

电力装备生产制造环节碳排放核算方法设计

洪芳华¹, 葛长宏¹, 陈徐晶¹, 胡承鑫¹, 蒋越¹, 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: 2024年3月28日; 录用日期: 2024年4月10日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

电力装备生产制造环节是电网物资供应链的重要环节之一, 该环节产生大量的碳排放, 随着国家碳达峰碳中和目标和绿色制造的提出, 电力装备生产制造环节碳排放的准确计量与分析是电力设备生产制造企业实现低碳转型和提高企业核心竞争力的前提条件。本文在碳排放因子核算方法的基础上, 设计了一种适用电力装备生产制造环节的碳排放核算方法, 建立了一套支持该环节的碳排放核算工具, 降低电力装备生产过程中碳排放核算的复杂度, 有助于电力装备生产企业制定相应的减排措施, 推动企业的低碳转型。

关键词

电力装备, 绿色制造, 碳排放因子, 碳排放核算, 低碳转型

Design of Carbon Emission Accounting Methods for Electric Power Equipment Production and Manufacturing Segments

Fanghua Hong¹, Changhong Ge¹, Xujin Chen¹, Chengxin Hu¹, Yue Jiang¹, Fengna Dong²

¹State Grid Shanghai Electric Power Company Materials Company, Shanghai

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

Received: Mar. 28th, 2024; accepted: Apr. 10th, 2024; published: May 31st, 2024

Abstract

Power equipment production and manufacturing link is one of the important links in the power grid material supply chain, which generates a large amount of carbon emissions, with the national carbon peak carbon neutral target and the proposal of green manufacturing, the accurate mea-

surement and analysis of carbon emissions from the power equipment production and manufacturing link is a prerequisite for the power equipment production and manufacturing enterprises to realize low-carbon transformation and improve the core competitiveness of enterprises. Based on the carbon emission factor accounting method, this paper designs a carbon emission accounting method applicable to the power equipment production and manufacturing link, establishes a set of carbon emission accounting tools to support the link, reduces the complexity of carbon emission accounting in the process of power equipment production, and helps the power equipment production enterprises to formulate the corresponding emission reduction measures and promote the low-carbon transformation of the enterprises.

Keywords

Power Equipment, Green Manufacturing, Carbon Emission Factors, Carbon Accounting, Low Carbon Transition

Copyright © 2024 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

2022 年, 国家市场监管总局等九部门联合印发《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》, 为支撑我国碳减排政策和如期实现“双碳”目标, 明确了建立碳达峰碳中和标准计量体系的实施方案, 并在碳减排标准子体系中提出要建立生产过程温室气体减排标准体系[1]。其中电力装备生产制造是电网物资供应链的重要环节之一, 该环节是电力物资供应链碳排放产生的重要来源, 同时也是重要的碳减排环节, 因此对电力装备生产制造过程碳排放核算方法研究尤为重要。

在如今“双碳”目标及绿色制造背景下, 开展对电力装备生产制造环节碳排放核算方法研究, 有助于掌握电力装备生产流程的碳排放强度, 为电网物资供应链碳减排措施提供数据支撑, 助力电力装备生产企业的低碳转型和提高企业的核心竞争力。本文简要阐述了碳排放核算方法与研究现状, 基于碳排放因子核算方法, 明确电力装备生产制造企业的核算边界、编制核算清单、配置计算方法, 最终开展碳排放核算, 设计出一套适用电力装备生产制造环节的碳排放核算方法, 建立了一项支持该环节的碳排放核算工具, 降低了电力装备在生产制造过程中碳排放核算的复杂度, 在电网物资供应链装备生产制造碳排放核算方面提供了参考。

2. 碳排放核算方法与研究现状

2.1 碳排放因子核算法

碳排放因子核算法是联合国政府间气候变化委员会(IPCC)提出的一种碳排放核算方法, 该方法一般是指通过活动水平数据和相关参数之间的计算来获得排放主体温室气体排放量[2]。碳排放因子核算法的计算公式为: 温室气体排放量 = 活动数据 × 排放因子, 该方法具体使用步骤如下:

