

0201 型瓦楞纸箱生命周期不同阶段的环境影响评价

王璟瑶, 吴金卓, 龙占璐
(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:目的 对常用的 0201 型瓦楞纸箱进行生命周期环境影响评价, 并对不同回收处理方案所得的环境负荷进行比较。方法 应用生命周期评价理论和 SimaPro 8.5 软件, 采用 Eco-indicator99 生态指数分析法对瓦楞纸箱从原料获取、生产、运输、使用到废弃处理整个过程进行环境影响评价。结果 当回收利用率达到 70% 时, 每功能单位的瓦楞纸箱全生命周期产生的环境负荷的单一值为 8.91, 其中生产阶段所产生的环境负荷最大, 约为 3.39; 运输阶段次之, 约为 2.89; 废弃阶段为 2.63。当回收利用率仅达 45% 时, 每功能单位瓦楞纸箱的环境负荷增加至 9.33, 相较之下环境负荷增长了 4.71%。结论 提高瓦楞纸箱的回收利用率将有助于降低对环境的负面影响。

关键词: 生命周期评价; 功能单位; 瓦楞纸箱; 环境负荷

中图分类号: TS88 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)05-0096-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.012

Environmental Impact Assessment on Different Life Cycle Stages of Style 0201 Corrugated Cases

WANG Jing-yao, WU Jin-zhuo, LONG Zhan-lu
(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: The work aims to assess the environmental impact of the life cycle of style 0201 corrugated cases and compare the environmental loads from different disposal solutions. The life cycle assessment theory and SimaPro 8.5 software were used and the Eco-indicator99 ecological index analysis method was applied to evaluate the life cycle processes from raw materials acquisition, production, transportation, use to disposal process. The single environmental impact value per functional unit corrugated cases was 8.91 when the recycling rate reached 70%. The maximum environmental impact was generated during the production phase and was about 3.39, which was followed by that in the transportation phase (2.89) and the disposal phase (2.63). When the recycling rate was only 45%, the environmental impact per functional unit corrugated cases increased to 9.33, increasing by 4.71% compared to the case of 70% recycling rate. Improving the recycling rate can facilitate the decrease of the negative impact of corrugated cases in the life cycle process.

KEY WORDS: life cycle assessment; functional unit; corrugated cases; environmental impact

据统计,我国每年有 40% 左右的纸类产品应用于包装行业^[1-2]。当这些纸类包装完成或者失去保护和功能之后,便成为固体废弃物。目前,我国每年产生的包装废弃物以超过 12% 的速度增长,预计到 2020 年总量将达到 6300 万 t 左右^[3-4]。如此之多的

包装废弃物必然会对环境造成严重的负面影响。随着可持续发展的深化,绿色包装或环境友好包装逐渐为人们所认可,即从原材料选择、产品生产、使用、回收至废弃的整个过程都要符合环境保护的要求。目前,在我国运输包装中瓦楞纸箱的用量已占据首位。

收稿日期: 2018-10-08

基金项目: 国家自然科学基金 (31400539)

作者简介: 王璟瑶 (1995—), 女, 东北林业大学硕士生, 主攻物流供应链管理。

通信作者: 吴金卓 (1980—), 女, 博士, 东北林业大学副教授, 主要研究方向为物流与供应链管理。

图1 瓦楞纸箱生命周期系统边界
Fig.1 System boundary of the life cycle of corrugated cases

1.2 清单汇总

清单分析是对瓦楞纸箱生命周期内的能源、资源消耗以及使用过后各类污染物排放等数据进行量化的过程^[16]。文中采用的数据主要来自于某造纸厂、相关杂志和 SimaPro 软件自身所带数据库 ELCD, Agri-footprint-gross Energy Allocation 及 USLCI 等。在各个阶段的运输过程中,设定空载率为 50%。

