ICS 13.030
CCS Z00/09

T/ATCRR

团　　体　　标　　准

T/ATCRR 55—2023

废弃饮料纸基复合包装资源化利用碳减排绩效计算方法

Calculation method of carbon reduction performance for waste beverage carton package recycling

2023－12－22 发布　　2023－12－22 实施

北京资源强制回收环保产业技术创新战略联盟　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　基本原则 2
4.1　透明性 2
4.2　完整性 2
4.3　准确性 2
5　碳减排绩效计算方法 3
5.1　评估程序 3
5.2　核算边界的确定 3
5.3　数据获取 4
5.4　碳减排绩效计算公式 4
6　碳减排绩效报告 11
附录 A（资料性）　碳减排绩效计算的排放因子及相关参数来源 12
附录 B（资料性）　化石燃料特性参数、中国各区域电力排放因子及生产辅料的排放因子 16
附录 C（资料性）　运输阶段车辆排放有关参数 19
附录 D（说明性）　其他缺省值测算说明 21
D.1　有关中国各区域电力排放因子缺省值测算说明 21
D.2　有关塑木板或彩乐板所替代的产品的碳排放因子计算 22
参考文献 25

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京资源强制回收环保产业技术创新战略联盟提出并归口。

本文件起草单位：利乐（中国）有限公司、纷美（北京）贸易有限公司、康美包（苏州）有限公司、山东碧海包装材料有限公司、乐美包装（昆山）有限公司、内蒙古伊利实业集团股份有限公司、维他奶有限公司、高要区岭岗镇宁致丰纸塑加工厂、河北普鑫纸业有限公司、山东顺润康环保管家有限公司、杭州富伦生态科技有限公司、厦门陆海环保股份有限公司、山东坤昇环保科技有限公司、复旦大学、清华大学、北京资源强制回收环保产业技术创新战略联盟。

本标准主要起草人：牟晓燕、张红宇、姜欢、王立、王达、邓玉明、古陶、张联银、王忠良、吴晨、羊军、江凤凤、刘晓旭、王玉涛、徐明、张浩玮、段秦超、周晶、安永、崔忠伟、曾科、何叶、赵晔、郭利军、孙颖、羊孙飞、谢奕斌、王思远、陈斌、李楠、闫静、郭晓玲。

废弃饮料纸基复合包装资源化利用
碳减排绩效计算方法

1 范围

本文件为废弃饮料纸基复合包装资源化利用碳减排绩效计算的术语和定义、基本原则、计算方法、报告提供了指导性建议和要求。

本文件适用于废弃饮料纸基复合包装资源化利用碳减排绩效的计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4122.1 包装术语 第1部分：基础

GB/T 4122.4 包装术语 第4部分：材料与容器

GB/T 20861 废弃物产品回收利用术语

GB/T 24040 环境管理 生命周期评价 原则与框架

GB/T 24044 环境管理 生命周期评价 要求与指南

GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 33760—2017 基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求

T/ATCRR 27—2020 饮料纸基复合包装再生利用企业评价标准

T/ATCRR 35—2021 生产者责任延伸履责绩效评价 饮料纸基复合包装

3 术语和定义

GB/T 4122.1—2008、GB/T 4122.4—2010、GB/T 20861—2007、GB/T 32150—2015和T/ATCRR 35—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

饮料纸基复合包装 beverage carton package

以纸板作为基本结构材料，与塑料等材料经复合工艺生产而成用来密闭存放液态食品的包装。

[来源：T/ATCRR 35—2021，定义3.1]

3.2

废弃饮料纸基复合包装 waste beverage carton package

废弃饮料纸基复合包装包括由消费者废弃的饮料纸基复合包装（社会回收废包），灌装企业产生的废弃饮料纸基复合包装（灌装工厂废料），以及在生产饮料纸基复合包装包材的过程中产生的各类包装废料（包材生产工厂废料）。

[来源：T/ATCRR 35—2021，定义3.2]

3.3

资源化利用 recycling

对废弃饮料纸基复合包装进行再生处理，使之能够作为原材料重新利用的过程，不包括能量回收。

[来源：T/ATCRR 35—2021，定义3.3]

3.4

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent（CO_2e）

在辐射强迫上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

注：二氧化碳当量等于给定温室气体的质量乘以它的全球变暖潜势。

[来源：GB/T 32150—2015，定义3.16]

3.5

基准线情景 baseline scenario

用来提供参照的，在不实施废弃饮料纸基复合包装资源化利用的情景下可能发生的假定情景。

[来源：GB/T 33760—2017，定义3.4]