- 1) 收集与碳排放源有关的活动水平数据, 例如化石燃料的消耗量、电力能源的消耗量等。
- 2) 获取排放因子, 它包括单位热值含碳量或元素碳含量、氧化率等, 需要根据活动水平数据对应的系数来确定。这些排放因子可以直接采用 IPCC、美国环境保护署、欧洲环境机构等提供的已知数据。
- 3) 将收集的活动数据与排放因子相乘, 得到相对应的温室气体的排放量。

2.2. 全生命周期核算法

全生命周期核算法是对评估产品在整个生命周期中碳排放的核算方法。该方法核算范围包括从产品原材料的获取、生产、使用到最终回收等各个环节[3]。该方法具体使用步骤如下：

- 1) 首先确定产品核算范围；包括原材料、生产过程、使用和回收等各个环节。
- 2) 数据收集：收集与产品碳排放相关数据，包括原材料的来源、生产过程中的能源消耗、运输和仓储等环节的碳排放数据。
- 3) 碳排放计算：根据所收集的数据，计算产品或服务在各个阶段的碳排放量。这可以包括直接碳排放和间接碳排放，如能源消耗、废弃物排放等。

2.3. 物料平衡法

物料平衡法是一种用于计算污染物排放量的常规方法，该方法的基本原则遵循质量守恒定律，即在工业生产过程中投入的物料总量始终等于最终生产出的产品量和物料流失量之和，该方法主要适用于计算某一特定时间段内工业生产过程中的物料的变化情况[4]。物料平衡法的计算公式为：投入系统的物料总量 = 产出产品总量 + 物料流失总量。物料平衡法在工业各个领域都有广泛的应用，该方法可以更好地研究在生产过程中的能源消耗情况，通过该方法工业生产企业可以制定有效的减排措施降低污染物的排放。

2.4. 碳排放核算研究现状

在国外发达地区注重碳排放问题，其中作为区域经济体的欧盟在碳排放核算方面有着较为成熟的经验，欧盟进行碳排放核算，首先确定核算范围，核算范围包含能源、工业、交通、农业、林业和废弃物处理等重点碳排放领域。然后收集碳排放数据，包括企业报告、政府统计数据等。接着进行碳排放量核算，欧盟根据收集到的数据，采用相适应的碳排放核算方法计算各个领域的碳排放量。最终欧盟向国际环保组织上报核算结果并定期公布碳排放数据[5]；美国苹果公司拥有较为完善的碳排放核算体系，采用直接排放法对其全球范围内的供应商进行碳排放核算，测量和评估企业生产过程中能源消耗和工业生产过程中的气体排放等直接排放量，通过收集供应商生产中的能源消耗和产量数据，结合相应的排放因子，计算出供应商生产过程中的直接排放量[6]。

在国内汽车生产制造领域，其碳排放核算通常采用碳排放因子核算法，首先明确核算范围，然后通过梳理汽车生产流程，列出包括生产装备、运输车辆、焊装和涂装装备以及车辆测试装备等排放源类型[7]，接着通过传感器等数据采集装置收集用能数据，然后选择相应的碳排放因子并配置核算公式，建立碳排放核算模型，对汽车制造企业生产车间的碳排放进行核算，最终得出总的碳排放量；在国内钢铁生产制造领域，各生产工序的碳排放核算基于排放因子核算法，核算边界包括钢铁制造的焦化、烧结、炼铁、炼钢等生产工序，钢铁生产过程中碳排放源主要包括燃料燃烧、工业生产过程等直接碳排放源和工序外输入的电力、热力隐含的间接排放源[8]，然后选择相应的碳排放因子和活动水平数据，按照配置的计算公式进行碳排放核算，总碳排放量等于直接碳排放量与间接碳排放量之和。

3. 电力装备制造环节碳排放核算方法设计

本文通过借鉴 IPCC 核算指南和相关碳排放核算方法等理论，建立一套适用于电力装备制造环节碳排放核算方法。本文在研究工业生产制造领域所实施碳排放核算的典型做法，电力装备制造环节碳排放核算方面采用碳排放因子核算法，明确电力装备制造碳排放核算的四个步骤：明确核算边界与识别碳排放源、编制核算清单、配置计算方法、开展碳排放试算[9]，以下对四个步骤具体说明。

