

浙江凯利新材料股份有限公司

BOPP 薄膜  
产品碳足迹报告

(2023 年度)

浙江经茂节能技术有限公司

二〇二四年一月



## 目录

摘要 .....	1
1.产品碳足迹（PCF）介绍 .....	2
2.目标与范围定义 .....	3
2.1 企业及其产品介绍 .....	3
2.2 研究目的 .....	3
2.3 研究范围 .....	4
2.4 功能单位 .....	4
2.5 生命周期流程图的绘制 .....	4
2.6 分配原则 .....	5
2.7 取舍准则 .....	5
2.8 数据质量要求 .....	6
3.过程描述 .....	6
3.1 BOPP 薄膜生产过程 .....	6
4.数据的收集和主要排放因子说明 .....	10
5.碳足迹计算 .....	10
5.1 碳足迹识别 .....	10
5.2 数据计算 .....	10

# 摘要

产品碳足迹评价的目的是以生命周期评价方法为基础，采用 ISO/TS14067-2013《温室气体产品碳足迹关于量化和通报的要求与指南》、《PAS2050:2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》、《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》的要求中规定的碳足迹核算方法，计算得到浙江凯利新材料股份有限公司产品 BOPP 薄膜的碳足迹。

为了满足碳足迹的需要，本报告的功能单位定义为生产 1tBOPP 薄膜产品。系统边界为“从摇篮到客户”类型，现场调研了从获取、原材料运输、产品生产、产品包装、产品运输到客户端的生命过程，其中也调查了其他物料、能源获取的排放因子数据来源于中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

评价过程中，数据质量被认为是最重要的考虑因素之一。本次数据收集和选择的指导原则是：数据尽可能具有代表性，主要体现在生产商、技术、地域、时间等方面。生命周期主要活动数据来源于企业现场调研的初级数据，大部分国内生产的原材料的排放因子数据来源于 IPCC 数据库，以及中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库，本次评价选用的数据在国内外 LCA 研究中被高度认可和广泛应用。此外，通过 GreenIn2.0 软件实现了产品的生命周期建模、计算和结果分析，以保证数据和计算结果的可溯性和可再现性。

从本次评价结果看，2023 年度浙江凯利新材料股份有限公司 BOPP 薄膜产品碳足迹：1tBOPP 薄膜的碳足迹  $e=424.0536\text{kgCO}_2e/t$ ，从 BOPP 薄膜产品生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出 BOPP 薄膜产品的碳排放环节主要集中在生产过程中，其次是产品运输过程。

# 1.产品碳足迹（PCF）介绍

近年来，温室效应、气候变化已成为全球关注的焦点，“碳足迹”这个新的术语越来越广泛地为全世界所使用。碳足迹通常分为项目层面、组织层面、产品层面这三个层面。产品碳足迹（Product Carbon Footprint, PCF）是指衡量某个产品在其生命周期各阶段的温室气体排放量总和，即从原材料开采、产品生产（或服务提供）、分销、使用到最终处置/再生利用等多个阶段的各种温室气体排放的累加。温室气体包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFC）和全氟化碳（PFC）等。碳足迹的计算结果为产品生命周期各种温室气体排放量的加权之和，用二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）表示，单位为 kgCO<sub>2</sub>e 或者 gCO<sub>2</sub>e。全球变暖潜值（Global Warming Potential, 简称 GWP），即各种温室气体的二氧化碳当量值，通常采用联合国政府间气候变化专家委员会（IPCC）提供的值，目前这套因子被全球范围广泛适用。

产品碳足迹计算只包含一个完整生命周期评估（LCA）的温室气体的部分。基于 LCA 的评价方法，国际上已建立起多种碳足迹评估指南和要求，用于产品碳足迹认证，目前广泛使用的碳足迹评估标准有三种：①《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，此标准是由英国标准协会（BSI）与碳信托公司（Carbon Trust）、英国食品和乡村事务部（Defra）联合发布，是国际上最早的、具有具体计算方法的标准，也是目前使用较多的产品碳足迹评价标准；②《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》，此标准是由世界资源研究所（World Resources Institute, 简称 WRI）和世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable Development, 简称 WBCSD）发布的产品和供应链标准；③ISO/TS 14067-2013《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》，此标准以 PAS2050 为种子文件，由国际标准化组织（ISO）编制发布。产品碳足迹核算标准的出现目的是建立一个一致的、国际间认可的评估产品碳足迹的方法。