3.6

碳减排绩效 carbon emission reduction performance

经计算得到的废弃纸基复合包装资源化利用所产生的碳排放量与基准线情景的碳排放量相比较的减少量。

4 基本原则

4.1 透明性

在商业机密允许的范围内，清楚明确地说明用于碳减排绩效计算的所有假设、数据来源和计算方法，并注明相关参考资料。

4.2 完整性

实施碳减排绩效计算工作的相关流程、数据及材料必须完整。

4.3 准确性

在进行碳减排绩效计算时尽可能减少误差和不确定性。

5 碳减排绩效计算方法

5.1 评估程序

废弃饮料纸基复合包装资源化利用碳减排绩效计算流程如图1所示。

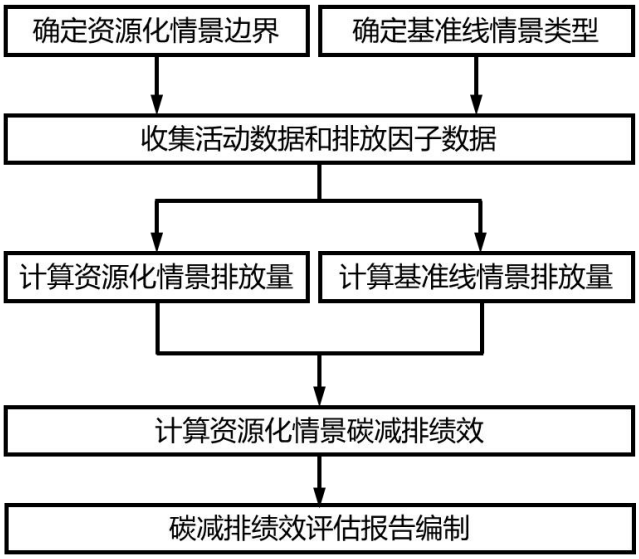

图 1 碳减排绩效计算流程图

5.2 核算边界的确定

在本文件中，所计算的碳排放量指二氧化碳排放当量，主要包括二氧化碳、甲烷和氧化亚氮。

5.2.1 基准线情景核算边界

基准线情景 1 为废弃饮料纸基复合包装资源化利用后所替代的原生材料的国内主流技术生产全过程（例如资源化利用得到的再生纸浆，其替代的原生材料则为原生纸浆）。废弃饮料纸基复合包装资源化过程中，其他常见的再生材料和其所替代的原生材料组合还包括再生塑料颗粒-LDPE颗粒、再生铝粉-铝锭、彩乐板/塑木板-PVC塑料板材（或PVC特殊型材）。基准线情景1的碳排放核算边界如图2所示：

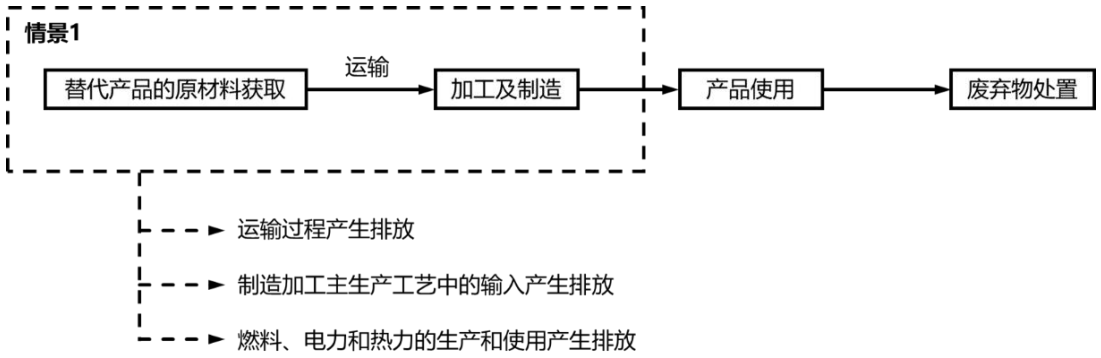

图 2 基准线情景 1 碳排放核算边界图

基准线情景 2 为废弃饮料纸基复合包装未经资源化从收集到末端处置的全过程。基准线情景2的碳排放核算边界如图3所示：

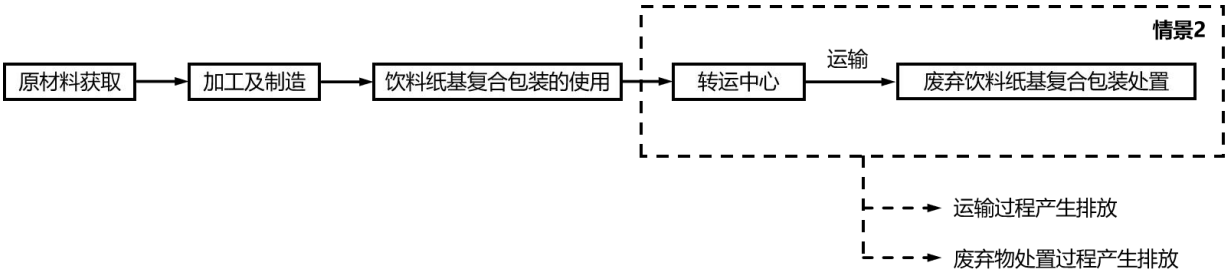

图 3　基准线情景 2 碳排放核算边界图

在废弃饮料纸基复合包装资源化项目中，基准线情景的碳排放量包括情景 1 和情景 2 的排放量之和。

5.2.2　资源化情景核算边界

针对废弃饮料纸基复合包装资源化利用情景，本文件推荐的碳排放核算边界为从垃圾回收转运中心运输过程至资源化工厂加工阶段，见图4。主要包括以下核算要素：

——运输过程产生排放；

——再生加工主生产工艺中的输入产生排放；

——燃料、电力和热力的生产和使用产生排放。

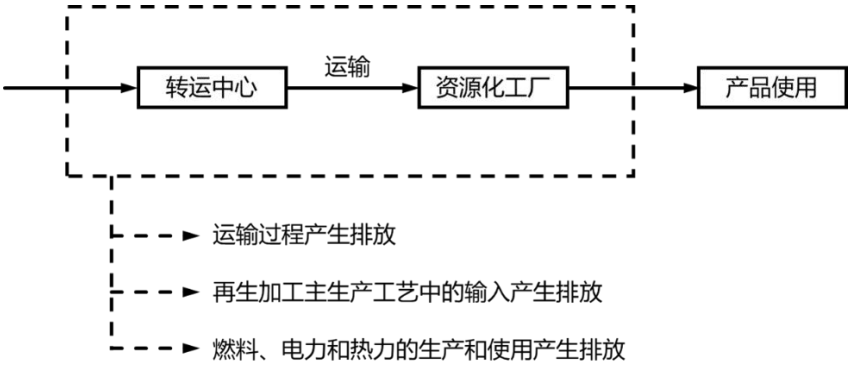

图 4　资源化情景碳排放核算边界图

5.3　数据获取

活动数据推荐优先从企业的实际运行情况下的监测数据中获得。当缺少监测数据时，可采用本文件给出的推荐值。排放因子数据的选择需要注意适用性、时效性。当有更新的、更权威的数据时推荐采用该数据，并标注数据的来源。

