

# 基于新能源渗透率阈值的电力系统碳排放责任自适应分摊方法研究

邹花蕾, 陈宇, 葛辉

南京邮电大学自动化学院 江苏南京

**【摘要】**随着“双碳”目标的深入推进,电力系统正加速向高比例新能源接入转型。风、光等可再生能源的大规模并网显著降低了化石能源依赖,但新能源出力的波动性与随机性也给电力系统运行带来了新的挑战。在此背景下,碳排放责任的合理分摊成为实现低碳电力系统运行的关键问题。传统碳排放责任分配机制多采用固定分摊比例或单一模式,难以适应新能源渗透率的动态变化,导致责任分配偏差较大、新能源消纳效率受限、系统运行经济性不足等问题。为解决上述技术问题,本文提供了一种基于新能源渗透率阈值的电力系统碳排放责任自适应分摊方法,通过动态权重与渗透率自适应匹配,有效降低责任分配偏差,系统切换稳定,提升新能源利用率,减少系统运行成本,为高比例新能源电网的碳责任精准分摊提供技术支撑。

**【关键词】**新能源渗透率; 碳排放责任; 自适应分摊; 多目标优化; 电力系统

**【基金项目】**江苏省自然科学基金项目(BK20230353)

**【收稿日期】**2025年10月24日 **【出刊日期】**2025年11月24日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250217

## Research on an adaptive allocation method for carbon emission responsibility in power systems based on new energy penetration threshold

Hualei Zou, Yu Chen, Hui Ge

Nanjing University of Posts and Telecommunications College of Automation, Nanjing, Jiangsu

**【Abstract】**With the deepening advancement of the "dual carbon" goals, the power system is accelerating its transition toward high penetration of renewable energy. The large-scale integration of renewable energy sources such as wind and solar has significantly reduced reliance on fossil fuels. However, the variability and uncertainty of renewable energy output also pose new challenges to power system operation. Therefore, the reasonable allocation of carbon emission responsibilities has become a key issue in achieving low-carbon power system operation. Traditional carbon emission responsibility allocation mechanisms often rely on fixed allocation ratios or single-mode approaches, which struggle to adapt to the dynamic changes in renewable energy penetration. This leads to significant deviations in responsibility allocation, limited renewable energy integration efficiency, and insufficient economic performance in system operation. To address these technical challenges, this paper proposes an adaptive carbon emission responsibility allocation method for power systems based on renewable energy penetration thresholds. By dynamically matching weights with penetration levels, the method effectively reduces allocation deviations, ensures stable system switching, improves renewable energy utilization, reduces operational costs, and provides technical support for accurate carbon responsibility allocation in power grids with high renewable energy penetration.

**【Keywords】**Renewable energy penetration rate; Carbon emission responsibility; Adaptive apportionment; Multi-objective optimization; Power system

### 引言

在全球“双碳”目标深入推进的战略背景下,电力系统正经历从传统化石能源主导向高比例新能源接入的结构性转型<sup>[1]</sup>。这一转型不仅显著降低了电力生产对煤炭、天然气等化石能源的依赖,助力能源结构低碳化

升级,更成为实现全社会碳排放总量控制的核心路径<sup>[2]</sup>。然而,新能源固有的出力波动性与随机性,给电力系统的安全稳定运行、电能质量控制及资源优化配置带来了一系列新挑战<sup>[3]</sup>。其中,碳排放责任的合理分摊作为衔接电力系统运行与低碳目标的关键环节,直接

影响新能源消纳效率、市场主体公平性及系统整体经济性, 已成为当前高比例新能源电网建设中亟待解决的核心技术问题<sup>[4]</sup>。

传统碳排放责任分配机制多采用固定分摊比例或单一静态模式, 难以适应新能源渗透率动态变化的运行场景, 由此衍生出三大突出问题: 其一, 责任分配偏差较大。例如, 基于历史数据的基准分摊法或完全由发电侧承担责任的模式<sup>[5]</sup>, 无法根据实时新能源出力调整权重, 在渗透率骤升骤降时易导致责任错配, 低渗透率时可能过度加重传统机组负担, 高渗透率时又可能低估负荷侧参与减排的责任; 其二, 新能源消纳效率受限。静态机制缺乏对新能源出力波动的响应能力, 在高渗透率时段易因责任划分僵化导致弃风弃光现象, 而低渗透率时段又可能因过度侧重经济性忽视新能源优先利用原则<sup>[6]</sup>; 其三, 系统运行经济性不足。现有方法往往将降低碳排放与控制运行成本割裂优化<sup>[7]</sup>, 例如低渗透率时片面追求经济性可能压缩新能源并网空间, 高渗透率时强制消纳新能源又可能增加传统机组的启停成本与调节成本, 难以实现多目标协同平衡。

