

江苏立中新材料科技有限公司

生命周期评估报告 (铸造再生铝合金锭)

二零二四年八月二十九日

一、前言

生命周期评价(LCA)是针对一个产品系统(包括产品、工艺和服务过程)所进行的,通过对评价对象在其全生命周期内的能源消耗、原材料投入、污染物排放进行识别和量化分析,以确定和评估该产品系统对环境安全所存在的潜在影响。生命周期评价的重要内容是通过识别产生主要环境负荷的关键影响因子,对其进行减量化控制,以寻求减少环境污染的方法。材料或产品的生命周期包括从原材料获取到最终处置,或是更理想的以原来或其它形式循环再生的整个过程。

二、研究内容

1. 研究对象:铸造再生铝合金锭生产的整个产业链生命周期评价,可分为下述4个部分:

(1) 确定 LCA 的目标、生命周期的范围和系统边界;

(2) 进行清单分析,即确定整个流程的输入与输出。输入包括原材料、辅助材料、能源等;输出包括向自然界排放的废水、废气、危废等;

(3) 进行影响评价,即对清单数据进行定量评价;

(4) 结果解释,即对影响评价的结果进行说明。

三、研究方法

1. 目标和系统边界界定

(1) 产品系统功能单元:本报告的研究对象为1吨铸造再生铝合金锭的整个制程全生命周期。

(2) 范围和系统边界:本报告的系统边界为“摇篮到大门”(从资源开采到产品出厂),分为原料获取阶段和产品生产阶段。不纳入的生命周期阶段:下游过程,铸造再生铝合金锭生产在社会经济系统中的生命周期研究范围划分为五个阶段:原料获取(铝锭、再生料、铝屑、废生铝杂件等)、原料运输、产品生产、储存、装车。

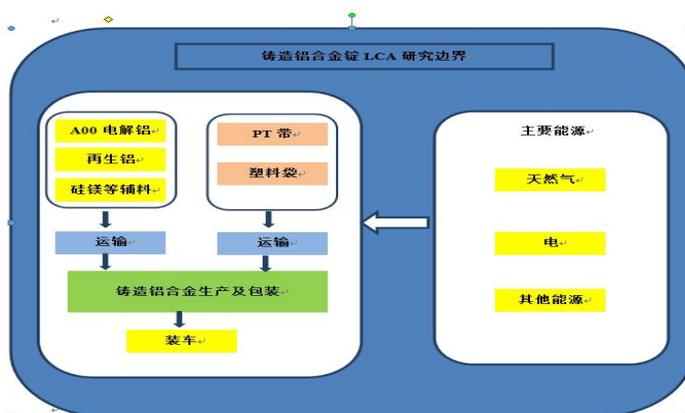


图 1 铸造再生铝合金锭生命周期评价范围（全产业链）

2、取舍准则

本研究采用的取舍准则为：

各生产单元过程物料与产品的重量比小于 0.1%的不必填写，总舍弃量不超过 5%，且上游数据不可得的物料被忽略

本报告所有原辅料和能源等消耗都关联了上游数据，部分消耗的上游数据采用近似替代的方式处理，因此无忽略的物料。

3、环境影响类型

为支持中国节能减排约束性政策目标的实现，本报告选择了 5 种环境影响类型指标进行了计算，分别为气候变化 (Climate Change, GWP)，初级能源消耗 (Primary Energy Demand, PED)、水资源消耗 (Resource Depletion - water, WU)、酸化 (Acidification, AP)、颗粒物 (Particulate matter, PM)。

表1 环境影响类型指标

环境影响类型指标	影响类型指标单位	主要清单物质
气候变化	(kg CO2 eq.)	CO2
能源消耗	(MJ)	天然气、柴油、电
水资源消耗	M ³ /t	工业用水
酸化	(kg SO2 eq.)	SO2
颗粒物	(PM2.5 eq.)	-

