

# 电工圆铝杆 生命周期评价报告

报告编号： CTISC-SW-CBN-202502011-21

制造商名称： 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 生命周期阶段及清单.....	4
4 生命周期影响评价.....	6
4.1 综合评价结果.....	6
4.2 过程贡献分析.....	错误！未定义书签。
4.3 敏感性分析.....	8
4.4 不确定性分析.....	9
5 绿色设计改进方案.....	10
6 结论.....	11
7 参考文献.....	11

# 1 基本信息

## 1.1 报告信息

编制人员	陈绣文
审核人员	王功亮
发布日期	2025年5月7日

## 1.2 客户信息

公司全称	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	电工圆铝杆

## 1.3 评估对象

本报告评估的对象为由云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司生产的产品：电工圆铝杆。

## 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

电工圆铝杆，英文名称为“Round Aluminum Rod”。云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司的电工圆铝杆使用符合标准的连铸连轧法制造而成。产品圆整，尺寸均匀，表面清洁，无裂纹及其他有害的缺陷。圆铝杆成圈交货，其交货重量符合相关规定。电工圆铝杆具有轻便、导电、耐腐蚀和易于加工等优点，是制造各种电力和照明设备的理想材料，在电力和照明领域都有广泛的应用。

### 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 电工圆铝杆作为评价的声明单位。

### 2.3 系统边界说明

电工圆铝杆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：

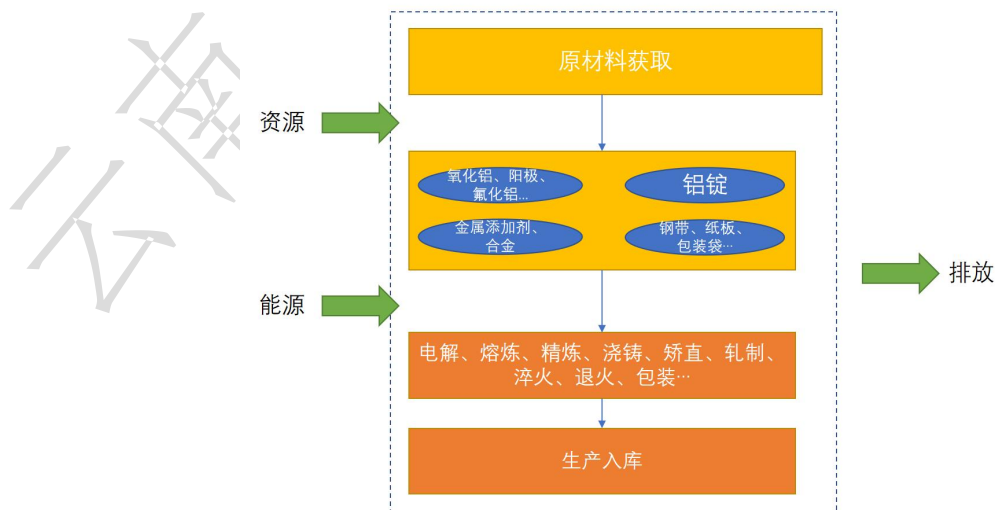


图 1 电工圆铝杆生命周期系统边界

## 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铝业股份有限公司阳宗海铝电解分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：

(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% 的原材料即铁剂、锰剂、钛剂、润滑油、乳化液以及磷生铁（循环使用，补充量较小且未计量）。

### 3.3 分配

云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司生产多种产品，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。

