

变形铝合金扁铸锭 生命周期评价报告

报告编号： CTISC-SW-CBN-202502011-19

制造商名称： 云南涌顺铝业有限公司

云南云铝海鑫铝业有限公司

报告编写方： 华测认证有限公司

签发日期： 2025年5月7日

目 录

1 基本信息.....	1
1.1 报告信息.....	1
1.2 客户信息.....	1
1.3 评估对象.....	1
1.4 采用的标准信息.....	1
2 生命周期评价对象及工具.....	2
2.1 评价对象概述.....	2
2.2 声明单位选择.....	2
2.3 系统边界说明.....	2
2.4 评价工具.....	3
3 生命周期清单分析.....	3
3.1 数据来源.....	3
3.2 数据质量.....	3
3.3 分配.....	4
3.4 云铝海鑫变形铝合金扁铸锭生命周期阶段及清单.....	5
3.5 云铝涌顺变形铝合金扁铸锭生命周期阶段及清单.....	6
4 生命周期影响评价.....	7
4.1 云铝海鑫变形铝合金扁铸锭生命周期影响评价.....	7
4.2 云铝涌顺变形铝合金扁铸锭生命周期影响评价.....	10
5 绿色设计改进方案.....	13
6 结论.....	15
7 参考文献.....	15

1 基本信息

1.1 报告信息

编制人员	金婵
审核人员	陈绣文
发布日期	2025年5月7日

1.2 客户信息

公司全称	云南涌顺铝业有限公司
	云南云铝海鑫铝业有限公司
申请评价产品	变形铝合金扁铸锭

1.3 评估对象

本报告评估对象为云铝股份有限公司控股的云南涌顺铝业有限公司、云南云铝海鑫铝业有限公司生产的变形铝合金扁铸锭。鉴于上述企业同属云铝股份有限公司，且生产工艺、原材料、质量控制体系等核心技术要素层面具有一致性，因此为提升评估效率、确保评估标准的统一性和评估结果的可比性，将各公司产品的评估内容合并编制于本报告之中。

1.4 采用的标准信息

ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework

ISO 14044 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

2 生命周期评价对象及工具

2.1 评价对象概述

变形铝合金扁铸锭，英文名称为“Aluminium Alloy Rectangle Ingots”。变形铝合金扁铸锭有化学成分均匀、洁净度高、尺寸偏差小、内部组织优良、外形美观等特点，主要应用于热轧用毛坯，为下游轧制生产双零铝箔、罐体料、CTP 印刷板、电池箔、航空航天、轨道交通等领域提供高端的铝合金扁铸锭。

2.2 声明单位选择

LCA 分析中，声明单位是对产品系统中输出功能的度量。声明单位的基本作用是在进行 LCA 分析时为软件提供一个统一计量输入和输出的基准。本报告以 1 t 变形铝合金扁铸锭作为评价的声明单位。

