



山东创源新材料科技有限公司

Shandong Chuangyuan New Material Technology Co., Ltd.

---

# 山东创源新材料科技有限公司

## 氯化铝生命周期评价报告

2024 年 12 月 25 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 .....	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 .....	7
3.1 前景数据 .....	7
3.2 背景数据和数据质量 .....	8
4. 结论、限制和建议 .....	8
4.1 中点结果 .....	8
4.2 对环境造成影响的主要单元过程 .....	10
5. LCA 结果解释 .....	12
5.1 完整性 .....	12
5.2 敏感性分析 .....	13
5.3 不确定性分析 .....	15
5.4 一致性 .....	16
6.1 结论 .....	18
6.2 限制 .....	18
6.3 建议 .....	19
附录 .....	20



简称	全称
IPCC	Internation 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 <sub>2</sub> 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

山东创源新材料科技有限公司是山东创新集团旗下全资子公司，位于山东滨州市无棣县鲁北高新技术开发区内，总占地面积约 4750 亩，现拥有总资产 37 亿元。一直以来，公司保持稳健发展态势，为地方经济发展做出了积极贡献。同时，我们注重技术创新与产品研发，不断提升核心竞争力，为行业进步和产业升级贡献力量。

### 1.2 产品介绍

我公司主要经营氧化铝、氢氧化铝、化学品氧化铝生产、销售。

公司主要产品为氧化铝，氧化铝常用于电解铝制备，也广泛应用于其他领域，其主要性质包括高熔点、化学惰性、硬度高等特点。如用于制备新颖的分子筛催化剂等；用于制备一些电子元件，如电容器、绝缘子等；用于制备研磨材料，如砂纸、砂轮、玻璃珠等；用于高温陶瓷制备领域；用作火箭发动机和航天器的热防护材料；作为汽车零部件的涂层材料；作为人工关节和牙科材料的基底材料等。

## 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, 评估山东创源新材料科技有限公司生产的氧化铝的环境影响。本报告也可以为第三方产品环保声明提供详细的信息和支持，为产品购买者提供可靠的产品环境影响信息。

研究结果将为供应商提供产品需求信息，让生产者、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：山东创源新材料科技公司内部管理人员、第三方认证机构、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）
- 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 吨氧化铝。

