

云南铝业股份有限公司
电解铝液产品 LCA 报告

2022 年 11 月 15 日

目录

一、研究背景	1
二、研究目的与研究范围	3
2.1 研究目的	3
2.2 研究范围	3
三、数据收集处理原则	5
3.1 数据取舍原则	5
3.2 分配原则	6
3.3 数据质量要求	7
四、软件和数据库	8
五、数据收集和整理	10
5.1 铝土矿开采	11
5.2 氧化铝生产	11
5.3 阳极炭块生产	14
5.4 电解铝液生产	15
六、生命周期评价结果与分析	17
七、结论	17

一、研究背景

全球变暖和气候变化是当今世界面临的最重要的环境挑战，采取积极措施应对气候变化已成为全人类的共识。2016年我国签署《巴黎协定》，确立了2020年后以国家自主贡献为主体的国际应对气候变化机制安排。我国向世界作出四项降碳承诺，并于2017年起启动全国碳排放交易市场。与此同时，越来越多的国家提出在21世纪中叶左右实现净零排放的愿景。在2020年9月召开的第75届联合国大会上，习近平主席宣布：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”在碳中和的背景下，全球掀起了新一轮的产业革命和能源革命。

铝工业作为有色行业最大的二氧化碳排放源，其碳减排路径对于实现碳达峰、碳中和的目标至关重要。电解铝的全生命周期过程，包括铝土矿开采、氧化铝冶炼、原生铝电解、铝合金锭铸造、铝产品的生产、运输、使用和回收处置，以及上游能源的生产排放等，每一个环节都会产生二氧化碳，针对高耗能行业开展生命周期评价工作对于达成碳达峰、碳中和目标大有裨益。2021年3月，国际铝业协会发布了《2050年全球铝行业温室气体减排路径》报告，提出了铝行业温室气体减排的愿景，到2050年，在全球铝产品需求量增长80%的情况下，同时满足“两度以下温升情景”的目标要求，需要将铝行业的温室气体排放总量减少到2.5亿吨CO₂当量。

云南铝业股份有限公司（以下简称“云铝股份”）作为国内水电铝领先企业，始终坚定不移地走绿色低碳发展之路。电解铝行业的碳排放主要来源之一是电解生产工艺中的电力，云铝股份凭借云南省得天独厚的资源环境以及国家政策的鼎力支持，大力发展水电铝，优化能源供给结构，成功打造水电铝品牌，树立绿色企业形象。生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）是一种用于评估一个产品系统（或者服务）生命周期过程的输入、输出及潜在环境影响的技术。云铝股份以生命周期评价方法论为重要工具，对企业生产的电解铝液产品进行生命周期评价分析，对其生命周期进行核算并形成相关报告，开展生命周期评价工作，可以帮助企业知晓产品的生命周期评价结果，细分产品各个工艺流程对环境的影响，对比分析出贡献度较大的环节，找到其中的敏感性因素，有针对性地进行改进，从而降低对环境的潜在影响，助力企业可持续发展，打造引领行业发展、深具推广潜力的绿色生产新模式、新业态，积极响应碳达峰、碳中和战略。

二、研究目的与研究范围

2.1 研究目的

云铝股份通过对电解铝液产品整个生产系统中各个工序进行生命周期评价，运用 GaBi 软件建模计算得出电解铝液产品整个生命周期中各个环节对环境的具体排放，并根据环境影响结果系统地量化分析生产电解铝液产品过程中产生的环境影响，针对敏感性因素寻找有效途径减轻这些影响，提出应对措施和解决方案，对生产工艺优化调整，推动上下游供应商的绿色制造，最终形成绿色供应链。

2.2 研究范围

LCA 评价范围按不同特性可分为五个阶段，原材料获取阶段、加工生产阶段、包装运输阶段、使用阶段和回收处理阶段。

云铝股份所属各电解铝企业生产电解铝液的研究范围从资源开采开始的能源生产、原辅料生产以及运输过程到产品生产为止，划分为两个阶段——原材料获取阶段和加工生产阶段。根据电解铝液产品的实际生产情况划分为两个工序，阳极组装和电解生产。在阳极组装工艺中使用了源鑫建水生产的阳极炭块，电解生产工艺中使用了云铝文山的氧化铝产品，我们对上述产品的生产工艺进行数据调研，建立生命周期模型，最终划分为铝土矿开采、氧化铝生产、阳极炭块生产、电解铝液生产。