2.3 系统边界说明

变形铝合金扁铸锭产品生命周期系统边界包括两个阶段：原材料生产与获取阶段、产品生产阶段。系统边界如图所示：

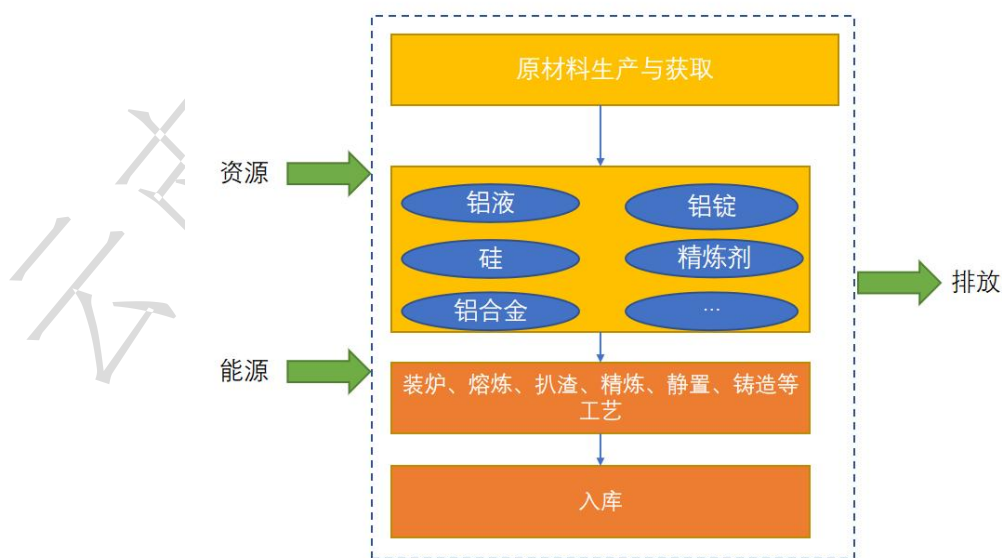


图 1 变形铝合金扁铸锭生命周期系统边界

2.4 评价工具

本报告采用 SimaPro（版本：10.1）软件进行产品生命周期环境影响评价。

3 生命周期清单分析

3.1 数据来源

本报告将以下要素纳入数据清单：

1. 原材料生产与获取
2. 产品生产

本报告的现场数据由云南涌顺铝业有限公司、云南云铝海鑫铝业有限公司根据实际生产情况提供，主要包括生产过程的能源与水消耗、产品原材料的使用量、产品原料、运输距离等数据。

本报告的背景数据包括主要原料的生产数据、权威的电力碳足迹因子的数据、不同运输类型造成的环境影响，本报告的背景数据来源于 Ecoinvent 3.10 数据库中适用于中国区域和全球的数据。

3.2 数据质量

本次评价过程中所输入的现场数据的时间范围为：2024 年 1 月 1 日—2024 年 12 月 31 日。背景数据来源于 Ecoinvent 3.10 数据库中适用于中国区域和全球的最新数据。

3.2.1 本报告未考虑的过程

一般而言，本报告应包括分析系统的所有过程和流程。如果发现个别物质流或能量流对特定过程的生态影响不重要，出于实际原因，可以将其排除在外，并报告为未考虑的过程。

本报告设定的实质性门槛是 5%，其中单个物质流或能量流的排除门槛是 1%，且总排

除量不超过总体影响的 5%。就某些可能产生环境影响的过程，在出现以下情况时，对应的过程将会被排除。

- (1) 技术上无适当核算及量化方法；
- (2) 虽然量化过程可行但不符合经济效益，且生态影响占总体影响的比例小于 1%。

本报告排除的过程包括：

云南涌顺铝业有限公司：

(1) 上游电力传输部分的损失、部分道路和工厂等基础设施、生产设备和生活设施的建设过程，员工通勤和差旅过程等。

- (2) 未考虑部分重量小于 0.1% 的原材料即铝硼合金、铁剂、除镁剂。

云南云铝海鑫铝业有限公司：

(1) 未考虑部分道路和工厂等基础设施、生产设备和生活设施的建设过程，员工通勤和差旅过程等产生的排放；

- (2) 由于产品标签用量极少，因此未考虑产品出厂时标签使用情况；

(3) 由于维修过程中使用到的氧气、乙炔等气体用量极少，因此未考虑该类焊接气体的使用情况。

3.3 分配

云南涌顺铝业有限公司生产的产品只有变形铝合金扁铸锭，生产使用的原辅材料有单独计量，不涉及分配；生产过程中主要生产系统的各项能源消耗有单独计量，不涉及分配；由于公司只生产扁铸产品，不涉及分配。

云南云铝海鑫铝业有限公司生产铝液、变形铝合金扁铸锭、变形铝合金扁铸锭、变形铝合金扁铸锭和铝合金产品，用能和主要原辅材料数据分别统计，柴油使用数据按照生产产量拆分，公辅设施用能按照各生产线用能比例拆分。

