

电工装备供应链碳计量体系构建方法研究

胡承鑫, 范晓磊, 姜 凌, 李嘉森

国网上海市电力公司物资公司, 上海

收稿日期: 2025年9月5日; 录用日期: 2025年9月17日; 发布日期: 2025年11月13日

摘 要

本文主要通过研究主流的碳排放核算原则、国内外碳计量体系发展现状, 再结合电网物资特点, 设计电工装备供应链碳计量体系架构, 分阶段制定电工装备碳计量相关标准制定, 建设电工装备碳计量体系数据采集平台等, 将产品碳足迹从依靠人工经验估算到实时监测, 提升碳足迹核算的效率和准确性, 推动电力装备供应链的绿色低碳转型。

关键词

温室气体, 碳计量, 碳计量体系

Research on the Construction Method of Carbon Measurement System for Electrical Equipment Supply Chain

Chengxin Hu, Xiaolei Fan, Ling Jiang, Jiasen Li

State Grid Shanghai Procurement Company, Shanghai

Received: September 5, 2025; accepted: September 17, 2025; published: November 13, 2025

Abstract

This paper mainly studies the mainstream carbon emission accounting principles, the current development status of carbon measurement systems at home and abroad, and combines the characteristics of power grid materials to design the carbon measurement system architecture of the electrical equipment supply chain and formulate relevant standards for carbon measurement of electrical equipment in phases. The construction of a data collection platform for the carbon measurement system of electrical equipment and other measures will shift the estimation of product carbon footprints from relying on manual experience to real-time monitoring, enhancing the efficiency and

accuracy of carbon footprint accounting and promoting the green and low-carbon transformation of the power equipment supply chain.

Keywords

Greenhouse Gas, Carbon Measurement, Carbon Measurement System

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

自工业革命开启以来，人类社会以前所未有的速度和规模向大气中排放温室气体，这一过程导致全球气温已经升高了约 1.1 摄氏度，对地球的生态系统和人类社会产生了巨大的影响，如冰川迅速消融，海平面逐年上升，气候系统开始变得混乱和不可预测，因此只有科学量化温室气体的排放量才能从根本上控制全球升温。国家于 2020 年明确提出“双碳”目标[1]，电网企业积极贯彻双碳政策是责任担当，然而电工装备碳排放核算方法不足、缺少产品碳足迹评价方法标准、缺乏排放数据采集技术标准等问题亟需解决，系统性构建电工装备供应链碳计量体系[2]，提升碳足迹核算的效率和准确性，为电工装备供应链制定减碳措施提供数据支撑，推动电力装备供应链的绿色低碳转型。

2. 电工装备供应链碳计量体系研究路径

研究电工装备供应链碳计量体系，形成供应链碳计量体系架构，并制定电力电缆品类规则下的碳足迹评价标准，明确其核算框架和评价方法；同时制定电工装备生产排放数字化计量技术标准，提升碳足迹核算的效率和准确性，以推动电力装备供应链的绿色低碳转型。研究路径如图 1 所示：