3.1. 明确核算边界

本文从电力装备生产制造环节切入，围绕电力装备零部件制造、装备组装、装备测试三个部分[10]，梳理电力装备生产制造全过程、全环节作业节点，首先，电力装备零部件制造过程中零部件生产活动产生的碳排放。其次，电力装备组装过程中车间或仓库内吊装、搬运和将零部件按照设计要求进行焊接组装活动产生的碳排放。最后，电力装备检测过程中检测和测量组装后的装备性能、参数活动产生的碳排放[11]。明确电力装备生产过程中碳排放核算的边界范围，掌握生产活动产生的各类排放源，支撑后续碳排放清单的编制，为整个核算方法奠定基础，图1为电力装备生产制造环节碳排放源示意图。

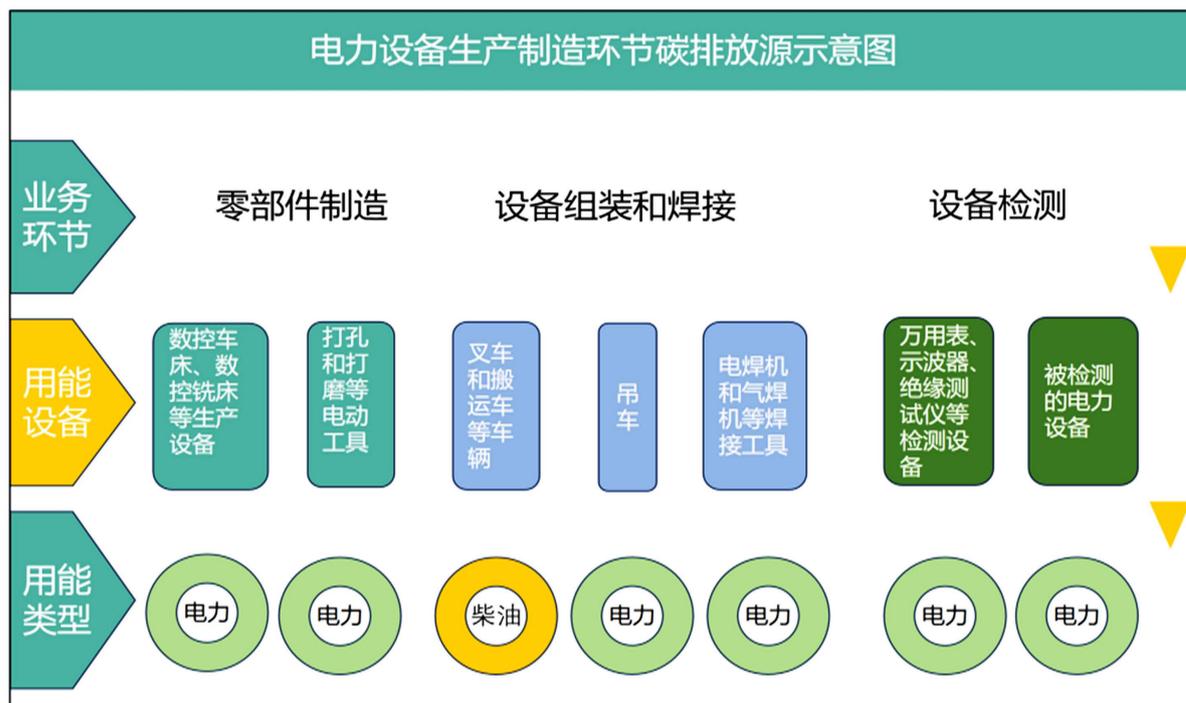


Figure 1. Schematic diagram of carbon emission sources in the production and manufacturing process of power equipment
图 1. 电力装备生产制造环节碳排放源示意图

3.2. 编制核算清单

Table 1. Carbon emission accounting list for power equipment production and manufacturing
表 1. 电力装备生产制造环节碳排放核算清单

装备生产制造环节	排放源	能源类型
零部件制造	数控车床、数控铣床等生产装备以及打孔、打磨等电动工具	生产装备以及电动工具用能产生的电力能源排放
装备组装和焊接	叉车、搬运车等车辆和吊车、电焊机、气焊机等焊接工具	组装搬运车辆产生的化石能源的排放、吊车与焊接工具用能产生的电力能源排放
装备检测	万用表、示波器、绝缘测试仪等检测装备和被检测的电力装备	检测装备和电力装备的用能产生的电力能源排放

