



内蒙古创新新材料有限公司 生命周期评价报告

2024年12月



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	4
2.1 研究目的	4
2.2 研究范围	5
2.2.1 功能单位	5
2.2.2 系统边界	5
2.2.3 取舍原则	6
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	10
4. 生命周期影响评价	11
4.1 中点结果	11
4.2 对环境造成影响的主要阶段	13
4.3 对环境造成影响的主要单元过程	15
5. LCA 结果解释	17
5.1 完整性	17
5.2 敏感性分析	18
5.3 不确定性分析	19
6. 结论、限制和建议	22
6.1 结论	22
6.2 限制	22
6.3 建议	23
附录	24



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

内蒙古创新新材料有限公司，是山东创新集团所属控股公司，位于“绿电铝之城”内蒙古通辽市霍林郭勒市的铝工业园 C 区，公司成立于 2023 年 8 月，项目总投资约 4.44 亿元，占地面积 9.5 万平方米。内蒙古创新新材料有限公司坚守绿色发展理念，积极培育高质量发展的绿色基础，致力于引领企业和产业朝着可持续发展的方向前进。同时，公司将不断加大节能减排力度，将绿色、低碳、循环的发展理念贯穿于产品的整个生命周期。

1.2 产品介绍

本项目所属行业为有色金属合金制造，项目位于内蒙古通辽市霍林河综合资源循环经济工业园区铝产业 C 区内蒙古创源金属有限公司厂区内轻质高强铝合金材料生产线。项目采用矩形倾动式天然气熔炼炉熔炼，铝液直接由抬包车经导流槽流入熔炼炉，其它合金由人工加入炉内，搅拌、精炼、扒渣、取样、调整、调温、静置、细化、除气过滤、铸造、锯切、均质、冷却等工艺生产轻质高强铝合金圆铸棒。生产过程熔炼炉、均质炉使用天然气作为燃料，燃烧熔炼过程产生颗粒物、SO₂ 以及 NO_x，收集后进入布袋除尘系统；熔炼扒渣过程产生的铝熔渣利用炒灰系统回收铝液，炒灰过程产生的颗粒物收集后进入布袋除尘系统；项目生产过程循环冷却水经沉淀后回用不外排。本项目产生的危险废物铝灰暂存后定期交有资质单位处置。

2. 目标与范围的定义

2.1 研究目的

本研究的目的是参考 ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 和 ISO 14025 标准,评估内蒙古创新新材料有限公司生产的铝棒的环境影响。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吨铝棒。

