

缓冲与隔振

## 两款木包装箱的生命周期影响分析及对比

巩桂芬<sup>a, b, c</sup>, 李想<sup>a, b, c</sup>

(陕西科技大学 a.陕西省造纸技术与特种纸品开发重点实验室 b.中国轻工业纸基功能材料重点实验室  
c.轻化工程国家级实验教学示范中心, 西安 710021)

**摘要:** **目的** 研究木包装箱在全生命周期过程中对环境的影响, 对比钢边箱和传统木箱对环境的影响。**方法** 通过全生命周期分析软件 eBalance 分析 2 款木包装箱从产品生产、物流运输到使用后的废物管理整个生命周期的物耗、能耗及向环境中的排放, 对其数据清单进行分类、特征化和归一化计算, 得到木包装箱 3 个流程的主要环境影响类型和对应指标值。**结果** 传统木箱在产品生产、物流运输和废物管理流程的 LCIA 加权综合指标分别为  $6.87514 \times 10^{-9}$ ,  $1.93549 \times 10^{-12}$ ,  $5.20 \times 10^{-13}$ , 其中胶合板生产在产品生产过程中的占比为 99.86%, 胶合板处理在废物管理过程中的占比为 99.82%; 钢边箱在产品生产、物流运输和废物管理流程的 LCIA 加权综合指标分别为  $6.53463 \times 10^{-9}$ ,  $3.57256 \times 10^{-13}$ ,  $2.96531 \times 10^{-13}$ , 其中胶合板生产在产品生产过程中的占比为 97.43%, 胶合板处理在废物管理过程中的占比为 99.38%; 钢边箱对环境影响的总量比传统木箱小约 5%。**结论** 木包装箱全生命周期的环境影响主要体现在胶合板的生产和废物管理过程中, 木包装箱在设计、生产加工、运输、废弃物处理等方面都有较大的改进余地, 钢边箱比传统木箱更具有环境友好性, 对木包装箱绿色化的生产设计具有参考意义。

**关键词:** 钢边箱; 传统木箱; 生命周期评价; 环境影响

**中图分类号:** TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)05-0134-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.05.017

## Impact Analysis and Comparison of Two Wooden Packaging Boxes during Life Cycle

GONG Gui-fen<sup>a, b, c</sup>, LI Xiang<sup>a, b, c</sup>

(a.Shaanxi Provincial Key Lab of Papermaking Technology and Specialty Paper Development

b.Key Laboratory of Paper Based Functional Materials of China National Light Industry

c.National Demonstration Center for Experimental Light Chemistry Engineering Education,  
Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the environmental impacts of wooden packaging boxes during the whole life cycle, and compare the impacts of steel-edge boxes and traditional wooden packaging boxes on the environment. The eBalance was used to analyze the material consumption, energy consumption and emission to the environment of the two wooden packaging boxes during the whole life cycle from product manufacturing, logistics transportation to waste disposal after use. The data list was classified, characterized and normalized to obtain the environmental impact types and corresponding index values of wooden packaging boxes in the three main processes. The LCIA weighted comprehensive indexes of

收稿日期: 2020-09-03

基金项目: 国家自然科学基金(51575327); 陕西省教育厅重点实验室及基地项目(16JS014); 陕西省教育厅 2014 陕西本科高校专业综合改革试点子项目(陕教高[2014]16号)

作者简介: 巩桂芬(1974—), 女, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为缓冲包装动力学、运输包装及包装结构设计。

traditional wooden packaging boxes in product manufacturing, logistics transportation and waste disposal processes were respectively  $6.87514 \times 10^{-9}$ ,  $1.93549 \times 10^{-12}$  and  $5.2010^{-13}$ , in which plywood production accounted for 99.86% in the product manufacturing process, and plywood treatment accounted for 99.82% in the waste disposal process. The LCIA weighted comprehensive indexes of steel-edge boxes in product manufacturing, logistics transportation and waste disposal processes were respectively  $6.53463 \times 10^{-9}$ ,  $3.57256 \times 10^{-13}$  and  $2.9653110^{-13}$ , in which plywood production accounted for 97.43% in the product manufacturing process, and plywood treatment accounted for 99.38% in the waste disposal process. The impact of steel-edge boxes on the environment was about 5% smaller than that of traditional wooden packaging boxes. The environmental impact of wooden packaging boxes during the whole life cycle is mainly reflected in the production and waste disposal process of plywood. Wooden packaging boxes have great space for improvement in design, production, transportation, waste disposal and other aspects. Steel-edge boxes are more environmentally friendly than traditional wooden packaging boxes, which has reference significance for green production design of wooden packaging boxes.

