

一种基于充电设施瞬时错峰度评估的 接纳能力计算

刘艳萍¹, 李欣¹, 曾顺奇¹, 黄国华², 邓文扬²

(1. 广东电网有限责任公司广州供电局, 广东 广州 510620; 2. 广州市奔流电力科技有限公司, 广东 广州 510670)

摘要:“碳中和、碳达峰”背景下为缓解大规模电动汽车接入带来的配电网增容扩容压力, 提出考虑瞬时错峰度的配电网接纳充电设施的容量评估方法。首先建立区域现有负荷和充电负荷的计算模型; 其次以全时段潮流计算结果作为安全约束, 提出基于二分循环逼近法的接纳能力评估方法; 最后利用该方法求解最大接纳能力。在算例中, 通过瞬时错峰度评估不同负荷交互特性对接纳能力的影响, 求解不同配电网场景下的充电设施接纳能力。结果表明所提方法可以提高配电网容量资源的利用率, 减少不必要的扩容增容需求。

关键词: 充电设施; 接纳能力; 瞬时错峰度; 二分循环逼近法

DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2023.03.008 中图分类号: TM863 文章编号: 1673-9140(2023)03-0076-08

Acceptance capacity calculation based on instantaneous kurtosis evaluation of charging facilities

LIU Yanping¹, LI Xin¹, ZENG Shunqi¹, HUANG Guohua², DENG Wenyang²

(1. Guangzhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510620, China;

2. Guangzhou Power Electrical Engineering Technology Co., Ltd., Guangzhou 510670, China)

Abstract: Under the background of "carbon neutralization" and "carbon peak", in order to alleviate the pressure of distribution network capacity expansion caused by large-scale electric vehicle access, a capacity evaluation method of distribution network receiving charging facilities is proposed considering instantaneous kurtosis. Firstly, the calculation models of regional existing load and charging load are established. Secondly, taking the full-time power flow calculation results as security constraints, an acceptance capacity evaluation method based on bisection cyclic approximation method is proposed. Finally the maximum acceptance capacity is calculated by the method. In the case study, the acceptance capacity of charging facilities under different distribution network scenarios is solved through evaluating the influence of different load interaction characteristics on the acceptance capacity by instantaneous kurtosis. The results show that the proposed method can improve the utilization of distribution network capacity resources and reduce unnecessary capacity expansion requirements.

Key words: charging facilities; acceptance capacity; instantaneous kurtosis; bisection cyclic approximation method

电动汽车作为一种清洁、绿色、环保的交通出行工具, 是推动实现中国“碳中和、碳达峰”未来发
展战略必不可少的重要力量^[1-3]。截至 2020 年底, 中国新能源汽车保有量达 492 万辆, 比 2019 年增加

收稿日期: 2021-10-12; 修回日期: 2022-06-27

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目(GZHKJXM20190063)

通信作者: 邓文扬(1990—), 男, 博士, 主要从事电力电子化电力系统优化控制的研究; E-mail: 523110355@qq.com

111万辆,增长29.18%,其中纯电动汽车保有量400万辆,占新能源汽车总量的81.32%。新能源汽车增量连续3年超过100万辆,呈持续高速增长趋势^[4]。

充电负荷作为一种新型负荷,相比传统负荷具有随机性高、冲击性较大的特点,对电网的电压水平、潮流分布、电能质量以及可靠性等都会造成影响^[5-7],并对设备寿命造成损伤^[8-10];其中,充电负荷与传统负荷的“峰上叠峰”效应会加剧配电网的峰谷差,增大配电网重过载的风险;此外,充电负荷的逐年增长给原有配网带来了扩容增容压力。因此,在保证配电线路不发生重过载的前提下,研究配电网对充电负荷的接纳能力,对充电设施及配电网规划具有重要指导意义。

