

曝气生物活性炭滤池深度处理垃圾渗滤液的效能研究

尉 然, 赵庆良, 丁 晶, 王广智

(哈尔滨工业大学环境学院 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 为了考察曝气生物活性炭滤池(BACF)深度处理垃圾渗滤液的效能,研究了填料填充度、曝气位置、气水比、水力停留时间和pH等影响因素对滤池去除有机物、氨氮和总氮的影响。结果表明,最佳的工艺运行条件为:填料填充度为80%,底部曝气,气水比为3:1,水力停留时间为8h,pH为7~8。在最佳工艺条件下运行反应器,COD、氨氮和TN平均去除率分别达到85%、90%和57%,出水可达到实验设定水质要求。BACF具有较强的抗有机负荷能力,进水COD浓度在323至3000mg/L之间时,COD去除率稳定在80%。反应器受氨氮冲击负荷影响较大,氨氮进水浓度低于90mg/L时,出水可达到要求。

关键词: 曝气生物活性炭滤池; 垃圾渗滤液; 影响因素; 冲击负荷

中图分类号: X703

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2017.02.006

Study of the Efficiency of Biological Aerated Carbon Filter for Advanced Treatment of Landfill Leachate

Wei Ran, Zhao Qingliang, Ding Jing, Wang Guangzhi

(State Key Laboratory of Urban Water Resources and Environment, School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: In this paper, with the aim at investigating the efficiency of advanced treatment of landfill leachate by biological aerated carbon filter (BACF), the effects of influencing factors such as filler filling degree, aeration position, air-water ratio, hydraulic retention time and pH on removal of organics, ammonia nitrogen and total nitrogen were studied. The results indicated that the optimal parameters of the combined process were as follows: filling degree of the filler was 80%, aeration position was at the bottom, gas-water ratio was 3:1, hydraulic retention time was 8 h, and pH was 7~8. Under the optimum conditions, the average removal rate of COD, ammonia nitrogen and TN was 85%, 90% and 57% respectively, and the effluent met the experimental requirement. BACF had a strong anti-organic load capacity and the removal rate of COD kept steady at 80% when COD concentration of the influent was ranged from 323 to 3000 mg/L. However, shock load of ammonia nitrogen greatly impacted the BACF. When the concentration of ammonia nitrogen of the influent was controlled below 90 mg/L, the effluent met the requirements.

Keywords: Biological Aerated Carbon Filter; Landfill Leachate; Influencing Factor; Shock Loading

CLC number: X703

垃圾渗滤液是垃圾在填埋或焚烧处理处置过程中产生的一种高浓度有机废水,具有成分复杂、微生物营养比例失调、水质水量变化大、氨氮浓度高等特点^[1]。垃圾渗滤液如不加以处理,

会对地下水、大气、土壤等环境造成严重的二次污染^[2],其中有毒有害物质将对人类健康造成巨大危害。目前垃圾渗滤液的生物出水仍具有大量的有机污染物和氨氮,因此,研究深度处理垃圾

收稿日期: 2017-02-10

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07201-003-002)基金资助

作者简介: 尉 然(1992-), 硕士研究生。研究方向: 污水处理。

通信作者: 赵庆良(1962-), 博士、教授。研究方向: 废水处理与资源化。E-mail: zhql1962@163.com

渗滤液技术，具有重要的意义。

曝气生物活性炭滤池在深度处理方法中具有占地面积小、容积负荷高、能耗低、出水水质好、运行成本低等特点^[3]，已被用于各类污水的深度处理中。目前对该工艺的研究主要集中于对工业废水的深度处理上，如印染废水^[4]、石化二级出水^[5]、造纸废水^[6]等，也有研究将此工艺运用到深度处理垃圾渗滤液中，如将曝气生物滤池与臭氧预氧化^[7]、芬顿氧化^[8]等高级氧化技术联用，均可使垃圾渗滤液出水达到国家标准。然而，垃圾渗滤液具有水质波动大的特性^[9]，冲击负荷对反应器效能影响较大，但目前关于垃圾渗滤液水质波动对曝气生物滤池的影响报道较少，因此研究负荷对反应器的冲击情况可确保反应器的正常运行，对于该项技术的实际应用意义较大。

