

废旧电缆回收处置阶段碳足迹核算与分析

曹至宏, 林宇庭, 赵玉萍

国网上海市电力公司物资公司, 上海

收稿日期: 2025年11月17日; 录用日期: 2025年11月27日; 发布日期: 2025年12月26日

摘要

本文基于国家“双碳”战略目标,站在全生命周期视角下,针对电力行业废旧电缆回收处置过程中的资源利用率低、碳排放核算不清晰、处理技术落后等问题,开展系统的降碳减排及运作体系研究。通过构建涵盖管理基础与技术基础的废旧电缆回收处置循环利用体系,设计了基于IPCC、ISO 14064等国际标准的碳排放核算方法与模型,明确了回收、拆解、处置各环节的碳排放核算边界、源识别及清单编制方法,为电力行业废旧电缆的绿色低碳处理提供了理论依据与实践指导,对推动电力行业绿色供应链建设、实现资源循环利用具有重要意义。

关键词

“双碳”目标, 废旧电缆, 碳排放核算, 降碳减排, 循环利用, 绿色拆解

Carbon Footprint Accounting and Analysis in the Recycling and Disposal Phase of Waste Cables

Zhihong Cao, Yuting Lin, Yuping Zhao

State Grid Shanghai Procurement Company, Shanghai

Received: November 17, 2025; accepted: November 27, 2025; published: December 26, 2025

Abstract

Based on China's "Dual Carbon" strategic goals and from a full life cycle perspective, this study addresses issues in the recycling and disposal of waste cables in the power industry, such as low resource utilization, unclear carbon emission accounting, and outdated treatment technologies. It conducts systematic research on carbon emission reduction and operational mechanisms. By establishing a recycling system for waste cables that integrates both management and technical

foundations, a carbon emission accounting method and model based on international standards such as IPCC and ISO 14064 are designed. The accounting boundaries, source identification, and inventory compilation methods for carbon emissions in the recycling, dismantling, and disposal stages are clarified. This study provides a theoretical basis and practical guidance for the green and low-carbon treatment of waste cables in the power industry, contributing significantly to promoting the construction of green supply chains and achieving resource recycling in the sector.

Keywords

“Dual Carbon” Goals, Waste Cables, Carbon Emission Accounting, Carbon Emission Reduction, Circular Utilization, Green Dismantling

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

在当前国家“双碳”目标引领及国务院《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》的政策驱动下，电力行业绿色供应链建设面临新的要求与机遇。废旧电缆作为电网运营过程中产生的重要固体废弃物，其回收处置环节的资源利用效率与碳排放水平，直接影响电网企业绿色转型与碳中和目标的实现。然而，作为电缆生命周期末端的关键环节，当前废旧电缆处置仍面临技术手段滞后、碳足迹核算体系缺失、回收流程不完善等现实挑战，亟需构建系统化的回收处置运作体系与降碳方法[1]。本研究立足于双碳背景，聚焦废旧电缆回收处置阶段的碳排放核算、减排路径及循环利用体系构建，旨在为电力行业提供可操作的降碳方案与管理范式，助力电网企业绿色低碳转型与循环经济发发展。

2. 废旧电缆回收处置现状与理论基础

2.1. 废旧电缆回收处置现状分析

国际上对固体废弃物碳足迹的研究起步较早，已形成较为成熟的方法学体系与实践范式。当前研究普遍基于生命周期评价(LBA)方法论，遵循 ISO 14067、IPCC 等国际标准，核算边界已从单一的处置环节拓展至“从摇篮到坟墓”的全链条分析。研究前沿呈现出精细化与动态化两大趋势：一方面，研究对象从混合的城市固体废弃物转向电子废弃物、报废汽车、特定塑料等关键废物流[2]-[6]，深入剖析其回收、拆解、再制造等特定过程的碳足迹；另一方面，高水平研究愈发注重不确定性分析与情景预测，通过构建优化模型，评估未来政策、技术变革及电力结构低碳化对碳足迹的潜在影响[7]。例如，Obersteiner Gudrun 等人的研究表明，在旅游城市实施食物浪费预防、减少一次性塑料及加强废物分类回收三项策略，可实现每千名游客 4 至 189 千克 CO₂ 当量的温室气体减排潜力，其减排效果受当地现有废物管理系统及措施可实践性等因素显著影响[8]。Pak Hyo-Song 等人的研究评估了平壤市固体废弃物能源回收三种方案的能量平衡与碳足迹，表明方案一在净发电量、净效率和碳足迹方面综合表现最优，推荐作为当地能源回收的首选方案[9]。

