

重熔用铝锭

生命周期评价报告

报告编号： CTISC-SW-CBN-202502011-16

制造商名称： 云南云铝海鑫铝业有限公司；

鹤庆溢鑫铝业有限公司；

云南文山铝业有限公司；

云南云铝涌鑫铝业有限公司；

曲靖云铝涌鑫铝业有限公司；

云南云铝泽鑫铝业有限公司。

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	2
2. 生命周期评价对象及工具	3
2.1. 评价对象概述	3
2.2. 声明单位选择	3
2.3. 系统边界说明	3
2.4. 评价工具	4
3. 生命周期清单分析	4
3.1. 数据来源	4
3.2. 数据质量	4
3.3. 分配	5
3.4. 生命周期阶段及清单	6
4. 生命周期影响评价	14
4.1. 云南云铝海鑫铝业有限公司	15
4.2. 鹤庆溢鑫铝业有限公司	18
4.3. 云南文山铝业有限公司	21
4.4. 云南云铝涌鑫铝业有限公司	24
4.5. 曲靖云铝消鑫铝业有限公司	27
4.6. 云南云铝泽鑫铝业有限公司	30
5. 绿色设计改进方案	33
6. 结论	34
7. 参考文献	35

1. 基本信息

1.1. 报告信息

编制人员	杨皓勋
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	云南云铝海鑫铝业有限公司； 鹤庆溢鑫铝业有限公司； 云南文山铝业有限公司； 云南云铝涌鑫铝业有限公司； 曲靖云铝涪鑫铝业有限公司； 云南云铝泽鑫铝业有限公司。
申请评价产品	重熔用铝锭

1.3. 评估对象

本报告评估的对象为由云南云铝海鑫铝业有限公司；鹤庆溢鑫铝业有限公司；云南文山铝业有限公司；云南云铝涌鑫铝业有限公司；曲靖云铝涪鑫铝业有限公司；云南云铝泽鑫铝业有限公司生产的产品：重熔用铝锭。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

云南铝业股份有限公司

2.生命周期评价对象及工具

2.1.评价对象概述

重熔用铝锭即电解铝、原铝（原生铝锭），英文名称为“Aluminium Ingot”，它是我国电解铝行业最重要的产品，也是我国有色金属工业统计的重点产品之一，在业界常说的“十种有色金属产品”中位居第一。其生产过程是将电解铝液、回收废铝/再生铝投入到中频炉或混合炉中熔炼，经过扒渣收集、处理铝灰，再通过浇铸、打渣、冷却、脱模等工序，得到成品重熔用铝锭。

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 重熔用铝锭作为评价的声明单位。

2.3.系统边界说明

重熔用铝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：

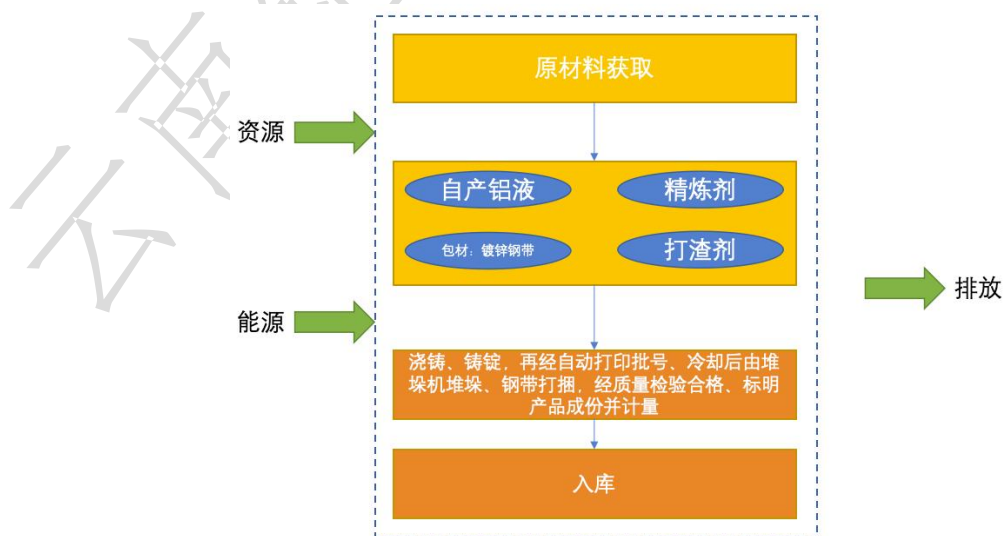


图 1 重熔用铝锭生命周期系统边界

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云铝海鑫铝业有限公司、鹤庆溢鑫铝业有限公司、云南文山铝业有限公司、云南云铝涌鑫铝业有限公司、曲靖云铝涌鑫铝业有限公司、云南云铝泽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、权威的电力排放因子的数据、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，以及单位产品材料使用量小于 1% 的原材料（钢扣）。

3.3.分配

云南云铝海鑫铝业有限公司生产铝液、重熔用铝锭、变形铝合金圆铸锭、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；

鹤庆溢鑫铝业有限公司生产多种产品，很难就单个型号产品来收集清单数据，考虑到产品生产工艺基本相同，因此本报告按照“质量分配”原则来计算分摊比例，按照各个产品的产量（以 t 计）计算其各类原材料和主要生产系统能源的消耗量数据。由于公司生产的多种产品共用辅助生产系统，公辅设备耗电量通过产品主要生产系统与全厂的能耗比例进行分配；

云南文山铝业有限公司生产多种产品，生产使用的原辅材料有单独计量，故不涉及分配，生产过程中各项能源消耗有单独计量，不涉及分配；

云南云铝涌鑫铝业有限公司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；由于公司生产的多种产品共用辅助生产系统，公辅设备的耗电量通过产品生产的主要生产系统与全厂的能耗比例进行分

配；

曲靖云铝消鑫铝业有限公司的重熔用铝锭不涉及分配；

云南云铝泽鑫铝业有限公司生产电解铝液、重熔用铝锭、变形铝合金圆铸锭和铸造铝合金扁锭产品，用能和主要原辅材料数据分别统计，柴油使用数据拆分按照生产产量拆分进行分配。

