

**作品名称：生命周期视角下塑料软包装袋的资源消耗与环境影响评价**

**作品类别：学士论文**

**作品团队：湖北经济学院 2016 级 刘莹**

**湖北经济学院 2016 级 杨立平**

**指导教师：刘习平**

## 生命周期视角下塑料软包装袋的资源消耗与环境影响评价

**摘要：**随着食品、医药等包装行业的迅速发展，包装袋的使用越来越广泛，由此导致的白色污染问题也逐渐突出。包装行业生产的各个环节都以不同的方式影响着环境，如何从源头和过程分析资源消耗和环境污染是包装行业真正实现绿色包装的重点。本文采用生命周期评价方法，对塑料软包装袋进行上下游延伸，运用数据直观展示塑料软包装袋的生命周期中金属等资源的消耗及挥发性有机物等污染物的排放对环境产生的影响。研究发现：①通过塑料软包装袋的生命周期评价，原材料获取阶段对环境影响最突出，聚丙烯膜和铝箔的制备是最主要的温室气体排放源；②运输阶段和生产阶段对能源消耗的影响显著，贡献占比分别为 38.34%和 38.04%；③活性炭等环保设备的安装，可以改善企业经济效益和社会效益，由成本效益方法计算得出净效益为 1293640 元。

**关键词：**塑料软包装袋；生命周期评价；成本效益分析

**Abstract:** With the rapid development of food, medicine and other packaging industries, the use of bags is more and more extensive, resulting in white pollution is also gradually prominent. Each link of packaging industry affects the environment in different ways. How to analyze resource consumption and environmental pollution from the source and process is the focus of green packaging in packaging industry. In this paper, the life cycle assessment method is used to extend the plastic soft packaging bags upstream and downstream. The data are used to intuitively show the consumption of metal and other resources in the life cycle of plastic soft packaging bags and the impact of volatile organic compounds and other pollutants on the environment. It is found that: (1) Through the life cycle evaluation of plastic flexible packaging bags, the raw material acquisition stage has the most prominent impact on the environment. The preparation of polypropylene film and aluminum foil is the most important source of greenhouse gas emissions;(2) The influence of transportation stage and production stage on energy consumption was significant, and the contribution ratio was 38.34% and 38.04% respectively; (3) The installation of environmental protection equipment such as activated carbon can improve the economic and social benefits of enterprises, and the net benefit is 1293640 yuan calculated by cost-benefit method.

**Key words:** plastic soft packing bags; life cycle assessment; cost-benefit analysis

## 1 引言

我国包装工业近年来实现了飞速发展，在世界包装产品的生产、消费和出口领域，中国的表现十分突出。改革开放之初，我国包装工业总产值仅为 72 亿元，经过多年的发展，2016 年我国包装行业规模以上企业主营业务收入总额为 11743.79 亿元，成为全球第二大包装工业大国，未来极有可能超过美国成为全球第一大的包装市场。中国包装工业的迅猛发展除了促进本国经济的发展和外国市场的开拓，还满足了商品保护和运输的需要。然而包装工业的迅速发展带来的资源浪费和环境污染问题也日益突出。产品包装所带来的环境污染是继水质、海洋、空气三类污染之后的又一大污染<sup>[1]</sup>。截至 2010 年，中国的包装材料年消耗量已超过  $6000 \times 10^4 \text{t}$ ，由此产生的包装废弃物量多达  $3200 \times 10^4 \text{t}$ 。目前，我国包装废弃物仍以每年 9% 左右的速度增长，预计到 2020 年包装废弃物年总量将达到万吨以上。除了废弃阶段，包装行业还从材料的提取、制备、生产、使用阶段不断消耗资源和破坏环境，直接影响到经济社会的可持续发展<sup>[2]</sup>。为了了解包装行业哪些环节对资源和环境的影响最为显著，本文以生命周期的视角，分析包装袋原料获取阶段、运输阶段和生产阶段，以实现包装袋生命周期的整体绿色化，增强包装行业可持续发展能力。

## 2 文献综述

国内外学者采用生命周期评价方法主要来量化产品或工艺制造对环境和经济的直接和间接影响<sup>[3]</sup>，相关的研究主要集中在以下几个方面。

第一是对各类包装产品生命周期环境负荷的测算。谢明辉等（2011）研究结果表明塑料牛奶包装生命周期阶段中环境影响比重最大的是原料获取阶段（占 90% 以上），其全生命周期环境影响主要集中在化石燃料、无机物对人体损害和气候变化三个方面，在致癌、酸化富营养化和生态毒性方面影响稍小<sup>[4]</sup>。梁韵秋等（2013）以一套瓷质餐具为例，采用生命周期评价方法，对瓦楞纸箱、发泡聚苯乙烯生产过程的原料能源消耗，运输物质消耗及向环境的排放物进行计算和特征化分析并进行环境影响评价，得到总环境影响潜力为  $EIL=0.25\text{pt}$ 。结果表明：其对环境的影响主要产生于包装产品的运输过程，主要影响了资源消耗和全球变暖等环境影响类型<sup>[5]</sup>。郭安福等（2017）的研究数据表明，生物质包装材料对人体健康、生态环境质量、资源消耗的影响因子分别为 0.0151pt、0.00299pt 和 0.0533pt，与其他可降解材料相比，生物质包装材料全生命周期内对人体健康、生态环境、资源消耗等方面影响最低，同时在环境负荷方面对环境的影响最小<sup>[6]</sup>。李丽等（2009）的研究表明纸塑铝复合包装材料的环境影响值为 5.225pt<sup>[7]</sup>。Buccino et al.（2019）采用“从摇篮到坟墓”的生命周期评估