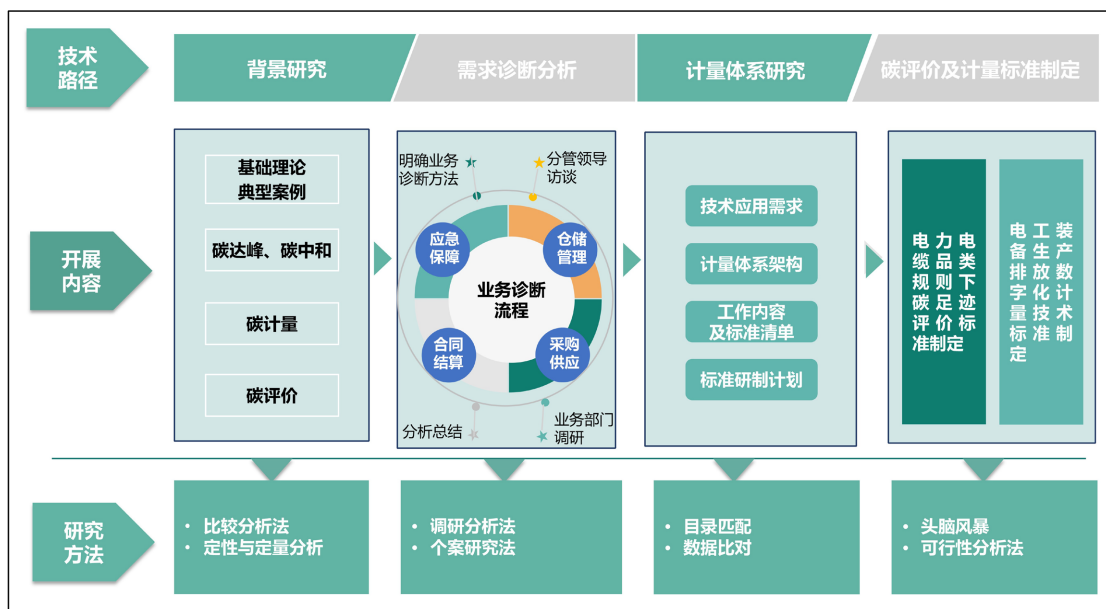


Figure 1. Research path

图 1. 研究路径

第一步,首先研究国家和行业标准要求,分析国家、行业以及国网绿链体系对碳监测计量的相关要求,明确绿色供应链发展下的碳足迹计量技术应用需求。

第二步,规划设计碳足迹计量体系架构,基于上述需求,规划设计电工装备供应链碳足迹计量体系的整体架构,明确各阶段的工作内容及标准制定目录清单,形成系列化标准研制计划。

第三步,制定电力电缆品类规则下的碳足迹评价标准:聚焦电力电缆品类,梳理其从“摇篮到大门”的碳排放过程,识别排放单元,制定计算方法,确定数据要求及核算报告内容,形成电力电缆碳足迹评价导则,并编制标准草案。

第四步,制定电工装备生产排放数字化计量技术标准:研究用能数据在线采集、实时传输和监测计量技术解决方案,围绕计量器具、系统功能、数据规范等方面,制定生产环节的碳足迹计量技术导则,并编制标准草案。

2.1. 碳排放核算原则

碳排放核算原则是确保碳足迹评估结果准确、可靠、可比和可信的基石。无论是为企业、产品还是国家进行核算,都必须遵循一套核心原则,碳排放核算原则主要包括相关性、一致性、透明性、完整性及准确性等方面[3]。

IPCC 温室气体核算指南。联合国政府间气候变化委员会(IPCC)提出的一套碳排放核算的理论和框架,是国际上通用的温室气体清单指南计算方法,为不同国家、不同地区、不同行业的温室气体排放量计算提供了详细的技术指导,既可用于宏观核算,也可用于行业的微观角度[4]。

GHG 温室气体排放标准。是具有法律约束力的排放标准,按照排放类型范围标准主要分为三部分,范围一是直接温室气体排放,企业拥有或控制的排放源;范围二是间接温室气体排放,企业所消耗的外购电力、热力或蒸汽产生的温室气体排放;范围三是其他间接温室气体排放,其他间接温室气体排放是一家公司活动的结果,但并不是产生于该公司拥有或控制的排放源[5]。

ISO14064 温室气体排放核算标准。国际标准组织 ISO 于 2006 年 3 月发布温室气体排放标准 ISO 14064,应用于企业量化、报告和控制温室气体的排放和消除。ISO 14064 由三部分组成,分别为《第一部分:在组织层面温室气体排放和移除的量化和报告指南》《第二部分:在项目层面温室气体排放减量 and 移除增量的量化、监测和报告指南》以及《第三部分:有关温室气体声明审定和核证指南》。

生命周期法。生命周期(Life Cycle Assessment, LCA)是根据国际标准化组织 ISO (International Organization for Standardization)制定的用于评估一个产品从原材料开采及生产、使用和报废整个过程对环境影响的评价框架,形成了对环境生命周期评价的原则和框架,以及评价目标与范围及分析的实施标准。生命周期是指某一种产品或服务从取得原材料、经生产、使用直至废弃、回收的全过程。

2.2. 国内外碳计量体系发展现状分析

国际碳计量体系已发展成熟,已进入“强制化、标准化、数字化、价值链化”的新阶段,其核心是以《温室气体核算体系》(GHG Protocol)等国际标准为共同方法论基础,呈现出从自愿披露走向强制规范的明显趋势。欧盟通过碳市场(EU ETS)、碳关税(CBAM)及强制性的《企业可持续发展报告指令》(CSRD)构建了全球最严密的法规框架,要求企业全面核算并披露范围一、二、三碳排放。美国证监会(SEC)新规也正推动其走向强制化。当前发展聚焦于数字化工具应用和价值链(范围三)碳排放管理,驱动全球碳数据走向标准化、透明化[6]。