注：eq.是 equivalent 的缩写，意为当量。

*PED 指标为铸造再生铝合金锭生命周期系统边界内使用的所有一次能源之和；

**WU 指标为铸造再生铝合金锭生命周期系统边界内使用的所有水资源（特指径流）之和。

三、清单数据分析

1、铸造再生铝合金锭生产

(1) 过程基本信息

过程名称：铸造再生铝合金锭生产过程

过程边界：从电解铝等原辅料进厂到铸造再生铝合金锭出厂

(2) 数据代表性

主要数据来源：企业现场调查

企业名称：江苏立中新材料科技有限公司

产地：江苏省扬州市宝应县安宜镇苏中北路 188 号

基准年：2023 年

工艺设备：熔炼炉、保温炉、铸造机

主要原料：废生铝杂件、废合金铝屑、裘灰锭（熟锭）、分拣铝（漆包线）、废合金铝、废合金铝、回炉料、废铜铝料、金属硅、金属锰等

主要能耗：天然气、电力、柴油等

铸造再生铝合金锭整个铝产业链全生命周期的清单数据主要通过对企业的现场调研获得，具体数据详见下面各表所示。其中，数据的主要来源是公司的生产现场。通过计算，可以得出铸造再生铝合金锭整个业链全生命周期清单数据。

表 1 铸造再生铝合金锭原材料获取清单数据表

类型	清单名称	数量	单位	数据来源
产品	铸造再生铝合金锭	1000	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	废生铝杂件	202.8261	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	废合金铝屑	262.9412	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	裘灰锭（熟锭）	97.1429	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	分拣铝（漆包线）	48.7356	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	废合金铝	60.3125	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	回炉料	336.9697	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	废铜铝料	21.8557	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	金属硅	39.7938	kg	产品碳认证数据收集表
消耗	金属锰	1.0309	kg	产品碳认证数据收集表

表 2 原料运输信息表

物料名称	单位产品上的原料使用量(kg/吨)	tkm(运输的活动数据)	运输类型
废生铝杂件	202.8261	94.0302	保定到宝应/临沂到宝应 货车运
废合金铝屑	262.9412	82.8265	昆山到宝应 货车运输 40t
裘灰锭（熟锭）	97.1429	5.9257	高邮到宝应 货车运输 40t
分拣铝（漆包	48.7356	13.6460	临沂到宝应 货车运输 40t
废合金铝	60.3125	51.2656	保定到宝应 货车运输 40t
回炉料	336.9697	0.6739	轻型运输
废铜铝料	21.8557	18.5773	保定到宝应 货车运输 40t
金属硅	39.7938	35.8144	货车运输 40t
金属锰	1.0309	0.9278	轻型货运
氮气	1.2	0.0516	淮安-宝应-货车运输 16-33t
精炼剂	2	1.6000	货车运输 7-10t
PVC 膜	0.14	0.1143	保定-宝应（货运）
打包带	0.29	0.1429	滨州-宝应（货运）

注：表 2 数据来源于产品碳认证数据收集表。

表 3 铸造再生铝合金锭生产过程生命周期清单数据

清单数据类型		数据量	处置方式
资源消耗 (吨铝)	原料	1t	熔炼炉熔炼
	柴油	3.35kg	温室气体外排
	天然气	98m3	温室气体外排
	电	72.68kwh	温室气体外排
环境排放 (吨铝)	CO2	1.51kgCO2e	温室气体外排
	SO2	0.053kg	脱硝脱硫
	NOX	0.158kg	脱硝脱硫
	颗粒物	0.056kg	外排, 布袋除尘

表4 对废弃物的管理, 减少排放和资源消耗

序号	名称	处理前产生量/单吨产品产生量 (Kg)	类别	处置方式	处置单位
1	废钢带	2.9797	固废	资源化利用	个人
2	废硅包	0.1784	固废	资源化利用	个人
3	废铁	3.5373	固废	资源化利用	个人
4	废纸箱	0.0105	固废	资源化利用	个人
5	废 PET 带	0.0227	固废	资源化利用	个人
6	生活垃圾	1.2744	固废	资源化利用	个人
7	废布袋	0.0668	危废	焚烧	高邮康博环境资源有限公司
8	除尘灰	7.9847	危废	无害化处置	高邮环创资源再生科技有限公司
9	铝灰	64.4794	危废	资源化利用	江苏海光金属有限公司

