

讨论与争鸣

基于生命周期评价方法的木质家具碳足迹核算

白伟荣¹, 王震¹, 江映其²

(1. 北京林业大学环境科学与工程学院, 北京 100083;

2. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘要: 随着国际社会碳减排压力的不断加剧, 林产品生产过程的碳排放不容忽视。基于生命周期评价方法, 以茶水柜为例, 进行碳足迹核算。结果表明: 生产一件茶水柜的碳足迹为 160 kgCO₂eq, 主要是电力直接排放和上游排放; 碳排放的 80% 以上源于喷涂、油漆、中纤板及五金件。

关键词: 生命周期评价; 木质家具; 茶水柜; 碳足迹; 温室气体

中图分类号: TS664.1 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2013)06-0029-04

Carbon Footprint Accounting of Wood Furniture Based on Life Cycle Assessment Method

BAI Wei-rong¹, WANG Zhen¹, JIANG Ying-qi²

(1. College of Environmental Science and Engineer, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Mechanical and Electronic Engineering, North West A&F University, Yangling 712100, Shannxi, China)

Abstract: With the growing pressure of carbon emission reduction, the carbon emission from the production process of forest products can not be ignored. Based on the life cycle assessment (LCA) method, the carbon footprint accounting for a tea cabinet was introduced. The results showed that the carbon footprint of the tea cabinet (weight 75 kg) is 160 kgCO₂eq, the main emissions are from the electricity direct emission and other indirect emission; more than 80% of greenhouse gas (GHG) emissions of the tea cabinet processing are from the consumption of painting, lacquer, medium density fiberboard (MDF) and hardware.

Key words: life cycle assessment; wood furniture; tea cabinet; carbon footprint; greenhouse gas

随着全球气候变暖, 碳减排日益引起各国政府和公众的普遍关注。近年, 林产品生产中的碳排放, 受到日本、美国、欧洲等的普遍重视。我国是世界林产品生产、加工、消费和进出口大国, 2012 年我国林业产业总产值已达到 3.95 万亿元, 木材产量达 8 174

万 m³, 人造板产量 2.23 亿 m³[1]。

林业产业发展迅速, 但积淀的问题亦十分突出。《林业产业振兴规划(2010~2012 年)》[2] 指出, 我国林业产业的整体素质不高, 经济增长方式粗放, 落后产能庞大, 环境污染问题依然存在。我国林产工业的单位产值能耗和物耗, 远远高于发达国家[3]。因此, 林业产业要实现低碳减排, 开展林产品的碳足迹核算十分必要。

生命周期评价方法 (Life cycle assessment, LAC)[4-5] 应用领域广泛, 涉及到多种工业与服务

收稿日期: 2013-04-18; 修改日期: 2013-09-26

基金项目: 国家林业局引进国际先进林业科学技术项目(2011-4-79); 教育部人文社会科学研究规划基金项目资助(10YJA630159); 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室专项经费资助项目(12K09ESPCT); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05140200)。

作者简介: 白伟荣(1986—), 女, 北京林业大学硕士研究生。

通讯作者: 王震, 男, 北京林业大学副教授。

对环境的影响不容忽视,但国内鲜见应用 LCA 方法对木质家具产品进行分析的案例,亦尚无专门的评价模型,来进行木质家具等产品的系统分析、数据收集和统计等工作。

鉴于此,笔者以茶水柜为研究对象,通过对产品生产过程中碳足迹的核算,探究其生产过程的碳排放,并通过贡献分析,寻找主要碳排放源,以期为企业的低碳减排提供数据支撑。

1 研究对象与系统边界的确定

1.1 研究对象

茶水柜,国内某家具企业生产,质量 75 kg,规格 1 200 mm×800 mm×450 mm,结构组成如图 1 所示。主要用材:锯材、中纤板和刨花板,由门、顶板、底板、山板、后身板、隔板、牙板及抽屉等部件组成。

