

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.01.012

基于生命周期评价的合肥市建筑垃圾处理模式研究

刘婷婷, 张开兴, 赵远方, 张 劼

(安徽新华学院城市建设学院, 安徽 合肥 230088)

摘要:随着环保意识的不断增强,合肥市逐渐学习其他城市的管理经验,开始重视对建筑垃圾的综合处理,但相应的建筑垃圾处理企业却甚少,资源化利用率较低。文章以建筑垃圾填埋和综合处理2种处理模式为研究对象,运用生命周期评价法,建立评价模型,结合相关研究现状与合肥市基础数据,从环境效益的角度,利用CMLCA软件对比分析建筑垃圾在填埋与综合处理2种模式下的环境负荷值、生态毒性等指标,从而得出建筑垃圾经过综合处理后的环境效益较好,具有良好的发展前景,以呼吁更多的市民及企业家投身到合肥市建筑垃圾的综合处理中,提高综合利用率,并通过分析得到综合处理过程中制砖阶段对环境的不良影响较大,应提高制砖工艺,降低能耗。

关键词:建筑垃圾处理;生命周期评价;环境影响评价

中图分类号:X799.1 文献标志码:A 文章编号:1673-1891(2023)01-0076-07

Study on the Disposal Mode of Construction Waste Based on Life Cycle Assessment in Hefei

LIU Tingting, ZHANG Kaixing, ZHAO Yuanfang, ZHANG Jie

(School of City Construction, Anhui Xinhua University, Hefei, Anhui 230088, China)

Abstract: With the continuous enhancement of environmental awareness, Hefei gradually learned from the management experience of other cities and began to pay attention to the comprehensive disposal of construction waste. However, there are very few construction waste disposal enterprises, and the utilization rate of resources is low. This paper takes two disposal modes of construction waste landfill and comprehensive disposal as the research object, uses the life cycle assessment method to establish an evaluation model, combines the relevant research status with the basic data of Hefei city, and uses the CMLCA software to compare and analyze the environmental load value, ecotoxicity and other indicators of construction waste under the two modes of landfill and comprehensive disposal from the perspective of environmental benefits. Therefore, it is concluded that the environmental benefits of construction waste after comprehensive disposal are bigger and it has a good development prospect. More citizens and entrepreneurs are encouraged to participate in the comprehensive disposal of construction waste in Hefei City and to improve the comprehensive utilization rate. Through analysis, it is found that the side effect of the brick manufacture in the comprehensive disposal process on the environment is serious, so it is necessary to improve the brick making process and reduce energy consumption.

Keywords: construction waste disposal; life cycle assessment; environmental impact assessment

0 引言

随着我国城市化进程的加快和城市规模的扩大,建筑垃圾的产生和排放也不断增加。近年来,我国建筑垃圾年产量近35.5亿t,约占城市垃圾总产量的30%~40%。合肥市作为正处于城镇化快速发

展中的城市,建筑业发展迅速,建筑垃圾已经超过生活垃圾。在建筑垃圾产生量剧增的情况下,引发了建筑垃圾收纳场不足,运输、排放过程中污染环境,非法排放和收纳等一系列管理难题,建筑垃圾管理形势十分严峻。而对于城市建筑垃圾管理,传统的末端治理如卫生填埋等方法虽然取得了一定

收稿日期:2022-10-26

基金项目:安徽省高校自然科学基金项目(KJ2020A0794);安徽新华学院重点科研项目(2022zr006);安徽省大学生创新创业训练计划项目(S202112216135)。

