

绿色包装与循环经济

## 基于生产周期的包装印刷品碳足迹测算方法研究

肖颖, 金琳, 刘骏, 刘苏瑞

(上海出版印刷高等专科学校, 上海 200093)

**摘要:** **目的** 对包装印刷品的生产周期碳足迹核算流程、核算方法、数据收集等方面进行探讨, 归纳出包装印刷品生产周期碳足迹测算中存在的问题, 并提出解决测量问题和降低生产周期碳足迹的可行策略和建议, 为国内外包装印刷企业产品碳足迹测算和“碳中和”提供参考。**方法** 结合包装印刷企业实际生产数据和印刷品碳足迹国际核算标准, 以化妆品包装盒为例进行碳足迹现场测算研究。**结果** 从工艺角度看, 包装印刷品生产周期碳足迹绝大部分来源于造纸、印刷、覆膜生产过程, 其次是糊盒、上光等印后加工过程, 从原辅材料和能源角度看, 碳足迹绝大部分来源于纸张、电力、胶水。**结论** 对生产设备进行节能降耗、选择低碳原辅材料代替高碳原辅材料和创新产品结构将是降低包装印刷品生产周期碳足迹的有效措施。

**关键词:** 包装印刷品; 生产周期; 碳足迹; 测算方法

**中图分类号:** TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)01-0265-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.01.030

## Carbon Footprint Measurement Method of Packaging and Printing Products Based on Production Cycle

XIAO Ying, JIN Lin, LIU Jun, LIU Su-ru

(Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

**ABSTRACT:** The work aims to discuss the carbon footprint accounting process, accounting methods, data collection and other aspects of the production cycle of packaging and printing products, summarize the problems in the carbon footprint calculation of the packaging and printing production cycle, and put forward feasible strategies and suggestions to reduce the carbon footprint of the production cycle, so as to provide reference for product carbon footprint calculation and "carbon neutrality" of packaging and printing companies at home and abroad. On the basis of the actual production data of packaging and printing enterprises and the international accounting standards for carbon footprint of printing products, the carbon footprint calculation of the packaging and printing production cycle was researched with cosmetic packaging boxes as an example. From a technological perspective, most of the carbon footprint in the production cycle of packaging and printing products came from the processes of papermaking, printing, and laminating, followed by post-printing processes such as gluing and varnishing. From the perspective of raw and auxiliary materials, most of the carbon footprint came from paper, electricity, and glue. Energy saving, consumption reduction of production equipment, selection of low-carbon raw and auxiliary materials instead of high-carbon raw and auxiliary materials, and innovative design of product structure are effective measures to reduce the carbon footprint of packaging and printing production cycle.

**KEY WORDS:** packaging and printing product; production cycle; carbon footprint; measurement method

收稿日期: 2022-05-03

基金项目: 国家新闻出版署“智能与绿色柔版印刷重点实验室”招标课题 (ZBKT202204, ZBKT202001)

作者简介: 肖颖 (1973—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为印刷工艺, 职业教育。

全球气候问题日益严峻,即2009年哥本哈根气候峰会之后,为遏制气候变暖的趋势,减少碳排放已成为全世界共同的目标。2020年第七十五届联合国大会上,我国向世界郑重承诺力争2030年前实现“碳达峰”,争取在2060年前实现碳中和<sup>[1]</sup>。2021年习近平总书记在领导人气候峰会上也指出实现“碳达峰”和“碳中和”是基于推动构建人类命运共同体的责任担当和实现可持续发展的内在要求做出的重大战略决策。

实现“碳达峰、碳中和”目标,需要能源、工业、交通、建筑等各行各业进行系统研究。从全球来看,工业碳排放是全球碳排放最重要的组成部分之一,印刷产业作为国民经济的重要产业,在实现“碳达峰、碳中和”目标的道路上也进行了积极探索和行动<sup>[2]</sup>。

实现“碳达峰、碳中和”目标的前提条件是要具有碳排放相关的测试方法和标准。印刷行业碳足迹主要涉及到企业碳足迹和产品碳足迹2个层面,2013年7月,ISO国际标准化组织颁布了印刷产品碳足迹量化与通报的标准——ISO 16759印刷媒体产品碳足迹量化与通报<sup>[3]</sup>。该标准是在PAS 2050和ISO 14067:2018等现有规则基础上制定的,规范了用于印刷出版业的碳足迹计算器的构成和对印刷产品碳排放的计算方法<sup>[4]</sup>。印刷产品种类较多,ISO 16759规范的印刷媒体产品碳足迹计算方法过于宽泛,在印刷出版物上的碳排放核算应用较多,在包装印刷产品上的碳排放核算应用还缺乏数据。

