



内蒙古创新轻量化新材料有限公司 铝合金型材生命周期评价报告

2024年12月12日



目 录

1. 企业及产品介绍	4
1.1 公司简介	4
1.2 产品介绍	4
2. 目标与范围的定义	5
2.1 研究目的	5
2.2 研究范围	5
2.2.1 功能单位	6
2.2.2 系统边界	6
2.2.3 取舍原则	7
2.2.4 相关假设	7
3. 生命周期清单分析	8
3.1 前景数据	8
3.2 背景数据和数据质量	11
4. 生命周期影响评价	12
4.1 中点结果	12
4.2 对环境造成影响的主要阶段	14
4.3 对环境造成影响的主要单元过程	16
5. LCA 结果解释	18
5.1 完整性	18
5.2 敏感性分析	18
5.3 不确定性分析	19
5.4 一致性	20
6. 结论、限制和建议	23
6.1 结论	23
6.2 限制	23
6.3 建议	24
附录	25



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	Product carbon footprint(产品碳足迹)
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)
BSI	British Standards Institution(英国标准协会)
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)



1. 企业及产品介绍

1.1 公司简介

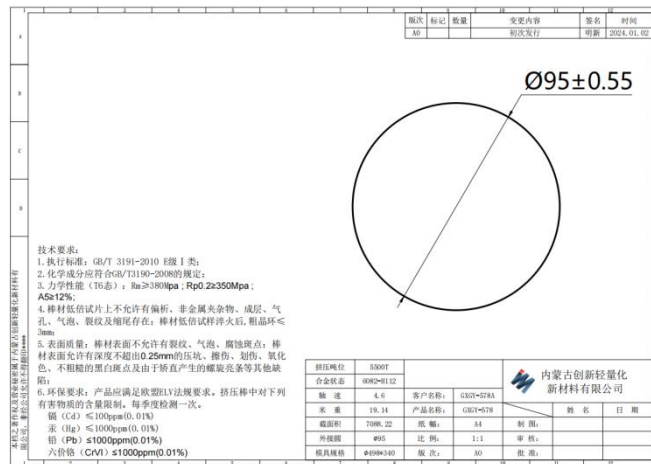
内蒙古创新轻量化新材料有限公司是创新集团旗下上市公司创新新材的全资子公司，成立于2022年10月12日，位于美丽的霍林郭勒铝产业园C区，公司依托于创新集团的绿电铝及全产业链优势，进一步延链、补链新建汽车轻量化铝合金精深加工项目，项目总投资7.65亿元，占地面积9.5万平方米。

1.2 产品介绍

我公司现产铝合金型材主要是铝合金锻打棒，该产品主要用于汽车制造。

铝合金具有密度小、比强度高、耐腐蚀性好等优点。常见的用于汽车锻打棒的铝合金有6061、6063、6082等型号。像6061合金锻打棒，它含有镁

和硅元素，强度中等，具有良好的耐腐蚀性，加工性能也不错；6063合金的锻打棒，其挤压性和耐蚀性优良，通常表面光泽度较高，适用于外观有要求的汽车部件；在物理特性方面，它密度较小，一般约为 $2.7 - 2.8\text{g/cm}^3$ ，比钢材轻很多，能够有效减轻汽车自重。其比强度（强度与密度之比）高，这意味着在相同强度要求下，使用铝合金锻打棒比钢材能更好地降低重量。并且耐腐蚀性良好，在一些有腐蚀风险的环境中，比如在雨雪天气下接触水和盐分的汽车部件，能够长时间保持性能稳定。在汽车制造中，铝合金锻打棒用途广泛。它用于制造汽车轮毂，在保证足够强度的同时减轻重量，有利于车辆的操控和节能；用于悬挂臂，能提升汽车悬挂系统的响应速度；还用于发动机支架等部件，帮助减少发动机工作时产生的震动向车身的传递。





2. 目标与范围的定义

2.1 研究目的

本研究的目的是根据 ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 和 ISO 14025 标准,评估内蒙古创新轻量化新材料公司生产的铝合金型材的环境影响。本报告也可以为第三方产品环保声明提供详细的信息和数据支持,为产品设计者和购买者提供可靠的产品环境影响信息。

研究结果将为产品的生产者、设计者、购买者和认证者之间的有效沟通提供适当的参考。本研究结果的潜在交流群体为:内蒙古创新轻量化新材料公司内部管理人员、第三方认证机构、产品设计人员、绿色产品标准开发商、产品购买者,以及公司外部利益相关者,如原材料供应商、企业、当地政府和环保非政府组织。数据资料也可用于下列用途:

三型环境声明 (EPD)

产品回收应用

类似产品对标

绿色产品评估

绿色采购和供应链决策

分析具体指标,如碳足迹或不可再生资源消耗等

2.2 研究范围

本项目生命周期评价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

按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006 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。

2.2.1 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化，以及后续企业披露产品的环境信息，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：1吨铝合金型材。