## 2.目标与范围定义

### 2.1 企业及其产品介绍

浙江凯利新材料股份有限公司创建于 2006 年，前身为浙江凯利包装材料有限公司。公司位于绍兴市柯桥区柯桥街道柯东高新技术园区镜水路 889 号，是一家专业生产、销售多功能性塑料包装薄膜的国家高新技术企业。公司占地面积 82578m<sup>2</sup>，建筑面积 60536m<sup>2</sup>，固定资产 40474 万元。2023 年实现产值 5.28 亿元。公司现有员工 281 人，专门从事双向拉伸聚丙烯薄膜的生产与销售，产量居国内第三。其产品作为基材，这类新型薄膜具有质轻、透明、无毒、防潮、透气率低、力学强度高优点，广泛应用于食品、医药等产品的高档印刷包装、电器绝缘、磁性材料、电容器膜等。

公司生产的薄膜产品采用先进的配套生产设备，公司先后投资 5 亿多人民币引进世界上最先进的两条高速 BOPP 薄膜生产线，全套生产线分别由日本三菱重工、德国布鲁克纳机械公司和德国康普公司、英国阿特拉斯公司进口，配套设备分别从日本、台湾、德国等地引进。设备全部采用大型可编程序计算机控制，通过中央控制室控制整个生产过程。

公司先后通过 ISO9001：2015 质量管理、ISO14001：2015 环境管理、ISO45001：2015 职业健康管理、知识产权贯标等体系认证，采用科学先进的管理模式，建立了一套完整的质量体系。公司已与 80 多个国家与地区的公司建立了贸易往来，居国内同行第一，产品主要出口欧洲、美国、日韩等发达国家。

公司自 2006 年成立以来，先后获得国家高新技术企业、国家火炬计划重点高新技术企业、国家专精特新小巨人企业、省 AAA 级守合同重信用企业、省级商标品牌示范企业、省级出口名牌、省级高新企业研发中心、国家火炬计划产业化示范项目、省塑料行业协会理事会副会长单位、省专精特新中小企业、省企业研究院等荣誉。

### 2.2 研究目的

碳足迹核算是浙江凯利新材料股份有限公司实现低碳、绿色发展的基础和关

键，披露产品的碳足迹是浙江凯利新材料股份有限公司环境保护工作和社会责任的一部分，也是浙江凯利新材料股份有限公司迈向国际市场的重要一步。本项目的研究结果将为浙江凯利新材料股份有限公司与产品的采购商和第三方的有效沟通提供良好的途径，对促进产品全供应链的温室气体减排具有一定积极作用。

本项目评价结果的潜在沟通对象包括两个群体：一是浙江凯利新材料股份有限公司内部管理人员及其他相关人员，二是企业外部利益相关方，如上游原材料供应商、下游采购商、地方政府和环境非政府组织等。

## 2.3 研究范围

根据本项目评价目的，按照 ISO/TS14067-2013、《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，本次碳足迹评价的边界为企业 2023 年全年生产活动及非生产活动数据。由于 BOPP 薄膜产品运输采用直接运输方式，因此，确定本次评价边界为：产品的碳足迹=原料生产运输+产品过程生产+产品运输。

## 2.4 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化，功能单位被定义为生产 1tBOPP 薄膜。

## 2.5 生命周期流程图的绘制

根据《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》绘制 1tBOPP 薄膜产品的生命周期流程图，其碳足迹评价模式为从商业到商业（B2B）评价：包括从原材料运输、产品生产、消耗能源生产、包装和运输到分销商。

