

基于 LCA 的医疗废物处置技术的环境评估研究

管京华, 刘良旭

(华北理工大学 冶金与能源学院, 河北 唐山 063210)

摘要: 新冠疫情爆发,造成中国医疗废物的产生量快速增长。对于疫情严重地区,医疗废物更是呈现井喷式增加,因此正确、安全处置医疗废弃物刻不容缓。对医疗废物热解焚烧和蒸汽灭菌+焚烧发电这两种常规处置技术的环境影响进行比较,利用生命周期评价方法量化分析这两种处置技术的环境影响和主要影响因素。结果表明:蒸汽灭菌+焚烧发电技术的综合环境影响最好;在全球变暖潜能(GWP)指标中,热解焚烧技术达到了 1.35×10^3 kg 的二氧化碳当量,是蒸汽灭菌+焚烧发电技术 2~3 倍。由于有电力的产出,蒸汽灭菌+焚烧发电技术在大多数环境指标中都是比较低的。

关键词: 医疗废物;生命周期评价;常规处置技术;特征化分析;归一化分析

中图分类号: X799.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-0912(2023)07-0038-04

在 COVID-19 大流行期间,医疗废物的激增引起了全球环境和公共卫生问题的日益关注^[1]。在我国,2019 年共有 442 个持牌运营的医疗废物处置厂,收集和处置了 118 万 t 医疗废物。2019 年医疗废物产量排名前十的城市是上海、北京、广州、杭州、成都、重庆、郑州、武汉、深圳和南京。人口众多的发达城市的医疗废物产生量正在迅速增长,这是一个关键的问题。

2020 年,新冠疫情爆发,导致我国医疗废物呈现井喷式增长^[2]。目前,我国医疗废物处置技术分为焚烧技术(热解焚烧和回转窑焚烧)和非焚烧技术(高温蒸汽灭菌、微波灭菌和化学消毒)。统计显示,目前我国近一半的医疗废物处置厂采用非焚烧技术^[3],大部分非焚烧处置厂都会选择高温蒸汽灭菌技术^[4]。

研究首先对热解焚烧和高温蒸汽灭菌+焚烧发电两种处置技术进行工艺流程特点的对比;之后列出这两种处置技术的生命周期清单数据,进行 LCA 计算,量化分析两种处置技术的环境影响,分析两种处置技术对环境的关键因素,为我国医疗废物处置行业的改进提供参考意见。

1 材料和方法

1.1 评估方法

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是系

统化地定量描述产品(或服务)从原材料的获取,到生产、使用,一直到废弃整个过程中的各种资源、能源消耗和环境排放并评价其潜在的环境影响的标准方法^[5]。在 ISO14040 中,LCA 是通过编制某一系统相关投入与产出的数据清单,评估与这些投入、产出有关的潜在环境影响,根据生命周期评估研究的目标解释数据清单和环境影响的分析结果来进行的^[6]。

1.2 技术特点

热解焚烧技术,医疗废物在垂直热解气化炉中被干燥、加热和分解。在还原性气氛中热解干燥的医疗废物,产生可燃气体和不可燃固体废物。热解气化炉中的温度通常保持在 500~800 ℃,以使医疗废物的热解产生氢气、甲烷和其他可燃气体。剩余的固体包括焦油、碳化物和不可燃固体,在气化炉中继续燃烧,温度最高可达 1 100 ℃,为新加入的医疗废物提供持续的热源。可燃气体在二级燃烧室中被氧化和燃烧。

蒸汽灭菌是利用蒸汽汽化的潜热,使微生物蛋白质变质和凝固。医疗废物首先进入高温蒸汽装置进行蒸汽灭菌处理。处理环境的温度应保持在不低于 134 ℃,压力应保持在 0.22 MPa。蒸汽的主要来源是处理厂自建的燃油锅炉产生的自给自足的蒸汽。蒸汽必须是饱和蒸汽,压力应该是 0.6~0.8 MPa。灭菌时间不应少于 45 min。否则,不能完全达到灭菌效果。灭菌后

