

山东利兴新材料科技股份有限公司



生命周期评价报告

碳酸乙烯酯

SGS

目录

缩略词	2
摘要	3
1. 生命周期评价介绍	5
2. 企业及产品介绍	7
3. 目标与范围定义	9
3.1 研究目的	9
3.2 研究范围	9
3.2.1 功能单位和基准流	9
3.2.2 系统边界	9
3.2.3 分配原则	10
3.2.4 取舍原则	10
3.2.5 相关假设和限制	10
3.2.6 影响类型和评价方法	11
3.2.7 软件和数据库	13
3.2.8 数据质量要求	13
4. 生命周期清单分析	16
4.1 初级数据	16
4.2 次级数据	17
5. 生命周期影响评价	19
5.1 生命周期影响评价模型	19
5.2 生命周期影响评价结果	19
5.2.1 模型计算结果	20
5.2.2 特征化结果	21
5.3 生命周期阶段贡献分析	21
6. 结果解释	38
6.1 重大问题的识别	38
6.2 完整性、敏感性、不确定性和一致性检查	38
6.2.1 完整性检查	38
6.2.2 敏感性分析	38
6.2.3 一致性检查	38
6.2.4 不确定度分析	39
6.3 结论	39
6.4 局限性和建议	40

缩略词

简称

全称

IPCC	International panel on climate change(联合国政府间气候变化专门委员会)
CFP	Carbon footprint of a product (产品碳足迹)
HFC	Hydrofluoro Carbon(氢氟碳化物)
PFC	Perfluoro Carbon (全氟碳化物)
CO ₂ e	Carbon Dioxide Equivalent(二氧化碳当量)
LCA	Life cycle assessment(生命周期评价)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development(世界企业可持续发展理事会)
ISO	International Organization for Standardization(国际标准组织)
PEF	Product Environment Footprint(产品环境足迹)
GWP	Global Warming Potential(全球暖化潜值)
ELCD	European Life Cycle Database(欧洲生命周期参考数据库)
USLCI	United States Life Cycle Inventory(美国生命周期清单数据库)

摘要

本研究的目的是根据生命周期评价 (LCA)方法，按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006、ISO14067:2018 标准标准的要求，核算山东利兴新材料科技股份有限公司产品“摇篮到大门”的生命周期影响值及碳足迹值。

根据各相关方沟通的需求，本研究的功能单位（声明单位）定义为：

1 吨 碳酸乙烯酯

研究的系统边界定义为“摇篮”到“大门”，其中涵盖了主要原材料的生产过程、运输、产品现场生产阶段。研究得到：

1 吨 碳酸乙烯酯的 LCA 结果如下：

影响类型	类型参数	单位	共计
Carbon 碳足迹	Climate change 气候变化 footprint	kg CO2 eq	1880
Acidification 酸雨	Acidification 酸雨	mol H+ eq	9.178639
Ecotoxicity, freshwater 淡水生态毒性	Ecotoxicity, freshwater 淡水生态毒性	CTUe	7091.431
Particulates emission 颗粒物排放	Particulate matter 颗粒物	disease inc.	9.05E-05
Eutrophication 富营养化	Eutrophication, marine 海洋富营养化	kg N eq	1.727772
	Eutrophication, freshwater 淡水富营养化	kg P eq	0.446126
	Eutrophication, terrestrial 陆地富营养化	mol N eq	17.63438
Human toxicity 人体毒性	Human toxicity, cancer 人体毒性-致癌	CTUh	3.6E-07
	Human toxicity, non-cancer 人体毒性-非致癌	CTUh	2.05E-05
Ionising radiation 电离辐射	Ionising radiation 电离辐射	kBq U-235 eq	104.9559
Land use 土地利用	Land use 土地利用	Pt	4252.44
ozone depletion 臭氧层消耗	Ozone depletion 臭氧层消耗	kg CFC11 eq	0.00015
	Photochemical ozone formation 光化学臭氧产生	kg NMVOC eq	6.187236
Resource depletion 资源枯竭	Resource use, fossils 化石资源使用	MJ	47598.57
	Resource use, minerals and metals 矿产和金属资源使用	kg Sb eq	0.011746
Water use 水资源利用	Water use 水资源利用	m3 depriv.	617.0191

1T碳酸乙烯酯的碳足迹值为1为 1880 kg CO₂e。

其中：

A1 原材料获取阶段的碳足迹值为 1420 kg CO₂e,

A2 原料运输阶段的碳足迹值为 31.1kg CO₂e,

A3 生产阶段的碳足迹值为 423 kg CO₂e

1. 生命周期评价介绍

生命周期评价（Life Cycle Assessment，即 LCA）。是指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。

随着工业化的发展进入自然生态环境的废物和污染物越来越多，超出了自然界自身的消化吸收能力，对环境和人类健康造成极大影响。同时工业化也将使自然资源的消耗超出其恢复能力，进而破坏全球生态环境的平衡。因此人们越来越希望有一种方法对其所从事各类活动的资源消耗和环境影响有一个彻底、全面、综合的了解，能够评估产品在其整个生命周期中，即从原材料的获取、产品的生产直至产品使用后的处置对环境的影响，以便寻求机会采取对策减轻人类对环境的影响。生命周期评价就是国际上普遍认同的为达到上述目的的方法，是一种用于评价产品或服务相关的环境因素及其整个生命周期环境影响的工具。

LCA 的发展经历了从思想萌芽、学术探讨到广泛关注和迅速发展等几个阶段。生命周期评价最早出现于 20 世纪 60 年代末-70 年代初，美国开展的一系列针对包装品德分析和评价。其开始的标志是 1969 年美国中西部研究所（MRI）开展的针对可口可乐公司的饮料容器从原材料采掘到废弃物最终处理的全过程进行的跟踪与定量分析。到了 20 世纪 70 年代中期，政府开始积极支持并参与 LCA 的研究，并且将研究的重点从单个产品的分析评价转移到更大的能源保护目标的制定上。80 年代初，由于缺乏统一的研究方法和缺少可靠数据等原因，LCA 受关注程度大幅下降。直到 1984 年，“瑞士联邦材料测试与研究实验室”为瑞士环境部开展了一项有关包装材料的研究，首次采用了健康标准评估系统，为后来生命周期评价方法的发展奠定了基础。20 世纪 90 年代以后，随着区域性与全球性环境问题的日益严重以及全球环境保护意识的加强，可持续发展思想的普及以及可持续行动计划的兴起，大量的 LCA 研究重新开始，其研究结果也受到公众和社会的日益关注。1993 年国际标准化组织（ISO）起草 ISO14000 国际标准，正式将生命周期评价纳入该体系，生命周期评价的研究和应用进入了一个全新的时代。

生命周期评价的过程是：首先辨识和量化整个生命周期阶段中能量和物质的消耗以及环境释放，然后评价这些消耗和释放对环境的影响，最后辨识和评价减少这些影响的机会。生命周期评价注重研究系统在生态健康、人类健康和资源消耗领域内的环境影响。

而产品碳足迹基于 LCA 的评价方法，将气候变化作为单一影响类别，只计算产品生命周期中的温室气体排放量。产品碳足迹（carbon footprint of a product, CFP）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(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物(HFCs)和全氟化碳(PFCs)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_{2e})表示，单位为 kg CO_{2e} 或者 g CO_{2e}。特征化因子，即每种温室气体（kg CO_{2e}/kg 气体）的全球变暖潜值（GWP₁₀₀），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使用。

在“低碳社会”、“低碳经济”受到广泛关注的今天，越来越多的企业通过产品碳足迹调查，帮助企业发现减少产品温室气体排放、实现节能减排的途径；同时也是一种促进绿色消费的重要手段，从而支持可持续的生产与消费。低碳产品对消费者有更强的吸引力，企业可以将产品碳足迹作为长期战略的组成部分，并以此与市场上同类产品形成区别，从而提高产品和企业的竞争力。此外，通过对产品碳足迹的评估和针对性的改进，可以提高企业和供应链在原材料使用和产品生产上的效率，这也有利于企业成本的降低。

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。其中，国际标准化组织（ISO）发布的碳足迹国际标准 ISO14067:2018 最具权威性，也是本次碳足迹研究所遵循的准则。

2. 企业及产品介绍

山东利兴新材料科技股份有限公司（简称利兴新材）成立于 2015 年，坐落于临沂市郯城经济开发区化工园区，生产区域占地约 10 万平方米，是国家级高新技术企业之一，作为创新驱动型锂电池电解液溶剂及环保溶剂研发及生产制造商，公司主要产品为碳酸乙烯酯（PC）、碳酸丙烯酯（EC）、碳酸甲乙酯（EMC）、碳酸二乙酯（DEC）等，主要为新能源、聚氨酯、皮革及铸造企业提供个性化产品、服务和解决方案。

利兴新材专注于精细化学品生产，生产及研发能力强劲，与天津科技大学成立产学研基地及联合实验室，与临沂大学成立应用研发中心，开拓产品新产品的市场需求及应用领域，产品热销全国各地并出口欧洲、美国、韩国、日本、巴西和俄罗斯等 80 多个国家和地区。

本次研究对象产品：**碳酸乙烯酯**



产品图片

碳酸乙烯酯常温下为无色无臭的针状或片状晶体，熔点 36℃，沸点 248℃，折射率 1.4158（50℃），比重 1.2，粘度 1.90mPa.s（40℃），比重 1.3，微溶于水，可溶于醇、醚、酮等有机溶剂。

产品用途：在电子工业上作生产锂电池和电容器电解液，用作塑料发泡剂及合成润滑油的稳定剂，性能优良的溶剂和有机合成中间体，聚丙烯腈、聚氯乙烯的良好溶剂，作为羟乙基化剂及化工原料用于有机合成，水玻璃系浆料，纤维整理剂。

3. 目标与范围定义

3.1 研究目的

本研究的目的是按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006、ISO14067:2018 标准的要求，评估山东利兴新材料科技股份有限公司的碳酸乙烯酯的生命周期影响。为企业自身的产品设计、物料采购、生产管控等提供可靠的碳排放信息，也为企业建立碳中和品牌，践行国家“绿色制造”战略，申报绿色工厂和绿色产品等做好准备。

研究的结果将为认证方、企业、产品设计师、采购商及消费者提供有效的信息沟通。研究结果的潜在沟通对象面向的群体有：山东利兴新材料科技股份有限公司

的管理人员、产品设计师，产品的采购商和消费者，以及企业的外部利益相关者，如原材料供应商，政府部门和环境非政府组织等。

研究获得的数据信息还可用于以下目的：

- 产品生态设计/绿色设计；
- 同类产品对比；
- 绿色采购和供应链决策；
- 申报绿色工厂。

3.2 研究范围

本项目生命周期影响核算依据国际标准如下：

- ISO14040:2006 环境管理生命周期评价原则与框架
- ISO14044:2006 环境管理生命周期评价要求与指南
- ISO14067:2018 温室气体-产品碳足迹-量化与交流的要求与指南

按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006、ISO14067:2018 标准的要求，研究范围需要明确评估对象的功能单位、系统边界、分配原则、取舍原则、相关假设、影响评价方法和数据质量要求等。在下列章节中分别予以说明。

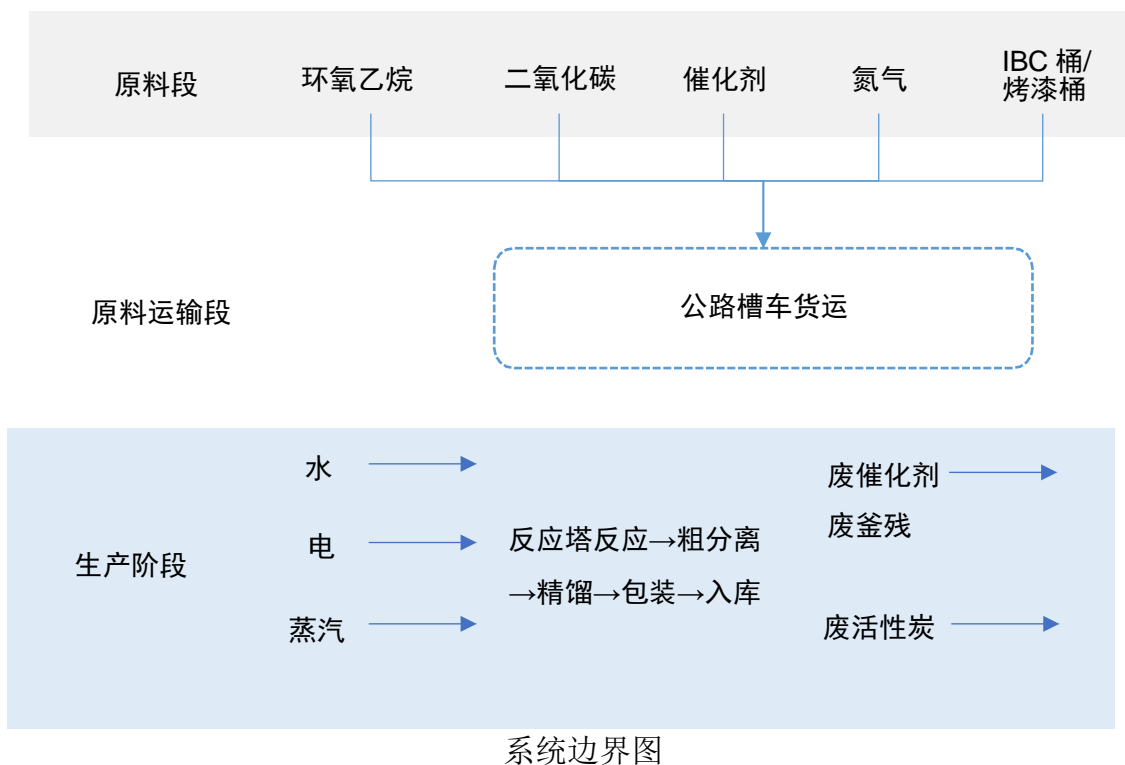
3.2.1 功能单位和基准流

为方便系统中输入/输出的量化，以及后续企业披露产品的生命周期影响信息，或将本研究结果与其他产品的环境影响做对比，本研究声明单位定义为：1T 碳酸乙烯酯、1T 碳酸二乙酯、1T 碳酸乙烯酯、1T 碳酸乙烯酯。