1.2.1 原料获取和产品生产阶段

1) 原材料清单。每功能单位瓦楞纸箱的原材料清单见表 1。设定水稻秸秆收集谷草比为 0.97,水稻亩产量为 0.5 t,秸秆出浆率为 50%,每 1.1 t 纸浆可以制 1 t 瓦楞纸。在原材料收集过程中,使用单位耗油量为 7.56 L/100 km 的收割机。

表 1 瓦楞纸箱原材料清单
Tab.1 Raw materials list of corrugated cases

原材料	消耗量/kg
水稻秸秆	110
钉	0.62
淀粉	8.6655
NaOH	0.085
乳胶	1.0235

2) 生产工艺流程。0201 型瓦楞纸箱的生产工艺流程见图 2。

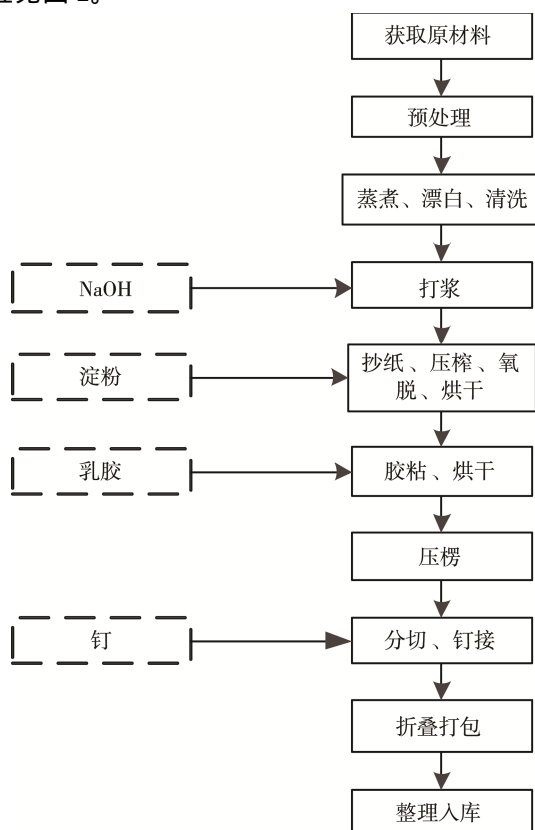


图 2 瓦楞纸箱生产工艺流程

Fig.2 Flow chart of corrugated cases production process

生产阶段主要是电能输入,制纸废水由城市污水处理厂集中处理,算入瓦楞纸箱的生产阶段。各个阶段的柴油消耗会产生大量的气体排放。根据国家计委发表的能源折合表,将电能和柴油的使用量转换为标准煤。由于每千克煤燃烧的排放量都是一定的,因此可以近似得出每功能单位下的气体排放量。每度电折合标准煤为 0.404 kg,每升柴油折合标准煤为 1.4571 kg。每消耗 1 t 标准煤所产生的气体排放量见表 2。

表 2 标准煤气体排放量
Tab.2 Gas emissions for standard coal

污染物排放	每吨标准煤排放量/(kg·t ⁻¹)
CO ₂	3300
NO _x	8.72
CO	0.598
CH ₄	0.0181
SO ₂	18.5

使用载质量小于 1 t、单位耗油量为 2.2 L/(t·km) 的柴油卡车运输原材料。载质量为 110 kg,设定运输距离为 200 km,即原材料运输过程共耗油 44 L。工厂运作主要消耗电能。每功能单位的瓦楞纸箱加工过程中耗电 1.415 kW·h。生产阶段中主要污染物排放清单见表 3。

表 3 生产阶段污染物排放清单
Tab.3 Pollutant emission inventory during the production process

污染物排放	排放量/kg
CO ₂	224.5183
NO _x	0.5649
CO	0.0387
CH ₄	0.0012
SO ₂	1.1994
烟尘	0.0004

