

可循环直运快递纸箱的生命周期评价

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2025.2007

李甫印^{1,2} 张 暖¹
杨青华³ 林勤保¹

1. 暨南大学

包装工程学院

广东 珠海 519070

2. 中荣印刷集团(中山)

股份有限公司

广东 中山 528403

3. 知里科技(广东)有限公司

广东 广州 510000

摘 要: 遵循欧盟 PEF 方法, 通过 SimaPro 软件对可循环直运快递纸箱进行生命周期评价, 并探究其循环使用的环境优势。采用 EF 3.1 LCIA 方法分析 16 种环境足迹类别, 并进行生命周期影响解释。研究表明: 气候变化、淡水富营养化、化石资源消耗、颗粒物、土地使用、酸化是可循环直运快递纸箱生命周期中的最相关环境影响, 累积贡献超过了整体环境影响的 80%。一万套可循环直运快递纸箱生命周期造成的气候变化影响为 4436.88 kg CO₂ eq.; 环境负担主要来源于原料生产阶段, 其次为产品生产阶段, 裱纸、印刷、打包运输则是生产过程中最相关的阶段。可循环直运快递纸箱循环 1~5 次后, 对气候变化的影响可降低 50%~80%。优化快递纸箱结构和材料、减少原料消耗和生产过程中的电能消耗、采用清洁能源, 能有效降低可循环直运快递纸箱的环境影响。

关键词: 生命周期评价; 可循环直运快递纸箱; 环境影响; 气候变化

中图分类号: TB489

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2025)02-0062-07

引文格式: 李甫印, 张 暖, 杨青华, 等. 可循环直运快递纸箱的生命周期评价 [J]. 包装学报, 2025, 17(2): 62-68.

1 研究背景

据国家邮政局统计, 自 2021 年起, 我国快递年业务量已连续突破千亿件。随着快递行业的飞速发展, 一系列问题也逐渐显现, 其中包括资源的过度消耗和环境污染^[1]。快递包装成为了城市固体废弃物的主要来源之一。随着循环经济和可持续发展理念的深入人心, 快递包装箱的循环利用和创新形式逐渐成为关注的焦点。例如, 可循环直运快递纸箱采用一纸成型方式和撕拉结构, 是一种结构简单、物理性能优越、环保且无需胶粘的包装。只需更换插卡配件, 其包装主体即可多次循环重复使用。此外, 插卡配件也可以利用拼板过程中的边角料生产, 以提高材料的使用

率, 减少资源浪费。

生命周期评价 (life cycle assessment, LCA) 是一种全面的系统分析工具, 专门用于评估产品在其整个生命周期中对环境的影响^[2]。其已广泛应用于快递包装、纸制品的环境影响评价。马倩倩等^[3]根据我国纸产品生产现状, 基于 LCA, 针对纸产品从原材料生产到废弃处置的全生命周期, 提出了一套适合我国纸产品碳足迹评价的方法; 陈钢^[4]提出对于纸类产品的 LCA, 进行敏感性和不确定性分析具有必要性; 张卓然等^[5]评估和比较了 3 种不同的一次性纸杯生产过程对环境的影响; 孙丹妮等^[6]进行了书籍快递包装袋生产工艺的 LCA, 分析了牛皮淋膜纸袋和 PE 快递袋的环境影响。随着可持续发展理念的深

收稿日期: 2024-11-25

基金项目: 珠海市产学研合作项目 (2220004003084)

作者简介: 李甫印, 男, 高级工程师, 主要研究方向为生命周期评价和食品包装安全, E-mail: lifuyinsd@163.com

通信作者: 林勤保, 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为生命周期评价和食品包装安全, E-mail: tlinqb@jnu.edu.cn

入推广,越来越多的研究关注纸制品的回收利用和
处理方法。赵晓迪^[7]研究了废纸回收利用对中国造
纸产业碳减排的影响;赵国杰等^[8]对以废纸为原料
生产的瓦楞原纸产品进行碳足迹评价;史玉等^[9]运
用 LCA 分析聚乳酸快递包装的 5 种处置情景对环
境的影响,以确定最环保的处理方式;任姝珩等^[10]研
究循环包装箱全生命周期碳足迹计算方法,发现在理
想条件下循环包装具有较高的环保价值。

