

讨论与建议

木材工业生命周期评价研究现状

谢力生

(中南林业科技大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410001)

摘要: 生命周期评价(LCA)是一种评价产品(或服务)整个生命周期的环境影响的工具,已纳入 ISO 14000 环境管理系列标准,成为国际上环境管理和产品设计的一个重要支持工具。LCA 近十几年来在木材工业领域也普遍受到关注。本文总结欧美、日本和我国木材工业的 LCA 研究现状,为我国深入开展木材 LCA 研究提供参考。

关键词: 木材工业; 生命周期评价(LCA); 生命周期清单(LCI); 功能单位

中图分类号: TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)05-0028-04

Review of the Life Cycle Assessment Research in the Wood Industry

XIE Li-sheng

(College of Material and Engineering, Central South University of Forestry and Technology,
Changsha 410001, Hunan, China)

Abstract: Life cycle assessment(LCA), a tool to estimate the environmental impact of a given product or service, is the standard adapted by the ISO 14000 environmental management series and widely used in environmental management and product design. LCA research has been conducted for many years in many countries with LCA studies on wood products being increasingly visible for the last decade. This article summarized LCA research in the wood industry in Europe, America, Japan, and China.

Key words: wood industry; life cycle assessment; life cycle inventory; functional unit

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是一种面向产品的环境管理工具,主要研究产品从原材料获取到生产、使用,直至最终废弃和处置的整个生命周期中,对环境包括资源、人体健康和生态等方面的潜在影响,研究内容包括目的与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释。LCA 近十几年来在各国得到了全面的推广应用,在木材工业领域也受到了关注,并取得了不少研究成果。

1 欧美木材工业 LCA 的研究

1.1 研究概况

欧共体诸国的木材关联研究机构于 1995 年成立了科学技术合作行动 E9 小组(COST Action E9),开始致力于森林和林产物的 LCA 研究。COST 为欧共

体 14 国和周边 11 国组成的科学技术研究互助机构, E9 有以德国汉堡大学木材工程学研究所的 Fröhwald 教授为首,共 18 国的研究人员参加。COST E9 分 4 个部门:

① 木质制品的制造过程与商品;② 森林的土地利用;③ 制品使用后的再利用与废弃;④ 方法论和方针^[1]。E9 的相关研究工作已于 2001 年 9 月结束。

加拿大 Forintek Canada Corp 在 1992 年设立了木质材料 LCA 项目研究组。LCA 的软件制作和清单等具体工作,由在渥太华非盈利性私立研究所 ATHENATM Sustainable Materials Institute 承担,不列颠哥伦比亚大学(University of British Columbia)建筑学科协助,出版清单报告书 7 册和制品 LCA 关联报告书 6 册,并开发出 ATHENATM 建筑 LCA 软件^[1]。

美国华盛顿大学(University of Washington)于

收稿日期: 2009-11-03; 修改日期: 2010-07-09

作者简介: 谢力生(1964—),男,中南林业科技大学教授,博士。

1996年成立了CORRIM联盟,致力于木质制品的LCA研究^[1]。

1.2 研究内容

1) 木材(竹材)与其他材料的比较研究

欧美各国对木地板LCA的研究结果表明:对环境影响大的工程是贴面、表面修整和抛光;其次,胶黏剂和涂料的选择亦较重要^[2]。

对不同结构房屋的LCA比较研究发现,木质结构对全球气候变暖的影响仅为混凝土结构的60%左右^[3],瓜多竹(*Guadua angustifolia*)结构房屋的环境影响负荷约为石结构房屋的一半^[4]。竹材由于竹杆中空、生产过程简单等原因,具有环境友好性,其使用形式决定环境影响负荷。若以自然形态使用(如竹杆),竹材的环境优势是其他材料的20多倍;若作为化工产品(如纸浆等),与其他材料相比,则无保护环境优势^[5]。

2) 木质材料的LCA研究

对刨花板生产过程进行分析的结果表明,对人体健康损害最大的生产工序为砂光,对生态和资源的最大影响负荷来自刨花制备工序^[6]。

对中密度纤维板生产过程的分析发现:备料系统(包括原木运输、削片、水洗、蒸煮、热磨)的电力消耗最高,对人类健康的危害和资源的破坏最大;对生态系统的破坏主要由使用脲醛胶引起;敏感性分析表明,产品的运输和电力构成对环境负荷有重大影响。产品的运输距离越远,能源消耗越多,燃煤发电的比例越大,产生的环境负荷越大^[7]。

2 日本木材工业LCA的研究

2.1 研究概况

日本木材工业LCA的研究,起步晚于欧洲等一些发达国家,但近十年来,从原木生产、运输,到木质材料制造及木材利用等方面,均进行了全面的研究,取得的研究成果为今后木材制品(如木制家具)的LCA研究奠定了坚实的基础。

