

城市污水处理厂全过程生命周期评价模式探讨

余建朋^{1,2}, 郑泽根¹

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045;
2. 重庆水务集团股份有限公司, 重庆 400020)

摘要: LCA 技术是科学确定污水处理工艺方案的一种有效手段。运用 LCA 技术, 以污水处理工艺设施为主线, 将城市污水处理厂的全过程生命周期分为 3 个阶段: 施工建设阶段、生产运行阶段和报废拆除阶段, 并结合 LCA 的基本框架对污水处理厂的全过程生命周期进行了分析。该生命周期评价模式不仅考虑了环境因素, 而且考虑了技术和经济因素。通过具体实例的分析, 对所提评价模式进行论证, 评价出两种不同污水处理工艺方案的优劣。

关键词: 污水处理; 生命周期; 环境影响; 评估

中图分类号: X703.1 文献标志码: A

文章编号: 1674-4764(2009)02-0148-04

Life Cycle Assessment System for the Whole Process of Municipal Wastewater Treatment Plants

YU Jian-peng^{1,2}, ZHENG Ze-gen¹

(1. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Ministry of Education Key Laboratory for Three Gorges Reservoir Area Ecological Environment, Chongqing 400045, P. R. China; 2. Chongqing Water Group Co., Ltd., Chongqing 400020, P. R. China)

Abstract: Life Cycle Assessment(LCA) technology is an effective means in determining sewage treatment processes scientifically. This paper uses a sewage treatment process facility as the main line with the application of LCA technology. The Whole Life Cycle of the municipal wastewater treatment plants is divided into three stages: construction stage, operation stage, discarding and removing stage. This paper analyses the whole life cycle of the municipal wastewater treatment plants by the basic framework of LCA. Not only environmental load but also economic and technical factors are contained in the LCA mode. It is demonstrated by the concrete example of two municipal wastewater treatment plants, with evaluating the advantages and disadvantages of the two treatment processes accordingly.

Key words: water treatment; life cycle; environmental impact; evaluation

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是一种对某种产品或过程从最初的原材料开采、加工制造到最终处置的全过程资源和环境影响进行分析与评价的方法^[1-4]。LCA 在国外已经应用和发展了 30 年, 正成为政府和企业的主要环境管理工具, 而在我国的应用尚处于起步阶段^[5-10]。笔者依

据现有 LCA 的原则和技术框架的要求, 对城市污水处理厂从建设、运行到拆除的全过程进行生命周期评价方法研究, 在评价污水厂产生的环境影响的同时, 还考虑设施的资源和能源消耗水平, 并将资源消耗和污染排放与环境问题紧密联系, 以全面分析评价一种工艺方案的优劣。

收稿日期: 2008-10-23

作者简介: 余建朋(1978-), 男, 重庆大学博士研究生, 主要从事水污染控制原理与技术方面的研究, (E-mail)bingren_2000@163.com。

1 城市污水处理厂全过程生命周期

杨健等人^[11-13]曾针对污水处理工艺的生命周期进行了初步定义和探讨,并对污水处理厂生产运行阶段进行了重点分析。文中笔者将城市污水处理厂视作一个产品系统,即将污水处理厂作为研究对象,定义其生命周期为包括污水处理厂从自然界获取最初资源、能源和原材料,经过开采、加工、施工建设、长期生产运行等过程,直到污水厂生产运行期满后报废拆除的全过程,从而构成了一个物质能量转化的全过程生命周期。

污水处理厂从“摇篮”至“坟墓”的全过程生命周期可分为 3 个不同的阶段:施工建设阶段(包括建设材料的开采、加工制造)、生产运行阶段(污水和泥渣处理过程)和报废拆除阶段(回收利用、最终处置),如图 1 所示。