在本报告中，产品的系统边界属于“从摇篮到客户”的类型，为了实现上述功能单位，BOPP 薄膜产品的系统边界见下表：

**表 2.1 包含和未包含在系统边界内的生产过程**

包含的过程	未包含的过程
1tBOPP 薄膜生产的生命周期过程包括： 1 原材料运输—产品生产—产品销售	1 资本设备的生产及维修 2 产品的使用

2 电力、天然气使用	3 产品回收、处置和废弃阶段
3 产品的运输	4 其他辅料的运输

## 2.6 分配原则

由于在本次评价系统边界下，生产 BOPP 薄膜过程产生极少不合格产品，由于未单独统计，因此将生产原材料与能源消耗全部计入 BOPP 薄膜生产过程。

## 2.7 取舍准则

此次评价采用的取舍规则以各项原材料投入占产品重量或过程总投入的重量比为依据。具体规则如下：

普通物料重量 $<0.1\%$ 产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量 $<0.1\%$ 产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过 $5\%$ ；

生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；

在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

本报告所有原辅料和能源等消耗都关联了上游数据，部分消耗的上游数据采用近似替代的方式处理。

基于评价目标的定义，本次评价只选择了全球变暖这一种影响类型，并对产品生命周期的全球变暖潜值（GWP）进行了分析，因为 GWP 是用来量化产品碳足迹的环境影响指标。

评价过程中统计了各种温室气体，包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>），甲烷（CH<sub>4</sub>），氧化亚氮（N<sub>2</sub>O），四氟化碳（CF<sub>4</sub>），六氟乙烷（C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>），六氟化硫（SF<sub>6</sub>）和氢氟碳化物（HFC）等。并且采用了 IPCC 第四次评估报告（2007 年）提出的方法来计算产品生产周期的 GWP 值。该方法基于 100 年时间范围内其他温室气体与二氧化碳相比得到的相对辐射影响值，即特征化因子，此因子用来将其他温室气体的排放量转化为 CO<sub>2</sub> 当量（CO<sub>2</sub>e）。例如，1kg 甲烷在 100 年内对全球变暖的影响相当于 25kg 二氧化碳排放对全球变暖的影响，因此以二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）为基础，甲烷的特征化因子就是 25kgCO<sub>2</sub>e。

## 2.8 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本评价中主要考虑了以下几个方面：

数据准确性：实景数据的可靠程度；

数据代表性：生产商、技术、地域以及时间上的代表性；

模型一致性：采用的方法和系统边界一致性的程度。

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在评价过程中优先选择来自生产商和供应商直接提供的初级数据，其中经验数据取平均值，本评价在 2024 年 1 月进行数据的调查、收集和整理工作。当初级数据不可得时，尽量选择代表区域平均和特定技术条件下的次级数据，次级数据大部分选择来自 IPCC 数据库；当目前数据库中没有完全一致的次级数据时，采用近似替代的方式选择 IPCC 数据库中数据。

采用 eFootprint 软件来建立产品生命周期模型，计算碳足迹和分析计算结果，评价过程中的数据库采用中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