文中主要依据ISO 16759和DB31/T 1071—2017等标准对包装印刷品碳足迹进行测量和核算,总结归纳出包装印刷品从原材料到生产周期过程的碳足迹测算流程,挖掘碳足迹测算过程中存在的问题及相应的解决策略。旨在给国内外相关企业提供包装印刷产品的碳足迹测算提供参考,助力我国印刷包装企业早日实现“碳达峰、碳中和”目标。

## 1 包装印刷品生产周期碳足迹核算流程及方法

印刷品碳足迹是基于生命周期评价(LCA)的理

论,是研究从原材料生产、运输到印刷品加工,印刷成品运输、回收再生等各阶段温室气体排放量的核算。考虑到印刷品从交付客户后到使用者手中具有许多不确定性,使用后如何处理较为复杂且难以统计,故只统计印刷品生产加工和企业运输过程中消耗原材料和能源产生的碳足迹,这也是目前印刷包装企业迫切需要降低碳排放的关键之处。在ISO 16759和DB31/T 1071—2017标准的基础上,总结归纳出包装印刷品生产周期碳足迹的核算流程见图1<sup>[5-6]</sup>。

### 1.1 确定碳足迹核算目标及对象

通常核算碳足迹的目标是减少温室气体排放,但针对产品的碳足迹核算不仅限于减少温室气体排放,还可利用碳足迹数据进行产品宣传。例如,可以根据生产过程各环节的碳排放数据改良生产工艺,也可利用某类型产品的碳足迹优势进行产品宣传,提升企业竞争力。在选择核算对象时,要尽可能地考虑后期数据采集的可实施性;在核算产品碳足迹之前,需要先明确核算碳足迹的对象和目标,才能便于后期进行功能单位、生产周期流程、气体排放边界等内容的确定。

### 1.2 确定功能单位

功能单位是印刷品计算碳足迹的参照单位,在计算碳足迹时,确定功能单位是非常重要的步骤,功能单位可以是一个产品,也可以是一定数量的产品,功能单位的选择要为后期的数据测量和分析提供便利<sup>[7]</sup>。例如,是选择一个印刷样张作为功能单位,还是选择一个单一纸盒作为功能单位,取决于实际生产和数据测量的需要。

### 1.3 绘制产品生产周期流程

在确定产品的功能单位后,开始对产品的生产工艺进行分析,并绘制产品生产周期流程图。生产周期流程图不仅包含产品的生产工艺,还应包含涉及碳足迹相关的物质流、能量流、废物流等信息。例如在包装印刷生产周期流程图中除包含各生产工艺外,还因包含各工艺所需的原辅材料和产生的废弃物等。

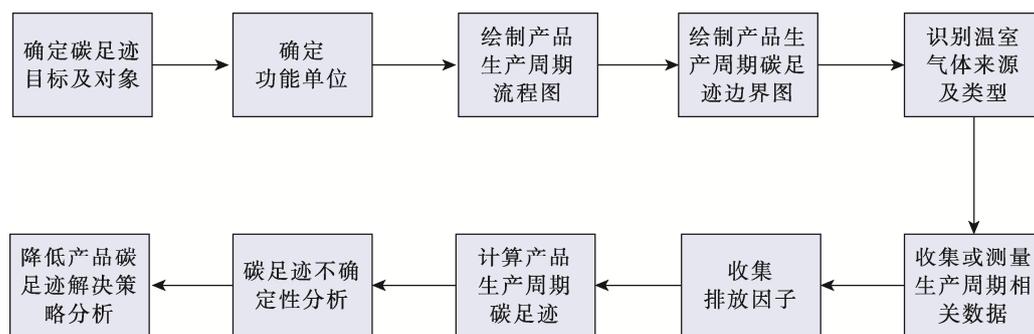


图1 包装印刷品生产周期碳足迹核算流程

Fig.1 Carbon footprint accounting process of packaging and printing production cycle

