

生命周期理论在固废建材评价中的应用^①

□□ 李 昊¹, 吕春光², 杨 凯³ (1. 内蒙古工业大学 土木工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古超胜工程项目管理有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 兴泰建设集团有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘 要: 通过以城市生活垃圾焚烧灰渣生产混凝土为例, 探讨了利用生命周期评价来评估城镇固废生产建筑材料的优势, 并说明了固废建材再利用对于社会的重大影响, 同时为生命周期理论在固废建材评价中应用提供了参考。

关键词: 生命周期评价; 城镇固废; 建筑材料; 生活垃圾焚烧灰渣

中图分类号: TQ 178 文献标识码: A

DOI:10.13923/j.cnki.cn14-1291/tu.2022.04.012

引言

生命周期评价(life cycle assessment, LCA)是通过研究产品整个生命流程中对人类社会以及自然社会中各项指标造成影响的一种产品价值的评估手段, 通过收集产品从原材料的运输、加工、组装直至成品所有相关过程的能耗总和, 对整个生产活动、人类社会及自然环境的评估。为积极响应“双碳”目标的战略部署^[1], 研究学者开展了利用城镇固体废物制造低碳环保建材的研究工作, 并进行了工程应用的尝试。对建材产业来说, 不仅需要关注材料的节能, 还需要关注材料在包括材料制备等建筑产业活动中对于环境的污染、用地的节省、材料的循环利用等。本文拟从生命周期理论评价的角度去阐述、解析固废建材的再利用评估等活动对环境的影响, 以城市生活垃圾焚烧灰渣生产混凝土为例, 阐明了生命周期评价在固废建材评价中应用的全面性、高效性。

1 生命周期评价

1.1 生命周期评价简介

由于地球资源的有限性, 必须保证所使用的原料和产品与环境相协调, 并且力求从中找到对社会经济可持续发展做出一定贡献的方法, 在产品生产

和消费时, 一方面从原材料的投入到产品的制造、流通、使用、消费、废弃、再生循环利用等形成一个良性的循环; 另一方面, 产品的生产和消费都要向环境中排放有害物质。如何评价建筑固废材料从原料生产到整体形成完整产品的生命周期阶段对环境的影响, LCA 评价是目前国际公认的有效手段^[2]。

生命周期理论评价的整体流程很长, 包括从原材料的采集、运输; 原材料制备成为产品的生产、运输、分配、使用等遍布产品的一生。由于固体废弃物再利用是将固体废弃物作为原材料开始再利用的, 所以应用到固废再生建材评价时需要进行一些变动, 从固废建材的生产运输开始到不同的建筑材料及途径等方向的再利用, 在其生命周期中可能涉及到的环境潜在影响进行评定。LCA 方法存在着一个基本的技术框架, 需要确定研究的对象和范围, 涉及的环境影响种类, 并给出框架、流程和计算方法^[2]。

1.2 固体废物作建材再利用的依据及意义

随着我国工业化、城镇化的飞速发展, 大规模的基础建设消耗了大量的建筑材料, 出现了天然建筑材料短缺的现象。同时, 经济的飞速发展也产生了诸如生活垃圾、工业废渣等大宗的固体废弃物, 这些废弃物大量堆积无法及时处理, 严重污染环境。在这样的背景下, 很多专家学者开展了将固体废弃物经过加工处理、应用于建筑材料的研究。固废建材的工程应用, 由此形成了良性的组合: 建筑材料需要量大, 可以容纳大量的固体废弃物; 建筑材料使用期限长, 不会产生二次污染, 也不会很快重新变成废物。所以利用固体废物制造建筑材料是节约资源、消除废物、保护环境的有效途径, 是步入绿色生态建设的

① 基金项目: 内蒙自然科学基金(2018MS05011); 内蒙古工业大学研究生教育教学改革项目(YJG2020024)。

必然选择。

1.3 生命周期评价固废建材的优点

目前对各种建筑材料评价标准面临着两个问题:一是并没有完全建立起来,同时还没有全面推广应用;二是按照以往的绿色评价方法中对建材考虑生产和一次性应用,对固废的资源化利用只考虑可利用性和一次性利用,是不能科学地评价其在环保与经济所造成的影响。事实上,许多低性能及低成本的所谓“绿色产品”很快会再次转化为垃圾和固废,只会再次消耗资源去“再生”这些固废^[3]。这样畸形、片面的评价手段只会阻碍固废建筑研究的进展。生命周期评价(LCA)作为一种全面的、有联系的、动态的分析事物手段是解决这种评级困难的一盏明灯。LCA评价较于传统评价更加立体,它是一个全过程的评价方式,可以为固废建材的评级拟定一个合理的框架,使不同种类的建材可以有统一的标准;其次,LCA是一种定量、系统的评价方式,是从研究固废材料再利用开始到加工生产作为固废建材,甚至后续参与土木工程建设活动中的各个环节中所造成的资源消耗及废弃物排放等状况;LCA还可以综合考虑到多方面的不同因素,如自然资源、生态环境、人类生存环境等,将不同因素各自独立出来进行针对性的探讨,可以更加直观地找到不同生产工序、不同操作手段对环境影响的关联性;最后,LCA还是一种较为开放的评价手段,根据不同需求的目标、范围、影响清单可以进行一定程度上的自行定义^[2]。

