果表明,除了硝酸盐和氨氮外,对COD、电导率、重金属的去除率均在85%以上。许丽华等^[21]采用纳滤-反渗透法深度处理渗滤液。结果表明,纳滤和反渗透可以有效去除COD、总氮、硬度、重金属等,出水各指标稳定达到垃圾渗滤液排放限值,通量在较长时间内能够保持稳定。

2.1.7 高级氧化技术

高级氧化技术是以自由基($\cdot\text{OH}$)作为主要氧化剂,采用两种或多种氧化剂联用发生协同效应,或者与催化剂联用,提高 $\cdot\text{OH}$ 生成量和生成速率,加速反应过程,提高处理效率和出水水质。特点有:高氧化性,反应速率快,提高可生物降解性、减少三卤甲烷(THMs)和溴酸盐的生成。

1) Fenton法。Fenton试剂是由 H_2O_2 与 Fe^{2+} 组成的,它通过 Fe^{2+} 催化分解 H_2O_2 产生 $\cdot\text{OH}$ 进攻有机物分子夺取氢,将大分子有机物降解为小分子有机物或完全矿化。Fenton试剂常用于废水的深度处理。Antonio等^[22]采用Fenton法对垃圾渗滤液进行预处理,渗滤液的 BOD_5/COD 从初始的0.22提高到0.5以上。赵冰清^[23]等选用Fenton工艺对经过生化处理后的城市垃圾渗滤液进行深度处理,结果表明,该工艺具有氧化和混凝的双重作用,在最优工艺条件下COD和TOC的去除率分别达63.43%和80.58%。Salem^[24]等用臭氧化与Fenton氧化过程结合处理成熟的垃圾渗滤液,当Fenton浓度为 $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ($1\text{ }700\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) H_2O_2 和 $0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ($2\text{ }800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) Fe^{2+} , $\text{pH}=7$ 时,COD、色度和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率分别为65%,98%和12%。

2) 电解氧化。电解法处理废水的实际上就是利用电解作用把水中有毒物质变成无毒或低毒的物质的过程。齐利华^[25]在对二段序批式生物膜反应器(SBBR)处理渗滤液生化出水进行电解氧化试验时发现,采用图解最优化技术分析,当COD为 $1\text{ }850\sim 2\text{ }300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,则选择电解时间 $2.5\sim 4\text{ h}$ 或 $\rho(\text{Cl}^-)$ 为 $2\text{ }000\sim 4\text{ }000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 可达到目标。夏鹏飞等^[26]人研究采用铁锰氧化物+聚合氯化铝混凝和光电氧化技术处理已生化处理过的垃圾渗滤液时,找到了适宜的电解氧化条件:当电流密度为 $400\text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$,9 W紫外灯(主波长254 nm)辐照,反应180 min后,COD、TOC、氨氮和氮氮的去除率分别为76.8%,81.2%,99%和99%。Peterson等^[27]使用 $\text{TiO}_2\text{-RuO}_2$ 钛电极电解垃圾渗滤液,180 min后COD,TOC和氨氮去除率分别为73%,57%和49%。

3) 光催化氧化技术。光催化法是近年发展起来的一种污水处理新技术。杨运平^[28]采UV/ TiO_2 和Fenton法的联合工艺垃圾渗滤液,在最优工艺条件下,COD的去除率和脱色率分别高达90.8%和91.5%。Zhao等^[29]研究了光催化-电解联用技术对渗滤液的处理效果,结果表明,COD,TOC和氨氮的处理效果分别可达74.1%,41.6%和94.5%,有机物被有效转化为小分子的酸。Jerry等^[30]利用 O_3/UV 处理COD浓度为 $2\text{ }500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的混凝出水,反应0.5 h后,TOC和色度去除率分别达20%和90%。

4) 催化湿式氧化。湿式氧化是一种在工业废水处理应用较广的物理化学方法,目前已逐渐应用于垃圾渗滤液的处理。Cao等人^[31]以Ru/活性炭做催化剂,采用催化湿式氧化处理COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别为 $8\text{ }000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1\text{ }000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的渗滤液,结果COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效率分别可达89%和62%。李海生等^[32]将催化湿法氧化(CWAO)用于垃圾渗滤液的处理,发现在温度为 $280\text{ }^\circ\text{C}$,氧分压0.5 MPa,催化剂用量为 $0.83\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的条件下反应,垃圾渗滤液COD浓度可从 $1\text{ }000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降为 $94.31\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,且反应在全封闭条件下进行,不会产生 NO_x , SO_2 ,HCl,飞灰等二次污染物。