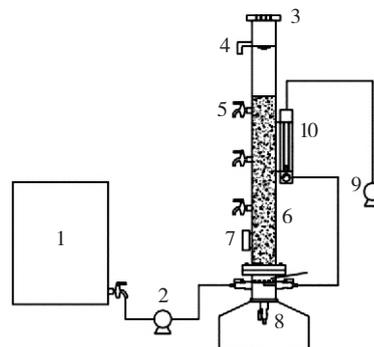
文章通过研究填料填充度、曝气位置、气水比、水力停留时间、pH等对曝气生物活性炭滤池效能的影响，获得较优的工艺组合条件，并在此基础上考察了冲击负荷对滤池的影响，为该工艺的后续深入研究以及深度处理垃圾渗滤液方面提供指导和依据。

1 材料与方 法

1.1 实验装置与运行方式

实验主体装置采用有机玻璃自制而成。水箱尺寸为 $L \times B \times H = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 。曝气生物滤池直径为100mm，有效高度为900mm，底部设有曝气口、进水口，于柱体不同位置等距设置三个取样口，上部设有出水口。池内填料采用破碎活性炭，型号为PJ8×20，购自山西新华

活性炭有限公司。曝气生物活性炭滤池示意图，见图1。



1-水箱，2-蠕动泵，3-反应器罩，4-出水管，5-取样口，6-填料，7-活性炭取样口，8-放空管，9-鼓风机，10-空气流量计，11-布气装置

图1 反应器示意图

废水在水箱中由蠕动泵进入曝气生物活性炭滤池，自下而上经曝气泵曝气与填料充分接触，最终从滤池上部出水口排出出水。

1.2 用水水质与实验方法

实验处理垃圾渗滤液取自河南某垃圾焚烧厂。该焚烧厂垃圾渗滤液拟采用“强化升流式厌氧复合床(EUBF)+移动床生物膜(MBBR)+铁碳包容微电解+曝气生物活性炭滤池+电化学氧化/絮凝”组合工艺。该项实验用水取自铁碳包容微电解出水，在考察pH的影响时，用分析纯盐酸或氢氧化钠对废水进行pH的调节。在进行冲击试验时，利用少量垃圾渗滤液原液提高铁碳微电解出水中有机物和氨氮的浓度，以满足进水不同浓度的需求。垃圾渗滤液原液、铁碳包容微电解出水水质、实验进水以及出水要求(以COD和氨氮为主)见表1。

表1 实验用水水质及出水要求

实验水质要求	COD/mg·L ⁻¹	氨氮/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	BOD/mg·L ⁻¹	pH
垃圾渗滤液原液	50 000	1 500~2 300	2 000~3 000	35 000	5~8
铁碳微电解出水	400	90	120	200	7~8
实验出水要求	120	40	60	50	7~8

实验所涉及的指标均采用标准方法测定。其中主要指标：COD采用快速密闭消解法，氨氮采用纳氏试剂分光光度法，TN采用总有机碳分析仪测定，pH采用便携pH计测定。

2 结果与讨论

2.1 运行条件对曝气生物活性炭滤池的效能影响

2.1.1 填料填充度 碳氧化和硝化反应在同一个反应器中进行时，异养菌和自养菌对营养物质、

生存场所存在竞争,故在不同高度的填料层会形成不同的微生物优势种群,导致不同高度填料层微生物去除COD和氨氮的能力不同^[10]。为考察填料层高度对不同污染物的去除能力,选取填料填充度(η)分别为20%、40%、60%和80%,以5d为周期,对反应器进出水的COD和氨氮浓度进行测定。填料填充度对污染物去除的影响,见图2。

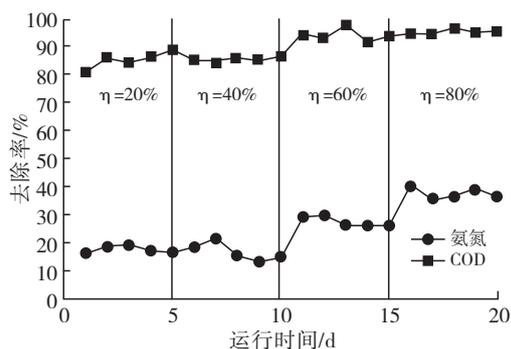


图2 填料填充度对COD和氨氮去除的影响

从图2可以看出,随着填料填充度的增加,氨氮的去除率逐渐增加,当填料填充度为80%时,氨氮去除率达到最高(40%)。COD去除率变化趋势与氨氮有所不同,当填料填充度为60%时,COD去除最佳,之后填料填充度对COD去除影响不大,说明去除氨氮和COD的最佳填料层填充度分别为80%和60%。此外,填充度过低,反应器内填料流化程度大,微生物难以附着在填料表面;填充度过高,填料流化程度低,导致污水与微生物接触不充分,微生物降解效果差,故存在一个最合适的填料填充度。综合比较两者去除效果,确定BACF的填料填充度为80%。

