

配网基建工程碳排放核算方法研究

刘 鑫, 韩 东

国网上海市电力公司经济技术研究院, 上海

收稿日期: 2024年12月9日; 录用日期: 2025年1月21日; 发布日期: 2025年1月30日

摘 要

自双碳目标提出以来, 我国加快经济社会发展全面绿色转型。电力配电网连接着电力生产和消费两端, 是助力能源结构转型和绿色能源消费的中心环节。随着城市建设和构建新型电力系统的步伐加快, 城市配电网投资建设和升级改造需求剧增, 同时产生的碳排放成为电网降碳的重点。本文以国际通用的碳排放核算方法为基础, 深入摸排配电网基建过程的碳排放构成, 研究制定一套能够量化评价电网工程项目的碳排放水平的方法, 为科学制定项目减碳策略提供决策依据, 助力电网绿色低碳转型。

关键词

电网工程, 配电网建设, 配网基建工程, 碳排放核算

Research on Carbon Emission Accounting Method of Distribution Network Infrastructure Project

Xin Liu, Dong Han

Economic and Technical Research Institute of State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai

Received: Dec. 9th, 2024; accepted: Jan. 21st, 2025; published: Jan. 30th, 2025

Abstract

Since the dual-carbon goal was proposed, our country has accelerated the comprehensive green transformation of economic and social development. The power distribution network connects the two ends of power production and consumption, and is the central link to help the transformation of energy structure and green energy consumption. With the acceleration of urban construction and the construction of new power systems, the demand for investment in construction and upgrading of urban distribution networks has increased sharply, and the carbon emissions generated at the

same time have become the focus of power grid carbon reduction. Based on the internationally accepted carbon emission accounting method, this paper deeply explores the carbon emission composition of the distribution network infrastructure process, and studies and formulates a set of methods that can quantitatively evaluate the carbon emission level of power grid engineering projects. It provides decision-making basis for scientifically formulating project carbon reduction strategies and helps power grid green and low-carbon transformation.

Keywords

Power Grid Engineering, Distribution Network Construction, Distribution Network Infrastructure Engineering, Carbon Emission Accounting

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

随着我国双碳战略的不断推进,全社会各领域都在加快推进绿色转型发展。2024年7月,中共中央国务院印发《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》[1],强调要坚定不移走生态优先、节约集约、绿色低碳高质量发展道路,以碳达峰碳中和工作为引领,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,加快经济社会发展全面绿色转型。掌握碳排放是精准制定降碳策略,推进绿色低碳转型的基础。2024年10月,国家发改委等部门发布《完善碳排放统计核算体系工作方案》[2],提出要破解构建碳排放统计核算体系面临的短板制约,完善电力、钢铁、有色等重点行业领域碳排放核算机制,提升各层级、各领域、各行业碳排放统计核算能力水平。

能源电力是实现双碳目标的主战场,电网企业是降碳扩绿的排头兵。电力配电网连接着电力生产和消费两端,是助力能源结构转型和绿色能源消费的中心环节。随着城市建设和构建新型电力系统的步伐加快,需要大规模的城市配电网投资建设和升级改造,同步造成了大体量温室气体排放,这也成为了电网绿色降碳的重点领域。全面掌握电网建设和运营全环节碳排放结构,因地制宜制定落实碳减排策略,是推动电网去碳,并带动经济社会绿色发展的基础。因此,本文以绿色低碳发展为目标,基于国际通用的碳排放核算方法,针对配电网基建工程开展碳排放核算方法研究,目标构建一套能够量化评价配电网工程项目碳排放水平的基础方法,对助力提升配电网碳排放研究水平,推动源网荷储绿色低碳发展具有重要意义。

2. 理论与方法学研究

(一) 相关理论研究

1) 英国碳足迹计算准则 PAS2050

英国碳足迹计算准则 PAS2050, 全称为《PAS2050: 2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》(Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services), 是由英国标准协会(BSI)制定, 是全球首个产品碳足迹核算标准。PAS2050 提出相关性、完整性、一致性、准确性以及透明度五个原则, 适用于各种类型的产品和服务, 它覆盖了产品的整个生命周期, 包括原材料获取、生产制造、包装、运输、使用阶段以及最终的废弃处理阶段[3]。

