

基于产品生命周期评价 (LAC) 的家具 环保设计方案优化

邱棋

(俄罗斯国立柯西金大学 产品设计学院, 莫斯科 115419)

摘要: 了解国内外家具产品生命周期的发展现状, 为家具环保设计方案提供更加全面的产品生命周期评价的数据支持, 提前在家具设计阶段干预因不良设计带来的环境问题, 从而实现家具的绿色设计。以产品生命周期评价 (LAC) 为主要方法, 并将其应用到家具的 CMF 设计中。介绍产品生命周期评价的发展及定义, 陈述和梳理关于国内外家具生命周期评价的文献资料。根据产品生命周期发展步骤对家具生命周期相关的文献进行概括总结, 从而为环保型家具设计环节提供最基础和全面的研究参考数据。结合 LAC 的研究数据对家具设计的 CMF 设计要素进行了分析和建议。家具的产品生命周期评价可改善以家具 CMF 设计为代表的设计方法, 从而降低家具生产对环境的影响。家具设计中产品生命周期的研究可有效提高环保型家具设计方向的发展效率。

关键词: 产品生命周期评价; 环保家具设计; CMF 设计方法

中图分类号: F307.5 **文献标识码:** A

文章编号: 1001-3563(2023)S2-0259-05

在当代产品工业化、批量化生产的模式下, 所引起的能源消耗、环境污染问题已成为最严峻的生态环境问题。自 20 世纪 90 年代以来, 世界范围内出现了生态危机问题, 整个国际社会开始探讨和实施合理化的生态保护方案。而家具制造行业在生活日用品的生产中占比高、耗能大, 是影响生态环境的最重要领域之一。对家具行业中产品生命周期评价理论的研究将会全面的、宏观的、战略性的审视家具生产的各个环节对环境的影响因素。家具产品设计位于整个家具产业的上游, 谈到家具设计中的环保属性, 不应仅从家具使用期间对环境的影响、家具成品的材料回收程度、设计形态的简约复杂等单独要素谈及, 而应从宏观的、整体的对家具的整个生命周期中所涉及的各个环节进行设计思考, 从而才能在家具设计阶段真正的实现绿色低碳的环保要求。家具设计对家具生命周期中的选材、生产、运输、销售、包装、使用方式、回收等家具的整个流程起到指导性作用, 甚至好的家具产品设计方案可以为家具产品的最终落地有着决定性的作用。在这项研究中, 笔者进行了最广泛的文献和案例收集, 总结家具产品生命周期中的影响因素, 从而为家具的环保设计方案提供更加全面的基础资料。

1 产品生命周期评价发展与与家具 相关文献概况

生命周期评价 (Life Cycle Assessment, 简称 LCA) 起源于 1969 年, 是可口可乐公司委托美国中西部研究所 (Midwest Research Institute) 评估饮料容器从原材料采掘到废弃物最终处理的全过程对环境的影响。之后, 1990 年国际环境毒理学与化学学会召开关于生命周期评价的国际研讨会, 会上第一次提出“生命周期评价”的概念, 目的是全面审视一种产品从诞生到报废回收的整个产品生命周期对环境的影响状况^[1]。LCA 已经纳入 ISO14000 环境管理系列标准而成为国际上环境管理和产品设计的一个重要支持工具。LCA 在 1999 年的定义是指“对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价。LCA 是评估产品的生产过程或产品服务生命周期的所有相关阶段对环境影响的综合办法, 包括原材料的提取和加工、制造、分销、使用、回收和最终处置^[2]。其目的是记录和改进产品的环保属性^[3]。在 LCA 方法的研究方面, 由国际标准化组织制定的环境管理标准 ISO14040 和 ISO14044 生命周期评价原则与框架中的相关研究最有影响。国际标准化组织

收稿日期: 2023-05-10

作者简介: 邱棋 (1992—), 男, 博士在读, 俄罗斯国立柯西金大学博士生, 主攻家具设计与制造专业。

(ISO)在标准 ISO14040《环境管理生命周期评价原则与框架》和 ISO14044《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^[4]。

本研究使用了中国知网、Web of Science 和 Scopus 数据库,为了搜索相关文献,选择了关键词“生命周期分析”、“LAC”、家具设计等。此外在搜索该主题相关的术语后添加了“生态设计”“cycle”“Eco-friendly furniture”等。首先剔除 32 篇文章后,在阅读标题、标题、摘要和关键字后,选择了 45 篇文章,其中国内文献 13 篇,包块美国、荷兰、巴西、泰国等国外文献 32 篇。根据搜集的相关文献显示,与家具设计相关的文献里主要是从家具材料、单独家具产品的角度进行产品生命周期分析研究。其中家具材料的产品生命周期分析以木质板材为主,比如中密度纤维板、中密度刨花板、竹材等为主,共占 48.88%。单独家具的产品生命周期分析包括家庭用家具、商用家具、酒店家具等,共占 31.11%。其余的文献研究包括家具的废料处理、家具的森林木材管理等领域的研究。

