

饰面人造板材的生命周期碳足迹评价

崔丽娜¹ 安 然² 丁观芬³ 强丹丹³ 段昌强³ 朱剑刚^{1*}

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏 南京 210037 2. 北京绿林认证有限公司, 北京 100005;
3. 德华兔宝宝装饰新材股份有限公司, 浙江 德清 313200)

摘 要: 为量化评估饰面人造板材生产过程中所产生的环境影响, 探索产品的低碳优化方向, 本文运用生命周期评价法, 聚焦产品碳足迹这一环境属性, 对饰面人造板材产品生命周期过程的碳足迹进行了量化分析。以某公司产品的碳足迹评价过程为例, 以0.5 mm重组装饰单板为评价对象, 进行实地数据收集与计算。结果表明: 该重组装饰单板1 m²的产品碳足迹总值为2.79 kg CO₂eq, 其高碳排放单元过程为生产制造阶段, 碳足迹为1.13 kg CO₂eq。热蒸汽能源的使用对碳排放贡献的影响最大, 主要发生于染色漂白和单板干燥工序。因此, 针对染色漂白和单板干燥工序进行低碳优化, 对于降低产品碳足迹具有重要的意义。

关键词: 饰面人造板材; 重组装饰单板; 生命周期评价; 碳足迹; 低碳优化

中图分类号: TS653; TS396 文献标识码: A 文章编号: 1001-5299(2024)04-0059-05

DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.202404010

Life Cycle Carbon Footprint Assessment of Veneer Panels

CUI Li-na¹ AN Ran² DING Guan-fen³ QIANG Dan-dan³ DUAN Chang-qiang³ ZHU Jian-gang¹

(1. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing 210037, Jiangsu, P.R. China; 2. Beijing Green Forest Certification Company, Beijing 100005, P.R. China;
3. Dehua TB New Decoration Material Co., Ltd., Deqing 313200, Zhejiang, P.R. China)

Abstract: In order to quantitatively evaluate the environmental impact produced in the production process of artificial veneer panels and explore the direction of low-carbon optimization of products, in this study, the life cycle assessment method was used to focus on the environmental attribute of product carbon footprint, and the carbon footprint of the decorative veneer panel product during lifecycle process was quantitatively analyzed. Taking the carbon footprint evaluation process of a company as an example, the 0.5 mm reconstituted decorative veneer was used as the evaluation object, and the field data collection and calculation was carried out. The results showed that the total carbon footprint of 1 m² of the reconstituted decorative veneer was 2.79 kg CO₂eq. The high carbon emission unit process of the product was identified as the carbon footprint of 1.13 kg CO₂eq in the manufacturing stage, and the use of hot steam energy accounted for the largest contribution to carbon emissions. The hot steam energy consumption mainly occurred in the dyeing bleaching and veneer drying processes during the production and preparation process. Therefore, low carbon optimization for dyeing bleaching and veneer drying processes was of great significance to reduce the carbon footprint of products.

Key words: Veneer panel; Reconstituted veneer; Life cycle assessment; Carbon footprint; Low-carbon optimization

为积极应对气候变化给全球带来的环境影响, 我国提出“碳达峰, 碳中和”的发展目标, 并颁布了绿色转型升级的各项政策, 制造业也正积极寻找减少碳排放

的途径和方法^[1]。近年来, 我国人造板产业快速发展, 已成为世界人造板生产和消费第一大国, 其生产过程中对于木材资源的大量使用及能源利用, 成为碳排放的重要领域^[2-3]。运用科学分析的方法量化评估人造板产品碳足迹对于产品绿色设计、企业工艺改进、清洁生产及行业可持续发展具有重要意义^[4]。生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)作为公认的定量评估产品全生

基金项目: 江苏省中外合作办学平台联合科研项目(苏教办外[2019]7号)