将分切之后的瓦楞纸箱侧边钉接后折叠,打包整理入库,最终在用户处进行最终组装。生产过程中的边角余料可以处理后重新用于制备瓦楞纸板。

1.2.2 产品运输阶段

产品运输阶段指瓦楞纸箱成品运送至用户手中的过程。文中假定使用单位耗油量为 2.2 L/(t·km) 的柴油卡车,运距为 100 km,每功能单位瓦楞纸箱总质量为 50 kg,消耗柴油 22 L。运输阶段的污染物排放清单见表 4。

1.2.3 产品废弃阶段

文中在研究过程中采用 2 种废弃处理方案:假定回收复用率为 70%,焚烧处理部分占比 30%;假定回收复用率为 45%,焚烧处理部分占比 55%。废弃阶段

表 4 运输阶段污染物排放清单
Tab.4 Pollutant emission inventory during the transportation process

污染物排放	排放量/kg
CO ₂	105.7855
NO _x	0.2795
CO	0.0192
CH ₄	0.0006
SO ₂	0.593

通过 SimaPro 8.5 软件自带的相关处理方式分析。设定废弃阶段运距为 100 km。

1.3 影响评价

根据 ISO14000 的方法框架，清单分析的结果是大量量化的环境影响数据。显然，单凭这些纷繁复杂的数据难以对不同产品系统及其设计方案做出有效的评价，因此，有必要根据清单分析的结果做出进一步的环境影响评价，即做出环境属性优劣的评价。

利用 LCA 专业软件 SimaPro 8.5，选用 Eco-indicator99 生态指数分析方法对 0201 型瓦楞纸箱生

命周期环境影响进行评价。此方法将环境影响划分为致癌物、有机物对呼吸道影响、无机物对呼吸道影响、气候变化、辐射、臭氧层、生态毒性、酸化/富营养化、土地使用、矿产以及化石燃料等 11 小类，可分别归入生态环境、资源消耗和人体健康等 3 大类别损害中。对瓦楞纸箱的每种影响类型进行特征化、归一化与加权、单一值分析，得到一系列数值结果，对这些数据进行计算，从而得到每功能单位瓦楞纸箱的生态环境指标分数。

2 结果与分析

2.1 0201 型瓦楞纸箱生命周期全过程的环境负荷

采用废弃处理方案 1（复用率为 70%）的瓦楞纸箱生命周期全过程的环境负荷见图 3。物质能量输入输出所设的截至值为 1.2%，环境影响小于截至值的不会显示。由图 3 可知，0201 型瓦楞纸箱生命周期全过程所产生的环境负荷为 8.91，其中运输阶段的环境负荷最大为 3.67；生产阶段次之，约为 3.39；废弃

