

城市固体废弃物管理(MSWM)国内外研究综述

——基于生命周期评价方法

高晓龙,戴铁军

(北京工业大学 循环经济研究院,北京 100124)

摘要:利用生命周期评价(LCA)工具对城市固体废弃物管理(MSWM)的环境影响进行定量评价,能够帮助城市管理者寻找到环境成本和经济成本最小的处理方式,国内外研究者为此做了大量的研究。就生命周期评价标准(2006)的研究领域和规模、功能单位、系统边界、相关软件与数据库等方面,对国内外研究文献进行对比分析后发现:现有研究存在较大差异;缺乏透明性、规范性将制约 LCA 广泛应用;政府、学术组织以及团体应在数据的可获得性、完整性、研究标准的统一等方面努力,并根据本区域的资源禀赋、地理差异选择最优的废弃物管理方式。

关键词:城市固体废弃物管理;生命周期评价;国际标准化组织

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-0912(2013)05-0007-04

近年来,固体废弃物对环境产生的影响受到了广泛的关注,随着社会意识的提高,城市管理者们认识到垃圾围城将制约着城市的进一步发展。相对稀缺的资源以及堆积如山的固体废弃物促使很多国家建立了减少固体废弃物产生的法令,并提出回收目标,以期减少固体废弃物对环境的影响。生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是评价城市固体废弃物管理(Municipal Solid Waste Management, MSWM)的有效方法^[1]。

生命周期评价(LCA)始于20世纪70年代以后,源于美国开展的针对包装品的分析和评价,随后国际环境毒理学与化学学会(SETAC)以及国际标准化组织(ISO)分别对LCA的定义和技术框架作出了规定。生命周期评价是对一种产品或服务系统的整个生命周期物质、能源的输入、输出以及潜在的环境影响进行定量分析的过程,分4个阶段:目标确定、清单分析、影响评价和生命周期解释^[2]。大量的学术研究通过分析系统各阶段的排放对城市固体废弃物管理(MSWM)进行研究,同时,生命周期评价软件、数据库的开发使分析更规范。

参考ISO14040:2006对国内外的相关文献进行分析比较,了解固体废弃物管理系统生命周期评价的研

究现状,此前Wrap, Bjorklund, Finnveden解决了一些系统的边界问题^[2]。

1 研究方法

国际标准化组织(ISO)通过与国际电工委员会(IEC)以及其他组织、政府的合作,完成了对生命周期评价(LCA)的标准更新,其框架包括研究领域和规模、功能单位、环境影响评价分析,以及数据、软件等^[3]。基于标准对国内外研究进行对比分析,了解研究现状和存在的问题,并提出改进的建议。

1.1 研究领域和规模

现有的大多数研究是基于区域、城市层面,欧洲、北美的研究比较早,现在亚洲、南美洲的研究比较多: Finnveden等考虑了瑞典的废弃物处理^[4]; Chaya, Gheewa利用生命周期评价对一家私人废弃物处理厂进行了分析^[4]; Aye, Widjaya选定了印度尼西亚雅加达传统市场产生的废弃物^[5]; 胡志锋等对广州的生活垃圾处理工艺(卫生填埋、焚烧处理和综合处理方式)进行了分析^[6]; 徐成等以四川省广汉市为例,研究认为综合处理固体废弃物在环境效益和经济效益方面都优于焚烧、简单填埋和卫生填埋^[7]; R·J·Hong以上海浦东新区为例,在

基金项目:“资源、环境及循环经济”交叉学科项目(0330005412002);北京工业大学研究生科技基金资助项目(ykj2012-8317)

作者简介:高晓龙(1988-),男,山东滕州人,硕士研究生,主要从事循环经济理论与实践研究。

传统处理工艺的基础上,引入了生物和机械处理(BMT)技术作为固体废弃物的预处理,采用情景分析法,得到新技术有助于减轻环境影响和综合管理系统的改善^[8];Mendes对巴西圣保罗市城市固体废弃物的焚烧、填埋产生的环境影响进行了比较,提出填埋相对焚烧对环境的影响更大^[9]。

地区的差异在研究中是很明显的,关键是根据本地区的资源禀赋、地理条件,合理界定研究区域和研究目的,为收集数据、分析环境影响界定范围。

1.2 功能单位(Functional Units)