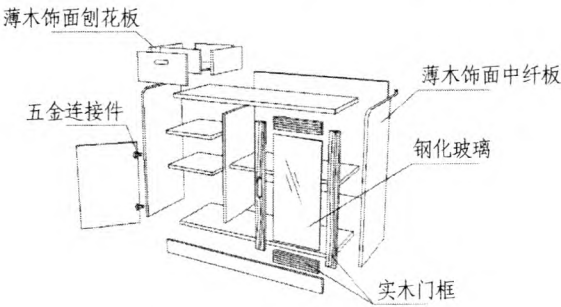


图 1 茶水柜的结构组成
Fig. 1 Structure of tea cabinet

1.2 系统边界

系统边界即产品系统所包含的单元过程。确定了系统边界,才能对每一单元过程进行具体研究,同时便于进行对比。系统边界的类型主要有两种:

1)“摇篮到坟墓”,包括资源开采、产品生产、包装与运输、产品使用和废弃全部生命周期的 5 个阶段;2)“摇篮到大门”,包括资源开采和产品生产 2 个生命周期阶段。本研究确定系统边界的类型为“摇篮到大门”。茶水柜系统所包含的单元过程,如图 2 所示。

在图 2 中的系统边界内,现场生产过程包括:精截、刨光等实木加工过程,裁板、贴面等人造板加工过程,实木和人造板的砂光、喷涂过程,以及产品的组装及包装过程;在现场生产过程的基础上,包括:电力、原材料的输入,及空气排放物和产品的输出。

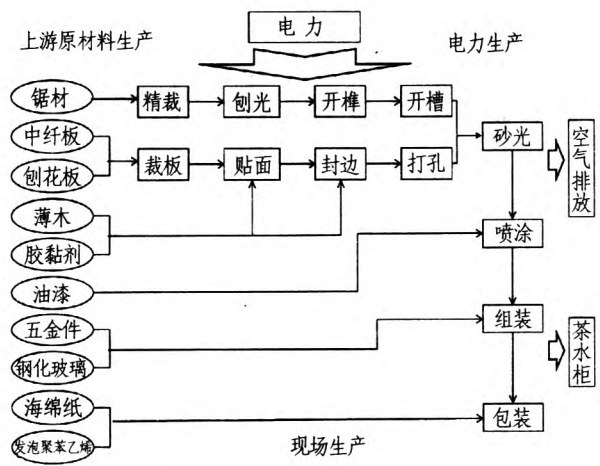


图 2 茶水柜的系统边界
Fig. 2 System boundary of tea cabinet

2 清单分析

2.1 现场生产数据清单

以一件茶水柜为功能单位^[12],基于现场数据收集方法^[13],进行企业现场生产数据的收集。具体数据来源包括产品图纸、用料分析单、加工方式、工艺参数、设备参数、现场监测和企业检测报告,相关数据清单列于表 1。

表 1 茶水柜生产过程数据清单
Tab. 1 Data list of different processes of tea cabinet

原材料消耗		电力消耗/kW·h		空气排放含量/kg	
实木/m ³	0.0047	实木加工	1.1083	甲醛	0.0677
中纤板/m ³	0.0490	人造板	2.2041	乙酸乙	0.0169
刨花板/m ³	0.0270	加工		烯酯	
油漆/USD	36.5000	砂光	1.0318	苯	0.0394
胶黏剂/USD	14.6000	喷涂	41.8480	甲苯	3.5613
装饰薄木/kg	1.5000	引风	0.8111	二甲苯	16.0395
五金件/USD	21.2000	除尘	1.2740	非甲烷	28.6808
钢化玻璃/kg	4.7240	组装	-	总烃	
海绵纸/kg	0.0648	包装	-		
发泡聚苯乙烯/kg	0.1480				