国内研究紧密围绕国家“双碳”战略，在固体废弃物碳足迹领域发展迅速，并展现出鲜明的应用导向。大量研究聚焦于建筑垃圾[10]、废弃光伏组件[11]、动力电池[12]等具有中国特色的重大废物流，旨在为构建绿色低碳循环发展体系提供决策支持。国内学者积极将碳足迹核算与绿色供应链管理和生产者

责任延伸制度相结合，探讨产业链上下游的碳责任分摊与协同减排路径。例如张鹤年等人以活性 MgO 碳化生土墙板为对象，探讨了低碳建筑材料在城市更新中的碳足迹特征，为绿色建筑与城市低碳更新提供了新材料应用方案[13]。张宁洁等人基于生命周期评价法核算表明，废弃混凝土资源化利用每吨可实现 5.74 kg CO₂ 减排；通过解释结构模型与系统动力学分析，识别出技术创新投入、碳交易价格等关键驱动因素，仿真验证多参数协同调控对提升碳减排贡献效果最优，为建筑业碳减排策略制定提供了理论支撑 [14]。

当前，我国废旧电缆回收处置领域同样面临系统性挑战。在技术层面，处理手段相对落后，精细化回收和分类处置能力不足，导致铜、铝等金属回收率与塑料绝缘材料再利用效率偏低。在管理层面，缺乏统一的制度体系与规范的业务流程，回收网络分散，处置过程环境风险较高。特别是在碳排管理层面，由于缺乏针对该领域的本地化排放因子和系统核算方法，尚未建立完善的碳足迹核算体系，难以准确评估回收、拆解、资源化等关键环节的碳排放情况，这不仅制约了降碳措施的有效制定与实施，也使得废旧电缆这一典型固废在“双碳”目标下的碳减排潜力未能得到精准量化和有效挖掘[15]。

2.2. 理论基础

2.2.1. 循环经济理论

循环经济是一种以资源的高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以低消耗、低排放、高效率为基本特征，符合可持续发展理念的经济增长模式。它要求把经济活动组织成一个“资源 - 产品 - 再生资源”的反馈式流程，以尽可能小的资源消耗和环境成本，获得尽可能大的经济和社会效益，从而使经济系统与自然生态系统的物质循环过程相互和谐，促进资源永续利用[16]。与传统经济不同，循环经济强调通过资源的多次循环利用，提高资源利用效率，减少对自然资源的依赖[17]。

2.2.2. 碳核算理论体系

IPCC 温室气体核算指南为全球温室气体清单编制提供了通用方法与标准框架，其《2006 年国家温室气体清单指南》为不同层级和行业的碳排放核算奠定了技术基础 ipv。ISO 14064 标准体系则从组织与项目层面规范了温室气体的量化、报告与核查要求，通过统一核算边界与分类确保结果的可比性与可信度 [18]。而生命周期评价(LCA)作为国际标准化环境管理工具，贯穿产品从原料获取到废弃处置的全过程，通过目标界定、清单分析、影响评价和结果解释四个阶段，系统评估资源消耗与环境影响，为碳足迹核算与绿色设计提供方法论支撑[19]。三者共同构成了碳排放核算与评估的核心理论基础。

3. 碳排放核算方法与模型构建

3.1. 核算边界的界定

根据 ISO 14064 标准，开展碳排放测算需首先明确以企业法人为基准的核算边界，涵盖其所有设施与业务活动。通过对电缆回收处置全流程的调研分析，本研究将核算边界具体界定为废旧电缆回收、拆解及处置三个阶段，主要包括回收运输、卸货入库、拆解剥皮、装车起重及出库运输五个产生直接与间接排放的关键业务环节，从而系统框定了碳排放核算的范围。

