

书籍快递包装袋生产工艺的生命周期评价

孙丹妮, 霍李江*, 赵 昱

(大连工业大学 轻工与化学工程学院, 大连 116034)

摘要 线上购书的消费模式使得书籍快递量越来越大, 对于书籍快递包装袋的需求也越来越大, 甚至造成了包装袋的浪费现象。书籍快递包装袋一般采用牛皮淋膜纸或聚乙烯(PE)制成, 本研究基于生命周期评价(LCA)技术框架, 采用e-Footprint软件和Ecoinvent 3.1、CLCD-China-ECER 0.8基础数据库, 对牛皮淋膜纸袋和PE快递袋进行案例分析。以单个书籍快递包装袋为功能单位, 采用“从摇篮到大门”的方法对其生产过程的物耗、能耗及环境排放进行环境影响量化比较。研究结果表明, 评价对象在其生产过程中对全球变暖潜值(GWP)、水资源消耗(WU)和初级能源消耗(PED)三类环境指标的贡献值较大, 牛皮淋膜纸袋产生的这三类环境影响分别为1.27kg Co₂ eq、4.23kg、12.41MJ, PE快递袋产生这三类环境影响分别为6.09kg Co₂ eq、1.62kg、1.18MJ, 可见牛皮淋膜纸袋和PE快递袋生产过程在环境影响方面各有优劣。本研究可为评价对象的改进提供参考建议, 以便提高此类包装产品的环境效益。

关键词 书籍快递包装; 生命周期评价; 牛皮淋膜纸袋; PE快递袋

中图分类号 TS206

文献标识码 A

文章编号 2095-9540(2021)06-51-06

DOI 10.19370/j.cnki.cn10-1304/ts.2021.06.006

Life Cycle Assessment of Production Technology for Book Express Packages

SUN Dan-ni, HUO Li-jiang*, ZHAO Yu

(School of Light Industry and Chemical Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract The consumption mode of online book purchase makes the book express delivery volume more and more large, which in turn caused the waste of packages. Book express packages generally use kraft coated paper or PE. In this study, based on the technical framework of Life Cycle Assessment (LCA), Chinese e-Footprint software and Ecoinvent 3.1, CLCD-China-ECER 0.8 basic database were used to analyze the case of kraft coated paper package and PE express package. The method from cradle to gate was used to compare the material consumption, energy consumption and environmental emissions of the production process. One express packaging for book as functional unit was selected. The results showed that the evaluated objects contribute more values in terms of their environmental impacts in the three categories of GWP, WU and PED in their production processes. The environmental impacts of kraft coated paper package are 1.27kg Co₂ eq, 4.23kg and 12.41MJ, and those of PE express package are

收稿日期: 2021-03-20 修回日期: 2021-09-18 *为通讯作者

本文引用格式: 孙丹妮, 霍李江, 赵昱. 书籍快递包装袋生产工艺的生命周期评价[J]. 数字印刷, 2021, (6): 51-56.

6.09kg Co₂ eq, 1.62kg and 1.18MJ. It can be seen that the production process of kraft coated paper package and PE express package has their own advantages and disadvantages in terms of environmental impact. Thus, improvements are made to the specific problems of the evaluation objects found in the study in order to improve the environmental benefits of such packaging.

Key words Book express packaging; Life Cycle Assessment; Kraft coated paper package; PE express package

0 引言

随着电商行业的蓬勃发展,中国快递行业的数额激增。根据2020年《中国物流年鉴》^[1],全国实物商品网上销售额比去年增长19.5%,快递业务量完成630亿件,同比增长24%。而书籍本身具有一定硬度和厚度,可以承受垂直方向较大的堆码压力和冲击,所以书籍快递包装主要有牛皮淋膜纸袋和聚乙烯(PE)包装袋两种类型。快递包装袋所导致的环境负荷大小,可以借助生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)方法进行量化分析^[2-5]。

LCA是对产品生命周期全过程的环境因素及其潜在影响的研究,它可以从设计源头到产品出厂的生命周期各个阶段对包装产品进行有关环境负荷与影响的评价,从而为包装材料的选择提供科学建议,实现包装绿色化。国内外学者均已开展了相关的LCA研究实践,例如:任宪姝^[6]、郭鹏英^[7]等研究了瓦楞纸箱以及书刊胶印的生产工艺,指出其导致的影响主要在化石能源消耗、全球变暖、酸化和富营养化4个方面,对环境影响最大的是制版工序和印刷工序。赵昱等^[8]研究了化妆品销售包装盒的生产工艺,指出聚丙烯化妆品销售包装盒在生产过程中消耗的能量和产生的环境影响均大于白纸板化妆品。Ashiq Ahamed等^[9]研究了城市塑料食品袋的使用,指出与高密度聚乙烯(HDPE)塑料相比,聚丙烯无纺布造成的总体负面环境影响最小。马海龙等^[10]研究了环保油墨的生命周期,指出控制挥发性有机化合物的排放量、芳香烃溶剂挥发量和重金属含量是环保油墨研发的关键;巩桂芬等^[11]对比了两款包装箱,指出对环境影响最大的是胶合板生产工序,并且钢板箱比传统木箱更具有环境友好性。