注:数据库中油漆、胶黏剂和五金件以价格 USD(美元)作为计量单位。

其中,空气排放数据主要基于北京市海淀区环境保护局监测站检测报告,及项目职业病危害控制效果评价报告书检测报告等计算得到。

表 1 中的 6 项空气中排放物,系根据政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental panel on climate change, IPCC)相关标准和软件计算,可转化成现场直接碳排放量。

2.2 电力及上游原材料生产数据清单

依据现场生产所确定的能源及原材料信息,电力生产和上游生产的温室气体排放数据则从生命周期评价软件 Simapro 附带的 Ecoinvent、USLCI、USA Input Output、Industry Data 2.0 等国际应用较多的数据库中获得。电力与上游生产原材料和能源生产所产生的温室气体(Greenhouse Gas, GHG)排放因子及数据库来源,列于表 2。

表 2 原材料及能源生命周期的 GHG 排放因子
Tab. 2 Emission factors of energy and materials

能源及原材料	GHG 排放因子	单位	数据来源
电力	0.392	kgCO ₂ eq/MJ	Ecoinvent
实木	15.300	kgCO ₂ eq/m ³	USLCI
中纤板	500.000	kgCO ₂ eq/m ³	Ecoinvent
刨花板	263.000	kgCO ₂ eq/m ³	Ecoinvent
油漆	0.980	kgCO ₂ eq/USD	USA Input Output
胶黏剂	0.416	kgCO ₂ eq/USD	USA Input Output
装饰薄木	0.165	kgCO ₂ eq/kg	USLCI
五金件	0.590	kgCO ₂ eq/USD	USA Input Output
钢化玻璃	0.979	kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent
海绵纸	2.100	kgCO ₂ eq/kg	Ecoinvent
发泡聚苯乙烯	3.380	kgCO ₂ eq/kg	Industry data 2.0

3 影响评价

3.1 结果计算

3.1.1 碳排放来源模型

茶水柜在 Simapro 软件中构建的系统模型及其碳排放来源如图 3 所示。

图 3 中,自下而上,每一层产品的输出需要下一层材料和能耗的输入,包括加工设备能耗和引风、除尘设备能耗。每一单元过程内右侧黑色柱状条高度,标识碳排放量的多少。可见,碳排放量是自下而上逐渐累积的,电力、油漆、中纤板、五金件等是碳排放量较大的单元过程。

3.1.2 过程碳排放

过程碳排放,是指油漆、电力、五金件等单元过程的碳排放量。根据温室气体核算体系(GHG Protocol),将排放类型确定为现场直接排放、电力直接排放和上游排放 3 类。对茶水柜碳排放来源进行归类,具体碳排放数据如表 3 所示。依据 IPCC 2007 GWP 100a 温室气体排放计算方法^[14],得知生产一件茶水柜的碳足迹为 160 kgCO₂ eq。