2.1.2 曝气位置 研究曝气位置对BACF效能的影响,分别采用反应器底部曝气和中部曝气的形式,考察曝气位置对反应器效能的影响。发现,底部曝气时,COD和氨氮的平均去除率分别为93%和40%。中部曝气时,COD和氨氮的平均去除率分别为85%和13%。表明,当曝气生物活性炭滤池采取上向流形式以及不设置回流的情况下,不适合采用中部曝气。中部曝气会使反应器下部形成厌氧区,上部形成好氧区,在无回流的条件下,厌氧区中硝酸盐氮无法很好的积累,且上部好氧区硝酸盐氮不能充分的反硝化,导致氨

氮的去除效能变差。同时,中部曝气使底部氧气不充足,导致有机物降解不充分,COD去除率下降。底部曝气时,沿着柱子高度形成好氧区以及缺氧微环境,在没有回流的情况下底部曝气也有利于氨氮的去除,故后续实验中均采用底部曝气的形式。

2.1.3 气水比 气水比(R)是空气量与进水量比,是影响曝气生物活性炭滤池效能的重要参数之一^[11]。合适的气水比不仅可以使反应器内溶解氧充足,保证微生物的代谢能力,从而保证污染物去除效能,还可以有效维持填料表面的微生物量。为研究气水比对BACF的影响,分别设置气水比为1:1、2:1、3:1和5:1。

氨氮的去除率随着气水比的增加而增加,当气水比为5:1时,氨氮的去除率达到最大(60%),较气水比为1:1和2:1时增加40%,较气水比为3:1时仅增加不到10%。说明气水比较低时,氧气不充足,亚硝酸盐氮没有足够的积累,氨氮去除率低,增加曝气量解决了这个问题,但当气水比增加到一定程度以后,过分曝气会减少反应器中的缺氧微环境,从而也会导致氨氮去除效果下降。结果见图3。

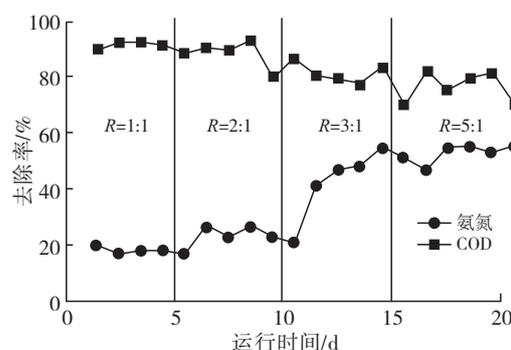


图3 气水比对COD、氨氮去除的影响

从图3可以看出,随着气水比的增加,COD的去除率逐渐下降,表明气水比增加到一定程度之后,过度曝气使微生物自身发生氧化,导致微生物含量下降,有机物去除效果变差。因此,在后续的实验中最优气水比为3:1。