2.2 生物处理法

生物处理法具有处理效果好、运行成本低等优点,是目前渗滤液处理中采用最多的方法,包括好氧生物处理法、厌氧生物处理法及厌氧-好氧联合处理法。

2.2.1 好氧处理法

渗滤液好氧生物处理能够有效降低其中的BOD、COD和氨氮。叶正芳等^[33]采用IBAF(固定化微生物曝气生物滤池)处理渗滤液,COD和氨氮去除率分别达到98.3%和99.9%。孙艳波^[34]等人通过向晚期渗滤液中投加高COD含量的粪水,调节SBR工艺的进水C/N。反应器对 NH_4^+-N 和 BOD_5 的平均去除率分别在99.6%和95.6%以上,出水平均值COD为 $1.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{BOD}_5 \leq 30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。Trabelsi等^[35]采用3级流淹没曝气生物反应器进一步处理缺氧池的出水,对COD和 NH_4^+-N 的去除率分别可达84%和60%,整个组合工艺的 BOD_5 ,COD和 NH_4^+-N 的去除率分别为95%,94%和92%。

2.2.2 厌氧处理法

厌氧生物处理可提高污水可生化性,有机负荷高、有能耗少、抗毒性能高、污泥产率低的优势,适合处理磷含量低、有机物含量高的渗滤液。

Deniz等^[36]用UASB-MBR工艺处理渗滤液的研究中发现,COD和TNK的去除率都大于90%,可生物降解的有机物去除率达到99%, BOD_5 含量超过 $8000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的渗滤液,经UASB-MBR工艺处理后降低到 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。王军等^[37]采用厌氧序批式反应器(ASBR)中试反应器处理渗滤液时,COD,TN和SS的平均去除率分别为32.04%,10.5%和32.63%。陈小玲等^[38]用ABR工艺处理垃圾渗滤液。结果表明,HRT控制在18 h后明显提高的垃圾渗滤液的可生化性及C/N, COD_Cr 去除率达到75%,培养驯化120 d后,氨氮去除率稳定在80%。

2.2.3 厌氧-好氧生物处理结合

单独采用厌氧法对有机物氧化不彻底,而且很难去除氨氮。因此,一般采取厌氧-好氧组合工艺,提高处理效率。

Govahi等^[39]使用UASB-好氧塘处理渗滤液(升流式厌氧污泥床UASB)。原渗滤液COD为 $45000 \sim 90000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,经过处理,厌氧池、好氧池和总系统中COD的去除率分别为57%~87%,35%~70%和66%~94%。Fang Fang等^[40]采用厌氧-好氧-混凝法处理渗滤液,结果表明,厌氧处理去除62.1%的COD和49.5%的氨。随后的好氧处理之后,COD和氨的去除率分别达到94.0%和89.4%。刘牡等^[41]采用“两级UASB-A/O”组合工艺处理实际高氨氮城市生活垃圾渗滤液。试验结果表明,在平均进水 NH_4^+-N ,TN质量浓度和COD分别为 $2315, 2422, 12800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件下,去除率分别可达99%,87%,92%,能同时实现有机物和氮的高效深度去除。

2.3 土地法

土地处理法在渗滤液的处理中应用比较少,主要是因为该法容易对土壤和地下水造成污染。目前,用于垃圾渗滤液处理的土地法主要是回灌法和人工湿地法。

2.3.1 回灌法

垃圾渗滤液的回灌可以提高填埋场内垃圾的含水率,增强微生物的活性,提高沼气产生量,加速有机物的分解和垃圾中污染物的溶出。

王传英^[42]采用回灌技术处理城市生活填埋场渗滤液,结果表明,渗滤液的回灌对渗滤液中 COD_Cr 和 NH_4^+-N 均有一定的去除效果。同时在垃圾填埋层及覆盖层的作用下,回灌对色度有较好的处理效果。Liu等^[43]通过渗滤液回灌, COD_Cr 和氨的去除率分别为33.7%和30.3%,并且有些有毒物质也可以被去除,这为后续的生物处理提供便利。Huang等^[44]用一个模拟的填埋场反应器通过渗滤液回灌处理城市固体废物。添加 H_2O_2 到回灌的渗滤液中以维持氧浓度。结果表明,渗滤液回灌增加了模拟填埋场中的溶解氧浓度。运行405天后,收集到的渗滤液中 BOD_5 降低99.7%,COD降低96%,有机碳降解93%。