3.4.生命周期阶段及清单

3.4.1.云南云铝海鑫铝业有限公司清单

3.4.1.1.生产阶段

云南云铝海鑫铝业有限公司电解铝液的生产工艺流程图如下所示：

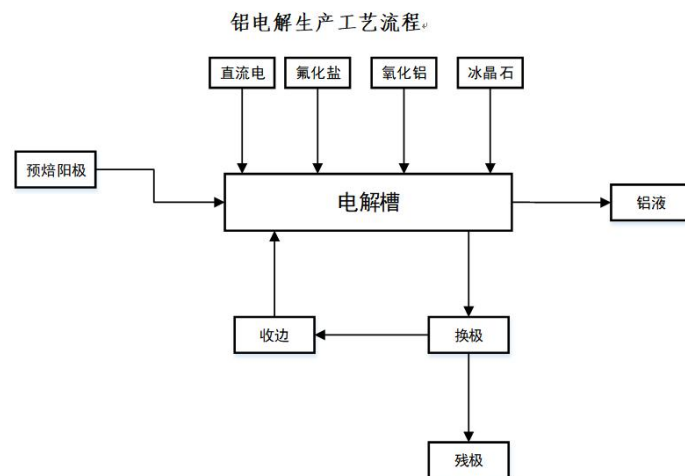


图 2 电解铝液生产工艺流程图

3.4.2.1.重熔用铝锭铸造

3.4.2.1.1 生产阶段

云南云铝海鑫铝业有限公司重熔用铝锭的生产工艺流程图如下所示：

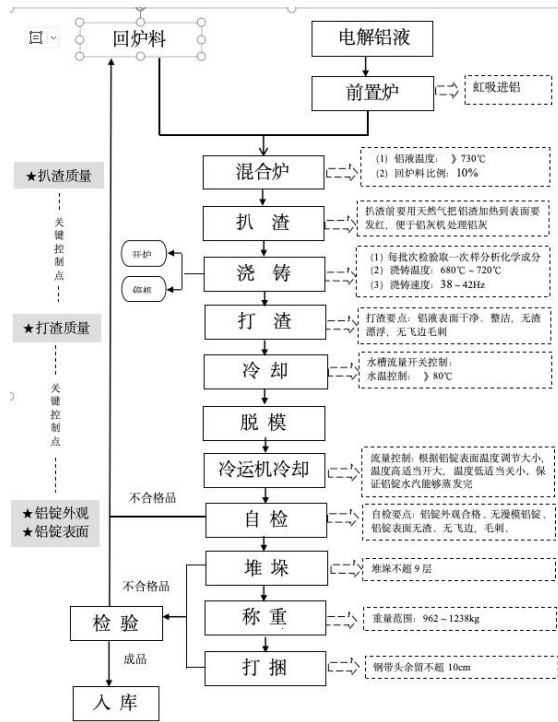


图 3 重熔用铝锭生产工艺流程图

3.4.2.鹤庆溢鑫铝业有限公司清单

3.4.2.1.生产阶段

鹤庆溢鑫铝业有限公司电解铝液的生产工艺流程图如下所示：

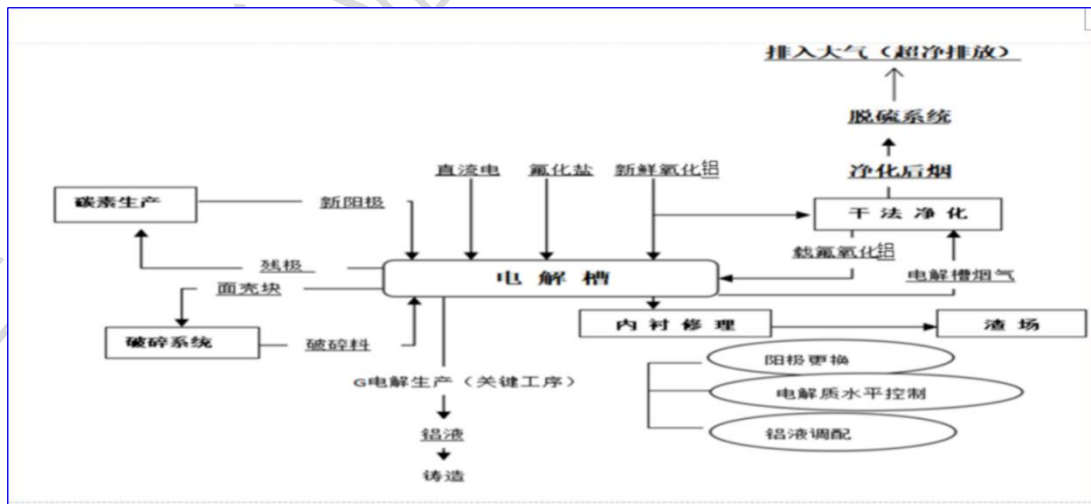


图 4 电解铝液生产工艺流程图

3.4.2.2 重熔用铝锭铸造

3.4.2.2.1 生产阶段

鹤庆溢鑫铝业有限公司重熔用铝锭的生产工艺流程图如下所示：



图 5 重熔用铝锭生产工艺流程图

3.4.3.云南文山铝业有限公司清单

3.4.3.1 生产阶段

云南文山铝业有限公司电解铝液的生产工艺流程图如下所示：

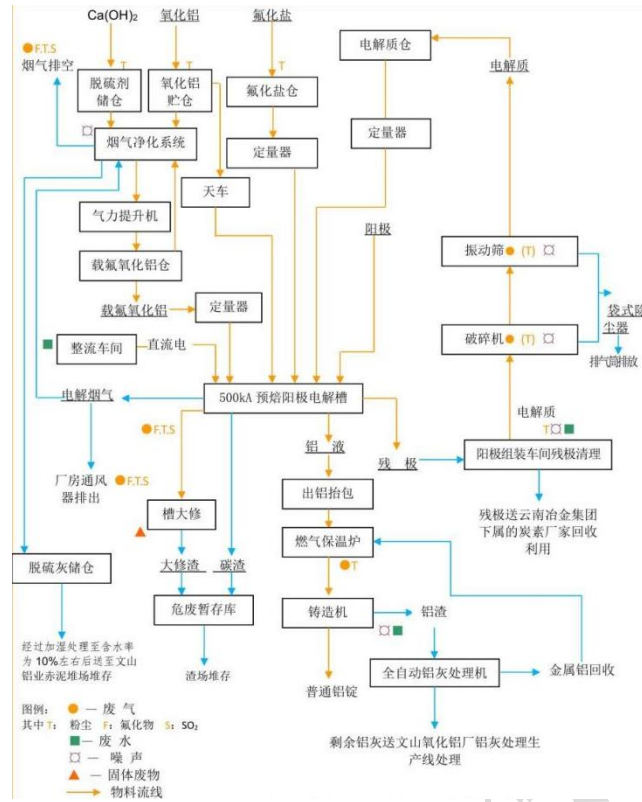


图 6 电解铝液生产工艺流程图

3.4.3.2.重熔用铝锭铸造

3.4.3.2.1.生产阶段

云南文山铝业有限公司重熔用铝锭的生产工艺流程图如下所示：

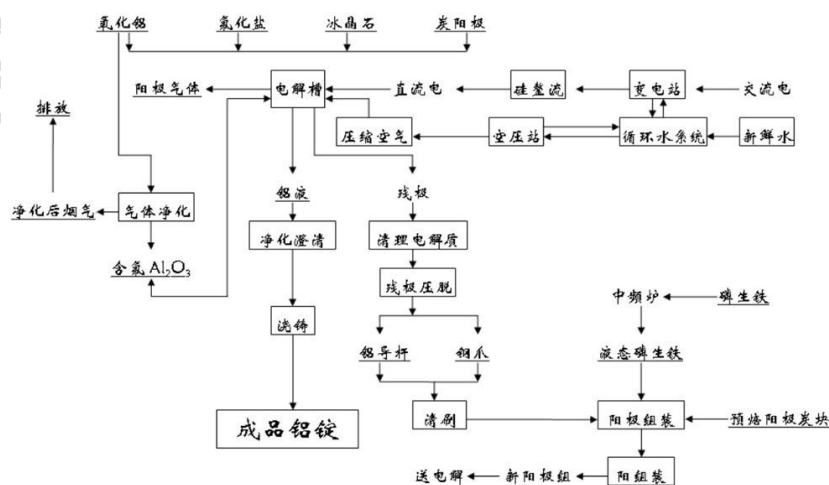


图 7 重熔用铝锭生产工艺流程图

3.4.4.云南云铝涌鑫铝业有限公司

3.4.4.1 生产阶段

云南云铝涌鑫铝业电解铝液的生产工艺流程图如下所示：

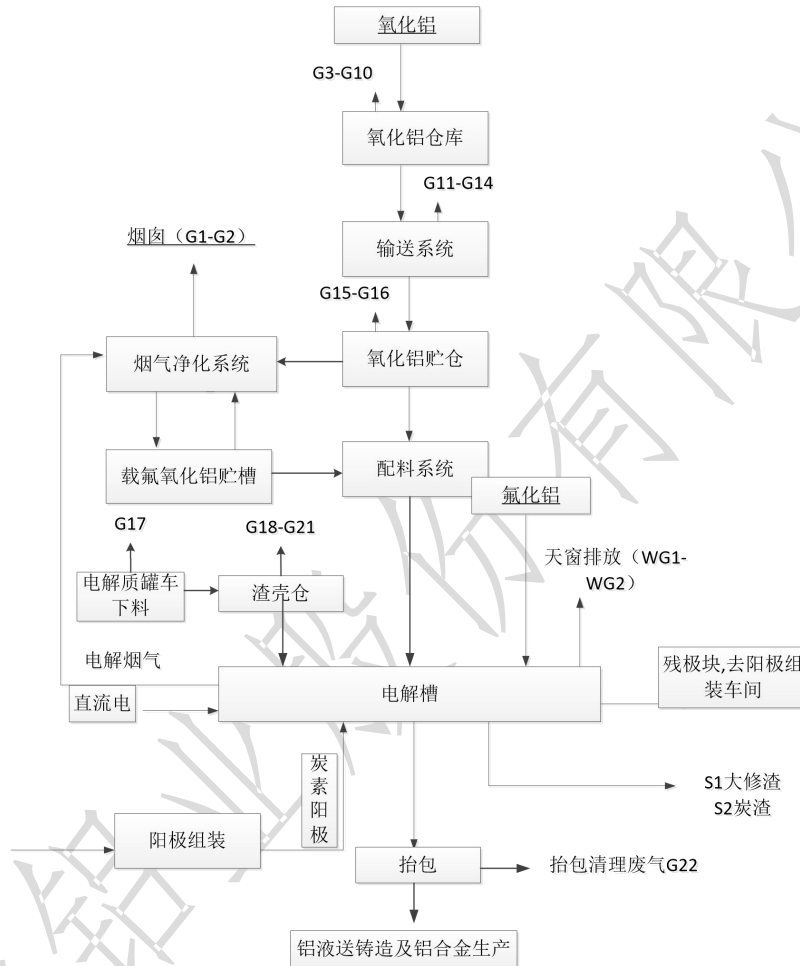


图 8 电解铝液生产工艺流程图

3.4.4.2.重熔用铝锭铸造

3.4.4.2.1.生产阶段

云南云铝涌鑫铝业有限公司重熔用铝锭的生产工艺流程图如下所示：

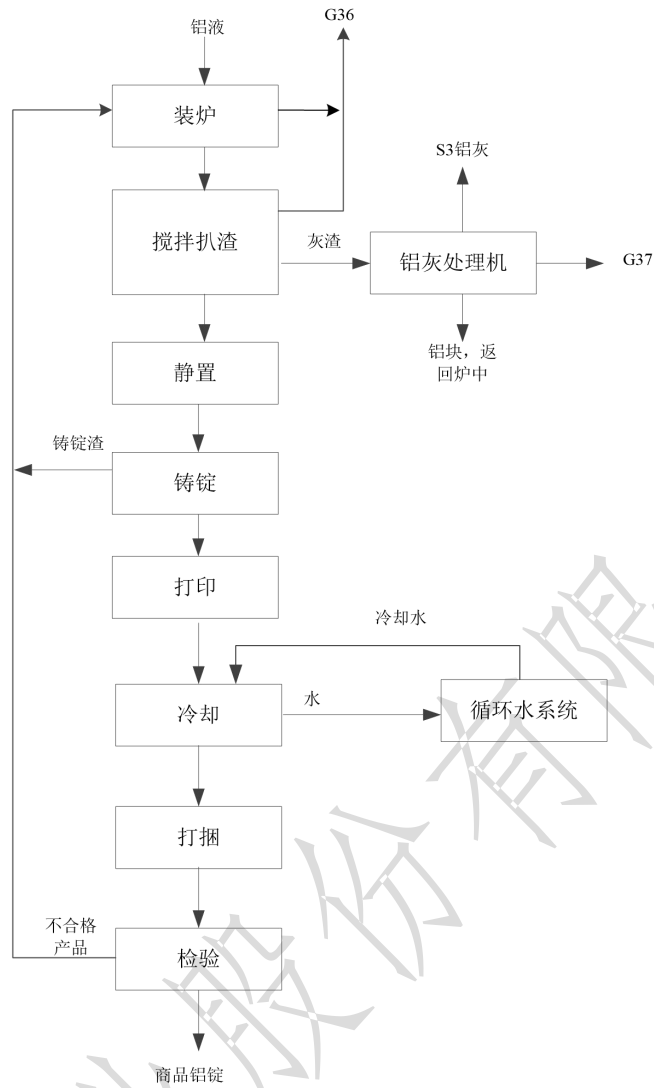


图 9 重熔用铝锭生产工艺流程图

3.4.5.曲靖云铝涌鑫铝业有限公司

3.4.5.1.生产阶段

曲靖云铝涌鑫铝业有限公司电解铝液的生产工艺流程图如下所示：

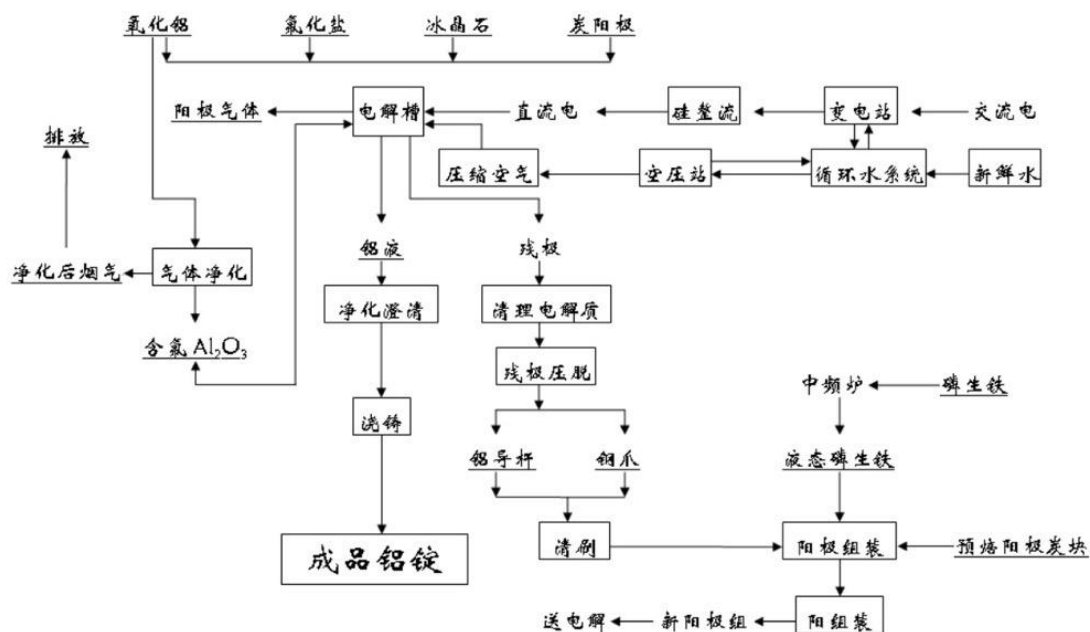


图 10 电解铝液生产工艺流程图

3.4.5.2.重熔用铝锭铸造

3.4.5.2.1.生产阶段

曲靖云铝涌鑫铝业有限公司重熔用铝锭的生产工艺流程图如下所示：

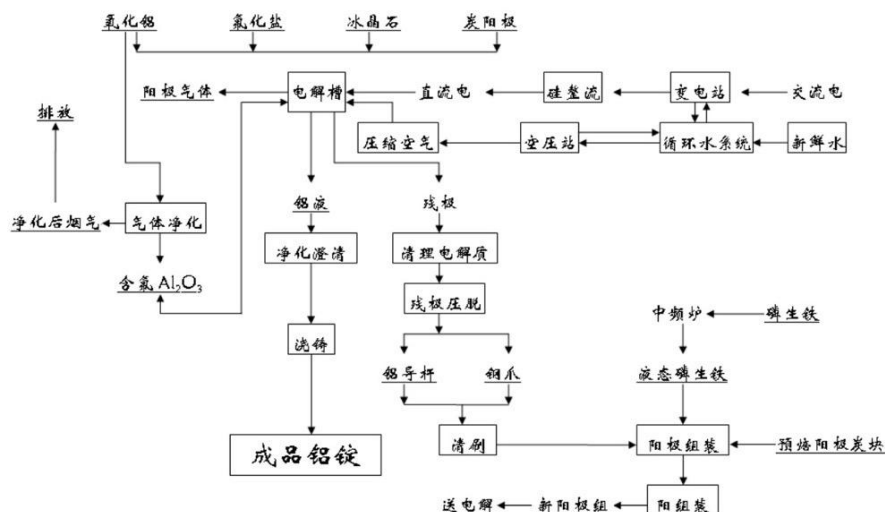


图 11 重熔用铝锭生产工艺流程图