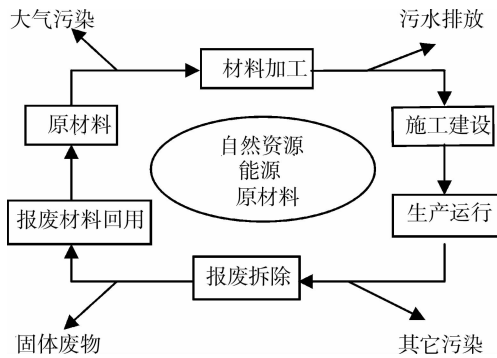


图 1 污水处理厂全生命周期流程图

2 城市污水处理厂 LCA 基本框架

2.1 评价目标

通过考察设定边界范围内的城市污水处理厂的环境负荷、技术性能和经济效益,从而确定主要的影响因子。

2.2 范围界定

将施工过程中各种原材料的消耗情况及其引起的环境污染和因污水厂运营期满拆卸报废而引起的环境影响均包含在讨论的范围内,城市污水处理厂生命周期评价系统及边界见图 2。

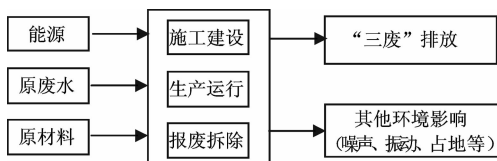


图 2 污水处理厂生命周期评价系统及边界

2.3 确定系统的功能单位

一个污水处理设施的功能单元指其处理规模,即污水处理能力,用 LCA 评估不同工艺设施时必须

先确定处理规模的大小。

2.4 LCA 清单分析

污水处理厂整个生命周期清单分析包含许多环境影响项目,表 1 列出了污水处理厂在整个生命周期内可能产生的环境影响以及综合考虑的因素。

表 1 污水处理厂生命周期内可能产生的环境影响

环境影响项目	施工建设阶段	生产运行阶段	报废拆除阶段
原材料消耗	钢、铁、水泥、水、PVC、炉渣、铜、粘土、集料、沥青、环氧树脂等	可忽略	表层土、填充材料
废气排放	CO ₂ 、SO ₂ 、NO _x 、CO、VOC、CO ₂ 、SO ₂ 、CO ₂ 、SO ₂ 、碳氢化合物、颗粒物、飞灰、有机氯化物	NO _x 、CO、颗粒物、飞灰、臭气等	NO _x 、CO、颗粒物等
废水排放	BOD、COD、SS、Hg、Pb、硫化物、酚类、有机氯化物	BOD、SS、总氮、各种金属、有机污染	可忽略
固体废弃物	无机废物、炉渣、粉尘、碳氢化合物、开挖土方、木材	污泥、金属、栅渣	钢、泥土、炉渣、铜、PVC
其它影响	噪声、振动、交通运输、视觉污染、清除植被和对野生动物的滋扰	噪声、气味、视觉污染、蚊蝇、交通运输等	噪声、振动、交通运输等

2.4.1 施工阶段的清单分析 施工建设阶段包括从原材料的开采直到整个污水处理厂建成为止的所有活动。对于不同的工艺设施,在整个施工阶段的能源消耗包括运输建筑材料、现场施工等活动。本阶段的污染物排放一方面直接源自建筑材料的生产制作,另一方面源自能源的生产。

2.4.2 生产运行阶段的清单分析 污水处理厂的运行实践表明,随着污水量的逐步增长以及出水排放标准的提高,大部分污水处理厂在 15~20 年内就需要进行一定的改造更新。因此,污水处理设施运行阶段产生的环境问题可按 20 年的运行生命期进行考虑。在运行阶段中原材料的消耗很小,可忽略不计。能源消耗包括污水处理过程所需的电力和运输车辆所需的燃油,以及化学除磷过程或出水消毒所耗用的药品费用,其中污水处理的电耗可占总能耗的 80% 以上。

运行阶段排入大气的污染物主要源自 3 个方面:1)污水处理的生化反应过程;2)电厂的发电过程;3)运输污泥和人员车辆的燃油燃烧。在所有这些污染源所产生的废气排放中,CO₂ 可占总份额的 95% 左右。运行阶段排入环境的废水为处理后的出水,根据处理量及水质分析结果,可计算出污水厂在整个生命周期中所排放的 COD 和 SS 的量。污水处理过程所排出的固体废物包括污泥和栅渣,其数量可依据运行实测记录进行统计估算。

2.4.3 报废拆除阶段的清单分析

当污水厂 20 年的运行期满后,大多数污水厂需要改造更新或进行拆除。在本 LCA 中,按处理设施拆除所产生的环境影响进行评估。拆除一般是指把原有污水处理厂地下 1 m 以上的设施全部拆除,然后恢复现场。因此,在拆除阶段消耗的材料主要是大块填充料和地表覆盖物。本阶段的能源消耗主要与进行拆除作业的机械设备有关,同时也会产生与能源生产相应的污染。本阶段产生的固体废物有废钢铁、混凝土等。若经济上有有效益则可进行资源回收利用。拆除阶段还可能会对周围环境产生噪声、振动等滋扰作用,破坏野生环境,并对视觉环境造成不可修复的变化^[15]。

