

生命周期评价在家具行业的应用*

刘 祎^{1 2} 吴智慧^{1 2} 徐 伟^{1 2}

(1 南京林业大学家居与工业设计学院,南京 210037; 2 江苏省林业资源高效加工利用协同创新中心,南京 210037)

摘要: 家具是人类生活必不可少的工业产品,绿色环保的家具产品备受人们的青睐。生命周期评价(LCA)是环境管理和决策的重要工具,采用此方法对各种家具产品进行环境效应的分析,并根据分析结果提出可行性改进意见,可促进整个家具行业的绿色可持续发展。文中介绍LCA的方法和步骤,综述家具生命周期评价研究中数据清单收集及相关数据库建立、产生环境影响的类型及特征化指标、环境效应分析及环境热点确定等研究现状,针对我国家具行业LCA应用提出展望。

关键词: 家具,生命周期评价,绿色产品,可持续发展

中图分类号: TS664.1/665

文献标识码: A

文章编号: 1001-4241(2019)02-0056-05

DOI: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2019.0016.y

Review of the Application of Life Cycle Assessment to Furniture Industry

Liu Yi^{1 2} Wu Zhihui^{1 2} Xu Wei^{1 2}

(1 College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2 Jiangsu Co-Innovation Center of Efficient Processing and Utilization of Forest Resources, Nanjing 210037, China)

Abstract: Furniture is the industrial product indispensable for human life. Recently, green and environmental furniture have been popularly favored. Life Cycle Assessment (LCA), as an essential tool for environmental management and decision-making, can be used to analyze the environmental performance of various furniture products and make the feasible improvement recommendations according to the analysis results, which would promote the sustainable development of the whole furniture industry. This paper introduced the methods and procedures of LCA, reviewed the current state of inventory collection and database creation, environmental impact categories and characterized indicators, environment performance analysis and environmental hotspots determination in the furniture LCA research, and prospected the application of LCA to furniture industry in China.

Keywords: furniture, life cycle assessment (LCA), green product, sustainable development

近年来,碳足迹、水足迹等词语出现在民众的视野中,低碳循环的社会发展模式深受世界各国政府和人民的认可。为了引导各行各业生产过程和服务过程的绿色环保以及产品和服务安全可靠,营造绿色设计、绿色生产、绿色产品和绿色供应链的全球化市场氛围,世界各国和相关组织相继出台了相关政策和法律法规。

生命周期评价(LCA)是一种针对产品和服务进行环境评价、管理和决策的重要思想和工具,从环境、社会、资源、能源等多个角度定量化地综合评价产品或服务。将生命周期评价思想和方法运用于企业、行业的环境评价和战略管理中可达到促进企业、行业绿色可持续发展的目的。运用LCA可以从一定程度上革新我国家具行业处理生产和环境之间矛盾的方法,

* 收稿日期: 2018-05-07; 修回日期: 2019-02-21; 网络出版日期: 2019-02-22。

基金项目: 南京林业大学高层次人才科研启动基金(GXL2018022)。

第一作者: 刘祎,男(1991-),博士,讲师,主要从事家具与木制品工程、家具生命周期评价研究, E-mail: lindaliuyi1991@126.com。

通信作者: 吴智慧,男(1963-),博士,教授,主要从事家具制造工程与技术研究, E-mail: wzh550@sina.com。

真正站在供应链整体角度上从问题的发源处寻找解决问题的思路和方法,从宏观角度来解决家具制造过程中的微观问题。本文将从家具行业绿色可持续发展的目标出发,总结和分析 LCA 在家具行业的应用现状,并对发展趋势进行展望,以期为我国家具行业和家具企业实现绿色转型提供思路 and 参考。