作者简介:刘婷婷(1992—),女,河北秦皇岛人,讲师,硕士,主要研究方向:工程项目管理、可持续建设。

的成果,但造成了环境污染、土地紧张、资源浪费等一系列问题,无法从根本上解决建筑垃圾处理难题。面对如此严峻的形势,政府大力倡导建筑垃圾综合处理模式,推广建筑垃圾综合利用产业,监督建筑垃圾的运输过程,同时在建筑垃圾综合处理中对资源化技术和产品销路都提供了相关政策支持^[1-2]。但即使有政府的支持,仍不乏相当一部分建筑垃圾源头处理的主体无法转变观念,不进行源头分类也不按照要求将建筑垃圾运输到指定收纳地点;建筑垃圾综合处理企业只是流于形式,没有真正将建筑垃圾变成有用的资源,导致最终无法落实建筑垃圾的综合处理。究其原因是建筑垃圾处理企业虽然知道综合处理比直接填埋对环境产生的不良影响小,但是不清楚具体的环境影响差异到底有多大,缺乏环境保护意识,同时由于综合处理过程复杂且花费较大,又因为长期的直接倾倒养成的不良处理习惯,仍有一大部分企业存在侥幸心理,不顾对环境的破坏,采取直接倾倒或填埋的处理方式,导致政府管理困难,相关环境管理政策和制度形同虚设^[3]。同时,合肥市建筑垃圾综合处理企业的数量及规模根本不足以处理与日俱增的建筑垃圾,建筑垃圾处理厂较为分散,运输距离较远。所以通过对合肥市2种建筑垃圾处理模式的环境影响情况进行比较,得出具体的环境负荷值、生态毒性等量化指标,从根本上转变相关企业对建筑垃圾的处理态度,呼吁更多的企业家投身到建筑垃圾的综合处理中,增建建筑垃圾综合处置厂,使建筑垃圾真正“变废为宝”。同时可以为政府大力推广建筑垃圾综合处理模式提供强有力的理论支撑。

目前已经有一部分学者对建筑垃圾的处理进行了研究,傅为忠等^[4]、徐莉莉^[5]针对建筑垃圾资源化政策的制定向政府提出建议;许明明等^[6]对建筑垃圾填埋场对周边地下水的影响进行了分析,得出建筑垃圾填埋时间越长、填埋体量越大,影响程度越深,定量评价了建筑垃圾填埋对周边地下水质的影响;郑兆昱等^[7]以湖南省为例,测算了不同建筑垃圾处理模式下的碳排放量和生产成本;林伟彪^[8]简要分析了建筑垃圾对环境的影响,雷蕾^[9]对环境影响进行了经济评价。也有学者对建筑垃圾的生命周期评价进行了研究。曾晖^[10]对建筑垃圾处理进行了环境影响的生命周期评价,提出应避免采用填埋处理方式;曾晓岚等^[11]针对重庆市建筑垃圾的处理特点提出了重庆市建筑垃圾生命周期评价方法;王波^[12]以塘朗山建筑垃圾产业园为例对深圳市建筑垃圾处理模式进行了生命周期评价,得出建筑垃

圾综合处理适于在深圳市大力推广;方珂^[13]以大连市为例进行了建筑垃圾管理模式研究,验证建筑垃圾资源化在大连市的应用优势。由于所做研究都是基于各个城市的基础数据,而每个城市的建筑垃圾特性、综合处理模式、建筑垃圾综合处理机械规模存在部分差异,且每个处理厂的规模不同(如塘朗山建筑垃圾产业园处理规模较大),建筑垃圾日处理量不同,导致机械功率及耗能有较大区别,对合肥市的建筑垃圾综合处理不具有实际指导意义。为此,有必要结合合肥市的实际情况,收集相关数据,将生命周期评价法运用于城市建筑垃圾管理模式研究中,对合肥市不同处理模式下建筑垃圾对环境的影响进行量化分析,促进合肥市建筑垃圾处理的可持续发展。

本文基于建筑垃圾生命周期评价模型,首先确定研究目的、范围和功能单位;然后,以荷兰莱顿大学的生命周期评价软件CMLCA和目前国际上应用最广的ecoinvent生命周期清单分析数据库为基础,进行建筑垃圾直接填埋生命周期评价清单分析和建筑垃圾综合处理生命周期评价清单分析。最后,基于建筑垃圾处理生命周期影响评价,对建筑垃圾处理作出生命周期解释。其意义在于:(1)使相关企业了解建筑垃圾处理不当对环境造成污染的严重性,有利于提高建筑垃圾处理中各个环节相关人员的责任感,唤起其环境保护意识,主动参与到建筑垃圾综合处理过程中。同时也可以呼吁更多的企业家投身到合肥市建筑垃圾的综合处理中,增建建筑垃圾综合处置厂,分区布点、统筹规划,形成全市的建筑垃圾综合处置网,提高建筑垃圾综合利用率。(2)通过分析建筑垃圾综合处理的各个阶段,找到对环境影响最大的阶段,有针对性地提出改进措施,以改进综合处置过程,减少对环境的不良影响。(3)为合肥市相关政府部门推广建筑垃圾资源化、进行环境管理、制订建筑垃圾处理的环境标准和规章制度提供一些可靠的依据。

