

基于电网物资碳足迹的产品低碳评价方法研究

夏云舒¹, 蒋越¹, 柳思歧¹, 肖锋², 董凤娜²

¹国网上海市电力公司物资公司, 上海

²上海久隆企业管理咨询有限公司, 上海

收稿日期: 2025年1月10日; 录用日期: 2025年1月26日; 发布日期: 2025年2月28日

摘要

本文将结合产品碳足迹、电力消耗、低碳产品占比、减碳技术应用占比、产品碳效比、能效等级和性能参数要求等指标构建产品低碳评价模型, 运用基于特征的设计目录结构和模糊数学等知识, 设计电力产品的低碳评价方案, 全面量化评价产品的绿色低碳水平, 为电力物资采购提供判断依据, 深化绿色采购应用, 助力链上企业绿色低碳发展。

关键词

产品碳足迹, 基于特征的设计目录结构, 模糊数学

Research on Low-Carbon Evaluation Method Based on Carbon Footprint of Power Grid Materials

Yunshu Xia¹, Yue Jiang¹, Siqi Liu¹, Feng Xiao², Fengna Dong²

¹Materials Company of State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai

²Shanghai Jiulong Enterprise Management Consulting Co., Ltd., Shanghai

Received: Jan. 10th, 2025; accepted: Jan. 26th, 2025; published: Feb. 28th, 2025

Abstract

This paper will combine the product carbon footprint, power consumption, proportion of low carbon products, proportion of carbon reduction technology application, carbon efficiency ratio of products, energy efficiency level and performance parameter requirements and other indicators to build a product low carbon evaluation model. Using feature-based design directory structure and fuzzy mathematics knowledge, low carbon evaluation scheme of power products will be designed

to comprehensively and quantitatively evaluate the green and low carbon level of products, providing a judgment basis for the procurement of power materials, deepening the application of green procurement, and helping the green and low-carbon development of enterprises on the chain.

Keywords

Product Carbon Footprint, Feature-Based Design Directory Structure, Fuzzy Mathematics

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

截至 2024 年 5 月, 全球共有 151 个国家提出了碳中和目标, 积极探索绿色化转型发展的政策与措施 [1]。在第七十五届联大会议上, 习近平总书记提出了双碳目标, 2030 年前二氧化碳排放力争达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和 [2]。然而随着经济的快速发展, 我国的碳排放量仍保持在较高水平, 数据显示, 电力行业的二氧化碳排放量排放占我国二氧化碳排放总量的 40% 以上 [3], 因此电网企业的绿色转型发展刻不容缓, 企业应充分发挥核心企业的引领作用, 应用超大规模绿色采购从源头上提升产品的绿色属性, 带动产业链供应链绿色转型发展。

2024 年 10 月 1 日, GB/T 24067-2024《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》正式实施, 支撑核算产品全生命周期的温室气体排放量, 包括原材料获取阶段、生产阶段、分销阶段、使用阶段和生命末期阶段。然而电网企业的绿色采购不仅需要考虑产品的碳足迹, 还应综合考虑产品的电力消耗、低碳产品占比、减碳技术应用占比等因素, 因此亟需一套基于产品碳足迹的低碳产品的评价方法, 客观综合评价电力产品, 支撑绿色采购, 强化需求牵引从源头带动链上企业绿色转型发展, 提升企业绿色低碳水平, 服务碳达峰、碳中和目标。

2. 电网物资采购现状分析及研究路径

2.1. 电网物资绿色采购的现状分析

电网企业作为产业链供应链的核心企业, 充分发挥“桥梁”和“纽带”作用, 倡导绿色价值观念, 发挥绿色低碳消费引领作用, 强化绿色采购和绿色评价导向作用, 激励绿色低碳节能环保产品和服务供给, 深化全链条绿色低碳, 推进绿色供应链转型。但是在实际采购中仍然存在以下问题:

一是, 产品绿色低碳评价不完善。目前电网企业还没有构建产品绿色低碳评价模型, 仅仅依靠产品的碳足迹还不足以支撑综合客观量化采购物资的绿色水平, 衡量电力相关产品的绿色水平还需考虑产品是否使用环保材料、再生材料、减碳技术应用等。

二是, 全面绿色转型的基础依然薄弱。近年来我国经济发展迅速, 取得了世界瞩目的成效, 但是在绿色低碳发展方面起步较晚, 整体的认识水平还需要提升 [4]。尤其是电网物资相关的电工装备大型制造业企业, 受现有生产工艺、机械设备、人员培训等限制, 需要投入大量的人力资源、物力资源以及财力资源去更新和升级技术。