基准流（RFRF）是声明单位对应的溶液质量，以吨为单位，即 1 T。

3.2.2 系统边界

本次研究的系统边界为“摇篮”到“大门”，包括原材料获取阶段、原料运输阶段和生产阶段阶段。



3.2.3 分配原则

许多过程常不只一个功能或输出，过程的环境负荷需要分配到不同的功能和输出中，ISO 相关标准对分配有具体规定，包括 a.避免分配；b.以物理因果关系为基准分配环境负荷；c.使用社会经济学分配基准。

本次研究的碳酸乙烯酯和丙烯酸酯共用一块电表和蒸汽计量表，生产过程的能源的使用，需要进行分配，本项目采用物理分配，即产品质量进行分配该过程的环境负荷。

3.2.4 取舍原则

根据对国内外各类产品 LCA 研究的调研分析，并参考欧盟发布的产品环境足迹 (Product Environment Footprint, PEF) 指南中对取舍准则的要求，基本的取舍原则有：a. 基于输入/输出占比：舍去质量或能量输入/输出小于总质量或能量 1% 的输入/输出，但总的舍去产品投入比例不超过 5%。但是，对于质量虽小，但生命周期环境影响大的物质，则不可以舍弃，例如稀有金属、温室气体、有害物质等；b. 基于环境影响的比重：以类似投入估算，排除实际影响较小的输入/输出。对于生命周期影响，如果单个输入/输出占总生命周期影响 < 1%，则此输入/输出可从系统边界中舍去；c. 忽略生产资料与基础设施。

3.2.5 相关假设和限制

在生命周期评价过程中，会出现数据缺失或情景多样化的情况，生命周期评价执行者需要明确相关假设和限制。

- 1) 出于保密原则，本产品生产过程中所用催化剂不公布成分；

- 2) 生产过程用热主要用外供蒸汽，蒸汽公司供应不足时使用过较短时间的天然气锅炉燃烧自产蒸汽；生产能耗对蒸汽进行了统计；天然气是能源的原料，不再重复计算，并假设自制蒸汽和外购蒸汽的生命周期影响值相同。

3.2.6 影响类型和评价方法

EF 方法是欧盟委员会引入的环境足迹（EF）倡议的影响评估方法。EF 方法 3.0 是在 EF 过渡阶段（至 2024 年底）制定的产品环境足迹类别规则（PEFCR）和组织环境足迹部门规则（OEFSR）以及 PEF 和 OEF 研究所使用的方法。EF 2.0 和 EF 3.0 方法之间的主要区别在于更新的人类毒性、生态毒性和土地利用影响类别。微小的差异也会影响其他影响类别。

SimaPro Professional 数据库中包含的方法包括许多调整，这使得 EF 方法与 SimaPro 提供的数据库兼容。

EN 15804 标准涵盖建筑环境产品声明（EPD）产品。该标准的 2019 A2 修订版使其方法与 EF 3.0 保持一致方法，除了他们对生物碳的方法。根据 EN 15804，生物源性碳排放造成的气候变化量与化石碳相同，但可能是通过从大气中去除这些碳来中和。临时和永久碳不允许存储，因此 15804 标准提供了一组要求来防止其会计学。因此，此方法与上述 EF 3.0 方法相同，除了一些特征气候变化和气候变化 - 生物影响类别中的因素（CF）。

Cumulative Exergy Demand 累积能源需求（CED）的方法基于 Ecoinvent 版本 1.01 发布的方法，并由 PRé 针对 SimaPro 数据库中可用的能源进行了扩展。根据 Ecoinvent 数据库 2.0 版，实施了额外的物质。CED 的默认版本基于燃料的较高热值。

表 1. 环境影响类型及评价模型

影响类型	类型参数	单位	环境方法学
Carbon footprint 碳足迹	Climate change 气候变化	kgCO ₂ e _q	IPCC GWP2021
Acidification 酸雨	Acidification 酸雨	mol·H ⁺ eq	Environment Footprint3.1
Ecotoxicity, freshwater 淡水生态毒性	Ecotoxicity, freshwater 淡水生态毒性	CTU _e	
Particulates emission 颗粒物排放	Particulate matter 颗粒物	disease ince	
Eutrophication 富营养化	Eutrophication, freshwater 淡水富营养化	kg Peq _e	
	Eutrophication,marine 海洋富营养化	kgNeq	

	Eutrophication,terrestrial 陆地富营养化	mol·N eq
Human toxicity 人体毒性	Human toxicity,cancer 人体毒性-致癌	CTUh
	Human toxicity, non-cancer 人体毒性-非致癌	CTUh
Ionising radiation 电离辐射	Ionising radiation 电离辐射	kBq U-235 eq
Land use 土地利用	Land use 土地利用	Pt
ozone depletion 臭氧层消耗	ozone depletion 臭氧层消耗	kg CFC11 eq
	Photochemical ozone formation 光化学臭氧产生	kg·NMVOC eq
Resource depletion 资源枯竭	Resource use,fossil 化石资源使用	MJ
	Resource use, minerals and metals 矿产和金属资源使用	kg Sbeq
Water use 水资源利用	Water use 水资源利用	m ³ depriv.

产品碳足迹研究是对产品生命周期的全球变暖潜值(Global Warming Potential, GWP)进行分析，因为 GWP 是用来量化产品“碳足迹”的环境影响指标。碳足迹量化评价方法的选用考虑方法符合 ISO14067:2018、ISO14040:2006、ISO14044:2006 标准的要求，并考虑方法的科学性、特征化因子的可获得性以及方法的适用性。

产品碳足迹的环境方法学IPCC GWP 2021，具体见下表：

表 2 环境影响类型及评价模型

环境影响类型	气候变化
评价模型	伯尔尼模型-100 年内的全球变暖潜值
贡献物质	CO ₂ 、CH ₄ 、CFC 等
影响类型参数	全球变暖潜势 (GWP 100)
单位	kg CO ₂ e
方法来源	IPCC, 2021
影响类型特点	全球性影响类型

全球变暖潜值(GWP): IPCC 第六次评估报告(2021 年)提出的方法来计算产品生命周期的 GWP 值, IPCC(2021)方法中涵盖了多种特征化物质, 包括二氧化碳(CO₂), 甲烷(CH₄), 氧化亚氮(N₂O), 四氟化碳(CF₄), 六氟乙烷(C₂F₆), 六氟化硫(SF₆), 氢氟碳化物(HFC)和哈龙等。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 CO₂ 当量(CO₂e)。例如, 1kg 甲烷在 100 年内对全球变暖的影响相当于 27.9kg 二氧化碳排放对全

球变暖的影响，因此以二氧化碳当量(CO₂e)为基础，甲烷的特征化因子就是 27.9kg CO₂e。

3.2.7 软件 and 数据库

在研究中，Simapro9.6 软件被用来建立产品的生命周期模型，计算生命周期影响结果。Simapro9.5.0.0 软件被用来建立产品的生命周期模型，计算碳足迹结果。Simapro 是由荷兰 Pre Consultant 公司研发的专业 LCA 软件，支持全生命周期过程分析，其中内置了瑞士的 Ecoinvent 数据库、欧洲生命周期参考数据库(ELCD)以及 Agri-footprint、USLCI 等多个数据库。本研究中，使用了 Ecoinvent、ELCD 数据库中的数据。

Ecoinvent 数据库由瑞士生命周期研究中心开发，包括西欧、瑞士、中国等地区的数据，该数据库包含 10000 条以上的产品和服务数据集，涉及化工、能源、运输、建材、电子、纸浆和纸张，废物处理和农业活动等。<http://www.Ecoinvent.org>

欧洲生命周期参考数据库(ELCD)由欧盟研究总署开发，其核心数据库包含超过 300 个数据集，其清单数据来自欧盟行业协会和其他来源的原材料、能源、运输、废物管理数据。<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vlm>

3.2.8 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本研究中主要考虑了以下几个方面：

- 数据完整性：依据取舍原则；
- 数据代表性：生产商、技术、地域以及时间的代表性；
- 一致性：定性评估研究方法是否统一应用于敏感性分析的各个组成部分；
- 精度：测量每个数据值的可变性（例如方差）。

为了准确的评估数据质量，在 SimaPro 中使用所谓的系谱矩阵（最初由 Weidema (1996) 开发）来估计几何标准偏差。每个数据点根据六个标准加上基本不确定因素（取决于数据类型）进行评估。使用以下等式计算 95%置信区间或平方几何标准偏差：

$$U^2 = \sum_{n=1}^5 U_n^2$$

因子 U_1^2 至 U_6^2 是指（1）可靠性、（2）完整性、（3）时间相关性、（4）地理相关性、（5）技术相关性（见表 2）。

表 3. 数据质量（不确定度）得分表

分数	1	2	3	4	5
----	---	---	---	---	---

U1 可靠性	检验数据基于测量	检验数据部分基于假设或者未证实数据基于测量	未证实数据部分基于合格的评估	合格的评估（像工业专家）；数据来源理论信息（化学计量、焓等）	不合格评估
	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
U2 完整性	代表性数据来自所考虑市场的所有相关站点，一定时期内平稳波动	代表性数据来自所考虑市场的>50%相关站点，一定时期内平稳波动	代表性数据来自所考虑市场的<<50%相关站点，或者更短时期内>50%站点	代表性数据来自所考虑市场的一个站点或者更短时期内的一些站点	代表性未知，或者数据来源于更短时间的少量站点
	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
U3 时间相关性	与参考年份相差少于3年	与参考年份相差少于6年	与参考年份相差少于10年	与参考年份相差少于15年	数据年龄未知，或与参考年份相差大于15年
	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
U4 地域相关性	数据来源于正在研究的区域	平均数据来源于包括正在研究区域以内的更大区域	数据来源比正在研究更小的区域或者相似区域	数据来源于有相似生产状况的区域	数据来源于未知区域或者明显不同的区域
	1.00	1.01	1.02	1.05	1.10
U5 技术相关性	数据来源于正在研究二点企业，流程和材料（例如相同的技术）	数据来源于相同技术，不同企业的流程和材料	数据来源与同一技术的相关流程或者材料，或者正在研究的流程和材料但是不同技术	数据来源于不同技术的相关流程和材料，或者数据来源于实验室规模的流程和相同技术	数据来源于实验室规模不同的技术的相关的相关流程和材料
	1.00	1.05	1.20	1.50	2.00

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在研究过程中原始数据首选现场特定数据；当无法收集现场特定数据时，使用非现场特定数据且经过第三方审查的原始数据。

二手数据大部分选择来自 Ecoinvent 数据库，少量来自 ELCD、Industry data 2.0 数据库，这些数据库中的数据是经严格审查，并广泛应用于国际上的 LCA 研究。

4. 生命周期清单分析

本研究的生命周期数据包括初级数据和次级数据。

初级数据：由山东利兴新材料科技股份有限公司工作人员收集提供。

次级数据：来自 Simapro 集成的数据库，如 Ecoinvent、ELCD 和 Industry data 2.0 数据库。这些数据属于“从摇篮到大门”类别。

4.1 初级数据

初级数据由公司员工收集并提供。原始数据通过现场调查按照“门到门”的方法收集。本研究收集的数据是生产现场一年的统计数据。

原材料消耗量，生产过程能耗数据，产废数据等生产记录数据由收集人员根据公司统计数据提供。

时间代表性：2023 年 1-12 月统计数据

地理代表性：山东利兴新材料科技股份有限公司生产现场

技术代表性：行业主流生产工艺：反应塔反应→粗分离→精馏→包装→入库

表 4 A1 阶段-原料、辅料、包材数据

类别	物料/零件名称	成分\材质	数据	单位
原料	环氧乙烷	环氧乙烷	0.512126	T
原料	二氧化碳	二氧化碳	0.559999	T

备注：

- 1.数据来源于《产品碳足迹数据模型与收集表（利兴新材）》
- 2.辅料的化学成分资料来源于供应商提供的化学品安全技术说明书。
- 3.所用乙醇为生物乙醇，生产工艺为发酵
- 4.使用的氮气为自制，已在能源电的消耗中进行核算，不再重复计算。

表 5 A2 阶段- 功能单位 物料运输数据

名称	说明	数据	单位
环氧丙烷	陆运truck	138.4073373	Tkm
二氧化碳	陆运truck	43.17597401	Tkm
柴油	陆运truck	0.415830432	Tkm

备注：数据来源于《产品碳足迹数据模型与收集表（利兴新材）》

表 6 A3 阶段- 生产阶段数据

阶段	能资源	说明	数据	单位
反应、分离、精馏、包装	电	国家电网供电 10kv	109.3111459	kwh
	蒸汽	供汽公司	0.792922653	t
	柴油	外购	0.122303068	t

备注：

1. 数据来源于《产品碳足迹数据模型与收集表（利兴新材）》
2. 因碳酸乙烯酯，碳酸二乙酯和副产品甲醇混合液在蒸馏塔内同步生成，在用能数据方面无法区分，因此该部分数据采用质量分配方法分配生成，属于物理分配法。而原物料根据化学反应平衡反推计算分配，同样是物理分配法。
3. 生产用少量的水，用的是蒸汽冷凝水，未单独外购；未统计。
4. 因天然气是产生水蒸气的能源；水蒸气已核算，不再重复计算。

表 7 Cut-off 舍去数据 (<1%)

物料名称	说明	比例
催化剂	辅料	0.025%
烤漆桶	包材	0.027%
1000 kg IBC桶	包材	0.002%
镀锌桶	包材	0.349%
托盘	包材	0.001%
EC脱重釜残	工艺产固废	0.46406%
VOCs	工艺产固废	0.00147%
废活性炭	工艺产废气	0.00654%
废催化剂	工艺产废气	0.22%
合计		1.1%

4.2 次级数据

公司收集到的初级数据，从 LCA 原理的角度看，很多都属于中间流数据而非基本流数据，所以需要从数据库查找这些物料或能源的生命周期清单数据。次级数据大多来自 Ecoinvent 3.9，如果可能的话，使用的是中国本地数据。但是，数据库中往往也没有与实际物料完全对应的物料，只能以近似物质和生产加工过程来替代。查找结果见下表。这意味着以其他过程来替代了产品生命周期的实际过程，导致代表性存在不同程度的不确定性。

