

再生铝铝液

生命周期评估报告



天津新立中合金集团有限公司

版本: Version 2.0, 2026.05.29

Content

缩略词 Acronyms and abbreviations.....	4
1. 摘要 Summary	5
2. 研究目标及对象 Goal and product of the study	6
2.1 研究目标 Goal of the study	6
2.2 企业介绍 Company Introduction	7
2.3 产品介绍 Product Description	7
3. 范围定义 Scope of the study	8
3.1 产品系统，功能/声明单位和基准流 Product System, Functional/Declared Unit and Reference Flow.....	9
3.2 系统边界 System Boundary	9
3.3 分配原则 Allocation Rules.....	10
3.4 取舍原则 Cut-off Criteria	10
3.5 相关假设 Relevant Assumptions	11
3.6 影响类别和评估方法 Impact Category and Assessment Method	11
3.7 软件和数据库 Software and Database	13
3.8 数据质量 Data Quality.....	13
3.8.1 数据质量要求	14
4. 生命周期清单分析 Life Cycle Inventory Analysis.....	14
5. 影响评价 Impact Assessment	14
5.1 LCA 影响评价	15
6. 结果解释 Result Interpretation	17
6.1 重点识别 Identification of Significant Issues	17
6.1.1 重点识别（再生铝铝液）	17
6.1.2 重点识别（纯铝铝液）	20
6.2 完整性、敏感性、不确定性和一致性检查 Completeness, Sensitivity, Uncertainty and Consistency Evaluation.....	23
6.2.1 完整性 Completeness	23

6.2.2 敏感性分析 Sensitivity Analysis	23
6.2.3 数据质量分析 Data quality assessment	24
6.2.4 一致性评估 Consistency Evaluation	25
6.3 局限性 Limit	25
7. 结论和建议 Conclusion and Recommendation	26
8. 引用 References	27
附录 a 环境影响种类说明 Appendix a. Description of Environmental Impact Categories	28
附录 b 引用数据集 Appendix b. Cited data sets	30
附录 c 初级数据 Appendix c. Primary Data	31

缩略词 Acronyms and abbreviations

简称 abbreviation	全称 full name
HFC	Hydrofluoro Carbon(氢氟碳化物)
PFC	Perfluoro Carbon (全氟碳化物)
CO ₂ eq.	Carbon Dioxide Equivalent(二氧化碳当量)
LCA	Life cycle assessment(生命周期评价)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (联合国政府间气候变化专门委员会)
LCI	Life Cycle Inventory (生命周期清单)
ISO	International Organization for Standardization (国际标准化组织)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development (世界企业可持续发展理事会)
GWP	Global Warming Potential(全球暖化潜值)

1. 摘要 Summary

本研究基于 ISO 14040/44 生命周期评价 (LCA) 标准及 ISO14067 产品碳足迹指南, 对产品的全生命周期环境影响进行系统评估, 涵盖从原材料获取到废弃处理的 16 类环境影响指标, 得到天津新立中合金集团有限公司生产的再生铝铝液和纯铝铝液产品从摇篮到大门的潜在环境影响结果。

为满足生命周期评价以及与各相关方沟通的需求, 本研究的功能单位 (声明单位) 定义为: 1t 再生铝铝液, 1t 纯铝铝液。研究的系统边界定义为“摇篮”到“大门”, 生命周期阶段为原材料获取阶段和生产阶段。

研究采用 Simapro 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。研究过程中, 为了保证数据质量, 原始数据来源于天津新立中合金集团有限公司的现场收集, 次级数据来源于 Ecoinvent 3.11, 这个数据库是国际上公认和广泛采用的生命周期数据库。

2. 研究目标及对象 Goal and product of the study

2.1 研究目标 Goal of the study

本研究旨在全面而深入地评估天津新立中合金集团有限公司所生产的再生铝铝液和纯铝铝液在其摇篮到大门生命周期内的环境影响和资源利用效率。考虑到当前全球气候变化带来的严峻挑战，如极端天气事件的频发、全球变暖趋势的加剧以及生态平衡的破坏等，本研究旨在通过科学的方法和严格的数据收集与分析流程，量化再生铝铝液和纯铝铝液在生产过程中的能耗、温室气体排放、水资源消耗、废物产生及潜在环境风险，从而为公司的可持续发展策略提供数据支持。

从原材料采集、配料、熔化等多个工序量化分析再生铝铝液和纯铝铝液的温室气体排放等关键环境指标，有助于企业更准确地了解其产品在整个生命周期内的环境影响，识别关键环境热点并提供一系列改进策略，以促进其再生铝铝液和纯铝铝液产品的环境友好性。

通过生命周期研究，企业不仅有机会降低其产品的环境影响，还可以提高产品市场竞争力，积极响应全球可持续发展的号召，加快绿色转型。

预期用途：

内部研究，产品低碳设计

进行生命周期评价研究的原因：

识别产品全生命周期的潜在环境影响

目标受众：

本次研究的目标读者包括内部工程师及其指定的客户

预期交流沟通：

内部沟通

2.2 企业介绍 Company Introduction

天津新立中合金集团有限公司成立于 2006 年 11 月，隶属于立中集团，位于天津开发区西区泰民路 58 号。

公司主营业务为铸造铝合金锭和铝合金液。因上市需要，2019 年 11 月正式更名为天津新立中合金集团有限公司。目前拥有客户 117 家，主要分布在东三省、长三角以及以天津为中心的环渤海地区，产品涉及国标、美标、欧标、日标等 60 多个牌号，产品广泛应用于汽车、轨道交通、航空航天、电力电子、5G 通讯等领域，是国家认定的高新技术企业，是天津市认定的专精特新中小企业、国家第七批专精特新小巨人企业。天津新立中参与了多项国标、行标制定，已累计申请专利 100 多项，拥有授权专利 80 多项，获得天津市绿色工厂、国家绿色工厂、国家绿色供应链管理示范企业、国家绿色制造系统解决方案优秀供应商等称号。

公司始终坚持“市场开发、技术先行”的经营理念，多年来在铝合金行业深耕细作，创造了多项国内第一：首家采用转子在线除气（GBF 除气）技术、首家采用 40ppi 陶瓷过滤板过滤技术、首家铸锭采用在线激光标识、首家采用智能机器人刮渣，引领行业技术进步。同时，公司紧跟产业发展趋势，成功研发出高导热铝合金、压铸一体化免热处理铝合金、低碳 356 系列铝合金等高品质材料，构成汽车产业链的重要环节，并与国内多家高端汽车零部件用户形成稳定的战略合作关系。

2.3 产品介绍 Product Description

再生铝合金液产品，是一种通过“铝液直供模式”直接以液态形式配送至下游压铸企业的高品质环保型铝合金材料。该产品以再生铝为主要原料，省去了客户自行熔炼铝锭的环节，不仅帮助客户显著降低能源消耗与生产成本，还能有效减少二噁英等有害物质的排放，实现了资源的高效回收利用。凭借其高纯净度、定制化的合金成分以及稳定的供应能力，该产品广泛应用于汽车、高铁等领域的关键零部件制造，是推动汽车轻量化和循环经济发展的绿色解决方案。

案。

再生铝铝液和纯铝铝液的生产加工过程如下图2.3.1:

过程编号	过程描述
1	原材料入厂检测
2	原材料仓储
3	配料
4	熔化
5	合金化
6	精炼除渣
7	铝液罐装
8	包内除气除渣
9	包装
10	交付客户

图 2.3.1：产品生产加工过程

产品图片见图 2.3.2。



图 2.3.2：产品图片

3. 范围定义 Scope of the study

本项目 LCA 核算参考标准如下：

- 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 温室气体排放 产品碳足迹-量化和交流的要求与指南

3.1 产品系统，功能/声明单位和基准流 Product System, Functional/Declared Unit and Reference Flow

声明单位是指用于量化产品为用户提供的服务性能的参考单位。声明单位的主要目的是在 LCA 中提供与输入和输出相关的参考。本研究的产品是再生铝铝液和纯铝铝液，声明单位定义为：1t 再生铝铝液，1t 纯铝铝液。

3.2 系统边界 System Boundary

本次研究的产品由位于以下地址的公司（工厂）制造：

表 3.2.1 企业名称及地址

公司名称	天津新立中合金集团有限公司
制造地址	天津开发区西区泰民路 58 号

系统边界包括了从摇篮到大门的生命周期阶段，如表 3.2.2 所示：

表 3.2.2 生命周期阶段

生命周期	过程
原辅材料获取	这一阶段包括组成产品的原辅材料制造过程所需的能源及资源的获取，涵盖了从原材料的开采或提炼、开发、提取、预处理等每个阶段产生的潜在环境影响。
产品制造	这一阶段包括产品在工厂边界内生产过程的能源资源使用以及产品废弃物的运输和处置。

除此以外，以下消耗和影响被排除、不在计算范围内：

- 厂区/设备的使用时长较长，并且将持续使用，因此在本次评估中将截断厂区和生产设备对环境的影响；
- 人员通勤及出差，产品相关 R&D 等均在 LCA 范畴之外；
- 产品储存及相关碳排放不在本次计算范围内；

产品生命周期流程图如图 3.2.1：

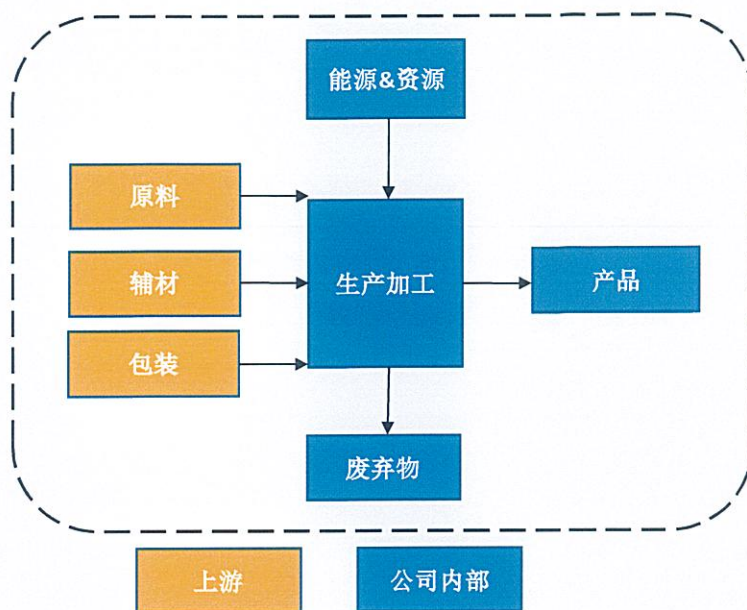


图 3.2.1: 生命周期流程图

3.3 分配原则 Allocation Rules

许多过程通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，目前，有不同的方式来完成分配，主要有 a.避免分配，扩大系统边界；b.以物理关系为基准分配环境负荷；c.使用经济价值为分配基准。

本次研究采用物理分配法，对电力消耗、氮气消耗及废弃物产生量进行分配。天然气消耗量及其他原材料数据为独立计量。本项目生产无副产物产生，不涉及主副产物之间的分配。废弃物再利用、回收的环境影响和效益的默认分配规则基于污染者付费原则（PPP），这意味着回收或再利用的受益者承担与回收或再利用处理相关的环境影响和效益，而原始产品制造商无需承担这部分影响负担，也不参与分享效益。

3.4 取舍原则 Cut-off Criteria

本研究采用的取舍准则包括：

- a. 基于输入/输出占比：普通物料重量 $<0.5\%$ 产品重量时，忽略该物料的上游生产数据，但总的舍去产品投入比例不超过 1%。
- b. 基于潜在的环境影响的比重：以类似投入估算，排除实际影响较小的输

入/输出。

根据以上原则，本次研究的取舍内容如下：

由于原辅料的包装材料本身的质量占比很小，其质量远小于产品的 1%，属于非实质性贡献，因此不包括在本次研究范围内，符合取舍准则。部分辅料本身的质量占比很小，质量小于输入物料的 0.5%，总质量小于输入物料的 1%，属于非实质性贡献，因此不包括在本次研究范围内。

3.5 相关假设 Relevant Assumptions

本次评价运用了以下假设：

表 3.5.1 各生命周期阶段的假设

生命周期	假设
原辅材料获取	•假设生产每吨产品的材料及损耗量相同。 •原材料运输距离由天津新立中根据供应商位置提供。
产品制造	•假设生产每吨产品的能资源消耗量、废弃物产生量相同。 •危废和工业固废的运输距离由天津新立中根据第三方处理点位置提供。 •企业参与绿电交易获取的“风电”在 Ecoinvent 数据库中没有合适的且在有效期内的数据集，因此采用光伏电的数据集来替代。

3.6 影响类别和评估方法 Impact Category and Assessment Method

ISO 14044 标准建议：“影响类别、类别指标和表征模型应是国际公认的，即基于国际协议或经主管国际机构批准”。由于中国地区没有更好的表征模型，为了满足这一标准，本生命周期影响评估选择了国际机构（如欧盟委员会和 IPCC）认可的 LCIA 方法中的现有最佳特征化模型。在从原材料获取到废弃处理的 16 类环境影响指标中，选用欧洲的 EF3.1 方法学。

根据 ISO14040-2006 的要求，本研究所采用的指标/影响类型尽量覆盖所有环境问题，但对于更多环境问题进行广泛的审查在很大程度上取决于可用的数据库以及对某些评估方法的科学接受程度。除 ISO 或者 IPCC 以外的机构，由

于没有国际（全球）的协议或者标准认可特定环境影响类别，在 LCA 实践中，广泛使用的指标或者表征模型被视为满足该要求。本研究所采用的影响类别结果是相对的，不能预测超过阈值、安全边际或风险的影响。研究中选用的影响类别见下表 3.6.1：

表 3.6.1 环境影响类别和评估模型

影响类别		类型参数		
英文名称	中文名称	指标名称	中文名称	单位
Climate change-total	气候变化	Radiative forcing as Global Warming Potential (GWP100)	以全球变暖潜势 (GWP100)衡量的辐射强迫	kg CO ₂ eq
Ecotoxicity, freshwater	淡水生态毒性	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	生态系统比较毒性单位	CTUe
Particulate matter	颗粒物	Impact on human health	对人类健康的影响	disease inc.
Eutrophication, marine	海洋富营养化	Fraction of nutrients reaching marine end compartment (N)	营养物质进入海洋沉积物的比例	kg N eq
Eutrophication, freshwater	淡水富营养化	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)	营养物质进入淡水沉积物的比例	kg P eq
Eutrophication, terrestrial	陆地富营养化	Accumulated Exceedance (AE)	累积超标量	mol N eq
Acidification	酸化	Accumulated Exceedance (AE)	累积超标量	mol H ⁺ eq
Human toxicity, cancer	人类毒性 - 致癌性	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	人类比较毒性单位	CTUh
Human toxicity, non-cancer	人类毒性 - 非致癌性	Comparative Toxic Unit for humans (CTUh)	人类比较毒性单位	CTUh
Ionising radiation	电离辐射	Human exposure efficiency relative to U235	相对于U235的人类暴露效率	kBq U-235 eq
Land use	土地利用	• Soil quality index • Biotic production • Erosion resistance • Mechanical filtration • Groundwater replenishment	• 土壤质量指数 • 生物生产力 • 机械过滤 • 地下水补给	Pt

