

产品碳足迹评价报告

产品名称： 薄膜电容器

申请企业： 宁国市裕华电器有限公司

报告出具机构： 天津允公绿色低碳技术咨询有限公司

2024 年 7 月

执行摘要

降低温室气体排放，实现碳达峰、碳中和是一场深远的工业变革。在全生命周期视角下，符合我国双碳战略目标的低碳产品制造需要整个产业链企业共同参与完成，宁国市裕华电器有限公司不断深挖价值链碳减排潜力，开展碳足迹评价是企业迈向碳中和的重要举措，有效支持企业碳信息披露、碳达峰碳减排目标的制定。

本研究基于企业现场实景数据收集及 Ecoinvent 数据库支持，参考《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》（ISO 14067）要求，采用生命周期评价方法，核算薄膜电容器全生命周期碳排放。本次研究的全生命周期包括原材料获取阶段和生产阶段。

主要发现如下：

（1）生产 1 个型号为 CBB65 薄膜电容器碳足迹为 281.37 gCO₂e。

（2）薄膜电容器碳足迹贡献最大的是原材料获取阶段，占比为 66.83%；产品生产阶段碳排放贡献度次之，占比为 31.97%；运输过程碳排放相对较小。

（3）在原材料获取阶段，环氧料生产碳排放量最大，贡献度为 52.08%，其次是外壳生产。

精准核算量化产品碳足迹是产业链各环节单位进行企业双碳战略规划，应对政策法规，参与国际贸易的前提条件，是企业必须建立的核心竞争力。

本研究材料生产加工部分的碳排放核算结果是建立在各材料平均碳排放因子的基础上的，企业应规范供应商的碳排放数据管理机制，基于供应商提供的具体场地数据，核算薄膜电容器碳足迹，这不仅可以降低核算结果的不确定性，同时也是识别低碳材料、发掘减排热点、实现价值链减排的基础工作。

在原材料采购中，工厂应对原材料采购商提出低碳要求，如要求提供产品碳

足迹核算结果或核算报告，进行低碳产品认证，优先采购低碳原材料，以便降低薄膜电容器原材料获取阶段碳排放水平。

在能源使用方面，建议企业使用可再生能源发电、或采购绿电进一步降低生产环节的碳排放。在生产工艺允许情况下，进行余热回收利用。

在管理层面，建议企业制定绿色低碳管理体系：制定辅料、原材料、包装等物料的低碳标准，控制源头；从产品供应、环保安全、生产能力、质保体系、物流配送、应急能力等多维度建立绿色供应商准入标准；对供应商进行绩效评价，不断提升低风险供应商占比，督促供应商能力水平不断提升；搭建绿色供应链信息披露平台，实现研发、制造一体化，产、供、销一体化，研发、运营可视化。

目 录

执行摘要	1
1. 中国积极应对气候变化，提出 2030 年前碳达峰 2060 年碳中和的目标	2
1.1. 中国 30-60 双碳目标的提出	2
1.2. 中国践行双碳目标的顶层政策设计	3
2. 方法介绍	5
2.1. 生命周期评价概述	5
2.2. 参考标准	6
2.3. 术语和定义	6
3. 企业基础情况	8
4. 碳足迹核算方法	10
4.1. 目的和范围的确定	10
4.2. 生命周期清单数据	12
4.3. 影响评价	16
5. 核算结果	16
5.1. 原材料获取阶段	17
5.2. 生产阶段	18
5.3. 运输过程	19
5.4. 不确定性分析	19
6. 研究结论	19
7. 减碳建议	20
8. 参考文献	21

1. 中国积极应对气候变化，提出 2030 年前碳达峰 2060 年碳中和的目标

1.1. 中国 30-60 双碳目标的提出

2020 年 9 月 22 日，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。这是中国对“30·60”目标的首次提出和宣示。中国提出“30·60”目标是直面全球共同挑战的选择，实现的难度和挑战较大，是在践行担当与责任；实现经济增长与碳排放的脱钩是未来一段时间的重要任务，也是时间经济转型的重要机遇。

中国 2060 年碳中和目标的提出是基于全球温控 1.5℃ 目标要求而制定。相比碳达峰而言，碳中和是对碳排放绝对量的压控，难度和挑战都较大，在碳中和节点确定的前提下，尽早实现碳达峰对于碳中和目标的实现压力会相对有所缓解；在全球温控 1.5℃ 情境下，中国需再大约在 2050-2080 年间实现净零排放，2060 年是在这个区间内偏早的时间点。