表 5 铸造再生铝合金锭生产过程生命周期清单数据

过程		生命周期活动	活动数据	单位	EF	kgCO ₂ e			
原材料获取	原料	废生铝余件	202.8261	kg		0.7300	0.1481	1.1812	
		废合金铝屑	262.9412	kg		0.7300	0.1919		
		废灰锭 (熟锭)	97.1429	kg		0.7300	0.0709		
		分抹铝 (漆包线)	48.7356	kg		0.7300	0.0356		
		废合金铝	60.3125	kg		0.7300	0.0440		
		回炉料	336.9697	kg		0.7300	0.2460		
		废铜铝料	21.8557	kg		0.7500	0.0164		
		金属硅	39.7938	kg		10.7000	0.4258		
	金属锰	1.0309	kg		2.4700	0.0025	0.0031		
	辅料	精炼剂-炉内	2.0000	kg		0.4700		0.0009	
		氮气	1.2000	kg		0.4300		0.0005	
		PVC膜	0.1429	kg		3.3990		0.0005	
	运输	打包带	0.2857	kg		4.0180	0.0011	0.0277	
陆运 7.5-16t		1.6000	t	tkm	0.2200	0.0004			
产品制造	能源资源	Electricity 电	72.6802	kwh		0.6451	0.0469	0.2783	
					电力输配		0.0179		0.0013
					电力上游		0.0499		0.0036
		Natural Gas 天然气	98.0000	m3	生产	2.1640	0.2121		
					上游	燃烧	0.0170		0.0017
		柴油	3.3514	kg (CO2)	生产	3.1570	0.0106		
	废弃物	产生	铝灰	67.3307	kg		0.0400	0.0027	0.0199
			除尘灰	7.9847	kg		2.0900	0.0167	
		运输	陆运 > 32t	6.076	t	tkm	0.0900	0.0005	
			合计					1.5102	

注：供应商、委外承包商只显示地点，不显示具体组织名称。表中温室气体（GHG）排放=活动数据（AD）× 排放因子(EF)。排放因子(EF)因子获取方式为：《中国产品全生命周期温室气体排放系数集（2022）》。

表 6 铸造再生铝合金锭生产过程生命周期清单数据-贡献比

类别	碳足迹 (kgCO ₂ eq)	贡献比
原料	1.1812	78.22%
辅料	0.0031	0.20%
运输	0.0277	1.83%
能源资源	0.2783	18.43%
废弃物	0.0199	1.32%
总计	1.5102	100.00%