Ozone depletion	臭氧层消耗	Ozone Depletion Potential (ODP)	臭氧消耗潜势	kg CFC11 eq
Photochemical ozone formation	光化学臭氧生成	Tropospheric ozone concentration increase	对流层臭氧浓度增加	kg NMVOC eq
Resource use, fossils	资源使用 - 化石燃料	Abiotic resource depletion – fossil fuels (ADP-fossil)	非生物资源枯竭——化石燃料 (ADP化石)	MJ
Resource use, minerals and metals	资源使用 - 矿产和金属	Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)	非生物资源枯竭 (ADP最终储量)	kg Sb eq
Water use	水资源使用	User deprivation potential (deprivation-weighted water consumption)	水资源剥夺潜力 (基于剥夺程度的加权水消费量)	m3 depriv.

注：eq 是 equivalent 的缩写，意为当量。例如气候变化的指标是以 CO₂ 为基准物质，其他各种温室气体按温室效应的强弱都有各自的 CO₂ 当量因子，因此产品生命周期的各种温室气体排放量可以各自乘以当量因子，累加得到气候变化指标总量，其单位为 kg CO₂ eq。

3.7 软件 and 数据库 Software and Database

在研究中，Simapro 10.2 软件被用来建立产品的生命周期模型，计算 LCA 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 数据库等多个数据库。本研究中，使用了 Ecoinvent 3.11 数据库中的数据。

在背景数据的选择方面，本次计算选择 Cut-off 模型数据，与分配方法一致。

3.8 数据质量 Data Quality

整个计算尽可能以初级数据为主要基础，次级数据根据生命周期数据库或文献而获得，其中电力消耗参考 Ecoinvent 数据库华北电网平均排放数据和天津地区光伏系统发电碳排放数据。

数据质量代表 LCA 研究的目标代表性与数据实际代表性之间的差异。对模型中的消耗与排放清单数据，从清单数据来源与算法、时间代表性、地理代表性以及技术代表性等四个方面进行定性评估，并对关联背景数据库的消耗，评

估其与上游背景过程匹配的不确定度。数据质量要求见以下表格：

3.8.1 数据质量要求

表 3.8.1 LCA 数据质量要求

参数	要求	描述
时间代表性 TiR	数据反映过程的实际时间（例如，年份）或年限的程度。	初级数据反映 2025 年 1 月 1 日到 2025 年 12 月 31 日这 12 个月的情况。而次级数据所使用的一般在 2 年内。
地理代表性 GeR	数据反映排放清单边界内过程的实际地理位置的程度（例如，国家或地点）。	初级数据都为天津新立中制造现场数据。次级数据优先采用数据库中中国地区（CN）的数据，其次选用欧洲以外（ROW）和全球（GLO）区域的数据，在这些数据都缺失的情况下，再选用剩下地区的数据。
技术代表性 TeR	数据反映过程中实际使用的技术的程度。	初级数据都为天津新立中制造现场数据。次级数据主要采用全球平均技术水平。

为了满足上述要求并确保计算结果的可靠性，在数据收集过程中，优先考虑了制造工厂的现场具体数据。次级数据主要来自 Ecoinvent 数据库，该数据库在国际上已被严格审查并广泛用于 LCA 研究。

4. 生命周期清单分析 Life Cycle Inventory Analysis

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 - 天津新立中合金集团有限公司 2025 年 1 月 1 日到 2025 年 12 月 31 日 12 个月的平均数据。初级数据见附录 c。

次级数据 - Ecoinvent 3.11 数据库。

5. 影响评价 Impact Assessment

生命周期影响评价(LCIA)是评估产品系统的生命周期清单结果，本文运用 3.6 章节提到的评估方法，将 1t 再生铝铝液和 1t 纯铝铝液的全生命周期输入输

出结果转化为资源消耗、人类健康影响和生态影响等方面的潜在环境影响。

5.1 LCA 影响评价

1t 再生铝铝液从摇篮到大门潜在环境影响如表 5.1.1。1t 再生铝铝液从摇篮到大门的各生命周期活动贡献比例如图 5.1.1。

表 5.1.1 1t 再生铝铝液的潜在环境影响

指标	单位	再生铝铝液
Acidification	mol H+ eq	6.97E+00
Climate change	kg CO2 eq	8.90E+02
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	6.12E+03
Particulate matter	disease inc.	4.96E-05
Eutrophication, marine	kg N eq	8.77E-01
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3.34E-02
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1.04E+01
Human toxicity, cancer	CTUh	6.06E-07
Human toxicity, non-cancer	CTUh	4.58E-05
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1.38E+01
Land use	Pt	6.13E+03
Ozone depletion	kg CFC11 eq	9.42E-06
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3.51E+00
Resource use, fossils	MJ	1.08E+04
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5.32E-02
Water use	m3 depriv.	3.24E+02

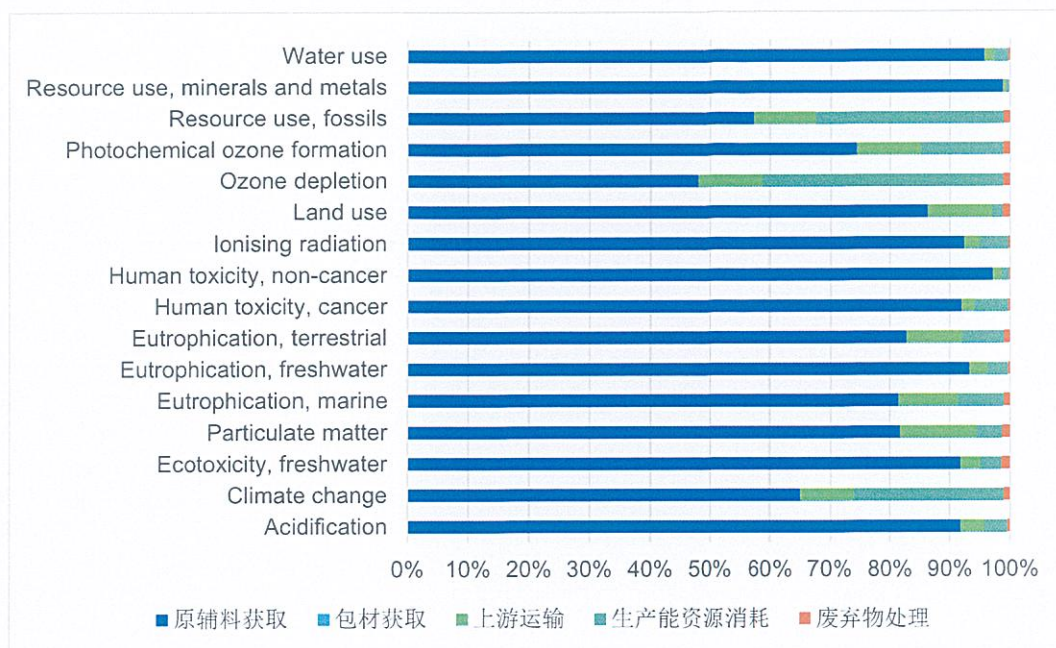


图 5.1.1 1t 再生铝铝液分活动环境影响贡献比例

1t 纯铝铝液从摇篮到大门潜在环境影响如表 5.1.2。1t 纯铝铝液从摇篮到大门的各生命周期活动贡献比例如图 5.1.2。

表 5.1.2 1t 纯铝铝液的潜在环境影响

指标	单位	纯铝铝液
Acidification	mol H+ eq	1.50E+02
Climate change	kg CO2 eq	1.66E+04
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3.74E+04
Particulate matter	disease inc.	9.26E-04
Eutrophication, marine	kg N eq	1.84E+01
Eutrophication, freshwater	kg P eq	1.04E+00
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	2.06E+02
Human toxicity, cancer	CTUh	6.90E-06
Human toxicity, non-cancer	CTUh	1.31E-04
Ionising radiation	kBq U-235 eq	3.27E+02
Land use	Pt	3.41E+04
Ozone depletion	kg CFC11 eq	7.17E-05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6.31E+01

