

铝合金工业型材（坯料型材-六系） LCA 报告

目 录

1. 企业介绍.....	5
2. 目标和范围的定义.....	5
2.1 研究目的.....	5
2.2 研究范围.....	6
2.2.1 功能单位.....	6
2.2.2 系统边界.....	6
2.2.3 分配原则.....	7
2.2.4 取舍原则.....	7
2.2.5 相关假设.....	8
2.2.6 影响类型和评价方法.....	8
2.2.7 软件和数据库.....	9
2.2.8 数据质量要求.....	10
3. 生命周期清单分析.....	12
3.1 前景数据.....	12
3.2 背景数据.....	13
4. 生命周期影响评价.....	16
4.1 中点结果.....	16
4.2 对环境造成影响的主要阶段.....	17
4.3 对环境造成影响的主要单元过程.....	18
4.3.1 原材料获取阶段.....	18
4.3.2 生产阶段.....	19
5. LCA 结果解释.....	24
5.1 完整性.....	24
5.2 敏感性分析.....	25
5.3 不确定性分析.....	25
5.4 一致性.....	26
6. 结论、限制和建议.....	26
6.1 结论.....	26

6.2 限制.....	27
6.3 建议.....	27

简称	全称
IPCC	International panel on climate change(联合国政府间气候变化专门委员会)
CFP	Product carbon footprint(产品碳足迹)
HFC	Hydrofluoro Carbon(氢氟碳化物)
PFC	Perfluoro Carbon (全氟碳化物)
CO ₂ eq.	Carbon Dioxide Equivalent(二氧化碳当量)
LCA	Life cycle assessment(生命周期评价)
BSI	British Standards Institution(英国标准协会)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development(世界企业可持续发展理事会)
ISO	International Organization for Standardization(国际标准组织)
PEF	Product Environment Footprint(产品环境足迹)
GWP	Global Warming Potential(全球暖化潜值)
ELCD	European Life Cycle Database(欧洲生命周期参考数据库)
USLCI	United States Life Cycle Inventory(美国生命周期清单数据库)

1. 企业介绍

广东豪美新材股份有限公司（简称豪美新材，股票代码：002988 SZ）位于清远市高新技术产业开发区泰基工业城内，是一家集专业研发、制造、销售于一体的国内大型铝型材制造商。多年来，豪美一直致力于向产业链上下游拓展，追求高技术集成、高品牌价值和高品质附加值，已成功由一家传统铝制品企业，转型为一家从事铝合金材料、节能系统门窗和汽车轻量化材料技术创新和产业化应用的国家重点高新技术企业。所生产的“豪美”牌铝型材已广泛应用在国内外众多知名建筑物及轨道交通、机电机械、电子电器等领域。

公司占地面积 50 多万平方米，形成了从熔铸、模具设计、制造、挤压、喷涂到深加工完整的铝型材产业链；公司聘请了国内外多名专家、行业权威教授进行科技创新和研发新产品，通过了“国家实验室认可（CNAS）”，并被认定为“国家认定企业技术中心”；连续两届被中国有色金属加工工业协会评为“中国建筑铝型材十强企业”。

豪美新材现已成为经营实力雄厚、产品规格配套齐全、研发设施完善及产品创新能力显著的大型企业，并在汽车轻量化产业领域独树一帜，已自主研发出豪美首台纯电动全铝的车架，可以使传统车身重量减轻 40%。企业目前信息化水平高、生产质量稳定、营销网络和售后服务体系健全，正驶入高速发展的轨道，将跻身世界铝型材大型企业行列。同时，豪美新材从市场需求出发，以高、精、尖新型型材为研发主导，努力提高产品的档次，集精密模具制造、生产销售、技术研发于一体，抓住市场机遇，不断成长，发展壮大，扩大国际交流与合作，进一步提升企业在市场、品牌、产品、技术、网络、机制和观念上的国际化水平，走民族企业国际名牌之路，创建具有国际竞争力的百年企业。

2. 目标和范围的定义

2.1 研究目的

本研究的目的是根据 ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 标准,评估 广东豪美新材股份有限公司生产的铝合金工业型材（坯料型材-六系）的环境影响。本报

告也可以为第三方产品环保声明提供详细的信息和数据支持,为产品设计者和购买者提供可靠的产品环境影响信息。

研究结果将为产品的生产者、设计者、购买者和认证者之间的有效沟通提供适当的参考。本研究结果的潜在交流群体为:广东豪美新材股份有限公司内部管理人员、第三方认证机构、产品设计人员、绿色产品标准开发商、产品购买者,以及公司外部利益相关者,如原材料供应商、企业、当地政府和环保非政府组织。数据资料也可用于下列用途:

- 三型环境声明 (EPD)
- 产品回收应用
- 类似产品对标
- 绿色产品评估
- 绿色采购和供应链决策
- 分析具体指标,如碳足迹或不可再生资源消耗等

2.2 研究范围

本项目生命周期评价核算依据国际标准如下:

- ISO14040:2006 环境管理生命周期评价原则与框架
- ISO14044:2006 环境管理生命周期评价要求与指南

按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006 标准的要求,研究范围需要明确评估对象的功能单位、系统边界、分配原则、取舍原则、相关假设、影响评价方法和数据质量要求等。在下列章节中分别予以说明。

2.2.1 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化,以及后续企业披露产品的环境信息,或将本研究结果与其他产品的环境影响做对比,本研究声明单位定义为:1kg 铝合金工业型材(坯料型材-六系)。

2.2.2 系统边界

本次研究的系统边界为“摇篮”到“大门”,包括原材料获取阶段和生产阶

段，但不包括生产过程中的清洁、行政、营销、研发、实验设施、厂房、机器设备、工具、与雇员相关的活动（供热、照明、工衣、交通、食堂、卫生间设施）；同时，产品分销、使用及报废处理未纳入。原材料获取阶段包括生产铝合金工业型材（坯料型材-六系）的原材料、辅料和包装材料的获取，该阶段主要是上游原辅材料的生产及运输；生产阶段包括铝合金工业型材（坯料型材-六系）的生产制造过程和废弃物处理过程，生产过程能源消耗以电力为主，产出物主要为铝合金工业型材（坯料型材-六系）。铝合金工业型材（坯料型材-六系）的生命周期的系统边界如图 1 所示。

