

一个扑热息痛生产企业的环境影响评价*

王 倩 王 通 何欧文 杨 楠 于宏兵[#]

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350)

摘要 以原材料收集为起点,扑热息痛产品产出为终点,采用生命周期评价方法对天津某典型扑热息痛生产企业进行环境影响评价。结果表明,该企业每生产 1 t 扑热息痛的酰化过程、脱色过程、结晶过程的综合环境影响对全过程的综合环境影响贡献率分别为 94.14%、5.82%、0.04%,主要环境影响为海洋水生生态毒性、化石燃料消耗、水体富营养化和全球变暖。为减小扑热息痛生产过程的环境影响,提出扑热息痛生产工艺采用常温生产工艺、使用高效低耗设备、提高工艺水的重复利用率和增加蒸气的使用量、提高余热回收利用率等合理化建议。

关键词 扑热息痛 层次分析法 生命周期评价 环境影响评价

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2019.12.019

Environmental impact assessment for a paracetamol production enterprise WANG Qian, WANG Tong, HE Ouwen, YANG Nan, YU Hongbing. (College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350)

Abstract: Environmental impact assessment for a typical paracetamol production enterprise in Tianjin was conducted taking the raw materials of the drug as the starting, and the paracetamol output as the end using the life cycle evaluation method. Results showed that the comprehensive environmental impact of acylation, decolorization and crystallization processes accounted for 94.14%, 5.82% and 0.04% of the whole process for 1 t paracetamol production, respectively. The main environmental impacts were marine aquatic ecotoxicity, fossil fuel consumption, water eutrophication and global warming. In order to diminish the environmental impacts of paracetamol production, some reasonable suggestions were given, such as production under normal temperature, use of high efficiency and low energy consumption equipment, and increase of the use of water recycling, steam and residual heat.

Keywords: paracetamol; analytical hierarchy process; life cycle evaluation; environmental impact assessment

扑热息痛为常用解热镇痛药,对治疗发热和疼痛安全、有效,因此扑热息痛的市场巨大,2017 年全球产量约为 17 万 t,占世界镇痛药物市场的 86%,中国扑热息痛产量约占全球产量的 47%。

扑热息痛的主要成分为对乙酰氨基酚(APAP)。APAP 对动物内脏存在毒性,环境中的 APAP 可能影响动物的生存和繁衍^[1]。据报道,APAP 在天然水体中检测到的质量浓度可达 6~65 $\mu\text{g/L}$,在饮用水中达到 10 $\mu\text{g/L}$,而且在氯化消毒过程中还会生成毒性更大的物质^[2-4]。

目前,国内外对扑热息痛控制主要是末端治理,如扑热息痛生产废水的催化氧化^[5-7]、降解^[8-11]等。而事实上,扑热息痛的整个生产过程都会产生各种环境影响。生命周期评价(LCA)可对不同工艺、不同流程的生产过程作出评价,通过效益分析等给出合理化建议。本研究选择扑热息痛生产企业作为研究对象,采

用 LCA 方法对扑热息痛生产过程的环境影响进行识别和评估,为扑热息痛的生产提出改进建议。

1 环境影响评价模型

1.1 评价指标体系

评价指标体系参考 CML 2001 方法体系^[12-13],评价指标包括资源消耗(以铟当量计)、化石燃料消耗、酸化效应(以 SO_2 当量计)、水体富营养化(以磷酸根当量计)、新鲜水生态毒性(以二氯苯当量计)、全球变暖(以 CO_2 当量计)、人体健康损害(以二氯苯当量计)、海洋水生生态毒性(以二氯苯当量计)、臭氧层破坏(以三氯一氟甲烷当量计)、光化学氧化剂生成(以乙烯当量计)、陆地生态毒性(以二氯苯当量计)。