2.2.1 方法学参照

本项目的研究严格参照 ISO14044-2006 标准。LCA 研究的范

围在 ISO14044-2006 中有明确定义，其中概述了功能单位、系统边界、清单分析、生命周期阶段结果解释等内容。这些内容将在以下几个环节进行说明。

2.2.2 功能单位

本项目研究的功能单位是：云铝股份所属各电解铝企业最近一年平均生产 1 吨电解铝液产品。



图 2-1 电解铝液产品

2.2.3 系统边界

本项目的研究边界为摇篮到大门，云铝股份各电解铝企业生产工艺路线为参照。研究边界不包括下游产品的制造阶段、使用阶段和寿命终止阶段。

技术相关性：采用霍尔-埃鲁冰晶石-氧化铝熔盐电解法。

地理相关性：云南省。

系统边界图如图 2-2 所示：

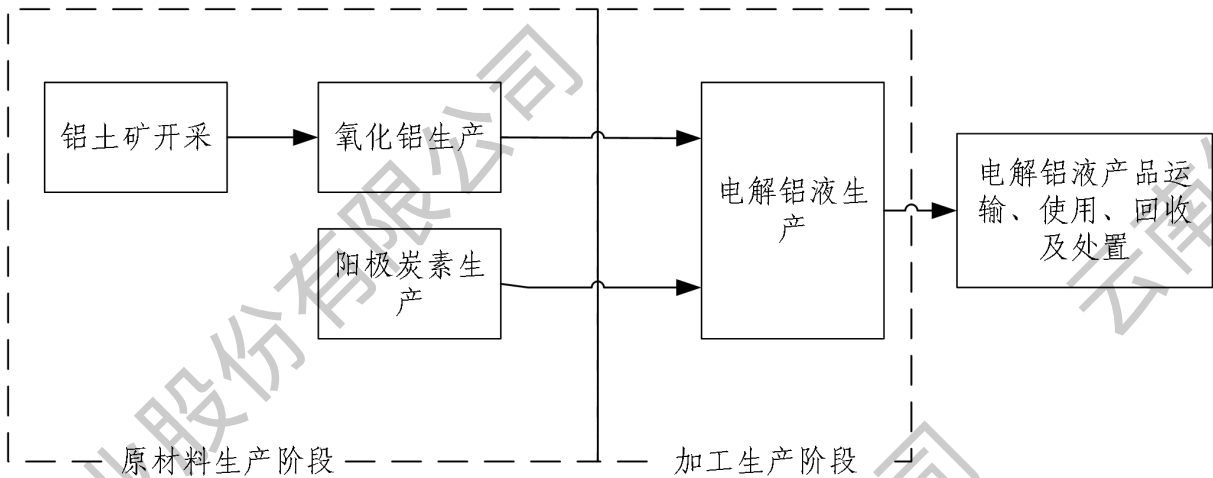


图 2-2 系统边界

三、数据收集处理原则

本项目的生命周期清单数据是严格根据 ISO14040 和 ISO14044 中的相关规定进行数据收集和处理的，均遵循数据取舍原则和分配原则。

3.1 数据取舍原则

在对产品能源资源消耗以及环境排放进行系统分析的过程中，为保证结果的有效性，在不影响生命周期评价主要结果的情况下，可以适当降低数据收集的难度，忽略一些质量占比小、数据收集较为困难且对于 LCA 结果贡献度小的物料数据。

取舍原则如下：

① 普通物料重量 $<1\%$ 产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量 $<0.1\%$ 产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过产品重量的 5%。

② 低价值原料，如粉煤灰、矿渣秸秆、生活垃圾等，可忽略其上游生产数据。

③ 大多数情况下，生产设备、厂房、生活设施等可以忽略。

④ 原则上在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。但在环境排放数据不可得或缺失的情况下，可忽略，但在报告中解释说明。

例如在本项目中，阳极组装工艺中忽略了辅料投入里的钢爪、铁环、磷铁等，主要是因为这些辅料一直被循环使用，作为工艺生产过程中的耐材进行使用，以及质量占比相对于产品质量来说，相对较小，因此忽略从而降低数据收集的难度以及建模的复杂性。忽略了质量占比十分小并且供应商无法明确提供成分及配比的辅料，如消泡剂。忽略了各种机器设备、工厂建设和生活设施等。