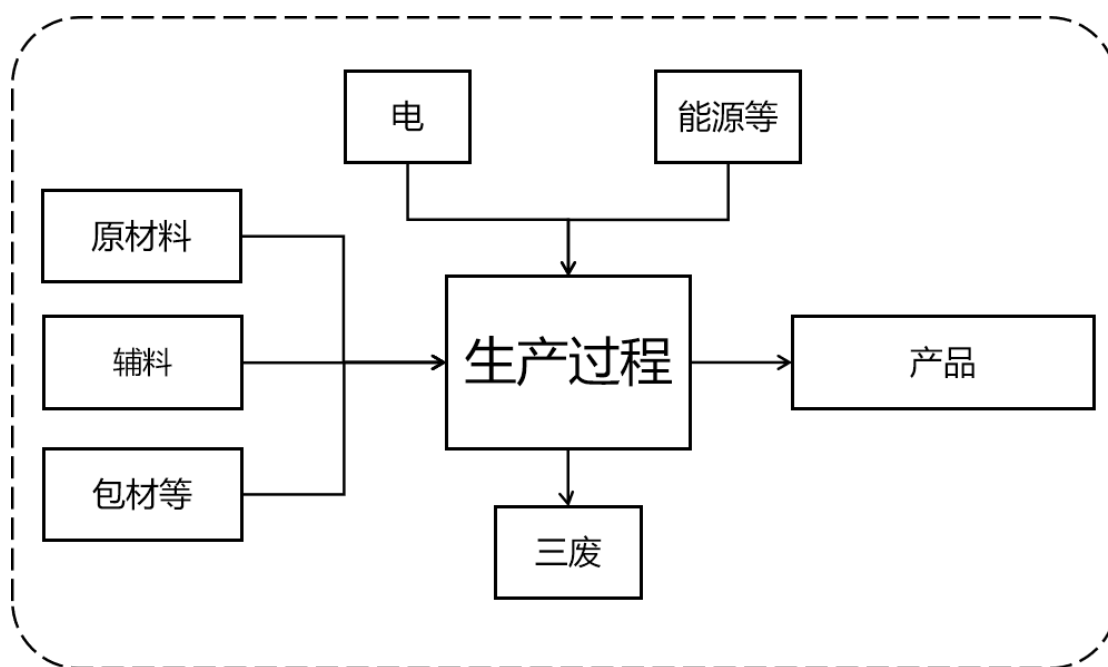


图 1 铝合金工业型材（坯料型材-六系）生产系统边界

2.2.3 分配原则

许多过程常不只一个功能或输出，过程的环境负荷需要分配到不同的功能和输出中，ISO 相关标准对分配有具体规定，包括 a.避免分配；b.以物理因果关系为基准分配环境负荷；c.使用社会经济学分配基准。

由于没有针对具体产品的独立电表及水表等计量，本研究现场收集的电能消耗、能量消耗、水消耗、固废产生、废水、废弃等数据，基于总产量进行分配。

2.2.4 取舍原则

根据对国内外各类产品 LCA 研究的调研分析，参考欧盟发布的产品环境足

迹(Product Environment Footprint, PEF)指南中对取舍准则的要求, 本研究采用的取舍准则包括: a.基于输入/输出占比: 舍去质量或能量输入/输出小于总质量或能量 1%的输入/输出, 但总的舍去产品投入比例不超过 3%。但是, 对于质量虽小, 但生命周期环境影响大的物质, 则不可以舍弃, 例如稀有金属、温室气体、有害物质等; b.基于环境影响的比重: 以类似投入估算, 排除实际影响较小的输入/输出。对于碳足迹, 如果单个输入/输出占总碳足迹<1%, 则此输入/输出可从系统边界中舍去。c.本次研究舍弃了场内运输所使用的柴油, 符合上述取舍准则的要求。

2.2.5 相关假设

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。

本次研究并未采用相关假设。

2.2.6 影响类型和评价方法

用 Simapro 软件的 IMPACT World+方法, 在中点计算生命周期影响评价结果。IMPACT World+方法是 IMPACT 2002+, LUCAS, 和 EDIP 方法的更新版本。World impact 2002+ 方法包括 18 个中点环境影响类别, 分别是全球变暖潜能势值(GWP 100)、全球温度潜能势值(GTP 100)、化石能源和核能耗竭(FNU)、矿物质资源耗竭(MR)、光化学氧化(PO)、臭氧层耗竭(OLD)、淡水生态毒性(FE)、人体健康一致癌物(HTC)、人体健康一非致癌物(HTNC)、淡水酸化(FA)、陆地酸化(TA)、淡水富营养化(FE)、海洋富营养化(ME)、颗粒物形成(PM)、电离辐射(LA)、土地变化(LT)、土地占用(LO)、缺水指标(WS)。各类别环境影响的详细资料见表 1。

表 1 本研究的环境影响类别

影响类别	影响模型	中点参考物质
全球变暖潜能势值	IMPACT World+	kg CO ₂ eq
全球温度潜能势值	IMPACT World+	kg CO ₂ eq
化石能源和核能耗竭	IMPACT World+	MJ deprived

矿物质资源耗竭	IMPACT World+	MJ deprived
光化学氧化	IMPACT World+	kg NMVOC eq
臭氧层耗竭	IMPACT World+	kg CFC-11 eq
淡水生态毒性	IMPACT World+	CTUe
人体健康—致癌物	IMPACT World+	CTUh
人体健康—非致癌物	IMPACT World+	CTUh
淡水酸化	IMPACT World+	kg SO ₂ eq
陆地酸化	IMPACT World+	kg SO ₂ eq
淡水富营养化	IMPACT World+	kg PO ₄ ³⁻ eq
海洋富营养化	IMPACT World+	kg N eq
颗粒物形成	IMPACT World+	kg PM _{2.5} eq
电离辐射	IMPACT World+	Bq C-14 eq
土地变化	IMPACT World+	m ² yr arable
土地占用	IMPACT World+	m ² yr arable
缺水指标	IMPACT World+	m ³ world eq

2.2.7 软件 and 数据库

LCA 研究采用 SimaPro 9.5 软件进行运算。SimaPro 是领先的 LCA 软件解决方案，在 80 多个国家的行业和学术界拥有 30 年的声誉。SimaPro 支持集成了不同表征方法和软件的全生命周期评估。IMPACT World+是 SimaPro 软件中集成的方法之一。SimaPro 软件还集成了几个数据库，如 Eco-invent、ECLD 等。本研究以 IMPACT World+为评价方法，以 Eco-invent 为主要数据库进行案例分析。

