

文章编号:1005-0523(2015)01-0137-06

矿化垃圾反应床处理印染废水系统驯化效果

李丽,刘占孟,聂发辉

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:为开发廉价的吸附剂和生物载体,将矿化垃圾资源化利用,在实验室建立矿化垃圾反应床处理模拟染料废水,考察容积负荷及水力负荷渐增法对反应床内微生物的驯化效果。驯化结束时,容积负荷渐增法出水中COD、NH₃-N、TP、MB浓度分别为49.81,3.06,0.45,1.09 mg·L⁻¹,驯化时间越长出水效果越稳定,去除率维持在98%以上。水力负荷渐增法驯化结束时出水COD、NH₃-N、TP、MB分别为81.00,4.39,0.15,1.38 mg·L⁻¹。结果表明两种驯化方法均可取得较好的驯化效果,容积负荷渐增法去除效果优于水力负荷渐增法。在矿化垃圾反应床处理染料废水应用中,将选用容积负荷渐增法对矿化垃圾进行驯化,同时需保证一定的驯化时间。

关键词:矿化垃圾反应床;水力负荷渐增法;有机污染负荷渐增法;印染废水;驯化

中图分类号:X705

文献标志码:A

每年有大约1.54亿吨垃圾送到垃圾场,其中一半靠卫生填埋,填埋垃圾需要经过较长的时间稳定^[1]。垃圾填埋场封场10年左右,垃圾中有机质含量小于10%,易降解有机物完全或接近完全降解,表面沉降量小于10 mm·a⁻¹,垃圾自身不再产生渗滤液、填埋气体和异味,达到稳定化状态,此时称为矿化垃圾^[2-4]。矿化垃圾具有容重小、孔隙率高、阳离子含量高、微生物种类多、较强的生存及降解能力等优点而成为良好的生物介质,在难降解有机物方面有明显的优势^[5-6]。其去除机理主要利用自身所具有的吸附和生物降解功能完成,其中以生物降解为主^[7]。矿化垃圾作为微生物生存的载体又具有较强的吸附能力,可调节进水中污染物浓度,提高反应床抗冲击负荷能力^[8],矿化垃圾的应用可以减少垃圾又可以为污染物的去除提供新的方向,研究^[9]发现矿化垃圾反应床已经在垃圾渗滤液应用中凸显其经济优势,进水COD、BOD、NH₃-N分别为10 000,5 000,1 800 mg·L⁻¹时可降解到小于300~400,10~20,5~15 mg·L⁻¹,出水清澈无味。也有研究发现^[10]两段生物反应器可以去除64%COD,95.8%~99.8%的BOD₅和96.9%~99.8%的NH₃-N。

在对矿化垃圾进行资源化利用^[11]研究,寻找一种廉价的吸附剂和生物载体,取代价格昂贵的活性炭、沸石等吸附材料。拟对印染废水进行吸附—生物降解试验研究,开发安全可靠、操作简单、高效低耗的印染废水处理新工艺,为矿化垃圾处理该类废水工艺提供可靠的运行参数。

1 实验材料及方法

1.1 矿化垃圾特性

实验所用矿化垃圾取自南昌市麦园垃圾填埋场9年垃圾,实验室经自然风干、简单分选,剔除颗粒较大石子、碎玻璃、未完全降解的橡胶塑料以及木棒、纸类等杂物,过筛后粒径小于10 mm的矿化垃圾。所选矿化垃圾具有以下特点^[12]:①成分要均匀。矿化垃圾填入反应器前先进行干燥,使各组分不互相黏附,易于分离,然后通过一定孔径筛子,经筛分将筛下物混和均匀填入反应器,使填料层更均匀,有效避免不均匀流

收稿日期:2014-09-07

基金项目:江西省科技厅资助项目(20122BBG70081);江西省道路与铁道工程重点实验室资助项目(14TM01)

作者简介:李丽(1979—),女,讲师,研究方向为水污染治理与控制。

发生。②需要压实。吸水后矿化垃圾体积有所减少,如不压实,可能由于填料体积收缩而在反应床中空间分布不均,布水一段时间后要添加一定矿化垃圾并再次压实床体。③有装填密度要求^[13]。装填矿化垃圾时各 ARBBRs 均采用同样的装填量及初始装填密度。垃圾压实密度越大,孔隙度越小越不利于对污染物去除,实验采用初始装填密度为 $830 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,大柱装填量为 38 kg,小柱装填量为 12 kg。