3.2. 废旧电缆回收处置环节碳排放源识别

基于已明确的核算边界，本研究通过联合电缆回收处置业务相关方开展全流程调研，系统识别出三个关键碳排放环节：电缆剥皮环节主要产生剥皮设备运行导致的电力间接排放；电缆起重装卸环节涉及装车、卸货及出库过程中的燃油消耗与电力间接排放；电缆运输环节则贯穿从施工点至废旧仓库及后续至回收商的全程，产生车辆燃油直接排放及电力间接排放，为后续碳核算与减排策略制定提供了清晰依据。

3.3. 制定排放清单

根据排放源梳理结果，按废旧电缆回收拆解处置环节汇聚所有排放源，形成排放核算清单，清晰列明碳排放链路。废旧电缆回收拆解处置环节排放清单内容具体如下表1所示：

Table 1. Emission inventory for the recycling, dismantling and disposal stages of waste cables
表 1. 废旧电缆回收拆解处置环节排放清单

序号	排放环节	二级业务	排放源	描述
1	废旧电缆回收阶段	回收运输	施工点运输到废旧仓库用油或用电	运输车辆能耗产生的排放。
2	废旧电缆拆解阶段	卸货入库	卸货时起重设备用电或用油	卸货环节对应的设备运行产生的排放。
3	废旧电缆处置阶段	拆解剥皮	剥皮设备用电	剥皮工序对应的设备运行产生的排放。
4	废旧电缆处置阶段	装车起重	拆解后装载时起重设备用电或用柴油	出库装车环节对应的设备运行产生的排放。
5	废旧电缆处置阶段	出库运输	从废旧仓库运输到回收供应商地点 车辆用油	运输车辆能耗产生的排放。

3.4. 碳测算模型设计

通过碳排放测算方法的研究，形成了废旧电缆回收、废旧电缆拆解、废旧电缆处置环节的碳排放清单。为更好支撑碳排放测算，需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 [20] 等碳测算方法，具体通过配置计算方法、设计计算模型和编制计算模板开展供应链碳测算模型研究。

1) 计算公式

废旧电缆回收处置全过程

$$E_{\text{废旧电缆回收处置}} = E_{\text{回收}} + E_{\text{拆解}} + E_{\text{处置}}$$

式中，所有阶段的碳排计算均基于 IPCC 排放因子法的核心方程：

$$\text{温室气体(GHG)排放} = \text{活动数据(AD)} \times \text{排放因子(EF)}.$$

废旧电缆回收阶段

$$E_{\text{回收}} = E_{\text{回收运输}} + E_{\text{卸货入库}}$$

$E_{\text{回收}}$ ——废旧电缆在切割装车后，从施工点运输到废旧仓库以及起重卸货过程中，能源消耗产生的碳排放总量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$E_{\text{回收运输}}$ ——废旧电缆在切割装车后，从施工点运输到废旧仓库过程中，车辆作业产生的碳排放量；

$E_{\text{卸货入库}}$ ——废旧电缆在回收运输到废旧仓库后，卸货入库设备作业产生的碳排放量。

(1) 回收运输环节

$$E_{\text{回收运输}} = \sum_{i=1}^N E_{i\text{车辆燃料}} + E_{e\text{新能源}}$$

$$E_{i\text{燃料}} = FC_{i\text{回收运输}} \times EF_i$$

$E_{\text{回收运输}}$ ：废旧电缆在切割装车后，从施工点运输到废旧仓库过程中，传统燃油车辆作业产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$E_{i\text{车辆燃料}}$ ：燃料(汽油或柴油)燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

E_e ：新能源车辆用于废旧电缆回收运输过程产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$FC_{i\text{回收运输}}$ ：第*i*种燃料(柴油/汽油)的净消耗量(千克(kg)或升(L))；

EF_i ：第*i*种燃料的碳排放因子(kgCO₂e/kg 或 kgCO₂e/L)。

$$E_{e\text{回收运输}} = AD_{e\text{回收运输}} \times EF_e$$

$AD_{e\text{回收运输}}$ ：运输过程的新能源车用电量(KWh)；

EF_e ：电力碳足迹因子(kgCO₂e/kWh)。

(2) 卸货入库环节

$$E_{\text{卸货入库}} = \sum_{i=1}^N E_{i\text{卸货设备燃料}} + E_{e\text{卸货设备}}$$

$$E_{i\text{叉车燃料}} = FC_{i\text{卸货入库}} \times EF_i$$

$E_{i\text{卸货设备燃料}}$ ：叉车燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$E_{e\text{卸货设备}}$ ：新能源叉车用于废旧电缆起重卸货过程产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$FC_{i\text{卸货入库}}$ ：叉车作业时第*i*种燃料的净消耗量(千克(kg)或升(L))。

