

# 江苏源通电气有限公司

干式变压器

## 《碳足迹评价报告》



基于 ISO 14067:2018

编制时间：2025年8月1日

报告企业：江苏源通电气有限公司





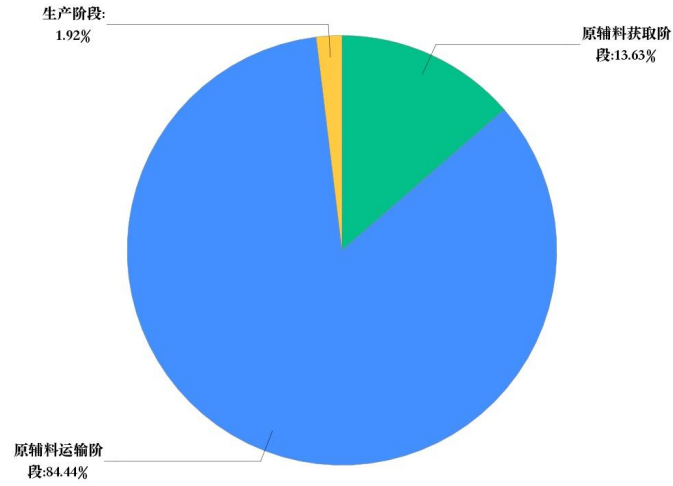
## 碳足迹评价报告概要

公司名称	江苏源通电气有限公司		
产品名称	干式变压器		
产品型号	10kV 干式变压器 SCB14-800/10		
产品图片			
功能单位	1 台变压器	产品碳足迹	340945.63kg CO <sub>2</sub> e
系统边界	摇篮到大门	生产周期	2024 年 1 月 1 日 - 2024 年 12 月 31 日



本报告根据 ISO 14067: 2018 的要求, 建立了 1 台变压器摇篮到大门的碳足迹模型。通过数据收集和计算, 江苏源通电气有限公司

在 2024 年 1 月 1 日 - 2024 年 12 月 31 日期间生产的 1 台变压器的碳足迹为  $3.41E+05\text{kg CO}_2\text{e}$ 。具体的碳足迹贡献及占比见下图:



结论



## 目 录

1. 基本信息 .....	1
1.1 企业介绍 .....	1
1.2 产品介绍 .....	2
2. 规范性引用文件 .....	2
2.1 PCR 及其补充性要求 .....	2
2.2 参考标准 .....	2
3. 目的和范围 .....	3
3.1 报告书制作目的 .....	3
3.2 包含的温室气体 .....	3
3.3 功能单位与基准流 .....	3
3.4 系统边界 .....	4
3.5 取舍准则与舍弃项 .....	4
4. 生命周期清单分析 .....	5
4.1 数据收集时间和地点 .....	5
4.2 数据质量评价与管理 .....	5
4.3 分配原则 .....	6
4.4 生命周期数据清单 .....	7
5. 生命周期影响评价 .....	11
5.1 评价方法和数据库 .....	11
5.2 碳足迹总量 .....	11
5.3 生命周期阶段碳足迹贡献 .....	12
6. 生命周期结果解释 .....	17
6.1 碳足迹量化结果 .....	17
6.2 完整性与一致性检查 .....	17
6.3 敏感性分析 .....	18
6.4 不确定性分析 .....	19
6.5 碳足迹评价结果的局限性 .....	22
6.6 减排建议 .....	22
7. 其他希望说明的情况 .....	22
附录一 碳足迹特征化因子表 .....	23

## 1. 基本信息

### 1.1 企业介绍

江苏源通电气有限公司成立于 2008 年，注册资金 10080 万元，是一家集科研、开发、制造、安装为一体的电气领域综合性民营企业、高新技术企业、国家专精特新“小巨人”企业。主导产品包括 35KV 级以下油浸式变压器、真空环氧浇注式干式变压器、非包封（SG）真空浸漆干式变压器、各类特种变压器及箱式变电站，并可根据客户要求设计、制造各类特种变压器，产品具有性能先进、结构新颖、低损耗、低温升、低噪音、耐冲击、抗短路等多种优势。

公司以“优质高效，诚信经营，至诚服务、精益求精”为经营方针，现有员工 165 人，研发人员 30 人，其中专职研发人员 27 人。技术团队专业涉及技术管理、高压电、机械制造、自动化控制等众多领域，其中高级职称 3 人。目前拥有 22 项授权专利，其中发明专利 20 项，实用新型专利 2 项。公司产品具有性能先进、结构新颖、低损耗、低温升、低噪音、耐冲击、抗短路等多种优势。近年来公司主营产品立潜型环氧树脂绝缘干式变压器市场占有率一直保持在全国前列，公司产品和技术被广泛应用于城市电网、高层建筑、商务中心、公共交通、地下电站、实验室、组合变电站等，销售地遍布华东地区，辐射华北、东北、中西部地区，其质量和服务得到顾客的肯定和好评。