当前对充电负荷接纳能力的研究已经成为热点,通常的思路是进行充电负荷特性分析和接纳能力的建模。文献[11]考虑车辆用户的人口统计进行充电负荷特性分析;文献[12]采用同时计及机动车保有量增持和电动汽车渗透率的方法,采用两层规划理论并计及电动汽车充电负荷预测的充电站选址定容方法,建立电动汽车充电负荷的增长模型;文献[13-15]采用蒙特卡罗方法模拟不同类型电动汽车的并网场景,建立充电负荷预测模型,其中文献[13]采用三相潮流计算的方法,从节点电压偏移和网络功率损耗的概率分布特性评估配电网接纳电动汽车的能力;文献[14]在传统可靠性评估方法的基础上,提出了计及有序充电的电动汽车接纳能力量化评估方法;文献[15]从电压越限的角度对配电网接入电动汽车的接纳能力进行计算分析;文献[16]考虑单个居民区住户数量分布,结合负荷增长特性和充电行为差异,建立了居民区内充电负荷计算模型,考虑现有配电网负荷及其预期增长的基础上,提出了现有配电变压器接纳电动汽车充电能力的计算方法;文献[17]建立了以运行风险和排队时间为指标的充电负荷接纳能力量化模型。

然而,新增充电负荷与现有负荷峰值不同步,新增充电负荷高峰不一定会造成配电网重过载问题。目前,对配电网接纳充电负荷能力的研究普遍缺乏对配电网负荷时序性影响的考虑,忽视了设备利用率,所得接纳能力未能挖掘用户错峰充电的可利用空间。因此,本文定义接纳能力为10 kV 配

网新增充电设施最大可接入容量,并提出一种基于瞬时错峰度的接纳能力评估方法。对区域负荷特性进行建模,根据区域网架情况构建潮流计算拓扑结构,初始化接纳能力并对全时段的负荷情况进行潮流计算,以节点电压和线路电流为越限指标,判断各接纳能力的越限情况,利用二分循环逼近法进行修正和迭代计算,并以某10 kV 架空线配电网进行接纳能力评估及影响因素分析。

1 区域负荷特性建模

对于某一配电网区域,其电动汽车充电行为规律是相对稳定的^[18],因此,规划新增的充电设施未来产生的充电负荷与区域原有充电负荷特性有较强的一致性。而本文所提瞬时错峰度主要反映新增充电负荷与区域现有负荷之间的叠加交互特性,因此,需先对区域的现有负荷特性和充电负荷特性进行建模计算。本文以10 kV 馈线配电网进行分析说明。

1.1 现有负荷特性

现有负荷特性指的是配电网实际运行中的总负荷情况,包含区域中现有的充电负荷和非充电负荷,非充电负荷包括城市各行业中照明、制热、制冷及动力等负荷,现有负荷中可能含有或不含充电负荷,不同配电网所具有的情况不一样。10 kV 配电网的现有负荷可由计量设备测量得到,所以区域的现有负荷可直接由所有配电变压器负荷累加得到。现有负荷计算方法:

$$P_{\text{now}}(t) = \sum_{i=1}^{N_{\text{tran}}} P_{\text{tran},i}(t) \quad (1)$$

式中, $P_{\text{now}}(t)$ 为配电网 t 时刻的现有负荷; $P_{\text{tran},i}(t)$ 为配电网下第 i 台配电变压器 t 时刻的负荷; N_{tran} 为配电网下配电网变压器的数量。

由于不同时刻测量数据不同,会导致负荷产生时序性差异,负荷高低也会受到不同场景社会活动的影响,因此,本负荷建模可针对实际应用中的不同场景为后续接纳能力评估提供计算基础。

1.2 充电负荷特性

区域充电负荷是指由充电设施运作产生的负

荷,分为快充桩负荷与慢充桩负荷,可通过区域已有充电设施运行情况进行计算求得,即

$$P_c(t) = \sum_{i=1}^{N_q} P_{q,i}(t) + \sum_{i=1}^{N_s} P_{s,i}(t) \quad (2)$$

式中, $P_c(t)$ 为配电网 t 时刻的充电负荷; $P_{q,i}$ 、 $P_{s,i}$ 分别为配电网下第 i 台快、慢充桩 t 时刻的充电功率; N_q 、 N_s 分别为配电网下快、慢充桩的数量。

通常情况下新增充电设施未来产生的充电负荷与区域原充电负荷特性相近,但负荷量级未知,因此进一步将充电负荷进行归一化处理,以用于反映特性规律及后续接纳能力评估计算。归一处理的计算模型如下:

$$P_c^*(t) = \frac{P_c(t) - P_{c,\min}}{P_{c,\max} - P_{c,\min}} \quad (3)$$

式中, $P_c^*(t)$ 为配电网 t 时刻的充电负荷归一值; $P_{c,\max}$ 、 $P_{c,\min}$ 分别为一天内配电网充电负荷的最大、最小值。

