

废水处理环境影响负荷的生命周期评价

孟繁宇, 樊庆铎, 赵庆良, 王宇坤

(哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090, fanqingxin@hit.edu.cn)

摘 要: 废水处理过程产生废气、废渣等二次污染的问题已经引起了越来越多的关注. 为了表征该过程的环境影响, 做出科学的管理决策, 以哈尔滨某制药废水处理工艺为例, 采用生命周期评价(LCA)方法, 定量研究了废水处理全过程的环境影响负荷. 在影响评价阶段, 运用改进的层次分析法(AHP)确定评价指标的权重. 加权评价的结果表明: 该废水处理过程对不可再生资源的消耗影响最大, 随后依次是填埋空间的消耗、潜在健康影响、全球变暖潜能值、水体富营养化、酸化潜值、气溶胶潜值、光化学烟雾潜值. 最后根据评价结果提出减少资源消耗和污染物排放等改善措施, 使废水处理发挥更大的环境效益.

关键词: 生命周期评价; 制药废水处理过程; 环境影响负荷; 改进的层次分析法

中图分类号: X820.3

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)06-0982-04

Life cycle assessment of environmental impact load of wastewater treatment

MENG Fan-yu, FAN Qing-xin, ZHAO Qing-liang, WANG Yu-shen

(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology,
Harbin 150090, China, fanqingxin@hit.edu.cn)

Abstract: To illuminate the environmental impacts of the secondary pollution in wastewater treatment and facilitate scientific supervision, this research takes a pharmaceutical wastewater treatment process in Harbin as an example, and quantitatively analyzes the environmental impact load of the whole process using life cycle assessment(LCA) methods. In the impact assessment phase, improved analytic hierarchy process (AHP) is used to determine the indicator weights. Weighting assessment results show that the impact on depletion of non-renewable resources is the largest, followed by land filling space, potential human health effects, global warming potential (GWP), water eutrophication (EU), acidification potential (AP), air quality potential (AQP), and photochemical ozone creation potential(POCP). The improvement measures for the reduction of resource consumption and pollutant emissions are proposed to make wastewater treatment play more environmental benefits.

Key words: life cycle assessment; pharmaceutical wastewater treatment; environmental impact load; improved AHP

工业废水处理的功能是将废水中的污染物经过分离、分解, 转化为无害、少害或易于处置的物质, 使废水得到净化, 但其产生的噪声、恶臭、污泥以及能源生产过程中排放的各种大气污染物和处理后废水中残存的污染物, 如不进行有效治理都

可能造成二次污染, 对废水处理厂周围环境乃至全球环境产生重要的环境影响^[1]. 生命周期评价作为汇总和评估一个产品(或服务)体系在其整个寿命期间的所有投入及产出对环境造成的潜在影响的方法^[2], 它的一个重要功能即是评估能量物质利用和废物排放对环境的影响^[3], 寻求改善环境影响的机会. 目前生命周期的评价方法在不同的国家已被应用到污水^[4]和污泥^[5]的处理过程中.

本文以哈尔滨某制药废水处理为例, 将

收稿日期: 2010-03-10.

基金项目: 城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金资助项目(HC200815).

作者简介: 孟繁宇(1984—), 女, 博士研究生;
赵庆良(1962—), 男, 教授, 博士生导师.

ISO14040《生命周期评价 - 原则与框架》、ISO14041《目的与范围的确定和清单分析》、ISO14042《生命周期影响评价》和 ISO14043《生命周期影响解释》中规定的方法应用到废水处理的全过程,通过能源和资源的利用分析、环境释放的识别量化,清单数据特征化以及加权评价,研究废水处理系统对环境的影响,并根据研究结果提出改善措施。

1 废水处理生命周期环境影响负荷

1.1 案例描述

该制药厂主要生产抗生素及 30 多种原料药和制剂品种.其废水处理分厂主要负责处理厂区的生产和生活废水,平均处理水量 1.5 万 m³/d.

处理后出水没有回用,直接排入河流,汇入松花江.

1.2 定义系统边界及环境影响因子分析

本系统的 LCA 边界从废水进入处理工艺开始,以处理后达标水的排放和污泥处置为结束.系统的输入包括运行阶段所有的原料,能源消耗以及原水,输出则包括所有的废气,固体废物,噪声以及出水.由于生命周期评价对噪声没有相关的标准要求.因此本文不考虑噪声影响.其工艺流程和框架分析见图 1.