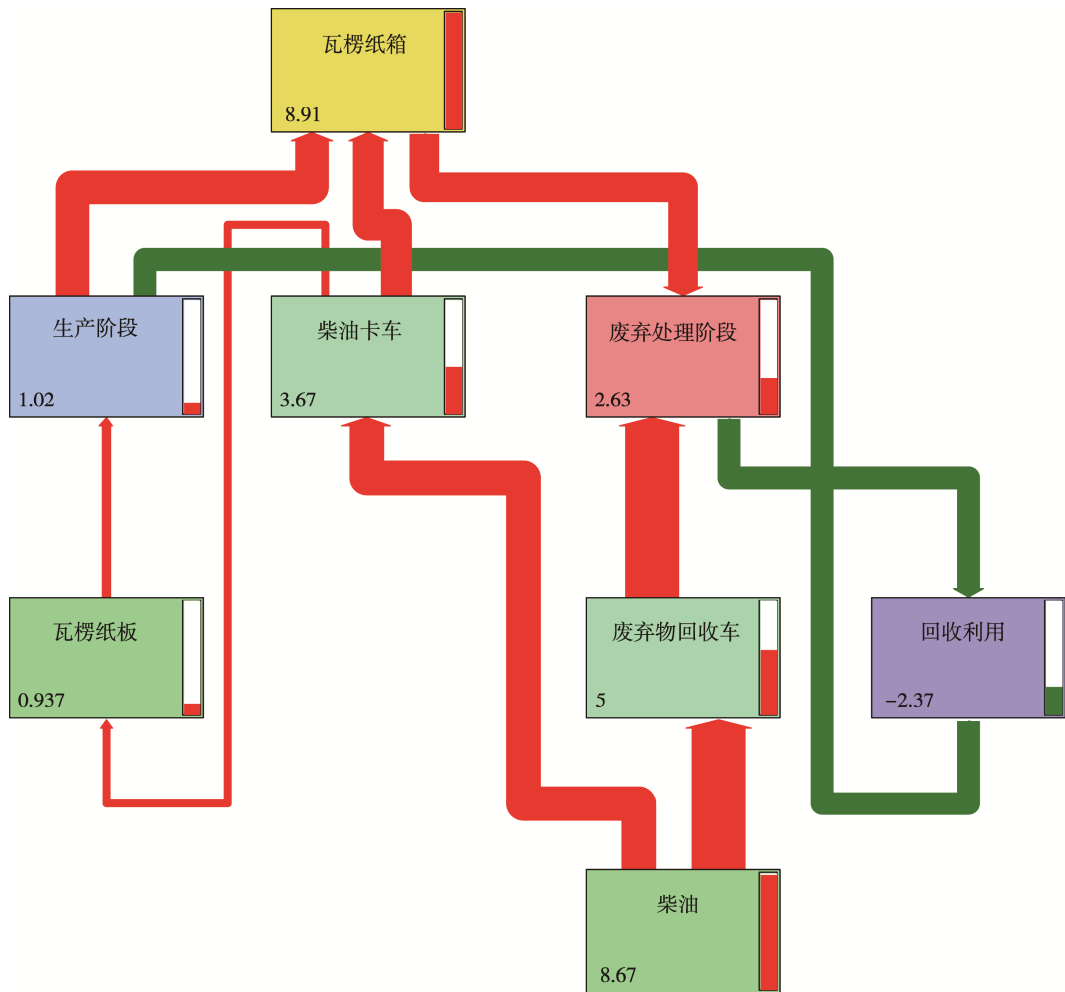


图 3 生命周期全过程的环境负荷
Fig.3 Environmental load of the entire life cycle

阶段为 2.63, 其中进行回收处理的瓦楞纸箱环境负荷为-2.37, 带来的环境效益为-26.6%。从整体上看, 在瓦楞纸箱生命周期中, 主要的环境负荷来源于运输作业所消耗的柴油。

2.2 瓦楞纸箱的环境影响评价

2.2.1 特征化

清单分析结果必须经过特征化才能将每一个影响类型中的不同物质转化为统一单位的数值^[17]。利用 SimaPro 8.5 软件计算出各影响类型特征化结果, 以图的形式具体展现每功能单位瓦楞纸箱生命周期各阶段环境影响所占比例 (见图 4)。由图 4 可知, 在瓦楞纸箱生产阶段, 无机物对呼吸道影响、气候变化及酸化/富营养化等 3 方面对环境的影响超过 30%, 其余几个方面的影响达 100%。在运输阶段, 无机物对呼吸道影响、气候变化、酸化/富营养化这 3 方面的影响均超过 30%, 其余 8 类影响较小。废弃阶段瓦楞纸箱的复用率高达 70%, 主要的环境影响来自于废弃物运输过程中的柴油消耗, 无机物对呼吸道影响、气候变化、酸化/富营养化这 3 方面的影响均超过 30%, 其余影响均为-70%。