Ecoinvent 数据库由瑞士生命周期研究中心开发，包括西欧、瑞士、中国等国家的数据库。该数据库涵盖化工、能源、运输、建材、电子、制浆造纸、废弃物、和农业活动等 10000 多个产品和服务数据集。关于该数据库的更多细节可以在 <http://www.Ecoinvent.org> 上找到。

2.2.8 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本研究中主要考虑了以下几个方面：

- 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；
- 一致性：定性评估研究方法是否统一应用于敏感性分析的各个组成部分；
- 精度：测量每个数据值的可变性（例如方差）。

为了准确的评估数据质量，在 SimaPro 中使用所谓的系谱矩阵（最初由 Weidema（1996）开发）来估计几何标准偏差。每个数据点根据六个标准加上基本不确定因素（取决于数据类型）进行评估。使用以下等式计算 95% 置信区间或平方几何标准偏差：

$$U^2 = \sum_{n=1}^5 U_n^2$$

因子 U_1^2 至 U_5^2 是指（1）可靠性、（2）完整性、（3）时间相关性、（4）地理相关性、（5）技术相关性（见表 2）。

表 2 数据质量（不确定度）得分表

分数	1	2	3	4	5
U1 可靠性	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格的评估	合格的评估（像工业专家）；数据来源理论信息（化学计量、焓等）	不合格评估
	1.00	1.05	1.10	1.20	1.50
U2 完整性	代表性数据来自所考虑市场的所有相	代表性数据来自所考虑市场的 >50% 相关站点，一定时	代表性数据来自所考虑市场的 <<50% 相关站点，或者更短	代表性数据来自所考虑市场的一个站点或者更短时间内	代表性未知，或者数据来源于更短时

	关站点， 一定时期 内平稳波 动	期内平稳波动	时期内>50% 站 点	的一些站点	间的少量 站点
	1.00	1.02	1.05	1.10	1.20
U3 时 间 相 关 性	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	数据年龄 未知，或 与参考年 份相差大 于15年
	1.00	1.03	1.10	1.20	1.50
U4 地 域 相 关 性	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 显不同的 区域
	1.00	1.01	1.02	1.05	1.10
U5 技 术 相 关 性	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 源与同 一技术的 相关流程 或者材料， 或者正在 研究的流 程和材料 但是不同 技术	数据来 源于不 同技术的 相关流程 和材料， 或者数据 来源于实 验室规模 的流程和 相同技术	数据来 源于实 验室规 模不同 的技术 相关流 程和材 料
	1.00	1.05	1.20	1.50	2.00

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在研究过程中实景数据首选来自生产商和供应商直接提供的数据。背景数据大多来自 Ecoinvent 数据库，数据库中的数据是经严格审查，并广泛应用于国际上的 LCA 研究。

3. 生命周期清单分析

本研究的生命周期数据包括前景数据和背景数据。

前景数据: 由广东豪美新材股份有限公司各部门相关人员收集、计算。

背景数据: 来自 Ecoinvent 数据库。这些数据属于“从摇篮到大门”类别。

3.1 前景数据

原始数据由公司员工收集并提供。原始数据通过现场调查按照“门到门”的方法收集，数据收集者通过物料平衡、能量平衡检查对数据进行审核。

本研究收集的数据是生产现场生产的统计数据。数据时间为 2023 年 10 月 1 日至 2024 年 09 月 30 日，数据代表了该产品的平均生产水平。

原材料消耗量，生产过程用电量、用水量等生产记录数据由收集人员根据公司统计数据提供。各工序的输入和输出根据功能单元进行计算，前景数据清单见表 3。

表 3 1kg 铝合金工业型材（坯料型材-六系）前景数据清单

阶段	类别	材料输入	数值	单位
原材料获取阶段	主要原辅材料	铝棒	0.46895	kg
		铝锭	0.27681	kg
		废料(场内回收铝)	0.26193	kg
		外购废料(再生铝)	0.01543	kg
		锰剂	0.00025	kg
		镁锭	0.00247	kg
		铝钛硼细化剂	0.00003	kg
		硅种	0.00162	kg
		速溶硅	0.00160	kg
		铬剂	0.00022	kg
		铁剂	5.98E-07	kg
		铝铜合金添加剂	0.00065	kg
铝钛硼线	0.00090	kg		

		超塑剂	0.00057	kg
		合格证	0.0010	kg
		木方	0.01111	kg
		封口胶	0.00012	kg
		三合板	0.00005	kg
		纸箱	2.73E-06	kg
		纸垫条	0.00004	kg
		膜	0.09033	kg
		牛皮纸	0.01665	kg
		珍珠棉	0.00135	kg
		钢带	0.00038	kg
		运输	陆运	9.10E-01
生产阶段	能源	电力	0.32576	kwh
		水	1.94767	kg
		天然气	0.07729	M3
		固废处理	0.00544	kg
		危废处理	0.00999	kg
		废水处理	0.00109	kg
	产品	铝合金工业型材（坯料型材-六系）	1	kg

注：以上为工厂以 1kg 铝合金工业型材（坯料型材-六系）为基准计算出的实际生产数据

3.2 背景数据

公司收集到的原始数据，从 LCA 原理的角度看，很多都属于中间流数据而非基本流数据，所以需要从数据库查找这些物料或能源的生命周期清单数据。本研究的背景数据均来自 Ecoinvent 3.9，如果可能的话，使用的是中国本地数据。查找结果见表 4。

表 4. 背景数据来源

数据条目	不确定性数值
Aluminium, primary, ingot {GLO} market for APOS, S	(1,1,1,2,2)
Aluminium, primary, liquid {GLO} aluminium production, primary, liquid, prebake APOS, S	(1,1,1,2,2)
Bark chips, wet, measured as dry mass {RoW} market for bark chips, wet, measured as dry mass APOS, S	(1,1,1,2,2)
Corrugated board box {RoW} production APOS, S	(1,1,1,2,2)
Iron scrap, unsorted {RoW} treatment of aluminium scrap, post-consumer, by collecting, sorting, cleaning, pressing APOS, S	(1,1,1,2,2)
Titanium {GLO} market for titanium APOS, S	(1,1,1,2,2)
Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified APOS, S	(1,1,1,2,2)
Aluminium scrap, new {RER} market for aluminium scrap, new Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Boron carbide {GLO} boron carbide production Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Chromium {GLO} market for chromium Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Copper {GLO} market for copper Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Forging, steel {GLO} market for forging, steel Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Kraft paper {RoW} kraft paper production Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Magnesium {CN} magnesium production, pidgeon process Cut-off, S	(1,1,1,1,2)