2) 国际标准化组织产品碳足迹标准 ISO14067

ISO14067 是国际标准化组织发布的用于产品碳足迹量化与沟通的标准, 全称为《产品碳足迹量化要求及指南》, 它为产品碳足迹的量化提供了一种国际公认的、科学的方法学框架, 能够帮助组织量化产品和服务从原材料获取、生产、分销、使用到最终废弃处理的整个生命周期内温室气体的排放量。标准将碳足迹核算分为四个阶段, 目的与范围的确定、生命周期清单分析、生命周期影响评价和生命周期解释。相对于 PAS2050 而言, PAS2050 相对具体, 包括具体计算方法和相关参数, 而 ISO14067 则比较宽泛, 开展此类活动的组织, 皆可依据该标准进行碳足迹评估, 是有效推动绿色商品或服务评价的工具[4]。

(二) 核算方法研究

IPCC 的碳排放核算方法主要有三种: 排放因子法、质量平衡法和实测法。其中, 排放因子法最早由 IPCC 发布的《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中提出, 又称 IPCC 方法, 是目前应用最为广泛的温室气体排放核算方法。即把有关人类活动发生程度的信息(Activity Data, AD)与量化单位活动的排放量或清除量系数(Emission Factor, EF)结合起来[5]。

其基础公式是: 温室气体排放量(E) = 活动数据(AD) × 排放因子(EF)。活动数据是导致温室气体排放的生产或消费活动的活动量, 如化石燃料的消耗量、净购入的电量等; 排放因子是与活动水平数据对应的系数, 包括单位热值含碳量、氧化率等, 表征单位生产或消费活动量的温室气体排放系数。

3. 业务分析及清单量化

通过 PAS2050、ISO14067 以及碳足迹核算方法等文献资料, 总结归纳碳足迹量化评价可行方法, 开展碳足迹核算首先要明确核算范围和边界, 识别碳排放源, 从而编制核算清单, 为建立碳足迹核算模型构建提供依据。

(一) 明确核算范围和边界

在配电网建设工程实际开展过程中, 产生的碳排放量主要集中在工程施工阶段, 因此在研究过程中聚焦工程施工阶段, 对该业务模块中涉及到的具体工程项目内容进行梳理研究, 忽略可行性研究阶段、初步设计阶段、施工准备阶段以及竣工投产阶段所产生的碳排放量, 进而形成项目边界。

遵循相关方法学提出的碳排放核算方法, 综合考虑排放活动的开展方式、实施对象及活动周期, 识别出业务边界范围。根据工程施工阶段具体工程项目, 按照工地运输、土石方工程、基础工程、杆塔组立、导线架设、杆上变配电装置以及带电作业七个单元划分, 为量化配电网建设工程全过程业务活动以及识别碳排放源提供分析依据。

(二) 识别碳排放源

根据业务活动边界及范围的梳理结果, 为进一步量化配电网建设工程全过程碳排放单元, 系统全面开展碳足迹清单分析, 清单分析范围即为对配电网建设工程的工程施工阶段中所有业务单元碳排放源进行识别, 明确能源排放类型, 进而形成适用于配电网建设工程的排放核算清单, 为后续核算模型研究提供支撑。

1) 工地运输单元

工地运输环节的碳排放源涵盖了多种运输设备, 主要包括用于运输建设材料的各类运输车辆(包括电力工程车、各种型号起重机以及海上运输所使用的机动船舶), 在运输装卸过程中使用到的材料则以二等红白松和运输保护钢支架为主。以上涉及工地运输环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

2) 土石方工程单元

土石方工程环节的碳排放源涵盖了多种运输设备、土方设备以及工程作业设备, 主要包括电力工程车、污水泵、履带式推土机、履带式单斗挖掘机以及平板拖车组等设备, 工程开展过程中还会使用到雷

管、导火索、二等红白松等材料。以上涉及土石方工程环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

3) 基础工程单元

基础工程环节的碳排放源涵盖了多种土方基础施工设备、混凝土施工设备、电力工程设备以及起重运输设备,主要包括电力工程车、混凝土搅拌机、回旋钻机、混凝土振捣器、履带式柴油打桩机以及输电专用汽车式起重机等设备,工程开展过程中还会使用到型钢综合、水、二等红白松等材料。以上涉及基础工程环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