1.2 矿化垃圾反应床装置

为避免形成死角和便于观察处理过程中矿化垃圾变化情况,采用4组有机玻璃圆柱体结构反应床装置(见图1,2),其中1,2#反应床直径185 mm,3,4#直径104 mm,用UPVC材料焊接加工制成。床体分两段连接,中部法兰和底端垫有孔径5 mm PVC板,底端装填高100 mm 碎石承托层,一是在反应床底部承托架空垃圾层,维持较高的渗滤速率,利于渗滤过程持续进行,起到出水导流及过滤作用,避免废水中悬浮物堵塞出流管;二是通过滤液排出和排水口空气进入,提高填料层内的DO含量,促进垃圾介质层与外界气体交换。为检测不同高度出水水质和柱内氧供给,在反应床不同高度设置出水孔。反应床装填矿化垃圾,顶部铺设50 mm厚卵石层以均匀布水,防止废水在矿化垃圾柱中形成沟流,减少停留和接触时间。装置底部末端安装阀门用来放空及取样。矿化垃圾反应柱进水量较小,采用体积为3 L,下部有孔并插有橡皮塞和吊瓶管的瓶子调节流量的进水方式。

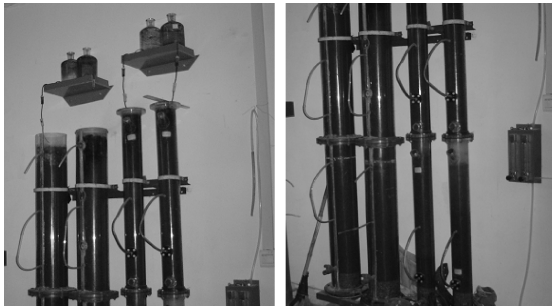


图1 矿化垃圾反应床实物图

Fig.1 Picture of actual ARBBRs

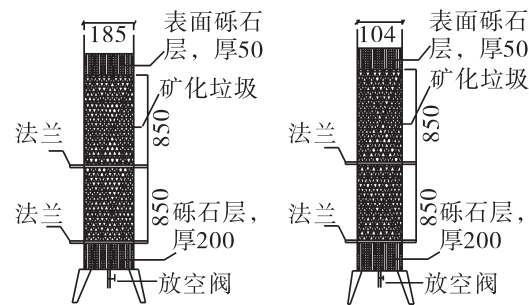


图2 矿化垃圾反应床结构图

Fig.2 Structure graph of ARBBRs

1.3 驯化方法

由于现场无足够粪便废水,采用有机污染负荷和水力负荷渐增法对矿化垃圾反应柱进行驯化。矿化垃圾反应床经过36 d驯化,6个浓度梯度使最终存活下来的微生物能以高浓度渗滤液作为营养物质来源进行生长繁殖,并具有较强的适应性和抗性,从而降解染料废水^[9]。

容积负荷渐增法:对微生物进行培养,分阶段提高进水浓度,进水 $4.5 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$,进水频率为 $1 \text{ 次} \cdot \text{d}^{-1}$,进水水力负荷为 $100 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,落干比为1:5,初始进水浓度为 $135 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 情况下,逐渐提高进水浓度,每阶段运行6 d,1,2#两个反应器同时运行取均值。

水力负荷渐增法:对微生物进行培养,分阶段提高进水量。在进水COD浓度为 $(2873 \pm 166) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,进水 $0.5 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$,进水频率为 $1 \text{ 次} \cdot \text{d}^{-1}$,水力负荷分别为75,150,200,250,300 $\text{L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,落干比为1:5,逐步提高进水水力负荷,每阶段运行6 d,3,4#两个反应器同时运行取均值。

1.4 驯化用水

试验所用废水为人工模拟印染废水,染料采用亚甲基蓝,浓度范围为 $100 \sim 150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。矿化垃圾中氮和磷不能满足生物生长繁殖需要,为保证生物反应床稳定高效运行,根据亚甲基蓝浓度按一定比例向实验用水中投加氮和磷,使COD:N:P为100:5:1,pH=7.5~8.0,其中COD用葡萄糖补充,氯化铵补充氮,磷酸二氢钾补充磷。其它营养物和微量元素的组成如下: $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$, $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$, $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{MgSO}_4$, $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{MnSO}_4$ 。驯化初期,原水采用学校孔目湖水补充微生物生长繁殖的微量元素并添加其它营养物质,驯化结束后,采用自来水配水配置。

