

电网物资质量检测全过程碳排放测算方法研究

雷仲强¹, 邹 玥¹, 张行健¹, 倪 浩¹, 赵述金¹, 肖 锋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: 2023年2月20日; 录用日期: 2023年3月12日; 发布日期: 2023年3月21日

摘 要

本文重点探讨在绿色低碳发展趋势下, 针对电网企业供应链质检环节变压器的碳排放测算方法。基于IPCC方法、生命周期法, 结合电网企业质检环节实际情况, 全面摸清变压器检测全过程碳排放构成, 科学构建电网企业质检环节变压器碳排放测算方法, 并为碳排放测算的实施应用提出建议, 支撑电网企业掌握变压器质检全过程碳排放, 为电网企业制定减碳策略奠定重要基础。

关键词

碳测算, 全生命周期, 变压器, 供应链, 质量检测

Research on Measurement Method of Carbon Emission in the Whole Process of Transformer Quality Inspection

Zhongqiang Lei¹, Yue Zou¹, Xingjian Zhang¹, Hao Ni¹, Shujin Zhao¹, Feng Xiao²

¹State Grid Shanghai Electric Power Company Materials Company, Shanghai

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

Received: Feb. 20th, 2023; accepted: Mar. 12th, 2023; published: Mar. 21st, 2023

文章引用: 雷仲强, 邹玥, 张行健, 倪浩, 赵述金, 肖锋. 电网物资质量检测全过程碳排放测算方法研究[J]. 管理科学与工程, 2023, 12(2): 163-170. DOI: 10.12677/mse.2023.122018

Abstract

This paper focuses on the carbon emission measurement method of transformer in supply chain quality inspection of power grid enterprises under the trend of green and low-carbon development. Based on the IPCC method, life cycle method, combined with the actual situation of the quality inspection link of power grid enterprises, the carbon emission composition of the whole process of transformer testing is comprehensively figured out, the measurement method of transformer carbon emission in the quality inspection link of power grid enterprises is scientifically constructed, and suggestions are put forward for the implementation and application of carbon emission measurement, so as to support power grid enterprises to master the carbon emission in the whole process of transformer quality inspection. It lays an important foundation for power grid enterprises to formulate carbon reduction strategies.

Keywords

Carbon Measurement, Full Life Cycle, Transformer, Supply Chain, Quality Inspection

Copyright © 2023 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“碳达峰、碳中和”目标提出以来，经济社会全面向绿色低碳发展成为新的趋势。国资委印发《计量发展规划(2021~2035年)》，提出强化计量应用，服务重点领域发展的任务，要求支撑碳达峰碳中和目标实现，完善温室气体排放计量监测体系，加强碳排放关键计量测试技术研究和应用，健全碳计量标准装置，为温室气体排放可测量、可报告、可核查提供计量支撑[1]。电网企业作为首要的能源消耗企业，在推动供应链绿色能型，引领链上企业共同降碳方面发挥重要作用。质量检测环节作为保障电网安全的重要关卡，需要对入网产品进行全面抽检，产生大量碳排放，是电网供应链运营全环节主要排放领域[2]，而变压器作为最重要的设备之一，是系统开展碳排放测算的关键部分，亟需掌握变压器检测环节全过程的碳排放量。本文通过探索变压器质量检测全过程碳排放测算方法，能够帮助电网企业全面摸清检测全过程碳排放构成，科学评估变压器检测全过程的碳排放，为行业内外具有绿色发展需求的企业提供借鉴样板，对推动全社会去碳化发展具有重要意义。

2. 理论与标准分析

(一) IPCC 方法

IPCC，全称为 Intergovernmental Panel on Climate Change，是由联合国与世界气象组织联合成立的致力于评估与企业变化相关的科学机构。IPCC 在编制的《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中提出了一套碳排放核算的理论框架，目前是国际上通用的温室企业清单指南计算方法[3]。IPCC 方法在应用过程中，可以假定某种能源的碳排放的碳排放系数是恒定的，对该能源的消耗量与对应的碳排放系数的乘积获取该能源的碳排放量。此方法提供了具体的排放原理和计算方法，被广泛应用于公司部门或某企业或某行业的碳排放测算。