ISO 14040: *Environmental Management—Life
Cycle Assessment—Principles and Frameworks*^[11] 和
ISO 14044: *Environmental Management—Life Cycle
Assessment—Requirements and Guidelines*^[2] 以 及 欧
盟产品环境足迹评价方法 (product environmental
footprint, PEF)^[12] 为开展 LCA 研究提供了全面的
指南。其中,环境足迹 LCIA 方法以国际标准为基
础,全面评价了全球范围内共同关注的多个环境影
响问题,比如气候变化、酸化等。采用 PEF 方法的
产品 LCA 研究具有更好的可比性和可验证性,因此
广泛应用于国内外的众多行业和领域。SimaPro 是
1990 年发布的产品系统建模和评估软件,最新版本
为 SimaPro 9.6,包括 Ecoinvent v3.10 数据库,可按
照 ISO 14040 标准,系统透明地进行生命周期建模和
分析,被全球许多 LCA 从业者用作决策支持工具^[13]。

综上,本研究基于 PEF 方法,采用 SimaPro 软
件对可循环直运快递纸箱进行从“摇篮到坟墓”的
LCA,识别其生命周期中最相关的环境影响阶段和过
程,并对比不同循环次数下循环使用带来的环境效益。

2 研究方法

本研究遵循 ISO 14040 和 ISO 14044,并以 PEF
为方法规范进行 LCA 研究,包括目标与范围定义、
生命周期清单分析 (life cycle inventory analysis,
LCIA)、生命周期环境影响评价、生命周期解释。

2.1 目标与范围定义

2.1.1 目标

可循环直运快递纸箱是一种环保无胶粘的包装。
盒体翻折组装、锁定件锁定盒体均无需胶水粘贴。可
循环直运快递纸箱包括盒体和锁定件,如图 1 所示。
在盒体向内折叠的内侧面板、衬垫板上设有可分离的
锁定件,通过撕断并更换在盒体内放置的额外锁定件
即可进行二次包装使用,无需破坏包装盒的外观和结
构,实现可循环使用功能。

本研究的目标是量化识别可循环直运快递纸箱
全生命周期的潜在环境影响,分析识别其生产过程中
最主要的环境影响类别和过程,帮助改善产品的制造
生产,并进一步探究循环使用的环境效益。

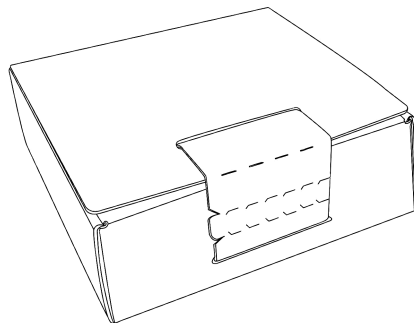


图 1 可循环直运快递纸箱简图

Fig. 1 Schematic diagram of direct-shipped
courier cartons

2.1.2 范围定义

以一万套可循环直运快递纸箱作为功能单位,采
用“摇篮到坟墓”方法,研究可循环直运快递纸箱生
命周期的环境影响。250 g 牛卡纸、底纸等原料被运
输到中山工厂,经过印刷、裱纸、模切和打包运输阶
段得到可循环直运快递纸箱,然后循环使用,直至废
弃处置,如图 2 所示。系统边界包括原料生产阶段 (即
250 g 牛卡纸、底纸的获取)、产品生产阶段和废弃
处置阶段,生产阶段具体包含印刷、裱纸、模切和打
包运输过程,同时,假设每功能单位可循环直运快递
纸箱在消费使用阶段为全部循环使用,不消耗物料、
能源,可忽略该阶段的环境影响。

2.2 生命周期清单分析

2.2.1 数据收集

从某企业中山工厂收集了 2023 年生产可循环直
运快递纸箱的活动数据,涵盖各工序的材料、能源消
耗及排放情况。通过定制的 LCA 数据表完成数据收
集,再经过质量平衡、内外部验证及多次校准,确保
数据具备较好的精密度和时间代表性^[12]。