1 生命周期评价方法和步骤

国际标准化组织(ISO)在标准 ISO 14040《环境管理 生命周期评价 原则与框架》和 ISO 14044《环境管理 生命周期评价 要求与指南》中规定,对任意一件产品或一项服务进行 LCA,均包括目标与范围界定、清单建立与分析、环境影响评价以及结果解释 4 个步骤。对家具产品进行生命周期评价时,目标与范围既可涵盖从原材料获取至家具产品加工成型结束阶段,也可涵盖从原材料获取至家具产品被消费者应用直至废弃并回收再利用阶段。清单建立和分析阶段主要包括确定产品生命周期过程的原材料消耗量、能源消耗以及向外部环境排放的废水、废气和废渣量等,根据评价所设置的功能单位量化输入和输出指标,是生命周期评价中耗时最长、工作量最大的部分。清单数据的来源决定数据的质量,而数据质量决定一项生命周期评价结果的准确程度。环境影响评价阶段主要是由于清单分析阶段的输入输出数据对环境的影响情况并不相同,一种物质可能引起多种环境问题,因此对清单数据进行区域性的特征化处理以获得环境影响潜值,而后对各潜值进行标准化和加权计算,分析产品生命周期全过程对环境影响贡献最大的阶段,即该产品的环境热点。评价结果解释是对环境影响评价的结果进行总结,并结合结果以及企业、行业、地方实际情况和国情,提出环境友好的改进意见。

2 家具产品 LCA 清单建立与分析

对一件产品或一种服务进行生命周期评价时,研究人员在清单建立与分析阶段收集相关输入和输出数据上投入最多时间和精力,而这些数据具有特定的时间代表性、空间代表性和规格技术代表性,数据准确度将直接影响评价结果的可信度。用于产品生命周期评价的数据包括实地收集的实景数据和与直接消耗和排放相关的上下游数据。在进行生命周期评价过程中上下游数据可通过已有数据库查找,或继续向研究界定范围的上下游追溯,进行实地数据收集。

使用数据库可减少研究人员的工作时间,提高工作效率,但所选用的数据库应与实际情况具有较高的匹配准确度。

目前,在国内家具产品生命周期评价研究中常采用的数据库包括 Ecoinvent 数据库、ELCD 数据库、CLCD 数据库、GaBi 数据库、BUWAL250 数据库、IDEMAT 2001 数据库、VTT/KCL - eco 数据库、CPM LCA 数据库、USA Input Output Industry Data 数据库等,另外还包括各国和地区的能源网数据、国家统计局的官方统计年鉴和年报等。其中,瑞士的 Ecoinvent 数据库、欧盟的生命周期参考数据库(ELCD)、中国生命周期核心数据库(CLCD)等^[1]均为综合型数据库,包括特定地区用于工业生产的原材料、能源、运输过程等方面的数据信息;GaBi 数据库、BUWAL250 数据库、IDEMAT 2001 数据库等是世界知名 LCA 软件 GaBi 和 SimaPro 中包含的数据库,软件用户可通过购买方式获取数据资源。

对于我国家具生命周期评价而言,虽然部分国外数据库中包括用于家具制造的原材料和能源的数据信息,如原木、板方材、人造板材等,但由于数据的时间性、空间性和规格性特征,其并不完全适用于我国家具原材料和能源利用的实际情况。我国本土的 CLCD 数据库(网址为 <http://www.ike-global.com/products-2/clcd-intro>)中目前包含我国部分能源、材料和运输的信息,但却并不包含家具生产所用木、竹、藤等生物质原材料的数据^[2]。目前,我国在家具生命周期评价中清单建立的数据结构多为“实地收集数据+国外数据库+文献数据”的形式,数据库与研究实际的匹配度低,使得评价结果缺乏一定的准确度,不能很好地反映我国家具行业和家具产品生命周期环境效应的实际情况。

3 家具生命周期各阶段的环境效应

3.1 原材料获取

家具产品的原材料多种多样,较常见的包括木材、竹材、藤材、人造板材、塑料、金属、玻璃、纺织物、皮革、石材等。因此原材料的获取过程包括生物质材料采伐、人造板材加工制造、石油开采、石矿开采、纺织物加工制造、皮用动物饲养、皮革加工制造等,原材料加工过程的复杂程度及能量密度直接影响家具产品原材料获取过程的环境效应。