3.4.6.云南云铝泽鑫铝业有限公司

3.4.6.1.生产阶段

云南云铝泽鑫铝业有限公司电解铝液的生产工艺流程图如下所示：

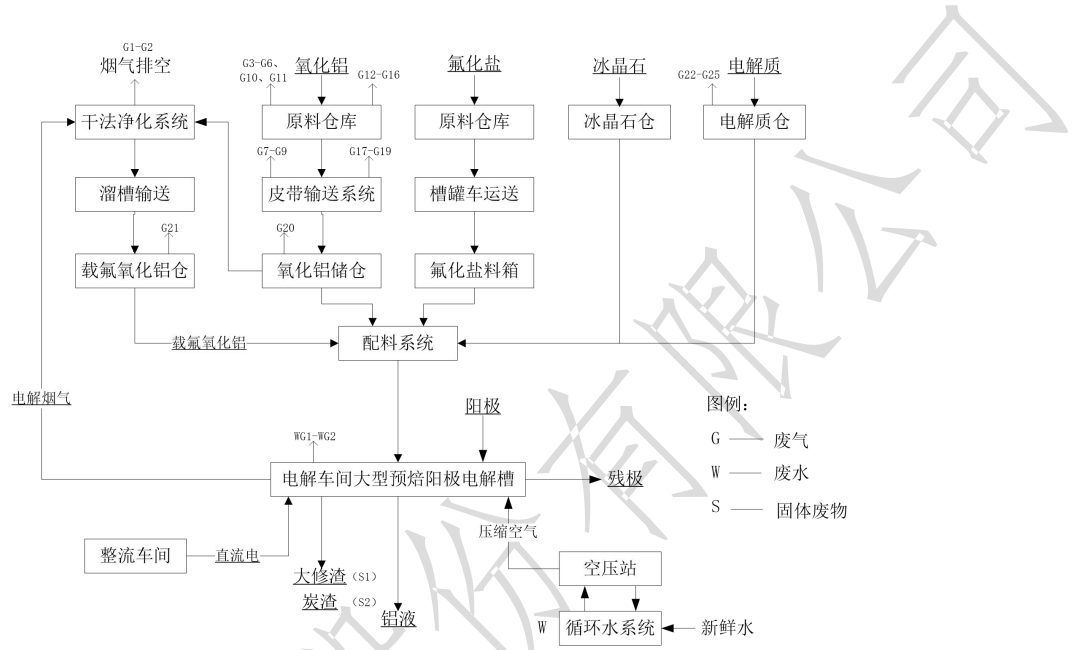


图 12 电解铝液生产工艺流程图

3.4.6.2.重熔用铝锭铸造

3.4.6.2.1.生产阶段

云南云铝泽鑫铝业有限公司重熔用铝锭的生产工艺流程图如下所示：

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）。

4.1.云南云铝海鑫铝业有限公司

4.1.1.综合评价结果

具体评价结果如下表所示。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	0.0559	0.0039	0.0520
化石能源资源耗竭	MJ	92877.0270	46641.7490	46235.2780
全球变暖	kg CO ₂ eq	6200.4000	2806.8900	3393.5100
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	18414.8660	8203.7457	10211.1200
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	13414.6770	8023.7421	5390.9351
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	21409020.0000	10042054.0000	11366967.0000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	96.3251	48.9744	47.35076
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.1730	0.7378	1.4352
酸化	kg SO ₂ eq	53.1756	16.2677	36.9080
富营养化	kg PO ₄ eq	13.3596	4.6062	8.7534

下图展示了重熔用铝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 14 重熔用铝锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，重熔用铝锭产品在臭氧层损耗、淡水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、富营养化产品生产阶段贡献较大，其余过程（化学能源资源耗竭、全球变暖、人类毒性、海洋生态毒性、陆地生态毒性）两阶段贡献差距较小。

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，以描述对重熔用铝锭 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 重熔用铝锭的敏感性分析结果如下。

表 2 对 1t 重熔用铝锭的敏感性分析

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	0.0559	0.0507	-9.26%	0.0611	9.26%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	92877.0270	88256.5525	-4.97%	97497.4999	4.97%
全球变暖	kg CO ₂ eq	铝液	6200.4000	5581.4412	-9.98%	6819.3574	9.98%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-9.03%	0.0001	9.03%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	电力	18414.8660	17394.5489	-5.54%	19435.1841	5.54%

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
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	13414.6770	12644.2531	-5.74%	14185.1014	5.74%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	21409020.0000	20272594.1900	-5.31%	22545446.9900	5.31%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	金属镁	96.3251	92.8389	-4.91%	101.0557	4.91%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.1730	2.0531	-5.52%	2.2929	5.52%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	53.1756	50.0764	-5.83%	56.2749	5.83%
富营养化	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	电力	13.3596	12.4846	-6.55%	14.2347	6.55%

