

烟台东海铝箔有限公司
包装箔生命周期评估（LCA）报告

2025-4-30

目 录

1.	术语	3
2.	摘要	3
3.	评估介绍	5
3.1.	报告目的	5
3.2.	评估范围	5
3.3.	报告结构	5
4.	目标与范围	5
4.1.	目标	5
4.2.	范围	6
5.	生命周期清单分析 (LCI)	9
5.1.	数据收集	9
5.2.	数据处理与计算	10
5.3.	清单结果	10
6.	生命周期影响评估 (LCIA)	11
6.1.	影响评估方法	11
6.2.	影响评估结果	14
7.	生命周期解释 (LCI)	21
7.1.	结果总结	21
7.2.	敏感性分析	22
7.3.	不确定性分析	23
7.4.	完整性检查	24
7.5.	一致性检查	24
7.6.	局限性	25
8.	结论	25

1. 术语

生命周期评估 (Life Cycle Assessment, LCA): 对产品、服务或系统在其整个生命周期中，从原材料获取到最终处置所产生的环境影响进行量化评估的方法。

功能单位 (Functional Unit): 用于量化产品系统所提供功能的参照单位，LCA 结果都将基于此单位进行报告。

基准流 (Reference Flow): 满足功能单位所需的特定产品系统产出量。

系统边界 (System Boundary): LCA 中界定产品系统范围的界限，包括哪些过程将被纳入评估，哪些将被排除。

清单分析 (Life Cycle Inventory, LCI): 量化产品系统在其生命周期中所有输入（如能源、原材料）和输出（如产品、排放物、废物）的阶段。

影响评估 (Life Cycle Impact Assessment, LCIA): 将清单分析的结果转换为可理解的环境影响类别（如全球变暖潜能、酸化潜能等）的阶段。

分配 (Allocation): 当一个过程同时产生多种产品或服务时，将共同的环境负荷分摊到各个产品或服务上的方法。

取舍原则 (Cut-off Criteria): 用于确定哪些数据和过程可以被排除在系统边界之外的标准，通常基于其对结果的贡献度或数据可获得性。

2. 摘要

本报告旨在对烟台东海铝箔有限公司所生产的 1 吨包装箔产品的“从摇篮到大门”生命周期进行生命周期评估(LCA)，以量化其所产生的环境影响。本次评估的目标是识别环境热点并量化评估环境表现，从而支持产品从设计到生产的持续

优化。

本研究采用使用 ISO 14040 和 ISO 14044 标准所约定的框架，功能单位定义为：

1 吨包装箔产品

系统边界涵盖了原材料获取、能源获取即产品制造阶段。主要结果表明，非可再生能源（电力）的使用系产品主要的环境影响，这与行业的普遍共识及系统研究结果相一致。

	损害类别	单位	总量
Acidification	酸化	mol H ⁺ -Eq	109.6818318
Climate change	气候变化	kg CO ₂ -Eq	20014.81504
Climate change: biogenic	气候变化：生物源	kg CO ₂ -Eq	4.480931924
Climate change: fossil	气候变化：化石	kg CO ₂ -Eq	20004.44029
Climate change: land use and land use change	气候变化：土地使用和土地使用变化	kg CO ₂ -Eq	5.893818265
Ecotoxicity: freshwater	淡水生态毒性	CTUe	59105.29136
Ecotoxicity: freshwater, inorganics	淡水生态毒性：无机物	CTUe	58420.1147
Ecotoxicity: freshwater, organics	淡水生态毒性：有机物	CTUe	685.1766598
Energy resources: non-renewable	能源资源：不可再生	MJ, net calorific value	234721.7184
Eutrophication: freshwater	淡水富营养化	kg P-Eq	3.643484714
Eutrophication: marine	海洋富营养化	kg N-Eq	21.9027634
Eutrophication: terrestrial	陆地富营养化	mol N-Eq	234.5396267
Human toxicity: carcinogenic	人类毒性：致癌	CTUh	7.74E-06
Human toxicity: carcinogenic, inorganics	人类毒性：致癌，无机物	CTUh	1.57E-06
Human toxicity: carcinogenic, organics	人类毒性：致癌，有机物	CTUh	6.17E-06
Human toxicity: non-carcinogenic	人类毒性：非致癌	CTUh	1.42E-04
Human toxicity: non-carcinogenic, inorganics	人类毒性：非致癌，无机物	CTUh	1.36E-04
Human toxicity: non-carcinogenic, organics	人类毒性：非致癌，有机物	CTUh	5.75E-06
Ionising radiation: human health	电离辐射：人类健康	kBq U235-Eq	315.9028037
Land use	土地使用	dimensionless	43088.04492
Material resources: metals/minerals	材料资源：金属/矿物	kg Sb-Eq	0.079917943
Ozone depletion	臭氧层损耗	kg CFC-11-Eq	2.36E-04
Particulate matter formation	颗粒物形成	disease incidence	0.001367632
Photochemical oxidant formation: human health	光化学氧化剂形成：人类健康	kg NMVOC-Eq	69.78943056
Water use	水资源使用	m ³ world Eq deprived	2599.554879

由于任何 LCA 的结果都受到许多因素影响，包括假设和限制。因此，本研究的最终数据和结论应仅在本报告所介绍的背景和限制范围内使用。

3. 评估介绍

3.1. 报告目的

本 LCA 报告的目的是量化并评估包装箔在其生命周期中对环境产生的影响。具体目标包括：

- a. 识别包装箔生命周期中的主要环境热点，即对环境影响贡献最大的阶段或过程。
- b. 为产品设计者提供基于科学数据的信息，以支持产品改进。
- c. 提交 ASI (Aluminium Stewardship Initiative, 铝业管理倡议) 认证材料中所需产品生命周期报告，以符合标准要求。