2 生命周期理论评价在固废建材中的应用

采用的固废建材为生活垃圾焚烧灰渣掺合料,将其通过垃圾厂收集运输、多次筛分、研磨之后作为混凝土掺合料同混凝土进行拌合使用。

按照LCA方法提供基本技术框架,再结合固废建材再利用的本质对其进行生命周期评价的整体流程,将生命周期评价的基本结构归纳为4个有机关联部分:定于目标与确定范围、清单分析、影响评价和改善评价,并设计相应的LCA概念图^[4]。

选用呼和浩特市周边垃圾焚烧处理厂运输生活垃圾焚烧灰渣进行评估。分别从原材料的制备、运输、原材料加工制备成所需要的建筑材料进行生命周期理论评价,之后将从清单分析得来的数据归到不同的环境影响类型,而这些影响类型通常包括资源耗竭、人类健康影响和生态影响3个大类,每个大

类又包含许多小类,如生态影响下又包含全球变暖、臭氧层破坏、酸雨、光化学烟雾和富营养化等影响,对于生活垃圾焚烧灰渣的环境保护和经济再利用方面具有客观的指导作用^[5]。

2.1 研究目标与评估范围

将功能单元拟定为制备1 kg生活垃圾焚烧灰渣掺合料,通过定量的分析灰渣掺合料的前期准备、制备过程中消耗能源和所造成的环境影响,研究涉及到的评估范围包括:生活垃圾焚烧灰渣的运输、粗筛分、研磨及细筛分,4个过程均有资源消耗与碳排放。为了定量分析不同处理过程所造成的环境影响,分别将这4个过程单独计算,具体评估范围如图1所示。

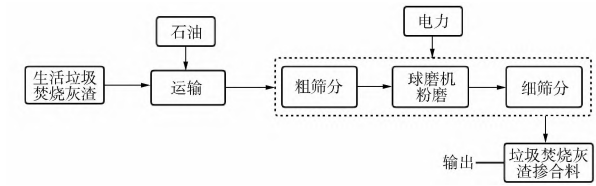


图1 生活垃圾焚烧灰渣掺合料评估范围

2.2 清单分析

清单分析是通过收集垃圾焚烧灰渣掺合料的各阶段能源消耗,整理形成环境符合的相关物质的输入输出数据清单,见表1。清单分析需经过大量数据处理,通过多种不同途径获取。

表1 清单分析

能源方式	运输		磨细	粗筛分、细筛分
	耗油量/L	距离/km	用电量/MJ	
石油	0.000 27	15	-	-
电能	-	-	0.378	0.333

2.3 环境影响评价与分析

结合表1,按照评估计算流程对焚烧垃圾灰渣掺合料的4个主要过程进行环境影响计算,由于分析对象生活垃圾焚烧灰渣掺合料没有对其作为掺合料所利用和废弃的实例及样本,所以整体评估范围到垃圾焚烧灰渣掺合料制备结束,作混凝土掺合料输出为止,影响类型有以下7种^[6]:非生物消耗潜能(Abiotic depletion,ADP);指不可再生资源的消耗;全球变暖潜能(Global warming,GWP);臭氧耗减潜能(Ozone depletion,ODP);人类健康毒害潜能(Human toxicity,HTP);光化学氧化潜能(Photochemical oxidation,POCP);酸化潜能(Acidification,AP);富营养化潜能(Eutrophication,EP)。通过计算得出不同的影响指标在整个生活垃

圾焚烧灰渣掺合料制备途径的占比,见表2。

表2 不同影响类型环境计算结果

影响类型	ADP	GWP	ODP	HTP	POCP	AP	EP
占比/%	6.53	35.88	0.02	11.18	3.59	28.92	13.87

由表2可以看出,在整个生产流程中,GWP所占比例最高,说明在垃圾焚烧灰渣作掺合料的制备流程中,所经历的生产活动中CO₂等材料放热耗能在整个流程中的比例最大,在其整体制备途径中对环境影响最大活动为某些燃烧活动,可以对其进行监管和研究;AP所占比接近30%,说明在其生产及制备途径中,硫化物及各种酸性物质的产生是垃圾焚烧灰渣制备生产活动中对整个环境造成影响较大的一环;而HTP、EP均占整体的10%左右,说明在整个制备流程中,存在着对人体有毒害物质,如NH₃、Cd等毒害物质的产生以及对水体富营养化的含氮、含磷物质,虽然占比不大对整体环境威胁不大,但在制备的整体流程还有监管和改进的必要。