1 研究目的与范围

1.1 研究目的和对象

建筑垃圾生命周期评价是指对不同模式下建筑垃圾处理的全过程,包括直接填埋过程中的运输、填埋;综合处理过程中的运输、分选、回收、生产再生产品和最终处置过程中对资源的消耗和污染物输出对环境产生的不良影响进行评价,确定资源消耗量较小,对环境不良影响较小的处理模式,为合肥市相关管理部门制定建筑垃圾管理政策提

供理论依据。

研究目的:(1)比较建筑垃圾直接填埋和综合处理对环境影响的差异;(2)明确综合处理的环境效益,为决策提供依据。

由于在考虑相同运距的情况下,这2种处置方法的运输阶段是相同的,所以暂不分析运输阶段,考虑建筑垃圾直接填埋过程和建筑垃圾综合处理过程中的分选、综合利用制砖以及残土填埋这3个阶段的物质能量输入、输出及对相应的环境影响进行评价。在此过程中同时量化并分析综合处理各阶段排放,由于在分选、综合利用、填埋残土等过程中燃油的燃烧会排放气体污染物,在填埋过程中渗滤液的部分污染物质会污染土壤,所以同时研究建筑垃圾处理的各个分项过程对环境产生的不良影响负荷值在整个生命周期评价中的比重,找出环境影响不良值最大的处理过程,有利于针对关键过程提出解决办法,可以为政府有针对性地提出改善措施提供依据。

1.2 范围确定

应用LCA方法首先要确定生命周期评价的范围。文章研究建筑垃圾处理的2种方式,分别为直接填埋和综合处理,其系统边界分别如图1和图2所示。

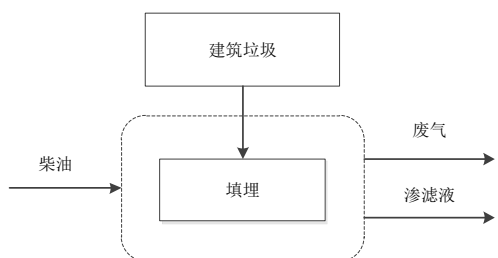


图1 直接填埋系统边界

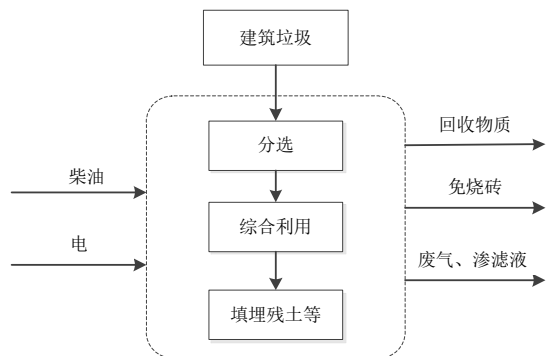


图2 综合处理系统边界

1.3 功能单位

功能单位是衡量系统功能时所采用的特定的计量单位^[14]。功能单位的确定是生命周期评价研

究的基础,它将系统的输入与输出标准化,以利于横向比较。目前合肥市建筑垃圾处理厂较少且规模不大,文章以建筑垃圾的质量作为功能单位,选取合肥市一个服务范围总人口102.23万,建筑垃圾日处理量500t的地区,选取功能单位为1t的建筑垃圾。

2 清单分析

2.1 分析模型与数据收集

本研究采用的模型为CMLCA模型,数据一方面引用ecoinvent_V2.2_raw数据库中的数据,一方面以合肥市的调研数据为基础进行分析。

2.2 建筑垃圾直接填埋清单分析

填埋过程中的环境排放主要为燃油消耗排放和填埋粉尘、气体等的排放。根据文献分析^[12,14-15]与调研得知,每t建筑垃圾直接填埋消耗的燃油为0.236kg,1t建筑垃圾填埋的粉尘排放为1.52kg,导入CMLCA软件中,将各个成分的污染物排放量汇总,直接填埋清单如表1所示。