本研究借助通用型LCA技术工具,量化分析牛皮淋膜纸袋和PE包装袋的生产过程所导致环境影响负荷的大小,以分析该类包装产品在研究系统边界之内的薄弱环节,便于进一步开展相关的技术革新。

1 书籍快递包装生产工艺的LCA方法

根据国际标准《ISO14040:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework》,LCA包括4个有机联系的部分,即目的与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释^[12]。在此技术框架下,本研究采用通用型LCA工具e-Footprint软件系统及其数据库进行线上建模、清单数据输入、LCA计算和结果分析;使用Ecoinvent 3.1、CLCD-China-ECER 0.8基础数据库并追溯至原料上游生产过程。本研究的评价对象生产物料中未涉及稀有或高纯成分物料,忽略质量与产品总质量之比小于1%的物料,并且总计忽略物料的质量不超过产品总质量的5%,符合中国生命周期核心数据库(Chinese Reference Life Cycle Database, CLCD)取舍规则。同时,结合工业重要污染防治指标和社会热点环境问题,评价时选择初级能源消耗PED(Primary Energy Consumption)、非生物资源消耗潜值ADP(Abiotic Depletion Potential,以千克铈为基准物质得到各资源的特征化因子,用于表征中国范围各资源的稀缺程度)、水资源消耗WU(Water Use)、全球变暖潜值GWP(Global Warming Potential,以千克CO₂为基准物质得到的特征化因子,用于表征温室气体对全球变暖的贡献)、酸化AP(Acidification Potential,以千克SO₂为基准物质得到的特征化因子,用于表征酸性气体对酸化的贡献)五个环境影响指标进行重点分析。

2 评价案例的目标与范围确定和清单分析

2.1 目标与范围确定

2.1.1 功能单位

功能单位反映最终用户消费的方式，被认为是具有一定意义数量的某种特定产品^[13]。本研究以一个书籍快递包装袋为功能单位，其尺寸为长750mm、宽340mm。其中，牛皮淋膜纸袋的定量为16g/m²，淋膜量为51g/m²，质量为17.09g；PE快递袋的厚度为0.06mm，质量为14.08g，如图1所示。

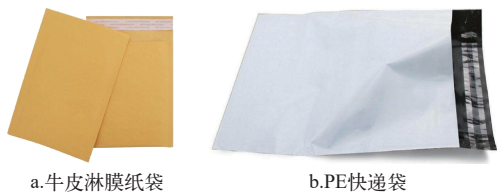


图1 书籍快递包装袋
Fig.1 Book express packages

2.1.2 系统边界

根据企业实际生产流程，牛皮淋膜纸袋的生产单元过程包括PE母粒熔融、牛皮纸与PE复合^[14]、糊底制袋；PE快递袋的生产单元过程主要分为PE薄膜生产、分切制袋。两种包装袋的具体系统边界和主要输入输出物质流描述如图2、图3所示。

