

铝合金耐张线夹 (NLL-系列)

产品碳足迹报告

编制单位：安徽省方圆质量技术评价中心

2024年4月



目录

1 概述	1
2 研究目标	2
3 研究范围	3
3.1 功能单位及基准流	3
3.2 系统边界	3
3.3 假设	3
3.4 取舍准则	3
3.5 分配原则	3
3.6 数据及数据质量要求	3
3.7 数据库及软件工具	4
3.8 环境影响类型、类别参数及特征化模型	4
3.9 归一化及加权处理	5
3.10 报告要求	5
3.11 鉴定性评审	5
4 生命周期清单分析	6
4.1 现场数据	6
4.2 背景数据	6
4.3 分配	7
5 生命周期影响评价	7
5.1 LCIA 结果（产品碳足迹结果）	7
5.2 过程贡献分析	7
5.3 生命周期评价结果敏感性分析	9
6 生命周期解释	11
6.1 重大问题识别	11
6.2 完整性、敏感性、一致性检查	11
6.2.1 完整性检查	11
6.2.2 敏感性检查	11
6.2.3 一致性检查	11
6.3 结论与建议	11
6.3.1 结论与建议	11
6.3.2 局限性	11

摘要

本研究的目的是按照国际标准组织（ISO）规定的生命周期评价（LCA）方法和《ISO 14067:2018》计算得到固力发电气有限公司生产的一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）的碳足迹值。

为了满足碳足迹以及与各相关方沟通的需求，本研究的功能单位定义为一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）。研究的系统边界定义为“摇篮到大门”，其中涵盖了主要原材料的获取阶段，以及产品现场生产阶段。

研究得到：一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）的碳足迹值为18.7581kgCO_{2e}，其中原材料获取阶段的碳排放量为18.6165kgCO_{2e}（99.25%），原材料运输阶段的碳排放量为0.0012kgCO_{2e}（0.01%），生产阶段的碳排放量为0.1404kgCO_{2e}（0.74%）。

缩略词

简称	全称
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change （联合国政府间气候变化专门委员会）
CFP	Carbon Footprint of Product （产品碳足迹）
CO ₂ e	Carbon Dioxide Equivalent （二氧化碳当量）
LCA	Life Cycle Assessment （生命周期评价）
LCI	Life Cycle Inventory analysis （生命周期清单分析）
LCIA	Life Cycle Impact Assessment （生命周期影响评价）
ISO	International Organization for Standardization （国际标准化组织）
GWP	Global Warming Potential （全球暖化潜值）
dLUC	direct Land Use Change （直接土地利用变化）
ELCD	European Reference Life Cycle Database （欧洲生命周期参考数据库）

1 概述

固力发电气有限公司成立于2006年，国家高新技术企业、国家知识产权优势企业、国家专精特新小巨人企业。公司座落于合肥市北城区岗集镇金岗大道，占地面积172亩，总建筑面积179421.71m²，注册资本11000万元，总投资6.6亿元。现有职工335人，其中大专及以上学历103人，占比36.7%；专业研发人员60人，占比17.9%；博士1人，高级职称专家2人，中级职称6人。目前是国内领先的电力金具、复合绝缘子等输配电器材研发、制造、销售及输电线路在线监测、诊断一体化解决方案的集成服务商，围绕输、变、配电用户为服务对象，提供集管理、设计、生产于一体的电能质量绿色治理方案及产品的全生命周期集成服务。

工厂设有复合绝缘子、避雷器、电力金具铸造、锻造、型材挤压、注塑、机加工等多条生产流水线，设有技术中心、模具中心、1000kV高压电气试验室、1000kN材料力学试验室和理化实验室，具备较为完整的检测手段。主要产品有“固力发”牌电力金具、复合绝缘子、避雷器、高压电器等。产品覆盖10kV及以下低压配电网络，220kV高压输变电线路及500kV超高压输变电工程。复合绝缘子类产品的年生产能力为300万套，电力金具年生产能力为600万套。

