

垃圾焚烧处理工艺的生命周期环境影响分析*

杨 韬¹, 欧阳创², 周永泉²

(1.上海天马再生能源有限公司, 上海 201603;

2.上海市环境工程设计科学研究院有限公司 上海环境卫生工程设计院有限公司, 上海 200232)

摘要:随着城市生活垃圾清运量的逐年增加,垃圾焚烧因其无害化、减量化优势显著而成为我国当前最主要的垃圾处理方式。本文利用生命周期评价方法对垃圾焚烧处理工艺进行环境影响评价,判断各阶段污染物的主要来源。结果显示,垃圾焚烧处理过程产生的污染物排放是造成环境影响最主要的原因,其环境影响潜值为 0.109,因所发电力替代传统的燃煤发电,因此电力输出具有良好的环境表现,其环境影响潜值为 -0.115;在所有环境影响类别中,臭氧生成的环境影响潜值最高,主要是由于 NO_x 的排放。通过对垃圾焚烧处理全过程的生命周期环境影响分析可知,如何进一步控制 NO_x 的排放以及提高能源回收效率是降低垃圾焚烧环境影响最主要的途径。

关键词:生活垃圾 焚烧发电 生命周期评价

中图分类号:X705

文献标识码:A

文章编号:1004-7050(2022)05-0156-03

引言

当前经济、人口的快速发展增长以及城镇化进程的加快,城市生活垃圾产生量快速增长。根据国家统计局数据^[1]显示,我国城市生活垃圾产生量从2011年的 16 395.3 万 t 增至 2020 年的 23 511.7 万 t,同比增长 43.4%。垃圾清运量的快速增长使得城市生活垃圾的管理也面临着较大的压力,我国大力提倡将焚烧作为处理生活垃圾的替代方法。统计数据^[1]显示,2020 年我国垃圾焚烧处理占比为 62%,相较于全国,上海市的垃圾焚烧处理占比更高达 79%,垃圾焚烧处理显然已经成为我国最主要的垃圾处理方式。

当前在垃圾焚烧的研究中,主要为不同垃圾处理方式的对比或垃圾焚烧工艺环节的问题,但是垃圾焚烧处理过程是复杂且污染物排放的种类繁多。因此,对生活垃圾焚烧处理工艺的环境影响开展研究是十分必要的。生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是一种先进的环境评价及管理方法,用于评价特定产品或者生产过程在其整个生命周期中对环境所产生的影响。本文依据某生活垃圾焚烧发电厂为例进行研究,利用生命周期评价方法对垃圾焚烧处理的过程进行环境影响评价,以此了解垃圾焚烧处理的环境影响水平并判断各阶段造成环境影响的主要来源,为垃圾焚烧处理工艺的优化改进提供理论依据。

1 垃圾焚烧处理生命周期评价模型建立

本文旨在利用生命周期分析评价当前上海市某生活垃圾焚烧发电厂的环境影响,根据 ISO14000 标准,LCA 分析过程包括:目标和范围定义;清单分析;环境影响评价;结果解释等 4 个组成部分。

本文将通过 Simapro 平台进行 LCA 建模,对垃圾焚烧处理工艺的环境负荷进行综合评价,从而了解垃圾焚烧的环境影响以及寻求工艺改进与优化。研究边界示意,如图 1 所示。针对垃圾焚烧处理整体工艺,不关注中间具体工艺环节,以整厂范围为边界,研究内容主要包含三个部分,即上游原材料的消耗、垃圾焚烧处理过程中各类污染物质的排放、下游电力输出。本文的清单数据主要来源于上海某焚烧厂现场实测,部分数据为经验数据,在建模中各项物料的输出需要选定生命周期商业评价软件 SimaPro 9.0 版本 Ecoinvent 3.5 数据库中的背景数据,功能单位选定为处理 1t 垃圾。