当前学术界与工业界对碳排放责任分摊的研究仍存在明显局限性。一方面, 研究多聚焦于静态场景下的责任划分, 如基于节点边际定价的分摊模型<sup>[8]</sup>、按发电量占比分配责任的方法<sup>[9]</sup>, 或依赖长期统计数据的基准线设定策略<sup>[10]</sup>。然而, 新能源渗透率在实际运行中可能从低值快速波动至高值, 静态机制无法动态调整责任权重, 易造成资源浪费或市场主体间的分配不公。尤其在渗透率关键阈值附近, 现有方法缺乏平滑过渡机制, 短时波动可能触发策略频繁切换, 严重影响系统运行稳定性<sup>[11]</sup>。另一方面, 现有模型多将公平性、经济性与新能源消纳目标视为独立优化方向, 未能构建多目标协同的分摊框架<sup>[12]</sup>。例如, 部分研究通过提升负荷侧责任占比促进新能源消纳<sup>[13]</sup>, 却忽视了用户用电成本的合理控制; 另有研究通过优化传统机组责任分摊降低运行成本<sup>[14]</sup>, 却导致新能源弃电率上升, 与低碳目标相悖。此外, 针对高比例新能源电网的碳排放责任分摊研究仍较为匮乏, 现有方法多适用于中低渗透率场景, 难以满足未来电力系统高比例新能源、高电力电子化的发展需求<sup>[15]</sup>。

本文提供了一种基于新能源渗透率阈值的电力系统碳排放责任自适应分摊方法, 通过动态权重与渗透率自适应匹配, 有效降低责任分配偏差, 系统切换稳定, 提升新能源利用率, 减少系统运行成本, 为高比例新能源电网的碳责任精准分摊提供技术支撑。

## 1 新能源渗透率阈值定义与策略设计

新能源渗透率指标 $\beta$ 定义为新能源发电功率与系统总负荷需求的实时比值, 用于直接反映新能源在电力供应中的占比, 是衡量系统低碳化程度的关键参数。为适应不同渗透率场景下的碳排放责任分配需求, 设定两级阈值: 高阈值为100%, 低阈值为80%, 并在两者之间设置滞回区间以缓冲短时波动的影响。当渗透率 $\beta$ 持续高于高阈值时, 系统将关停传统机组并激活发电侧全责模式; 当渗透率 $\beta$ 低于低阈值时, 则启动源-荷基准分摊机制; 在高低阈值之间的过渡区域, 系统按比例动态调整责任分配权重。

为避免在阈值附近因新能源渗透率的微小波动导致策略频繁切换, 引入滞回区间, 设置滞回带宽 $\Delta\beta$ ;

当 $\beta >$ 高阈值 $+\Delta\beta$ , 并持续预设时间后, 切换至发电侧全责模式; 当 $\beta <$ 高阈值 $-\Delta\beta$ 时, 从发电侧全责模式切换回过渡模式;

当 $\beta <$ 低阈值 $-\Delta\beta$ , 并持续预设时间后, 切换至源-荷基准分摊模式; 当 $\beta >$ 低阈值 $+\Delta\beta$ 时, 从源-荷基准模式切换至过渡模式。图1为新能源渗透率碳排放责任分摊策略决策流程。

## 2 多目标优化函数的构建与约束条件

在高比例新能源电力系统中, 碳排放责任分摊需同时兼顾公平性、新能源消纳效率与系统运行经济性三大核心目标——公平性是保障发电侧、负荷侧等多元市场主体权责对等的基础, 新能源消纳效率直接决定低碳转型目标的落地成效, 而系统运行经济性则是维持电力系统长期稳定运行的关键支撑。传统分摊机制因将三大目标割裂优化, 常出现重消纳轻成本或重公平轻效率的矛盾。因此, 需构建能够协同平衡三大目标的综合优化函数, 通过动态权重与新能源渗透率的自适应匹配, 实现不同运行场景下目标优先级的灵活调整, 为碳排放责任的精准分摊提供量化决策依据。

综合优化函数以最小化碳排放责任分配偏差、最大化新能源消纳量、最小化系统总运行成本为核心子目标, 通过权重系数实现目标间的协同优化, 具体表达式如下:

$$\min[w_1 \cdot J_{fair} + w_2 \cdot J_{res} + w_3 \cdot J_{cost}] \quad (1)$$

式中 $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ 为权重系数,  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ ;  $J_{fair}$ 为公平性目标,  $J_{res}$ 为新能源消纳目标;  $J_{cost}$ 为经济性目标。