3.2. 评估范围

本报告旨在为公司内部决策者、行业利益相关方及消费者提供关于包装箔环境表现的全面概述。报告中呈现的结果和结论将基于所设定的目标、范围、假设和收集的数据。此评估结果并不意在用于与其他公开披露的研究进行比较。

3.3. 报告结构

本报告遵循 ISO 14040 系列标准框架，主要包括以下章节：术语、摘要、评估介绍、目标与范围、生命周期清单分析 (LCI)、生命周期影响评估 (LCIA)、生命周期解释、结论与建议、参考文献和附录。

4. 目标与范围

4.1. 目标

本 LCA 研究的主要目标是：

- a. 量化包装箔从摇篮到大门的各项环境影响，包括全球变暖潜能、酸化潜能、富营养化潜能等。

- b. 识别包装箔生命周期中环境影响的主要驱动因素和热点。
- c. 为包装箔的生产过程改进提供环境绩效基准。
- d. 提交 ASI (Aluminium Stewardship Initiative, 铝业管理倡议) 认证材料中所需产品生命周期报告, 以符合标准要求。

4.2. 范围

4.2.1. 产品系统描述

本研究评估的产品系统是包装箔。主要材料为电解铝液、重熔锭、自产废料、内转废料等；主要辅料为轧制油、轻质白油等，产品包装为托盘等。经箔轧、退火及分切生产加工而成。



4.2.2. 功能单位和基准流

为了进行科学的 LCA 比较, 必须定义一个明确的功能单位。本研究的功能单位定义为:

1 吨包装箔

基准流 (RF) 是声明单位对应的物质质量, 以吨为单位, 即 1 吨。

4.2.3. 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、生产阶段和产品包装阶段。不包括保洁、行政、营销、研发、实验设施、与雇员相关的活动（供热、照明、交通、食堂、卫生间设施）。同样不包括产品使用阶段（包括维修保养等）和废弃阶段（包括回收再利用和废弃处置等）。

系统边界说明：

A1：产品原料生产过程以及上游过程，辅料和包材生产过程以及上游过程；

A2：原料、辅料和包材到工厂的运输过程；

A3：生产过程，包括产废的处理及运输。

主要生产工艺如下图：



4.2.4. 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。

本项目无副产物，不涉及分配。

对于可回收材料的生命周期，本研究遵循「避免负担法」。其作为一种开环分配方法的变体，在国际上被认为是一种比较合理的处理方式，因为它能够避免双重计算，并能更好地体现再生材料的减排效益。

4.2.5. 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 Environmental Footprint, PEF) 指南中对取舍准则的要求，为了使研究在可行性范围内，并聚焦于主要的环境影响，本研究设定了以下取舍原则：

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 3%。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。对于碳足迹，如果单个输入/输出占总碳足迹 $< 1\%$ ，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。

4.2.6. 数据类型和质量要求

本研究使用的数据主要包括：

特定数据 (Primary Data)： 直接从包装箔的生产商、供应商或其他相关方收集的实际数据。

a. **来源：** 生产记录、设备手册、供应商提供的数据等。

b. **时间范围：** 2024.1.1-2024.12.31

背景数据 (Secondary Data)： 从 LCA 数据库、文献、行业报告等公开或第三方来源获取的数据。

a. **数据库：** 本研究主要使用了 Ecoinvent v3.11 数据库中的数据。

b. **时间范围：** 数据库数据的典型更新时间为 2024 年 11 月 20 日。

c. **地理范围：** 全球。

数据质量要求：

- a. **准确性：** 数据应尽可能准确，反映真实情况。
- b. **完整性：** 尽可能包含所有相关的输入和输出。
- c. **代表性：** 数据应在时间、地理和技术上具有代表性。
- d. **一致性：** 数据应与其他数据来源和研究保持一致性。

4.2.7. 限制和假设

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：

- a. 对于来自原材料和其他物料供应商的数据不可利用的情况，则使用其他国家/省/市；
- b. 针对产品系统中任何数据差异，使用 Ecoinvent 数据库 v3.11；
- c. 评估仅对所述产品系统，其他方面，如公司的管理或基础设施未评估，
- d. 由于模型存在高相关不确定度，因此长期表征因子不会存在于模型所设计的水平；
- e. 生物源 CO₂ 没有考虑，因为 LCA 研究采用从摇篮到大门的方法。
- f. 回收与生产过程中消费的蒸汽和电力由当地供应，此为 LCA 研究使用的主要数据。

5. 生命周期清单分析 (LCI)

5.1. 数据收集

本阶段详细列出了 LCA 软件中输入的各项数据。数据收集过程包括：

内部数据收集： 通过访谈生产经理、查阅生产记录、能

源账单、物料清单 (BOM) 等方式, 收集了原材料消耗、能源消耗、水消耗、废弃物产生量、产品产量等的详细数据。

外部数据收集: 对于无法直接获取的数据, 参考了行业报告、科学文献、政府统计数据等进行补充。

LCA 数据库应用: 对于背景数据 (如电力生产、基础材料生产等), 主要利用 Ecoinvent v3.11 进行建模。

5.2. 数据处理与计算

收集到的原始数据在 LCA 软件中进行了以下处理和计算:

数据整理与标准化: 对收集到的数据进行单位统一和标准化处理。

流量计算: 根据产品产量和原材料消耗数据, 计算出满足功能单位所需的各项输入和输出流量。

分配处理: 按照 4.2.5 节所述的分配原则, 对涉及共生产的流程进行了环境负荷分配。

LCA 软件建模: 所有数据和流程均在 openLCA 中进行建模和计算。

5.3. 清单结果

以下表格和图表展示了根据功能单位 1 吨包装箔计算得出的主要生命周期清单结果。

清单	活动水平	单位
原材料获取-电解铝液	831.8	kg
原材料获取-重熔锭	145.4	kg
原材料获取-外购铸锭	37.9	kg
原材料获取-自产废料	111.2	kg
原材料获取-内转废料	187.9	kg
原材料获取-轻质白油	0.0022	kg
原材料获取-轧制油	0.0223	kg
原材料运输-轻质白油-陆运 16-32 公吨	1.0322	tkm
原材料运输-轧制油-陆运 16-32 公吨	9.6356	tkm
能源-电力	2020.4282	kwh

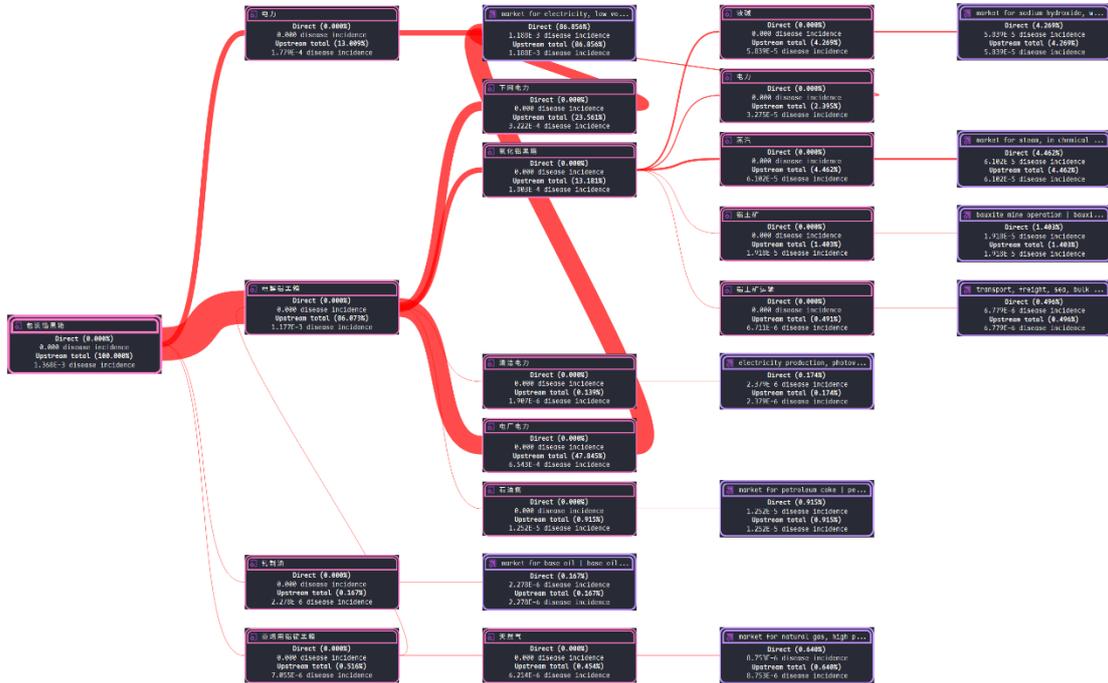
物对人类健康和环境（如能见度降低）造成影响。

- **全球变暖潜能 (Global Warming Potential, GWP):** 以二氧化碳当量 (kg CO₂ eq.) 表示, 衡量物质对气候变化的贡献。
- **淡水富营养化潜能 (Freshwater Eutrophication Potential, FEP):** 以磷当量 (kg P eq.) 或氮当量 (kg N eq.) 表示, 衡量过量营养物质 (主要是磷和氮) 排放到淡水水体中, 导致藻类过度繁殖和水体缺氧的潜力, 从而对淡水生态系统造成危害。
- **光化学氧化剂形成潜能: 人类健康 (Photochemical Oxidant Formation Potential: Human Health, POF-HH):** 以非甲烷挥发性有机化合物当量 (kg NMVOC eq.) 或乙烯当量 (kg ethylene eq.) 表示, 衡量大气中前体物质 (如氮氧化物和挥发性有机化合物) 在光照作用下形成光化学氧化剂 (如臭氧) 的潜力, 这些氧化剂对人类呼吸系统健康产生影响。
- **酸化潜能 (Acidification Potential, AP):** 以二氧化硫当量 (kg SO₂ eq.) 表示, 衡量物质引起酸雨的潜力。
- **金属 / 矿物 (Material Resource Depletion Potential: Metal/Mineral):** 以锑当量 (kg Sb eq.) 或其他特定金属/矿物当量表示, 衡量对地球上有限的金属和矿物资源储量的消耗。
- **陆地富营养化潜能 (Terrestrial Eutrophication Potential, TEP):** 以氮当量 (kg N eq.) 或磷当量 (kg P eq.) 表示, 衡量过量营养物质 (主要是氮和磷) 排放到陆地生态系统中, 导致土壤酸化、植物群落变化