4) 杆塔组立单元

杆塔组立环节的碳排放源涵盖了多种电力工程专用设备、起重运输设备、基础施工设备、焊接设备以及牵引设备,主要包括电力工程车、机动绞磨、交流电焊机、汽车式起重机、输电专用载重汽车以及一体式立杆机等设备,工程开展过程中还会使用到电焊条、二等红白松、合金钻头、膨胀螺栓以及普通调和漆等材料。以上涉及杆塔组立环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

5) 导线架设单元

导线架设环节的碳排放源涵盖了多种电力工程专用设备、液压机械工具以及运输设备,主要包括机动液压压接机、电力工程车以及机动船舶等设备,工程开展过程中还会使用到冲击钻头、醇酸防锈漆、钢锯条、金属软管卡子、金属软管锁紧螺母、汽油、塑料管卡子以及锡基钎料等材料。以上涉及导线架设环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

6) 杆上变配电装置单元

杆上变配电装置环节的碳排放源涵盖了多种电力工程专用设备、施工维护设备以及测试测量设备,主要包括输电专用汽车式起重机、电力工程车、充气式试验变压器、绝缘电阻测试仪、高压试验变压器、直流电阻测试仪以及直流高压发生器等设备,工程开展过程中还会使用到醇酸防锈漆、镀锌六角螺栓综合、钢锯条、红丹防锈漆、砂轮切割片以及普通调和漆等材料。以上涉及杆上变配电装置环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

7) 带电作业单元

带电作业环节的碳排放源涵盖了多种电力工程专用设备、运输设备以及加工设备,主要包括电力工程车、绝缘斗臂车、汽车式起重机以及摇臂钻床等设备,工程开展过程中还会使用到蚕丝绝缘绳、单相消弧开关、导线端头绝缘罩、导线遮蔽罩、横担绝缘遮蔽罩、绝缘安全帽、绝缘服、绝缘毯、绝缘套鞋以及绝缘引流线等材料。以上涉及带电作业装置环节的能源排放类型为电力排放、化石燃料排放以及材料消耗产生的间接排放。

(三) 编制排放清单

根据配电网建设工程全环节碳排放源梳理结果,形成排放核算清单。清单分析及编制明确了各环节涵盖的排放源和排放类型,既明确了用能设备和能源类型,同时也考虑了各类耗材产生的间接排放,最终形成各单元排放清单。碳足迹排放清单内容具体如下表 1~3 所示。

4. 排放计算及模型构建

以碳排放清单为基础,进一步开展碳排放测算模型研究,配置计算方法,搭建测算模型,根据模型计算逻辑,编制碳排放计算模板,支撑碳排放数据高效计算。基于 IPCC 等碳测算方法,具体通过设计计算模型和编制计算模板开展配网建设工程全周期碳测算模型研究。

(一) 设计测算模型

Table 1. Distribution network infrastructure project emission inventory (equipment)**表 1.** 配电网基建工程排放清单(设备)示意

序号	业务环节	二级业务	用能设备	能源类型	计量方式
1	工地运输	工地运输	电力工程车、输电专用汽车式起重机、输电专用载重汽车、电力工程车、机动船舶	电力/柴油/汽油	人工
2	土石方工程	线路复测及分坑	电力工程车	电力/柴油/汽油	人工
3		.....	.....	.....	.....
4	基础工程	预制基础、现浇基础、钢管杆基础、灌注桩基础、预制桩基础	输电专用汽车式起重机、电力工程车、钢筋切断机、钢筋弯曲机、交流电焊机、污水泵、电力工程车、滚筒式混凝土搅拌机、混凝土捣振器、夯实机等	电力/柴油/汽油	人工
5		.....	.....	.....	.....
6	杆塔组立	混凝土组立、钢管杆组立、铁塔组立	机动绞磨、输电专用载重汽车、电力工程车、输电专用汽车式起重机、一体式立杆机	电力/柴油/汽油	人工
7		.....	.....	.....	.....
8	导线架设	裸铝、钢芯、绝缘铝铝绞线、进户线、钢绞线	机动液压压接机、电力工程车	电力/柴油/汽油	人工
9		.....	.....	.....	.....
10	杆上变配电装置	变压器安装	输电专用汽车式起重机、电力工程车、变压器绝缘电阻测试仪、直流电阻测试仪等	电力/柴油/汽油	人工
11		.....	.....	.....	.....
12	带电作业	10 kV 线路带电断、接引流线、带电立、撤电杆(直线)、带负荷直线杆改耐张杆、临近带电作业布置安全措施、带电(带负荷)装、拆部件、安装柱上负荷开关	电力工程车、绝缘斗臂车、汽车式起重机、摇臂钻床	电力/柴油/汽油	人工

