

# 可持续发展咨询报告

## 铝合金（AlSi7） 生命周期评估（LCA）

主体：安徽迈格瑞轻金属有限公司

编制：苏州知维企业管理咨询有限公司

核查：莱茵技术（上海）有限公司

2026 年 4 月 8 日

# 铝合金（AlSi7） 生命周期评估（LCA）

## 执行摘要

迈格瑞轻金属是一家专注于铝、镁轻金属生产、回收、研发、销售和服务为一体的大型生产型企业，工厂分布于安徽和山西，营销中心位于上海，拥有 35 万吨的年产能。公司致力打造绿色可持续的工厂，利用自己的废料回收体系，向世界各地的客户供应高品质且低碳的产品，共同打造一个可持续发展的世界。

公司以铝镁基础材料、新材料及其深加工为主要发展方向，在高性能新材料研发中不断取得突破，多种高性能低碳铝合金通过了多家整车厂及终端的认可和量产；在国内外拥有自己的材料研发机构和团队，并与各大整车厂及 3C 终端成立了联合实验室，且应用了全球领先的材料分析软件 JMatPro 等，为新材料的更新迭代保驾护航，成为客户坚实的材料方案解决供应商。

安徽迈格瑞轻金属有限公司（以下简称“安徽迈格瑞”）地处安徽省马鞍山市和县，占地面积近 10 万平方米，是专注于铝轻金属制造、回收、研发、服务为一体的生产型企业，总产能 25 万吨。

本次评价的产品为安徽迈格瑞生产的 AlSi7，它是一种铝-硅-锰-镁系铸造铝合金，在汽车、机械、电子、航空航天等领域应用广泛，尤其适合对铸造性能和力学性能有较高要求的复杂零部件，其综合实用性突出，适配多种复杂工况需求。该合金具备优异的铸造性能，流动性好、线收缩率低、气密性高，不易产生热裂纹，适合铸造形状复杂、薄壁的零部件；同时力学性能均衡，铸态下具备良好的韧性和塑性，经热处理后可获得更高的强度和硬度，且对大气、水等介质有良好的耐腐蚀性，切削加工性能优良，易于进行精密

加工和表面处理。加之其密度低（约  $2.68 \text{ g/cm}^3$ ）、强度接近优质钢材的轻量化优势，AlSi7 广泛应用于汽车工业的发动机缸体、缸盖等关键结构件，机械设备的泵体、阀体等精密铸件，电子电器的散热器、电机壳体等部件，以及航空航天领域的部分非关键结构件，兼顾可靠性与实用性。

为了加深对安徽迈格瑞铝合金（AlSi7）产品整个生命周期中环境问题的了解，并为将来可能的环境产品声明（EPD）做好准备，安徽迈格瑞委托苏州知维科技，按照《ISO 14040:2006 环境管理-生命周期评估-原则和框架》和《ISO 14044:2006 环境管理-生命周期评估-要求与指南》对铝合金（AlSi7）产品进行生命周期评估（LCA）研究，该研究由苏州知维完成。

本研究遵循 ISO 14040/14044 方法论，影响评价结果与 EN15804+A2 方法和 EF3.1 表征因子保持一致。根据以上方法论，本研究的系统边界是“从摇篮到大门”。本报告使用以上方法论中列出的默认环境影响类别进行生命周期影响评估。生命周期清单（LCI）包括从各种公开来源收集的数据，同时考虑到技术、时间和地理尺度的代表性。LCA 研究是根据现有数据、信息、区域和全球知识以及经验进行的，以实现结果的最佳准确性、完整性和代表性。

对铝合金（AlSi7）产品各种影响类别的贡献分析表明，原材料获取（A1）对环境影响的贡献最大。

LCA 研究是根据现有数据、信息、区域和全球知识以及经验进行的，以实现结果的最佳准确性、完整性和代表性。

### **下一步建议：**

**提高 LCA 研究质量：**与上游原材料供应商合作，获取更真实的生产数据，而不是使用背景数据；

为了减少对环境的影响，应更多地致力于提高生产效率，例如改进能源管理以减少制造过程中的能源消耗，并使用更多的可再生能源。此外，与供应商合作改善材料使用的环保表现，通过提高效率或更换更环保的材料等，或使用更多的回收材料。

**对于营销和沟通：**在短期内向客户做出透明的申报并在沟通时使用平实的语言；从长远来看，对铝合金（AlSi7）与其他替代解决方案进行比较研究，并寻求持续改进安徽迈格瑞对减少环境足迹的贡献的方法。

### **批判性审查声明：**

该 LCA 已根据 ISO 14040/44 标准进行严格审查。核查报告显示，该报告具有良好的代表性和透明度，符合 ISO 14040/44 标准的要求。

### **免责声明：**

本研究得出的结果是基于典型铝合金（AlSi7）产品生命周期的一些现实模型。与任何模型一样，不同的假设将导致不同的结果。在应用这些结果来支持决策或其他应用程序之前，了解模型的工作原理、范围和限制非常重要。

### **致谢：**

如果没有安徽迈格瑞同事的支持，LCA 研究是不可能完成的。

# 目录

执行摘要 .....	I
<b>1. 简介 .....</b>	<b>1</b>
1.1. 公司简介 .....	1
1.2. 产品类别描述 .....	2
<b>2. 生命周期评估 (LCA) 简介 .....</b>	<b>4</b>
<b>3. 研究目的 .....</b>	<b>6</b>
3.1. 产品系统边界及生命周期阶段 .....	6
3.2. LCA 研究目标 .....	7
<b>4. 研究范围 .....</b>	<b>8</b>
4.1. 申报单位 .....	8
4.2. 系统边界 .....	8
4.3. 取舍原则 .....	9
4.4. 分配 .....	10
4.5. 相关假设和限制 .....	10
4.6. 不考虑在研究范围内的元素 .....	11
4.7. 电力 .....	11
<b>5. 生命周期清单 (LCI) 分析 .....</b>	<b>11</b>
5.1. 原材料供应 .....	12
5.2. 生产 .....	12
5.3. 运输 .....	17
<b>6. 生命周期影响评估 (LCIA) .....</b>	<b>18</b>
6.1. 生命周期影响评估方法介绍 .....	18
6.2. 环境影响评估结果 .....	21
6.3. 资源使用、产出和浪费 .....	21
6.4. 有关生物碳含量的信息 .....	22
6.5. 贡献分析 .....	22
<b>7 结果解释 .....</b>	<b>27</b>
7.1 敏感性分析 .....	27
7.2 不确定性分析 .....	29
<b>7. 结论与讨论 .....</b>	<b>35</b>

# 1. 简介

## 1.1. 公司简介

安徽迈格瑞轻金属有限公司（以下简称“安徽迈格瑞”）地处安徽省马鞍山市和县，占地面积近 10 万平方米，是专注于铝轻金属制造、回收、研发、服务为一体的生产型企业，总产能 25 万吨。

迈格瑞轻金属是一家专注于铝、镁轻金属生产、回收、研发、销售和服务为一体的大型生产型企业，工厂分布于安徽和山西，营销中心位于上海，拥有 35 万吨的年产能。公司致力于打造绿色可持续的工厂，利用自己的废料回收体系，向世界各地的客户供应高品质且低碳的产品，共同打造一个可持续发展的世界。

公司以铝、镁基础材料、新材料及其深加工为主要发展方向,在高性能新型材料研发中不断取得突破，多种高性能低碳铝合金通过了多家整车厂及终端的认可和量产；在国内外拥有自己的材料研发机构和团队，并与各大整车厂及 3C 终端成立了联合实验室，且应用了全球领先的材料分析软件 JMat Pro 等，为新材料的更新迭代保驾护航，成为客户坚实的材料方案解决供应商。

近年来，安徽迈格瑞公司在专注于提高废铝回收利用率和再生铝产品质量，使得熔炼、精炼等关键工艺将得到优化，降低生产成本，提高生产效率。同时，智能化、自动化技术的应用将推动再生铝行业的产业升级和可持续发展。



图 1 安徽迈格瑞轻金属有限公司

## 1.2. 产品类别描述

本次 LCA 研究对象为安徽迈格瑞铝合金（AlSi7），AlSi7 是一种铝-硅-锰-镁系铸造铝合金，在汽车、机械、电子、航空航天等领域应用广泛，尤其适合对铸造性能和力学性能有较高要求的复杂零部件，其综合实用性突出，适配多种复杂工况需求。该合金具备优异的铸造性能，流动性好、线收缩率低、气密性高，不易产生热裂纹，适合铸造形状复杂、薄壁的零部件；同时力学性能均衡，铸态下具备良好的韧性和塑性，经热处理后可获得更高的强度和硬度，且对大气、水等介质有良好的耐腐蚀性，切削加工性能优良，易于进行精密加工和表面处理。加之其密度低（约  $2.68 \text{ g/cm}^3$ ）、强度接近优质钢材的轻量化优势，AlSi7 广泛应用于汽车工业的发动机缸体、缸盖等关键结构件，机械设备的泵体、阀体等精密铸件，电子电器的散热器、电机壳体等部件，以及航空航天领域的部分非关键结构件，兼顾可靠性与实用性。