5.4　碳减排绩效计算公式

5.4.1　基准线情景排放量计算

基准线情景的温室气体排放量按式（1）进行计算：

$$BE = BE_1 + BE_2 \cdots\cdots (1)$$

式中：

BE ——基准线情景总排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

BE_1 ——基准线情景 1 排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

BE_2 ——基准线情景 2 排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）。

当资源化利用工艺为分离式加工时，基准线情景1的排放量按式（2）进行计算：

$$BE_1 = M \times \sum_i (LA_i \times EF_i \times \theta_i) \cdots\cdots (2)$$

式中：

BE_1 ——基准线情景 1 排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

i ——材料类型 i 指数。当资源化利用工艺为分离式加工时，i=1, 2, 3 分别代表纸浆、塑料颗粒、铝粉；

M ——废弃饮料纸基复合包装回收总量，单位为吨（t）；

LA_i ——材料占比，即废弃饮料纸基复合包装回收总量中第i种可回收材料的平均含量，单位为百分比（%）。当资源化利用工艺为分离式加工时，推荐纸、塑、铝材料占比的参考值分别为：$LA_{PB} = 75\%$，$LA_{PM} = 20\%$，$LA_{ALM} = 5\%$；

EF_i ——第 i 种可回收材料基准线情景排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2e/t）。推荐参考值见附录A表A.1；

θ_i ——第 i 种可回收材料的材料流失或品质降级修正因子。当资源化利用工艺为分离式加工时，推荐纸、塑、铝材料修正因子的参考值分别为：$\theta_{PB} = 0.90$，$\theta_{PM} = 0.75$，$\theta_{ALF} = 1$。其中，纸浆流失率参考自企业调研数据，塑料品质降级因子参考自《再生塑料产品碳足迹计算方法》（T/CRRA 0305—2022）。

当资源化利用工艺为一体式加工时，式（2）简化为：

$$BE_1 = M \times LA \times EF \times \theta$$

式中：

LA ——材料占比，单位为百分比（%）。当资源化利用工艺为一体式加工时，$LA = 100\%$；

EF ——可回收材料基准线情景排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2e/t）。推荐参考值见附录A表A.1；

θ ——可回收材料的材料流失或品质降级修正因子。当资源化利用工艺为一体式加工时，$\theta = 1$。

考虑到当前废弃饮料纸基复合包装的处置方式包括焚烧处置与填埋处置两种，因此在计算基准线情

景 2 的排放量时，按式（3）取两种处理方式的加权平均值进行计算：

$$BE_2 = \alpha \times (BE_{TR,1} + BE_{WI}) + \beta \times (BE_{T,2} + BE_{LF}) \cdots\cdots (3)$$

式中：

BE_2 ——基准线情景 2 排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

α ——废弃饮料纸基包装通过焚烧方式处理量占总处理量的比例，单位为百分比（%）。可参照表A.4根据所在省市或全国平均生活垃圾焚烧、填埋处理的相对比例选择缺省值；

$BE_{TR,1}$ ——废弃纸基复合包装从转运中心运输至焚烧处理场地过程中产生的排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

$BE_{TR,2}$ ——废弃纸基复合包装从转运中心运输至填埋处理场地过程中产生的排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

BE_{WI} ——废弃纸基复合包装进行焚烧处理产生的基准线排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

β ——废弃饮料纸基包装通过填埋方式处理量占总处理量的比例，单位为百分比（%）。可参照表A.4根据所在省市或全国平均生活垃圾焚烧、填埋处理的相对比例选择缺省值；

BE_{LF} ——废弃纸基复合包装进行填埋处理产生的基准线排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）。

全部焚烧处理和全部填埋处理情景中的运输阶段的排放主要为由于燃料燃烧引起的直接排放，可由式（4）进行计算：

$$PE_{TR} = EM_{TR,\ CO_2} + EM_{TR,\ CH_4} + EM_{TR,\ N_2O} \cdots\cdots (4)$$

式中：

$EM_{TR,\ CO_2}$ ——运输车辆燃烧化石燃料所产生的CO_2排放量，单位为吨二氧化碳（tCO_2）；

$EM_{TR,\ CH_4}$ ——运输车辆燃烧化石燃料所产生的CH_4排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

$EM_{TR,\ N_2O}$ ——运输车辆燃烧化石燃料所产生的N_2O排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）。

在运输过程中，车辆燃烧化石燃料所产生的CO_2排放量按式（5）-（6）计算。

$$EM_{TR,\ CO_2} = FC \times NCV \times CC \times OF \times \frac{44}{12} \cdots\cdots (5)$$

$$FC = D_0 \times OC_{100} \times \rho \times 10^{-2} \cdots\cdots (6)$$

式中：

FC ——运输车辆所使用的化石燃料品种的消费量，单位为吨（t），按

式（6）计算；

NCV ——运输车辆所使用的化石燃料品种的低位热值，单位为百万千焦每吨，具体数据可参考附录B表B.1；

CC ——运输车辆所使用的化石燃料品种的单位热值含碳量，单位为吨碳每百万千焦（tC/GJ），具体数据可参考附录B表B.1；

OF ——运输车辆所使用的化石燃料的碳氧化率，参考附录B表B-1取缺省值 98%；

$\frac{44}{12}$ ——CO_2转换因子，单位为吨二氧化碳每吨碳（tCO_2/tC）；

D_0 ——从转运中心到焚烧/填埋处理地点的总运输距离，单位为公里（km），按式（9）进行计算；

OC_{100} ——运输车辆的百公里油耗，单位为升每百公里（L/100km）。优先推荐使用企业监测数据，也可以根据国家/地方（如道路运输车辆技术服务网 http://atestsc.mot.gov.cn/）发布的数据作为参考。在缺少相关数据的情况下可以参考附录C表C.3的缺省值；

ρ ——运输车辆所使用的化石燃料密度，单位为吨每升，汽油、柴油和液化天然气的密度参考值分别为：$\rho_G = 0.73$ t/L，$\rho_D = 0.84$ t/L，$\rho_N = 0.43$ t/L。