Resource use, fossils	MJ	1.72E+05
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	3.89E-02
Water use	m3 depriv.	1.33E+03

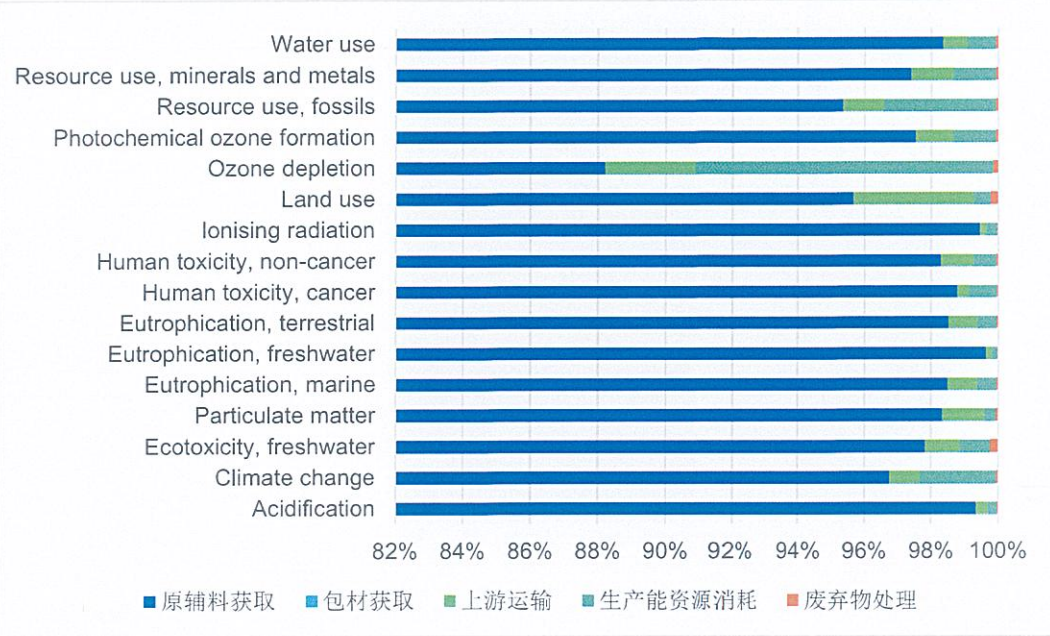


图 5.1.2 1t 纯铝铝液分活动环境影响贡献比例

6. 结果解释 Result Interpretation

6.1 重点识别 Identification of Significant Issues

6.1.1 重点识别（再生铝铝液）

根据行业环境影响特点，本章节对气候变化、颗粒物排放、光化学臭氧形成、化石资源消耗、矿产和金属资源消耗影响类别的各生命周期环节的影响结果进行分析。

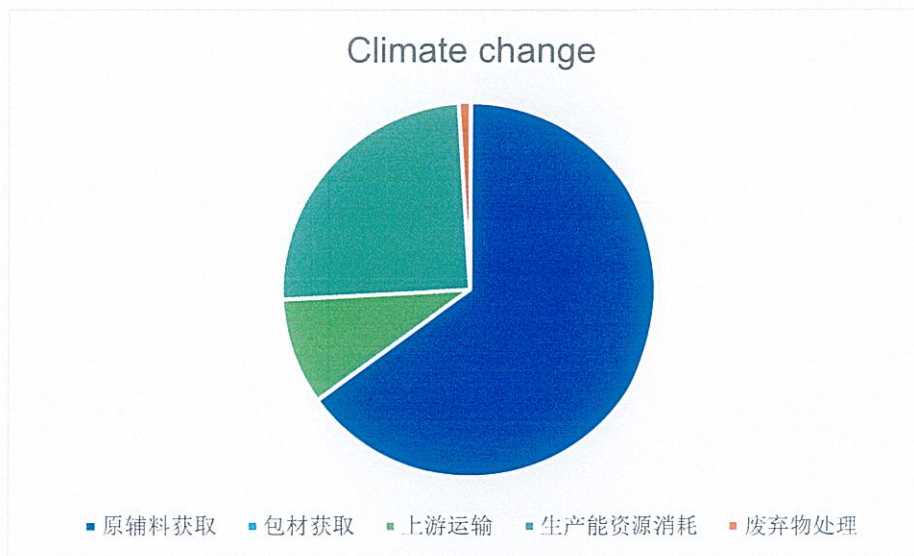


图 6.1.1 1t 再生铝铝液分活动气候变化影响贡献情况

对于再生铝铝液，气候变化这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 5.79E+02 kgCO2e，占比为 65.03%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 2.21E+02 kgCO2e，占比为 24.80%，主要来自天然气消耗。

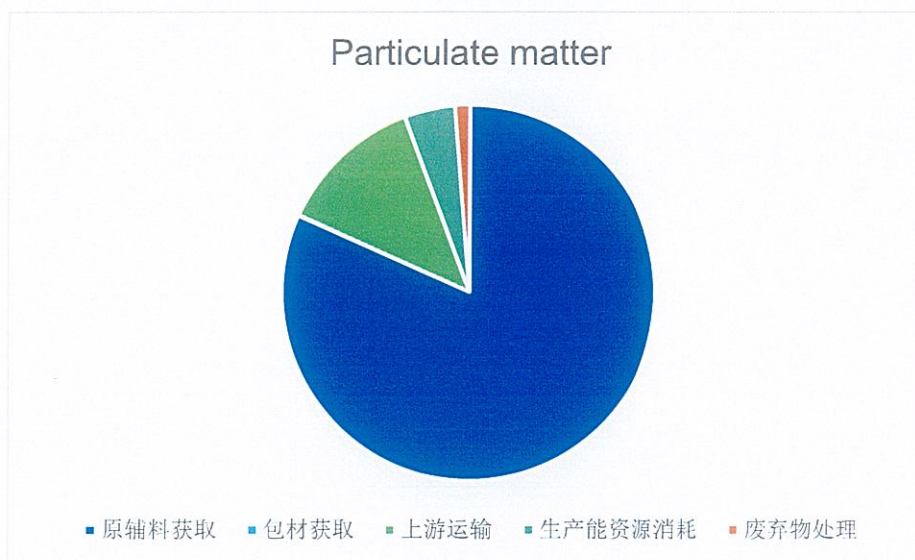


图 6.1.2 1t 再生铝铝液分活动颗粒物排放影响贡献情况

对于再生铝铝液，颗粒物排放这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 4.06E-05 disease inc.，占比为 81.71%。其次是上游运输阶段，贡献量为 6.26E-06 disease inc.，占比为 12.62%。