四、生命周期评价结果

1、建立LCA模型

在铝合金锭绿色设计平台 LCA 模块中建立了铸造再生铝合金锭的生命周期模型，见图 2。

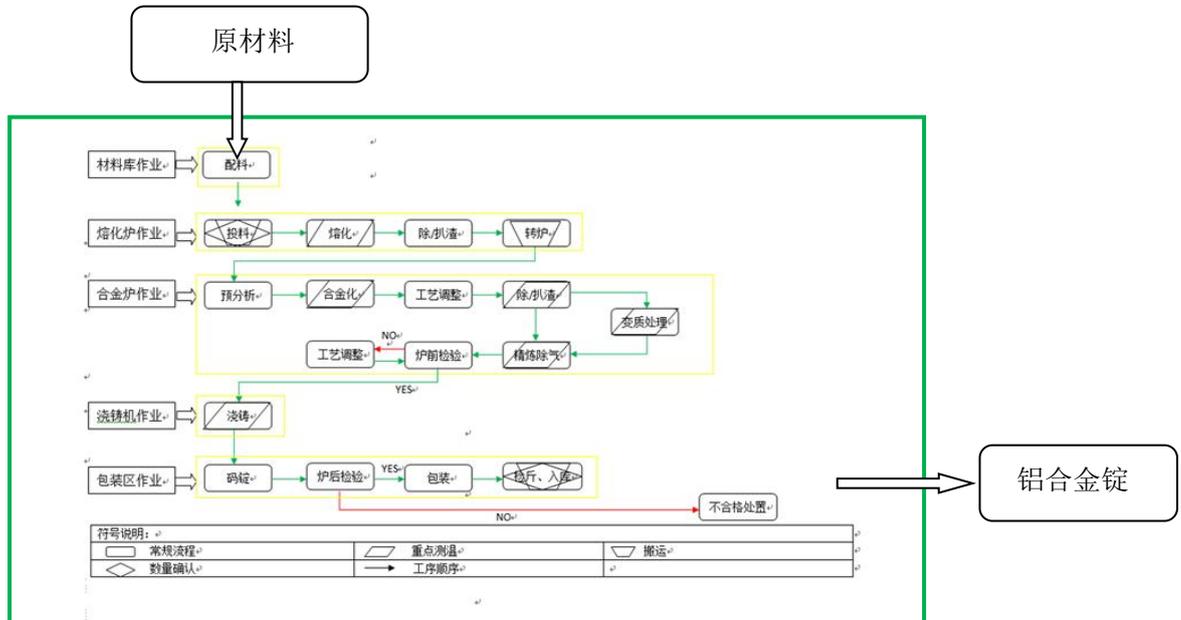


图2 绿色设计平台上建立的铸造再生铝合金锭的LCA模型示意图

2、LCA 计算方法

在整个生命周期过程中将同种清单物质累加，得到 LCI 结果。清单物质汇总的计算公式定义为：

$$LCI_i = \sum_p S_p \times inv_{ip}$$

式中， i 代表产品生命周期中的某种清单物质，如水耗、VOC、CO₂等； P 代表产品生命周期中的某个单元过程； inv_{ip} 表示某种清单物质 i 在产品全生命周期中某个单元过程 p 中的数量， S_p 是给定 LCA 计算基准流之后确定的过程 p 的过程系数； LCI_i 表示在产品生命周期评价中包含的某种清单物质 i 的 LCA 累加结果。

3、LCA 计算结果

基于产品生命周期模型和计算方法，利用绿色设计平台的 LCA 模块，计算得到 1 吨铸造再生铝合金锭的 LCA 结果如下。计算指标分为气候变化 (Climate Change, GWP)，初级能源消耗 (Primary Energy Demand, PED)、水资源消耗 (Resource Depletion - water, WU)、酸化 (Acidification, AP)、颗粒物 (Particulate matter, PM)，共 5 个指标。

指标名称	缩写	单位	结果
气候变化	GWP	(kg CO2 eq.)	1.51
初级能源消耗	PED	(MJ)/NM ³	3815
水资源消耗	WU	M ³ /t	0.77
酸化	AP	(kg SO2 eq)	0.056
颗粒物	PM	(PM2.5 eq)	0.056

指标说明：

- 1) 气候变化 (GWP)：生产 1 吨铸造再生铝合金锭排放的二氧化碳当量；
- 2) 初级能源消耗 (PED) (天然气)：生产 1 吨铸造再生铝合金锭消耗的一次能源的量 X 天然气的热值 38.931 (MJ/NM³)。
- 3) 水资源消耗 (WU)：生产 1 吨铸造再生铝合金锭消耗的水资源；
- 4) 酸化 (AP)：生产 1 吨铸造再生铝合金锭排放的二氧化硫当量，(二氧化硫污染当量数 = 二氧化硫排放量/二氧化硫污染当量值 (0.95))
- 5) 颗粒物 (PM)：生产 1 吨铸造再生铝合金锭排放的 PM2.5 当量；