在运输过程中，车辆燃烧化石燃料所产生的CH_4和N_2O排放量按式（7）-（8）计算。

$$EM_{TR,\ CH_4} = D_0 \times EF_{TR,\ CH_4} \times GWP_{CH_4} \times 10^{-9} \cdots\cdots (7)$$

$$EM_{TR,\ N_2O} = D_0 \times EF_{TR,\ N_2O} \times GWP_{N_2O} \times 10^{-9} \cdots\cdots (8)$$

式中：

$EF_{TR,\ CH_4}$ ——车辆道路运输的 CH_4 排放因子，单位为毫克甲烷每公里（$mgCH_4/km$），具体数据可参考附录 C 表 C.1；

$EF_{TR,\ N_2O}$ ——车辆道路运输的 N_2O 排放因子，单位为毫克一氧化二氮每公里（mgN_2O/km），具体数据可参考附录 C 表 C.1；

GWP_{CH_4} ——CH_4 的全球增温潜势，参考《IPCC 第六次评估报告》（AR6）取 27.9；

GWP_{N_2O} ——N_2O 的全球增温潜势，参考《IPCC 第六次评估报告》（AR6）取 273；

基准线情景 1 中，从转运中心到焚烧/填埋处理地点的总运输距离D_0的参考值与企业计算周期内废弃饮料纸基复合包装回收总量M有关。D_0可按式（9）计算如下：

$$D_0 = \frac{M}{m} \times D_T \cdots\cdots (9)$$

式中：

m ——基准线情景1中所使用的的运输车辆的核载重量，单位为吨（t）。在缺省情况下，基准线情景1中所使用的运输车辆为载重8t的重型货车，则有$m = 8t$；

D_T ——垃圾转运中心距焚烧/填埋处置地点的距离，单位为千米（km），取缺省值20km。

在基准线情景2中，废弃饮料纸基复合包装全部进行焚烧处理时产生的排放量可按式（10）-（12）计算。由于纸张中所含碳为生物源碳，其焚烧产生的碳排放量不计入总量。因此，在最终的计算公式中只考虑因塑料成分焚烧而引起的二氧化碳排放。

$$BE_{WI} = EM_{WI,\ CO_2} + EM_{WI,\ CH_4} + EM_{WI,\ N_2O} \cdots\cdots (10)$$

$$EM_{WI,\ CO_2} = M \times LA_{PM} \times DM_{PM} \times CF_{PM} \times FCF_{PM} \times OF_B \times \frac{44}{12} \cdots\cdots (11)$$

$$EM_{WI,\ N_2O} = M \times EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O} \times 10^{-3} \cdots\cdots (12)$$

式中：

DM_{PM} ——焚烧成分中塑料的干物质含量，单位为百分比（%）。参考《IPCC国家温室气体排放清单指南》，推荐缺省值 100%；

CF_{PM} ——焚烧成分中塑料的湿重含量中的含碳比例，单位为百分比（%）。参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，推荐缺省值75%；

FCF_{PM} ——焚烧成分中塑料的干物质含量的总碳含量中矿物碳的比例，单位为百分比（%）。参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，推荐缺省值 100%；

OF_B ——氧化因子，单位为百分比（%）。此处以焚烧为默认管理作法，参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，取推荐值 100%；

EF_{CH_4} ——CH_4 排放因子，单位为千克甲烷每吨焚烧的废弃纸基复合包装（kgCH_4/t）。此处以连续焚烧的机械炉排炉计，参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，默认取缺省值 0.0002。其他管理作法的缺省值见附录 A 表 A.2；

EF_{N_2O} ——N_2O 排放因子，单位为千克一氧化二氮每吨焚烧的废弃纸基复合包装（kgN_2O/t）。此处以连续和半连续焚烧炉为默认管理作法，参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，默认取缺省值 0.05。其他管理作法的缺省值见附录 A 表 A.3。

在基准线情景 2 中，废弃饮料纸基复合包装全部进行填埋处理时产生的排放量可按式（13）计算。因废弃饮料纸基复合包装中填埋分解的主要成分为纸张，故此处只考虑与纸张有关的填埋分解参数（因

有机碳分解产生的生物源二氧化碳不作计算）。

$$BE_{LF} = EM_{LF,\ CH_4} = M \times LA_{PB} \times DOC \times DOC_f \times MCF \times F \times GWP_{CH_4} \times \frac{16}{12} \cdots\cdots (13)$$

式中：

DOC ——填埋的废弃饮料纸基复合包装中可降解有机碳含量，单位为百分比（%）。参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，推荐缺省值40%；

DOC_f ——填埋的废弃饮料纸基复合包装中的可降解有机碳分解的比例，单位为百分比（%）。参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，取缺省值0.5；

LA_{PB} ——填埋的废弃饮料纸基复合包装中纸的平均含量，单位为百分比（%），推荐参考值75%；

MCF ——甲烷校正系数，此处以中国平均管理水平（严格厌氧）为默认做法，取缺省值0.9；

F ——产生的填埋气体中CH_4的体积分数。参考《IPCC 国家温室气体排放清单指南》，取推荐默认值0.5；

$\frac{16}{12}$ ——转换因子，单位为吨甲烷每吨碳（tCH_4/tC）。

5.4.2 资源化情景排放量计算

资源化情景排放量包括废弃饮料纸基复合包装资源化过程中运输、加工过程产生的温室气体排放量，按式（14）计算：

$$PE = PE_{TR} + PE_{PR} \cdots\cdots (1)$$

式中：

PE ——资源化情景排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）；

PE_{TR} ——废弃饮料纸基复合包装从转运中心运输到加工厂过程中产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e），参考式（4）-（9）的运算过程进行计算；

PE_{PR} ——废弃饮料纸基复合包装资源化加工过程中产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e），按式（15）计算。

