文章编号: 1674 - 6139(2017) 10 - 0169 - 04

生命周期评价在环境管理中应用的局限性及其技术进展研究

佟景贵[1], 曹烨[2]

(1. 深圳职业技术学院, 广东 深圳 518055; 2. 北京大学 环境与能源学院, 广东 深圳 518055)

摘　要: 生命周期评价法(Life Cycle Assessment)在国际上广泛应用于工业企业部门、政府管理部门和服务行业, 但最突出的贡献是在环境管理方面的应用。LCA 的技术框架分为确定目的与范围、生命周期清单分析、生命周期影响评价(LCIA)和结果解释 4 个部分。LCIA 的方法可归纳为中点法和终点法。LCA 存在数据获取、清单分配、边界选择、评价模型、时空限制, 以及结果不确定性等方面的局限性。为适应环境管理和评价技术本身的要求, LCA 评价技术朝系统化方向发展, 目前主要有 IO - LCA、ALCA、CLCA、LCC、S - LCA 和 LCSA 等评价技术。不同的评价技术从不同侧面拓展了 LCA 的应用领域和回避 LCA 评价的局限性, 使得 LCA 越来越成为环境管理不可或缺的工具。

关键词: 生命周期; 影响评价; 环境管理; 可持续发展

中图分类号: X820　　**文献标志码:** A

Life Cycle Assessment and Environmental Management: Methodology, Limitations, and Technical Progress

Tong Jinggui[1], Cao Ye[1,2]

(1. Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China;
2. School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Life Cycle Assessment (LCA) method has been widely used in many aspects since its birth, but the most prominent contribution is the application of environmental management. The technical framework of LCA is divided into 4 parts: target and scope, list analysis, impact assessment(LCIA) and result interpretation. The methods of LCIA can be summed up as midpoint method and end point method. LCA has limitations in data acquisition, inventory allocation, boundary selection, evaluation models, temporal and spatial constraints, and uncertainty of results. In order to adapt to the requirements of environmental management and evaluation technology, LCA evaluation technology is developing in a systematic direction. At present, there are evaluation techniques such as IO - LCA, ALCA, CLCA, LCC, S - LCA and LCSA. LCA has expanded the application field of LCA and avoided the limitation of LCA evaluation, which makes it become an indispensable tool for environmental management.

Key words: life cycle; impact assessment; environmental management; sustainable development

前言

生命周期分析法, 也称为生命周期评价法(Life Cycle Assessment), 是一种评价产品"从摇篮到坟墓"的所有环境影响及潜在环境影响的方法。它通常被用于评估一项产品或者工程系统在全生命周期过程中的环境影响, 并借以寻求改善。LCA 最早产生于 1960 年代末和 1970 年代初, 经过 40 多年的研究和摸索, LCA 日趋完善[1]。

环境管理的内涵非常广泛, 从包罗一切的远景规划到具体的影响评价, 从环境信息交流到报告等。

收稿日期: 2017 - 07 - 10
作者简介: 佟景贵(1972 -), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 地质学。
通讯作者: 曹烨

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

生命周期评价最初被用于可口可乐包装瓶的环境影响评价，后来被广泛应用于工业产品的环境影响评价。生命周期分析法的研究对象是从原材料的提取和加工，到产品/系统的生产制造、包装、市场推广、消费者使用、售后维护，一直到再使用和最终废弃的整个生命周期过程所产生的环境影响[2]。

1 LCA 框架

SETAC(1993)在LCA国际研讨会上正式将生命周期评价方法定义为一种用来评价产品、工艺和行动相关的环境负荷的一个客观过程，它在能源与材料使用所产生的环境的排放过程中通过识别和量化其排放量，并评价对环境的影响，评估和实施改善对环境的影响的机会。1997年出台了ISO14040《环境管理－LCA－原则与框架》，其中将LCA分为确定目的与范围、生命周期清单分析、生命周期影响评价和结果解释。ISO14040将SETAC的LCA框架中的改善评价修改为结果解释。