(二) 生命周期法

生命周期法(Life Cycle Assessment, LCA)又名排放系数法或过程分析法,应用于评估某一产品从原材料获取、制造、使用到废弃、回收的整个生命周期内的能源消耗以及对环境产生的潜在影响[4]。ISO 制订了 14,040 标准,把 LCA 实施步骤分为目标和范围定义、清单分析、影响评价和结果解释 4 个部分,其计算原理是质量的平衡方程,保证产品全生命周期所涉及的所有流入、流出和累计达到平衡[5]。

3. 碳排放测算方法设计

(一) 明确核算边界



Figure 1. Schematic diagram of emission sources in logistics and transportation links of transformer quality testing
图 1. 变压器质量检测物流运输环节排放源示意图

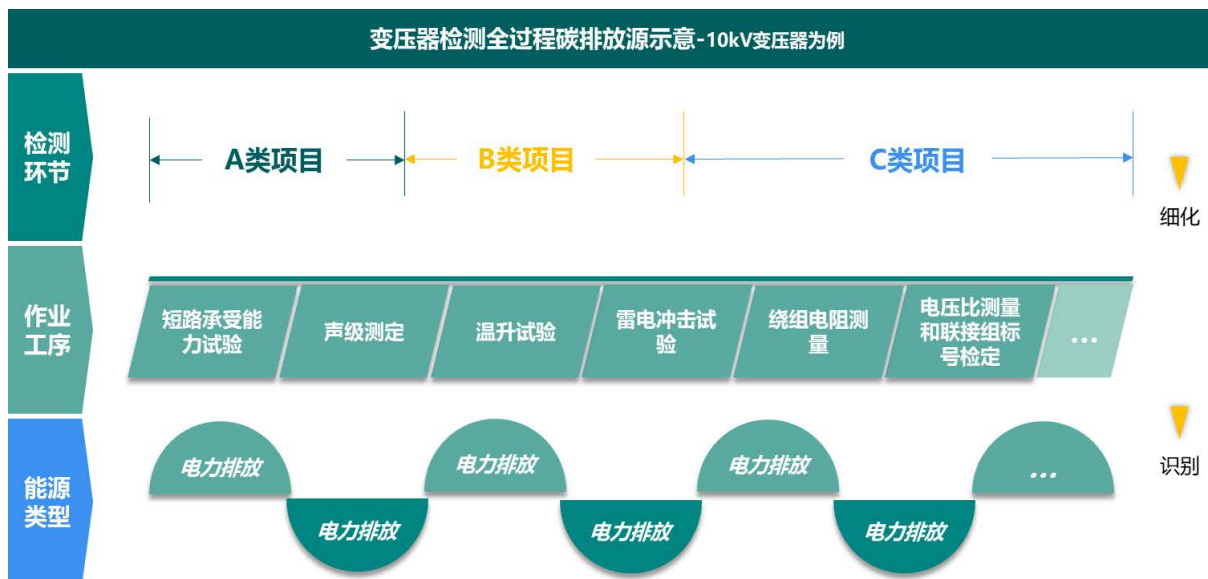


Figure 2. Schematic diagram of emission sources in transformer quality inspection link
图 2. 变压器质量检测环节排放源示意图

从试点变压器质量检测业务流程切入,围绕检测实施及检测环节抽检样品空间移动等主要业务环节,梳理变压器检测全过程、全环节作业节点,首先是抽检物资送检,通过运输至指定检测机构的物流活动产生的排放,部分品类物资检测后存在返回运输活动(见图 1);其次是面向具体检测业务,包含 A 类、B 类、C 类检测作业活动产生的碳排放(见图 2),最终明确了电网企业变压器检测环节碳排放测算的边界范围,为整个排放测算方案设计奠定基础[6]。