图 3-1 公司外景

## 1.2 产品介绍

表 1-1 产品信息表

产品名称	干式变压器
产品型号	10kV 干式变压器 SCB14-800/10
产品图片	

## 2.规范性引用文件

### 2.1 PCR 及其补充性要求

根据 ISO 14067:2018 的要求, 若存在相关的产品种类规则 (PCR), 则应当参照使用。在本报告编制前, 技术人员查找了与产品相关的 PCR 并参照适用, 并无适用的相关产品种类规则, 故根据 ISO 14067:2018 定义了产品的功能单位、边界、分配等计算原则。

### 2.2 参考标准

本报告参考的标准如下:

- (1) ISO 14067: 2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification
- (2) ISO 14040: 2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework



(3) ISO 14044: 2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines

(4) GB/T 24067-2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南

### 3.目的和范围

#### 3.1 报告书制作目的

本报告书的制作旨在从生命周期的角度出发，核算江苏源通电气有限公司

在 2024 年 1 月 1 日 - 2024 年 12 月 31 日期间生产的 1 台变压器的碳足迹，具体目的包括：

- (1) 量化产品在生命周期范围内温室气体的排放和清除情况，了解其对气候变化的影响；
- (2) 更好地了解产品碳足迹，以便于确定温室气体清除和减排的潜在环节；
- (3) 促进产品生命周期的温室气体管理策略和计划的制定和实施，帮助企业促进可持续的低碳经济；
- (4) 有效且真实地体现产品的碳足迹并披露给消费者，展示企业的社会责任，提升品牌形象；
- (5) 为后续产品的碳排放核算提供真实数据和依据，以期供应链中额外效益的发现。

#### 3.2 包含的温室气体

本产品碳足迹评价报告包括 IPCC 最新评估报告中所列举的温室气体，具体包括：二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）、三氟化氮（NF<sub>3</sub>）等。

#### 3.3 功能单位与基准流

本报告的功能单位为：1 台变压器。

本报告的基准流为：江苏源通电气有限公司

2024年1月1日 - 2024年12月31日期间生产的1台变压器。

### 3.4 系统边界

本报告的系统边界为摇篮到大门，碳足迹计算包括：具体包含的阶段（原辅料获取阶段、原辅料运输阶段、生产阶段）。系统边界图如图 3-1 所示。



图 3-1 产品碳足迹评价系统边界

### 3.5 取舍准则与舍弃项

在选定系统边界和环境影响指标的基础上，应规定一套数据取舍准则，舍弃对评价结果影响不大的因素，从而简化数据收集和评价过程。本报告的数据取舍准则如下：

- （1）当数据无法收集，且根据合理估计单个排放源的碳排放量 $<1\%$ 标的产品碳足迹时，可舍弃；
- （2）当数据无法收集，普通物料重量 $<1\%$ 产品重量时，以及含稀贵（如金、银、铂、钯等）或高纯成分（如纯度高于 $99.99\%$ ）的物料重量 $<0.1\%$ 产品重量时，可舍弃；
- （3）低价值废物作为原料，如粉煤灰、矿渣、秸秆、生活垃圾等，可舍弃其上游生产数据；
- （4）任何有毒有害的材料和物质均应包含于清单中，不可舍弃；
- （5）应包括与碳足迹影响相关的所有环境排放，在环境排放数据不可得或



缺失的情况下可舍弃, 但应在报告中解释说明;

(6) 所有舍弃项总的碳足迹影响不应超过产品碳足迹总量的 5%。

依据上述原则, 结合标的产品的实际情况, 本报告在数据收集时, 数据收集完整, 未有舍弃。

## 4. 生命周期清单分析

### 4.1 数据收集时间和地点

本报告用来计算产品碳足迹的数据收集期限为: 2024 年 1 月 1 日 - 2024 年 12 月 31 日。

根据报告产品的真实生产情况, 数据收集的地理边界为: 江苏源通电气有限公司: 江苏省南通市海安市西城街道桥港路 202 号。

### 4.2 数据质量评价与管理

#### 4.2.1 数据质量评价

本报告所收集的用来计算标的产品碳足迹的数据质量符合 ISO 14067:2018 规范第 6.3.5 章节的要求:

a) 时间范围: 应收集各个单元过程数据的时间覆盖范围, 碳足迹特征化因子优先选用最接近时间范围内的数据;

b) 地域范围: 应收集各个单元过程数据的地理区域, 碳足迹特征化因子优先选用物料的主要产地或过程发生地的数据, 由先到后依次考虑区域数据、国家数据、国际数据;

c) 技术范围: 优先选用与标的产品工艺、技术一致的数据;

d) 精度: 选择最准确的数据;

e) 完整性: 所有活动数据都被测量, 不存在数据缺失等问题;

f) 代表性: 所有收集的活动数据能代表标的产品的平均生产水平及相应排放;

g) 一致性: 各单元过程数据按照一致的质量要求和资料选取顺序进行搜集和统计;