**KEY WORDS:** steel-edge boxes; traditional wooden packaging boxes; life cycle assessment (LCA); environmental impact

近几年,各种包装物的消费量迅速增加,引起的环境问题日益受到关注。木箱是典型的包装物之一,因此需要探究其生产过程中所用原材料、生产工艺等,对其进行生命周期研究,推进木包装箱绿色化。常用的木包装箱不仅有传统木箱,还有钢边箱。钢边箱是新发展的一种木包装箱结构,一般都使用胶合板和钢带压合而成。文中针对某变压器的这 2 种类型木包装箱,采用生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)方法研究木箱全生命周期的环境影响,并将传统木箱和钢边箱对环境的影响进行对比分析。

## 1 生命周期评价的定义、技术框架

### 1.1 定义

在 GB/T 24040—2008 中,生命周期评价被定义为“对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价”。它可以用来定性分析,如比较改进包装工艺前后环境污染物排放程度或对比几种包装产品对环境造成的影响;也能用来评价生产包装产品时,每个环节的污染对环境造成的影响,从而调整生产过程的工艺和包装材料等<sup>[1-3]</sup>。

### 1.2 技术框架

生命周期评价一般包含 4 个常用步骤:第 1 步是确定目的和范围,即要确定 LCA 的目标、范围和系统边界;第 2 步是分析生命周期清单,即确定输入和输出的数量,进而形成清单表;第 3 步就是生命周期影响评价(life cycle impact assessment, LCIA),LCIA 包括特征化、归一化、分组、加权等,为生命周期解释阶段提供必要的信息;第 4 步是对得到的结果进行解释,进而得到相应的结论或建议<sup>[4]</sup>。

## 2 传统木箱 LCA 过程

### 2.1 目标与范围的确定

文中所选传统木箱外尺寸为 1228 mm×888 mm×1154 mm,质量为 106 kg。以这个木包装箱做为一个功能单位,来分析它在整个生命周期内消耗的资源,以及污染物的排放。一般情况下,照顾到产品的全生命周期,应该包括 5 个过程:原材料的生产与制造、产品的生产和加工、储运过程、使用与维护、废弃和再利用过程<sup>[5-6]</sup>。木包装箱有别于其他产品,它的使用主要是在运输过程中体现,故将木箱的使用和维护阶段合并并在运输过程中。由于木包装箱大多使用一次即废弃,故暂不考虑循环再利用。由以上假定,形成传统木箱全生命周期简要流程,见图 1。

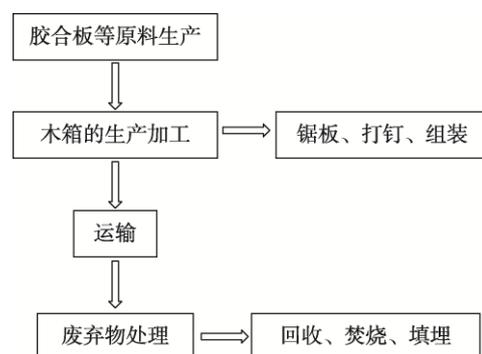


图 1 传统木箱生命周期简要流程  
Fig.1 Brief process of traditional wooden packaging boxes during life cycle

### 2.2 清单分析

此次调查研究的传统木箱生产加工过程相关数

据通过对相关大型生产企业调研获得, 对其进行整合与归类后, 形成的清单见表 1。

表 1 传统木箱清单  
Tab.1 List of traditional wooden packaging boxes

原料质量/kg			能源消耗量	
胶合板	EPE	铁钉	电/kW	柴油/kg
103.783	0.244	1.766	1.3	30.22

其他流程的数据如胶合板生产制造过程数据主要参照相关文献<sup>[7-8]</sup>。原料、辅料的生产, 能源(煤、电)和废弃物处理的过程数据, 来源于中国生命周期基础数据库, 还有国外的 Ecoinvent 数据库、欧盟生命周期基础数据库这三大权威数据库<sup>[9-10]</sup>。

考虑交通运输的柴油能源消耗时, 文中参考了其他一些相关文献及通用数据<sup>[11-12]</sup>, 选择了一种货车做出如下假设: 货车在满载时每 100 km 消耗柴油 20 L; 货车在空车时所消耗的柴油为满载时的 2/3; 货车最大载质量为 18 t。货车在实际运输过程中的柴油消耗总量, 和它的最大运输量、实际运载量以及是否返空有关<sup>[13]</sup>。

### 2.3 影响评价

运用全生命周期分析软件 eBalance 来处理此木包装箱每个过程的资源消耗和污染排放, 得到相关的

环境影响值。

#### 2.3.1 类型参数结果的计算(特征化)

利用特征化指标将清单分析结果换算成通用单位, 并把同一类型的换算结果累加, 清单数据就被转化为各个环境影响类型的指标结果。该研究使用的指标为 eBalance 软件数据库中内置的常用的 10 多种 LCIA 特征化指标, 计算结果见表 2。