Paper, woodfree, uncoated {RoW} market for paper, woodfree, uncoated Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Pig iron {GLO} market for pig iron Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for polyethylene, low density, granulate Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Printed paper, offset {GLO} market for printed paper, offset Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Silicone product {GLO} market for Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Silicone product {RoW} market for silicone product Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Sodium {GLO} market for sodium Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Electricity, high voltage {CN-SWG} market for electricity, high voltage Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Natural gas, high pressure {GLO} natural gas, high pressure, import from CN Cut-off, S	(1,1,1,2,2)
Tap water {RoW} tap water production, direct filtration treatment Cut-off, S	(1,1,1,2,2)

4. 生命周期影响评价

4.1 中点结果

采用 IMPACT World+方法，各个环境影响类别结果如表 5 所示，全球变暖潜能势值和全球温度潜能势值影响类别分别为 1.38E+01 kg CO₂ eq 和 1.30E+01 kg CO₂ eq，其他环境影响类别也可据此推断。

表 5 铝合金工业型材（坯料型材-六系）中点环境影响（所有数据均基于 1kg 铝合金工业型材（坯料型材-六系）生产）

影响类别	单位	共计
全球变暖潜能势值	kg CO ₂ eq	1.38E+01
全球温度潜能势值	kg CO ₂ eq	1.30E+01
化石能源和核能耗竭	MJ deprived	1.38E+02
矿物质资源耗竭	kg deprived	5.54E-02
光化学氧化	kg NMVOC eq	4.23E-02
臭氧层耗竭	kg CFC-11 eq	5.39E-07
淡水生态毒性	CTUe	1.58E+05
人体健康—致癌物	CTUh	7.49E-08
人体健康—非致癌物	CTUh	1.66E-07
淡水酸化	kg SO ₂ eq	2.08E-07

陆地酸化	kg SO ₂ eq	1.65E-04
淡水富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	5.17E-05
海洋富营养化	kg N eq	7.33E-04
颗粒物形成	kg PM _{2.5} eq	9.59E-03
电离辐射	Bq C-14 eq	3.65E+01
土地变化	m ² yr arable	1.50E-03
土地占用	m ² yr arable	1.79E-01
缺水指标	m ³ world eq	3.27E+00

4.2 对环境造成影响的主要阶段

不同阶段对环境的影响贡献如下表 6 所示。由分析结果可知，在 10 个环境影响类别上，生产阶段的环境影响大于原材料获取阶段，尤其表现在淡水生态毒性、人体健康—非致癌物、颗粒物形成、电离辐射和土地占用。在剩下的 8 个环境影响上，原材料获取阶段承担主要影响，尤其表现在臭氧层耗竭、淡水富营养化和海洋富营养化。

表 6 铝合金工业型材（坯料型材-六系）各阶段中点环境影响

影响类别	单位	原材料获取阶段	生产阶段
全球变暖潜能势值	kg CO ₂ eq	1.38E+01	1.37E+01
全球温度潜能势值	kg CO ₂ eq	1.30E+01	1.29E+01
化石能源和核能耗竭	MJ deprived	1.38E+02	1.33E+02

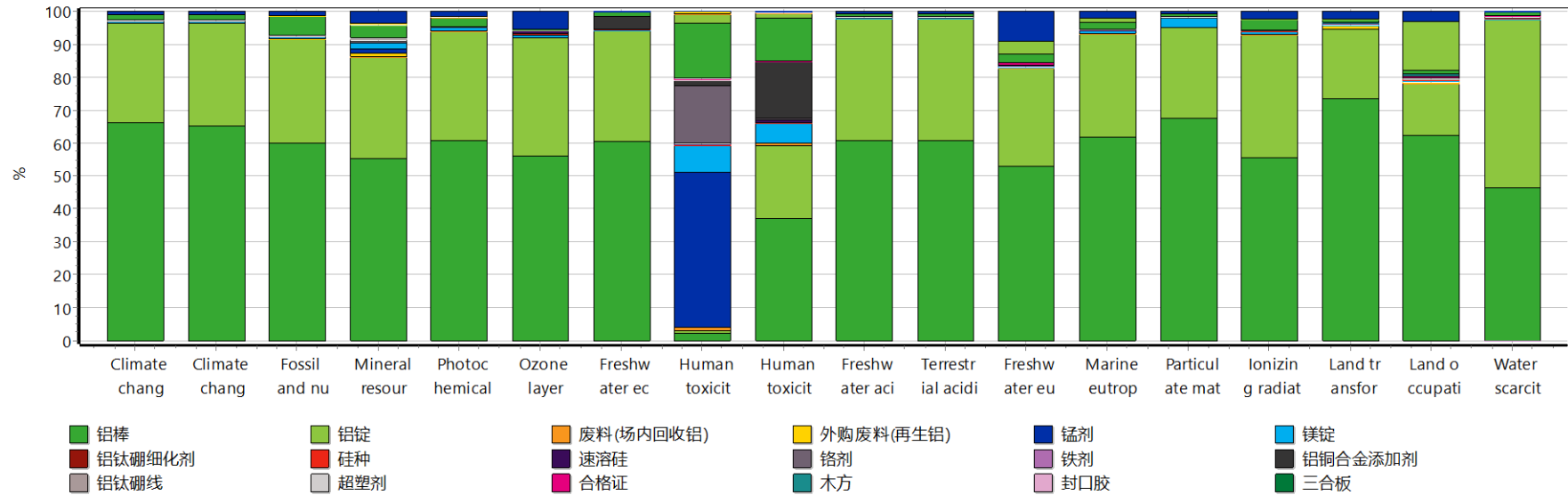
矿物质资源耗竭	kg deprived	5.56E-02	5.39E-02
光化学氧化	kg NMVOC eq	4.23E-02	4.17E-02
臭氧层耗竭	kg CFC-11 eq	5.42E-07	5.38E-07
淡水生态毒性	CTUe	1.59E+05	1.58E+05
人体健康—致癌物	CTUh	7.49E-08	6.71E-08
人体健康—非致癌物	CTUh	1.67E-07	1.54E-07
淡水酸化	kg SO ₂ eq	2.08E-07	2.06E-07
陆地酸化	kg SO ₂ eq	1.66E-04	1.64E-04
淡水富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	5.23E-05	5.15E-05
海洋富营养化	kg N eq	7.34E-04	7.25E-04
颗粒物形成	kg PM2.5 eq	9.59E-03	9.52E-03
电离辐射	Bq C-14 eq	3.66E+01	3.64E+01
土地变化	m ² yr arable	1.50E-03	1.48E-03
土地占用	m ² yr arable	1.79E-01	1.77E-01
缺水指标	m ³ world eq	3.27E+00	3.17E+00