作者简介: 崔丽娜, 女, 研究方向为家具设计与工程

E-mail: 815925354@qq.com

***通讯作者:** 朱剑刚, 男, 教授, 研究方向为家具设计与工程

E-mail: austin_zhu@njfu.edu.cn

收稿日期: 2023-07-25

命周期环境影响的权威方法,通过对产品从原材料获取到最终废弃回收过程的物料能源消耗量计算,识别出对环境有较大影响的单元过程,从而为后续产品的改进优化提供科学决策依据,在多个领域广泛应用^[5-7]。目前,我国对于人造板生命周期的评价研究主要集中于胶合板^[8-9]、纤维板^[10-12]、刨花板^[13-14]等少数基材。随着人造板工业的快速发展,人造板产品的种类日趋丰富,应将生命周期评价理念积极引入这类新产品当中,如秸秆人造板、饰面人造板、功能型人造板等^[15]。随着定制家具行业的高速发展,饰面人造板类产品不断推陈出新。其中,重组装饰单板作为一种新型木质复合装饰材料,采用仿真技术使速生木材呈现出珍贵木种的表皮纹理,被广泛运用于人造板的饰面装饰,实现了木材资源的高效利用^[16-17]。通过对其进行基于碳足迹的生命周期评价,可指导实现该产品低碳技术和工艺优化,丰富我国人造板的LCA研究数据库,并进一步推动LCA在家具、室内装修、建材等制品中的深度应用。

本文旨在对目前研究较少涉及的饰面板材产品进行生命周期碳足迹评价,以重组装饰单板为例,通过对板材生产企业的现场调研与数据收集,采用基于过程生命周期分析的产品碳足迹计算,识别现有产品不同生命周期阶段的关键碳排放问题,并提出减排建议,为企业后续新材料、新工艺、新技术的研发指明方向。此外,本研究还可以拓展我国人造板行业的碳足迹研究领域,促进本土数据库的建立。

1 碳足迹评价方法概述

生命周期评价(LCA)作为目前最为科学和全面的环境影响评价方法,能够系统定量地评价产品从原材料获取到最终废弃处理整个生命周期过程中对环境产生全球增温潜势(碳足迹)、资源消耗、土地利用等多种影响^[18-19]。其中,碳足迹是用于描述某项活动或产品生命周期内的温室气体排放总量的定量指标^[20]。基于过程分析的产品碳足迹(Carbon Footprint,CF)计算,是对生命周期评价的直接应用,量化产品从原材料获取到最终处理整个生命周期排放的温室气体,并以二氧化碳当量(CO₂ equivalent,CO₂eq)表示^[21]。根据标准ISO14040对于生命周期评价的框架说明,主要包括目标与范围的定义、清单分析、影响评价和结果解释四部分^[22-23]。在此基础上,标准PAS2050提出了对于产品碳足迹量化工作的指导要求,包括进行研究目标、产品功

能单元来确定研究产品及计算单位,系统边界确定研究范围,过程输入输出数据收集,碳足迹计算,计算结果解释及说明^[24]。

2 碳足迹评价在本研究涉及企业生产中的应用

本研究碳足迹评价过程依据国际碳足迹评价标准展开,在企业实际生产应用中针对企业有待量化评价碳足迹的目标产品、界定参与评价的生命周期阶段,收集这一范围中的物料能源消耗,展开碳足迹计算。最终依据计算结果提出低碳优化建议。具体评价过程如下:

2.1 目标和范围的界定

本研究旨在对重组装饰单板产品的生命周期过程进行碳足迹评估,探究在其生命周期中温室气体排放的关键因素,为企业后续进行产品优化改进提供参考。此外,本研究还有助于进一步拓展生命周期碳足迹评估方法在人造板行业中的应用,提升生命周期评价理论在人造板及其制品行业的受重视程度。

本研究以企业生产的科技木(重组装饰单板产品)为研究对象,其生产工艺稳定并具有代表性,该装饰单板的厚度为0.5 mm,并以1 m²重组装饰单板作为功能单位。产品具体信息如表1所示。

表1 产品详细信息表
Tab.1 Product details

产品信息	详细参数
产品名称	0.5 mm重组装饰单板
产品类型	人造板
产品产量	3 010 089.6 m ²
成品幅面	2 500 mm × 640 mm
密度范围	610 kg/m ³
厚度	0.5 mm

