

铸造铝合金锭 生命周期评价报告

报告编号： CTISC-SW-CBN-202502011-17

制造商名称： 云南文山铝业有限公司

云南云铝润鑫铝业有限公司

云南云铝涌鑫铝业有限公司

云南云铝泽鑫铝业有限公司

云南云铝海鑫铝业有限公司

鹤庆溢鑫铝业有限公司

云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司

报告编写方： 华测认证有限公司

签发日期： 2025 年 5 月 6 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	5
3.3. 分配	6
3.4. 生命周期阶段	6
4. 生命周期影响评价	8
4.1. 云南铝业股份有限公司影响评价	9
5. 绿色设计改进方案	12
6. 结论	13
7. 参考文献	13

1. 基本信息

1.1. 报告信息

编制人员	沙漠雨
审核人员	王功亮
发布日期	2025年5月6日

1.2. 客户信息

公司全称	云南铝业股份有限公司
制造单位	云南文山铝业有限公司
	云南云铝润鑫铝业有限公司
	云南云铝涌鑫铝业有限公司
	云南云铝泽鑫铝业有限公司
	云南云铝海鑫铝业有限公司
	鹤庆溢鑫铝业有限公司
	云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司
申请评价产品	铸造铝合金锭

1.3. 评估对象

本报告评估对象为云南铝业股份有限公司生产的“铸造铝合金锭”，股份公司相关数据由其控股子公司加权平均得出，涉及单位包括：云南文山铝业有限公司、云南云铝润鑫铝业有限公司、云南云铝涌鑫铝业有限公司、云南云铝泽鑫铝业有限公司、云南云铝海鑫铝业有限公司、鹤庆溢鑫铝业有限公司、云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司，权重依据各子公司实际产量确定。

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，本次将各子公司产品的评估结果按产量加权整合，统一作为云南铝业股份有限公司的整体评估结果。

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

铸造铝合金锭，英文名称为“Cast aluminum alloy ingot”。铸造铝合金锭是一种以铝为基础，添加有其他合金元素（如硅、镁等），并通过特定铸造工艺生产出来的块状铝合金产品。在生产过程中，铸造铝合金锭按照如下工艺生产：将纯度较高的原铝液以及根据产品性能需求选定的各种合金元素投入熔炉中进行加热熔化，然后对熔化后的铝合金液进行精炼处理，提高铝合金液的纯净度，精炼后的铝合金液达到规定的温度和成分要求后，倒入特定的模具中进行冷却凝固成型，从而得到铸造铝合金锭。铸造铝合金锭被广泛应用于汽车制造、航空航天、机械制造、电子设备等众多领域。

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 铸造铝合金锭作为评价的声明单位。

2.3. 系统边界说明

铸造铝合金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：

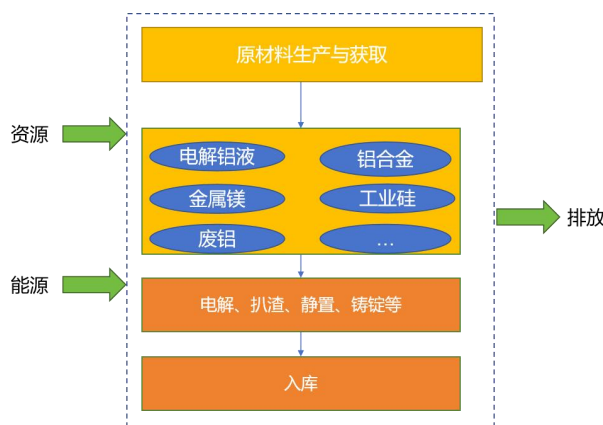


图 1 铸造铝合金锭生命周期系统边界

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

本报告所需现场数据由云南铝业股份有限公司下属各单位依据实际生产运营情况提供，涉及单位包括：云南文山铝业有限公司、云南云铝润鑫铝业有限公司、云南云铝涌鑫铝业有限公司、云南云铝泽鑫铝业有限公司、云南云铝海鑫铝业有限公司、鹤庆溢鑫铝业有限公司、云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司，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。

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，本次评价以各子公司铸造铝合金产量为权重，对各单位产品评估结果进行加权计算，最终整合形成云南铝业股份有限公司铸造铝合金锭的整体评估结果。