4.3 对环境造成影响的主要单元过程

4.3.1 原材料获取阶段

原材料获取阶段各单元过程的环境负荷贡献如下表 7 所示。由于全球变暖目前是环境热点问题，以全球变暖潜能势值环境影响类

别为例，原材料获取阶段个单元过程的贡献如下图 2 所示，由图 2 可知，铝棒、铝锭承担了主要的环境贡献，其他环境影响类别贡献分析以此类推，不再一一列出。



方法：IMPACT World+ Midpoint V1.03/特征化
正在分析 1 p '基材原材料'；

图 2 全球变暖潜能势值原材料获取阶段贡献分析

4.3.2 生产阶段

生产阶段各单元过程的环境负荷贡献如下表 8 所示。同样地，以全球变暖潜能势值环境影响类别为例，生产阶段单元过程电力承

担了主要的环境贡献。其他环境影响类别贡献分析以此类推，不再一一列出。

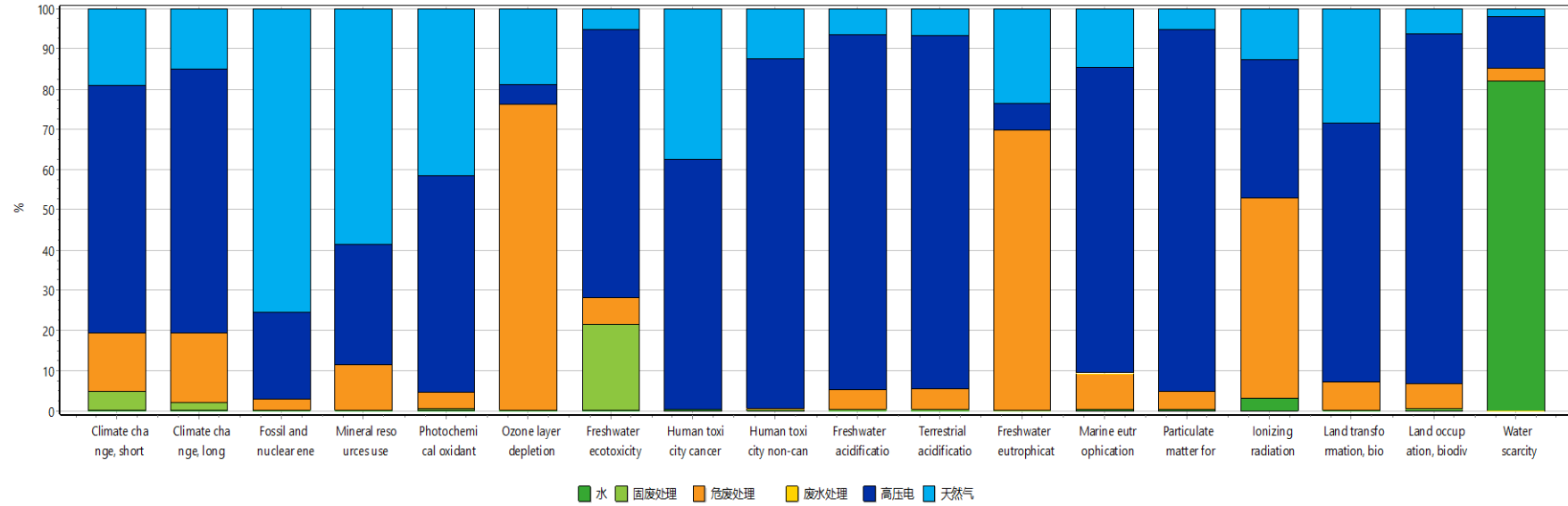


图 3 全球变暖潜能势值生产阶段贡献分析

表 7-1 原材料获取阶段各单元过程中点环境影响

影响类别	单位	铝棒	铝锭	废料(场内回收铝)	外购废料(再生铝)	锰剂	镁锭	铝钛硼细化剂	硅种	速溶硅	铬剂	铁剂	铝铜合金添加剂
全球变暖潜能势值	kg CO2 eq	9.06E+00	4.09E+00	9.31E-03	4.03E-03	1.41E-03	7.78E-02	5.75E-04	5.50E-03	5.41E-03	6.16E-03	1.01E-06	6.35E-03