h) 重现性：本模型的数据、方法及过程均可在 LCA 软件中再现，计算结果单独导出为 EXCEL 文件；

i) 数据来源：应优先收集现场特定数据；当收集现场特定数据不可行时，优先选用非现场特定数据且已接收第三方审查的一级数据；当收集一级数据不可行时，选用二级数据；

j) 不确定性：针对活动数据资料品质及计算结果的不确定分析可见本报告的第 6.5 章节。

本项目碳足迹评价的数据品质采用定性评价的方法，针对实景过程各项活动数据进行定性评价，具体情况如下：

一级数据：直接测量，或基于直接测量值计算得到的过程或活动的量化值；

二级数据：除一级数据之外的数据，例如来自数据库或文献的值，推估数据，主管当局认可的行业平均数据等。

#### 4.2.2 数据质量管理

对于企业已经收集到的一级数据，在后续工作中，加强精细化管理，定期整理复核，进一步提高数据的准确度和数据质量。对于目前使用的二级数据，在后续工作中，优先展开实地调研，统计真实数据；数据不可得时，尽量选用具有代表性的行业平均数据或文献数据。

### 4.3 分配原则

根据实际的生产情况，本项目在收集数据时，部分单元过程为报告产品与其他产品系统共享，且无法通过合理的方式避免这一问题。故对收集到的数据进行了适当的分配，具体的分配信息如表 4-2 所示。

**表 4-2 数据分配信息表**

分配项	分配比例	分配原则
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-硅钢片	0.2976190476%	经济分配
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-铜线（漆包线、膜包线）	0.2976190476%	
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-铜箔	0.2976190476%	
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-环氧树脂	0.2976190476%	



原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-绝缘材料(DMD)	0.2976190476%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-风机	0.2976190476%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-温控	0.2976190476%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-绝缘子	0.2976190476%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-外壳	0.2976190476%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-垫块	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-硅钢片	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-铜线(漆包线、膜包线)	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-铜箔	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-环氧树脂	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-绝缘材料(DMD)	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-风机	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-温控	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-绝缘子	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-外壳	0.2976190476%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-垫块	0.2976190476%
生产阶段-能源资源投入-电	0.2976190476%
生产阶段-能源资源投入-水	0.2976190476%
生产阶段-能源资源投入-柴油	0.2976190476%
生产阶段-废弃物处理-废活性炭	0.2976190476%
生产阶段-废弃物处理-废变压器油	0.2976190476%
生产阶段-废弃物处理-废树脂	0.2976190476%

## 4.4 生命周期数据清单

### 4.4.1 原辅料获取阶段

原辅料获取阶段分为原辅材料获取阶段。

#### 4.4.1.1 原辅材料获取阶段

原辅材料获取阶段的情况如表 4-3 所示。

**表 4-3 原辅材料获取阶段数据清单（分配至基准流）**



活动名称	功能单位活动水平数据	单位
硅钢片	1.29E+03	kg
铜线（漆包线、膜包线）	3.11E+02	kg
铜箔	2.15E+02	kg
环氧树脂	7.20E+02	kg
绝缘材料（DMD）	1.60E+01	kg
风机	1.00E+01	kg
温控	1.00E+00	kg CO <sub>2</sub> e
绝缘子	2.70E+00	kg
外壳	1.50E+02	pcs
垫块	7.20E+00	kg

#### 4.4.2 原辅料运输阶段

原辅料运输阶段分为原辅材料运输阶段。

##### 4.4.2.1 原辅材料运输阶段

原辅材料运输阶段的情况如表 4-4 所示。

**表 4-4 原辅材料运输阶段运输数据清单（分配至基准流）**

活动名称	功能单位活动水平数据	单位	运输方式
硅钢片	2.21E+05	kgkm	运输，货运，卡车 16-32 吨，欧 6
铜线（漆包线、膜包线）	6.47E+04	kgkm	运输，货运，卡车 16-32 吨，欧 6



铜箔	6.47E+04	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
环氧树脂	1.17E+06	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
绝缘材料 (DMD)	1.92E+02	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
风机	5.54E+03	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
温控	9.45E+02	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
绝缘子	4.62E+02	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
外壳	1.50E+03	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6
垫块	1.23E+03	kgkm	运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6

#### 4.4.3 生产阶段

生产阶段分为能源资源投入,废弃物处理。

##### 4.4.3.1 能源资源投入

能源资源投入的情况如表 4-5 所示。

**表 4-5 能源资源投入数据清单 (分配至基准流)**

活动名称	功能单位活动水平数据	单位
电	3.46E+03	kWh
水	1.00E+04	kg
柴油	4.80E+03	kg

##### 4.4.3.2 废弃物处理

废弃物处理的情况如表 4-6 所示。

**表 4-6 废弃物处理数据清单 (分配至基准流)**



活动名称	因子名称	功能单位活动水平数据	单位
废活性炭	废活性炭, 颗粒状	5.95E-02	kg
废变压器油	废机油	5.88E+00	kg
废树脂	环氧树脂	1.11E+01	kg