此外，碳中和也是我国能源安全和经济转型的内在需求，且符合全球共同利益。“碳中和”是中国经济的内在需求，在能源保障方面，2020 年底，我国原油进口依赖度达 73%，天然气进口依赖度也在 40% 以上；基于能源保障考虑，发展新能源具有必要性。与此同时，我国已在新能源领域建立起全球优势；在产业转型方面，科技创新和产业升级将是未来重要的发展方向。“碳减排”作为重要的抓手，通过“碳成本”这一要素的流动，推动我国产业结构性改革。“排碳限制”的本质，是一种发展权的限制。加速推动“碳中和”将助力我国树立负责

任的大国形象，在国际气候法律秩序构建中争取获得“话语权”，并掌握未来全球“游戏规则”的主动权和制定权。从全球来看，多数国家已更新国家自主贡献目标，“碳中和”已成为全球大趋势。虽然前期中美在贸易和技术层面有着种种的不愉快，但是在应对全球气候变化方面，无论是中美还是全球，在碳中和方面，具有相同的利益和方向。

1.2. 中国践行双碳目标的顶层政策设计

2021 年 10 月 24 日、26 日，《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（以下简称《意见》）和《2030 年前碳达峰行动方案》（以下简称《方案》）先后印发，作为碳达峰碳中和“1+N”政策体系中最为核心的内容（图 1），《意见》和《方案》进一步明确我国实现达峰总体目标，部署重大举措，明确实施路径，对于统一全党认识和意志，汇聚全党全国力量来完成碳达峰碳中和这一艰巨任务具有重大意义。

《意见》和《方案》进一步明确我国实现达峰总体目标，部署重大举措，明确实施路径，提出重点实施“碳达峰十大行动”，其中交通运输绿色低碳行动是重要的一部分。

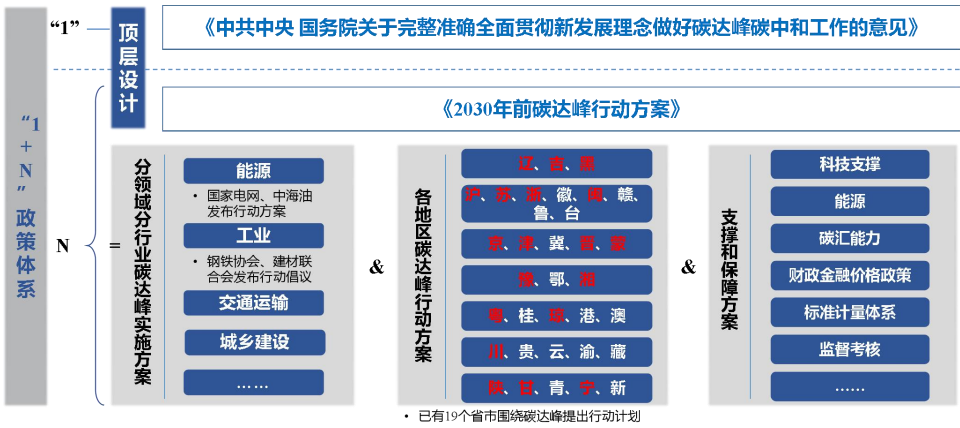


图 1 “1+N” 政策体系

2023 年 11 月 23 日，国家发展改革委 工业和信息化部 市场监管总局 住房城乡建设部 交通运输部五部门联合发布了《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》，《意见》明确指出：到 2025 年，我国将出台 50 个左右重点产品碳足迹核算规则 and 标准；到 2030 年，预计将出台湾 200 个重点产品碳足迹核算规则 and 标准。此外，《意见》还指出，到 2025 年，将基本建立国家产品碳标识认证制度，一些重点产品的碳足迹核算规则、标准和碳标识也将实现国际互认。到 2030 年，将全面建立国家产品碳标识认证制度，以产品碳足迹管理体系为支撑，促进经济社会全面绿色转型。《意见》发布：将有利于企业更好地量化和管理产品的碳排放，提高产品的合规性；将有利于应对国际贸易壁垒，保持产品的竞争力。

近日，生态环境部等十五部门联合印发《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》（以下简称《实施方案》）。《实施方案》明确了我国产品碳足迹管理工作目标和实现路径，强化任务分工和政策协同，提出建立碳足迹管理体系的总体要求、主要目标、主要任务和保障措施，旨在加快建立我国碳足迹管理体系，促进生产生活方式绿色低碳转型，增进碳足迹工作国际交流互信，助力新质生产力发展和双碳目标实现。由此可见《实施方案》是今后一个时期我国产品碳足迹管理体系建设的“任务书”和“施工图”。

在双碳政策背景下，着眼系统性、全局性、全过程性的生命周期理念日益成为国际上制定各项绿色环保政策的基本依据。进入十三五以后，全生命周期思想频繁出现在我国政府的政策文件中，包括《十三五生态环境保护规划》、《中国制造 2025》等均明确提出要强化产品全生命周期绿色管理。由此，生命周期评