LCA的主要分析模型有以下几类，它们分别是：简化模型(Simplified Model)、过程模型(Process Model)、决策理论模型(Decision－making Theory Model)和多目标优化模型(Multi－objective Optimization Model)等。洪钢[3]提出用生命周期法研究环境问题，给出生命周期法的研究内容及方法框架。

2 LCIA 方法学

ISO1404对SETAC的方法做了补充，将分类、特征化和评价作为必选步骤，将归一化、分组、加权和数据质量评价作为可选步骤[4]。目前，国际上的影响评价方法有20多种，根据研究目的差异基本可以划分为中间点法和终结点法，二者之间的最大区别是考虑的环境影响类型指标不同。中间点法更关注数据之间的关系、图标和评论终结点法则不需要单独各个影响类型的环境影响，只需要得出易于决策者理解的分数，不同的影响评价结果类型代表不同的决定。

中间点法就是对气候变化、酸化、富营养化等相关的环境影响进行评价。它更多的是着眼于环境影响因子和机理，对各种环境干扰因素采用当量因子转换来进行数据标准化，因此也被称为面向问题的方法。目前主要的方法有EDIP、CML2001、EPS、LUCAS和TRACI等方法。

终结点法是划分各种环境主题，对每一个和人类、自然环境和资源相关的主题造成的损害建模，又称为损害为主的评价方法。代表性方法有Eco－indicator95、Eco－indicator99、IMPACT 2002＋和ReCiPe 2008等方法[5]。

3 LCA 的局限性

3.1 数据的获取

LCA需要大量的基础数据，一个充分的LCA项目涉及的数据条目往往成千上万。一个较完整的材料的LCA通常需要多达60多万条。而与此形成强烈对比的是，现实中相关的数据非常缺乏。数据需求和数据缺乏之间的矛盾一直困扰着人们，这也将继续成为LCA实际应用的一个主要障碍[6]。

3.2 清单过程的分配问题

生命周期清单这一步骤中最终的限制性因素就是分配。有研究者将分配问题成为LCA最具争议的问题之一，也有人将其称为LCA古老的方法学问题之一。人们逐渐认识到没有一种方法能够单独满足解决所有问题的需要，而且普遍认为解决这一棘手问题的有效方法是细化单元过程或扩展系统边界以避免分配。

3.3 系统边界选择的主观性

在LCA的目标与范围定义中，确定系统边界至为关键。通常从三个方面定义系统边界：生命周期边界、地域和时间边界以及环境负荷边界。定义生命周期边界时，很难考虑真正意义上的生命周期全过程，其边界具有不完整性、不统一性。有人认为应围绕产业活动来划定评价边界，也有人认为自然过程也应包括在内，后者虽然更加全面，但大大增加了数据获取的难度。

3.4 评价方法的局限性

可以说将产品承担的负荷转换环境影响是LCA数个步骤中最具挑战的一步，要求将正确的时间和地点、正确的负荷与正确的影响建立联系。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ISO14044 规定了 LCIA 阶段的三个必备要素(影响类型、类型参数和特征化模型的选择; 分类; 特征化) 和三个可选要素(归一化; 分组; 加权)[4],其中每个步骤都因为方法本身固有的特征增加了 LCA 的局限性。

选择中点或终点对于将 LCA 结果用于决策制定的可信性和相关性产生重要影响。通常中点类别相对得到更好的定义,模型结果比较可靠,而终点类别则不太全面并且具有较大的不确定性。但是从决策制定相关性方面,中点类别不直接与政策关心的最终保护目标相关联,因而比较难解释。