对于其他外部过程的次级数据 (水、能源、化学
试剂等),首先从相关文献资料获取生命周期清单数
据,其次从 Ecoinvent 背景数据库中选用具有中国地
理、工艺技术或时间代表性的次级数据集,最后选
用全球范围 (GLO) 内或其他区域代表性的次级替
代数据集。为确保 LCA 的研究质量,分别对活动数
据和次级背景数据进行数据质量评分,包括精密
度、时间代表性、地理代表性和技术代表性^[12]。

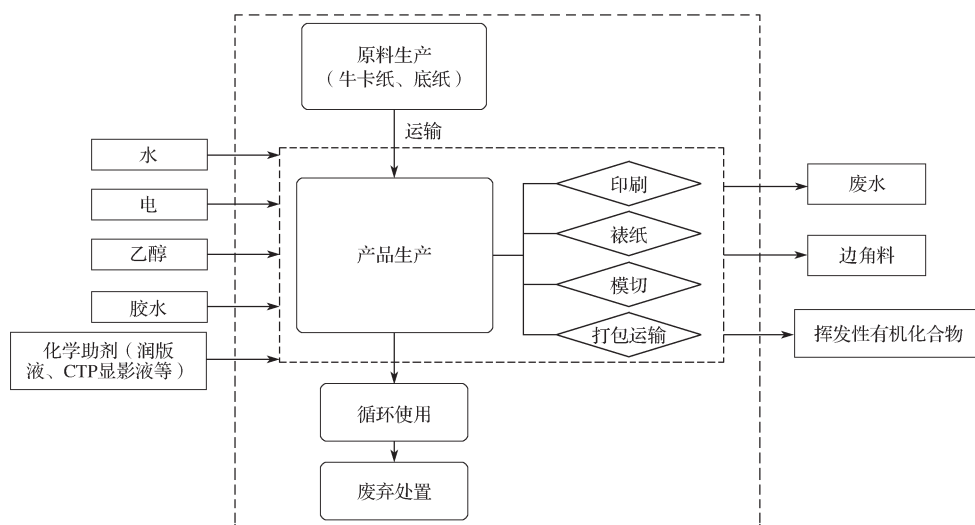


图 2 可循环直运快递纸箱生命周期的系统边界

Fig. 2 System boundary of the life cycle of recyclable direct-shipped courier cartons

2.2.2 清单分析

可循环直运快递纸箱的生命周期各阶段清单数据如表 1 所示。牛卡纸、底纸和油墨由柴油车运输至工厂进行可循环直运快递纸箱生产。油墨的运输包含在印刷过程中，化学试剂如润版液、CTP 版显影液等，通过查阅文献等资料予以建模核算，以替代其上游数据的缺失；部分原料如 CTP 板、模切板成分复杂，考虑其消耗量较小，根据欧盟 PEF 方法的“Cut-off”准则^[12]，忽略不计其环境影响；废水缺失后续处理工艺，选用 Ecoinvent 背景数据库的“Waste water”以代替特定的废水处理过程；原料损耗、模切废料及挥发性有机化合物排放分别以 Ecoinvent 背景数据库中相关数据集建模，同时，假设全部废弃可循环直运快递纸箱的处置方式为焚烧。

2.2.3 环境影响评价

使用 SimaPro 专业版构建和编辑了可循环直运快递纸箱系统边界内的所有单元过程和生命周期模型，并采用 EF 3.1 LCIA 方法对酸化、气候变化、淡水生态毒性、淡水富营养化、海洋富营养化、陆地富营养化、人体致癌毒性、人体非致癌毒性、电离辐射、土地使用、臭氧消耗、颗粒物形成、光化学臭氧形成、水资源消耗、化石资源消耗以及矿物资源消耗等 16 种环境足迹进行特征化、标准化^[13]和加权^[14]分析，以更好地认识所研究产品系统中每个环境影响类别和单元过程之间的关系，并帮助识别可循环直运快递纸箱生命周期阶段的最相关环境影响类别和过程。