### 3.4 生命周期阶段及清单

云南铝业股份有限公司阳宗海铝电解分公司的电工圆铝杆的生产过程包括电解铝生产和电工圆铝杆铸造。

#### 3.4.1 铝电解生产

##### 3.4.1.1 生产阶段

铝电解的生产工艺流程图如下所示。

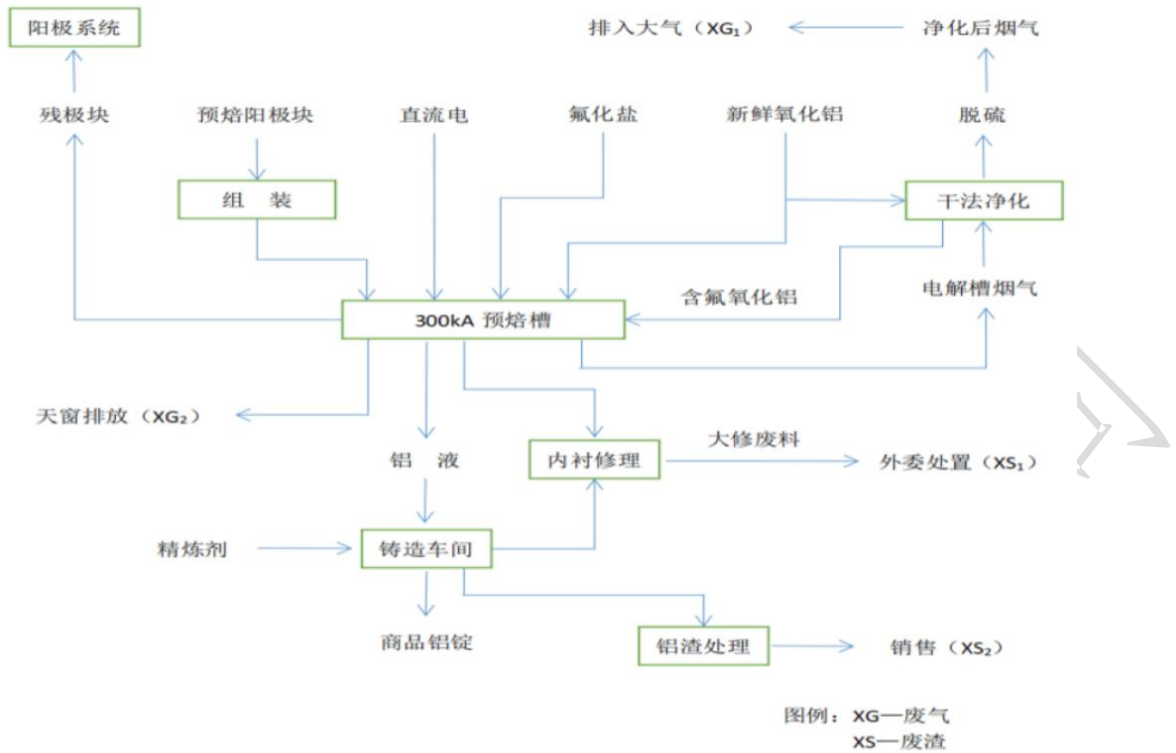


图 2 电解铝液生产工艺流程图

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  $\text{CO}_2$ ；②随着阳极的消耗，阳极效应导致 PFCs 即四氟化碳 ( $\text{CF}_4$ ) 和六氟化二碳 ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ) 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厂内运输使用的柴油燃烧以及生产过程使用的电力产生的排放；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 电工圆铝杆铸造