基金项目: 唐山市科学技术研究与发展计划项目(17110212a)

作者简介: 管京华(1997-),男,江西吉安人,硕士研究生,研究方向:废弃物资源化

通讯作者: 刘良旭(1984-),男,河南开封人,博士,讲师,研究方向:新能源利用及系统优化。

的医疗废物将进入破碎装置进行破碎处理,成为生活垃圾进入焚烧厂进行焚烧发电。

1.3 生命周期的系统边界和功能单位

功能单位:处置 1 t 医疗废物。

热解焚烧技术和高温蒸汽灭菌+焚烧发电技术的系统边界图和物质流分析如图 1 所示。

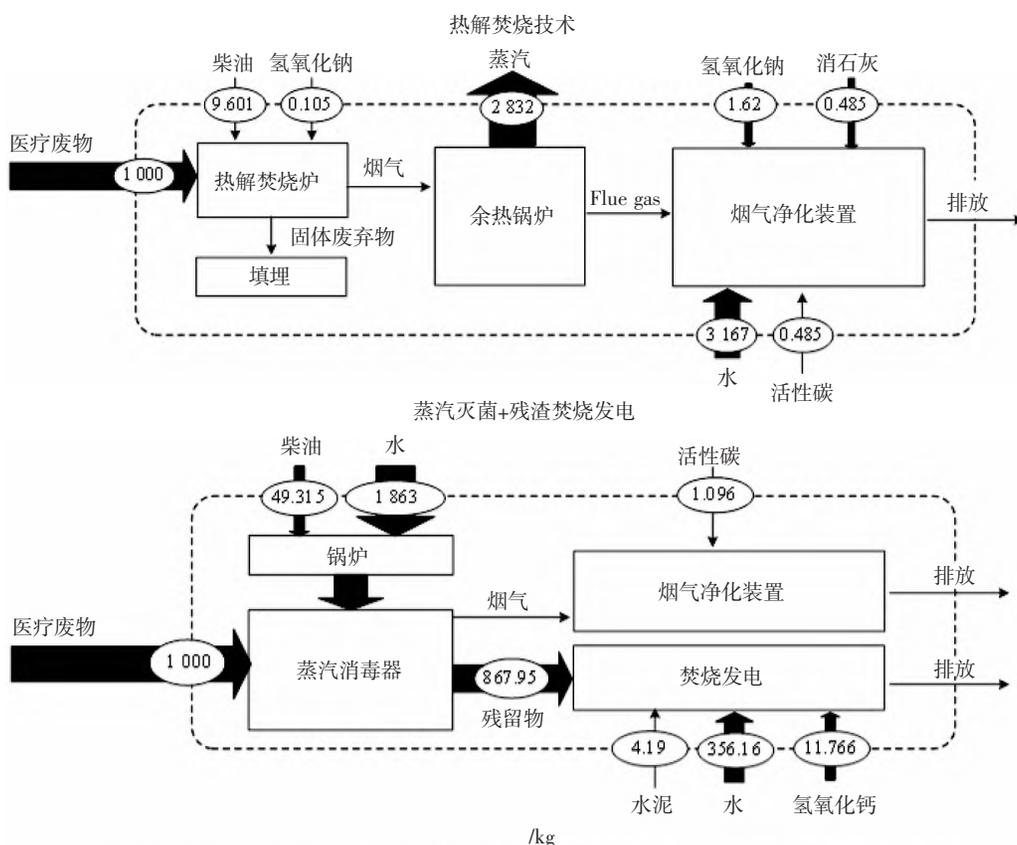


图 1 两种医疗废物处置技术的系统边界和物质流

1.4 生命周期清单数据

生命周期清单数据如表 1 所示。热解焚烧技术和高温蒸汽灭菌技术的实景数据来源于《泉州市医疗废物处置中心提级改造项目环境影响报告书》和《仁寿县医疗废弃物处置中心项目环境影响报告书》,垃圾焚烧发电技术的实景数据来源于《鹤岗市生活垃圾焚烧发电项目环境影响报告书》。背景数据是由 CLCD 数据库和 Ecoinvent 数据库提供^[7]。