方法，评估由聚乙烯（PE）纸层压板制成的冰淇淋杯的环境绩效<sup>[9]</sup>。

第二是对包装生命周期过程的分析。全生命周期包括包装的原料获取、生产制造、物流储运、消费使用、回收处理五个环节。Demetrious et al.（2019）基于填埋、焚烧和气化热解这三个阶段对混合纸和混合塑料包装废弃物展开生命周期评价<sup>[8]</sup>。郭安福（2017）基于原料的采集和获取、产品的加工制造和废弃回收处理这三个环节对生物质包装材料进行了生命周期评价<sup>[6]</sup>。张弘韬（2017）从包装生命周期的生产制造、物流储运、消费使用、回收处理四个环节入手探讨节约型包装的造型与结构优化设计策略<sup>[10]</sup>。梁韵秋等（2013）对瓷质餐具包装的原料能源消耗、运输物质消耗及向环境排放的污染物进行计算和特征化分析并进行环境影响评价<sup>[5]</sup>。安美清等（2012）详细探讨了位于低碳链核心位置的包装企业从原料、加工、分销到处理的全生命周期<sup>[11]</sup>。Ferreira（2017）研究分析了比利时的包装废弃物管理系统。废物管理作业涉及大量与能源消耗和空气和水污染物排放有关的过程。为了评估几种废物管理作业对环境的影响，制定了一个生命周期评估。考虑了包装废弃物的选择性和垃圾收集、分类、回收和焚烧操作<sup>[18]</sup>。Kawecki（2018）从生产到使用，最后到废物管理塑料流，对七种聚合物在欧洲和瑞士的人类学领域进行了静态概率物质流分析，为聚合物相关影响的暴露评估提供了强有力的基础<sup>[19]</sup>。

第三是促进包装生命周期资源节约和环境友好的对策研究。普遍认为绿色节约包装设计能从源头实现包装绿色化<sup>[11][12]</sup>，也有学者认为必须首先保证包装的使用功能，然后从包装全生命周期入手促进包装材料投入和使用效率的提高，绝非简单减少材料的用量和设计<sup>[10]</sup>。此外，安美清、向万里（2012）具体以低碳视角，从政府、包装企业和消费者三个方面着手分析了低碳包装的发展模式<sup>[11]</sup>。成佳（2018）借助信息技术手段，以确保食品包装生命周期的公开性与透明度，最终使食品包装的整个生命流程都能科学有效地保障食品、消费者、环境的安全，促进食品、包装企业的健康发展<sup>[13]</sup>。Khoo et al.（2019）学者在文中采用生命周期评价对 8 种塑料废弃物管理方案进行了研究，介绍了解决废弃物问题的替代方案，通过热化学方法从塑料中回收有价值的燃料<sup>[14]</sup>。Hou（2018）采用生命周期评价（LCA）方法对各种塑料薄膜废弃物处理系统的环境影响进行评价。结果表明，与垃圾填埋或焚烧相比，回收利用具有相当大的优势。主要的环境效益来自塑料的循环利用，它可以替代原材料生产塑料<sup>[20]</sup>。Gutierrez（2017）研究的目的是确定食品包装解决方案的改进，使环境外部性最小化，同时使经济可持续性最大化。为此，采用生命周期评价（LCA）方法对新包装解决方案的环境性能进行评价。结果表明，新的包装液可以大大延长干酪饼的货架期，从而减少食品浪费，降低整体环境影响。此外，新的包装使人们能够

将运输成本降到最低，并在制造业中产生规模经济<sup>[21]</sup>。

以上是学者们针对包装及其生命周期的研究，其测算结果、过程分析和解决措施促进了包装研究的全面深入，但在某些方面不太完善，有待进一步研究：首先，大部分研究只从经验角度对塑料包装的全生命周期展开分析，鲜有以数据为基础，真实直观地反映其对资源与环境造成的影响；其次，在指标选取上，现有研究的环境影响评价指标选取较为单一，未考虑到包装物对环境产生的综合影响；最后，较多针对塑料包装的研究仅从环境角度出发，未结合经济决策手段，缺乏经济可行性。

基于此，本文从以下几部分展开研究：首先确立以塑料包装袋为研究对象，收集并整理调研塑料包装企业数据，建立基础流清单模型和影响评价模型。其次采用 eFootprint 软件系统，结合中国生命周期基础数据库（CLCD）、欧盟 ELCD 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库，计算得到 LCA 结果。根据结果，从初级能源消耗潜势（PED）、挥发性有机物（VOC）、臭氧层消耗潜势（ODP）、光化学臭氧合成潜势（POFP）、酸化潜势（AP）和可吸入无机物潜势（RI）六个指标，全面分析比较塑料包装袋生命周期排放清单对资源与环境造成的影响。最后结合经济决策方法即成本效益分析，得出安装环保设备带来的间接效益和潜在效益。