$$E_{e\text{叉车}} = AD_{e\text{卸货入库}} \times EF_e$$

$AD_{e\text{卸货入库}}$ ：电动叉车作业耗电量(KWh)；

EF_e ：电力的碳足迹因子，单位为千克二氧化碳/千瓦时(KgCO₂/KWh)。

(3) 拆解阶段 - 拆解剥皮环节：

$$E_{\text{拆解}} = AD_{e\text{拆解设备}} \times EF_e$$

$E_{\text{拆解设备}}$ ：废旧电缆回收运输到废旧仓库后，拆解时拆解设备作业产生的碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$AD_{e\text{拆解设备}}$ ：剥线机设备作业耗电量(KWh)。

(4) 处置阶段

$$E_{\text{处置}} = E_{\text{装车起重}} + E_{\text{出库运输}}$$

$E_{\text{处置}}$ ：废旧电缆在拆解剥皮后，在装载其中以及从废旧仓库运输到回收供应商过程中，能源消耗产生的碳排放总量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$E_{\text{装车起重}}$ ：废旧电缆拆解剥皮后，在废旧仓库装载过程中，起重设备作业产生的碳排放量；

$E_{\text{出库运输}}$ ：废旧电缆在装车起重后，从废旧仓库运输到回收供应商地点，车辆作业产生的碳排放量。

装车起重环节：

$$E_{\text{装车起重}} = \sum_{i=1}^N E_{i\text{叉车燃料}} + E_{e\text{叉车}}$$

$$E_{i\text{叉车燃料}} = FC_{i\text{装车起重}} \times EF_i$$

$$E_{e\text{叉车}} = AD_{e\text{装车起重}} \times EF_e$$

$E_{i\text{叉车燃料}}$ ：叉车燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；
 $E_{e\text{叉车}}$ ：新能源叉车用于废旧电缆装车起重过程产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；

$FC_{i\text{装车起重}}$ ：装车起重环节叉车作业时第*i*种燃料的净消耗量，单位为千克(kg)或升(L)；

$AD_{e\text{装车起重}}$ ：新能源叉车在废旧电缆装车起重过程作业耗电量，单位为千瓦时(KWh)；

EF_e ：电力的碳足迹因子，单位为千克二氧化碳/千瓦时(kgCO₂/kWh)。

出库运输环节：

$$E_{\text{出库运输}} = \sum_{i=1}^N E_{i\text{车辆燃料}} + E_{e\text{新能源}}$$

$E_{i\text{叉车燃料}}$ ：叉车燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)；
 $E_{e\text{叉车}}$ ：新能源叉车用于废旧电缆装车起重过程产生的二氧化碳排放量，单位为千克二氧化碳当量(kgCO₂e)。

$$E_{i\text{车辆燃料}} = FC_{i\text{出库运输}} \times EF_i$$

核算第*i*种燃料燃烧产生的二氧化碳排放量的公式如下：

$FC_{i\text{出库运输}}$ ：出库运输环节第*i*种燃料(汽油或柴油)的净消耗量，单位为千克(kg)或升(L)。

核算新能源车辆用于废旧电缆出库运输过程产生的二氧化碳排放量的公式如下：

$$E_{e\text{出库运输}} = AD_{e\text{出库运输}} \times EF_e$$

$AD_{e\text{出库运输}}$ ：废旧电缆出库运输过程的新能源车型用电量，单位为千瓦时(KWh)；

EF_e ：电力的碳足迹因子，单位为千克二氧化碳/千瓦时(kgCO₂/kWh)。

2) 废旧电缆回收拆解碳足迹核算模型

基于前述核算边界、排放源识别及计算公式，本研究构建了标准化的废旧电缆回收拆解碳足迹核算模型。该模型包括基础参数与碳排因子库及废旧电缆回收拆解处置阶段碳足迹核算表两个部分。