2.3.2 人工湿地法

Christopher等^[45]用地下流动式的哇畔莎草人工湿地处理渗滤液,典型物质去除效果显著。Variga等^[46]研究用人工湿地处理含氮和细菌很高的渗滤液。结果表明:在温度30℃和水力停留时间为8d的条件下,BOD₅、TN、大肠杆菌和Cd的去除率分别为91%、46%、99%和99.7%。刘倩等^[47]研究了陈垃圾反应床与芦苇人工湿地串联处理垃圾渗滤液的效果,结果表明:在进水负荷为0.1 m³·(m²·d)⁻¹的条件下,经过3个月的运行,陈垃圾反应床与芦苇人工湿地对陈年渗滤液中COD、氨氮、总氮及总磷的最大去除率分别达到90.3%、95.0%、79.3%和99.8%。

2.4 典型的组合工艺

Lin等人^[48]采取序批式反应器(SBR)+充气腐蚀电池-Fenton(ACF)+颗粒活性炭(GAC)吸附方法去除渗滤液中的有机物,COD、BOD₅和溶解性有机物质分别降低了97.2%、99.1%和98.7%。Halil等^[49]采用吹脱-混凝-膜生物反应器-反渗透处理渗滤液。氨吹脱可以克服对好氧微生物的毒性,在混凝-絮凝预处理后,好氧/缺氧的MBR系统反应30天,COD和总无机氮出水降低到450 mg·L⁻¹和40 mg·L⁻¹,最后MBR出水经过反渗透膜系统运行30天后,COD浓度降低到小于4.0 mg·L⁻¹。龚为进^[50]针对河南省某市生活垃圾填埋场产生的高COD、可生化性差、NH₃-N含量高的渗滤液,采用吹脱-UASB-A/O-MBR-反渗透组合工艺进行处理,结果表明,COD、BOD₅、总氮和氨氮出水分别为63,7,11 mg·L⁻¹和1.50 mg·L⁻¹,均优于GB16889-2008中的污染物排放浓度限值要求。

3 结语

1) 生活垃圾渗滤液作为一种高浓度、成分复杂和水质变化大的有机废水,采用单纯的生化法、物化法及土地法等无法实现渗滤液的最终无害化处理,应根据渗滤液具体的水质选择组合工艺,即先用物化法预处理,再用生化法处理,最后经过深度处理。

2) 在选择处理工艺时,先要测定渗滤液的成分,在有条件的情况下,根据垃圾填埋场所处的地理位置和经济状况因地制宜的选择渗滤液处理方案。

3) 氨氮浓度过高是渗滤液处理技术上的难题之一。中老期的渗滤液可生化性差,氨氮含量高是处理的重点也是难点,目前,国内对新型脱氮技术应用于渗滤液处理方面的研究还很少,对处理效果、最佳运行条件和反应机理等方面都有待深入研究,因此要开发高效的脱氮技术是当务之急。

参考文献

- [1] 沈东升,何若,刘宏远.生活垃圾填埋生物处理技术[M].北京:化学工业出版社,2003:1-5.
- [2] 宋燕杰,彭永臻,刘壮,等.生物组合工艺处理垃圾渗滤液的研究进展[J].水处理技术,2011,37(4):9-13.
- [3] 栾智慧,王树国.垃圾卫生填埋实用技术[M].北京:化学工业出版社,2004:107-113.
- [4] 胡蝶,陈文清,张奎,等.垃圾渗滤液处理工艺实例分析[J].水处理技术,2011,37(3):132-135.
- [5] SHUOKR Q A, HAMIDI A A, MOHD S Y, et al. Landfill leachate treatment using powdered activated carbon augmented sequencing batch reactor (SBR) process: Optimization by response surface methodology[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011(189):404-413.
- [6] RODRIGUEZ J, CASTRILON L, MARANON E, et al. Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption[J]. Water Research, 2004, 38 (14/15):3297-3303.
- [7] 于清华.化学絮凝-吸附预处理垃圾填埋场渗滤液试验研究[J].四川环境,2012,31(3):9-12.
- [8] 王杰,马溪平,唐凤德,等.微波催化氧化法预处理垃圾渗滤液的研究[J].中国环境科学,2011,31(7):1166-1170.
- [9] ORESCANIN V, KOLLAR R, RUK D, et al. Characterization and electrochemical treatment of landfill leachate[J]. Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substance & Environmental Engineering, 2012, 47(3):

