

生命周期评价在国内的研究与应用进展分析

马 雪, 王洪涛

(四川大学建筑与环境学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 生命周期评价(LCA)作为分析资源环境效率的标准作法,在我国正处于迅速发展阶段。随着国内外有关LCA政策文件的出台,其在国内环境保护和国际贸易中将会发挥更加重要的作用。本文从国内LCA的方法学研究、软件工具开发、应用现状方面进行了分析,研究发现,数据质量评价和本地化影响评价方法建立取得了一定进展,LCA在各个层面得到了广泛应用,国内数据库建设及专业软件工具开发需继续加强;最后结合国内LCA发展现状中存在的不足,对未来的研究重点和发展方向提出了建议。

关键词: 生命周期评价; 清单分析; 影响评价; 数据库; 应用

1990年,世界环境毒理学与化学学会提出了“生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)”概念^[1];1997年,国际标准化组织(ISO)发布《生命周期评价原则与框架》规范了LCA的原理及技术框架^[2]。LCA作为系统化、量化评价各种产品、服务、技术所造成的资源环境影响的标准方法,即ISO14040系列标准;我国国家技术监督局于1998年引进并转化为国家标准,即GB/T24040系列标准;自引入以来其价值得到研究人员、企业、政府部门的广泛认同。

随着全世界范围内不可再生资源的日益短缺和可持续发展战略的实施,LCA在国际上一直倍受关注,欧盟委员会于2013年出台了“建立统一的绿色产品市场”政策,提出采用基于LCA方法的、统一的绿色产品评价方法,即产品环境足迹(Product Environmental Footprint, PEF)评价方法。近年来LCA也逐渐受到国内政府部门的重视,2013年前后多个政府部门出台了多项与LCA有关的政策文件,如国家工信部2012年、2013年的“能效之星”产品评价实施方案,要求企业提供基于LCA的产品生态报告,等。基于政策的强制性,国内LCA的发展必将承担起满足国际上产品环境政策的要求,还需支持企业履行社会责任并满足国内政府部门的环保政策要求。国内外政策的推出将在一定程度上加剧LCA在企业 and 行业层面的应用需求,从而推动LCA方法学体系及软件工具的发展,因此分析LCA的研究及应用状况能够为研究人员和企业提供指导。

1 方法学研究

1.1 数据质量评价

数据收集是开展清单分析和影响评价的基础工作,每条数据的可靠性都影响着LCA结果的准确性。国际标准ISO14044规定“开展生命周期评价时要对数据的可靠性进

行分析”;在PEF评价体系中也要求进行LCA分析时要评价数据质量。目前国内主要是对清单结果的不确定性评价和关键清单数据的辨识研究。所采用的方法是利用数据质量指标评价表进行评分得到数据质量指标向量,然后用算术平均或几何平均等方法将指标向量转化为综合的数据质量指标(DQI),再运用随机分布模拟或建立回归模型来分析清单结果的不确定性^[3-4]。近来也有学者提出了辨识关键清单数据的方法,运用蒙特卡罗模拟并结合不确定度和敏感度分析,辨识对清单结果的不确定性影响大的数据^[5-6]。总的来说,清单数据质量评价的研究方法比较类似,但是在研究深度上已经从清单结果的不确定性评价研究延伸至对关键清单数据的辨识研究。

1.2 清单分析

清单分析是对研究目标的整个生命周期阶段的原料使用、资源能源消耗、环境排放等进行定量分析的过程,是LCA中最重要的技术环节。目前清单分析方法研究方面的文献记录较少,在方法学的探索性研究方面,有研究设计运用高斯消元法的原理进行清单分析计算,并使清单分析中的功能单位多元化,来适应评价者对评价目标所做的修改^[7];还有学者提出考虑再生材料的回收能力和回收水平两个因素时的清单分析算法^[8]。在综述性研究方面,有学者对各种清单分析方法进行了比较分析,并对各种方法存在的问题提出了建议^[9]。

1.3 影响评价

影响评价是在清单分析的基础上,对各项消耗和排放造成的资源能源消耗、生态破坏、人体健康损害等的影响程度进行定量分析。目前国内LCA研究采用的影响评价方法以丹麦的EDIP、瑞典的EPS、荷兰的CML和Eco indicator为主,

但是这些方法所基于的环境影响效应不完全符合我国的环境状况。国内有学者建立了本地化的影响评价方法和相关指标因子,如杨建新^[10]等以 EDIP 模型方法为基础,通过对环境影响类型的分析和模型评价参数的确定,建立了中国环境影响和资源消耗评价的方法体系;Liu Yu^[11]等建立了中国土地利用改变引起的净初级生产力(NPP)变化所造成的环境损害的生命周期环境影响评价模型,采用中国 NPP 的经验系数计算了土地占用和土地转化的特征化系数;侯萍^[12]等基于 CML 方法中的非生物资源消耗因子,通过引入中国的资源自给率修正,计算得出了中国非生物资源消耗(CADP)因子及其指标;侯萍^[13]等还提出了适用于组织和产品碳足迹的中国电力温室气体排放因子。