① 基础参数与排放因子

基础参数与排放因子库(表2所示)是集中管理核算对象的基本信息与核心参数，确保数据来源的一致性，并可随政策标准更新。

Table 2. Database of basic parameters and emission factors

表2. 基础参数与排放因子库

基础参数与碳排因子					
参数类别	参数名称	数值	单位	换算系数	来源与备注
核算对象	废旧电缆规格型号		/	/	
	核算电缆总重量		Kg	/	
排放因子	柴油	3.1429	kgCO ₂ /kg	1 L = 0.00085 t = 0.85 Kg	《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)》
	汽油	2.3	kgCO ₂ /L	1 L = 0.00075 t = 0.75 kg	北京市发展改革委《温室气体排放核算指南》
	电力	0.5843	kgCO ₂ /KWh	1 MWh = 10 ³ KWh	生态环境部《2021年二氧化碳排放因子》，按上海电力排放因子

② 废旧电缆拆解处置全环节碳足迹核算模型

该模型(表 3 所示)将回收、拆解、处置五个核心业务环节的活动数据输入与碳排放计算一一对应，实现核算过程的透明化与自动化。并在各环节碳排量计算完成后，自动汇总各环节碳排放，得出处理总量与单位强度，并进行占比分析，直观揭示碳排热点环节，为精准减排提供决策支持。

Table 3. Full-process carbon footprint accounting model for waste cable dismantling and disposal

表 3. 废旧电缆拆解处置全环节碳足迹核算模型

生命周期阶段	业务环节	能源类型	活动数据值 (FC/ADe)	活动数据值 单位	碳排因子 EF	排放因子 单位	计算公式	碳排放量 (kgCO ₂ e)
回收阶段	回收运输	柴油		Kg	3.1429	kgCO ₂ /kg	FC 柴油回收*3.1429	
		汽油		L	2.3	kgCO ₂ /L	FC 汽油回收*2.3	
		电力		MWh	0.5843	kgCO ₂ /KWh	ADe 回收*0.5843	
	卸货入库	柴油		Kg	3.1429	kgCO ₂ /kg	FC 柴油卸货*3.1429	
		汽油		L	2.3	kgCO ₂ /L	FC 汽油卸货*2.3	
		电力		MWh	0.5843	kgCO ₂ /KWh	ADe 卸货*0.5843	
拆解阶段	拆解剥皮	电力		MWh	0.5843	kgCO ₂ /KWh	ADe 剥皮*0.5843	
		柴油		Kg	3.1429	kgCO ₂ /kg	FC 柴油起重*3.1429	
		汽油		L	2.3	kgCO ₂ /L	FC 汽油起重*2.3	
	装车起重	电力		MWh	0.5843	kgCO ₂ /KWh	ADe 起重*0.5843	
		柴油		Kg	3.1429	kgCO ₂ /kg	FC 柴油回收*3.1429	
		汽油		L	2.3	kgCO ₂ /L	FC 汽油回收*2.3	
处置阶段	出库运输	电力		MWh	0.5843	kgCO ₂ /KWh	ADe 回收*0.5843	
		柴油		Kg	3.1429	kgCO ₂ /kg	FC 柴油回收*3.1429	
		汽油		L	2.3	kgCO ₂ /L	FC 汽油回收*2.3	
	回收拆解处置全环节碳排放	电力		MWh	0.5843	kgCO ₂ /KWh	ADe 回收*0.5843	
		柴油		Kg	3.1429	kgCO ₂ /kg	FC 柴油回收*3.1429	
		汽油		L	2.3	kgCO ₂ /L	FC 汽油回收*2.3	
核算	单位重量碳足迹		/	/	/	/	SUM(以上所有业务环节碳排放量)	
			/	/	/	/	总碳排放(kgCO ₂ e)/(kgCO ₂ e/电缆总重量(Kg))	Kg

本模型的使用者仅需输入活动数据(如燃料消耗量、耗电量)，模型即可自动完成所有计算，极大提升了碳足迹核算的效率与准确性，可作为企业常态化碳核算工作的有效工具。

4. 模型应用说明与数据不确定性讨论

4.1. 排放因子的选择与本地化应用

本研究构建的碳足迹核算模型采用模块化设计，其核心排放因子库(表 2)具备可扩展性和可替换性，为用户提供了灵活的本地化应用接口。模型默认集成了基于中国平均水平的推荐排放因子，例如电力排放因子采用生态环境部发布的《2021 年电力二氧化碳排放因子》中华东区域电网的数值(0.5843 kgCO₂/kWh)作为示例。