Gamage 等^[1]以新西兰 Formway 家具设计工作室设计的 2 件 LIFE 办公椅模型为研究对象,通过全生命周期评价方法确定并比较 2 件椅子模型的全球气候变暖潜能(GWP)。2 件办公椅的主要原材料分别为铝材和玻璃纤维尼龙。其中,以铝材为主要原材料的办公椅全生命周期过程中原材料开采过程和冶金过程具有最大的 GWP 值,属于高能量密度阶段。因此以铝材为主要原材料的椅子也较以玻璃纤维尼龙为主要原材料的椅子全生命周期过程 GWP 更高。当经过使用的办公椅最终废弃时,对铝材的回收再利用可有效地降低该产品全生命周期的 GWP 值。

González - García 等^[2]采用生命周期评价方法对比分析儿童床、橱柜、木墙等多种以木材和人造板材为主要原材料的室内外家具的 GWP 值,并结合各种产品的碳排放特征重新对产品进行生态设计。研究结果显示,家具原材料中的金属部件和板材以及家具生产过程中的能源消耗对环境的影响较大,达到不同产品 GWP 总值的 40% ~ 90%;金属原材料在单个产品中占比例越大,该产品对全球气候变暖的贡献值越大;家具产品中所用的木质原材料越多,其对全球气候变暖的贡献值越小。因此,建议在对家具产品进行生态设计时,应尽可能采用木质材料等可再生原材料,并选用清洁能源。

Linkosalmi 等^[3]研究了芬兰 3 家木质家具工厂 8 种不同的家具产品生命周期过程中温室气体排放情况,经过比较分析确定,家具产品的温室气体释放潜能主要是由原材料的获取和加工过程消耗能源所引起的。研究结果表明,家具原材料中的纺织物材料和塑料具有较高的温室气体释放量,而木质材料的释放量则相对较少。该研究认为,木质材料是由植物通过光合作用固定大气中的碳后经过自身复杂的生物化学反应形成生物质,将通过采伐所获得的材料作为家具的主要原材料具有延伸生物质固碳和凸显环境友好性的作用。另外,在家具产品制造过程和运输过程中可再生能源的推广和使用对可持续发展也是至关重要的。

丁涛等^[4]对床头柜产品进行生命周期评价表明,床头柜所用原材料包括中密度纤维板、装饰纸贴面材料、五金件、胶黏剂等,五金件由钢、铝、锌等金属制成。研究结果表明,金属材料所造成的环境影响小于中密度纤维板所造成的环境影响,但高于其他材料的影响。该研究建议,考虑到五金件的成本也较高,在家具生产和设计中应合理规划所用五金件的数量

和类型,在未来家具产品的设计和研发过程中应创新板件之间的连接方式。新连接方式应既有良好的稳定性和经济性,同时在家具产品废弃阶段具有优异的可拆卸性,便于对家具材料进行回收再利用。

白伟荣等^[5-6]将以人造板为原材料的茶水柜和以实木为原材料的茶几及橱柜作为研究对象,采用 LCA 方法确定了各研究对象生产加工过程的碳足迹,表明毛重为 75 kg 的板式茶水柜产品碳足迹为 160 kgCO₂eq,毛重为 34 kg 的实木茶几产品碳足迹为 89.9 kgCO₂eq,毛重为 38 kg 的实木橱柜产品碳足迹为 139 kgCO₂eq,温室气体排放主要源于产品所用原材料的加工以及产品的涂饰过程。单位质量的板式家具碳排放高于实木家具,实木家具的加工过程碳排放高于板式家具,而且家具的结构模块越多碳足迹越高。