表 8 次级数据来源

材料名称	数据库数据	数据来源
环氧乙烷	Ethylene oxide {RoW} market for ethylene oxide APOS, S	Ecoinvent3.8

二氧化碳	Carbon dioxide, liquid {RoW} market for carbon dioxide, liquid Cut-off, S	Ecoinvent3.8
卡车运输	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RoW} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 APOS, S	Ecoinvent3.8
电	Electricity, medium voltage {CN-NCGC} market for electricity, medium voltage Cut-off, S	Ecoinvent3.8
蒸汽	Steam, in chemical industry {RoW} market for steam, in chemical industry APOS, S	Ecoinvent3.8
柴油	Diesel {GLO} market group for APOS, S	Ecoinvent3.8

5. 生命周期影响评价

5.1 生命周期影响评价模型

LCA 研究采用 SimaPro 9.6 软件进行模型建立。

A1-原料获取阶段

已知输出到技术领域、产品和副产品-	数量	单位	数量	分配%	类别	注释	
A1-丙烯酸原料获取阶段 (在这里插入行)	1	ton	Mass	100 %	其它		
已知输出到技术领域、无效产品 (在这里插入行)			数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释
输入							
从自然 (资源) 的已知输入 (在这里插入行)	次级区隔-	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释	
从技术领域 (原料/燃料) 的已知输入	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释		
Ethylene oxide (RoW) market for ethylene oxide APOS, S	0.512126609	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	
Carbon dioxide, liquid (RoW) market for carbon dioxide, liquid Cut-off, S	0.559999663	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	

A2-原料运输阶段

已知输出到技术领域、产品和副产品-	数量	单位	数量	分配%	类别	注释	
A2-丙烯酸原料运输阶段 (在这里插入行)	1	ton	Mass	100 %	其它		
已知输出到技术领域、无效产品 (在这里插入行)			数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释
输入							
从自然 (资源) 的已知输入 (在这里插入行)	次级区隔-	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释	
从技术领域 (原料/燃料) 的已知输入	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释		
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 (RoW) transport, freight,	183.1818769	tkm	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	

A3-生产阶段

已知输出到技术领域、产品和副产品-	数量	单位	数量	分配%	类别	注释	
A3-丙烯酸生产阶段 (在这里插入行)	1	ton	Mass	100 %	其它		
已知输出到技术领域、无效产品 (在这里插入行)			数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释
输入							
从自然 (资源) 的已知输入 (在这里插入行)	次级区隔-	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释	
从技术领域 (原料/燃料) 的已知输入	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释		
Diesel (GLO) market group for APOS, S	0.122303068	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	
Electricity, medium voltage (CN-NCGC) market for electricity, medium voltage	109.3111459	kWh	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	
Steam, in chemical industry (RoW) market for steam, in chemical industry	0.792922653	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	

将产品转化为功能单位 (1吨)

已知输出到技术领域、产品和副产品-	数量	单位	数量	分配%	类别	注释	
碳酸乙烯酯 (在这里插入行)	1	ton	Mass	100 %	其它		
已知输出到技术领域、无效产品 (在这里插入行)			数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释
输入							
从自然 (资源) 的已知输入 (在这里插入行)	次级区隔-	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释	
从技术领域 (原料/燃料) 的已知输入	数量	单位	分佈	SD^2 或 2*SD 最小值 最大	注释		
A1-丙烯酸原料获取阶段	1	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	
A2-丙烯酸原料运输阶段	1	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	
A3-丙烯酸生产阶段	1	ton	对数正态的	1.05		(1,1,1,1,na)	

5.2 生命周期影响评价结果

5.2.1 模型计算结果

LCA研究采用SimaPro 9.6软件进行LCA分析，分析得出：

1 吨碳酸乙烯酯的 LCA 结果：

表 10 LCA 结果

影响类型	类型参数	单位	共计	A1-原料获取阶段	A2-原料运输阶段	A3-生产阶段
Carbon 碳足迹	Climate change 气候变化 footprint	kg CO2 eq	1880	1420	31.1	423
Acidification 酸雨	Acidification 酸雨	mol H+ eq	9.178639	6.521525	0.215348	2.441765
Ecotoxicity, freshwater 淡水生态毒性	Ecotoxicity, freshwater 淡水生态毒性	CTUe	7091.431	4139.231	144.9165	2807.283
Particulates emission 颗粒物排放	Particulate matter 颗粒物	disease inc.	9.05E-05	6.09E-05	3.71E-06	2.59E-05
Eutrophication 富营养化	Eutrophication, marine 海洋富营养化	kg N eq	1.727772	1.265588	0.082709	0.379474
	Eutrophication, freshwater 淡水富营养化	kg P eq	0.446126	0.384723	0.002357	0.059046
	Eutrophication, terrestrial 陆地富营养化	mol N eq	17.63438	12.67183	0.904646	4.057899
Human toxicity 人体毒性	Human toxicity, cancer 人体毒性-致癌	CTUh	3.6E-07	2.8E-07	1.17E-08	6.76E-08
	Human toxicity, non-cancer 人体毒性-非致癌	CTUh	2.05E-05	1.91E-05	1.02E-07	1.3E-06
Ionising radiation 电离辐射	Ionising radiation 电离辐射	kBq U-235 eq	104.9559	66.80899	2.166165	35.98076
Land use 土地利用	Land use 土地利用	Pt	4252.44	2641.323	318.0591	1293.058
ozone depletion 臭氧层消耗	Ozone depletion 臭氧层消耗	kg CFC11 eq	0.00015	1.89E-05	7.08E-06	0.000124
	Photochemical ozone formation 光化学臭氧产生	kg NMVOC eq	6.187236	4.642184	0.247795	1.297257
Resource depletion 资源枯竭	Resource use, fossils 化石资源使用	MJ	47598.57	36418.61	471.7544	10708.21
	Resource use, minerals and metals 矿产和金属资源使用	kg Sb eq	0.011746	0.011429	9.87E-05	0.000219
Water use 水资源利用	Water use 水资源利用	m3 depriv.	617.0191	590.5498	1.632987	24.83625

1 吨碳酸乙烯酯的碳足迹值：

研究采用软件进行碳足迹计算，结果见图 1。分析得出：

1 吨 碳酸乙烯酯的碳足迹值为 1880 kg CO₂e。

其中：

A1 原材料获取阶段的碳足迹值为 1420 kg CO₂e，

A2 原料运输阶段的碳足迹值为 31.1kg CO₂e，

A3 生产阶段的碳足迹值为 423 kg CO₂e。

5.2.2 特征化结果

特征化结果见下表：

表 11 特征化结果统计表

特征化	GWP, 单位: kg CO ₂ e
GWP100 - fossil	1880
GWP100 – biogenic	2620
GWP100- land transformation	1230
GWP100-CO ₂ uptake	-1880

5.3 生命周期阶段贡献分析

根据 5.2 的数据，按照产品各生命周期阶段，对各阶段的生命周期影响及贡献做图分析，见图 1~图 32。

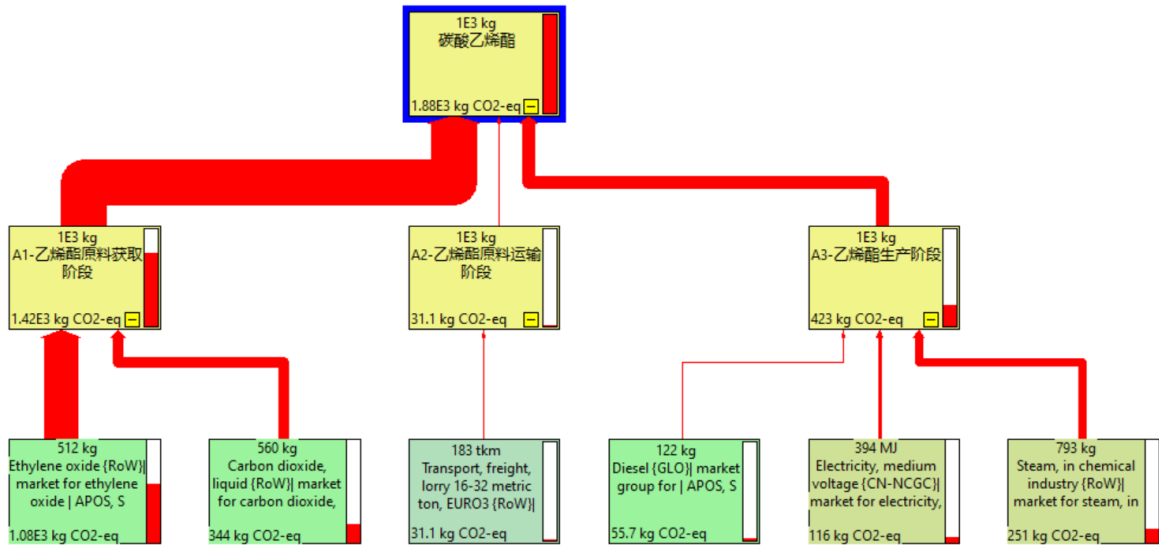


图 1. 1 吨碳酸乙烯酯 Climate change (气候变化) 分布图 (数值)

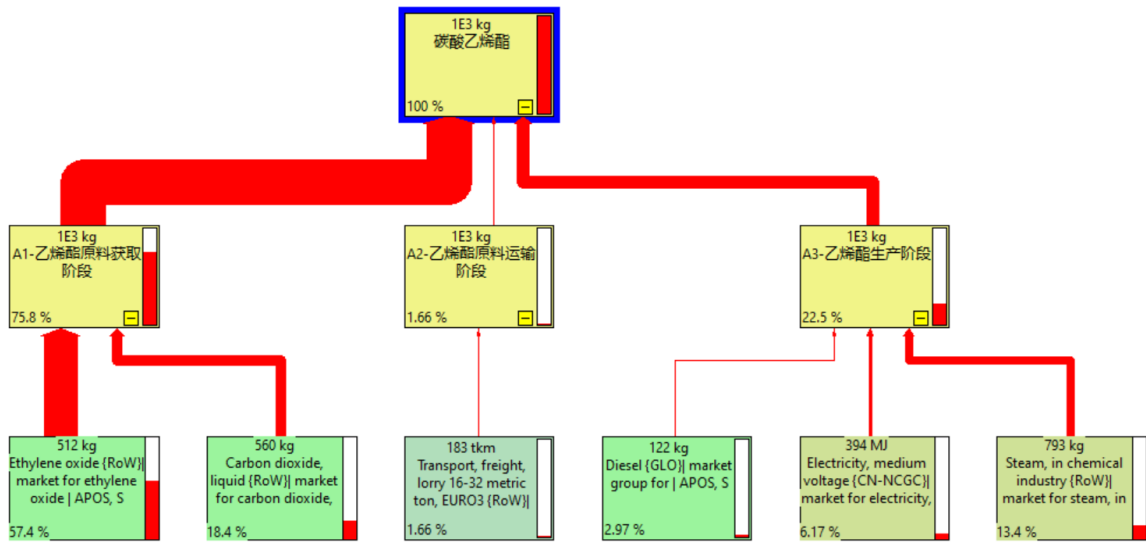


图 2. 1 吨碳酸乙烯酯 Climate change (气候变化) 分布图 (百分比)

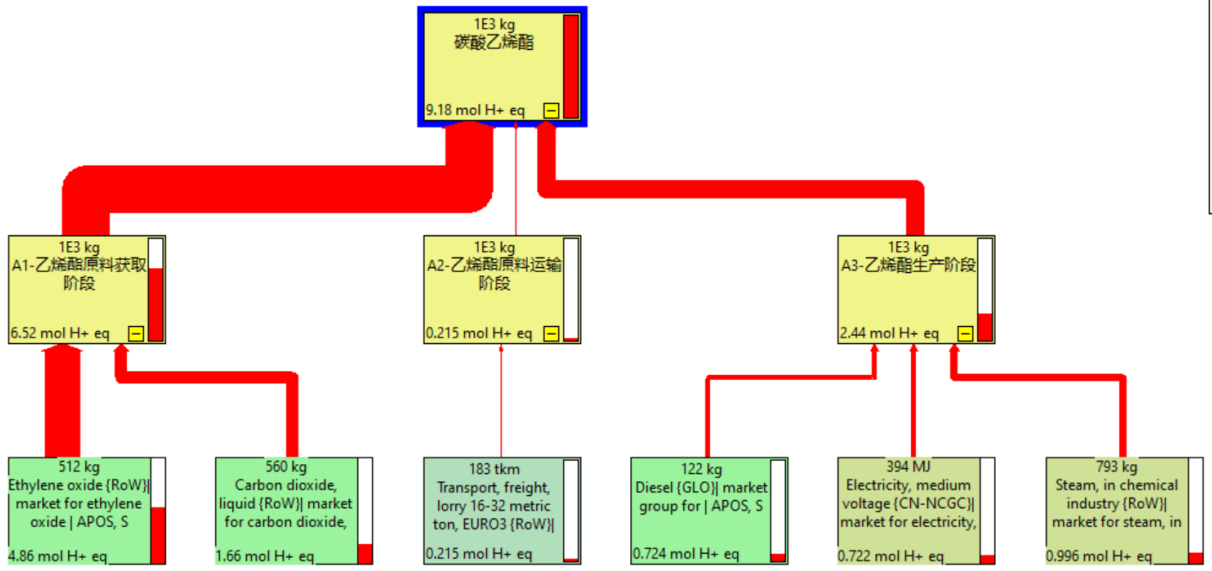


图 3. 1 吨碳酸乙烯酯 Acidification (酸雨) 分布图 (数值)