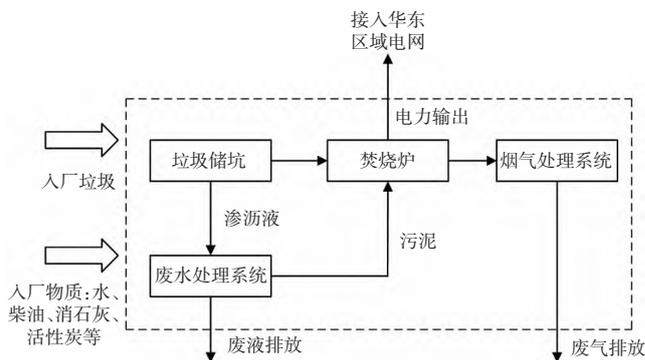


图 1 垃圾焚烧处理的 LCA 边界

根据 ISO 14044 标准,环境影响评价(Life Cycle Impact Analysis, LCIA)有四个阶段:分类、表征、标准化和加权。进行生命周期环境影响分析,首先要进行分类,其目的在于识别每种潜在造成危害的物质。特征化过程是对各种物质引起的环境影响的定量表征。通过将排放的污染物乘以相应的潜值转换因子,得到

收稿日期:2022-06-01

*基金项目:上海市国资委企业技术创新和能级提升项目“上海固废环保科创中心(一期)建设”(2019008)

作者简介:杨韬,男,1981 年出生,毕业于上海交通大学,硕士学位,高级工程师,主要研究方向为固体废弃物处置和资源化技术与咨询。

其相应的环境影响潜值(EIP)。所使用的生命周期评价方法为EDIP 2003方法。由表1所示,EDIP 2003方法在中间点阶段总共定义了19种不同的影响类别。其次对于每个基线指标,计算标准化分数以供参考。通过对标准化环境影响潜值进行加权,可获得总环境影响潜值(TEIP)的单一评分指标。

表1 EDIP 2003方法的影响类别、标准化因子和权重因子

影响类别	标准化因子	权重因子
全球变暖(100年)	1.29×10^{-4}	1.1
臭氧消耗	4.88×10^1	63
臭氧生成(植被)	1.68×10^{-5}	1.2
臭氧生成(人类)	3.52×10^{-1}	1.2
酸化	2.54×10^{-3}	1.3
陆地富营养化	7.30×10^{-4}	1.2
水体富营养化(N)	1.20×10^{-1}	1.4
水体富营养化(P)	3.55	1.0
人体毒性(空气)	2.11×10^{-9}	1.1
人体毒性(水体)	2.12×10^{-5}	1.3
人体毒性(土壤)	1.24×10^{-4}	1.2
生态毒性(水体慢性)	2.73×10^{-7}	0
生态毒性(水体急性)	1.50×10^{-6}	0
生态毒性(土壤慢性)	1.37×10^{-5}	0
危险废物	4.83×10^{-2}	1.1
固渣/飞灰	2.86×10^{-3}	1.1
固废	7.41×10^{-4}	1.1
放射性废弃物	6.25	1.1
资源消耗	1.22	0

2 环境影响分析

本文采用EDIP2003方法,对垃圾焚烧工艺进行了环境影响潜值的对比,其中间点环境影响潜值分析结果如表2所示。将上述结果标准化之后进行加权,获得垃圾焚烧处理工艺的环境影响如图2所示。

由图2所示,垃圾焚烧处理工艺的总环境影响潜值为0.0136,其中上游由于原材料消耗所造成的正环境影响潜值为0.0196,垃圾焚烧处理过程由各种污染物质排放的正环境影响潜值为0.109,下游由电力输出以替代化石燃料发电厂的负环境影响潜值为-0.115。由污染物排放造成的环境影响占到了正环境潜值的85%,成为最主要的环境影响来源。图3显示了垃圾焚烧处理工艺最主要的五类环境影响类别,分别为:臭氧生成(人类)、臭氧生成(植被)、陆地富营养化、全球变暖(100年)、水体富营养化(N);其环境影响潜值分别为0.0231、0.0165、0.0101、0.00987、0.00735,总计环境影响潜值为0.06692。2020年我国正式提出“双碳”目标。“双碳”目标的提出使我国坚定不移走生态优先、绿色低碳发展道路,积极推进“双碳”工作,因此由温室气体造成的全球变暖效应在当前形势下显得尤为重要。根据表2的特征化结果显示,焚烧处理1t垃圾产生的总全球变暖(100年)影响为69.5 kgCO₂-eq,其中由上游原材料消耗造成的间接碳排放和由焚烧过程中产生的直接碳排放分别为12.5 kg CO₂-eq、135 kg CO₂-eq。而电力输出对全球