图 2 铝合金 (AlSi7) 产品

## 2. 生命周期评估 (LCA) 简介

生命周期评估 (LCA) 是一种国际标准化分析框架，用于衡量和比较产品生产、使用和处置对环境的影响。LCA 由几个相互关联的阶段组成：目标和范围的定义、清单分析、环境影响评估和结果解释，如图 3 所示。

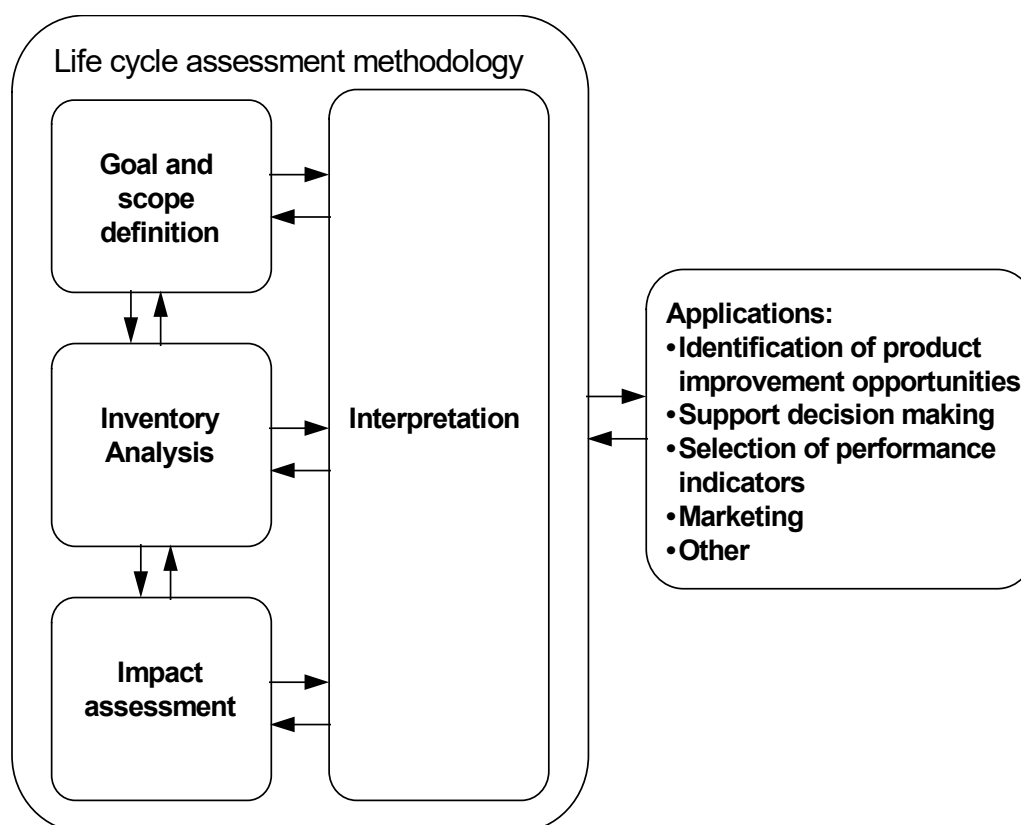


图 3 生命周期评估阶段

ISO 将生命周期评估 (LCA) 定义为“对产品系统在整个生命周期中的输入、输出和潜在环境影响的汇编和评估” (ISO 14040)。换句话说，LCA 识别产品、流程或服务在其整个生命周期中的材料、能源、排放和废物流，以确定其环境影响。

该研究遵循 ISO 14040 和 ISO 14044 指南：

- 确定要审查的产品和生命周期的目标和范围；

- 按生命周期阶段确定生命周期中使用的能源、水和材料、排放的污染和产生的废物；
- 评估潜在的资源利用、这些利用和排放对人类和生态的影响，承认所使用的不确定性和假设；
- 比较所选产品的影响；
- 强调任何重要的结果和影响。
- 为了完全合规，应在公开披露之前对研究进行严格审查。

产品的完整 LCA 可能是一项耗时的工作。事实证明，这对工业界采用 LCA 是一个巨大的障碍。作为回应，简化 LCA 的概念已经发展。精简主要涉及使用通用行业数据，而不是收集系统特定数据。本研究遵循完整的 LCA 方法而不是精简版，除了使用通用数据外，团队还收集了尽可能多的具体数据，以获得更准确的 LCA 结果。

生命周期原则也是许多信息工具的主要基础。例如，欧盟产品环境足迹（PEF）倡议、Eco label、the German Blue Angel、the Nordic Swan、中国环境产品认证等环境标签标准背后的生命周期原则。它还构成了碳足迹、EPD 和生态设计的基础。

虽然 LCA 是一个有价值的工具，但应该强调的是，它是企业在决策时需要考虑的众多因素之一，其中包括成本、消费者接受度、生产可行性等。需要注意的是，预计影响结果只是相对陈述，并不表明影响类别的终点、超出阈值、安全裕度或风险。

### 3. 研究目的

#### 3.1. 产品系统边界及生命周期阶段

表 2 LCA 研究中的各生命周期阶段

LCA 中包含的模块	产品阶段	X	A1 原材料供应
		X	A2 运输至制造现场
		X	A3 制造
	施工工艺阶段	MND	A4 运输至现场
		MND	A5 组装/安装
	使用阶段	MND	B1 使用
		MND	B2 维护
		MND	B3 维修
		MND	B4 更换
		MND	B5 翻新
		MND	B6 运营用电量
		MND	B7 运营用水量
	生命周期结束阶段	MND	C1 拆除
		MND	C2 运输至废物处置
		MND	C3 废物再利用、回收和/或再循环处理
MND		C4 处置	
超出产品系统边界的收益和负载	MND	D 再利用、回收和/或再循环潜力	
注: X=申报模块, MND=本 LCA 研究中未申报的模块			

在本研究中，铝合金（AlSi7）产品的制造地点位于安徽省马鞍山市和县经济开发区太阳河东路3号。研究范围是典型的“从摇篮到大门（无下游运输）”评估，从生产铝合金（AlSi7）产品所需的原材料到生产完成结束。表2展示了本LCA研究中包含的各个阶段。

### 3.2. LCA 研究目标

安徽迈格瑞正致力于量化其原材料对环境的影响，以实现两项不同的举措：

- 碳足迹的年度监测：我们所有原材料的碳足迹都纳入范围3计算中。范围3碳足迹会经过审核并公布结果，以监控我们根据《巴黎协定》和净零碳路线图取得的进展。
- 对相关产品进行生命周期评估（LCA）的评估：尽可能覆盖主要产品的LCA结果。

对于这两个目标的实施，安徽迈格瑞需要确保所用方法的透明度和稳健性。

因此，作为安徽迈格瑞持续创新活动和履行社会责任的一部分，其计划通过LCA透明地报告铝合金（AlSi7）产品的环境问题。此次LCA研究的目的是生成符合安徽迈格瑞和ASI要求的产品的LCA结果，并确定产品对环境影响的热点，在此基础上，安徽迈格瑞未来可以寻求通过更好的回收来不断改善其环境足迹的方法系统或改进。

## 4. 研究范围

### 4.1. 申报单位

LCA 结果应按照申报单位呈现，即 1 kg 净可销售的铝合金（AlSi7）产品。

### 4.2. 系统边界

本研究产品为铝合金（AlSi7）属于初级金属材料原料，考虑到初级金属材料产品的特性，在后续生命周期阶段，初级金属材料产品可能与其他产品物理结合，在使用阶段无法与其他产品物理分离，因此初级金属材料产品的 EOL 可以排除，使用阶段也可以排除本次 LCA 研究中考虑的系统边界是“从摇篮到大门”。