- 462-469.
- [10] 商平,刘涛利,孔祥军. PAC与PFS复合混凝/沉淀法预处理垃圾渗滤液[J]. 中国给水排水,2011,27(1):65-67.
- [11] BARIS C, BULENT M, BULENT I. Landfill leachate management in Istanbul: applications and alternatives[J]. Chemosphere, 2005, 59:819-829.
- [12] 宋玮华,尹军,曹俊华,等. MAP沉淀法回收垃圾渗滤液中高浓度氨氮试验研究[J]. 吉林农业大学学报,2012,34(3):316-320.
- [13] CAO L, GUAN W S, LU L G. Study on the landfill leachate pretreatment based on coagulation and MAP precipitation[C]// International Conference on Electronics, Communications and Control, 2011:2324-2327.
- [14] ROODBARI A, NODEHI R, NABIZADEH, et al. Use of a sono-catalytic process to improve the biodegradability of landfill leachate[J]. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2012, 29(2):221-230.
- [15] NECZAJ E, OKONIEWSKA E, MALGORZATA K. Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor [J]. Desalination, 2005, 185(4):357-362.
- [16] WANG S L, WU X H, WANG Y S, et al. Removal of organic matter and ammonia nitrogen from landfill leachate by ultrasound[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2008(15):933-937.
- [17] TATSI A A, ZOUBOULIS A I, MATIS K A, SAMARAS P. Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates[J]. Chemosphere, 2003, 53:737-744.
- [18] MARANON E, CASTRILLON L, FERN Y N, et al. Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-denitrification plant[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 156:538-544.
- [19] 郭健,邓超冰,洗萍,等. “微滤+反渗透”工艺在处理垃圾渗滤液中的应用研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(5):170-174.
- [20] Mohammad A W, Hila L N, Pei L Y. Treatment of landfill leachate wastewater by nanofiltration membrane[J]. International Journal of Green Energy, 2004, 1(2):254-263.
- [21] 许丽华,戚丽,刘恩华,等. 纳滤/反渗透/石灰混凝法深度处理垃圾渗滤液[J]. 水处理技术, 2012, 38(4):96-99.
- [22] ANTONIO L P, MIEHELE P, ANGELA V. Fentons pretreatment of mature landfill leachate [J]. Chemosphere, 2004(54):1005-1010.
- [23] 赵冰清,陈胜,孙德智,等. Fenton工艺深度处理垃圾渗滤液中难降解有机物[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(8):1285-1288.
- [24] SALEM S, ABU A, HAMIDI A A. New treatment of stabilized leachate by ozone/Fenton in the advanced oxidation process [J]. Waste Management, 2012, 32:1693-1698.
- [25] 齐利华,张智,祖士卿. 电解氧化深度处理老龄垃圾渗滤液试验研究[J]. 水处理技术, 2011, 37(7):65-69.
- [26] 夏鹏飞,魏晓云,刘锐平,等. 强化混凝-光电氧化组合技术深度处理垃圾渗滤液[J]. 环境科学报, 2011, 31(1):13-19.
- [27] PETERSON B M, RODNEI B. Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor[J]. Chemosphere, 2005, 58:41-46.
- [28] 杨运平,唐金晶,方芳,等. UV/TiO₂/Fenton光催化氧化垃圾渗滤液的研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(7):34-37.
- [29] ZHAO X, QU J H, LIU H J, et al. Photoelectrochemical treatment of landfill leachate in a continuous flow reactor[J]. Biore-source Technology, 2010, 101(3):865-869.
- [30] JERRY J, WU C C, MA H W, et al. Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes[J]. Chemosphere 2004, 54:997-1003.
- [31] CAO S L, CHEN G H, HU X J, et al. Catalytic wet air oxidation of wastewater containing ammonia and phenol over activated carbon supported Pt catalysts[J]. Catalysis Today, 2003, 88:37-47.
- [32] 李海生,刘光辉,刘亮,等. 城市垃圾填埋场渗滤液处理研究进展[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1):77-80.
- [33] 叶正芳,俞红燕,温丽丽,等. 固定化微生物处理垃圾渗滤液[J]. 中国科学, 2008, 38(8):721-727.
- [34] 孙艳波,周少奇,李伙生,等. SBR工艺处理晚期垃圾渗滤液的脱氮特性研究[J]. 环境科学, 2010, 31(2):357-362.
- [35] ISMAIL T, IMEN S, TAREK D, et al. Coupling of anoxic and aerobic biological treatment of landfill leachate[J]. De-salination, 2009, 246 (1/3):506-513.
- [36] DENIZ A, CIGDEM K A, KOZET Y, et al. Treatment of landfill leachate using UASB-MBR-SHARON-Anammox configu-