### 3 研究方法和数据说明

#### 3.1 研究方法

生命周期评价方法是环境影响评价领域的新兴评价方法，目前应用于评价产品在其全生命周期中对环境的影响。根据该方法指南，该研究方法一般需要经过研究目的和范围、分析生命周期清单、评价生命周期影响这三个步骤<sup>[15]</sup>。

首先，研究目的和范围。本文对塑料包装袋从初级能源消耗潜势、挥发性有机物、臭氧层消耗潜势、光化学臭氧合成潜势、酸化潜势和可吸入无机物潜势六个指标进行生命周期评价，目的是分析塑料软包装袋生命周期的影响负荷。原料获取、运输和生产则是本文对生命周期范围的界定。原料获取阶段的对象为聚丙烯膜、聚酯膜、铝箔和印刷凹版；运输阶段的对象为主要原料的运输过程；生产阶段的对象为塑料软包装袋的印刷包装。研究的地理范围局限在中国境内。

其次，生命周期清单分析。生命周期清单分析的作用是定量描述评价对象在其研究的生命周期范围内资源利用和环境污染的情况。本文建立的包装袋生命周期清单包含了包装袋生产的资源消耗（塑料薄膜和铝箔等）、能源消耗（主要是电力）和环境污染物排放（主要是挥发性有机物和总颗粒物、废水污染、

工业固废污染物和重金属元素) 等信息。

最后, 生命周期影响评价。亿科环境科技有限公司免费提供了生命周期评价分析软件 eFootprint 和使用指南, 本文学习使用方法后利用该软件建立起塑料软包装袋生命周期模型, 并进行了环境影响评价。通过整理该软件所得的结果, 发现原料获取阶段的贡献最大, 是塑料软包装袋对环境影响的关键环节。再具体分析环境影响评价指标, 为减少塑料软包装袋的资源能源消耗及环境排放提供改进建议。

## 3.2 基础模型构建

### 3.2.1 基础流清单模型

本文的模型引用自一篇采用生命周期研究方法的文献<sup>[22]</sup>, 由基础流清单模型和影响评价模型共同组成。

首先, 建立生命周期第  $s$  阶段原料和能源投入矩阵  $MET_s$ :

$$MET_s = [(m_{s,i})_{p \times 1}; (e_{s,i})_{q \times 1}; (t_{s,i})_{r \times 1}] \quad (1)$$

式中:  $m_{s,i}$ 、 $e_{s,i}$  与  $t_{s,i}$  分别表示生命周期第  $s$  阶段中第  $i$  种原料和能源数量;

$p$ 、 $q$  及  $r$  分别表示该阶段原料和能源的种类个数。

然后, 所有原料和能源投入的基础流清单矩阵  $I_s$ :

$$I_s = (i_{s,ij})_{(a+b+c) \times (p+q+r)} \quad (2)$$

式中:  $i_{s,ij}$  表示第  $j$  种输入单元过程中第  $i$  项值,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  分别表示基础流清单中原料、能源和环境排放的种类数。

再建立本阶段环境排放量矩阵  $P_s$ :

$$P_s = (000...000...P_{s,a+b+1} P_{s,a+b+2}...P_{s,a+b+c}) \quad (3)$$

式中:  $p_{s,i} (i > a+b)$  表示产生的第  $i$  类排放物的质量;  $s$  表示排放物的种类个数, 则第  $s$  阶段的最终基础流清单矩阵  $RE_s$  为:

$$RE_s = I_s \times MET_s + P_s = (re_{s,i})_{(a+b+c) \times 1} \quad (4)$$

故塑料软包装袋生命周期基础流清单矩阵  $RE_{LC}$  为:

$$RE_{LC} = RE_1 + RE_2 + RE_3 = (re_{LC,i})_{(a+b+c) \times 1} \quad (5)$$

式中:  $RE_1 - RE_3$  分别为第1到第3阶段的基础流清单矩阵;  $re_{LC,i}$  为所研究的生命周期范围内基础流清单中的第  $i$  项值。

### 3.2.2 影响评价模型

影响评价模型的目的是将生命周期不同阶段的基础流清单转化为统一的数值, 特征化因子是实现这一目的的关键, 建立特征化因子矩阵  $CF$  为:

$$CF = (cf_{ij})_{h \times (a+b+c)} \quad (6)$$

式中:  $cf_{ij}$  表示表示基础流清单中第  $j$  项值与第  $i$  种影响类型相对应的特征化因子;  $h$  表示影响指标的个数。

则包装袋第  $s$  阶段的影响评价结果矩阵  $IP_s$  为:

$$IP_s = CF \times RE_s = (ip_{s,i})_{h \times 1} \quad (7)$$

式中:  $ip_{s,i}$  表示包装袋第  $s$  阶段影响评价结果中第  $i$  种影响的值。

## 3.3 数据说明及指标介绍

### 3.3.1 数据说明

数据分为两类, 分别是背景数据和前景数据。

研究过程中用到背景数据基于中国生命周期基础数据库, 欧盟生命周期参考数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库。主要使用的中国生命周期基础数据库是基于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库。该数据库包括国内主要能源、交通运输和基础原材料的清单数据集。数据的时间代表性为 2013 年。