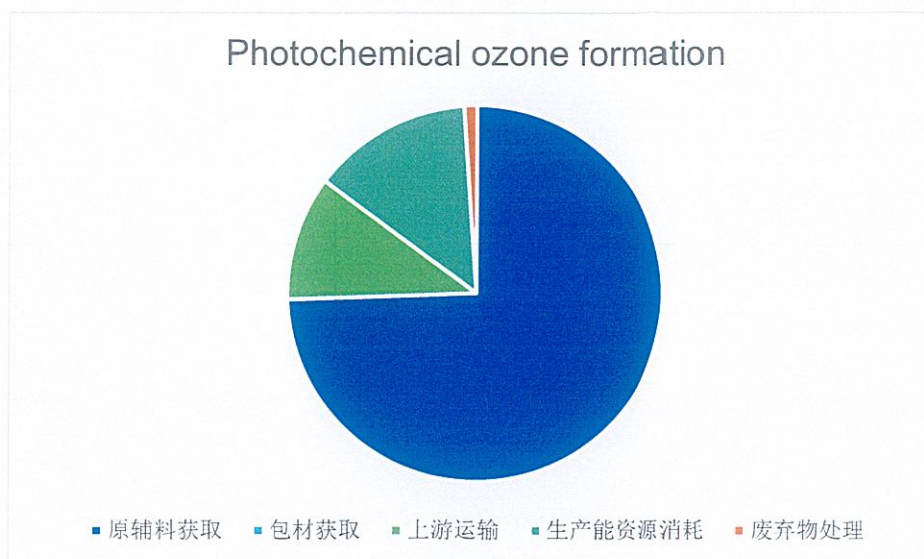


图 6.1.3 1t 再生铝铝液分活动光化学臭氧形成影响贡献情况

光化学臭氧形成这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 2.61E+00 kg NMVOC eq，占比为 74.46%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 4.81E-01 kg NMVOC eq，占比为 13.69%，主要来自天然气消耗。

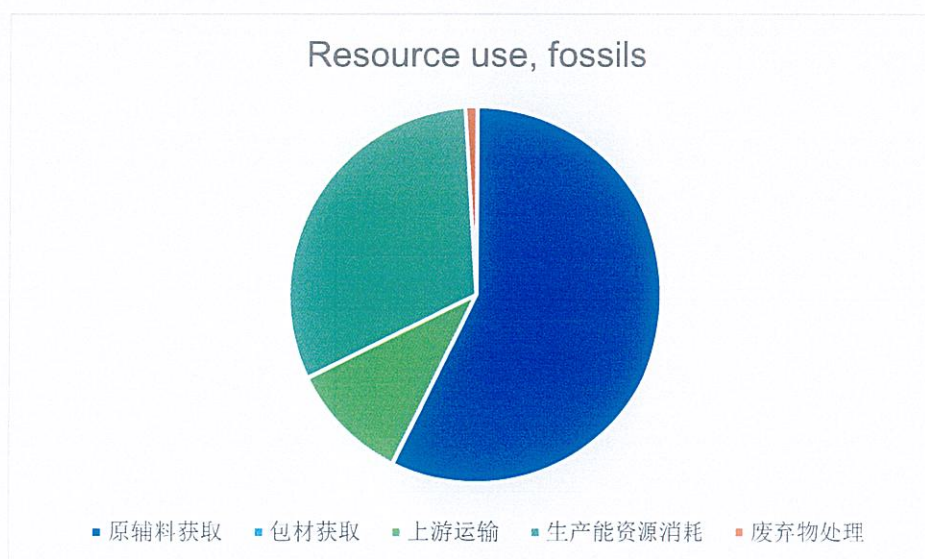


图 6.1.4 1t 再生铝铝液分活动化石资源消耗影响贡献情况

化石资源消耗这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 6.16E+03 MJ，占比为 57.25%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 3.36E+03 MJ，占比为 31.23%，主要来自天然气消耗。

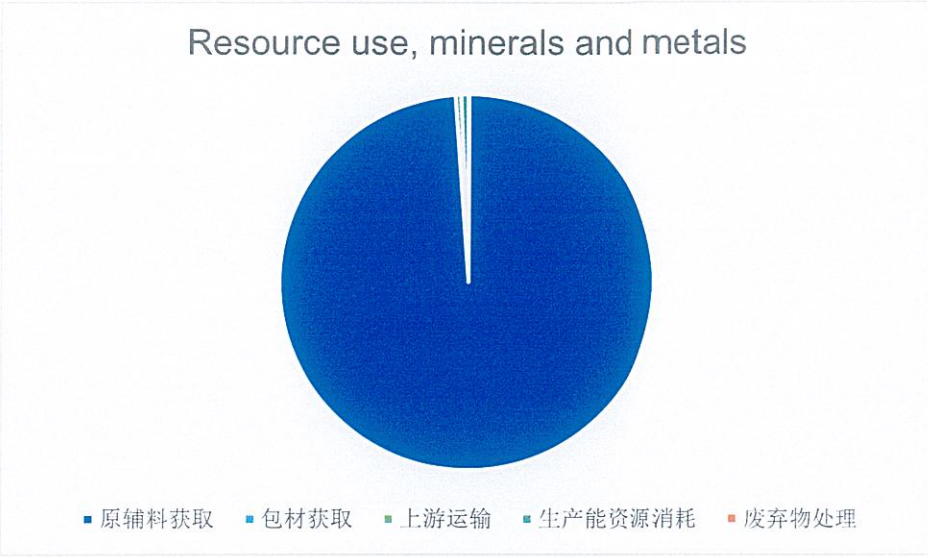


图 6.1.5 1t 再生铝铝液分活动矿产和金属资源消耗影响贡献情况

矿产和金属资源消耗这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 5.25E-02 kg Sb eq，占比为 98.82%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 3.34E-04 kg Sb eq，占比为 0.63%。

6.1.2 重点识别（纯铝铝液）

根据行业环境影响特点，本章节对气候变化、颗粒物排放、光化学臭氧形成、化石资源消耗、矿产和金属资源消耗影响类别的各生命周期环节的影响结果进行分析。

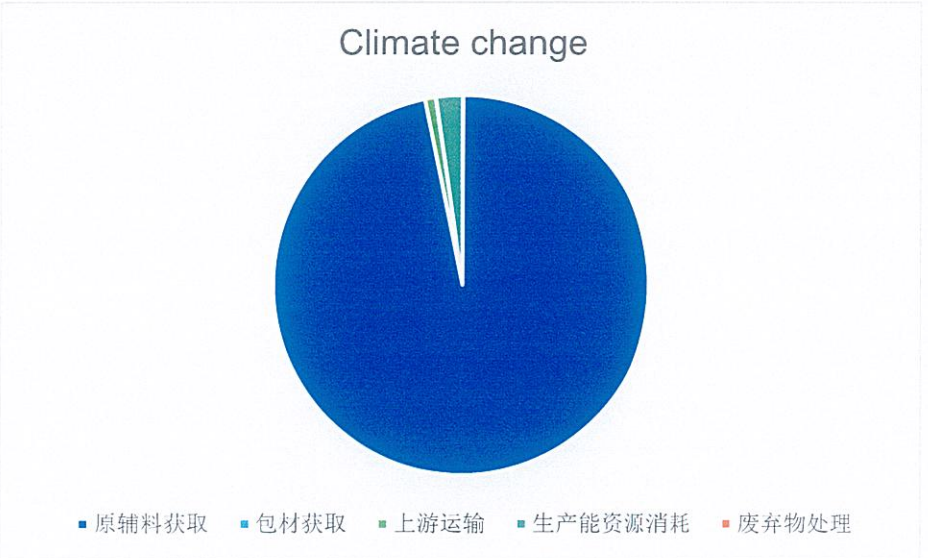


图 6.1.6 1t 纯铝铝液分活动气候变化影响贡献情况

对于纯铝铝液，气候变化这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 $1.60\text{E}+04 \text{ kgCO}_2\text{e}$ ，占比为 96.76%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 $3.76\text{E}+02 \text{ kgCO}_2\text{e}$ ，占比为 2.27%。