1.2 评价方法

LCA 方法的步骤包括目标与范围的确定、清单分析、影响评价和解释说明 4 个部分^[14-16]。

第一作者:王 倩,女,1995 年生,硕士研究生,研究方向为生命周期评价和节能减排技术。[#] 通讯作者。

* 国家重点研发计划项目(No.2016YFC0209301)。

1.2.1 目标与范围的确定

选择天津某典型扑热息痛生产企业为研究对象,评价该企业每生产1 t扑热息痛过程中酰化过程、脱色过程和结晶过程的环境影响。采用LCA方法编制扑热息痛生命周期清单,以原材料收集为起点,产品产出为终点,包括了原料等外购产品的运输过程。

1.2.2 清单分析

清单分析是指收集调查目标产品生命周期各阶段中的各方面投入和产出数据,从而系统、定量地评价产品在生命周期中造成的各种环境影响^[17]。

通过实地调研和问卷调查获取企业的原料投入、能源消耗和污染物数据,数据取该企业2013—2016年的平均值,具体包括冰醋酸消耗量、对苯基苯酚消耗量、焦亚硫酸钠消耗量、保险粉消耗量、活性炭消耗量、纯化水消耗量、新鲜水消耗量、酵母液消耗量、蒸气消耗量、电消耗量、CO₂排放量、SO₂排放量、NO_x排放量、烟尘排放量、锅炉渣及除尘渣排放量和废弃活性炭排放量。

1.2.3 影响评价

基于清单分析,利用Gabi软件进行环境影响评价,主要包括特征化、归一化和加权计算3个过程。特征化是根据清单的数据对各指标进行定量计算;归一化是将特征化结果除以归一化因子,以便各指标之间的相互比较,各指标的归一化因子参考CML2001方法体系(见表1)。采用层次分析法^[18-19]结合专家打分的方法确定指标权重,最终确定资源消耗、化石燃料消耗、酸化效应、水体富营养化、新鲜水生态毒性、全球变暖、人体健康损害、海洋水生生态毒性、臭氧层破坏、光化学氧化剂生成、陆地生态毒性的权重分别为0.156、0.143、0.164、0.152、0.147、0.108、0.141、0.147、0.161、0.154、0.147。归一化结果乘以权重得到综合环境影响。

表1 11个指标的归一化因子
Table 1 Normalization factors of 11 indexes

指标	归一化因子
资源消耗/kg	3.61×10^8
化石燃料消耗/MJ	3.80×10^{14}
酸化效应/kg	2.39×10^{11}
水体富营养化/kg	1.58×10^{11}
新鲜水生态毒性/kg	2.36×10^{12}
全球变暖/kg	4.22×10^{13}
人体健康损害/kg	2.58×10^{12}
海洋水生生态毒性/kg	1.95×10^{14}
臭氧层破坏/kg	2.27×10^8
光化学氧化剂生成/kg	3.68×10^{10}
陆地生态毒性/kg	1.09×10^{12}

1.2.4 解释说明

解释说明是形成评价结论和有效建议,系统地评估扑热息痛生产过程中的能源、原材料消耗和环境污染排放的减量潜力^[20]。

2 结果与分析

2.1 环境影响评价结果分析

每生产1 t扑热息痛酰化过程、脱色过程和结晶过程的综合环境影响如表2所示。由表2可以看出,酰化过程、脱色过程、结晶过程的综合环境影响分别为 2.57×10^{-7} 、 1.59×10^{-8} 、 1.76×10^{-10} ,对全过程综合环境影响的贡献分别为94.14%、5.82%、0.04%,可知酰化过程是扑热息痛生产过程中产生环境影响的最关键阶段。这主要是因为酰化过程需要控制反应温度和蒸酸温度,需消耗大量化石燃料。

酰化过程对海洋水生生态毒性、化石燃料消耗、水体富营养化和全球变暖的环境影响较大,在酰化过程中,大量使用化石燃料产生的CO₂、SO₂、NO_x等污染物对海洋水质有较大影响,从而危害海洋水生生物,引起富营养化,破坏海洋水生生态系统,同时加剧了全球变暖。