3.4 云铝海鑫变形铝合金扁铸锭生命周期阶段

云南云铝海鑫铝业有限公司的变形铝合金扁铸锭的生产过程包括电解铝生产和变形铝合金扁铸锭铸造。

3.4.1 生产阶段

铝电解的生产工艺流程图如下所示。

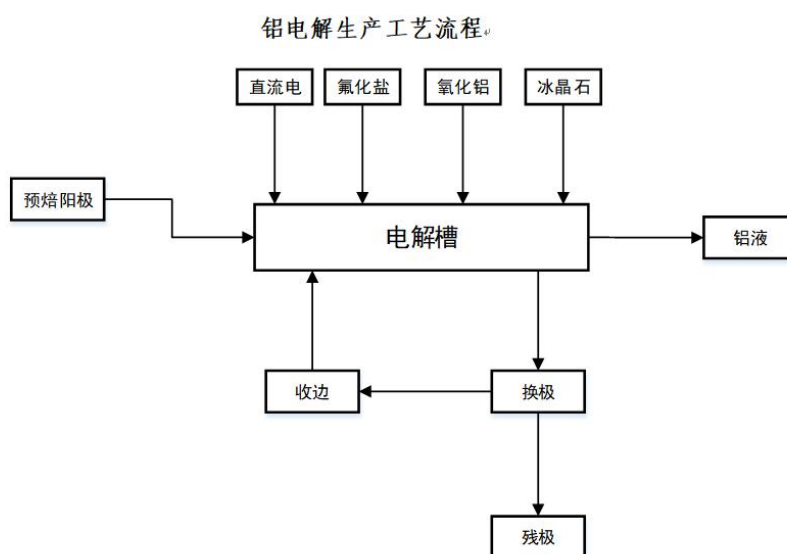


图 2 电解铝液生产工艺流程图

电解铝液生产过程中的排放主要来源于以下几个方面：①阳极作为原材料消耗会排放 CO_2 ；②随着阳极的消耗，阳极效应导致 PFCs 即四氟化碳 (CF_4) 和六氟化二碳 (C_2F_6) 的排放；③烟气脱硫使用石灰石、纯碱等碳酸盐作为脱硫剂，使用过程中碳酸盐分解所产生的二氧化碳排放；④生产过程中使用的电力和天然气产生的排放；⑤生产过程产生的各类固体废弃物外送运输以及后续采取不同处理方式（填埋/焚烧/回收）所产生的排放。

3.4.2 变形铝合金扁铸锭铸造

3.4.2.1 生产阶段

变形铝合金扁铸锭铸造的生产工艺流程图如下所示。

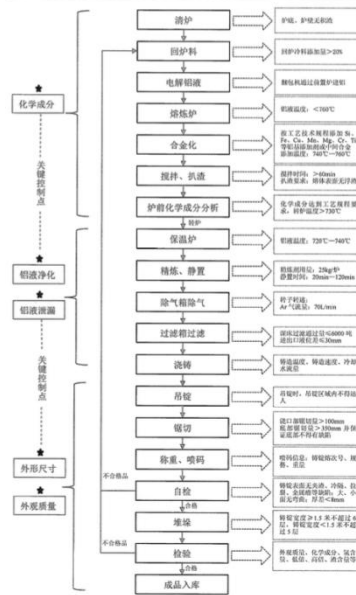


图 3 变形铝合金扁铸锭铸造生产工艺流程图

变形铝合金扁铸锭的生产过程排放主要来源于以下几个方面：①厂内运输使用的柴油燃烧产生的排放；②生产过程使用的电力、天然气燃烧产生的排放；③生产过程产生的各类固体废弃物外送运输以及后续采取不同处理方式（填埋/焚烧/回收）所产生的排放。