2.1.4 水力停留时间 水力停留时间(HRT)对BACF的效能具有重要的影响,选取HRT分别为4、6、8和12h,结果见图4。

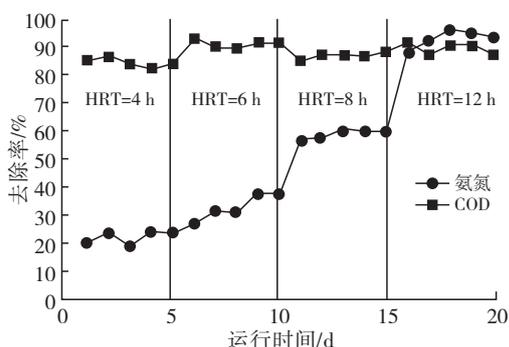


图4 水力停留时间对COD和氨氮去除的影响

从图4可以看出，HRT越长，氨氮的去除效果越好，当HRT为4 h时，氨氮的去除率仅有20%，HRT为6h时，氨氮去除率略有升高，说明此时污染物与微生物没有充分接触，微生物可能随水流出，反应器内微生物量减少导致氨氮去除效果不好。当HRT为8 h时，氨氮去除率可达到60%，在HRT为12h时，氨氮去除率达到了90%以上，说明水力停留时间越长，污水与微生物接触越充分，氨氮的去除越彻底。此外，COD受HRT的影响趋势和氨氮相同，但影响不太明显。当HRT为4h时，COD去除率在85%左右，在HRT为6 h及以后时，COD去除率在90%左右。虽然HRT的增加有利于有机物和氨氮的去除，但实际工程中无法做到无限延长水力停留时间，因此在满足水质需求的前提下，综合比较确定最佳的水力停留时间为8 h。

2.1.5 pH pH对微生物的生存与繁殖具有很大的影响。每种微生物都存在最适合的生存pH条件，当不同微生物存在于同一个反应器中时，必然存在一个最适合的pH范围。实验通过酸碱药剂调节进水pH分别为5、6、7、8、9和10。结果见图5。

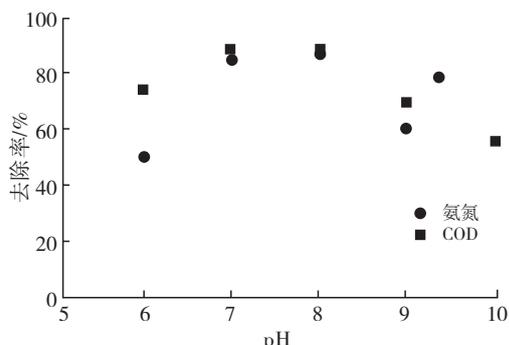


图5 pH对COD和氨氮去除的影响

从图5可以看出，pH在7~8之间时，氨氮和

COD去除率均达到最高，分别为85%和85%。当pH到6以下以及8以上，氨氮和COD去除率均下降。说明微生物对pH非常敏感，在pH值为7~8之间增值速度较快，微生物可以达到稳定高速增长，超出最适合pH范围，微生物生长速率缓慢，去除污染物的能力下降。由于前段工艺的出水pH在7~8（表1），因此进入BACF反应器前，无需对pH进行预调节。

2.2 最佳工艺条件下反应器出水及抗冲击负荷情况

经过分析得到工艺的最佳组合条件如下：填料填充度为80%，底部曝气，气水比为3:1，HRT为8 h，进水pH为7~8。在此条件下BACF稳定运行15 d，当进水COD、氨氮和TN平均浓度分别为400、92和110 mg/L时，最终得到出水浓度分别为61、9和47 mg/L，去除率分别达到85%、90%和57%。出水水质符合整体实验出水要求（表1）。

在最优反应条件下进行抗冲击负荷实验，分别考察了有机负荷和氨氮对BACF反应器的冲击情况，进一步揭示BACF反应器在不同状况下运行效能情况，为整体工艺的稳定运行提供数据参考和支撑。

2.2.1 有机负荷对BACF的冲击 为考察有机负荷对反应器效能的影响，使进水COD浓度从323 mg/L到3 000 mg/L分梯度变化，进水氨氮浓度为90 mg/L，结果见图6。

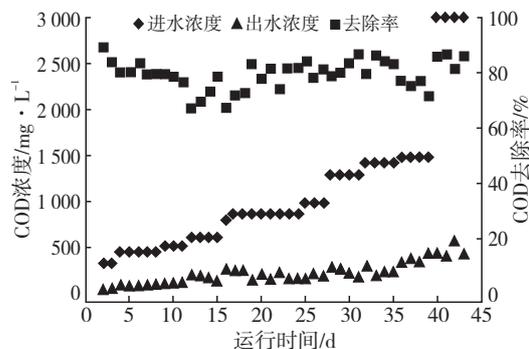


图6 有机负荷对BACF中COD去除的影响

从图6可以看出，COD出水浓度随着进水浓度的增加而增加，但平均去除率稳定在80%左右，说明曝气生物活性炭滤池的抗有机负荷能力比较强，但为满足实验出水的水质要求（表1），

还需将进水COD浓度控制在500 mg/L以下。

2.2.2 氨氮负荷对BACF的冲击 将进水氨氮浓度从40 mg/L到200 mg/L分6个浓度梯度变化, 进水COD浓度为400 mg/L, 考察氨氮负荷对BACF的运行影响, 结果见图7。