废弃物处理的情况如表 4-7 所示。

**表 4-7 废弃物处理运输数据清单 (分配至基准流)**

活动名称	功能单位活动水平数据	单位	运输方式
废活性炭	1.07E-01	kgkm	运输, 货运, 卡车 3.5-7.5 吨, 欧 6
废变压器油	1.06E+01	kgkm	运输, 货运, 卡车 3.5-7.5 吨, 欧 6
废树脂	2.00E+01	kgkm	运输, 货运, 卡车 3.5-7.5 吨, 欧 6



## 5.生命周期影响评价

### 5.1 评价方法和数据库

本报告采用 IPCC 2021 GWP 100 作为温室气体评估方法，基于 LCA-产品碳足迹 v1.0 完成计算。

本报告采用的背景数据主要来自 Ecoinvent 3.9.1 数据库。Ecoinvent 数据库是由瑞士 Ecoinvent 中心开发的数据库，其中涵盖了欧洲以及世界多国超过 20000 个活动的数据集，包含各种常见物质的 LCA 清单数据，是国际 LCA 领域使用最广泛的数据库之一。

具体的碳足迹特征化因子来源见附录一。

### 5.2 碳足迹总量

经计算，标的产品功能单位的碳足迹为  $3.41\text{E}+05\text{kg CO}_2\text{e}$ 。碳足迹的总体情况如表 5-1、图 5-1 所示。

表 5-1 标的产品碳足迹总体情况

项目	排放量 (kg CO <sub>2</sub> e)	占比
原辅料获取阶段	4.65E+04	13.63%
原辅料运输阶段	2.88E+05	84.44%
生产阶段	6.56E+03	1.92%
合计	3.41E+05	100.00%

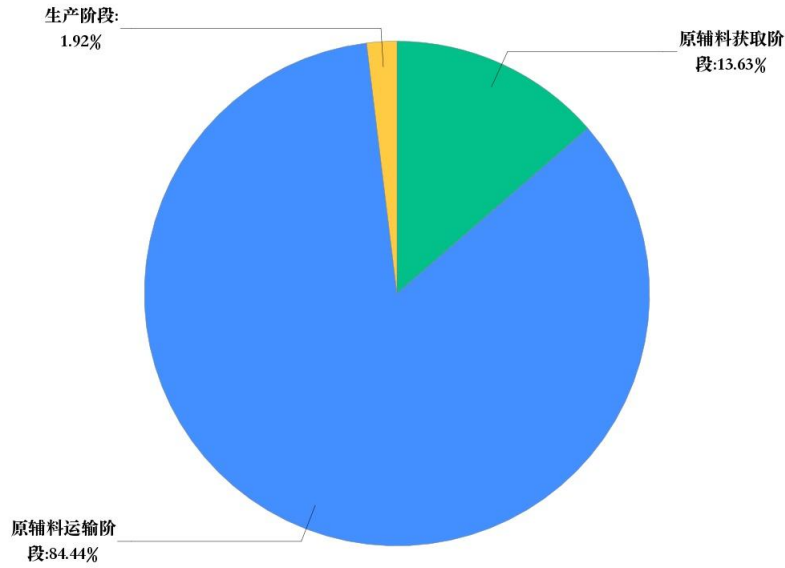


图 5-1 标的产品碳足迹总体情况

### 5.3 生命周期阶段碳足迹贡献

#### 5.3.1 原辅料获取阶段

原辅料获取阶段的碳足迹为  $4.65E+04\text{kg CO}_2\text{e}$ ，占总的产品碳足迹的 13.63%。

##### 5.3.1.1 原辅材料获取阶段

原辅材料获取阶段的碳足迹为  $4.65E+04\text{kg CO}_2\text{e}$ ，本阶段的碳排放量及碳足迹贡献占比如表 5-2、图 5-2 所示。

表 5-2 原辅材料获取阶段碳足迹贡献

活动名称	排放量 (kg CO <sub>2</sub> e)	占比
外壳	$3.29E+04$	70.76%
硅钢片	$4.92E+03$	10.58%
铜箔	$4.19E+03$	9.02%

环氧树脂	2.40E+03	5.16%
铜线（漆包线、膜包线）	1.73E+03	3.72%
风机	1.95E+02	0.42%
绝缘材料（DMD）	8.88E+01	0.19%
温控	4.22E+01	0.09%
垫块	2.15E+01	0.05%
绝缘子	8.05E+00	0.02%
合计	4.65E+04	100.00%