价(Life cycle assessment, 简称 LCA), 以及基于 LCA 的碳足迹(Carbon foot print) 迅速发展为当前国家绿色制造体系建设、绿色建材评价认证, 及绿色建筑评价的技术支撑。

开展产品碳足迹核算迹是产业链各环节企业进行双碳战略规划、积极应对国内政策法规、国际绿色贸易壁垒的重要举措, 有效支持企业碳信息披露、碳达峰碳减排目标的制定。在节能降本层面, 通过开展产品碳足迹核算, 企业将全面掌握产品全生命周期碳排放水平, 识别产品节能减排潜力及价值链碳排放热点环节; 在绿色营销及社会责任层面, 开展碳足迹核算满足了客户对产品低碳信息的需求, 可作为产品低碳宣传的重要依据, 有效提升产品环保附加值, 助推企业实现可持续发展、大力提升企业 ESG 表现。

2. 方法介绍

2.1. 生命周期评价概述

生命周期评价 (LCA) 是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价 (GB/T 24040:2008) 。

国际标准化组织将生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 定义为对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价 (ISO 14040:2006) , 如图 2 所示 ISO 14040 规定 LCA 的技术框架为 4 个阶段: 目的和范围的确定、清单分析、影响评价, 以及每个阶段都要开展的结果解释。

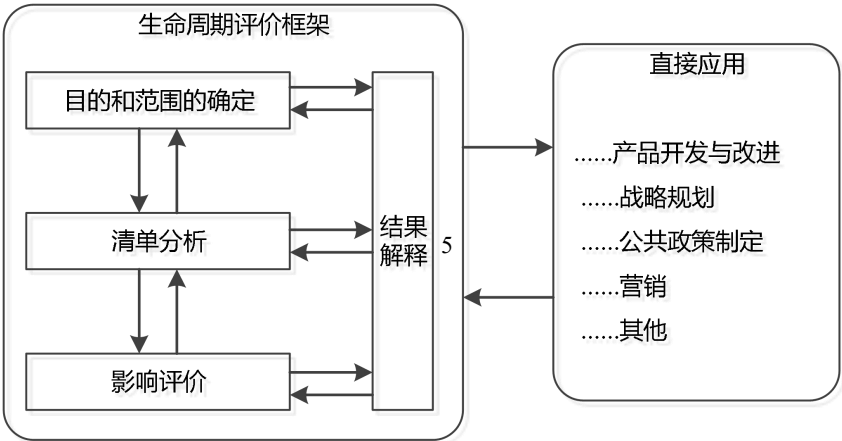


图 2 ISO 14040 标准 LCA 的技术框架

国际化标准组织（ISO）将产品碳足迹定义为基于使用气候变化单一影响类别的生命周期评价的产品系统中温室气体排放量和温室气体清除量之和，单位以二氧化碳当量表示。

2.2. 参考标准

国际标准化组织颁布生命周期评价方法的标准体系，并对生命周期评价的概念、技术框架及实施步骤进行了标准化。我国国家标准化管理委员会也依据国际标准制订和颁布了生命周期评价的国家标准。本报告参考的国际标准主要包括：

- ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework

- ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines

- ISO 14067:2013 Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication

上述国际标准相关对应的国家标准如下：

- GB/T 24040-2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架

- GB/T 24044-2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南

2.3. 术语和定义

1) 生命周期 life cycle

产品系统中前后衔接的一系列阶段，从自然界或从自然资源中获取原材料，直至最终处置。

[来源：GB/T 24044-2008, 定义 3.1]

2) 生命周期评价 **life cycle assessment, LCA**

对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价。

[来源：GB/T 24044-2008, 定义 3.2]

3) 碳（温室气体） **carbon (greenhouse gas, GHG)**

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射的气态成分。

[来源：GB/T 32150-2015, 定义 3.1]

注：如无特别说明，本文件中的温室气体包括二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟碳化物、六氟化硫。

4) 碳排放 **carbon emission**

在特定时段内释放到大气中的温室气体总量（以质量单位计算）。

5) 功能单位 **functional unit**

用来作为基准单位的量化的产品系统性能。

[来源：GB/T 24044-2008, 定义 3.20]

6) 系统边界 **system boundary**

通过一组准则确定哪些单元过程属于产品系统的一部分。

[来源：GB/T 24044-2008, 定义 3.32]

7) 碳(温室气体)排放因子 carbon(GHG) emission factor

表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。

注：例如生产/供应每千瓦时电量所对应的碳排放等。

[来源：GB/T 32150-2015, 定义 3.13]