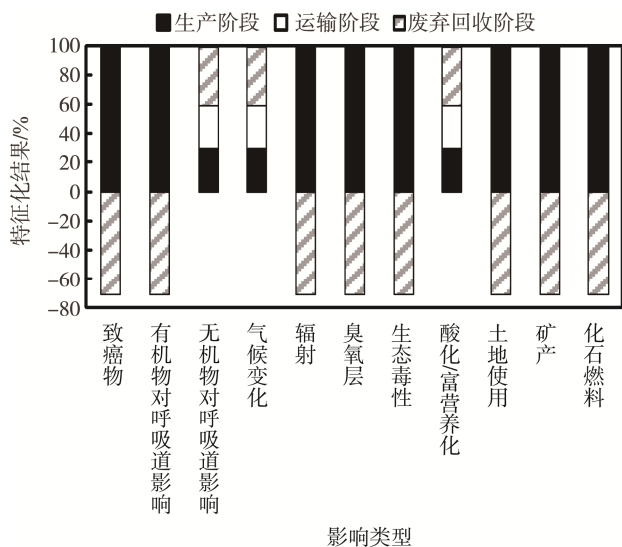


图4 各个阶段影响类型相对特征化结果比较

Fig.4 Comparison of characterization results for impact types at each stage

2.2.2 归一化与加权

利用 SimaPro 8.5 软件将各个影响类型的特征化结果归一化为基准值, 得出瓦楞纸箱生命周期各阶段归一化结果。对结果进行加权处理, 就可以得到这 11 类影响类别的影响大小及环境负荷值, 见图 5。每功能单位瓦楞纸箱对环境的影响排名前 3 的分别是无机物对呼吸系统的影

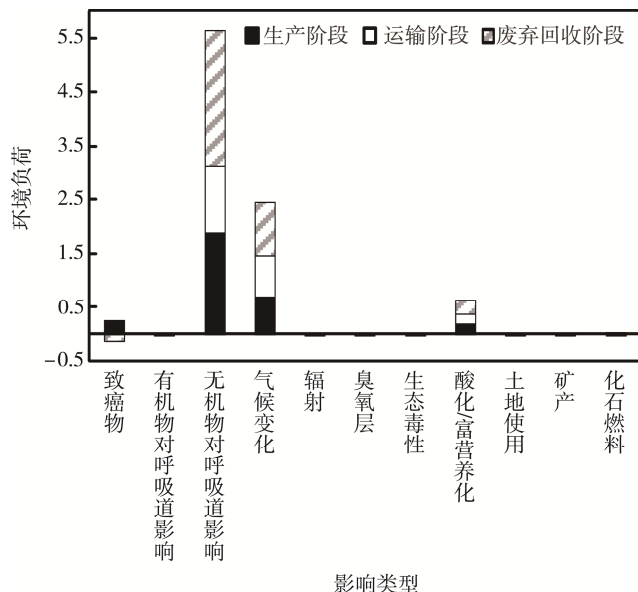


图5 各阶段环境影响类型加权结果

Fig.5 Weighted results for impact types at each stage

2.2.3 单一值评价结果

将 11 类影响类型归到人体健康、生态环境和资源消耗等 3 大类别损害中, 可知 0201 型瓦楞纸箱生命周期的 3 大类别损害值依次是人体健康 (8.25)、资源消耗 (0.0672)、生态环境 (0.592)。求和得到每功能单位瓦楞纸箱的生态环境指标值是 8.91。

2.3 不同废弃处理方案环境负荷对比分析

考虑到全国各地区对各种运输包装材料的废弃回收处理水平不一样, 文中采用 2 种废弃处理方案。其中对每千克瓦楞纸箱进行焚烧处理的主要污染物排放清单见表 5。

表5 焚烧处理污染物排放清单
Tab.5 Pollutant emission inventory during the incineration disposal

污染物排放	排放量/kg
CO ₂	1.0317
NO _x	0.2795
CO	0.0003
CH ₄	微量
SO ₂	0.0019

按照这 2 种废弃处理方案运行 SimaPro 软件, 得到新的环境负荷, 比较结果见表 6。

由表 6 可知, 每功能单位 0201 型瓦楞纸箱废弃回收处理的比例变化使得 2 种处理方案对环境的环境负荷相差 0.42。

2.4 不确定性分析

由于瓦楞纸箱在各个阶段的运输距离是假定的,

表 6 2 种方案下生命周期评价结果
Tab.6 Life cycle assessment results under two options

损害类型	废弃处理方案1 环境负荷	废弃处理方案2 环境负荷
总和	8.91	9.33
人体健康	8.25	8.64
生态环境	0.0672	0.612
资源消耗	0.592	0.0829