这样, 就将每一个影响类目中的不同物质转化和汇总成为了统一的单元。

#### 2.3.2 根据基准计算类型参数结果的相对值(归一化)

归一化是为了更好地认识所研究的产品系统中每个参数结果的相对大小, 即通过选定特定范围内的排放总量或资源消耗总量作除数对参数结果进行转化。在该过程中, 收集各影响类型归一化基准值的主要贡献物质在中国范围内 2010 年的排放或消耗总量。排放量来自中国环境统计年鉴和国际应用系统分析研究所的统计数据。通过完整的归一化指标的计算, 结果见图 2。

#### 2.3.3 加权

为实现量化, 通常对数据采用加权或分级的方法进行处理。加权是使用基于价值选择所得到的数值因子对不同影响类型的参数结果进行转化的过程。权重因子反映了社会价值和偏好, 可通过专家打分、危害的经济价值和相关的环境标准等给出, 也可以结合多

表 2 传统木箱 LCIA 特征化指标  
Tab.2 LCIA characteristic index of traditional wooden packaging boxes

简称	中文名称	单位	产品生产	物流运输	废物管理
ADP	非生物资源消耗潜值	kg-antimony-eq	0.006 34057	4.76×10 <sup>-6</sup>	3.82×10 <sup>-7</sup>
AP	酸化潜值	kg-SO <sub>2</sub> -eq	1.302 080124	0.001 088 489	0.000 530 797
CADP(fossil fuel)	中国化石能源消耗潜值	kg-Coal-R-eq.	4444.564 323	8.030 885 246	0.339 214 643
CADP	中国资源消耗潜值	kg-Coal-R-eq	7033.118 942	8.855 746 478	0.431 411 95
PED	一次能源消耗	MJ	92925.289 38	13.548 883 41	1.130 148 31
CO <sub>2</sub>	二氧化碳	kg	177.400 198	0.101 684 828	0.479 229 831
COD	化学需氧量	kg	9.84×10 <sup>-5</sup>	0.002 472 442	3.59×10 <sup>-5</sup>
EP	富营养化潜值	kg-PO <sub>43</sub> -eq	0.031 393 358	0.000 163 604	0.002 040 588
GWP	全球变暖潜值	kg-CO <sub>2</sub> -eq	177.403 968 3	0.212 060 391	1.423 503 373
IWU	工业用水量	kg	0.101 909 796	0.833 589 369	0
NH3-N	氨氮	kg	1.81×10 <sup>-7</sup>	5.94×10 <sup>-5</sup>	0
NO <sub>x</sub>	氮氧化物	kg	0.000 100 671	0.000 455 004	0.000 533 755
RI	可吸入无机物	kg-PM2.5-eq	0.425 198 68	0.000 170 833	8.39×10 <sup>-5</sup>
SO <sub>2</sub>	二氧化硫	kg	1.302 000 122	0.000 752 892	0.000 150 27
Waste Solids	固体废弃物	kg	0.012 738 573	0.007 663 295	0.114 130 799
Water Use	淡水消耗量	kg	0.418 046 164	1.740 132 891	0.389 418 798

属性价值函数理论及具体产品来确定。文中使用面向中国节能减排政策目标的 ECER 权重因子,计算的加权综合指标结果为  $6.87759 \times 10^{-9}$ 。

### 2.4 结果解释

为了找出该包装生命周期的薄弱环节进行改进创新,现依据其生命周期中产品生产、物流运输、废物管理等 3 个流程的各类数据以及影响评价中所获得的信息,来分析造成各流程主要环境影响类型的原因。

#### 2.4.1 产品生产过程

产品生产中各过程直接对环境的影响贡献占比结果(归一化结果)见图 3,可以看出其中最主要的影响原因是原材料,尤其是胶合板的生产制造,其次是铁钉。针对此点,应要求原材料制造企业提高生产技术,并在包装设计时尽量减少胶合板所占比例,以

达到降低环境影响的目标<sup>[14]</sup>。

#### 2.4.2 物流运输过程

物流运输过程中对环境的影响大多由柴油的消耗和尾气等的排放引起。该研究所选货车规格为 9600 mm×2300 mm×2300 mm,由广州发往天津,运输距离为 2109 km。运输过程中,由于包装件只能立放,摆放方向只有正向和横向 2 个方向。利用装柜软件 LoadExpert 计算出每辆货车每次只能装载 17 个包装件,见图 4。