表 1 可循环直运快递纸箱生命周期各阶段清单数据

Table 1 List data of each stage of the life cycle of recyclable direct-shipped courier cartons

生命周期阶段	输入 / 输出	单位	数量
原料生产	250g 牛卡纸	张	10 500
	底纸	张	10 200
印刷	UV 油墨	kg	2
	洗车水	kg	1.2
	润版液	kg	0.4
	CTP 版显影液	kg	0.2
	CTP 版	件	1
	乙醇	kg	2
	水	L	65
	混合电网	kW·h	44.4
	排放废水	kg	4
裱纸	胶水	kg	226.3
	电	kW·h	32
	损耗面纸底纸	张	100
	排放挥发性有机化合物	kg	0.4
模切	模切板	件	1
	混合电网	kW·h	15
	损耗裱合坑纸	张	100
	排放模切废料	kg	1285
打包运输	PP 捆扎带	kg	12.5
	混合电网	kW·h	1
废弃处置	焚烧	kg	2701.7

3 结果与讨论

3.1 特征化结果

用 EF 3.1 LCIA 方法对可循环直运快递纸箱进行环境影响分析, 如表 2 所示。从环境影响类别特征化结果可知, 在可循环直运快递纸箱生命周期过程中, 各阶段对环境足迹造成了不同程度的贡献。原料生产

中底纸和牛卡纸生产造成的气候变化结果为 3587.83 kg CO₂ eq., 其对整体气候变化结果有着突出贡献。每功能单位的可循环直运快递纸箱生命周期造成的总气候变化结果为 4436.88 kg CO₂ eq., 主要是由化石资源引起的气候变化 (4197.32 kg CO₂ eq.), 生物碳和土地转化引起的气候变化仅占极小部分, 如表 3 所示。

表 2 每功能单位可循环直运快递纸箱生命周期的环境影响类别特征化结果
Table 2 The environmental impact characterization results of recyclable direct-shipped courier cartons per functional unit

环境影响类型	单位	原料生产		原料运输	产品生产				废弃处置	共计
		底纸	牛卡纸		印刷	裱纸	模切	打包运输		
酸化	mol H ⁺ eq.	8.07	12.34	0.35	0.54	1.70	0.08	0.41	0.70	24.19
气候变化	kg CO ₂ eq.	1016.60	2571.23	171.74	106.13	307.82	15.14	174.00	74.22	4436.88
生态毒性	CTUe	5311.58	20 031.95	594.12	336.14	1398.92	37.05	561.24	4628.75	32 899.75
颗粒物	disease inc.	9.86 × 10 ⁻⁵	2.25 × 10 ⁻⁴	7.70 × 10 ⁻⁶	7.51 × 10 ⁻⁶	1.74 × 10 ⁻⁵	1.15 × 10 ⁻⁶	7.67 × 10 ⁻⁶	4.96 × 10 ⁻⁶	3.70 × 10 ⁻⁴
海水富营养化	kg N eq.	2.77	6.36	0.06	0.13	0.29	0.02	0.07	0.37	10.07
淡水富营养化	kg P eq.	1.72	9.76 × 10 ⁻¹	3.22 × 10 ⁻³	2.04 × 10 ⁻²	8.84 × 10 ⁻²	2.76 × 10 ⁻³	6.91 × 10 ⁻³	6.66 × 10 ⁻³	2.82
陆地富营养化	mol N eq.	27.29	37.15	0.62	1.22	2.99	0.18	0.76	3.21	73.42
人类致癌毒性	CTUh	1.94 × 10 ⁻⁷	6.13 × 10 ⁻⁷	4.96 × 10 ⁻⁹	3.85 × 10 ⁻⁹	1.14 × 10 ⁻⁸	1.51 × 10 ⁻¹⁰	4.86 × 10 ⁻⁹	1.16 × 10 ⁻⁸	8.44 × 10 ⁻⁷
人类非致癌毒性	CTUh	7.32 × 10 ⁻⁷	1.77 × 10 ⁻⁶	5.72 × 10 ⁻⁸	3.56 × 10 ⁻⁸	3.65 × 10 ⁻⁷	4.11 × 10 ⁻⁹	6.21 × 10 ⁻⁸	2.29 × 10 ⁻⁸	3.05 × 10 ⁻⁶
电离辐射	kBq U ⁻²³⁵ eq.	70.35	126.82	10.39	1.95	15.17	0.25	9.45	1.33	235.71
土地使用	Pt	298 735.12	87 882.53	10.62	350.84	374.18	16.07	20.79	62.95	387 453.10
臭氧消耗	kg CFC ⁻¹¹ eq.	8.81 × 10 ⁻⁵	2.13 × 10 ⁻⁴	3.85 × 10 ⁻⁵	6.11 × 10 ⁻⁶	2.22 × 10 ⁻⁵	6.60 × 10 ⁻⁸	3.31 × 10 ⁻⁵	6.16 × 10 ⁻⁶	4.07 × 10 ⁻⁴
光化学臭氧形成	kg NMVOC eq.	7.17	7.58	0.22	0.32	1.13	0.05	0.28	0.77	17.52
化石资源消耗	MJ	11 938.71	30 894.85	2404.00	1061.61	6277.53	137.84	2975.14	468.82	26 188.50
矿物资源消耗	kg Sb eq.	2.00 × 10 ⁻³	8.58 × 10 ⁻³	1.41 × 10 ⁻⁵	1.12 × 10 ⁻⁵	1.31 × 10 ⁻⁴	4.63 × 10 ⁻⁷	1.76 × 10 ⁻⁵	5.50 × 10 ⁻⁵	2.38 × 10 ⁻²
水资源消耗	m ³ world equiv.	529.85	903.44	0.92	15.41	338.01	1.57	12.38	94.73	1 896.31