在定义的系统边界内,重点分析废水处理全生命周期过程的环境释放.通过对废水处理工艺流程的每个工序具体分析,可确定其主要环境影响因子,如表 1 所示.

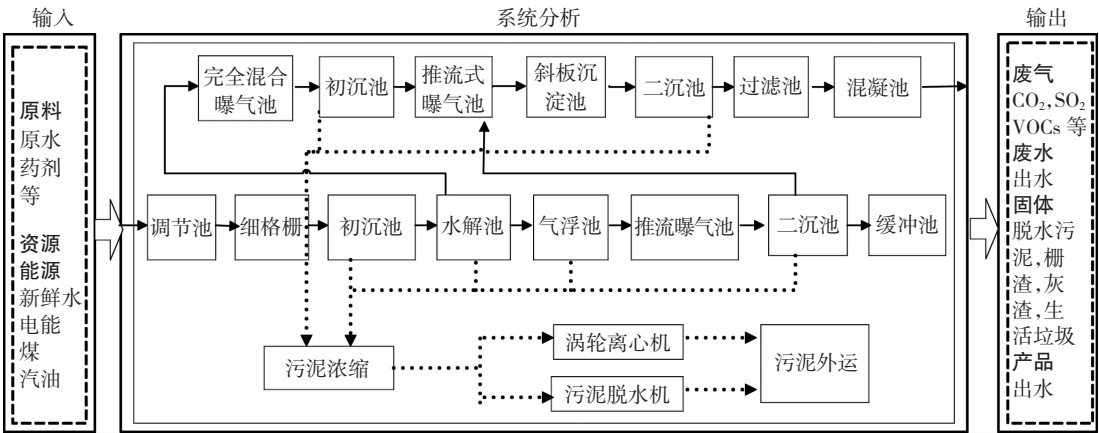


图 1 生命周期分析框架及工艺流程

表 1 环境影响因子分析

项目	环境释放	主要来源
废气	有机污染物、CO ₂ 、CO、N ₂ O、NMVOC、H ₂ S、SO ₂ 、NO _x 、烟尘、颗粒物等	废水处理和污泥处置过程、固体废物、煤和药品等的运输、锅炉燃煤等
废水	COD、SS、NH ₃ -N、TN、TP 等	出水
固体废弃物	栅渣、污泥、炉渣、生活垃圾等	格栅、污泥脱水间、锅炉、员工等
其他	噪声	风机、泵类、污泥处理设备、搅拌机等
能量消耗		格栅、泵房等电能消耗,锅炉煤耗、运输油耗

1.3 定义功能单位

定义功能单位的目的在于为废水处理系统有关的输入和输出数据提供参考基准,本论文采用该污水处理厂的年处理量作为功能单位,即处理每 540 万 t 废水平均造成的环境影响。

1.4 生命周期清单分析

生命周期清单分析是对废水处理全过程资源、能源输入和对环境释放的输出进行以数据为基础的客观量化过程,是下一步影响评价的依据.由于厂内蒸汽和电均来自自备电厂,而电厂是采用燃煤发电的,因此原煤和电的消耗统一转化为标准煤的消耗。

本研究生命周期清单分析中所收集的数据均为原始数据,其数据类型包括测算数据和非测算数据.测算数据主要是对废水处理过程中排放的大气污染物、出水中污染物进行监测和取样,以保证清单分析数据的准确性.废水水质监测分别在厂区进水口、废水处理厂排放口布设采样点,并连续监测 3 天,平均每天采样监测 1 次,分析方法为国标水质分析方法.废水处理全过程的废气统一收集,经碱洗喷淋处理后,经 3 个 60 m 排气筒排入空气.因此分别在 3 个排放口设采样点,以塑料采气袋采集,连续监测 3 d,平均每天采样监测 1 次.由于主要污染物为有机污染物,分析方法为气

相色谱法.

本文非测算的数据主要通过现场实地调研获得,大部分来自厂区原有生产过程说明书和工艺技术分析材料.

1.5 生命周期影响评价

1.5.1 环境影响分类

将废水处理系统生命周期环境影响分为 8 个影响类型:不可再生资源的消耗;填埋空间的消耗;全球变暖的影响;光化学烟雾的影响;酸化影响;气溶胶影响;水体富营养化影响;潜在健康影响.