数据库的数据是经严格审查，并广泛应用于国内国际上的 LCA 研究。各个数据集和数据质量将在第 4 章对每个过程介绍时详细说明。

## 3.过程描述

### 3.1 BOPP 薄膜生产过程

浙江凯利新材料股份有限公司主要生产聚丙烯薄膜（BOPP），采用连续化生产，生产自动化程度较高，典型产品工艺流程图如下。

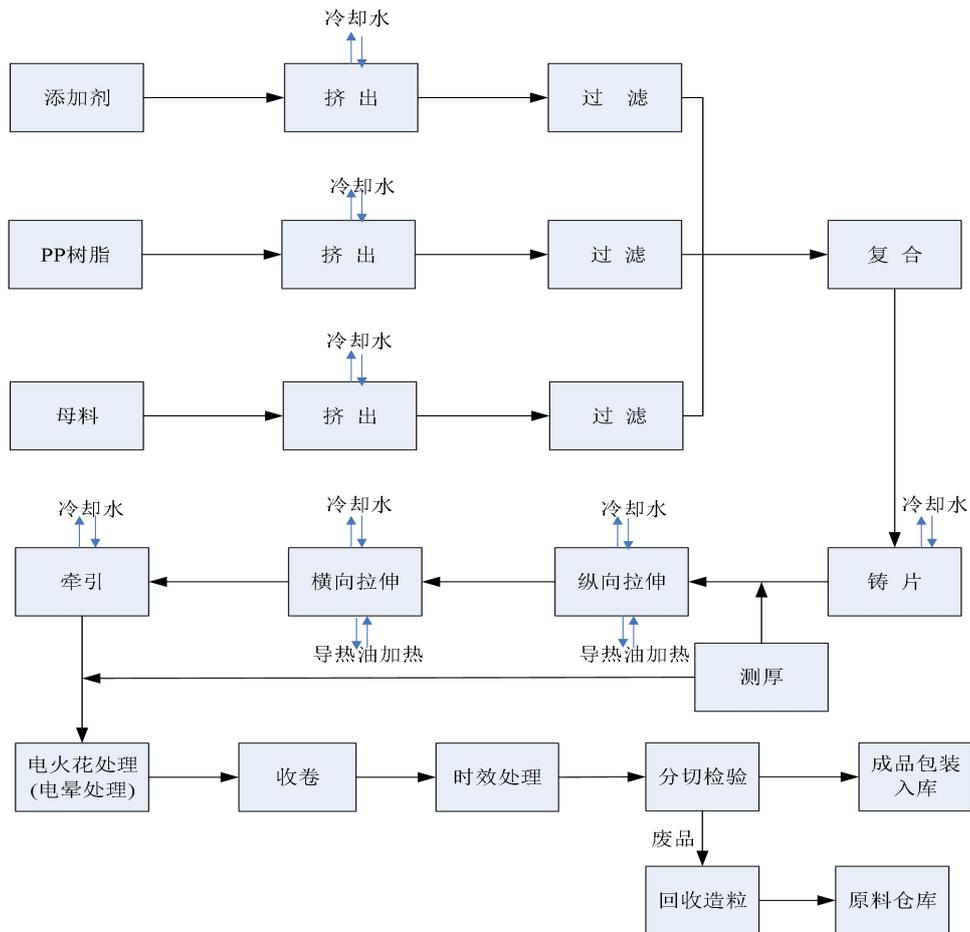


图 3.1 BOPP 薄膜生产工艺流程图

生产工艺说明：

### (1) 原料预处理

原料预处理是生产工艺流程中的第一步，它主要是通过原、辅料的分筛、输送、配料及物料混合、金属分离、结晶与干燥等过程，将生产所需的均聚聚丙烯与各类添加剂、母料在精确计量的前提下，进行充分混合，并去除其中的金属杂质与多余水分，使所需原料达到生产要求，再经料斗投入挤出系统。

### (2) 挤出

本工序在生产线的挤出系统中完成，其工艺过程包含两部分内容：一是双螺杆挤出机通过挤出机螺杆旋转产生的压力和剪切力，利用物料与机筒、螺杆的摩擦力和机筒外部传入的热量，将聚合物与生物降解母料、抗静电剂、爽滑剂进行充分地塑化与均化，并从主挤出机中挤出，通过计量泵准确计量；二是通过两台辅挤出机，分别将均聚 PP 与抗粘剂和生物降解母料进行熔融和均化，并从辅挤出机中挤出。

### （3）过滤

由于在熔融聚合物中，无论原料如何纯净，始终会含有一定数量的杂质，如：碳化物、灰尘、凝聚粒子、晶点、金属粉、包装运输中带入的杂质等。在挤出过程中，熔体中存在的杂质，除损坏计量泵外，更主要的是影响薄膜质量及薄膜收缩率。因此，本工序主要是通过安装在主挤出机与模头间的烛式过滤器，以去除熔融聚合物中的杂质。