3.5 云铝涌顺变形铝合金扁铸锭生命周期阶段

云南涌顺铝业有限公司的变形铝合金扁铸锭的生产过程包括变形铝合金扁铸锭铸造。

3.5.1 变形铝合金扁铸锭铸造

3.5.1.1 生产阶段

变形铝合金扁铸锭铸造的生产工艺流程图如下所示。

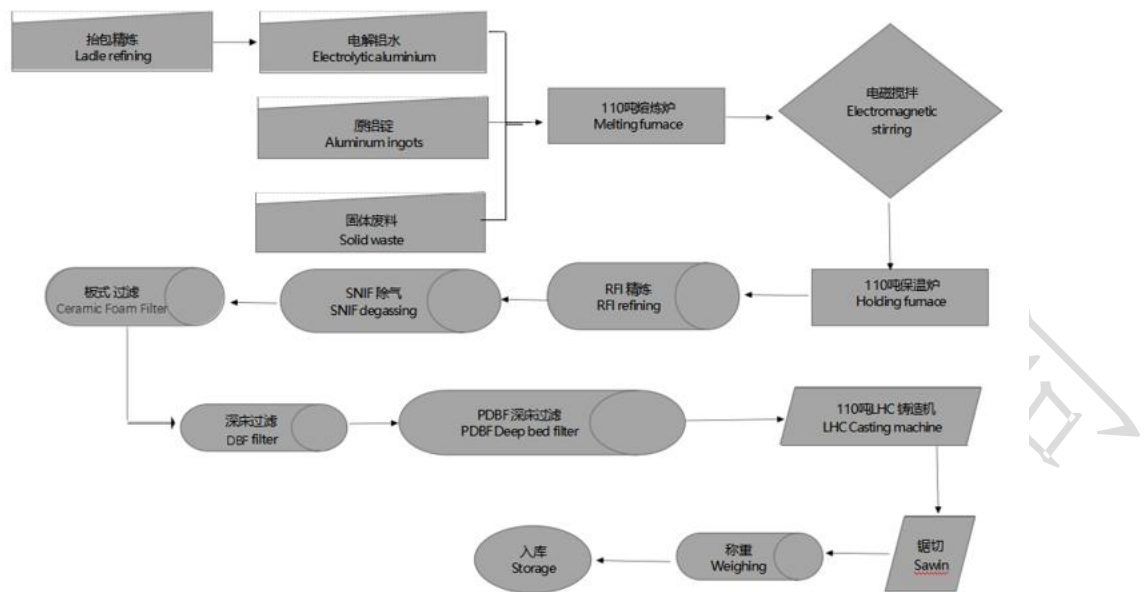


图 4 变形铝合金扁铸锭铸造生产工艺流程图

变形铝合金扁铸锭的生产过程排放主要来源于以下几个方面：①厂内运输使用的柴油燃烧产生的排放；②生产过程使用的电力、天然气燃烧产生的排放；③生产过程产生的各类固体废弃物外送运输以及后续采取不同处理方式（填埋/焚烧/回收）所产生的排放。

4 生命周期影响评价

4.1 云铝海鑫变形铝合金扁铸锭生命周期影响评价

4.1.1 综合评价结果

本报告采用 SimaPro（版本：10.1）软件进行产品生命周期环境影响评价。基于上述产品生命周期输入输出分析，构建原材料生产与获取、产品生产 2 个生命周期阶段模型；采用 CML-IA baseline V3.10 / World 2000 评价方法对产品全生命周期环境影响进行评价计算。由于电解和铸锭工序均在同一厂区进行，为分析各类流（物质流、能量流）输入输出更为清晰，故将电解工序与铸锭工序统一进行过程分析。对 11 种环境影响类型进行考察，包括资源耗竭（Abiotic depletion）、化石能源资源耗竭（Abiotic depletion, fossil fuels）、全球变暖（Global Warming, GW100a）、臭氧层损耗（Ozone layer depletion, ODP）、

人类毒性（Human toxicity）、淡水生态毒性（Fresh water aquatic ecotox）、海洋生态毒性（Marine aquatic ecotoxicity）、陆地生态毒性（Terrestrial ecotoxicity）、光化学氧化（Photochemical oxidation）、酸化（Acidification）、富营养化（Eutrophication）。具体评价结果如表所示。声明单位为 1 t。

表 1 生命周期影响评价结果

影响类型	单位	总计	原材料生产与获取	产品生产
资源耗竭	kg Sb eq	0.05445	0.0050	0.0494
化石能源资源耗竭	MJ	91595.3110	47662.1030	43933.2070
全球变暖	kg CO ₂ eq	6208.38	2930.57	3277.81
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0000	0.0000	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	23303.9270	13601.3180	9702.6087
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	13569.4140	8446.5822	5122.8320
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	22665779	11864232	10801546
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	127.4999	82.5086	44.9913
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.1348	0.7715	1.3633
酸化	kg SO ₂ eq	51.5689	16.5103	35.0586
富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	13.0809	4.7629	8.3181