前景数据来自于调研企业所收集的数据。调研的主要企业包括民祥包装材料有限公司和恒德贾隆塑业有限公司等。包括包装项目生产过程的资源消耗、能源消耗和环境污染排放。数据的时间代表性为 2014 年。

### 3.3.2 指标介绍

CLCD 数据库采用了如表 1 所示的清单物质名录、环境影响指标, 本文选取初级能源消耗潜势 (PED)、挥发性有机物 (VOC)、臭氧层消耗潜势 (ODP)、光化学臭氧合成潜势 (POFP)、酸化潜势 (AP) 和可吸入无机物潜势 (RI) 展开研究。

表 1 环境影响类型指标

环境影响类型指标	影响类型指标单位	主要清单物质
初级能源消耗	MJ	硬煤，褐煤，天然气
挥发性有机物	kg	VOCs
酸化	mol H <sup>+</sup> eq.	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>
可吸入无机物	kg PM <sub>2.5</sub> eq.	CO, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>
臭氧层消耗	kg CFC-11 eq.	CCl <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> Br
光化学臭氧合成	kg NMVOC eq.	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>

注：eq 是 equivalent 的缩写，意为当量。例如气候变化指标是以 CO<sub>2</sub> 为基准物质，其他各种温室气体按温室效应的强弱都有各自的 CO<sub>2</sub> 当量因子，因此产品生命周期的各种温室气体排放量可以各自乘以当量因子，累加得到气候变化指标总量（通常也称为产品碳足迹，Product Carbon Footprint，PCF），其单位为 kg CO<sub>2</sub> eq。

## 4 研究结果

通过确定研究对象和范围、搜集并整理所需包装数据、应用生命周期评价方法，确定了塑料软包装袋生命周期各阶段在初级能源消耗潜势（PED）、挥发性有机物（VOC）、臭氧层消耗潜势（ODP）、光化学臭氧合成潜势（POFP）、酸化潜势（AP）、可吸入无机物潜势（RI）这 6 个方面的指标值。产品生命周期环境影响汇总情况如表 2 所示。

表 2 1t 包装袋生命周期环境影响汇总表

影响指标	单位	原材料获取	运输阶段	生产阶段	总值
PED	MJ	7.25E-14	1.18E-13	1.17E-13	3.07E-13
VOC	Kg	0.262330307	0.000313025	3.200531866	3.45
ODP	kg CFC-11 eq	0.000406	1.11E-05	2.13E-05	0.000438
POFP	kg NMVOC eq	13.2806	3.592018	5.853602	22.72622
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq	36.383	0.77446178	2.0924	39.24986178
RI	kg PM <sub>2.5</sub> eq	18.39572	0.904831	7.953716	27.25426

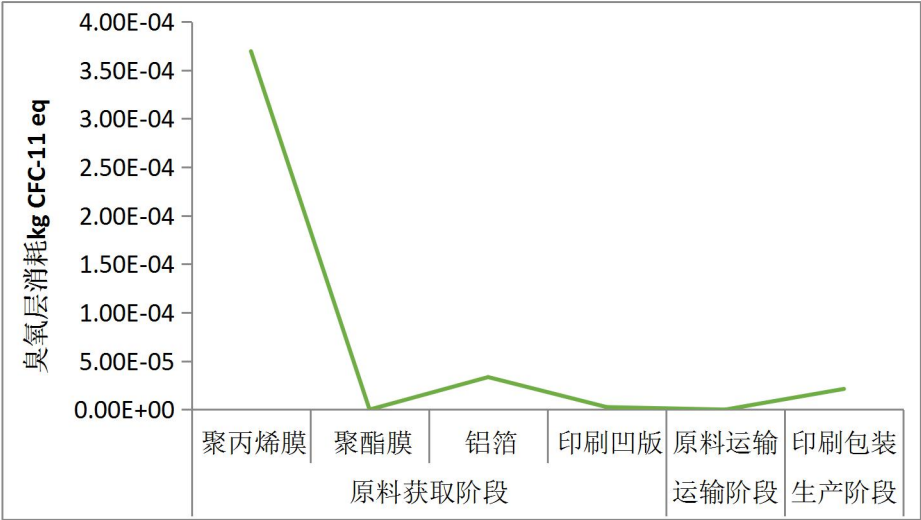
由表 2 可知，包装袋生命周期产生的初级能源消耗潜势（PED）、挥发性有机物（VOC）、臭氧层消耗潜势（ODP）、光化学臭氧合成潜势（POFP）、酸化潜势（AP）、可吸入无机物潜势（RI）总计分别为 3.06725E-13MJ、3.45Kg、0.000438kg CFC-11 eq、22.72622kgNMVOCeq、39.24986178kg SO<sub>2</sub> eq、27.25426kg PM<sub>2.5</sub> eq。对各个指标进行分阶段贡献可知，在生产阶段 PED 指标