2.2.2 系统边界

本次研究的系统边界为“摇篮”到“大门”，即原材料获取阶段，生产阶段，由于研究对象为中间产品，所以不包含客户加工、消费使用和产品废弃处置阶段。

1吨铝合金型材生命周期的系统边界如图1所示。

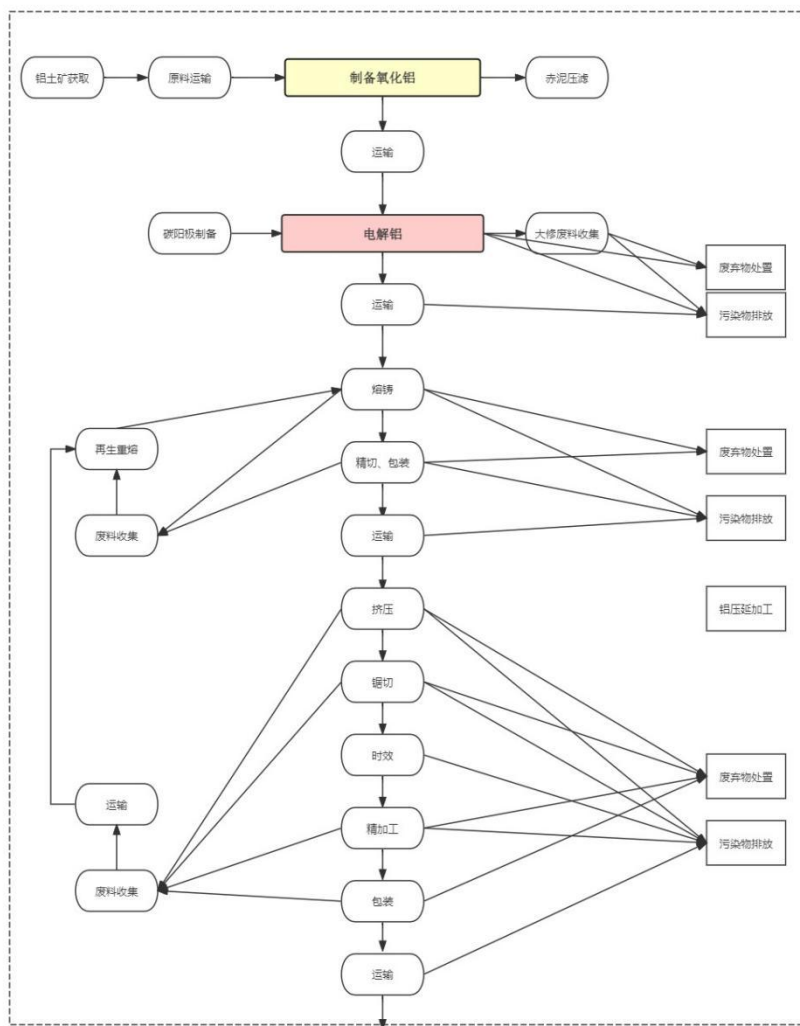


图1 系统边界



2.2.3 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：

- 1) 基于产品投入的比例：舍去质量或能量投入小于 1%的产品/能量投入，但总的舍去产品投入比例不超过 5%。
- 2) 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原料。对于任何类别影响，如果相同影响在一个过程/活动的总和 $<1\%$ ，则此过程可从系统边界中舍去。
- 3) 忽略道路与厂房等基础设施、生产设备、厂区内人员及生活设施的消耗和排放。

2.2.4 相关假设

- 1) 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。
- 2) 功能单位假设：所有数据收集和影响评估都围绕一个衡量标准展开，即：每吨铝合金型材。
- 3) 数据质量假设：设定所需数据的年份为 2024 年、地理范围在内蒙古通辽市霍林郭勒市，数据误差不超过 1%，本报告所提供的前景数据均为实测数据。
- 4) 影响类别选择假设：酸化、全球变暖潜力（GWP100）、淡水水生生态毒性（FAETP）、海洋水生生态毒性（MAETP）、陆地生态毒性（TETP）、非生物性消耗潜力（ADP）：化石燃料、富营养化、人类毒性（HTP）、非生物性消耗潜力（ADP）、臭氧层破坏（ODP）、光化学氧化作用。
- 5) 能源消耗假设：因目前国内的绿电供应方式是火电与绿电混合供应，而本产品使用期间的绿色电力消耗数据不可得，所以采用火电消耗数据代替。



3. 生命周期清单分析

本研究的生命周期数据包括前景数据和背景数据。

3.1 前景数据

前景数据由各公司的工作人员收集提供。前景数据通过现场调查按照“大门到大门”的方法收集，数据收集者通过物料平衡检查对数据进行审核。报告人向数据收集人员证实了这些数据。

原材料消耗量由收集人员提供，并依据功能单元进行计算。根据公司统计数据收集用电量、用水量、柴油消耗量等。

表 1 氧化铝生命周期清单（山东创源新材料）

类别	物质	用量（每吨氧化铝产品）	
		数值	单位
资源消耗	铝土矿	2.75	t
	石灰石	0.013	t
	氢氧化钠	0.070	t
能源消耗	电	188	kWh
	天然气	8.3	m ³
	蒸汽	1.50	t
	水	0.7	m ³
	柴油	0	kg
	煤	145	kg
废气排放	二氧化硫	0.013	kg
	颗粒物	0.0017	kg
	四氟代甲烷	0	kg
	乙烷	0	kg
	化学需氧量	0	g
固体废弃物	赤泥	1.2	t

表 2 电解铝生命周期清单（内蒙古创源金属）

类别	物质	用量（每吨铝水）	
		数值	单位
资源消耗	氧化铝	1.913	t/t AL



内蒙古创新轻量化新材料有限公司

Inner Mongolia Innovation Lightweight New Materials Co.,Ltd.