3.2 分配原则

若生命周期过程是一个包含多种产品产出的多产品系统，需要采用分配方法对系统内的能源投入、物料投入等进行分配，从而得到主、副产品各自对应的生命周期评价结果。本研究中生产出电解铝液产品的同时，产生了残极、炭渣等，没有可用于销售的副产品的产生，忽略废物，因此可以看作是单一产品的生命周期评价。在实际生产过程中产生了中间产物，例如煤灰渣、收尘粉，在项目中忽略，中间产物既可以作为能源使用，也可以当作原料回收再利用。像这一类物品的输入、输出数据，在 LCA 中，我们一般应避免分配。必须分配时，要尽量反映出系统输入和输

出间的物理关系。如果不能按照物理关系分配，则可以根据社会价值和经济价值来进行分配。当收集的数据不足或缺失时，我们可以通过模型产生的预测值或通过经验或逻辑推理得到的特殊值来代替。

3.3 数据质量要求

数据的质量是生命周期评价结果是否可靠的关键因素，本研究的数据分两类，实景数据和背景数据，实景数据来源于实地调研，通常是由供应商提供实际生产数据，背景数据来自于具有海量数据且权威性较强的 GaBi 2021.2 LCI 数据库。

输入数据的质量依赖于数据来源、分析者对所研究的产品和过程的认识程度、所作的假设以及计算和校验程序。本项目的数据主要来源为实际生产，由云铝文山的收集人员直接提供现场生产值，属于实景数据，数据经过各方人员的反复校验。生产工艺中投入的外购原辅料的生产，外购能源的生产及运输等数据由 GaBi 10 软件提供，属于背景数据。

表 3-1 数据质量表

可信度	数据根据测量、校验得到。
完整性	充足的样本、合适的期间。电解铝液产品生命周期模型包含所有主要过程，反映产品生产实际情况。
时间相关性	与研究目标时间差别小于 1 年，优先选取与研究基准年 2020 年接近的数据。
地理相关性	来自研究区域（云铝文山）数据，与研究结论的适用性密切相关。
技术相关性	从研究的企业（云铝文山）工艺过程的材料得到数据，具有代表性。

四、软件 and 数据库

本研究采用生命周期评价软件 GaBi Ts，此软件为目前全球以工业数据为基础的最大最权威的生命周期评价（LCA）数据库软件，是针对物质流分析和生命周期评价等的专业应用软件。其以强大的功能、人性化的界面和模拟分析等优点（参见下图 4-1 和图 4-2），较多地应用于建筑、汽车、农业、产品等领域，从而衡量评估研究对象的环境影响潜势，并且为了更好地处理生命周期评价中的循环分配问题，特别采用了模块化模型方法，自动计算不同分配方法的敏感度。