1) 公平性目标的核心是让各节点实际分摊的碳排放量与基于实时新能源渗透率的理想分摊量尽可能一致, 避免因责任错配导致市场主体权责失衡。

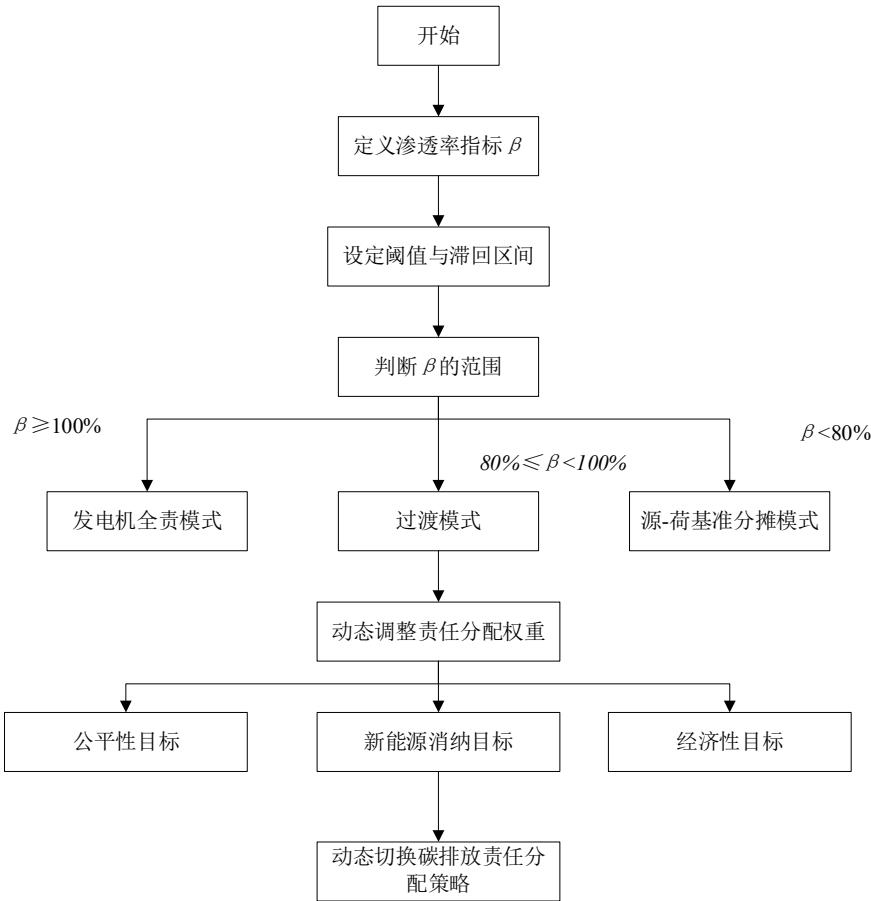


图1 新能源渗透率碳排放责任分摊策略决策流程

定义碳排放责任分配偏差最小化目标:

$$J_{fair} = \sum_{i \in \Omega} (C_{act,i} - C_{i,\beta})^2 \quad (2)$$

式中,  $\Omega$  为系统所有节点集合,  $C_{act,i}$  为节点  $i$  实际分摊的碳排放量,  $C_{i,\beta}$  是基于实时渗透率  $\beta$  的理想分摊量, 按模式动态计算:

$$C_{i,\beta} = \begin{cases} \frac{P_{res,i}}{\sum_{j \in \Omega_{res}} P_{res,j}} \cdot C_{total}, & \beta \geq 100\% \\ \frac{\beta \cdot P_{gen,i}}{\sum_{j \in \Omega_{gen}} P_{gen,j}} + \frac{(1-\beta) \cdot E_{l,i}}{\sum_{j \in \Omega_l} E_{l,j}}, & 80\% \leq \beta < 100\% \\ 0.5 \cdot \left( \frac{P_{gen,i}}{\sum P_{gen}} + \frac{E_{l,i}}{\sum E_l} \right), & \beta < 80\% \end{cases} \quad (3)$$

式中  $\Omega_{res}, \Omega_{gen}, \Omega_l$  分别为新能源机组、传统机组、负荷节点集合,  $P_{ren,i}$  为节点  $i$  新能源的实时出力,  $E_{l,i}$  为节点  $i$  的负荷用电量, 其中  $i$  为当前计算的节点编号 (目标节点),  $j$  为用于归一化计算的遍历节点编号;

2) 新能源消纳目标聚焦于减少弃风弃光现象, 通

过将弃电损失纳入优化函数, 倒逼责任分摊策略向优先消纳新能源倾斜。其表达式为:

$$J_{res} = \left( \sum_{i \in \Omega_{res}} P_{res,i}^{\max} - \sum_{i \in \Omega_{res}} P_{res,i} \right)^2 \quad (4)$$