下图展示了变形铝合金扁铸锭在产品生命周期各阶段的贡献（S1 代表原材料生产与获取阶段、S2 代表产品生产阶段）：

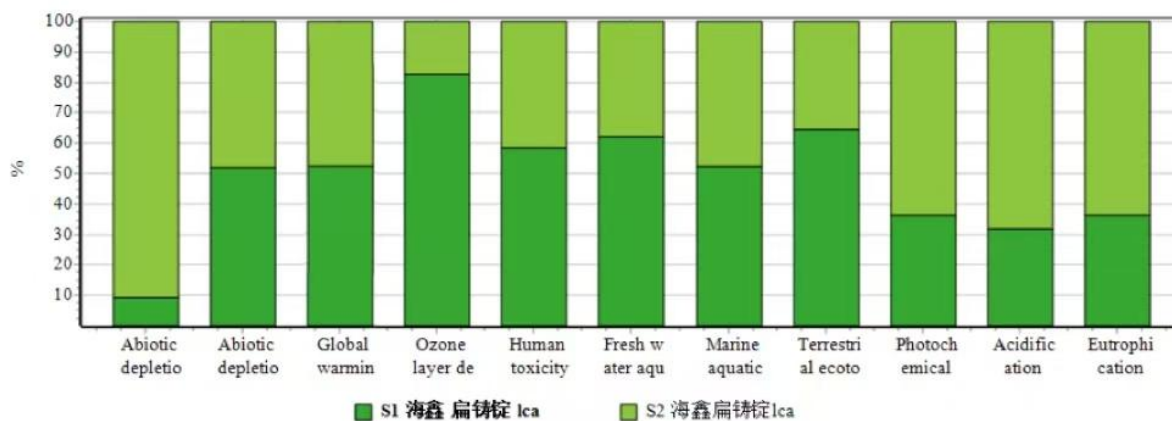


图 5 变形铝合金扁铸锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，变形铝合金扁铸锭产品在臭氧层损耗、陆地生态毒性等方面原材料生产与获取阶段贡献较大，在资源耗竭、光化学氧化、酸化、富营养化方面产品生产阶段贡献较大，其余过程（全球变暖、化石能源资源耗竭、人类毒性、海洋生态毒性、淡水生态毒性）等阶段贡献差距较小。

4.1.2 敏感性分析

对 11 个评价指标的各自最大影响因素进行敏感性分析，以描述对云铝海鑫变形铝合金扁铸锭 LCA 结果的影响。调整的重点是排放水平，最小和最大范围为 $\pm 10\%$ 。1t 变形铝合金扁铸锭的敏感性分析结果如下。

表 2 对 1t 变形铝合金扁铸锭的敏感性分析

参数	单位	影响因素	基准线一年平均水平	最小值	偏差	最大值	偏差
资源耗竭	kg Sb eq	电力	0.0545	0.0495	-9.08%	0.0594	9.08%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	91595.311	87204.5349	-4.79%	95986.0847	4.79%
全球变暖	kg CO ₂ eq	铝液	6208.3800	5990.8380	-3.48%	6424.4620	3.48%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	9.04E-05	8.46E-05	-6.39%	9.62E-05	6.39%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	电力	23303.9270	22334.3330	-4.16%	24273.5215	4.16%
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	13569.4140	12839.0828	-5.38%	14299.7456	5.38%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	22665779	21585847.3200	-4.76%	23745709.1200	-4.76%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	127.4999	123.0045	-3.53%	131.9952	3.53%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.1348	2.0209	-5.34%	2.2487	5.34%
酸化	kg SO ₂	电力	51.5689	48.6237	-5.71%	54.5141	5.71%

参数	单位	影响因素	基准线一年平均水平	最小值	偏差	最大值	偏差
	eq						
富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	电力	13.0809	12.2494	-6.36%	13.9125	6.36%

4.1.3 不确定性分析

本报告中 LCA 评价结果的不确定性使用 SimaPro 中的“蒙特卡罗分析”功能量化（95% 置信区间），分析结果如表所示。

表 3 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.0545	0.0510	0.0183	0.0293	0.0971
化石能源资源耗竭	91595.3110	87347.9350	19630.3657	65022.5805	141765.1952
全球变暖	6049.8400	6036.9184	460.7717	5263.9015	7092.0814
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
人类毒性	23303.9270	21583.5580	9520.9033	10227.9600	45147.0161
淡水生态毒性	13569.4140	12424.9779	5129.7594	7466.0074	26168.9607
海洋生态毒性	22665779	21595605	5928166	14479007.6777	36858145.5251
陆地生态毒性	127.4999	140.1616	789.7047	-1455.4032	1741.9699
光化学氧化	2.1348	2.1117	0.2258	1.7596	2.6973
酸化	51.5689	50.9756	5.2225	42.7477	63.9539
富营养化	13.0809	12.5181	3.2269	8.6677	21.9402