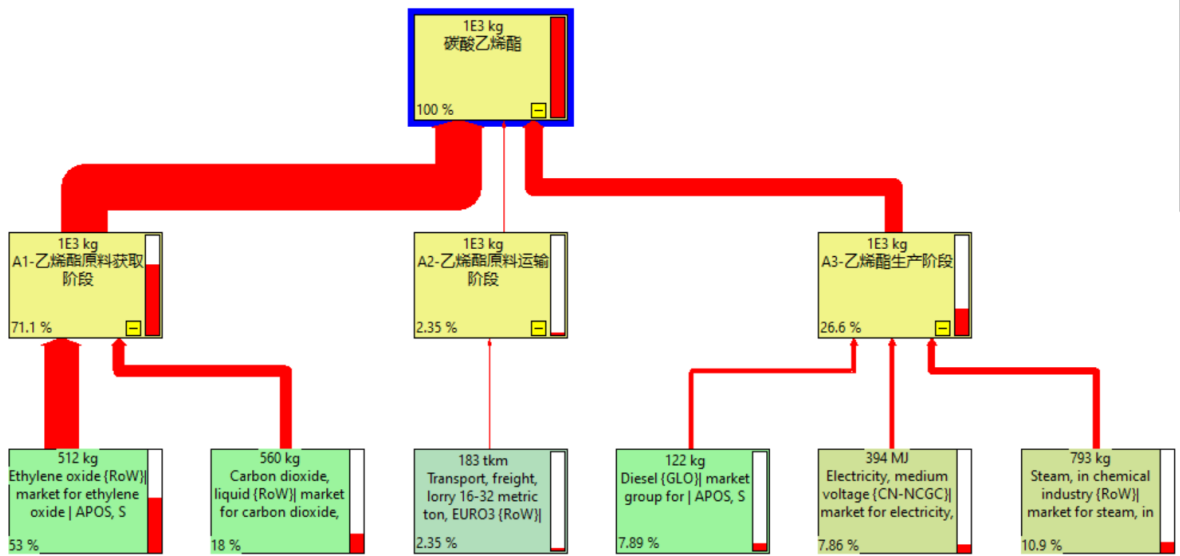


图 4. 1 吨碳酸乙烯酯 Acidification (酸雨) 分布图 (百分比)

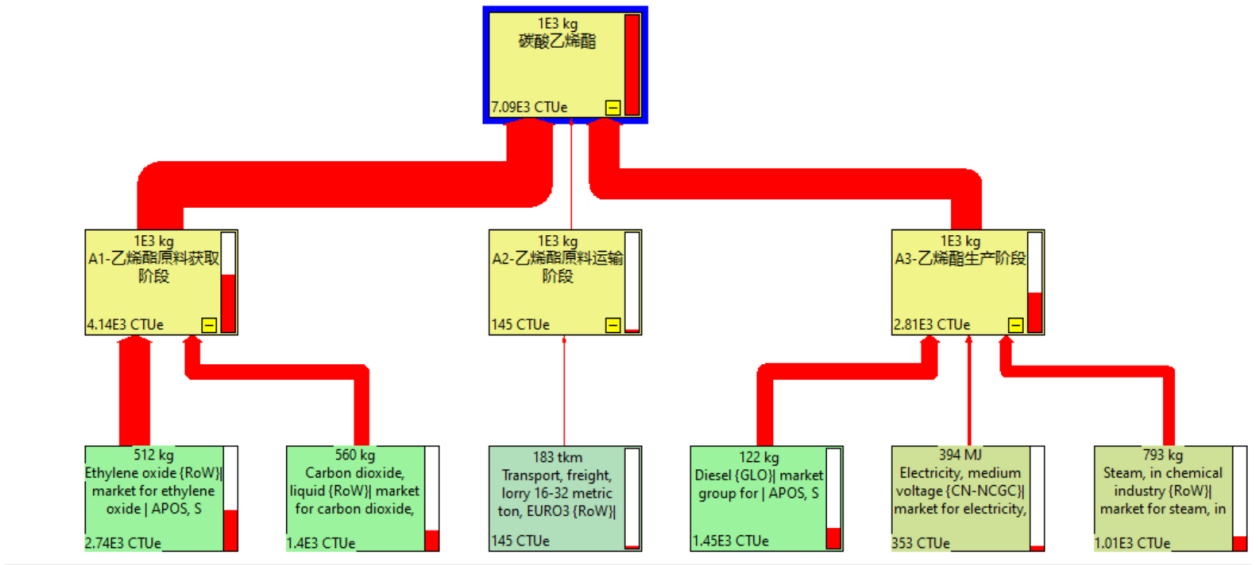


图 5. 1 吨碳酸乙烯酯 Ecotoxicity, freshwater (淡水生态毒性) 分布图 (数值)

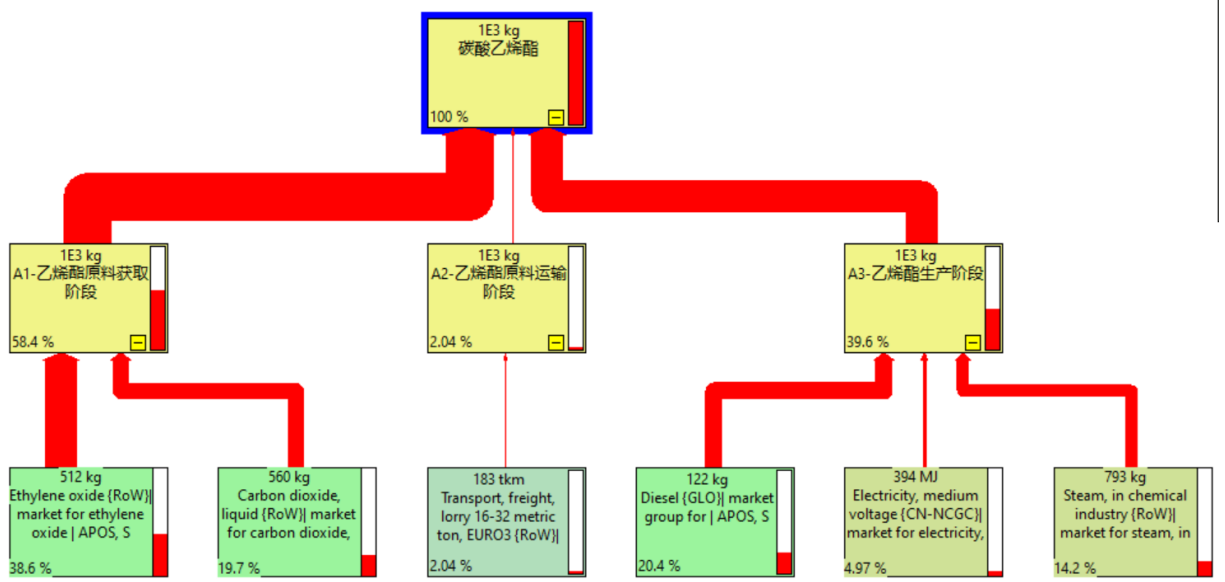


图 6. 1 吨碳酸乙烯酯 Ecotoxicity, freshwater (淡水生态毒性) 分布图 (百分比)

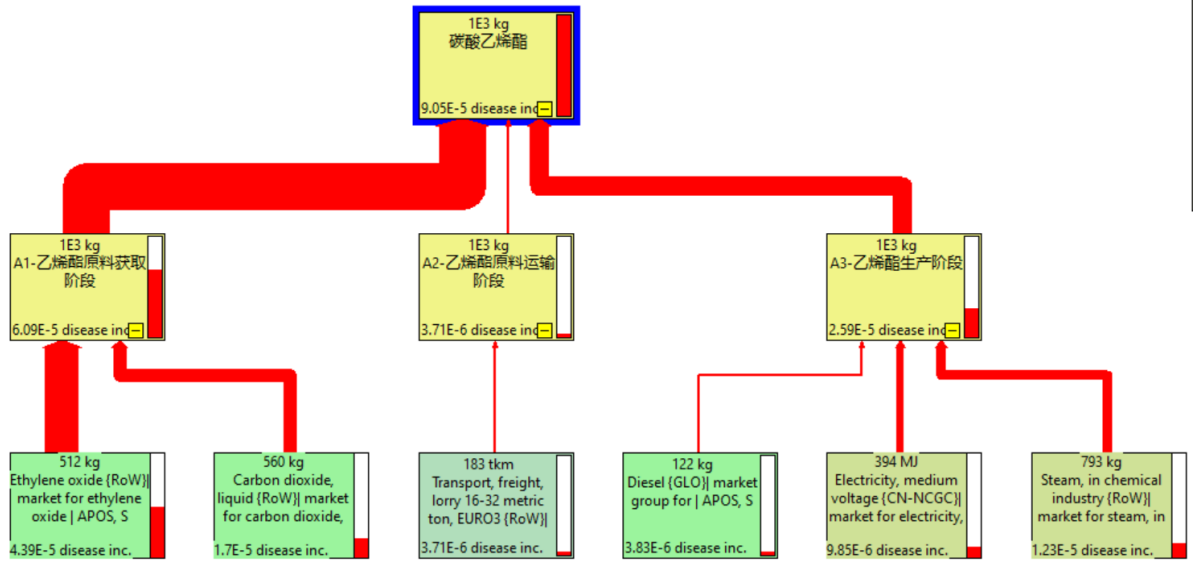


图 7. 1 吨碳酸乙烯酯 Particulate matter (颗粒物排放) 分布图 (数值)

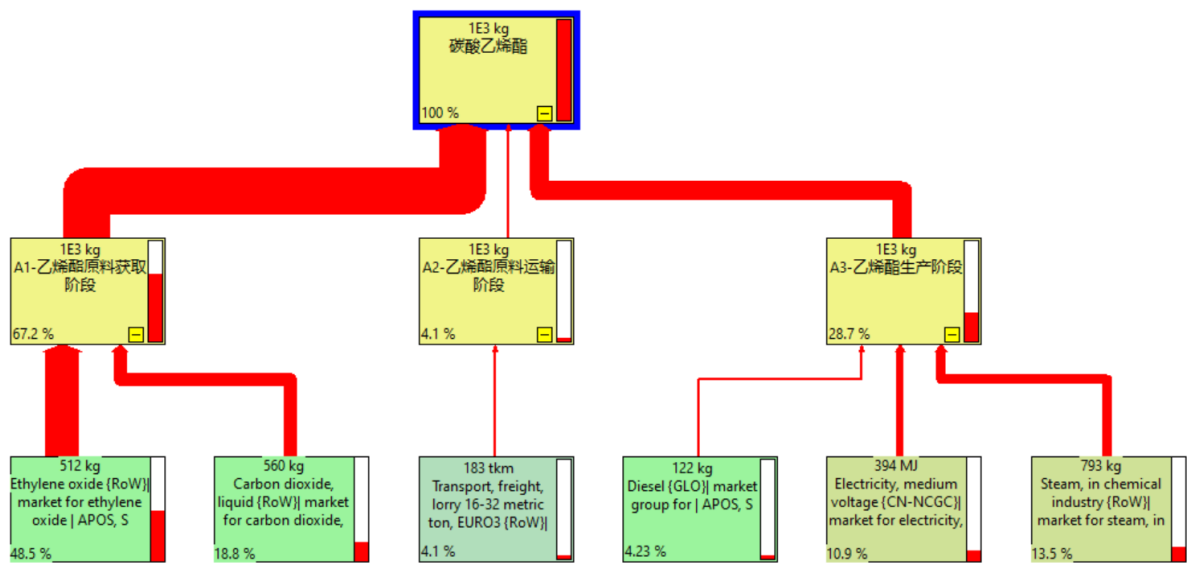


图 8. 1 吨碳酸乙烯酯 Particulate matter (颗粒物排放) 分布图 (百分比)

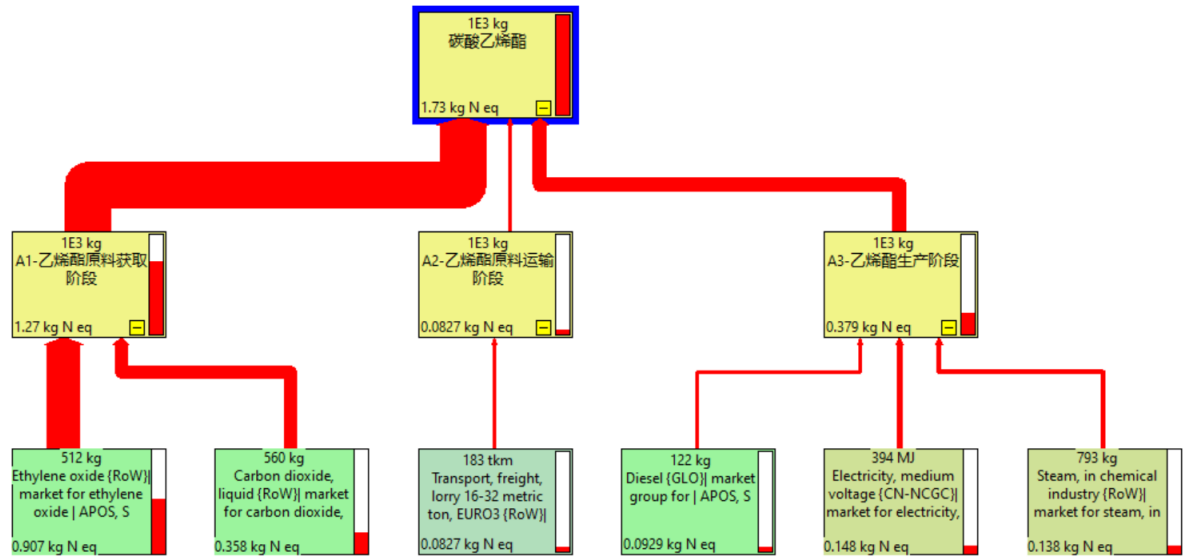


图 9. 1 吨碳酸乙烯酯 Eutrophication, marine (海洋富营养化) 分布图 (数值)