1.5 实验分析方法

根据《水和废水测试分析方法(第4版)》化学需氧量 COD_{cr} 采用重铬酸钾法(快速 COD_{cr} 测定法); $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度法;总磷(TP)采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法;MB(亚甲基蓝)采用分光光度法测定。

2 实验结果与讨论

2.1 容积负荷渐增法驯化

从图3看出矿化垃圾反应床在处理印染废水时,能适应 COD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP的浓度变化,出水水质稳定,具有较好的抗冲击负荷能力^[14],驯化效果良好。

随驯化时间增长及进水 COD 浓度增加,难降解高浓度有机物降低^[15],出水浓度低于 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,达到纺织染整工业水污染物排放标准(GB4287-2012)($80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。在第一污染物浓度梯度下,去除率先升后降再升,开始去除以吸附为主直至饱和,而后以生物降解为主进一步提高去除率。进水浓度达到 $(382\pm 15)\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度梯度以上,去除率高于95%直至结束去除率达到98%以上,出水浓度小于 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,达到理想的驯化效果。

整个驯化阶段出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 稳定,低于 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。驯化初期去除率先升后降再升,实验所用矿化垃圾为类土壤物质,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有一定吸附作用,而 NH_4^+ 带正电,易被表面带负电的矿化垃圾所吸附。整个作用过程短暂,很快达到平衡,如果没进一步去除作用,吸附对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除很快因饱和而失效,吸附转变为生物降解。在继续驯化过程中,随驯化时间及容积负荷增大出水稳定,达到直接排放标准($10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。

TP去除效果在整个过程中均较好,污染物变化对出水影响较小,去除率接近100%,具有较好的抗冲击负荷能力,说明矿化垃圾反应床对TP去除效果明显,出水达直接排放标准($0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。

染料(MB)浓度在 $100\sim 150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时出水MB几乎为零,去除率接近100%,出水清澈,色度完全达标。矿化垃圾具有较强的吸附性能,实验采用的矿化垃圾柱在浓度较低时很难被穿透,MB完全靠吸附、生物作用能完全去除。