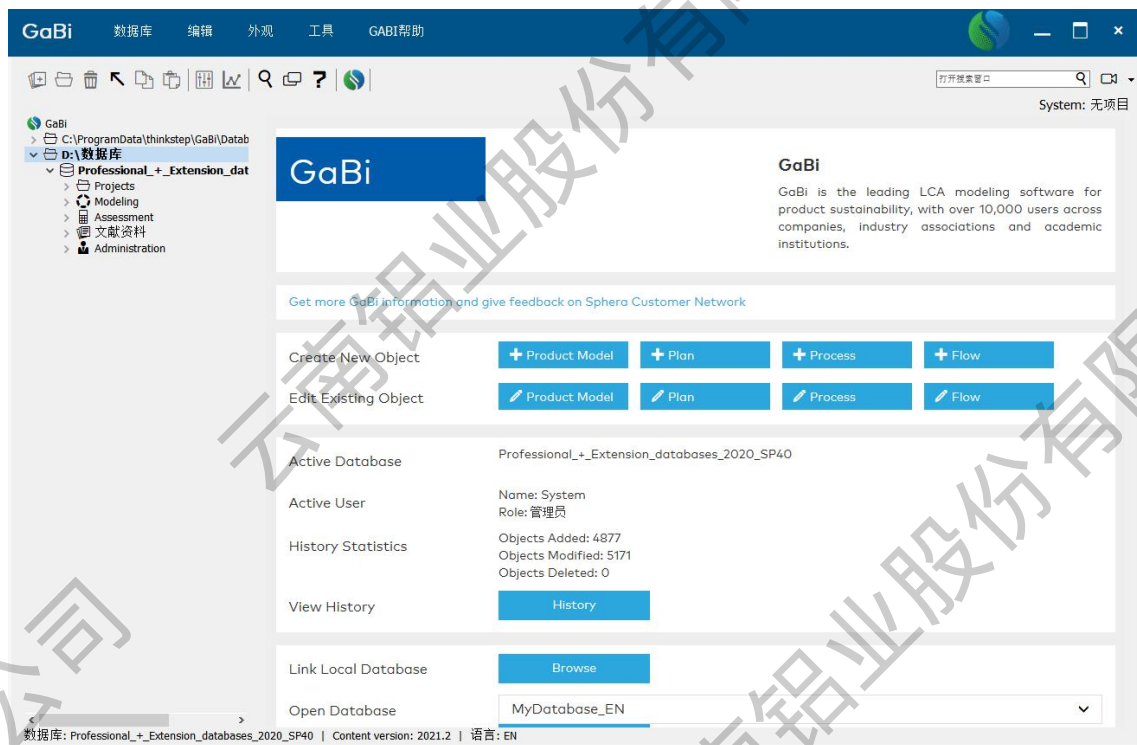


图 4-1 GaBi 软件主界面

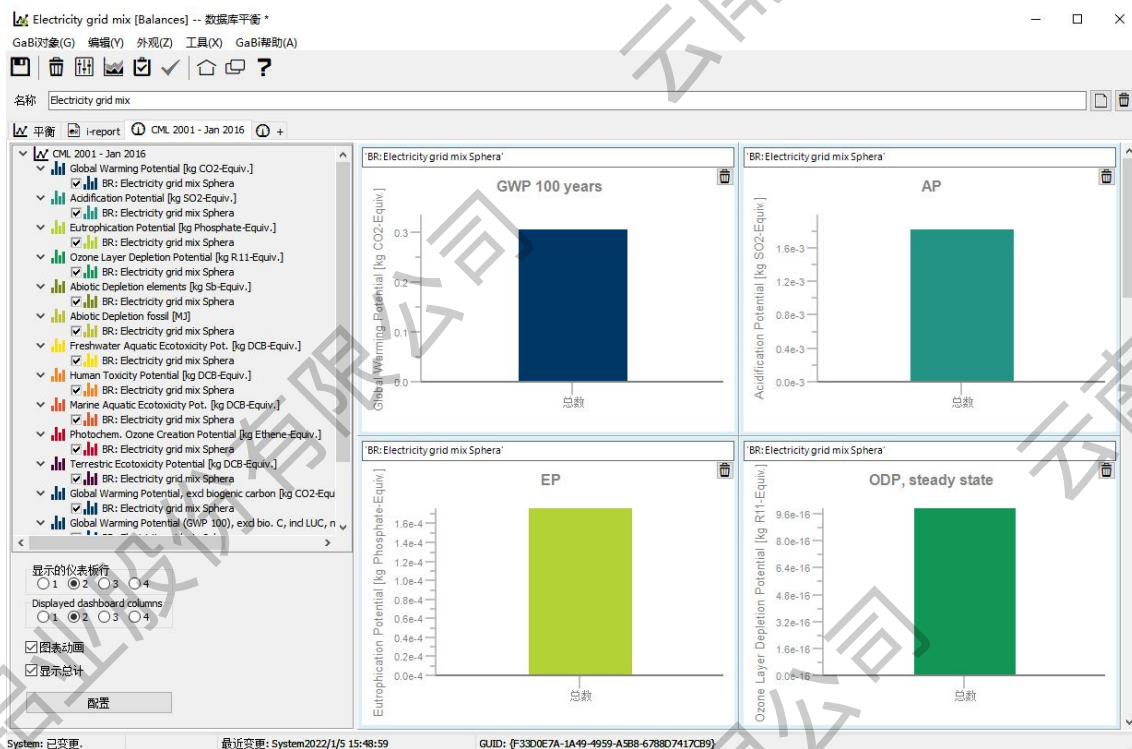


图 4-2 GaBi 软件计算分析图

其数据库包括 15000 多种不同的能源与材料流程，也提供 400 种的工业流程，归纳在十种基本流程中，如工业制造、物流、采矿、动力设备、服务、维修等。

该软件的主要特色包括：

①涉及领域广泛的最新综合数据库，尤其是率先在世界上发布了电子类产品环境负荷数据集。对环境影响方面的数据，比如地球变暖潜能、臭氧层消耗潜能等影响效果分类问题，采用了 ISO（国际标准化组织）、SETAC（环境毒理学与化学学会）、WMO（国际气象组织）、IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）等倡议的最新解析方法。