在识别了电力装备制造环节排放源的基础上，借鉴前期理论和研究成果，根据细化梳理的排放源信息，按照装备零部件制造、装备组装和焊接、装备检测环节的排放源信息，编制适用电力装备生产

制造环节碳排放核算清单[12]，见表 1。

3.3. 配置计算方法

依据电力装备生产制造环节碳排放源梳理情况，以碳排放核算清单为基础，应用 IPCC 提供的碳排放因子法作为本文对电力装备生产制造环节碳排放核算的方法基础，针对生产制造环节每一部分的排放源，设置适用的计算公式、确定计算参数、选择排放因子，确保核算清单中所列各排放源可量化计算[13]。

3.3.1. 配置计算公式

碳排放核算公式如下：

$$E_{\text{总}} = E_{\text{零部件}} + E_{\text{组装和焊接}} + E_{\text{装备检测}}$$

其中， $E_{\text{总}}$ 为电力装备生产制造环节总的碳排放量； $E_{\text{零部件}}$ 为电力装备零部件制造部分的碳排放量； $E_{\text{组装和焊接}}$ 为电力装备组装和焊接部分的碳排放量； $E_{\text{装备检测}}$ 为电力装备检测部分的碳排放量。

$$E_{\text{零部件}} = E_{\text{生产装备}} + E_{\text{电动工具}}$$

$$E_{\text{组装和焊接}} = E_{\text{车辆}} + E_{\text{吊车}} + E_{\text{焊接工具}}$$

$$E_{\text{装备检测}} = E_{\text{检测装备}} + E_{\text{电力装备}}$$

其中， $E_{\text{生产装备}}$ 、 $E_{\text{电动工具}}$ 、 $E_{\text{吊车}}$ 、 $E_{\text{焊接工具}}$ 、 $E_{\text{检测装备}}$ 、 $E_{\text{电力装备}}$ 为生产装备、电动工具、焊接工具、检测装备、电力装备用能产生的电力能源碳排放量； $E_{\text{车辆}}$ 为生产制造环节所用车辆产生的燃油碳排放量。

$$E_{\text{电能}} = AD_{\text{电}} \times EF_{\text{电}}$$

$$E_{\text{柴油}} = AD_{\text{柴油}} \times EF_{\text{柴油}}$$

其中， $E_{\text{电能}}$ 、 $E_{\text{柴油}}$ 分别为消耗电力能源的碳排放量和消耗燃油的碳排放量； $AD_{\text{电}}$ 、 $AD_{\text{柴油}}$ 分别为用电量和柴油消耗量； $EF_{\text{电}}$ 、 $EF_{\text{柴油}}$ 分别为电力排放因子和柴油排放因子。

3.3.2. 确定计算参数和排放因子

计算参数是根据上述设置的碳排放计算公式，确定生产制造环节的活动数据，锁定计算排放所需的用能数据。计算参数包括用电装备和车辆的用能数据，碳排放因子包括电力和柴油排放因子[14]，以下具体说明：

1) 用电装备的用能数据：根据计算方法的设定，收集单次作业所有用电装备的用电量、生产电力装备量数据，计算一定时间内的用电装备的用电量。

2) 用油装备的用能数据：根据计算方法的设定，收集单次作业所有车辆的耗油量、生产电力装备量数据，计算一定时间内的车辆的耗油量。

3) 电力和柴油排放因子：电力排放因子参考联合国清洁发展机制下的《电力系统排放因子计算工具》的电力排放因子数据，柴油排放因子参考柴油车国六排放标准下的柴油排放因子数据。

3.4. 开展电力装备生产制造环节碳排放试算

根据上述建立的碳排放核算清单以及配置的计算方法，设计形成适用于电力装备生产制造的碳排放核算表[15]，为后续电力装备生产制造碳排放核算做支撑，

根据上述设计的明确核算边界与识别碳排放源、编制核算清单、配置计算方法、开展碳排放试算四个碳排放核算步骤，对电力装备生产制造各环节进行碳排放核算工作，有利于生产制造企业掌握准确、完整的碳排放数据，高效地完成对电力设备生产制造各环节的碳排放核算，见表 2。

Table 2. Carbon emission accounting table for the production and manufacturing process of power equipment
表 2. 为电力装备生产制造环节碳排放核算表