式中,  $J_{res}$  为新能源弃电惩罚项,  $P_{res,i}^{\max}$  为节点  $i$  新能源最大可出力,  $\sum P_{res,i}$  为新能源实际出力总和;

3) 系统运行成本涵盖传统机组发电成本、新能源弃电惩罚成本与负荷侧补偿成本, 经济性目标需实现三类成本的综合最小化, 避免单一目标优化导致成本失衡。其表达式为:

$$J_{cost} = C_{gen} + C_{curt} + C_{comp} \quad (5)$$

其中各项成本计算如下:

传统机组的运行成本与出力呈二次函数关系, 其表达式为:

$$C_{gen} = \sum_{t=1}^T \sum_{i \in \Omega_{gen}} (a_i \cdot P_{gen,i,t}^2 + b_i \cdot P_{gen,i,t} + c_i) \quad (6)$$

式中,  $a_i, b_i, c_i$  为机组i的成本系数,  $P_{gen,i,t}$  为机组i在t时刻的出力, T为总的运行时间;

新能源弃电惩罚成本  $C_{curt}$  为:

$$C_{curt} = \sum_{t=1}^T \sum_{i \in \Omega_{res}} \gamma_{curt} \cdot (P_{res,i,t}^{\max} - P_{res,i,t}) \quad (7)$$

式中,  $\gamma_{curt}$  为弃电单价,  $P_{res,i,t}^{\max}$  表示节点i的新能源机组在t时刻的最大出力;

负荷侧补偿成本:

$$C_{comp} = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i \in \Omega_e} \pi_e \cdot L_{cut,i,t}^e + \sum_{i \in \Omega_h} \pi_h \cdot L_{cut,i,t}^h \right) \quad (8)$$

式中,  $\pi_e, \pi_h$  为电/热负荷补偿单价,  $L_{cut,i,t}^e, L_{cut,i,t}^h$  为切除的电/热负荷量,  $\Omega_e, \Omega_h$  表示可中断电/热负荷节点集合;

为实现不同渗透率场景下目标优先级自适应切换, 需基于新能源渗透率  $\beta$  动态调整各子目标的权重系数: 高渗透率时, 优先保障新能源消纳, 因此增大新能源消纳目标的权重; 低渗透率时, 侧重控制运行成本, 因此增大经济性目标的权重, 权重调整公式为:

$$\begin{cases} w_2 = \beta / 100\%, \beta \geq 80\% \\ w_3 = 1 - \beta / 100\%, \beta \leq 80 \end{cases} \quad (9)$$

为确保优化结果符合电力系统安全运行规则, 需设置三类核心约束条件, 避免出现功率失衡、设备超限等问题, 约束条件具体为:

(1) 功率平衡约束:

$$P_{G,i} + P_{res,j} + P_k^{\text{dis}} = P_{l,m} + P_k^{\text{ch}} \quad (10)$$

式中,  $P_{G,i}, P_{res,j}$  分别为传统发电机组i和新能源机组j的输出功率,  $P_k^{\text{ch}}, P_k^{\text{dis}}$  为储能设备k中储能充/放电功率值,  $P_{l,m}$  表示负荷节点 m 的需求功率; 该约束是所有优化的前提, 确保责任分摊策略不违背系统功率平衡规律。

(2) 储能设备约束:

储能设备的充放电行为需在安全范围内, 避免过度充放电导致设备损坏, 约束表达式为:

$$\begin{cases} P_k^{\text{ch,min}} \leq P_k^{\text{ch}} \leq P_k^{\text{ch,max}} \\ P_k^{\text{dis,min}} \leq P_k^{\text{dis}} \leq P_k^{\text{dis,max}} \\ SoC_{k,t} = SoC_{k,t-1} - \frac{P_k^{\text{dis}} \Delta t + \eta_k^{\text{ch}} \cdot P_k^{\text{ch}} \Delta t}{\eta_k^{\text{dis}}} \\ SoC_{k,t}^{\min} \leq SoC_{k,t} \leq SoC_{k,t}^{\max} \end{cases} \quad (11)$$

式中,  $P_k^{\text{ch}}, P_k^{\text{dis}}$  分别表示储能设备k中储能充/放电功率值;  $P_k^{\text{ch,min}}, P_k^{\text{ch,max}}$  表示储能设备k的充电功率的上下限; 同理,  $P_k^{\text{dis,min}}, P_k^{\text{dis,max}}$  表示储能设备k的放电功率的上下限;  $SoC_{k,t}^{\min}, SoC_{k,t}^{\max}$  表示储能设备k的储能容量的上下限;  $SoC_{k,t}$  表示储能设备k在t时刻的剩余容量;  $\eta_k^{\text{ch}}, \eta_k^{\text{dis}}$  分别表示储能的充/放电效率系数;  $\Delta t$  表示t-1时刻到t时刻的时间间隔;