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	0.0559	0.0521	0.0193	0.0285	0.1056
化石能源资源耗竭	92877.0270	89640.2201	18831.3424	65924.8569	140490.0883
酸化	53.1756	52.7465	5.0787	44.4841	65.2062
富营养化	13.3596	12.7627	3.2803	8.8109	21.6916
淡水生态毒性	13414.6770	12205.8291	5982.0033	6875.1867	28973.8064
全球变暖	6200.4000	6153.1037	487.0192	5338.5106	7279.0647
人类毒性	18414.8660	17590.0701	7180.5311	7349.2417	34750.3264
海洋生态毒性	21409020.0000	20390585.13	6225642.867	13450535.87	36269575.51
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
光化学氧化	2.1730	2.1513	0.2157	1.8081	2.6619
陆地生态毒性	96.3251	76.3636	526.5826	-997.98	1183.4866

4.2.鹤庆溢鑫铝业有限公司

4.2.1.综合评价结果

具体评价结果如下表所示。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	0.0566	0.0044	0.0522
化石能源资源耗竭	MJ	95384.0350	48955.0970	46428.9390
全球变暖	kg CO ₂ eq	6289.9600	2879.5100	3410.4500
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	18840.4500	8586.0288	10254.4220
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	13551.0470	8139.8035	5411.2430
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	21668375.0000	10257708.0000	11410667.0000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	99.1714	51.6063	47.5651
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.0674	0.7609	1.3065
酸化	kg SO ₂ eq	50.3909	16.6994	33.6916
富营养化	kg PO ₄ eq	13.5220	4.7358	8.7862

下图展示了重熔用铝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)：

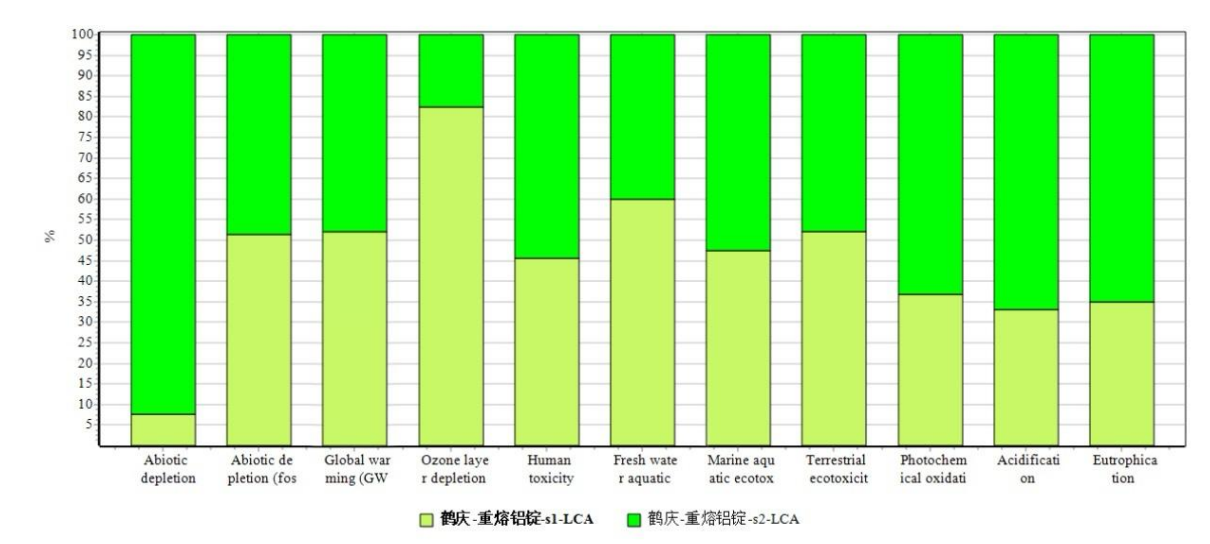


图 15 重熔用铝锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，重熔用铝锭产品在臭氧层损耗、淡水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、富营养化产品生产阶段贡献较大，其余过程（化学能源资源耗竭、全球变暖、人类毒性、海洋生态毒性、陆地生态毒性）两阶段贡献差距较小。

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，以描述对重熔用铝锭 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 重熔用铝锭的敏感性分析结果如下。

表 5 对 1t 重熔用铝锭的敏感性分析

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	0.0566	0.0514	-9.16%	0.0618	9.16%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	95384.0350	90746.8719	-4.86%	100021.1979	4.86%
全球变暖	kg CO ₂ eq	氧化铝	6289.9600	6096.6515	-3.67%	6329.9133	3.67%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-6.56%	0.0001	6.56%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	电力	18840.4500	17816.4476	-5.44%	19864.4536	5.44%

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
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	13551.0470	12774.9518	-5.73%	14185.1014	5.73%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	21668375.0000	20527843.4400	-5.26%	22808905.8400	5.26%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	99.1714	94.4238	-4.79%	103.9190	4.79%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.0674	1.9471	-5.82%	2.1877	5.82%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	50.3909	47.2805	-6.17%	53.5014	6.17%
富营养化	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	电力	13.5220	12.6438	-6.49%	14.4002	6.49%

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	0.0566	0.0531	0.0192	0.0299	0.1049
化石能源资源耗竭	95384.0350	91114.9161	21497.9127	67383.9965	149072.364
酸化	50.3909	49.7917	5.6313	41.4853	63.3287
富营养化	13.5220	12.8627	3.5452	8.7913	22.8911
淡水生态毒性	13551.0470	12202.7316	5530.4009	7147.0125	29022.1077
全球变暖	6289.9600	6251.5053	485.9515	5421.4956	7317.7857
人类毒性	18840.4500	18067.2033	7436.0897	6442.345	35343.0152
海洋生态毒性	21668375.0000	20510221.98	5808271.296	13559530.56	36858168.97
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0	0.0001	0.0001
光化学氧化	2.0674	2.0384	0.231	1.6743	2.5849
陆地生态毒性	99.1714	76.6554	667.6125	-1215.5679	1454.2605

4.3.云南文山铝业有限公司

4.3.1.综合评价结果

具体评价结果如下表所示。声明单位为 1 t。

表 7 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	0.0557	0.0036	0.0521
化石能源资源耗竭	MJ	91437.1590	45160.3820	46276.7770
全球变暖	kg CO ₂ eq	6086.0800	2657.4300	3428.6500
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	17438.2160	7218.4469	10219.7690
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	13295.6510	7897.6876	5397.9633
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	21020710.0000	9639703.2000	11381006.0000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	90.2189	42.8366	47.3823
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.1788	0.7030	1.4758
酸化	kg SO ₂ eq	53.3504	15.4297	37.9206
富营养化	kg PO ₄ eq	13.1464	4.3831	8.7634