1997年,日本林野厅委托森林/木质资源利用先进技术推进协议会(APAST)进行为期3年的“环境低负荷型木质资源利用促进调查”,拉开了日本木材工业界开展LCA的序幕。同年,日本木材保护协会成立了LCA分会,首次以木质桥梁为对象,进行了环境影响评价^[8]。日本木材工业LCA研究的领军人——东京农工大学的服部顺昭教授,现正着手进行木质家具的LCA研究。

2.2 研究内容

1) 木材生产及其运输的LCA研究

围绕原木及间伐材的生产、国产及进口木材的运输等方面开展的LCA研究,是日本木材工业LCA研究的基础。

对爱媛和高知地区森林生产1 m³原木(日本雪松和扁柏)所需环境负荷量的研究发现,环境负荷最大的作业为采伐(包括砍伐和收集),其他作业包括种植、间伐、除草、剪枝和抚育间伐^[9]。生产1 m³落叶松人工林原木,CO₂排放量为6.7~14.2 kg。CO₂排放量几乎与植树棵数、培育方法无关,只与地理等级和所使用的整地机械有关,除草、砍伐和丢弃木材所产生的CO₂排放比率极低^[10]。

日本从北美、欧洲、俄罗斯、南洋、新西兰和智利等地进口锯材、胶合板及原木,推算木材产品在生产 and 运输中的环境负荷物质(包括CO₂、SO_x、NO_x、CH₄和N₂O)的结果表明,多数情况下,运输中产生的环境负荷物质的排放量占50%~80%^[11]。

2) 木质材料的LCA研究

木质材料胶黏剂的LCA研究,是保证木质材料LCA研究顺利进行的关键。对脲醛树脂胶(UF)、三聚氰胺-尿素共聚甲醛树脂胶(MUF)、酚醛树脂胶(PF)、间苯二酚甲醛树脂胶(PRF)和水性高分子异氰酸脂胶(API)等5种胶黏剂进行清单分析,结果显示:就能源消费量和SO_x,MUF和PRF的排放量最多,UF的排放量最少(只有MUF和PRF的57%~67%),API和PF的排放量处于中间值;就CO₂和NO_x,API的排放量最高,UF的排放量最低,前者为后者的6倍以上。改变M/U比和P/R比,能源消费量和环境负荷量发生变化,但不影响胶黏剂的能源消费量排位^[12]。

利用当地木材生产结构用集成材,与利用欧洲或北美进口材相比,所有环境负荷物质(包括CO₂、SO₂、NO₂、CH₄、N₂O)大大减少。当地木材制造工程比运输工程的负荷排放量大;而利用欧洲材或北美材时,原木和单元体运输工程的负荷排放量,约占总排放量的40%~70%^[13]。

生产小截面结构用集成材(105 mm×105 mm×3 000 mm),使用日本本地材时,约50%的CO₂来自原木采伐工程中的柴油消耗,35%的CO₂来自单元体制造时的电力消耗,胶黏剂制造工程对CO₂的影响小,但NO_x和SO_x基本产生于胶黏剂制造。使用国产材的CO₂负荷比进口材的CO₂负荷降低74%。

如果利用木质废弃物作为木材干燥用燃料,能够再削减 33.8% 的 CO_2 [14]。

2006 年,由 19 家木质人造板厂加盟的日本纤维板工业会,制定了定量评价和把握制品的环境影响的行动计划。会员企业按制品组织 LCA 委员会(纤维板工业会下属委员会,2006 年成立),对刨花板、软质纤维板、中密度纤维板和硬质纤维板的环境负荷进行了评价 [15]。

对于刨花板(PB),来自化石燃料的 CO_2 (f-CO_2) 排放量,板材制造过程产生 77%,其次是胶黏剂和消耗品占 19%。PB 制造中的 f-CO_2 排放量,约 60% 产生于蒸汽制造,约 40% 来自电力消耗。胶黏剂类型(U 型、M 型)对 LCA 结果几乎没有影响。将木屑作为燃料使用,能削减 f-CO_2 ,但烟尘增加对城市区域大气污染严重 [15]。

对湿法硬质纤维板的 CO_2 排放,来自成型工段的比例占 54%,其次为解纤工段(32%)。 CO_2 排放量约 50% 来自电力消耗,约 30% 来自蒸汽制造的燃料燃烧 [16]。

3) 木结构房屋的 LCA 研究

使用东京生产的木材建造木结构住宅,建造阶段的环境负荷最大,占 CO_2 总排放量的 58%;其次为采伐阶段,占 23%;制材阶段,占 14%;再造林和原木市场分别只占 2% 和 3%。采用数控专用机床加工卯榫,其环境负荷量为人工加工的 7 倍左右 [17]。