(3) 新能源机组出力约束

新能源机组的出力受天气条件限制, 实际出力不能超过最大可出力, 其约束条件如下:

$$0 \leq P_{res,j} \leq P_{res,j}^{\max} \quad (12)$$

式中,  $P_{res,j}$  表示新能源机组j的实际出力,  $P_{res,j}^{\max}$  表示新能源机组j在当前时刻的最大可出力, 由光照强度或风速等天气条件决定。

### 3 责任分配参数的动态计算与分配策略

在基于新能源渗透率阈值的碳排放责任分摊体系中, 责任分配参数的动态性与策略切换的平滑性是核心——前者决定责任在发电侧与负荷侧的分配比例是否契合实时运行场景, 后者则保障系统在不同渗透率区间切换时的稳定性, 避免因策略频繁变动导致市场主体权责混乱或系统运行成本激增。

新能源渗透率  $\beta$  定义为新能源发电功率与系统总负荷需求的比值, 根据  $\beta$  的不同取值, 系统将采用不同的碳排放责任分配策略, 包括发电侧全责模式、源-荷基准分摊模式以及过渡模式。

责任分配参数  $k(\beta)$  表示传统发电机组在总碳排放责任中所占的比例, 其值随新能源渗透率  $\beta$  动态变化。具体定义如下:

当  $\beta \leq 80\%$  时, 新能源出力占比低, 系统供电主要依赖传统机组, 但负荷侧作为电力消耗方, 也需承担部分碳排放责任, 以体现谁用电、谁负责的公平性。此时  $k(\beta)$  取固定基准值, 确保责任在源 - 荷两侧均衡分摊, 计算公式为:

$$k(\beta) = k_{low} \quad (13)$$

式中,  $k_{low}$  表示传统机组的基准责任比例, 一般取 0.5。在低渗透率下, 新能源发电不足以满足大部分负荷需求, 传统机组需提供大量电力支持, 因此碳排放责任由传统机组和负荷侧共同分担。

当  $80\% \leq \beta < 100\%$  时, 新能源出力逐渐接近负荷需求, 传统机组的发电占比随  $\beta$  升高而降低, 其碳排放责任比例需同步线性提升, 实现新能源贡献增加到传统

机组责任比例提升的平滑过渡, 避免责任分配出现突变。计算公式为:

$$k(\beta) = k_{low} + (1 - k_{low}) \cdot \frac{\beta - 80\%}{100\% - 80\%} \quad (14)$$

在过渡区间, 随着 $\beta$ 的增加, 新能源占比逐渐提高, 传统机组的发电量和碳排放减少, 因此其责任比例 $k(\beta)$ 从 $k_{low}$ 线性增加至1, 实现平滑过渡。

当 $\beta \geq 100\%$ 时:

$$k(\beta) = 1 \quad (15)$$

在高渗透率下, 新能源发电功率超过系统总负荷需求, 传统机组可完全关停, 理论上碳排放为0, 此时设定 $k(\beta) = 1$ 表示若有碳排放则全部由发电侧承担。 $k(\beta)$ 是一个随 $\beta$ 变化的权重参数, 用于调节传统机组和负荷侧在碳排放责任中的相对比例。在低渗透率时, 责任均衡分担; 在高渗透率时, 倾向于发电侧承担更多责任, 直至传统机组关停。

为了避免在阈值附近(如80%或100%)因 $\beta$ 的微小波动导致策略频繁切换, 引入滞回区间, 设置滞回带宽 $\Delta\beta=5\%$ , 当 $\beta > 105\%$ 并持续30分钟后, 切换至发电侧全责模式, 当 $\beta < 75\%$ 并持续30分钟后, 切换至源-荷基准分摊模式。同理, 从发电侧全责模式切换回过渡模式的条件为 $\beta < 95\%$ , 从源-荷基准模式切换至过渡模式的条件为 $\beta > 85\%$ 。策略切换需满足 $\beta$ 值在目标区间内连续保持30分钟, 避免瞬态波动干扰。

#### 4 仿真结果与分析

为验证基于新能源渗透率阈值的碳排放责任自适应分摊方法的有效性, 本文搭建含高比例风光新能源的电力系统仿真平台, 以传统静态责任分摊机制(传统方法)为对照, 从系统运行成本、新能源弃电量、碳排放责任分配偏差三大核心维度展开量化分析, 并结合典型时段的渗透率变化特征, 分析自适应方法的优势逻辑。图2为系统各机组的功率出力图。

新能源渗透率 $\beta$ 的实时变化情况如图3所示, 该渗透率变化曲线模拟了实际电力系统中新能源出力的波动性特征, 为碳排放责任分摊策略的动态切换提供了真实的场景输入, 也验证了所提方法对不同渗透率场景的适应性。