功能单位的选择是基于系统有很多功能,为实现输入、输出以及环境影响的量化,有必要根据研究目标做出规定^[3]。对城市固体废弃物管理进行生命周期评价,要根据处理固体废弃物的量对收集到的数据,如对电力、燃料的消耗,废水、废气、废渣的排放量,以及生化指标(COD, CH₄, CO₂, SO₂, NH₃等)进行整理,确保所有数据是在共同的标准上进行对比,之后的分类、特征化才能够准确量化分析的结果。标准中要求功能单位透明,并加以描述。

Julian对20篇经过同行审议的文献对比发现,仅有11篇对功能单位进行了清晰界定,不少研究者认为功能单位是显而易见,无需表述的。功能单位包括的数据也有差异,包含交通工具排放的较多,而很少包含生产的能源输入以及资本、基础设施的投入。另外相当比例的研究中对时间范围未加以界定^[2]。

1.3 系统边界

生命周期评价是通过设定产品系统模型,对物理系统主要物质流进行描述。系统边界限定目标系统所要研究的过程单元,进出过程单元的物质、能源作为基本的研究对象,不过,物理系统物质流的选择是基于研究目的和范围,假设条件、数据和成本限制以及取舍标准也需要给予说明。

标准指出,在确定生命周期的目标和范围组建时,省略生命周期过程单元、输入输出物质流的决定都应清楚地阐述,并说明理由。城市固体废弃物管理的生命周期一般包括(1)收集(2)运输到分拣中心(3)分选(4)运输到处理厂(5)处理阶段,包括综合利用、生物处理、焚烧和填埋等工艺。

很多城市固体废弃物生命周期评价的研究包括前面的5个阶段,但也有只是着重某一个阶段的。胡志峰等在对广州市的处理工艺进行评价时,界定了最终的处理阶段^[6];Tan, Khoo在研究中只研究新加坡地理范围内的废弃物管理系统,而因此忽略了将废弃物输

出海外循环利用而获得的净环境收益, Schmelev, Powell考虑到空间尺度的环境排放量和受影响地区的生态敏感性^[2];龚大国等对城市固体废弃物从产生到处置各个阶段(收集、清运、中转、回收再利用和最终处理)物质和能量利用及相应的环境排放进行识别和量化,其中对各阶段车辆和设备能耗的量化是从未有过的^[10]。

1.4 生命周期影响评价(LCIA)

生命周期影响评价的环境影响评价阶段,利用清单分析的结果评估潜在的环境影响。此阶段通过对数据的分类、特征化,试图实现影响的量化,这样才具有可比性,为生命周期解释阶段提供支撑。影响评价对某一情景的定量评价会涉及到影响的验证或权重,这受价值取向的影响。尽管影响评价相对清单分析对决策者更有用,却受主观因素影响较大,且很困难。所以很多研究仅仅进行到清单分析阶段。龚大国等的研究止步在清单分析阶段,胡志峰等经加权,得到了卫生填埋、焚烧处理以及综合处理方式的总的环境影响潜值;Ozeler D等针对安卡拉5种城市固体废弃物的管理方法的情景分析只做了清单分析,通过对数据分析比较管理方法对环境某一方面的影响程度^[11];R·J·Hong等对浦东传统处理方式与经生物和机械处理后的方法进行对比评价,也得出了总环境影响潜值^[8];但他们对影响类型的权重是不同的,全球变暖、酸化、富营养化以及光化学臭氧合成等权重的大小,影响总环境影响潜质的大小。

1.5 LCA 相关软件、数据库的开发

生命周期评价所需要的数据种类繁多且数据处理量大,因此,相关软件及数据库系统的开发与应用成为迫切需求。国外已形成多种较为成熟的评价软件和数据库,我国由于研究起步较晚,至今没有成熟的生命周期评价软件系统为生命周期实践者提供支持。

现有的LCA软件有美国环保局决策支持工具、I-WM-1, IWM-2, Simapro, WISARD, ORWARE, EASE-WASTE以及ISWM。Aye, Widjaya, Buttol等在文献中清楚地表明其选择的LCA模型^[2]。Ozeler D等在对安卡拉MSWM分析时采用IWM-1模型^[11];胡刚在其博士论文中引入多属性效用理论,建立了基于生命周期3E评价的MSWM决策分析方法和模型,并对重庆市主城区MSWM进行了分析^[12];龚先政,聂祚仁,左铁镛等调研了典型材料生产的环境复合数据,开展了中国材料数据库(SinoCenter)的研究,建立了中国材料生命周期分析数据库平台^[13]。