②GaBi 还提供了根据生命周期评价各项目阶段来进行系统评价或分步评价的手法，支持用户根据 ISO14000 的准

则输入所需评估项目的目的和范围，用户可以自己定义所评估项目、采集数据和解析结果。

③软件的图形界面具有透明性和灵活性，可以以线的粗细来表示质量、能量或成本大小，另外一个有用的功能是采用模型化，它可以将研究对象各过程单元进行模块化展示，并按照类别将这些模块单元进行分组处理。

④此外，软件和相应的数据库相互独立。目前已有众多企事业单位将 GaBi 软件应用于数据管理和环境影响评价的案例研究。

五、数据收集和整理

本项目中各工艺路线的数据包括一级数据和二级数据。

一级数据：对工艺上下游单位进行访厂，制作数据收集表格，由工艺负责单位进行收集填写。

二级数据：即背景数据，由最新的权威数据库 GaBi 2021.2 LCI 数据库提供各项生命周期清单数据，是专业领域工程计算数据，来源于国内外行业协会的数据集，整合了行业资源、科学知识、技术文献和内部专利信息。

由于电解铝液有好几条生产系统，为保证数据的一致性，设定工艺数据来源，如下表所示：

表 5-1 各工序数据来源

生产工序	一级数据数据来源	二级数据(背景数据来源)
铝土矿开采	云南文山铝业有限公司	GaBi 10 数据库
氧化铝生产	云南文山铝业有限公司	
阳极炭块生产	云南源鑫炭素有限公司	

电解铝液生产	各电解铝企业
--------	--------

5.1 铝土矿开采

铝土矿原料的获取主要来源于三个同属于云铝的矿区，铝土矿分为歪山头铝土矿、西畴铝土矿和砚山铝土矿。铝土矿生产工艺相对来说较为简单，可分为四个工序，分别为原矿开采、洗碎、尾矿输送和复垦，西畴铝土矿和砚山铝土矿生产均分为以上四个工艺，歪山头铝土矿生产工艺已将洗碎、尾矿输送、复垦三个工艺合并进行统计。

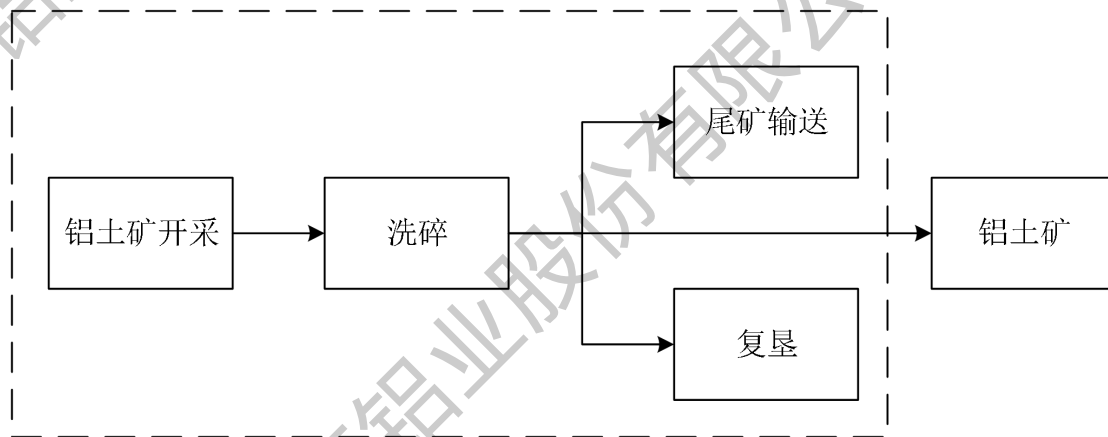


图 5-2 铝土矿开采工艺流程图

5.2 氧化铝生产

云铝文山使用拜耳法生产氧化铝，生产过程划分为十四道工序：破碎、湿磨、溶出、赤泥分离洗涤、赤泥压滤、蒸发、碱液调配、排盐苛化、粗液精制、晶种分解、氢氧化铝过滤和洗涤、氢氧化铝焙烧、燃气制备、热电联产。