每个包装件质量等于产品与木箱质量之和,即为 316 kg,故装载率为 29.84%。包装件平均耗油量等于每辆货车的耗油量除以包装件数量,为 35.55 L,换算为质量单位,即为 30.22 kg。由此计算得到,减小物流运输过程的环境影响,应该通过提高货车的装载率和减少油耗来实现。

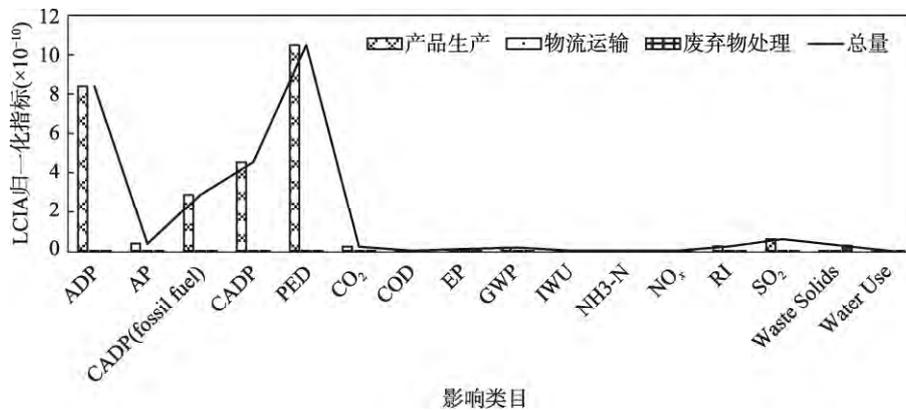


图 2 传统木箱 LCIA 归一化指标

Fig.2 LCIA normalization index of traditional wooden packaging boxes

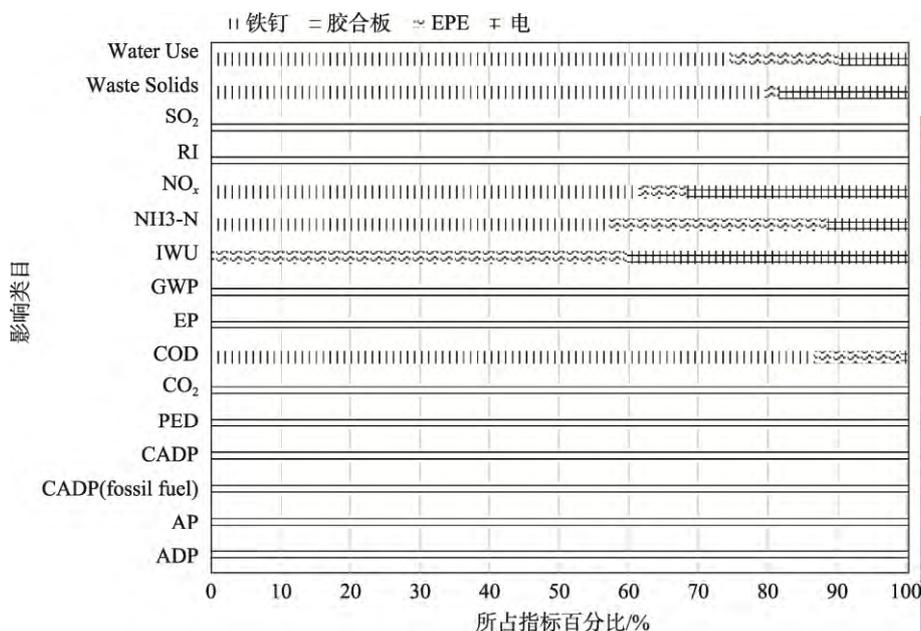


图 3 传统木箱生产流程的环境影响

Fig.3 Environmental impact of traditional wooden packaging boxes in production process

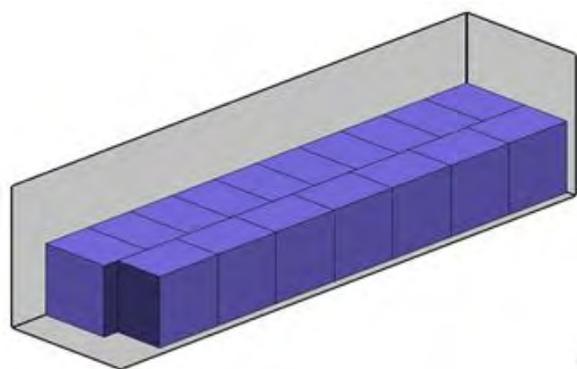


图4 传统木箱在货车中的摆放形式  
Fig.4 Layout of traditional wooden packaging boxes in freight cars

### 2.4.3 废物管理过程

由于 EPE 珍珠棉环保且可反复回收利用，被业内称为永不衰退的材料，因此该研究不考虑 EPE 对废物管理过程的环境影响。由于我国填埋处理技术成熟、费用低，当前集中处理垃圾一般都采取此种办法，因此文中暂定木箱废弃后填埋处理。