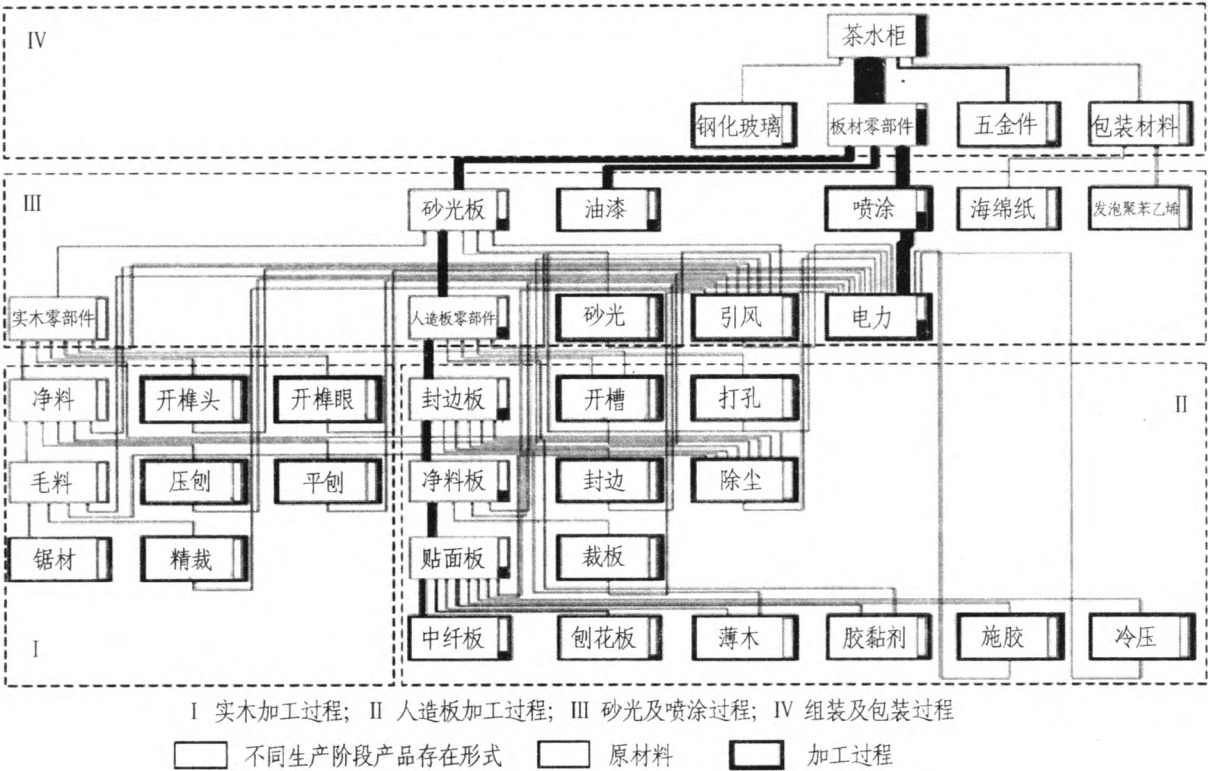


图 3 茶水柜整个加工过程的碳排放来源
Fig. 3 Sources of carbon emissions of tea cabinet processing

表 3 茶水柜单元过程碳排放清单
Tab. 3 Carbon emissions of different
processes section of tea cabinet

类别	GHG 排放量/ kgCO ₂ eq	单元 过程	GHG 排放量/ kgCO ₂ eq
现场直接排放	1.01	空气中排放物	1.01
电力直接排放	68.09	实木加工	0.11
		人造板加工	1.74
		砂光	0.77
		喷涂	63.20
		引风	0.89
		除尘	1.38
上游排放	90.90	实木	0.08
		中纤板	24.50
		刨花板	7.13
		油漆	35.80
		胶黏剂	6.07
		装饰薄木	0.25
		五金件	12.60
		钢化玻璃	3.85
		海绵纸	0.14
		发泡聚苯乙烯	0.50
总量			160.00