基于变压器检测业务的测算边界,调研检测过程各个工序作业人员,分别按照 10 kV 变压器作为试点品类,细化送检和送返运输、A、B、C 三类检测项目的作业内容[7],梳理每一个业务环节、每一道检测工序所需的作业设备和用能类型等信息,掌握检测业务活动产生的各类排放源(见图 3),支撑排放清单编制。

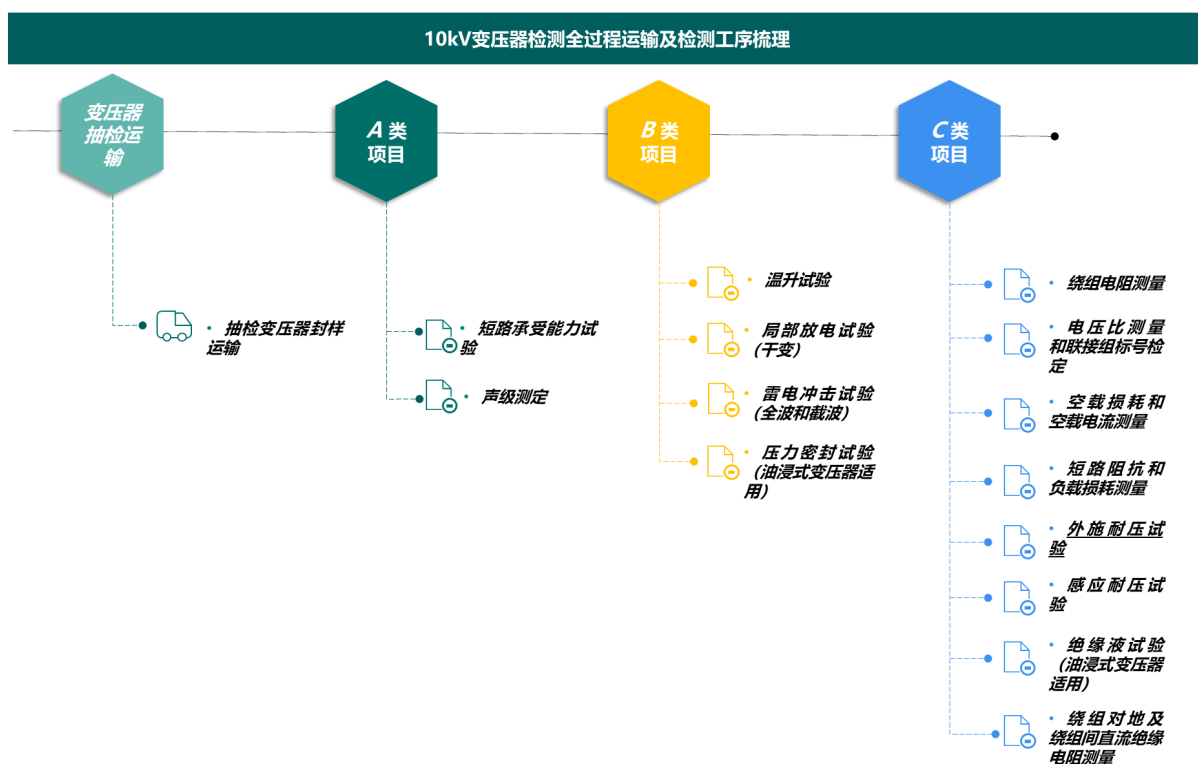


Figure 3. Schematic diagram of the whole process of 10 kV transformer quality detection
图 3. 10 kV 变压器质量检测全环节工序示意图

通过调研,围绕 10 kV 变压器试点品类物资的检测全环节,以 A、B、C 三类样品运输、质量检测和物流活动为基础,细化梳理变压器检测工序和物流环节,为系统建立物资质量检测全过程、全环节碳排放提供技术支撑。