全球温度潜能势值	kg CO2 eq	8.40E+00	3.98E+00	8.65E-03	3.83E-03	1.32E-03	6.75E-02	5.43E-04	4.98E-03	4.87E-03	5.72E-03	9.24E-07	6.15E-03
化石能源和核能耗竭	MJ deprived	7.97E+01	4.21E+01	1.40E-01	5.66E-02	1.58E-02	9.47E-01	6.11E-03	9.13E-02	8.89E-02	8.18E-02	1.09E-05	6.71E-02
矿物质资源耗竭	kg deprived	2.98E-02	1.65E-02	2.48E-04	5.94E-04	6.34E-04	8.49E-04	9.67E-06	3.00E-05	3.67E-05	3.57E-04	6.05E-07	1.75E-04
光化学氧化	kg NMVOC eq	2.53E-02	1.38E-02	6.76E-05	1.80E-05	7.31E-06	3.92E-04	2.21E-06	1.72E-05	2.01E-05	1.91E-05	5.58E-09	4.96E-05
臭氧层耗竭	kg CFC-11 eq	3.03E-07	1.92E-07	2.04E-10	4.86E-10	8.76E-12	2.19E-09	5.14E-12	4.06E-09	3.73E-09	8.00E-11	5.24E-14	3.24E-10
淡水生态毒性	CTUe	9.55E+04	5.24E+04	4.09E+01	2.02E+02	3.86E+01	6.41E+02	1.61E+01	2.53E+01	5.61E+01	9.02E+01	3.61E-03	5.64E+03
人体健康—致癌物	CTUh	1.63E-09	3.06E-10	8.44E-10	4.04E-12	3.16E-08	5.26E-09	3.89E-11	2.26E-10	2.73E-10	1.16E-08	4.74E-14	1.27E-09
人体健康—非致癌物	CTUh	5.74E-08	3.37E-08	8.85E-10	4.14E-11	3.59E-10	8.86E-09	1.62E-10	7.50E-10	7.57E-10	9.16E-10	1.64E-13	2.62E-08
淡水酸化	kg SO2 eq	1.25E-07	7.60E-08	7.93E-11	5.58E-11	1.83E-11	5.66E-10	9.62E-12	5.49E-11	5.17E-11	5.71E-11	8.69E-15	4.53E-10
陆地酸化	kg SO2 eq	9.98E-05	6.05E-05	6.75E-08	4.56E-08	1.51E-08	4.65E-07	7.72E-09	4.46E-08	4.20E-08	4.65E-08	7.13E-12	3.63E-07
淡水富营养化	kg PO4 3-eq	2.71E-05	1.55E-05	2.78E-08	5.97E-08	1.53E-09	1.88E-07	2.60E-09	4.23E-08	3.50E-08	1.18E-08	9.77E-12	3.59E-08
海洋富营养化	kg N eq	4.49E-04	2.27E-04	1.31E-06	4.04E-07	1.33E-07	4.58E-06	4.56E-08	6.52E-07	6.59E-07	3.52E-07	1.01E-10	1.52E-06
颗粒物形成	kg PM2.5 eq	6.42E-03	2.62E-03	3.92E-06	3.03E-06	1.25E-06	2.85E-04	3.17E-07	2.52E-06	2.61E-06	3.11E-06	6.79E-10	1.19E-05
电离辐射	Bq C-14 eq	2.02E+01	1.35E+01	3.88E-02	7.28E-02	1.23E-02	2.49E-01	4.22E-03	3.71E-02	2.63E-02	6.32E-02	1.63E-06	2.60E-02
土地变化	m2yr arable	1.09E-03	3.09E-04	1.70E-06	1.34E-05	3.13E-07	7.70E-06	7.14E-08	4.97E-07	4.60E-07	8.58E-07	1.04E-10	1.38E-06
土地占用	m2yr arable	1.11E-01	2.76E-02	3.85E-04	6.37E-04	3.90E-05	9.54E-04	1.05E-05	1.42E-04	1.31E-04	1.05E-04	1.14E-08	1.53E-04
缺水指标	m3 world eq	1.48E+00	1.61E+00	6.59E-04	1.20E-03	1.88E-04	5.93E-03	1.97E-04	7.39E-03	7.30E-03	9.46E-04	-1.16E-08	3.15E-03

表 7-2 原材料获取阶段各单元过程中点环境影响

影响类别	单位	铝钛硼线	超塑剂	合格证	木方	封口胶	三合板	纸箱	纸垫条	膜	牛皮直纸	珍珠棉	钢带	运输
全球变暖潜能势值	kg CO2 eq	1.48E-02	4.79E-03	3.08E-03	1.74E-04	0.00E+00	5.07E-05	3.62E-06	4.85E-05	2.32E-01	1.61E-02	4.52E-03	4.67E-04	1.26E-01

全球温度潜能势值	kg CO2 eq	1.44E-02	4.65E-03	2.83E-03	1.68E-04	0.00E+00	4.43E-05	3.17E-06	4.42E-05	2.03E-01	1.47E-02	4.02E-03	4.31E-04	1.23E-01
化石能源和核能耗竭	MJ deprived	1.57E-01	5.13E-02	4.18E-02	2.71E-03	0.00E+00	6.51E-04	4.95E-05	5.81E-04	7.47E+00	1.92E-01	1.25E-01	6.48E-03	2.00E+00
矿物质资源耗竭	kg deprived	2.29E-04	3.37E-05	3.15E-05	4.05E-06	0.00E+00	7.69E-07	4.57E-08	6.84E-07	2.06E-03	1.74E-04	3.44E-05	7.27E-05	2.04E-03
光化学氧化	kg NMVOC eq	5.16E-05	1.61E-05	1.49E-05	1.36E-06	0.00E+00	1.42E-07	1.66E-08	2.47E-07	1.02E-03	9.15E-05	3.19E-05	1.58E-06	7.59E-04
臭氧层耗竭	kg CFC-11 eq	8.96E-10	2.05E-10	9.70E-11	2.97E-11	0.00E+00	4.08E-12	1.85E-13	1.50E-12	1.18E-09	3.02E-10	2.48E-11	9.32E-12	2.92E-08
淡水生态毒性	CTUe	1.94E+02	6.69E+01	3.87E+01	1.04E+00	0.00E+00	5.55E-01	3.86E-02	5.40E-01	1.92E+03	2.00E+02	3.63E+01	4.30E+00	4.18E+02
人体健康—致癌物	CTUh	2.84E-12	5.84E-11	2.81E-10	7.78E-14	0.00E+00	1.40E-14	2.19E-13	3.21E-12	1.13E-08	1.80E-09	2.25E-10	3.71E-10	2.82E-11
人体健康—非致癌物	CTUh	2.39E-10	1.59E-10	5.48E-10	4.53E-13	0.00E+00	1.02E-13	9.89E-13	1.04E-11	1.97E-08	2.51E-09	4.27E-10	7.57E-11	3.16E-10
淡水酸化	kg SO2 eq	2.62E-10	8.42E-11	3.08E-11	1.92E-12	0.00E+00	3.63E-13	2.36E-14	5.08E-13	1.83E-09	1.72E-10	3.95E-11	2.83E-12	1.19E-09
陆地酸化	kg SO2 eq	2.09E-07	6.71E-08	2.58E-08	1.61E-09	0.00E+00	3.31E-10	2.04E-11	4.44E-10	1.48E-06	1.50E-07	3.20E-08	2.32E-09	9.99E-07
淡水富营养化	kg PO4 3-eq	6.38E-08	3.10E-08	2.12E-07	1.64E-08	0.00E+00	2.91E-09	2.71E-10	7.26E-09	1.50E-06	1.98E-06	2.36E-08	7.75E-09	4.62E-06
海洋富营养化	kg N eq	8.50E-07	3.18E-07	5.05E-07	2.44E-08	0.00E+00	4.11E-08	2.00E-09	1.57E-08	1.48E-05	9.86E-06	2.80E-07	4.18E-08	1.36E-05
颗粒物形成	kg PM2.5 eq	9.70E-06	2.98E-06	2.81E-06	1.01E-07	0.00E+00	2.54E-08	2.23E-09	5.96E-08	7.82E-05	8.21E-06	1.85E-06	1.82E-07	6.08E-05
电离辐射	Bq C-14 eq	5.69E-02	2.00E-02	1.70E-02	2.59E-03	0.00E+00	2.51E-04	3.35E-05	2.24E-04	1.03E+00	9.08E-02	2.90E-02	2.12E-03	8.75E-01
土地变化	m2yr arable	1.43E-06	3.98E-07	6.77E-07	6.24E-08	0.00E+00	6.66E-09	6.00E-10	1.14E-08	1.32E-05	2.30E-06	3.01E-07	5.92E-08	3.60E-05
土地占用	m2yr arable	1.45E-04	4.09E-05	1.30E-03	1.02E-03	0.00E+00	1.36E-05	1.85E-06	4.04E-05	1.92E-03	2.67E-02	5.58E-05	5.33E-06	5.35E-03

