

研究与设计

基于生命周期评价的定制家具碳足迹 与减排策略研究

孙晨颖, 杨超, 路金涛, 朱晓冬*
(东北林业大学家居与艺术设计学院, 黑龙江哈尔滨 150000)

摘要: 基于生命周期评价方法对定制家具生产过程中的碳足迹进行研究, 分析定制家具在生产过程中不同阶段碳排放数量。从原材料使用、生产工艺优化以及零部件三方面提出了不同的优化方案, 降低板式家具在生产过程中造成的环境污染, 达到定制家具“减量化”设计的目的。

关键词: 定制家具; 板式家具; 生命周期评价; 碳足迹; 减量化

中图分类号: F407.88 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-2953(2024)05-0047-05

DOI: 10.13279/j.cnki.fmwe.2024.0047

Customized Furniture Carbon Footprint and Emission Reduction Strategies Based on Life Cycle Assessment

SUN Chen-ying, YANG Chao, LU Jin-tao, ZHU Xiao-dong*
(College of Home and Art Design, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang 150000, China)

Abstract: Based on the life cycle assessment method, this study investigates the carbon footprint in the production process of customized furniture and analyzes the carbon emissions of customized furniture at different stages of the production process. Different optimization plans have been proposed mainly from three aspects: raw material use, production process optimization, and parts optimization, in order to reduce the environmental pollution caused by panel furniture in the production process and achieve the goal of customized furniture design reduction.

Key words: custom-made furniture; panel furniture; life cycle assessment; carbon footprint; reduction

随着全球气候变暖, 碳减排已经成为迫在眉睫的工作。根据 IPCC 报告, 林业行业为仅次于能源行业、工业之后的第三大温室气体排放源。作为全球主要森林资源所在, 我国林业行业在全球的制造和贸易中扮演着重要的角色。据估算, 到 2025 年, 我国人造板的年产能将稳定在约 3 亿 m^3 , 木制品行业总值将突破 8 000 亿元, 定制家居市场规模能突破 5 000 亿元。定制家具企业在设计满足用户需求的同时,

还要按时完成家具的生产、包装、运输等多项工作程序, 在此过程中会产生巨大的材料与能源消耗, 所产生的环境污染是不可忽视的。

1 定制家具减量化与生命周期评价研究现状

《林草产业发展规划(2021-2025 年)》指出, 要加速推动木材加工产业全面绿色转型, 鼓励企业实

收稿日期: 2024-01-07

基金项目: 大学生创新创业训练计划项目(202310225312); 黑龙江省研究生课程思政高质量建设项目(HLJYJSZLTSGC-KCSZAL-2022-131)

第一作者简介: 孙晨颖, 本科生, 研究方向为家具设计与工程, E-mail: 2420335171@qq.com。

* 通讯作者: 朱晓冬, 教授, 博士, 主要从事家具设计与材料研究, E-mail: pse4646@126.com。

施环保设施和技术升级改造^[1]。因此,利用新型科技创新促进木材的全面利用,进行家具减排设计策略研究是十分必要的。从2009年1月起实施的《中华人民共和国循环经济促进法》中,在“减量化”这一项上,对各个行业提出了要求:“发展循环经济应当在技术可行、经济合理和有利于节约资源、保护环境的前提下,按照减量化优先的原则实施”。“减量化”在定制家具循环经济中是这样定义的:在保证家具原有性能,风格、结构、造型以及正常使用功能的前提下,首先在生产过程中减少原料的输入,通过优化设计,不仅在家具制作材料、五金件以及尺寸上进行缩减,还可以运用新的零件生产方案或者家具组合方案,达到节能减排的作用。通过优化生产流程,在生产工艺方面进行创新,简化生产流程,减少电能等一系列不必要的物质输入,缩短周期减少消耗,提升生产效率。“减量化”可以减少资源的消耗,缩短产品制作周期,同时促进了家具设计的创新性与先进技术,最终达到“绿色生产”降低家具碳排放和提高家具竞争力多种目的。

家具减量化设计的方法主要包括:减少材料使用、优化结构设计、采用轻量化材料、模块化设计和可拆卸设计等。张海雁等^[2]提出:“家具生产过程中涉及多种资源消耗以及污染物的排放,作为家具产品生命周期的起点,设计阶段对家具产品众多阶段,例如制造、使用、运输、回收再利用和废弃处理等功能起到根本性作用。”减少材料使用可以通过精确计算和合理规划来实现,避免浪费和过度设计;优化结构设计可以通过仿生学原理和结构分析方法来实现,提高家具的强度和稳定性;采用轻量化材料可以减少家具的重量,如铝合金、塑料等;模块化设计和可拆卸设计可以方便家具的组装和拆卸,减少运输和储存空间从而达到节能减排的目的^[3]。总之“减量化”研究一方面要控制原料、能源物质的输入,另一方面就是控制废弃物的产出与排放。