## 1.4 绘制产品生产周期碳足迹边界图

生产周期温室气体排放边界定义了产品在生产过程中各环节涉及到的碳足迹范围,在确定边界时要将产生实质性碳足迹的过程纳入考虑。实质性碳足迹指超过该产品生产周期预估碳排放总量 1%的任一来源的生产过程。在生产过程中,碳排放量不足碳足迹总量 1%的生产环节,以及由人力提供的输送过程可以忽略不计,不纳入排放边界图<sup>[7]</sup>。

## 1.5 识别温室气体来源及类型

根据产品生产周期碳足迹边界图可以清楚列出产生碳足迹的生产活动以及原辅材料的种类。根据生产过程及原辅材料种类列出生产周期的直接、间接排放源和温室气体种类,例如 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等<sup>[8]</sup>。

## 1.6 收集或测量生产周期相关数据

生产周期相关的数据包括原辅材料的数量、生产和运输设备消耗的电量、生物质或化石燃料的消耗量、废料的数量及回收率等。数据收集过程中尽量采用初级数据,初级数据是指以原始测量源为基础,通过直接测量或计算获得的数据。次级数据是指不以原始测量源为基础,通过间接测量或计算得到的数据,一般只有在无法正常获取初级数据的情况下才采用次级数据<sup>[9]</sup>。

## 1.7 收集原辅材料的碳排放因子

目前常见的碳排放因子的收集方式有 3 种,第 1 种为印刷企业直接提供,第 2 种为联系原材料厂家询问相关耗材的碳排放因子,第 3 种为查询国内外文献寻找同类原材料的碳排放因子进行替代。因包装印刷过程使用的耗材种类较多,故采用 3 种方式相结合来收集碳排放因子。

## 1.8 计算产品生产周期碳足迹

由核算标准可知,目前常用的碳足迹核算方法有计算法和实测法。实测法是在工厂排气通道上安装监测仪器或设备<sup>[6]</sup>,测量排放到大气中的温室气体量,适用于企业的碳足迹测量,不适合于产品的碳足迹测量<sup>[10]</sup>。产品的碳足迹测量一般采用计算法,计算法可分为排放因子法和物料平衡法,下面对这两者方法进行简要介绍。

1) 排放因子法。采用排放因子法计算时,温室气体排放量为活动数据与温室气体排放因子的乘积,见式(1)。

$$E_{\text{GHG}}=AD \times EF \times GWP \quad (1)$$

式中:  $E_{\text{GHG}}$  为温室气体排放量, tCO<sub>2</sub>e;  $AD$  为温室气体活动数据,单位为 kg 或 L;  $EF$  为温室气体排放因子, kgCO<sub>2</sub>/kg 或 kgCO<sub>2</sub>/L;  $GWP$  为全球变暖潜势。

注:在计算燃料燃烧排放二氧化碳时,排放因子也可为含碳量、碳氧化率及二氧化碳折算系数(44/12)的乘积。

2) 物料平衡法。使用物料平衡法计算时,根据质量守恒定律,用输入物料中的含碳量减去输出物料中的含碳量进行平衡计算得到二氧化碳排放量,见式(2)。

$$E_{\text{GHG}}=[\Sigma(M_1 \times CC_1) - \Sigma(M_0 \times CC_0)] \times \omega \times GWP \quad (2)$$

式中:  $E_{\text{GHG}}$  为温室气体排放量, tCO<sub>2</sub>e;  $M_1$  为输入物料的量;  $M_0$  为输出物料的量;  $CC_1$  为输入物料的含碳量;  $CC_0$  为输出物料的含碳量;  $\omega$  为碳质量转化为温室气体质量的转换系数;  $GWP$  为全球变暖潜势。

## 1.9 碳足迹不确定性分析

不确定性分析指对生产周期温室气体边界查找的准确性,数据的来源、数据测量的准确性,以及可能造成测算结果不准确的其他不确定因素进行分析,对最终产品碳足迹的结果进行评判,确保结果可靠且有效。

## 1.10 降低产品碳足迹解决策略分析

分析产品生产周期各环节的碳足迹数据,找出碳足迹的主要来源,根据生产工艺和原辅材料使用情况,进行工艺改进,优化高碳工艺环节,查找低碳原辅材料解决方案,降低产品生产周期的碳足迹。