表 3 气候变化分类结果
Table 3 Classification results of climate change

环境影响类型	单位	原料生产		原料运输	产品生产				废弃处置	共计
		底纸	牛卡纸		印刷	裱纸	模切	打包运输		
生物碳	kg CO ₂ eq.	20.30	194.66	0.02	0.02	0.24	0	0.04	0.18	215.46
化石碳	kg CO ₂ eq.	992.26	2361.27	171.72	101.50	307.46	15.14	173.95	74.02	4197.32
土地转化	kg CO ₂ eq.	4.04	1.53 × 10 ¹	2.13 × 10 ⁻³	4.61	1.19 × 10 ⁻¹	1.42 × 10 ⁻³	8.76 × 10 ⁻³	1.42 × 10 ⁻²	24.10

3.2 环境影响贡献类别分析

图 3 描述了按一定的权重比例对可循环直运快递纸箱生命周期的环境影响类别进行加权分析, 得到总环境影响潜值贡献情况。

从图 3 可知, 气候变化、化石资源消耗、颗粒物、淡水富营养化、土地使用、酸化 6 个环境足迹的贡献共计约 80%, 分别为 27%, 16%, 12%, 11%, 8%, 6%, 是主要的环境影响类别。

3.3 过程贡献分析

图 4 为基于环境影响加权基准值的可循环直运快递纸箱生命周期各阶段的环境影响。

从图 4 可知, 原料生产阶段对环境的影响远远大于产品生产、原料运输和废弃处置阶段, 故考虑更换更环保的原材料、优化结构等, 以减低环境影响。同时, 运输过程会消耗大量的柴油、排放尾气等, 这对最相关环境足迹也有一定的贡献, 故通过引进新能

源车来减少柴油消耗和尾气排放。

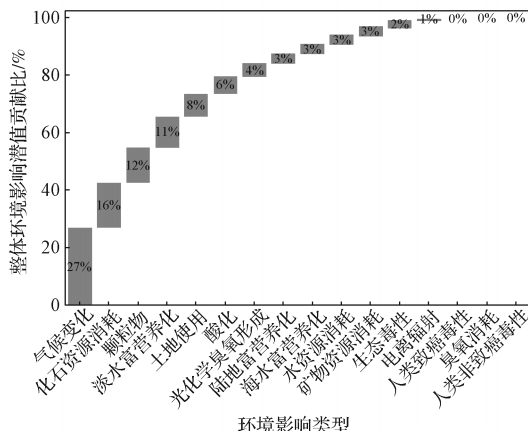


图3 可循环直运快递纸箱生命周期的环境影响潜值贡献比

Fig. 3 Contribution of environmental impacts in the whole life cycle of recyclable direct-shipped courier cartons