缺水指标	m3 world eq	5.61E-03	1.81E-03	2.81E-03	5.93E-05	0.00E+00	1.80E-05	7.45E-07	6.43E-05	3.01E-02	7.89E-03	5.91E-04	2.02E-05	7.29E-03
------	-------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

表 8 生产阶段各单元过程中点环境影响

表格 4-1 影响类别	单位	水	固废处理	危废处理	废水处理	高压电	天然气
全球变暖潜能势值	kg CO2 eq	4.49E-04	7.59E-03	2.46E-02	6.18E-07	1.04E-01	3.22E-02
全球温度潜能势值	kg CO2 eq	4.12E-04	2.50E-03	2.44E-02	5.74E-07	9.19E-02	2.12E-02
化石能源和核能耗竭	MJ deprived	5.65E-03	3.52E-04	1.27E-01	6.72E-06	9.68E-01	3.38E+00
矿物质资源耗竭	kg deprived	3.39E-06	3.34E-07	1.90E-04	2.19E-07	4.99E-04	9.89E-04
光化学氧化	kg NMVOC eq	1.32E-06	2.59E-06	2.46E-05	2.76E-09	3.28E-04	2.53E-04
臭氧层耗竭	kg CFC-11 eq	6.34E-12	5.41E-12	2.99E-09	4.43E-14	1.98E-10	7.42E-10
淡水生态毒性	CTUe	3.80E+00	2.76E+02	8.75E+01	1.41E-02	8.70E+02	6.91E+01
人体健康—致癌物	CTUh	2.67E-11	3.07E-15	1.82E-12	1.36E-15	4.89E-09	2.93E-09
人体健康—非致癌物	CTUh	5.21E-11	6.31E-12	1.73E-11	4.72E-15	1.08E-08	1.56E-09
淡水酸化	kg SO2 eq	4.11E-12	8.28E-13	7.33E-11	9.88E-15	1.30E-09	9.39E-11
陆地酸化	kg SO2 eq	3.33E-09	6.78E-10	6.03E-08	9.40E-12	1.05E-06	7.90E-08
淡水富营养化	kg PO4 3-eq	4.59E-10	8.54E-10	5.76E-07	1.26E-09	5.41E-08	1.96E-07
海洋富营养化	kg N eq	2.55E-08	6.21E-09	7.31E-07	1.54E-08	6.24E-06	1.20E-06
颗粒物形成	kg PM2.5 eq	2.50E-07	3.87E-08	3.44E-06	7.42E-10	7.03E-05	4.16E-06
电离辐射	Bq C-14 eq	4.60E-03	1.50E-04	7.40E-02	3.69E-06	5.12E-02	1.90E-02
土地变化	m2yr arable	5.79E-08	4.03E-09	1.61E-06	5.11E-10	1.53E-05	6.74E-06
土地占用	m2yr arable	5.82E-06	7.58E-06	1.10E-04	2.52E-08	1.62E-03	1.14E-04
缺水指标	m3 world eq	8.28E-02	5.59E-07	3.29E-03	-4.17E-05	1.28E-02	2.17E-03

5. LCA 结果解释

根据 ISO 14044: 2006 对生命周期解释的要求, 这个阶段主要包括: 主要问题的识别、完整性、灵敏度和一致性检查, 最后是结论、局限性和建议。

本研究采用 IMPACT World+方法, 对 广东豪美新材股份有限公司生产的铝合金工业型材(坯料型材-六系)的环境影响进行了分析, 包括 18 个影响类别: 全球变暖潜能势值、全球温度潜能势值、化石能源和核能耗竭(FNU)、矿物质资源耗竭(MR)、光化学氧化(PO)、臭氧层耗竭(OLD)、淡水生态毒性(FE)、人体健康一致癌物(HTC)、人体健康一非致癌物(HTNC)、淡水酸化(FA)、陆地酸化(TA)、淡水富营养化(FE)、海洋富营养化(ME)、颗粒物形成(PM)、电离辐射(LA)、土地变化(LT)、土地占用(LO)、缺水指标(WS)。

由此次研究分析可得, 1kg 铝合金工业型材(坯料型材-六系)环境负荷主要来自原材料的使用和电力的消耗, 使用绿色原材料、使用再生材料、提高回收利用率, 发展清洁能源, 会显著的减少环境影响。

5.1 完整性

按照 ISO14044:2006 的要求, 实施了“从摇篮到大门”的完整性检查, 包括: 产品生命周期过程的完整性(从摇篮到大门);

—— 本研究界定的系统边界为“从摇篮到大门”。系统边界包括原材料阶段、产品制造阶段。研究的前景数据包括材料消耗和运输, 背景数据被设定为“从摇篮到大门”。生命周期模型和分析方法符合目标和范围定义中的系统边界。