# 2 包装印刷品生产周期碳排放计算案例

## 2.1 确定目标及对象

通过测量包装印刷产品在生产周期的碳足迹情况,为印刷企业后期进行“碳中和”生产工艺革新提供理论参考。以上海某大型包装印刷企业生产的化妆品包装盒为例,进行碳足迹测算。该产品采用的工序基本覆盖常见的印前、印刷、印后加工工艺,且印量大,统计数据较为准确,可作为其他包装印刷品进行碳足迹测算的样板。

## 2.2 确定功能单位

该案例使用的产品为化妆品包装盒,印刷数量为 18 万个,成品外观尺寸为 21.5 mm×21.5 mm×105.5 mm,拼版尺寸为 380 mm×530 mm,纸板类型为 235 g 白色铜版纸,印刷颜色为黑色和专色,采用的印后加工工序有局部上光、覆膜、丝印、模切、撕边、品检、糊盒等,产品到企业客户运输距离为 150 km,以单个化妆品包装盒为功能单位,测试该包装盒生产周期中的碳足迹。

## 2.3 绘制产品生产周期流程

根据包装盒的工艺分析单及印刷、印后生产流程,绘制出该产品生产周期流程,见图 2。流程中箭

头方向代表产品加工的先后顺序,流程图主要由原辅材料流、生产工艺流、废物流三大部分构成。

### 2.4 绘制产品生产周期碳足迹边界图

在包装盒生产周期流程图的基础上结合生产车间实际情况分析各工艺的碳足迹,并绘制产品生产周期碳足迹边界图,见图3。由图3可以看出,包装印刷品生产周期的碳足迹主要来源于各生产设备的电能,以及纸张、版材、油墨、胶水、光油、塑料膜等原辅材料。

### 2.5 识别温室气体来源及类型

根据产品生产周期碳足迹边界图,从直接排放、

能源间接排放、其他间接排放等3个方面列出生产过程中涉及碳足迹的工艺设备、原辅材料、排放源和温室气体种类,见表1。

### 2.6 数据采集和碳排放因子收集

根据印前、印刷、印后过程温室气体来源及种类表和生产周期碳足迹边界图,对包装印刷生产周期中的碳足迹数据分工艺进行测量。采用文献查找或物料厂家咨询的方式收集不同印刷物料的碳排放因子,对不清楚排放因子的原辅材料,可通过分析主要成分的含碳量,通过计算方法获得,该化妆品包装盒测量和收集数据见表2。