2.5 生命周期影响评价

影响评价是将生命周期清单分析阶段所识别的各种排放物对环境的影响进行定量或定性的表征评价,确定污水厂生命周期中物质、能量交换对其外部环境的影响,一般可分为 3 个过程:分类、特征化和评价。

2.5.1 分类 根据目标定义和范围界定所确定的系统边界及清单分析阶段所提供的数据库,对污水处理厂整个生命周期过程可能产生的环境影响进行分类,结果见表 2

表 2 城市污水处理厂环境影响分类

环境影响类目	相关污染物	来源
温室效应	CO ₂ 、NO _x 、CH ₄ 、CO	施工阶段、污水污泥处理过程、电厂发电、运输燃油
大气酸化	NH ₃ 、NO ₂ 、SO ₂	污水污泥处理过程
水体富营养化	N、P	尾水排放
水生物毒性	重金属(Hg、Cd、Cu等)	污泥处置
臭味	氨、硫化物、甲硫醇、甲硫醚	污水污泥处理过程
敏感点	有/无、个数、距离厂区位置等	
受纳水体	BOD、COD、SS	尾水排放

2.5.2 特征化 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,并把各影响因子对环境的影响程度定量化^[14-15],每一种影响类型的综合环境负荷 B 可用下式计算所得:

$$B = \sum (m_i \times Fp_i)$$

式中: $i = a, b, c$, 为各种影响物质; m 为各种影响物质质量; Fp 为各种物质对某类环境造成影响的

潜能因子,如表 3 所示。

表 3 城市污水处理厂主要环境影响类目的潜能因子

影响类目	影响物质 m_i	潜能因子 Fp
温室效应	CO ₂	1
	NO _x	40
	CH ₄	21
	CO	3
	NH ₃	1.88
大气酸化	NO ₂	0.7
	SO ₂	1.0
水体富营养化	N	1.0
	P	0.067
水生物毒性	Hg	16.67
	Cd	2.0
	Cu	1.0

2.5.3 评价 将以上分类并量化的各种影响因子统一归结为一个指标,即把不同的影响因子定量地变换成统一值,作为该产品对环境影响的综合评价指标。

3 案例分析

对重庆市三峡库区两座不同工艺的小城镇污水处理厂采用上述 LCA 评价模式进行分析比较,A 厂采用普通活性污泥法,由两座矩形曝气池和两座二沉池组成;B 厂采用曝气生物滤池工艺,由一座初沉池、两座普通填料滤池(以炉渣为填料)和一座二沉池组成。A、B 两厂的处理规模均为 2 000 m³/d,池体均采用钢筋混凝土结构,污泥均采取自然干化后用作农肥。

3.1 综合环境影响比较

A、B 两种处理设施在污水处理厂整个生命周期内的材料、能源消耗与污染物排放情况见表 4。

表 4 两种处理设施主要环境影响总量比较

序号	环境影响项目	普通活性污泥法	曝气生物滤池
1	原材料消耗 /t	7 480	64 320
2	能耗 /G	142 000	54 000
3	废气排放 /t	22 500	13 900
4	废水排放 COD/t	200	200
5	废水排放 SS/t	100	100
6	固废排放 /t	6 700	34 000

3.2 经济效益比较

从能源消耗的比较可以看出,生物滤池法在整个生命周期内的能耗远小于活性污泥法。就本案例而言,生物滤池法比活性污泥法可节省能耗 60%;

但生物滤池工艺在施工建设阶段的原材料消耗则远大于活性污泥法,所产生的环境影响也较大。

3.3 技术性能比较

通过对 A、B 两种处理设施的出水水质数据分析,活性污泥法的出水效果较好,但生物滤池较活性污泥法更承受冲击负荷和水量水质的变化;其次,活性污泥法占地面积也较少。本案例中尽管生物滤池的占地较大,但这类小型污水厂建在库区偏远的小城镇,可以方便提供厂区建设用地,所以占地可作为次要因素考虑。另外,从运行管理角度而言,小型污水厂采用生物滤池工艺运行更简便。因此,通过本生命周期分析可确定生物滤池工艺具有处理效果稳定、运行管理方便等明显优势。