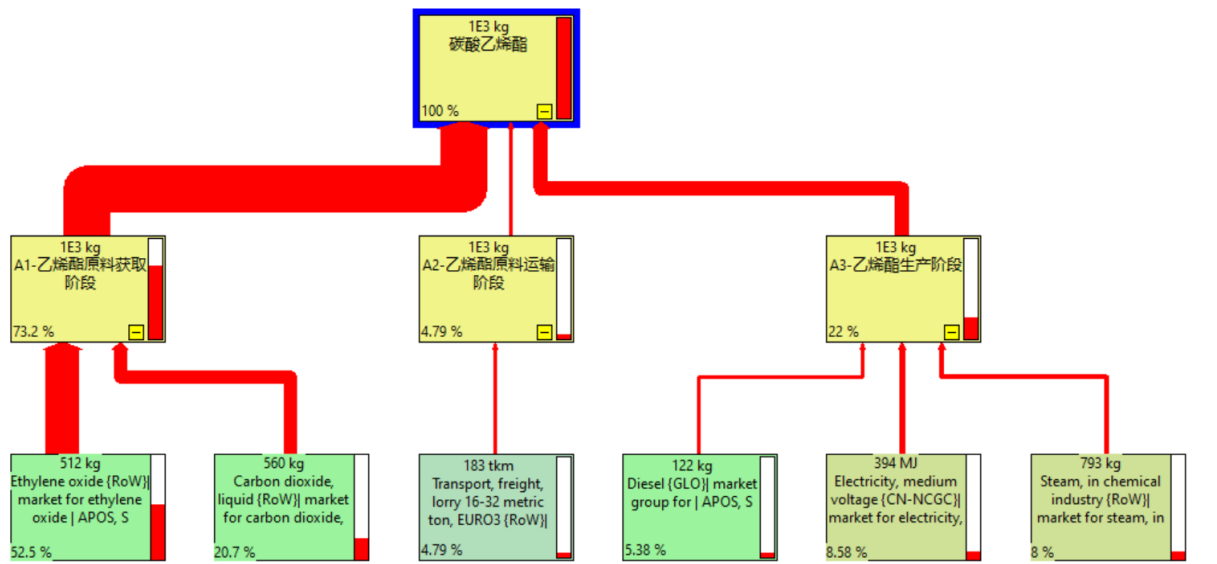


图 10. 1 吨碳酸乙烯酯 Eutrophication, marine (海洋富营养化) 分布图 (百分比)

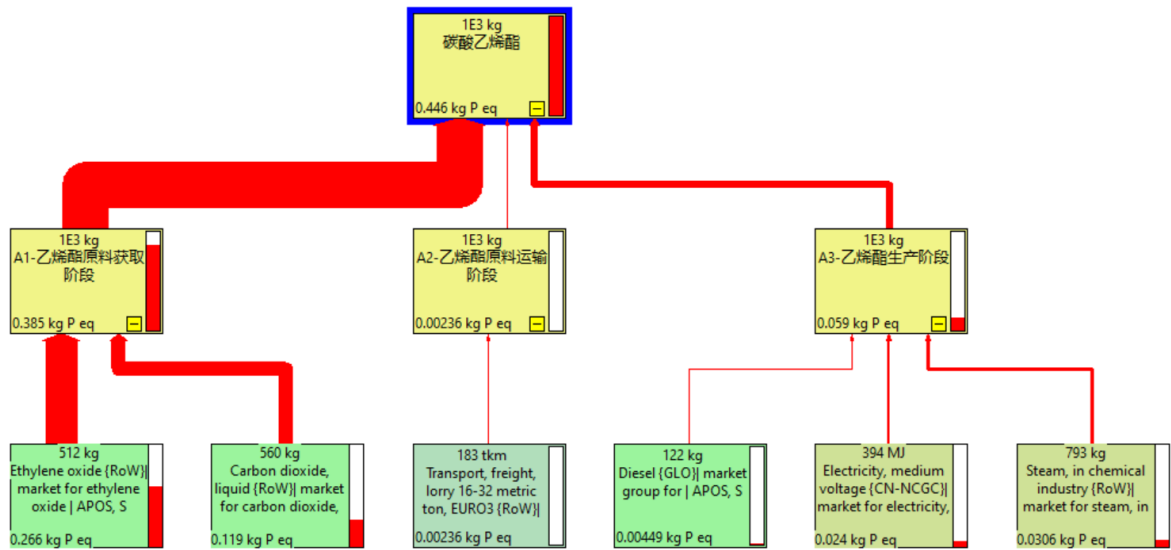


图 11. 1 吨碳酸乙烯酯 Eutrophication, freshwater (淡水富营养化) 分布图 (数值)

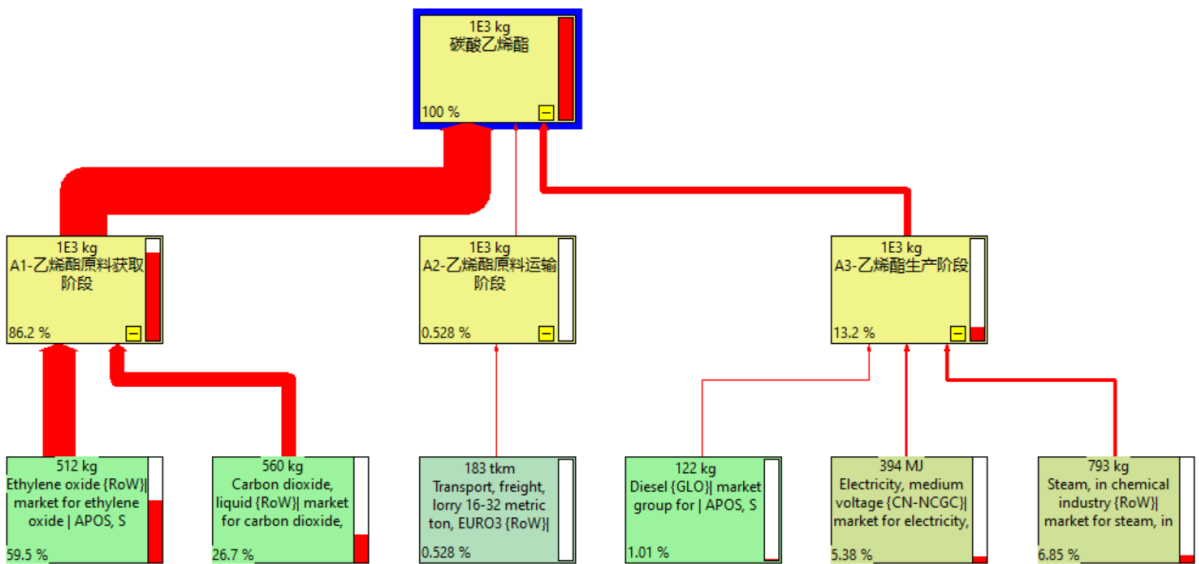


图 12. 1 吨碳酸乙烯酯 Eutrophication, freshwater (淡水富营养化) 分布图 (百分比)

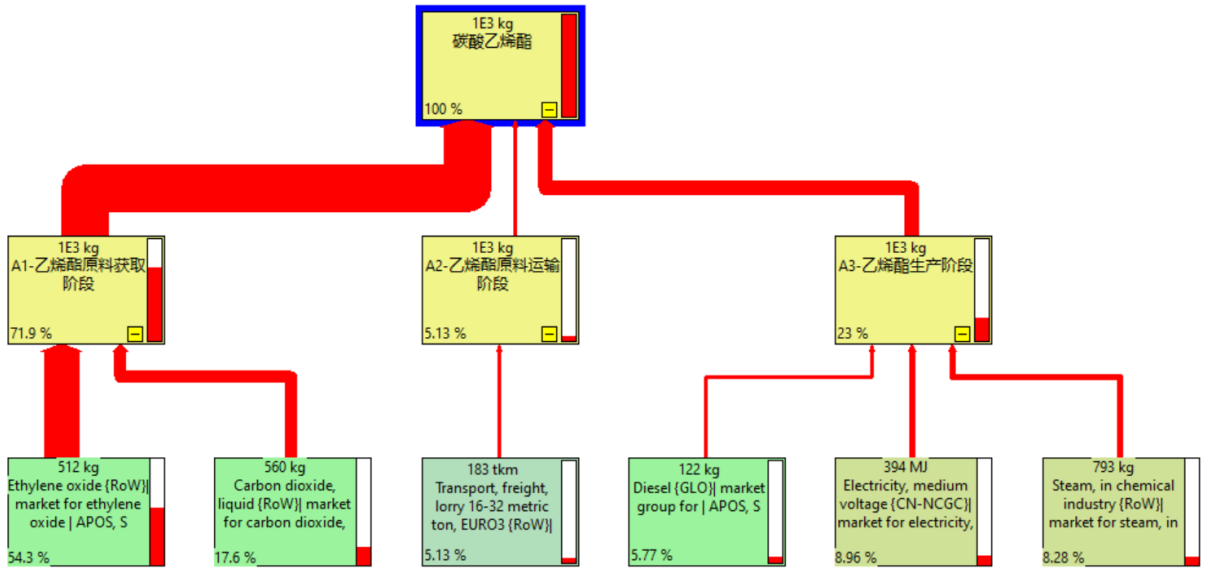


图 13. 1 吨碳酸乙烯酯 Eutrophication, terrestrial (陆地富营养化) 分布图 (数值)

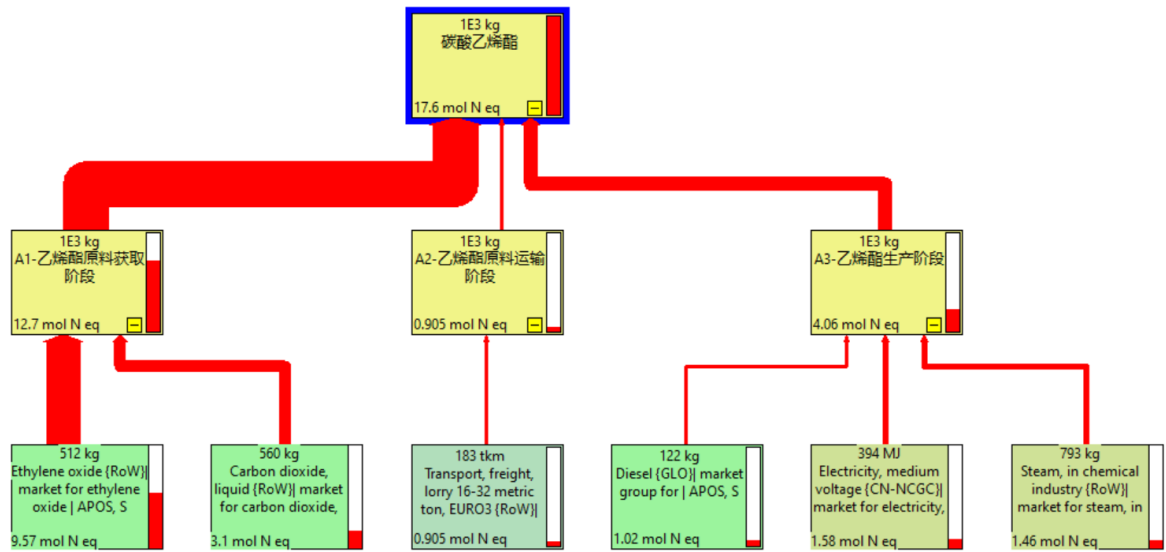


图 14. 1 吨碳酸乙烯酯 Eutrophication, terrestrial (陆地富营养化) 分布图 (百分比)

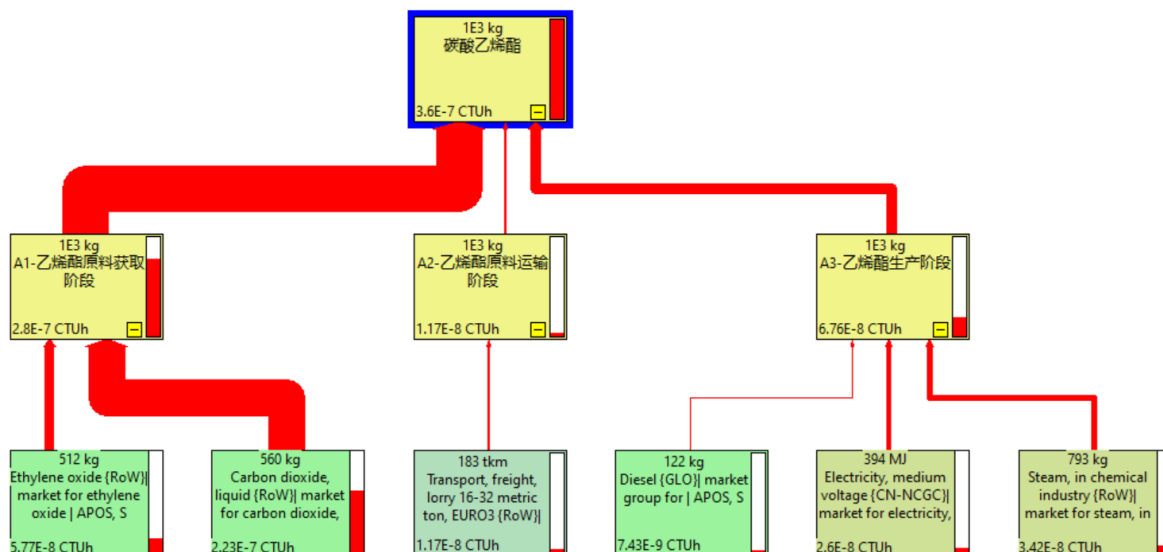


图 15. 1 吨碳酸乙烯酯 Human toxicity, cancer (人体毒性-致癌) 分布图 (数值)

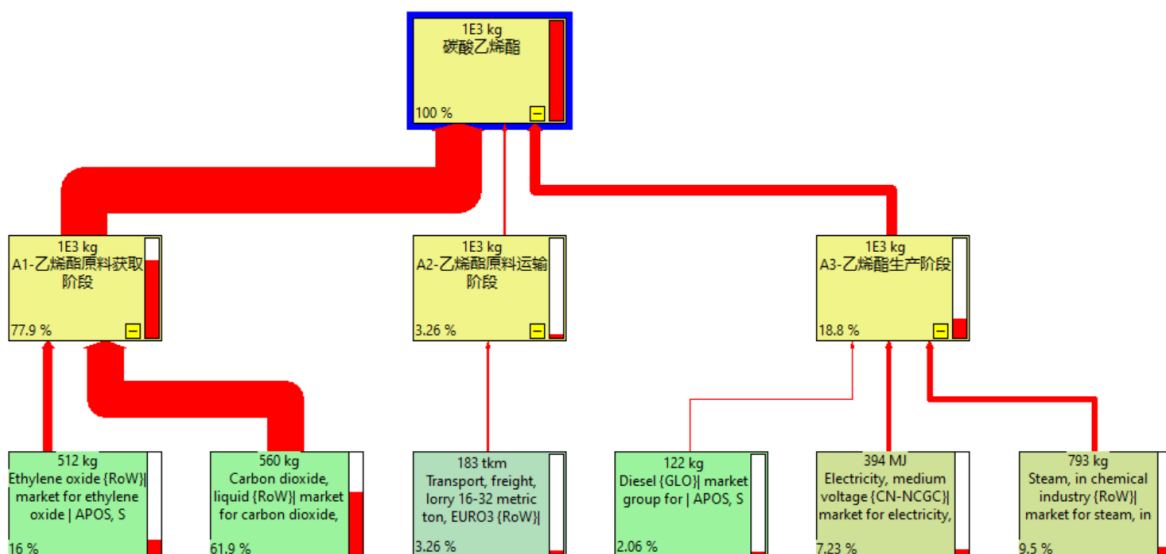


图 16. 1 吨碳酸乙烯酯 Human toxicity, cancer (人体毒性-致癌) 分布图 (百分比)