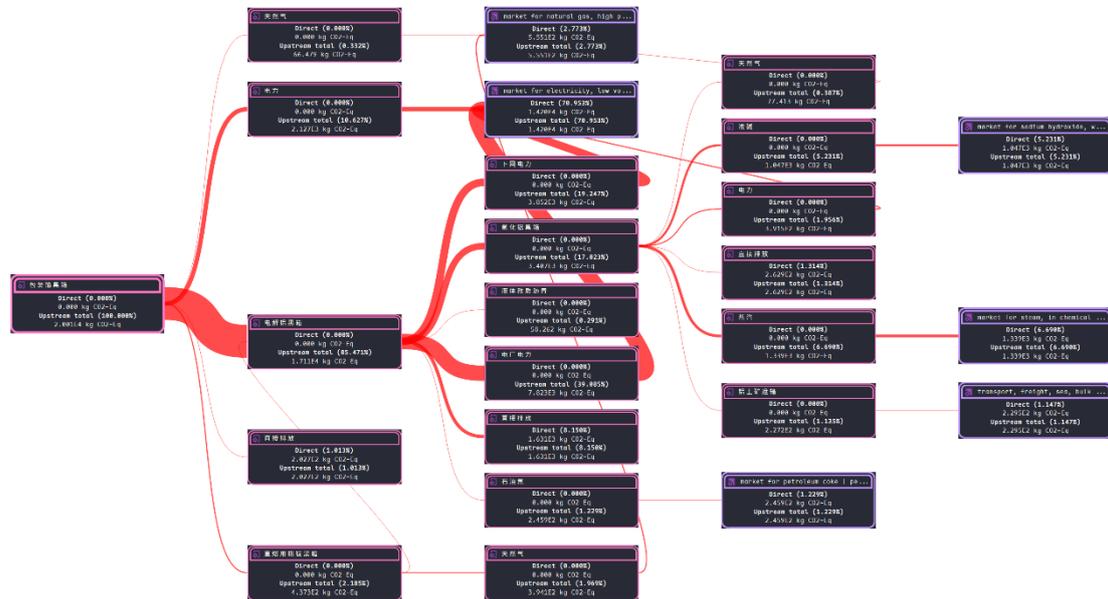
和生物多样性减少的潜力。

- **人类毒性潜能：致癌 (Human Toxicity Potential: Carcinogenic, HTP-C):** 通常以 1,4-二氯苯当量 (kg 1,4-dichlorobenzene eq.) 表示，衡量化学物质排放后通过各种暴露途径对人类健康可能造成的致癌性影响。
- **淡水生态毒性潜能 (Freshwater Ecotoxicity Potential, FETP):** 通常以 1,4-二氯苯当量 (kg 1,4-dichlorobenzene eq.) 表示，衡量化学物质排放到淡水环境中对淡水生态系统（如水生生物）可能造成的毒性影响。
- **海洋富营养化潜能 (Marine Eutrophication Potential, MEP):** 以氮当量 (kg N eq.) 或磷当量 (kg P eq.) 表示，衡量过量营养物质（主要是氮和磷）排放到海洋水体中，导致藻类过度繁殖和水体缺氧的潜力，从而对海洋生态系统造成危害。
- **人类毒性潜能：非致癌 (Human Toxicity Potential: Non-carcinogenic, HTP-NC):** 通常以 1,4-二氯苯当量 (kg 1,4-dichlorobenzene eq.) 表示，衡量化学物质排放后通过各种暴露途径对人类健康可能造成的非致癌性毒性影响。
- **水资源使用潜能 (Water Scarcity Potential, WSP):** 以立方米水当量 (m^3 water eq.) 或水消耗量 (m^3) 表示，衡量人类活动对地表水和地下水等可用淡水资源的消耗及其导致的水资源稀缺性影响。
- **电离辐射潜能：人类健康 (Ionizing Radiation Potential: Human Health, IRP-HH):** 以钴-60 当量