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 吨铝棒生命周期的系统边界如图 1 所示。

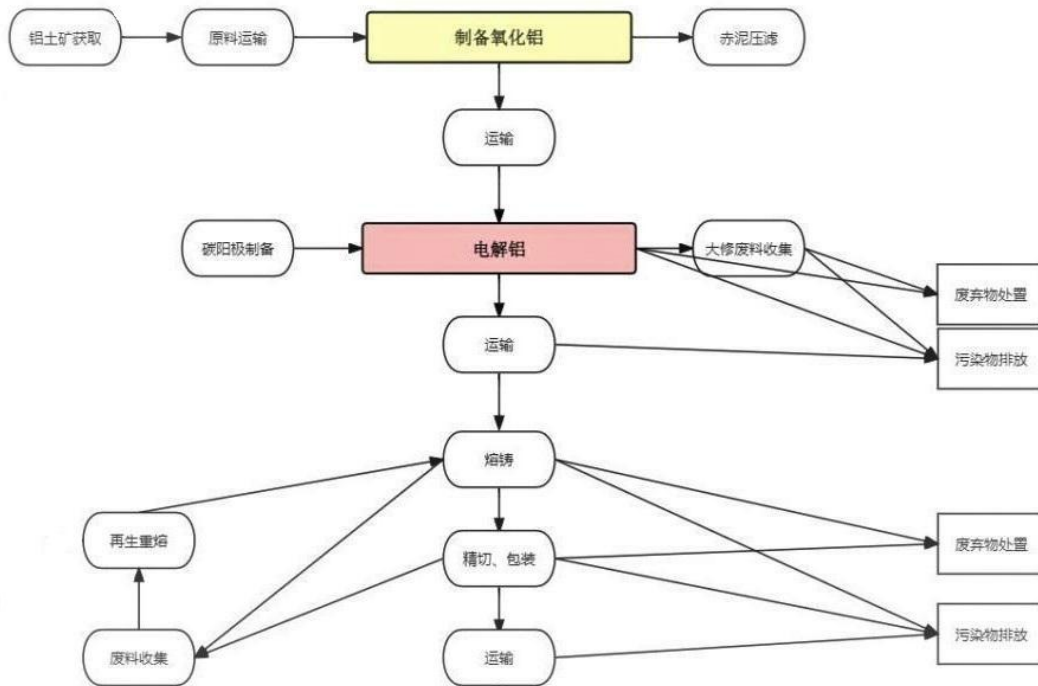


图 1 系统边界

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：每吨铝棒。

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



	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 铝棒生命周期清单（内蒙古创新新材料）

类别	物质	用量（每吨铝棒）	
		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



	柴油	0.29	Kg
废气排放	NOX	0.17	Kg
	颗粒物	0.64	Kg
	SO ₂	0.11	Kg
废水	COD	0.019	Kg
	BOD ₅	0.010	Kg
	SS	0.021	Kg
	NH ₃ -N	0.005	Kg
固体废弃物	铝灰	0.09	t
	除尘灰	0.04	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）分析基于铝棒生产的功能单元，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 吨铝合金圆铸锭对环境的具体影响如下表所示。

表 5 铝棒的中点环境影响（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	80.04
全球变暖潜力（GWP100）	kg CO ₂ -Eq	11343.97
淡水水生生态毒性（FAETP）	kg 1,4-DCB-Eq	12249.08



海洋水生生态毒性 (MAETP)	kg 1,4-DCB-Eq	32615805.13
陆地生态毒性 (TETP)	kg 1,4-DCB-Eq	52.14
非生物性消耗潜力 (ADP)：化石燃料	MJ	171903.26
富营养化	kg PO4-Eq	21.39
人类毒性 (HTP)	kg 1,4-DCB-Eq	31564.01
非生物性消耗潜力 (ADP)	kg Sb-Eq	0.01
臭氧层破坏 (ODP)	kg CFC-11-Eq	0.00
光化学氧化作用	kg ethylene-Eq	4.5

根据功能单元“生产1吨铝棒”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。

1. 环境污染与生态影响

酸化 (80.04 kg SO₂-Eq)：主要由燃烧化石燃料或某些冶金过程中的二氧化硫排放引起，对土壤、水体和植物造成酸性损害。

全球变暖潜力 (GWP₁₀₀) (11,343.97 kg CO₂-Eq)：主要来源于生产过程中的能源消耗，尤其是化石燃料，导致温室气体排放，加速气候变化。

淡水水生生态毒性 (FAETP) (12,249.08 kg 1,4-DCB-Eq) 和 海洋水生生态毒性 (MAETP) (32,615,805.13 kg 1,4-DCB-Eq)：生产过程中可能排放有毒化学物质，特别是重金属或有机溶剂，对水体中的生物造成严重影响，海洋水生生态毒性尤为突出。

陆地生态毒性 (TETP) (52.14 kg 1,4-DCB-Eq)：对陆地生物和土壤的污染影响，来源于金属加工和某些化学品使用。

2. 资源消耗与能源使用

非生物性消耗潜力 (ADP)：化石燃料 (171,903.26 MJ)：显示了该生产过程对化石燃料的大量依赖，能源消耗高，推动了温室气体排放。

非生物性消耗潜力 (ADP) (0.01 kg Sb-Eq)：涉及稀有金属（如锑）的消耗，反映了生产过程中对有限资源的依赖。

富营养化 (21.39 kg PO₄-Eq)：表明生产过程中可能排放了含磷化合物，导

致水体富营养化，可能导致藻类过度生长，影响水质。

3. 健康影响与空气污染

人类毒性（HTP）（31,564.01 kg 1,4-DCB-Eq）：生产过程中可能使用或释放有毒物质（如重金属、化学溶剂等），对工人和周围居民的健康构成威胁。

光化学氧化作用（4.50 kg ethylene-Eq）：表明生产过程可能排放挥发性有机化合物（VOCs）和氮氧化物（NOx），它们在阳光下形成臭氧，影响空气质量和健康。