	氟化铝	0.016	t/t AL
	阳极炭块	0.479	t/t AL
能源消耗	电	13418	Kwh/t AL
	水	2.5	t/t AL
	柴油	3.098	L/t AL
废气排放	S02	1.423	kg/t AL
	氟化物	0.006	kg/t AL
	颗粒物	0.094	kg/t AL
废水	废水	0.843	t/t AL
	悬浮物	5.00	mg/L
	COD	28.00	mg/L
固体废弃物	废阳极炭块	0.0697	t/t AL
	碳渣	0.0070	t/t AL
	大修渣	0.0146	t/t AL

表 3 铝合金圆铸棒生命周期清单（内蒙古创新新材料）

类别	物质	用量（每吨铝合金圆铸棒）	
		数值	单位
资源消耗	原铝液	0.81	t
	回收铝	0.09	t
	铝硼合金	0.15	Kg
	铝锆合金	0.31	Kg
	乙炔	0.17	Kg
	添加剂（铬剂）	4.35	Kg
	添加剂（锰剂）	18.01	Kg
	添加剂（钛剂）	1.86	Kg
	添加剂（铁剂）	7.39	Kg
	添加剂（铜剂）	3.24	Kg
	添加剂（精炼剂）	16.9	Kg
	添加剂（除钙剂）	1.14	Kg
	添加剂（反渗透阻	0.073	Kg
能源消耗	电	27	kWh
	水	0.4	m ³
	天然气	15	m ³



内蒙古创新轻量化新材料有限公司

Inner Mongolia Innovation Lightweight New Materials Co.,Ltd.

	柴油	0.29	Kg
废气排放	NOX	0.17	Kg
	颗粒物	0.64	Kg
	SO2	0.11	Kg
	COD	0.019	Kg
废水	BOD5	0.010	Kg
	SS	0.021	Kg
	NH3-N	0.005	Kg
	铝灰	0.09	t
固体废弃物	除尘灰	0.04	t

表 4 铝合金型材生命周期清单（内蒙古创新轻量化）

类别	物质	用量（每吨铝合金型材产品）	
		数值	单位
资源消耗	铝棒	1.72	t
	氢氧化钠	5.03	t
	切削液	1.2	Kg
	除铝剂	8.73	Kg
	液氮	2.78	Kg
能源消耗	电	1041.7	kWh
	中水	1.42	m ³
	蒸汽	4.04	GJ
	天然气	52.33	m ³
	柴油	0.45	Kg
废气排放	非甲烷总烃	0.392	g
	颗粒物	72.4	g
	二氧化硫	2.2	g
	氮氧化物	0.0021	g
固体废弃物	废切削液	1.2	Kg
	废油	0.15	Kg
	铝酸钙	16.5	Kg
	废铝	0.68	t



3.2 背景数据和数据质量

背景数据来自 openLCA 软件和 ecoinvent 3.9.1 数据库。这些数据属于从“摇篮”到“大门”类别。



4. 生命周期影响评价

4.1 中点结果

本次生命周期评价（LCA）分析基于铝型材生产的功能单元，旨在评估生产过程中的环境影响。数据来源于 openLCA 软件和 ecoinvent 3.9.1 数据库。这些工具和数据库为本次 LCA 分析提供了详细的生命周期影响数据和相应的分类信息。

openLCA 是一款开源的生命周期评估（LCA）软件，广泛用于环境影响评估、碳足迹计算和生态效益分析。该软件支持多种 LCA 方法，并具有强大的数据管理功能，使得用户可以进行详细的生命周期环境影响分析。openLCA 不仅支持用户自定义的生命周期清单（LCI），还可以方便地与不同的 LCA 数据库进行对接，帮助研究人员更高效地进行综合评估。

ecoinvent 3.9.1 是当前最为广泛使用的 LCA 数据库之一，提供了大量的全球环境影响数据，涵盖了多种生产过程、产品和服务的生命周期信息。该数据库包含了详尽的原材料生产、能源消耗、废物排放等数据，是进行生命周期分析的关键工具之一。ecoinvent 数据库基于全球范围内的实际数据，确保了 LCA 结果的准确性和代表性。

ecoinvent - CML v4.8 2016 是一种生命周期影响评估方法（LCIA），由荷兰莱顿大学的 CML（Centre of Environmental Science）研究团队开发，作为生命周期评估（LCA）的一部分用于衡量不同过程和产品对环境的影响。这一版本，发布于 2016 年，包含了多个环境影响类别，例如全球变暖、酸化、富营养化等，通过对每个生命周期阶段的影响进行量化，并最终计算出总的环境影响。1 吨铝型材产品对环境的具体影响如下表所示。

表 5 铝型材的中点环境影响（所有数据均基于功能单元）

影响类别	单位	数量
酸化	kg SO ₂ -Eq	143.28
全球变暖潜力（GWP100）	kg CO ₂ -Eq	20567.90
淡水水生生态毒性（FAETP）	kg 1,4-DCB-Eq	21169.17
海洋水生生态毒性（MAETP）	kg 1,4-DCB-Eq	57533471.45



陆地生态毒性 (TETP)	kg 1,4-DCB-Eq	92.32
非生物性消耗潜力 (ADP)：化石燃料	MJ	311689.67
富营养化	kg PO4-Eq	37.84
人类毒性 (HTP)	kg 1,4-DCB-Eq	54889.32
非生物性消耗潜力 (ADP)	kg Sb-Eq	0.02
臭氧层破坏 (ODP)	kg CFC-11-Eq	0.00
光化学氧化作用	kg ethylene-Eq	8.07

根据功能单元“生产 1 吨铝型材”的 LCA 结果，我们分析了各个环境影响类别的具体数据，并从不同角度对其影响做出评估。

生产 1 吨铝型材的全球变暖潜力为 20,567.90 kg CO₂-Eq，表明该生产过程对气候变化的影响较为显著。铝型材生产中大量的温室气体排放，尤其是二氧化碳的释放，直接贡献于全球变暖。这一结果表明，铝型材生产是一个高碳排放的工业过程。