公司注重科技创新和管理创新，在科技成果转化方面，已形成了绝缘子、电力金具等技术持续创新能力和科技成果转化能力，取得了多项具有国内先进水平的科技成果。已取得实用新型专利89项，发明专利21项，已受理发明专利60项。公司研发的防风偏棒形悬式复合绝缘子、FZSW-126/8支柱复合绝缘子、多功能铝合金线夹FJH-240、预绞式楔形耐张线夹NNXY-150、FJWZ-185JY型释放式安全型防舞装置、FJY-240-3000型楔扣式相间防振动装置、SDN-40035型张力保持组合线夹、CGF-4C型配网防雷穿刺型悬垂线夹等产品分别于2015-2018年通过省级新产品鉴定，多项技术指标国内先进。

本次产品碳足迹研究的产品是一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）。

本次开展的铝合金耐张线夹（NLL-系列）的产品碳足迹研究严格按照ISO 14040:2006、ISO 14044:2006和ISO 14067:2018标准执行。

2 研究目标

人类活动已造成全球气温较工业化前水平升高约1°C，按照这一趋势，2030—2052年升温幅度将达到1.5°C，自然和人类系统将面临更高的气候风险。全球各地区不断出台应对气候变化的政策法规：欧洲于近期通过了碳边境调节机制（CBAM）的法案规定，将征收碳关税提上日程；我国也在第75届联合国大会上提出“3060”双碳目标，并相继发布《2030年前碳达峰行动方案》等文件。节能减排与可持续发展问题已成为千行百业关注的焦点，企业低碳转型已刻不容缓。推动碳中和、碳达峰，让绿色低碳成为新时代的发展潮流与生活习惯，真正实现绿色经济长远稳健发展，企业也在积极采取措施应对气候变化，固力发电气和客户将绿色发展和双碳看作了公司未来发展的重要契机。

开展研究的原因及决策背景：公司认为绿色发展是行业方向，产品碳足迹生命周期评价有助于公司确定绿色发展战略和方向。

本研究报告不是向公众发表的对比研究。

研究委托方及其他相关方：公司应客户要求，自愿开展本次产品碳足迹研究。潜在的其他相关方包括客户、政府部门、LCA评审机构等。

3 研究范围

3.1 功能单位及基准流

本研究的产品对象是铝合金耐张线夹（NLL-系列）。将一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）作为研究基准的功能单位，一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）作为研究的基准流，所有的清单结果以及影响评价结果都以一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）作为核算基准。

3.2 系统边界

本研究的系统边界为“摇篮到大门”，生命周期阶段包括从资源开采到产品出厂，即主要包括公司上游原材料制造过程、上游原材料运输过程、现场产品生产过程、产生的废弃物处理服务过程，主要生产辅料包括在内。

产品使用阶段（包括产品维修保养等）和废弃阶段（包括产品回收再利用和废弃处置等）未包括在系统边界内，包装材料的上游制造及运输过程未包含在内。公司的保洁、行政办公、营销、研发、实验设施、与雇员相关的活动（供冷 供热、照明、工衣、交通、食堂、卫生间设施）、设备设施维护未包含在研究范围内。所研究数据为企业年度统计数据，包含了开关机条件以及合理可预见的或紧急情况下的数据。

3.3 假设

本研究的系统边界为“摇篮到大门”，不包括产品使用和报废阶段的研究，所以基本不涉及产品使用和报废阶段的假设。

3.4 取舍准则

本研究采用的取舍准则以各项原材料、能源输入占过程总输入的重量或能量比，或者输出占总输出的重量比或能量比为依据。具体规则如下：

-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、属于有害物质的物料的重量 $<0.1\%$ 产品重量时，忽略该物料的环境影响，但是，总共舍弃的物料重量不超过所有物料总重量的 3% ；