传统木箱废物管理流程中各材料的环境影响（归一化结果）见图5。从图5中可以看出，废物管理流程最主要的影响类型是固体废弃物（Waste Solids），且木制品垃圾填埋对固体废弃物的贡献首当其冲，因此，在废物管理流程中，可以考虑将废弃的木制品垃圾回收，用来造纸、加工机制木炭、发酵有机肥等<sup>[15]</sup>。

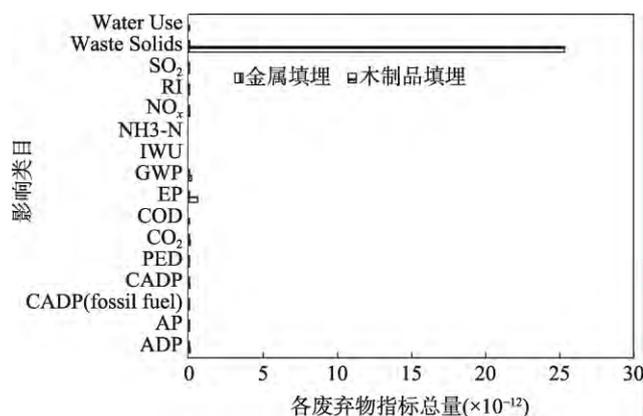


图5 传统木箱废物管理流程的环境影响  
Fig.5 Environmental impact of traditional wooden packaging boxes in waste treatment process

## 3 钢边箱 LCA 过程

### 3.1 目标与范围的确定

文中所选钢边箱外尺寸为 1154 mm×802 mm×1048 mm，质量为 64 kg。以此钢边箱作为 1 个功能

单位，来分析其生命周期内的资源消耗、能源消耗及污染物排放。钢边箱的生命周期简要流程见图6。

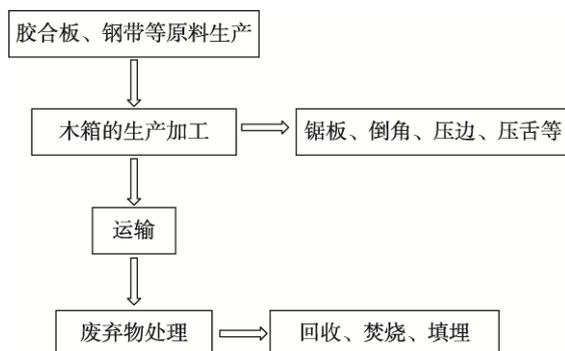


图6 钢边箱生命周期简要流程  
Fig.6 Brief process of steel-edge boxes during life cycle

### 3.2 清单分析

此次调查研究的钢边箱生产加工过程相关数据通过对相关大型生产企业调研获得，对其进行整合与归类后，形成的清单见表3。

表3 钢边箱清单  
Tab.3 List of steel-edge boxes

原料/kg				能源消耗量	
胶合板	EPE	铁钉	钢带	电/kW	柴油/kg
59.223	0.888	0.064	3.468	1.75	14.4

其他的相关数据如胶合板生产制造过程数据主要参照相关文献；原料和辅料的生产、能源和废弃物的处理流程的数据，采取了中国生命周期基础数据库，还有国外的 Ecoinvent 数据库、欧盟生命周期基础数据库这三大数据库。

### 3.3 影响评价

#### 3.3.1 类型参数结果的计算（特征化）

利用特征化因子将清单数据转化为各个环境影响类型的指标，此钢边箱 LCIA 特征化指标的计算结果见表4。

#### 3.3.2 根据基准计算类型参数结果的相对值（归一化）

选定中国范围内 2010 年的排放或消耗总量作除数对参数结果进行转化（排放量来自中国环境统计年鉴和国际应用系统分析研究所的统计数据），钢边箱归一化指标的计算结果见图7。

#### 3.3.3 加权

加权是使用基于价值选择所得到的数值因子对不同影响类型的参数结果进行转化的过程。文中使用

面向中国节能减排政策目标的 ECER 权重因子, 计算的钢边箱加权综合指标的结果为  $6.53529 \times 10^{-9}$ 。

### 3.4 结果解释

#### 3.4.1 产品生产过程

钢边箱在生产过程中对环境的直接影响贡献占比结果见图 8 (归一化指标), 可以看出, 最主要的影响因素还是胶合板的生产制造, 其次是钢边。相较于传统木箱, 钢边箱中钢边的使用起到了降低胶合板占比的作用。

#### 3.4.2 物流运输过程

利用装柜软件 LoadExpert 计算出每辆货车每次能装载 38 个包装件, 见图 9。每个包装件质量为 274 kg, 装载率为 57.84%。每个包装件的耗油量计算结果为 16.94 L, 即为 14.4 kg。