关键特性说明：

1) 电网排放因子的区域化替换：用户在进行项目级核算时，应根据项目所在地的省级或区域电网平均排放因子对模型中的电力排放因子(EF_e)进行替换。具体操作可在表 2 的“电力”排放因子行中，将默

认数值更新为当地官方发布的最新数据。此举能显著提升核算结果的空间精度，反映真实的电力消费碳影响。

2) 燃料排放因子的更新机制：模型同样允许用户根据实际燃料来源与最新研究成果，更新柴油、汽油等燃料的排放因子，确保核算基准与时俱进。

4.2. 数据不确定性分析

碳足迹核算结果的可靠性高度依赖于输入数据的质量。本研究识别并分析了模型主要的不确定性来源，为结果的解读与应用提供重要参考。

1) 活动数据的不确定性

来源：活动数据(如燃料消耗量、电力消耗量)主要依赖于企业计量设备记录、运营台账或估算。其不确定性源于计量设备的精度误差、记录过程中的人为疏忽、或对非直接计量数据的估算偏差(例如，不同运输路况下的燃油消耗波动)。

影响：活动数据的误差会线性传递至最终的碳排放量计算结果。

2) 排放因子的不确定性

来源：排放因子，特别是电力排放因子，存在显著的空间和时间不确定性。空间上，不同电网的能源结构(煤、水、风、光、核等比例)差异巨大；时间上，同一电网的排放因子也会随季节、日夜负荷变化及能源结构的逐年优化而变动。模型使用的区域平均因子无法完全代表特定项目在具体用电时段的真实排放水平。

影响：排放因子的不确定性是系统性的，可能对核算结果产生整体性偏高或偏低的影响。

3) 模型边界与简化假设的不确定性

来源：本研究聚焦于回收处置阶段的直接能耗，未上游原材料(如电缆本身)蕴含的碳、设备制造与维护等间接排放。这种边界设定符合标准但可能低估了全生命周期影响。此外，模型中关于设备运行负荷率的假设也可能与实际情况存在出入。

影响：这可能导致核算结果是对系统碳足迹的保守估计。

为提升碳足迹核算结果的准确性与可靠性，建议从数据源头、核算参数、模型分析及结果解读四个层面系统降低不确定性：首先，推广部署高精度智能电表和流量计等设备，建立统一规范的数据记录与审核流程，提升活动数据的采集质量；其次，优先采用项目所在地发布的、具有较高时间分辨率(如年度或月度)的电网排放因子，以反映真实能源结构影响；进一步，在模型应用中应对关键参数(如电力排放因子与主要能耗数据)开展敏感性分析(如 $\pm 10\%$ 波动测试)，识别对碳足迹影响显著的控制变量；最后，在结果报告中需明确说明核算边界、排放因子来源与版本，并申明数据与模型的不确定性，避免对结论进行绝对化解读，增强研究的科学性与透明度。

5. 结论与展望

5.1. 研究结论

本研究围绕国家“双碳”战略目标，系统构建了废旧电缆回收处置阶段的降碳减排及运作体系。通过深入剖析电缆回收、拆解、处置的全业务流程，明确了以回收运输、卸货入库、拆解剥皮、装车起重及出库运输为核心的碳排放核算边界，并精准识别了各环节的电力与燃油消耗为主要碳排放源。在此基础上，研究创新性地设计了基于IPCC与ISO 14064标准的碳测算模型与核算清单，为量化废旧电缆处置过程的碳足迹提供了科学方法与实用工具，为提升电力行业资源循环利用效率、实现供应链低碳转型提供了清晰的理论依据与实践指南。

5.2. 未来展望

尽管本研究已取得阶段性成果，但未来仍有若干方向值得深入探索。首先，在核算精度方面，可进一步探索利用物联网传感器、区块链等技术，实现活动数据与排放因子的实时、自动采集与验证，构建动态的、更高精度的碳足迹数据库与核算模型。其次，在技术协同方面，未来研究可聚焦于人工智能与大数据分析在分拣中心运营优化中的应用，例如通过机器学习算法预测废旧电缆到货量、优化拆解路径与能耗，从而深度挖掘降碳潜力，为电力行业乃至整个工业领域的碳中和目标实现贡献更大价值。