### 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 吨氧化铝生命周期的系统边界如图 1 所示

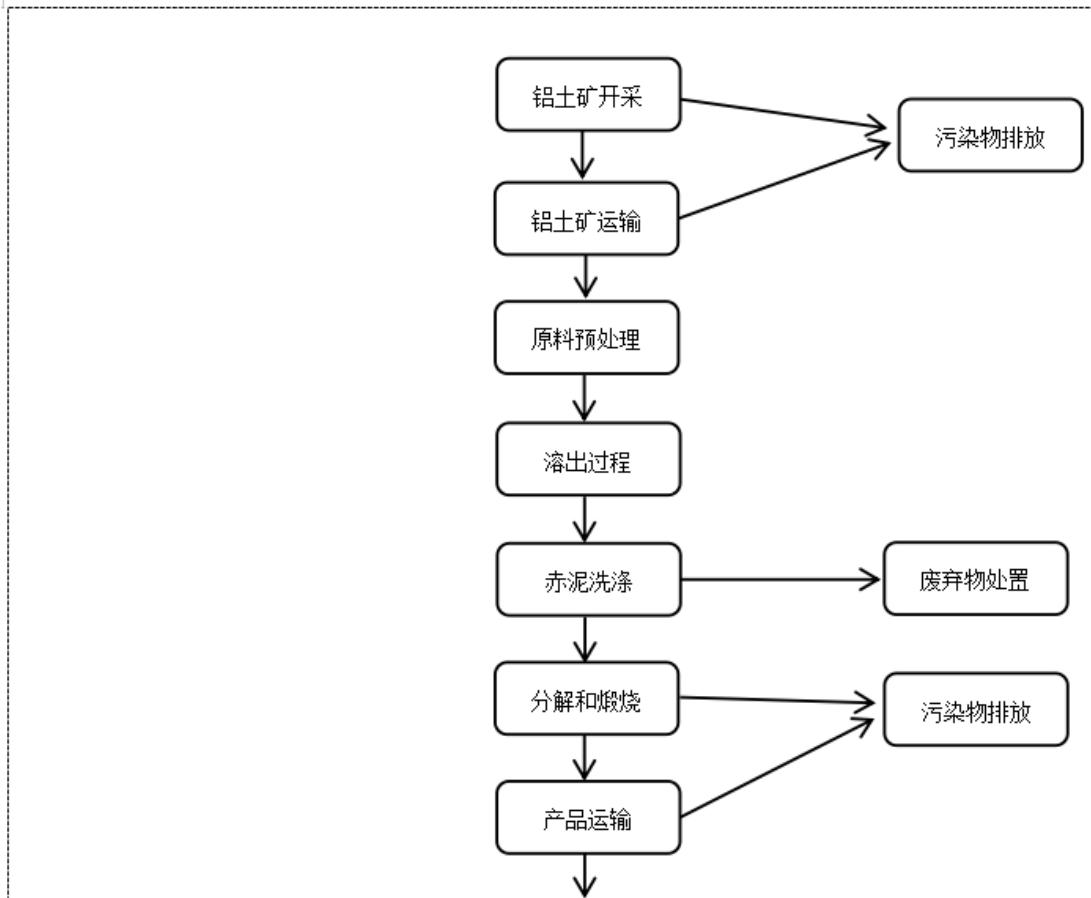


图 1 系统边界

### 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：每吨氧化铝。
- 3) 数据质量假设：设定所需数据的年份为 2024 年、地理范围在山东省滨州市，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。

## 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、煤、蒸汽消耗量等。

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	2.76	t
	石灰石	0.018	t
	氢氧化钠	0.070	t
能源消耗	电	188	kWh
	天然气	8.3	m3



	蒸汽	1.50	t
	水	0.7	m3
	柴油	0	kg
	煤	202	kg
废气排放	二氧化硫	0.0177	kg
	颗粒物	0.0056	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

## 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. 结论、限制和建议

### 4.1 中点结果

本次生命周期评价（LCA）分析基于氧化铝生产的功能单元，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 吨氧化铝产品对环境的具体影响如下表所示。

表 5 氧化铝的终点环境影响（所有数据均基于功能单元）

影响类别	单位	数量
酸化	kg SO <sub>2</sub> -Eq	4.55
全球变暖潜力（GWP100）	kg CO <sub>2</sub> -Eq	941.28
淡水水生生态毒性（FAETP）	kg 1,4-DCB-Eq	4756.54
海洋水生生态毒性（MAETP）	kg 1,4-DCB-Eq	5464594.10
陆地生态毒性（TETP）	kg 1,4-DCB-Eq	3.18
非生物性消耗潜力（ADP）：化石燃料	MJ	15344.82
富营养化	kg PO <sub>4</sub> -Eq	2.64
人类毒性（HTP）	kg 1,4-DCB-Eq	2787.01
非生物性消耗潜力（ADP）	kg Sb-Eq	0.00
臭氧层破坏（ODP）	kg CFC-11-Eq	0.00
光化学氧化作用	kg ethylene-Eq	0.28

根据功能单元“生产 1 吨氧化铝”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。

首先，全球变暖潜力（GWP100）为 941.28 kg CO<sub>2</sub>-Eq，表明氧化铝生产过程中能源消耗，尤其是化石燃料的使用，对气候变化的影响。这主要来源于高压电力和天然气的消耗，且由于氧化铝生产过程能量密集，减少能源消耗或采用更低碳的能源将是减轻这一影响的关键。此外，非生物性消耗潜力（ADP）达



15344.82 MJ，表明该过程消耗大量化石能源，这也进一步加剧了全球变暖的潜力。

其次，水生生态毒性是另一个重要的环境影响类别。在淡水水生生态毒性（FAETP）和海洋水生生态毒性（MAETP）方面，氧化铝生产的影响分别为4756.54 kg 1,4-DCB-Eq 和 5464594.10 kg 1,4-DCB-Eq，表明生产过程中，尤其是铝土矿开采、精炼过程及废弃物（如赤泥）的处理，可能会对水生生态系统造成严重危害。这些影响主要源于化学物质和重金属的排放，因此，提高废水处理技术和赤泥的管理是减少该类影响的关键措施。