3.5 地域和时间的限制

环境影响的特点之一是其因地域和时间不同而不同。有研究表明,使用具有明确地域特征变量的模型进行模拟,发现气象变化和当地环境的敏感性能够使欧洲各地区的酸化和富营养化影响差 3 个数量级。类似地,使用 EcoSense 模型模拟时,大气污染物对欧洲各国的人体健康和人工环境造成的损害因气象条件和人口分布不同而不同。垃圾渗滤液造成的地下水污染也因地质条件和地理位置的不同而差 4 个数量级[7]。地区间的酸化情况的差异也可能是土壤缓冲能力不同所致。以人口密度作为参数的城市景观能够影响对大气污染物暴露效率的估计。

3.6 研究结果的不确定性

不确定性分析是判定数据变异性及其对最终结果造成影响的过程,既可用于清单数据也可用于影响评价指标,并且在决策制定过程中如何使用这些结果有很重要的影响,迄今为止,在这方面还欠缺深入的研究。互联网+带来的数据快速更新很难对某种产品或者活动作出很准确的结论。评价过程中总是无法避免一些必要的折中做法,如忽略催化剂和添加剂,不考虑硬件设备,忽略供应商的材料流等等。

4 技术进展

4.1 评价指标

由于在 ISO 标准中并未对评价模型以及影响类型的选择做出明确的规定,不同的选择往往会得到不一致的评价结果。因此,开发统一的评价方法显得势在必行。联合国环境规划署(UNEP) 和环境毒理与化学学会(SETAC) 提出了完善 LCIA 方法的路线图,促进环境中点损害 LCIA 框架和 USEtox 模型等的研究。USEtox 着重于人体健康和生态毒理性的特征化,是在现有模型基础上建立一个全新的评价方法,已被作为未来 LCIA 特征化因子确定方法的全球推荐基础[8]。

4.2 清单数据

清单数据的获得方法主要有 4 种: 定性和半定量法、以数据可用性为导向的定量法、基于过程的定量法、基于投入产出(IO,Input - Output) 法。实践证明,前两种方法具有较高的主观性、不可重复性。基于过程的定量法因其使用了更多的删减原则而使结果产生更高的潜在截断误差。虽然 IO - LCA 是目前被认为的一种更快捷、更全面的数据获取和补全方法,但也存在着不可避免的不确定性,比如大多数国家都缺乏适用的、均衡的、可以和经济数据关联的部门环境数据,或者没有考虑再生和再制造过程[9]。

鉴于开展 LCA 所必需的潜在的高投资及满足其准确性的数据库的需要,建立合理、透明的数据获取及补全方法对增加 LCA 的可信度是非常必要的

4.3 ALCA 和 CLCA

LCA 研究可分为归因性 LCA(Attributional LCA, ALCA) 和归果性 LCA(Consequential LCA, CLCA)。ALCA 研究产品生命周期内的直接物理流(即投资、材料、能源和排放),主要使用生命周期内每个单元过程的平均数据; 而 CLCA 旨在描述对产品系统需求增加或减少而引起的物理流的变化。

Searchinger 等[10] 研究了常规汽油和玉米乙醇生命周期温室气体排放,使用 ALCA 得到的玉米乙醇温室气体排放比常规汽油低 20%; 而使用 CLCA 却发现由于政策激励作用,玉米乙醇产量的增加将使玉米淀粉的预期需求量增加,进而引起玉米、大豆以及其他谷物价格上涨,最终导致土地利用发生改变而使玉米乙醇的温室气体排放比汽油高 47%。这正是 ALCA 和 CLCA 的主要差别。

但是,开展 LCA 应该使用哪一种模式并没有对错之分,两者都有各自的效用,其区别在于如何定义系统边界和研究目标。在目前的 CLCA 研究中,很少有研究者说明为何采用 CLCA 而不是 ALCA。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4.4 LCC

生命周期成本法(Life Cycle Cost,LCC)最早被美国国防部用于评估核算军工产品的成本,现在它已经逐渐发展成为从另一个角度定义和衡量可持续发展的概念和工具。如 Reich(2005)将整合了 LCC 的 LCA 应用于市政工程的废弃物管理系统。每个生命周期阶段相关的输入和输出都应该包含在成本计算内。