4. 其他影响

臭氧层破坏（ODP）（0.00 kg CFC-11-Eq）：该过程对臭氧层几乎没有影响，表明没有使用或排放臭氧破坏物质，如 CFCs。

4.2 对环境造成影响的主要阶段

在本次铝棒生产的生命周期评价中，依据功能单元 1 吨铝棒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。对于铝棒生产来说，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，铝棒生产的原材料（如铝土矿、石灰石等）的开采和运输等。

首先，范围一，也即氧化铝生产、电解铝生产和铝棒生产过程的直接排放，这些过程对环境的影响相对较小。例如，酸化、全球变暖潜力、淡水和海洋水生生态毒性等指标的贡献几乎为零。虽然氧化铝和铝棒生产过程中有一定的人类毒性影响，但其总体环境负荷较低。范围一的影响主要源于直接生产过程，但相比其他范围，其对全球变暖、生态毒性等问题的贡献较小。



范围二对环境的影响显著，尤其是在全球变暖潜力和酸化方面。范围二的主要来源是高压电力的使用，尤其是在电解铝和铝棒生产过程中。电力生产中的二氧化硫排放和温室气体排放是导致酸化和全球变暖的主要因素。电力消耗不仅对全球变暖潜力贡献最大（超过 10195 kg CO₂-Eq），还对生态毒性和光化学氧化作用产生了重要影响。此外，范围二也涵盖了蒸汽和天然气等能源的使用，对环境产生一定的负担。总体来看，范围二的环境影响主要与能源消耗密切相关，特别是化石能源的使用。

范围三则主要涉及辅助过程，如铝土矿采集、金属基复合材料铝合金生产、废铝回收等。尽管这些过程在能源使用上相对较少，但它们在生态毒性、资源消耗和人类毒性等方面的贡献较大。例如，铝电解用阳极生产、赤泥处理和金属采矿过程都涉及到有毒物质的使用和排放，导致了较高的淡水和海洋水生生态毒性影响。范围三还对稀有金属（如铬、钛、锰）的消耗产生了较大影响，这些金属的开采和处理对资源消耗潜力和生态环境有着不容忽视的影响。此外，废铝回收等环节对人类健康的影响也较为突出。

综上所述，范围二（能源使用）是导致全球变暖潜力、酸化和生态毒性等环境影响的主要来源，尤其是电力生产过程。范围三则在资源消耗和人类毒性方面占据重要地位，特别是金属生产和废物处理环节。为了降低这些环境负担，未来应重点优化能源使用（例如推动绿色电力替代）和加强废物回收与处理，减少资源消耗及有害物质的排放。

图 2 全生命周期范围一、二、三对不同类别环境影响的贡献

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，铝棒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）。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：氧化铝生产对生态毒性和富营养化的贡献较为显著。具体来说，氧化铝生产的淡水水生生态毒性为 8076.01 kg 1,4-DCB-Eq，而海洋水生生态毒性高达 8765135.88 kg 1,4-DCB-Eq。这表明氧化铝生产在水生生态系统中的影响较为严重。影响的主要原因是铝土矿的开采和氧化铝的处理过程中，废水和有害化学物质的排放。特别是赤泥的处理，是导致水生生态毒性的主要因素。此外，氧化铝生产还对人类毒性有一定影响，其潜力为 4331.69 kg 1,4-DCB-Eq，这与矿物的开采、加工过程中的化学品使用和废弃物处理相关。