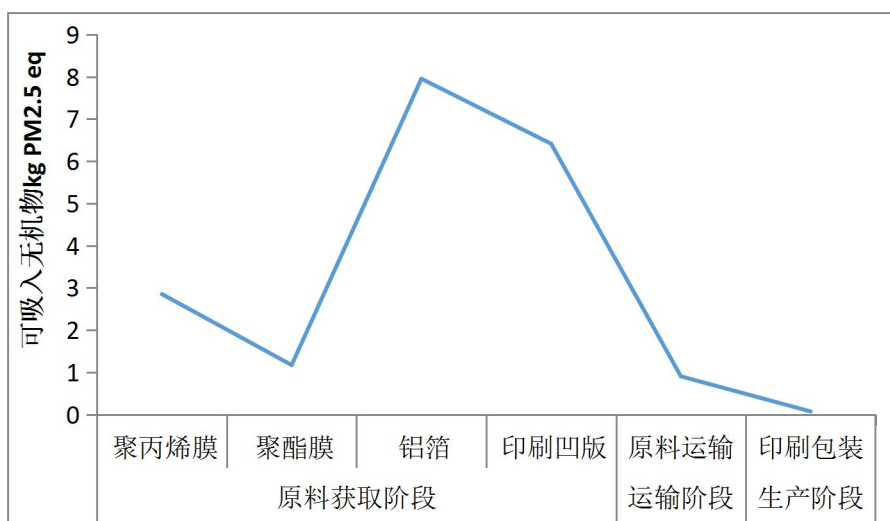
和 VOC 指标的贡献较为突出，在原料获取阶段后四个指标的贡献最为突出，其中聚丙烯膜对 ODP 指标和 POFP 的指标贡献显著，铝箔对 AP 和 RI 指标的贡献显著。综上，在所研究的六个指标中，两两指标的趋势基本一致，所以分别从中选取一个指标，进行详细分析。选取的指标分别为挥发性有机物（VOC）、臭氧层消耗（ODP）、可吸入无机物（RI），三个指标的阶段贡献如图 1 所示。



挥发性有机物（VOC）



臭氧层消耗（ODP）



可吸入无机物 (RI)

图 1 包装袋生命周期各阶段对三个指标贡献汇总

#### 4.1 挥发性有机物指标 (VOC) 分析

如图 1 的挥发性有机物 VOC 指标所示, 包装袋生命周期产生的挥发性有机物潜势总计为 3.45kg, 包装袋生命周期各阶段的挥发性有机物潜势如图 2 所示。包装袋生产获取阶段产生的 VOC 最大, 为 3.200531866kg, 占总量的 99%; 运输阶段和原料获取阶段产生的 VOC 总计为 0.292330307kg, 占比可忽略不计。

#### 4.2 臭氧层消耗指标 (ODP) 分析

包装袋生命周期产生的臭氧层消耗潜势总计为 0.000438kg CFC-11eq, 包装袋生命周期各阶段的臭氧层消耗潜势如图 2 所示。在包装袋原材料获取阶段产生的 ODP 最大, 为 0.000406kg CFC-11eq, 占总量的 93%左右; 在运输阶段产生的 ODP 为 1.11E-05kg CFC-11eq, 占总量的 2%左右; 在生产阶段产生的 ODP 为 2.13E-05kgCFC-11eq, 占总量的 5%左右。

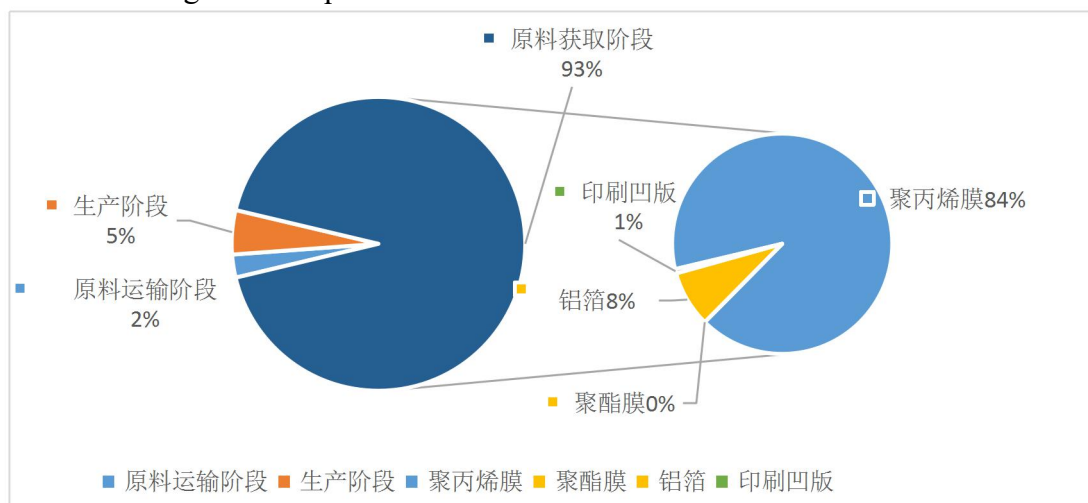


图 2 臭氧层消耗 (ODP) 阶段贡献双饼图

图 2 表明，在原材料获取阶段，包装袋所使用的主要原料聚丙烯膜的生产过程对 ODP 的贡献最大，其对包装袋 ODP 总量的贡献达到 86.56%；铝箔对包装袋 ODP 总量的贡献达到 7.65%。