表 1 子公司铸造铝合金产量

LCA 评价公司	产量占比
云南文山铝业有限公司	12.99%
云南云铝润鑫铝业有限公司	17.71%

云南云铝涌鑫铝业有限公司	29.15%
云南云铝泽鑫铝业有限公司	14.08%
云南云铝海鑫铝业有限公司	9.67%
鹤庆溢鑫铝业有限公司	11.53%
云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司	4.88%

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：

(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% 的原材料即产品标签、氧气、乙炔焊接气体。

(3) 未考虑氮氧化物、氨、硫化氢等排放量忽略不计的废气

3.3. 分配

云南铝业股份有限公司生产多种产品，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，公辅系统的耗电量通过产品主要生产系统与全厂的用能比例进行分配；生产过程中产生的固废按照产品产量比例进行分配，铸造铝合金锭工序没有废气排放口，将废气（SO₂）分配于电解铝生产阶段。

3.4. 生命周期阶段

云南铝业股份有限公司的铸造铝合金锭的生产过程包括电解铝生产和铸造铝合金锭铸造。

铝电解生产的原材料生产与获取阶段产生的环境影响主要来源于原辅材料的生产加工和采购运输过程。

电解铝液生产过程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 CO₂；②随着阳极的消耗，阳极效应导致 PFCs 即四氟化碳（CF₄）和六氟化二碳（C₂F₆）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厂内运输使用的柴油燃烧以及生产过程中使用的电力产生的排放；⑤生产过程中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）所产生的排放铝电解生产阶段的工艺流程图如下所示。

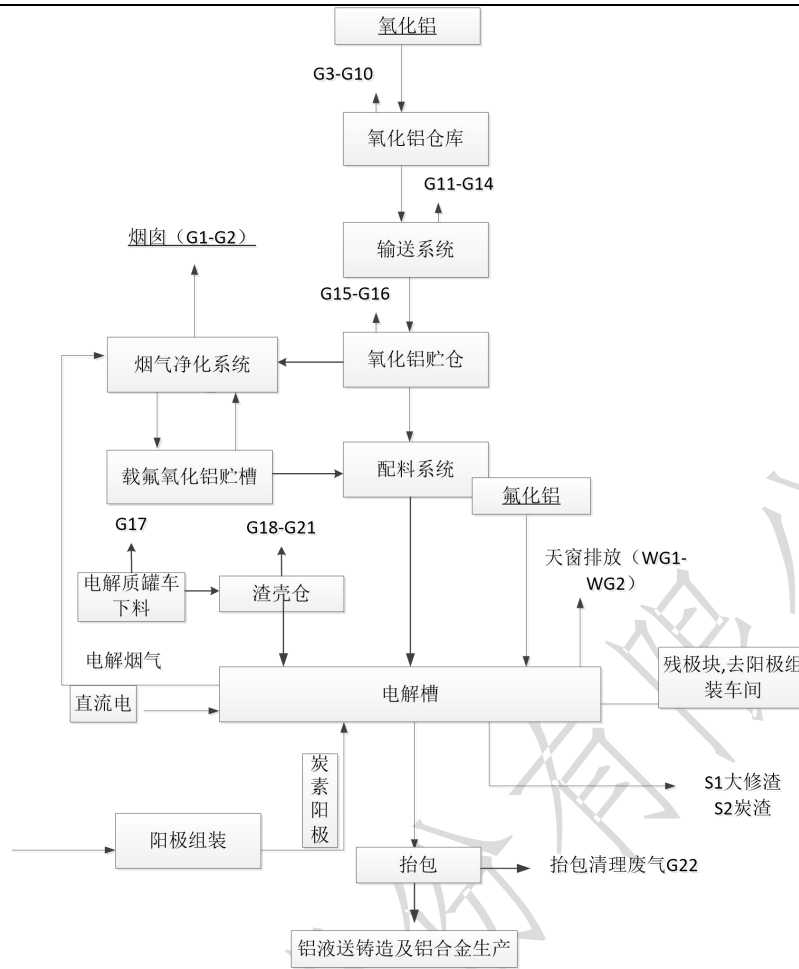


图 2 电解铝液生产工艺流程图

铸造铝合金锭铸造的原材料生产与获取阶段产生的环境影响主要来源于原辅材料的生产加工和采购运输过程。

铸造铝合金锭铸造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（柴油排放系数取自 IPCC 为 3.5028171974 kgCO₂e/kg）；②生产过程使用的电力、天然气燃烧产生的排放（天然气排放系数取自 IPCC 为 2.1888735408 kgCO₂e/m³）；③生产过程中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。铸造铝合金锭铸造的生产工艺流程图如下所示。