-能量输入或输出占总输入或输出 $<1\%$ 时将被舍弃，但舍弃能量总和不超过总能量的 3% ；

-低价值废物作为原料，如粉煤灰、矿渣、秸秆、生活垃圾等，忽略其上游生产数据；

-已知其环境影响的排放数据不忽略。

根据以上取舍准则，本研究中无舍弃物料。

3.5 分配原则

多功能产品系统需采用合理的分配方法对整个系统的输入、输出进行分配，进而计算得到产品、共生产品各自的生命周期评价结果。

研究应按照ISO14040:2006、ISO14044:2006和ISO14067:2018的规定，在能避免分配时，尽量避免分配，如采用系统放大法避免分配。在无法避免分配时，优先采用物理分配法，如能源使用和固废数据；物理分配法不可行时，再采用其他分配方法如经济分配法、循环次数分配法等，本研究未使用其他分配方法。

3.6 数据及数据质量要求

公司现场物料消耗、能源消耗以及废弃物排放数据都要求是现场数据，原材料、能源的生产以及运输相关的如果没有现场数据，可以采用非现场的数据库数据或其他来源的数据。

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：首先尽量确保产品系统边界范围内的生命周期阶段、过程和输入输出尽量完整。在此基础上，依据取舍原则，尽可能获取现场数据（**site-specific data**），不可行时采用二手数据（**secondary data**），确保取舍准则范围内要求收集的数据得到完整收集。

时间代表性：要求收集的现场数据能够代表所研究的产品系统的真实情况，所以收集的现场数据应该是产品量产时间段2023年1月1日-2023年12月31日的数据。

地域代表性：要求收集的数据尽量采用本地数据，无本地数据时，按照区域、国家、国际、全球数据的先后顺序获取最具代表性的数据。

技术代表性：要求能够代表过程实际水平，包括以下方面：

- 生产规模：2023年2月24日-2023年3月5日总产量为6163个。
- 主要原料：铝合金，螺丝等。
- 主要能耗：电。
- 主要排放源：原材料生产、运输（原物料、中间产品和固废）、现场能耗，以及固废处置。

一致性：采用的方法和假设等应保持一致。

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在研究过程中原始数据首选来自生产商直接提供的数据。当原始数据不可得时，尽量选择代表区域平均和特定技术条件下的二手数据，二手数据首先选择来自中国国内，不可得时选择欧洲ELCD、瑞士Ecoinvent数据库、Industry Data数据库，这些数据库的数据是经严格审查，并广泛应用于国际上的生命周期评价。各条数据集和数据质量将在后面章节详细说明。

对于结果的不确定度，通过Simapro软件工具对模型中的消耗与排放清单数据，从①可靠性、②时间代表性、③地域代表性、④技术代表性、⑤完整性5个维度进行评估，得到LCA数据结果的不确定度。

3.7 数据库及软件工具

本研究采用Simapro生命周期评价软件系统，版本为9.5版本。在Simapro中建立“铝合金耐张线夹（NLL-系列）”生命周期模型，并计算得到产品碳足迹结果，同时可开展敏感性分析、不确定度分析、过程贡献分析、进行各种数据图表处理等。

Simapro软件系统支持全生命周期过程分析，并内置了部分中国生命周期基础数据、欧洲ELCD数据库、瑞士的Ecoinvent数据库、Industry Data数据库等。研究中采用的二手数据都是来自软件内置的上述数据库。

Ecoinvent数据库由瑞士生命周期研究中心开发，是国际上用户最多的LCA数据库之一，包含欧洲及世界多国的20000多个单元过程数据集以及相应产品的汇总过程数据集。

3.8 环境影响类型、类别参数及特征化模型

由于公司客户对本次生命周期研究的环境影响类型、类别参数及特征化模型都做了明确规定，所以本研究将完全按照客户的要求执行。经过对比发现，影响类型、类别参数和特征化模型与欧盟环境足迹建议（**Environmental Footprint Proposal**）的要求完全一致，所以，本研究的影响评价的结果也是能够覆盖欧盟环境足迹建议的要求的。