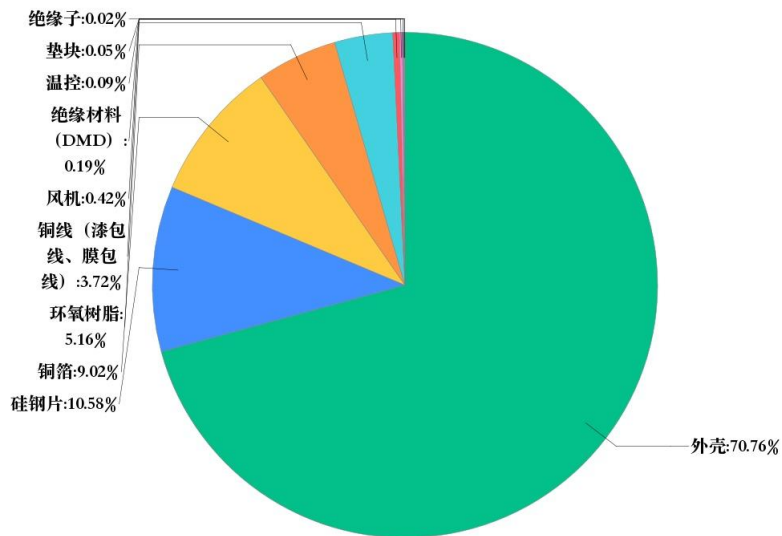


图 5-2 原辅材料获取阶段碳足迹贡献

### 5.3.2 原辅料运输阶段

原辅料运输阶段的碳足迹为  $2.88E+05\text{kg CO}_2\text{e}$ ，占总的产品碳足迹的 84.44%。

### 5.3.2.1 原辅材料运输阶段

原辅材料运输阶段的碳足迹为 2.88E+05kg CO<sub>2</sub>e, 本阶段的碳排放量及碳足迹贡献占比如表 5-3、图 5-3 所示。

表 5-3 原辅材料运输阶段碳足迹贡献

活动名称	排放量 (kg CO <sub>2</sub> e)	占比
环氧树脂	2.20E+05	76.39%
硅钢片	4.17E+04	14.49%
铜箔	1.22E+04	4.24%
铜线 (漆包线、膜包线)	1.22E+04	4.24%
风机	1.04E+03	0.36%
外壳	2.83E+02	0.10%
垫块	2.32E+02	0.08%
温控	1.78E+02	0.06%
绝缘子	8.71E+01	0.03%
绝缘材料 (DMD)	3.62E+01	0.01%
合计	2.88E+05	100.00%

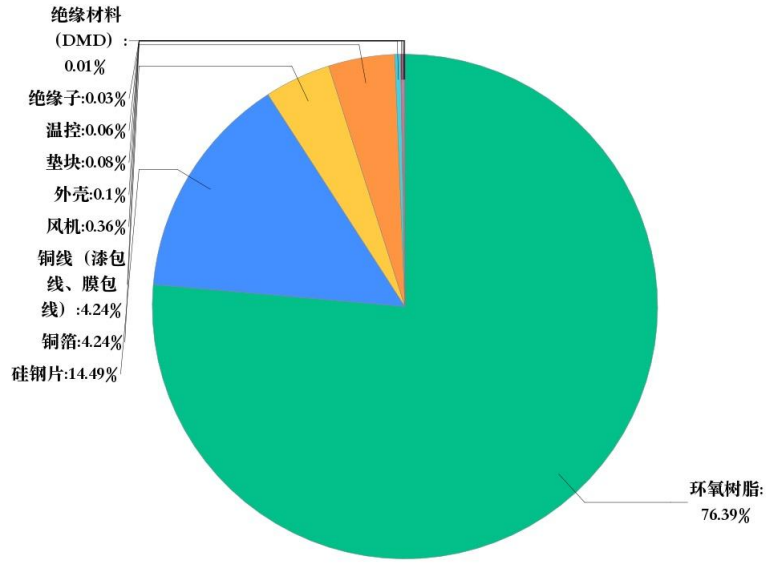


图 5-3 原辅材料运输阶段碳足迹贡献

### 5.3.3 生产阶段

生产阶段的碳足迹为  $6.56E+03\text{kg CO}_2\text{e}$ ，占总的产品碳足迹的 1.92%。

#### 5.3.3.1 能源资源投入

能源资源投入的碳足迹为  $6.50E+03\text{kg CO}_2\text{e}$ ，本阶段的碳排放量及碳足迹贡献占比如表 5-4、图 5-4 所示。

表 5-4 能源资源投入碳足迹贡献

活动名称	排放量 (kg CO <sub>2</sub> e)	占比
柴油	3.75E+03	57.76%
电	2.73E+03	42.05%
水	1.24E+01	0.19%
合计	6.50E+03	100.00%