脱色过程对海洋水生生态毒性、化石燃料消耗、全球变暖、人体健康损害和酸化效应的环境影响较大。而结晶过程主要对海洋水生生态毒性、水体富营养化、化石燃料消耗、全球变暖和人体健康损害影响较大。总体而言,不同过程的环境影响比较一致。

2.2 改进建议

该企业扑热息痛生产技术成熟,但产品收率低,质量不高,成本较高^{[21]30}。本研究通过环境影响评价发现,扑热息痛生产依赖化石燃料,对水体和大气产生严重影响,基于此,提出以下方面的改进措施供参考。

2.2.1 工艺设计方面

扑热息痛生产中,酰化过程、脱色过程和结晶过程反应温度高,且都需要严格控制温度,在此过程中消耗大量的资源和能源,污染物排放量也较大,建议考虑张晓阳等^{[21]31}的常温生产工艺,该工艺以氨基苯酚为起始原材料,以二氯甲烷为溶剂,室温条件下就可以通过乙酰化反应制备扑热息痛,产品收率可以达到93%,产品纯度可以达到99%。

2.2.2 生产过程方面

扑热息痛的生产过程对水的单位产品消耗量达2.05 t/t,对电的单位产品消耗量达到670.38 kW·h/t,因此建议企业逐步淘汰落后设备,使用

表2 每生产1 t扑热息痛的综合环境影响
Table 2 Comprehensive environmental impacts of 1 t paracetamol production

项目	酰化过程	脱色过程	结晶过程	全过程
全球变暖	1.57×10^{-7}	7.23×10^{-9}	3.72×10^{-11}	1.64×10^{-7}
酸化效应	2.20×10^{-8}	1.70×10^{-9}	9.50×10^{-12}	2.37×10^{-8}
水体富营养化	4.77×10^{-7}	3.43×10^{-12}	3.84×10^{-10}	4.77×10^{-7}
臭氧层破坏	2.23×10^{-13}	1.94×10^{-14}	7.49×10^{-16}	2.43×10^{-13}
资源消耗	4.49×10^{-9}	5.12×10^{-12}	1.27×10^{-12}	4.50×10^{-9}
化石燃料消耗	4.84×10^{-7}	8.11×10^{-9}	3.97×10^{-11}	4.92×10^{-7}
新鲜水生态毒性	6.06×10^{-9}	7.29×10^{-11}	1.93×10^{-12}	6.13×10^{-9}
人体健康损害	4.11×10^{-8}	3.15×10^{-9}	2.90×10^{-11}	4.43×10^{-8}
海洋水生生态毒性	5.59×10^{-7}	8.87×10^{-8}	6.87×10^{-10}	6.48×10^{-7}
光化学氧化剂生成	2.91×10^{-8}	9.32×10^{-10}	5.87×10^{-12}	3.00×10^{-8}
陆地生态毒性	8.17×10^{-10}	1.55×10^{-10}	2.03×10^{-12}	9.74×10^{-10}
综合环境影响	2.57×10^{-7}	1.59×10^{-8}	1.76×10^{-10}	2.73×10^{-7}

高效节能新设备;同时增加工艺水的重复利用率,增加蒸气的使用量;对锅炉排放的烟气余热进行回收利用。具体而言,企业使用薄膜蒸发器回收母液;电和蒸气消耗大,而且易造成扑热息痛晶体附着在罐壁上,使热传导效率降低,蒸发效果变差,可替换为双效蒸发设备^[22];增添混合控制系统控制扑热息痛生产的全过程,使生产更加科学、系统、节能^[23]。

3 结 论

本研究以扑热息痛生产企业为研究对象,用LCA方法评价扑热息痛生产过程的环境影响。该企业每生产1 t扑热息痛的酰化过程、脱色过程、结晶过程的综合环境影响对全过程的综合环境影响贡献率分别为94.14%、5.82%、0.04%,主要环境影响体现在海洋水生生态毒性、化石燃料消耗、水体富营养化和全球变暖。