2 家具生命周期分析各阶段对环境的影响

根据家具生命周期分析的 4 个步骤,家具产品中的目标范围可涵盖从家具原材料筛选到家具产品生产再到家具成型、组装、运输到废弃的完整阶段。清单建立与分析是基于家具产品生产过程中的所涉及原材料、能源消耗以及污水、废气排放等环境污染要素的数据量化和分析。环境影响评价则是根据上一步骤的数据进行特征化模型研究。评价结果是对家具产品生命周期中环境影响评价阶段进行的规范化从而提出相应的改进策略^[5]。由于家具生命周期具有长周期性和复杂性的特点,并在相关主要研究中得出家具生命周期的上游和中游是影响结果的主要因素,因此,作者对于家具生命周期分主要从家具材料、产品加工过程这 2 个主要环节进行^[6]。

2.1 从选材的阶段进行家具产品生命周期的分析

家具材料的选定对家具的生命周期影响具有决定性的作用。家具材料使用复杂,其中包括木、竹材、金属、塑料、亚克力、石材、玻璃、织物等。根据数据显示,2022 年中国家具市场格局占主导地位的是木质家具,占比 63.4%,第二的为金属家具占比 19.1%,第三的为竹藤家具占比 2.1%,第四的为塑料家具占比 1.3%,其他家具占比 14.1%^[7]。因此,家具在原材料的获取过程中经过对树木等植物原材料的

采伐,金属矿产的开采,动物皮毛的采用等等复杂的程序,对环境的影响和资源的循环产生着直接的作用。2004 年后,中国成为世界最大的木制家具出口国。据中国海关统计,2017 年中国木制家具出口达到 927.32 亿元,远大于进口 60.34 亿元,在家具生命周期的原材料筛选研究中,不同类型的木材应作为重点关注领域。

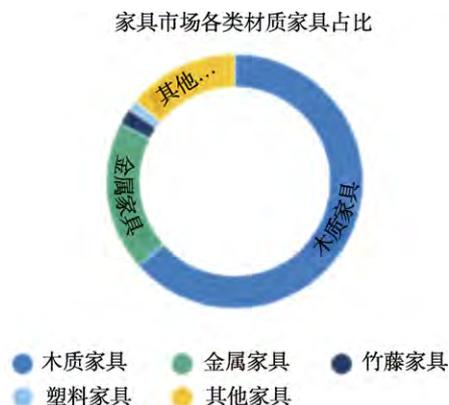


图 1 2022 年中国家具市场家具材质占比

江映其等分别对企业生产的板材、板式和实木 3 类木质家具进行生命周期评价的实验,数据得出实木家具对环境的影响最大、板材家具其次、板式家具最小的结果。这 3 类家具对环境的影响因素从大到小为:化石燃料、土地使用、可吸入无机物、致癌物、气候变化。其中实木家具对人体健康的影响因素最小。值得提出的是,对在设计阶段应考虑到因地制宜,就地取材的因素,可有效降低家具生命周期对环境的影响^[8]。

KARUNA K 等^[9]对泰国市场的家具碳足迹进行了生命周期的评价,研究中以桌子为例,其侧重点在于原材料的使用上。该研究对泰国市场上的 7 个餐桌家具进行碳足迹追踪,分别统计了天然木材、表层覆盖有单板的中密度板(MDF)、表层覆盖三聚氰胺的中密度板、表层覆盖层压板的中密度板、表层覆盖单板的刨花板、表层覆盖了三聚氰胺的刨花板、表层覆盖有层压板的刨花板碳足迹过程。结果显示刨花板对环境的影响分别低于 MDF 和天然木材。家具的涂层工艺和表面光洁度预期,层压板对环境的影响分别低于三聚氰胺和单板。

SERKAN S 等^[10]对土耳其安塔利亚地区的酒店家具设计进行了生命周期的评估。该实验供评估了 15 家五星级酒店的标间所有类型的家具,通过家具的碳足迹的跟踪分析得出使用单一的非复合材料对环境的影响较小,床架材料中密度纤维板、刨花板、铁、铝、铬和混凝土都具有环保效果。架子、桌子、电视机、手提箱架、迷你吧家具组中使用 MDF、铁、铬、混凝土和溶剂涂料会增加对环境的影响。咖啡桌上,铬、密度板、玻璃、铁、铬材料已被确定为对环境影响大的材料。椅子、坐垫凳和扶手椅家具组中使

