

面源污染治理技术的生命周期评价

贾璐颖¹, 毛国柱¹, 赵玉峰¹, 曾怡杭²

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 南开大学 化学学院, 天津 300071)

摘要: 采用生命周期评价(LCA)方法对人工湿地、氧化塘、土地处理三种面源污染治理技术对环境的影响进行了评价, 并采用 SimaPro7.3.3 软件分析了生命周期内能源利用、土地利用、原材料消耗及排放物有关的数据, 并用于环境影响过程评价, 分析了5年、20年内上述各项治理技术对环境贡献的变化趋势。通过 LCA 评价方法分析和比较面源污染治理技术的环境影响, 可以为面源污染治理技术的选择和决策提供分析依据。

关键词: 人工湿地; 生命周期评价; 面源污染; 治理技术

中图分类号: X52 文献标识码: B 文章编号: 1000-0860(2014)09-0015-04

Life cycle assessment of non-point source pollution control technology

JIA Luying¹, MAO Guozhu¹, ZHAO Yufeng¹, Zeng Yihang²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. College of Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: The impacts from the three non-point source pollution control technologies, i. e. constructed wetlands, oxidation ponds and land treatment, on the environment are assessed herein with the method of the life cycle assessment(LCA), while the software—SimaPro7.3.3 is adopted to analyze the relevant data, such as energy utilization, land use, raw material consumption, pollutant emission, etc. and then applied to the process of the assessment of the environment, in which the changing trends of the contributions from all the control technologies mentioned above to the environment impacts in 5 years and 20 years are analyzed as well. Through the analysis made with the method of the life cycle assessment(LCA) and the comparison made among the environment impacts from the non-point source pollution control technologies, an analytical basis can be provided for both the selection and decision-making of the technologies concerned.

Key words: constructed wetlands; life cycle assessment; non-point source pollution; control technology

据第一次全国污染源普查资料显示, 在我国主要污染物排放量中, 农业生产排放的 COD、N、P 等主要污染物量, 已远超过工业与生活源, 成为污染源之首, 由此导致的农业面源污染问题日益突出^[1]。因此, 面源污染的有效控制与治理对水环境修复与保护具有重要意义。目前的研究大多数都是对技术的污染物去除率或经济性进行评价, 没有一个比较健全的体系来评价其环境影响, 采用生命周期(LCA)评价方法建立评价面源污染治理技术对环境的影响的评价体系尚不多见。

本文采用 SimaPro7.3.3 软件分析了面源治理技术在生命周期内能源利用、土地利用、原材料消耗及

排放物有关的数据, 并用于环境影响评价过程^[2-7], 为面源污染治理技术的评价提供理论依据。

1 生命周期清单分析

1.1 面源污染治理技术的选择

目前国内外常用的面源污染治理技术主要有: 前置库技术、人工湿地技术^[8]、氧化塘技术^[9]、拦沙

收稿日期: 2013-12-04

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2010ZX07102-006); 教育部博士点基金(20100032120035)。

作者简介: 贾璐颖(1989—), 女, 硕士研究生。

植物带技术、土地处理技术^[10]、绿化技术等。以技术简单可行行为依据,本文选取了人工湿地、氧化塘、土地处理3种技术进行评价。

1.2 治理技术清单数据分析

假设每个治理技术的进水量均为 2 000 m³/d,为了简化各个治理技术环境影响的比较,假定所有治理技术的进出水水质相同,COD、BOD₅、SS、TP、TN 的浓度分别为 70 mg/L、50 mg/L、200 mg/L、0.15 mg/L、3 mg/L。出水水质为《地表水环境质量标准》中所要求的Ⅳ类水质标准。在 LCA 研究的系统边界内,考虑了该系统 20 年内建设、运营阶段所造成的环境影响,不包括拆除阶段。为了能够比较各治理技术产生的影响需要确定一个功能单元,本文功能单元选为 1 m³/d,文中环境影响评价所需数据均从数据库、文献、现有技术应用以及计算中获得。

1.2.1 人工湿地系统设计

本文中人工湿地系统包括一个初沉池和人工湿地。初沉池由混凝土建造,污水在重力作用下进入人工湿地中。在选定位置挖出相应体积的土方,挖出的土方作为废物运出并进行处理。为防止污水渗入地下水,在人工湿地的底层用混凝土做防水层,在防水层上填充砾石为介质。人工湿地系统中选择芦苇作为水生植物,假设芦苇每一年收割一次,并进行卫生填埋场处理,文中原材料运输和废物运输的距离均设为 20 km。

假设初沉池对于 SS 的去除率为 50%,BOD 的去除率为 30%。假设芦苇的年增长率为 3 kg/m²^[11],计算得出每年处理芦苇的量为 3.6 × 10⁴kg/年。人工湿地^[12]、氧化塘^[13]的设计参数如表 1 所列。