1) 配置计算公式

根据碳排放清单梳理结果显示，配网建设工程涉及的碳排放类型主要包括能源消耗及材料消耗两大类，其中能源消耗对应的排放源包括各类运输和施工使用的设备、车辆及基础设施等，能源类型包括电力、柴油、汽油三类，材料消耗主要涉及工程建设过程中消耗各类人员装备、材料及器具的损耗。梳理各业务环节的排放类型，明确所有业务环节的主要排放类型均为电力、柴油、汽油以及其他相关材料。

根据 IPCC 提供的碳核算基本方程，逐一为各排放源配置计算公式，明确计算参数和排放因子。

公式：温室气体(GHG)排放 = 活动数据(AD) × 排放因子(EF)

其中，AD 是导致温室气体排放的生产或消费活动的活动量，如每种化石燃料的消耗量、净购入的电

Table 2. Emission inventory (materials) of distribution network infrastructure projects
表 2. 配电网基建工程排放清单(材料)示意

序号	业务环节	二级业务	使用耗材	能源类型	计量方式
1	工地运输	工地运输	方材红白松二等、运输保护钢支架	材料	人工
2	土石方工程	线路复测及分坑	普通磁漆、木桩	材料	人工
3		.....	.....	.....	.....
4	基础工程	预制基础、现浇基础、钢管杆基础、灌注桩基础、预制桩基础	聚氯乙烯塑料薄膜、硬木一等、木模板、普通磁漆、型钢综合、角钢综合、电焊条综合等	材料	人工
5		.....	.....	.....	.....
6	杆塔组立	混凝土组立、钢管杆组立、铁塔组立	方材红白松二等、碳钢气焊丝综合、氧气、乙炔气	材料	人工
7		.....	.....	.....	.....
8	导线架设	裸铝、钢芯、绝缘铝铝绞线、进户线、钢绞线	铝绑扎线、汽油、电力复合脂、钢锯条、醇酸防锈漆	材料	人工
9		.....	.....	.....	.....
10	杆上变配电装置	变压器安装	镀锌圆钢、钢垫板综合、镀锌六角螺栓综合、普通调和漆、钢锯条、醇酸防锈漆等	材料	人工
11		.....	.....	.....	.....
12	带电作业	10 kV 线路带电断、接引流线、带电立、撤电杆(直线)、带负荷直线杆改耐张杆、临近带电作业布置安全措施、带电(带负荷)装、拆部件、安装柱上负荷开关	蚕丝绝缘绳、绝缘自粘带、清洁布。毡布、橡胶绝缘手套、羊皮保护手套、绝缘袖套、针式绝缘子绝缘遮蔽罩 LRG、绝缘毯、绝缘服、导线遮蔽罩、跳线绝缘遮蔽罩、导线端头绝缘罩、绝缘毯夹、绝缘引流线、绝缘安全帽、横担绝缘导线	材料	人工

量及材料损耗等。EF 是活动水平数据对应的碳排放因子系数。

配网建设工程全过程业务活动由工地运输、土石方工程、基础工程、杆塔组立、导线架设、杆上变配电装置以及带电作业单元组成，因此全周期碳排放量公式如下：

$$E = E_{\text{工地运输}} + E_{\text{土石方工程}} + E_{\text{基础工程}} + E_{\text{杆塔组立}} + E_{\text{导线架设}} + E_{\text{杆上变配电装置}} + E_{\text{带电作业}}$$