(二) 编制核算清单

在识别了电网企业变压器检测全过程排放源的基础上,借鉴前期理论和研究方法研究结论,根据细化梳理的排放源信息,按检测项目、作业流程,编制适用检测环节的排放测算清单[8]。在各排放环节梳理的检测设备、用能类型基础上,增加检测作业设备额定功率的参数字段、对应该检测作业所需作业时长的数据,编制变压器的检测业务碳排放测算清单。

经过与相关作业人员深度调研,验证变压器检测业务全环节的排放类型及对应测算方法、数据要求等内容,确定检测业务全环节均为电力能源产生的碳排放,由各种检测作业设备运行产生,10 kV 变压器共有 12 个检测工序,根据上述调研内容编制排放测算清单(见表 1)。

Table 1. Carbon emission measurement list of 10 kV transformer testing link
表 1. 10 kV 变压器检测环节碳排放测算清单

序号	检测环节	排放源	能源类型
1	送检运输	车辆运输	运输车辆产生的化石燃料排放
2	质量检测-A 类项目	短路承受能力试验	检测设备用能产生的电力能源排放
3		声级测定	
4		温升试验	
5	质量检测-B 类项目	雷电冲击试验(全波和截波)	
6		压力密封试验(油浸式变压器适用)	
7	质量检测-C 类项目	绕组电阻测量	
8		电压比测量和联接组标号检定	
9		空载损耗和空载电流测量	
10		短路阻抗和负载损耗测量	
11		外施耐压试验	
12		感应耐压试验	
13		绝缘液试验(油浸式变压器适用)	
14	送返运输	车辆运输	

(三) 配置计算方法

依据质量检测全环节碳排放源梳理情况，以排放测算清单为基础，应用 IPCC 提供的排放因子法作为测算方法，针对每一个检测业务的排放源，配置适用的计算公式、确定计算参数，确保测算清单中所列各排放源可计算[9]。

1、计算公式

按照检测各环节能源排放类型，分别设定物流和检测耗两个环节排放计算方法。运运输环节，根据抽检运输业务特点，基于排放因子法，为送检、送返运输环节车辆作业排放匹配计算方法。质量检测环节，计算碳排放量是以排放因子法为基础，逐一为每一个排放清单上的排放源匹配计算方法，分类合计 A 类、B 类、C 类检测项目碳排放量、最后累加 3 类检测项目碳排量，测算出试点产品质量检测环节的碳排放总量。检测碳排放计算公式由活动量与排放因子两个重要参数组成[10]，计算方法如下：

1) 运输环节

送检运输排放量 = 送检物资运输里程 × 车辆单位里程燃油消耗量 × 柴油排放因子。

$$E_{\text{送检}} = AD_{\text{里程}} \times K_{\text{燃油}} \times EF_{\text{柴}};$$

$E_{\text{送检}}$ 为送检产品运输作业的碳排量；

$AD_{\text{里程}}$ 为送检产品运输车辆的柴油消耗量；

$K_{\text{燃油}}$ 为车辆每公里柴油消耗量；

$EF_{\text{柴}}$ 为柴油排放因子。

送返运输排放量 = 返回物资运输里程 × 车辆单位里程燃油消耗量 × 柴油排放因子。

$$E_{\text{送返}} = AD_{\text{里程}} \times K_{\text{燃油}} \times EF_{\text{柴}};$$

$E_{\text{送返}}$ 为送返产品运输作业的碳排量；

$AD_{\text{里程}}$ 为送检产品运输车辆的柴油消耗量；

$K_{\text{燃油}}$ 为车辆每公里柴油消耗量;

$EF_{\text{柴}}$ 为柴油排放因子。

2) 检测环节

所述 10kV 变压器检测过程碳排放量的计算公式如下:

$$E_{\text{检测}} = E_A + E_B + E_C;$$

$E_{\text{检测}}$ 为电网物资检测过程的总排放量;

E_A 为 A 类检测项目的碳排放量;

E_B 为 B 类检测项目的碳排放量;

E_C 为 C 类检测项目的碳排放量。

根据调研反馈情况, 3 类检测项目用电量均为电力能源, 因此结合排放因子法的计算框架和逻辑, 明确了使用检测项目用电量与电排放因子的乘积来计算每一个排放源的碳排放量。计算方法如下:

以变压器产品温升试验为例, 计算公式如下:

$$E_{\text{温升}} = AD_{\text{电}} \times EF_{\text{电}};$$

$E_{\text{温升}}$ 为送检变压器产品温升试验的碳排放量;

$AD_{\text{电}}$ 为送检变压器产品在温升试验中的用电量;

$EF_{\text{电}}$ 为电力排放因子。

2、计算参数

计算参数有助于快速采集试点产品检测环节用能数据, 支持检测过程排放计算, 根据碳排放计算公式, 确定用能数据是准确计算碳排放量的关键。物流运输环节, 统计单次送检或送返物流活动的运输里程作为物流环节的计算参数; 质量检测环节, 统计每一个检测环节的设备能效标准和运行时长, 作为计算质量检测全过程碳排放。

3、排放因子

根据碳排放计算公式, 排放量计算包含电力能源消耗量、与排放因子 2 项测算所需数据。排放因子是各种能源单位活动产生的温室气体排放, 物资检测全过程的能源排放为运输燃油和检测电力两种能源, 柴油排放因子参照《公共建筑运营企业温室气体排放核算方法和报告指南(试行)》, 柴油排放因子取数为 3.1429 tCO₂/t; 电力排放因子生态环境部印发《关于做好 2022 年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》, 排放因子取数为最新的 0.5810 tCO₂/MWh, 本项目研究参考该数据, 确保计算单位统一(见表 2)。

Table 2. Emission factor parameters

表 2. 排放因子参数

能源类型	排放因子	单位	换算系数	数据来源
净购入电力产生的排放(tCO₂)				
柴油	3.1429	tCO ₂ /t	1 L = 0.00085t	《公共建筑运营企业温室气体排放核算方法和报告指南(试行)》
净购入电力产生的排放(tCO₂)				
电力	0.5810	tCO ₂ /MWh	1 MWh = 10 ³ KWh	《企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施(2022 年修订版)》

(四) 锁定基础数据

在调研过程中, 识别了每一个业务环节、每一道检测工序的作业设备, 掌握了所有运行设备的能源类型、技术参数、运行时效等信息。再根据试点品类送检和送返运输、质量检测等环节的排放量计算方式, 明确了变压器检测全过程全环节的能源排放计算方法和对应计算所需数据, 双向结合锁定了各个环

节数据采集范围和具体内容(见表3)。

Table 3. Data collection list of carbon emission measurement in the detection process of 10 kV transformer
表 3. 10 kV 变压器检测环节碳排放测算数据采集清单

序号	检测环节	检测项目	计算方法	数据要求
1	送检	车辆运输	(1) 送检碳排放 = 运输里程 × 单位里程油耗 × 柴油排放因子	里程数(KM) 油耗(L/KM)
2	质量检测-A 类项目	短路承受能力试验	(1) A 类项目碳排放 = 排放 1 + 排放 2;	
3		声级测定	(2) 排放 1 排放量 = 用电量 × 电排放因子(举例)。	
4	质量检测-B 类项目	温升试验	(1) B 类项目碳排放=排放 3+排放 4+……排放 n; (2) 排放 3 排放量=用电量×电排放因子(举例)。	检测设备额定功率(kWh)、 检测作业时长(h)
5		雷电冲击试验(全波和截波)		
6		压力密封试验(油浸式变压器适用)		
7		绕组电阻测量		
8		电压比测量和联接组标号检定		
9	质量检测-C 类项目	空载损耗和空载电流测量	(1) C 类项目碳排放 = 排放 6 + 排放 7+……排放 n; (2) 排放 6 排放量 = 用电量 × 电排放因子(举例)。	
10		短路阻抗和负载损耗测量		
11		外施耐压试验		
12		感应耐压试验		
13		绝缘液试验(油浸式变压器适用)		
14	送返	车辆运输	(1) 送返碳排放 = 运输里程 × 单位里程油耗 × 柴油排放因子	里程数(KM) 油耗(L/KM)

