

生命周期评价在我国生活垃圾管理中的研究进展及应用*

赵 薇 王天华 刘富成

(辽宁工业大学 土木建筑工程学院 锦州 121000)

摘 要系统地回顾了近年来生命周期评价在我国生活垃圾管理中的应用,重点归纳了基于生命周期方法的多种生活垃圾评价模型及其研究进展。结果表明,生命周期评价是衡量生活垃圾管理过程环境影响的有效工具,但生活垃圾管理系统内部物质与能量流动行为复杂,生命周期评价方法论、数据库构建等方面仍存在局限性。此外,为更全面地进行生活垃圾管理的可持续评价,建议构建生命周期环境、经济、社会集成模型。

关键词 生活垃圾;生命周期评价;生命周期成本分析;集成评价

一、引言

生活垃圾作为社会与环境系统相互作用的媒介之一,长期以来,随着我国经济的快速增长和城镇化水平的日益提高,其产生量不断增长并经年累积。1995~2010年全国生活垃圾清运量由1.1亿吨增长至1.58亿吨,增长率为43.6%;如涵盖产生源内废品回收量,生活垃圾产生量约为其清运量的1.5倍,为2.37亿吨^[1,2]。与我国生活垃圾巨大产生量形成鲜明对比的是生活垃圾处理能力严重不足,目前仅有1/3左右的垃圾得到正规无害化处理(卫生填埋+焚烧+堆肥)。实现生活垃圾的安全、合理、可持续管理,具有极其重要的现实意义。

生命周期评价(Life cycle assessment, LCA)是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价,具体包括互相联系、不断重复进行的四个步骤:目的与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释^[3]。自上世纪60年代以来,各国学者利用生命周期评价工具对废物管理系统的体系设计及评价进行了深入的研究,使其成为了生命周期评价的重要应用领域之一,而我国对城市生活垃圾生命周期评价的认识和研究还处于起步阶段^[4]。本文分析了我国近年来针对城市生活垃圾管理系统的生命周期评价模型、数据库、案例的研究进展及应用情况,以期为我国高效开展可持续的废物管理提供参考意见。

二、生命周期模型及应用研究

LCA以其“定量、系统、规范”的特点,被为是生活垃圾管理系统的一种有效评价工具^[5]。借助LCA众多学者对我国生活垃圾处理技术的环境影响进行了对比分析,并开展了若干城市层面的生活垃圾管理系统研究。随着对生活垃圾管理系统复杂性理解的不断深入,近年来,基于LCA的混合模型不断被引入生活垃圾管理系统,使得评价考虑的因素更加全面,以期决策过程提供充分的支持。

(一) LCA模型及应用研究

与欧美等国家相比,我国在废物管理领域开展LCA研究起步较晚,但随着生活垃圾问题严峻性的凸显以及对生活垃圾管理系统认识的不断深入,近年来在模型及案例研究方面进展较大。中科院徐成和杨建新等在国家自然科学基金的资助下,率先开展了生活垃圾管理系统的清单分

* 感谢国家自然科学基金(编号41201583)以及辽宁省高等学校优秀人才支持计划(编号LJQ2013069)的支持

析、影响评价和改善评价的研究,并以四川广汉市为例进行了案例研究,指出综合处理模式优于单一处理模式^[6,7]。罗宇等人对垃圾焚烧处理清单分析中的分配问题进行了定性研究,指出分配方法影响因素的多样性^[8]。李雯婧等针对大连市中心城区生活垃圾填埋和焚烧处理工艺模式进行了 LCA 研究,结果表明填埋工艺的温室气体排放量高于焚烧工艺^[9]。针对北京城市固体废弃物,Zhao 等人对几种生活垃圾处理全过程进行了 LCA 评价,提出了需要有效地将餐厨垃圾进行源头分类^[10]。Zhao 等人将分配方法、物质回收率、填埋气回收率等因素的敏感性与 LCA 模型相结合,为生活垃圾管理 LCA 研究的可靠性提供了依据^[11]。Hong 等人通过扩展系统边界并结合不确定性分析,计算了我国生活垃圾焚烧、填埋、堆肥 + 填埋、堆肥 + 焚烧四种处理方式的环境影响,并与国外其他学者的案例研究结果进行了平行对比分析^[12]。此外,国内一些研究机构如浙江大学、北京化工大学、重庆大学、苏州科技大学及同济大学等^[13-17],开展了一批城市规模的生活垃圾处理技术数据收集与案例研究。

虽然 LCA 方法论比较成熟,并且在我国生活垃圾管理系统中发挥着越来越重要的作用,但在实践过程中针对模型假设和方法论选择仍存在以下局限:

1. 功能单元。功能单位的定义是 LCA 研究的起点也是开展对比研究的基准。开展城市生活垃圾 LCA 分析时,研究者多以选用“处理单位重量的生活垃圾”为功能单元。然而,生活垃圾非均质混合物的特性使得其管理过程十分复杂,一般伴随着输出物质性质和比例的变化,垃圾的理化特性(如垃圾热值、含水率、可回收组份、可燃组份、可降解组份等)对其处理方式的选择和评价结果有很大影响。特性已有报道中鲜全面探究生活垃圾理化特性对生活垃圾管理系统设计及其环境负荷的影响。

2. 系统边界。城市生活垃圾管理系统的生命周期一般包括:收集、运输、分拣、处理(包括焚烧、填埋、生物处理、物质回收、综合利用等)和最终处置。我国学者开展的 LCA 研究,对系统边界的定义不尽相同,有的仅包含处理阶段,有的包含几个或全部阶段。系统边界选择的主观性导致平行对比分析难于进行,不同研究者报道的结论可能相悖。

3. 分配问题。现代生活垃圾管理系统变得越来越复杂,并向着多产品共生和闭环循环的方向发展,处理分配重要性更为突出。大部分研究采用的是扩展系统法(或替代法),可替代产品的选择将在很大程度上导致结论的差异。

4. 时间范围。已开展的 LCA 研究均为静态分析,没有考虑技术的发展、环境-经济系统变化对于生活垃圾管理系统的影响。一些研究对时间范围未加以界定,在一定程度上降低了 LCA 案例分析的科学性。

(二) 混合模型及应用研究

1. 生命周期成本分析模型及应用研究

生命周期成本分析(Life cycle costing, LCC)模型是一种计算产品全周期总成本的分析工具,包括购置成本、使用成本、维护维修成本、储运成本、重置成本、折旧、以及报废回收或处置成本等。LCC 源于 LCA,可以看作是与环境影响评价互补的经济影响评价,并且可将外部环境成本内部化,延伸了常规经济性评价的内涵。胡刚针对重庆的生活垃圾管理系统开展了 LCC 评价,并结合 LCA 与能源消耗评价建立了 3E 决策分析方法和模型^[18]。类似的,Dong 等人将能源消耗评价、LCA 和 LCC 结合,并利用多准则决策方法(Multi-criteria decision making, MC-DM)建立了能源-环境-经济评价模型,对填埋、填埋及填埋气利用、焚烧发电三种垃圾处理技术进行了评价^[19]。Zhao 等人针对天津市生活垃圾管理系统开展了 LCC 评价,并结合 LCA 建立了生态效率(Eco-efficiency, E/E)模型^[20]。

2. 经济投入产出生命周期影响评价模型及应用研究

经济投入产出生命周期影响评价(Economic Input output - Life cycle assessment, EIO - LCA)

模型是为了克服传统 LCA 系统边界设定的局限性而提出的。EIO - LCA 模型在我国废弃物管理中的应用刚刚开展。计军平等利用 EIO - LCA 模型构建了我国部门温室气体排放矩阵,核算了 2007 年废弃资源和废旧材料回收加工业等 43 个部门的温室气体排放量^[21]。

3. 物质流分析生命周期评价模型及应用研究

物质流分析生命周期评价模型 (MFA - LCA) 多用于生命周期清单分析阶段,通过追踪物质的开采、生产、转移、分配、消耗、循环、废弃的全生命周期过程,解释物质在研究系统的流动特征和转化效率。卢伟从废弃物循环利用系统出发,利用 MFA、LCA、EIO 等工具建立了综合物质代谢分析模型,并评价了我国 2005 年城市生活垃圾等 8 类固体废弃的物质代谢情况^[22]。

三、数据库构建

LCA 研究所需的数据量巨大,完善的本地化 LCA 数据库是国内广泛开展 LCA 研究与应用的基础。在我国生活垃圾管理领域,虽然 LCA 的研究取得了快速的发展,但在行业数据库构建方面还不够成熟。目前报道生命周期清单数据的主体是高校和科研院所,企业参与较少,数据缺乏、数据来源不明确、数据质量不高是数据库构建的主要问题。在基础数据库方面,四川大学开发了生命周期基础数据库 (Chinese Life Cycle Database, CLCD)^[23],北京工业大学开发了材料数据库 (SinoCenter),建立了中国材料生命周期分析数据库平台^[24]。

四、结论和建议

针对近年来我国城市生活垃圾管理系统生命周期评价模型、应用及数据库构建等进行分析,得出以下结论和建议:

1. LCA 作为一种有效的环境管理工具,在我国仍处在发展的起步阶段,急需大量的理论探索和应用实践。由于城市生活垃圾组份复杂,其管理系统受经济发展水平、技术水平、能源结构、自然条件以及传统习惯等因素的影响,需要针对我国国情和地区特征设计合理的生活垃圾管理系统。

2. 现有研究主要集中在利用 LCA 比较不同生活垃圾处置方式的环境负荷和生命周期清单分析,少数研究将经济收益与环境负荷综合起来,而对生活垃圾管理全生命周期从社会、经济、环境三个角度进行综合分析的案例鲜有报道。

3. LCA 技术目前在功能单元定义、系统边界划分、分配问题、时间范围、数据库建立等方面还存在不足之处,需要研究者、工业企业、标准化组织等共同努力,不断推进 LCA 方法在我国生活垃圾管理领域的应用。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [2] 中华人民共和国建设部. 中国城乡建设统计年鉴 2004 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [3] ISO (International Organization for Standardization), Environmental Management - Life - cycle assessment - General Principles and Framework. ISO 14040. Geneva, Switzerland. 2006.
- [4] 张韦倩, 杨天翔, 陈雅敏, 等. 基于生命周期评价的城市固体废弃物处理模式研究进展 [J]. 环境科学与技术, 2013, 36 (1): 69 - 73.
- [5] Morrissey MJ, Browne J. Waste management models and their application to sustainable waste management [J]. Waste Management, 2004, 24: 297 - 308.
- [6] 徐成, 杨建新, 胡聃. 城市生活垃圾生命周期管理 [J]. 城市环境与城市生态, 1998, 3: 52 - 55.
- [7] 徐成, 杨建新, 王如松. 广汉市生活垃圾生命周期评价 [J]. 环境科学学报, 1999, 6: 631 - 635.

- [8] 罗宇, 黄川, 刘元元. 垃圾焚烧系统生命周期评价清单的分配方法 [J]. 重庆大学学报, 2003, 26: 154 - 157.
- [9] 李雯婧, 孙娜, 张令戈. 大连市生活垃圾处理的生命周期评 [J]. 环境卫生工程, 2009, 17 (6): 55 - 57.
- [10] Zhao J, Christensen TH, Lu WJ, et al. Environmental impact assessment of solid waste management in Beijing City, China [J]. Waste Management, 2011, 31: 793 - 799.
- [11] Zhao W, Van Der Voet E, Zhang YF, Huppes G. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions, case study of Tianjin, China [J]. Science of the Total Environment, 2009, 407: 1517 - 1526.
- [12] Hong JL, Li XZ, Cui ZJ. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China [J]. Waste Management, 2010, 30: 2362 - 2369.
- [13] Dong J, Chi Y, Zou D, Comparison of municipal solid waste treatment technologies from a life cycle perspective in China [J]. Waste Management & Research, 2014, 23: 13 - 23.
- [14] 纪丹凤, 夏训峰, 刘骏等. 北京市生活垃圾处理的环境影响评价 [J]. 环境工程学报, 2011, 5: 2101 - 2107.
- [15] 何强, 彭飞, 朱姝等. 重庆市城市生活垃圾处理方式的生命周期评价 [J]. 三峡环境与生态, 2010, 3: 36 - 40.
- [16] 韦保仁, 王俊等. 苏州市生活垃圾两种处置方法的生命周期影响评价 [J]. 环境工程学报, 2009, 3: 1517 - 1520.
- [17] 高斌, 江霜英. 利用生命周期评价方法分析上海市某区生活垃圾处理的温室气体排放 [J]. 四川环境, 2011, 30: 92 - 97.
- [18] 胡刚. 城市生活垃圾全过程管理及生命周期 3E 评价决策研究——以重庆市主城区为例 [D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [19] Dong J, Chi Y, Zou D, et al. Energy - environment - economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: Model development and case study [J]. 2014, 114: 400 - 408.
- [20] Zhao W, Huppes G, Van Der Voet E. Eco - efficiency for greenhouse gas emissions mitigation municipal solid waste management: A case study of Tianjin, China [J]. Waste Management. 2011, 31 (6): 1407 - 1415.
- [21] 计军平, 刘磊, 马晓明. 基于 EIO - LCA 模型的中国部门温室气体排放结构研究 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2011, 47 (4), 741 - 749.
- [22] 卢伟. 废弃物循环利用系统物质代谢分析模型及其应用 [D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [23] 刘夏璐, 王洪涛, 陈建, 等. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型 [J]. 环境科学学报, 2010, 30 (10): 2136 - 2144.
- [24] 龚先政, 聂祚仁, 左铁镛. 中国材料生命周期分析数据库开发及应用 [J]. 中国材料进展, 2011 (8): 1 - 7.