若目标区域现有负荷中无充电负荷,则先分析该区域的负荷性质组成,再通过其他区域数据得到各负荷性质下的典型充电负荷归一值,按目标区域的负荷性质比例进行拟合,最后再对拟合结果进行归一处理,即

$$P_{c0}^*(t) = \sum_i^M \alpha_i P_i^*(t) \quad (4)$$

$$P_c^*(t) = \frac{P_{c0}^*(t) - P_{c0,\min}^*}{P_{c0,\max}^* - P_{c0,\min}^*} \quad (5)$$

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} S_{i,j}}{\sum_{j=1}^{N_{\text{trn}}} S_j} \quad (6)$$

式(4)~(6)中, $P_{c0}^*(t)$ 为充电负荷拟合中间值; α_i 为目标区域该类型负荷的比重,可由配变报装情况得到; $P_i^*(t)$ 为第 i 类场景的典型充电负荷归一值,场景负荷性质包括居民、工业、商业、办公以及农业等类型; M 为目标区域内配变的负荷性质总数; $P_{c0,\max}^*$ 、 $P_{c0,\min}^*$ 分别为一天内充电负荷拟合中间值的最大、最小值; $S_{i,j}$ 为第 i 类负荷性质第 j 台配变的报装容量; N_i 为第 i 类负荷性质的配变数量; S_j 为目标待计算区域第 j 台配变的报装容量; N_{trn} 为目标待计算区域配变数量。

2 接纳能力评估方法

本文首先对接纳能力进行指标定义,然后针对该指标进行评估流程的研究。

2.1 瞬时错峰度

本文接纳能力主要指配电网某一个节点接纳新增充电设施的容量上限,相比文献[9]以充电桩数量、文献[11-12]以电动汽车数量为依据的评估方法,本文所提接纳能力的评估标准可使规划人员更能直观认知配电网对新增充电设施的承载能力,从而对区域充电设施报装进行合理规划。

针对配电网区域所求的接纳能力值 P_a ,未来该配电网下用户的充电设施报装应满足:

$$\sum_{i=1}^K P_{R,i} \leq P_a \quad (7)$$

式中, K 为未来报装用户数; $P_{R,i}$ 为第 i 个充电用户的报装容量。

为发掘现有负荷和充电负荷交互特性对接纳能力的影响,本文提出瞬时错峰度指标进行评估,相关计算如下:

$$\xi(t) = \frac{P_c(t)/P_{c,\max}}{P_{\text{now}}(t)/P_{\text{now},\max}} \quad (8)$$

式中, $\xi(t)$ 为 t 时刻的瞬时错峰度; $P_{c,\max}$ 、 $P_{\text{now},\max}$ 分别为最大充电负荷、最大现有负荷。

2.2 接纳能力评估流程

接纳能力的计算过程涉及潮流运算,所以其与接入负荷之间的数量关系无法直接用数学关系式来反映;又因安全运行状态与负荷呈反相关,即接入负荷越大,新增充电负荷越容易导致越限,所得接纳能力也越小,所以本文采用二分循环逼近法进行快速求解。而遗传算法、粒子群算法等需通过数值探索修正来寻优,相比之下二分循环逼近法以逐次二分缩减寻优范围的方式更能节省一定的计算资源。

本文在考虑瞬时错峰度的基础上采用二分逼近法求解接纳能力。配电网对充电设施接纳能力的评估计算流程如图1所示,具体步骤如下。

1) 初始化3个接纳能力值 P_m 、 P_0 和 P_M , $P_m=0$ 、 $P_0=(P_m+P_M)/2$, P_M 尽可能取较大值使潮流越限。

2) 3种接纳能力值下结合数据分别进行潮流计算。对于每一时刻,将配变运行负荷数据 $P_{\text{tran},i}(t)$ 按相应位置代入各节点中,再将接纳能力对应的充电负荷分别代入到接纳节点中。考虑到某一馈线区域电动汽车群体充电行为相对较稳定,新增充电设施主要应对充电规模增大带来的负载需求,因此,新增充电负荷可认为与区域原充电负荷特性近似,则新增充电负荷可表示为

$$P_{\text{add}}(t) = P_c^*(t)P_a \quad (9)$$

式中, $P_{\text{add}}(t)$ 为 t 时刻目标节点新增充电负荷; $P_c^*(t)$ 为配电网 t 时刻的充电负荷归一值; P_a 为接纳能力,即 P_m 、 P_0 或 P_M 。