2.3 建筑垃圾综合处理清单分析

分选阶段:单位质量建筑垃圾油耗为0.168kg,分选过程中机械功率为323.8kW,由于建筑垃圾日处理量较少,未达到机械满负荷工作量,所以按机械设备每天工作2h计算,处理厂日处理建筑垃圾500t,则分选单位建筑垃圾需耗电 $(323.8 \times 2) / 500 = 1.2952$ kWh。根据调研结果,1t建筑垃圾可分选出0.82t建筑垃圾骨料,其余分选出来的金属、玻璃、木料等运入园区内材料回收基地回收,不计回收过程影响,也不将本系统的环境影响分摊给后续回收过程。分选过程中各个成分的污染物排放量汇总如表2所示。

建筑垃圾骨料综合利用制砖阶段:单位质量建筑垃圾资源化利用油耗0.168kg,资源化利用阶段机械功率为1633.4kW,根据建筑垃圾处理量大约每天工作2h计算,处理厂日处理建筑垃圾500t,则需耗电 $(1633.4 \times 2) / 500 = 6.5336$ kWh,假设资源化过程中的建筑垃圾全部制成免烧砖,综合处理每吨建筑垃圾(即0.82t骨料)产生粉尘0.587kg,根据调研得知1t建筑垃圾大概可以制成565.25kg免烧砖。资源化制砖过程中各个成分的污染物排放量如表2所示。

残土等填埋阶段:综合利用1t建筑垃圾需要填埋残土等0.0958t,油耗0.168kg/t,产生0.14kg粉尘,填埋过程中各成分的污染物排放量如表2所示。

表 1 1 t 建筑垃圾直接填埋清单分析结果^[12]

序号	指标	数值/kg	序号	指标	数值/kg
1	CO ₂	6.37E+01	10	NH ₃	1.53
2	CO	1.10E-01	11	HF	6.50E-04
3	SO ₂	9.90E-05	12	HCl	2.87E-03
4	NO _x	1.69E-03	13	Pb	3.84E-02
5	HC	5.73E-04	14	Cd	8.42E-03
6	CH ₄	2.75E+01	15	Cr	3.31E-03
7	N ₂₀	1.42E-04	16	Hg	3.61E-04
8	COD	7.81E-01	17	粉尘	1.52
9	H ₂ S	5.26E-01			

表 2 1 t 建筑垃圾综合处理清单分析结果

指标	数值/kg		
	分选	建筑骨料制砖	残土填埋
CO ₂	1.98	1.33E+01	9.20
CO	2.36E-02	1.60	1.81E-01
SO ₂	2.54E-04	2.15	6.98E-06
NO _x	4.36E-03	2.16E-03	1.19E-04
HC	1.47E-02	7.34E-03	4.05E-04
CH ₄	3.09E-04	6.26E-01	4.00
N ₂₀	3.63E-04	1.81E-04	9.93E-06
H ₂ S			2.27E-01
NH ₃			4.48E-03
Pb	3.09E-04	1.54E-04	2.79E-03
Cd			6.11E-04
Cr			2.41E-04
Hg			2.62E-05
粉尘		0.587	0.140

3 建筑垃圾处理生命周期影响评价

结合以上清单分析结果, 将综合处理和直接填埋 2 种建筑垃圾处理模式的不同排放物质归入富营养化潜力、生态毒性、酸化潜力、全球气候变暖 4 种不同环境影响类型。按照上述建立的模型计算综合处理和直接填埋 2 种建筑垃圾处理模式通过 CMLCA 软件得出富营养化潜力、生态毒性、酸化潜力、全球气候变暖 4 种环境影响类型的总环境影响潜值, 如表 3~4 所示, 暂将权重定为 1:1:1:1, 进行标准化, 得出最终的总环境影响潜值, 如表 5~6 所示。

通过对表格数据进行分析, 可以得出直接填埋对环境的各项不良影响都比综合处理对环境的影响大很多, 综合处理的建筑垃圾制砖阶段对环境的不良影响相比于分选和残土填埋阶段稍大。