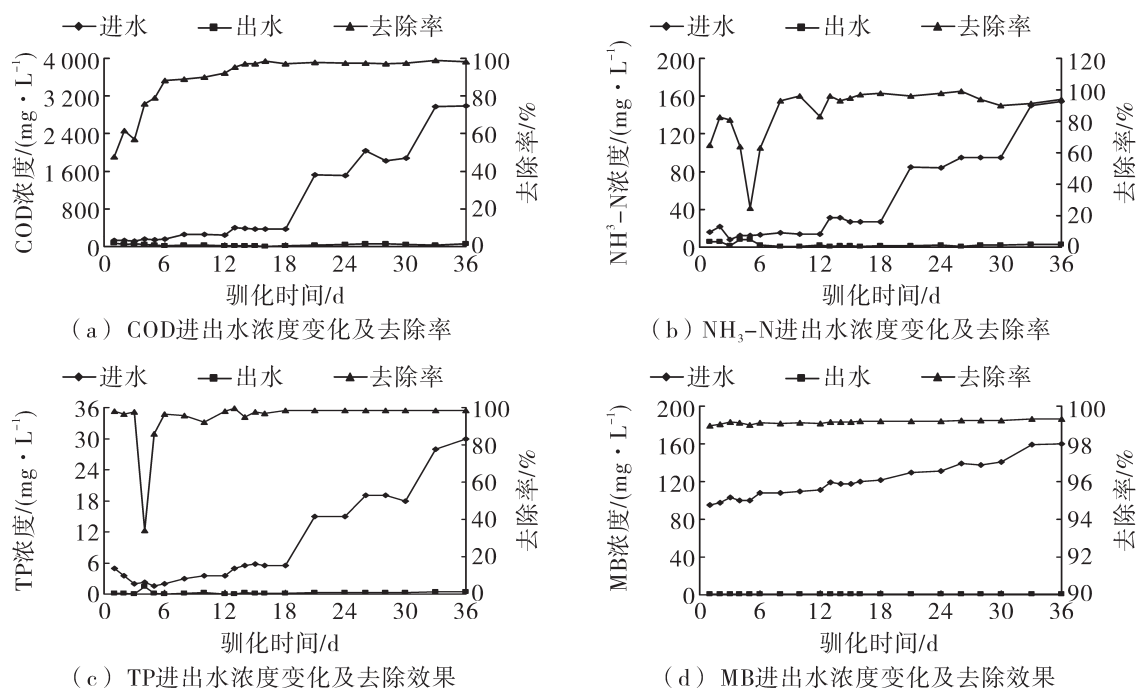


图3 容积负荷渐增法驯化反应床效果

Fig.3 Acclimation of volume loading incremental method

2.2 水力负荷渐增法驯化

图4反映了不同水力负荷下矿化垃圾床的驯化效果。

水力负荷为 $75 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, COD 去除率在 99% 以上, 出水浓度低于 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 达到直接排放标准 ($80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。水力负荷为 $150 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, 去除率逐渐下降较第一梯度效果差^[16], 去除率维持在 80% 以上。主要因为垃圾层在低水力负荷条件下未达到饱和含水率, 水力负荷增大到一定值后, 较多的水量及流速引起对垃圾层中微生物的冲刷, 不利于微生物附着, 参与降解废水中有机物微生物减少, 处理效果降低。

整个驯化阶段, $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率保持在 90% 以上, 驯化结束时达到 97%, 整个过程出水浓度低于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 可直接排放 ($10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。驯化过程中, 去除率先升后降再升, 是由于矿化垃圾吸附变为微生物降解作用。最后两个梯度下, 去除率随水力负荷增加而降低, 水力负荷大吸附截留于矿化垃圾上的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 未被微生物降解而随废水流出, 去除率下降。水力负荷增大到 $250 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, 下面阀门未打开时, 废水在柱子上部开始累积淹没矿化垃圾柱, 未淹没前靠矿化垃圾缝隙, 进水和落干时空气复氧使柱子上部 DO 浓度较高, 淹没后减少。

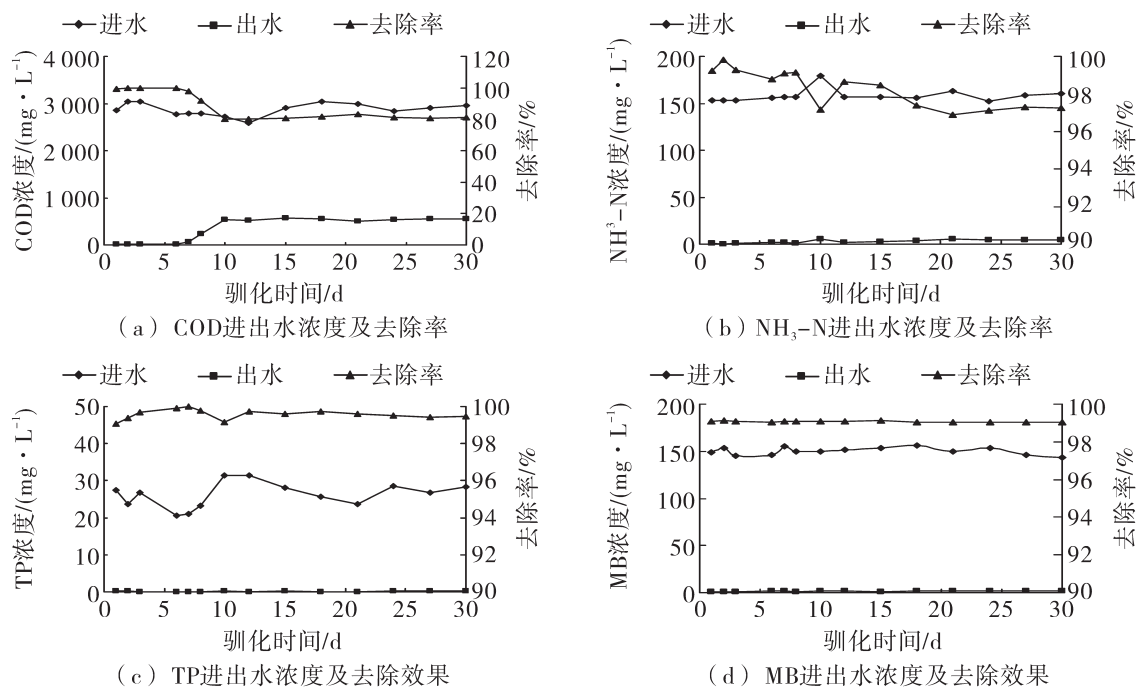


图4 水力负荷渐增法驯化反应床效果

Fig.4 Acclimation of hydraulic loading incremental method

TP 的去除率随水力负荷及驯化时间变化稳定, 去除效果好, 整个驯化过程去除率大于 99%, 出水浓度低, 达到直接排放标准 ($0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 逐步增大水力负荷条件下矿化垃圾反应床驯化效果明显。