#### 4.3 可吸入无机物潜势（RI）分析

由图 3 可知，铝箔、聚丙烯膜和印刷凹版占 RI 总指标的 87%，是影响 RI 指标的主要因素；印刷包装、聚丙烯膜和原料运输占 RI 指标的 13%，是影响 RI 指标的次要因素。根据帕累托原则，应减少铝箔、聚丙烯膜和印刷凹版的消耗，以降低可吸入无机物潜势的指标值。

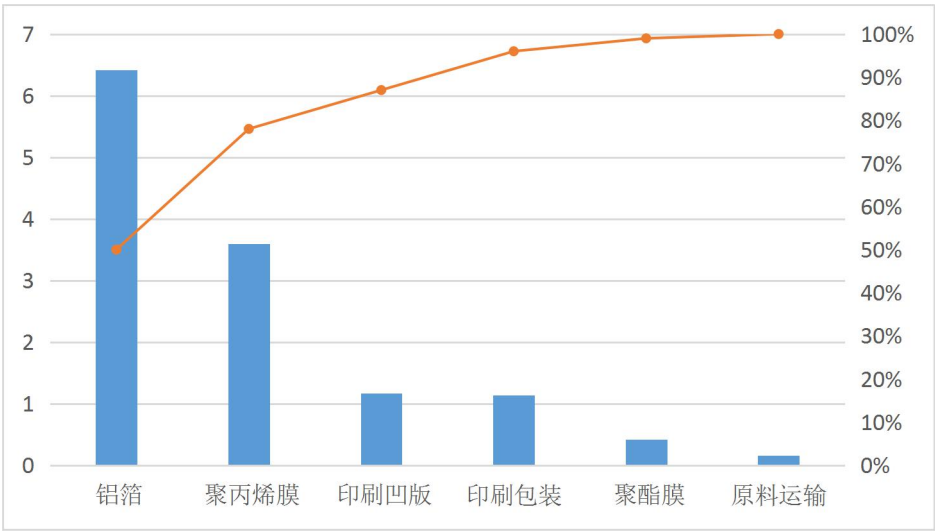


图 3 可吸入无机物（RI）阶段贡献帕累托图

### 5 包装袋生命周期影响评价

包装袋生命周期影响评价结果如图 4 所示，展示了塑料软包装袋原料获取阶段、原料运输阶段、包装生产阶段对于 PED、VOC、ODP、POFP、AP、RI 这六项指标的占比。原材料获取阶段对于后四个指标的贡献均为最大，占相应环境影响总量的 89%-93%；运输阶段对 PED、VOC、ODP、POFP、AP、RI 等环境影响总量的贡献为 0%-38%；包装生产阶段对 PED、VOC、ODP、POFP、AP、RI 等环境影响总量的贡献为 0%-38%。综合来看，原料获取阶段最大程度贡献了生命周期环境影响负荷，该阶段最突出的影响因子为包装袋的主要原料，即薄膜和铝箔。

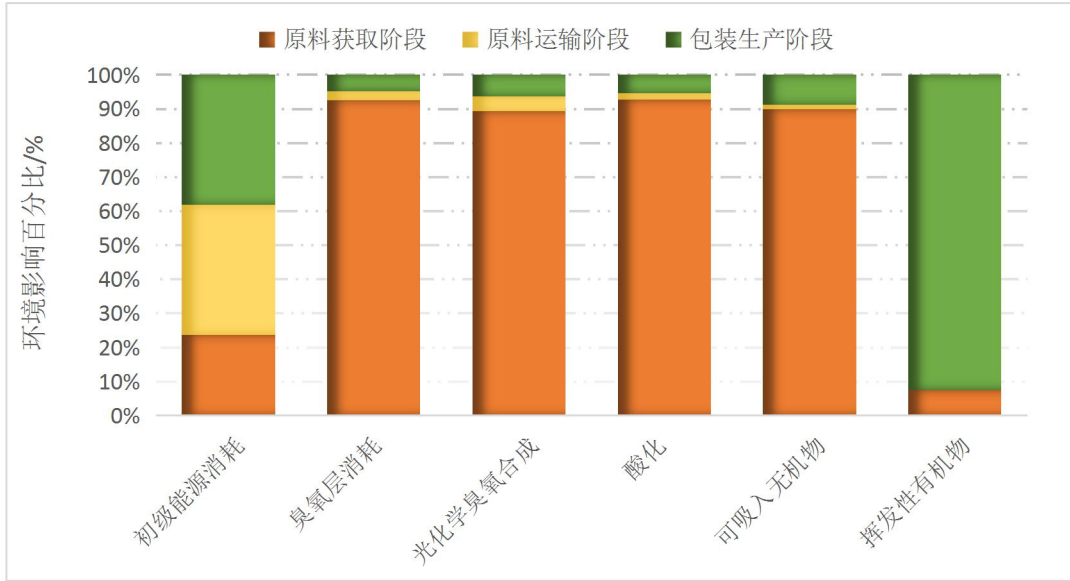


图4 生命周期各阶段环境影响百分比

## 6 成本效益分析

本文运用成本效益分析法来分析 VOC 指标在安装环保装置前后的成本和效益，来看安装环保设备是否可以为企业带来收益。本文的前提条件是，企业规模不变的情况下，用含有活性炭的吸附装置来处理 VOC，环保原料为活性炭，环保装置为吸附装置。其算法分为安装前后对比：