传统的定性考察电力产品的是否采用节能环保材料, 产品报废后能否回收, 单一比较产品碳足迹等方法, 已经不适用当前链上企业绿色低碳转型发展的需要, 电网企业应用市场驱动理论, 充分发挥绿色

采购的引领作用，亟需一种电网物资的绿色低碳水平评价的方法，将评价结果应用到招标采购中，以采购为切入点，推动绿色环保理念向上下游企业逐级压实，驱使电工装备企业主动采取更高质量的绿色创新战略，推动供应链全过程、全环节绿色低碳可持续发展，推进供应链绿色发展转型升级[5]。

2.2. 电力产品低碳评价方法的研究路径

以电网企业现有的绿色采购实践经验和电力产品碳足迹为技术，融合绿色供应链 CATI 指数、企业气候行动 CITI 指数，考虑企业驱动力、企业排放现状、企业采取的响应措施等维度，围绕环保总投入、排放强度、排放信息披露等指标研究链上企业低碳评价方法，电力产品低碳评价方法研究的技术路径如图 1 所示：

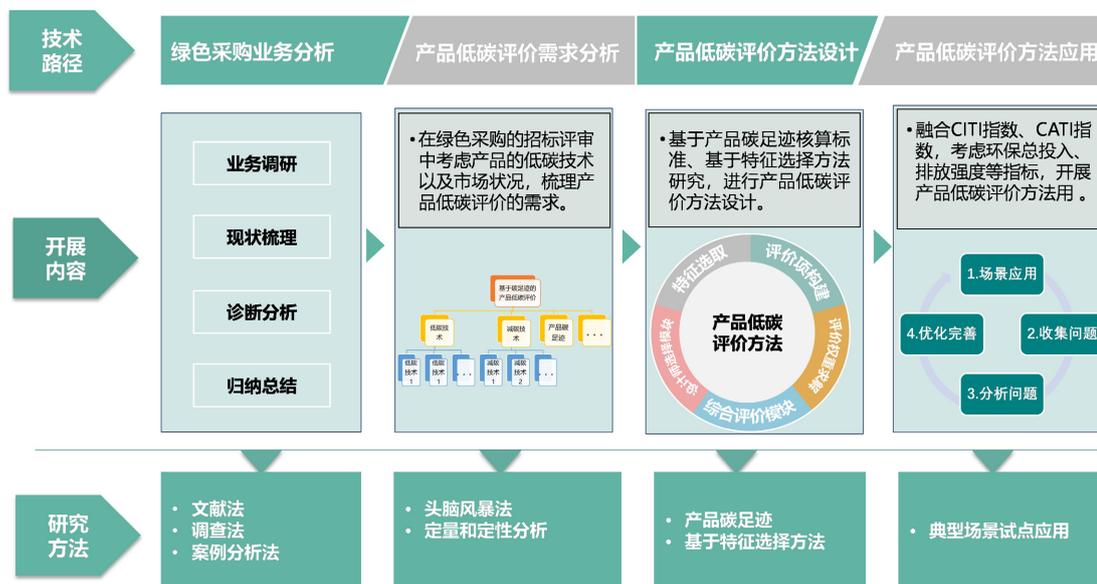


Figure 1. The technical approach to low-carbon evaluation method of electric power products

图 1. 电力产品低碳评价方法研究的技术路径

电网物资绿色采购业务分析，采用文献法、调查法以及案例分析法对业务进行调研，厘清业务现状，为研究团队对实际业务运营情况的诊断与归纳总结提供强有力支撑。

产品低碳评价需求分析，采用头脑风暴法和定性定量的分析方法，考虑在绿色采购的招标评审中的低碳技术认可情况以及市场状况，结合电网物资绿色采购业务分析结果表明产品低碳评价的需求。

产品低碳评价方法设计，基于特征选择方法、电力产品碳足迹以及数字助理的需求分析结果，按照特征选取、评价项构建、评价权重求解、综合评价、设计师选择等几个模块，进行产品低碳评价方法设计。

产品低碳评价方法的试点应用，选择合适的电网企业在电网物资绿色采购环节试点应用产品低碳评价方法，对电网企业需要采购的产品进行低碳评价，并将结果应用到实际采购环节中，后期持续跟进，科学评估试点应用结果，补足短板，不断优化产品低碳评价方法。