3.2 结果分析

3.2.1 贡献分析

贡献分析即进行主要碳排放过程的识别。茶水柜碳排放过程的贡献分析结果如图 4 所示。

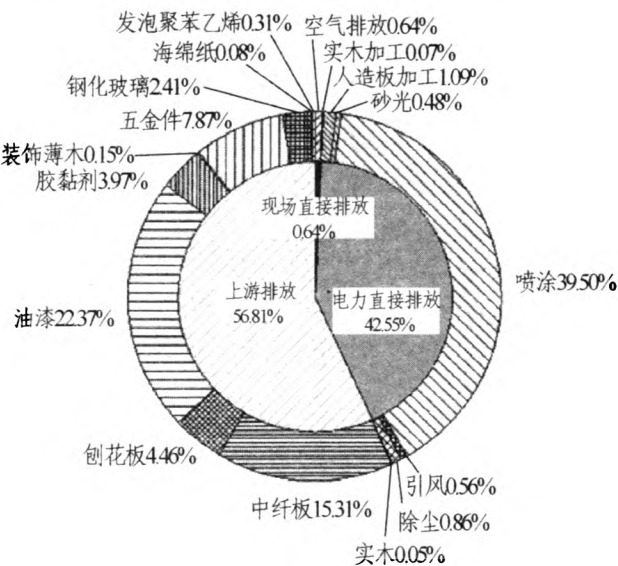


图 4 茶水柜碳排放过程的贡献分析

Fig. 4 Contribution of main processes of tea cabinet

由图 4 可知,现场直接碳排放贡献为 0.64%,电力直接排放为 42.55%,上游碳排放 56.81%,其中喷

涂、油漆、中纤板、五金件等累积贡献达 80%以上。

3.2.2 不确定性分析

不确定性分析是为了判断产品碳足迹计算结果的准确度和精密度,包括:1) 清单数据的不确定性分析,依据数据收集来源相关记录,在 Simapro 软件中,进行单个变量不确定性因素的选择,采用概率密度函数法进行计算;2) 计算过程的不确定性分析,确定清单数据的不确定性值后,采用蒙特卡罗模拟法进行计算。茶水柜碳足迹计算结果的不确定性分析如表 4 所示。

表 4 茶水柜碳足迹不确定性分析的结果

Tab. 4 Uncertainty analysis of tea cabinet carbon footprint

置信 区间	平均 数	中值	标准 误差	偏差 系数	区间边界的碳排放 量/kgCO ₂ eq		平均标 准误差
					2.5%	97.5%	
95%	160	159	9.84	6.14%	141	185	0.009

表 4 中平均标准误差显示,茶水柜产品碳足迹数据准确度较高;由偏差系数可知,产品碳足迹数据精密度亦较高;由区间边界的碳排放量数据计算可知,碳足迹误差范围在±15%以内。

4 结语

1) 采用生命周期评价方法,计算出生产一件木质茶水柜的碳足迹为 160 kgCO₂eq。其中,现场直接排放 1 kgCO₂eq,电力直接排放为 68 kgCO₂eq,上游排放为 91 kgCO₂eq。建议企业优先进行能源方面的控制,其次合理选择原材料。

2) 碳排放的 80%以上源自喷涂、油漆、中纤板及五金件,建议优先从碳排放较大的加工过程,着手开展碳减排的工作。

3) 基于产品的碳足迹核算结果,今后可进一步从产品用材、工艺过程及结构等方面,进行不同产品碳排放的计算和比较分析,为企业改进产品,实现低碳减排的目标提供指导。

参考文献:

[1] 国家林业局. 2012 年全国林业统计年报分析报告[R], 2013.
[2] 国家林业局国家发展改革委. 林业产业振兴规划(2010-2012 年)[R], 2009.
[3] 黄玉梓, 余建辉. 浅谈我国林产工业技术现状及其环境影响[J]. 林业经济问题, 2001, 10, 21(5): 293-295.

(下转第 36 页)

试验过程中还发现,由于水热作用,板材内应力引起膨胀变形,蒸煮 2 h 时大部分试件已出现膨胀变形,有的甚至发生开裂;蒸煮时间越长,试件变形开裂现象越严重。同时,固化的酚醛胶发生水解,产生游离苯酚。

鉴于蒸煮法在 10 h 内仍不能完全采集目标物,试验时间终点无法确定,且已破坏板材中的胶层,初步判定:蒸煮法不适合作为木竹材料中游离苯酚的采集方法。

2.3 两种方法的比较

将水蒸气蒸馏法和蒸煮法 10 h 采集游离苯酚总量进行对比,结果列于表 3。

表 3 不同取样方法板材馏分中的苯酚蒸出量

Tab. 3 Phenol contents in fraction of board by different sampling methods

取样方法	各类试板苯酚蒸出量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)			
	A	B	C	D
75℃蒸馏	0.89	0.69	0.48	0.33
85℃蒸馏	5.78	4.59	3.52	2.18
持续沸腾蒸煮	459	810	831	997