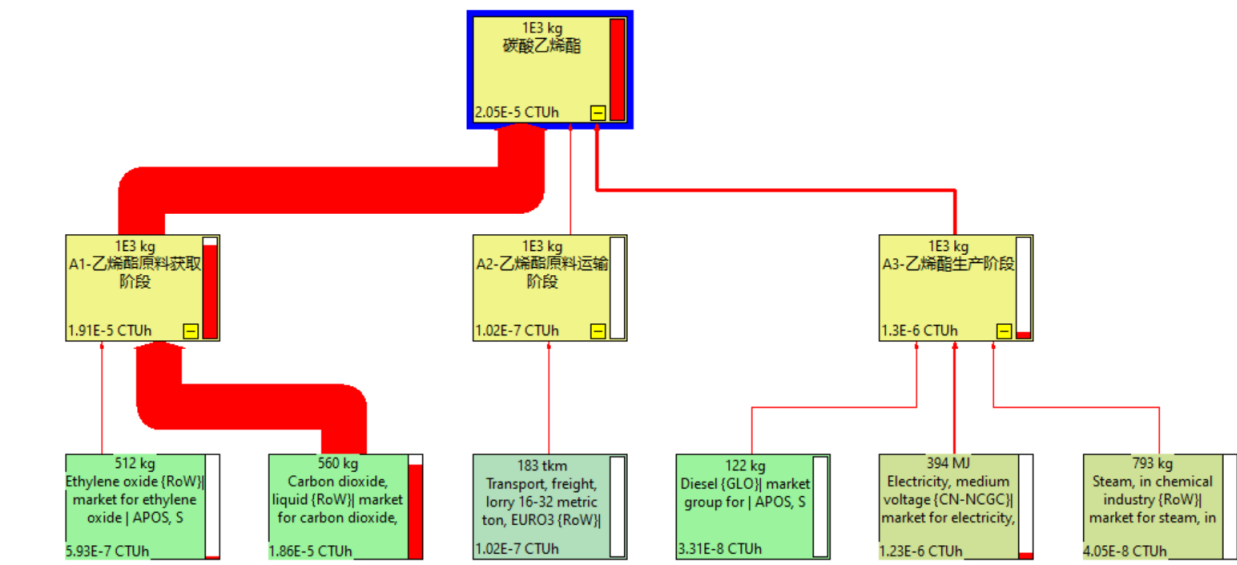


图 17. 1 吨碳酸乙烯酯 Human toxicity, non-cancer (人体毒性-非致癌) 分布图 (数值)

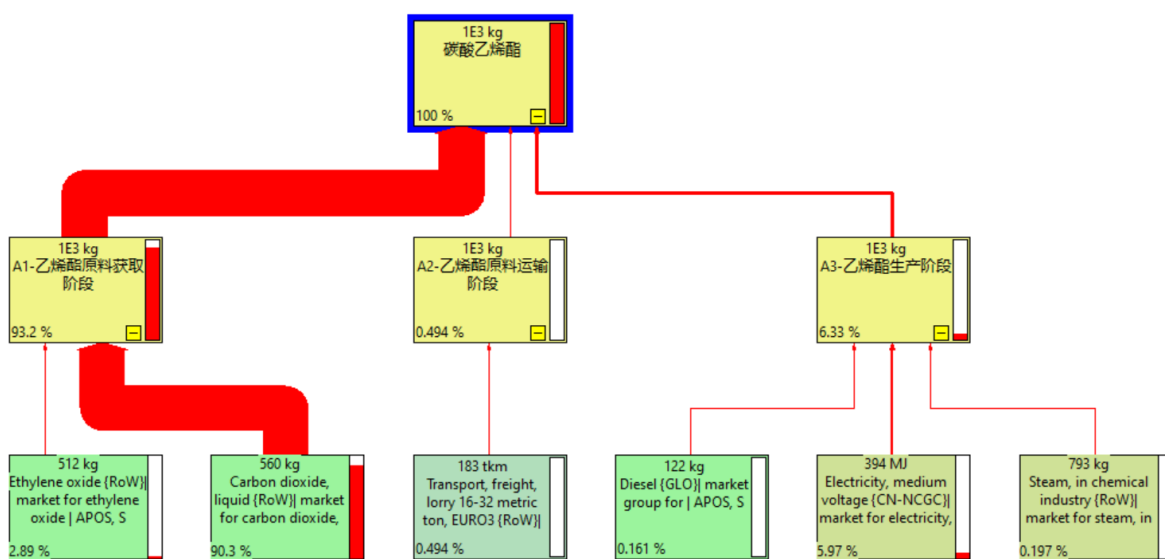


图 18. 1 吨碳酸乙烯酯 Human toxicity, non-cancer (人体毒性-非致癌) 分布图 (百分比)

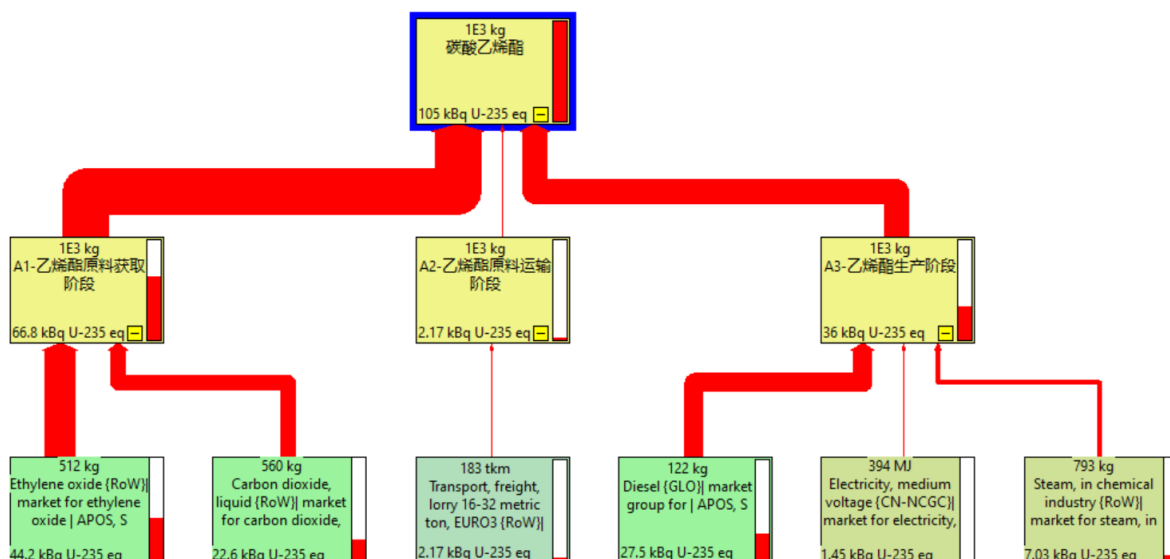


图 19. 1 吨碳酸乙烯酯 Ionising radiation (电离辐射) 分布图 (数值)

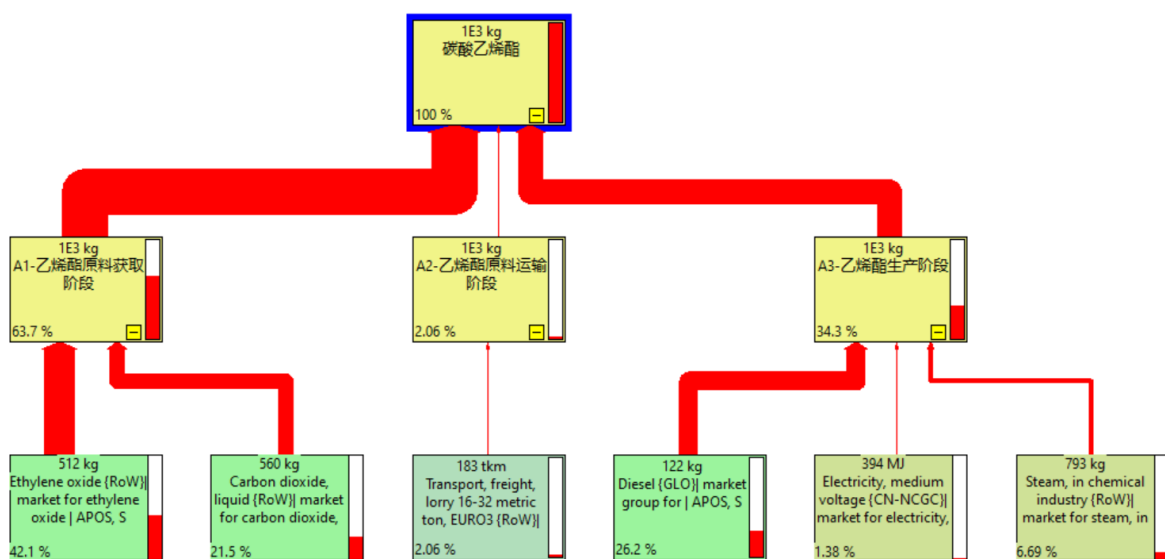


图 20. 1 吨碳酸乙烯酯 Ionising radiation (电离辐射) 分布图 (百分比)

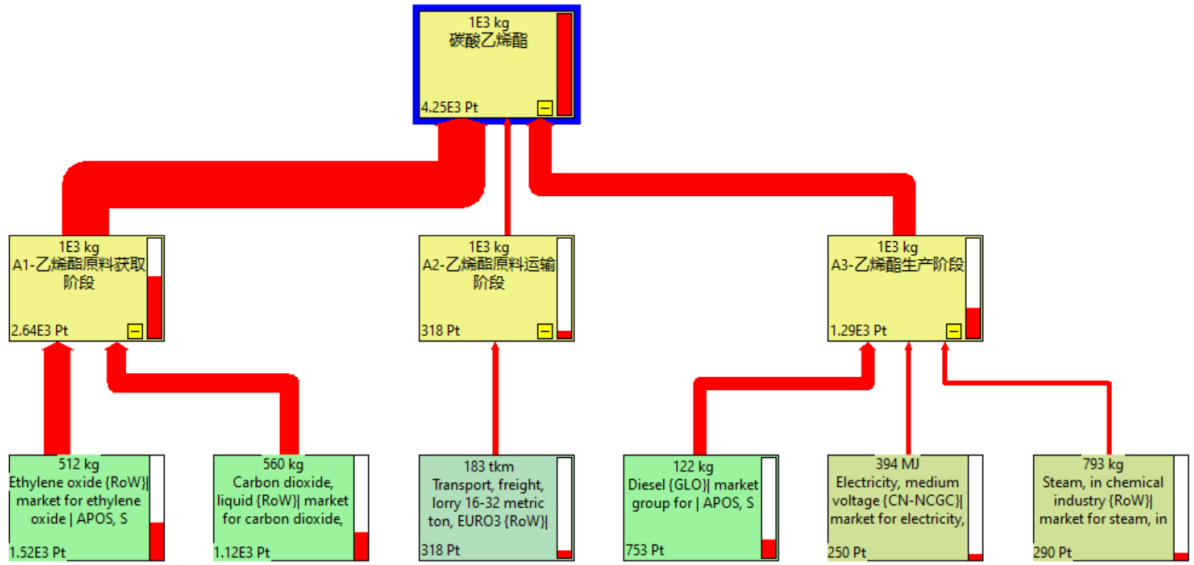


图 21. 1 吨碳酸乙烯酯 Land use (土地利用) 分布图 (百分比)

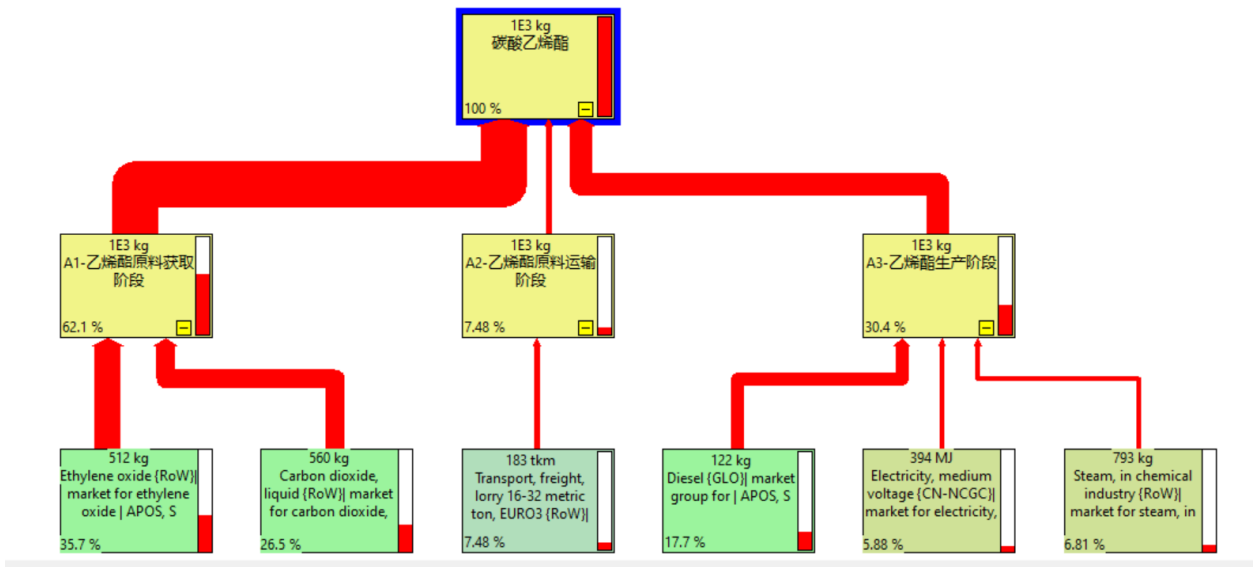


图 22. 1 吨碳酸乙烯酯 Land use (土地利用) 分布图 (百分比)