### （4）复合

该工序通过一种特殊设计的流道，使各挤出机中挤出的熔融聚合物被喂入一个三层模头，共挤在一起并以扁平层状挤出，形成厚片。

### （5）铸片

本工序主要借助于铸片机的外力作用，将模头挤出的熔体迅速贴附在低温、高光洁度、镀铬的冷却辊表面上。通过带水槽的冷却辊使厚片从两面向中间迅速冷却，形成均匀的固体厚片。在本工序生产过程中，还将通过一台安装在铸片机与拉伸机之间的 $\beta$ 射线测厚仪，使用非接触、连续工作的方式，对固体厚片进行实时测厚，以控制厚片的厚度，以期获得厚度十分均匀的固体厚片。

### （6）纵向拉伸（MDO）

该工序是将成形的固体厚片通过多个高精度金属辊筒进行加热，并在三组不同的速度梯度下，将厚片进行纵向拉长，使聚合物分子进行纵向取向和定型。

### （7）横向拉伸（TDO）

横向拉伸工序是借助两条链夹的同向同步运行将经纵向拉伸后的厚片，先在略有增幅的预热段进行预热后，在有较大扩张角的横向拉伸区内进行横向拉伸，使厚片在热和力的作用下，横向拉伸一定的倍数，使聚合物分子横向取向和结晶；然后在平行及有收缩的热处理区内进行热处理，使薄膜定型及松弛；最后在平行的冷却区进行冷却，形成薄膜。

### （8）牵引

牵引装置的作用是将经双向拉伸的薄膜展平、冷却，并利用一台安装在牵引装置上的 $\beta$ 射线测厚仪非接触式对薄膜厚度进行实时检测，然后切除两个废边，并将废边通过吸风嘴吸入粉碎机，最终以恒定的速度将薄膜送往收卷机。

### （9）电晕处理

本工序是通过高频发生器产生一个高压电场，使空气电离和分解，形成臭氧和氧化氮，这些高能离子在电场作用下轰击薄膜表面，使其链状分子断裂，链断裂时产生的自由基与空气电晕产物发生氧化，交联反应，使薄膜表面产生极性基团。薄膜表面被激活。部分离子进入表层，使薄膜表层凹凸不平，增大薄膜的表面张力。增加薄膜对油墨、胶粘剂、油漆、金属等的附着力。

#### （10）测厚

牵引站使用了无接触成品测厚系统。采用放射性测厚仪（含  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{147}\text{Pm}$  放射源，均属于 V 类放射源），并把测量结果传至用于自动模头控制的计算机内进行与设定值比较，然后根据膜厚偏差相应增大或减小热敏螺栓的加热功率来改善薄膜厚度的均匀性。

#### （11）收卷

经拉伸后的薄膜，在收卷机上用钢质卷芯进行收卷，将薄膜卷成大母卷。

#### （12）时效处理

本工序为将收卷机上卸下的大母卷，放在恒温的钢架台上，通过一定的时间，使薄膜充分地自然收缩，释放内应力，以提高薄膜的尺寸稳定性，并使添加在薄膜中的各类添加剂逐渐由芯层向表面层迁移，发挥它们的作用。

#### （13）分切与检验、包装

从收卷机上卸下的母卷，其尺寸并不能完全满足客户的使用要求，并造成运输不便。所以在出厂前都要将其进行分切，把母卷切成具有特定宽度及长度的小卷。

#### （14）废膜回收

废膜回收系统如下：厚片、废膜→粉碎机→碎片混合料仓→旋转料仓（压实机）→熔融挤出→过滤器→造粒→冷却水冷却→风干切粒→回收料仓

从牵引站来的边膜以及不可避免地产生一些废膜（铸膜厚片、纵拉厚片、横拉废膜、浮膜、分切边膜、分切废膜），只要未被污染都可以粉碎、回收，重新加入薄膜生产中。这些废料如果不充分回收利用，就会增大生产成本，造成原材料的极大浪费。其中边膜由文丘里装置抽吸并进入粉碎轧碎，轧碎后碎片被送往碎片料仓，料仓带有搅拌器以防止架桥。碎片经过熔融、过滤、挤出、造粒、风干、切粒后，回收切片通过风机输送至回收切片料仓再循环使用。