8) 全球增温潜势 global warming potential, GWP

将单位质量的某种温室气体在给定时间段内辐射强迫的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数。

9) 二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent, CO₂e

在辐射强度上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

注：二氧化碳当量等于给定温室气体的质量乘以它的全球变暖潜势值。

10) 不确定性分析 uncertainty analysis

用来量化由于模型的不准确性、输入的不确定性和数据变动的累积而给生命周期清单分析结果带来的不确定性的系统化程序。

注：区间或概率分布被用来确定结果中的不确定性。

3. 企业基础情况

宁国市裕华电器有限公司（以下简称“裕华电器”）成立于 1997 年，前身为宁国市裕华电器厂，2005 年改制为宁国市裕华电器有限公司，是一家集研发、设计、生产、销售及售后服务于一体的专业薄膜电容器制造企业。公司产品广泛应用于家用电器、电源、工业控制、汽车电子、绿色能源、轨道交通及电力系统

等。

公司技术力量雄厚，装备水平先进，拥有国际先进水平的成套薄膜电容器关键生产及检测设备，先后通过 ISO9001、ISO14001、IATF16949、武器装备质量管理体系认证、职业健康安全管理体系认证、能源管理体系认证、两化融合管理体系贯标评定。裕华电器是全国电力电子电容器标准化技术委员会委员单位、全国新能源行业无功补偿和谐波治理装置标准化技术委员会委员单位，也是上述两项标准起草单位。公司产品被认定为安徽省名牌产品，“RUVA”裕华商标被认定为安徽省著名商标。公司参与修订的国家标准 GB/T3667.1-2016《交流电动机电容器第1部分：总则性能、试验和额定值安全要求安装和运行导则》、GB/T3667.2-2016《交流电动机电容器第2部分：电动机起动电容器》已于2016年9月1日实施。

裕华电器先后获得“高新技术企业”、“安徽省企业技术中心”、“安徽省两化融合示范企业”、“专精特新‘小巨人’企业”、“安徽省守合同重信用企业”、“安徽省拥军优属模范单位”等荣誉称号。公司产品先后通过 CQC、VDE/TUV、UL、ENEC、AEC-Q200 等国际权威认证。有害物质的限用达到 RoHS、REACH、PFOS、PAHS 等欧盟环保技术要求，公司实验中心已取得 CNAS 实验室认可。公司以贴近市场的技术研发，优异的品质和服务，快速灵活的反应速度等竞争优势获得了众多客户的认同，为各整机客户如家用电器、电源、工业控制、汽车电子、绿色能源、轨道交通及电力系统等提供薄膜电容器“一站式”解决方案，其中冰箱用电容器的产销量连续多年在业界名列前茅，今后在技术上将进一步创新提升，牢牢把握产品占据市场前沿技术制高点，不断加大智能制造设备的投入。



图 3 企业厂貌图

4. 碳足迹核算方法

4.1. 目的和范围的确定

4.1.1 研究目的

本研究参考《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》（ISO 14067）的要求，应用生命周期评价方法核算薄膜电容器产品碳足迹，并分析生命周期各阶段的贡献。通过开展生命周期评价，寻找降低碳足迹的途径，挖掘薄膜电容器产品生产价值链碳减排潜力。

4.1.2 功能单位

宁国市裕华电器有限公司是一家集研发、设计、生产、销售及售后服务于一体的专业薄膜电容器制造企业。主要产品目录包括家用电器系列与电力电子系列两种，其中家用电器系列分为 CBB65 交流电动机电容器（塑壳系列）、CBB65-A 交流电动机电容器（铝壳系列）、CBB65-A 交流电动机电容器（铝壳插片式）、CBB65-B 交流电动机电容器、CBB60 交流电动机电容器、CBB61 S0 级交流电

动机电容器、CBB61-A S3 级交流电动机电容器、MKP-X2 抑制电源电磁干扰用固定电容器、MKPH 电磁炉电容器高压谐振系列以及 YHDQ-GT-XX 家电通用型电源滤波器十种产品；电力电子系列分为 YHB 新能源汽车用薄膜电容器、YHF 新能源汽车用薄膜电容器、YHK PCB 用 DC-Link 电容器、YHA/YHB 干式直流滤波电容器以及 YHC 干式交流滤波电容器五种产品。