依据PAS2050关于系统边界的划分原则,重组装饰单板产品属于B to B类型中间原料产品。因此,研究的系统边界可确定为从“摇篮”到“大门”,包括原材料获取(原材料制备+原材料运输)板材生产制造阶段,不包含重组装饰单板的使用阶段和废弃回收处理阶段。阶段中的直接排放源为化石能源(柴油),主要发生在原材料运输过程中,由交通工具排放。间接排放源来源于现场生产所消耗的原辅材料、电能、热蒸汽的能源消耗。规定的系统边界如图1所示。

2.2 清单分析

对该产品的生产情况进行现场调研,发现其生产工艺流程、所用设备、物料能源消耗等如图2所示。

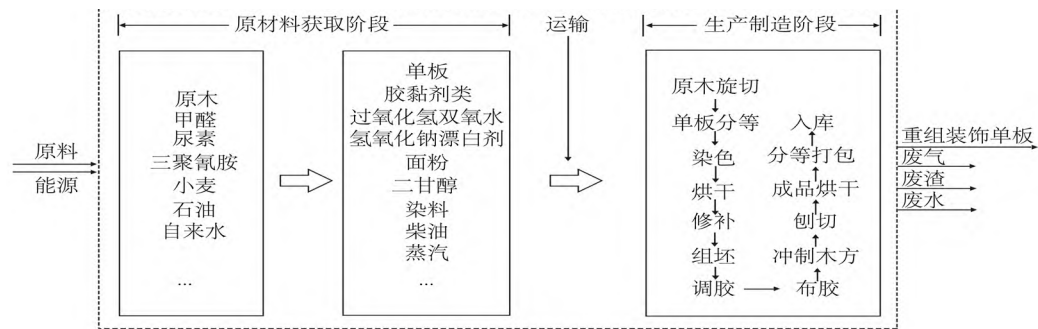


图1 0.5 mm重组装饰单板系统边界图

Fig.1 Boundary diagram of 0.5 mm recombined decorative veneer system

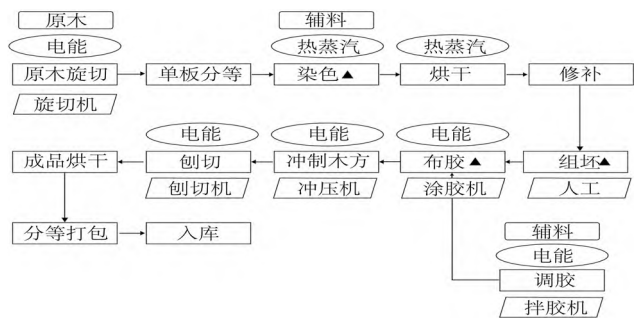


图2 重组装饰单板生产流程工艺图

Fig.2 Process diagram of production process of recombined decorative veneer

原材料获取阶段的原料消耗量主要从企业的单板、胶黏剂、双氧水等原辅料的领料单据中获取;原材料运输过程主要收集各原辅料供应商到工厂之间的运输距离;生产过程中的能源消耗可通过企业水电气用量台账获取。生产1 m²重组装饰单板所需的物料能源自然资源消耗初始数据如表2所示,原辅材料运输信息如表3所示。

表2 物料能耗输入清单

Tab.2 Material energy consumption input list

阶段	名称	数量	单位	数据来源
原材料获取	单板	0.255 9	kg	单板领料台账
	过氧化氢(双氧水)	0.086 0	kg	双氧水脲醛树脂胶黏剂(HB-101胶)
	脲醛树脂胶黏剂(HB-101胶)	0.066 3	kg	脲醛树脂胶黏剂领料台账
	脲醛树脂胶黏剂(HB-2159胶)	0.046 3	kg	脲醛树脂胶黏剂领料台账
	白乳胶(BH-128胶)	0.017 0	kg	白乳胶领料台账
	氢氧化钠(漂白剂)	0.014 8	kg	氢氧化钠领料台账
	二甘醇	0.013 7	kg	二甘醇领料台账
	面粉	0.010 0	kg	面粉领料台账
	脲醛树脂胶黏剂(HB-100胶)	0.007 2	kg	脲醛树脂胶黏剂领料台账
	冰乙酸	0.005 2	kg	冰乙酸领料台账
	粉状脲醛树脂胶	0.003 5	kg	粉状脲醛树脂胶领料台账
	无醛胶	0.003 2	kg	无醛胶领料台账