2 结果分析

2.1 特征化分析

在特征化分析结果中,选择了 9 种常用指标,分别为全球变暖潜能(GWP)、初级能源消耗(PED)、非生物资源潜能(ADP)、水资源消耗(WU)、酸化潜能(AP)、富营养化潜能(EP)、可吸入无机物(RI)、臭氧层消耗(ODP)和光化学臭氧合成(PODP)。两种医疗废物处置技术的特征化数据在表 2 中显示。

表 1 两种医疗处置技术的生命周期清单

类型	清单名称	热解焚烧	高温蒸汽灭菌+焚烧发电
原料和能源消耗	电力消耗/kWh	135.697	148.940
	发电量/kWh		348.595
	净发电量/kWh		199.654
	水/t	3.167	3.724
	柴油/kg	9.601	49.605
	活性炭/kg	0.485	1.525
	氢氧化钠/kg	1.725	
	消石灰/kg	0.485	11.766
	盐酸/kg		13.151
	石灰/kg		0.548
	亚硫酸钠/kg		16.438
	螯合剂/kg		0.739
	水泥/kg		4.190
	氨水/kg		3.447
	尿素/kg		1.578
大气污染物排放	颗粒物/kg	0.720	0.111
	二氧化硫/kg	1.122	0.194
	氮氧化物/kg		0.989
	硫化氢/kg	0.0294	0.005 90
	二氧化碳/t	1.197	0.614
	氨/kg	0.165	0.151
	挥发性有机化合物/kg		0.055 3
	一氧化碳/kg		0.231
	氯化氢/kg	0.115	0.093 7
	氟化氢/kg	0.009 94	0.005 21
水污染物	二恶英/ μ g	1.166	0.313
	化学需氧量/kg		0.121
	悬浮物/kg		0.071 2
	氨氮/kg		0.032 9

表 2 两种医疗废物处置技术的特征化数据和归一化数据

指标类型	环境影响类指标	LCA 数据(热解焚烧技术)	LCA 数据(“蒸汽灭菌+焚烧发电”技术)
特征化数据	GWP/kg CO ₂ eq	1.35E+03	5.12E+02
	PED/MJ	2.39E+03	5.38E+02
	ADP/kg antimony eq	2.63E-04	7.94E-04
	WU/kg	3.73E+03	3.81E+03
	AP/kg SO ₂ eq	2.38E+00	-2.97E-02
	EP/kg PO ₄ ³⁻ eq	1.15E-01	5.59E-02
	RI/kg PM _{2.5} eq	4.44E-01	-9.08E-02
	ODP/kg CFC-11 eq	4.40E-06	2.13E-05
	POFP/kg NMVOC eq	2.07E-01	1.95E-01
	归一化数据	CO ₂ /kg	1.33E+03
SO ₂ /kg		1.59E+00	-1.79E-01
NO _x /kg		3.80E-01	-3.40E-01
NH ₃ -N /kg		2.25E-03	4.38E-02
COD /kg		1.02E-01	5.61E-01
IWU /kg		3.72E+03	3.78E+03
ECER-135-I		1.35E-09	5.10E-10

由表 2 可知,热解焚烧技术比蒸汽灭菌+焚烧发电的环境影响要高出很多,有 6 项特征化指标,热解焚

烧技术最大。在 GWP 指标中,热解焚烧技术处置 1 t 医疗废物会产生 1.35 t 二氧化碳当量,是蒸汽灭菌+焚烧发电技术的 2~3 倍,而其他 5 项特征化指标,热解焚烧技术比蒸汽灭菌+焚烧发电技术高出 0.06~3.4 倍。由于蒸汽灭菌与垃圾焚烧发电相耦合,使得环境影响得到一定的缓和。尤其是在 AP 和 RI 指标中,出现了对环境有益的情况。