- A1-A3: 产品阶段
  - A1: 原材料供应
  - A2: 运输至制造现场
  - A3: 制造
- 系统边界图

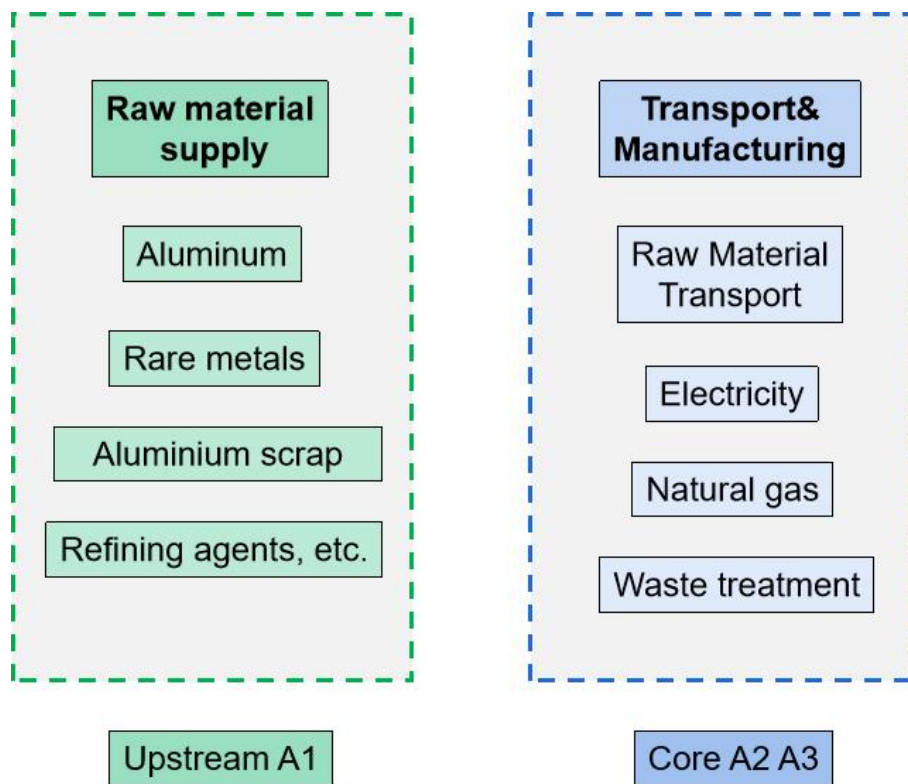


图 4 系统边界图

除了系统边界之外，此 LCA 研究中还记录了其他边界集：

- 时间范围：铝合金（AlSi7）产品的投入产出数据以安徽迈格瑞 2025 年 1 月至 2025 年 12 月的生产库存数据为依据。
- 地理边界：产品阶段的数据是特定地点的，基于生产过程发生的地点。供应商为安徽迈格瑞。
- 安徽迈格瑞轻金属有限公司位于安徽省马鞍山市和县经济开发区太阳河东路 3 号。

#### 4.3. 取舍原则

根据对国内外各类产品 LCA 研究的调研分析，并参考欧盟发布的产品环境足迹（Product Environment Footprint）指南中对取舍准则的要求，基本的取舍原则有：

1、基于产品投入的比例：舍去质量或能量投入小于 1%的产品/能量投入。但是对于质量虽小，生命周期环境影响大的物质，则不可以舍弃，例如黄金、白银等；

2、基于 GWP 影响的比重：以类似投入估算，排除实际影响较小的原料。对于任何类别影响，如果相同影响在一个过程/活动的总和 $\leq 1\%$ ，则此过程可从系统边界中舍去；

3、忽略生产资料与基础设施：在 LCA 的研究中，考虑到边界扩展的有限性，一般将生产资料和基础设施剔除研究范围。

本次 LCA 研究中，对于设备润滑油、机油等辅助用品，由于它们的单耗在产品总物料的占比极小，影响远小于 1%，所以排除。

#### 4.4. 分配

分配是指在所研究的产品系统和一个或多个其他产品系统之间划分过程或产品系统的输入或输出流。

安徽迈格瑞铝合金 (AlSi7) 的整个生产系统不存在副产其他产品的情况，不研究不涉及分配。

#### 4.5. 相关假设和限制

在生命周期评价过程中，会出现数据缺失或情景多样化的情况，生命周期评价执行者需要明确相关假设和限制。

1、假设来自不同供应商的原材料具有相同的“摇篮到大门”资源消耗和环境影响。

2、原材料如铝钒 10、钛剂等，均由多种成份/元素构成，在数据库中没完全对应的排放因子。考虑若用成份/元素的排放因子复合，则会存在不完整、偏低、工艺不匹配的问题。所以该类原材料的排放因子采用近似替代法，

参照最主要的成份/元素、原材料的属性、原材料的生产工艺，为其选择最近的单一排放因子。

3、假设所有的运输车辆均为欧五排放标准的陆运卡车。

#### 4.6. 不考虑在研究范围内的元素

以下步骤/阶段不包含在系统边界中，因为以下元素被认为与铝合金（AlSi7）的 LCA 研究无关或不在边界内：

- 铝合金（AlSi7）制造过程中基础设施和资本设备（建筑物、机器、运输介质、道路等）的生产和处置。
- 铝合金（AlSi7）的存储阶段没有明显影响。
- 自然灾害、火灾事故等非正常损坏造成的产品损失。这些损失大多是意外的。

#### 4.7. 电力

在本次生命周期评估中，安徽迈格瑞的电网组合数据基于中国国家电网的中压电网组合。光伏电量采用中国安徽 3kWp 装机容量的平均值。安徽迈格瑞工厂采购的电力来自国家电网和能源公司的光伏电力，国家电网是一家国有大型电力供应商，其输配电几乎遍及全国。在中国发电版图中，火电是中国总装机容量和发电量的主体。水电发展速度慢于火电发展速度，核电在中国仍处于发展初期。风能、太阳能和潮汐能等可再生能源发电近年来在中国装机容量增长较快。

### 5. 生命周期清单（LCI）分析

在生命周期清单（LCI）分析阶段，收集定性和定量数据。本节将介绍这些数据。

具体数据由安徽迈格瑞收集并提交。数据收集过程通过现场拜访、电子邮件、网络会议进行跟进。

包括材料、能源以及废物处理和运输在内的通用数据取自 LCI 数据库 Ecoinvent 3.10。使用 LCA 软件 SimaPro 9.6 进行建模和计算。

### 5.1. 原材料供应

依据安徽迈格瑞所提供 2025 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日原材料消耗数据及产品产量数据，用原材料用量除以产品产量得到单位产品消耗量。生产铝合金（AlSi7）所需原材料主要是废铝和铝锭，而辅料种类较多，主要为其他金属材料和冶炼所需耗材等，消耗量一个 1 kg 铝合金（AlSi7）作为单元过程计算基准流，具体用量如下。

表 3 铝合金（AlSi7）生产所需的原材料

原材料	用量	单位	数据库中引用的数据条
废铝	9.89E-01	kg	Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting {RoW}  treatment of metal scrap, mixed, for recycling, unsorted, sorting   Cut-off, S
铝锭	3.57E-03	kg	Aluminium, primary, ingot {CN}  aluminium production, primary, ingot   Cut-off, S

表 4 铝合金（AlSi7）生产所需的辅材

辅材	用量	单位	数据库中引用的数据条
金属硅	4.61E-02	kg	Silicone product {RoW}  market for silicone product   Cut-off, S
废铜线	1.86E-03	kg	Copper scrap, sorted, pressed {GLO}  copper scrap, sorted, pressed, Recycled Content cut-off   Cut-off, S
锰	3.92E-03	kg	Manganese concentrate {GLO}  manganese concentrate production   Cut-off, S
镁	5.63E-04	kg	Magnesium {CN}  magnesium production, pidgeon process   Cut-off, S
废镁	8.49E-04	kg	Magnesium, for reuse in hafnium sponge production {RoW}  electrolysis of magnesium chloride, from hafnium sponge production   Cut-off, S
钛剂	7.82E-08	kg	Titanium {GLO}  market for titanium   Cut-off, S

辅材	用量	单位	数据库中引用的数据条
铁剂	3.78E-06	kg	Pig iron {RoW}  pig iron production   Cut-off, S
锌	5.04E-04	kg	Zinc {GLO}  market for zinc   Cut-off, S
精炼剂	3.04E-03	kg	Sodium chloride, powder {CN-SC}  rare earth oxides production, from rare earth oxide concentrate, 70% REO   Cut-off, S
清渣剂	1.67E-03	kg	Potassium chloride {RoW}  potassium chloride production   Cut-off, S
铝合金	4.78E-03	kg	Aluminium alloy, metal matrix composite {RoW}  aluminium alloy production, Metallic Matrix Composite   Cut-off, S
塑钢带	7.50E-04	kg	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade {RoW}  polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade   Cut-off, S
缠绕膜	1.50E-04	kg	Packaging film, low density polyethylene {RoW}  packaging film production, low density polyethylene   Cut-off, S

## 5.2. 运输

由于系统边界是“摇篮到大门”，因此仅研究原材料运输至制造现场(A2)阶段。根据安徽迈格瑞的生产数据清单可知，企业生产所用主要原材料原铝和废弃铝回收主要购自安徽省内多个供应地址，取各点位到企业的平均运输距离，运输距离由安徽迈格瑞提供。