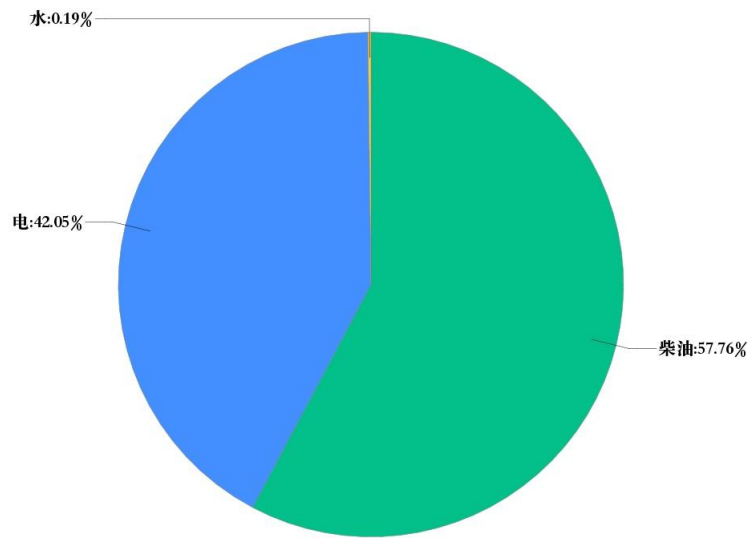


图 5-4 能源资源投入碳足迹贡献

### 5.3.3.2 废弃物处理

废弃物处理的碳足迹为  $5.89\text{E}+01\text{kg CO}_2\text{e}$ ，本阶段的碳排放量及碳足迹贡献占比如表 5-5、图 5-5 所示。

表 5-5 废弃物处理碳足迹贡献

活动名称	排放量 (kg CO <sub>2</sub> e)	占比
废树脂	3.70E+01	62.88%
废变压器油	2.18E+01	37.02%
废活性炭	6.25E-02	0.11%
合计	5.89E+01	100.00%

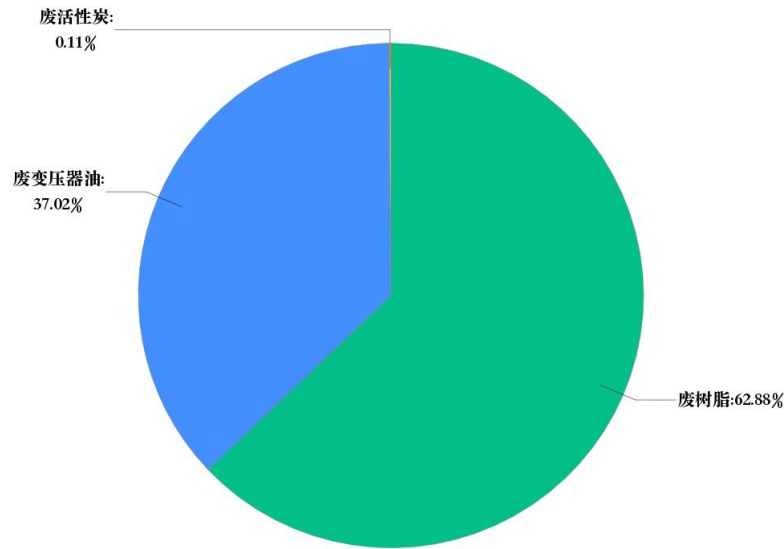


图 5-5 废弃物处理碳足迹贡献

## 6. 生命周期结果解释

### 6.1 碳足迹量化结果

通过数据收集和建模计算，江苏源通电气有限公司在 2024 年 1 月 1 日 - 2024 年 12 月 31 日期间生产的 1 台变压器的碳足迹为  $3.41E+05\text{kg CO}_2\text{e}$ 。原辅料运输阶段对碳足迹的贡献最大，占 84.44%，其中主要的贡献来源是原辅材料运输阶段-环氧树脂。

### 6.2 完整性与一致性检查

本报告依据 ISO 14044:2006 对标的产品的碳足迹评价过程进行了完整性检查和一致性检查。

标的产品碳足迹评价过程完全依据企业实际的生产情况开展，所填报的各个过程清单数据来自企业的生产报表、采购票据等凭证，并向主要供应商下发了调查问卷，所有数据收集没有遗漏，截断和分配均已做出说明，满足生命周期评价的完整性要求。



本报告一致性检查结果同样符合要求, 说明如下:

- a) 数据收集范围与系统边界一致;
- b) 背景过程对数据库参数的选取与供应商的能源、资源的生产工艺一致, 运输参数的选取与运输方式相一致;
- c) 背景过程能源数据精确到所在省, 其余参数也尽量接近所在地域, 时间上也统一选择最接近评价年度的数据;
- d) 使用了一致的分配原则: 按照物理关系进行分配。

### 6.3 敏感性分析

敏感性分析的数学定义是: 当函数的自变量变化单位百分比时, 函数值也会相应变化一个百分比, 两个百分比的比值就是函数值对此自变量的敏感性。

在碳足迹中, 各单元过程的清单数据及其原始数据是自变量, 碳足迹结果是函数值。本报告对各个过程的清单数据进行了分析计算, 列举了标的产品碳足迹敏感性贡献最重要的 20 项指标, 具体结果如表 6-1 所示。