由图 2 可以看出,热解焚烧技术的直接排放是 GWP、AP、EP、RI 和 POFP 的主要贡献者,达到了 50% 以上的贡献率。而能源消耗比如电力和柴油,它们则在 PED、ADP、RI 和 ODP 上占比是非常大的,有的甚至达到了 90%。水主要是对 WU 指标影响最大。

而在图 3 中,柴油则成为了蒸汽灭菌+焚烧发电技术的主要贡献者,尤其是在 ADP 和 ODP 指标中处于主导地位。电力依旧在 9 种特征化指标中有较大的贡献。由于蒸汽灭菌处置后的残渣进入垃圾焚烧厂发电,使得最终残渣处置在大多数环境指标中表现出对环境有益,而在 GWP 指标中残渣处置和直接排放是主要的贡献者。

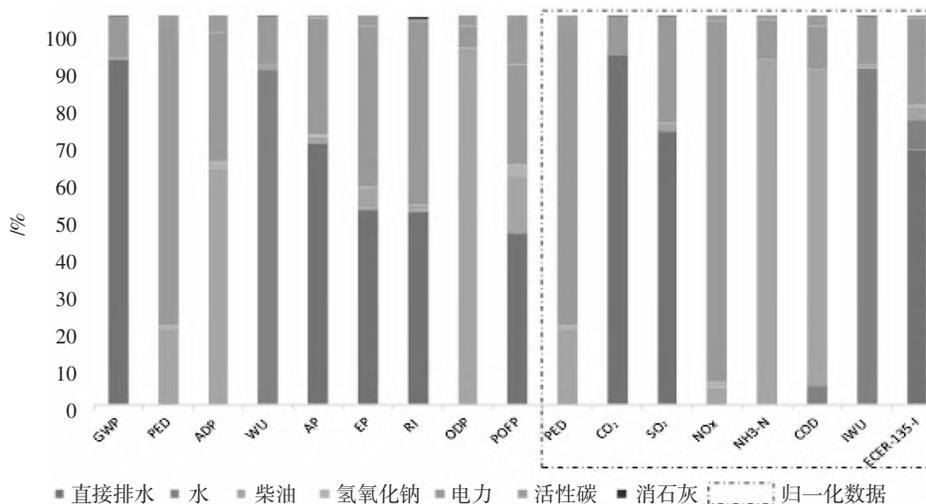


图 2 热解焚烧技术的特征化数据和归一化数据分布

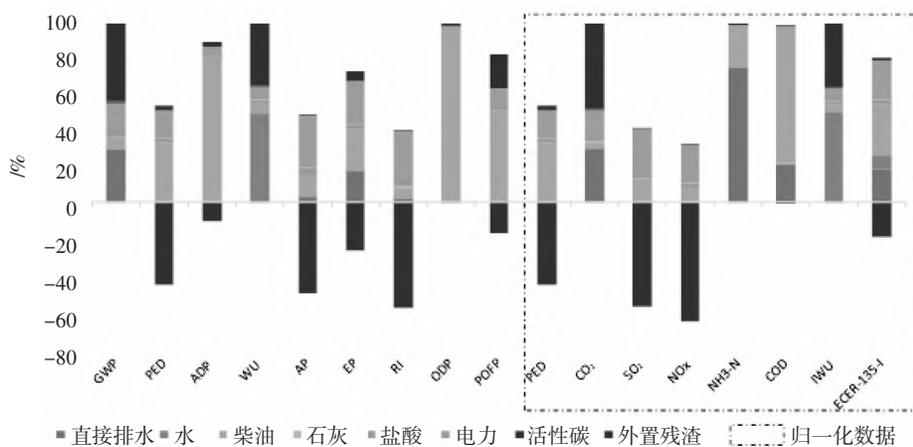


图 3 蒸汽灭菌+焚烧发电技术的特征化数据和归一化数据分布

2.2 归一化分析

在表 2 中,热解焚烧技术的 ECER 为 1.35×10^{-9} ,而蒸汽灭菌+焚烧发电技术的 ECER 指标为 5.1×10^{-10} 。二氧化碳、二氧化硫以及氮氧化物值,热解焚烧技术均比蒸汽灭菌+焚烧发电技术要高,而 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 IWU 值,蒸汽灭菌+焚烧发电是最高的。