3) 根据安全接纳边界精度判断并决定后续操作。取合理精度边界 $\xi=0.001$,判断趋近精度 d 与 ξ 的大小关系:①若 $d>\xi$,则需用修正,转至步骤 4);②若 $d\leq\xi$,则先对当前接纳能力 P_m 、 P_0 和 P_M 进行越限判断,输出不越限的接纳能力值为目标节点新增充电设施的接纳能力。若存在多个不越限,则输出当中的最大值;若 P_m 、 P_0 均不越限,则输出 P_0 值为目标节点新增充电设施的接纳能力。

4) 根据潮流计算结果修正接纳能力。在完成全时段潮流计算后,根据结果判断 3 种接纳能力值下每个时刻潮流结果各节点的电压电流越限情况。电压应在上下限 U_{max}^* 、 U_{min}^* 间,电流应不超配电网线路最大允许电流 I_{max} ,若考虑 $N-1$ 原则,则有

$$I_{\text{max}} = \frac{N-1}{N} I_{\text{cap,max}} \quad (10)$$

式中, $I_{\text{cap,max}}$ 为线路载流量; N 为可互相转供的同级配电网数量。

当全时段潮流结果均不发生电压电流越限时,说明按该接纳能力新增充电设施不会使配电网越限;若至少有一个时刻发生越限则说明该接纳能力值会使配电网越限。在对 3 种接纳能力值越限情况进行判断后,利用二分循环逼近法对 P_0 、 P_m 和 P_M 进行修正,修正方式:①若 P_m 不越限、 P_0 和 P_M 越限,则

P_m 不变, $P_M=P_0$ 、 $P_0=(P_m+P_0)/2$;②若 P_m 和 P_0 不越限、 P_M 越限,则 P_M 不变, $P_m=P_0$ 、 $P_0=(P_0+P_M)/2$ 。同时计算趋近精度 $d=P_0-P_m$ 。修正后回到步骤 2) 进行重新计算。

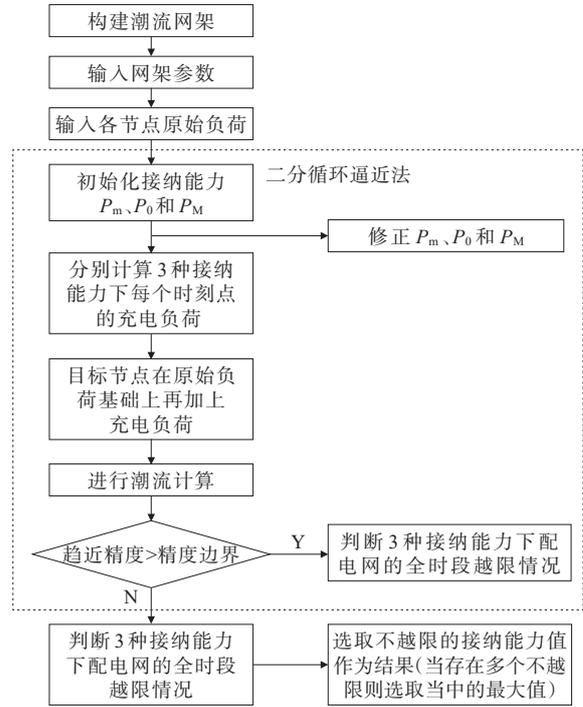


图 1 接纳能力的评估流程

Figure 1 Flowchart of acceptance capacity assessment

3 算例分析

3.1 场景设置

本文以某市一个 10 kV 架空线网架为例,进行算例分析,该网架参数如表 1 所示,拓扑示意如图 2 所示。假设该架空线网架各节点间距离相等,本文采用中国南方大城市的 3 种典型现有负荷特性和 3 种充电负荷特性进行方案搭配。3 种现有负荷和充电负荷归一值特性曲线分别如图 3、4 所示,为便于计算说明,本文对整个配电网采用单一现有负荷特性和充电负荷特性。