表2 环境影响分析(中间点环境影响潜值及标准化后加权终点值)

影响类别	标准化后加权终点值	标准化后加权终点值
全球变暖(100年)	69.50	9.87×10^{-3}
臭氧消耗	1.34×10^{-6}	4.11×10^{-3}
臭氧生成(植被)	5.46×10^{-2}	16.50×10^{-3}
臭氧生成(人类)	1.87	23.10×10^{-3}
酸化	11.50	6.16×10^{-3}
陆地富营养化	0.0437	10.10×10^{-3}
水体富营养化(N)	-1.59×10^{-2}	7.35×10^{-3}
水体富营养化(P)	2.06×10^4	-56.60×10^{-3}
人体毒性(空气)	-355.00	-4.78×10^{-5}
人体毒性(水体)	-2.00	-9.78×10^{-3}
人体毒性(土壤)	-1.24×10^4	-2.98×10^{-4}
生态毒性(水体慢性)	-1.28×10^3	0.00
生态毒性(水体急性)	-49.60	—
生态毒性(土壤慢性)	9.81×10^{-3}	—
危险废物	-8.46×10^{-2}	5.21×10^{-4}
固渣/飞灰	-2.07×10^{-1}	-2.66×10^{-4}
固废	-3.47×10^{-4}	-1.69×10^{-4}
放射性废弃物	-1.06×10^{-3}	2.38×10^{-3}
资源消耗	—	—
总计		13.60×10^{-3}

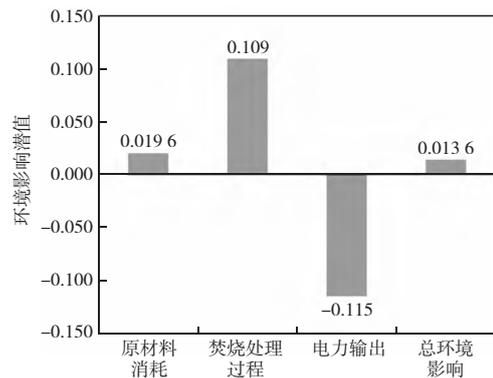


图2 不同处理环节对环境影响的贡献

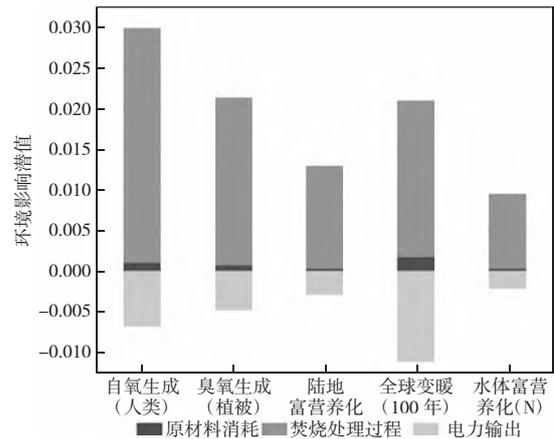


图3 主要的环境影响类别

变暖(100年)具有较好的表现,原因是通过华东区域电网对外输送电力以此提供由燃煤发电形成的等量供电,焚烧1t垃圾可以形成78kg CO₂-eq的避免排放,因此其最终的净排放仅为69.5kg CO₂-eq。