杨晓梦等^[7-8]以 EDIP 建模方法为基础^[9]对竹制家具的生命周期过程进行建模,运用 SimaPro 软件对竹集成材扶手椅和竹重组材圈椅进行生命周期评价。在家具生产过程中,固体废弃物主要来源于生产加工竹集成材和竹重组材以及制作家具过程中的切削所产生的碎屑,液体废弃物来源于提供热源和蒸汽的锅炉用水以及家具涂饰车间的水帘循环系统,有害气体来源于锅炉燃烧产生的气体和粉尘、胶黏剂游离甲醛以及油漆溶剂产生的挥发物,噪声来源于机械运行所引起的空气动力性噪声和摩擦噪声。研究结果表明,2 种家具的原材料制造均是影响环境的主要阶段,进行竹制家具产品生命周期评价存在的困难在于生产数据不易调研和专业检测相对复杂等。

孙昆^[10]基于绿色设计理念,以 LCA 方法为基础,针对竹家具设计生产过程的碳足迹进行模型构建,衡量竹集成材茶几生产阶段的碳足迹。研究结果表明,在该茶几产品生产中原材料竹条的加工过程碳足迹最高,其次是竹集成材加工过程,茶几成品的加工过程碳足迹最低,温室气体排放来源于竹条的炭化处理和热压成型工艺对蒸汽的使用。该研究还根据家具应用类型对竹集成材家具进行分类,概括了竹集成材家具的造型特点,分析其常用零部件和结构类型,结合碳足迹分析结果,为竹家具的绿色低碳设计提供新思路。

3.2 家具产品的加工生产阶段

所用原材料和造型结构不同,家具产品的加工工艺也不尽相同。几乎所有家具工艺均采用机械加工的形式,尤其是目前家具行业正借助第四次工业革命

的浪潮转型发展。机械化、自动化、数据化、智能化、柔性化的特点不断凸显。在家具产品的生产加工阶段,对环境的影响基本来源于加工设备的能源消耗以及加工过程所产生的物质排放。

González - García 等^[11]以可变形木质儿童家具为研究对象,采用 CML 2000 V2.1 的特征化方法,设置非生物资源消耗、环境酸化、水体环境富营养化、全球气候变暖、臭氧层消耗、人体毒性、淡水资源生态毒性、海水资源生态毒性、陆地生态毒性和产生光化学氧化物 10 项环境影响特征化指标,对该家具产品生命周期过程进行评价,确定家具所用木质板材的加工过程以及对电力能源的消耗是环境的主要影响因素,分别在不同特征化指标中占 45% ~ 68% 和 14% ~ 33%。

薛拥军^[12]分别对中密度纤维板和板式家具产品的生产过程开展研究,形成了一套适用于板式家具产品的 LCA 方法。该研究以 1 m³ 中密度纤维板为功能单位,分析生产 1 m³ 中密度纤维板和采用 1 m³ 中密度纤维板生产板式家具产品的资源耗竭系数和环境影响负荷,表明消耗量最大的原材料是木材、脲醛树脂和涂料。研究发现,中密度纤维板生产过程的材料利用率相对较低,在家具涂饰中存在涂料浪费现象,能源消耗主要包括机械用电、锅炉供热和柴油消耗,产生的环境污染包括胶黏剂制备和涂饰工序的废水排放以及能源消耗、脲醛树脂胶黏剂使用、涂饰所引起的废气和粉尘排放,这些排放将引起区域性的环境恶化。

江映其^[13]选取实木、板式和板木 3 类家具进行生命周期评价研究,以家具产品的体积为功能单位,获得了 3 类家具的主要环境影响因素和影响潜力。研究发现,在家具的生产过程中零部件的加工工序具有最大的环境影响潜值。对比 3 类家具,板式家具生产过程产生的环境影响最小,实木家具生产过程产生的环境影响最大。综合分析环境影响和经济效益,板木家具具有更强的综合优势。

3.3 运输阶段

家具产品生命周期中的运输过程包括原材料采购所形成的进料运输和产品销售所形成的分销运输。根据原材料的产地、性质、质量和经济等要求以及产品销售的路径和地区等要求,家具行业供应链中包括公路、铁路、水运、空运等多种运输形式。根据实际情况和生命周期评价结果对家具相关运输进行规划,并推广清洁能源的应用,可促进家具产品绿色物流体系的建立。