表 5 原材料运输

材料名称	材料重量 (kg)	发货地	陆运	距离	km	tkm
金属硅	4.61E-02	陕西省西安市	陆运	978.71	km	4.51E-02
低铁铝锭	3.57E-03	江苏省无锡市	陆运	592.63	km	2.11E-03
废铜线	1.86E-03	安徽马鞍山市	陆运	30	km	5.58E-05
铝钒 10	2.00E-03	山西运城	陆运	1000	km	2.00E-03
铝铬 10	5.81E-06	山西运城	陆运	1000	km	5.81E-06
铝锰 10	4.13E-05	山西运城	陆运	1000	km	4.13E-05
铝锰 20	1.37E-03	山西运城	陆运	1000	km	1.37E-03
铝锶 10	1.36E-03	山西运城	陆运	1000	km	1.36E-03
镁锭	5.63E-04	山西运城	陆运	1000	km	5.63E-04
锰片	3.92E-03	湖南省长沙市	陆运	780	km	3.06E-03
钛剂	7.82E-08	江苏省徐州市	陆运	350	km	2.74E-08
铁剂	3.78E-06	江苏省徐州市	陆运	350	km	1.32E-06
锌锭	5.04E-04	上海	陆运	400	km	2.02E-04
废铝铸件	1.30E-01	安徽省	陆运	500	km	6.48E-02
废镁铸件	8.49E-04	安徽省	陆运	500	km	4.25E-04
废铝	8.37E-01	安徽省	陆运	500	km	4.19E-01
流程	2.21E-02	/				0.00E+00
精炼剂	3.04E-03	江苏省徐州市	陆运	350	km	1.06E-03
清渣剂	1.67E-03	江苏省徐州市	陆运	350	km	5.86E-04
塑钢带	7.50E-04	济宁市微山县	陆运	400	km	3.00E-04
缠绕膜	1.50E-04	济宁市微山县	陆运	400	km	6.00E-05
<b>合计</b>						5.42E-01

### 5.3. 生产

安徽迈格瑞铝合金（AlSi7）生产工艺流程如图 4 所示。铝合金（AlSi7）的生产是以回收铝为原料的完整冶炼加工流程：原料进厂检验合格后，经过配料计算与领料，进入熔炼阶段，依次进行加料熔化、温度与成分的精确调整（含加金属硅），再通过在线除气过滤和二次喷粉精炼进行深度净化；精炼合格的熔体经浇铸、刮皮成型，部分产品需经过“火工”热处理；此后铸件需通过车间自检、质量检验等多层严格检验，任何环节不合格均会被拦截并进入回炉、调整等处置回路；最终，全部检验合格的成品在完成包装与包装检验后，方可入库或发货。所有制造过程的 LCI 数据均由安徽迈格瑞根据其产品库存计算并提供。

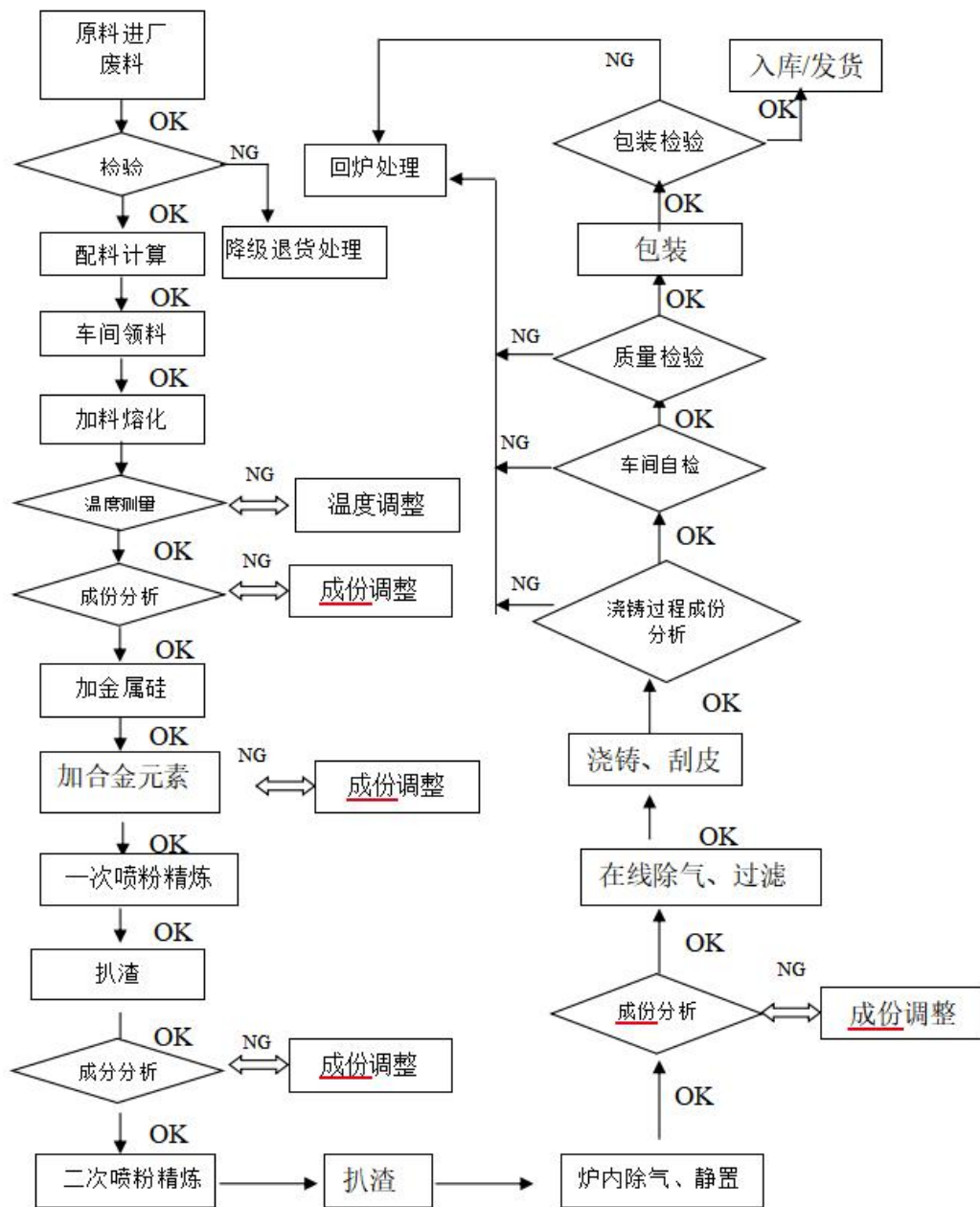


图 5 铝合金 (AlSi7) 生产工艺流程图

表 5 列出了每千克铝合金 (AlSi7) 制造的输入及输出。能源输入为电和柴油，主要生产过程用电，柴油用于场内物料转运。电力采购于国家电网，天然气为管道天然气。生产过程输出主要为废气，包含颗粒物、二氧化硫和氮氧化物。固废主要为铝灰、废钢铁和废塑料。

表 6 铝合金 (AlSi7) 生产的投入及产出

能源/水/排放	单位	用量	数据库中引用的数据条
<b>输入</b>			
熔化天然气	MJ	4.27E+00	Heat, central or small-scale, natural gas {RoW}  market for heat, central or small-scale, natural gas   Cut-off, S
国网电	kWh	6.04E-02	Electricity, medium voltage {CN}  market group for electricity, medium voltage   Cut-off, S
光伏电	kWh	2.26E-02	Electricity, low voltage {CN-AH}  electricity production, photovoltaic, 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted   Cut-off, S
柴油	MJ	4.53E-02	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO}  diesel, burned in agricultural machinery   Cut-off, S
水	Kg	4.73E-04	Tap water {RoW}  tap water production, direct filtration treatment   Cut-off, S
<b>输出</b>			
颗粒物	kg	4.99E-05	Particulates, < 10 um (stationary)
二氧化硫	kg	5.70E-05	Sulfur dioxide, CN
氮氧化物	kg	2.36E-04	Nitrogen oxides, CN
铝灰	kg	3.73E-02	Dross from Al electrolysis {CN}  market for dross from Al electrolysis   Cut-off, S
废塑料	kg	2.43E-04	Mixed plastics (waste treatment) {GLO}  recycling of mixed plastics   Cut-off, S
废铁	kg	4.46E-04	Steel and iron (waste treatment) {GLO}  recycling of steel and iron   Cut-off, S

## 6. 生命周期影响评估 (LCIA)

生命周期影响评估 (LCIA) 为分析清单中的资源开采、材料使用和废物处置/排放对多种潜在影响的潜在贡献提供了指标和基础。根据 ISO 14040, LCIA 本质上是为了提高对生产阶段结果的理解。

在本研究中, 估计影响结果只是相对陈述, 并不表明影响类别的终点、超出阈值、安全裕度或风险。

### 6.1. 生命周期影响评估方法介绍

LCIA 遵循 ISO 14040, 并使用建议的影响特征因子 EF 3.1 和 EN 15804+A2 影响评估模型进行分析。本研究报告的影响类别与方法论中要求的一致。