同样,从垃圾焚烧灰渣的制备流程进行分析,将生活垃圾焚烧灰渣掺合料制备过程中运输、磨细和筛分的主要过程中,通过各个影响类别计算其贡献程度见表3。生活垃圾焚烧灰渣的整个生命周期流程评估得出,在运输过程中ADP影响类型贡献最大,而在磨细和筛分过程中仅占5.57%,说明焚烧垃圾灰渣运输过程中能耗造成的环境影响主要体现在ADP影响类型方面,这与运输过程中消耗的石油

等不可再生资源的使用有关;在研磨过程得出GWP和AP影响类型在环境影响中的贡献较大,与其制备过程中产生CO₂、N_xO_y等物质有关;而筛分过程中,GWP和AP两者影响较大,而ODP影响类型在整个制备过程中影响较小,说明制备过程中几乎没有排放破坏臭氧层的物质。另外,从整个影响类型看,除了运输过程中消耗的能量外,整个过程贡献主要集中在GWP和APL,与制备焚烧垃圾灰渣产生的含碳、氮氧化物有关。

表3 主要过程在环境影响中的贡献程度

影响类型	制备过程	运输	磨细	粗筛分、细筛分
ADP/%		55.06	5.57	5.57
GWP/%		19.59	36.21	36.21
ODP/%		0.18	0.02	0.02
HTP/%		6.07	11.28	11.28
POCP/%		1.72	3.63	3.63
AP/%		11.30	29.27	29.27
EP/%		6.08	14.03	14.03

单纯的评价固废建材是不能全面地反应固废再利用对于建材的影响评价,需要增加一些参照组来使其生命周期评价显得更加具体、直观。所以又设置了生活垃圾焚烧灰渣作为掺合料混凝土拌合后进行生命周期评价,通过设置混凝土试件来进行更深入评价分析。按照生活垃圾焚烧灰渣占比为0、10%、20%、30%制备混凝土试件,拟定制备1kg焚烧灰渣-水泥拌合材料,经生命周期理论环境评估,环境评估影响计算结果见表4。

表4 不同比例掺合料的环境影响评估结果

影响类型	替代比例	单位	30%	20%	10%	0
ADP		kg Sb eq	6.11×10 ⁻⁵	6.95×10 ⁻⁵	7.79×10 ⁻⁵	8.63×10 ⁻⁵
GWP		kg CO ₂ eq	0.831 324 39	0.841 956	0.852 587	0.863 219
ODP		kg CFC-11 eq	1.97×10 ⁻⁸	2.15×10 ⁻⁸	2.34×10 ⁻⁸	2.52×10 ⁻⁸
HTP		kg 1,4-DB eq	0.213 057 16	0.191 537	0.170 017	0.148 497
POCP		kg C ₂ H ₄ eq	8.51×10 ⁻⁵	7.90×10 ⁻⁵	7.29×10 ⁻⁵	6.68×10 ⁻⁵
AP		kg SO ₂ eq	0.002 274 398	0.002 111	0.001 947	0.001 784
EP		kg PO ₄ eq	0.000 614 767	0.000 593	0.000 571	0.000 549

根据试验数据可知,纯水泥(0)影响类型贡献最大的是GWP和HTP,所占比例为86.32%和14.85%;AP和EP贡献较少,AP所占比例为0.18%,EP所占比例为0.05%;而ATP、ODP和POCP所占比例仅均<0.01%,可忽略不计,而GWP和HTP占纯水泥(0)影响指标最大的原因与其制备过程中排放出的CO₂、CH₄和NH₃等物质有关,而对比分析生活垃圾焚烧灰渣占比为10%、20%、30%的焚烧灰渣-水泥拌合物的GWP依次85.26%、84.20%和83.13%,说明随着掺和比例的增加,制备

过程中排放出的CO₂、CH₄等温室气体排放量逐步减少,其对温室效应、全球变暖等的危害有所下降。在对比的数据中,HTP的贡献掺合料比例的增加依次增大,按照0、10%、20%、30%的递增依次为14.85%、17.00%、19.15%和21.30%,与生活垃圾制备成为灰渣过程中需要消耗能量,导致HTP影响明显,是焚烧垃圾灰渣作为掺合料不可回避的问题。