表 1 人工湿地、氧化塘系统设计参数

设计参数	人工湿地设计值	氧化塘设计值
流量/m ³ ·d ⁻¹	2 000	2 000
预处理后湿地进水浓度/mg·L ⁻¹	35	50
湿地出水浓度/mg·L ⁻¹	6	6
BOD ₅ 负荷/kg·(km ² ·d) ⁻¹	0.5	2
占地面积/m ²	11 600	4 400
水深/m	0.5	1
水力负荷/m·年 ⁻¹	60.83	251.72

1.2.2 氧化塘系统设计

本文选择生物氧化塘进行设计,选择芦苇作为水生植物,计算得出芦苇的年处理量为 8.7 × 10³kg/年。氧化塘无需专门的污泥处理,污泥量为 800 m³/年,但是需要定期清理,否则会使污泥淤积而影响其处理

效果,因此假设氧化塘每一年清淤一次。氧化塘的设计参数如表 1 所列^[17]。

1.2.3 土地处理系统设计

本文中所评价的土地处理系统包括预处理和植物种植区,预处理为初沉池,植物种植区可以使污水通过渗透、蒸发、被植物摄取等方式进行净化。所选的植物为赤桉,赤桉能很好地适应污水条件并具有较高的养分吸收能力^[15]。表面积是根据年水力负荷量进行计算的,即表面积取决于土壤渗透率及蒸散速率。土地处理系统的设计参数如表 2 所列。

表 2 土地处理系统设计

设计参数	设计值
流量/m ³ ·d ⁻¹	2 000
赤桉的蒸散速率/cm·年 ⁻¹	45
沉淀量/cm·年 ⁻¹	50
渗透率/cm·d ⁻¹	15
深层渗透率/cm·年 ⁻¹	383.25
水力负荷/cm·年 ⁻¹	378.25
占地面积/m ²	192 994

1.3 评价标准

在影响评估研究框架中,把从清单分析步骤获得的排放物数据根据它们的影响进行分类。为了评估这些影响,利用特征系数将这些分类后的排放量转换成同一维度。本研究所用的特征系数及影响分类选用 CML2000 标准,是包含在 SimaPro7.3.3 软件中的一种生命周期评价方法。该方法中默认的影响分类包括非生物耗竭(AD)、酸化(A)、富营养化(E)、全球变暖(GW)、臭氧层耗竭(OLD)、人类毒性(HT)、淡水水生态毒性(FWAE)、海洋生态毒性(MAE)、陆地生态毒性(TE)、光化学氧化(PO)。

2 结果和讨论

2.1 治理技术对环境综合影响分析

为了能够评价不同治理技术的生命周期环境影响,进行了上述清单(LCI)分析。本文将计算每种治理技术对不同环境影响的贡献。5年、20年内各治理技术对环境影响的贡献值分别如图 1 和图 2 所示。图中的正值表示各治理技术施加的环境负荷,而负值表示该治理技术对环境负荷进行储存,可减小或避免该类影响。由图 2 可知,在所有的环境类别中,土地处理系统对环境影响最小,人工湿地系统对除全球变暖外的其他 9 个环境影响类别贡

献最大。土地处理系统及人工湿地系统对于全球变暖的影响均是负值,说明这两个系统对温室气体起到储存的作用,可以减缓全球变暖。通过对比5年(见图1)、20年(见图2)的特征化数据发现,随着运营时间的增长,氧化塘系统对环境造成影响的比例有所增加,说明氧化塘对环境增长的速度比人工湿地快,这是因为人工湿地系统在建造过程中所造成的环境影响比较大,而氧化塘系统在运营过程中所造成的环境影响比人工湿地系统大。

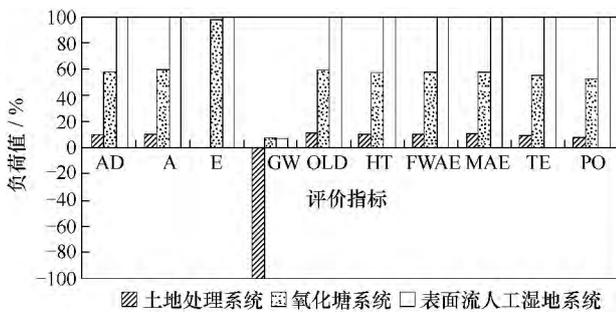


图1 3种治理技术环境影响特征化图形(5年)