4 生命周期解释

在不考虑标准化的情况下, 如表 7 所示, 综合利用比直接填埋单位建筑垃圾减少富营养物质 6.494 2 kg (NO_x-Eq), 减少生态毒性 28.742 9 kg (SO₂-Eq), 减少酸化气体排放 1.345 7 kg (CO₂-Eq), 减少温室气体排放 598.562 5 kg (1,4-DCB-Eq)。综

表 3 1 t 建筑垃圾各阶段处理环境影响评价

环境影响类型	直接填埋	综合处理			衡量指标
		分选	制砖	残土填埋	
富营养化潜力	6.57	0.014 5	0.041 6	0.019 8	NO _x -Eq
生态毒性	35.71	0.802 2	3.570 1	2.594 7	SO ₂ -Eq
酸化潜力	2.46	0.025 7	1.080 3	0.008 3	CO ₂ -Eq
全球气候变暖	753.54	4.283 5	41.596 9	109.097 1	1,4-DCB-Eq

kg

表 4 1 t 建筑垃圾直接填埋和综合利用 2 个处理模式下的环境影响评价

环境影响类型	直接填埋	综合处理	单位
富营养化潜力	6.57	0.075 8	NO _x -Eq
生态毒性	35.71	6.967 1	SO ₂ -Eq
酸化潜力	2.46	1.114 3	CO ₂ -Eq
全球气候变暖	753.54	154.977 5	1,4-DCB-Eq

表 6 标准化后 1 t 建筑垃圾直接填埋和综合利用 2 个处理模式下的环境影响评价

环境影响类型	直接填埋/ kg	百分 比/%	综合处 理/kg	百分 比/%
富营养化潜力	3.21E-11	26.44	3.70E-13	1.83
生态毒性	6.12E-11	50.41	1.19E-11	58.79
酸化潜力	1.03E-11	8.48	4.30E-12	21.25
全球气候变暖	1.78E-11	14.66	3.67E-12	18.13

表 5 标准化后 1 t 建筑垃圾各阶段处理环境影响评价 kg

环境影响类型	直接填埋	综合处理		
		分选	制砖	残土填埋
富营养化潜力	3.21E-11	7.04E-14	2.03E-13	9.65E-14
生态毒性	6.12E-11	1.37E-12	6.11E-12	4.44E-12
酸化潜力	1.03E-11	1.08E-13	4.16E-12	3.47E-14
全球气候变暖	1.78E-11	1.01E-13	9.80E-13	2.58E-12

综合利用的富营养化潜力、生态毒性、酸化潜力、全球气候变暖的环境负荷减少比例分别为 98.85%、

80.49%、54.70%、79.43%，减少比例相当大。

建筑垃圾综合处理厂年可处理建筑垃圾 18 万 t，则每年可减少富营养化物质(6.494 2×18)/1 000 = 1 168.96 t(NO_x-Eq)，减少生态毒性(28.742 9×18)/1 000=5 173.72 t(SO₂-Eq)，减少酸化气体排放 242.23 t(CO₂-Eq)，减少温室气体排放 10.774 1 万 t(1,4-DCB-Eq)。

经过标准化后，建筑垃圾直接填埋各单项环境影响类别所造成环境负荷值排序后为生态毒性>富营养化>全球变暖>大气酸化，具体如图 3 所示，说明在造成的环境影响中生态毒性对环境的影响最大，主要由于建筑垃圾填埋阶段未经分类就进行填埋，建筑垃圾内的金属类物质和装修垃圾进入了渗滤液。所以建筑垃圾在填埋前一定要进行分类处理，金属物质和装修垃圾禁止进入填埋场填埋。

表 7 1 t 建筑垃圾综合利用和直接填埋的环境污染负荷当量值比较

项目	富营养化潜力 [NO _x -Eq]	生态毒性 [SO ₂ -Eq]	酸化潜力 [CO ₂ -Eq]	全球气候变暖 [1,4-DCB-Eq]
直接填埋环境负荷	6.570 0	35.710 0	2.460 0	753.540 0
综合利用环境负荷	0.075 8	6.967 1	1.114 3	154.977 5
综合利用环境负荷减少量	6.494 2	28.742 9	1.345 7	598.562 5
综合利用环境负荷减少比例/%	98.850 0	80.490 0	54.700 0	79.430 0