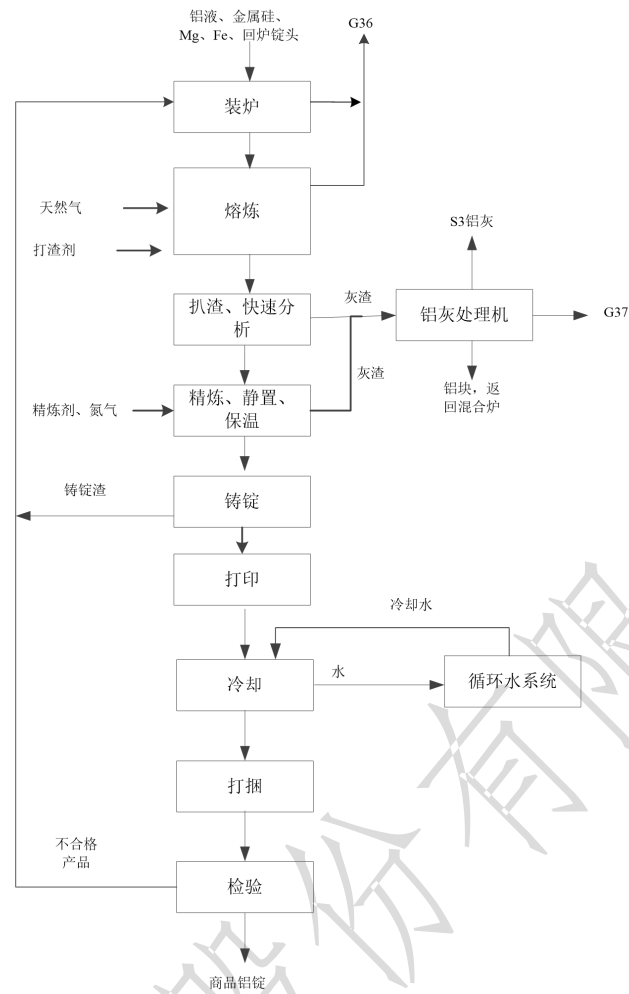


图 3 铸造铝合金锭铸造生产工艺流程图

4. 生命周期影响评价

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）。

4.1. 云南铝业股份有限公司影响评价

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 2 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	0.05	0.01	0.05
化石能源资源耗竭	MJ	93341.95	51262.34	42079.61
全球变暖	kg CO ₂ eq	6504.33	3351.41	3152.89
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	39140.98	29847.60	9293.38
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	14379.34	9472.27	4907.06
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	28497696.00	18151211.02	10346484.96
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	225.93	182.83	43.09
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	2.31	0.91	1.40
酸化	kg SO ₂ eq	54.20	18.30	35.90
富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	13.39	5.43	7.97