Iritani 等^[14]以一件衣柜作为研究对象,设置研究的功能单元为衣柜可容纳 40 kg 物品并使用 5 年。研究结果表明,衣柜生命周期过程中环境影响较大的是衣柜成品向零售商或消费者运输阶段和原材料获取阶段。该研究综合对比了另外 5 件家具 LCA 研究结果后,针对以上 2 个阶段提出改进意见,即采用三剩物作为人造板生产的原料并优化运输物流体系。同时,研究还指出,人造板游离甲醛对人体和环境的危害应包含在人造板和家具产品生命周期评价中。

Medeiros 等^[15]采用 ILCD 2011 中间点评价方法对一件推拉门文件柜开展全生命周期评价,结果表明,运输和中密度刨花板的生产阶段是对环境影响最显著的阶段,减少各个运输阶段的距离并选择低污染的运输方式是十分必要的。该研究分析对比了不同运输策略和选用不同燃油进行运输时产生的环境影响,结果表明,运输距离相同且选用生物质燃油作为汽车动力时,所产生的环境影响要大于选用 8% 生物质燃油和 92% 柴油作为混合动力所产生的环境影响,所以应考虑使用混合燃油作为运输的动力源。

王姝懿^[16]选取以木材为主要原料的两抽屉书桌、双人沙发和四门衣柜进行可持续设计的研究,研究的系统边界为产品生产加工和包装运输阶段,在对 3 种家具产品研究系统边界内的输入和输出数据进行调研后采用 Simapro 软件进行评价,研究结果表明家具原材料中木材消耗和原料运输过程是主要的环境影响来源阶段。

4 生命周期评价在我国家具行业中的应用展望

4.1 研究范围将不断扩大

我国现有家具产品生命周期评价多针对以木、竹材料和人造板材作为主要原材料的木制家具、竹制家具和人造板基材家具。虽然这些类型的家具在我国家具生产量中占较大比重,但是应加强运用其他材料所生产的家具如金属家具、塑料家具、玻璃家具、木塑复合材料家具等产品的生命周期评价。同时对家具产品的生命周期评价应涵盖生命周期全过程,将原材料开采和加工、家具产品生产、销售使用和废弃回收再利用串联,扩大研究范围,进而形成不同类型家具产品 LCA 方法,建立家具生命周期清单数据库和相关标准。

4.2 标准化工作将不断加强

针对新常态下的经济特点,家具行业应把握新战

略下的发展机遇,顺应新形势下的行业发展趋势,继续向绿色环保可持续方向发展,建立绿色家具制造和服务体系。2018年7月,GB/T 35607《绿色产品评价 家具》开始实施,标准中从资源属性、环境属性、品质属性等方面确定了家具产品生命周期绿色评价指标,并鼓励在家具生产中使用可再生资源、清洁能源和可再生材料。这表明我国家具生命周期评价标准化迈出了新的一步。之后应不断完善不同家具制造的清洁生产评价、家具绿色设计、绿色家具工厂、绿色家具供应链等一系列标准。

4.3 运用生命周期评价促进产业绿色转型和发展

对家具产品和产业供应链进行生命周期评价,根据评价结果确定产品生命周期过程中所产生的环境效应,通过特征化、标准化、加权等步骤,分析家具产品生命周期过程中的环境热点环节,针对环境热点环节结合我国家具产业和企业实际情况提出改进方法,可促进家具产业短期的绿色转型。例如,在以人造板为基材的家具的生产过程中,家具产品的上游原料为人造板材,合理的板材下料方法和锯切工艺可以减少原材料的消耗量,提高其利用率,进而降低原料浪费和固体废弃物的产生。因此可通过计算机技术对人造板材进行下料排样优化处理,减少生产过程的固体废弃物排放。在此基础上,家具行业还应开发利用清洁材料^[17],发展现代化制造技术^[18],优化供应链结构,改善运输方式,提高清洁能源利用比例并规划废弃家具处理再利用^[19],从而促进家具产业中长期绿色发展。