虽然由原材料消耗以及焚烧处理过程造成的环境影响较高,但总环境影响仅为0.0128,这主要是由于焚烧产生的热能进行回收利用发电,所发电力并入华东区域电网以替代燃煤发电所产生的电力,其电力输出造成的间接环境影响潜值为-0.115,而对水体富营养化(P)的影响类别具有明显的环境效益,其环境影响潜值为-0.0574。由图4所示,在污染物排放造成的环境影响中NO_x和CO₂是造成环境影响最大的两类物质,CO₂造成了0.00949的全球变暖(100年),NO_x造成了0.023的臭氧生成(人类)、0.0165的臭氧生成(植被)、0.0101的陆地富营养化以及0.00731的水体富营养化(N)。在污染物排放造成的总环境影响中,NO_x的排放影响为80.2%,CO₂排放影响为17.7%。而在原材料消耗中,由图5所示造成间接环境影响最大的药剂为氢氧化钠,其环境影响潜值为0.00516,占原材料消耗总环境影响潜值的26.4%,该药品使用在湿法脱酸塔中进行湿法脱酸,从而降低SO₂、HCl和一定NO_x的排放水平。原材料消耗中造成环境影响的五类物质主要为氢氧化钠、螯合剂、消石灰、活性炭以及柴油,除氢氧化钠外其余占原材料消耗环境影响潜值的比例分别为19.6%、18.8%、13.5%、9.7%。

3 结论

本文针对垃圾焚烧处理工艺通过LCA建模进行了生命周期环境影响评价,以此判断各阶段造成的环境影响以及判断各阶段环境影响的主要原因,最终得

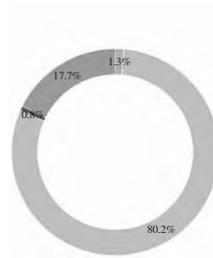


图4 不污染物排放环境影响占比

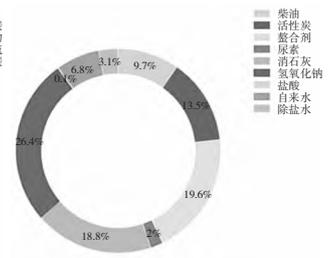


图5 不同原材料消耗环境影响占比

出以下结论:

1)从全生命周期角度分析,在垃圾焚烧处理工艺中,正环境影响潜值主要是由上游原材料消耗以及垃圾焚烧处理过程中污染物排放所造成,但通过垃圾焚烧后的热能回收发电,以此替代燃煤发电会大幅度降低垃圾焚烧所造成的环境影响。

2)在所有环境影响类别中,臭氧生成造成的环境影响最为显著,其主要原因是由于NO_x的排放,在原材料消耗造成间接的环境影响中,氢氧化钠是最主要的影响因素,但该药品使用目的是在湿法脱酸塔中进行湿法脱酸。其次“双碳”背景下,垃圾焚烧具有良好的碳减排效益,吨垃圾焚烧的碳排放仅为69.5kg CO₂-eq。

3)通过全生命周期环境影响分析可以为焚烧厂的低污染运行提供更加明确的升级改造途径:如何进一步降低NO_x的排放以及提高能量回收效率。这对于降低垃圾焚烧处理工艺环境影响具有重要的指导意义。

参考文献

[1] 中华人民共和国统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.

Life Cycle Environmental Impact Analysis of Waste Incineration Process

Yang Tao¹, Ouyang Chuang², Zhou Yongquan²

(1. Shanghai Tianma Renewable Energy Co., Ltd., Shanghai 201603; 2. Shanghai Environmental Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai Environmental Sanitation Engineering Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200232)

Abstract: With the increasing amount of urban domestic waste removal and transportation year by year, waste incineration has become the most important waste treatment method in China because of its significant advantages of harmless and reduction. In this paper, the life cycle assessment method is used to evaluate the environmental impact of waste incineration treatment process, and determine the main sources of pollutants in each stage. The results show that the emission of pollutants from waste incineration is the main cause of environmental impact, with an environmental impact potential of 0.109. Because the generated power replaces the traditional coal-fired power generation, the power output has a good environmental performance, with an environmental impact potential of -0.115. Among all environmental impact categories, ozone has the highest environmental impact potential, mainly due to NO_x emissions. Through the life cycle environmental impact analysis of the whole process of waste incineration, it can be seen that how to further control NO_x emissions and improve energy recovery efficiency are the main ways to reduce the environmental impact of waste incineration.

Key words: domestic waste; incineration power generation; life cycle assessment