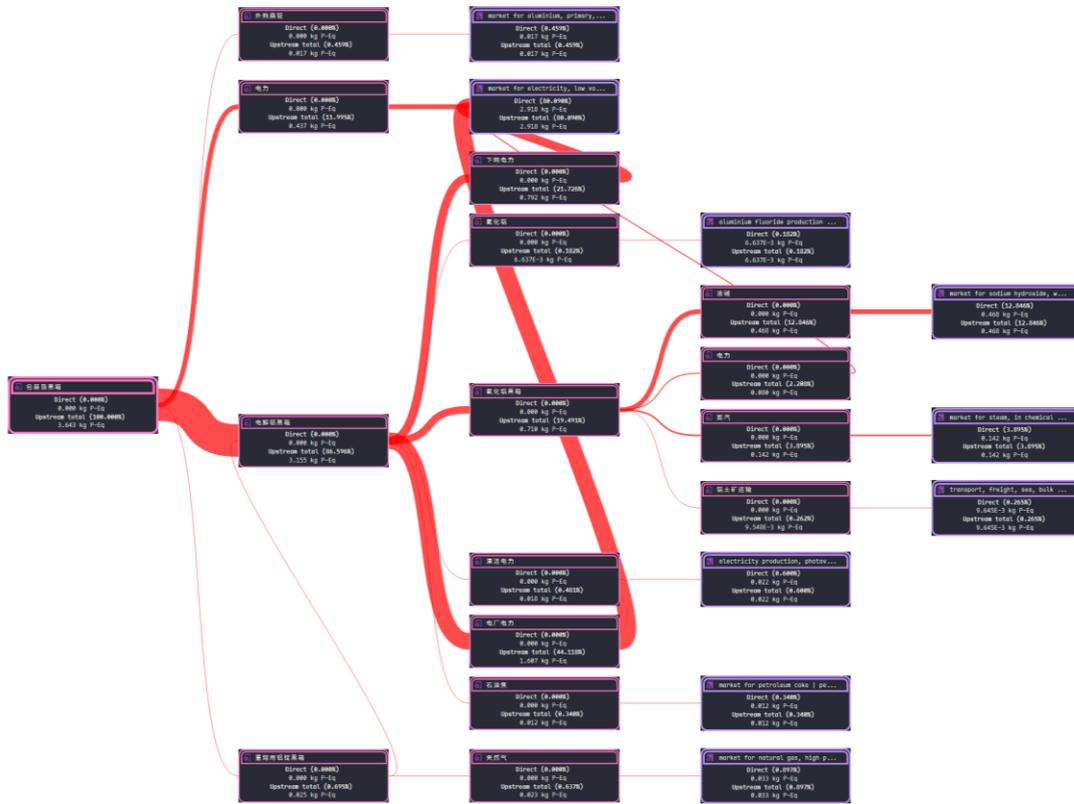
6.2.1.2. 颗粒物形成



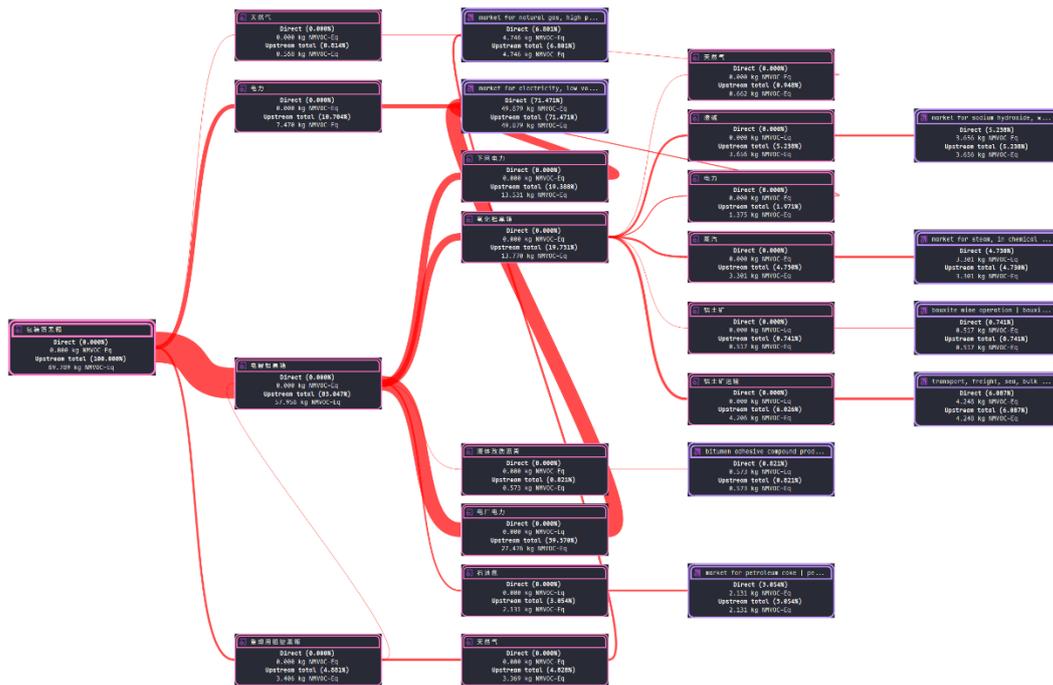
6.2.1.3. 全球变暖



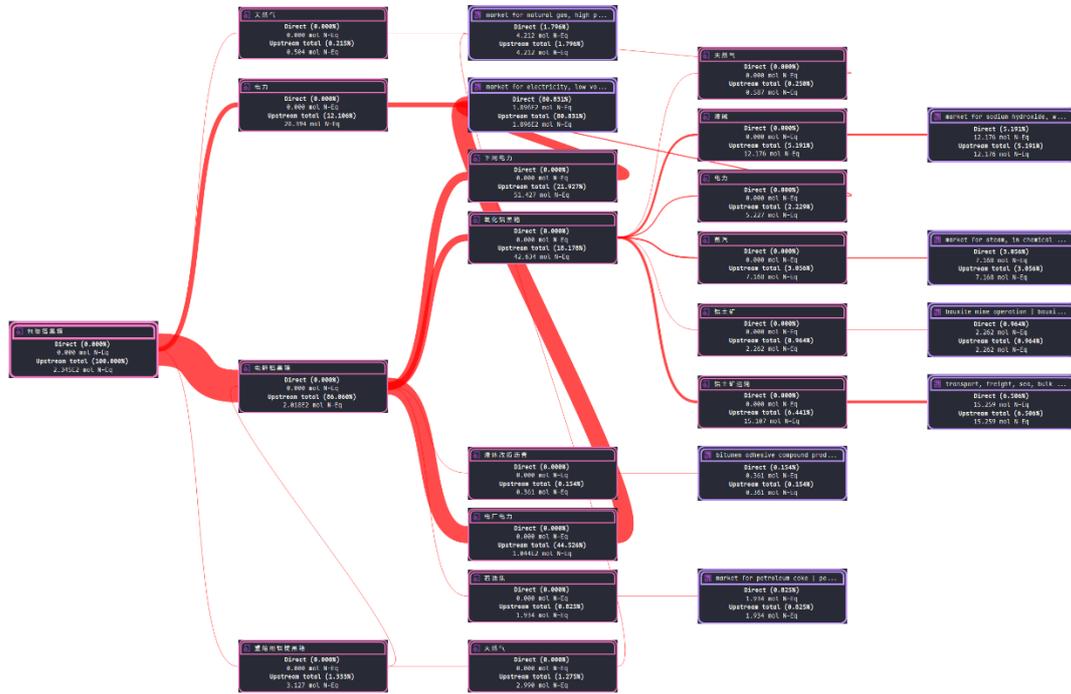
6.2.1.4. 淡水富营养化



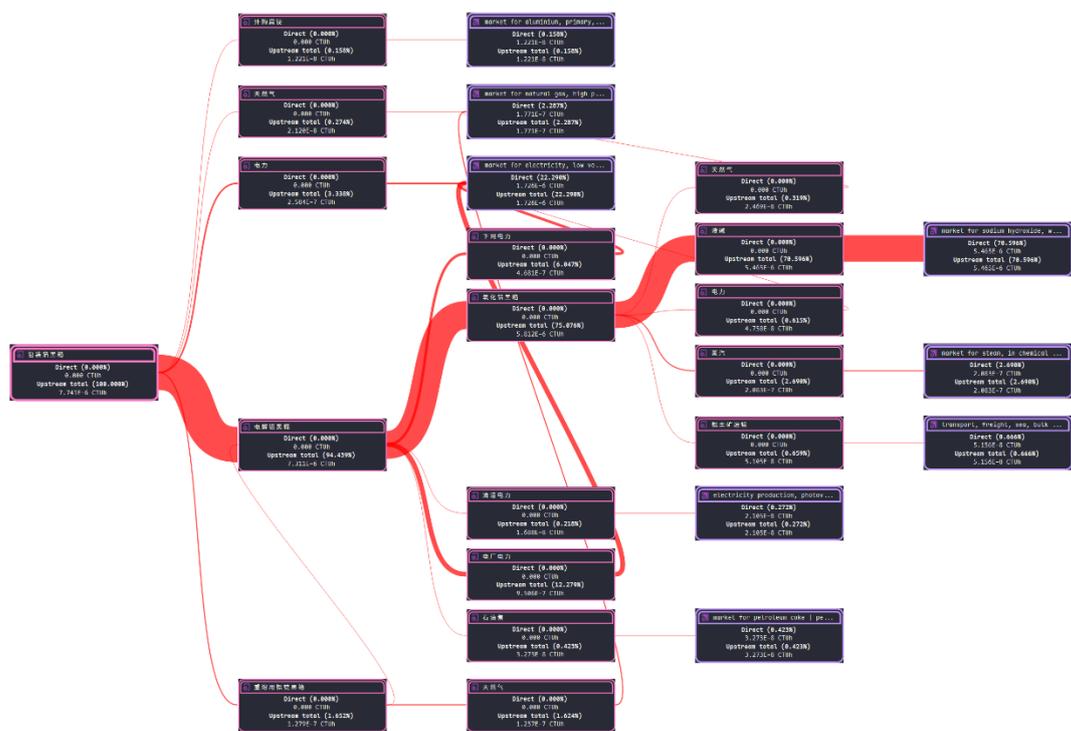
6.2.1.5. 光化学氧化剂形成：人类毒性



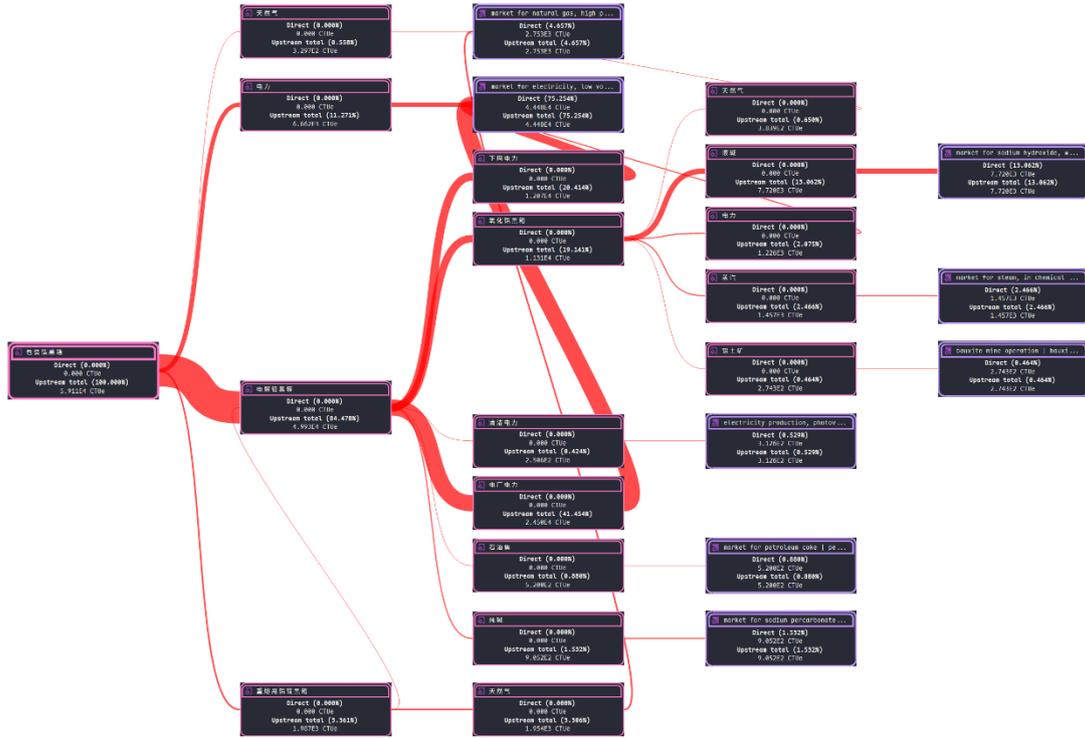
6.2.1.8. 陆地富营养化



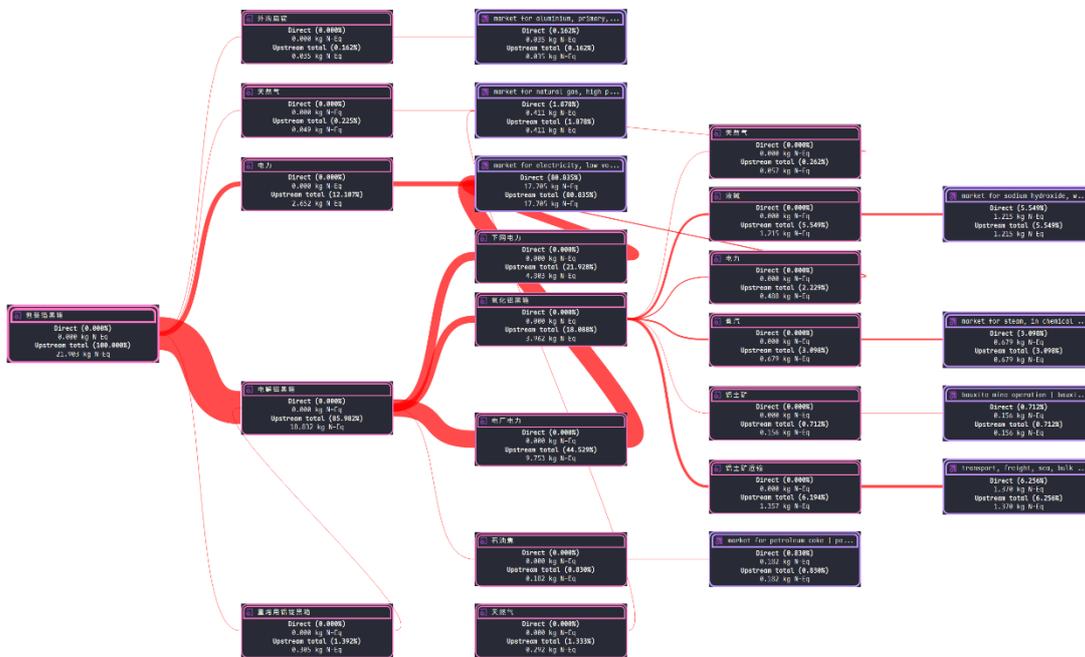