2.2 清单分析

根据确定的系统边界，分别对牛皮淋膜纸袋和PE快递袋各自生产单元的资源、能源和原材料的消

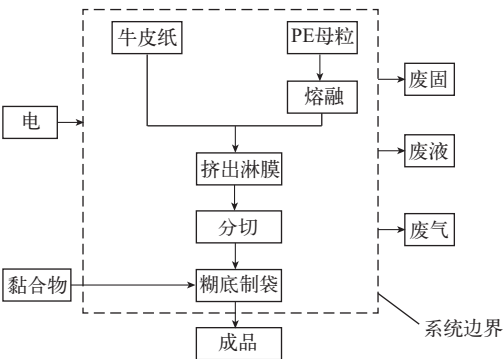


图2 牛皮淋膜纸袋系统边界
Fig.2 System boundary of kraft coated paper package

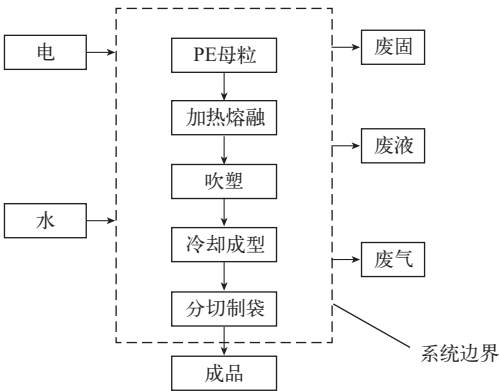


图3 PE快递袋系统边界
Fig.3 System boundary of PE express package

耗量以及环境排放进行原始数据收集。数据来源主要为生命周期评价文献[15]和行业平均数据。牛皮淋膜纸袋输入数据清单见表1，PE快递袋输入数据清单见表2，牛皮淋膜纸袋排放数据清单见表3，PE快递袋排放数据清单见表4。其中，牛皮纸、PE母粒以及电力生产链的上游数据从e-Footprint软件基础数据库中获取，而黏合物的上游数据则是来源于Ecoinvent 3.1数据库。为提高数据准确性及结果可靠度，本研究在影响评价阶段进行了灵敏度分析和数据质量评估。

表1 牛皮淋膜纸袋数据清单
Tab.1 Data list of kraft coated paper package

类别	名称	数量	单位
原材料/物料	牛皮纸	0.011	kg
	PE母粒	4.08	g
	黏合物	0.12	g
能源	电力	0.1	kW·h

表2 PE快递袋数据清单
Tab.2 Data list of PE express package

类别	名称	数量	单位
原材料/物料	PE母粒	0.001	kg
能源	电力	0.4	kW·h
能源	水	0.02	kg

表3 牛皮淋膜纸袋排放数据清单
Tab.3 Data list of emission by kraft coated paper package

类别	名称	数量	单位
大气污染物	二氧化碳（排放到大气）	0.1	kg
	二氧化硫（排放到大气）	3.00×10^{-3}	kg
	氮氧化物（排放到大气）	1.50×10^{-3}	kg

表4 PE快递袋排放数据清单
Tab.4 Data list of emission by PE express package

类别	名称	数量	单位
大气污染物	二氧化碳（排放到大气）	0.09	kg
	二氧化硫（排放到大气）	3.00×10^{-3}	kg
固体废物	工业生产废物	0.08	kg

3 评价案例的生命周期影响评价

3.1 LCA结果与分析

采用e-Footprint软件以及Ecoinvent 3.1、CLCD-China-ECER 0.8基础数据库，将上述清单分析计算结果特征化，获得两种包装袋的PED、ADP、WU、GWP、AP五类环境影响评价结果（见表5）。

表5 牛皮淋膜纸袋与PE快递袋环境影响结果
Tab.5 Impact results of environment by kraft coated paper package and PE express package

环境影响类型指标	指标单位	LCA结果	
		牛皮淋膜纸袋	PE快递袋
PED	MJ	12.41	1.18
ADP	kg Sb eq	1.31×10^{-6}	1.02×10^{-5}
WU	kg	4.23	1.62
GWP	kg CO ₂ eq	1.27	6.09
AP	kg SO ₂ eq	0.02	3.31×10^{-2}

由表5可知，在生产过程中，牛皮淋膜纸袋在PED环境指标方面的贡献值最大，对WU及GWP环境指标方面的贡献值次之，对ADP及AP环境指标方面贡献值较小，其中ADP环境指标方面贡献值最小；PE快递袋在GWP环境指标方面的贡献值最大，对ADP环境指标方面贡献值最小。但由于两者的生产过程都对ADP和AP两个环境指标的贡献值较小，因此应重点分析PED、GWP和WU这三个环境指标方面的环境影响。

3.2 数据质量评估与分析

本研究采用CLCD的方法，对清单数据从以下4个方面进行评估：清单数据来源与算法、时间代表性、地理代表性和技术代表性。同时，对关联背景数据库的消耗，评估其与上游背景过程匹配的不确定度。完成清单不确定度评估后，利用解析公式法计算（即两次蒙特卡罗模拟）不确定度传递与累积，得到LCA结果的不确定度^[16]。该评价研究类型

为行业LCA，代表特定技术/全行业/市场平均水平，两个评价对象数据质量评估结果见表6。

表6 两个评价对象数据质量评估结果
Tab.6 Evaluation result of data quality of two evaluation objects

环境影响类型指标	牛皮淋膜纸袋		PE快递袋	
	LCA结果	结果不确定度(%)	LCA结果	结果不确定度(%)
PED	12.41	3.62	1.18	8.15
ADP	1.31×10^{-6}	1.95	1.02×10^{-5}	3.88
WU	4.23	9.05	1.62	9.48
GWP	1.27	9.72	6.09	8.40
AP	0.02	18.03	3.31×10^{-2}	5.68