用 MDF 和铁是一个基于材料的环境影响问题。因此，在每个类型家具使用不同材料对家具生命周期的评估都会产生影响。

NATHALIE S 等^[11]基于实际案例对瓦楞纸板替代塑料材料的可能性进行了生命周期评价的分析。研究发现，瓦楞纸板的回收性上有绝对优势，但是纤维材料回收方式中，比如填埋仍面临潜在的甲烷排放。于此同时，塑料的优势是重量轻造成的运输过程中碳足迹（CF）排量更低。瓦楞纸板在家具制作尤其是家具包装具有优势。

BLINKOSALMI 等^[12]对荷兰的 3 家木质家具工厂的不同家具进行生命周期的研究，数据结果显示，在原材料的获取和加工过程中纺织材料和塑料材料在温室气体的排放量上均高于木质材料。

2.2 从加工生产过程阶段进行家具产品生命周期分析

由于家具生产中所选用的材料不同、家具的结构形式各异，因而，生产加工方式也各有不同。全球化家具的生产方式都在往智能化、节约化、自动化等方向发展。在家具的生产加工阶段中，机械设备的能源消耗及废气废水排放和加工效率的不同都会影响家具产品生命周期的分析结果。

SHANSHAN W 等^[13]对中国 MDF 进行了生命周期的研究。研究发现，在中国仅有约 14% 的人造板企业采用“林板一体化”经营模式，即企业自给自足原木材料，自主经营板材需要的原林，其余则依赖外包。研究结论强调，中纤板生产企业原材料运输过程中会大量消耗额外的能源，因此，建议我国中纤板生产企业采用“林板一体化”经营模式。

SARA 等^[14]对巴西纸板厂的湿法硬质纤维板的生产进行生命周期分析。该研究从非生物消耗、全球变暖、臭氧层消耗、人类毒性、生态毒性等多方面进行硬质纤维板的生命周期分析和评估。研究中得出，在硬质纤维板的加工过程中制作设备对这些要素的影响超过 50%，其次是在硬质纤维板成型和精加工中的化学品消耗。再次是硬质纤维板的生产设备为获得热能而燃烧木材废料的影响。

MAUREEN 等^[15]对北美地区（美国和加拿大）的纤维素纤维板进行了生命周期的评估。纤维素纤维板由工业木材残留物制成，例如刨花、锯末和来自初级原木分解或切碎整棵树（圆木）的木屑、混合纸和建筑垃圾。研究结论得出，生产 1 立方米纤维素纤维板，从“摇篮到大门”的生命周期过程共产生 56.98 千克固体废物，其中 99% 是在纤维素纤维板生产过程中或在生产过程中使用的工艺产生的。

薛拥军对家具企业中板式家具进行了细致的单独的研究，研究显示，中纤板材的原材料消耗最高。板式家具生产生命周期中加工阶段的涂料喷涂浪费

严重，主要对环境的污染是地域性和区域性的而非全球性。于此同时，研究的影响评价建议家具业从资源消耗、工艺技术和企业生产管理等方面着重入手^[16]。

3 基于 LAC 数据分析的绿色家具设计方法优化策略—以 CMF 的家具设计方法为例

CMF 的家具设计方法是当前家具设计方法中设计师应用最为广泛的方法之一。将 LAC 的研究引入该方法中会使得设计师在设计家具时更多关注家具的环保属性，并能在家具生产前的上游的方案制作阶段提前干预家具产品生命周期对环境的影响。

3.1 CMF 与产品生命周期评价的关系

CMF(Color、Material、Finishing)即色彩、材质和表面处理工艺，在家具设计中 CMF 方法的应用，CMF 更聚焦于用户和家具外观属性的感性认识^[17]，通过显性物理元素的选择来满足用户的感性需求，将产品外在的色彩、材料、表面处理工艺所呈现的情感信息传达到物品表面上，以达到功能与美学的平衡作用^[18]。因此，家具产品生命周期的研究可对于 CMF 家具设计师提供更加全面的设计视角和更加理性的环保型家具生产经验。根据家具产品生命周期的发展顺序，分别进行家具材料、表面处理工艺、和色彩的方案进行优化策略。CMF 设计方法所涉及的领域是产品生命周期的一部分，但不是独立进行的，而是与整个产品生命周期中其他部分也有着相应的联系。如图，比如 CMF 中材料的设计部分也会涉及家具的选材、加工工艺等家具生命周期的上游部分，也会影响 CMF 其他两个主要构成的色彩和工艺部分。因此，以下从 CMF 3 个方面的分析不是独立的进行，而仍是从产品生命周期发展的全过程进行思考。在家具生命周期框架下的 CMF 的设计可以帮助缩短家具的研