$$NB = TB - TC \quad (1)$$

其中  $NB$ 、 $TB$ 、 $TC$  分别为净效益、总效益、总成本；

$$TB = BI - AI \quad (2)$$

$$TC = C_{AC} + C_{ACA} \quad (3)$$

其中  $BI$  为安装环保装置前的处理成本； $AI$  为安装环保装置后的处理成本； $C_{AC}$  为活性炭的成本； $C_{ACA}$  为活性炭装置的成本。

$$BI = TP_b U_p \quad (4)$$

$$AI = TP_{after} U_p \quad (5)$$

$TP_{before}$  为安装前的污染物排放总量； $TP_{after}$  为安装后的污染物排放总量； $U_p$  为处理每吨排放污染物的单价；

$$C_{AC} = T_{em} P_{em} \quad (6)$$

$$C_{ACA} = \sum_{i=1}^n C_{ep} \quad (7)$$

$T_{em}$ 、 $P_{em}$  为环保原料总量与环保原料每吨的单价； $\sum_{i=1}^n C_{ep}$  为环保装置每台的总成本。

计算结果为下表：

表 3 设备安装前后成本效益分析表

VOC	年排放总量（吨）	处理每吨排放污染物单价（元）	处理成本（元）	净效益（元）
活性炭吸附装置安装前	60	26200	1572000	1293640
活性炭吸附装置安装后	4.8	26200	125760	
原料与装置	年原料总量（吨）	环保原料每吨单价（元）	成本（元）	
活性炭	20	130	2600	
活性炭吸附装置	—	—	150000	

从结果可以分析得出，安装环保设备后污染物排放量大大减少，且净收益也是大于总成本，企业在未安装环保设备时污染物的处理成本是 1572000 元，安装了环保设备后的污染物的处理成本减少至为 125760 元,可得到一个相对的收益为 1446240 元，最后的净效益为 1293640 元。

本文采取的是净现值成本收益法，当净现值大于 0 是，应鼓励企业进行环保设备的安装；净现值等于 0 时，企业的收益效率是等于银行的贷款利率，项目是可行的；净现值小于 0 时，不建议安装环保设备。本文的成本包括活性炭和活性炭吸附装置，然后效益分为间接效益和潜在效益。间接效益是减少了生产阶段所产生的 VOC 排放量，优化了环境空气质量，带来了一定的社会效益以及企业利用宣传树立绿色清洁企业形象、传递产品信息，促销信息传递给潜在顾客增加企业的销售机会和消费者的购买机会；潜在效益可以促进企业文化的进一步发展和传播；转变企业的经营模式由传统模式转变为更加科学环保绿色的新型模式；提高公司工作人员的知识技能和技术水平以及自身的综合素质等。潜在效益对于企业的综合能力、长远目标、竞争利益具有比较深刻的意义。

### 7 主要结论及建议

本文利用生命周期评价方法对塑料软包装袋进行测算，并具体针对初级能源消耗潜势、挥发性有机物、臭氧层消耗潜势、光化学臭氧合成潜势、酸化潜势和可吸入无机物潜势六个指标，分生命周期阶段比较和分析包装袋从资源开采到出厂的整个过程对资源和环境产生的影响，得出以下结论和建议：

第一，塑料软包装袋生命周期中的原料获取阶段综合贡献最大。塑料包装袋是通过复合聚丙烯膜和聚酯膜这两种塑料薄膜，并辅之以铝箔，在印刷凹版

上电子雕刻而成。整个过程不仅消耗了原油、铝矿和钢板等不可再生资源，而且资源加工过程中也释放了废水、废气等污染物，从而对资源与环境都造成了显著的影响。因此，有必要从原料开采阶段切入，寻找减少环境影响的突破口。包装减量化是实现减少原料开采的关键，达到从源头减少包装物的目的。随着食品、快递等下游行业的迅速发展，“过度包装”的问题逐渐凸显，产品的包装往往远离了包装基本功能。减量化是 3R 首要原则，同样适用于包装产品。与传统减量化不同，在新的包装环境之下，减量化更加强调资源的高效利用。如果在设计产品包装物时，考虑包装的结构、强度，使其在满足包装基本功能的同时重复被利用，便可以减少包装废物的积累。

第二，运输阶段和生产阶段对能源消耗影响显著。运输过程依靠的交通工具为柴油货车，货车运输过程以及追溯至柴油生产的过程都加剧了环境问题。对此，包装企业可以通过节能环保型电动车代替传统柴油车运输，并合理规划原料采购区域，减少柴油的使用和运输的总距离。生产阶段的电力来源是全国平均电网电力，采用的是火力发电。因此，政府在开发建立绿色电网的同时，应同时推出绿电补贴等政策，支持包装企业优先使用水力等清洁能源，以减少对传统化石能源的依赖，实现可持续发展。