采用规格材建造 1 栋 2 层设有 4 种空间(寝室、客厅、餐厅和厨房)、总使用面积 120 m^2 的独户式木结构住宅, CO_2 总排放量 43.3 t, NO_x 、 SO_x 总排放量分别为 101 和 61 kg [18]。

对一般用途的两层单户住宅,分别按钢筋混凝土结构、钢架结构和木结构进行结构设计。相对于钢筋混凝土结构,钢架结构的 CO_2 排放量为 88%,木结构仅为 39%。说明木结构建筑具有降低 CO_2 排放量的效果 [19]。

4) 木材资源利用的 LCA 研究

对建筑物解体废旧木材进行再利用,可以削减 CO_2 排放。与解体木材焚烧后填埋相比,解体木材替代焦炭用做高炉还原剂,对削减 f-CO_2 排放的效果最明显;其次是代替煤炭发电、用做烧制水泥的燃料和代替煤粉用于高炉还原剂,具有同样的 CO_2 削减效果。而建筑物解体木材用于制造刨花板时,来自化石燃料的 CO_2 排放量增加,但来自生物质的 CO_2 排放量减少 [20]。

利用木质生物质发电, f-CO_2 排放量只有公共电力的 40%,而且,86% 的 f-CO_2 量来自汽车运输用燃料。与公共电力具有同等 CO_2 排放量的集材半径约为 100 km,即从单程 100 km 以上的地方收集木材用于发电,不再有削减 f-CO_2 排放的效果 [21]。

利用林地枝桠材及制材的边角废料生产木质颗粒炭(用于家庭取暖),在制造过程中,电力消费所产生的 CO_2 排放的影响最大,焚烧灰的填埋和 SO_x 排放所产生的影响次之;与其他供暖设备比较,木质颗粒炭在环境层面具有很高的优越性 [22]。

3 我国木材工业 LCA 的研究

3.1 研究概况

进入 21 世纪后,我国木材工业才开始有 LCA 研究报道。但到目前为止,对化工原料、能源、电力和运输等系统,还没有通用、权威的功能单位,使得在计算有关产品的环境负荷时困难重重。

功能单位是为 LCA 研究提供统一计量基准的单位,其选择至关重要,影响 LCA 结果的准确性和有效性。如木材工业用胶黏剂缺乏权威的功能单位,使得在研究人造板 LCA 时,不得不避开胶黏剂或使用他国的功能单位,不仅研究结果的准确性难以保障,而且不一定符合我国实情,亦给人造板的下游产品,如家具的 LCA 研究带来影响。

3.2 研究内容

1) 木材及木材制品的 LCA 研究

对竹地板,竹条生产阶段的环境负荷量最大,其次为板坯加工、地板成形加工和使用阶段;各阶段环境负荷大小依次为:生产>运输>使用 [23]。

对常见木结构材料,制造单位体积的定向刨花板,其环境负荷量分别是胶合木的 1.24 倍、规格材的 1.66 倍。对受弯构件,提供单位抵抗弯矩,规格材木梁的环境影响负荷是胶合木梁的 1.37 倍、工字搁栅的 2.37 倍 [24]。

2) 木质材料及其制品的 LCA 研究

对中密度纤维板产品,构建了生产系统综合评价模型,结合有关经济、技术、性能指标,分析了中密度纤维板生产和使用过程中,资源利用、能源消耗、污染物的产生、废弃物的利用等因素对环境的影响 [25]。

用中密度纤维板生产板式家具,加工每 1 m^3 的中密度纤维板,资源消耗量最大的为木材,全球性环境影响主要表现在全球变暖,区域性影响主要来源于酸化,局地性影响主要由固体废弃物导致 [26]。

根据刨花板生产阶段的环境特性,从能源消耗、原材料消耗方面,寻找造成环境影响的关键环节,为改进刨花板生产工艺、减少环境污染提供依据^[27]。

4 结束语

欧美等发达国家木材工业已基本完成了大部分木材产品的 LCA,建立了产品功能单位的数据库。日本近 10 年正加大力度开展木材工业 LCA 相关研究工作。我国木材工业 LCA 研究才刚刚起步,尚未建立能源、资源和化工原料等系统的功能单位数据库,没有形成从木材生产到运输、加工和木质材料使用一条链的 LCA 研究。

通过对各种材料及其制品的 LCA 比较研究,获得可信赖的数据,一方面可以证实木材及其制品的环境友好性,另一方面也可以发现产生环境负荷的关键因素(如工艺、工序、设备),从而加以改进或改善。为了木材工业和社会的可持续发展,我国应积极开展木材工业的 LCA 研究。