表 1 网架参数设置

Table 1 Grid parameter setting

节点数	主干线长度/km	单位阻抗/(Ω/km)	线路载流量/A	接线形式(N-1)	馈线首端基准电压/kV	各负荷功率因数	前、中、后端接入位置节点号
33	5	0.13+j0.307	495	3-1	10.5	0.95	3、17、33

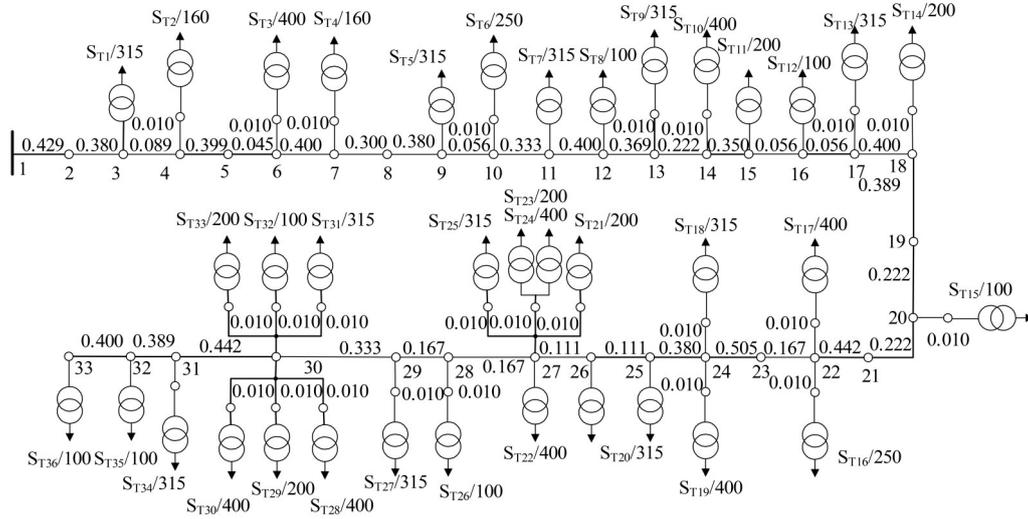


图 2 架空线拓扑示意

Figure 2 Overhead line topology diagram

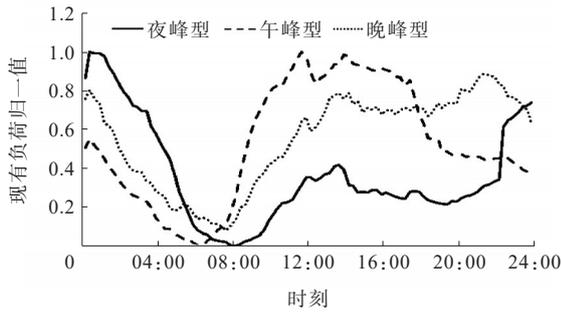


图 3 3种现有负荷特性

Figure 3 Three existing load characteristics

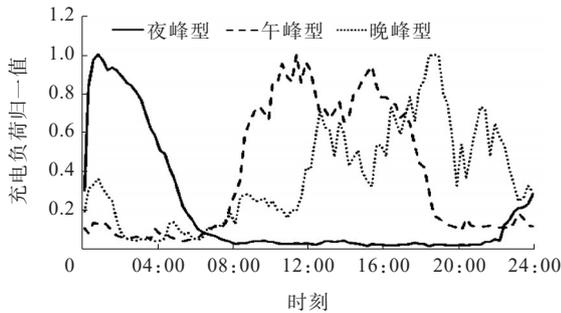


图 4 3种充电负荷特性

Figure 4 Three charging load characteristics

为比较不同程度现有负荷和新增充电负荷交互特性对接纳能力的影响,此处引入原始峰值负载率,即馈线现有运行情况下负荷峰值时的负载率。本仿真网架采用3-1接线,根据式(10)运行电流达到66.7%负载率时则达到安全运行上限,因此,对原始峰值负载率设置不同梯度,即0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%,则不同时刻现有负荷计算如下:

$$P_{now,0}(t) = \sqrt{3} U_0 I_{max} \cos \varphi \cdot P_{now}^*(t) \eta \quad (11)$$