表 7 运输距离不确定性分析结果
Tab.7 Uncertainty analysis results of different transportation distance

损害类别	平均数	中值	SD	CV	SEM
单一记分	9.33	9.33	0.0175	0.187%	0.000 174
资源消耗	0.83	0.83	0.002 85	3.43%	0.000 028 4
人体健康	8.64	8.64	0.007 88	0.0912%	0.000 078 5
生态环境	0.612	0.612	0.0149	2.43%	0.000 148

注：SD 为标准偏差，CV 为离散系数，SEM 为平均标准误差

0.000 078 5。单一值的概率分布见图 6，可以看出，尽管选取了 95%的置信区间，但损害类型的结果分散程度并不是很大，单一值 95%的置信区间为（9.3，9.37），平均值 9.33，基本可以代替上述分布，由此可见该评价结果的准确性较高。

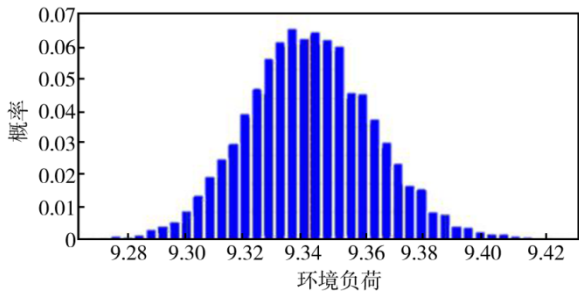


图 6 单一值概率分布
Fig.6 Distribution map of single value probability

3 结语

- 1)每功能单位 0201 型瓦楞纸箱的复用率为 70% 时，人体健康、生态环境和资源消耗的环境负荷分别为 8.25，0.0672 和 0.592，求和得到每功能单位瓦楞纸箱生命周期评价整体环境负荷是 8.91。分析可知，瓦楞纸箱生命周期对人体健康影响最大，对资源消耗的影响次之，对生态环境的影响最小。
- 2) 废弃回收阶段复用率为 45%时，每功能单位瓦楞纸箱产生的环境负荷为 3.23；复用率为 70%时，产生的环境负荷为 2.63，结果表明提高瓦楞纸箱复用率可以降低环境负荷，更具环境友好性。
- 3) 瓦楞纸箱带来的环境负荷主要源于各个阶段的柴油消耗，推动绿色交通燃料的研发和使用会大幅

因此文中利用 SimaPro 软件中的蒙特卡洛方法分析运输距离的不确定性对评价结果的影响。相关结果出现的概率分布采用正态分布函数，分布的置信区间为 95%。不确定性的分析结果见表 7。

由表 7 可知，单一记分、资源消耗、人体健康和生态环境的平均标准误差均较低。其中，人体健康 95%的置信区间为（8.63，8.65），平均值为 8.64，中值为 8.64，标准偏差为 0.007 88，平均标准误差为

度降低其对环境的影响。由于 LCA 方法在我国瓦楞纸箱等包装材料领域的应用研究尚处于空白阶段，因此该研究中瓦楞纸箱废弃阶段的数据采用软件所带的数据库。在清单分析过程中，对数据的处理还不够细致，这些会对最后的结果产生一定的误差。此外，从生命周期角度出发对包装材料进行经济评价分析也是将来值得研究的方向。

参考文献：

[1] 刘岩. 基于生态理论的物流产业成长研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
LIU Yan. Research on Logistics Industry Growth Based on Ecological Theory[D]. Changchun: Jilin University, 2014.

[2] 余汉生, 陈瑶. 智能垃圾分类回收系统设计应用研究[J]. 包装工程, 2018, 39(18): 154—159.
YU Han-sheng, CHEN Yao. Design and Application of Intelligent Waste Sorting and Recycling System[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(18): 154—159.