下表说明了类别、单位和相关评估模型。结果已根据前面部分中描述的生命周期阶段分为几列。

表 7 环境影响的指标类别

指标		单位
<b>环境影响</b>		
气候变化（全球变暖潜势 - 总计）	Global Warming Potential-total (GWP-total)	kg CO <sub>2</sub> eq
气候变化 - 化石燃料（全球变暖潜势 - 化石燃料）	Global Warming potential-fossil (GWP-fossil)	kg CO <sub>2</sub> eq
气候变化 - 生物质（全球变暖潜势 - 生物质）	Global Warming Potential-biogenic (GWP biogenic)	kg CO <sub>2</sub> eq
气候变化 - 土地利用和土地利用变化（全球变暖潜势 - 土地利用和土地利用变化）	Global Warming potential-land use and land transformation (GWP-luluc)	kg CO <sub>2</sub> eq
臭氧消耗	Ozone Depletion (ODP)	kg CFC11 eq
酸化	Acidification potential (AP)	mol H <sup>+</sup> eq
富营养化，淡水	Eutrophication potential of freshwater (EP-freshwater)	kg P eq
富营养化，海洋	Eutrophication potential of marine (EP-marine)	kg N eq
富营养化，陆地	Eutrophication potential of terrestrial (EP-terrestrial)	mol N eq
光化学臭氧形成	Photochemical oxidant formation potential (POCP)	kg NMVOC eq
<b>资源使用</b>		
资源利用，能源载体	Abiotic depletion potential - Fossil fuels (ADPF)	MJ
资源利用，矿产和金属	Abiotic depletion potential - Elements (ADPE)	kg Sb eq
缺水	Water consumption (WDP)	m <sup>3</sup> depriv.
使用可再生一次能源	Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials (PERE)	MJ, net calorific value
用作原材料的一次能源	Use of renewable primary energy resources used as raw materials (PERM)	MJ, net calorific value
可再生一次能源的总使用量	Total use of renewable primary energy resources (PERT)	MJ, net calorific value
使用不可再生的一次能源	Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary	MJ, net calorific value

指标		单位
	energy resources used as raw materials (PENRE)	
用作原材料的不可再生一次能源	Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials (PENRM)	MJ, net calorific value
不可再生一次能源的总使用量	Total use of non-renewable primary energy resources (PENRT)	MJ, net calorific value
淡水净利用量	Net use of fresh water (FW)	m <sup>3</sup>
二次材料	Use of secondary raw materials (SM)	kg
可再生二次燃料	Use of renewable secondary fuels (RSF)	MJ, net calorific value
不可再生二次燃料	Use of non-renewable secondary fuels (NRSF)	MJ, net calorific value
<b>产出和浪费</b>		
危险废物处置	Hazardous waste disposal (HWD)	kg
处置的非危险废物	Non-hazardous waste disposed (NHWD)	kg
放射性废物的处理	Radioactive waste disposed (RWD)	kg
回收材料	Materials for energy recovery (MER)	kg
可重复使用的组件	Material for recycling (MFR)	kg
能量回收材料	Components for reuse (CRU)	kg
出口能源、电力	Exported electricity energy (EEE)	MJ
输出能源，热能	Exported thermal energy (ETE)	MJ

## 6.2. 环境影响评估结果

基于铝合金（AlSi7）的 LCA 模型，计算结果如下表所示。

请注意，影响结果是根据 1kg 铝合金（AlSi7）产品计算的。研究结果代表安徽迈格瑞生产 AlSi7 产品的平均值。结果已根据 EF 3.1 方法通过不同的过程得到证实。

表 8 铝合金（AlSi7）的环境影响评估结果

环境影响类型	单位	A1	A2	A3	A1-A3
GWP-total	kg CO <sub>2</sub> eq	4.56E-01	8.34E-02	4.11E-01	9.51E-01
GWP-fossil	kg CO <sub>2</sub> eq	4.39E-01	8.34E-02	4.11E-01	9.33E-01
GWP biogenic	kg CO <sub>2</sub> eq	1.67E-02	1.37E-05	6.21E-05	1.68E-02
GWP-luluc	kg CO <sub>2</sub> eq	4.88E-04	3.47E-05	7.19E-05	5.95E-04
ODP	kg CFC11 eq	7.41E-08	1.27E-09	5.79E-09	8.12E-08
AP	mol H <sup>+</sup> eq	2.51E-03	2.00E-04	9.46E-04	3.65E-03
EP-freshwater	kg P eq	1.12E-04	6.78E-06	2.50E-05	1.43E-04
EP-marine	kg N eq	5.27E-04	4.77E-05	1.04E-03	1.61E-03
EP-terrestrial	mol N eq	5.45E-03	5.16E-04	2.92E-03	8.89E-03
POCP	kg NMVOC eq	1.76E-03	2.86E-04	1.22E-03	3.27E-03

## 6.3. 资源使用、产出和浪费

主要可再生、不可再生能源需求、废物、危险废物、水消耗以及铝合金（AlSi7）产出量的 LCIA 结果如下表所示。

表 9 铝合金（AlSi7）的资源使用

资源使用类型	单位	A1	A2	A3	A1-A3
ADPF	MJ	5.30E+00	1.20E+00	5.99E+00	1.25E+01
ADPE	kg Sb eq	7.54E-06	2.66E-07	5.49E-07	8.36E-06
WDP	m <sup>3</sup> depriv.	2.45E-01	5.74E-03	1.85E-02	2.69E-01
PERE	MJ, net calorific value	4.11E-01	1.58E-02	1.94E-01	6.21E-01
PERM	MJ, net calorific value	0	0	0	0
PERT	MJ, net calorific value	4.11E-01	1.58E-02	1.94E-01	6.21E-01
PENRE	MJ, net calorific value	5.30E+00	1.20E+00	5.99E+00	1.25E+01

资源使用类型	单位	A1	A2	A3	A1-A3
PENRM	MJ, net calorific value	0	0	0	0
PENRT	MJ, net calorific value	5.30E+00	1.20E+00	5.99E+00	1.25E+01
FW	m <sup>3</sup>	6.44E-03	1.72E-04	5.16E-04	7.13E-03
SM	kg	0	0	0	0
RSF	MJ, net calorific value	0	0	0	0
NRSF	MJ, net calorific value	0	0	0	0

表 10 铝合金（AlSi7）的产出和浪费

产出和浪费类型	单位	A1	A2	A3	A1-A3
HWD	kg	4.87E-04	2.36E-05	5.24E-05	5.64E-04
NHWD	kg	4.75E-02	7.33E-02	6.37E-03	1.27E-01
RWD	kg	1.03E-05	2.55E-07	1.29E-06	1.18E-05
MER	kg	0	0	0	0
MFR	kg	0	0	0	0
CRU	kg	0	0	0	0
EEE	MJ	0	0	0	0
ETE	MJ	0	0	0	0

#### 6.4. 有关生物碳含量的信息

经核查产品物质清单，铝合金（AlSi7）产品中不存在含有生物质的材料。

表 11 生物碳含量的信息

生物碳含量	数值	单位
产品中的生物碳含量	0	kg C
包装材料中的生物碳含量	0	kg C
注：1 kg 生物碳含量等于 44/12 kg CO <sub>2</sub>		

#### 6.5. 贡献分析

为了分析过程对环境影响的贡献，进行了贡献分析。结果分阶段分配，如下图所示。从贡献度分析可以看出，全生命周期阶段的主要环境影响是在

生产阶段（A1）。其中气候变化影响 A1、A2 和 A3 阶段贡献分别为 47.95%、8.78%和 43.278%；气候变化-化石燃料 A1、A2 和 A3 阶段贡献分别为 47.00%、8.94%和 44.07%；气候变化-生物成因 A1、A2 和 A3 阶段贡献分别为 99.55%、0.08%和 0.37%。AlSi7 大多数环境影响主要由 A1 阶段贡献，海水富营养化和化石资源使用则主要由 A3 阶段贡献。