下图展示了重熔用铝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)：

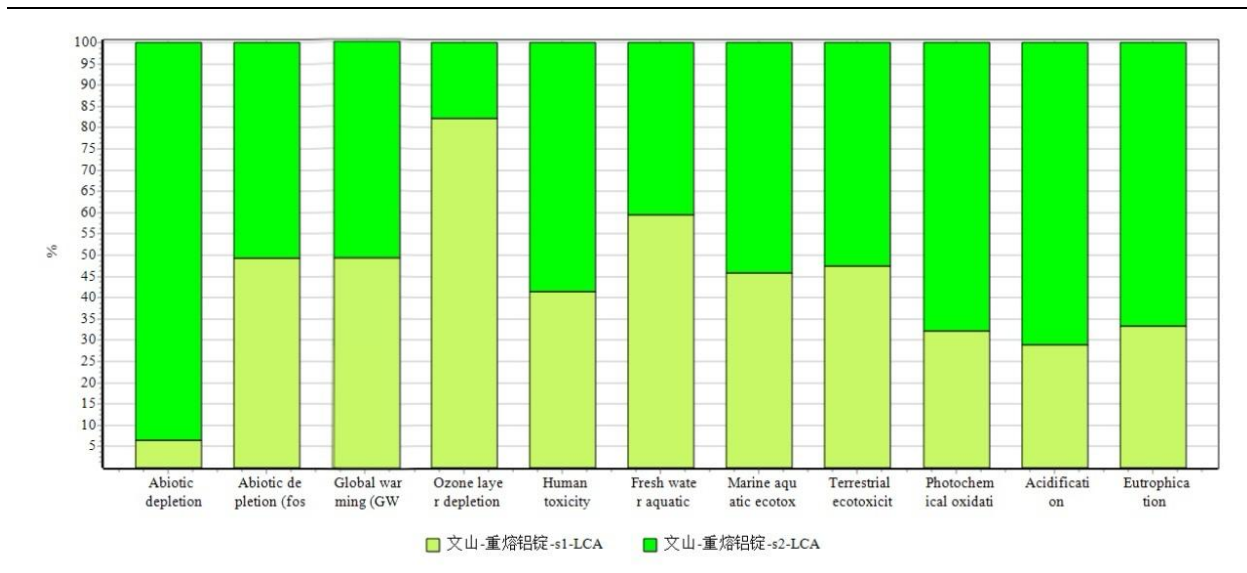


图 16 重熔用铝锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，重熔用铝锭产品在臭氧层损耗、淡水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、富营养化产品生产阶段贡献较大，其余过程（化学能源资源耗竭、人类毒性、全球变暖、海洋生态毒性、陆地生态毒性）两阶段贡献差距较小。

4.3.2. 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，以描述对重熔用铝锭 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 重熔用铝锭的敏感性分析结果如下。

表 8 对 1t 重熔用铝锭的敏感性分析

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	0.0557	0.0505	-9.41%	0.0609	9.41%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	91437.1590	86810.1211	-5.06%	96064.1955	5.06%
全球变暖	kg CO ₂ eq	铝液	6086.0800	5479.2500	-9.97%	6692.9100	9.97%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-9.53%	0.0001	9.53%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	电力	17438.2160	16416.4498	-5.86%	18459.9838	5.86%

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
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	13295.6510	12524.8590	-5.80%	14066.4429	5.80%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	21020710.0000	19882668.7200	-5.41%	22158750.1200	5.41%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	90.2189	85.4817	-5.25%	94.9561	5.25%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.1788	2.0588	-5.51%	2.2989	5.51%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	53.3504	50.2467	-5.82%	56.454	5.82%
富营养化	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	电力	13.1464	12.2702	-6.67%	14.0227	6.67%

4.3.3.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 9 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.0557	0.0527	0.0197	0.0277	0.1016
化石能源资源耗竭	91437.1590	87620.4027	20455.3889	64983.388	148365.8232
酸化	53.3504	52.8742	5.4724	44.2493	66.0779
富营养化	13.1464	12.4993	3.237	8.7103	21.5585
淡水生态毒性	13295.6510	11703.129	6110.2126	6633.1707	33364.5581
全球变暖	6086.0800	6045.2403	478.1819	5247.4112	7114.5871
人类毒性	17438.2160	16839.7239	6435.7575	7372.475	33181.9946
海洋生态毒性	21020710.0000	19645766.88	6300434.648	13195795.69	38677956.86
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
光化学氧化	2.1788	2.1572	0.2295	1.8088	2.6805
陆地生态毒性	90.2189	113.5931	1110.7717	-2135.3734	2062.6539

4.4. 云南云铝涌鑫铝业有限公司

4.4.1. 综合评价结果

具体评价结果如下表所示。声明单位为 1 t。

表 10 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	0.0538	0.0034	0.0503
化石能源资源耗竭	MJ	89599.2450	44905.9190	44693.3260
全球变暖	kg CO ₂ eq	5968.5500	2636.7200	3331.8300
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	17026.5090	7156.0635	9870.4452
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	13071.0280	7858.0761	5212.9521
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	20513254.0000	9522220.8000	10991033.0000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	88.2310	42.4691	45.7619
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.2631	0.6957	1.5674
酸化	kg SO ₂ eq	55.4867	15.3093	40.1774
富营养化	kg PO ₄ eq	12.8192	4.3557	8.4635

下图展示了重熔用铝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)：

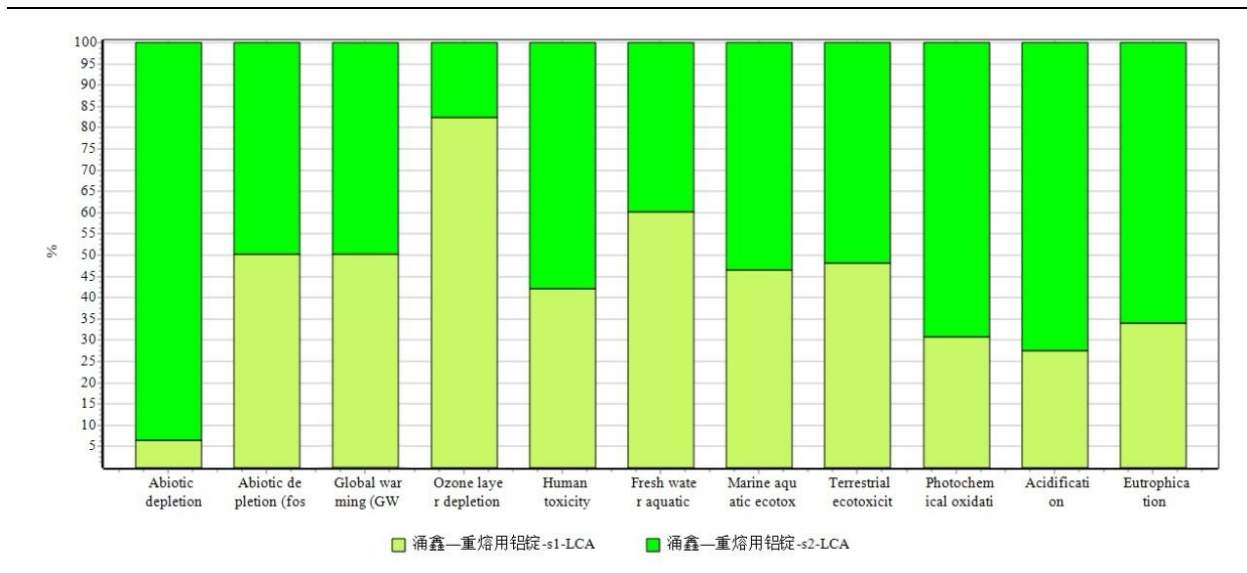


图 17 重熔用铝锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，重熔用铝锭产品在臭氧层损耗、淡水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、富营养化产品生产阶段贡献较大，其余过程（化学能源资源耗竭、全球变暖、人类毒性、海洋生态毒性、陆地生态毒性）两阶段贡献差距较小。