在再生企业加工厂内，因分离或加工过程中化石燃料、电力和辅料投入所产生的的二氧化碳排放量可按式（15）计算：

$$PE_{PR} = EM_F + EM_E + EM_C \cdots\cdots (2)$$

式中：

EM_F ——废弃饮料纸基复合包装资源化过程中所消耗的化石燃料产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e），按式（16）

计算；

EM_E ——废弃饮料纸基复合包装资源化过程中所消耗的电量产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e），按式（17）计算；

EM_C ——废弃饮料纸基复合包装资源化过程中所消耗的辅料产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e），按式（18）计算。

其中，所使用的化石燃料所产生的二氧化碳排放量可按式（16）计算：

$$EM_C = \sum_i \left(FC_i \times NCV_i \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12}\right) \cdots\cdots (3)$$

式中：

FC_i ——化石燃料品种 i 的消费量，对固体或液体燃料单位为吨（t），对气体燃料单位为万标准立方米（万 Nm^3）；

NCV_i ——化石燃料品种 i 的低位热值，对固体或液体燃料单位为百万千焦每吨，对气体燃料单位为百万千焦每万标准立方米（GJ/t，GJ/万 Nm^3），具体数据见附录B表B.1；

CC_i ——化石燃料品种 i 的单位热值含碳量，单位为吨碳每百万千焦（tC/GJ），具体数据见附录B表B.1；

OF_i ——化石燃料 i 的碳氧化率，液体燃料的碳氧化率取缺省值 98%；气体燃料的碳氧化率取缺省值 99%；固体燃料的碳氧化率按燃料品种参考附录B表B.1。

因使用电力而产生的二氧化碳排放量可按式（17）计算：

$$EM_E = AD_E \times EF_E \cdots\cdots (4)$$

式中：

AD_E ——企业净购入的电力消费量，单位为兆瓦时（MWh）；

EF_E ——电力供应CO_2排放因子，单位为吨二氧化碳当量每兆瓦时（tCO_2/MWh），具体数据见附录B表B-2。

因辅料的使用而产生的二氧化碳排放量可按式（18）计算：

$$EM_C = \sum_i \left(Q_i \times EF_{C,i}\right) \cdots\cdots (5)$$

式中：

Q_i ——第 i 种辅料的消耗量, 单位为吨（t）；

$EF_{C,i}$ ——第 i 种辅料生产过程的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO_2/t），具体数据见附录B表B.3。

5.4.3 碳减排绩效计算

废弃纸基复合包装资源化产生的碳减排绩效由式（19）计算：

$$ER = BE - PE \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

ER ——废弃纸基复合包装资源化产生的碳减排绩效，单位为吨二氧化碳当量（tCO_2e）。

6 碳减排绩效报告

废弃纸基复合包装资源化碳减排绩效报告内容需遵循本文件所要求的基本原则。报告包含但不限于以下内容：

——责任主体概况；

——报告计算的时间范围及编制日期；

——基准线情景描述及碳排放量计算（包括边界划定、排放来源识别及数据来源说明）；

——资源化情景描述及碳排放量计算（包括边界划定、排放来源识别及数据来源说明）；

——碳减排绩效计算结果；

——责任主体签字/公章；

——其他需要说明的事项。

附 录 A
（资料性）
碳减排绩效计算的排放因子及相关参数来源

表A.1给出了废弃饮料纸基复合包装资源化利用产品所替代材料按国内主流技术生产全过程（不包括消费端和废弃处置阶段）计算的排放因子及其来源。其中，再生纸浆所替代材料为原生纸浆，再生塑料颗粒所替代材料为LDPE颗粒，再生铝粉所替代材料为铝锭，彩乐板/塑木板所替代材料为PVC塑料板材（或特殊型材）。

表 A.1 利用原生材料生产资源化所替代的材料的排放因子

被替代材料	EF_i（kgCO_2e/kg）	来源
原生纸浆	0.56	专家组测算 [a]
LDPE 颗粒	2.47	GaBi 数据库 [b]
铝锭	14.5	文献 [c]
塑料板材（PVC）	5.71	专家组测算 [d]
塑料特殊型材（PVC）	5.65	专家组测算 [d]

[a] 参考《制浆造纸单位产品能源消耗限额》（GB 31825-2015）计算得到的纸浆主要生产系统能耗带来的单位纸浆排放系数。计算时采用的是国标先进值（保守性原则），并按化学浆、机械浆和化学非木浆三类原生纸浆的产量进行加权平均；
[b] 采用 CML2001 评价方法，以 100 年 GWP 值计，代表世界其他地区平均水平；
[c] 数据取值来源为 Ding, N., Liu, N., Lu, B., & Yang, J. (2021). Life cycle greenhouse gas emissions of aluminum based on regional industrial transfer in China. Journal of Industrial Ecology, 25(6), 1657-1672. 中的中国原生铝锭生产数据；
[d] 具体测算过程说明见附录 D，采用自上而下方法进行计算，代表中国平均水平。

注：若企业在实际生产中得到的再生利用产品所替代的材料不包含在上述材料中，需自行提供其材料类型及对应排放因子，并说明排放因子来源及其合理性、可靠性。

表A.2给出了废弃饮料纸基复合包装进行焚烧处理时的CH_4排放因子。

表 A.2 焚烧处理的 CH_4 排放因子（参考《IPCC 国家温室气体清单指南》）

技术类型		EF_{CH_4}（$kgCO_2e/t$）
连续焚烧	机械炉排	0.0002
	流化床	~0
半连续焚烧	机械炉排	0.006
	流化床	0.188
分批类焚烧	机械炉排	0.06
	流化床	0.237