酸化潜力（4.55 kg SO<sub>2</sub>-Eq）和光化学氧化作用（0.28 kg ethylene-Eq）反映了生产过程中气体排放对大气和环境的负面影响。二氧化硫和氮氧化物的排放是导致酸化和光化学臭氧生成的主要因素，进一步影响了空气质量和生态系统。因此，实施更为严格的排放控制和采用先进的脱硫、脱氮技术将有助于减少这方面的影响。

尽管氧化铝生产过程并未显著贡献臭氧层破坏（ODP 为 0.00 kg CFC-11-Eq）和稀有资源消耗（ADP 为 0.00 kg Sb-Eq），但人类健康毒性（HTP）仍然是一个需要关注的方面，其数值为 2787.01 kg 1,4-DCB-Eq。这表明在生产过程中，某些化学物质的使用和排放可能对人类健康造成潜在风险，因此，应采取有效的管理措施，减少有毒物质的使用并加强安全防护。

综上所述，氧化铝生产过程中的主要环境影响来自于能源消耗、废水排放、废弃物管理和气体排放。为减少这些环境影响，建议采取提高能源利用效率、加强废弃物处置技术、减少污染物排放以及采取更可持续的原材料和生产方法等措施。通过这些改进，能够在降低环境影响的同时，推动氧化铝生产的可持续发展。

## 4.2 对环境造成影响的主要单元过程

### 氢氧化钠生产过程的环境影响分析

氢氧化钠（NaOH）是氧化铝生产中的重要化学品，用于铝土矿的浸出过程。虽然氢氧化钠的生产对环境的影响相对较大，但它在整个氧化铝生产过程中占据重要地位。

淡水水生生态毒性（57.3 kg 1,4-DCB-Eq）和海洋水生生态毒性（151,000 kg



1,4-DCB-Eq)：氢氧化钠的生产过程通常伴随着大量的废水排放，这些废水中可能含有大量的化学污染物。若这些废水未经有效处理就排放到水体中，可能会对水体中的生态系统造成较大的毒性影响，尤其是在海洋生态系统中，其影响较为显著。富营养化 (0.173 kg PO<sub>4</sub>-Eq)：氢氧化钠的生产过程可能排放到水体中的磷类污染物，虽然其对富营养化的影响较赤泥处理过程小，但仍不可忽视。长期来看，氢氧化钠生产可能对水体富营养化问题产生潜在影响。人类毒性 (128 kg 1,4-DCB-Eq)：氢氧化钠的生产过程中的排放物，如氯化氢、氢氧化钠等，可能对周围的居民和工人的健康构成威胁，特别是在生产设施周边地区。

总的来说，氢氧化钠生产过程对全球变暖潜力、水生生态毒性和人类毒性的贡献较大，反映了这一过程中的能源消耗及排放物对环境的潜在影响。为了降低氢氧化钠生产过程中的环境影响，建议采取措施优化生产工艺、提高能源利用效率、减少污染物排放，特别是在减少温室气体排放和控制废水排放方面。

### 石灰石生产过程的环境影响

石灰石生产和破碎对环境的影响相对较小，但仍然在一些环境影响类别上有所体现：全球变暖潜力 (0.0566 kg CO<sub>2</sub>-Eq)：石灰石的生产和破碎过程中，燃料消耗及石灰石的煅烧释放了少量温室气体，虽然数值较低，但在氧化铝生产的全生命周期中，石灰石的影响仍不可忽视。淡水水生生态毒性 (0.0156 kg 1,4-DCB-Eq) 和 海洋水生生态毒性 (33.0 kg 1,4-DCB-Eq)：石灰石的生产对水体生态有一定影响，主要来源于开采过程中的矿物质释放和化学污染。人类毒性 (0.0519 kg 1,4-DCB-Eq)：石灰石的生产和破碎过程可能释放微量的有害物质，影响工人及周边社区的人类健康。