## 4.数据的收集和主要排放因子说明

为了计算产品的碳足迹，必须考虑活动水平数据、排放因子数据和全球增温潜势（GWP）。活动水平数据是指产品在生命周期中的所有的量化数据（包括物质的输入、输出；能量使用；交通等方面）。排放因子数据是指单位活动水平数据排放的温室气体数量。利用排放因子数据，可以将活动水平数据转化为温室气体排放量。如：电力的排放因子可表示为： $tCO_2e/kWh$ ，全球增温潜势是将单位质量的某种温室效应气体（GHG）在给定时间段内辐射强度的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数，如  $CH_4$ （甲烷）的 GWP 值是 25。活动水平数据来自现场实测；排放因子采用 IPCC 规定的缺失值。活动水平数据主要包括：外购电力消耗量、蒸汽消耗量和天然气消耗量等。排放因子数据主要包括外购电力排放因子和天然气排放因子、BOPP 薄膜生产过程排放因子和交通运输排放因子。

## 5.碳足迹计算

### 5.1 碳足迹识别

结合 BOPP 薄膜生产的碳足迹分析，本次评价不涉及消费终端的排放量，以及对于原材料获得所需碳排放的计算，没有计算原材料加工的碳足迹，仅计算从原材料供应商到公司仓库的碳足迹。

表 5.1 碳足迹过程识别表

序号	主体	活动内容	备注
1	原材料获取	运输排放	/
2	BOPP 薄膜生产过程	能源排放	/
3	产品运输	运输排放	/

### 5.2 数据计算

#### （1）原材料获取

公司原材料供应商到公司的距离具体见下表，运输方式以公路运输为主。

表 5.2-1 原材料采购运输信息表

原辅材料名称	供应商位置（公里）	货车运行里程数（公里）	运输类型
PP 树脂	125	7500	汽车
母料	95	5700	汽车
纸管	50	3000	汽车
合计	/	16200	

根据《IPCC2006 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南（试行）》，公路运输能耗计算公式如下：

$$\text{公路（道路）交通能耗} = \text{百公里油耗} * \text{运行里程数} * \text{保有量} \quad (5.1)$$

根据《中国交通运输能源消耗水平测算与分析》，中型货车平均百公里油耗为 27.6（升/百公里）。

各类原辅材料货车运行里程数见上表 5.2-1。

根据上述公式计算得到原辅材料运输能耗结果如下：

表 5.2-2 原材料采购运输柴油耗量表

原辅材料名称	柴油消耗量（升）	柴油消耗量（吨）
PP 树脂	2070	1.74
母料	1573.2	1.32
纸管	828	0.70
合计	4471.2	3.76

注：柴油密度取 0.84t/m<sup>3</sup>。

其中柴油排放因子为 3.145tCO<sub>2</sub>/t，柴油使用带来的二氧化碳排放量为 11.81t。

通过核算，前端原辅材料获取过程中二氧化碳排放总计为 11.81tCO<sub>2</sub>e。

### （2）BOPP 薄膜生产

企业在生产过程中，二氧化碳排放包含生产过程中消耗电力排放和化石燃料燃烧排放。

表 5.2-3 生产过程中能源消耗量

排放类型	消耗量	平均低位发热值	单位热值含碳量	碳氧化率	折算因子	碳排放量
					/	tCO <sub>2</sub>
外购电力	39760MWh	/	/	/	0.52466tCO <sub>2</sub> / MWh	20858.10
外购天然气	180.59 万 m <sup>3</sup>	355.86GJ/万 m <sup>3</sup>	15.3tC/TJ	99%	44/12	3569.20

合计	24427.30
----	----------

通过核算，企业 2023 年 BOPP 薄膜生产过程中产生二氧化碳 24427.30tCO<sub>2</sub>e，2023 年 BOPP 薄膜产品产量为 57735.29t，单位产品生产过程二氧化碳排放量为 423.0913kgCO<sub>2</sub>e/t。