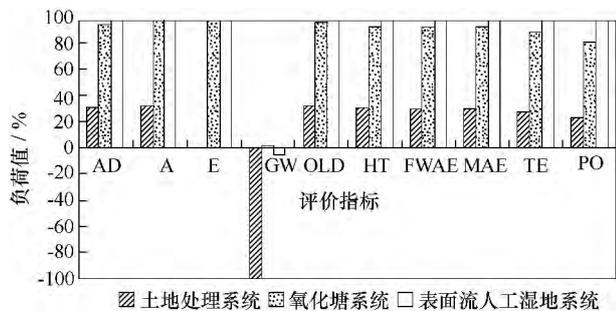


图2 3种治理技术环境影响特征化图形(20年)

图3为标准化结果,标准化为对比不同类型的环境影响提供了基础,通过标准化将所有的影响转化为同一单位。如图3所示,通过标准化结果可以看出各治理技术对环境影响最大的是富营养化,其次是全球变暖、生态毒性。

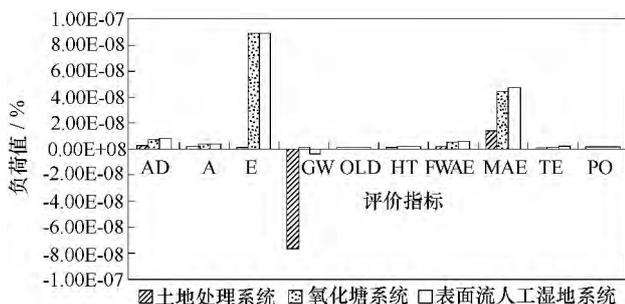


图3 3种治理技术环境影响标准化图形(20年)

2.2 治理技术对富营养化影响分析

如图3所示,各治理技术对富营养化的影响是最大的。富营养化影响主要由于系统处理后排放的污水引起的。土地处理系统中污水通过系统时经过植物的吸收以及土地的渗透作用被消耗,不会有污水流入地表水中,因此对于富营养化没有直接贡献。由于本文设定的初始条件为各处理系统的进出水的浓度一致,因此氧化塘系统和人工湿地系统对于富营养化的贡献一致。由于污水可能入渗到地下水中,污染地下水,土地处理系统不适用于封闭的盆地。在地下水脆弱性较高的地区,氧化塘系统和人工湿地系统比土地处理系统更加可行,这是因为这两个系统底部有混凝土构成的防水层。

污水处理系统主要的作用是去除水中有机物,因此富营养化是污水处理系统环境影响中最重要的类别。提高人工湿地系统和氧化塘系统的处理效率可以减低其对富营养化的贡献,系统处理效率依赖于其占地面积。为了达到预期的处理效率,处理系统处理1 m³/d污水所需占地面积是非常高的,占地面积随着其处理能力的增加而增加,并且在提高处理效率的同时其他类别的环境影响也会随之增加。计算可知,处理1 m³/d污水土地处理系统所需占地面积大概需要95 m²、人工湿地需要6 m²、氧化塘需要2.2 m²。由此可知土地处理系统不适用于土地较为紧张的地区。

2.3 治理技术对全球变暖影响分析

全球变暖是由于温室气体(CO₂)排放过多所造成的。土地处理系统对于全球变暖的贡献为负值,说明该系统对全球变暖有减缓的作用,主要是由于赤桉具有固定CO₂的作用,而且由于土地处理系统占地面积大,固定CO₂的作用更加明显,因此土地处理系统对于全球变暖影响有削减的效果。

如图2所示,虽然人工湿地系统对于全球变暖的贡献也为负值,但是与土地处理系统相比要小,并有显著差距。通过比较发现5年的特征化数据(见图1)中人工湿地系统对全球变暖的贡献为正值,20年的特征化数据(见图2)中人工湿地系统对全球变暖的贡献为负值,说明人工湿地系统虽然在建设阶段排放了温室气体,但是运营阶段芦苇对于CO₂的固定使其对全球变暖的影响变小。而氧化塘系统对于全球变暖的贡献为正值,是因为氧化塘系统在建造阶段以及运营阶段污泥的处理会产生温室气体,在生命周期内温室气体的排放量大于芦苇固定CO₂的量,从而加剧了全球变暖。

2.4 治理技术对酸化和毒性影响分析

如图2所示,在酸化和毒性影响类别中影响最大

的是人工湿地系统,其次是氧化塘系统。产生这类影响的原因主要是处理系统在生命周期中设备运营所消耗的电力以及原材料、废物运输过程中排放的气体,这些气体进入大气后对环境产生了影响。人工湿地系统在这个类别上的贡献主要是来自于建设阶段挖方、土方运输过程和运营阶段污泥处理、运输过程。氧化塘系统中运营阶段污泥处理、运输过程则是这个类别影响的主要来源。