- $E_{\text{工地运输}}$ —— 工地运输环节碳排放量；
- $E_{\text{土石方工程}}$ —— 土石方工程环节碳排放量；
- $E_{\text{基础工程}}$ —— 基础工程环节碳排放量；
- $E_{\text{杆塔组立}}$ —— 杆塔组立环节碳排放量；
- $E_{\text{导线架设}}$ —— 导线架设环节碳排放量；
- $E_{\text{杆上变配电装置}}$ —— 杆上变配电装置环节碳排放量；
- $E_{\text{带电作业}}$ —— 带电作业环节碳排放量。

Table 3. Classification table of emission types in each link**表 3.** 各环节排放类型分类表

业务环节	能源消耗			材料消耗
	电力	柴油	汽油	
工地运输	√	√	√	√
土石方工程	√	√	√	√
基础工程	√	√	√	√
杆塔组立	√	√	√	√
导线架设	√	√	√	√
杆上变配电装置	√	√	√	√
带电作业	√	√	√	√

配网建设工程全过程碳排放核算所涉及的业务环节包括工地运输、土石方工程、基础工程、杆塔组立、导线架设、杆上变配电装置以及带电作业。通过梳理项目边界及排放单元清单，得到各业务环节的碳排放类型均为电力、柴油、汽油以及材料，因此在设计各业务环节碳排放核算公式时应采用相同的计算方式，以土石方工程环节为例，对单业务环节碳排放核算公式进行设计：

$$E_{\text{土石方工程}} = \sum_{i=1}^n (AD_i * EF_i)$$

$E_{\text{土石方工程}}$ —— 土石方工程单元消耗碳排放量；

AD_i —— 土石方工程单元过程中第 i 种排放源对应的活动水平数据；

EF_i —— 土石方工程单元过程中第 i 种排放源对应的排放因子数据[6]。

2) 排放因子选取

为实现配网基建工程碳排放的准确核算，需要选取权威的、行业认可度高的排放因子，包括各排放源在核算年度内的电力、汽柴油及各种材料的碳足迹因子。具体排放因子值建议从以下方式选取：

- 企业按照碳监测方案监测或按质量平衡法核算得到的碳足迹因子；
- 国家主管部门或行业主管机构发布最新的碳足迹排放因子；
- 来源于第三方核证或校验；
- 来源于商业数据库；
- 来源于公开发表的报告、文献等数据或替代数据[7]。

(二) 编制核算模板

根据配网基建工程碳排放核算模型及相关参数要求，以排放清单为模板设计基础，将每一个排放源对应的碳排放计算公式，嵌入到核算模板中，通过导入对应活动数据，实现各用能设备或材料消耗碳排放量结果的直接输出，加总获得配网基建工程全周期的碳排放量(表 4、表 5)。

5. 结束语

本文应用国际通用的碳足迹核算方法，针对配电网基建工程全过程，开展碳排放核算方法研究。经过配电网基建工程业务情况分析，将核算范围和边界划分为工地运输、土石方工程、基础工程、杆塔组立、导线架设、杆上变配电装置以及带电作业七大环节，通过梳理各业务环节碳排放源形成了碳排放清单。并应用 IPCC 基础公式，设计了一套配网基建工程测算模型及核算模板，为细分领域的碳排放测算提供了参考样板，帮助电网公司掌握配网基建工程碳排放全景，为准确识别减碳重点，制定减排策略提供

Table 4. Carbon accounting template (equipment) for distribution network infrastructure projects
表 4. 配电网建设工程碳核算模板(设备)示意