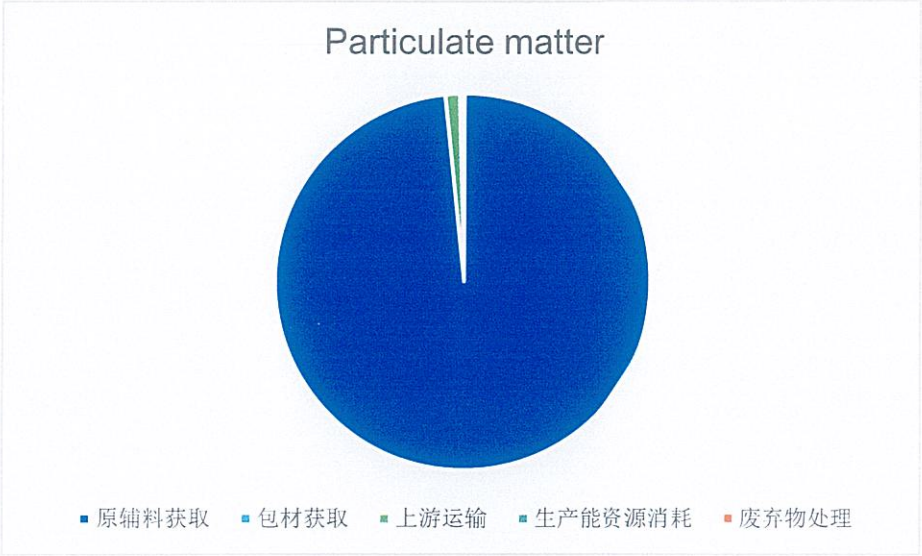


图 6.1.7 1t 纯铝铝液分活动颗粒物排放影响贡献情况

对于纯铝铝液，颗粒物排放这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 $9.11\text{E}-04 \text{ disease inc.}$ ，占比为 98.32%。其次是上游运输阶段，贡献量为 $1.17\text{E}-05 \text{ disease inc.}$ ，占比为 1.27%。

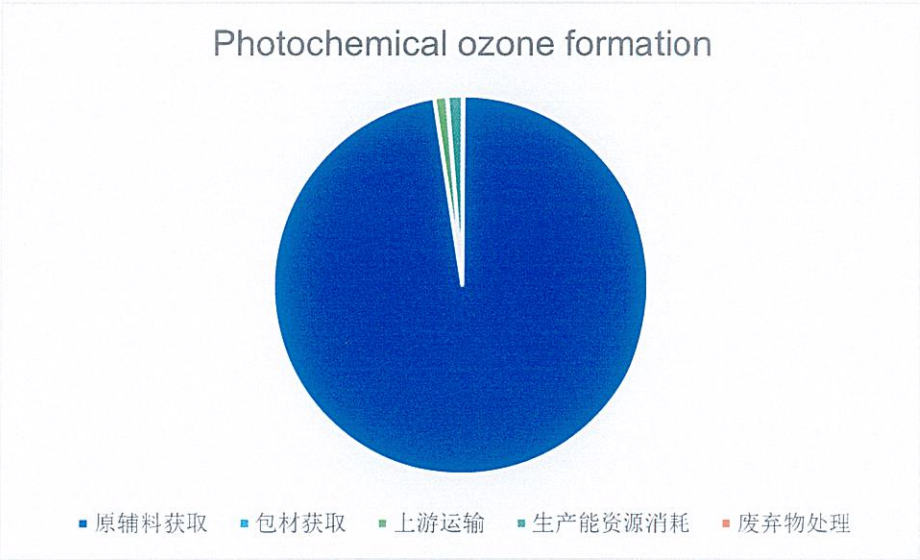


图 6.1.8 1t 纯铝铝液分活动光化学臭氧形成影响贡献情况

光化学臭氧形成这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量

为 $6.15\text{E}+01 \text{ kg NMVOC eq}$ ，占比为 97.54%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 $8.09\text{E}-01 \text{ kg NMVOC eq}$ ，占比为 1.28%。

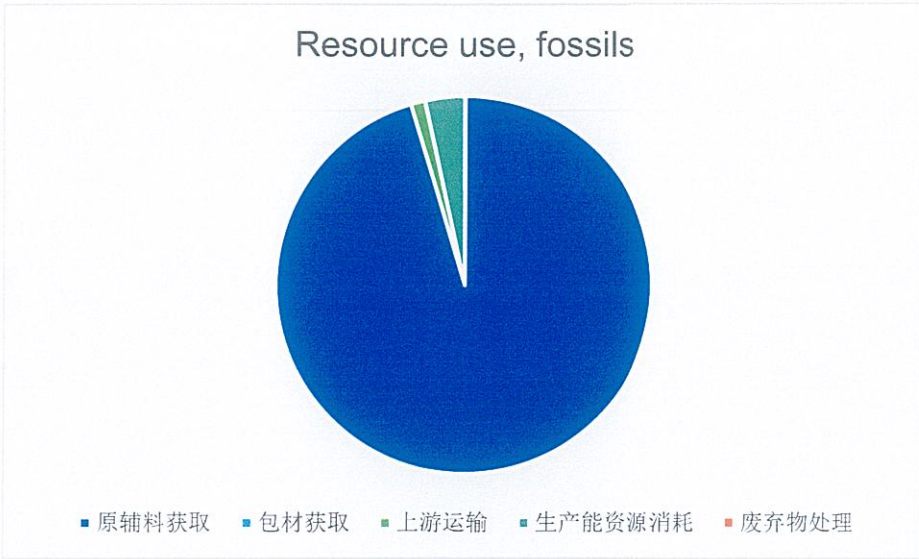


图 6.1.9 1t 纯铝铝液分活动化石资源消耗影响贡献情况

化石资源消耗这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 $1.64\text{E}+05 \text{ MJ}$ ，占比为 95.36%。其次是生产能资源消耗阶段，贡献量为 $5.76\text{E}+03 \text{ MJ}$ ，占比为 3.35%。