(续表2)

阶段	名称	数量	单位	数据来源
生产制造	脱钛型钛白粉	0.001 8	kg	
	柠檬酸	0.001 8	kg	
	染料	0.001 6	kg	
	纺织精炼剂	0.001 1	kg	
	磷酸	0.001 1	kg	
	柴油(工厂内叉车使用)	0.000 7	kg	柴油领料台账
	电能	0.178 6	kW·h	水电气用量台账
	蒸汽	0.002 6	t	水电气用量台账
	自来水	0.006 0	t	水电气用量台账

表3 物料运输信息清单

Tab.3 Material transport information list

阶段	运输物料	物料供应商到本研究涉及企业的运输距离/km	运输类型
原材料运输	单板	250	货车(30 t)-柴油
	过氧化氢(双氧水)	45	货车(5 t)-柴油
	脲醛树脂胶黏剂	15	货车(10 t)-柴油
	白乳胶	15	货车(10 t)-柴油
	氢氧化钠(漂白剂)	45	货车(5 t)-柴油
	二甘醇	45	货车(5 t)-柴油
	面粉	10	货车(3 t)-柴油
	冰乙酸	45	货车(5 t)-柴油
	粉状脲醛树脂胶	1 500	货车(5 t)-柴油
	无醛胶	300	货车(5 t)-柴油
	脱钛型钛白粉	200	货车(5 t)-柴油
	柠檬酸	45	货车(5 t)-柴油
	染料	250	货车(5 t)-柴油
	纺织精炼剂	45	货车(5 t)-柴油
	磷酸	45	货车(5 t)-柴油
	柴油	5	货车(3 t)-柴油

关于原辅材料及能源消耗和直接排放的背景数据追溯,首先规定了截断规则:质量占比小于1%总原

料消耗质量的原料可舍去。其余原料能源的背景数据来源于现有的国家数据库及公开研究文献。其中,生产所需的原木单板及面粉的上游数据来源于《中国人造板行业的生命周期碳足迹和能源耗用评估》,研究表明,生产1 kg原木产生的温室气体放量为 0.15 kg CO₂eq,生产1 kg面粉排放的温室气体为1 kg CO₂eq。脲醛树脂胶黏剂、过氧化氢(双氧水)、氢氧化钠(漂白剂)和白乳胶这些辅助材料采用的是碳足迹计算软件所包含的国际背景数据库及发表的数据库,如Ecoinvent 3.8、CLCD-China-ECER 0.8、ELCD 3.0 和 Ix132116801@163.com 1.0。电能、蒸汽、柴油、自来水等能源背景数据来源于CLCD-China-ECER 0.8 数据库。具体背景数据来源如表4 所示。

表4 物料能耗背景数据
Tab.4 Background data of material energy consumption

名称	数据来源
单板	《中国人造板行业的生命周期碳足迹和能源耗用评估》
过氧化氢(双氧水)	CLCD-China-ECER 0.8-双氧水(50%浓缩法)
脲醛树脂胶黏剂	Ecoinvent 3.8
白乳胶	Ix132116801@163.com.1.0
氢氧化钠(漂白剂)	ELCD 3.0
二甘醇	数据缺失
面粉	《中国人造板行业的生命周期碳足迹和能源耗用评估》
冰乙酸	可忽略:重量比<1%的物料
粉状脲醛树脂胶	可忽略:重量比<1%的物料
无醛胶	可忽略:重量比<1%的物料
脱钛型钛白粉	可忽略:重量比<1%的物料
柠檬酸	可忽略:重量比<1%的物料
染料	可忽略:重量比<1%的物料
纺织精炼剂	可忽略:重量比<1%的物料
磷酸	可忽略:重量比<1%的物料
柴油	CLCD-China-ECER 0.8
电能	CLCD-China-ECER 0.8
蒸汽	CLCD-China-ECER 0.8
自来水	CLCD-China-ECER 0.8