由表 3 可以看出,在相同时间内,同种板材水蒸气蒸馏法采集的苯酚蒸出量,仅为蒸煮法采集苯酚蒸出量的 1% 左右。试验过程中发现:水蒸气蒸馏 10 h 内,试样均未发生明显的变形开裂;而被蒸煮 2 h 时,大部分试件发生厚度膨胀变形,部分试样开裂。

3 结论

1) 将重组竹样品加工成边长为 10 cm 的正方形

试件,采用水蒸气蒸馏法(75、85℃)采集试件中的游离苯酚时,2 h 内几乎未采集到目标物,10 h 时仍只有少量苯酚蒸出。该方法采样时间长、效率低,初步判定不适用于采集酚醛胶板材中的游离苯酚。

2) 在本试验条件下,采用蒸煮法采集板材中的游离苯酚时,10 h 后所得馏分中仍含有大量苯酚,固化的胶层已遭破坏,初步判定亦不适用于采集酚醛胶板材中的游离苯酚。

3) 今后有待尝试将试样制备成粉末,采用水蒸气蒸馏法(75、85℃)、常温下溶剂超声萃取或微波萃取等方式,采集木竹等人造板中的游离苯酚,从而寻求快速高效的采集方法。

参考文献:

[1] EHC 161. Environment Health Criteria 161: Phenol[R]. World Health Orgnization, 1994.
[2] HSG 88. Health and Safety Guide No. 88[R]. World Health Orgnization, 1994.
[3] 曹志祥,叶元坚,郭永翔,等. 气相色谱法测定硬质酚醛泡沫制品中游离苯酚含量[J]. 广东化工, 2012, 39(8): 27-28.
[4] 龙玲,贾竹娴. 高效液相色谱法和光度法测定苯酚的对比[J]. 木材工业, 2011, 25(4): 31-33.
[5] 贾竹贤,李光荣,龙玲. 液相色谱法测酚醛胶人造板中游离苯酚含量[J]. 现代科学仪器, 2009(2): 72-73, 101.
[6] 贾竹贤. 酚醛胶实木复合地板及基材有机挥发物释放[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
[7] 张亚梅,余养伦,于文吉. 热处理对毛竹化学成分变化的影响[J]. 中国造纸学报, 2011, 26(2): 6-10.

(责任编辑 向 琴、孟凡丹)

(上接第 32 页)

[4] ISO 14044-2006, Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines[S].
[5] PAS 2050: 2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services[R].
[6] 胡孙跃,向仕龙,忠荣. 废旧刨花板循环利用技术的研究[J]. 木材工业, 2007, 21(1): 21-24.
[7] 杨建新. 中国钢材生命周期清单分析[J]. 环境科学学报, 2010, 22(4): 519-522.
[8] 苏向东,王天民,何力,等. 有色金属材料的环境负荷定量评价模型[J]. 环境科学学报, 2002, 22 (1): 98-102.
[9] 张培,田长生,黄志甲. 钢铁产品生命周期影响评价方法[J]. 安徽工业大学学报, 2007, 24 (1): 84-88.
[10] 谷立静. 中国建筑生命周期环境影响评价的终点破坏模型[J]. 科学通报, 2008, 53(15): 1858-1863.
[11] 王寿兵. 中国某轿车生命周期内能耗和环境排放特性[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2006, 45(3): 328-334.
[12] 王志慧,王洪涛,黄娜,等. 纸塑铝复合包装材料的碳足迹评价与认证[J]. 环境科学研究, 2012, 25(6): 712-716.
[13] UNEP. Global guidance principles for life cycle assessment databases; chapter 2: development of unit process datasets[S], 2011.
[14] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas [R]. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

(责任编辑 张一萍、姜 征)