可以看出,生活垃圾焚烧灰渣作为一种建筑固废再利用的材料,其原材料没有成本且在各项对人类及自然环境方面的影响指标占比较少,从经济环

保的角度来说,是值得尝试和去探究的新型建筑材料,有研究利用的价值。同时由上述评价的3种角度综合评价,可对固废建材的原材料从生产、制备到应用的整个生命周期进行全面地分析评价。同样的方式还可用来鉴定评价其他固废建材,从而可以更加客观、更加具体、更加全面、更加直观的对固废建材进行评估。

3 结语

生命周期理论作为近年来脱颖而出的评定手段,其应用在建筑固废材料上,首先克服了传统意义环境评价的片面性和局限性;其次,用生命周期理论评价固废建材,更有利于提高环保的质量和效率,可以对新材料的开发、处理及应用起到指导作用;最后可以更直观发现不同固废建材的优缺点,及时制定建筑方案;而且LCA可以为一些固废建材授予“绿色环保”、“低碳”等标签,为建材的环境标志提供依据。

参考文献:

- [1] 高世楫,俞敏.中国提出“双碳”目标的历史背景,重大意义和变革路径[J].新经济导刊,2021(2):4-8.
- [2] 赵丽莎.生物纤维复合材料力学性能和复合材料生命周期评价的研究[D].南昌:江西农业大学,2011.
- [3] 徐永模.固废资源化利用:需要突破的观念[J].混凝土世界,2018(7):8-10.
- [4] 朱子尚,芦岩,赵旭东,等.数据中心建筑全生命周期环境成本评价与案例分析[J].四川建筑,2019,39(3):58-64,67.
- [5] LEI H R,LI L,YANG W,et al. An analytical review on application of life cycle assessment in circular economy for built environment [J]. *Journal of Building Engineering*, 2021, 44.
- [6] 陶明,聂克蜜,成诗冰,等.基于LCA方法的生态胶凝材料生产环境影响分析[J/OL].安全与环境学报,DOI: 10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0925,2021-09-25/2022-01-19.

Application of Life Cycle Assessment in the Field of Solid Waste Building Materials Assessment

LI Hao¹, LU Chun-guang², YANG Kai³

(1. School of Civil Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot, Inner Mongolia, 010051, China;
2. Inner Mongolia Chaosheng Engineering Project

Management Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010010, China; 3. Xingtai Construction Group Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China)

Abstract: Taking the incineration of urban solid waste to produce concrete as an example, this paper discusses the advantages of using life cycle assessment to evaluate the production of urban solid waste building materials, and explains the great impact of the reuse of solid waste building materials on society, and provides a reference for the application of life cycle theory in the evaluation of solid waste building materials.

Key words: life cycle assessment; urban solid waste; building materials; refuse incineration ash

作者简介:李昊(1996-)男,内蒙古乌兰察布人,在读硕士研究生,研究方向:生活垃圾焚烧灰渣作混凝土掺合料试验研究。

通讯作者:杨凯(1985-)男,内蒙古乌兰察布人,高级工程师,现从事工程建设与研发方面的工作。

收稿日期:2022-01-19

(编辑 李江华)

中国建材集团正式转为国有资本投资公司

近日,国资委发布对国有资本投资公司试点改革工作全面评估结果。经评估,中国建材集团功能定位准确、资本运作能力突出、布局结构调整成效显著,正式转为国有资本投资公司。

自2019年9月国有资本投资公司改革试点方案获批以来,中国建材集团以国企改革三年行动为契机,围绕投资公司功能定位,加快从管企业向“管资本”转型,通过优化管控模式,加强战略引领,汇集资本投向国家急需的先进新材料产业,初步构建出定位清晰、生态优化、机制有效的材料产业投资公司模式。2022年5月,国务院国有企业改革领导小组办公室印发推广“学先进、抓落实、促改革”专项工作第三批改革典型经验,中国建材集团“打造材料产业国有资本投资公司”经验成功入选。

通过深化国有资本投资公司改革,中国建材集团取得了一系列显著成效。

(1) 经济效益稳步增长。2021年实现净利润同比增长42%,利润总额同比增长27%,近三年净利润、利润总额年均复合增长率39%、28%。

(2) 主业结构更趋优化。2021年,基础建材业务稳做“压舱石”,营业收入、利润总额占比44%、54%;新材料业务增势迅猛,营业收入、利润总额占比22%、42%。

(3) 创新能力不断增强。入选首批中央企业原创技术策源地,6项成果列入央企科技创新成果推荐目录。社会贡献持续提升,2021年社会贡献总额1047亿元、同比增长15%;社会责任指数位列中国企业第6位、国企第4位。