1.6 数据的类型和来源

对环境影响的直接衡量是不可获得的,所以学者会利用年鉴、科技文献或者通用的排放系数资料库等获得数据去测算排放量。多数研究需要收集的数据同所要研究的废弃物和流量有关,LCA所需要的输入量的全部数据清单很难获得。研究发现,通常情况下,通过排放数据去估算城市固体废弃物管理系统的环境排放比通过废弃物处理厂直接测量更常用。Chaya, Gheewala 从焚烧处理厂获得直接数据^[4];Arena 等使用的数据包括部分填埋厂的直接测量数据、还没有投入运营的焚烧厂的设计数据以及意大利其他区域焚烧厂的数据^[2]。数据来源和研究区域的地理差异很明显。Aye, Widjaya 使用澳大利亚的排放数据对印度尼西亚进行 LCA^[5];一些学者,像 Di Maria, Fantozzi 在研究中却没有提及数据的来源^[14]。

2 分析对比

鉴于研究采用的方法、模型以及数据获取途径的不同,所获得结论也会不同。龚大国等比较分析了焚烧和综合处理模式,综合处理方式在温室气体、酸性气体以及富营养物方面明显优于焚烧处理模式^[13],胡志峰等对广州市 MSW 3 种处理工艺的分析获得的结论一致,焚烧处理优于卫生填埋,综合处理优于焚烧处理^[6],而 Ozeler D, Yetis U 利用 LCA 对土耳其安卡拉市的 5 种 MSW 系统就 SW (non-hazardous)、GWP、AP (Acidification Potential)、EP (Eutrophication Potential)、HTP (Human Toxicity Potential)、NESEP (Non-renewable Energy Sources Exhausting Potential) 等指标进行分析后,认为“源头减量+收集+运输+填埋”管理方案是对环境影响最小的^[11];Mara Regina Mendes 等在对巴西圣保罗市的 5 种不同方案进行 LCA,通过 GWP、AP、NE 等指标的衡量得到,焚烧以及对灰烬进行填埋的方案对环境影响最小,而焚烧之后利用灰烬生产建筑材料会导致更高的环境影响^[9]。

3 结论

通过国内外文献对比分析,不难发现以下一些问题。

(1) 没有准确、相关和可得的数据输入,即使最好的模型也没用。虽然 MSWM 中的很多技术过程(如焚烧、填埋)可以获得数据,不过收集和分类系统的成本和负荷数据还不容易获得。在很多国家,特别是发展中国家,分类收集和分类系统还处于规划阶段,因此不可能获得其准确的运作数据。数据的不可获得性势必

影响研究的准确性。

(2) LCA 软件、数据库现在已有不少开发,但由于地理位置、资源禀赋的差异,研究的结果也会存在差异,因此研究区域应因地制宜选择适合本地区的 MSWM,减少对环境的影响。

(3) 目前选择 LCA 对区域的 MSWM 进行分析,但仍存在不规范问题,缺乏透明性。功能单位、系统边界、权重等在实际应用中存在不少的争议,这还需要国际组织、团体在 LCA 标准制定中做更详尽地努力。

参考文献

- [1] Andrew Emery, Anthony Davies, et al. Environmental and economic modeling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales[J]. Resources, Conservation and Recycling 2007, 49:244-263.
- [2] Julian Cleary. Life cycle assessments of municipal solid waste management system: a comparative analysis of selected peer-reviewed literature [J]. Environment International 2009, 35:1256-1266.
- [3] ISO (International Organization of Standardization). Environmental management- life cycle assessment requirements and guidelines. ISO 14044:2006.
- [4] Chaya W, Gheewala SH. Life cycle assessment of MSW-to-energy schemes in Thailand [J]. J Clean Prod 2007, 15(15):1463-1468.
- [5] Aye L, Widjaya E. Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia [J]. Waste Manage 2006, 10(26):1180-1191.
- [6] 胡志峰, 马晓茜. 广州市生活垃圾处理工艺的生命周期评价[J]. 可再生能源, 2012, 30(1):106-112.
- [7] 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, 11(9):52-55.
- [8] Hong R J, Wang G F, Guo R Z. Life cycle assessment of BMT-based integrated municipal solid waste management: Case study in Pudong, China [J]. Resource, Conservation and Recycling 2006, 49:129-146.
- [9] Mara Regina Mendes, Toshiya Aramaki. Comparison of the environmental impact of incineration and landfilling in Sao Paulo City as determined by LCA [J]. Resources, Conservation and Recycling 2004, 41:47-63.
- [10] 龚大国. 城市生活垃圾焚烧和综合处理模式的 LCA 比较[J]. 环境卫生工程, 2008, 16(4):52-55.
- [11] Ozeler D, Yetis U, Demirel G N. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study [J]. Environment International 2006, 32:405-411.
- [12] 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.