表1归纳了本研究采用的环境影响类型、类型参数及特征化模型。特征化系数在各特征化模型中分别有规定。

表1 环境影响类型、参数及模型

Impact category 影响类别	Indicator 类别参数	Unit 单位	Recommended default LCIA method 推荐的默认 LCIA 方法	Version 版本
Climate change 气候变化	Radiative forcing as Global Warming Potential (GWP100) 作为全球变暖潜势 (GWP100)的辐射强度	kgCO ₂ e	Baseline model of 100 years of the IPCC (based on IPCC 2021) IPCC 100 年的基线模型 (基于 IPCC 2021)	1.00

3.9 归一化及加权处理

本研究不要求在产品碳足迹研究评价阶段开展归一化及加权处理。

3.10 报告要求

本研究按照ISO14040:2006、ISO14044:2006和ISO14067:2018标准规定的格式制订产品碳足迹研究报告。公司主要是要求报告产品碳足迹研究结果，没有规定相应的报告格式。

3.11 鉴定性评审

本研究将按照客户要求接受鉴定性评审。鉴定性评审将在产品碳足迹研究完成后开展。

4 生命周期清单分析

本生命周期研究使用的数据分为两类：

现场数据：从公司收集的生产记录数据，属于“大门到大门”的原始数据。

背景数据：来自瑞士的Ecoinvent数据库等的“摇篮到大门”的生命周期清单数据。

4.1 现场数据

表2-表7是公司提供的生产现场原始数据。

表2 过程清单数据表——材料输入

类别	材料输入	单位	功能单位用量	取样程序描述	备注
原辅材料	铝合金356Z.2	千克	0.9100	原料总投入量/总产品产量	
原辅材料	螺丝	千克	0.6245	原料总投入量/总产品产量	

表3 过程清单数据表——能量输入

能量输入	单位	功能单位对应量	取样程序描述	来源
电	千瓦时	0.1639	内部统计	发票

表4 过程清单数据——材料、产品输出

材料输出 (包括产品)	单位	数量	取样程序描述	去向及目的地
产品	件	1	生产实际产生	销售给客户

表5 过程清单数据——污染物排放

污染物输出	单位	功能单位对应量	取样程序描述	处置方式
铝渣、铝灰	千克	0.039	废弃物出库台账	出售

表6 过程清单数据——原料（原辅材料运输距离）运输

物料名称	单位	功能单位用量	运输方式	运输距离 (km)	运输总计 (tkm)
铝合金356Z.2	千克	0.9100	陆运	5	0.00455
螺丝	千克	0.6245	陆运	5	0.00312

注：以上采购数据来自采购系统，运输距离数据来源为百度地图。

表7 过程清单数据——废物运输

废弃物名称	单位	功能单位用量	运输方式	运输距离 (km)	运输总计 (tkm)
铝渣、铝灰	千克	0.039	陆运	-	-

注：相较于原材料运输，废弃物运输的活动数据很小，预估所产生的碳排放不到运输环节碳排放的1%，在此免于计算。

4.2 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。但是，数据库中往往也没有与实际物料完全对应的物料，只能以近似物质替代，查找结果见表8。这意味着以其他过程来替代了产品生命周期的实际过程，导致代表性存在不同程度的不确定性。

表8 背景数据/二手数据来源

原始数据名称	数据库数据	数据来源
铝合金356Z.2	Aluminium, cast alloy {GLO} aluminium ingot, primary, to aluminium, cast alloy market Cut-off, S	Ecoinvent3.9
螺丝	Steel, low-alloyed {RoW} steel production, electric, low-alloyed Cut-off, S	Ecoinvent3.9
电	Electricity, medium voltage {CN-ECGC} market for electricity, medium voltage Cut-off, S	Ecoinvent3.9
原料运输	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, S	Ecoinvent3.9