尽管石灰石生产过程的影响较小，但在氧化铝生产的全生命周期中，仍然需要关注石灰石开采过程中的环境管理，以减少对水体生态和人类健康的潜在影响。

### 电力、热力生产过程的环境影响

电力、热力生产在氧化铝生产过程中对多个环境影响类别的贡献非常大，特别是在全球变暖潜力 和 化石燃料消耗潜力两个方面。全球变暖潜力 (653 kg CO<sub>2</sub>-Eq)：电力生产过程中排放的二氧化碳是氧化铝生产中温室气体排放的主要来源之一。因此，减少电力生产过程中温室气体排放，特别是通过使用低碳或可再生



能源，将对减少全球变暖潜力产生显著效果。非生物性消耗潜力（ADP：化石燃料）（8363 MJ）：电力的生产通常依赖于化石燃料（如煤和天然气），这导致了大量的非可再生能源消耗，因此电力生产过程对能源资源的消耗具有显著影响。

电力生产是氧化铝生产中的关键环节，优化电力供应，减少化石燃料依赖，尤其是推动可再生能源（如风能、太阳能）使用，将有助于减少对环境的负面影响。

### 赤泥处理过程的环境影响

赤泥处理过程在海洋水生生态毒性和人类毒性等方面有较大的影响。海洋水生生态毒性（4.60E+06 kg 1,4-DCB-Eq）：赤泥处理过程中可能释放大量的重金属及其他有毒物质，对海洋生物和生态系统造成严重破坏。人类毒性（1950 kg 1,4-DCB-Eq）：赤泥的处理和处置过程中可能释放对人类有害的物质，尤其是对周边社区的健康构成威胁。非生物性消耗潜力（ADP：化石燃料）（314 MJ）：赤泥处理需要大量的能源，尤其是化石燃料的消耗，进一步加剧了非可再生资源的消耗。

因此，赤泥的处理和处置过程对环境造成了极大的影响，特别是水体污染和对人类健康的潜在危害。采取更加环保和可持续的废物处理方法（如回收利用、减少废物排放等）将有助于减轻这一过程对环境的负面影响。

## 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。氧化铝生产过程电力消耗增加 10%通常会导致这些环境影响指标的显著上升，反之，氧化铝生产过程电力消耗减少 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，电力消耗是影响氧化铝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	蒸汽 10%	赤泥处理 10%	氢氧化钠 10%
酸化	3.5%	0.1%	2.5%
全球变暖潜力（GWP100）	5.7%	0.1%	0.8%
淡水水生生态毒性（FAETP）	9.6%	9.5%	0.0%
海洋水生生态毒性（MAETP）	8.8%	8.4%	0.1%
陆地生态毒性（TETP）	3.1%	0.1%	1.6%
非生物性消耗潜力（ADP）：化石燃料	4.4%	0.2%	0.6%



富营养化	7.0%	5.9%	0.6%
人类毒性 (HTP)	7.6%	7.0%	0.2%
非生物性消耗潜力 (ADP)	1.3%	0.2%	1.0%
臭氧层破坏 (ODP)	1.0%	0.0%	0.2%
光化学氧化作用	3.8%	0.2%	2.1%

在蒸汽投入量增加或减少 10%的情况下，主要环境影响类别的变化如下：

全球变暖潜力 (GWP100) (变化 5.7%)：蒸汽生产中大量的能源消耗，尤其是电力和热能的使用，是全球变暖潜力增加的主要来源。蒸汽的增加会直接提升能源需求，从而增加 CO<sub>2</sub> 的排放，导致全球变暖潜力的上升。淡水水生生态毒性 (变化 9.6%)：蒸汽生产过程中，废水的排放和可能的化学污染物增加可能会影响水体的生态系统，尤其是对淡水生物的毒性。蒸汽投入量的增加意味着更多废水的排放，进而加剧水生生态毒性。海洋水生生态毒性 (变化 8.8%)：类似于淡水生态，蒸汽生产过程可能向海洋排放污染物。增加蒸汽的生产会导致更多污染物进入水体，增加对海洋生物的毒性影响。富营养化 (变化 7.0%)：蒸汽生产过程的废水排放可能含有磷等营养物质，这些物质可能导致水体富营养化。蒸汽量的增加会加剧富营养化现象，影响水质。