#### 3.4.3 废物管理过程

如图 10 所示, 根据钢边箱废物管理流程的归一化指标, 其最主要的环境影响类型也是固体废弃物 (Waste Solids), 且木制品垃圾填埋对固体废弃物的贡献非常大。

表 4 钢边箱 LCIA 特征化指标  
Tab.4 LCIA characteristic index of steel-edge boxes

简称	中文名称	单位	产品生产	物流运输	废物管理
ADP	非生物资源消耗潜值	kg-antimony-eq	0.006 033 27	$8.79 \times 10^{-7}$	$2.19 \times 10^{-7}$
AP	酸化潜值	kg-SO <sub>2</sub> -eq	1.237 983 428	0.000 200 916	0.000 303 635
CADP(fossil fuel)	中国化石能源消耗潜值	kg-Coal-R-eq	4224.544 875	1.482 357 567	0.194 602 29
CADP	中国资源消耗潜值	kg-Coal-R-eq	6696.100 208	1.634 612 175	0.247 378 834
PED	一次能源消耗	MJ	88320.597 22	2.500 881 188	0.647 353 99
CO <sub>2</sub>	二氧化碳	kg	168.744 159 5	0.018 769 198	0.273 156 521
COD	化学需氧量	kg	0.000 116 264	0.000 456 369	$2.04 \times 10^{-5}$
EP	富营养化潜值	kg-PO <sub>43</sub> -eq	0.029 823 167	$3.02 \times 10^{-5}$	0.001 171 632
GWP	全球变暖潜值	kg-CO <sub>2</sub> -eq	168.759 167	0.039 142 55	0.810 961 598
IWU	工业用水量	kg	0.461 035 624	0.153 865 666	0
NH3-N	氨氮	kg	$2.35 \times 10^{-6}$	$1.10 \times 10^{-5}$	0
No <sub>x</sub>	氮氧化物	kg	0.000 297 238	$8.40 \times 10^{-5}$	0.000 305 374
RI	可吸入无机物	kg-PM2.5-eq	0.404 203 618	$3.15 \times 10^{-5}$	$4.80 \times 10^{-5}$
SO <sub>2</sub>	二氧化硫	kg	1.237 729 547	0.000 138 97	$8.59 \times 10^{-5}$
Waste Solids	固体废弃物	kg	0.303 249 746	0.001 414 507	0.065 278 069
Water Use	淡水消耗量	kg	1.894 801 879	0.321 197 362	0.222 039 932