在其他环境污染方面：1.单位质量（1 吨）铝型材生产过程的酸化潜力为 143.28 kg SO₂-Eq。酸化指的是酸性气体（如二氧化硫、氮氧化物等）对空气、水体和土壤的影响，这些气体可能导致水体和土壤酸度的升高，进而影响生态系统的健康。2.光化学氧化作用的潜力为 8.07 kg ethylene-Eq，反映了生产过程中产生的挥发性有机化合物（VOCs）对臭氧的形成贡献。地区臭氧浓度升高，从而引发光化学烟雾、空气污染以及对人类健康的危害。3.富营养化潜力为 37.84 kg PO₄-Eq，表明铝型材生产过程中会释放营养物质（如氮、磷等），这些物质进入水体后会促进藻类的过度生长，进而造成水体富营养化，影响水体生态健康，造成氧气耗尽和水生物的死亡。4.臭氧层破坏潜力为 0.00 kg CFC-11-Eq，该数据表明铝型材生产过程对臭氧层的影响几乎可以忽略不计，有害氯氟烃类物质的释放很低。

生产 1 吨铝型材造成的环境影响包括生态毒性和人类健康影响，该生产过程的淡水水生生态毒性为 21,169.17 kg 1,4-DCB-Eq，海洋水生生态毒性为 57,533,471.45 kg 1,4-DCB-Eq，表明铝型材生产会对水生态系统中的生物产生毒性影响，尤其是重金属和有毒化学物质可能通过水体进入生态系统，影响水生物种和海洋物种的生长和繁殖。陆地生态毒性为 92.32 kg 1,4-DCB-Eq，意味着铝



型材生产过程也会对土壤和陆地生态系统中的生物产生一定的毒性影响。这可能包括通过废料、气体排放等途径对土地的污染。人类毒性为 54,889.32 kg 1,4-DCB-Eq, 显示铝型材生产过程对人类健康的潜在威胁, 尤其是有毒物质的释放可能对空气质量造成影响, 进而影响人类的呼吸系统和健康。

资源和能源消耗方面, 单位铝型材生产的化石燃料消耗潜力为 311,689.67 MJ, 显示铝型材生产对化石能源(如煤、石油、天然气等)的依赖较大。由于化石燃料的消耗会直接导致温室气体排放, 并加剧能源资源的紧张, 这一指标反映了铝型材生产对能源资源的高消耗。单位铝型材生产过程对稀有金属的消耗为 0.02 kg Sb-Eq。这表明生产过程中虽然对稀有金属的消耗较少, 但仍有一定的资源消耗, 尤其是对稀有金属的开采和使用需要谨慎考虑其可持续性。

从以上 LCA 分析结果可以看出, 铝型材生产过程的环境影响主要体现在在气候变化(全球变暖潜力)、酸化、海洋水生生态毒性、富营养化和资源消耗方面。

4.2 对环境造成影响的主要阶段

在本次铝型材生产的生命周期评价中, 依据功能单元 1 吨铝型材生产的环境影响数据, 分别按照 LCA 中的范围一、范围二和范围三进行分类分析。具体定义如下: 范围一 (Scope 1) 指直接排放来源, 通常包括生产过程中直接释放到空气、土壤或水中的污染物。例如, 直接排放的温室气体、酸性气体等。对于铝型材生产来说, 这通常包括能源消耗、废气排放等直接来源的污染。范围二 (Scope 2) 指间接排放来源, 通常是由于购买能源(如电力、蒸汽等)所引起的排放。这里不涉及直接的污染排放, 但能源的生产和使用会间接导致温室气体的排放。范围三 (Scope 3) 指所有其他间接排放来源, 包括供应链中的活动、运输、产品使用阶段等。例如, 铝型材生产的原材料(如铝土矿、石灰石等)的开采和运输等。

全球变暖潜力的主要来源是范围二的电力消耗, 占比高达 90%以上。这反映了铝型材生产过程中, 电力的使用(特别是传统化石燃料发电)对温室气体排放的重大影响。酸化潜力的主要来源同样是范围二的电力消耗, 使用煤炭等高碳排放能源时, SO₂、NO_x等酸性气体的排放对环境酸化产生较大影响。减少电力使



用或使用更清洁的能源（如可再生能源）是减少温室气体排放和降低酸化潜力的关键。

生态毒性（包括淡水、海洋和陆地生态毒性）主要由范围三的原材料开采和运输阶段贡献，占比 70%，这些阶段对水生和陆地生态系统的毒性影响较大，尤其是在铝土矿和石灰石的开采与运输过程中。减少原材料开采对生态系统的影响，可以通过提高资源回收利用率和采取更环保的开采技术来实现。

从气候变化、酸化、富营养化和化石燃料消耗等多个维度来看，电力消耗在铝型材生产的环境影响中占据主导地位。特别是在使用传统化石燃料电力的背景下，电力生产所带来的间接排放对环境影响极为显著。因此，推行清洁能源（如太阳能、风能等）替代传统煤电将有效降低这些环境影响。通过提高生产工艺效率，减少能源和资源的浪费，能够从整体上降低生产过程中的环境影响。