- ration[J]. *Biodegradation*, 2013, 24(3):399-412.
- [37] 王军,袁维芳,陈小珍. ASBR处理中晚期垃圾渗滤液中试研究[J]. *广东化工*, 2011, 38(3):159-162.
- [38] 陈小玲,李金城,孙鑫,等. ABR反应器对垃圾渗滤液的处理试验研究[J]. *水科学与工程学报*, 2012, (5):21-24.
- [39] GOVAHI S, KARIMI-JASHNI A, DERAKHSHAN M. Treatability of landfill leachate by combined upflow anaerobic sludge blanket reactor and aerated lagoon[J]. *Int J Environ Sci Technol*, 2012, 9(1):145-151.
- [40] FANG F, ABBAS A A, CHEN Y P, et al. Anaerobic/aerobic/coagulation treatment of leachate from a municipal solid wastes incineration plant [J]. *Environmental Technology*, 2012, 33(8):927-935.
- [41] 刘牡,彭永臻,宋燕杰,等. 厌氧-好氧组合工艺处理垃圾渗滤液短程硝化的二次启动[J]. *水处理技术*, 2011, 37(2):52-58.
- [42] 王传英. 城市生活垃圾填埋场渗滤液回灌处理技术实验研究[D]. 长安:长安大学, 2011.
- [43] LIU S, ZHANG Z B, LI Y, et al. Study on the treatment effect of ammonia in landfill leachate by recirculation [C]//*Future Materials Engineering and Industry Application*, 2012, 365:396-402.
- [44] HUANG F S, HUNG J M, LU C J. Enhanced leachate recirculation and stabilization in a pilot landfill bioreactor in Taiwan [J]. *Waste Management & Research*, 2012, 30(8):849-857.
- [45] CHRISTOPHER O A, MOHD S Y, AHMAD A Z. Landfill leachate treatment using sub-surface flow constructed wetland by *Cyperus haspan* [J]. *Waste Management*, 2012, 32:1387-1393.
- [46] VARIGA S, CHONGRAK P. Nitrogen mass balance and microbial analysis of constructed wetlands treating municipal landfill leachate[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(3):565-570.
- [47] 刘倩,谢冰,胡冲. 陈垃圾反应床+芦苇人工湿地处理垃圾渗滤液[J]. *环境工程学报*, 2012, 6(4):1108-1112.
- [48] BU L, WANG K, ZHAO Q L. Characterization of dissolved organic matter during landfill leachate treatment by sequencing batch reactor, aeration corrosive cell-Fenton, and granular activated carbon in series [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 179(1/3):1096-1105.
- [49] HALIL H, SEZAHAT A U, UBEYDE I, et al. Stripping/flocculation/membrane bioreactor/reverse osmosis treatment of municipal landfill leachate[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 171(1-3):309-317.
- [50] 龚为进,段学军,刘磊. 吹脱-UASB-A/O-MBR-反渗透工艺处理垃圾渗滤液[J]. *工业水处理*, 2012, 32(9):75-77.

Research Development of Landfill Leachate Treatment Process

Nie Fahui, Li Wenting, Liu Zhanmeng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Landfill leachate is a kind of refractory organic wastewater with high concentration. Based on the production and features of waste leachate, this paper introduces domestic and international waste leachate treatment technology, analyzing the characteristics of various processing methods. It points out that combined with the practice the joint processing will be the main research direction of the leachate treatment in the future.

Key words: landfill leachate; physico-chemical process; biochemical process; land treatment