由表6可知，从整体来看，PED和WU两个环境指标方面的LCA结果数值较大。在结果的不确定度方面，除牛皮淋膜纸袋中AP环境指标的结果不确定度为18.03%外，其他指标的不确定均在10%以下，属于合理范围。清单数据来源与算法、时间代表性、地理代表性、技术代表性等均对结果不确定度有影响^[17]。生产过程中的二氧化硫排放对AP指标的影响最大，可以通过进一步确定二氧化硫的排放类型，来降低结果不确定度。

3.3 灵敏度分析

清单数据灵敏度是指清单数据单位变化率引起的相应指标变化率，可在e-Footprint软件中直接导出。通过分析清单数据对各指标的灵敏度，并配合改进潜力评估，从而辨识最有效的改进点^[18]。灵敏度越高意味着对LCA结果的影响越大。两种包装袋生产过程中灵敏度>0.5%的清单数据见表7。

由表7可知，对上述两种包装袋生命周期评价过程中，PE母粒和电力的数据平均灵敏度较大，均超

表7 牛皮淋膜纸袋与PE快递袋清单数据平均灵敏度
Tab.7 Average sensitivity of inventory data for kraft coated paper package and PE express package

过程名称	清单名称	上游数据类型	平均灵敏度(%)
牛皮淋膜纸袋生命周期评价	PE母粒	实景数据	33.35
	电力	背景数据	22.06
	牛皮纸	实景数据	19.90
PE快递袋生命周期评价	PE母粒	实景数据	53.14
	电力	背景数据	46.67

过了20%。其中, 电力部分上游连接了CLCD-China-ECER 0.8基础数据库中的东北电网电力数据, 而东北电网以火力发电为主, 占比高达80.78%, 在发电过程中会对环境造成一定程度的污染; PE母粒部分上游连接了实景数据, 通过向上追溯发现, 其生产过程中使用的高压聚乙烯生产工艺会对环境产生较大影响; 此外, 牛皮淋膜纸袋中牛皮纸的造纸过程也会对环境影响做出少量贡献。因此, 上述几个方面均具有一定的改进潜力。

4 结论

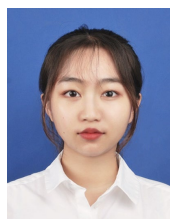
本研究通过对牛皮淋膜纸袋和PE快递袋生产工艺进行LCA分析发现, 在生产过程中PED、GWP和WU这三种环境影响指标的贡献值较大, 应该列为重点关注指标。同时, 牛皮淋膜纸袋在PED、WU这两个环境影响指标的贡献远大于PE快递袋, 而其在GWP这一指标的贡献则低于PE快递袋。可见, 牛皮淋膜纸袋和PE快递袋生产过程的环境影响各有优劣, 应该根据LCA结果进行针对性的生产管理和监控, 例如: 对牛皮淋膜纸袋的制浆造纸过程, 要重点监控生产废水量和再利用, 以便降低WU。此外, 在生产过程中, 可通过使用清洁能源发电以及提高发电效率的方式, 进一步降低环境负荷, 从而实践绿色包装生产制造。

参考文献

- [1] 中国物流与采购联合会. 中国物流年鉴[J]. 中国物流与采购, 2021, (8): 81.
China Federation of Logistics & Purchasing. China Logistics Yearbook [J]. China Logistics & Purchasing, 2021, (8): 81.
- [2] MORETTI C, HAMELIN L, JAKOBSEN L G, et al. Cradle-to-Grave Life Cycle Assessment of Single-Use Cups Made from PLA, PP and PET [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, 169: 105508.
- [3] SHI M R, ZHAO X, WANG Q, et al. Comparative Life Cycle Assessment of Co-Processing of Bio-oil and Vacuum Gas Oil in an Existing Refinery [J]. Processes, 2021, 9(2): 187.
- [4] COSATE DE ANDRADE M F, SOUZA P M S, CAVALETT O, et al. Life Cycle Assessment of Poly (Lactic Acid) (PLA): Comparison Between Chemical Recycling, Mechanical Recycling and Composting [J]. Journal of Polymers and the Environment, 2016, 24(4): 372-384.
- [5] 廖盈盈, 杜娟花, 王洪涛, 等. 包装印刷全生命周期绿色评价与管理体系研发[J]. 数字印刷, 2019, (2): 22-28, 42.
LIAO Ying-ying, DU Juan-hua, WANG Hong-tao, et al. Whole Life Cycle Assessment and Management System for Packaging and Printing Industry [J]. Digital Printing, 2019, (2): 22-28, 42.
- [6] 任宪姝, 霍李江. 瓦楞纸箱生产工艺生命周期评价案例研究[J]. 包装工程, 2010, 31(5): 54-57.
REN Xian-shu, HUO Li-jiang. Case Study of Life Cycle Assessment for Corrugated Board Box Production Technology [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(5): 54-57.
- [7] 郭鹏瑛, 霍李江, 马海龙, 等. 书刊胶印生产工艺生命周期评价案例研究[J]. 包装工程, 2011, 32(3): 84-87.
GUO Peng-ying, HUO Li-jiang, MA Hai-long, et al. Case Study of Life Cycle Assessment of Offset Printing Production of Books and Periodicals [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 84-87.
- [8] 赵昱, 霍李江. 化妆品销售包装盒生命周期评价[J]. 包装工程, 2020, 41(21): 131-137.
ZHAO Yu, HUO Li-jiang. Life Cycle Assessment of Sales Packaging Cartons for Cosmetics [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(21): 131-137.
- [9] ASHIQ A, PRAMODH V, NIKHIL S I, et al. Life Cycle Assessment of Plastic Grocery Bags and their Alternatives in Cities with Confined Waste Management Structure: A Singapore Case Study [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278, 123956.
- [10] 马海龙, 霍李江, 郭鹏瑛, 等. 基于生命周期环境影响分