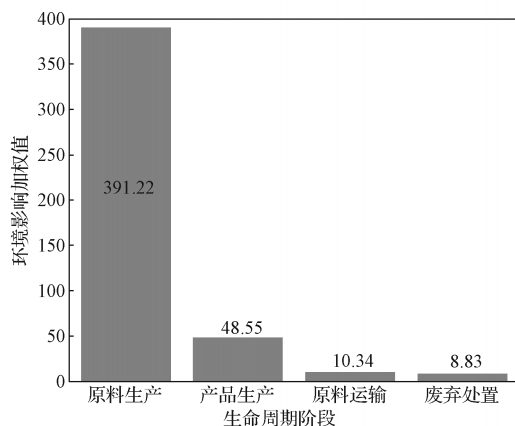


图4 可循环直运快递纸箱生命周期各阶段环境影响加权结果

Fig. 4 The weighted results of environmental impacts in each life cycle stage of recyclable direct-shipped courier cartons

图5为可循环直运快递纸箱产品生产阶段对最相关环境足迹（气候变化、化石资源消耗、颗粒物、淡水富营养化、土地使用、酸化）的影响。裱纸阶段对最相关环境足迹的贡献最大，是可循环直运快递纸箱生产过程中最相关的阶段。这主要是因为裱纸阶段消耗了大量的胶水，其主要成分水（质量分数65%）、丙烯酸丁酯-醋酸乙酯聚合物（质量分数33%）、脂肪醇聚氧乙烯醚（质量分数2%）对环境影响较大，故应考虑使用更环保的胶水，或优化生产工艺，降低可循环直运快递纸箱生产过程的各项环

境影响。为进一步降低胶水对各环境足迹的贡献、响应环保理念，循环直运快递纸盒采用翻折组装和锁定件锁定盒体，无需胶水粘贴，不消耗额外物料和能量。此外，产品生产阶段各过程对气候变化作出了不同的贡献，其中，裱纸、打包运输、印刷阶段较为突出。除去裱纸阶段胶水的影响，印刷和裱纸阶段均消耗了大量的电能，混合电网的生产消耗与温室气体排放、酸化气体释放以及化石资源消耗等密切相关。

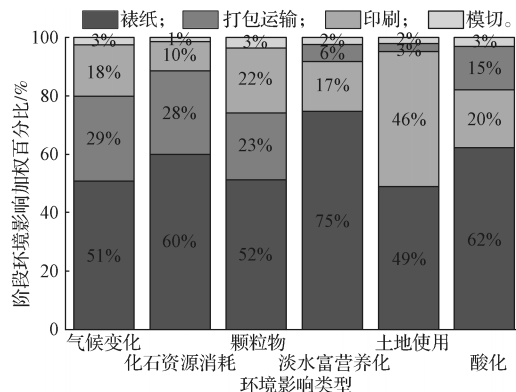


图5 可循环直运快递纸箱生产各过程环境影响占比
Fig. 5 Proportion of environmental impacts in each process of recyclable direct-shipped courier cartons

3.4 清洁能源转型对 LCA 结果的影响

图6为电力结构调整前后可循环直运快递纸箱生命周期的环境影响。数据来源于 Ecoinvent 背景数据库，具有中国地区代表性，包括了混合电网、风力发电和水力发电。

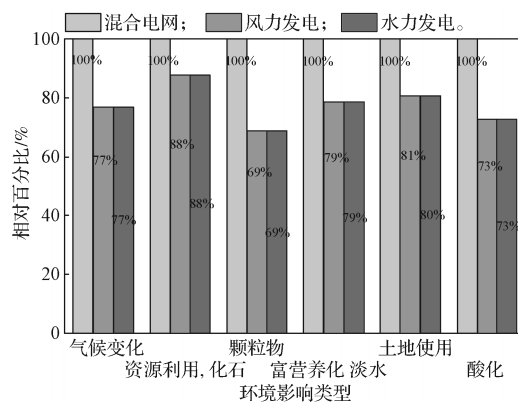


图6 不同电力供给方式所造成的环境影响对比
Fig. 6 Comparison of environmental impacts caused by different power supply modes