**表 6-1 敏感性分析结果**

活动名称	敏感性
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-环氧树脂	64.50%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-硅钢片	12.24%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-外壳	9.65%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-铜箔	3.58%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-铜线(漆包线、膜包线)	3.58%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-硅钢片	1.44%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-铜箔	1.23%
生产阶段-能源资源投入-柴油	1.10%
生产阶段-能源资源投入-电	0.80%

原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-环氧树脂	0.70%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-铜线（漆包线、膜包线）	0.51%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-风机	0.31%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-外壳	0.08%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-垫块	0.07%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-风机	0.06%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-温控	0.05%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-绝缘材料（DMD）	0.03%
原辅料运输阶段-原辅材料运输阶段-绝缘子	0.03%
原辅料获取阶段-原辅材料获取阶段-温控	0.01%
生产阶段-废弃物处理-废树脂	0.01%

## 6.4 不确定性分析

### 一、不确定性来源与分类

#### 1. 数据不确定性（最主要贡献）

阶段	变量	数据特征	变动范围	对总碳足迹影响
原材料生产	PMDA/ODA 合成	排放因子	行业平均数据，不同厂商工艺差异大	
	溶剂 NMP 回收率		假设 90%，实际因回收技术不同波动	
生产阶段	亚胺化	能耗（电力/天然气）	依赖设备能效，公开数据离散度高	
使用阶段	能效提升率	（kWh/m <sup>2</sup> /年）	实测数据缺乏，依赖建模或行业平均值	
废弃处理	回收比例	（物理/化学/焚烧）	受地域政策影响（如中国回收 vs 欧盟焚烧）	

## 2.模型不确定性

### 系统边界模糊性:

是否包含原材料开采前的上游环节（如石油钻井的碳排放）？本模型仅从“中间体合成”开始，可能低估 5%-10%。

运输方式简化：假设全部公路运输，未考虑海运/铁路的低碳优势，可能高估运输排放 10%-30%。

分配方法争议：共聚型聚酰亚胺（如含氟聚酰亚胺）的多产品系统分配（如副产品处理），不同 LCA 标准（ISO vs. 行业指南）可能导致排放差异  $\pm 15\%$ 。

## 3.假设不确定性

使用阶段功能影响：假设“电子绝缘场景年节能 10kWh/m<sup>2</sup>”，但实际可能因电路设计不同变为耗能增加（如散热不良导致设备过热，增加冷却能耗），形成正负双向不确定性。

寿命周期假设：使用年限假设 5 年，实际在航空航天领域可达 10 年以上，导致使用阶段减排量翻倍。

## 二、不确定性的主要来源解析

### 1.使用阶段：能效影响的双向不确定性

正向（减排）：来自薄膜的绝缘/导热优化，数据依赖设备实测或复杂热模型，当前多采用保守假设（如仅计算可验证的基础节能）。

负向（增排）：若薄膜用于低能效设备或设计不当（如厚度过厚导致散热不足），可能间接增加能耗，但此类案例极少，当前模型普遍忽略负向影响。

### 2.原材料：合成路径的技术代差

传统化石路线（假设情景）：PMDA 通过萘氧化，碳排放因子 8kgCO<sub>2</sub>e/kg，而新兴电催化路线（如 MIT 技术）可降至 5kgCO<sub>2</sub>e/kg，差异达 37.5%。

区域差异：中国 PMDA 生产依赖煤电（排放因子高），美国/欧洲可能使用天然气或绿电，导致原料排放地域差异  $\pm 40\%$ 。

### 3.生产阶段：亚胺化工艺的能耗黑箱

公开数据显示亚胺化能耗在 1000-2000MJ/吨波动，差异主因：

加热方式（电加热 vs. 天然气 vs. 余热回收）；

设备效率（国产老旧线 vs. 进口高效线，能耗相差 50%）。

### 三、降低不确定性的技术路径

#### 1.数据层面

企业级调研: 向聚酰亚胺厂商(如中天电子、杜邦)获取实测能耗数据(如聚合反应电耗、溶剂回收率),可降低生产阶段不确定性 $\pm 15\%$ 。建立原材料数据库: 区分不同供应商 PMDA/ODA 生产路线(化石基/生物基),细化排放因子。区域化能源因子: 使用省级电网排放因子(如江苏 0.55vs.内蒙古 0.32kgCO<sub>2</sub>e/kWh),降低能源相关不确定性 $\pm 20\%$ 。

#### 2.模型层面

动态边界扩展: 纳入微塑料泄漏(废弃处理阶段的超细颗粒排放,当前模型未量化);

采用随机模型(蒙特卡洛模拟),通过 10,000 次迭代计算碳足迹置信区间(如 95%CI: -35,000 至-29,000kgCO<sub>2</sub>e/吨)。