4.4.2. 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，以描述对重熔用铝锭 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 重熔用铝锭的敏感性分析结果如下。

表 11 对 1t 重熔用铝锭的敏感性分析

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	0.0538	0.0487	-9.38%	0.0588	9.38%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	89599.2450	85130.8489	-4.99%	94067.6415	4.99%
全球变暖	kg CO ₂ eq	铝液	5968.5500	5374.0824	-9.96%	6563.0176	9.96%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-11.75%	0.0001	11.75%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	电力	17026.5090	16039.7737	-5.80%	18013.2437	5.80%

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
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	13071.0280	12304.3969	-5.87%	13837.6595	5.87%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	20513254.0000	19414231.6100	-5.36%	21612276.2100	5.36%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	88.2310	83.6561	-5.19%	92.8058	5.19%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.2631	2.1472	-5.12%	2.3790	5.12%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	55.4867	52.4894	-5.40%	58.4839	5.40%
富营养化	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	电力	12.8192	11.9730	-6.60%	13.6655	6.60%

4.4.3. 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 12 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.0538	0.0499	0.0188	0.0274	0.1009
化石能源资源耗竭	89599.2450	84938.5581	20417.6842	62860.9171	140746.8694
酸化	55.4867	54.6968	5.8065	46.7172	68.573
富营养化	12.8192	12.2815	3.1243	8.2774	20.3197
淡水生态毒性	13071.0280	11630.7404	5752.5728	6768.4818	27766.7258
全球变暖	5968.5500	5929.0595	454.1228	5161.5531	7018.1017
人类毒性	17026.5090	15969.4869	6440.0171	6939.0884	31608.5799
海洋生态毒性	20513254.0000	19363187.94	6089266.115	12575657.16	36306252.4
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
光化学氧化	2.2631	2.2426	0.2451	1.8882	2.8191
陆地生态毒性	88.2310	95.8003	532.4717	-958.0288	1143.9762

4.5.曲靖云铝消鑫铝业有限公司

4.5.1.综合评价结果

具体评价结果如下表所示。声明单位为 1 t。

表 13 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	0.0530	0.0035	0.0494
化石能源资源耗竭	MJ	88312.7030	44389.5030	43923.2000
全球变暖	kg CO ₂ eq	5866.6900	2641.4800	3225.2100
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	16921.7160	7220.5963	9701.1198
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	12649.4490	7529.1745	5120.2750
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	20024453.0000	9227804.5000	10796648.0000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	88.0319	43.0438	44.9880
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.2289	0.6812	1.5478
酸化	kg SO ₂ eq	54.5467	14.8739	39.6728
富营养化	kg PO ₄ eq	12.5491	4.2343	8.3149

下图展示了重熔用铝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)：

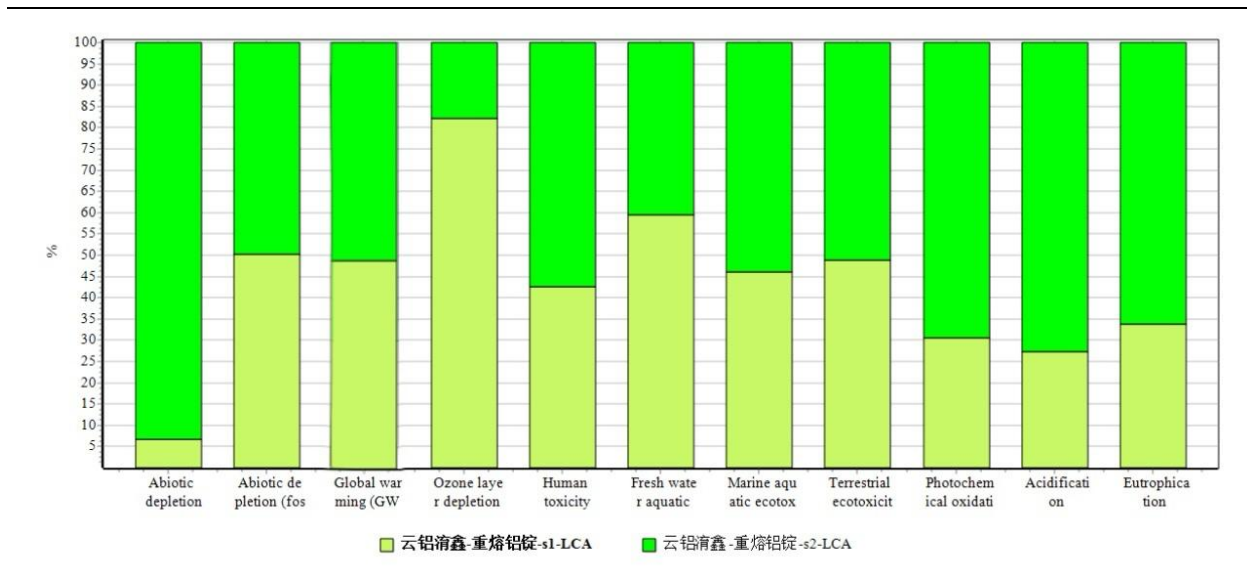


图 18 重熔用铝锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，重熔用铝锭产品在臭氧层损耗、淡水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、富营养化产品生产阶段贡献较大，其余过程（化学能源资源耗竭、全球变暖、人类毒性、海洋生态毒性、陆地生态毒性）两阶段贡献差距较小。

4.5.2. 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，以描述对重熔用铝锭 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 重熔用铝锭的敏感性分析结果如下。

表 14 对 1t 重熔用铝锭的敏感性分析

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	0.0530	0.0480	-9.32%	0.0579	9.32%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	88312.7030	83924.4651	-4.97%	92700.9401	4.97%
全球变暖	kg CO ₂ eq	铝液	5866.6900	5283.1190	-9.95%	6450.2608	9.95%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-14.66%	0.0001	14.66%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	电力	16921.7160	15952.6822	-5.73%	17890.7500	5.73%

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
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	12649.4490	11918.7922	-5.78%	13380.1069	5.78%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	20024453.0000	18945145.7338	-5.39%	21103759.3300	5.39%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	88.0319	83.5391	-5.10%	92.5246	5.10%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.2289	2.1151	-5.11%	2.3428	5.11%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	54.5467	51.6032	-5.40%	57.4902	5.40%
富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	电力	12.5491	11.7181	-6.62%	13.3802	6.62%

4.5.3. 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 15 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.0530	0.0494	0.0187	0.0279	0.0988
化石能源资源耗竭	88312.7030	84629.3265	19106.9622	61386.0392	139388.2601
酸化	54.5467	54.0492	5.2367	46.2199	66.8202
富营养化	12.5491	11.9176	3.2035	8.4973	21.1168
淡水生态毒性	12649.4490	11501.2226	5130.6035	6389.1103	26298.2438
全球变暖	5866.6900	5837.0544	449.4412	5083.4505	6844.0445
人类毒性	16921.7160	15953.5098	6830.0597	6596.3766	31325.8688
海洋生态毒性	20024453.0000	18962014.17	6338028.588	12712593.39	33514574.54
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
光化学氧化	2.2289	2.2107	0.2202	1.8728	2.7005
陆地生态毒性	88.0319	77.1401	965.9259	-1836.5076	2005.6346