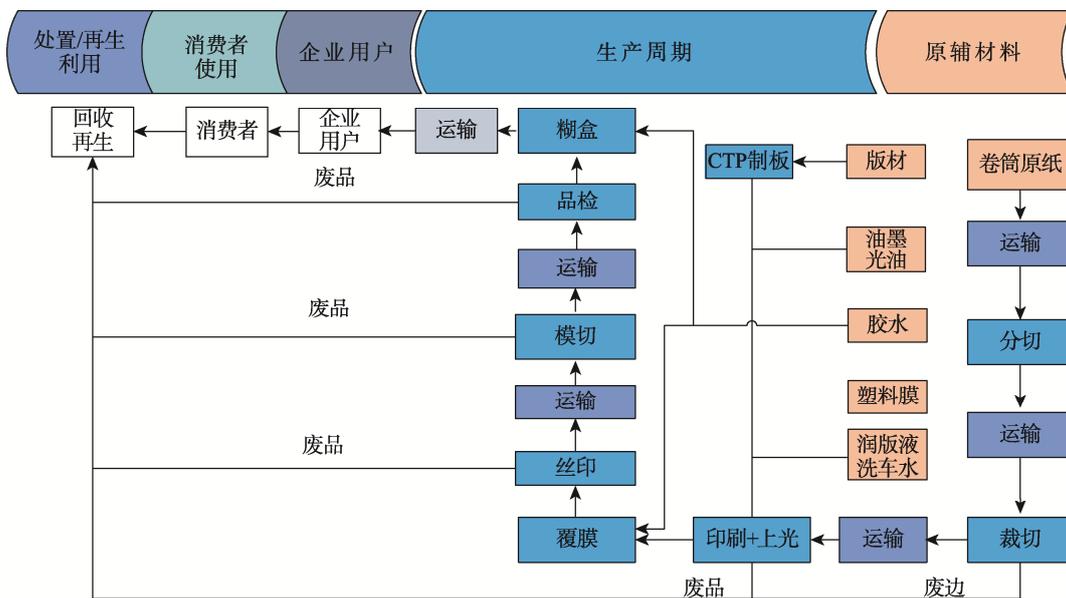


图2 产品印刷生产周期流程  
Fig.2 Production flow chart of printing products

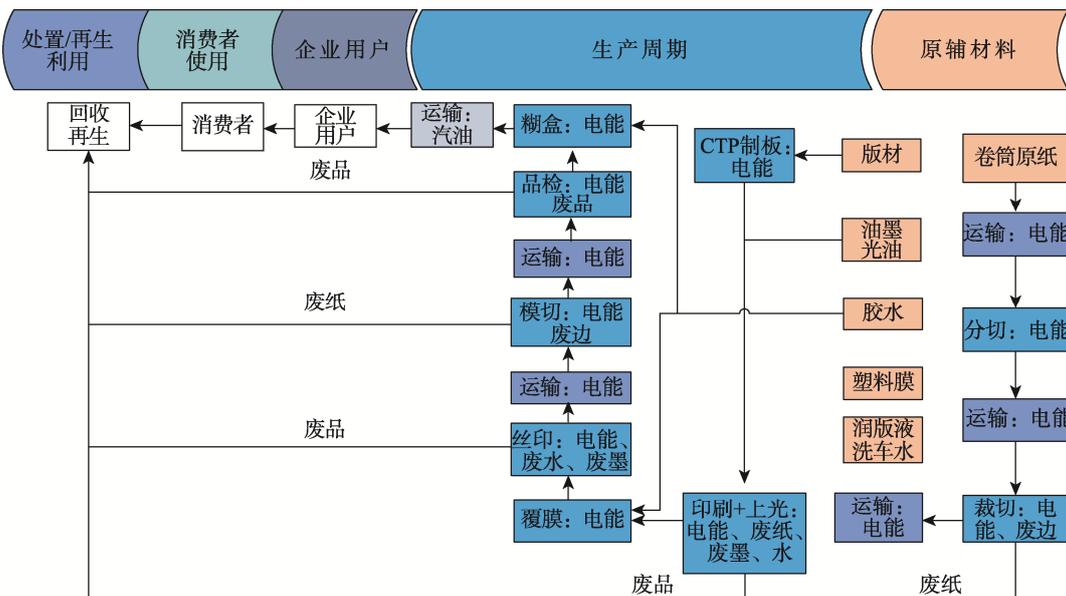


图3 包装印刷产品生产周期碳足迹边界图  
Fig.3 Carbon footprint boundary diagram of packaging and printing product production cycle

表 1 印前、印刷、印后温室气体种类及来源  
Tab.1 Sources and types of greenhouse gases in pre-press, printing, and post-press processes

类别	设施/活动	排放源	温室气体种类
直接排放	能源类	干燥单元	煤炭、柴油
	印刷生产过程	油墨、洗车水、润版液、光油、胶水、	溶剂
	运输过程	移动能源(叉车)	柴油、汽油
	逸散性	空调等	冷媒
能源间接排放	印刷生产过程	CTP 制版机、胶印机、丝网印刷机、覆膜、模切、糊盒、质检设备、电动叉车等外购电力	电能
其他间接排放	运输过程	汽车	汽油、柴油
	逸散性	废水处理、固废处理	废水、废墨

注: 因产品的固废、液废无法与其他产品分开计量, 故回收节约的 CO<sub>2</sub> 未计入本次核算, 因本测试样例在生产过程中不涉及直接使用化石燃料消耗, 故在统计碳足迹过程中, 只测算 CO<sub>2</sub> 的量。

表 2 碳足迹采集过程数据和排放因子  
Tab. 2 Carbon footprint collection process data and emission factors