6.2.1.9. 人类毒性：致癌



6.2.1.10. 淡水生态毒性



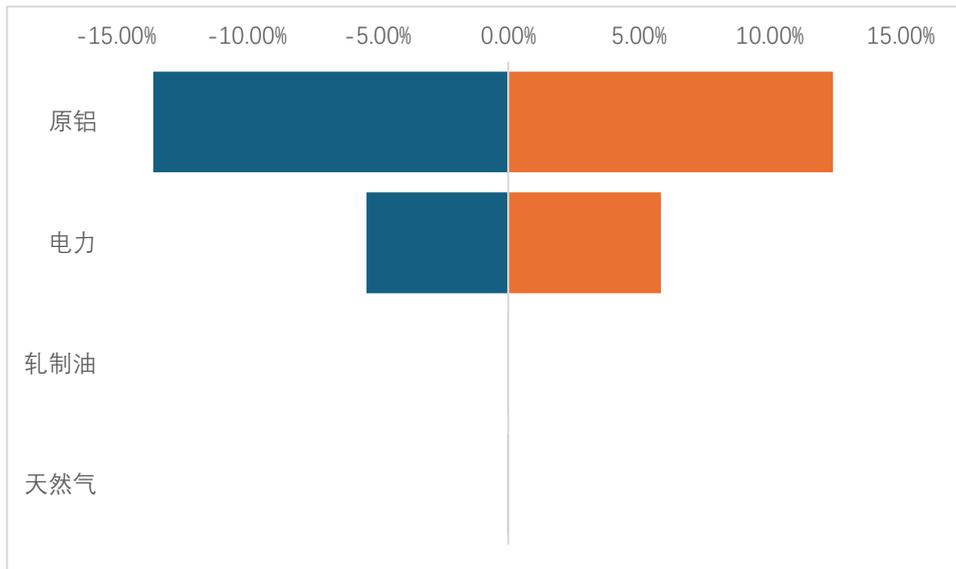
6.2.1.11. 海洋富营养化



7.2. 敏感性分析

根据 ISO 14044:2006，敏感性分析的定义是对评估方法和数据选择对 CFP 研究结果影响的系统程序。为了评估输入数据和假设对最终 LCA 结果的影响，本研究对以下参数使用进行了单参数敏感性分析。并观察其对全球变暖潜能的影响。

- 原铝用量：使用再生铝作为替代来源
- 生产制造阶段用电：使用清洁电力替代化石电力
- 轧制油消耗量：轧制油单位消耗
- 天然气消耗量：轧制油单位消耗



可以看出，原铝的使用比例是 LCA 结果最敏感的参数。当其变化±10%时，正向贡献达到 12.42%，负向贡献达到 13.59%。这表明原铝使用是最大的环境热点之一，其数据准确性至关重要，也是未来减排的重点。

其次是电解铝生产阶段的电力消耗，其±10%的变化导致总变化约±5.6%，这凸显了电解铝生产优化生产能效或使用清洁能源的重要性。

生产过程中的天然气消耗对总变化的影响约 0.03%，而轧制油单耗的变化对总变化影响约 0.03%。

结论：本次敏感性分析表明，包装箔的全球变暖潜能结果对原铝使用及电解铝生产阶段的电力消耗数据较为敏感。尽管如此，在所分析的合理变化范围内，LCA 结果的整体趋势和主要热点的识别是稳健的，并未发生根本性的改变。未来应优先关注获取更准确的原材料和能源数据，并着重在这两个环节进行环境性能改进。