4 结 论

1) LCA 在评价污水处理设施产生的环境污染和生态影响的同时,须考虑设施的资源和能源消耗水平,将资源消耗和污染排放与环境问题联系起来,以全面揭示一种工艺方案的优劣。

2) 从污水处理厂整个生命周期的原材料、能源消耗和“三废”排放等方面的总体影响分析,曝气生物滤池较普通活性污泥法更利于环保。

3) 生命周期分析表明, LCA 是一种新型的环境影响评价技术和方法体系,对污水处理模式以及处理技术的创新、选择和决策朝着可持续发展全面转换起重要的促进作用。

参考文献:

- [1] 邓南圣,王小兵. 生命周期评价[M]. 北京:化学工业出版社,2003:9-21.
- [2] 黄春林,张建强. 生命周期评价综论[J]. 环境技术, 2004, 22(1):29-32.
HUANG CHUN-LIN, ZHANG JIAN-QIANG. Summarize of life cycle assessment [J]. Environmental Technology, 2004, 22(1):29-32.
- [3] 宋丹娜,柴立元,何德文. 生命周期评价模型综述[J]. 工业安全与环保, 2006, 32(12):38-40.
SONG DAN-NA, CHAI LI-YUAN, HE DE-WEN. Summarization on the life cycle assessment model[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2006, 32(12):38-40.
- [4] 姜金龙,吴玉萍,马军. 生命周期评价的技术框架及研究进展[J]. 兰州理工大学学报, 2005, 31(4):23-26.
JIANG JIN-LONG, WU YU-PING, MA JUN. Technical framework of life cycle assessment and its progress [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2005, 31(4):23-26.
- [5] A YRES R U, A YRES L W, RÜADE I. The life cycle of copper, its Co-products and by-products [J]. Mining, Minerals and Sustainable Development, 2003 (24):1-210.
- [6] ORTIZ, OSCAR, CASTELLS, et al. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA [J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(1):28-39.
- [7] BENETTO, ENRICO, DUJET, et al. Integrating fuzzy multicriteria analysis and uncertainty evaluation in life cycle assessment [J]. Environmental Modelling and Software, 2008, 23(12):1461-1467.
- [8] LUNDIN M, MORRISSON GM. A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems [J]. Urban Water, 2002(4):145-152.
- [9] PENNINGTON D W, PO TTING J, F INNVEDEN G, et al. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice [J]. Environ Int, 2004, 30 (5): 721-739.
- [10] 王超,丁光辉. 粉煤灰混凝土生命周期评价初步研究 [J]. 工业安全与环保, 2007, 33(1):39-42.
WANG CHAO, DING GUANG-HUI. Preliminary study on life cycle assessment of concrete containing fly ash [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2007, 33(1):39-42.
- [11] 杨健,王浩. 废水处理技术生命周期分析基本概念初探 [J]. 四川环境, 2003, 22(5):22-24.
YANG JIAN, WANG HAO. Basic concept of LCA application of wastewater treatment process [J]. Sichuan Environment, 2003, 22(5):22-24.
- [12] 陈郁,郑洪波,杨凤林. 城市污水处理厂生命周期评价方法初探及应用案例 [J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(3):292-297.
CHEN YU, ZHENG HONG-BO, YANG FENG-LIN. Probe into life cycle assessment method of municipal wastewater treatment plants and application cases [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2003, 43 (3):292-297.
- [13] 王梅,周新平. 金霞城市污水处理厂生命周期评价研究 [J]. 平顶山工学院学报, 2007, 16(3):33-37.
WANG MEI, ZHOU XIN-PING. Life Cycle Assessment of sewage treatment plan on Jinxia city [J]. Journal of Pingdingshan Institute of Technology, 2007, 16(3):33-37.
- [14] 田亚峥,郑泽根. 生命周期影响评价权重系数的确定方法探讨 [J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(5):61-64.
TIAN YA-ZHENG, ZHENG ZE-GEN. Approach to method of ascertaining weight in life cycle impact assessment [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2003, 25(5):61-64.
- [15] 陆雍森. 环境评价 [M]. 上海:同济大学出版社, 1999.

(编辑 陈蓉)