3. 产品低碳评价方法研究内容

3.1. 产品碳足迹

产品碳足迹指的是该产品在整个生命周期，包括原材料的开采、制造、运输、分销、使用到最终废弃阶段所有的温室气体排放量。传统的碳足迹核算主要借鉴 ISO14067，但是由于地理位置、资源分布、

科学技术水平的差异，产品在整个生命周期内对环境的影响并不是一成不变的，如何科学地核算具体产品全生命周期的温室气体排放量对于制定减排措施尤为重要。GB/T 24067-2024《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》可作为支撑产品碳足迹的核算，该标准其规定了产品碳足迹的研究范围、应用、原则和量化方法等，还编制了具体产品碳足迹标准的参考框架、数据地理边界信息建议等[6]。

3.2. 基于特征的设计目录结构

特征是一个专业术语，它兼有形状和功能两种属性，包括特定几何形状、拓扑关系、典型功能、绘图表示方法、制造技术和公差要求。基于特征选择方法是通过识别出源领域与目标领域中共有的特征表示和重要特征，利用这些共有的特征将知识迁移并应用到目标领域。基于特征选择方法不仅可以简化模型，还可以降低过拟合。

基于特征的设计是把特征作为产品设计的基本单元，并将机械产品描述成特征的有机集合。特征设计有突出的优点，在设计阶段就可以把很多后续环节要使用的有关信息放到数据库中。这样便于实现并行工程，使设计绘图、计算分析、工艺性审查到数控加工等后续环节工作都能顺利完成。基于特征的设计目录是德国学者 K. Roth 提出的一种集成设计知识的新型知识库，经过应用后发展为基于特征的设计目录结构，适用于表达定性的产品设计知识，基于特征的设计目录可以求解得到可行方案的设计方案均[7]。

3.3. 模糊数学

模糊的概念是 1965 年美国著名计算机与控制专家查德(L. A. Zadeh)教授提出，开创了模糊数学的新领域，以精确数学集合论为基础，提出用“模糊集合”作为表现模糊事物的数学模型，在“模糊集合”上逐步建立运算、变换规律，为构造出现实世界中的大量模糊奠定数学基础，能够对相当复杂的模糊系统进行定量的描述以及进行数学处理。

在模糊集合中，给定范围内元素用介于 0 和 1 之间的实数来表示相关程度，不是只有相关或者不相关的绝对关系。比如“老人”就是一个模糊概念，75 岁的肯定属于老人，它的从属程度是 1，20 岁的人肯定不能算老人，它的相关程度为 0，按照查德(L. A. Zadeh)教授的理论，50 岁与“老”的相关程度为 0.5，65 岁与“老”的相关程度 0.8。查德认为，指明各个元素的相关集合，就等于指定了一个集合。当相关程度介于 0 和 1 之间时，就是模糊集合。如今的模糊数学的应用已经遍及理、工、农、医及社会科学的各个领域，充分地表现了它强大的生命力和渗透力[8]。

4. 产品低碳评价方案设计与应用

4.1. 产品低碳评价方案设计

基于电网物资碳足迹的产品低碳评价方法是在产品全生命周期的温室气体排放总量的基础上，结合典型电网物资碳排放核算模型构建情况，从电力消耗、低碳产品占比、减碳技术应用占比、产品碳效比、能效等级和性能参数要求等指标构建产品低碳评价模型，综合多方面因素，不偏不倚地给出电力产品低碳评价，助力电力产品“好中选优”、电工装备产业链绿色升级，有利于物资供应和物资服务工作的更好开展。将需要考虑的诸多因素作为产品低碳评价方案的特征，再应用基于特征的设计目录结构的方法，建立基于电网物资碳足迹的产品低碳评价体系框架，如图 2 所示。

评价项构造模块：在设计目录中构建低碳产品评价条目、构造低碳产品评价模型等，在此阶段由于产品相关的很多信息并不完整，使得难以对低碳评价方法做出确定的评价，只能对评价方案中的各项做出“很好、好、一般、不好”等程度的模糊性评价表述，此处就需要用到前面介绍过的模糊数学来处理。

评价项权重模块：该模块主要是采用了层次分析法去评价最优方案，通过构造判断矩阵对同一层级的指标的重要性进行比对判断，进一步求解出计算各评价项的相对权重[9]，支撑后续模块。