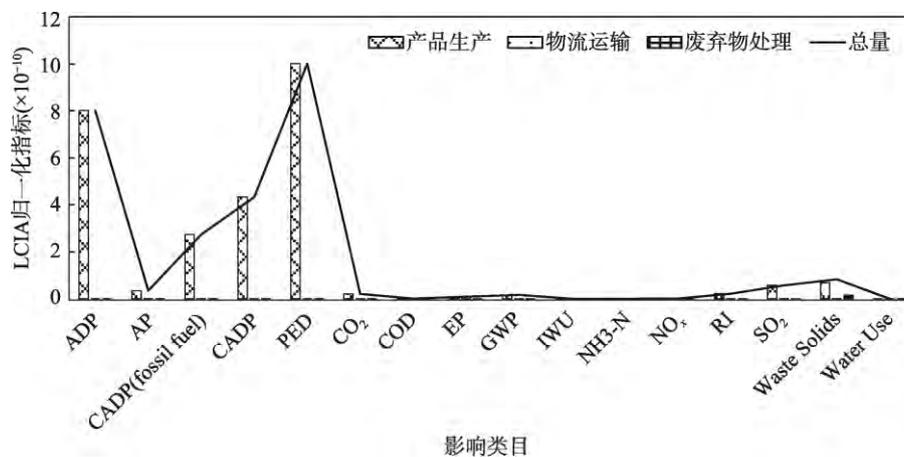


图 7 钢边箱 LCIA 归一化指标  
Fig.7 LCIA normalization index of steel-edge boxes

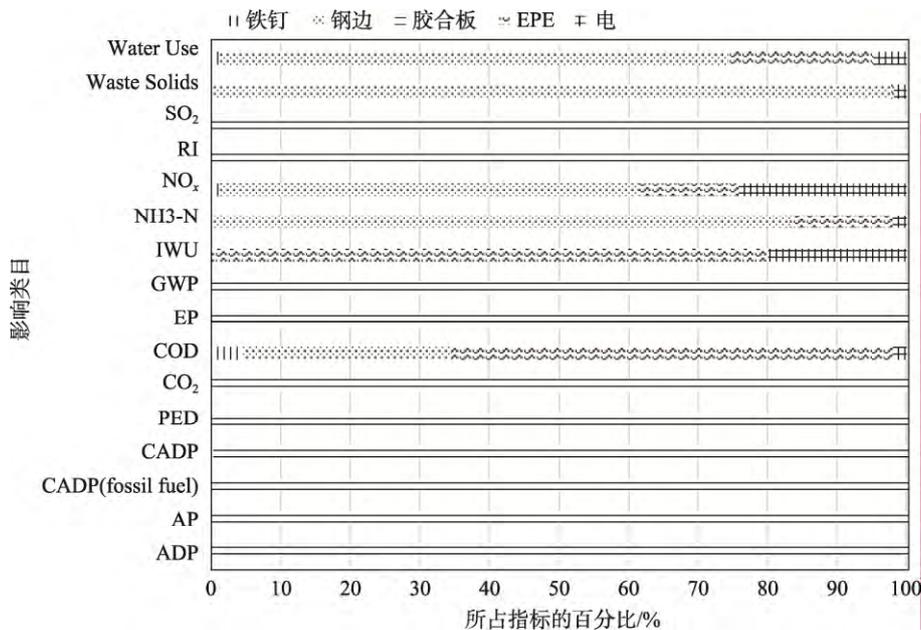


图8 钢边箱生产流程的环境影响  
Fig.8 Environmental impact of steel-edge boxes in production process

### 4 对比分析

木包装箱生命周期中产品生产、物流运输、废弃物管理等3个流程的LCIA加权综合指标及其差值见表5，钢边箱比传统木箱的环境影响总量小5%左右。

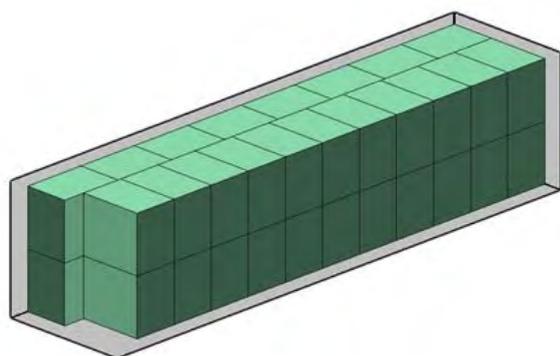


图9 钢边箱在货车中的摆放形式  
Fig.9 Layout of steel-edge boxes in freight cars

2款木箱物流运输阶段的差异比较大，主要是因为此款钢边箱的货车装载率高、油耗少。与传统木箱进行比较，钢边箱在原材料方面，要节省胶合板约42.94%，所以钢边箱在生产和废弃物处理流程对环境的影响较小。

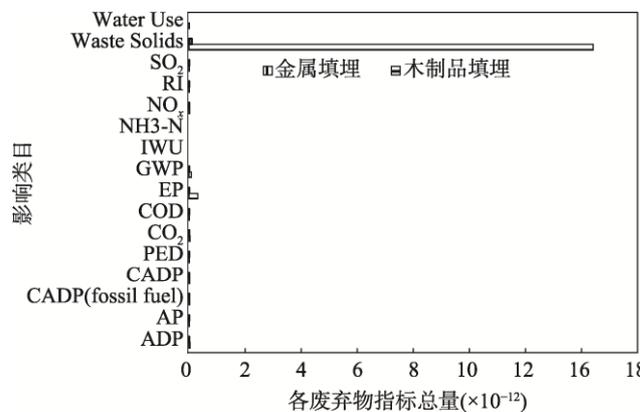


图10 钢边箱废弃物管理流程的环境影响  
Fig.10 Environmental impact of steel-edge boxes in waste treatment process

表5 木包装箱各流程LCIA加权综合指标  
Tab.5 LCIA weighted comprehensive index of wooden packaging boxes in each process

加权综合指标	传统木箱( $\times 10^{-13}$ )	钢边箱( $\times 10^{-13}$ )	差值( $\times 10^{-13}$ )	差异率/%
产品生产	68 800	65 300	3410	4.95
物流运输	19.4	3.57	15.8	81.54
废弃物管理	5.20	2.97	2.23	42.92
总量	68 800	65 400	3420	4.98

## 5 结语

木包装箱在全生命周期中,对环境的影响大多在胶合板的生产和废弃物处理的过程,此外还有运输过程中能源的消耗及排放造成的影响。木包装箱在设计、生产加工、储运、废弃物处理等方面能有更好的改进,以增加其环境友好性。钢边箱用钢带来提高强度,能较少的使用胶合板,故钢边箱比传统木箱对环境影响更小。