序号	业务环节	二级业务	用能设备	能源类型	活动数据	碳排放量
1	工地运输	工地运输	电力工程车、输电专用汽车式起重机、输电专用载重汽车、电力工程车、机动船舶	电力/柴油/汽油		
2	土石方工程	线路复测及分坑	电力工程车	电力/柴油/汽油		
3		.....	.....	.....		
4	基础工程	预制基础、现浇基础、钢管杆基础、灌注桩基础、预制桩基础	输电专用汽车式起重机、电力工程车、钢筋切断机、钢筋弯曲机、交流电焊机、污水泵、电力工程车、滚筒式混凝土搅拌机、混凝土捣振器、夯实机等	电力/柴油/汽油		
5		.....	.....	.....		
6	杆塔组立	混凝土组立、钢管杆组立、铁塔组立	机动绞磨、输电专用载重汽车、电力工程车、输电专用汽车式起重机、一体式立杆机	电力/柴油/汽油		
7		.....	.....	.....		
8	导线架设	裸铝、钢芯、绝缘铝铝绞线、进户线、钢绞线	机动液压压接机、电力工程车	电力/柴油/汽油		
9		.....	.....	.....		
10	杆上变配电装置	变压器安装	输电专用汽车式起重机、电力工程车、变压器绝缘电阻测试仪、直流电阻测试仪等	电力/柴油/汽油		
11		.....	.....	.....		
12	带电作业	10 kV 线路带电断、接引流线、带电立、撤电杆(直线)、带负荷直线杆改耐张杆、临近带电作业布置安全措施、带电(带负荷)装、拆部件、安装柱上负荷开关	电力工程车、绝缘斗臂车、汽车式起重机、摇臂钻床	电力/柴油/汽油		
碳排放总量						

Table 5. Carbon accounting template (materials) for distribution network infrastructure projects
表 5 配电网建设工程碳核算模板(材料)示意

序号	业务环节	二级业务	使用耗材	能源类型	活动数据	碳排放量
1	工地运输	工地运输	方材红白松二等、运输保护钢支架	材料		

续表

2	土石方工程	线路复测及分坑	普通磁漆、木桩	材料
3		.....	.....	.....
4	基础工程	预制基础、现浇基础、钢管杆基础、灌注桩基础、预制桩基础	聚氯乙烯塑料薄膜、硬木一等、木模板、普通磁漆、型钢综合、角钢综合、电焊条综合等	材料
5		.....	.....	.....
6	杆塔组立	混凝土组立、钢管杆组立、铁塔组立	方材红白松二等、碳钢气焊丝综合、氧气、乙炔气	材料
7		.....	.....	.....
8	导线架设	裸铝、钢芯、绝缘铝铝绞线、进户线、钢绞线	铝绑扎线、汽油、电力复合脂、钢锯条、醇酸防锈漆	材料
9		.....	.....	.....
10	杆上变配电装置	变压器安装	镀锌圆钢、钢垫板综合、镀锌六角螺栓综合、普通调和漆、钢锯条、醇酸防锈漆等	材料
11		.....	.....	.....
12	带电作业	10 kV 线路带电断、接引流线、带电立、撤电杆(直线)、带负荷直线杆改耐张杆、临近带电作业布置安全措施、带电(带负荷)装、拆部件、安装柱上负荷开关	蚕丝绝缘绳、绝缘自粘带、清洁布。毡布、橡胶绝缘手套、羊皮保护手套、绝缘袖套、针式绝缘子绝缘遮蔽罩 LRG、绝缘毯、绝缘服、导线遮蔽罩、跳线绝缘遮蔽罩、导线端头绝缘罩、绝缘毯夹、绝缘引流线、绝缘安全帽、横担绝缘导线	材料

碳排放总量

了科学依据，推动电网企业双碳进程，助力电网绿色低碳发展迈上新台阶。

参考文献

[1] 中共中央国务院. 关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见[EB/OL]. https://news.cnr.cn/native/gd/20240811/t20240811_526846988.shtml, 2024-12-08.

[2] 国家发展改革委生态环境部, 等. 完善碳排放统计核算体系工作方案[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202410/content_6983052.htm, 2024-12-08.

[3] PAS 2050: 2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范[S]. 伦敦: 英国标准协会, 2011.

[4] ISO 14067: 2018 温室气体-产品碳足迹-量化要求及指南[S]. 日内瓦: 国际标准化组织, 2018.

[5] 吴杏平, 康重庆, 袁启恒. 我国碳排放影响因素及电力碳排放核算方法研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(z1): 1-18.

[6] 靳春玲, 羊青青, 等. 铁路路基工程施工阶段碳排放评估及分析[J]. 铁路运输与经济, 2024, 46(11): 53-61.

[7] 何耿生, 曾金灿, 等. 电网平均碳排放因子统计核算方法综述[J]. 环境影响评价, 2024(4): 64-70.