总的来说，蒸汽的投入量对气候变化（全球变暖潜力）和水体生态毒性（淡水和海洋水生生态毒性）等环境影响类别有较大影响，蒸汽投入量的增加会显著增加这些影响。

赤泥处理是铝土矿生产中的副产物处理过程，其投入量变化对环境的影响较为显著。具体分析如下：

淡水水生生态毒性 (变化 9.5%)：赤泥处理对水生生态毒性的影响较为显著。赤泥中含有的有毒重金属和化学物质（如铝、铁、钠等）如果处理不当，可能会排放到水体中，造成严重的水生生态毒性。赤泥处理量的增加，意味着更多废弃物的产生和可能的生态风险。海洋水生生态毒性 (变化 8.4%)：类似于淡水水生生态毒性，赤泥的处理过程也可能对海洋生态产生影响。增加赤泥的处理量可能导致更多有害物质进入海洋，从而加剧海洋水生生态毒性的影响。富营养化 (变化 5.9%)：赤泥处理过程中可能排放的营养物质（如磷）会对水体的富营养化产生影响。赤泥处理量增加将导致更多的营养物质释放到水体中，进而加



剧富营养化问题。人类毒性（变化 7.0%）：赤泥处理过程中，释放的有害物质（如重金属）可能对周围环境和人类健康构成威胁。因此，赤泥处理量的变化将直接影响对人类的毒性。

赤泥处理对环境影响，尤其是水生生态毒性和人类毒性，敏感性较高。赤泥处理量的变化会直接影响水体生态和人类健康，尤其是在处理不当的情况下。

氢氧化钠作为氧化铝生产中的重要化学品，其投入量的变化对环境影响类别的贡献较小，具体如下：

酸化（变化 2.5%）：氢氧化钠生产过程中会使用一定的化学物质，这些物质的排放可能对空气中的酸性物质（如 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>）产生影响，但相较于蒸汽和赤泥，氢氧化钠对酸化的贡献较小。总体来看，氢氧化钠的投入量变化对大多数环境影响类别的影响较小，尤其是在水生生态毒性、海洋水生生态毒性和富营养化等方面的影响较为微弱。

### 5.3 不确定性分析

在进行氧化铝生产的全生命周期评价时，我们考虑了不同过程对环境影响的贡献。根据表格中的数据，不同生产环节对环境影响类别的贡献差异显著，而这些差异也反映出各个环节存在一定的不确定性。这些不确定性主要来源于以下几个方面：

#### 1. 数据的准确性和代表性

全生命周期评价中的数据来自于多个生产过程，包括氧化铝生产、煤炭开采、石灰石生产、铝土矿购买、电力、天然气、蒸汽、氢氧化钠、赤泥处理等。在这些过程中，不同环节的生产工艺、能源消耗、排放数据可能存在地区差异、技术进步和运营方式不同等因素。因此，在不同地理区域或技术条件下，某些过程的环境影响可能会有所不同。例如，煤炭开采和石灰石生产等过程的能源结构和排放水平可能因地区的不同而变化，从而影响其对环境影响类别的贡献。

#### 2. 能源消耗与排放的不确定性

大多数环境影响（尤其是全球变暖潜力和酸化等）与能源的使用密切相关。例如，电力和蒸汽生产过程占据了相当高的环境影响比例。这些过程依赖于化石燃料（如煤和天然气），其排放水平受到能源生产技术、燃料类型以及发电效率



等因素的影响。而这些因素在不同地区、不同年份以及不同技术条件下可能存在不小的变化。尤其是蒸汽的生产，其全球变暖潜力(GWP)的影响占比达到5.7%，反映了蒸汽生产对环境的敏感性，这种不确定性需考虑在内。

### 3. 废弃物处理与排放的不确定性

赤泥处理过程对环境影响，尤其是淡水水生生态毒性、海洋水生生态毒性和富营养化等类别有显著影响。赤泥中含有大量的重金属和有毒化学物质，若处理不当，可能对水体和生态系统造成严重影响。然而，不同的赤泥处理技术和措施（如干堆、填埋或回收利用等）会导致不同的排放和环境影响。因此，赤泥处理过程中可能存在显著的技术差异，从而导致环境影响的波动。