2.3 影响评价

企业采用某公司开发的efootprint系统进行原料、能源消耗数据的输入,并参考背景数据的上游连接建立“摇篮到大门”的生命周期模型,从而进行温室气体排放量的计算。各生命周期阶段温室气体的总排放GWP 特征化结果如表5所示,每一阶段物料能源的GWP 特征化计算结果如表6所示。

表5 0.5 mm功能单位重组装饰单板生命周期碳排放量
Tab.5 Life cycle carbon emissions of 0.5 mm functional unit recombined decorative veneer

序号	阶段	GWP (kg CO ₂ eq)
1	生产制造	1.13
2	重组装饰单板输出	1.00
3	原材料获取	0.66
产品碳足迹		2.79

表6 0.5 mm功能单位重组装饰单板消耗物料能源碳排放量
Tab.6 Energy and carbon emissions of materials consumed by 0.5 mm functional unit recombination decorative veneer

序号	阶段	名称	GWP (kg CO ₂ eq)
1	产品输出	0.5 mm重组装饰单板	1.000e+0
2	生产制造	热蒸汽	9.600e-1
3	原材料获取	脲醛树脂胶黏剂(HB-101胶)	2.230e-1
4	生产制造	电	1.700e-1
5	原材料获取	脲醛树脂胶黏剂(HB-2159胶)	1.560e-1
6	原材料获取	过氧化氢(双氧水)	1.550e-1
7	原材料获取	木单板	3.840e-2
8	原材料获取	脲醛树脂胶黏剂(HB-100胶)	2.430e-2
9	原材料获取	白乳胶(BH-128)	2.410e-2
10	原材料获取	氢氧化钠(漂白剂)	
		面粉	4.26e-2
		自来水	
		柴油	
		冰乙酸	
11	原材料获取	原粉(粉状脲醛树脂胶)	
		无醛胶	
		脱钛型钛白粉	重量比<1%忽略计算
		柠檬酸	
		染料	
12	原材料获取	纺织精炼剂	
		磷酸	
		二甘醇	数据缺失

2.4 评价结果及建议

通过对功能单位重组装饰单板的GWP环境影响结果分析可知,该产品从“摇篮到大门”系统边界的产品碳足迹值为2.79 kg CO₂eq。生命周期过程中高碳排放阶段为生产制造阶段,其碳足迹值为1.13 kg CO₂eq。这一阶段贡献最大的是热蒸汽消耗所造成的温室气体排放,该消耗主要发生在染色漂白和单板干燥工序。原材料获取阶段贡献了0.66 kg CO₂eq,这一阶段胶黏剂和白乳胶的制备所产生的温室气体排放占比较大,而原木单板作为消耗最高的原材料,其温室气体释放量却相

对较少,这主要是因为木质材料自身具有生物质固碳功能^[25-29]。另一个重要占比为产品本身所具有的碳足迹值对环境的影响。

综上可知,对重组饰面人造板的低碳优化方向可重点聚焦在单板染色和烘干工序。另外,由于生产辅料中胶黏剂和白乳胶的制备过程其碳排放较为明显,因此也需要对胶黏剂类添加剂进行低碳工艺的研究。除此之外,物料能耗使用量及种类在产品生产制造过程中的碳排放也具有重要影响。因此,提升材料能源利用率,或使用绿色材料能源对于降低碳排放也具有积极作用。

3 结论

本文以重组饰面人造板为研究对象,运用生命周期评价法对其碳足迹进行了评估,涵盖了“从摇篮到大门”的生命周期过程,并分析了这一边界内原材料制备、运输、加工生产和能源消耗的碳排放贡献。结果表明,生产制造阶段碳排放对产品碳足迹总值的贡献比例最高,主要来源于单板染色和干燥过程所使用的热蒸汽。同时,胶黏剂的制备也产生了较多的碳足迹值,因而其低碳制备工艺值得深入研究。

然而,本研究并未考虑系统边界内废水、废气、废渣排放所产生的温室气体值。同时,因我国本土LCA数据库不够完整,部分背景数据来源于欧美国家数据库,这些因素都会对评价结果的准确性产生一定影响。因此,在后续研究中,应尽可能的采用实际测量的原始数据。鉴于此,相关部门和行业协会应推动各行业建立自身的行业数据库,从而完善产品的碳足迹生命周期计算。