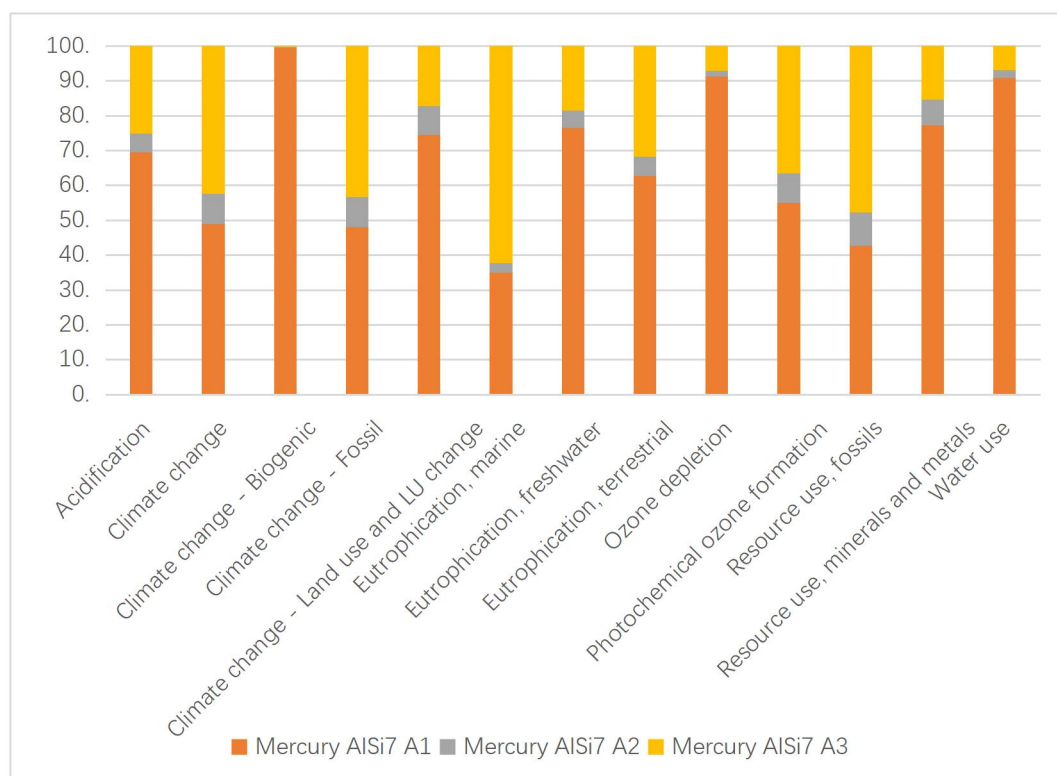


图 6 铝合金（AlSi7）生命周期环境影响结果分析

安徽迈格瑞化石燃料气候变化影响的主要贡献因素为生产用热能、冶金硅、铝合金、原铝和上游原材料运输，分别占气候变化-化石燃料总影响的 36.99%和 18.16%、10.34%、9.01%和 8.94%。