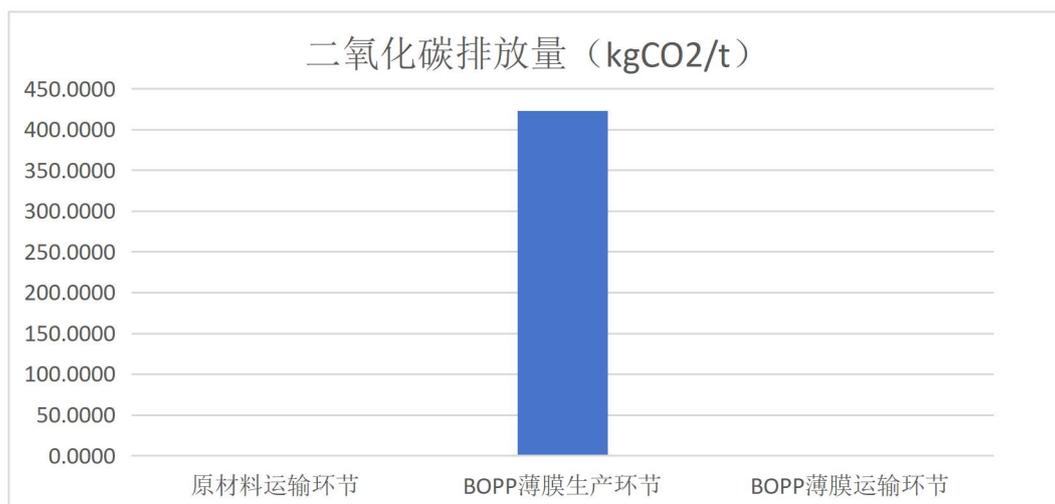
### (3) BOPP 薄膜运输

企业在产品运输过程中，二氧化碳排放主要为货车公路运输产生的排放。企业产品发运半径约 200 公里，全年运输总里程 60000 公里，2023 年产品运输柴油消耗量为 16560 升，折算约 13.91 吨，产品运输过程中产生二氧化碳排放总量为 43.75tCO<sub>2</sub>，2023 年企业 BOPP 薄膜产量为 57735.29t，则单位产品生产过程二氧化碳排放量为 0.7577kgCO<sub>2</sub>e/t。

**表 5.2-4 BOPP 薄膜产品碳足迹**

序号	内容	二氧化碳排放量 (kgCO <sub>2</sub> e/t)
1	原材料运输环节	0.2046
2	BOPP 薄膜生产环节	423.0913
3	BOPP 薄膜运输环节	0.7577
4	BOPP 薄膜全生命周期	424.0536

综上，1tBOPP 薄膜的碳足迹 e=424.0536kgCO<sub>2</sub>e/t，从 BOPP 薄膜生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出 BOPP 薄膜的碳排放环节主要集中在生产过程中，其次是产品运输环节。



**图 5.1 生命周期各阶段的碳足迹的分析结果**

所以为了减小 BOPP 薄膜的碳足迹，应重点考虑减少 BOPP 薄膜生产能耗，

主要为降低生产过程的碳排放。

为减小产品碳足迹，建议如下：

（1）通过设备改变运转方式、提高效率，有效减少运转过程中能源的消耗。

（2）加强节能工作，从技术及管理层面提升能源效率，电力消耗，厂内可考虑实施节能改造，重点提高设备的能源利用率，从而减少能源损失；

（3）在分析指标的符合性评价结果以及碳足迹分析、计算结果的基础上，结合环境友好的设计方案采用落实生产者责任延伸制度、绿色供应链管理等工作，提出产品生态设计改进的具体方案。

（4）持续推进绿色低碳发展意识，坚定树立企业可持续发展原则，加强生命周期理念的宣传和实践。运用科学方法，加强产品碳足迹全过程中数据的积累和记录，定期对产品全生命周期的环境影响进行自查，以便企业内部开展相关对比分析，发现问题。在生态环境管理、组织、人员等方面进一步完善。

（5）不确定性的主要来源为初级数据存在测量误差和计算误差。减少不确定性的方法主要有：使用准确率较高的初级数据，对每一道工序都进行能源消耗的跟踪监测，提高初级数据的准确性。