序号	工艺过程	碳足迹主要来源	单位	消耗量	数据来源	印面数量	备注
2	切纸	分切、裁切消耗电量	kW·h				用电量极小, 远小于总量的 1%, 可忽略
3	制版	裁切后的成品纸	kg	904.93	初级	19 120 张	废边为 36.57 kg
4	印刷+联机上光	印版消耗量	块	2	初级		排放因子为 7.88 kg/m <sup>2</sup> [11]
		胶印机电量	kW·h	223.62	初级	19 120 张	排放因子为 0.897 kgCO <sub>2</sub> /(kW·h)
		油墨用量	kg	2.02	初级	19 120 张	排放因子为 2.5 kgCO <sub>2</sub> /kg <sup>[12]</sup>
5	覆膜	光油用量	kg	11.93	初级	19 120 张	排放因子为 2.32 kgCO <sub>2</sub> /kg <sup>[13]</sup>
		印刷后的成品质量	kg	889.08	初级	18 950 张	印刷废品为 8.07 kg
		覆膜机用电量	kW·h	140	初级	18 950 张	排放因子为 0.897 kgCO <sub>2</sub> /(kW·h)
		胶水用量	kg	42.26	初级	18 950 张	排放因子为 4.32 kgCO <sub>2</sub> /kg <sup>[11]</sup>
6	丝网	薄膜用量	kg	44.73	初级	18 950 张	排放因子为 1.69 kgCO <sub>2</sub> /kg
		覆膜后成品质量	kg	946.27	初级	18 850 张	覆膜后废品为 5.02 kg
7	模切	丝网油墨用量	kg	2.9	初级	18 850 张	排放因子为 2.5 kgCO <sub>2</sub> /kg
		印刷后的成品质量	kg	954.02	初级	18 780 张	丝网印刷废品为 3.56 kg
8	撕边	模切机用电量	kW·h	22.6	初级	18 780 张	排放因子为 0.897 kgCO <sub>2</sub> /(kW·h)
		模切后的成品质量	kg	948.9	初级	18 680 张	模切废品质量为 5.08 kg
9	品检	撕边后的成品质量	kg	558.2	初级	186 800 只	撕边废品质量为 390.7 kg
		品检机用电量	kW·h	27.59	初级	186 800 只	排放因子为 0.897 kgCO <sub>2</sub> /(kW·h)
10	糊盒及装箱	品检后成品质量	kg	551.02	初级	184 400 只	品检废品质量为 7.17 kg
		糊盒机用电量	kW·h	12.29	初级	184 400 只	排放因子为 0.897 kgCO <sub>2</sub> /(kW·h)
		胶水用量	kg	27.35	初级	184 400 只	排放因子为 4.32 kgCO <sub>2</sub> /kg <sup>[11]</sup>
11	场内合格品及废品运输	包装纸箱用量	kg	56.98	初级	77 只	平均质量为 0.74 kg
		糊盒后总质量	kg	619.85	初级	77 箱	糊盒废品质量为 1.03 kg
		电动叉车用电量	kW·h	4	初级		用电量极小, 远小于总量的 1%, 可忽略

注: 丝印版和模切版为外协加工, 其碳足迹数据难以统计, 且其消耗量小, 还可重复使用, 对总的碳足迹影响较小, 故未计入本次核算。

## 2.7 碳足迹计算

在碳足迹数据采集和排放因子表的基础上,使用排放因子法和物料平衡法对产品生产周期中的碳足迹进行计算,得到产品生产周期各工艺及原辅材料碳排放当量见表3。

表3 产品生产周期各工艺及原辅材料碳排放当量  
Tab.3 Carbon footprint equivalent of each process and raw and auxiliary materials in the production cycle

序号	工艺过程	碳足迹产生主要来源	碳排放当量/kgCO <sub>2</sub> e
1	纸张	铜版纸生产	602.55
2	制版	印版消耗量	12.75
3	印刷+联机上光	印刷用电量	200.59
		油墨用量	5.06
		光油用量	27.68
4	覆膜	覆膜机用电量	125.58
		胶水用量	182.56
5	丝网	薄膜用量	75.60
		丝网机用电量	43.29
6	模切	丝网油墨用量	7.25
		模切机用电量	20.27
7	品检	品检机用电量	24.75
8	糊盒	糊盒机用电量	11.02
		胶水用量	118.15
合计			1 457.10

## 2.8 数据分析

通过对数据结果进行分析,可知本批次包装盒共生产合格品共184 400只,产生的二氧化碳当量为1 457.1 kgCO<sub>2</sub>e,单个包装盒产生的二氧化碳当量为7.9 gCO<sub>2</sub>e。将生产过程产生的二氧化碳当量按生产工艺划分,可以得到各工艺碳足迹数据见表4。

表4 化妆品包装盒不同工艺碳足迹当量数据  
Tab.4 Carbon footprint equivalent data of all processes for cosmetic packaging boxes