第三，塑料包装的生命周期影响主要集中在酸化潜势、可吸入无机物潜势和光化学臭氧合成潜势三个方面，在臭氧层消耗潜势和初级能源消耗潜势方面的影响稍小。对于酸化潜势和可吸入无机物潜势这两个指标，影响均来源于原料铝箔在生产过程中排放颗粒物等大气污染物、硫氧化物和氮氧化物等水体污染物。对于光化学臭氧合成潜势指标，贡献最大的是聚丙烯膜，薄膜制备过程中会排放大量挥发性有机物，而据调研资料可知，聚丙烯膜企业考虑到成本，并未按照环评意见安装活性炭，进而使其产生的挥发性有机物未经处理，直接排放至大气。对此，政府需要从包装袋的原料企业入手，强化生产者责任制度，强化工业“三废”排放的管制，并对节能清洁技术应用的企业给予补贴。对于环保设备安装成本较高的问题，应引导和鼓励社会资本投入环保设备行业，改善目前国内环保设备供应过少造成的环保设备安装难度大的现状。

第四，塑料薄膜作为包装袋原料的使用，会带来比测算结果更显著的环境影响。本研究的范围是从资源开采到产品出厂，而并未包括出厂之后的使用废弃环节，但塑料包装袋在废弃之后，通常也会带来严重的白色污染问题。所以塑料薄膜的使用不仅会消耗资源，而且在塑料颗粒提炼、塑料薄膜制备和塑料制品废弃的过程中释放了大量环境污染物。考虑到现阶段塑料颗粒提炼的技术和效率不能在短期之内迅速提升，因此一方面需要从原料端入手，政府通过财政手段大力扶持以生物质等新型可降解物质作为原料的包装企业，促进可降解

包装原料代替传统不可降解塑料。另一方面需从末端入手，建立完善包装物回收体系，减少塑料包装废物由于回收的随意性，对生态环境造成的不利影响。

### 参考文献:

- [1]王晓萌. 产品包装绿色设计的研究[D].华北电力大学, 2017.
- [2]戴铁军,高新昕.包装工业可持续发展与循环经济[J].生态经济,2014,30(2):150-153.
- [3]Sen, B., et al., Material footprint of electric vehicles:A multiregional life cycle assessment.Journal of Cleaner Production, 2019.209: 1033-1043.
- [4]谢明辉,李丽,乔琦,孙启宏,张霖琳.塑料牛奶包装及处置方式生命周期环境影响研究[J].中国环境科学,2011,31(11):1924-1930.
- [5]梁韵秋,孔钰晨,蔡静蕊,顾臻,宁凯敏.瓷质餐具聚苯乙烯包装生命周期评价案例分析[J].环境科学与技术,2013,36(S2):396-401.
- [6]郭安福,唐娟,徐婕,李剑峰,李方义,张传伟.基于全生命周期理论的生物质包装材料环境友好性模型与评价[J].化工新型材料,2017,45(7):138-140+143.
- [7]谢明辉,李丽,黄泽春,朱雪梅,孙体昌.典型复合包装的全生命周期环境影响评价研究[J].中国环境科学,2009,29(7):773-779.
- [8]Demetrious A, Crossin E. Life cycle assessment of paper and plastic packaging waste in landfill, incineration, and gasification-pyrolysis[J]. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2019: 1-11.
- [9]Buccino C,Ferrara C,Malvano C,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,2019,40(5):584-593.
- [10]张弘韬.节约型包装造型与结构设计研究——基于生命周期评价理论的视角[J].生态经济,2017,33(7):232-235.
- [11]安美清,向万里.低碳包装发展模式及其生命周期分析[J].生态经济,2012(05):174-176.
- [12]苏文燕. 关于绿色包装的减量化设计[D].天津科技大学,2017.
- [13]成佳. 生命周期管理模式下的食品包装设计研究[D].湖南工业大学,2018.
- [14]Khoo H H. LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019, 145: 67-77.
- [15]Boustead, Consoli and Allen, Guidelines for life-cycle assessment:A"code of practice"[R].Pensacola:Society of Environmental Toxicology and Chemistry(SETAC), 1993:1-3.
- [16]刘夏璐,王洪涛,陈建,何琴,张浩,姜睿,陈雪雪,侯萍.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.



- [17]R, F., J.N and A.H J, The ecoinvent database:Overview and methodological framework[J].International journal of Life Cycle Assessment, 2004.10(1):3-9.
- [18]Ferreira S, Cabral M, De Jaeger S, et al. Life cycle assessment and valuation of the packaging waste recycling system in Belgium[J]. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2017, 19(1): 144-154.
- [19]Kawecki D, Scheeder P R W, Nowack B. Probabilistic Material Flow Analysis of Seven Commodity Plastics in Europe[J]. Environmental science & technology, 2018, 52(17): 9874-9888.
- [20]Hou P, Xu Y, Taiebat M, et al. Life cycle assessment of end-of-life treatments for plastic film waste[J]. Journal of cleaner production, 2018, 201: 1052-1060.
- [21]Gutierrez M M, Meleddu M, Piga A. Food losses, shelf life extension and environmental impact of a packaged cheesecake: A life cycle assessment[J]. Food Research International, 2017, 91: 124-132.
- [22]殷仁述,杨沿平,杨阳,陈志林.车用钛酸锂电池生命周期评价[J].中国环境科学,2018,38(06):2371-2381.