由图6可知，与混合电网相比，风力发电和水力发电对最相关环境足迹影响有较为明显的降低。采用混合电网的每功能单位可循环直运快递纸箱生产阶段

所产生的气候变化影响为 603.09 kg CO₂ eq., 采用风力发电或者水力发电后可减少至 463.80 kg CO₂ eq., 其他环境影响可降低约 12%~31%。在实际生产工艺中, 可以考虑推进清洁能源的使用^[15], 有效降低可循环直运快递纸箱生产过程中的碳排放及其他环境影响。

3.5 可循环直运快递纸箱的优势分析

假设可循环直运快递纸箱可完全循环使用, 采用 EF 3.1 LCIA 方法对比分析不同循环次数下可循环直运快递纸箱生产阶段的气候变化, 如图 7 所示。每功能单位可循环直运快递纸箱生产过程的气候变化影响为 603.09 kg CO₂ eq., 第一次循环使用后, 气候变化影响可减低约 50%, 随着循环次数增加, 可循环直运快递纸箱的环境优势更加明显。

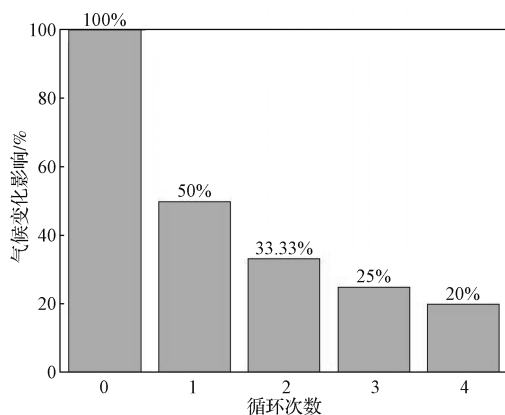


图 7 不同循环次数下直运快递纸箱的气候变化影响

Fig. 7 Climate change results for direct-shipped courier cartons with different cycle times

4 结论

本研究基于环境足迹 EF 3.1 LCIA 方法对可循环直运快递纸箱生命周期的环境影响结果进行特征化、标准化和加权分析, 得到以下结论:

1) 在从“摇篮到坟墓”的生命周期内, 气候变化、淡水富营养化、化石资源消耗、颗粒物、土地使用、酸化是最相关的环境问题。每功能单位的可循环直运快递纸箱生命周期造成的总气候变化影响为 4436.88 kg CO₂ eq.。

2) 基于环境影响加权基准值, 原料生产阶段对环境的影响远远大于其他阶段, 是可循环直运快递纸箱生命周期中最相关的阶段。因此, 在实际生产工艺中, 可以考虑更换更环保的原材料、优化结构等, 同时还要关注原纸到纸板的制备过程, 减低环境影响。

3) 在可循环直运快递纸箱生产过程中, 电能消

耗会直接造成二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、灰尘排放以及硬煤等化石资源的消耗, 是引起环境负担的主要原因之一, 故通过降低生产过程中的电能消耗或改变电力供给类型即采用清洁能源发电来降低气候变化等环境影响。

4) 随着可循环直运快递纸箱的循环使用次数增加, 环境优势更加明显, 气候变化影响可降低 50%~80%。推进可循环直运快递纸箱的使用、提高人们循环使用的意识, 能够有效减轻包装废弃物对环境的影响和污染。

在未来的研究中, 本课题组将深入探讨可循环直运快递纸箱从原纸到纸板的制备过程可能对环境造成的影响。同时, 也将与包装行业的相关企业保持积极的沟通和交流, 共同探讨有效的策略和措施, 以推动包装领域的可持续发展。