与上述新能源渗透率的变化相匹配的碳排放责任分配参数变化规律如图4所示。

该曲线清晰呈现了责任分配参数随新能源出力波动的动态调整变化规律, 直观反映了所提分摊策略对场景变化的快速响应能力。当 $k(\beta) = 1$ 时, 发电侧承担全部碳排放责任, 此时新能源的出力能够满足当前的负荷需求; 当 $k(\beta) = 0.5$ 时, 责任在发电侧和负荷侧间均衡分摊, 各主体承担一半责任, 能实现责任分担相对公平, 避免单一主体压力过大, 保障责任分摊层面的稳定与公平。参数取值始终与实时渗透率保持协同适配, 既保证了责任分摊的公平性与合理性, 又通过动态优化确保了策略执行的灵活性与有效性, 进一步佐证了该碳排放责任分摊机制的动态调节性能与实际应用价值。

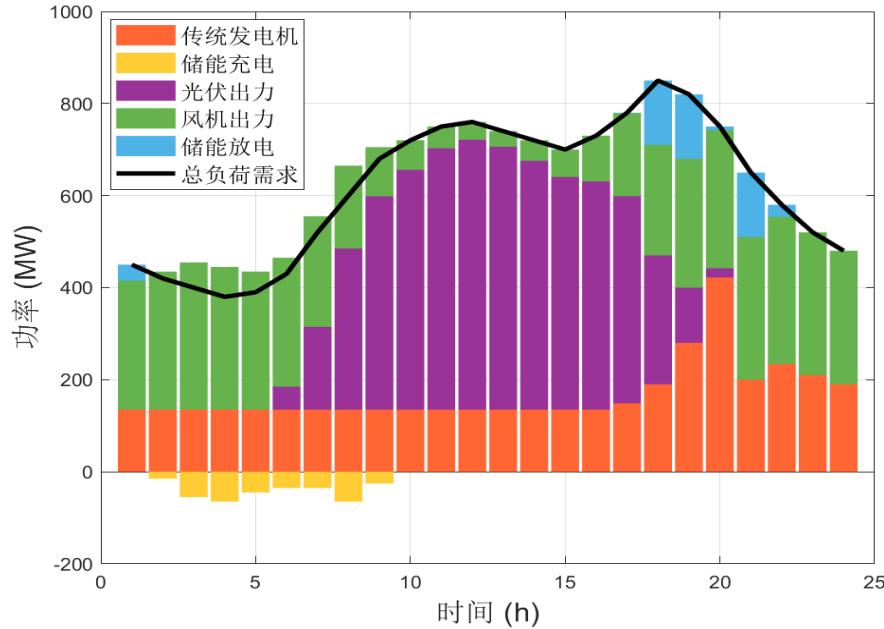


图2 功率出力

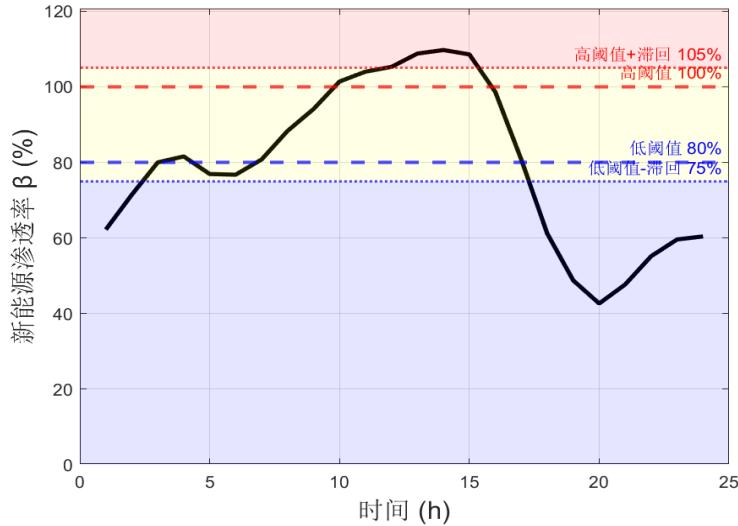


图3 新能源渗透率

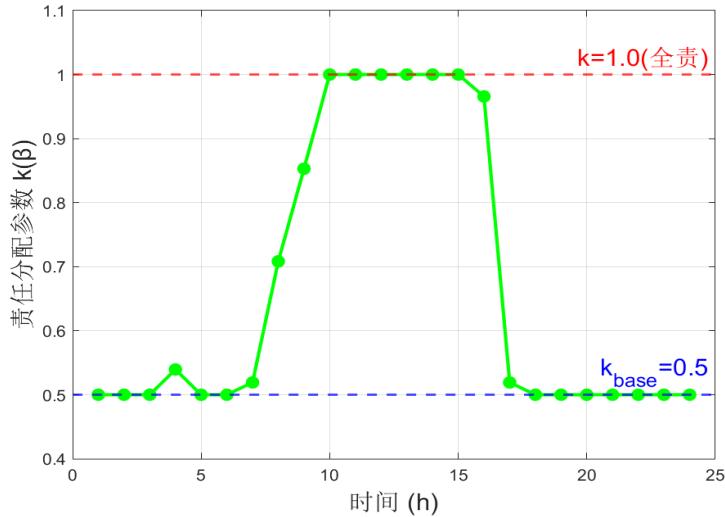


图4 责任分配参数

图5为24小时内两种方法的成本变化曲线,其差异特征与新能源渗透率的时段分布高度相关,在不同新能源渗透率下,本文所提方法的系统运行成本相较于传统静态责任分配机制有所降低。从图5中可以看出,传统方法的成本在大部分时间都高于本文方法,但在某些时间段,如10小时到15小时之间,传统方法的成本低于本发明方法,这是由于需求变化而表现出较低的成本。

图6进一步表明,通过动态优化新能源消纳目标,弃电量在高渗透率场景下得到有效控制。本文通过动态调整碳排放责任分配策略,有效降低了新能源弃电量,传统方法由于缺乏这种动态机制,导致在新能源渗透率高时,弃电量较高。

碳排放责任分配偏差是衡量策略公平性的关键指

标,偏差值越小,表明各节点实际分摊责任与基于渗透率的理想责任之间的一致性越高。图7为24小时偏差值对比曲线,通过实时调整责任权重,提升了分配的精度,避免了传统方法在阈值附近的偏差突增问题。在图7中,大部分时间传统方法的偏差值都比较高,但在某些时间段,如5小时到10小时之间,传统方法的偏差值低于本文所提方法。这是由于在这些特定时间段内,传统方法因新能源出力的波动、负荷需求的变化等因素而表现出较低的偏差。

整体来看,基于新能源渗透率阈值的自适应分摊方法,能够根据实时运行场景动态调整责任分配策略,在保障系统稳定运行的同时,实现经济性、低碳性与公平性的协同优化,为高比例新能源电力系统的碳排放责任分摊提供有效技术方案。