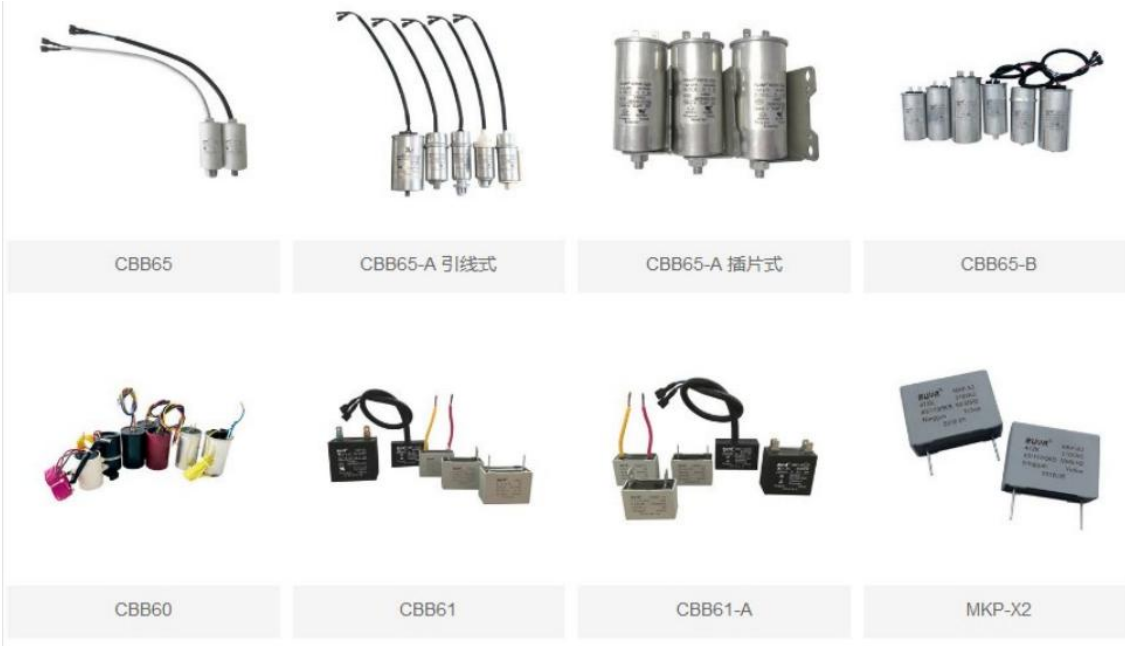


图 4 薄膜电容器

功能单位精确地定义了正在研究的内容。它定义和量化了所研究产品的主要功能，提供了输入和输出相关的参考，是分析产品或服务的基础。

本报告中核算的功能单位为生产 1 个型号为 CBB65 的薄膜电容器。

4.1.3 系统边界

如图 5 所示，薄膜电容器产品生命周期系统边界包括原材料的获取阶段和产品生产等生命周期阶段。

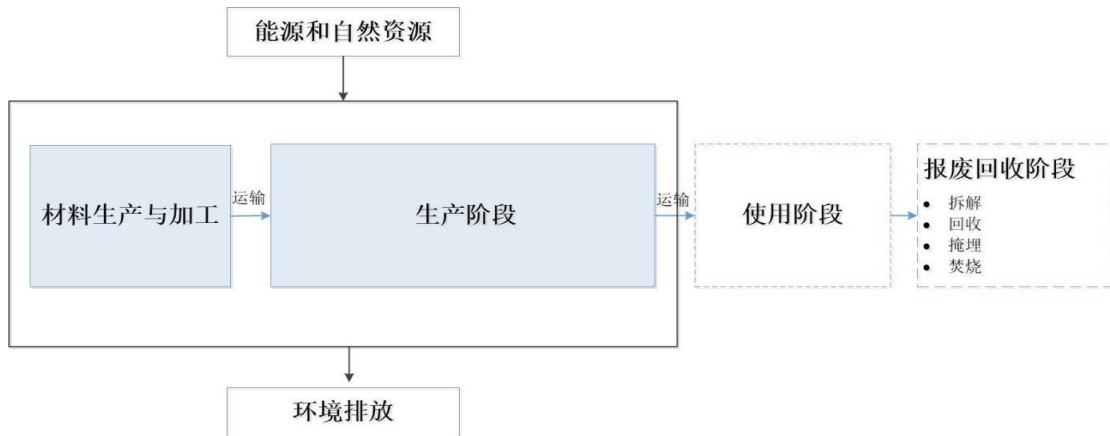


图 5 薄膜电容器产品生命周期系统边界

在原材料获取阶段,本研究考虑了薄膜电容器生产所需的原材料获取过程的碳排放量。

在生产阶段,本研究考虑了薄膜电容器各生产工艺,包括卷绕、喷金、干燥、刷芯、焊接、灌注、剥线等过程的能耗。

依据生命周期评价标准 GB/T 24040/44 中的数据取舍准则,即:

——能源的所有输入均列出;

——原料的所有输入均列出;

——辅助材料质量小于总消耗 0.3% 的项目输入可忽略;