4.3 分配

公司收集的原始数据都是2023年1月1日至2023年12月31日的物料能量消耗和排放的总数据，输入输出数据的分配都是按照该时段产量的数量比进行分配，因为各种物料、能量消耗，以及废弃物的排放量在不同工艺阶段主要与产品产量相关。

研究应按照ISO14040:2006、ISO14044:2006和ISO14067:2018的规定，在能避免分配时，尽量避免分配，如采用系统放大法避免分配。在无法避免分配时，优先采用物理分配法，如能源使用和固废数据；物理分配法不可行时，再采用其他分配方法如经济分配法、循环次数分配法等，本研究未使用其他分配方法。

5 生命周期影响评价

5.1 LCIA结果（产品碳足迹结果）

在Simapro上建模，采用研究范围3.8规定的环境影响类别、类别参数及特征化模型，计算得到一件铝合金耐张线夹（NLL-系列）的产品碳足迹研究结果如表9。

表9 产品碳足迹结果

环境影响类型	单位	数值
Climate change 气候变化	kgCO ₂ e	18.7581

5.2 过程贡献分析

过程贡献是指该过程直接贡献及其所有上游过程的贡献的累加值。

表 10 产品不同生命周期阶段的碳足迹贡献

生命周期阶段	碳足迹 (kgCO ₂ e)	贡献
原料阶段	18.6165	99.24%
原料运输	0.0012	0.01%
生产阶段	0.1404	0.75%
合计	18.7581	100%

表11 特定GHG排放量和移除量

特定 GHG 排放量和移除量	碳足迹 (kgCO ₂ e)	贡献
化石 GHG 净排放量和移除量	18.6845	99.61%
生物质GHG 排放量和移除量	0.0213	0.11%
dLUC 产生的GHG 排放量和移除量	0.0523	0.28%

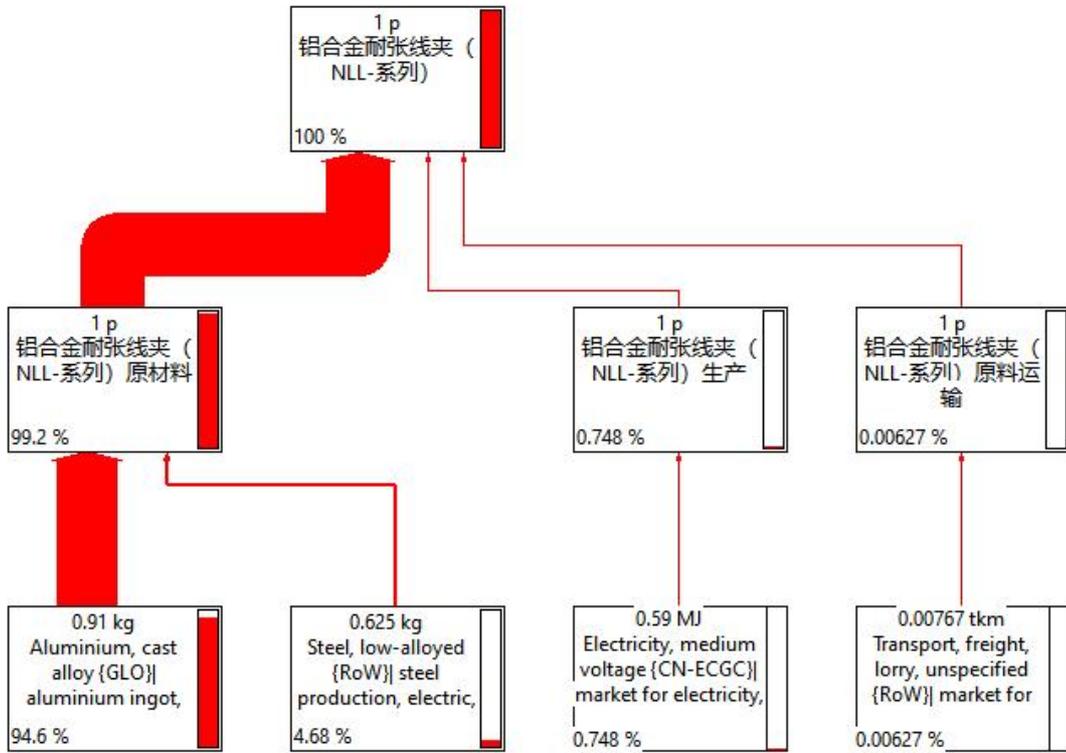


图2 生命周期评价模型 (tree-比值)