[3] 商务部. 中国再生资源回收行业发展报告 2017[J]. 资源再生, 2017(5): 16—25.
Department of Commerce. Report of China Renewable Resource Recycling Industry Development 2017[J]. Resource Recycling, 2017(5): 16—25.

[4] 乔洁, 冯从从. 优化包装设计实现废弃物源头减量[J]. 包装工程, 2018, 39(18):34—38.
QIAO Jie, FENG Cong-cong. Optimized Packaging Design to Achieve Waste Source Reduction[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(18): 34—38.

[5] REBITZER G, EKVALL T, FRISCHKNECHT R, et al. Life Cycle Assessment: Part 1: Framework, Goal and Scope Definition, Inventory Analysis, and Applica-

- tions[J]. *Environment International*, 2004, 30(5): 701—720.
- [6] 沈建, 吴金卓, 林文树. 锯材产品生命周期影响环境的评价方法与应用[J]. *东北林业大学学报*, 2014, 42(10): 135—140.
SHEN Jian, WU Jin-zhuo, LIN Wen-shu. Life Cycle Impact Assessment and Its Application of Sawn Timber Product[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2014, 42(10): 135—140.
- [7] 王玉涛, 王丰川, 洪静兰, 等. 中国生命周期评价理论与实践研究进展及对策分析[J]. *生态学报*, 2016, 36(22): 7179—7184.
WANG Yu-tao, WANG Feng-chuan, HONG Jing-lan, et al. The Development of Life Cycle Assessment Theory Research in China and Analysis of Countermeasures[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7179—7184.
- [8] 张滨. 发达国家绿色物流的发展及其对中国对外贸易的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
ZHANG Bin. The Development of Life Cycle Assessment Theory Research in China and Analysis of Countermeasures[D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [9] CARLA B, CARMEN F, CARMELA M, et al. LCA of an Ice Cream Cup of Polyethylene Coated Paper: How Does the Choice of the End-of-life Affect the Results?[J]. *Environmental Technology*, 2017, 10(7): 1—10.
- [10] XIE M, QIAO Q, SUN Q, et al. Life Cycle Assessment of Composite Packaging Waste Management—a Chinese Case Study on Aseptic Packaging[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, 18(3): 626—635.
- [11] SCIPIONI A, NIERO M, MZAAI A, et al. Significance of the Use of Non-renewable Fossil CED as Proxy Indicator for Screening LCA in the Beverage Packaging Sector[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, 18(3): 673—682.
- [12] FINNVEDEN G, EKVALL T. Life-cycle Assessment as a Decision-support Tool—the Case of Recycling Versus Incineration of Paper[J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 1998, 24(3): 235—256.
- [13] 孙宏岭, 武文斌. 物流包装实务[M]. 北京: 中国财富出版社, 2014.
SUN Hong-ling, WU Wen-bin. *Logistics Packaging Practice*[M]. Beijing: China Fortune Press, 2014.
- [14] GB/T 6543—2008, 运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱[S].
GB/T 6543—2008, Single and Double Corrugated Boxes for Transport Packages[S].
- [15] 王玉. 工业化预制装配建筑的全生命周期碳排放研究[D]. 南京: 东南大学, 2016.
WANG Yu. Whole Life Cycle Carbon Emissions Research of Industrialized Precast Construction[D]. Nanjing: Southeast University, 2016.
- [16] 葛振香. 基于 LCA 的山东省造纸业可持续发展研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2017.
GE Zhen-xiang. Research on Sustainable Development of Shandong Paper Industry Based on LCA[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2017.
- [17] 孔琳琳, 吴金卓, 董希斌, 等. 低质林改造对资源消耗及生态环境的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2017, 45(12): 1—7.
KONG Lin-lin, WU Jin-zhuo, DONG Xi-bin, et al. Effect of Low-quality Forest Transformation on Resources Consumption and Ecological Environment[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2017, 45(12): 1—7.