#### 3.4.2.1 原材料生产及获取阶段

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。

### 3.4.2.2 生产阶段

电工圆铝杆铸造的生产工艺流程图如下所示。

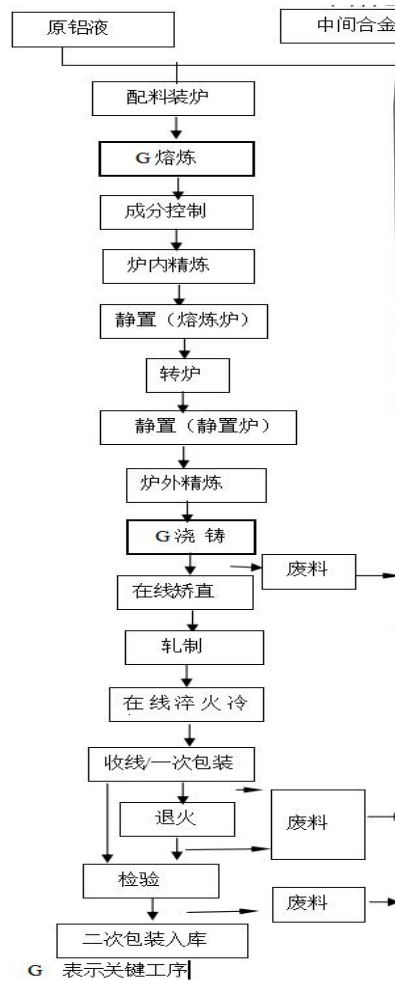


图 3 电工圆铝杆铸造生产工艺流程图

电工圆铝杆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；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 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 1 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	0.0486	0.0049	0.0438
化石能源资源耗竭	MJ	81121.4020	42219.9490	38901.4540
全球变暖	kg CO <sub>2</sub> eq	6212.2683	3241.2819	2970.9864
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	0.0001	0.0001	0.0000
人类毒性	kg 1,4-DB eq	17425.2860	8833.9141	8591.3723
淡水生态毒性	kg 1,4-DB eq	12161.7630	7625.7361	4536.0271
海洋生态毒性	kg 1,4-DB eq	19243647.0000	9679333.5000	9564313.6000
陆地生态毒性	kg 1,4-DB eq	92.8556	53.0154	39.8402
光化学氧化	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1.8176	0.6797	1.1379
酸化	kg SO <sub>2</sub> eq	43.9796	14.6376	29.3420
富营养化	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	11.5961	4.2231	7.3730

下图展示了电工圆铝杆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 电工圆铝杆产品生命周期阶段分析

从图中可以看出，电工圆铝杆产品在臭氧层损耗、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，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）等阶段贡献差距较小。

#### 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，以描述对电工圆铝杆 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 电工圆铝杆的敏感性分析结果如下。

表 2 对 1t 电工圆铝杆的敏感性分析

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	0.0486	0.0443	-9.00%	0.0530	9.00%
化石能源资源耗竭	MJ	电力	81121.402	77233.6465	-4.79%	85009.1575	4.79%
全球变暖	kg CO <sub>2</sub> eq	文山铝锭	6212.2683	6014.3306	-3.19%	6410.2060	3.19%
臭氧层损耗	kg CFC-11 eq	氧化铝	0.0001	0.0001	-6.48%	0.0001	6.48%

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
人类毒性	kg 1 4-DB eq	电力	17425.286	16566.7708	-4.93%	18283.8012	4.93%
淡水生态毒性	kg 1 4-DB eq	氧化铝	12161.763	11495.0111	-5.48%	12828.5149	5.48%
海洋生态毒性	kg 1 4-DB eq	电力	19243647	18287435.8986	-4.97%	20199858.1014	4.97%
陆地生态毒性	kg 1 4-DB eq	电力	92.8556	88.8753	-4.29%	96.8360	4.29%
光化学氧化	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	电力	1.8176	1.7167	-5.55%	1.9184	5.55%
酸化	kg SO <sub>2</sub> eq	电力	43.9796	41.3719	-5.93%	46.5874	5.93%
富营养化	kg PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq	电力	11.5961	10.8598	-6.35%	12.3324	6.35%

### 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 3 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	0.0486	0.0460	0.0161	0.0259	0.0868
化石能源资源耗竭	81121.402	77580.8139	17919.8336	57009.2712	125282.4515
全球变暖	6212.2683	6167.8059	432.1326	5493.6862	7245.0356
臭氧层损耗	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001
人类毒性	17425.286	16953.5452	5984.1823	7225.2891	29797.7582
淡水生态毒性	12161.763	10844.6491	5258.0717	6361.5235	26293.0988
海洋生态毒性	19243647	18245608.5345	5431575.5120	12204419.3568	33251579.2225
陆地生态毒性	92.8556	128.3594	807.6197	-1653.1372	1711.9704

影响类型	平均数	中值	SD	2.50%	97.50%
光化学氧化	1.8176	1.7946	0.1926	1.5011	2.2457
酸化	43.9796	43.5937	4.5621	36.8121	53.8520
富营养化	11.5961	10.9105	3.1729	7.7157	19.5770

## 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以及产品生产阶段使用的外购电力是电工圆铝杆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外购电力的消耗是造成电工圆铝杆产品在全球变暖、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阳宗海铝电解分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）