铝土矿、石灰石等原材料开采及运输对生态毒性、富营养化等影响较大。通过优化供应链管理、提高原材料的回收利用率、采用更环保的开采技术，可以减少这些影响。

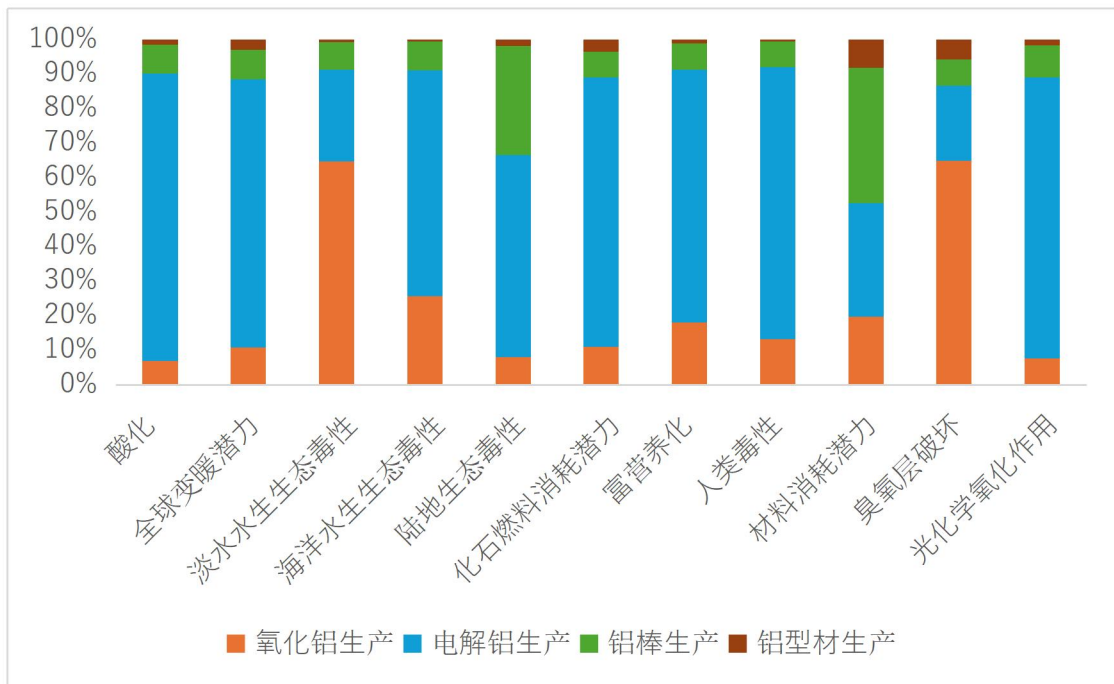


图 2 各生产流程对不同类别的环境影响的贡献



4.3 对环境造成影响的主要单元过程

根据生命周期评价（LCA）的结果，铝型材生产过程的环境影响可以分为以下几个阶段：氧化铝生产（铝土矿提取并转化为氧化铝的过程），电解铝生产（利用电解方法将氧化铝转化为铝水的过程），铝棒生产（电解铝生产后的铝金属进一步加工成铝棒的过程），铝型材生产（铝棒进一步加工成铝型材的过程）。每个阶段对环境影响的贡献不同，具体的影响主要体现在全球变暖潜力（GWP）、酸化、富营养化、生态毒性、化石燃料消耗潜力等方面。

氧化铝生产是铝型材生产的第一步，虽然该阶段的全球变暖潜力相对较低，但其能源消耗较高，尤其是在化石燃料消耗上。氧化铝生产过程中对海洋水生生态的毒性影响较大，这主要与铝土矿的提取和精炼过程中的废弃物排放（如废水、废渣）有关。

电解铝生产是铝型材生产过程中对环境影响最大的阶段，特别是在全球变暖潜力（15,968.63 kg CO₂-Eq）和化石燃料消耗潜力（243,351.96 MJ）上，表现非常突出。这主要是由于电解铝过程需要大量的电力，若电力来源主要为化石燃料发电，其温室气体排放和化石燃料消耗将非常显著。此外，电解铝过程中废气和废水的排放对酸化和生态毒性产生较大影响。

铝棒生产的环境影响较氧化铝和电解铝生产小。尽管全球变暖潜力、酸化潜力等数值较低，但铝棒生产仍然消耗大量化石燃料，且海洋水生生态毒性较为显著。这可能与铝棒生产过程中的金属冶炼和废气排放有关。铝型材生产阶段的环境影响相对较小，但在海洋水生生态毒性方面仍占有较大的比重。这表明虽然铝型材生产过程本身相对清洁，但依赖于先前的铝棒生产过程，铝型材生产的环境影响仍不可忽视。

从环境影响的各个角度来看，电解铝生产对铝型材生产的环境影响贡献最大，特别是在全球变暖潜力、酸化、化石燃料消耗潜力和生态毒性等方面。为了降低铝型材生产的环境负荷，重点应该放在电力来源的优化和能源效率的提高上。此外，氧化铝生产和铝棒生产也对环境有一定影响，尤其是在生态毒性和化石燃料消耗方面。因此，改进生产工艺、提高能源利用效率、采用更环保的材料和工艺，将有助于降低整个铝型材生产过程的环境影响。海洋水生生态毒性的主要来源是