MB 去除稳定, 整个过程去除率大于 99%, 出水浓度低, 利用水力负荷渐增法对矿化垃圾反应床进行驯化, 对 MB 去除效果比较明显。

2.3 两种驯化方式的对比分析

1) 不同驯化方式 COD 去除效果分析。驯化第一段, 进水有机污染物总量高时, 3, 4# 优于 1, 2# 反应床, 进水量 (0.5 L) 较小的 3, 4# 反应床出水时间比进水量大 (4.5 L) 的 1, 2# 反应床要长, 说明进水量小时, 废水在反应器中停留时间长, 提高了反应床对进入床体废水中有机物截留和吸附效率。水力负荷大于 $75 \text{ L} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, 3, 4# 反应床去除率下降。水力负荷冲击对反应床中微生物增值造成负面影响, 1, 2# 反应床随驯化梯度变化去除率逐渐升高。驯化结束时, 容积负荷渐增法优于水力负荷渐增法。

当微生物连续培养时,微生物比增长速率(μ)与菌液的稀释率(D)关系决定培养器内微生物浓度变化^[17], $\mu < D$ 时浓度不断减少。3,4#反应床间歇进水,进水前反应床中培养液体积视为恒定,随水力负荷增大,渗滤液流速增大,稀释率 D 增大。同一水力负荷运行时,微生物比增长速率视为不变,突然增大的水力负荷使 $\mu < D$,反应床中微生物浓度减少,3,4#反应床随水力负荷增高去除率降低。有机负荷渐增法驯化时,进水浓度发生变化,一次进水量不变,浓度变化增加反应床中微生物营养物质来源,微生物持续增长,去除率上升。

2) 不同驯化方式 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率对比分析。驯化前期,水力负荷渐增法优于污染负荷渐增法。反应床结构相似时,矿化垃圾反应床由上而下分好氧、兼氧、厌氧作用^[18]。流经矿化垃圾反应床过程中,在物理过滤与吸附、化学分解与沉淀、离子交换与螯合等非生物作用下,首先被截留在床体浅层生物填料表面,在落干期良好的好氧条件下,经生物氧化和降解,获得微生物生理生化活动所需能量。

驯化后期直至结束,两种方法驯化效果相似。当3,4#柱水力负荷超过 $200 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$,去除率下降,对应1,2#柱在污染负荷为 $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,去除率上升。矿化垃圾反应柱对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的脱除主要发生在上层好氧区,较小的水力负荷使渗滤液在床中停留时间延长,利于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 氧化,效果好。采用容积负荷渐增法水力负荷较高,渗滤液快速渗入到床体中层及下层的兼氧和厌氧区, $\text{NH}_3\text{-N}$ 氧化效率降低。驯化中后期,两种方式去除率均高于90%。

3) 不同驯化方式总磷、MB去除率对比分析。两种方式均对TP、MB有较好的去除效果,去除率高于99%。研究表明^[46]矿化垃圾具有磷吸附容量大和吸附态磷的解吸率低等特点。从实验结果明显得出矿化垃圾反应柱能对磷、MB有效进行吸附处理。综合矿化垃圾表面积大及丰富的微生物相,再经过废水驯化作用,对磷及MB去除作用更加明显。

3 结论

1) 采用有机污染负荷逐增法驯化,1,2#柱出水COD在每个驯化梯度平均值均低于 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,达到直接排放标准($80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),出水氨氮低于 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,可直接排放。

2) 采用水力负荷逐增法驯化,出水COD在 $100 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 时平均值为 $10.08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,达到直接排放标准($80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),其它梯度下不能达标排放。出水氨氮在各个梯度下均低于 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,达到直接排放标准($10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),去除率高于96%。

3) 采用污染负荷逐增法驯化效果优于水力负荷逐增法,历经一个月左右时间的驯化,COD、氨氮、总磷去除率高于97%,取得很好的驯化效果。

4) 驯化过程中,当水力负荷增大到 $250 \text{ L}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$,进水开始在柱体上部累积,出现进水速率大于下渗速率而导致处理床顶部出水溢出,柱体发生堵塞。停止进水2~3个周期,现象即好转再继续实验。