### 4. 生产技术和效率的变化

在某些过程中，例如氢氧化钠的生产，其生产技术和效率可能会随着时间的推移而提高，从而减少能源消耗和污染物排放。氢氧化钠的生产占据了相对较小的环境影响比例（全球变暖潜力和酸化分别为0.8%和2.5%），但随着技术的进步，其环境影响也可能发生变化。因此，对于氢氧化钠的生产，技术进步的不确定性也需要在评价中加以考虑。

总体而言，氧化铝生产的全生命周期评价存在一定的不确定性，这些不确定性主要来源于数据的准确性、生产过程的技术差异、能源消耗与排放的变化、废弃物处理的不同方法以及生命周期边界设定的假设等方面。为了更好地理解这些不确定性，建议在实际应用中进行敏感性分析，进一步验证不同过程和假设对环境影响结果的影响。此外，随着技术的进步和全球环保政策的更新，某些生产过程（如能源使用、废弃物管理等）的环境影响可能会发生显著变化，未来的全生命周期评价需要不断更新和完善。

## 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（例如氢氧化钠生产、电力生产、石灰石生产等），构建了区



域性生产活动获取的数据（氧化铝生产）。

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（氧化铝生产过程使用的高压电力（CN-CHUANGYUAN）。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，涵盖了氧化铝生产的所有主要阶段。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和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 CML4.8，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 CML4.8 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。

## 6.1 结论

根据特征化结果表明，氧化铝生产对气候、能源、健康等方面的影响巨大，灵敏度分析也强调了氧化铝生产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，优化原材料选择、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，一方面提高生产循环效率，节能降耗，另一方面推行和增加清洁能源（如天然气等）替代传统煤制气将有效降低这些环境影响。

四是减少污染物排放及过程管理，通过增加环保设施可以减少污染物排放或达标排放，以及及时更换除尘设备（除尘器滤袋）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，提高氧化铝溶出率至关重要，减少废弃物排放，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收集的质量。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

影响类别	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	化石燃料消耗潜力	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
生产过程	kg SO <sub>2</sub> -Eq	kg CO <sub>2</sub> -Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg 1,4-DCB-Eq	MJ	kg PO <sub>4</sub> -Eq	kg 1,4-DCB-Eq	kg Sb-Eq	kg CFC-11-Eq	kg ethylene-Eq
氧化铝生产	2.12E-02							1.70E-03			8.50E-04
煤炭开采	3.16E-01	1.02E+02	5.10E+01	1.31E+05	3.59E-01	4.38E+03	2.51E-01	2.87E+02	1.95E-05	7.88E-08	3.43E-02
石灰石生产、破碎	7.17E-04	5.66E-02	1.56E-02	3.29E+01	1.65E-04	6.77E-01	1.83E-04	5.19E-02	1.35E-07	6.34E-10	4.92E-05
铝土矿购买	1.16E+00	7.90E+01	1.38E+01	3.00E+04	5.16E-01	9.74E+02	1.56E-01	5.72E+01	1.10E-04	9.40E-07	5.93E-02
电力	1.01E+00	1.33E+02	5.01E+01	3.34E+05	4.64E-01	1.99E+03	2.11E-01	1.88E+02	4.41E-05	3.24E-07	5.55E-02
天然气	1.14E-02	4.71E+00	1.17E+00	1.75E+03	1.89E-02	3.40E+02	2.51E-03	1.95E+00	9.03E-06	5.17E-07	1.65E-03
蒸汽	1.55E+00	5.21E+02	5.77E+01	2.16E+05	9.38E-01	6.38E+03	2.87E-01	1.73E+02	1.33E-04	5.44E-06	1.01E-01
氢氧化钠	4.20E-01	8.97E+01	5.73E+01	1.51E+05	8.38E-01	9.71E+02	1.73E-01	1.28E+02	8.20E-04	5.24E-05	2.40E-02
水	9.14E-04	2.23E-01	7.88E-02	3.13E+02	7.48E-04	2.38E+00	3.23E-04	1.81E-01	2.64E-07	2.93E-09	5.17E-05
赤泥处理	5.99E-02	1.13E+01	4.53E+03	4.60E+06	4.42E-02	3.14E+02	1.56E+00	1.95E+03	1.90E-05	2.87E-07	6.62E-03