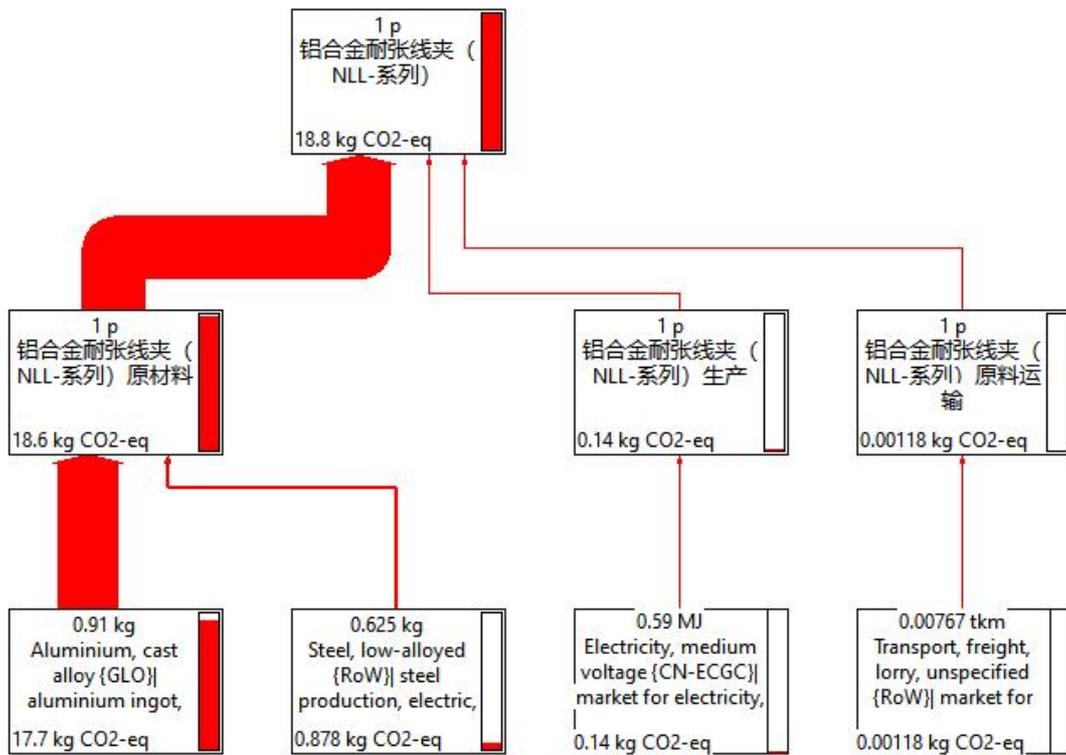


图3 生命周期评价模型 (tree-数值)

No	Process	Project	Unit	Total	铝合金耐张线夹 (NLL-系列)	铝合金耐张线夹 (NLL-系列) 原材料	铝合金耐张线夹 (NLL-系列) 生产	铝合金耐张线夹 (NLL-系列) 原料运输	
Total of all processes					18.8	-	18.6	0.14	0.00118
1	Aluminium, cast alloy (GLO) aluminium ingot, primary, 1	Ecoinvent 3 - al	kg CO2-eq	17.7	x	17.7	x	x	
2	Electricity, medium voltage (CN-ECGC) market for elect	Ecoinvent 3 - al	kg CO2-eq	0.14	x	x	0.14	x	
3	Steel, low-alloyed (RoW) steel production, electric, low	Ecoinvent 3 - al	kg CO2-eq	0.878	x	0.878	x	x	
4	Transport, freight, lorry, unspecified (RoW) market for t	Ecoinvent 3 - al	kg CO2-eq	0.00118	x	x	x	0.00118	