参考文献

- [1] 肖洒, 王利军, 任乔林, 等. 废旧电线电缆回收处理技术研究[J]. 通信电源技术, 2016, 33(3): 46-48.
- [2] Istrate, I.R., Galvez-Martos, J.L., Vázquez, D., et al. (2023) Prospective Analysis of the Optimal Capacity, Economics and Carbon Footprint of Energy Recovery from Municipal Solid Waste Incineration. *Resources, Conservation and Recycling*, **193**, Article 106943. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106943>
- [3] Hansuebsai, A., Kaosod, A. and Kanchanasing, T. (2020) A New Environmental Performance Index Based on the Carbon Footprint, VOC Emissions, and Waste in a Printing House. *Engineering Reports*, **2**, e12165. <https://doi.org/10.1002/eng2.12165>
- [4] Zheng, J. and Suh, S. (2019) Strategies to Reduce the Global Carbon Footprint of Plastics. *Nature Climate Change*, **9**, 374-378. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z>
- [5] Onat, N.C., Mandouri, J., Kucukvar, M., Sen, B., Abbasi, S.A., Alhajyaseen, W., et al. (2023) Rebound Effects Undermine Carbon Footprint Reduction Potential of Autonomous Electric Vehicles. *Nature Communications*, **14**, Article No. 6258. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41992-2>
- [6] Tonini, D., Schrijvers, D., Nessi, S., Garcia-Gutierrez, P. and Giuntoli, J. (2021) Carbon Footprint of Plastic from Biomass and Recycled Feedstock: Methodological Insights. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **26**, 221-237. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01853-2>
- [7] Fernandes, O.D.A.M., Baêta, L.E.B., Adarme, H.F.O., et al. (2025) LCA-Based Carbon Footprint Analysis of Anaerobic Digestion of Coffee Husk Waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **207**, Article 114993.
- [8] Obersteiner, G., Gollnow, S. and Eriksson, M. (2021) Carbon Footprint Reduction Potential of Waste Management Strategies in Tourism. *Environmental Development*, **39**, Article 100617. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100617>
- [9] Nam-Chol, O., Kim, W.G., Jon, Y.I., et al. (2019) An Evaluation of Alternatives to Energy Recovery from Municipal Solid Waste Part 1: Waste Flow and Energy Potential. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **45**, 5648-5660. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1672834>
- [10] 陈娟, 郑旺. 建筑废弃物资源化管理及碳足迹评价: 方法与进展[J]. 生态经济, 2023, 39(11): 213-221.
- [11] 朱颖. 光伏组件行业碳足迹评估方法及应用策略研究[J]. 能源研究与利用, 2025(5): 52-56.
- [12] 肖觉能, 李朝敏, 别思文. 碳足迹管理目标下动力电池回收协同演化博弈研究[J]. 物流技术, 2025, 44(10): 67-82.
- [13] 张鹤年, 王笑颖, 胡彩云, 等. 城市更新中碳足迹研究——以活性 MgO 碳化生土墙板为例[J]. 建筑科学, 2025, 41(8): 11-18.
- [14] 张宁洁. 双碳背景下废弃混凝土资源化碳减排贡献研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2024.
- [15] 周卫青, 李超, 吴华成, 等. 电网废弃物管理现状及典型废弃物回收处置的碳足迹评价[J]. 环境保护科学, 2025, 51(4): 105-112.
- [16] 林晓溪. 区域经济发展中循环经济理论的应用略论[J]. 商展经济, 2021(16): 116-118.
- [17] 田玉川. 传统经济和循环经济的理论研究[J]. 山西农经, 2019(1): 28-29.
- [18] 周方元. ISO14064——必须握紧的“低碳通行证”[J]. 大飞机, 2025(7): 25-29.
- [19] 陈子瀛. 基于全生命周期理论的页岩气井排采工艺效果研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2024.
- [20] 陈新星. 基于 IPCC 方法的南京市碳排放研究[J]. 科技风, 2018(20): 121.