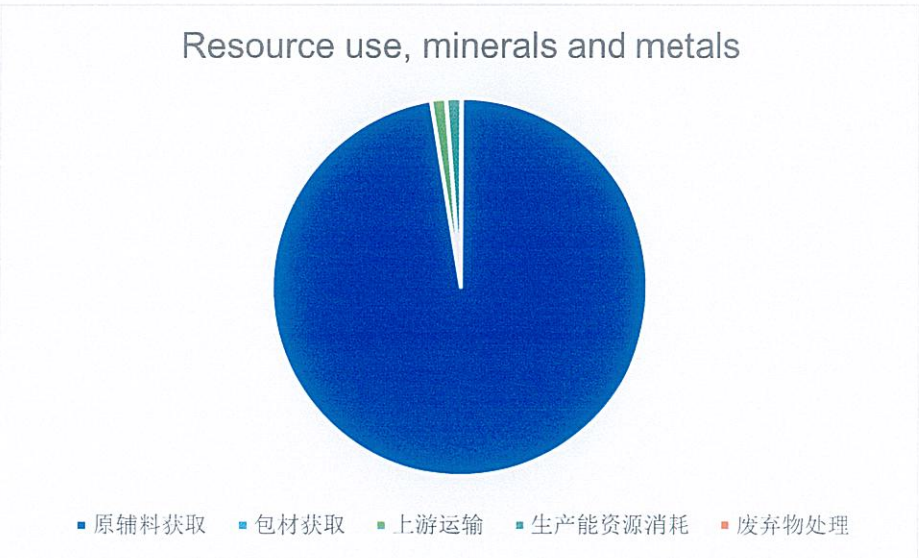


图 6.1.10 1t 纯铝铝液分活动矿产和金属资源消耗影响贡献情况

矿产和金属资源消耗这一影响类别贡献占比最大的是原辅料获取环节，贡献量为 $3.79\text{E}-02 \text{ kg Sb eq}$ ，占比为 97.39%。其次是上游运输阶段，贡献量为

4.99E-04 kg Sb eq, 占比为 1.28%。

6.2 完整性、敏感性、不确定性和一致性检查 Completeness, Sensitivity, Uncertainty and Consistency Evaluation

6.2.1 完整性 Completeness

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获取阶段和产品生产阶段。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。本研究所收集的初级数据包括生产该产品所需的原材料类型和数量、能源消耗数据、材料的运输数据。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，原料和辅料数据的收集完整。

6.2.2 敏感性分析 Sensitivity Analysis

敏感性分析是通过对关键输入参数进行变化和调整，评估其对 LCA 结果的影响。这些参数可以包括数据输入、方法选择、系统边界、功能单元等。通过对这些参数进行敏感性测试，可以识别出对结果影响最大的因素，以及在不同假设条件下的结果变化情况。敏感性分析还可以帮助确定哪些因素对决策和改进的重要性最高，从而提供基于 LCA 结果的更可靠的决策依据。

为了了解能源对产品各个环境影响类别的影响，本章节额外计算了电网电 100%改用光伏电场景下的“再生铝铝液”产品各个环节影响类别结果的变化，结果见表 6.2.1。

表 6.2.1 敏感性分析-100%光伏电（再生铝铝液）

影响类别	单位	原始场景	100%光伏电场景	变化比例
Acidification	mol H+ eq	6.97E+00	6.93E+00	0.57%
Climate change	kg CO2 eq	8.90E+02	8.82E+02	0.90%
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	6.12E+03	6.10E+03	0.33%
Particulate matter	disease inc.	4.96E-05	4.90E-05	1.21%
Eutrophication, marine	kg N eq	8.77E-01	8.67E-01	1.14%
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3.34E-02	3.33E-02	0.30%

Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1.04E+01	1.03E+01	0.96%
Human toxicity, cancer	CTUh	6.06E-07	6.06E-07	0.00%
Human toxicity, non-cancer	CTUh	4.58E-05	4.58E-05	0.00%
Ionising radiation	kBq U-235 eq	1.38E+01	1.38E+01	0.00%
Land use	Pt	6.13E+03	6.12E+03	0.16%
Ozone depletion	kg CFC11 eq	9.42E-06	9.46E-06	-0.42%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3.51E+00	3.48E+00	0.85%
Resource use, fossils	MJ	1.08E+04	1.07E+04	0.93%
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5.32E-02	5.32E-02	0.00%
Water use	m3 depriv.	3.24E+02	3.23E+02	0.31%

此外，为了了解数据库对产品各个环境影响类别的影响，额外计算了原铝排放因子采用 IAI 发布的 Primary Aluminium Greenhouse Gas Emissions Intensity for 2024 场景下的“纯铝铝液”气候变化影响类别结果的变化，结果见表 6.2.2。

表 6.2.2 敏感性分析-IAI 原铝排放因子（纯铝铝液）

影响类别	单位	原始场景	IAI 原铝因子	变化比例
Climate change	kg CO2 eq	1.66E+04	1.17E+04	29.27%

计算结果显示，提高可再生能源的比例能够降低产品全生命周期环境影响。此外来自于第三方数据库的背景数据对于计算结果有影响。

6.2.3 数据质量分析 Data quality assessment

本次计算旨在评估再生铝铝液和纯铝铝液全生命周期潜在环境影响，计算结果受制于所收集到的数据。在从摇篮到大门的边界内，次级排放系数的使用是合理的。数据差距、数据代表性和时间变数等各个方面都会导致许多不确定的因素。因此，这项 LCA 研究采用了相对最合适的数据集和最有代表性的技术路线，降低不确定性的水平，本报告中应用的数据是在计算准备时可以获取的最佳数据，而初级和次级数据的来源会受不确定性影响，数据质量分析见 3.8 章节。

6.2.4 一致性评估 Consistency Evaluation

在地理分布上，根据产品原材料来源调查，产品使用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，收集数据为十二个月的平均数据，基本可以代表企业的实际生产水平。项目初级数据涵盖产品原辅材料获取阶段、生产阶段，原辅材料次级数据的系统边界为“从摇篮到大门”，与定义的系统边界一致，因此本研究满足 ISO14044:2006 标准中对于一致性的要求，无重复计算。

6.3 局限性 Limit

这些结果只对本报告中描述的假设情景有效，假设条件发生变化，评估结果也会发生变化。本报告仅研究再生铝铝液和纯铝铝液生命周期潜在环境影响，其他型号的产品不能使用本结果进行类比预测。本报告及其结论对第三方使用的相关性和可靠性，或用于本报告第 3 章节具体提到的目的之外的用途，本报告不能保证。本研究使用的二级数据主要来自 ecoinvent 3.11，这是一个瑞士数据库。即使这个数据库是最广泛使用的数据库，但也不能完全代表中国的情况，对研究的准确性可能会造成一定影响。

生命周期影响评价仅涉及在评价目的和范围内所识别的那些环境问题。产品的 LCA 仍是一个有待持续发展的领域，就现在全球的 LCA 水平而言，在清单数据和具体的潜在环境影响之间建立一致的、准确的联系过程中，尚不存在普遍接受的方法。各种影响类型的模型目前还处在不同的发展阶段。所选用方法学中包含的物质种类以及不同物质在不同方法学下的特征化因子差异可能会影响最终产品全生命周期潜在环境影响的结果。在本次研究中，已采用作者认为最适合评估潜在环境影响的影响类别和评估方法，然而，如使用其他方法学进行计算，结果可能不同，本结果仅适用于特定特征化模型下的评估。

7. 结论和建议 Conclusion and Recommendation

根据对再生铝铝液和纯铝铝液的生命周期评价研究，可得出以下结论： 1t 再生铝铝液的产品碳足迹为 $8.90\text{E}+02 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ ，1t 纯铝铝液的产品碳足迹为 $1.66\text{E}+04 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ 。

为了进一步提高产品的环境可持续性，基于前几章的研究结果，我们进一步提出以下建议：

1. 从环境影响评价结果看，原材料的生产对环境有显著的影响，所以在保证产品功能的前提下，推荐使用更少的原生材料、更多的再生材料。
2. 可再生能源采用：目前工厂采用外购电网电、绿电交易、外购天然气作为主要能源，可考虑进一步提高可再生能源使用比例，这将有助于减少生产过程中的环境影响，并减轻对有限的化石能源的依赖。
3. 节能措施：实施节能技术，包括优化生产线、改进设备效率和减少能源浪费。生产过程能源节约可进一步降低制造加工阶段的潜在环境影响。