图4-1 生命周期清单累计贡献图

No	Process	Project	Unit	Total	铝合金耐张线夹 (NLL-系列)	铝合金耐张线夹 (NLL-系列) 原材料	铝合金耐张线夹 (NLL-系列) 生产	铝合金耐张线夹 (NLL-系列) 原料运输
1	Aluminium, cast alloy (GLO) aluminium ingot, primary, 1	Ecoinvent 3 - al	g	910	x	910	x	x
2	Electricity, medium voltage (CN-ECGC) market for elect	Ecoinvent 3 - al	kJ	590	x	x	590	x
3	Steel, low-alloyed (RoW) steel production, electric, low	Ecoinvent 3 - al	g	625	x	625	x	x
4	Transport, freight, lorry, unspecified (RoW) market for t	Ecoinvent 3 - al	kgkm	7.67	x	x	x	7.67

图4-2 生命周期清单消耗图

5.3 生命周期评价结果敏感性分析

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。本研究对不同 LCIA 方法进行敏感性分析。

影响类型	单位	IPCC 2021 GWP 100a V1.00	IPCC 2021 GWP 500a V1.00	差异
Climate change 气候变化	kgCO ₂ e	18.7581	17.6541	1.1040

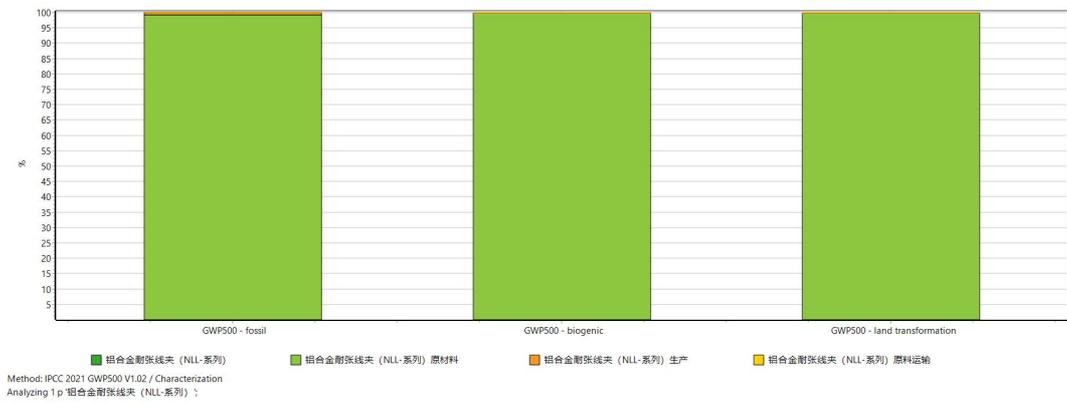


图5 IPCC 2021 GWP 500a V1.00方法计算结果

可以看出，选择 IPCC 2021 GWP 500a V1.00 作为 LCIA 方法，得出的产品碳足迹数据17.6541kgCO₂e 比本研究得出的结果少1.1040kgCO₂e。