电解铝生产过程中的废水和废气排放。减少废水排放、提高水处理技术、优化生产工艺可有效减少该类别的生态毒性。

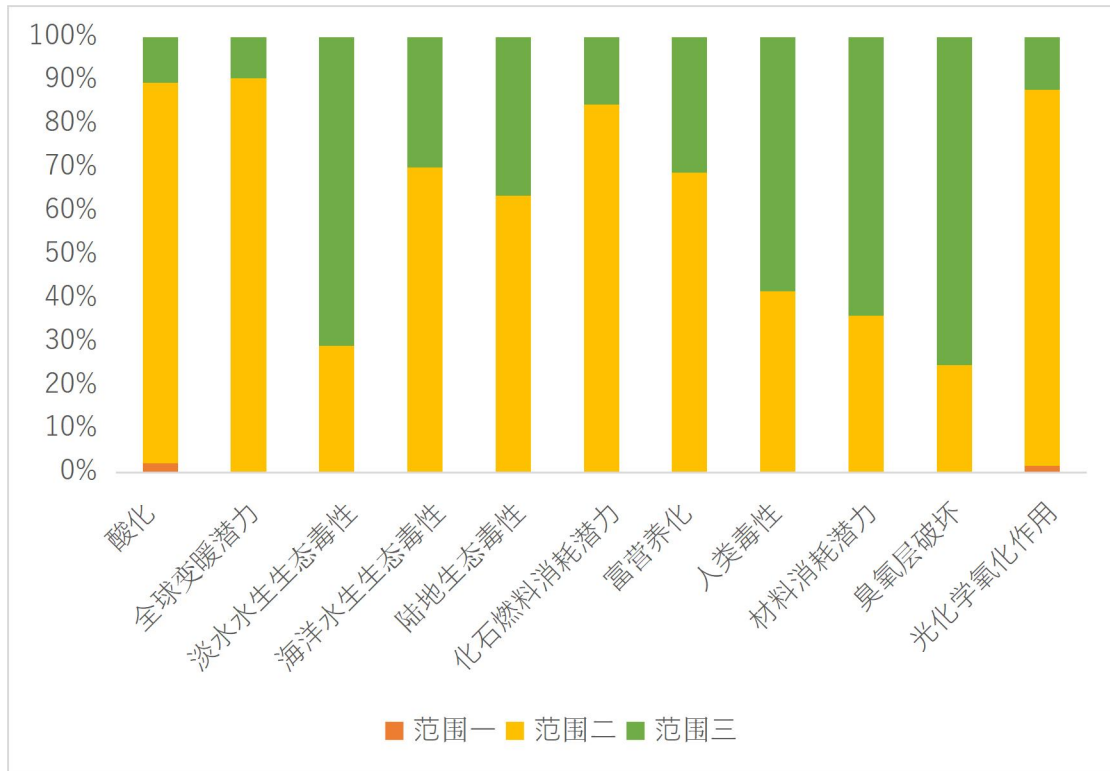


图 3 全生命周期范围一、二、三对不同类别环境影响的贡献



5. LCA 结果解释

根据 ISO 14044: 2006 对生命周期解释的要求, 这个阶段主要包括: 主要问题的识别、完整性、灵敏度和一致性检查, 最后是结论、局限性和建议。

5.1 完整性

按照 ISO14044:2006 的要求, 实施了“从摇篮到大门”的完整性检查, 包括:
产品生命周期过程的完整性(从摇篮到大门);

—— 本研究界定的系统边界为“从摇篮到大门”。系统边界包括原材料阶段、产品制造阶段。研究的前景数据包括材料消耗和运输, 背景数据被设定为“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;

—— 根据表 3, 所收集的前景数据包括生产该产品所需的原材料、能源数据、材料的运输数据。原始数据的收集已经完成。

获得了重要的输出和固体废物数据。

—— 根据表 3, 本研究收集了大气污染物的数据。

此外, 固体废物可重复利用。由于缺乏数据, 本研究假设所有固体废弃物填埋处理。

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。

5.2 敏感性分析

灵敏度分析的定义是通过确定 ISO 14044: 2006 对数据、分配方法、参数的计算的不确定性对最终结果和结论的影响来评估其可靠性, 主要分析如下: 基于电力消耗变化 10%的敏感性分析结果可以看出, 电力消耗对酸化潜力、全球变暖潜力 (GWP100)、光化学氧化作用等影响类别的变化尤为显著。电解铝过程电力消耗增加 10%通常会导致这些环境影响指标的显著上升, 反之, 电解铝过程电



力消耗减少 10%将有助于显著降低这些环境影响。

此外，非生物性消耗潜力（ADP）、富营养化和人类毒性等类别的变化较为明显，而其他如**臭氧层破坏（ODP）和淡水水生生态毒性（FAETP）**的变化则相对较小。因此，电力消耗是影响铝型材生产过程环境影响的一个重要因素，优化电力消耗、提高能源效率或转向低碳电力将有助于降低多个环境影响类别的总体影响。

表 6 主要贡献者的灵敏度分析

影响类别	电力 10%
酸化	8%
全球变暖潜力（GWP100）	7%
淡水水生生态毒性（FAETP）	3%
海洋水生生态毒性（MAETP）	6%
陆地生态毒性（TETP）	5%
非生物性消耗潜力（ADP）：化石燃料	7%
富营养化	6%
人类毒性（HTP）	4%
非生物性消耗潜力（ADP）	3%
臭氧层破坏（ODP）	1%
光化学氧化作用	8%

5.3 不确定性分析

能源使用与电力结构的差异：铝型材的生产过程，特别是在电解铝生产阶段，极为依赖电力消耗，电力消耗占据了铝生产过程中最大的能源需求部分。在本研究中，使用的电力消耗数据基于特定工艺和地区的能耗数据（如电解铝生产过程中每吨铝所需的电力），但在实际生产中，电力消耗量可能会因生产工艺、设备效率、生产负荷等因素有所波动。如果用电量比预估值低（例如通过技术改进减



少电力消耗），这些潜力指标将有所降低。

原材料供应链与运输：铝型材生产的原材料——铝土矿（bauxite）和铝锭的生产过程对环境的影响至关重要。原材料的开采和运输过程涉及到大量的能源消耗和排放，尤其是在铝土矿的开采、铝土矿的精炼以及铝锭的生产环节。在本研究中，铝土矿的市场数据基于次级数据（如市场平均数据），这些数据可能无法完全反映实际生产中各个环节的差异。例如，铝土矿的开采运输过程中，如果运输距离较长，或者选择了高排放的运输方式（如使用柴油运输），可能导致富营养化和酸化潜力的增加。假设运输环节的能源来源发生变化（例如，采用电动运输工具），对酸化潜力和富营养化的影响可能会有所改善。