4.6. 云南云铝泽鑫铝业有限公司

4.6.1. 综合评价结果

具体评价结果如下表所示。声明单位为 1 t。

表 16 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	0.0554	0.0037	0.0518
化石能源资源耗竭	MJ	91295.2120	45294.7120	46000.5010
全球变暖	kg CO ₂ eq	6051.6900	2691.5400	3360.1500
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	17768.8760	7609.2186	10159.6580
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	13342.1430	7979.3345	5362.8087
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	21120252.0000	9812305.4000	11307947.0000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	92.3264	45.2111	47.1153
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.2077	0.7135	1.4942
酸化	kg SO ₂ eq	54.1391	15.7605	38.3786
富营养化	kg PO ₄ eq	13.1962	4.4883	8.7079

下图展示了重熔用铝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)：

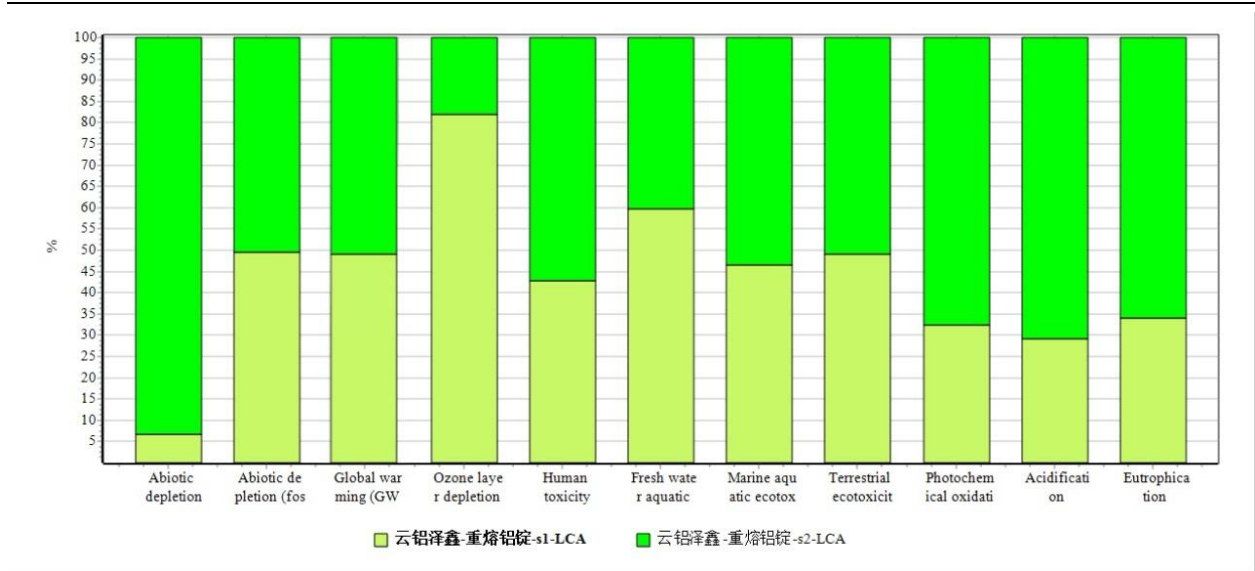


图 19 重熔用铝锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，重熔用铝锭产品在臭氧层损耗、淡水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、富营养化产品生产阶段贡献较大，其余过程（化学能源资源耗竭、全球变暖、人类毒性、海洋生态毒性、陆地生态毒性）两阶段贡献差距较小。

4.6.2. 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，以描述对重熔用铝锭 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 重熔用铝锭的敏感性分析结果如下。

表 17 对 1t 重熔用铝锭的敏感性分析

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	0.0554	0.0503	-9.33%	0.0606	9.33%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	91295.2120	86699.0710	-5.03%	95891.3532	5.03%
全球变暖	kg CO ₂ eq	铝液	6051.6900	5447.9797	-9.98%	6655.3959	9.98%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-10.26%	0.0001	10.26%
人类毒性	kg 1,4-DB	电力	17768.8760	16753.9318	-5.71%	18783.8204	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						
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	13342.1430	12568.3736	-5.80%	14115.9129	5.80%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	21120252.0000	19989810.9144	-5.35%	22250694.3100	5.35%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	92.3264	87.6208	-5.10%	97.0320	5.10%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.2077	2.0885	-5.40%	2.3269	5.40%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	54.1391	51.0561	-5.69%	57.2220	5.69%
富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	电力	13.1962	12.3258	-6.60%	14.0666	6.60%

4.6.3.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 18 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.0554	0.0524	0.0185	0.0293	0.1017
化石能源资源耗竭	91295.2120	86483.3406	21576.6976	62605.0399	144757.6818
酸化	54.1391	53.262	5.9467	44.7797	67.9904
富营养化	13.1962	12.589	3.2007	8.6713	21.5808
淡水生态毒性	13342.1430	12122.5971	5271.2188	6725.6074	28035.7792
全球变暖	6051.6900	6027.8438	494.231	5206.7726	7108.8901
人类毒性	17768.8760	16873.8905	6791.4729	6895.7943	31673.1281
海洋生态毒性	21120252.0000	19999119.63	5668343.513	13271056.32	35799863.27
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
光化学氧化	2.2077	2.1759	0.244	1.8311	2.7592
陆地生态毒性	92.3264	94.235	684.8534	-1276.8047	1574.161

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重熔用铝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,优化氧化铝原料的质量,减少因为杂质导致的无效消耗;控制氧化铝粒径分布,避免过细颗粒飞扬损失或过粗颗粒溶解缓慢。同时提高氧化铝粉尘的回收效率,利用再生铝、废铝料可再生循环的优势,降低产品整体环境负荷。综上所述,在满足环境目标要求的同时,保证产品应有的功能、使用寿命、质量等要求,提高氧化铝的使用效率,减少其无效消耗。

2、优化工艺技术

通过调整电解温度、极距、电解质成分(如氟化盐比例)等,减少副反应的发生,从而提高电流效率,降低电解铝液的电力单耗;采用非消耗性阳极(如金属陶瓷阳极),避免炭阳极氧化导致的氧化铝额外消耗;同时,优化生产流程,合理安排生产计划,避免频繁停启电解槽带来的能源、资源浪费,以及减少阳极效应时间从而降低电解液生产过程中的温室气体排放。在重熔用铝锭生产方面,可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、天然气消耗。充分利用云南省风光水电等可再生能源电力的优势,结合各公司自建的光伏发电项目,引用更多的可再生电力进行生产活动;考虑进一步发展“源网荷储”一体化,将电源、电网、负荷、储能四大环节深度融合,通过智能协同调控和系统优化,实现能源高效利用与供需动态平衡。

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重熔用铝锭产品在全球变暖、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、鹤庆溢鑫铝业有限公司、云南文山铝业有限公司、云南云铝涌鑫铝业有限公司、曲靖云铝涪鑫铝业有限公司、云南云铝泽鑫铝业有限公司可通过供应链管理、技术改造等方式，降低氧化铝及外购电力的消耗。

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