4.4 建立家具全生命周期评价与管理示范企业

我国家具产业生命周期评价研究刚刚起步,与欧美国家差距较大,同时家具产业又关系到国家经济发展和国民生活。为促进其发展,国家应鼓励更多家具生产企业和上下游供应链参照丹麦、瑞典等国发展经验,推进我国家具产品碳足迹标签和生命周期标签制度,以大中型和具有代表性的家具企业为重点,集中资源实施规范化、区域化的示范工程。

参 考 文 献

- [1] GAMAGE G B, BOYLE C, MCLAREN S J, et al. Life cycle assessment of commercial furniture: a case study of formway LIFE chair [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2008, 13(5): 401–411.
- [2] GONZÁLEZ – GARCÍA S, GASOL C M, LOZANO R G, et al. Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their eco – design [J]. Science of the Total Environment, 2011, 410/411: 16–25.
- [3] LINKOSALMI L, HUSGAVEL R, FOMKIN A, et al. Main factors influencing greenhouse gas emissions of wood – based furniture industry in Finland [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 113: 596–605.
- [4] 丁涛, 周捍东, 江科, 等. 家具产品环境影响评价的原理及应用 [J]. 家具, 2006(6): 43–46.
- [5] 白伟荣, 王震, 江映其. 基于生命周期评价方法的木质家具碳足迹核算 [J]. 木材工业, 2013, 27(6): 29–32, 36.
- [6] 白伟荣. 木质家具碳排放特征及碳减排策略研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [7] 杨晓梦, 孙建平, 刘志佳, 等. 绿色竹制家具生命周期评价的模式构建 [J]. 森林工程, 2014, 30(1): 174–177, 189.
- [8] 杨晓梦. 基于 LCA 理论的竹制家具产品的评价与设计研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [9] 李方义, 李剑峰, 颜利军, 等. 产品绿色设计全生命周期评价方法研究现状及展望 [J]. 现代制造技术与装备, 2006(1): 8–13.
- [10] 孙昆. 基于低碳理念的竹材料家具设计研究 [D]. 北京: 北京服装学院, 2015.
- [11] GONZÁLEZ – GARCÍA S, LOZANO R G, MOREIRA M T, et al. Eco-innovation of a wooden childhood furniture set: an example of environmental solutions in the wood sector [J]. Science of the Total Environment, 2012, 426: 318–326.
- [12] 薛拥军. 板式家具产品的生命周期评价 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2007.
- [13] 江映其. 基于生命周期评价的三种木质类家具环境影响比较研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [14] IIRITANI D R, SILVA D A L, SAAVEDRA Y M B, et al. Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 96: 308–318.
- [15] MEDEIROS D L, TAVARES A O D C, KIPERSTOK A. Life cycle assessment in the furniture industry: the case study of an office cabinet [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2017, 22(1): 1823–1836.
- [16] 王姝懿. 典型家具可持续设计研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2014.
- [17] SILVA D A L, LAHR F A R, PAVAN A L R, et al. Do wood – based panels made with agro – industrial residues provide environmentally benign alternatives?: an LCA case study of sugarcane bagasse addition to particle board manufacturing [J]. International Journal of Life Cycle Assess, 2014, 19(10): 1767–1778.
- [18] HÖGLMEIER K, STEUBING B, WEBER – BLASCHKE G, et al. LCA based optimization of wood utilization under special consideration of a cascading use of wood [J]. Journal of Environmental Management, 2015, 152: 158–170.
- [19] SUSANTY A, PUSPITA D, BUDIawan W, et al. Improving green supply chain management in furniture industry through internet based geographical information system for connecting the producer of wood waste with buyer [J]. Procedia Computer Science, 2015, 83: 734–741.