在图 2 中,热解焚烧技术的综合指标 ECER,其主要贡献者就是直接排放,占据 60%以上,其次是电力消耗、水以及柴油。而在图 3 中,残渣焚烧发电的环境综合影响是有益的,而综合环境影响最大的因素是柴油,其次是电力消耗、直接排放和水。

3 结论

3.1 相较于热解焚烧技术,蒸汽灭菌+焚烧发电技术对环境的影响最小,尤其是在二氧化碳排放方面,仅仅只有热解焚烧技术的三分之一。而且综合环境指标也是热解焚烧技术的二分之一至三分之一,是比较绿色环保的医疗废物处置技术。

3.2 热解焚烧技术可以通过使用清洁能源比如风电、水电和天然气等,也可以安装一些脱硫装置或者固碳

装置来减少二氧化碳和二氧化硫的排放。而蒸汽灭菌+焚烧发电技术需要与当地垃圾焚烧发电厂相结合,因此对于分布情况具有一定的严苛要求。

参考文献

- [1] KALANTARY R R, JAMSHIDI A, MOFRAD M, et al. Effect of COVID-19 pandemic on medical waste management: a case study [J]. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCE AND ENGINEERING, 2021, 19(1): 831-836.
- [2] 刘德杰, 杨方圆, 杨立敏. 重大疫情下全省医疗废物管理现状与思考 [J]. 能源与环保, 2020, 42(07): 147-149.
- [3] 周小莉. 医疗废物非焚烧处理技术应用下的化学性废物处理处置 [J]. 广东化工, 2021, 48(01): 96-97.
- [4] 孙宁, 任志远, 孙添伟, 等. “十三五”医疗废物综合管理思路与对策研究 [J]. 中国环境管理, 2017, 9(03): 78-82.
- [5] 朱帅康, 龚先政, 高峰, 等. 汽车钢板生产的生命周期评价 [J]. 钢铁, 2022: 1-10.
- [6] 温玉刚, 雷丛瑄, 许威, 等. 基于 LCA 的汽车钢化玻璃碳足迹量评估研究 [J]. 中国汽车, 2022(11): 7-10.
- [7] JIAO J, LI J, BAI Y. Uncertainty analysis in the life cycle assessment of cassava ethanol in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 206: 438-451.

Environmental assessment study of medical waste disposal technology based on LCA

GUAN Jinghua, LIU Liangxu

(College of Metallurgy and Energy, North China University of Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: The outbreak of the COVID-19 epidemic has caused a rapid increase in the amount of medical waste generated in China. Medical waste has been increasing by spurt for areas with serious epidemics, so the proper and safe disposal of medical waste is urgent. The environmental impacts of two conventional disposal technologies, namely, pyrolysis and incineration of medical waste and steam sterilization + waste-to-energy incineration, were compared, and the environmental impacts and main impact factors of these two disposal technologies were quantified and analyzed using the life cycle assessment method. The results showed that steam sterilization + incineration power generation technology has the best overall environmental impact; in the GWP index, pyrolysis incineration technology achieves 1.35×10^3 kg of CO_2 equivalent, which is 2~3 times higher than steam sterilization + incineration power generation technology. Steam sterilization + incineration power generation technology is lower in most environmental indicators due to power generation output.

Keywords: medical waste; Life Cycle Assessment; conventional disposal technology; characterization analysis; normalization analysis

(收稿日期 2023-03-07)

欢迎订阅

《再生资源与循环经济》杂志