4.2 云铝涌顺变形铝合金扁铸锭生命周期影响评价

4.2.1 综合评价结果

本报告采用 SimaPro（版本：10.1）软件进行产品生命周期环境影响评价。基于上述

产品生命周期输入输出分析，构建原材料生产与获取、产品生产 2 个生命周期阶段模型；采用 CML-IA baseline V3.10 / World 2000 评价方法对产品全生命周期环境影响进行评价计算。由于电解和铸锭工序均在同一厂区进行，为分析各类流（物质流、能量流）输入输出更为清晰，故将电解工序与铸锭工序统一进行过程分析。对 11 种环境影响类型进行考察，包括资源耗竭(Abiotic depletion)、化石能源资源耗竭(Abiotic depletion, fossil fuels)、全球变暖（ Global Warming, GW100a ）、臭氧层损耗（ Ozone layer depletion, ODP ）、人类毒性（ Human toxicity ）、淡水生态毒性（ Fresh water aquatic ecotox ）、海洋生态毒性（ Marine aquatic ecotoxicity ）、陆地生态毒性（ Terrestrial ecotoxicity ）、光化学氧化（ Photochemical oxidation ）、酸化（ Acidification ）、富营养化（ Eutrophication ）。具体评价结果如表所示。声明单位为 1 t。

表 4 生命周期影响评价结果

影响类型	单位	总计	原材料生产与获取	产品生产
资源耗竭	kg Sb eq	0.00677	0.00556	0.00121
化石能源资源耗竭	MJ	47614.0740	46480.7970	1133.2770
全球变暖	kg CO ₂ eq	6049.84	5971.14	1701.53
臭氧层耗损	kg CFC-11 eq	0.0000	0.0000	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	7702.4252	7450.2202	252.2050
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	8565.1344	8438.6144	126.51996
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	10238266	9969618.6	268647.84
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	45.2771	44.0849	1.1922
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	0.7693	0.7392	0.0301

下图展示了变形铝合金扁铸锭在产品生命周期各阶段的贡献(S1 代表原材料生产与获取阶段、S2 代表产品生产阶段)：

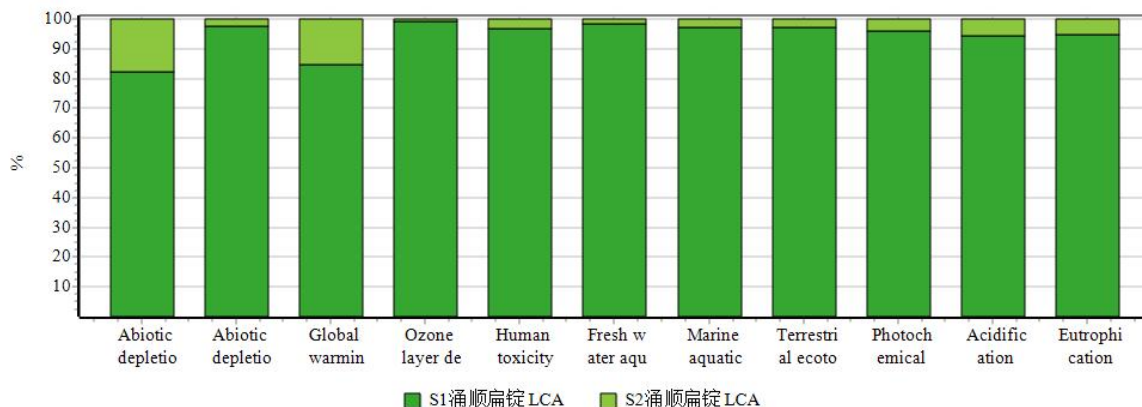


图 6 变形铝合金扁铸锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，变形铝合金扁铸锭产品在臭氧层损耗、淡水生态毒性、陆地生态毒性等方面原材料生产与获取阶段贡献较大。

4.2.2 敏感性分析

对 11 个评价指标的各自最大影响因素进行敏感性分析，以描述对变形铝合金扁铸锭 LCA 结果的影响。调整的重点是排放水平，最小和最大范围为±10%。1t 变形铝合金扁铸锭的敏感性分析结果如下。

表 5 对 1t 变形铝合金扁铸锭的敏感性分析

参数	单位	影响因素	基准线一年平均水平	最小值	偏差	最大值	偏差
资源耗竭	kg Sb eq	氧化铝	0.0067	0.0071	-4.11%	0.0065	4.11%
化石能源资源耗竭	MJ	氧化铝	47614.0740	44679.5359	-6.16%	50548.6115	6.16%
全球变暖	kg CO ₂ eq	氧化铝	6049.84	5834.2765	-3.67%	6271.9245	3.67%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	7.36E-05	7.95E-05	-7.92%	6.78E-05	7.92%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	7702.4252	7123.7688	-7.51%	8281.0814	7.51%
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	8565.1344	7828.0249	-8.61%	9302.2440	8.61%