参考文献

- [1] 王珊珊,张寒,杨红强.中国人造板行业的生命周期碳足迹和能源耗用评估[J].资源科学,2019,41(03):521-531.
- [2] 张震宇,王雨,李露霏.浅析“双碳”背景下我国木材加工产业发展趋势[J].森林防火,2022,40(02):90-92.
- [3] 钱小瑜.调整结构,积极创新,推动我国人造板产业升级[J].林产工业,2015,42(03):3-10.
- [4] 朱安明,洪奕丰,张旭峰,等.全生命周期木/竹产品碳足迹研究进展[J].林产工业,2023,60(02):83-87.
- [5] 徐伟涛.基于LCA法的木结构建筑使用阶段碳排放探讨[J].林产工业,2021,58(02):36-38.
- [6] 蒋柯夫,杨瑛.碳中和目标下轻型木结构建筑碳排放计算及降碳策略研究[J].林产工业,2022,59(10):51-55+68.
- [7] 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(04):232-236.
- [8] JIA L, CHU J, MA L, et al. A life cycle assessment of plywood manufacturing process in China[J]. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019(16):2037.
- [9] 王军会,杨秦丹.胶合板产品生命周期(LCA)评价分析[J].陕西林业科技,2019,47(05):72-75.
- [10] 葛冰.纤维板制造过程能耗评价及模型建立研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2015.
- [11] 刘文金.中密度纤维板生态循环周期评价理论的研究[J].中南林学院学报,2006(04):117-120.
- [12] ZHANG X, ZHANG W, XU D. Life cycle assessment of complex forestry enterprise: a case study of a forest-fiberboard integrated enterprise[J]. Sustainability, 2020(12):4147.
- [13] 张方文.定向刨花板生命周期评价(LCA)及环境影响评价研究[D].北京:中国林业科学研究院,2017.
- [14] 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(06):166-168.
- [15] 劳万里,段新芳,李晓玲,等.人造板工业生命周期评价研究进展[J].西北林学院学报,2023,38(01):205-211.
- [16] 李杰,程霞,王兴军,等.浸渍胶膜纸饰面对刨花板理化性能指标影响研究[J].森林防火,2023,41(04):149-153.
- [17] 张晓伟,刘元强,叶交友,等.重组装饰单板PE膜贴面难燃胶合板生产工艺研究[J].林业机械与木工设备,2021,49(08):53-56.
- [18] 林立平,黄圣游.木基材料产品碳足迹的核算与分析[J].中南林业科技大学学报,2016,36(12):135-139.
- [19] 刘哲瑞.典型木结构建筑全生命周期碳排放比较及降碳策略研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2022.
- [20] 郑辉,王玓,方丽霞.生命周期评价视角下的机电产品碳足迹分析模型研究[J].天津科技大学学报,2017,32(06):65-72.
- [21] 王珊珊,杨红强.基于国际碳足迹标准的中国人造板产业碳减排路径研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(04):27-37.
- [22] 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.
- [23] ISO 14040-2006 Environmental management-Life cycle assessment Principles and framework[S]. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [24] British Standard Institution (BSI). Publicly available specification 2050: specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services[S]. London: BSI, 2008.
- [25] 刘一.基于生态设计理念的木质家具碳减排策略研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [26] 詹秀丽,戴向东,吴义强,等.“双碳”战略背景下的家具减量化设计技术研究[J].家具与室内装饰,2022,29(09):01-05.
- [27] 侯茂章,张典,侯晨.“双碳”战略对我国家具产业发展影响研究[J].家具与室内装饰,2022,29(08):18-21.
- [28] 陈璐,张雪青.上海红色建筑保护与再利用量化评价模型研究[J].家具与室内装饰,2022,29(07):114-119.
- [29] 王一帆,周峻岭,王伯勋,等.澳门高密度社区公共绿地环境评价研究[J].家具与室内装饰,2022,29(09):121-125.

(责任编辑 余珊)