文中对木包装箱的全生命周期环境影响分析,提出在其设计计算、生产与加工、使用及运输和废物处置等相关方面的建议。

首先,在产品的设计环节,当前包装存在的很大问题就是过度依赖胶合板。对于这个问题,可以通过寻求其他的环境友好型材料以替代现有包装材料,或者减少胶合板在原材料中所占比例。在储运过程中装载率对环境的影响不容忽视,通过提高装载率能显著降低运输环节的环境影响。其次,在产品的生产加工流程中环境影响主要是由能源消耗与污染排放引起。所以生产企业要努力改进设备,采取节能技术,提高能源的使用效率。然后,在产品的使用过程中,因为文中假定木包装箱只能使用1次,若木箱能使用2次,那么其环境影响就能大大减少,因此,需要提倡木箱的循环再利用。最后,在废物处置流程中,可将废弃的木制品回收。这不仅可以减少木制品废弃处理时对环境的影响,而且对减少木材资源消耗也做出了一定的贡献。

### 参考文献:

- [1] 王鑫婷,方芳,朱仁高,等. 包装产品的全生命周期评价[J]. 绿色包装, 2019(8): 51—54.  
WANG Xin-ting, FANG Fang, ZHU Ren-gao, et al. Life Cycle of Assessment of Packaging Products[J]. Green Packaging, 2019(8): 51—54.
- [2] LIEBIG M A, ARCHER D W, HALVORSON J J, et al. Net Global Warming Potential of Spring Wheat Cropping Systems in a Semiarid Region[J]. Land, 2019, 8(2): 32.
- [3] RAINER R C, DYLAN L K, DAVID P R, et al. Bringing the Heat Home: Television Spots about Local Impacts Reduce Global Warming Denialism[J]. Environmental Communication, 2019, 13(6): 740—760.
- [4] 刘继永,杨前进,韩新民. 瓦楞纸箱全生命周期环境影响评价研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 105—109.  
LIU Ji-yong, YANG Qian-jin, HAN Xin-min. Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Corrugated Boxes[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 105—109.
- [5] SAEED K, VAHID S, MOHAMMAD H S, et al. Reliability-based Life Cycle Assessment of the Concrete Slab in Bridges[J]. Civil and Environmental Engineering, 2020, 16(1): 170—183.
- [6] ZINTA Z, MARIS S, ALEKSANDRS K, et al. Life Cycle Assessment of Foam Concrete Production in Latvia[J]. Environmental and Climate Technologies, 2019, 23(3): 70—84.
- [7] 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(5): 72—75.  
WANG Jun-hui, YANG Qin-dan. Analysis of Life Cycle Assessment for Plywooden[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2019, 47(5): 72—75.
- [8] TELLNES L G F, ALFREDSEN G, FLATE P O, et al. Effect of Service Life Aspects on Carbon Footprint: a Comparison of Wooden Decking Products[J]. Holzfor-schung, 2020, 74(4): 426—433.
- [9] 刘夏璐,王洪涛,陈建,等. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J]. 环境科学学报, 2010, 30(10): 2136—2144.  
LIU Xia-lu, WANG Hong-tao, CHEN Jian, et al. Method and Basic Model for Development of Chinese Reference Life Cycle Data Base[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(10): 2136—2144.
- [10] VARES S, HRADIL P, SANSOM M, et al. Economic Potential and Environmental Impacts of Reused Steel Structures[J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2020, 16(4): 750—761.
- [11] 王璟瑶,吴金卓,龙占璐. 0201型瓦楞纸箱生命周期不同阶段的环境影响评价[J]. 包装工程, 2019, 40(5): 96—102.  
WANG Jing-yao, WU Jin-zhuo, LONG Zhan-lu. Environmental Impact Assessment on Different Life Cycle Stages of Style 0201 Corrugated Cases[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(5): 96—102.
- [12] BELL E M, HORVATH A. Modeling the Carbon Footprint of Fresh Produce: Effects of Transportation, Localness, and Seasonality on US Orange Markets[J]. Environmental Research Letters, 2020, 15(3): 1—11.
- [13] 薛拥军,王珺. 板式家具产品的生命周期评价[J]. 木材工业, 2009, 23(4): 22—25.  
XUE Yong-jun, WANG Jun. Life Cycle Assessment of Panel Furniture Made from Medium Density Fiberboard[J]. China Wooden Industry, 2009, 23(4): 22—25.
- [14] MAZZI A, SCIPIONI A, NIERO M, 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.
- [15] 李慧媛,黄思维,周定国. 生命周期评价体系在我国木材加工领域的应用[J]. 世界林业研究, 2013, 26(2): 54—59.  
LI Hui-yuan, HUANG Si-wei, ZHOU Ding-guo. A Review of LCA's Application to Chinese Wooden-processing Industry[J]. World Forestry Research, 2013, 26(2): 54—59.