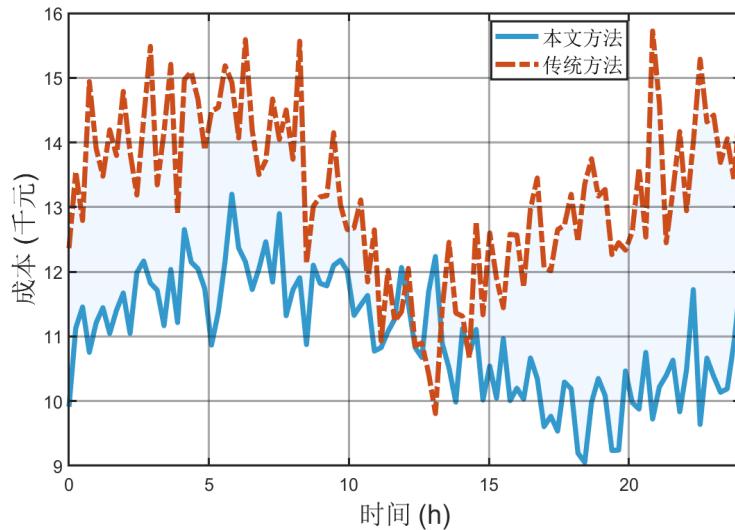


图 5 成本对比图

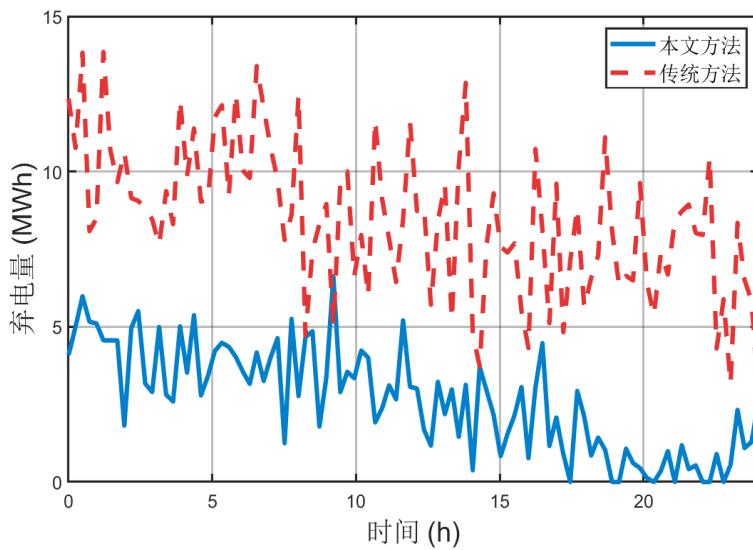


图 6 弃电量对比图

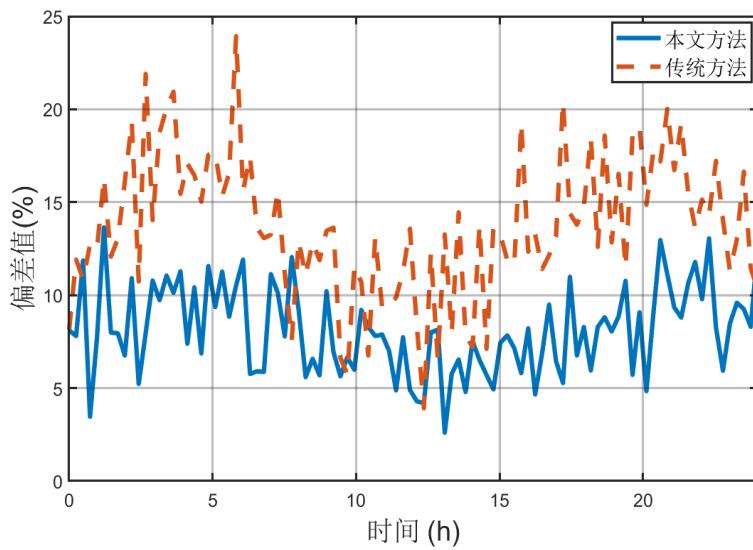


图 7 偏差量对比图

## 5 结语

本文构建新能源渗透率及两级阈值, 通过动态权重调整, 实现公平性、消纳性与经济性的自适应平衡, 并设置滞回区间机制, 避免了短时波动引发的策略频繁切换, 显著提升系统运行的稳定性与鲁棒性; 本文所述方法实现了碳排放责任分配策略的自适应切换, 有效降低碳排放责任分配偏差, 提升新能源消纳率, 同时减少系统运行成本, 为电力系统低碳化转型提供了高效、可靠的技术支撑, 解决了传统静态分摊方法难以适应新能源出力波动的问题。

## 参考文献

- [1] 李国庆, 刘先超, 辛业春, 等. 含高比例新能源的电力系统频率稳定研究综述[J]. 高电压技术, 2024, 50(03): 1165-1181.
- [2] 张智刚, 康重庆. 碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(08): 2806-2819.
- [3] 卓振宇, 张宁, 谢小荣, 等. 高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(09): 171-191.
- [4] 刘丽军, 胡鑫, 林锟, 等. 计及碳排放分摊的配电网分布式低碳调度策略[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(24): 9594-9607.
- [5] 黄彦璐, 胡旭东, 林振福, 等. 考虑峰荷特性的电力系统负荷侧碳排放责任核算方法[J]. 电力建设, 2025, 46(02): 88-98.
- [6] 黄潇成. 电力配用电侧间接碳排放计量关键技术研究 [C]. 2023 年新型电力系统产学研融合发展大会, 北京, 2023.