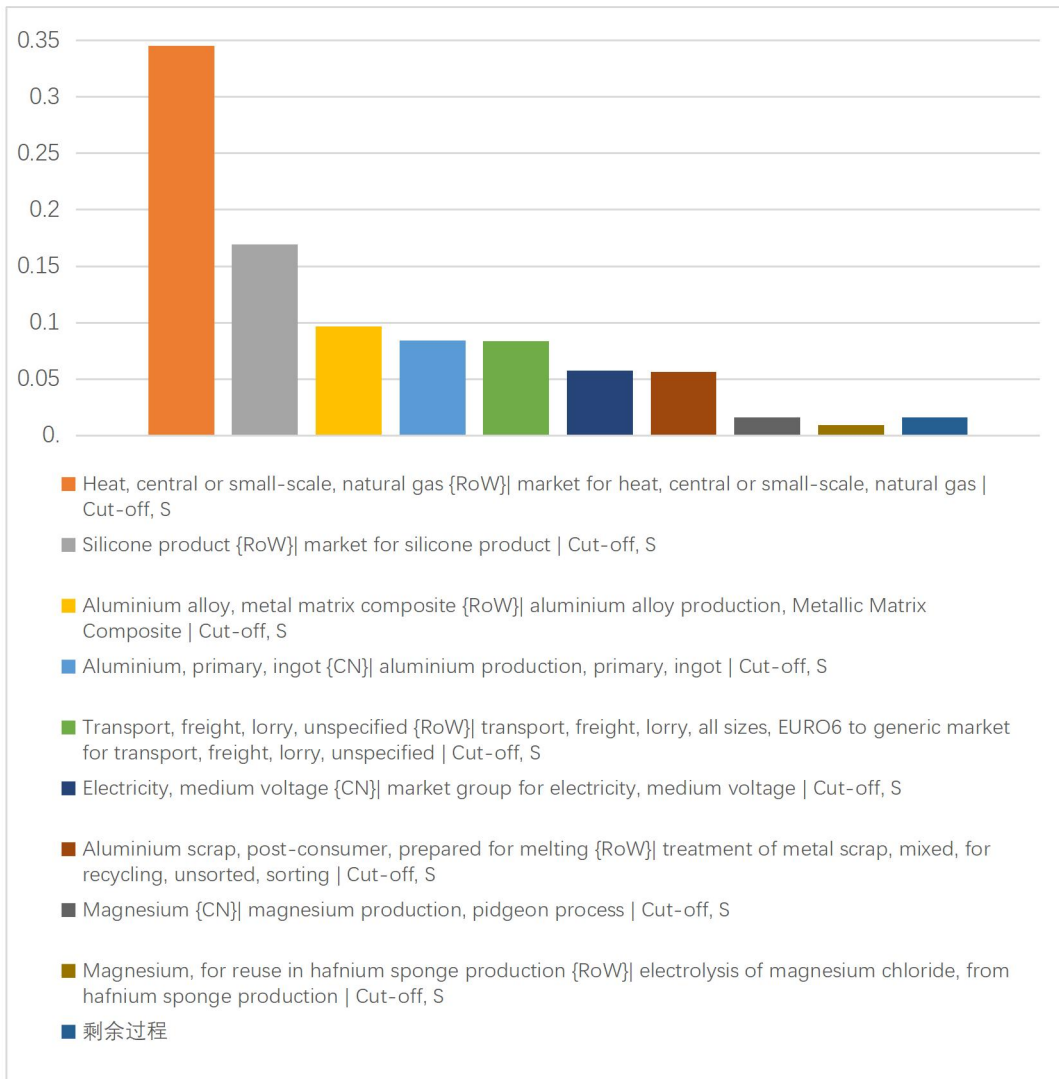


图 7 化石燃料温室气体排放贡献分析

生物成因温室气体排放表现如图 8 所示，主要由废铝贡献，占到了生物质排放的 88.80%，这是由于在废铝收集过程中，其他废弃物的处理过程产生的生物碳排放。

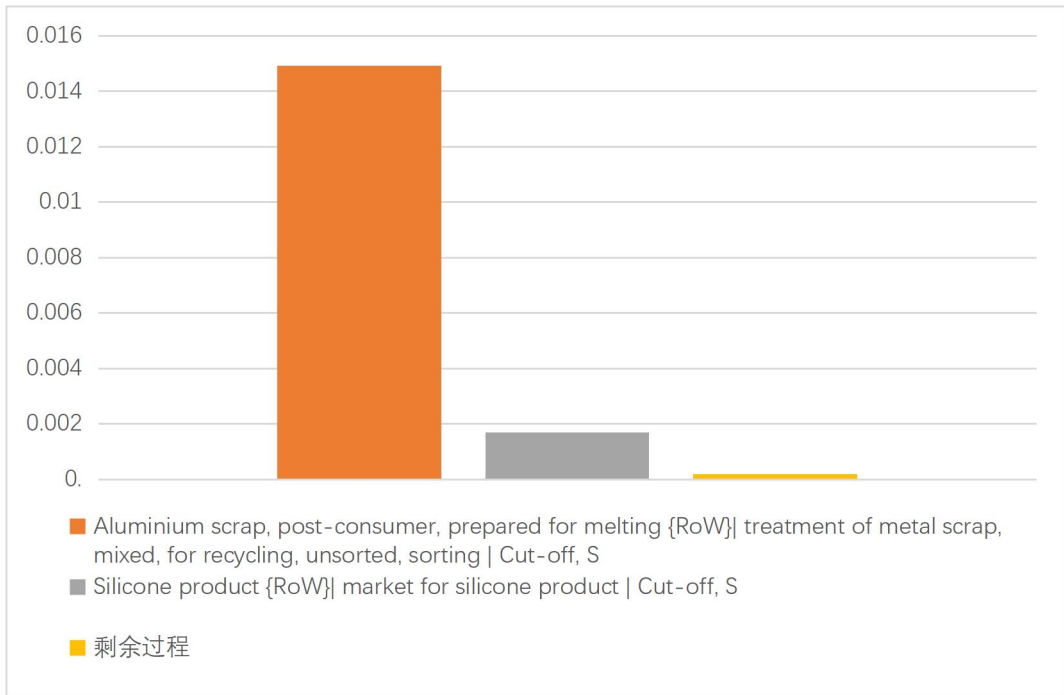


图 8 生物成因温室气体排放贡献分析

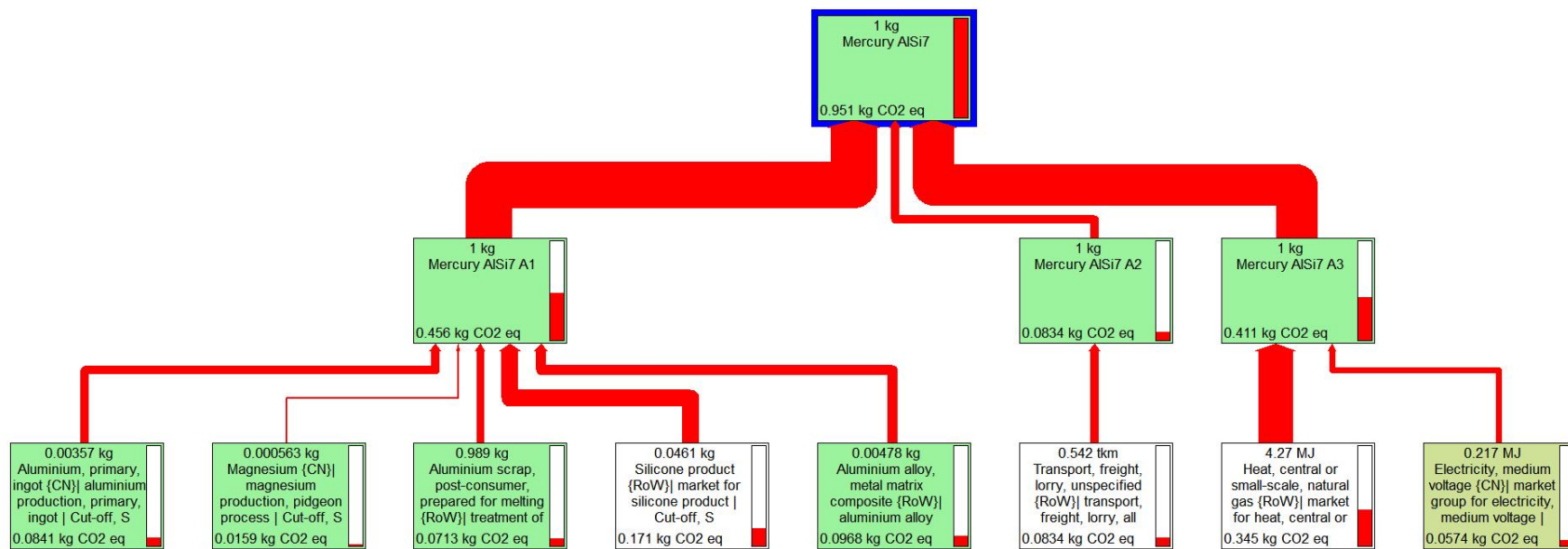


图9 铝合金（AISi7）气候变化生命周期贡献分析

## 7 结果解释

根据标准 ISO 14040:2006、ISO 14044:2006 、ISO 14067:2018 和 EN 15804+A2 对生命周期 LCA 结果解释的要求，该部分包括的主要内容有：敏感性和不确定性，提出结论、局限性和建议。

### 7.1 敏感性分析

敏感性分析是评价有关因素在特定条件下发生变化时对指标的影响程度。为了分析研究中分析场景对结果影响的可靠性，对本次研究中不同来源原材料投入比例对 LCA 结果的影响展开，主要分析原生铝和回收铝对结果的影响。设置两种假设场景，研究原生铝使用比例分别提高 10%和 20%对结果的影响改变（回收铝用量分别下降 0.04%和 0.07%）。得出结果如下：

表 12 润滑油和滤袋假设敏感性分析

影响类别	单位	报告场景	变化 10%	影响比例	变化 20%	影响比例
Climate change	kg CO <sub>2</sub> eq	9.51E-01	9.59E-01	100.88%	9.67E-01	101.76%
Climate change - Fossil	kg CO <sub>2</sub> eq	9.33E-01	9.42E-01	100.90%	9.50E-01	101.80%
Climate change - Biogenic	kg CO <sub>2</sub> eq	1.68E-02	1.68E-02	99.98%	1.68E-02	99.95%
Climate change - Land use and LU change	kg CO <sub>2</sub> eq	5.95E-04	5.96E-04	100.12%	5.96E-04	100.24%
Ozone depletion	kg CFC <sub>11</sub> eq	8.12E-08	8.12E-08	100.04%	8.13E-08	100.07%
Acidification	mol H <sup>+</sup> eq	3.65E-03	3.71E-03	101.49%	3.76E-03	102.97%
Eutrophication, freshwater	kg P eq	1.43E-04	1.45E-04	101.16%	1.47E-04	102.33%
Eutrophication, marine	kg N eq	1.61E-03	1.62E-03	100.58%	1.63E-03	101.16%
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	8.89E-03	8.99E-03	101.12%	9.09E-03	102.24%
Photochemical	kg NM	3.27E-03	3.30E-03	100.89%	3.32E-03	101.78%

影响类别	单位	报告场景	变化 10%	影响比例	变化 20%	影响比例
ozone formation	VOC eq					
Resource use, fossils	MJ	1.25E+01	1.26E+01	100.58%	1.26E+01	101.15%
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	8.36E-06	8.36E-06	100.05%	8.37E-06	100.11%
Water use	m <sup>3</sup> depriv.	2.69E-01	2.70E-01	100.27%	2.71E-01	100.54%

结合上表结果，虽然原生铝在生产投入量仅占总质量的 0.34%，但其对结果环境指标影响十分显著。除了抽样消耗和资源使用敏感性较低外，在 20% 变化场景下对其他环境影响达到平均 1.74%。结合其投入占比较低所以显示出对于结果较高的敏感性，所以为保证目标产品 LCA 结果的稳定性，需要特别关注原生铝投入量的变化。

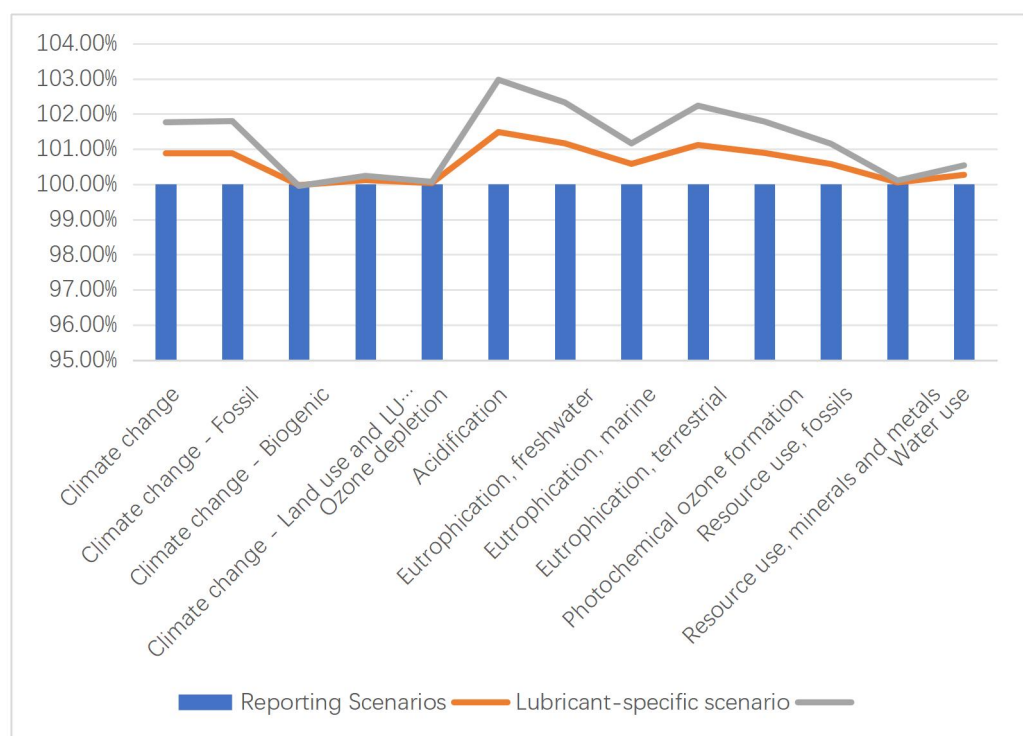


图 10 假设场景影响分布

## 7.2 不确定性分析

为满足 LCA 数据质量要求，本研究主要考虑以下几个方面。

- 数据完整性：依据取舍原则
- 数据代表性：生产商、技术、地域以及时间的代表性
- 模型一致性：采用的方法和系统边界一致性的程度

为准确地评估数据质量，在 SimaPro 中使用系谱矩阵来评估数据矩阵的几何标准差。每个数据点根据六个标准加上基本不确定因素（根据数据特性确定）进行评估。使用下式计算 95%置信区间或平方几何标准差：

$$SD_{g95} = \sigma^2 = \exp \sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2}$$

式中因子 $U_1$ 至 $U_6$ 是指：1. 来源可靠性，2. 样本完整性，3. 时间相关性，4. 地域相关性，5. 技术相关性，6. 样本量大小，见下表：

表 13 数据质量得分表

分数	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
来源可靠性 $U_1$	检验数据基于测量	检验数据部分基于假设或者未证实数据基于测量	未证实数据部分基于合规的评估	合格的评估（如来源与工业专家）；数据来源理论信息（化学计量、焓等）	不合格的评估
	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
样本完整性 $U_2$	代表性数据来自所考虑市场的所有相关站点，一定时期内平稳波动	代表性数据来自所考虑市场的>50%相关站点，一定时期内平稳波动	代表性数据来自所考虑市场的<50%相关站点，或者更短时期内>50%相关站点	代表性数据来自所考虑市场的一个站点或者更短时期内的一些站点	代表性未知，或者数据来源于更短时间的少量站点
	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
时间相关性 $U_3$	与参考年份相差少于3年	与参考年份相差少于6年	与参考年份相差少于10年	与参考年份相差少于15年	与参考年份相差大于15年
	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50