表A.3给出了废弃饮料纸基复合包装进行焚烧处理时的N_2O排放因子。

表 A.3 焚烧处理的 N_2O 排放因子（参考《IPCC 国家温室气体清单指南》）

技术类型	EF_{N_2O}（$kgCO_2e/t$）
连续和半连续焚烧炉	0.05
分批类焚烧炉	0.06
露天燃烧	0.15

表A.4给出了中国各省市及全国平均生活垃圾焚烧、填埋处理的相对比例。数据由《2021年城乡建设统计年鉴》中1-13-2部分的分省城市市容环境卫生部分提供的中国各省市及全国生活垃圾无害化处理量计算得出。生活垃圾焚烧处理比例$\alpha = \frac{焚烧处理量}{焚烧处理量+卫生填埋处理量} \times 100\%$。

表 A.4 中国各省市及全国平均生活垃圾焚烧、填埋处理占比
（数据计算自《2021 年城乡建设统计年鉴》）

地区	焚烧处理比例α	填埋处理比例β	地区	焚烧处理比例α	填埋处理比例β
北京	89.26%	10.74%	湖北	63.80%	36.20%
天津	99.98%	0.02%	湖南	59.19%	40.81%
河北	76.51%	23.49%	广东	82.83%	17.17%
山西	61.32%	38.68%	广西	53.62%	46.38%
内蒙古	41.42%	58.58%	海南	98.88%	1.12%
辽宁	48.02%	51.98%	重庆	80.82%	19.18%
吉林	65.07%	34.93%	四川	87.77%	12.23%
黑龙江	50.99%	49.01%	贵州	59.21%	40.79%
上海	90.12%	9.88%	云南	68.89%	31.11%
江苏	94.94%	5.06%	西藏	30.59%	69.41%
浙江	99.13%	0.87%	陕西	58.94%	41.06%
安徽	95.21%	4.79%	甘肃	57.70%	42.30%
福建	97.28%	2.72%	青海	0.00%	100.00%
江西	94.55%	5.45%	宁夏	70.36%	29.64%
山东	95.47%	4.53%	新疆	29.70%	70.30%
河南	62.06%	37.94%	新疆生产建设兵团	46.73%	53.27%
全国	77.58%	22.42%	/	/	/

附 录 B
（资料性）
化石燃料特性参数、中国各区域电力排放因子及生产辅料的排放因子

表B.1给出了常见化石燃料的低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率。

表 B.1 化石燃料的低位热值、单位热值含碳量和碳氧化率

燃料品种		低位发热量[a]	热值单位	单位热值含碳量[b]（tC/GJ）	碳氧化率[c]
固体燃料[d]	无烟煤	20.304	GJ/t	27.49×10^{-3}	94%
	烟煤	19.570	GJ/t	26.18×10^{-3}	93%
	褐煤	14.080	GJ/t	28.00×10^{-3}	96%
	洗精煤	26.330	GJ/t	25.40×10^{-3}	93%
	其他洗煤	8.360	GJ/t	25.40×10^{-3}	90%
	煤制品	17.460	GJ/t	33.60×10^{-3}	90%
	焦炭	28.450	GJ/t	29.40×10^{-3}	93%
液体燃料	原油	42.620	GJ/t	20.10×10^{-3}	98%
	燃料油	40.190	GJ/t	21.10×10^{-3}	98%
	汽油	44.800	GJ/t	18.90×10^{-3}	98%
	柴油	43.330	GJ/t	20.20×10^{-3}	98%
	一般煤油	44.750	GJ/t	19.60×10^{-3}	98%
	石油焦	31.000	GJ/t	27.50×10^{-3}	98%
	其它石油制品	40.190	GJ/t	20.00×10^{-3}	98%
	焦油	33.453	GJ/t	22.00×10^{-3}	98%
	粗苯	41.816	GJ/t	22.70×10^{-3}	98%
气体燃料	炼厂干气	46.050	GJ/t	18.20×10^{-3}	99%
	液化石油气	47.310	GJ/t	17.20×10^{-3}	99%
	液化天然气	41.868	GJ/t	15.30×10^{-3}	99%
	天然气	389.310	GJ/万 Nm^3	15.30×10^{-3}	99%
	焦炉煤气	173.854	GJ/万 Nm^3	13.60×10^{-3}	99%
	高炉煤气	37.690	GJ/万 Nm^3	70.80×10^{-3}	99%
	转炉煤气	79.540	GJ/万 Nm^3	49.60×10^{-3}	99%
	密闭电石炉炉气	111.190	GJ/万 Nm^3	39.51×10^{-3}	99%

[a] 数据来源包括《中国能源统计年鉴 2021》、《2005 年中国温室气体清单研究》等；
[b] 数据来源包括《IPCC 国家温室气体清单指南》、《省级温室气体清单指南（试行）》等；
[c] 数据来源包括《省级温室气体清单指南（试行）》等。
[d] 基于空气干燥基

表B-2给出了中国各区域电力排放因子及其来源。除上海市数据和全国数据以外，各区域数据由专家组依据《中国能源统计年鉴2020》测算得出。有关数据计算的具体说明详见附录D。

表 B.2 电力排放因子及其来源

地区	数值（$kgCO_2/(kW·h)$）	地区	数值（$kgCO_2/(kW·h)$）
北京	0.584	河南	0.67
天津	0.721	湖北	0.377
河北	0.842	湖南	0.471
山西	0.748	重庆	0.423
内蒙古	0.898	四川	0.126
山东	0.712	广东	0.41
辽宁	0.761	广西	0.455
吉林	0.823	贵州	0.106
黑龙江	0.783	云南	0.463
上海	0.420[a]	海南	0.447
江苏	0.652	陕西	0.579
浙江	0.49	甘肃	0.398
安徽	0.702	青海	0.115
福建	0.433	宁夏	0.711
江西	0.607	新疆	0.676
全国	0.581[b]	/	/

[a] 数据取值来源为上海市生态环境局发布的《上海市生态环境局关于调整本市温室气体排放核算指南相关排放因子数值的通知》；

[b] 数据取值来源为国家生态环境部发布的《关于做好 2022 年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》。