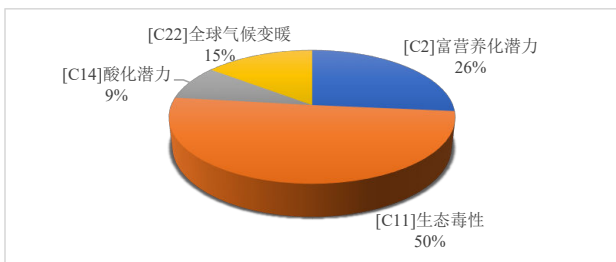


图 3 建筑垃圾直接填埋不同环境影响类型比例

建筑垃圾综合处理各单项环境影响类别所造成环境负荷值排序后为生态毒性>大气酸化>全球气候变暖>富营养化，如图 4 所示，说明在造成的环境影响

中生态毒性的影响最大，其次是全球变暖和富营养化。从清单分析中可以看出产生生态毒性最多的阶段是建筑垃圾骨料制砖阶段，而分选和运输阶段相对较少。因此减少对环境污染的关键是控制制砖过程，发展高效环保的建筑垃圾利用技术，提高资源化利用的效率，创新制砖工艺，为综合利用建筑垃圾增值。

将 2 种处理方式相对比，由表 8 可得出单位建筑垃圾直接填埋和综合处理单位功能产品生命周期的总环境负荷指数分别为 1.21E-10 和 2.02E-11，即建筑垃圾综合处理的环境负荷比直接填埋减少了 83.33%，相应各个指标的减少率为：富营养化潜力为

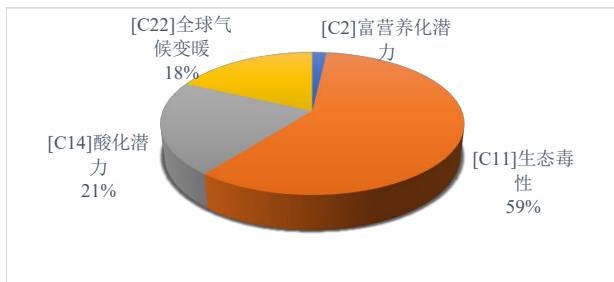


图 4 建筑垃圾综合处理不同环境影响类型比例

98.85%, 生态毒性为 80.56%, 酸化潜力为 58.25%, 全球气候变暖为 79.38%, 减少量最多的是富营养化潜力、生态毒性和全球气候变暖, 可见建筑垃圾综合处理对减少环境影响最大的贡献是能减少富营养化潜力、生态毒性和全球气候变暖。

经标准化后的建筑垃圾直接填埋和综合利用环境影响比较如图 5 所示, 可知与直接填埋相比, 综合处理是一种对环境更为友好的处理方式。

表 8 不同处理模式环境影响潜值的比较

处理类型	项目	富营养化潜力	生态毒性	酸化潜力	全球气候变暖	总计
直接填埋	影响潜值	3.21E-11	6.12E-11	1.03E-11	1.78E-11	1.21E-10
	比例/%	26.44	50.41	8.48	14.66	100.00
综合利用	影响潜值	3.70E-13	1.19E-11	4.30E-12	3.67E-12	2.02E-11
	比例/%	1.83	58.79	21.25	18.13	100.00
综合利用影响潜值减少量	减少量	3.17E-11	4.93E-11	6.00E-12	1.41E-11	1.01E-10
	减少比例/%	98.85	80.56	58.25	79.38	83.33

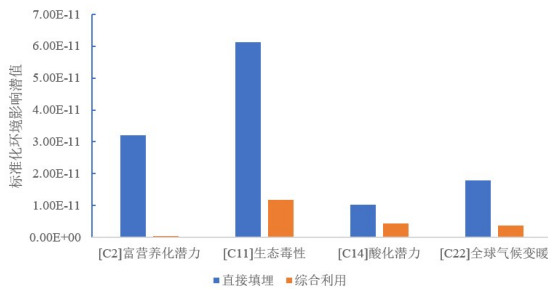


图 5 标准化后建筑垃圾直接填埋和综合利用环境影响比较

5 结论

本文结合合肥基础数据, 运用 CMLCA 软件与 ecoinvent_V22_raw 数据库, 对建筑垃圾的 2 种处理模式的环境影响进行了分析和比较, 得出了以下结论。