我国碳计量体系近年来发展迅速,正从顶层设计走向全面落地,旨在为“双碳”目标提供精准、科学的数据支撑。政策框架方面已经构建了“1+N”政策体系,连续出台多项实施方案和行动方案;技术

支撑方面国家正在布局建设一批碳计量基准、计量标准和标准物质,鼓励自主研发高精度、多组分的碳监测和碳核算计量仪器等,总体而言,我国碳计量体系目前已形成了较为清晰的顶层设计和实施路径,未来的重点将是在持续完善制度和技术体系,推动数据质量的全面提升、技术的普惠应用以及更深层次的国际对接[7]。

3. 电工装备供应链碳计量体系架构设计

以构建一个系统化的电工装备供应链碳计量体系架构为目标,涵盖总体框架、关键要素和运行机制。通过明确核算边界、层级结构和与现有管理体系的融合方式,确保碳计量体系的科学性和可操作性。同时,围绕核算方法、数据采集与管理、监测评估以及报告披露等关键要素进行设计,为供应链碳管理提供全面的支撑。

3.1. 供应链各环节的碳计量边界划分

电工装备供应链碳计量体系需明确各环节的碳计量边界,以确保核算的准确性和完整性。在原材料采购环节,碳计量边界应涵盖原材料的开采、加工和运输过程,明确供应商与采购企业的责任界面,以“摇篮到大门”为基准点核算碳排放。生产制造环节的碳计量边界包括生产过程中的能源消耗、工艺排放和废弃物处理,区分直接排放和间接排放,并以生产线、车间或工厂为最小核算单元。物流运输环节的碳计量边界则聚焦于运输工具的燃料消耗、运输距离和方式,区分企业自有运输与第三方物流的排放责任,并以“吨公里”或“单位运输量”为核算基准。销售与使用环节的碳计量边界包括产品销售过程中的包装、仓储和配送,以及用户使用阶段的能耗和使用寿命,明确碳排放责任归属。废旧回收与处置环节的碳计量边界涵盖废旧产品的回收、拆解、再利用和最终处置,区分回收过程中的能源消耗和废弃物处理排放,以“单位回收量”或“单位处置量”为基准进行核算。

3.2. 碳计量体系的层级架构

碳计量体系采用层级架构,涵盖组织、产品和过程三个层级,以满足不同层面的碳管理需求。在组织层级,碳计量体系需明确企业或组织的碳计量目标 and 责任,设计涵盖范围 1 (直接排放)、范围 2 (间接排放)和范围 3 (价值链排放)的核算框架,同时确定组织层面碳排放的报告和披露要求。在产品层级,以产品全生命周期为核算边界,结合生命周期评估(LCA)技术,核算原材料采购、生产制造、物流运输、销售使用和废旧回收等环节的碳排放贡献,并制定碳足迹标签和认证机制,为绿色低碳产品提供标识。在过程层级,针对供应链各环节的具体生产或业务过程,设计碳计量方法和工具,明确关键参数(如能源消耗、原材料使用量、工艺参数等),并建立监测和数据采集系统,为实时碳排放核算提供支持。

3.3. 与现有供应链管理体系的融合

为实现碳计量体系的有效实施,需将其与现有供应链管理体系深度融合。首先,将碳计量体系嵌入供应链的采购、生产、物流和销售等核心流程,通过设计碳计量指标与供应链绩效指标(如成本、效率、质量)的关联模型,实现碳管理与业务运营的无缝对接,为供应链优化提供决策支持。其次,利用企业资源规划(ERP)、供应链管理(SCM)和物联网(IoT)等信息化系统,开发碳计量模块或平台,实现碳计量数据的自动采集、传输和分析,并与现有信息化系统进行数据交互和功能集成,提升碳计量的效率和准确性。此外,将碳计量要求纳入供应商准入和评估体系,建立供应商碳排放数据共享机制,推动供应商开展碳核算和减排行动,确保供应链上下游碳计量数据的一致性和完整性。最后,探索碳计量结果与绿色金融工具(如绿色信贷、碳交易)的对接机制,设计激励措施,推动绿色金融支持供应链低碳转型。