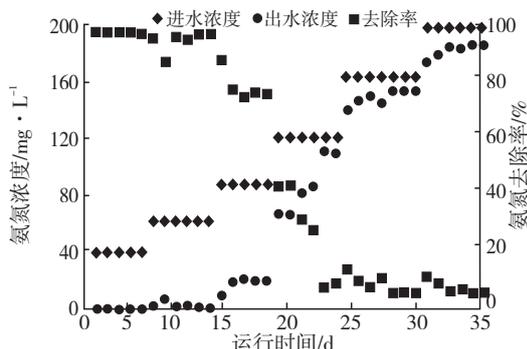


图7 氨氮负荷对BACF中氨氮去除的影响

从图7可以看出, 当进水氨氮浓度在60 mg/L以下时, 氨氮去除率可达到95%以上, 当进水氨氮浓度增加到90 mg/L时, 氨氮去除率下降到80%, 当进水氨氮浓度继续增加到120 mg/L以上时, 发现氨氮去除率明显下降, 最终去除率低至10%以下。可见进水氨氮浓度越高, 氨氮去除率越低。说明成熟的生物膜中含有的硝化细菌和反硝化细菌的数量是相对稳定的, 生物膜对氨氮的降解能力有限, 因此反应器内氨氮负荷对氨氮的去除效果影响很大。为满足整体实验对BACF中氨氮出水的要求(小于40 mg/L), 需要控制进水氨氮浓度在90 mg/L以下。

3 结论

文章通过对不同运行条件的考察, 获得BACF的最优操作条件, 并在此条件下考察有机物和氨氮负荷对BACF的效能冲击情况。综上所述可知:

(1) 曝气生物活性炭滤池最佳工艺组合条件为: 填料填充度为80%, 底部曝气, 气水比为

3:1, HRT为8 h, 进水pH为7~8。在此组合工艺条件下, 反应器出水稳定, 达到实验出水要求, COD、氨氮和TN去除率分别达到85%、90%和57%。

(2) 曝气生物活性炭滤池具有较好的抗有机负荷能力, 当进水COD浓度在323~3 000 mg/L变化时, COD去除率稳定在80%左右。为确保出水COD浓度达到整体实验要求, 须控制进水COD浓度在500 mg/L以下。

(3) 氨氮负荷对曝气生物活性炭滤池影响较大, 当进水氨氮浓度达到120 mg/L及以上, 出水氨氮浓度迅速增加, 去除率大幅度下降。为确保出水氨氮达到实验要求, 必须将进水氨氮浓度控制在90 mg/L以下。

参考文献

- [1]陈雷, 贺磊, 吴立群, 等. 垃圾渗滤液的处理现状及发展方向[J]. 环境工程, 2016, (S1): 295-298.
- [2]姜丹. 国内外垃圾渗滤液研究现状及未来展望[J]. 辽宁化工, 2016, (07): 865-868.
- [3]张小玲, 李强, 王靖楠, 等. 曝气生物滤池技术研究进展及其工艺改良[J]. 化工进展, 2015, (07): 2023-2030.
- [4]龚鸣. 曝气生物滤池用于印染废水深度处理工艺研究[D]. 苏州: 苏州科技学院, 2015.
- [5]郭明昆, 吴昌永, 周岳溪, 等. 强化除磷BAF处理石化二级出水[J]. 化工学报, 2015, (10): 4236-4243.
- [6]陈力行, 史惠祥, 沈涤清, 等. 造纸废水臭氧-曝气生物滤池深度处理技术研究[J]. 水处理技术, 2010, (08): 88-91.
- [7]邱松凯, 范举红, 黄开坚, 等. 臭氧-曝气生物滤池深度处理垃圾焚烧渗滤液可行性研究[J]. 中国环境科学, 2014, (10): 2513-2521.
- [8]曹姝文, 肖晶, 桑子祥. Fenton-BAF在晚期垃圾渗滤液深度处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2013, (02): 70-72.
- [9]吴莉娜, 涂楠楠, 程继坤, 等. 垃圾渗滤液水质特性和处理技术研究[J]. 科学技术与工程, 2014, (31): 136-143.
- [10]石驰. 曝气生物滤池运行影响因素试验研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.
- [11]仇付国, 郝晓地, 陈新华. 曝气生物滤池处理效果影响因素试验研究[J]. 环境科学与管理, 2008, (12): 81-84.