7.3. 不确定性分析

数据质量会带来环境影响的不确定性，为了评估数据质量对结果的不确定性，采用蒙特卡罗模拟方法确定了环境影响的范围，置信区间 95%，结果见下表

Impact category	Reference unit	Mean	Standard deviation	Median	5% Percentile	95% Percentile
Human toxicity: non-carcinogenic, organics	CTUh	1.04288E-05	3.11152E-07	9.47384E-06	9.92234E-06	1.0943E-05
Human toxicity: carcinogenic, organics	CTUh	7.9526E-06	2.77104E-07	7.05295E-06	7.52661E-06	8.42801E-06
Eutrophication: freshwater	kg P-Eq	3.530782497	0.03717413	3.409088662	3.469104747	3.590186042
Climate change: fossil	kg CO2-Eq	21040.04136	342.0217909	19997.58682	20480.44815	21589.40719
Eutrophication: marine	kg N-Eq	22.62716663	0.274524348	21.8078496	22.16903796	23.06522697
Land use	dimensionless	38440.98897	370.0273566	37383.98527	37856.16367	39039.22118
Human toxicity: carcinogenic	CTUh	9.5319E-06	2.89149E-07	8.59028E-06	9.09332E-06	1.00345E-05
Material resources: metals/minerals	kg Sb-Eq	0.071604282	0.001081489	0.06805026	0.069915172	0.073464881
Ozone depletion	kg CFC-11-Eq	0.000646602	2.34444E-05	0.000572788	0.000608105	0.000686374
Human toxicity: non-carcinogenic, inorganics	CTUh	0.000129124	1.3903E-06	0.000125053	0.000126874	0.000131377
Eutrophication: terrestrial	mol N-Eq	239.8198065	2.833340555	231.216121	235.1255433	244.3758313
Climate change: land use and land use change	kg CO2-Eq	6.851872895	0.12390205	6.475404825	6.655203868	7.057699259
Ecotoxicity: freshwater	CTUe	78758.18825	1700.005953	73468.2725	75997.87647	81594.07748
Ecotoxicity: freshwater, organics	CTUe	3901.733331	163.8986088	3402.210781	3633.72695	4172.886441
Ionising radiation: human health	kBq U235-Eq	347.6866837	5.848939913	329.5298211	338.4912924	357.5191299
Water use	m3 world Eq deprived	2589.309114	36.15074464	2477.410632	2531.313232	2648.747329
Climate change: biogenic	kg CO2-Eq	6.155846792	0.140911348	5.744411342	5.931617144	6.393143632
Acidification	mol H+-Eq	106.6765272	1.020970695	103.4561648	104.9931153	108.2858636
Human toxicity: non-carcinogenic	CTUh	0.000139553	1.67777E-06	0.000134527	0.000136868	0.000142255
Human toxicity: carcinogenic, inorganics	CTUh	1.5793E-06	1.84677E-08	1.52552E-06	1.54882E-06	1.60896E-06
Climate change	kg CO2-Eq	21053.04908	342.2377824	20009.8635	20493.18388	21602.70102
Particulate matter formation	disease incidence	0.001130531	6.51694E-06	0.001111746	0.001119817	0.001140872

Photochemical oxidant formation: human health	kg NMVOC-Eq	112.6866091	2.915905017	103.8542013	107.9040757	117.5293154
Ecotoxicity: freshwater, inorganics	CTUe	74856.45492	1540.103547	70066.06172	72360.86308	77402.26065
Energy resources: non-renewable	MJ, net calorific value	631130.151	23117.12476	560885.5684	593258.9846	669605.7135

7.4. 完整性检查

本研究对数据和模型进行了完整性检查，确保所有相关输入和输出都已纳入系统边界。

- 数据来源的完整性：前景数据通过与生产部门交叉核对数据予以确保，对于难以直接测量或直接取得的数据，则经过查阅多方文献获得。
- 系统边界的完整性：系统边界在确认期间邀请专家提出了评审意见，同时参考了行业标准等在普遍意义上具有共识的案例。

7.5. 一致性检查

按照 ISO14044:2006 标准的要求，应从以下几个方面进行一致性检查：

- a. 在产品系统生命周期和不同产品系统之间的数据质量差异是否与研究的目标和范围一致？

一致。

- b. 区域和/或时间差异(如果有的话)是否一致地应用？

在地理分布上，根据产品原材料来源调查，产品消费的主要原材料集中在中国，但研究使用的数据集大多来自全球平均水平；在地域代表性和实际代表性上存在着差异。在时间表示上，大部分数据集为 2024 年 1 月-2024 年 12 月的平均数据，基本可以代表实际生产水平。

- c. 分配规则和系统边界一致应用于所有产品系统吗？

产品生命周期采用质量分配规则。本研究应用系统边界与原先设定一致。

- d. 影响评估的要素是否被一致应用？

本研究中所应用的影响评价模型是 EF 3.1 评价模型，方法的选用主要考虑符合国际标准 ISO14044:2006、ISO14067:2018 的要求。

7.6. 局限性

尽管本 LCA 研究力求全面和准确，但仍存在以下局限性：

- **数据可用性限制：** 某些背景数据可能无法获得最新的或地域特异性的数据，使用了更通用的数据库数据，这可能引入一定的不确定性。
- **模型假设：** LCA 模型中不可避免地存在简化和假设，例如对废弃物处理路径的假设可能与实际情况存在偏差。
- **影响评估方法的局限性：** 当前的 LCA 影响评估方法仍在不断发展中，可能无法完全捕获所有潜在的环境影响。
- **时间与资金限制：** 本研究在较短的时间尺度和较大的经济投入限制下完成，可能无法对所有潜在的细节进行深入探究。

这些局限性需要在解释和应用本报告结果时予以注意。

8. 结论

本研究获得了 1 吨包装箔产品的生命周期影响，研究获得的结论代表了 2024. 1. 1-2024. 12. 31 全年的实际生产水平，结果可用于产品研发和公开披露。

本研究按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006 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。