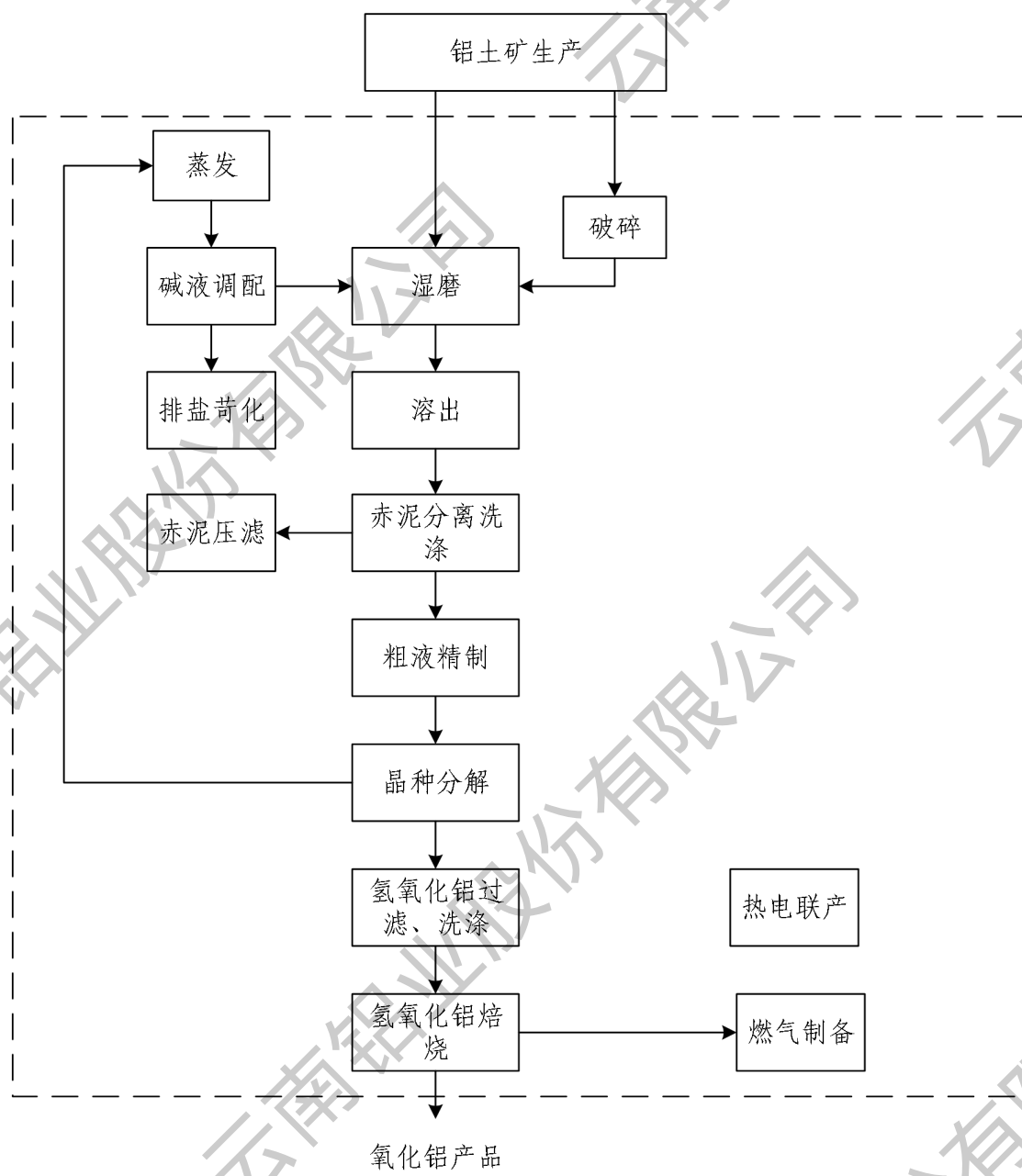


图 5-3 氧化铝生产工艺流程图

氧化铝生产负责单位为云铝文山，地址：云南文山马塘工业园区，下为生产现场图。



图 5-4 氧化铝生产现场图



图 5-5 冶金级氧化铝产品

5.3 阳极炭块生产

云铝股份所属电解铝企业使用云南源鑫炭素有限公司的阳极炭块。阳极炭块的生产过程划分为五个工序：煅烧、成型、焙烧、脱硫、热电五个工艺，首先将外购石油焦用天然气煅烧，以去除挥发分和水分，将改质沥青熔化、去除水分，将上述两种备料按一定比例混合后，混捏得到合格糊料，并通过振动成型，再对成型的生块进行焙烧，得到阳极炭块。