通过采纳这些建议，可以继续降低产品生命周期环境影响，不仅有助于满足日益增长的环保要求，同时可以为公司创造更多的商业机会，体现社会责任。

8. 引用 References

- [1] ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework, International Organization for Standardization, Geneva
- [2] ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and Guidelines, International Organization for Standardization, Geneva
- [3] ISO 14067: 2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication

附录 a 环境影响种类说明 Appendix a. Description of Environmental Impact Categories

1. 酸化 (Acidification)

评估硫氧化物、氮氧化物等酸性物质对土壤和水体的酸化影响，以氢离子当量 (mol H⁺ eq) 表示。

2. 气候变化 (Climate Change)

衡量温室气体排放对全球变暖的贡献，以二氧化碳当量 (CO₂ eq) 表示，涵盖二氧化碳、甲烷、氮氧化物等。

3. 生态毒性-淡水 (Ecotoxicity - Freshwater)

评估化学物质对淡水生物的毒性影响，以 CTUe (生态毒性单位) 表示。

4. 颗粒物形成 (Particulate Matter Formation)

衡量空气污染物 (如 PM_{2.5}、PM₁₀) 对呼吸系统健康的影响，以 disease inc. 表示。

5. 富营养化-海洋 (Eutrophication - Marine)

评估氮、磷等营养物质对海洋生态系统的富营养化影响，以 N 当量表示。

6. 富营养化-淡水 (Eutrophication - Freshwater)

量化氮、磷等营养物质进入淡水系统后导致藻类过度生长的环境影响，以 P 当量表示。

7. 富营养化-陆地 (Eutrophication - Terrestrial)

衡量氮沉降对陆地生态系统的富营养化影响，以 mol N 当量表示。

8. 人体毒性-癌症效应 (Human Toxicity - Cancer Effects)

量化化学物质通过空气、水或土壤暴露对人体致癌风险的潜在影响，以 CTUh (致癌毒性单位) 表示。

9. 人体毒性-非癌症效应 (Human Toxicity - Non-Cancer Effects)

评估化学物质对人体健康的非致癌毒性影响，如器官损伤或免疫系统抑制，以 CTUh 表示。

10. 电离辐射 (Ionizing Radiation)

评估放射性物质对人体和生态系统的潜在危害，以 U235 当量表示。

11. 土地利用变化 (Land Use)

衡量土地利用变化（如森林砍伐、农业扩张）对生态系统服务和生物多样性的影响，以 Pt 表示。

12. 臭氧层消耗 (Ozone Depletion)

评估释放到大气中的化学物质（如 CFCs）对平流层臭氧层的破坏，以 CFC-11 当量表示。

13. 光化学臭氧形成 (Photochemical Ozone Formation)

衡量挥发性有机化合物（VOCs）和氮氧化物在阳光下反应生成地面臭氧的影响，以 NMVOC 当量表示。

14. 资源消耗-化石能源 (Resource Use - Fossil Fuels)

评估化石能源（如石油、天然气）的消耗对资源耗竭的影响，以 MJ 表示。

15. 资源消耗-矿物和金属 (Resource Use - Minerals and Metals)

衡量矿物和金属资源的消耗对资源稀缺性的影响，以 kg Sb 当量表示。

16. 水资源消耗 (Water Use)

评估淡水资源的消耗对生态系统和人类可用水资源的潜在影响，以立方米 (m^3) 表示。

附录 b 引用数据集 Appendix b. Cited data sets

数据集名称	来源
Aluminium, primary, ingot {RoW} aluminium production, primary, ingot Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Silicon, metallurgical grade {RoW} silicon production, metallurgical grade Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Aluminium, wrought alloy {RoW} treatment of aluminium scrap, new, at remelter Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Aluminium, cast alloy {GLO} aluminium ingot, primary, to aluminium, cast alloy market Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Refractory, high aluminium oxide, packed {RoW} refractory production, high aluminium oxide, packed Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Transport, freight, lorry, 16-32 metric ton, diesel, EURO 5 {RoW} market for transport, freight, lorry, 16-32 metric ton, diesel, EURO 5 Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Electricity, medium voltage {CN-NCGC} market for electricity, medium voltage Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Electricity, low voltage {CN-TJ} electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Heat, central or small-scale, natural gas {RoW} market for heat, central or small-scale, natural gas Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Municipal solid waste {RoW} treatment of municipal solid waste, municipal incineration Cut-off, S	Ecoinvent 3.11
Bottom ash, MSWI, waste aluminium {RoW} treatment of bottom ash, MSWI, waste aluminium, slag compartment Cut-off, S	Ecoinvent 3.11

注：GLO：全球地区；CN：中国地区；RoW：世界其他地区。

附录 c 初级数据 Appendix c. Primary Data

输入/输出数据清单如下表 c.1 和表 c.2。

表 c.1 再生铝铝液输入/输出清单

生命周期活动		名称	总投入量	单位
原材料获取	原辅材料获取	工业硅	763.34	t
		金属镁	23.32	t
		金属铜（再生铜）	170.29	t
		金属锰	0.68	t
		再生铝（消费后）	49963.20	t
		客户返回料（消费前再生铝）	32575.70	t
		自产铝锭（消费前）	5771.98	t
		铝锰中间合金	0.05	t
		铝铁中间合金	0.04	t
		铝钛中间合金	0.00005	t
		铝铜中间合金	0.00005	t
		精炼剂	236.36	t
	包材获取	耐火棉	21.10	t
	上游运输	货运	31674973.60	tkm
生产制造	能资源消耗	电网电	644008.00	kWh
		光伏电	626661.00	kWh
		绿电交易电量	1091200.00	kWh
		天然气	5748665.00	m³
		液氮	188222.00	kg
	废弃物处理	颗粒物（烟尘）	1153.00	kg
		二氧化硫	3691.00	kg
		氮氧化物	14984.00	kg
		可再生类固废	1316.00	t
		其它工业固废	165.00	t
		铝渣	4227.00	t
		铝灰	717.00	t
废弃物运输		2931180.00	tkm	
产品产量				
主产品		再生铝合金液	78788.22	t

表 c.2 纯铝铝液输入/输出清单

生命周期活动		名称	总投入量	单位
原材料获取	原辅材料获取	A00 铝	5215.89	t
		工业硅	487.48	t
		金属镁	20.52	t
		金属锰	0.38	t
		客户返回料（消费前）	2123.01	t
		自产铝锭（消费前）	23.49	t
		铝钛中间合金	42.50	t
		铝锆中间合金	18.80	t
		铝锰中间合金	156.77	t
		铝锆中间合金	0.30	t
		铝铁中间合金	0.36	t
		铝铜中间合金	0.02	t
		精炼剂	19.26	t
包材获取	耐火棉	2.00	t	
上游运输	货运	5798152.68	tkm	
生产制造	能资源消耗	电网电	63693.00	kWh
		屋顶光伏电	61977.00	kWh
		绿电交易电量	107921.00	kWh
		天然气	977250.56	m3
		液氮	18615.00	kg
	废弃物处理	颗粒物（烟尘）	114.00	kg
		二氧化硫	365.00	kg
		氮氧化物	1482.00	kg
		可再生类固废	130.00	t
		其它工业固废	16.00	t
		铝渣	418.00	t
		铝灰	71.00	t
		废弃物运输	289940	tkm
产品产量				
主产品		纯铝铝合金液	7705.64	t