如果将 LCC 和 LCA 分离,将可能限制 LCA 作为决策支持工具的实用性;产品生命周期内的经济性和环境表现之间的关系以及所需的权衡将表现得不够明确[11]。

4.5 LCSA

生命周期可持续性评价(Life Cycle Sustainability Assessment,LCSA)对产品在其生命周期内的所产生的环境、社会以及经济的负面影响和效益进行评估,并且展示如何将评估结果用于决策过程。Klöpffer[12]首先提出将环境生命周期评价(E-LCA)、生命周期成本(LCC)和社会生命周期评价(S-LCA)整合形成 LCSA 的思想,即 LCSA = E-LCA + LCC + S-LCA,其内涵是对产品可持续性表现的评价应通过实施三个生命周期技术来实现。UNEP/SETAC[13]推荐了整合 LCA、LCC 和 S-LCA 的每个步骤和做法,标志着 LCA 正逐步与经济模型和社会学理论相互融合,发展成为面向可持续的评价工具。

5 结语

ISO14001 体系或类似的环境管理体系中制定了系列评价模型来评价、监测、证明、管理和保持环境行为,其中需要定量化管理,往往会用到 LCA,特备是在调研组织关注的过程、产品和服务方面,都会采用 LCA。LCA 评价流程包括目的与范围确定、生命周期清单分析、生命周期影响评价和结果解释四个步骤。根据研究目的差异基本可以划分为中间点法和终结点法,二者之间的最大区别是考虑的环境影响类型指标不同。LCA 最大的局限性体现在数据获取、清单过程的分配、系统边界选择、评价方法、地域和时间限制、研究结果的不确定性等 6 个方面。近年来,LCA 技术在评价指标、清单数据、ALCA 和 CLCA、LCC 和 LCSA 等方面取得显著进展。LCA 正逐步与经济模型和社会学理论相互融合,发展成为面向可持续的评价工具。

参考文献:

[1] 陈莎,刘尊文. 生命周期评价与Ⅲ型环境标志认证[M]. 北京:中国质检出版社,2014.

[2] 郑秀君,胡彬. 我国生命周期评价(LCA)文献综述及国外最新研究进展[J]. 科技进步与对策,2013,30(6):155-160.

[3] 洪钢. 生命周期分析法(LCA)-环境评估的有效工具[J]. 环境与可持续发展,1998(6):29-31.

[4] ISO (International Organization for Standardization). ISO 14040 Environmental Management - Life Cycle Assessment - General Principles and Framework [S]. Geneva, Switzerland: ISO,2006.

[5] Huijbregts M., Steinmann Z., Elshout P., et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level [J]. International Journal of Life Cycle Assessment,2017,22:138-147.

[6] 郭焱,刘红超,郭彬. 产品生命周期评价关键问题研究评述[J]. 计算机集成制造系统,2014,20(5):1141-1158.

[7] 王玉涛,王丰川,洪静兰,等. 中国生命周期评价理论与实践研究进展及对策分析[J]. 生态学报,2016,36(22):7179-7184.

[8] 全球 LCA 数据库指导原则与中国技术指南[C]. 北京:中国 LCA 数据库建设与路线图研讨会资料,2012.

[9] 周仲凡. 产品的生命周期设计指南[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.

[10] Searchinger T., Heimlich R., Houghton R. A., et al. Use of US cropland for biofuels increases greenhouse gases through emission from land-use change [J]. Science,2008,319(5867):1238-1240.

[11] 周祖鹏,刘夫云. 产品生命周期评价中值得注意的几个问题[J]. 制造业自动化,2011,33(3):78-79;107.

[12] Klöpffer W. Life cycle sustainability assessment of products [J]. International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, 13(2):89-95.

[13] UNEP/SETAC. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment [R]. 2011.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net