3 结 论

本文采用生命周期评价(LCA)方法对人工湿地、氧化塘、土地处理3种面源污染治理技术对环境的影响进行了评价,得出以下结论:(1)在生命周期内人工湿地系统对除全球变暖外的其他9个环境影响类别贡献最大。(2)在3种治理技术中,土地处理系统对环境尤其是富营养化影响最小。但是由于土地处理系统占地面积大,并不适合土地资源紧缺的地区。(3)在生命周期内,氧化塘系统比人工湿地系统的环境影响小,并且占地面积为3个治理技术中最小的,所以氧化塘系统在土地资源紧张的情况下是最好的选择。

参考文献:

[1] 杨林章,冯彦房,施卫明,等.我国农业面源污染治理技术研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(1):96-101.
 [2] 张雷,刘志峰,王进京.电动与内燃机汽车的动力系统生命周期环境影响对比分析[J].环境科学学报,2013,33(3):931-940.
 [3] Machado A P, Urbano L, Brito A G, et al. Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communi-

ties[J]. Water Science and Technology, 2007, 56(3): 15-22.
 [4] Ortiz M, Raluy R G, Serra L. Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town[J]. Desalination, 2007, 204(1): 121-131.
 [5] Yildirim M, Topkaya B. Assessing Environmental Impacts of Wastewater Treatment Alternatives for Small-Scale Communities[J]. CLEAN-Soil, Air, Water, 2012, 40(2): 171-178.
 [6] Vlasopoulos N, Memon F A, Butler D, et al. Life cycle assessment of wastewater treatment technologies treating petroleum process water[J]. Science of the total environment, 2006, 367(1): 58-70.
 [7] Hospido A, Moreira M T, Feijoo G. A comparison of municipal wastewater treatment plants for big centres of population in Galicia (Spain) [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, 13(1): 57-64.
 [8] 李跃勋,徐晓梅,洪昌海,等.表面流人工湿地在滇池湖滨区面源污染控制中的应用研究[J].农业环境科学学报,2009,28(10):2155-2160.
 [9] 赵学敏,魏清伟,周广杰,等.改良型生物稳定塘对滇池流域受污染河流净化效果[J].湖泊科学,2010,22(1):35-43.
 [10] 季兵.生态塘—湿地耦合系统处理上海崇明地表水研究[D].上海:东华大学,2010.
 [11] Vymazal J, Kröpfelová L. Growth of Phragmites australis and Phalaris arundinacea in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic [J]. Ecological engineering, 2005, 25(5): 606-621.
 [12] HJ 2005—2010, 人工湿地污水处理工程技术规范[S].
 [13] 国家环境保护局科技标准司.城市污水稳定塘处理技术指南[M].北京:中国环境科学出版社,1997.
 [14] 任南琪,祁佩时,张金贞,等.氧化塘污泥蓄积规律的研究[J].中国给水排水,1995,11(2):37-39.
 [15] Machado P, Urbano L, Brito A G, et al. Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Options for Small and Decentralized Communities[J]. Water Science and Technology, 2007, 56(3): 15-22.

(责任编辑 郭利娜)

(上接第14页)

法与正交曲线网格生成及插值技术结合起来用于河道湖泊地形的构建数据模型。基于研究区数字地形实现了河道湖泊大范围流域场景的实时交互控制漫游和水位淹没分析。研究了虚拟流域环境下的河道湖泊的实时交互方法。从实践情况看,提出河道湖泊地形的数字重构方法的具有可行性和实用性。

参考文献:

[1] 郑敬伟,刘舒,胡昌伟.流域洪水数字模型标准化研究[J].河海大学学报(自然科学版),2009,37(5):534-538.
 [2] 任立良,刘新仁.基于数字流域的水文过程模拟研究[J].自然灾害学报,2000,9(4):45-52.
 [3] 冶运涛.虚拟流域环境中河道演变整体自动建模及可视化分析[J].水科学进展,2012,23(2):170-177.

[4] 戚晓明.基于World Wind的鄱阳湖水位动态变化仿真系统研究[J].国土资源遥感,2012,6(2):105-109.
 [5] 张尚弘.流域虚拟仿真系统实时交互技术研究[J].应用基础与工程科学学报,2011,19(5):776-782.
 [6] 于雪英,江南.基于RS/GIS技术的湖面变化信息提取与分析:以艾比湖为例[J].湖泊科学,2003,15(1):14-17.
 [7] 周德民,程进强,熊立华.基于DEM的洪泛平原湿地数字水系提取研究[J].地理科学,2008,26(6):776-781.
 [8] 罗中权.基于流域DEM遍历的3维淹没分析算法[J].测绘与空间地理信息,2012,35(2):163-165.
 [9] 黄国鲜,周建军,林斌良.河道演变三维数值模拟计算网格的选择和生成研究[J].水动力学研究与进展,2006,21(5):565-571.
 [10] 任宏萍,靳彪.基于4叉树的LOD地形实时渲染技术[J].华中科技大学学报(自然科学版).2011,3(2):15-58.

(责任编辑 欧阳越)