加工工艺流程	二氧化碳当量/kgCO <sub>2</sub> e
造纸	325.18
制版	12.75
印刷+上光	233.33
覆膜	383.74
丝网	50.54
模切	20.27
品检	24.75
糊盒	129.17
运输	5.84

表4中造纸产生的二氧化碳当量为废纸回收后的碳足迹,由表4数据可知,产品二氧化碳当量较多的依次是覆膜过程、造纸过程、印刷+上光过程、糊盒过程。该批次产品生产过程中覆膜工艺产生的碳足迹为383.74 kgCO<sub>2</sub>,印刷加上光工艺总共产生的碳足迹为233.33 kgCO<sub>2</sub>,由此可见覆膜过程产生的碳足迹要远大于上光过程。

将生产过程产生的二氧化碳当量按原辅材料和能源划分,可以得到各工艺碳足迹数据见表5。

表5 化妆品包装盒耗材和能源温室气体排放当量数据  
Tab.5 Carbon footprint equivalent data of consumables and energy for cosmetic packaging boxes

使用耗材、能源	二氧化碳当量/kgCO <sub>2</sub> e
电量	425.5
纸张	325.18
薄膜	75.6
胶水	300.71
光油	27.68
油墨	12.31
版材	12.75
石油	5.84

由表5数据可知,产品温室气体排放当量比较多的依次是用电、纸张、胶水、薄膜等,其中胶水产生的温室气体排放当量与用电产生的温室气体排放当量相近,单个印刷品油墨使用产生的二氧化碳排放相对较小。

## 3 存在问题及建议

包装印刷品相较于书刊类其他印刷品,印后加工工艺种类繁多,涉及到的原辅材料种类也多,因此在数据测量和收集阶段具有较大的难度,同时也会增加测量成本,不利于项目的实施,特别是对一些用量较小的耗材,测量难度更大<sup>[14]</sup>。例如,在印刷过程中,墨斗槽和墨路中通常会残留一部分油墨,这部分油墨就难以测量;在印后加工过程中,部分工序可能需要外协加工,外协加工部分的碳足迹测量需要对方企业的高度配合,否则难以准确统计;此外在印刷过程中会用到润版液、清洗剂等耗材,这些耗材在单批次产品中用量极小,测量难度和测量成本较大。

在碳排放因子收集方面,目前市场上的原辅材料种类繁多,且各有一定的差异性,具体型号的原辅材料的碳排放因子数据比较缺失<sup>[15]</sup>。例如在选择纸张碳排放因子过程中,因纸张的类型及厚度不同,造纸过程中使用的纸浆含量和工艺也不近相同,因此对某一特定纸张的碳排放因子难以确定,而且造纸企业也不能对不同类型的纸张的碳排放因子提供数据。此外油墨、光油、薄膜等原辅材料都存在类似问题。

针对上述问题可以采用以下解决方案。在数据收

集过程中,墨斗槽及墨路中的残余墨量的测量采用在墨槽边缘画刻度线记录,清洗完成后,重新加墨到刻度线处,并称重计量的手段。对一些无法安装便携式电能表进行监测的设备,可以采用额定功率和机器正常工作时间进行相乘的方式进行推算;对一些消耗量小、测量难度很大的原辅材料,其在整个产品碳足迹中占比小于1%,可以忽略不计。在选择碳排放因子的时候,可采用通用型号材料的碳排放因子来代替某一具体型号材料的碳排放因子。

## 4 结语

由上述数据分析可知,单个包装盒生产及企业运输过程产生的碳足迹为 $6.429 \text{ gCO}_2$ 。从工艺角度来看,覆膜工艺、造纸工艺、印刷+上光工艺和糊盒工艺产生的碳足迹量较大,其碳足迹分别占产品生产周期碳足迹总量的32.4%、27.4%、19.7%、10.9%;从原辅材料和能源角度来看,用电、纸张、胶水产生的碳足迹量较大,其碳足迹分别占产品生产周期碳足迹总量的36%、28%、25%。此外影响印刷工艺过程碳足迹最大的因素是机器运转消耗的电量,影响覆膜工艺碳足迹最大的因素是胶水和薄膜,影响糊盒工艺碳足迹最大的因素是胶水,因此为进一步降低包装印刷产品生产周期的碳足迹,可以尝试从以下几个方面进行改进。