国际标准对齐: 遵循《产品碳足迹核算指南》(GB/T32150)的不确定性处理条款,明确数据质量等级(如 A 级: 实测数据; C 级: 行业平均)。

#### 3.假设层面

透明化披露: 在碳足迹报告中逐项列出假设(如“使用阶段节能基于 FPC 行业白皮书第 15 页数据”),便于读者评估可信度。

情景分析标配: 强制提供基准情景、乐观情景、悲观情景三算例,如欧盟《产品环境足迹(PEF)方法学》要求。

### 四、结论: 不确定性对决策的影响

战略层面: 尽管存在不确定性,聚酰亚胺薄膜在电子/新能源场景的净减排特性已足够显著,企业可优先投资使用阶段能效提升(如开发更薄高绝缘薄膜),其对碳足迹的影响远超过生产端改进。

合规层面: 出口导向型企业(如应对欧盟 CBAM)需重点降低原材料与生产阶段的不确定性,通过 SBTi(科学碳目标倡议)设定减排路径,确保数据通过第三方核查。

技术研发: 针对最大不确定性来源(使用阶段能效),建议开展跨行业联合实测(如与苹果/华为合作测算 FPC 能耗),积累实证数据以支撑精准建模。通过系统性的不确定性分析,可明确聚酰亚胺薄膜碳足迹的可信区间与改进



优先级，避免因数据模糊导致的决策偏差，同时为建立行业统一核算标准奠定基础。

## 6.5 碳足迹评价结果的局限性

产品碳足迹反映了在一段时间内产品系统生命周期内对全球辐射能量平衡的潜在影响，是气候变化这一影响类型的重要指标。然而，气候变化只是产品生命周期中可能产生的各种环境影响之一，在某些情况下，降低产品碳足迹可能导致再其他环境方面产生更大影响（例如使用生物质减少温室气体排放可能对生物多样性产生负面影响）。关注单一环境问题使得产品碳足迹结果存在一定局限性，不宜作为结果决策过程的唯一考量因素。

建立生命周期评价模型的过程中，需要确立功能单位或声明单元、确定系统边界、选择适当的数据来源、选择合理的分配程序、做出合理的假设等。某些数据可能仅限于特定的地理区域（例如国家电网），也可能随时间发生变化（例如季节性变化）。以上方法的局限性可能对产品碳足迹结果造成影响，导致其准确性有限且难以评价。

## 6.6 减排建议

低碳是企业未来生存和发展的必然选择，核算产品碳足迹的是帮助企业实现温室气体管理、制定低碳发展战略的第一步。通过核算产品生命周期的碳足迹，可以识别重要的生产环节、排放源，为后续制定合理的减排目标和减排计划打下基础。

## 7.其他希望说明的情况

无



## 附录一 碳足迹特征化因子表

表 1 碳足迹特征化因子表

因子名称	Reference Product Name	Activity Name	区域代表性	数据库来源与版本
硅钢片	silicon steel sheet		CN	CPCD 1.0
铜（阴极）	copper, cathode	cobalt production	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
铝（用于铸造合金）	aluminium, cast alloy	aluminium ingot, primary, to aluminium, cast alloy market	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
环氧树脂	epichlorohydrin	market for epichlorohydrin	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
纺织，无纺布聚酯	textile, nonwoven polyester	textile production, nonwoven polyester, needle-punched	RoW	ecoinvent3.9.1 APOS
环氧树脂绝缘子，Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	epoxy resin insulator, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	epoxy resin insulator, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> production	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
自来水	tap water	market for tap water	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
柴油	diesel	diesel production, petroleum refinery operation	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
变压器温度控制器			AD	ecoinvent3.9.1 cut-off



不锈钢 (DN370)	outside air intake, stainless steel, DN 370	outside air intake production, stainless steel, DN 370	RoW	ecoinvent3.9.1 APOS
电力, 高压	electricity, high voltage	electricity production, compressed air energy storage	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输, 货运, 卡车 16-32 吨, 欧 6	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输, 货运, 卡车 3.5-7.5 吨, 欧 6	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO6	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输, 货运, 卡车 7.5-16 吨, 欧 6	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输, 货运, 卡车 >32 吨, 欧 6	transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6	transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输、货运、卡车, 未指明	transport, freight, lorry, unspecified	transport, freight, lorry, all sizes, EURO6 to generic market for transport, freight, lorry, unspecified	RoW	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输、货运、飞机 (>4000 km)	transport, freight, aircraft, long haul	market for transport, freight, aircraft, long haul	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输、货运、飞机 (1500 km~4000 km)	transport, freight, aircraft, medium haul	market for transport, freight, aircraft, medium haul	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输、货运、飞机 (800 km~1500 km)	transport, freight, aircraft, short haul	market for transport, freight, aircraft, short haul	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输、货运、飞机、未指定	transport, freight, aircraft, unspecified	market for transport, freight, aircraft, unspecified	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off
运输、货运、飞机 (<800 km)	transport, freight, aircraft, very short haul	market for transport, freight, aircraft, very short haul	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off



---

废机油			CN-AH	VeCarbon 数据库 1.0
废活性炭，颗粒状	spent activated carbon, granular	spent activated carbon, granular, Recycled Content cut-off	GLO	ecoinvent3.9.1 cut-off