- 析的环保油墨研发[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 95-98.
- MA Hai-long, HUO Li-jiang, GUO Peng-ying, et al. Research and Development of Environmental-Friendly Ink Based on Analysis of Life-Cycle Environmental Impact [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21): 95-98.
- [11] 巩桂芬, 李想. 两款木包装箱的生命周期影响分析及对比[J]. 包装工程, 2021, 42(5): 134-141.
- GONG Gui-fen, LI Xiang. Impact Analysis and Comparison of Two Wooden Packaging Boxes during Life Cycle [J]. Packaging Engineering, 2021, 42(5): 134-141.
- [12] ISO 14040:2006. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework [S]. Genève: International Organization for Standardization (ISO), 2006.
- [13] KRISTENSEN T, SØEGAARD K, ERIKSEN J, et al. Carbon Footprint of Cheese Produced on Milk from Holstein and Jersey Cows Fed Hay Differing in Herb Content [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 101: 229-237.
- [14] 崔卫鑫, 王克俭. 浅谈纸塑复合包装技术[J]. 塑料包装, 2019, 29(3): 16-19, 48.
- CUI Wei-xin, WANG Ke-jian. Introduction of Paper-Plastic Composite Packaging Technology [J]. Plastic Packaging, 2019, 29(3): 16-19, 48.
- [15] 任丽娟. 生命周期评价方法及典型纸产品生命周期评价研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2011.
- REN Li-juan. Methodology Research and Typical Paper Products of Life Cycle Assessment [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011.
- [16] 马倩倩, 卢宝荣, 张清文. 基于生命周期评价(LCA)的纸产品碳足迹评价方法[J]. 中国造纸, 2012, 31(9): 57-62.
- MA Qian-qian, LU Bao-rong, ZHANG Qing-wen. Carbon Footprint Assessment Method of Paper Products Based on Life Cycle Assessment [J]. China Pulp & Paper, 2012, 31(9): 57-62.
- [17] 江志兰, 向思静, 王洪涛, 等. 基于在线供应链调查的产品生命周期评价[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7185-7191.
- JIANG Zhi-lan, XIANG Si-jing, WANG Hong-tao, et al. Assessment of Product Life Cycle Based on Online Supply Chain Survey [J]. Journal of Ecology, 2016, 36(22): 7185-7191.
- [18] 霍李江, 赵昱. 鸡蛋包装生产工艺的生命周期评价[J]. 包装学报, 2021, 13(3): 37-43.
- HUO Li-jiang, ZHAO Yu. Life Cycle Assessment of Egg Packaging Production Technology [J]. Packaging Journal, 2021, 13(3): 37-43.

主要作者



孙丹妮(1999年-), 学生; 主要研究方向为包装产品系统评价。

SUN Dan-ni, born in 1999. She is a student and her main research direction is packaging product system evaluation.



霍李江(1966年-), 博士, 教授; 主要研究方向为包装系统设计与评价、包装印刷技术。

Prof. HUO Li-jiang, born in 1966. She got the doctor degree and her main research directions are packaging system design and evaluation, packaging printing technology.



赵昱(1996年-), 研究生; 主要研究方向为包装产品系统评价。

ZHAO Yu, born in 1999. She is a undergraduate student. Her main research direction is packaging product system evaluation.