4. 电工装备碳计量相关标准制定

电工装备碳足迹计量标准是电工装备供应链碳计量体系的关键要素,准确、科学地测算电工装备产品的碳足迹有助于掌握自身产品的绿色竞争力,通过制定电力电缆品类规则下的碳足迹评价标准,帮助企业根据碳足迹评价结果部署相应的碳管理举措,提升产品和企业的绿色低碳水平,提前应对可能出现的碳市场壁垒,推动产业高质量发展[8]。

电工装备生产排放数字化计量技术标准为温室气体排放的可测量、可报告、可核查提供计量支撑,工业领域是我国碳排放的重点环节,约占总排放量的 40%。因此,制定一套面向生产制造企业的碳排放采集和传输技术标准,对于指导制造企业利用先进技术手段,实现生产制造过程的碳排放感知、碳数据采集和传输,强化行业企业碳管理的数据基础,具有重要意义。也是做好制造企业的碳排放监测计量,是制定和落实有效降碳策略的关键。

标准研制可分为短期、中期和长期三个阶段。短期(1~2 年)聚焦基础标准的制定和试点应用,通过梳理现有标准,搭建碳计量框架,选择代表性企业开展试点,积累经验并完善标准内容。中期(3~5 年)致力于重点品类标准的完善与推广,结合产品全生命周期评估技术,细化核算方法和数据要求,扩大标准应用范围,推动重点品类标准在行业内的全面推广。长期(5 年以上)目标是实现标准的全面覆盖和动态更新,建立标准的持续优化机制,确保其适应技术进步、政策变化 and 市场需求,推动电工装备行业碳计量工作的规范化和国际化发展。

5. 电工装备碳计量体系数据采集平台建设

为确保电工装备供应链碳计量体系的有效运行,需实现数据流与信息流的高效整合。通过建立统一的数据采集平台,将供应链各环节的碳排放数据(如原材料采购、生产制造、物流运输等)实时收集并传输至中央数据库。利用信息化技术(如物联网、大数据和区块链)对数据进行清洗、验证和存储,确保数据的完整性和准确性。同时,设计信息共享机制,将碳计量结果与供应链管理、企业决策支持系统进行无缝对接,为供应链各参与方提供实时、透明的碳排放信息,支持低碳决策和运营管理。

6. 小结

电工装备供应链碳计量体系将“碳”从一种模糊的宏观概念,转变为一个清晰、可测量、可管理、可交易的微观数据单元,从而为电网企业的战略决策、电力行业的转型升级以及社会的绿色变革提供不可或缺的支撑。它不仅是电网企业贯彻“双碳”目标的“度量衡”也是驱动产业创新发展的新引擎。这项工作的成功,将驱动产业链绿色低碳转型,帮助企业提升碳管理能力、应对国际碳壁垒,提升绿色竞争力[9]。

参考文献

- [1] 新华社. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话(全文) [EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1678546406645194845&wfr=spider&for=pc>, 2025-08-01.
- [2] 林义捷, 李一伟, 印宋凯, 赵迪斐. “双碳”目标下煤炭行业碳计量标准体系建设现状及提升路径[J]. 能源研究与利用, 2025(3): 32-33.
- [3] 郭雪伟, 曲昌盛, 徐东耀. 双碳背景下碳排放核算体系现状与展望[J]. 环境工程技术学报, 2025, 15(3): 819-832.
- [4] 张伟杰, 唐晓旭, 王肖欣, 李莹, 李双艳, 李毅. 碳排放核算方法综述[J]. 工程质量, 2024, 42(S2): 167-169.
- [5] 曹明德, 崔金星. 温室气体排放标准的发展特点和法律意义及比较研究[J]. 能源技术经济, 2011, 23(7): 45-50.
- [6] 张春鹏, 康蓉, 王昌玲. 碳计量的国际经验和实际做法[J]. 未来与发展, 2015, 39(10): 44-47.

-
- [7] 张雯, 罗林聪, 丁跃清, 邢鑫, 朱君. 碳达峰碳中和目标下碳计量发展现状、挑战及对策建议[J]. 计量与测试技术, 2024, 50(12): 12-13.
 - [8] 肖晖, 恽焯, 缪春风. 构建碳计量技术体系 服务国家低碳发展战略[J]. 工业产业计量专刊, 2021(3): 58-60.
 - [9] 刘园园, 陈沁. 完善碳排放“度量衡”建设标准计量体系[J]. 科技日报, 2024-09-18(008).