生命周期评价(Life Cycle Assessment, 简称LCA)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。国际标准化组织(ISO)规定,对任意一件产品或任意一项服务进行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]。在家具行业,板式家具作为一种常见的家具类型,其生命周期碳排放成为了一个备受关注的问题,通过LCA生命周

期评价是对产品从“出生”、成长、成熟和衰退的整个生命周期的输入、输出和潜在环境影响的综合分析方法。在目前阶段,国内基于LCA的板式家具生命周期研究尚处于起步阶段。然而随着环保意识的提高和政府环保政策的推广,越来越多的学者和企业开始关注这一领域。

综上所述,研究家具产品发展生命周期碳足迹对于促进低碳发展和推动家具产业可持续具有重要意义。本研究采用研究生命周期评价方法,对定制板式家具的制作材料、生产流程以及生产工艺等碳排放环节进行分析,寻找家具生产“减量化”的切入点,推动家具行业向更加环保和可持续发展的方向。

2 研究对象确定

本文将矮脚桌作为研究对象。近年来,下午茶逐渐成为人们的日常活动,矮脚桌逐渐被年轻人喜爱起来。大部分矮脚桌为板式定制家具。主要构成为桌面与支架,支架又分为框式支架、金属成型支架与板式支架三类。本次研究是由人造板桌面与框式支架构成的矮脚桌。生产主要过程包括裁板、贴面、封边、钻孔、砂光、装配以及包装。基于板式家具的生产过程,对一般加工水平进行了数据收集,包括工序的相关能耗、原材料消耗、电气消耗、污染物排放以及可利用废物的统计,具体清单如表1所示。

3 定制家具“减量化”生产策略

木质家具的碳排放主要来源为电力的直接排放与上游排放。其中电力直接排放贡献占比较大,约占40%~75%,上游排放约占24%~59%。具体的过程主要涉及到喷涂过程、刨花板、五金件及砂光等。本文以矮脚桌为例,在家具的生产过程中,通过LCA生命周期碳足迹的分析,研究矮脚桌制造过程中碳排放特征。在家具生产过程中,上游过程碳排放量占比较大,研究表明木质家具在上游生产过程中有较大的碳减排潜力,每减少1%的原材料的碳减排能力为0.14%~0.26%之内,电力减排潜力大约为0.1%~0.2%,中密度纤维板,刨花板及五金件的碳减排能力均约在0.1%左右。本研究将原材料使用、生产工艺以及零部件尺寸三方面作为主要改进方向,如图1所示。

表1 矮脚桌生产现场数据清单

生产过程	直接资源消耗	直接能源消耗/kW·h	产生的污染物	可利用的废弃物
裁板	0.037 m ³ 刨花板,	0.6	废气中甲醛 0.067 7 kg; 乙酸乙烯酯 0.016 9 kg; 苯 0.039 4 kg; 甲苯 3.561 3 kg; 二甲苯 16.039 5 kg; 非甲烷总烃 28.680 8 kg	边角料 62.4 kg/m ³ ; 锯屑 3.52 kg/m ³ ; 砂光粉 8.52 kg/m ³
贴面	1.483 m ² 三聚氰胺贴面,	0.1	—	—
封边	0.11 kg 封边条, 胶粘剂 0.005 kg	0.1	—	—
钻孔	—	0.1	—	—
砂光	—	3.9	—	—
装配	1.152 usd 五金连接件	0.278	—	—
包装	0.078 kg 海绵纸, 1.8 kg 瓦楞纸, 聚苯乙烯泡沫 0.12 kg	0.023	—	—

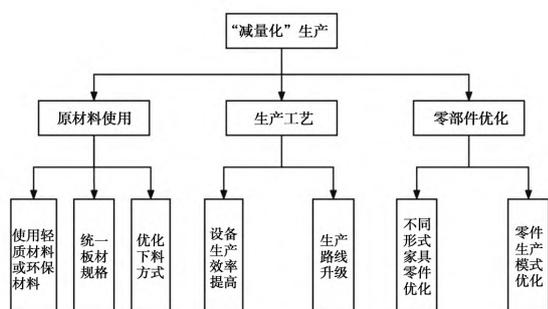


图1 减量化生产示意图

3.1 原材料的使用

原材料使用是板式家具设计过程以及制造生产过程中最重要的部分,更是家具设计生产过程中必不可少的环节,家具材料的选择与使用,直接或间接地决定了家具是否具备了“减量化”设计特征^[5]。材料可以分为再生材料,低能耗材料,循环材料产物,可循环利用材等。本次研究对象的原材料为刨花板,在生产、加工和运输方面都会造成较大的碳排放污染。所以对现有板材的特点进行分析,在不影响家具功能及造型结构的前提下,对原材料选用进行优化。