装备生产制造环节	排放源	计算方法	数据要求
零部件制造	数控车床、数控铣床等生产装备以及打孔、打磨等电动工具	零部件制造碳排放量 = 生产装备以及电动工具的用电量 × 电力排放因子	电力消耗(Kwh)
装备组装和焊接	叉车、搬运车等车辆和吊车和电焊机、气焊机等焊接工具	1) 车辆碳排放量 = 车辆的柴油消耗量 × 柴油排放因子 2) 吊车和焊接工具碳排放量 = 吊车和焊接工具的用电量 × 电力排放因子	柴油消耗(L) 电力消耗(Kwh)
装备检测	万用表、示波器、绝缘测试仪等检测装备和被检测的电力装备	装备检测碳排放量 = 检测装备和电力装备的用电量 × 电力排放因子	电力消耗(Kwh)

注：电力排放因子参考联合国清洁发展机制下的《电力系统排放因子计算工具》的电力排放因子数据，柴油排放因子参考柴油车国六排放标准下的柴油排放因子数据。

4. 结束语

本文借鉴国内外碳排放核算理论方法，首先明确电力装备生产制造过程中的各个流程，然后在碳排放因子核算法的基础上，确定碳排放的核算边界，识别生产过程中的各个碳排放源，接着编制碳排放核算清单，然后根据碳排放核算清单配置相应的计算方法，最终开展对整个生产过程的碳排放进行试算。本文设计了一套适用于电力装备生产制造环节的碳排放核算方法，建立一项支持该环节的碳排放核算工具，降低电力装备生产过程中碳排放核算的复杂度，通过分析精确的电力装备生产制造环节的碳排放量，在电力物资供应链装备生产制造碳排放核算方面提供了方法参考，有利于电力设备生产制造企业制定相应的碳减排措施，助力企业低碳减排和提高企业的核心竞争力，实现电力物资供应链的低碳转型。

参考文献

- [1] 谢杰, 曲雯洁. 浅谈碳计量对于实现“双碳”目标的重要作用[J]. 计量与测试技术, 2023, 50(8): 48-50.
- [2] 郝千婷, 黄明祥, 包刚. 碳排放核算方法概述与比较研究[J]. 中国环境管理, 2011(4): 51-55.
- [3] 张铁山, 饶睿, 高慧洁, 等. 机械制造企业碳排放核算方法研究[J]. 环境工程, 2014, 32(S1): 495-497.
- [4] 栗驰. 物料平衡法分析纯碱企业降耗减污潜力[J]. 资源节约与环保, 2021(3): 140-142.
- [5] 宋迎春, 杨文映, 周耀鑫. 制造企业碳排放成本核算与披露研究[J]. 财会通讯, 2020(3): 88-91.
- [6] 戴望. 全球价值链参与度对中国出口贸易隐含碳排放的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2021.
- [7] 张铁山, 陈小双. 汽车制造企业生产过程碳排放核算与策略[J]. 企业经济, 2014, 33(10): 17-21.
- [8] 高春艳, 牛建广, 王斐然. 钢材生产阶段碳排放核算方法和碳排放因子研究综述[J]. 当代经济管理, 2021, 43(8): 33-38.
- [9] 顾佰和, 谭显春, 谭显波, 等. 制造系统生产单元碳排放核算模型[J]. 中国管理科学, 2018, 26(10): 123-131.
- [10] 张铁山, 陈小双. 汽车制造企业生产过程碳排放核算与策略[J]. 企业经济, 2014, 33(10): 17-21.
- [11] 夏磊, 刘慧, 邓颖慧, 等. 工业生产过程温室气体排放核算方法探讨[J]. 环境与发展, 2023, 35(2): 77-80.
- [12] 张凡, 王树众, 李艳辉, 等. 中国制造业碳排放问题分析与减排对策建议[J]. 化工进展, 2022, 41(3): 1645-1653.
- [13] 毛超, 袁甜, 刘贵文, 等. 预制构件生产阶段碳排放数据库系统设计[J]. 工程管理学报, 2020, 34(1): 31-36.
- [14] 高春艳, 牛建广, 王斐然. 钢材生产阶段碳排放核算方法和碳排放因子研究综述[J]. 当代经济管理, 2021, 43(8): 33-38.
- [15] 狄慧慧. 绿色制造系统的碳排放核算及风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国科学院大学, 2015.