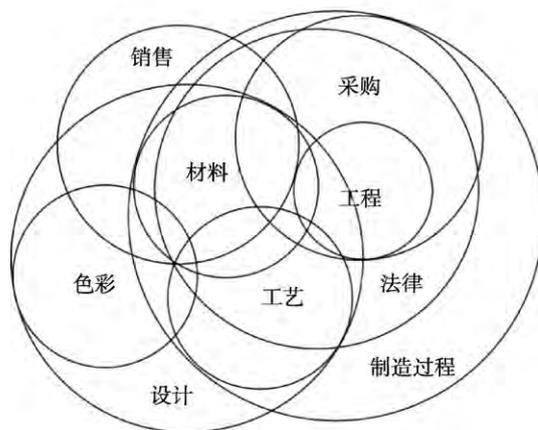


图 2 CMF 在产品从生产到销售流程中所涉及不同专业领域的关系

发周期、降低产品开发成本、减轻家具对环境的影响。

3.2 基于LAC数据的家具CMF的设计优化分析

家具材料的选择在家具生命周期的上游并贯穿到整个过程中,也是CMF设计的基础,因此,家具材料是家具设计师应着重考虑的设计要素。而材料的使用会影响家具的色彩和表面加工工艺等要素。一方面,家具CMF设计师需要了解家具生命周期分析的研究结果,从而为绿色环保型家具的设计提供更科学全面的理论支持。另一方面,家具CMF设计师在全面了解家具生命周期发展的过程中,对客户和市场进行正确的绿色审美观的引导,可以促进家具生命周期的良性发展。

以木材家具为例,木质家具材料具有情感和物理的双重属性,以其天然性的色泽、自然性的纹理、长久性的使用周期、突出的环保性能深受家具市场欢迎。由于市场对木质家具的需求量大,合成板材成为木质家具制造的主流材料。现今宜家推出的可组装、扁平化的家具设计,宜家衣柜多使用密度板、刨花板,这种材料在家具生命周期中的存储、运输、组装环节对环境的影响要小于其他家具材料。根据江映其等对板木、板式和实木家具进行比较分析,得出板式家具的表现最好,最差为实木家具。但纯实木家具在对用户健康和回收以及使用周期上仍具有优势。因此,在现阶段开发的无醛秸秆板、无醇纤维板的新型材料更加优化了板材的环保性能。根据白伟荣对比3种木质家具(即茶几、茶水柜和橱柜)的碳足迹分析中得出,在木质家具设计中应减少结构模块的数量^[19]。关于板式家具的表面处理工艺,塑料PET透明膜在橱柜类板材家具中使用广泛,具有易清洁、抗磨损的特点。关于PET塑料通过生物酶法将PET废弃物降解成可回收的低聚物或单体,再用于合成新产品,是目前最为理想的PET废弃物闭环回收处理策略^[20]。因此,设计师在木质家具的选材上应根据家具功能需要而进行筛选,比如衣柜、书架等大型架类家具可应用更加环保的板式家具,在木质家具结构的设计上应以简洁化、标准化、模块化的结构形态为主,在板式家具的表面工艺处理上可选取可生物酶降解的塑料PET透明膜等。因此,根据家具产品生命周期评价数据可以更加科学的优化环保家具的CMF设计。

以竹材料家具为例,竹材广泛应用到中国的家具生产当中,以其独有的环保内涵及“竹君子”的文化象征意义深受中国市场欢迎。竹子材料的成材过程借鉴了木集成的加工工艺,以竹材为原料,也经过防腐、干燥、胶合等一系列流程的加工。竹材在表面加工工艺上采取本色按压、本色测压、碳化平压、棋盘格等形式。竹材在色彩的设计上以本色和碳化成棕色为主^[21]。龙超等^[22]对竹产品生命周期的碳足迹研究中显示,竹

类产品碳足迹的主要影响主要在加工消耗、运输方式、使用添加剂、加工工艺和产品寿命环节,其对环境的主要负荷在制造阶段,使用阶段基本对环境影响极低。据研究报告,竹废料的回收也可以减少产品的碳排放量,建议竹类家具在竹材的生长地可以进行竹类产品的预处理,在制造加工过程中和回收过程可降低竹类产品生命周期的影响。因此,家具设计师在进行竹材家具的CMF设计时应注重因地选材、在竹材结构的设计上可设计易组装和可回收利用的结构形式以降低运输环节的碳排放量,在色彩的设计上引导消费者使用竹材本色的审美观,尽可能减少竹材家具的表面的加工工序。