(1) 使用轻质板材或环保新型材料

速生材不仅生长周期短,还适合大面积人工种植,可以在一定程度上延缓木质资源缺失对家具行业造成的影响^[6]。速生材同样具有“质轻”优点。轻质板材一直被现代设计师所青睐,它具有较轻的质量和较高的强度。虽然轻质刨花板不能作为家具的主要承重部件,但是其可以代替传统家具材料作为家具的非受力部件,如橱柜面板、推拉门板、餐桌面等,常见的轻质刨花板密度约为 500 kg/m³,而市面上常见

的刨花板其密度大多在 620~720 kg/m³ 范围内,目前轻质板材已经在板式家具中已有一定程度的应用。在节约木质资源的同时,可以使家具更加轻便,降低制造损耗和运输成本,实现材料质量“减量化”。

将原材料转换为新型材料可以从源头上减少碳排放。可回收材料与生物基材料是目前最受设计师欢迎的两种材料。可降解纸质材料近年来也备受瞩目,相较于其他工业材料,纸质材料在家具制造上需要考虑原本纸质材料的加工特性与纸质家具的结构。蜂窝结构中大量的空隙使得整体结构非常轻盈,六边形单元排列紧凑,可以有效地节省材料,相互连接,使得整体结构稳定性更好,能够承受较大的压力和弯曲力,所以这种结构可以作为材料的内部结构,同时也可以作为家具连接的结构部位。这种类型的环保性纸质材料不仅仅可以形成特殊的高强度结构,还有极强的收纳性,满足家具制作的结构与环保要求,是良好的“减量化”生产方法^[7]。

(2) 优化下料方法

随着定制化需求逐步增加,“大规模定制生产”为当下定制家具企业主要的生产方式。开料、排料是板式家具生产的初步工序,出材率的高低决定了材料的利用率与生产成本的好坏^[8]。为了满足客户的定制化需求,在板材设计过程中需要将不同的板材进行结合,这会造成家具板材原料的浪费,所以合理的开料方法不仅可以节约材料,还可以促进产生新的材板方法。

3.2 生产工艺

3.2.1 生产效率优化

在家具制造过程中,工艺生产“减量化”设计在

定制家具中是十分必要的,其本质就是在家具生产过程中,通过提升家具本身的设计方式进而优化家具生产刻板方式,减少工时,提高生产效率。通过采用先进的生产技术、设备制造工艺来缩短家具生产的周期。在生产管理上精细化,消除生产过程中的浪费现象。例如,采用准时制生产方式,降低库存成本;优化生产线布局,提高生产效率。通过优化家具的设计和改进行生产工艺,可以提高资源的利用率,降低废弃物的产生,从而为创造一个可持续发展的家居环境做出贡献。同时,这也有助于提高企业的竞争力,适应市场的需求变化。

3.2.2 生产路线升级

除了在设计阶段进行优化外,生产工艺的改进也是实现家具减量化的重要手段。通过引入先进的工业机器人和自动化设备,可以实现家具生产的自动化和智能化。这不仅可以提高生产效率,还可以减少人工操作带来的误差。采用数字化制造技术,或者利用计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造技术(CAM)将家具的设计及制造过程用数字的方式体现出来,便可精确地预测和优化家具结构、尺寸、造型。板材的裁切是一项十分耗能、耗时且易造成浪费的生产环节,而采用高效的切割技术对板材进行精准、快速的切割,这样不仅能提高效率减少能耗,避免不必要的资源浪费,还能使切割边缘更加光滑。在家具制作中,激光切割技术可以用于切割金属、塑料等非金属材料,提高生产效率,同时减少传统切割方法产生的烟雾和噪音。

3.2.3 包装减量化

绿色包装技术是指使用可降解或可再生的材料制成包装。在家具制造过程中使用绿色包装技术可以减少对环境的污染。同时也可以采用生物降解塑料等材料制成的包装袋代替传统的塑料袋等一次性包装材料。在家具生产过程中产生的家具边角料也可以作为包装材料利用到包装过程中,作为支撑件,或者分隔件对其进行二次利用。同时家具的包装一般要求就是承重能力高,但是更高的承重能力就会使得家具的包装用量上升,所以可以通过优化材料本身的结构来实现“减量化”设计。

3.3 零部件优化

3.3.1 不同家具形式零件优化

(1) 可拆卸家具零件优化

板式家具具有丰富的造型结构,其设计重点在于“32 mm 系统”的设计,接口大多数是通过圆棒榫定位,五金件结合的方式。这样的连接方式可以实现板式家具的可拆卸化,但是拆卸这样的动作存在于家具中便会逐步损耗着家具的寿命,虽然五金件在家具设计、制作过程中是必不可少的,但是可以将“减量化”设计与绿色设计相结合,减少可拆卸功能带给家具的伤害。中国设计师沈文蛟在学习钻研鲁班锁结构后,设计出一款由三长三短的六根木棒组成的无需任何固定连接,无需任何工具安装的衣帽架,不仅方便组装还易于装配。这是将家具分解成多个模块,每个模块具有独立的功能和结构,可以单独拆卸和组装,这样可以减少家具的零件数量,同时方便运输和存储,并且易于维修和更新。