1) 通过计算, 单位建筑垃圾综合处理各单项环境影响类别所造成的环境负荷值: 富营养化潜力为 3.70E-13, 生态毒性为 1.19E-11, 酸化潜力为 4.30E-12, 全球气候变暖为 3.67E-12; 直接填埋各单项环境影响类别所造成的环境负荷值: 富营养化潜力为 3.21E-11, 生态毒性为 6.12E-11, 酸化潜力为 1.03E-11, 全球气候变暖为 1.78E-11。

2) 建筑垃圾综合处理过程中, 生态毒性的影响最大, 主要为建筑垃圾骨料制砖阶段产生, 所以对环境排放的关键是控制制砖过程, 发展高效环保的建筑垃圾利用技术, 提高资源化利用的效率, 创新

制砖工艺, 为综合利用建筑垃圾增值; 直接填埋过程中生态毒性对环境的影响也是最大的, 主要是由于建筑垃圾填埋阶段未经分类就进行填埋, 建筑垃圾内的金属类物质和装修垃圾进入了渗滤液。所以建筑垃圾在填埋前一定要进行分类处理, 金属物质和装修垃圾禁止进入填埋场填埋。

3) 经过标准化处理, 日处理量为 500 t 的建筑垃圾综合处理厂比将建筑垃圾直接填埋每年可减少富营养化物质 1 168.96 t (NO_x-Eq), 减少生态毒性 5 173.72 t (SO₂-Eq), 减少酸化气体排放 242.23 t (CO₂-Eq), 减少温室气体排放 10.774 1 万 t (1, 4-DCB-Eq)。

4) 建筑垃圾综合利用和直接填埋单位建筑垃圾的总环境负荷指数分别为 2.02E-11 和 1.21E-10, 即建筑垃圾综合处理的环境负荷比直接填埋减少了 83.33%, 相应各个指标的减少率为: 富营养化潜力为 98.85%, 生态毒性为 80.56%, 酸化潜力为 58.25%, 全球气候变暖为 79.38%, 减少量较多的是富营养化潜力、生态毒性和全球气候变暖指数, 可见建筑垃圾综合处理对减少环境影响最大的贡献是能大量减少富营养化潜力、生态毒性和全球气候变暖对环境产生的不良影响。对于生态毒性的影响也有一定的减少, 但幅度不大, 主要是由于制砖过程中需要输入较多的机械耗能, 排放较多的污染物。

(5) 将建筑垃圾处理厂与深圳市塘朗山建筑垃圾产业园在综合处理中的能耗^[12]进行对比分析可

知:建筑垃圾处理厂在分选阶段和综合利用制砖阶段处理单位建筑垃圾的耗电量均比塘朗山建筑垃圾产业园高,约为其 3.6 倍。排除其他影响较小的差异因素,本研究中建筑垃圾处理厂日处理量为 500 t,未达到其最大负荷运转量,而深圳市塘朗山建筑垃圾产业园日处理量为 7 500 t,是导致其单位建筑垃圾综合利用耗电量较低的重要原因。所以,为了降低建筑垃圾综合利用单位能耗,应尽可能发挥建筑垃圾处理厂的最大处理能力,呼吁更多的企业将建筑垃圾运输到建筑垃圾综合处理厂。

综上所述,建议:(1)直接填埋建筑垃圾对环境的各项不良影响比综合处理对环境的不良影响大很多,综合处理的建筑垃圾制砖阶段对环境的影响相比于分选和残土填埋阶段稍大。这表明垃圾处理中应避免填埋处理这种对土地消耗较大、对环境污染严重的处理方式,尽可能大力发展对建筑垃圾的综合处理及利用;在制砖过程中要不断改善制砖工艺,减少资源投入与废物输出。政府应制定相关