——道路与厂房的基础设施、各工序的设备、厂区内人员及生活设施的消耗和排放,均忽略。

4.2. 生命周期清单数据

4.2.1 数据来源

(1) 企业活动水平数据收集

企业活动水平数据包括薄膜电容器原材料消耗、能源消耗、污染物排放等。

活动水平数据采集基于对宁国市裕华电器有限公司的现场调研,本次数据统计时间周期为 2023 年 1 月至 2023 年 12 月,数据真实有效。

(2) 背景数据收集

背景数据指企业运营边界外与产品生产相关的原材料获取、运输、能源生产等过程的资源、能源消耗与污染物排放数据。在本报告中,原材料生产、能源生产的生命周期背景数据主要来源于 Ecoinvent 数据库,Ecoinvent 数据库包含欧洲及世界多国的 7000 多个单元过程数据集以及相应产品的汇总过程数据集。

表 1 背景数据说明

单元过程分类	单元过程名称	数据来源	时间代表性	地域代表性	技术代表性
主材生产	成品膜	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
	锌丝/焊锡丝	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
	外壳	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
	环氧料	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
	热缩管	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
	螺母/垫片	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
辅材生产	纸箱	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均
能源生产	电力生产	Ecoinvent 3.8	2021	中国	平均
运输	柴油车辆运输	Ecoinvent 3.8	2021	全球	平均

4.2.2 原材料获取阶段

该阶段始于从大自然提取资源,结束于原材料进入产品生产设施。薄膜电容器原材料获取阶段数据如表 2 所示:

表 2 薄膜电容器主辅原材料输入清单

编号	材料名称		材料重量	单位
1	主材	成品膜	0.013384	kg
2		锌丝/焊锡丝	0.007011	kg
3		外壳	0.011960	kg
4		环氧料	0.019433	kg
5		热缩管	0.000286	kg
6		螺母/垫片	0.002223	kg
7	辅材	纸箱	0.011919	kg

4.2.3 生产阶段

根据现场调研，生产 1 个 CBB65 薄膜电容器生产消耗电力为 0.08714 kWh。

4.2.4 数据质量评价

数据质量评估的目的是判断 LCA 结果和结论的可信度，并指出提高数据质量的关键因素。本研究数据质量可从四个方面进行管控和评估，即代表性、完整性、可靠性、一致性。

- 1) 数据代表性：包括地理代表性、时间代表性、技术代表性三个方面。
 - 地理代表性：说明数据代表的国家或特定区域，这与研究结论的适用性密切相关。
 - 时间代表性：应优先选取与研究基准年接近的企业、文献和背景数据库数据。
 - 技术代表性：应描述生产技术的实际代表性。

2) 数据完整性:包括产品模型完整性和数据库完整性两个方面。

模型完整性:依据系统边界的定义和数据取舍准则,产品生命周期模型需包含所有主要过程。产品生命周期模型尽量反映产品生产的实际情况,对于重要的原辅料(对某一环境影响指标超过 5%的物料)应尽量调查其生产过程;在无法获得实际生产过程数据的情况下,可采用背景数据,但需对背景数据来源及采用依据进行详细说明。未能调查的重要原辅料需在报告中解释和说明。

背景数据库完整性:背景数据库一般至少包含一个国家或地区的主要能源、基础原材料、化学品的开采、制造和运输过程,以保证背景数据库自身的完整性。

3) 可靠性:包括实景数据可靠性、背景数据可靠性、数据库可靠性。

实景数据可靠性:对于主要的原辅料消耗、能源消耗和运输数据应尽量采用企业实际生产记录数据,环境排放数据应优先选用环境监测报告数据。所有数据将被详细记录相关的数据源和数据处理算法。采用经验估算或文献调研所获取的数据应在报告中解释和说明。

背景数据可靠性:重要物料和能耗的上游生产过程数据优先选择代表原产地国家、相同生产技术的公开基础数据库,数据的年限优先选择近年数据。在没有符合要求的背景数据的情况下,可以选择代表其他国家、代表其他技术的数据作为替代,并应在报告中解释和说明。

数据库可靠性:背景数据库需采用来自本国或本地区的统计数据、调查数据和文献资料,以反映该国家或地区的能源结构、生产系统特点和平均的生产技术水平。

4) 一致性

所有实景数据（包括每个过程消耗与排放数据）应采用一致的统计标准，即基于相同产品产出、相同过程边界、相同数据统计期。若存在不一致的情况，应在报告中解释和说明。

4.2.5 分配方法

企业薄膜电容器生产过程不涉及共生产品，故本报告不涉及分配方法的选取。

4.3. 影响评价

全球变暖属于全球性环境问题。由于人们焚烧化石燃料产生大量的二氧化碳等温室气体，这些温室气体对来自太阳辐射的可见光具有高度透过性，而对地球发射出来的长波辐射具有高度吸收性，导致地球温度上升，即温室效应。而当温室效应不断积累，导致地气系统吸收与发射的能量不平衡，能量不断在地气系统累积，造成全球气候变暖这一现象。对全球变暖有贡献的温室气体大约有 60 余种，采用 CO₂ 当量衡量各种温室气体的贡献大小。