注：当各级主管部门公布最新的区域电力排放因子时，宜采用最新数据。

表B.3给出了再生加工中常用的化学药品排放因子及来源。

表 B.3 化学药品排放因子及来源

化学药品	$EF_{辅料}$（$kgCO_2/kg$）
氢氧化钠（50% in H_2O）	0.424[a]
氢氧化钠（100%）（无机中间体）	0.846[b]
其他药剂	1.60[b]

[a] 数据取值来源为 GaBi 数据库，采用 CML2001 评价方法，以 100 年 GWP 值计；
[b] 数据取值来源为 Parravicini V, Svardal K, Krampe J. Greenhouse gas emission from wastewater treatment plants[J]. Energy Procedia, 2016, 97(2): 246-253；“其他药剂”包括未在表 B-3 中列出但实际消耗的品种，可由企业自行添加，并优先按照其具体种类确定排放因子。若无法准确提供该化学药剂的排放因子，则按表中“其他药剂”选择排放因子。

附 录 C
（资料性）
运输阶段车辆排放有关参数

表C.1给出了不同类型车辆的CH_4和N_2O排放因子。

表 C.1 不同类型车辆的 CH_4 和 N_2O 排放因子（参考自《IPCC 国家温室气体清单指南》）

车辆类型	燃料类型	CH_4 排放因子 ($mgCH_4/km$)	N_2O 排放因子 (mgN_2O/km)
轻型货车 [a]	汽油	57	16
	柴油	0	15
重型货车 [b]	汽油	140	6
	柴油	175	30
	天然气	900	0

[a] 车辆最大总质量（空车质量+核载质量）小于 3500kg；
[b] 车辆最大总质量（空车质量+核载质量）大于 3500kg。

表C.2给出了不同类型车辆的百公里能源消费统计表，其中车辆类型中的重量指车辆的最大总质量。运输车辆的百公里油耗应当优先使用企业实际监测数据或道路运输车辆技术服务网（http://atestsc.mot.gov.cn/）根据车辆型号检索数据。当数据无法获取时，方考虑表C.2所提供的缺省值。

表 C.2 不同类型车辆百公里能源消费统计表（参考自《全国公路水路运输量专项调查》）

车辆类型	百公里油耗（L/100km）
2 吨及以下（汽油）	13.0
2 吨及以上（汽油）	25.1
大于 2 吨，小于或等于 4 吨（柴油）	20.2
大于 4 吨，小于 8 吨（柴油）	25.1
大于或等于 8 吨，小于 20 吨（柴油）	30.7
20 吨及以上（柴油）	35

附 录 D
（说明性）
其他缺省值测算说明

D.1 有关中国各区域电力排放因子缺省值测算说明

D.1.1 数据来源

为了保证数据的时间一致性，所有数据均采用2019年的。各省不同形式发电量及燃料用量来自于《中国能源统计年鉴 2020》，燃料特性参数来自于《2019年度中国区域电网二氧化碳基准线排放因子OM计算说明》、《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施》和李嘉宇等[1]的研究成果，各省间电力传输量来源于《中国电力工业统计资料汇编2020》。由于清洁能源在发电环节的排放量较小，在本次核算中不考虑水电、风电、核电和太阳能发电的碳排放。由于西藏和港澳台地区部分数据缺失，暂未进行核算。

D.1.2 测算方法

考虑电力调度的排放因子计算公式如下：

$$f = e^{P} G \hat{x}^{-1} \quad \text{(D.1)}$$

其中，e^{P}为发电的碳排放因子，为1×n的向量；G为准高希矩阵，其表达式见（D.2），x是$1\times n$的向量，$\hat{x}$是将x对角化的矩阵，表示一个省的总电力流量。

$$G = (I - B)^{-1} \quad \text{(D.2)}$$

其中，B为直接产出系数矩阵，表达式见（D.3）

$$B = \hat{x}^{-1} T = \begin{bmatrix} 0 & \frac{T_{12}}{x_1} & \cdots & \frac{T_{1n}}{x_1} \\ \frac{T_{21}}{x_2} & 0 & \ddots & \frac{T_{2n}}{x_2} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \frac{T_{n1}}{x_n} & \cdots & \frac{T_{n(n-1)}}{x_n} & 0 \end{bmatrix} \quad \text{(D.3)}$$

其中，T_{ij}表示从省 i 向省 j 传输的电量，x_i表示省 i 的总电力流动。

某省考虑不同发电形式的碳排放因子 e 按式（D.4）计算：

$$温室气体总排放因子 = \frac{火电温室气体排放量}{总发电量} \quad \text{(D.4)}$$

其中，火电温室气体排放量计算公式如下：

1）李嘉宇,彭雪婷,贾国伟等.2019年中国能源流和碳流分析[J].煤炭经济研究,2022,42(06):18-26.DOI:10.13202/j.cnki.cer.2022.06.011.

$$火电温室气体排放量 = \sum AD_i \times EF_i \quad \text{(D.5)}$$

式中：

AD_i ——第 i 种化石燃料导致温室气体排放的活动量；

EF_i ——第 i 种化石燃料与活动水平数据对应的系数，表征单位生产或消费活动量的温室气体排放系数。

其中，AD_i和EF_i分别按式（D.6）、式（D.7）计算：

$$AD_i = FC_i \times NCV_i \quad \text{(D.6)}$$

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \quad \text{(D.7)}$$

式中：

FC_i ——第 i 种化石燃料的消耗量；

NCV_i ——第 i 种化石燃料的低位发热量；

CC_i ——第 i 种化石燃料的单位热值含碳量；

OF_i ——第 i 种化石燃料的碳氧化率。

D.2 有关塑木板或彩乐板所替代的产品的碳排放因子计算

塑木板或彩乐板所替代的PVC板材（或特殊型材）的碳排放因子计算主要参考 An 等人的研究中构建的用于量化塑料生命周期碳排放的LCA-MFA数学模型进行计算[2]。首先，基于物质平衡原理，将国内PVC总产量按照各制品的市场份额进行分配，考虑制造阶段的一小部分初级塑料未被完全利用而作为消费前废物流向回收阶段，引入废品率（c_p）。则流向下游制品i的合成树脂量可按式(D.8)计算为：