法规严厉禁止对建筑垃圾的非法倾倒及填埋,提供一定比例的科研经费鼓励综合利用企业改进制砖工艺。(2)建筑垃圾综合处理厂的日处理量越大(在不超过最大产能的情况下),综合利用的单位能耗越低。所以应尽可能使建筑垃圾处理厂达到满负荷运转状态,从而使机械能源利用率达到最大,减少建筑垃圾综合利用的单位能耗。政府应根据建筑垃圾综合处理需要,合理确定建筑垃圾综合处理厂的数量,划定片区形成全市的建筑垃圾综合处置网,同时制定相关的奖励办法鼓励建筑垃圾运输企业按照要求将建筑垃圾运输到所属片区的建筑垃圾综合处理厂,以使每个处理厂都达到最大效能,提高建筑垃圾处理厂的处理效率,降低单位处理能耗,提高建筑垃圾的综合利用率。

因此,基于生命周期评价的合肥市建筑垃圾处理模式研究,有利于合肥市政府结合研究结论对建筑垃圾处理的关键环节采取有效的可行性措施,促进合肥市建筑垃圾处理产业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 高青松,谢龙. 建筑垃圾资源化产业链关键节点及产业发展驱动力研究[J]. 生态经济(学术版), 2014, 30(6): 137-141.
- [2] 李浩,翟宝辉. 中国建筑垃圾资源化产业发展研究[J]. 城市发展研究, 2015, 22(3): 119-124.
- [3] 石世英,胡鸣明,何琼. 基于市场特征的建筑垃圾资源化中承包商的行为分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(2): 317-321.
- [4] 傅为忠,潘玉,王丹.“双碳”背景下建筑垃圾资源化政策量化研究[J]. 建筑经济, 2022, 43(S1): 562-565.
- [5] 徐莉莉. 建筑垃圾非法倾倒的政府协同治理研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2022.
- [6] 许明明,余成龙,姜建芳,等. 建筑垃圾填埋场周边地下水化学组分来源解析[J]. 地质通报, 2022, 41(22): 2125-2137.
- [7] 郑兆昱,邓鹏,黄靓,等. 基于动态物质流的建筑垃圾减量化与资源化分析——以湖南省为例[J]. 中国环境科学 2023, 43(2): 702-711
- [8] 林伟彪. 建筑垃圾的环境影响分析及处理对策[J]. 广东化工, 2015, 42(10): 126-127.
- [9] 雷蕾. 建筑垃圾的环境影响经济评价研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2014.
- [10] 曾晖. 建筑垃圾处理环境影响的生命周期评价[J]. 生态经济, 2013(11): 132-135.
- [11] 曾晓岚,陈健康,元东杰,等. 重庆市建筑垃圾管理的生命周期评价方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2014, 28(9): 134-138.
- [12] 王波. 基于生命周期评价的深圳市建筑垃圾处理模式研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [13] 方珂. 基于LCA的建筑垃圾管理模式研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- [14] 朱海滨. 建筑废弃物资源化项目环境效益测算和经济评价[D]. 深圳: 深圳大学, 2015.
- [15] 丁志坤,伊桂珍,黄腾跃. 建筑废弃物减量化管理环境效益评估模型研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2016, 36(1): 99-106.

(上接第 70 页)

- [16] 王禹博,马亚丽,徐少伟,等. 氢氧化镁及氧化镁制备和应用的研究进展[J]. 辽宁化工, 2021, 50(3): 378-382.
- [17] 陈英春,周佳芬,路贵民,等. 高纯镁砂及氧化镁陶瓷研究进展[J]. 化工进展, 2019, 38(1): 505-515.
- [18] 马北越,张誉忠,高陡,等. 致密与多孔氧化镁材料研究进展[J]. 耐火材料, 2021, 55(2): 169-173.
- [19] 陈森琴,何金江,张玉利,等. 高纯致密氧化镁陶瓷的常压和真空烧结[J]. 稀有金属, 2018, 42(4): 402-407.
- [20] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 日用陶瓷器抗热震性测定方法: GB/T3298-2022. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [21] 白桂丽. 钛酸铈基多功能压敏陶瓷制备及性能研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2004.
- [22] 陈朝霞. 一次烧成法制备钛酸铈双功能压敏工艺及性能研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2003.