2 数据库及软件工具

2.1 数据库建设

LCA 研究是基于大量数据的计算和分析研究,国内目前已开发生命周期基础数据库有:四川大学联合亿科环境科技自主开发的中国生命周期核心数据库(CLCD-China);北京工业大学建立的中国材料生命周期数据库(MLCD),主要包含水泥、钢铁、重金属元素、化石燃料、电力方面的数据集^[14]。可见,由于完整的生命周期数据库的数据集类型和数量将会非常庞杂,国内数据库包含的数据集还是以基础工业产品为主。此外,在数据库建设方法研究方面,多数研究所建立的数据库只是简单的数据堆积,并没有提出一套符合生命周期特点的数据库建设方法体系,无法保证数据库的完整性和一致性。

2.2 软件工具开发

国内许多 LCA 软件工具的研发是以实现数据和指标信息管理为目的,并没有完全实现 LCA 方法体系中所需要的模型建立、清单分析及评价计算功能^[15-16];也有针对某一特定领域研发的软件工具,但是这类软件并不普适于所有的生命周期分析^[17-18]。目前国内在专业性 LCA 软件工具研发方面还不成熟,没有达到商业化应用程度的软件工具,相关研究和应用中使用较多的是荷兰的 SimaPro 和德国的 Gabi。由于国外软件的数据和影响评价方法并不符合我国的实际生产水平和环境状况,故专业软件工具成为我国 LCA 发展的迫切需求。

3 应用

3.1 产品与技术

任何一种产品的生产过程都存在资源环境效率问题,LCA 通过对整个生命周期的环境影响分析,识别出资源能源消耗高、污染物产量大的环节,进行比较和改进分析。LCA 在产品层面的应用非常多且相当广泛,应用对象涉及到工业中的水泥、精炼铜、农产品中的水稻、食品业中的啤酒酿造、清洁能源中的生物柴油等。其同样适用于技术的资源环境效率分析,如对市政垃圾卫生填埋和焚烧技术^[19]、电动与内燃

机汽车的动力系统^[20]进行的全生命周期分析和对比评价研究;还有学者结合“效益最优化方法”建立了生物燃料供应链的生命周期分析框架,考虑了经济、能源和环境三类要素^[21]。

2013 年 3 月,《清洁生产评价指标体系编制通则(试行稿)》编制原则指出:清洁生产评价指标选取应科学合理,可操作性强,以定量指标为主,有利于真实衡量企业清洁生产状态的指标权重值和基准值。在此之前,就有许多清洁生产评价研究,评价指标体系不仅包含了经济、技术、管理等指标,还纳入了 LCA 分析指标,这使得评价结果更具综合性和科学性;还有将 LCA 用于水泥生产清洁生产审核的实例研究,根据生命周期分析和评价结果提出审核重点和清洁生产方案^[22]。

3.2 企业

生态设计作为一个新兴理念受到了政府部门的重视,2014 年工信部《工业产品生态设计示范企业创建工作》中指出:在钢铁、有色、建材、石化、机械、电子电器、汽车、纺织等行业启动创建工作,实现从“末端治理”向“全生命周期控制”的转变。而国内企业对于开展生态设计也具有非常高的积极性,早在 2011 年,海尔集团和宝钢集团就已经将生态设计理念纳入了产品设计和生产中。

LCA 为企业提供全面的产品和供应链管理体系框架,已成为企业制定产品和技术发展战略、规避潜在环境风险的重要工具。许多企业将其用于产品声明与标志、供应链生态设计、化学品管理、禁用/限用物质管理、绿色制造、绿色采购和绿色供应链环境管理等方面;而且环境信息已涉及到欧盟 RoHS、REACH 环保指令、再生材料比例、碳足迹、水足迹以及社会关注的主要环境问题等。

3.3 行业

LCA 除了应用于电子电器、机械制造、金属材料、建筑桥梁、能源、纺织、印刷包装、食品饮料、零售电商、服务业等行业之外,还在不断地向农业、畜牧业、土地利用等方面拓展。如,有研究建立了我国农业的生命周期评价体系^[23],还有对畜牧业的全生命周期的温室气体排放量和排放结构特征进行计算和分析的研究^[24],为我国农业和畜牧业的可持续生产与消费提供方法框架和科学数据;还有学者采用 LCA 方法建立了适于我国土地利用生态影响评价的指标、特征化因子和影响大小的计量模型^[25]。各行业对 LCA 的应用对象不同,应用目的也不尽相同,如用于环境特征分析、供应链环境管理、行业排放系数确定等,但是总体的研究方法还是基于 ISO14040 系列标准,并结合不同的行业 and 产业链特征进行分析和评价。

4 结论与建议

对近年来 LCA 在方法研究和应用情况方面的分析可知,国内 LCA 从理论方法研究到各个层面的实践应用都处于迅

速发展阶段,目前的方法学成果和数据库建设已基本具备支持 LCA 全面应用的能力。但是根据 LCA 在国内外各层次的关注程度及未来的应用趋势来看,还应针对现状中存在的不足朝以下几个方面发展:

(1) 建立符合中国环境影响效应的特征化模型和影响评价方法;在现有基础上深入研究数据质量评价与控制方法。

(2) 丰富基础数据库的数据集类型和数量,建立关键的行业和企业数据库;加强本地化软件工具的研发,推动已开发软件的商业化应用。

(3) 随着欧盟 PEF 政策的推出, LCA 在产品和企业层面的应用还应以满足国际产品政策为目标,继续推动 LCA 在各个层面的应用,以提高中国产品在国际市场上的竞争力。

(4) 今后 LCA 的研究和推广应用需要建立更密切的产学研政合作关系;推动 LCA 在政府层面的应用,以发挥全社会的环境改进潜力。

参考文献

- [1] Heijungs R. Environmental Life Cycle Assessment of Products:Backgrounds[M]. Leiden:Multicopy, 1992.
- [2] ISO 14040 Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework[S]. 2006.
- [3] 莫华, 张天柱. 生命周期清单分析的数据质量评价[J]. 环境科学研究, 2003, 16(5): 55-58.
- [4] 朱立红, 刘光复. 生命周期清单的不确定性分析[J]. 合肥工业大学学报, 2012, 35(7): 870-873.
- [5] 郑元, 张天柱. 不确定数据条件下的生命周期评价及其应用[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(6): 18-20, 60.
- [6] 黄娜, 王洪涛, 范辞冬. 基于不确定度和敏感度分析的 LCA 数据质量评估与控制方法[J]. 环境科学学报, 2012, 32(6): 1529-1536.
- [7] 夏添, 邓超, 吴军, 等. 生命周期评价清单分析的算法研究[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(7): 1681-1683.
- [8] 苏醒, 张旭, 孙永强. 考虑回收能力的材料生命周期清单分析模型[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2011, 39(10): 1528-1530, 1547.
- [9] 赵辉, 陈郁, 张树深. 环境管理工具:生命周期清单分析方法[J]. 环境保护, 2005(1): 26-29.
- [10] 杨建新, 等. 中国产品生命周期影响评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(2): 234-237.
- [11] 侯萍, 王洪涛, 朱永光, 等. 中国资源能源稀缺度因子及其在生命周期评价中的应用[J]. 自然资源学报, 2009, 27(9): 1572-1578.
- [12] Liu Yu, Nie Zuoren, Sun Boxue, et al. Development of Chinese Characterization Factors for Land Use in Life Cycle Impact Assessment[J]. Science China: Technological Sciences, 2010, 53(6): 1483-1488.
- [13] 侯萍, 王洪涛, 张浩, 等. 用于组织和产品碳足迹的中国电力温室气体排放因子[J]. 中国环境科学, 2012, 32(6): 961-967.
- [14] Gong Xianzhen, Nie Zuoren, Wang Zhihong. Research and Development of Chinese LCA Database and LCA Software[J]. Rare Mentals, 2006, 25(6): 101-104.
- [15] 张亚平, 左玉辉, 邓南圣, 等. 生命周期评价数据库分析与建模[J]. 云南环境科学, 2006, 24(4): 8-11.
- [16] 戴宏民, 戴佩华. 面向生态产品的 LCA 数据管理信息系统的研究与开发[J]. 生态经济, 2008(5): 35-38.
- [17] 郁亚娟, 王冬, 王翔. 二次电池生命周期评价软件模块的设计与应用[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(6): 13-16.
- [18] 刘宇, 龚先政, 聂祚仁. 材料生命周期分析系统的设计与开发[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(7): 991-996.
- [19] Ni Jinren, Wei Honglian, Liu Yangsheng, et al. Life Cycle Analysis of Sanitary Landfill and Incineration of Municipal Solid Waste[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2002, 12(3): 545-548.
- [20] 张雷, 刘志峰, 王进京. 电动与内燃机汽车的动力系统生命周期环境影响对比分析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(3): 931-940.
- [21] Liu Zhexuan, Qiu Tong, Chen Bingzhen. A LCA Based Biofuel Supply Chain Analysis Framework [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2014, 22(6): 669-681.
- [22] 朴文华, 陈郁, 张树深, 等. 基于 LCA 方法的水泥企业清洁生产审核[J]. 环境科学学报, 2012, 32(7): 1785-1792.
- [23] 梁龙, 陈源泉, 高旺盛. 我国农业生命周期评价框架探索及其应用——以河北栾城冬小麦为例[J]. 中国人口. 资源与环境[J]. 2009, 19(5): 154-160.
- [24] 孟祥海, 程国强, 张俊飏. 中国畜牧业全生命周期温室气体排放时空特征分析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(8): 2167-2176.
- [25] 王寿兵, 马小雪, 陈雅敏. 面向生命周期评价的土地利用生态影响评价方法[J]. 中国环境科学, 2013, 33(6): 1141-1146.