综合评价模块：在评价项构造模块和评价权重模块求得结果的基础上，运用模糊数学将原本定性的判断转化成可供比较的定量的数据，从而得到定量的产品低碳评价结果。

方案选择模块：设计师、评委等对产品低碳评价方案进行综合评估，对于方案不满意可以重新从评价项构造模块、评价项权重模块、综合评价模块以及方案选择模块再次设计产品低碳评价方案，并将设计好的方案储备到知识库中，以期支撑为其他产品的低碳评价方案构造。

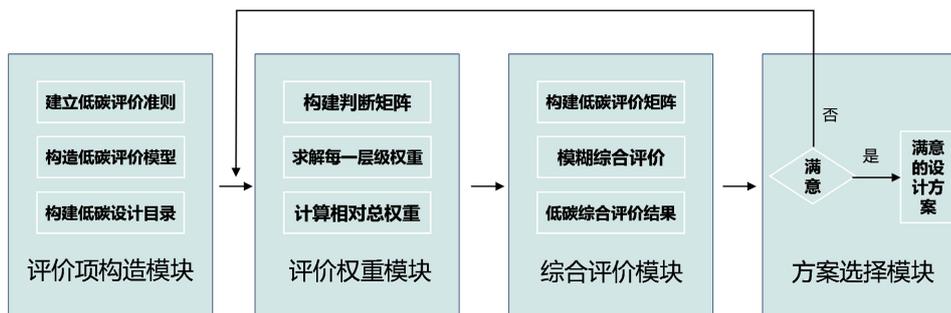


Figure 2. Framework of product low-carbon evaluation system based on carbon footprint of power grid materials
图 2. 基于电网物资碳足迹的产品低碳评价体系框架

4.2. 产品低碳评价试点应用

电网企业在采购环节强化绿色导向，融入绿色低碳理念，充分发挥核心企业的绿色采购引领作用。选择将供应商环保失信行为，政府绿色制造认证，质量、环境、能源、健康安全等体系认证要素，清洁生产、企业碳核查、产品碳足迹等审核要素都纳入到产品低碳评价方案中，将构造好的产品低碳评价方案应用到招投标环节，以采购为切入点，以低碳产品评价方案以及其他相关因素为考核点，从原来的定性评价到定量评价，将供应链链条的绿色向后端延伸至绿色物流、绿色包装、绿色仓库、绿色回收等环节，将绿色发展落实到供应链的每一个关键节点，全面带动产业链供应链绿色低碳发展。

5. 小结

产品低碳评价方案在电网企业的推广应用，将原来电网物资采购中的绿色要素进一步落实到产品的制造中，以采购为重要抓手，通过将产品的碳足迹、企业的环保总投入、排放信息披露等指标融入到评价方案中，量化产品的低碳水平，为招标采购的工作人员提供客观公正的具体参考数据，显著减少主观偏好导致的评审偏差，提高评审环节的效率。深化产品低碳评价的应用，支撑链上企业绿色低碳发展。

参考文献

- [1] 高琳琳. 全球已有 151 个国家提出碳中和目标[EB/OL]. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202410/17/WS6710d991a310b59111d9e7b3.html>, 2024-10-17.
- [2] 高世楫, 俞敏. 中国提出“双碳”目标的历史背景、重大意义和变革路径[J]. 新经济导刊, 2021(2): 4-8.
- [3] 陶野. 生态环境部: 将定期发布电力二氧化碳排放因子[N]. 新京报, 2024-05-06.
- [4] 李茜. 践行绿色供应链采购管理的挑战与对策[J]. 中国招标, 2023(12): 150-152.
- [5] 吴松甫, 毛洁. 浅析当前绿色供应链存在的问题及对策[J]. 中国集体经济, 2021, 28(12): 103-104.
- [6] 闫浩春, 韩晓莉, 张皓晨, 刘艺. 产品碳足迹基础数据库建设与应用研究[J]. 中国建材科技, 2024, 33(3): 1-7.

- [7] 郁灵. 基于可持续能源的低碳产品性能评价方法研究[J]. 可持续能源, 2014, 4(3): 16-23.
- [8] 张娟. 基于模糊数学及网络 DEA 模型的绿色供应链评价方法[J]. 统计与决策, 2016(14): 41-43.
- [9] 李斌, 王奇杰. 建设项目绩效审计评价指标及权重求解[J]. 统计与决策, 2011(17): 172-174.