下图展示了铸造铝合金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）：

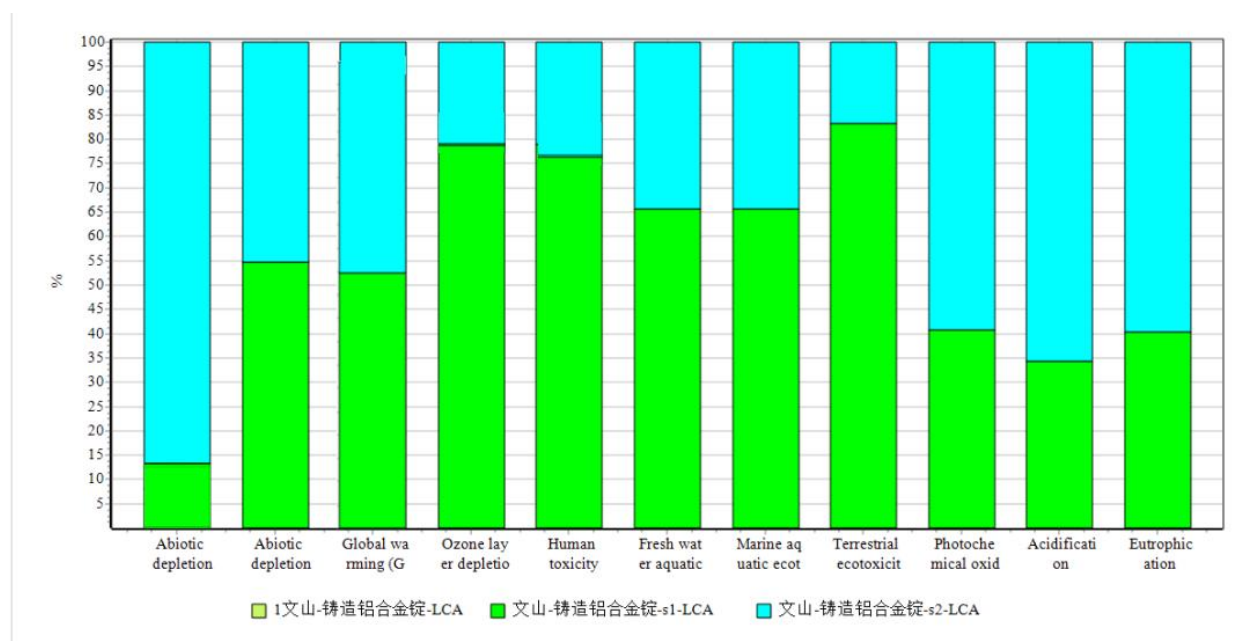


图 4 铸造铝合金锭产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，铸造铝合金锭产品在臭氧层损耗、人类毒性、淡水生态毒性、海洋生态毒性、陆地生态毒性等方面原材料生产与获取阶段贡献较大，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）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，以描述对铸造铝合金锭 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 铸造铝合金锭的敏感性分析结果如下。

表 3 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	0.05	0.05	-8.68%	0.06	8.68%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	93341.95	89136.05	-4.51%	97547.84	4.51%
全球变暖	kg CO ₂ eq	氧化铝	6504.33	6286.04	-3.36%	6722.57	3.36%

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
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-6.42%	0.0001	6.42%
人类毒性	kg 1,4-DB eq	硅	39140.98	37086.98	-5.25%	41194.98	5.25%
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	氧化铝	14379.34	13644.11	-5.11%	15114.56	5.11%
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	电力	28497696.00	27463237.10	-3.63%	29532154.94	3.63%
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	硅	225.93	213.58	-5.47%	238.27	5.47%
光化学氧化	kg C ₂ H ₄ eq	电力	2.31	2.20	-4.73%	2.42	4.73%
酸化	kg SO ₂ eq	电力	54.20	51.38	-5.20%	57.02	5.20%
富营养化	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	电力	13.39	12.60	-5.95%	14.19	5.95%

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)，分析结果如下表所示。

表 4 不确定性分析

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
资源耗竭	0.05	0.0513	0.0178	0.0297	0.0985
化石能源资源耗竭	93341.95	89569.5316	19675.9421	66148.4090	142966.8847
全球变暖	6504.33	6468.7879	474.4286	5671.4770	7512.8540
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
人类毒性	39140.98	35224.4446	18677.5887	16577.7554	86607.7971
淡水生态毒性	14379.34	13250.5166	5401.2281	7797.6496	28317.7581
海洋生态毒性	28497696.00	27104698.4748	7996442.0150	17794125.3242	47617181.5804
陆地生态毒性	225.93	221.3335	739.3925	-1230.9305	1704.2672

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
光化学氧化	2.31	2.2842	0.2319	1.9394	2.8203
酸化	54.20	53.6713	5.3156	45.7492	65.8307
富营养化	13.39	12.6450	3.5372	8.8430	22.0392

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铸造铝合金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、工业硅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、废铝料替代原生氧化铝生产的铝材料,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,例如:推广“两段法铝灰处置技术”,实现铝灰中回收金属铝、氟化物减少氧化铝、氟化铝的投入量。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、天然气消耗。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铸造铝合金锭产品在全球变暖、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。云南铝业股份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）