建议该企业在工艺设计方面考虑常温的生产工艺,在生产过程方面逐步淘汰落后设备,提高工艺水的重复利用率、增加蒸气的使用量和提高余热的回收利用。

参考文献:

- [1] 曹飞,袁守军,张梦涛,等.臭氧氧化水溶液中对乙酰氨基酚的机制研究[J].环境科学,2014,35(11):4185-4191.
- [2] ROBERTS P H, THOMAS K V. The occurrence of selected pharmaceuticals in wastewater effluent and surface waters of the lower Tyne catchment[J]. Science of the Total Environment, 2006, 356(1/2/3): 143-153.
- [3] BEDNER M, MACCREHAN W A. Transformation of acetaminophen by chlorination produces the toxicants, 4-benzoquinone and N-acetyl-p-benzoquinone imine[J]. Environment Science & Technology, 2006, 40(2): 516-522.
- [4] TERNES T A. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers[J]. Water Research, 1998, 32(11): 3245-3260.
- [5] TAN C, GAO N, ZHOU S, et al. Kinetic study of acetaminophen degradation by UV-based advanced oxidation processes[J]. Chemical Engineering Journal, 2014, 253(7): 229-236.
- [6] 高瑞祺,李明雪,刘乔,等.液膜法提取废水中的扑热息痛[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2018,51(3):284-290.
- [7] TAO H, LIANG X, ZHANG Q, et al. Enhanced photoactivity of graphene/titanium dioxide nanotubes for removal of acetaminophen[J]. Applied Surface Science, 2015, 324: 258-264.
- [8] 潘夏玲,张铭辉,李富华,等.次氯酸钠-溴离子体系氧化水中的扑热息痛[J].环境工程学报,2017,11(2):833-838.
- [9] XIONG P, HU J Y. Degradation of acetaminophen by UVA/LED/TiO₂ process[J]. Separation and Purification Technology, 2012, 91: 89-95.
- [10] THI V H, LEE B K. Effective photocatalytic degradation of paracetamol using La-doped ZnO photocatalyst under visible light irradiation[J]. Materials Research Bulletin, 2017, 96: 171-182.
- [11] LUNA M D, VECIANA M L, COLADES J I, et al. Factors that influence degradation of acetaminophen by Fenton processes[J]. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2014, 45(2): 565-570.
- [12] 王如松,杨建新.从褐色工业到绿色文明[M].上海:上海科学技术出版社,2002.
- [13] GEO R, PRABIR S, EKTA S, et al. Comparison of environmental sustainability of pharmaceutical packaging[J]. Perspectives in Science, 2016, 8: 683-685.
- [14] LI C H, BAI H T, LU Y Y, et al. Life-cycle assessment for coal-based methanol production in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 188: 1004-1017.
- [15] 陈亮,刘玫,黄进. GB/T 24040—2008《环境管理 生命周期评价原则与框架》国家标准解读[J].标准科学,2009(2):76-80.
- [16] ISO 14040, Environmental management: life cycle assessment principles and framework[S].
- [17] GB/T 24040—2008, 环境管理 生命周期评价原则与框架[S].
- [18] 郭金玉,张忠彬,孙庆云.层次分析法的研究与应用[J].中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.
- [19] 吴祈宗,李有文.层次分析法中矩阵的判断一致性研究[J].北京理工大学学报,1999,19(4):502-505.
- [20] 刘晓明.基于生命周期评价的建筑碳减排对策研究[D].河北:河北工程大学,2012.
- [21] 张晓阳,辛纪衡,刘晓莲,等.常温下合成对乙酰氨基苯酚[J].煤炭与化工,2017,40(6).
- [22] 刘世强.扑热双效 PLC 自控回收系统[J].电子世界,2013(10):118-119.
- [23] 赵国新. Experion HS/HC900 混合控制系统在扑热息痛生产装置中的应用[J].仪器仪表用户,2018,25(9):31-34.

编辑:陈锡超 (收稿日期:2018-11-05)