(2) 不可拆卸家具零件优化

随着设计的定制化,设计师开始追求独特的家具结构,在设计过程中不可避免地会产生特殊结构,而特殊结构的连接则需要更多的五金件与原材料消耗。在板材的胶接、封边、贴皮等工艺过程中也会使用到含有大量化学物质的胶粘剂,对环境和人身健康造成极大的危害。可以通过改变胶粘剂各组分的配比或采用可再生、可降解的原料制成无毒的胶粘剂来降低各种有毒物质的挥发,从而减少对环境和人体健康的危害。

板材连接过程中,五金件连接同样受到各大企业的青睐,其具有安装便捷,强度高等特点。使用五金件要注重环保和可持续发展的新型连接技术。其中一种方法是在家具生产过程中预先在板材上打好预留孔,以减少现场安装的工作量,这样可以大大减少工期,提高生产安装效率。而另一种应用较为广泛的方法是采用轻量化材料和通过优化结构来实现五金件连接的节能减排技术。通过尺寸优化、新型结构设计,并采用拥有更高强度更低密度的材料来代替传统金属,在保证五金件各项性能的前提下,减少材料的消耗量和制造的能耗来达成节能减排的目的。

3.3.2 生产模式零件优化

零件是构成家具的最小单元,随着现代室内家具设计的定制化发展,人们对于独一无二的设计有了更多的追求,但是这也使得家具零件生产出现问题,定制家具的零件得不到广泛应用,效率低下,生产成本低,制作工艺复杂。零部件的通用、普遍与标

准可以达到简单生产,从而达到提高生产效率的目的。零部件规范化是将一个部件当做产品最好的表达,这样将每一个零部件都作为单元零部件生产设计的独立单元,这样有利于后期实施家具产品的模块化和零部件的通用化。

同时在某些定制家具市场上,也出现了零部件过渡用材的现象,甚至有些只是为了达到设计的目的,而造成了木材的大量消耗。根据减量化分析,可以对某些零部件的尺寸、体积、形态进行优化,将榫卯结构结合到现代设计中,通过有限的木材设计,在保证其功能和形态的前提下,完成减量化设计。例如:攒边打槽装板,该方法出现在西周时期,现在仍被广泛使用,该方法可以将薄板作为厚板使用,并且有着防止翘边高强度的优点。其次也可以通过改变人造板材之间的连接方式,减少对厚重板材的使用。在保证板材强度、功能性与安全性的前提下,减少板材制作过程的耗材量。

4 结束语

家具“减量化”设计是一种追求简洁、高效、环保和节约资源的设计理念,在保证家具功能,结构强度与造型设计的前提下,设计出更加具有生态经济价值的家具。家具减量化设计是一种综合性能高和符合可持续性策略的设计方式,它不仅有利于个人和家庭的日常使用,也有助于促进环境保护和资源的长期可持续管理。家具减量化设计的实际应用可以在家具制造、家具设计和家具使用等方面发挥重要作用。在家具制造过程中,减量化设计可以降低原

材料和能源消耗,提高生产效率和产品质量;在家具设计过程中,减量化设计可以提高产品的竞争力和市场价值;在家具使用过程中,减量化设计可以减少空间占用和环境负荷,提高用户的舒适度和生活质量。同时“减量化”对家具回收也产生了不可忽视的影响,由于使用了更少的而且是更为统一的材料,减量化设计的家具在生命周期结束后更容易被回收和再利用。“减量化”设计不仅仅是为设计师们提供新的设计思路,也不仅仅为了企业创造更加的收益与价值,更是为了回应国家“双碳”目标,打造理想的中国原创设计生态。

参考文献:

- [1] 国家林业和草原局.《林草产业发展规划(2021—2025年)》[EB/OL].(2022-02-10)[2024-01-07].<https://www.forestry.gov.cn/govpublic-index.htm>.
- [2] 张海雁,刘文金,陈新义.木-竹家具设计中木竹构件的配置策略[J].林产工业,2022,59(7):53-58.
- [3] 戴向东,刘侃,朱志红,等.基于定制模式的板式家具减量化设计研究[J].林产工业,2020,57(11):32-36.
- [4] 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.
- [5] 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+86.
- [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] 王硕,陈璐,吴智慧.绿色设计在家具结构创新设计中的应用研究[J].工业设计,2019,(11):101-102.
- [8] 刘侃.板式家具减量化设计研究[D].长沙:中南林业科技大学,2021.