- [7] 刘昱良, 李姚旺, 周春雷, 等. 电力系统碳排放计量与分析方法综述[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(06): 2220-2236.
- [8] 吴静, 刘轩宇, 李响, 等. 考虑网损的电力系统节点边际碳势理论研究与建模[J]. 中国电力, 2024, 57(06): 215-224.
- [9] 刘科, 张利孟, 赵中华, 等. 煤电机组发电、供汽(热)碳排放分摊方法研究[J]. 山东电力技术, 2023, 50(06): 52-57.
- [10] 梁为纲, 赵晓丽, 周凌峰, 等. 碳交易市场体系中的碳排放基准线: 应用实践、研究进展与展望[J]. 环境科学研究, 2022, 35(10): 2244-2251.
- [11] 闫景皓, 黄越辉, 卢慧, 等. 爱尔兰岛高比例新能源电力系统运行经验与启示[J]. 电网技术, 2024, 48(02): 498-510.
- [12] 黄彦璐, 胡旭东, 林振福, 等. 考虑峰荷特性的电力系统负荷侧碳排放责任核算方法[J]. 电力建设, 2025, 46(02): 88-98.
- [13] 薛志峰, 张吉, 刘晓华, 等. 基于动态碳排放责任因子的终端自律调节方法及碳交易机制研究[R]. 北京: 中科华跃能源互联网研究院, 2024.
- [14] 陈丽霞, 孙弢, 周云, 等. 电力系统发电侧和负荷侧共同碳责任分摊方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(19): 106-111.
- [15] 舒印彪, 张正陵, 汤涌, 等. 新型电力系统构建的若干基本问题[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(21): 8327-8341.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**