参考文献:

- [1] 郑湘明, 陈丽娜. 双碳背景下居民快递包装回收行为研究 [J]. 包装学报, 2024, 16(3): 8-17.
- [2] International Organization for Standardization. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines: ISO 14044[S]. Geneva: IOS, 2006: 1-2.
- [3] 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.
- [4] 陈 钢. 纸类产品的生命周期评价 [J]. 中国造纸, 2017, 36(6): 67-73.
- [5] 张卓然, 林勤保, 肖梓扬. 一次性纸杯生产过程的环境影响评价 [J]. 包装工程, 2022, 43(13): 275-281.
- [6] 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.
- [7] 赵晓迪. 废纸回收利用对中国造纸产业碳减排的影响研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [8] 赵国杰, 游亚杰, 黄起帅. 基于生命周期评价的瓦楞原纸产品碳足迹评价 [J]. 中国造纸, 2021, 40(8): 40-44.
- [9] 史 玉, 徐 凌, 陈 郁, 等. 基于 LCA 的聚乳酸快递包装环境友好性评价 [J]. 中国环境科学, 2020, 40(12): 5475-5483.
- [10] 任姝珩, 张 媛, 朱 磊, 等. 循环包装箱全生命周期碳足迹计算方法研究 [J]. 包装工程, 2023, 44(13): 245-252.
- [11] International Organization for Standardization. Environmental Management—Life Cycle Assessment—

- Principles and Framework: ISO 14040[S]. Geneva: IOS, 2006: 1–2.
- [12] ZAMPORI L, PANT R. Suggestions for Updating the Product Environmental Footprint (PEF) Method[R]. Segovia: Joint Research, 2019: 6–10.
- [13] HERRMANN I T, MOLTESEN A. Does It Matter which Life Cycle Assessment (LCA) Tool You Choose?: A Comparative Assessment of SimaPro and GaBi[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 86: 163–169.
- [14] CRENNNA E, SECCHI M, BENINI L, et al. Global Environmental Impacts: Data Sources and Methodological Choices for Calculating Normalization Factors for LCA[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2019, 24(10): 1851–1877.
- [15] 李甫印, 张 暖, 林勤保, 等. 基于生命周期评价的纸浆模塑天地盖礼盒环境影响分析[J]. 包装学报, 2024, 16(5): 43–51.
- (责任编辑: 邓 彬)

Life Cycle Assessment of Recyclable Direct-Shipped Courier Cartons

LI Fuyin^{1,2}, ZHANG Nuan¹, YANG Qinghua³, LIN Qinbao¹

(1. Institute of Packaging Engineering, Jinan University, Zhuhai Guangdong 519070, China;

2. Zhongrong Printing Group (Zhongshan) Co., Ltd., Zhongshan Guangdong 528403, China;

3. Zhili Technology (Guangdong) Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: In accordance with the EU Product Environmental Footprint (PEF) methodology, the life cycle of recyclable direct-shipped courier cartons was assessed using SimaPro software to explore the environmental benefits of recycling. The EF 3.1 Life Cycle Impact Assessment (LCIA) method was employed to analyze 16 categories of environmental footprint and interpret the life cycle impacts. The findings indicate that the climate change, freshwater eutrophication, fossil resource depletion, particulate matter formation, land use, and acidification are the most significant environmental impacts on the life cycle of recyclable direct-shipped courier cartons, accounting for over 80% of the overall environmental impacts. The lifecycle of 10 000 sets of recyclable direct-shipped courier cartons results in a climate change impact of 4436.88 kg CO₂ eq. The primary environmental burden originates from the raw material production phase, followed by the product manufacturing phase, with lamination, printing, packaging, and transportation being the most relevant stages in the production process. After 1 to 5 cycles, the climate change impacts can be reduced by 50% to 80%. The environmental impacts of recyclable direct-shipped courier cartons can be effectively mitigated by optimizing the structure and materials of the cartons, minimizing raw material consumption and electricity usage during production, and utilizing clean energy.

Keywords: life cycle assessment (LCA); recyclable direct-shipped courier carton; environmental impact; climate change