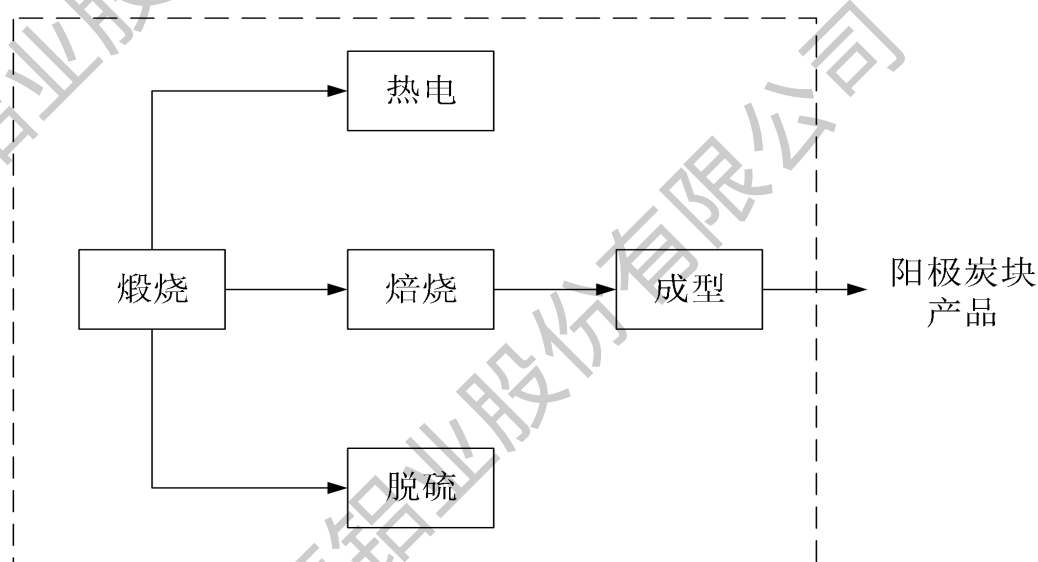


图 5-6 阳极炭块生产工艺流程图



图 5-7 阳极炭块产品

5.4 电解铝液生产

电解工序主要采用霍尔-埃鲁铝电解法和预焙槽技术。分为阳极组装和电解生产两个工艺。

具体生产工艺流程为：以氧化铝为原料，冰晶石-氟化铝为电解质，将氧化铝、冰晶石、氟化铝及其他氟化盐等原辅料按配比分别加入电解槽内，通入直流电，在高温条件下氧化铝溶于氟化盐熔剂中，在两极发生电化学反应，氧化铝不断分解，液态金属铝在阴极上析出。