本研究基于 IPCC 2021 GWP 100 环境影响评价方法，开展薄膜电容器产品生命周期碳排放核算。

表 3 环境影响类型指标和单位

环境影响类型	环境影响指标	环境影响指标英文名称	单位
全球变暖	全球增温潜势	碳排放值， Global warming potential	gCO ₂ e

5. 核算结果

应用第 3 章所述的核算方法，确定了本次核算的目的和范围，并在清单分析

和影响评价的基础上，得到了 1 个薄膜电容器的碳足迹，如表 4 和图 6 所示。

表 4 1 个薄膜电容器生命周期碳排放值汇总表

碳排放量 (gCO ₂ e/p)			
原材料获取阶段	生产阶段	运输过程	合计
1.88E+02	9.00E+01	3.68E+00	281.37

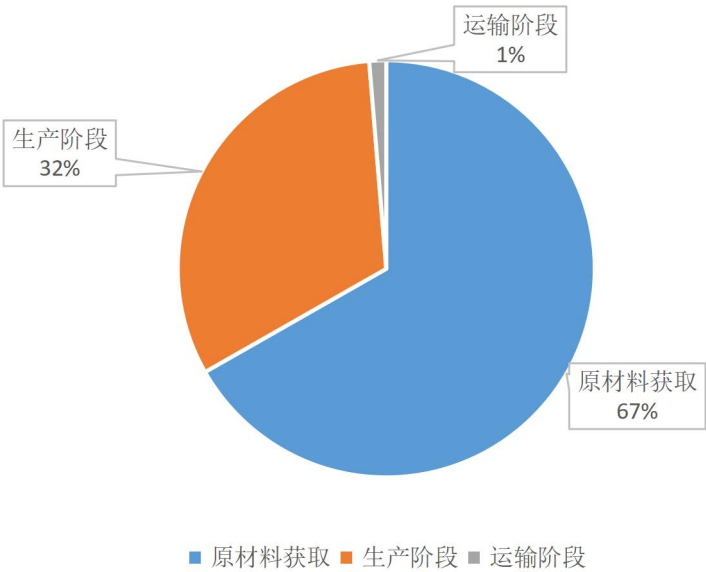


图 6 薄膜电容器生命周期碳排放

1 个薄膜电容器的碳足迹为 281.37 gCO₂e，从图 6 可以看出，原材料获取阶段碳排放贡献最大，占比为 66.83%；生产阶段的碳排放贡献次之，贡献比为 31.97%；运输过程碳排放最小，贡献比为 1.31%。

5.1. 原材料获取阶段

原材料获取过程的碳排放量为 1.88E+02 gCO₂e，占薄膜电容器全生命周期温室气体排放总量的 66.83%。各材料碳排放值及贡献占比如图 7 和图 8 所示。可

