

铝生命周期环境影响 评估报告

编制部门：行政人事部

编制日期：2025 年 1 月 16 日

一、前言：

生命周期评价（LCA）通过对产品全生命周期的能源消耗、原材料投入及污染物排放进行识别和量化，评估其对环境的潜在影响，核心是识别关键环境负荷因子并实施减量化控制。铝的生命周期涵盖以下四个阶段：

1. **生产阶段：** 铝土矿开采、氧化铝冶炼、原生铝生产；
2. **加工与制造阶段：** 铝半成品（加工材、铸件）生产及含铝产品制造；
3. **使用阶段：** 含铝产品使用与铝的社会累积；
4. **报废与循环阶段：** 报废产品回收、铝废料预处理、再生铝熔铸。

本报告结合最新数据，系统分析铝型材全生命周期的环境影响，为绿色生产提供依据。

二、研究内容与方法：

2.1 研究对象与范围

- **研究对象：** 1 吨铝型材产品的全生命周期。
- **研究范围：** 覆盖氧化铝生产、电解铝生产、铝型材生产全产业链，包括原材料获取、运输、加工制造等环节，不含产品使用及废弃处置阶段（参考 1 吨铝合金建筑型材基材的生命周期边界定义）。

2.2 清单分析

清单分析涵盖全流程的输入（原材料、能源等）与输出（废水、废气、废渣等），数据来源包括现场调研、企业统计报表及行业数据库（如 Ecoinvent 3.9）。

2.3 影响评价

选取 12 项中间点指标（致癌性、全球变暖、化石资源耗竭等），采用特征化模型量化环境影响，重点关注全球变暖潜能值（GWP）等关键指标。

三、铝生命周期各阶段环境影响分析：

3.1 生产阶段

3.1.1 氧化铝生产

- **资源消耗：** 每吨氧化铝消耗铝土矿 4.64 吨、石灰石 0.28 吨、氢氧化钠 0.18 吨，电力 1.38×10^4 kWh，天然气 287.67m³。
- **环境排放：** 排放二氧化硫 6.00kg、颗粒物 2.78kg，产生赤泥 2.32 吨（主要固体废弃物）。
- **关键影响：** 电力和天然气消耗是全球变暖、陆地酸化的主要贡献源；赤泥堆存导致土地占用显著。

3.1.2 电解铝生产

- **资源消耗：** 每吨电解铝消耗废旧铝 1.18 吨、电力 319kWh、天然气 100m³。
- **环境排放：** 排放颗粒物 0.64kg、氟化物 4.25×10^{-2} kg，废水含石油类 2.32×10^{-4} kg。

- **关键影响：**直接排放影响致癌性和淡水生态毒性；运输环节加剧化石资源耗竭。

3.2 加工与制造阶段（铝型材生产）

- **资源消耗：**每吨铝型材消耗原铝锭 0.737 吨、中间合金 0.029 吨、重熔废料 0.299 吨，电力 60kWh，天然气 57.1m³。
- **环境排放：**废气中二氧化硫 < 7mg/m³、氮氧化物 153mg/m³，产生铝灰渣 0.069 吨。
- **关键影响：**电力和天然气消耗是主要碳排放源，颗粒物排放对呼吸性无机物影响显著。

3.3 全生命周期碳足迹（基于 1 吨铝合金建筑型材基材）

生命周期阶段	碳足迹 (kg CO ₂ eq.)	占比
原材料获取和加工	14239.83	95.85%
原材料运输	54.66	0.37%
产品生产（熔铸、挤压等）	561.96	3.78%
总计	14856.45	100%

- **关键结论：**原材料获取和加工阶段是碳足迹的主要贡献者，占比超 95%；生产阶段中，天然气燃烧（圆铸锭、挤压环节）和电力消耗是主要排放源。

四、优化方向与建议：

1. **原材料端：** 优先采购低碳铝锭，推动供应商优化氧化铝和电解铝生产工艺，减少上游碳排放。
2. **生产端：**
 - 推广高频同步整流电源等节能设备，降低电力消耗（可节能 5%-8%）；
 - 采用磁悬浮冷冻机组等高效设备，减少能源浪费（年节能可达 40% 以上）。
1. **循环利用：** 实现废料 100% 回收重熔，减少原生铝依赖（每吨再生铝比原生铝减排约 90%）。
2. **运输优化：** 合理规划运输路线，采用新能源车辆，降低运输阶段碳排放（当前占比 0.37%）。

五、结论：

铝生命周期的环境影响主要集中在原材料获取和加工阶段，尤其是氧化铝冶炼和电解铝生产的能源消耗与污染物排放。通过技术升级（如节能设备）、循环利用及供应链管理，可显著降低碳足迹及环境负荷。企业需持续优化各环节能效，推动铝产业向低碳、绿色方向转型。