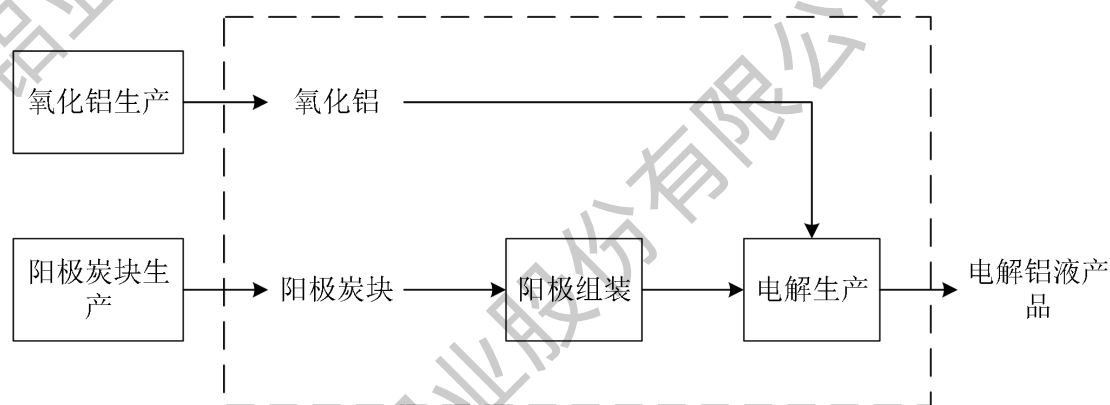


图 5-8 电解铝液生产流程图

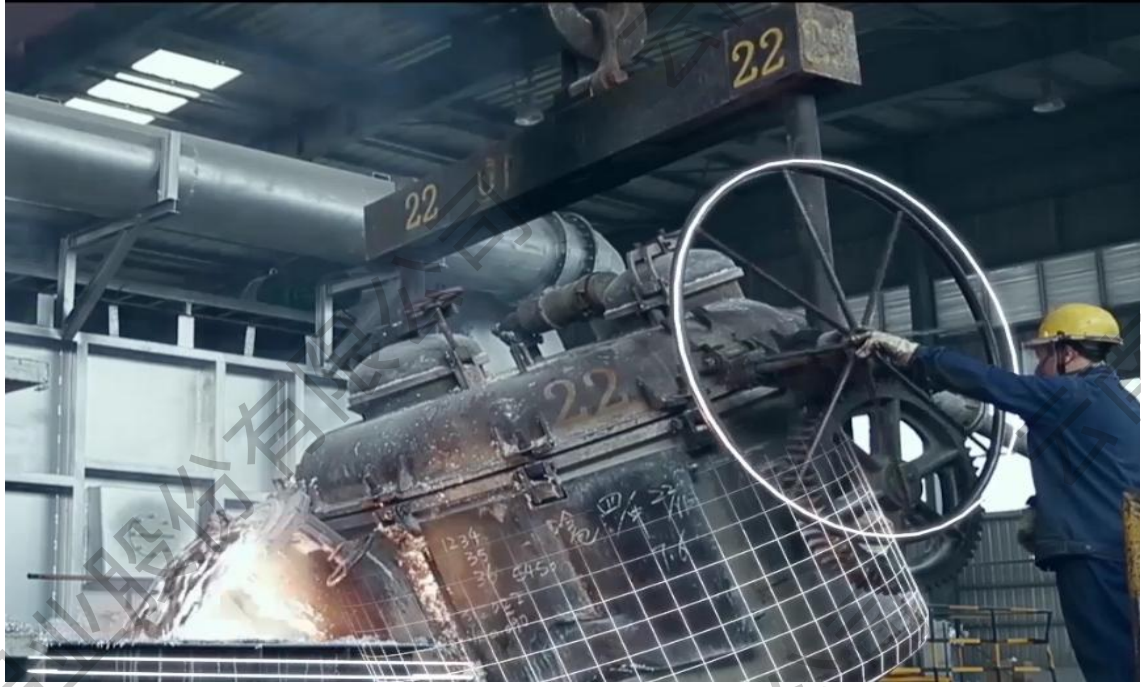


图 5-9 电解铝液转运现场图

六、生命周期评价结果与分析

通过对电解铝液产品生产工艺的了解和数据的采集，对整体数据质量的检查和整理，把所有的清单数据录入到 GaBi 10 软件当中，形成模型，最后通过计算，得出云铝股份各电解铝企业生产 1 吨电解铝液产品的生命周期评价结果。

七、结论

在电解铝液生产全过程中，电解工序和氧化铝生产工序对于生命周期评价结果的贡献度较大，电解工序的过程排放、电网、蒸汽是敏感性因素，减少排放可以从下面几点展开：

（一）因为云铝股份各企业使用的是绿电，碳排放已经相对较低，所以需要从每个环节的用电量切入，减少耗电量，降低电损耗率，并努力提高绿电比例。

（二）通过工艺改进，减少电解铝液过程中因阳极效应而产生的全氟化碳。

（三）更换更加高效的蒸汽锅炉，提高蒸汽转换率，从而降低对褐煤的消耗。

（四）通过降低热联产设备的热量传递过程中的能量损失，提高热电联产的转换效率，从而提高抵扣率。