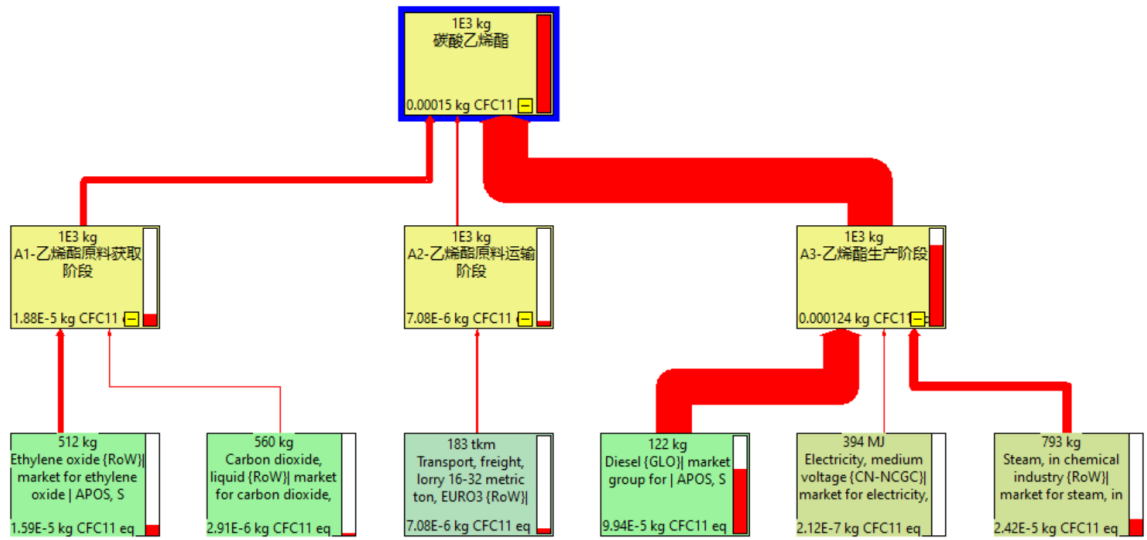


图 23. 1 吨碳酸乙烯酯 Ozone depletion (臭氧层消耗) 分布图 (数值)

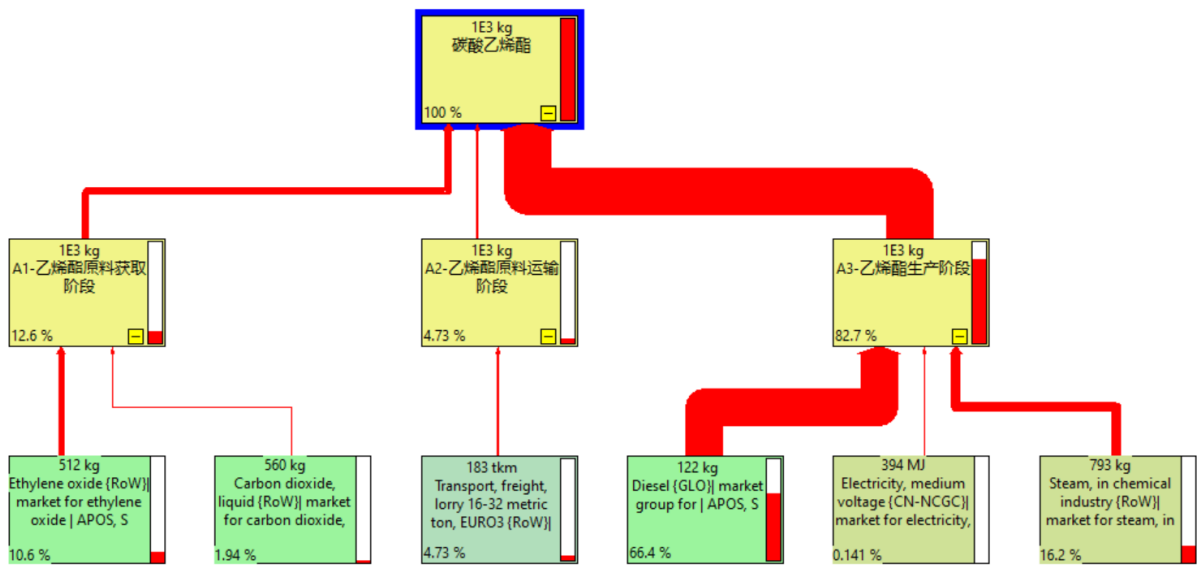


图 24. 1 吨碳酸乙烯酯 Ozone depletion (臭氧层消耗) 分布图 (百分比)

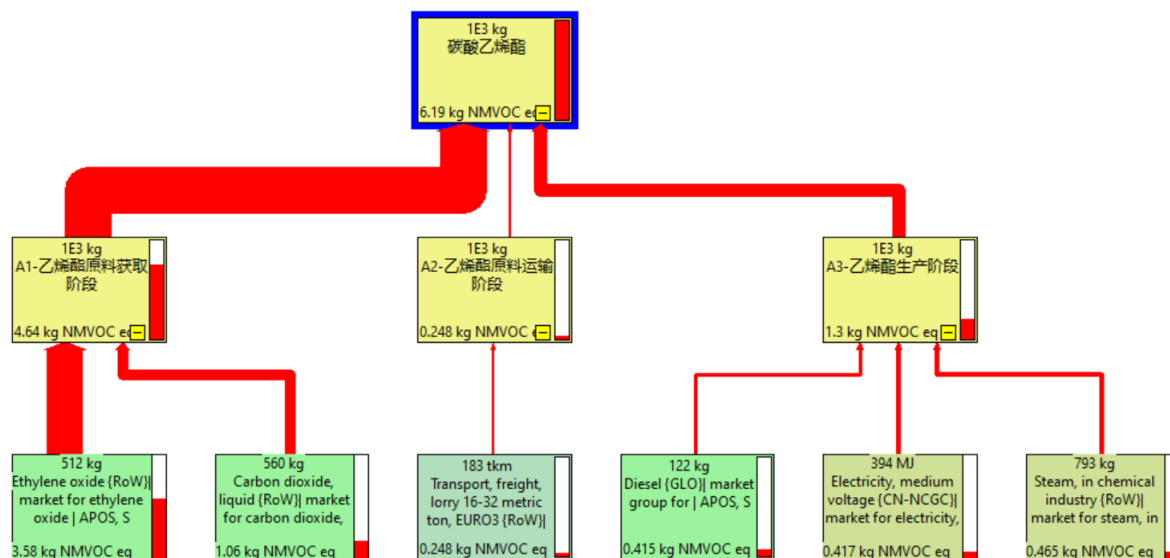


图 25. 1 吨碳酸乙烯酯 Ozone depletion (臭氧层消耗) 分布图 (数值)

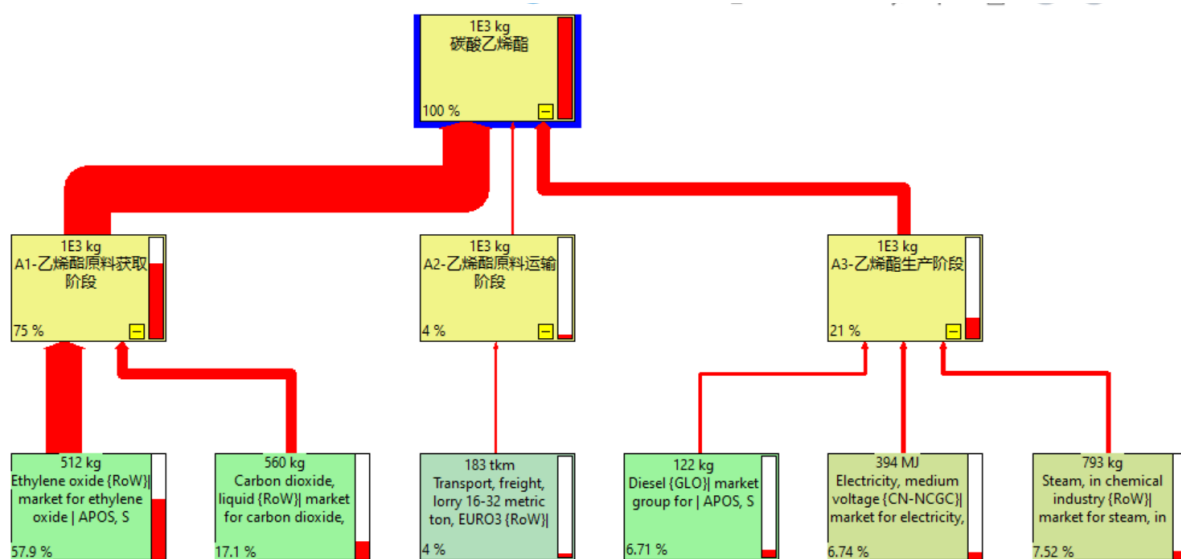


图 26. 1 吨碳酸乙烯酯 Photochemical ozone formation (光化学臭氧产生) 分布图 (百分比)

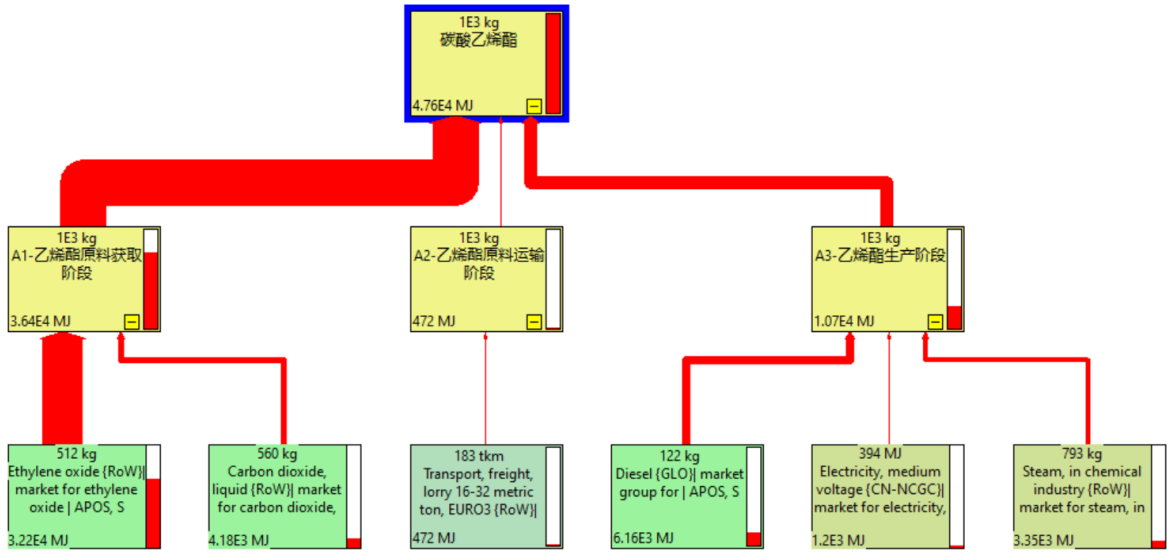


图 27. 1 吨碳酸乙烯酯 Photochemical ozone formation (光化学臭氧产生) 分布图 (数值)

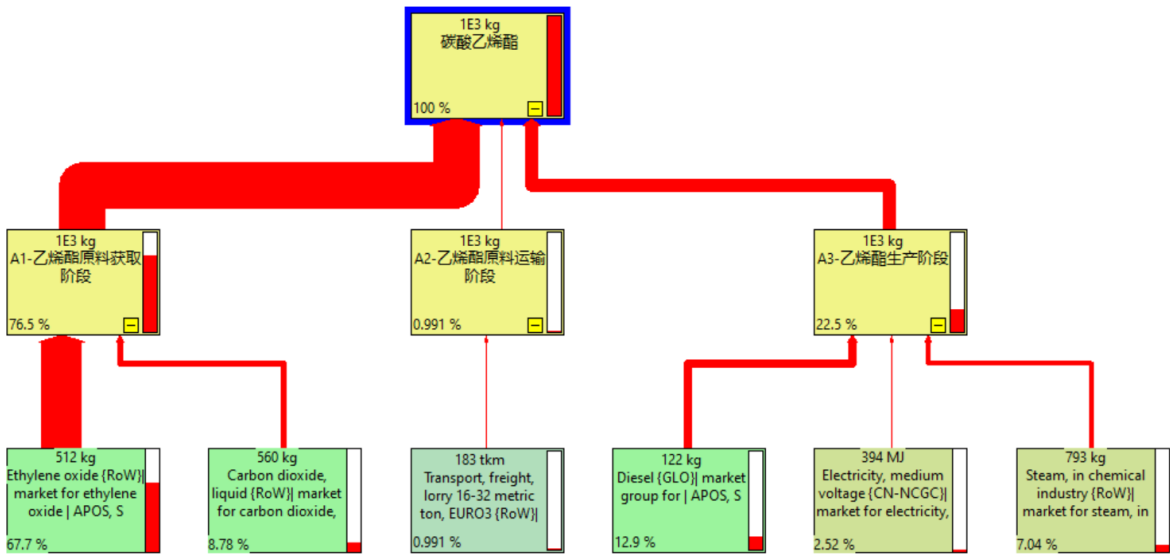


图 28. 1 吨碳酸乙烯酯 Resource use, fossils (化石资源使用) 分布图 (百分比)