分数	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
地域相关性 U <sub>4</sub>	数据来源于正在研究的区域	平均数据来源于包括正在研究区域以内的更大区域	数据来源比正在研究更小的区域或者相似区域	数据来源于有相似生产状况的区域	数据来源于未知区域或者明细不同的区域
	1.00	1.01	1.02	1.05	1.10
技术相关性 U <sub>5</sub>	数据来源于正在研究二点企业, 流程和材料(例如相同的技术)	数据来源于相同技术, 不同企业的流程和材料	数据来源于同一技术的相关流程或者材料或者正在研究的流程和材料但不是相同的技术	数据来源于不同的技术的相关流程和材料, 或者数据来源于实验室规模的流程和相同的技术	数据来源于实验室规模不同的技术的相关流程和材料
	1.00	1.05	1.20	1.50	2.00
样本量大小 U <sub>6</sub>	>100, 连续测量, 购买产品的平衡	>20	>10, 环保报告中的汇总图	≥3	未知
	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20

为提高本研究的数据质量并确保计算结果的可靠性, 在研究过程中首选来自企业和供应商直接提供的实景数据, 背景数据采用 Ecoinvent 数据库。

数据质量从6个方面进行评估，评估细节如下表所示：

表 14 数据质量得分表

背景数据			数据质量等级						
名称	数据来源	系统边界	来源可靠度 U1	数据完整性 U2	时间相关性 U3	地域相关性 U4	技术相关性 U5	样本量大 小 U6	$\sigma^2$
废铝	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	RoW (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
铝锭	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	CN (1)	技术平均(2)	(2)	1.09
冶金硅	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
废铜线	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	技术平均(2)	(2)	1.09
锰	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
镁	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	CN (1)	相关技术(3)	(2)	1.22
废镁	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	RoW (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
钛	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
铁	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算	相关站点>	2023 (1)	RoW (2)	相关技术(3)	(2)	1.09

背景数据			数据质量等级						
名称	数据来源	系统边界	来源可靠度 U1	数据完整性 U2	时间相关性 U3	地域相关性 U4	技术相关性 U5	样本量大 小 U6	$\sigma^2$
			(2)	50% (2)					
锌	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
精炼剂	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	CN (1)	相关技术(3)	(2)	1.22
清渣剂	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
铝合金	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相似技术(4)	(2)	1.51
工业盐	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
塑钢带	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	Row (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
缠绕膜	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	Row (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
天然气	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	RoW (2)	技术平均(2)	(2)	1.09
国网电	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	CN (1)	技术平均(2)	(2)	1.09

背景数据			数据质量等级						
名称	数据来源	系统边界	来源可靠度 U1	数据完整性 U2	时间相关性 U3	地域相关性 U4	技术相关性 U5	样本量大 小 U6	$\sigma^2$
光伏电	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	CN (1)	相关技术(3)	(2)	1.12
柴油	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	RoW (2)	技术平均(2)	(2)	1.09
水	Ecoinvent	从摇篮到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	RoW (2)	技术平均(2)	(2)	1.09
颗粒物	Ecoinvent	从摇篮到大门	测量值 (1)	所有站点 (1)	2023 (1)	CN (1)	相关技术(3)	/	1.05
二氧化硫	Ecoinvent	从大门到大门	测量值 (1)	所有站点 (1)	2023 (1)	CN (1)	所以技术 (1)	/	1.05
氮氧化物	Ecoinvent	从大门到大门	测量值 (1)	所有站点 (1)	2023 (1)	CN (1)	所以技术(1)	/	1.05
铝灰	Ecoinvent	从大门到坟墓	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	CN (1)	所以技术(1)	/	1.05
废塑料	Ecoinvent	从大门到坟墓	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(3)	1.24
废铁	Ecoinvent	从大门到坟墓	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	GLO (2)	相关技术(3)	(2)	1.22
陆运	Ecoinvent	从大门到大门	部分估算 (2)	相关站点> 50% (2)	2023 (1)	RoW (2)	相关技术(3)	(2)	1.22

数据质量会影响 LCA 结果的不确定性，为评估数据质量对结果不确定性的影响，采用蒙特卡洛不确定性分析模型，分析了产品各类环境影响结果的分布范围。铝合金（AlSi7）LCA 模型各环境影响加权结果蒙特卡洛概率分布见图 11。加权后合并计分结果在 95%置信区间内，变异系数为 3.89%，本研究 LCA 结果较为可靠。

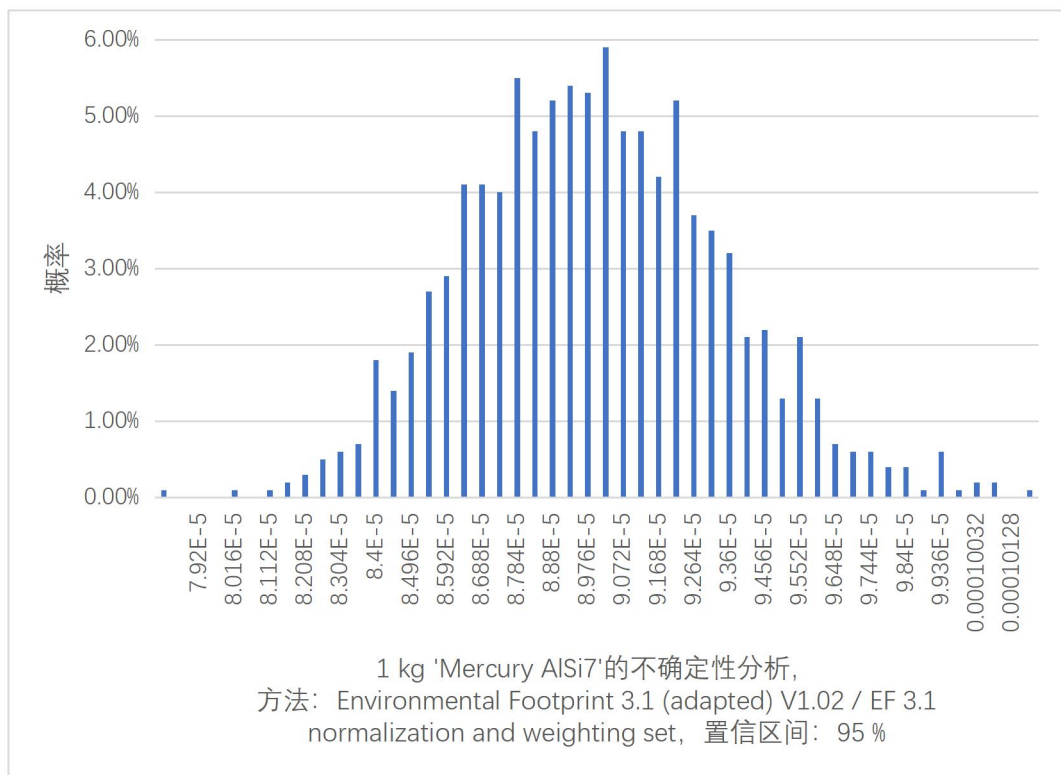


图 11 各环境影响加权结果不确定度分布

## 7. 结论与讨论

本研究按照 ISO 14040 对铝合金 (AlSi7) 进行了生命周期评估 (LCA)。本 LCA 遵循 ISO 14040/14044, 影响评价结果与和 EF 3.1 和 EN 15804 表征因子保持一致。考虑到初级金属材料产品的特性, 在后续生命周期阶段, 初级金属材料产品可能与其他产品物理结合, 在使用阶段无法与其他产品物理分离, 因此初级金属材料产品的 EOL 可以排除, 使用阶段也可以排除, 本研究的系统边界为产品边界即 A1-A3。本报告使用以上方法论中列出的默认环境影响类别进行生命周期影响评估。生命周期清单 (LCI) 包括从各种公开来源收集的数据, 同时考虑到技术、时间和地理尺度的代表性。LCA 研究是根据现有数据、信息、区域和全球知识以及经验进行的, 以实现结果的较佳准确性、完整性和代表性。

对铝合金 (AlSi7) 产品各种影响类别的贡献分析表明, 生产阶段 (A1) 对环境影响的综合贡献最大。

本研究结果存在一定客观条件限制, 比如:

核心工序采用一手数据, 但上游电力、原材料生产等环节依赖背景数据库; 因无法拆分不同产品的生产数据, 本研究中能源和废弃物数据采用企业平均值; 背景数据使用 Ecoinvent 3.10 数据库, 与最新版本数据库计算结果存在一定差异。敏感性分析显示原生铝投入量对结果的影响存在较高敏感性, 相关沟通方需注意原生铝投入比例的变化。

数据质量提升建议: 考虑识别生产工艺重点耗能过程, 并提升数据统计颗粒度, 尝试建立不同粒径产品生产能耗特征, 对总体数据进行拆分。