在铝型材生产过程中，回收铝的使用比例及其回收效率将显著影响生命周期的环境影响。当前研究假设铝棒生产使用的原材料中 10% 为回收铝，但实际回收铝的比例可能因技术以及市场供应的不同而有所变化。铝型材生产过程中会产生一些废弃物，如赤泥（red mud）、铝电解槽废料等。这些废弃物的处理方式会直接影响人类毒性、生态毒性以及其他环境影响类别。采用更为环保的处置方式（如废料回收或土地填埋减少有害物质释放），可以降低相关的生态毒性和人类毒性排放。然而，赤泥的处置和铝电解槽废料的管理受到当地政策、技术以及环境法规的制约，因此在不同地区可能会有较大的差异。

总的来说，本次 LCA 结果反映了铝型材生产过程中的主要环境影响，并揭示了在不同假设下结果的潜在变化范围。为了提高结果的可靠性，未来研究可以进一步精细化数据收集，考虑更为具体的地区性和技术性差异，并探索不同技术路径下的环境影响，尤其是通过提高能源效率和优化废弃物管理来减少整体的环境负荷。

5.4 一致性

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？

本研究中使用了来自多个不同数据库和数据集的数据，包括来自 ecoinvent 3.9.1 数据库的数据（例如电解铝生产、电力生产、氧化铝生产等），以及从区



域性生产活动获取的数据（氧化铝生产、电解铝过程、铝棒和铝型材生产中的电力消耗等）。

b) 区域和/或时间差异（如果有的话）是否一直适用？

区域差异：本研究中的数据源来自不同地区，主要集中在中国（铝电解过程中的高压电力（CN-CHUANGYUAN）和铝型材生产的电力数据（CN-NM）。部分数据集则基于全球（GLO）平均水平，如铝土矿和铬的生产数据、部分原材料的市场数据等。

由于中国的能源结构与其他地区（如欧洲或全球平均水平）不同，使用全球平均数据可能无法准确反映中国本地实际生产过程的环境影响。特别是，中国以煤电为主，导致高温煤电生产和排放相关的环境影响较大，而全球数据可能低估了这一点。大部分使用的数据集为 2021 年的平均数据，这基本能代表当前的生产水平，并将电力数据更新到中国官方发布最新数据。

c) 分配规则和系统边界一直应用于所有产品系统吗？

本研究采用了从摇篮到大门的生命周期评价系统边界，涵盖了铝型材生产的所有主要阶段，包括氧化铝生产、电解铝生产、铝棒生产和铝型材生产等。所有相关的输入（如能源、原材料）和输出（如排放、废物）都被纳入分析。

研究使用的背景数据集遵循了特定的分配规则。例如，ecoinvent 3.9.1 数据库中的分配规则考虑了生产过程的物质和能量流动，并采用了“切断法”处理多产品系统的交叉影响。此外，部分背景数据如铝土矿的市场数据，采用了全球市场数据（GLO）。

在选择分配规则时，本研究保持一致性，确保所有生命周期阶段采用相同的规则 and 标准来处理多产品系统，特别是在涉及共享能源和原材料的过程中。本研究采用了一致的分配规则和系统边界，确保了所有产品系统在生命周期评价中的统一性和可比性。

d) 影响评估的要素是否一直被应用？

本研究使用的影响评估模型为 CML 4.8，这一模型广泛应用于全球范围的生命周期影响评估，符合国际标准，并被广泛认可为适用于评估全球范围内的环境影响。其适用性在本研究中没有受到地理位置或产品系统差异的限制。

本研究涉及的影响类别包括全球变暖潜力（GWP）、酸化、富营养化、生



态毒性（淡水、海洋、陆地）、化石燃料消耗潜力等。这些影响类别是 CML 4.8 模型中标准的评估类别，确保了影响评估要素的一致应用。覆盖了所有相关的环境影响类别，确保了影响评估的一致性。



6. 结论、限制和建议

6.1 结论

根据特征化结果表明，铝合金型材生产对气候、能源、健康等方面的影响巨大，灵敏度分析也强调了电解铝过程电力消耗增减会导致这些环境影响指标的显著变化。综上所述，可以得出以下结论：

一是可在产品设计阶段指导决策，优化材料选择、生产工艺和包装，以减少对环境的负面影响。

二是评估整个供应链中的环境热点，有助于选择环保供应商、降低运输成本、减少资源浪费，从而提高整体供应链的可持续性。

三是优化能源结构，一方面提高电流效率，节能降耗，另一方面推行清洁能源（如太阳能、风能等）替代传统煤电将有效降低这些环境影响。

四是提高废弃物排放及回收过程管理，通过优化工艺流程，增加环保设施可以减少废弃物排放或达标排放，以及提高再生铝的使用（尤其是废铝重熔）可以大幅降低整个产品生命周期对环境的影响。

五是本着节约资源、保护环境的生产原则，提高产品的成品率至关重要，减少废料回收处置的能源消耗，也可以有效降低对环境的影响。

6.2 限制

本研究的主要局限性是：

系统边界：产品的使用和废弃阶段通常是 LCA 研究中要考虑的一个过程。本研究定义的系统边界为“从摇篮到大门”的生命周期阶段，不包括生命周期的使用和废弃阶段。

数据完整性和准确性：数据集的代表性与实际情况有所不同，这也是未来研究需要改进的地方。由于数据的不可获得性，采用全球数据而不是中国本地数据进行计算，可能会高估或低估环境影响。



6.3 建议

在本研究中，前景数据由公司的工作人员提供，数据质量可靠。电力属性为火电，可以保障数据的准确性。为了使研究数据更加准确，为企业、产品设计人员和第三方认证机构提供更加可靠、准确的数据信息，在今后的研究中有必要提高二手数据集的质量。产品的使用和寿命终点不包括在系统边界内，这在未来的研究中需要考虑。