4、LCA 结果分析

4.1 贡献分析

根据本研究系统边界的定义，生产 1 吨铸造再生铝合金锭生命周期各过程 LCA 结果见表 5。

表 5 1 吨铸造再生铝合金锭生命周期各过程 GWP 和 PED 指标结果

过程名称	GWP		PED	
	指标值 (kg CO2 eq.)	占比	指标值 (MJ)	占比
原材料获取	1.2121	80.26%	0	0
产品制造	0.2982	19.74%	3815	100%
1吨铸造再生铝合金锭生命周期各过程WU和AP指标结果				
过程名称	WU		AP	
	指标值 (M ³ /t)	占比	指标值 (kg SO2 eq.)	占比
原材料获取	0	0	0	0
铸造再生铝合金锭生产	0.77	100%	0.056	100%
废料处理	0	0	0	0
1吨铸造再生铝合金锭生命周期各过程EP和PM指标结果				
过程名称	PM			
	指标值 (PM2.5 eq.)	占比		
原材料获取	0	0		
铸造再生铝合金锭生产	0.056	100%		
废料处理	0	0		

4.2 敏感性分析

通过不确定性分析和差异分析、重大 GHG 间接排放识别和评价表以及计算模型分析，原材料获取所产生的温室气体大约占了总温室气体排放量的 80.26%，其中原材料消耗产生的温室气体大约占了总温室气体排放量的 78.22%，第二大排放源为生产过程中的能源消耗量，占比为 18.43%，这些排放主要来自于天然气的消耗，为 76.81%。原料金属硅 GHG 为 0.43kgCO₂e 对 LCA 评价结果影响大。

用敏感性分析来判断数据，可能排除一系列的非常重要性的单元过程或输入输出，根据《WEBLCA 工作指南》的取舍规则，实验室检测使用的高纯氩气，排放总量占原材料的 0.05%，排放对各种影响类型的贡献均小于 1%可忽略，同时通过提高高硅循环再生材料的使用比例，开发高性价比原料，减少金属硅使用，改变输入参数，单元过程金属硅输入调整高硅循环再生材料使用比例，经评估数据变动，有效降低本产品前端和后端的碳排放量，使得 LCA 评价结果影响有所下降。

四、结论

1、铸造铝合金产品

(1) 铸造铝合金产品的生命周期对环境的影响主要集中在原材料获取中，我公司铸造铝合金产品对生产过程对气候变化和生态毒性方面影响较小。

(2) 两种处置方式对环境影响：废料重熔 > 废弃物回收提炼。

(3) 处置阶段选用再生处置方式可降低铸造铝合金产品的全生命周期环境影响，进一步降低其环境影响的方式为新能源的使用，减少天然气的使用。

(4) 影响二氧化碳排放量的主要过程为原材料获取阶段。公司采取了多项减排措施，其中主要的两项措施如下：①寻找高硅高硅循环再生材料，减少原材料获取阶段的二氧化碳排放量；②逐步改善工艺，完善生产节拍控制，降低产品生产过程中的能耗；③更换永磁电机，减少电力消耗。

2、公司通过优化设备，在生产过程中减少废气、废水的排放，提升生产效率及以下行动方案：

- 可再生能源&清洁能源
- 设备工艺优化&能源效率
- 优化运输方案（布局优化，减少物料周转，提升装载量等）
- 减少废物
- 循环包装
- 减少水消耗

参考文献

[1] ISO/TC 207/SC 5.2006. ISO14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment–Principles and framework. International Organisation for Standardisation (ISO)

[S].

- [2] GB/T 24040-2008. 环境管理生命周期评价原则与框架[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2008.
- [3] 郑秀君, 胡彬. 我国生命周期评价(LCA)文献综述及国外最新研究进展[J]. 科技进步与对策, 2013, 30 (6):155-160.
- [4] 雷兆武, 薛冰, 王洪涛. 清洁生产与循环经济[M].化学工业出版社,2017,9:131-132.