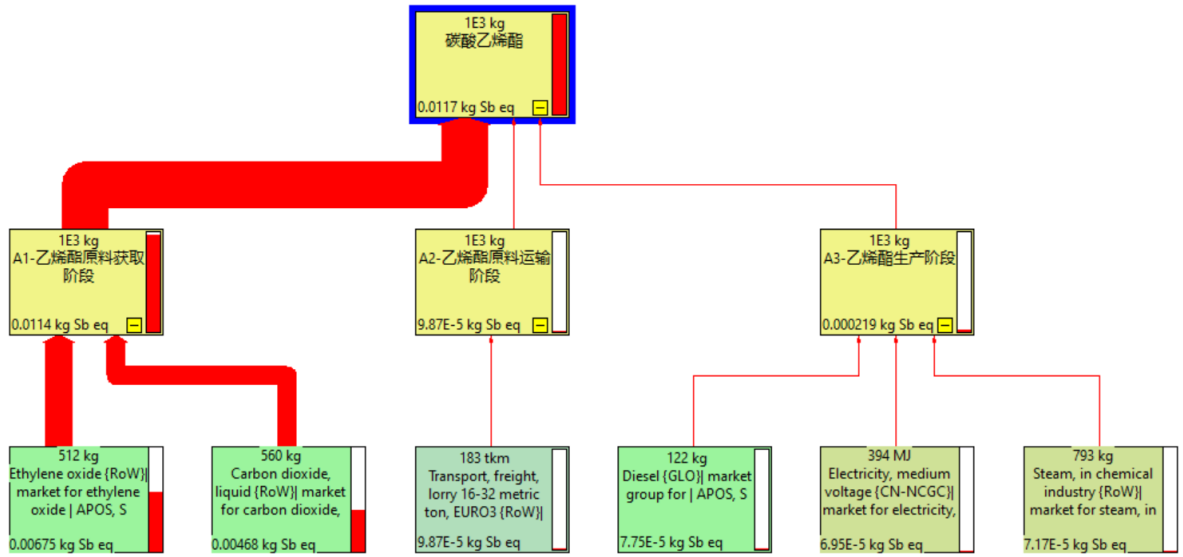


图 29. 1 吨碳酸乙烯酯 Resource use, minerals and metals (矿产和金属资源使用) 分布图 (数值)

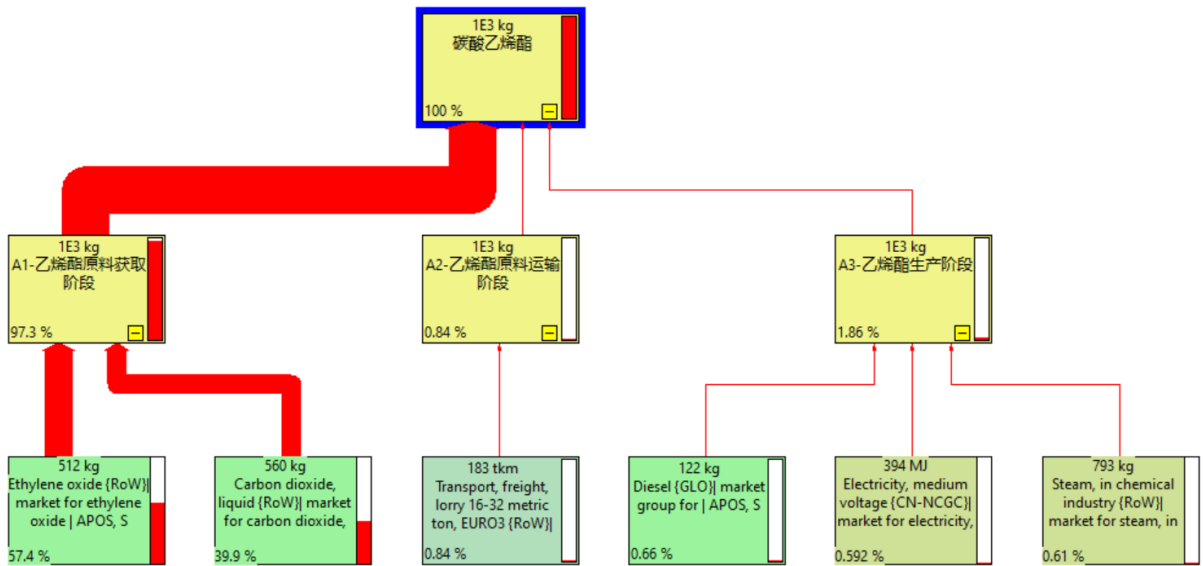


图 30. 1 吨碳酸乙烯酯 Resource use, minerals and metals (矿产和金属资源使用) 分布图 (百分比)

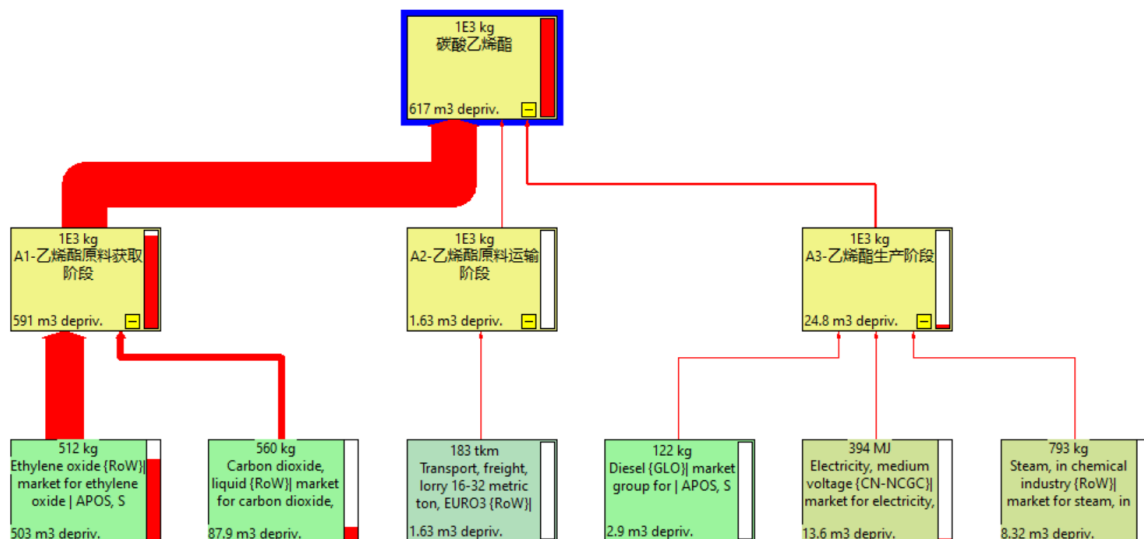


图 31. 1 吨碳酸乙烯酯 Water use (水资源利用) 分布图 (数值)

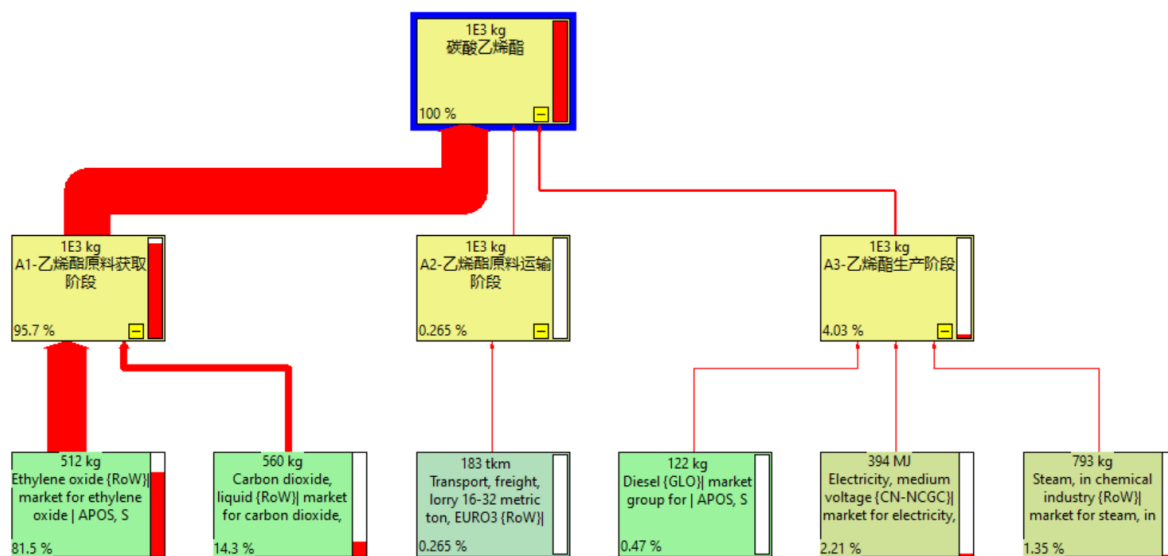


图 32. 1 吨碳酸乙烯酯 Water use (水资源利用) 分布图 (百分比)

6. 结果解释

根据ISO14040:2006、ISO14044:2006、ISO14067:2018对生命周期结果解释的要求，该阶段主要包括的内容有：对重大问题的识别，进行完整性、敏感性、不确定性和一致性检查，最后提出结论、局限性和建议。

6.1 重大问题的识别

影响评价章节对 1 吨碳酸乙烯酯生命周期影响做了贡献分析，章节 5.2 和 5.3 从生命周期阶段分析了产品的碳排放，对主要问题分析如下：

按照生命周期阶段贡献结果来看，LCA 的环境影响主要来自原料获取阶段。

6.2 完整性、敏感性、不确定性和一致性检查

6.2.1 完整性检查

实施了全生命周期的完整性检查，包括：

产品生命周期过程的完整性(摇篮到大门)；

——本研究界定的系统边界为摇篮到大门。系统边界包括原材料阶段、产品制造阶段。研究的原始数据包括材料消耗和运输，二手数据被设定为“从摇篮到大门”。生命周期模型和分析方法符合目标和范围定义中的系统边界。

是否包括产品的原材料和能量投入；

所收集的现场特定数据包括生产该产品所需的原材料、能源数据、资源数据和材料的运输数据。原始数据的收集已经完成。

根据完整性检查结果，本研究的生命周期环境影响分析与确定的研究目标一致，原始和辅料数据的收集完整。

6.2.2 敏感性分析

敏感性检查目的是通过确定最终结果和结论受数据、分配方法、类型参数结果计算的不确定度，来判断其可靠性。敏感性检查的输出决定是否需要更广泛和更精确的敏感性分析。

本研究根据实际研究情况开展的敏感性分析是充分且合理的。

6.2.3 一致性检查

根据 ISO 14040:2006、ISO 14044:2006、ISO14067:2018 标准的要求，应从以下几个方面来做一致性检查：

a) 同一产品系统生命周期中以及不同产品系统间数据质量的差别是否与研究的目的和范围一致？

➤ 一致，详见数据质量核算。

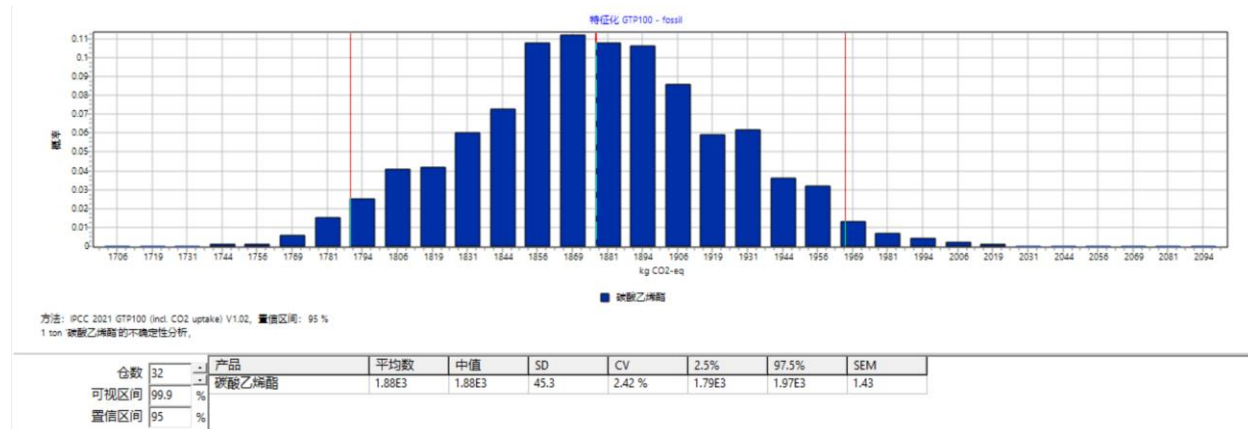
b) 是否一致的应用了地域和（或）时间的差别（如果存在）？

- 根据背景数据集的选用可见，数据集在地域代表性和时间代表性上基本是一致的。但确实存在没有本地数据而不得不采用其他地域数据的情况。
- c) 所有的产品系统是否都应用了一致的分配规则和系统边界？
 - 本研究只研究一个产品系统；
 - 本研究中的产品，在公司有很多不同规格型号，对物料的消耗及废物排放都是采用以产品质量为基准进行分配的，分配时保持了一致，执行的系统边界也一样。
- d) 所应用的生命周期评价核算要素是否一致？
 - 本研究中生命周期评价的核算方法的选用主要考虑方法的科学性、特征化系数的可获得性以及方法的适用性，都是一致的。

6.2.4 不确定度分析

报告采用 Simapro 内置的质量评估方法，即 EF 3.0 Method (adapted) V1.01 / EF 3.0 归一化及权重组发，置信区间为 95 %，基于公司在数据收集时识别的数据质量指标，在系统上完成对模型清单数据的不确定度分析。本研究采用蒙特拉罗法，计算 1000 次得到数据质量评估结果如下。

1 吨碳酸乙烯酯的不确定度：



另外，除了以上开展的数据不确定度之外，一般需要考虑模型的不确定度和模型的不完整性。本研究在这两个方面不存在大的缺陷。

6.3 结论

本研究获得了 1 吨碳酸乙烯酯的生命周期影响值，研究获得的生命周期影响值代表山东利兴新材料科技股份有限公司 2023 年全年的实际生产水平，结果可用于产品的生命周期影响认证，产品绿色设计。

本研究按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006、ISO14067:2018 的要求来执行，检查了研究的完整性、敏感性、一致性，确保提供的数据对企业、第三方机构、其他环境管理机构以及公众而言具较为可靠地评价结论。

6.4 局限性和建议

(1) 生命周期评价中所做的选择和假定，在本质上可能是主观的；

(2) 用于清单分析或评价环境影响的模型是有局限性的，因为他们的假定条件可能对所有潜在影响或运用是不可行的；

(3) 生命周期评价研究的结果是针对全球或区域的，可能不适用于地方，即地方条件可能并不完全代表全球或区域的状况；

(4) 数据完整性和精度有限。生命周期评价需要大量的数据，这就不可避免地产生数据资料不可得的问题。常规实践是依据典型生产工艺、全国平均水平、工艺的工程估计或专业判断来获取数据，其结果可能造成数据不准确、误差或偏差以致得出错误的结论。

(5) 影响评价的清单数据缺少空间和时间方面的确定性，这种确定性会随着各类环境影响的时间和空间范围的变化而变化。