5.4 不确定度分析

数据质量会带来环境影响的不确定性，为了评估数据质量对结果的不确定性，采用蒙特卡洛模拟方法确定了环境影响的范围，置信区间95%。

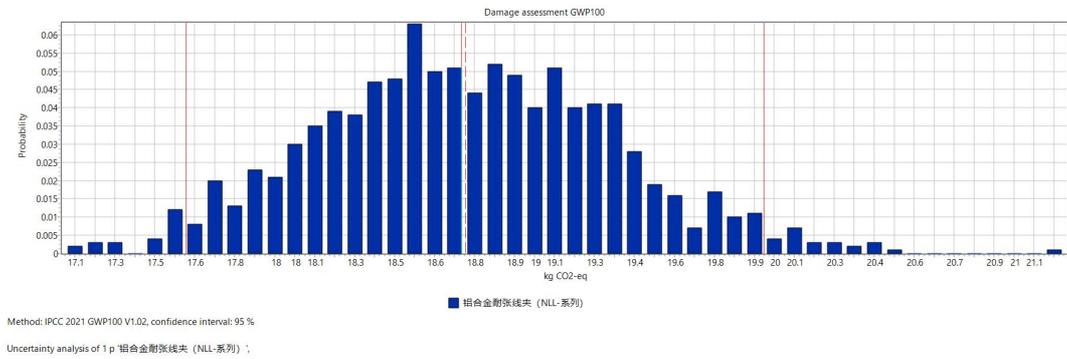


图6 蒙特卡洛模拟结果

6 生命周期解释

根据ISO14040:2006、ISO14044:2006和ISO14067:2018对生命周期解释的要求，该阶段主要包括的内容有：对重大问题的识别，进行完整性、敏感性和一致性检查，最后得出结论、说明局限性并提出建议。

6.1 重大问题识别

从产品生命周期各阶段看，产品碳足迹贡献最大的是原材料获取阶段，占比达到99.25%，本阶段上游数据均采用数据库数据，会对结果不确定度造成较大影响。

6.2 完整性、敏感性、一致性检查

6.2.1 完整性检查

生命周期数据模型中上游生产数据完整，足以支撑达成研究结论，无需补充。现场生产过程中的各种资源能源消耗与排放数据都收集得比较齐全。标准严格按照规定的取舍准则对输入输出进行取舍，取舍准则内的数据100%的收集保留。

6.2.2 敏感性检查

敏感性检查目的是通过确定最终结果和结论受数据、分配方法、类型参数结果计算的不确定度，来判断其可靠性。敏感性检查的输出决定是否更需要更广泛和更精确的敏感性分析。

本研究根据实际研究情况开展的敏感性分析是充分且合理的。

6.2.3 一致性检查

根据ISO14040:2006、ISO14044:2006和ISO14067:2018标准的要求，应从以下几个方面来做一致性检查：

a) 同一产品系统生命周期中以及不同产品系统间数据质量的差别是否与研究的目的和范围一致？

一致，详见数据质量核算。

b) 是否一致的应用了地域和（或）时间的差别（如果存在）？

根据背景数据集的选用可见，数据集在地域代表性和时间代表性上基本是一致的。但确实存在没有本地数据而不得不采用其他地域数据的情况。

c) 所有的产品系统是否都应用了一致的分配规则和系统边界？

本研究只研究一个产品系统；

本研究中的产品，在公司有很多不同规格型号，对物料的消耗及废物排放都是采用以产品个数为基准进行分配的，分配时保持了一致，执行的系统边界也一样。

d) 所应用的生命周期评价核算要素是否一致？

本研究中生命周期评价的核算方法的选用主要考虑方法的科学性、特征化系数的可获得性以及方法的适用性，都是一致的。

6.3 结论与建议

6.3.1 结论与建议

根据研究目的的规定，本研究主要目的在于获取产品生命周期环境影响结果数据，以便完成客户指定的报表内容，这方面完全达到了研究目的要求。

通过本研究可以发现，公司产品在其生命周期中的碳足迹主要来自于主要原材料中的铝合金的消耗。

所以，建议公司着手铝合金供应链调研，获取实际供应链数据有助于使研究结果更贴近企业实际生产情况。

6.3.2 局限性

本研究定义的系统边界为“摇篮到大门”，所以并未考虑产品使用阶段和产品寿终的废弃循环利用。

另外，做产品碳足迹研究必须依赖LCA软件和基础数据库，目前还存在国内数据缺失、国外数据不太匹配、甚至完全没有对应数据等问题，这个部分有待数据库完善。