是否包括产品的原材料和能量投入;

—— 根据表 3, 所收集的前景数据包括生产该产品所需的原材料、能源数据、材料的运输数据。原始数据的收集已经完成。

获得了重要的输出和固体废物数据。

—— 根据表 3, 本研究考虑了大气污染物以及固废处理的数据。

根据完整性检查结果, 本研究的生命周期环境影响分析与确定的研究目标一致, 原始和辅料数据的收集完整。

5.2 敏感性分析

按照 ISO 14044 的定义，“敏感性分析”是用来估计所选用方法和数据对研究结果影响的系统化程序。

本次研究中，没有需要开展敏感性分析的方法和数据选择，所以无需开展敏感性分析。

5.3 不确定性分析

参数的变化会带来环境影响的不确定性，为了评估参数变化对结果的不确定性，采用蒙特卡罗模拟方法确定了环境影响的范围。结果如表 9 所示，全球变暖潜能势值范围为 1.24E+01 kg CO₂-eq ~1.36E+01 kg CO₂-eq，平均值为 1.30E+01 kg CO₂-eq。其他环境影响类别的不确定性也可以这样推断。

表 9 不确定性分析

影响类别	单位	平均值	2.5%	97.5%
全球变暖潜能势值	kg CO ₂ eq	1.30E+01	1.24E+01	1.36E+01
全球温度潜能势值	kg CO ₂ eq	1.38E+01	1.32E+01	1.45E+01
化石能源和核能耗竭	MJ deprived	1.38E+02	1.31E+02	1.44E+02
淡水酸化	kg SO ₂ eq	2.07E-07	1.97E-07	2.18E-07
淡水生态毒性	CTUe	1.59E+05	1.51E+05	1.67E+05
淡水富营养化	kg PO ₄ ³⁻ eq	5.23E-05	4.98E-05	5.48E-05
人体健康—致癌物	CTUh	7.47E-08	5.23E-08	1.27E-07
人体健康—非致癌物	CTUh	1.81E-07	-5.86E-07	9.36E-07
电离辐射	Bq C-14 eq	3.65E+01	3.47E+01	3.83E+01
土地占用	m ² yr arable	1.79E-01	1.71E-01	1.88E-01
土地变化	m ² yr arable	1.50E-03	1.43E-03	1.57E-03
海洋富营养化	kg N eq	7.33E-04	6.98E-04	7.69E-04
矿物质资源耗竭	kg deprived	5.55E-02	5.29E-02	5.82E-02
臭氧层耗竭	kg CFC-11 eq	5.42E-07	5.16E-07	5.68E-07
颗粒物形成	kg PM2.5 eq	9.59E-03	9.12E-03	1.01E-02
光化学氧化	kg NMVOC eq	4.23E-02	4.02E-02	4.43E-02
陆地酸化	kg SO ₂ eq	1.65E-04	1.57E-04	1.74E-04
缺水指标	m ³ world eq	3.27E+00	2.28E+00	3.99E+00

5.4 一致性

按照 ISO14044:2006 标准的要求，应从以下几个方面进行一致性检查：

a)在产品系统生命周期和不同产品系统之间的数据质量差异是否与研究的目标和范围一致？

参考表 3、表 4 的前景和背景数据。

b)区域和/或时间差异(如果有的话)是否一直适用？

在地理分布上，根据产品原材料来源调查，产品消费的主要原材料集中在中国，但研究使用的数据集大多来自全球平均水平；在地域代表性和实际代表性上存在着差异。在时间表示上，大部分数据集为 2023 年 10 月 1 号-2024 年 9 月 30 号的平均数据，基本可以代表实际生产水平。

c)分配规则和系统边界一直应用于所有产品系统吗？

背景数据的选取为 Ecoinvent 中 APOS 的数据集，符合一致性要求。

d)影响评估的要素是否一直被应用？

本研究使用的影响评价模型为 IMPACT World+。它是适用于全球评价的广泛应用的科学模型。

6. 结论、限制和建议

6.1 结论

采用生命周期评价方法，对 广东豪美新材股份有限公司生产的 1kg 铝合金工业型材（坯料型材-六系）的生命周期环境影响进行了评价。功能单元为 广东豪美新材股份有限公司 2023 年 10 月 1 日至 2024 年 09 月 30 日生产的 1kg 铝合金工业型材（坯料型材-六系）。产品的系统边界设置为“从摇篮到大门”。利用 IMPACT World+特征化方法，从 18 个角度对生命周期评价进行了评价。

特征化结果表明，在原材料获取阶段，椅脚是最主要的污染源，尤其针对缺水指标、臭氧层耗竭、海洋富营养化、淡水富营养化、化石能源和核能耗竭这几个环境影响指标方面。其次是底盘，其他的单元过程环境影响贡献较小。此外，文中还提出了输入变化引起的不确定性，以表示结果的范围。

6.2 限制

本研究的主要局限性是:

系统边界:产品的使用和废弃阶段通常是 LCA 研究中要考虑的一个过程。本研究定义的系统边界为“从摇篮到大门”的生命周期阶段,不包括生命周期的使用和废弃阶段。固体废物的再利用是资源回收的必然过程,其再生过程也会产生一定的环境影响。

数据完整性和准确性:数据集的代表性与实际情况有所不同,这也是未来研究需要改进的地方。由于数据的可获得性,采用全球数据而不是中国本地数据进行计算,可能会高估或低估环境影响。

6.3 建议

在本研究中,前景数据由 广东豪美新材股份有限公司的工作人员提供,数据质量可靠。电力的数据来自于国家电网或省级数据,可以保障数据的准确性。为了使研究数据更加准确,为企业、产品设计人员和第三方认证机构提供更加可靠、准确的数据信息,在今后的研究中有必要提高二手数据集的质量。产品的使用和寿命终点不包括在系统边界内,这在未来的研究中需要考虑。

本研究按照 ISO14040:2006、ISO14044:2006 的要求来执行,检查了研究的完整性、敏感性、一致性,确保提供的数据对企业、第三方机构、其他环境管理机构以及公众而言具较为可靠地评价结论。

当其他 LCA 研究需要本研究的 LCI 数据或生命周期结果时,研究者应联系广东豪美新材股份有限公司,以确保数据和结果的正确使用。