参数	单位	影响因素	基准线一年平均水平	最小值	偏差	最大值	偏差
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	10238266	9408842.7230	-8.10%	11067690.16	8.10%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	45.2772	41.9642	-7.32%	48.5901	7.32%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	氧化铝	0.7693	0.7184	-6.61%	0.8202	6.61%
酸化	kg SO ₂ eq	氧化铝	16.7605	15.5723	-7.09%	17.9487	7.09%
富营养化	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	氧化铝	4.8096	4.4195	-8.09%	5.1991	8.09%

4.2.3 不确定性分析

本报告中 LCA 评价结果的不确定性使用 SimaPro 中的“蒙特卡罗分析”功能量化（95% 置信区间），分析结果如表所示。

表 6 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.0068	0.0066	0.0014	0.0048	0.0101
化石能源资源耗竭	47614.0740	47462.7094	4341.4056	39378.3926	56623.5823
全球变暖	6208.3800	6186.6077	419.0785	5486.0399	7108.6515
臭氧层损耗	7.3629213E-5	0.9998	1.9995	3.9990	4.9987
人类毒性	7702.4252	7155.1831	3793.8106	1945.0998	16912.4499
淡水生态毒性	8565.1344	7329.9146	5099.0846	3206.3514	21235.0302
海洋生态毒性	10238266	8996116.4406	4991069.0461	4673968.1478	22788725.3207
陆地生态毒性	45.2772	44.8052	289.9047	-554.5285	623.4148
光化学氧化	0.7693	0.7347	0.1600	0.6103	1.1121
酸化	16.7605	15.9719	3.9343	12.8355	25.0905
富营养化	4.8096	4.4823	1.5538	2.9464	8.8450

5 绿色设计改进方案

根据 LCA 评价分析结果，原材料生产与获取阶段的氧化铝及产品生产阶段使用的外购电力是变形铝合金扁铸锭产品生命周期环境影响的最主要来源。建议采取如下措施开展绿

色设计：

1、开展绿色产品设计

在产品的设计阶段着重考虑产品属性（可回收性，可重复利用性等）并将其作为设计目标。在产品结构设计上，通过轻量化设计和优化几何形状，在保证产品性能的前提下减少原材料使用量，从源头降低氧化铝消耗带来的环境影响；积极探索可替代材料，如部分使用再生铝替代原生氧化铝生产的铝材料，利用再生铝生产能耗低的优势，降低产品整体环境负荷。此外，设计时考虑产品的可回收性和再利用性，采用便于拆解和回收的结构设计，延长产品生命周期，减少资源浪费。

2、优化工艺减少能源消耗

对产品生产工艺进行全面评估和技术升级，引入先进的节能型生产设备，如采用高效的熔炼炉和轧制设备，提高设备的能源转化效率，降低单位产品电力消耗。同时，优化生产流程，合理安排生产计划，避免设备空转和能源浪费，通过智能控制系统实时监测和调整生产参数，实现生产过程的精准控制和能源优化。此外，积极探索分布式能源利用，在厂区建设太阳能光伏发电系统或小型风力发电装置，将可再生能源发电优先用于产品生产阶段，减少对外购电力的依赖，从而降低因电力使用带来的环境影响。

3、供应商绿色管理体系及能力建设

实施原材料氧化铝的绿色采购，加强对氧化铝供应商绿色生产和绿色管理要求，将绿色生产与管理能力的要求纳入企业供应商准入政策中；开展供应商绿色管理能力建设培训，提升供应商绿色管理能力。通过源头控制，在整个供应链中贯彻防止环境污染、节约能源的意识。绿色采购能够满足公众对环保产品的需求，同时又可以从整体上降低成本。主要在绿色供应商选择和管理，协同开发和采购两方面展开。

6 结论

综上所述，原材料生产与获取阶段的氧化铝及产品生产阶段使用的外购电力的消耗是造成变形铝合金扁铸锭产品在全球变暖、资源耗竭、生态毒性、酸化、富营养化等 11 个方面影响的主要来源。云南云铝海鑫铝业有限公司、云南涌顺铝业有限公司可通过供应链管理、技术改造等方式，降低氧化铝及电力的消耗。

7 参考文献

ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework

ISO 14044 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines

GB/T 32161-2015 生态设计产品评价通则

绿色低碳产品评价规范 电解铝产品（铝锭）

云南铝业股份有限公司