1.5.2 特征化

特征化是利用环境负荷指标方法将相同影响类型下的不同影响因子进行汇总,并把每个影响类型对环境的影响程度定量化^[6],每一种影响类型的综合环境负荷 B 为

$$B = \sum (m_i \times F_{pi}).$$

式中: $i=a、b、c$,为影响物质; m 为影响物质质量; F_{pi} 为物质对某类环境造成影响的相关性系数(来自美国环保总局和联合国政府间气候变化专门委员会).特征化结果见表 2.

1.6 加权综合评价

加权综合评价是对每一类环境影响分别确定其权重,然后将其表示影响程度的特征化值乘以相应的权重,得出的最终的环境负荷影响值.本文采用改进的层次分析法确定各环境影响类型的权重,即:① 采用指数标度的标度体系判断影响因子间的相对重要程度:针对九标度理论的标度数值之间差距较大的问题,本文选择苏为华^[7]提出的指数形式的比例标度体系,用于对两两比较的重要性赋值;② 用模糊三角数描述两两指标间的关系^[8]:首先标出最有可能值 m ,表示对两指标相互关系的基本评价,接着标出上下界 a 和 b .则指标 i 相对于指标 j 的相对重要性 a_{ij} 为

$$a_{ij} = \frac{(a + 4m + b)}{6}.$$

得到两两判断矩阵 T 为

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 2.223 & 1.864 & 1.645 & 1.741 & 2.101 & 1.364 & 0.776 \\ 0.450 & 1 & 0.476 & 0.574 & 0.537 & 0.776 & 0.462 & 0.450 \\ 0.537 & 2.101 & 1 & 0.608 & 0.574 & 1.863 & 0.776 & 0.608 \\ 0.608 & 1.741 & 1.645 & 1 & 0.733 & 1.364 & 0.608 & 0.574 \\ 0.574 & 1.863 & 1.741 & 1.364 & 1 & 1.645 & 0.733 & 0.590 \\ 0.476 & 1.289 & 0.537 & 0.733 & 0.608 & 1 & 0.450 & 0.476 \\ 0.733 & 2.164 & 1.289 & 1.645 & 1.364 & 2.223 & 1 & 0.733 \\ 1.289 & 2.223 & 1.645 & 1.741 & 1.695 & 2.101 & 1.364 & 1 \end{pmatrix}$$

③ 对判断矩阵的自协调自修正^[9]:对两两判断矩阵 T 进一步作自协调、自修正变化得到一致

表 2 特征化结果

类别	物质	特征化/(t/a)	合计/(t/a)
不可再生资源	煤	1734.87	1736.15
	汽油	1.28	
填埋空间	栅渣	18	21643.92
	脱水污泥	21600	
	生活垃圾	25.92	
	CO ₂	24.84	
全球变暖	NO _x	4253.58	4963.93
	CO	200.37	
	N ₂ O	0.238	
	甲烷	472.10	
	苯	12.79	
	二氯甲烷	0.20	
	丙酮	0.13	
光化学烟雾	甲烷	0.16	3.82
	苯	0.04	
	NM VOC	0.05	
	苯酚	0.04	
	丙烷	1.75	
	甲苯	1.47	
	H ₂ S	159.85	
酸化	SO ₂	11.03	180.48
	NO _x	9.61	
	烟尘	1.14	
气溶胶	PM ₁₀	13.21	43.75
	COD	28.04	
	NH ₃ -N	46.99	
	TP	40.319	
水体富营养化	TN	105.92	221.26
	丙酮	0.08	
	苯	4.53	
	NO _x	101.88	
潜在健康影响	SO ₂	1259.82	1366.31

化的矩阵 P . P 与 T 的转化公式为

$$p_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{l=1}^n t_{il}^{(0)}} / \sqrt[n]{\prod_{l=1}^n t_{jl}^{(0)}}.$$

权重为

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n p_{ij}} \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

权重向量为

$$W = (0.319 \quad 0.025 \quad 0.032 \quad 0.061 \quad 0.082 \quad 0.028 \quad 0.171 \quad 0.282).$$

改进的层次分析法不仅克服了两两判断值过于僵硬的问题和九标度理论中表述重要程度的不合理因素,也简化了繁琐的一致性检验.通过加权综合评价得到的各环境影响因子最终的环境影响负荷值见图 2.