4. 实施建议

(一) 数据采集方面

1、建立数据统计模板

考虑质量检测碳排放测算涉及传统化石燃料、电力两类能源排放，数据来源具有多渠道、未统计、需加工的情况，即：活动数据、计算参数、排放因子等从多个渠道收集，存在运输油耗、检测工序用能等数据未统计，并按照计算要求换算计算数据。应设计数据采集模板，固化数据字段与统计口径，实现排放数据规范统计、快速填报，提升数据质量。

2、推动排放数据治理

质量检测各环节用能数据是确保排放准确测算的基础，当前仍旧存在部分字段信息数据无法直接采集，需要二次加工合成再应用，造成测算所需的数据无法及时响应。通过应用落地，结合数据采集模板，梳理每一项数据需求、建立统一数据标准，开发数据业务模型辅助开展用能数据治理工作，确保碳排放测算数据基础。

3、建立碳排放因子库

在碳排放测算时，缺少不同车型单位里程油耗等用于计算碳排放量的因子数据，不利于快速、便捷、准确的计算碳排放量。下阶段，在推广应用测算方法的基础上，不断积累不同车型运输油耗，以及检测过

程一二次能源排放因子等数据，建立能源系数转换模型，逐步形成排放因子库，为测算各种供应链活动排放提供有效数据。

(二) 测算模型优化

1、优化模型测算精度

依据测算方法搭建测算模型，作为支持质量检测过程碳管理工作开展的应用工具，应尽快推动应用实践，验证基础模型的运算逻辑。在获取应用反馈后，以优化模型测算准确性为方向，进一步梳理检测过程排放源计算方法，识别每一个排放设备用能方式、作业过程中能源波动规律，完善每一道工序的排放计算规则，总体实现测算模型优化。

2、调整排放计算参数

试点变压器质量检测全过程碳排放测算涉及到柴油、电力两种能源排放因子辅助开展排放测算，考虑到国家有关部门定期调整能源碳排放因子，其中电力排放因子存在地区性差异的情况，以及行业排放因子数据不足，可参考引用的权威数据较少的困难，造成柴油等排放因子取数难等问题，需要不断扩大排放因子采集渠道，建立数据库，提升数据获取效率和权威性，保证核算结果的精确性。

5. 结束语

本文研究构建了一套变压器质量检测全过程碳排放测算方法，明确了核算范围、计算方法、数据要求等要素，为碳排放核算提供了清晰的方法和路径，帮助电网企业掌握变压器检测全过程碳排放情况，核算结果有助于电网企业深入分析供应链碳减排重点环节，识别排放行为与影响因素，引入多种减排管理理念与技术手段，制定适用电网供应链减排的关键举措，促进电网供应链绿色发展。

参考文献

- [1] 刘韵, 师华定, 曾贤刚. 电力企业碳足迹的生命周期核算技术体系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(12): 321-324.
- [2] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995-2004 [J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 158-161.
- [3] 蒋金荷. 中国碳排放量测算及影响因素分析[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 597-604.
- [4] 李楠. 产品碳足迹标准对比及其供应链上的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [5] 鲁非, 张露, 卢仰泽, 黄泽琦. 基于电网全过程链的变压器碳排放测算与评价研究框架及应用展望[J]. 湖北电力, 2022(4): 117-123.
- [6] 席云华, 黎立丰, 董楠. 电网企业碳排放核算存在问题及建议[J]. 中国电业, 2021(4): 88-89.
- [7] 张森林. “双碳”背景下优化调整电网碳排放因子的思考[J]. 中国电力企业管理, 2022(22): 64-67.
- [8] 王玘. 基于碳足迹分析的变压器低碳优化设计[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- [9] 张鹏飞. 500kV 变压器在线监测技术的应用研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2020(10): 72-78.
- [10] 胡晖, 周广成, 李安茂. 高压试验中变压器试验问题及故障处理方法[J]. 科技资讯, 2022, 20(15): 63-65.