- [13] 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.
- [14] Di Maria F, Fantozzi F. Life cycle assessment of waste to energy micro-pyrolysis system: case study for an Italian town[J]. Int J Energy Res, 2004, 28: 449-461.
- [15] 庄瑛, 任馨, 吴伟祥, 等. 城市生活垃圾及综合管理决策模型研究进展[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(1): 72-75.
- [16] 何德文, 陆雍森, 张益. 城市生活垃圾管理生命周期分析研究[J]. 污染防治技术, 2001, 14(4): 7-10.
- [17] Carlsson Reich M. Economic assessment of municipal waste management systems- case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC)[J]. J Clean Prod, 2005, 13: 253-263.
- [18] Consonni S, Giugliano M, Grosso M. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: emission and energy balances [J]. Waste Manage, 2005a, 25(2): 23-135.

Literature review on municipal solid waste management (MSWM): Based on the method of life cycle assessment

GAO Xiaolong, DAI Tiejun

(Institute of Recycling Economy, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The researchers at home and abroad have done many works to make quantitative evaluation on environmental impact of municipal solid waste management by using the life cycle assessment tool, which could help the municipal administrator find the proper way with minimum environmental cost and economic cost. The paper made the comparative analysis according to the life cycle assessment standard 2006 on dimensions and scale boundary, inventory analysis, functional units, systems, LCA software and database. The research literatures revealed that there were plenty of differences among the existing research. Governments, academic and social organizations should make efforts in the data availability, integrity, the harmonization of standards, and choose the optimal waste management practices according to the regional resource endowments and geography differences.

Keywords: municipal solid waste management; life cycle assessment; ISO

(收稿日期 2013-02-28)

联合国呼吁加强金属回收利用

联合国环境规划署 2013 年 4 月 24 日发布由国际资源专家委员会撰写的两份研究报告指出, 由于未来全球金属资源需求将会大幅上升, 全球需要重新考虑金属的循环利用, 以减轻对环境的负面影响。

根据国际资源专家委员会的报告, 金属开采和冶炼除给环境带来影响外, 还占用全球 7%-8% 的能源供应。回收比初级生产的金属消耗更少的能源, 同时降低对矿产开采地的整体影响。金属回收还可以减少对低品位矿石的需求, 避免未来稀缺的一些贵金属的开采。

理论上, 金属几乎可以无限制地回收, 因此, 金属回收给环境保护、能源和水的利用带来了一个非常重要的机遇, 并为向低碳、资源节约型的绿色经济过渡做出贡献。然而, 受到工艺和回收成本的影响, 金属回收率仍维持在较低的水平。

国际资源专家委员会在报告中提出了建立可持续金属管理系统的建议。建议包括: 通过技术认证和其他措施, 提高矿产开采的效率; 为不同的金属设置优先级, 如基本金属、特殊金属和关键技术金属等; 产品设计要综合考虑产品生命周期理论、冶金知识和回收工艺, 通过系统的优化和设计, 进一步提高回收率和降低环境影响; 改善工艺流程效率和含金属废水的利用, 提高初级生产的能源效率等。

联合国副秘书长兼环境署执行主任阿奇姆·施泰纳表示, 随着新兴经济体开始逐渐采用与经合组织国家相似的技术和生活方式, 未来全球的金属需求量将会达到目前全世界金属使用量的 3~9 倍。回收复杂的金属产品可以解决和应对金属需求量飙升带来的挑战。

简

讯

BRIEF NEWS