4 结语

一方面,将生命周期评价结果作为反馈意见和指导方针将促进环保型家具的发展。根据家具生命周期分析的量化结果可在家具生产最初的设计阶段做到提前干预,不仅能对选材和生产工艺等阶段起到指导作用,还能对后期的运输、包装、组装等环节产生良性的环境影响,这样便能最大程度的减轻家具生命周期流程中对环境的污染。另一方面,家具设计师在了解家具产品生命周期发展的同时,可超前设计符合绿色设计发展方向的家具,引导消费者正确的购物观念。文章选取的研究材料关注到家具产品生命周期的主要阶段。家具生命周期分析案例中,涉及全球各地域,由于世界各地的家具产品生命周期中使用的生产技术、效率、运输工具、回收方法等不同,因此,为了准确了解我国家具行业的家居产品生命周期评价结果,我国仍需要根据不同地域、企业发展各自的产品生命周期分析数据库。

参考文献:

- [1] 李敏秀,李克忠,张响三. 基于全生命周期的家具产品绿色度综合评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2008(1): 134-138.
- [2] ILGIN M. A, GUPTA S. M. Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A review of the State of the Art[J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91(3): 563-591.
- [3] FINNVEDEN G. Recent developments in Life Cycle Assessment[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 91(1): 1-21.
- [4] 薛拥军,王珺. 板式家具产品的生命周期评价[J]. 木材工业, 2009, 23(4): 22-25.
- [5] 刘祎,吴智慧,徐伟. 生命周期评价在家具行业的应用[J]. 世界林业研究, 2019, 32(2): 56-60.
- [6] 胡茜雯,林秋丽,方海. 面向设计阶段的家具生命周期评价研究进展[J]. 林产工业, 2021, 58(11): 80-83.
- [7] <https://baijiahao.baidu.com/s?id=17469894373644582>

- 04&wfr=spider&for=pc.
- [8] 江映其, 雷亚芳, 孟祥彬. 基于生命周期评价的 3 种木质类家具环境影响比较研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4): 232-236.
- [9] KWANGSAWAT K, RUGWONGWAN Y. The Different Analysis of Carbon Footprint According to Life Cycle Assessment of Furniture Type: A Case Study of the Table[J]. Environment-Behaviour Proceedings Journa, 2017, 2(5): 315-323.
- [10] BAYDAR G, CILIZ N, MAMMADOV A. Life Cycle Assessment of Cotton Textile Products in Turkey[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2015(104): 213-223.
- [11] SILVA N, MOLINA-BESCH K. Replacing Plastic with Corrugated Cardboard: A Carbon Footprint Analysis of Disposable Packaging in a B2B Global Supply Chain—A Case Study[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2023(191): 20-25.
- [12] LINKOSALMIL, HUSGAVELR, FOMKINA. Main Factors Influencing Greenhouse Gas Emissions of Wood-Based Furniture Industry in Finland[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 113: 596-605.
- [13] WANG S, WANG W, YANG H. Comparison of Product Carbon Footprint Protocols: Case Study on Medium-Density Fiberboard in China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(10): 20.
- [14] PIEKARSKI C M. Environmental Profile Analysis of MDF Panels Production: Study in a Brazilian Technological Condition[J]. Cerne, 2014(20): 409-418.
- [15] SAHOO K, BERGMAN R. Cradle-to-Gate Life-Cycle Assessment of North American Cellulosic Fiberboard Production[D]. University of Washington, 2016: 25-30.
- [16] 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: 33-40.
- [17] 刘伊航, 宋莎莎. 基于可供性的家具材料 CMF 应用设计研究[J]. 包装工程, 2022, 43(18): 80-86.
- [18] 杨越淳, 任毅, 张继娟, 等. 竹集成材用于榫卯家具的 CMF 评价及力学强度分析[J]. 林产工业, 2022, 59(9): 50-54.
- [19] 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: 1-8.
- [20] 刘欣悦, 崔颖璐. PET 塑料废弃物及微塑料生物降解与转化的研究现状与展望[J]. 生物加工过程, 2022, 20(2): 226-234.
- [21] 杨越淳, 任毅, 张继娟, 等. 竹集成材用于榫卯家具的 CMF 评价及力学强度分析[J]. 林产工业, 2022, 59(9): 50-54.
- [22] 龙超, 王光玉, 鲁德, 等. 竹产品生命周期中碳足迹研究[J]. 世界林业研究, 2023, 4(19): 1-7.