$$P_{p,i,dom} = P_p \times (1 - c_p) \times k_i \quad \text{(D.8)}$$

式中：

$P_{p,i,dom}$ ——用于生产PVC的国内树脂总产量流向下游制品i的树脂量，单位为千吨（kt）；

i ——PVC制成下游制品的类型，$i = 1$代表特殊型材，$i = 2$代表板材；

P_p ——用于生产PVC的国内树脂总产量，单位为千吨（kt）。根据国家统计局2020年数据，为20740kt；

c_p ——树脂生产废品率，单位为百分比（%）。根据文献[2]计算得出废品率为0.9303%；

k_i ——制品i对应的市场份额，单位为百分比（%）。根据文献研究结果[2]，特殊型材的市场份额为$k_1 = 17\%$，板材的市场份额为$k_2 = 7\%$。

则通过计算可得，当下游制品为PVC特殊型材时，其国内产量为：

2) An J, Wu F, Wang D, et al. Estimated material metabolism and life cycle greenhouse gas emission of major plastics in China: A commercial sector-scale perspective[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 180: 106161.--

$$P_{p,1,dom} = P_p \times (1 - c_p) \times k_1 = 20740\ \text{kt} \times (1 - 0.9303\%) \times 17\% = 3320.57\text{kt}$$

同样地，当下游制品为PVC板材时，其国内产量为：

$$P_{p,2,dom} = P_p \times (1 - c_p) \times k_2 = 20740\ \text{kt} \times (1 - 0.9303\%) \times 7\% = 1367.01\text{kt}$$

初级塑料制造成特定下游制品阶段会带来额外的碳排放，因此制品 i 的总碳排放量为流入下游制品的碳排放量（生产阶段）和制造成下游制品的碳排放量（制造阶段）的总和，按式(D.9)计算：

$$EM_i = EM_{p,i} + EM_{m,i} \quad \cdots\cdots (D.9)$$

其中，生产阶段的碳排放量根据系统的流入量进行计算。计算结果来自文献[2]，见表 D.1：

表 D.1 流入下游制品的生产阶段碳排放量

下游制品 i	生产阶段总碳排放量$EM_{p,i}$（kt）
PVC 特殊型材	18003
PVC 板材	7413

制造阶段的碳排放量按式(D.10)进行计算：

$$EM_{m,i} = P_{p,i,dom} \times EF_{m,i} \quad \cdots\cdots (D.10)$$

式中：

$EM_{m,i}$ ——流入制品i的制造阶段碳排放量，单位为千吨（kt）

$EF_{m,i}$ ——1kg塑料制成制品i的碳排放因子，数据来源自文献[3]。

由于缺少国内加工制造数据，因此制成制品 i 的碳排放因子用荷兰的加工制造数据代替，其中电力排放因子数据替换为中国平均电力排放因子。制造阶段的碳排放因子数据计算结果见表 D.2：

表 D.2 下游制品制造阶段碳排放因子

制造过程	电力消耗量[a]（MWh/t）	电力排放因子[b]（$tCO_2/(MW\cdot h)$）	碳排放因子[c]（tCO_2e/t）
型材挤出	0.3889	0.581	0.2259
板材挤出	0.5000	0.581	0.2905

[a] 数据来源自参考文献: Joosten L a J. The industrial metabolism of plastics: analysis of material flows, energy consumption and CO_2 emissions in the lifecycle of plastics[D]. 2001

[b] 来自生态环境部发布的《关于做好 2022 年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202203/t20220315_971468.html，为中国平均数据;

[c] PVC 下游制品制造阶段碳排放因子，由制造阶段电力消耗量数据乘以中国平均电力排放因子得出。

3) Joosten L a J. The industrial metabolism of plastics: analysis of material flows, energy consumption and CO2 emissions in the lifecycle of plastics[D]. 2001

在制造阶段，制造 PVC 特殊型材的总碳排放量可以计算为：

$$EM_{m,1} = P_{p,1,dom} \times EF_{m,1} = 3320.57 \times 0.2259 = 750\text{kt}$$

同样地，在制造阶段，制造 PVC 板材的总碳排放量可以计算为：

$$EM_{m,2} = P_{p,2,dom} \times EF_{m,2} = 1367.01 \times 0.2905 = 397\text{kt}$$

综上，PVC 特殊型材总碳排放量为：

$$EM_1 = EM_{p,1} + EM_{m,1} = 18003 + 750 = 18753\text{kt}$$

同样地，PVC 板材的总碳排放量为：

$$EM_2 = EM_{p,2} + EM_{m,2} = 7413 + 397 = 7810\text{kt}$$

已知流入下游制品生产制造的总碳排放量，结合其国内产量，按自上而下的方法，可得出生产 1kg 该制品的下游制品的碳排放因子为：

$$EF_{p,i} = \frac{EM_i}{P_{p,i,dom}}$$

代入相应数据，可得中国平均生产 1t PVC 特殊型材的碳排放因子为$EF_{p,1} = \frac{EM_1}{P_{p,1,dom}} = 5.65\ \text{tCO}_2\text{e/t}$；中国平均生产 1t PVC 板材的碳排放因子为$EF_{p,2} = \frac{EM_2}{P_{p,2,dom}} = 5.71\ \text{tCO}_2\text{e/t}$。

参 考 文 献

[1] 广东省废弃衣物再利用碳普惠方法学（2022 年修订版）

[2] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

[3] IPCC Sixth Assessment Report

[4] CM-072-V01 多选垃圾处理方式

[5] Emissions from Solid Waste Disposal Sites

[6] T/CRRA 0305—2022 再生塑料产品碳足迹计算方法

[7] GB/T 33760 基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求

[8] GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

[9] ISO 14064-1:2019 Greenhouse gases—Part 1:Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emission and removal