2 结果讨论及生命周期解释

通过该工业废水处理过程的全生命周期的环境负荷研究结果表明:废水处理过程对不可

再生资源消耗、填埋空间、潜在健康影响、全球变暖、水体富营养化的影响相对较大,分别占32.71%, 31.796%, 22.76%, 9.38%, 和2.23%。不可再生资源消耗由煤的用量来决定,其中绝大部分是由于电能的消耗转换为煤的消耗,因此,废水处理厂能耗问题仍然是环境影响的最重要方面。其次,废水处理过程中对物理填埋空间的消耗也是非常巨大的,它主要由脱水污泥的空间体积决定,占有所有固体废弃物总量的99.8%,因此,污泥处理已成为废水处理急需解决的难题。工业废水尤其是含有机物较多的制药废水,会产生严重的气味等特征性环境污染,对人体健康危害较大,通过分析发现,经过碱洗喷淋处理后的废气,其有害性物质含量并不高,对潜在健康影响比重最大的是SO₂,占92.21%,其次是NO_x和苯,分别占7.47%和0.33%。废水处理过程对全球气候变暖也存在一定的贡献,相关的气体排放主要有NO_x,CH₄,CO,对气候变化的贡献分别占85.69%,9.51%和4.04%。尽管NO_x排放量较小,但是它的GWP相关系数为CO₂的310倍,因此NO_x的影响不容忽视。

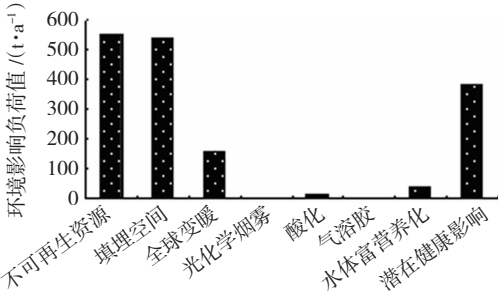


图2 各环境影响因子最终的环境负荷影响值

本文根据废水处理生命周期影响负荷的研究所发现的问题,对废水处理过程的管理提出相应的建议。首先,节能降耗是控制对不可再生资源耗竭的重要措施,对供电单位进行选择和管理也有助于降低废水处理过程在生命周期内的环境影响。其次,针对污泥产生量大的问题,建议污泥经厌氧消化后进行土地利用,可大大减小污泥体积,节省物理填埋空间,同时,也是目前污泥处理处置经济效益与环境效益最大的方式^[10],对于混合废气经处理后仍存在难闻气味的问题,建议在厂区内开展绿化,通过绿色植物的吸附,以达到削减臭味的目的。而燃煤产生的SO₂和NO_x的控制,建议将原有抛煤机锅炉改为循环流化床锅炉,并采用同步脱硫脱硝技术,以防止全球变暖影响的恶化和人体健康影响的加剧。

3 结 语

生命周期评价作为一种新型的环境影响评价技术和方法体系,评价一个产品或服务的潜在环境影响是LCA的一个重要功能。利用生命周期评价的方法来研究废水处理过程的环境影响负荷,是把一项减污的设施作为污染的控制对象来考虑,分析废水处理过程资源消耗和环境释放对各种环境问题的贡献值,目的是找到关键的影响因子,并针对问题提出相应的改进措施,以更好地发挥废水处理过程的减污作用,减少二次污染,使环境效益最大化。

参考文献:

[1] LIM S R, PARK J M. Environmental impact minimization of a total wastewater treatment network system from a life cycle perspective [J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90: 1454 – 1462.

[2] ISO 14040 – 2006 Environmental management Life cycle assessment Principles and framework [S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.

[3] WITTMAIER M, LANGER S, SAWILLA B. Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany [J]. Waste Management, 2009, 29: 1732 – 1738.

[4] ZHANG Qionghua. Application of life cycle assessment for an evaluation of wastewater treatment and reuse project [J]. Bioresource Technology, 2010, 101 (5): 1421 – 1425.

[5] HONG J L, HONG J M, OTAKI M, et al. Environmental and economic life cycle assessment for sewage sludge treatment processes in Japan [J]. Waste Management, 2009, 29: 696 – 703.

[6] 余建朋, 郑泽根. 城市污水处理厂全过程生命周期评价模式探讨[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31 (2): 148 – 151.

[7] 樊为刚, 侯丽红. 层次分析法的改进[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 4: 153.

[8] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000.

[9] 贾 华. 层次分析法中权重算法的一种改进[J]. 武测科技, 1995, 3: 25 – 30.

[10] MURRAY A, HORVATH A, NELSON K. Hybrid life – cycle environmental and cost inventory of sewage sludge treatment and end-use Scenarios: a case study from China [J]. Environ Sci Technol, 2008, 42: 3163 – 3169.