1) 对生产设备进行节能改造,降低生产过程中的电能消耗。

2) 生产过程中尽量减少薄膜和胶水的使用量,尽可能地使用上光工艺来代替覆膜工艺,减少碳排放量。

3) 优化包装印刷品盒型结构设计,减少纸张的使用量,优化生产工艺过程,减少纸张的浪费。

4) 创新盒型结构,减少糊盒工艺中需要刷胶的位置和面积,分析刷胶位置和刷胶厚度对糊盒牢度的影响,减少胶水的使用,减少碳排放量。

## 参考文献:

- [1] 金昱. 国际大城市交通碳排放特征及减碳策略比较研究[J]. 国际城市规划, 2022(2): 25-33.  
JIN Yu. Comparative Study on Characteristic and Planning Strategies of Transportation Carbon Emissions in Global Megacities[J]. Urban Planning International, 2022(2): 25-33.
- [2] 李楠, 刘盈, 王震. 国际标准差异对产品碳足迹核算的影响分析——以胶版印刷纸为例[J]. 环境科学学报, 2020, 40(2): 707-715.  
LI Nan, LIU Ying, WANG Zhen. Analyze the Impact of Different International Standards on Product Carbon Footprint Assessment: An Example of Uncoated Printing Paper[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2020, 40(2): 707-715.
- [3] 何晓辉. 印刷品碳足迹评价研究发展概述[J]. 中国印刷与包装研究, 2014(2): 9-13.
- [4] HE Xiao-hui. Overview of Research on Print Carbon Footprint Assessment[J]. China Printing and Packaging Study, 2014(2): 9-13.
- [4] 朱永双, 王利婕, 刘霞. 商业宣传册印刷品碳足迹计算方法[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 165-170.  
ZHU Yong-shuang, WANG Li-jie, LIU Xia. Methodology Analysis on Carbon Footprint Calculation for Commercial Brochures[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 165-170.
- [5] ISO 16759: 2013, Graphic Technology-Quantification and Communication for Calculating the Carbon Footprint of Print Media Products[S].
- [6] DB31/T 1071—2017, 产品碳足迹核算通则[S].  
DB31/T 1071—2017, Rules for Accounting of Carbon Footprint[S].
- [7] PAS 2050:2008, Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services[S].
- [8] ISO 14064—2, Specification with Guidance at the Project Level for Quantification, Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emission Reductions or Removal Enhancements[S].
- [9] ISO 14067:2018, Greenhouse Gases-Carbon Footprint of Products-Requirements and Guidelines for Quantification and Communication[S].
- [10] GB/T 32150—2015, 工业企业温室气体排放核算和报告通则[S].  
GB/T 32150—2015, General Guideline of the Greenhouse Gas Emissions Accounting and Reporting For Industrial Enterprises[S].
- [11] INGRID A T, RAJENDRAKUMAR A, ASHA S, et al. An Approach to Minimize Carbon Footprint for an Environmental Friendly Printing by Optimizing an Offset Machine in a Printing Facility[J]. International Conference on Emerging Economies-Prospects and Challenges, 2012(37): 514-527.
- [12] ARAN H, ATHIMA K, TANAPORN K. A New Environmental Performance Index Based on the Carbon Footprint, VOC Emissions, and Waste in a Printing House[J]. Hansuesaietal, 2020, 1: 1-12
- [13] JIANNIS S. Kougoulis, RENATA Kaps, BEN Walsh, KATHRINE Bojczuk, TREVOR Crichton. Revision of EU European Ecolabel and Development of EU Green Public Procurement Criteria for Indoor and Outdoor Paints and Varnishes[D]. Ecolabel Background Report, 2012: 56-57.
- [14] 王志慧, 王洪涛, 黄娜, 等. 纸塑铝复合包装材料的碳足迹评价与认证[J]. 环境科学研究, 2012, 25(6): 712-716.  
WANG Zhi-hui, WANG Hong-tao, HUANG Na, et al. Carbon Footprint Assessment and Certification of Al-PE-Pa Complex Package[J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(6): 712-716.
- [15] 付天琴, 武钰淳, 薛亮. 基于碳足迹的快递包装研究综述[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(7): 42-44.  
FU Tian-qin, WU Yu-chun, XUE Liang. Summary of Express Packaging Research Based on the Carbon Footprint[J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2018, 8(7): 42-44.