附录

过程	酸化	全球变暖潜力	淡水水生生态毒性	海洋水生生态毒性	陆地生态毒性	非生物性消耗潜力：化石燃料	富营养化	人类毒性	非生物性消耗潜力	臭氧层破坏	光化学氧化作用
	kg SO2-Eq	kg CO2-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	MJ	kg PO4-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg Sb-Eq	kg CFC-11-Eq	kg ethylene-Eq
氧化铝生产	4.57E-02							3.65E-03			1.83E-03
电解铝生产	2.61E+00							2.09E-01			1.05E-01
铝棒生产	3.69E-01						3.76E-02	3.65E-01			1.71E-02
铝型材生产	2.64E-03						2.73E-07	2.14E-04			1.06E-04
乙炔生产	6.95E-03	1.68E+00	6.81E-01	2.53E+03	6.01E-03	1.80E+01	2.77E-03	1.43E+00	3.77E-06	8.54E-09	6.32E-04
金属基复合材料铝合金生产	8.45E-02	1.55E+01	1.18E+01	3.82E+04	5.63E-02	1.49E+02	2.76E-02	3.04E+01	8.08E-04	1.77E-07	6.08E-03
铝硫酸盐生产，粉末	2.26E-01	1.91E+01	5.08E+01	7.37E+04	4.02E-01	1.98E+02	4.77E-02	9.04E+01	9.97E-04	3.51E-07	1.08E-02
铝电解用预烧阳极生产	6.54E+00	5.70E+02	1.20E+02	1.05E+06	3.15E+00	2.62E+04	4.17E-01	2.27E+04	4.90E-04	2.26E-05	3.91E-01
铬生产	8.89E-01	2.17E+02	1.30E+02	3.60E+05	2.36E+01	2.35E+03	3.00E-01	8.86E+02	4.22E-03	1.72E-06	5.73E-02

硬煤生产	6.65E-01	2.15E+02	1.07E+02	2.76E+05	7.53E-01	9.20E+03	5.27E-01	6.04E+02	4.10E-05	1.66E-07	7.20E-02
石灰石生产	1.86E-03	1.47E-01	4.06E-02	8.56E+01	4.30E-04	1.76E+00	4.76E-04	1.35E-01	3.51E-07	1.65E-09	1.28E-04
铝土矿	3.38E+00	2.30E+02	4.03E+01	8.75E+04	1.50E+00	2.84E+03	4.56E-01	1.67E+02	3.20E-04	2.74E-06	1.73E-01
高压电力（电解铝过程）	1.10E+02	1.54E+04	5.47E+03	3.65E+07	5.07E+01	2.17E+05	2.30E+01	2.05E+04	4.81E-03	3.54E-05	6.06E+00
高压电力（铝棒与铝型材生产过程）	8.79E+00	1.16E+03	4.37E+02	2.91E+06	4.05E+00	1.73E+04	1.84E+00	1.63E+03	3.84E-04	2.82E-06	4.84E-01
热力，来自蒸汽（铝型材生产过程）	1.52E+00	5.10E+02	5.65E+01	2.11E+05	9.18E-01	6.25E+03	2.81E-01	1.70E+02	1.30E-04	5.33E-06	9.86E-02
锰	9.81E-01	1.69E+02	5.93E+02	6.69E+05	6.98E-01	1.59E+03	3.39E-01	1.12E+03	4.63E-04	8.39E-07	5.69E-02
天然气，低压	1.40E-01	5.80E+01	1.44E+01	2.16E+04	2.33E-01	4.19E+03	3.08E-02	2.40E+01	1.11E-04	6.36E-06	2.03E-02
中和剂，氢氧化钠当量	3.06E-02	5.98E+00	4.02E+00	1.01E+04	6.13E-02	6.40E+01	1.19E-02	9.21E+00	6.34E-05	3.20E-06	1.68E-03
液态氮	4.92E-03	1.21E+00	4.33E-01	1.75E+03	3.16E-03	1.29E+01	1.96E-03	8.84E-01	1.12E-06	6.00E-09	2.74E-04
铁	5.33E-02	2.54E+01	1.83E+01	3.77E+04	3.92E-02	2.10E+02	6.51E-02	1.34E+01	1.06E-05	1.04E-07	3.78E-03
蒸汽（氧化铝生产过程）	4.54E+00	1.52E+03	1.69E+02	6.32E+05	2.74E+00	1.87E+04	8.39E-01	5.07E+02	3.89E-04	1.59E-05	2.95E-01
钛	8.07E-01	1.52E+02	5.01E+02	7.05E+05	7.11E-01	1.53E+03	3.11E-01	3.16E+02	4.64E-04	1.44E-05	1.15E-01
中和剂，氢氧化钠当量	1.23E+00	2.63E+02	1.68E+02	4.41E+05	2.45E+00	2.84E+03	5.07E-01	3.73E+02	2.40E-03	1.54E-04	7.02E-02

中水	7.47E-03	1.83E+00	6.44E-01	2.56E+03	6.11E-03	1.94E+01	2.64E-03	1.48E+00	2.16E-06	2.40E-08	4.22E-04
铝土矿消化过程中赤泥处理	1.75E-01	3.30E+01	1.32E+04	1.35E+07	1.29E-01	9.18E+02	4.56E+00	5.71E+03	5.57E-05	8.40E-07	1.94E-02
铝电解过程中的废铝处理	6.84E-02	3.88E+01	2.94E+01	3.12E+04	5.31E-02	1.75E+02	4.22E+00	1.87E+01	2.95E-05	1.41E-07	5.85E-03