参考文献:

- [1] SUN YINGJIE, SUNXIAOJIE, ZHAO YOUCAI. Comparison of semi-aerobic and anaerobic degradation of refuse with recirculation after leachate treatment by aged refuse bioreactor[J]. Waste Management, 2011, 31: 1202-1209.
- [2] 李华,赵由才. 填埋场稳定化垃圾的开采、利用及填埋场土地利用分析[J]. 环境卫生工程, 2000, 8(2): 56-57.
- [3] 郭强,柴晓利,程海静,等. 矿化垃圾生物反应床处理含酚废水工艺研究[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(11): 822-826.
- [4] 唐朝春,敖永波,刘占孟,等. 矿化垃圾静态吸附处理模拟印染废水试验研究[J]. 华东交通大学学报, 2009, 26(3): 11-15.
- [5] ZHAO YOUCAI, SHAO FANG. Use of an aged-refuse biofilter for the treatment of feedlots wastewaters[J]. Envir Eng Sci, 2004, 21(3): 349-360.

- [6] LI H, GU Y, ZHAO Y, et al. Leachate treatment using a demonstration aged refuse biofilter[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010,22(7):1116-1122.
- [7] 柴晓利. 矿化垃圾吸附与降解酚类化合物的机理及工艺研究[D]. 上海:同济大学,2003.
- [8] 郭强,柴晓利,程海静,等. 矿化垃圾生物反应床处理含酚废水工艺研究[J]. 环境污染与防治, 2006,28(11):822-826.
- [9] LI H J, ZHAO Y C, SHI L, et al. Three-stage aged refuse biofilter for the treatment of landfill leachate[J]. Journal of Environmental Sciences,2009,21(1):70-75.
- [10] SUN Y, SUN X, ZHAO Y. Comparison of semi-aerobic and anaerobic degradation of refuse with recirculation after leachate treatment by aged refuse bioreactor[J].Waste Management,2011,31:1202-1209.
- [11] 聂发辉,刘占孟,敖永波.矿化垃圾吸附-生物降解处理有机废水的研究进展[J].邢台职业技术学院学报, 2010,27(5):38-40.
- [12] 肖灿. 矿化垃圾生物反应床处理未蒸氨焦化废水工艺研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [13] 陈军. 矿化垃圾处理垃圾浓缩液[J]. 环境科学与管理, 2007,32(12):110-111.
- [14] 陈颖,喻泽斌,孔玲芳,等.准好氧矿化垃圾反应床+超声/芬顿联用技术处理垃圾渗滤液[J].环境工程学报,2013,10(7):3946-3952.
- [15] 安正阳,王海峰,徐晓军,等.一种处理矿化床垃圾渗滤液出水工艺的试验研究[J].水处理技术,2011,37(6):106-110.
- [16] 何水晶,李启彬,刘忠鹏.准好氧矿化垃圾床处理渗滤液的试验研究[J].环境科学与技术,2009,32(7):152-155.
- [17] 任南琪, 马放, 杨基先,等. 污染控制微生物学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [18] 刘大超.矿化垃圾生物反应床处理垃圾渗滤液[J]. 金属矿山, 2008,381(3):138-140.

Study on Acclimation of Dyeing Wastewater Treatment with the Use of Aged Refuse Reactor

Li Li, Liu Zhanmeng, Nie Fahui

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

Abstract: For the development of low-cost adsorbent and biological carrier, and the mineralized waste resource utilization, this study established the aged refuse reactor with simulated dyeing wastewater in the laboratory to investigate increasing volume loading and hydraulic loading method for acclimated microorganisms inside the reactor. At the end of the training, effluents of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, MB were 49.81, 3.06, 0.45, 1.09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectively for the increasing volume loading method. The effluent was more stable with the time being longer, and removal rate of the pollution remained above 98%. Effluents of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TP, MB were 81.00, 4.39, 0.15, 1.38 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ at the end of increasing hydraulic loading method. The results showed that the two methods can achieve better acclimation effect, and it is better for the increasing volume loading than the hydraulic loading method. For the application of aged refuse reactor on dyeing wastewater, volume loading method can be chosen and a certain degree of training time is needed.

Key words: aged refuse reactor; hydraulic loading incremental method; volume loading incremental method; dyeing wastewater; acclimation

(责任编辑 刘棉玲)