电解铝生产： 电解铝生产的最大特点是其对能源消耗和生态毒性的影响，尤其是电力的使用。电解铝生产过程中，大量使用高压电力(主要来自于化石燃料)，导致该过程在全球变暖潜力（9393.13 kg CO₂-Eq）和酸化（70.2 kg SO₂-Eq）方面的影响最大。不同于氧化铝生产，电解铝生产的环境影响主要是由于高能耗，尤其是电解过程中电力的需求。此外，电解铝生产对水生生态系统的影响也较为显著，海洋水生生态毒性高达 22110981.3 kg 1,4-DCB-Eq，这与电解液的使用和废水排放密切相关。总体来看，电解铝生产不仅能源消耗大，还会对水生生态系统造成较大影响，特别是对海洋生物的毒性。

铝棒生产： 铝棒生产的特点在于其对材料消耗潜力和资源消耗的影响。具体来说，铝棒生产涉及到对稀有金属（如铬、锰、铁、钛等）的使用，导致其在材料消耗潜力方面的影响较大。铝棒生产过程中，尤其是在与合金和金属基复合材料相关的环节，消耗了大量的金属原料，因此其对材料资源的消耗潜力（例如铬、钛等）贡献较为突出。除此之外，铝棒生产对海洋水生生态毒性（1739687.96 kg 1,4-DCB-Eq）也有一定的影响，主要源自铝棒生产过程中使用的化学品和废水排放。此外，铝棒生产过程中对淡水水生生态毒性和人类毒性的影响较小，但在一些特殊的生产环节（如使用酸性物质和金属合金）可能会对生态环境和健康产生一定威胁。

从环境影响的各个角度来看，电解铝生产对铝合金圆铸锭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。为了降低铝棒生产的环境负荷，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，将有助于降低整个圆铸锭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 各生产流程对不同类别的环境影响的贡献

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，电力消耗是影响铝棒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	8.1%
全球变暖潜力（GWP100）	8.0%
淡水水生生态毒性（FAETP）	2.6%
海洋水生生态毒性（MAETP）	6.6%
陆地生态毒性（TETP）	5.7%

非生物性消耗潜力 (ADP)：化石燃料	7.4%
富营养化	6.3%
人类毒性 (HTP)	3.8%
非生物性消耗潜力 (ADP)	3.1%
臭氧层破坏 (ODP)	1.4%
光化学氧化作用	7.9%

5.3 不确定性分析

能源使用与电力结构的差异：铝的生产过程，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：铝合金铝棒生产的原材料——铝土矿（bauxite）和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。

在铝棒生产过程中，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。铝棒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，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。

5.2.4 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）和铝合金圆铸锭生产的电力数据（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，涵盖了铝棒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

采用生命周期评价方法,对内蒙古创新新材料有限公司生产的 1 吨铝棒的生命周期环境影响进行了评价。功能单元为内蒙古创新新材料有限公司生产的 1 吨铝棒。产品的系统边界设置为“从摇篮到大门”。根据特征化结果表明,铝棒生产对气候、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。圆铸锭的再利用是资源回收的必然过程,其再生过程也会产生一定的环境影响。由于数据不足,本研究假设固体废弃物的处置方式为填埋,需要增加研究数据。