以看出，环氧料生产碳排放量最大，贡献度为 52.08%；外壳生产碳排放量次之，贡献度占比为 19.82%，其余材料生产碳排放占比较小。

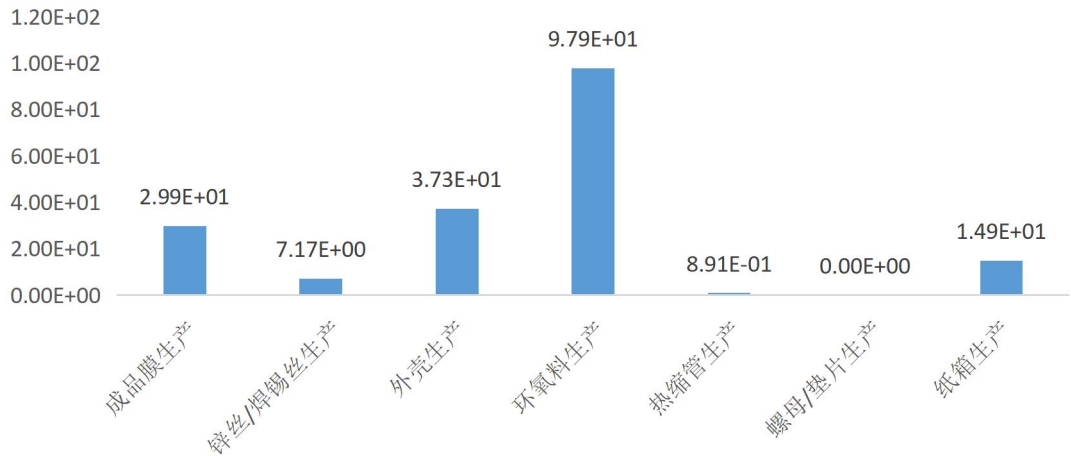


图 7 薄膜电容器原材料生产阶段各材料碳排放值

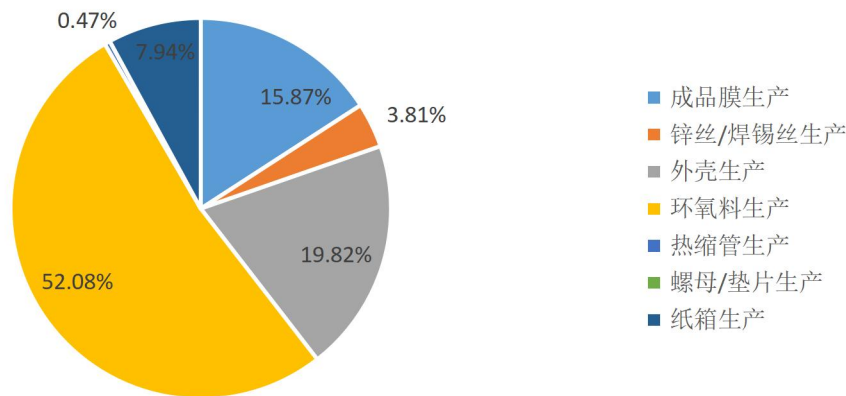


图 8 薄膜电容器原材料生产阶段各材料碳排放占比

5.2. 生产阶段

薄膜电容器生产阶段的碳排放值为 9.00E+01 gCO₂e, 占全生命周期碳排放的比重为 31.97%。生产阶段主要是由于使用电能产生碳排放，其中电能生产贡献了 100%的碳排放。

5.3. 运输过程

薄膜电容器运输过程的碳排放值为 $3.68\text{E}+00 \text{ gCO}_2\text{e}$, 占全生命周期碳排放的比重为 1.31%。运输阶段全部是由于原材料运输产生碳排放, 贡献了 100%的碳排放。

5.4. 不确定性分析

在碳足迹核算中, 不确定性广泛存在^[1], 一般会占到全部排放数据的 5~20%^[2]。因此, 在计算出薄膜电容器各部分的碳排放量后, 需要进行不确定性分析以确定结果的不确定度, 进而提高计算结果的可靠性, 主要包括:

(1) 碳排放模型和计算范围的确定: 有些活动数据难以收集或者影响较小被排除在模型外, 会一定程度上降低数据的可信度。

(2) 排放因子的不确定性: 研究采用的数据库会存在缺省数据与实际情况存在偏差、数据库不完整等问题。可通过现场实测、改进碳排放模型、调整系统边界等措施来降低不确定性。

6. 研究结论

本研究参考《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》(ISO14067) 要求, 采用生命周期评价方法, 核算 1 个型号为 CBB65 薄膜电容器全生命周期碳排放, 主要得到如下结论:

(1) 1 个 CBB65 薄膜电容器碳足迹为 $281.37 \text{ gCO}_2\text{e}$ 。

(2) 薄膜电容器碳足迹贡献最大的是原材料获取阶段, 占比为 66.83%; 生

产阶段碳排放贡献度次之，占比为 31.97%；运输过程碳排放相对较小。

(3) 在原材料获取阶段，环氧料生产生产碳排放量最大，贡献度为 52.08%。

7. 减碳建议

精准核算量化产品碳足迹是产业链各环节单位进行企业双碳战略规划，应对政策法规，参与国际贸易的前提条件，是企业必须建立的核心竞争力。

本研究材料生产加工部分的碳排放核算结果是建立在各材料平均碳排放因子的基础上的，企业应规范供应商的碳排放数据管理机制，基于供应商提供的具体场地数据，核算薄膜电容器碳足迹，这不仅可以降低核算结果的不确定性，同时也是识别低碳材料、发掘减排热点、实现价值链减排的基础工作。

在能源使用方面，建议企业使用可再生能源替代传统能源，进一步降低生产环节的碳排放。

在管理层面，建议企业制定绿色低碳管理体系：制定辅料、原材料、包装等物料的低碳标准，控制源头；从产品供应、环保安全、生产能力、质保体系、物流配送、应急能力等多维度建立绿色供应商准入标准；对供应商进行绩效评价，不断提升低风险供应商占比，督促供应商能力水平不断提升；搭建绿色供应链信息披露平台，实现研发、制造一体化，产、供、销一体化，研发、运营可视化。

8. 参考文献

- [1]陈莎,李焱佩,曹磊等.产品碳足迹评价中不确定度与敏感度相结合的数据质量分析[J].中国环境科学, 2014, 34(4):1067-1072.
- [2]彭鑫.基于碳足迹特征的机电产品方案设计建模及碳足迹评价研究[D].山东大学, 2019.