参考文献:

- [1] 服部顺昭. 木材/木质材料的生命周期评价[J]. 木材情报[日], 2006(6):24-25.
- [2] Barbara Nebel, Bernhard Zimmer, Gerd Wegener. Life cycle assessment of wood floor coverings [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(3):172-182.
- [3] Gerfried Jungmeier, Frank Wemer, Anna Jarnehammar, et al. Allocation in LCA of wood-based products: Experiences of cost action E9(Part I Methodology) [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2002, 7(5): 290-294.
- [4] Richard J Murphy, David Trujillo, Ximena Londono. Life cycle assessment of a Guadua house [C]//Symposia International Guadua, Pereira Colombia, 2004.
- [5] Pablo Van der Lug, Andy van den Dobbela, Ruben Abrahams. Bamboo as a building material alternative for Western Europe? A study of the environmental performance, costs and bottlenecks of the use of bamboo (products) in Western Europe[J]. Journal of Bamboo and Rattan, 2003, 2(3): 205-22.
- [6] Beatriz Rivela, Almudena Hospido, Teresa Moreira, et al. Life cycle inventory of particleboard: A case study in the wood sector [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(2): 106-113.
- [7] Beatriz Rivela. Life cycle inventory of medium density fiberboard [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12(5):143-150.
- [8] 服部顺昭. 700 期纪念特刊“迎接 21 世纪的木材工业思考”专题 II: 近 10 年间的变化及当时的情况之 18-LCA[J]. 木材工业[日], 2005(7):361-363.
- [9] Tahara K, Inaba A, Yamanaka K, et al. Life cycle inventory analysis of log production of japanese cedar and cypress[C]//Setac 25th Annual Meeting in North America, PW088, Portland, 2004:14-18.
- [10] 古俣宽隆, 由田茂一, 加藤幸浩, 等. 落叶松人工林圆木生产的生命周期清单分析[C]//第 3 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 京都, 2008.
- [11] 大城贤, 伊香贺俊治, 本藤佑树, 等. 伴随进口木材的生产和运输的环境负荷物质排放量的推算[C]. 第 4 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 九州, 2009.
- [12] 泽田幸伸, 安藤惠介, 服部顺昭, 等. 用于木质材料的胶粘剂的清单分析[J]. 木材学会誌, 2006(4):235-240.
- [13] 津田公平, 村上周三, 伊香贺俊治, 等. 基于现场调查的当地产结构用集成材的清单分析和环境影响评价[C]//第 2 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2007.
- [14] 植田耕平, 山川肇. 结构用集成材的 LCI[C]//第 3 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集(2008 年 2 月), 京都, 278-279.
- [15] 寺岛敏, 加藤庆子, 服部顺昭, 等. 刨花板的生命周期清单分析[C]//第 2 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2007.
- [16] 辻本广树, 服部顺昭, 涌田良一. 湿法硬质纤维板的生命周期清单分析[C]//第 3 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 京都, 2008.
- [17] 长谷川子, 稻木清贵, 井上文, 等. 使用东京产木材的木结构住宅的生命周期清单分析[C]//第 1 次日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2005.
- [18] 柿田秀人, 八木田浩史, 成田畅彦, 等. 木结构独户住宅的生命周期清单分析[J]. 日本 LCA 学会志, 2008(1):51-58.
- [19] 加藤晃敏, 瀬户山春辉, 木村正彦. 不同结构种类的建筑物 LCA (之一)[C]//第 1 次日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2005.
- [20] 鹿毛敏, 桥本征二, 南商规介, 等. 关于建筑物解体木材再利用的 LCI 分析[C]//第 1 次日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2005.
- [21] 高村功, 平尾雅彦. 木质生物量发电的生命周期清单分析[C]//第 2 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 东京, 2007.
- [22] 古俣宽隆, 折桥健, 石川佳生, 等. 北海道产木质颗粒的环境影响评价[C]//第 4 届日本 LCA 学会研究发表会讲演要旨集, 九州, 2009.
- [23] 王爱华. 竹/木质产品生命周期评价及其应用研究[D]. 北京: 中国林科院博士学位论文, 2007.
- [24] 燕鹏飞, 杨军. 木结构产品物化环境影响的定量评价[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008(9):15-18.
- [25] 薛拥军, 向仕龙, 刘文金. 中密度纤维板产品的生命周期评价[J]. 林业科技, 2006, 31(6):47-49.
- [26] 薛拥军, 王君. 板式家具产品的生命周期评价[J]. 木材工业, 2009, 23(4):22-25.
- [27] 向仕龙, 魏新莉, 刘文金. 从生命周期角度评价刨花板的环境特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2007(6):166-168.

(责任编辑 向琴)