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。

当其他 LCA 研究需要本研究的 LCI 数据或生命周期结果时，研究者应联系内蒙古创新新材料有限公司，以确保数据和结果的正确使用。

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 SO ₂ -Eq	kg CO ₂ -Eq	kg 1,4-DCB- Eq	kg 1,4-DCB- Eq	kg 1,4-DCB- Eq	MJ	kg PO ₄ -Eq	kg 1,4-DCB- Eq	kg Sb-Eq	kg CFC-11-E q	kg ethylene- Eq
氧化铝生产	0.02685852							0.002148682			0.001074341
电解铝生产	1.53684							0.1229472			0.0614736
铝棒生产	0.217						0.0221	0.21456			0.01004
乙炔生产	0.004089414	0.990545002	0.400336952	1488.862336	0.003537754	10.60765872	0.001629147	0.840290077	2.21778E-06	5.02483E-09	0.000371478
金属基复合材料 铝合金生产	0.049714944	9.122666008	6.929373704	22471.35991	0.033130016	87.53569593	0.016233407	17.85346147	0.000475058	1.04345E-07	0.003575488
铝硫酸盐生产， 粉末	0.133095334	11.20818992	29.87480244	43370.41665	0.236446977	116.3369749	0.028086535	53.1769026	0.000586564	2.06654E-07	0.006329023
铝电解用预烧阳 极生产	3.845259051	335.3687391	70.64475081	615116.4128	1.85206157	15436.24029	0.245383977	13363.97278	0.000288284	1.33216E-05	0.229725246
铬生产	0.522968445	127.5603552	76.52266509	211592.4878	13.90059486	1384.927425	0.176426947	521.3016436	0.002485243	1.00905E-06	0.033689285

硬煤生产	0.391127395	126.5052812	63.08574132	162473.0002	0.443090913	5411.891899	0.310221593	355.2760422	2.40949E-05	9.7417E-08	0.042350174
石灰石生产	0.000891046	0.070432413	0.019410571	40.94204182	0.000205639	0.841261025	0.000227866	0.064553341	1.67839E-07	7.88227E-10	6.11471E-05
铝土矿	0.005358039	1.010038499	0.252364601	492.2125763	0.004011718	13.83846375	0.001201763	0.692412779	2.88422E-06	1.38104E-08	0.000384866
高压电力（电解铝过程）	1.987800758	135.5586535	23.67904512	51483.58455	0.884495041	1671.273395	0.268085198	98.12990354	0.00018846	1.61182E-06	0.101720566
高压电力（铝棒与铝型材生产过程）	64.77769689	9034.030829	3219.38167	21476251.84	29.83376645	127597.3742	13.53997304	12050.43845	0.0028306	2.0826E-05	3.565098344
锰	1.881073254	248.3111606	93.48731192	623646.7932	0.866339849	3705.287768	0.393185963	349.9315129	8.21975E-05	6.04763E-07	0.103526545
天然气，低压	0.576927208	99.12277264	348.6712401	393716.0878	0.410848075	937.4320523	0.199275197	661.4035195	0.000272311	4.93328E-07	0.033465151
中和剂，氢氧化钠当量	0.040291166	16.6233813	4.128636228	6180.913231	0.066855601	1200.393216	0.008845195	6.888213793	3.18565E-05	1.82425E-06	0.005812862
液态氮	0.031350517	14.92807579	10.73619813	22186.13155	0.023052528	123.3261963	0.038308586	7.873280752	6.25844E-06	6.11282E-08	0.002225486
铁	2.669661797	896.5871503	99.35354071	371780.2859	1.614503806	10979.57661	0.493655594	298.0001998	0.000229079	9.37213E-06	0.173278964
蒸汽（氧化铝生产过程）	0.474632447	89.30564012	294.4547751	414542.6938	0.418265035	901.7457381	0.182942085	185.8889875	0.000273118	8.44739E-06	0.067769971
钛	0.723428803	154.5118126	98.59454949	259167.1786	1.443454216	1671.769302	0.298372358	219.5870277	0.001412015	9.03009E-05	0.041321526
中和剂，氢氧化钠当量	0.003629339	0.887362991	0.31288826	1242.109532	0.002971998	9.440598282	0.001281326	0.720408907	1.05E-06	1.1646E-08	0.000205151

中水	0.103146489	19.42810245	7791.275836	7920190.885	0.076093418	540.2464841	2.680207286	3360.630355	3.27609E-05	4.94056E-07	0.011401435
铝土矿消化过程中红泥处理	0.040235625	22.83995488	17.27099609	18370.93933	0.031237177	103.1734758	2.483828629	11.00540192	1.73658E-05	8.31298E-08	0.00343965
铝电解过程中的废铝处理	0.02685852							0.002148682			0.001074341