式中, $P_{now,0}(t)$ 为仿真场景 t 时刻的现有负荷; U_0 为馈线首端基准电压; I_{max} 为配电网线路最大允许电流; $\cos \varphi$ 为功率因数; η 为原始峰值负载率,即现有负荷峰值时刻的负载率; $P_{now}^*(t)$ 为现有负荷 t 时刻的标幺值,求解方法可参照式(3)。本算例的现有负荷平均分配到除首端节点外的其他节点。

3.2 算例结果

3.2.1 算例 1

为探究不同峰型间交互特性对接纳能力的影响,本文选取3种峰型的现有负荷和3种峰型的充电负荷进行方案搭配,求取不同原始峰值负载率梯度下的网架首端接纳能力,计算结果如表2所示。

表 2 算例 1 结果(本文求法)

Table 2 Result of example 1 (solved by the method in this paper)

峰型搭配	不同负载率梯度(%)下的接纳能力/kW						
	0	10	20	30	40	50	60
夜峰型—夜峰型	5 700	4 750	3 800	2 850	1 900	1 000	0
夜峰型—午峰型	5 700	5 250	4 800	4 350	3 900	3 450	300
夜峰型—晚峰型	5 700	5 300	4 900	4 500	4 150	2 750	100
午峰型—夜峰型	5 700	5 250	4 800	4 350	3 950	3 500	3 100
午峰型—午峰型	5 700	4 900	4 100	3 300	2 500	1 600	700
午峰型—晚峰型	5 700	5 150	4 600	4 050	3 500	2 250	1 050
晚峰型—夜峰型	5 700	5 000	4 300	3 600	2 950	2 250	1 550
晚峰型—午峰型	5 700	4 950	4 250	3 500	2 750	1 700	700
晚峰型—晚峰型	5 700	4 900	4 100	3 300	2 500	1 650	800

注:本文接纳能力以50 kW为最小尺度。

由以上仿真结果可知,当现有负荷与充电负荷峰型相同时,接纳能力随最大负载率的增大呈线性减小的规律,此时接纳能力由整体负荷和充电负荷的叠峰决定,二者峰值出现时间较为相近,且不同负载率下均由二者叠加后峰值决定接纳能力,定义该时间点为接纳能力决定点。进一步对接纳能力决定点计算瞬时错峰度,计算结果如表 3 所示。

表 3 瞬时错峰度

Table 3 Instantaneous kurtosis

峰型搭配	不同负载率梯度(%)下的瞬时错峰度						
	0	10	20	30	40	50	60
夜峰型—夜峰型	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
夜峰型—午峰型	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	6.41
夜峰型—晚峰型	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	2.79	2.79
午峰型—夜峰型	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
午峰型—午峰型	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
午峰型—晚峰型	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	2.89	2.89
晚峰型—夜峰型	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
晚峰型—午峰型	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	2.21	2.21
晚峰型—晚峰型	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76

注:0%时若式(8)无法正常计算,则采用1%时的结果。

因决定接纳能力的是现有负荷或充电负荷的峰值,所以决定接纳能力时间点的瞬时错峰度反映现有负荷和充电负荷的叠峰差异。当原始峰值负载率变化下瞬时错峰度发生突变时,说明决定瞬时错峰度的负荷交互特性发生了改变,接纳能力也会发生突变,如夜峰型—夜峰型的瞬时错峰度均为 1.00,即接纳能力决定点的负荷交互特性基本一致,因此接纳能力随负载率呈线性变化;而夜峰型—午峰型在原始峰值负载率 50%~60% 变化时,瞬时错峰度存在拐点突变,即接纳能力决定点的负荷交互特性发生了改变,接纳能力产生急剧下降。

以夜峰型—午峰型方案为例,在 50%~60% 原始峰值负载率 η 间进一步设置不同梯度研究负荷叠加特性,如图 5 所示,可知当原始峰值负载率为 50%~54% 时,叠峰后的负荷特性与充电负荷特性一致,接纳能力决定点为 12:00,此时的充电负荷占比较大,所得接纳能力也较大;当原始峰值负载率为 54%~56% 时,瞬时错峰度由 0.47 突变至 6.41,接纳能力决定点转移至夜间 01:00,此时充电负荷占比远小于原始峰值负载率 50%~54% 时的情况,因此得到的接纳能力有明显减小;当原始峰值负载

率大于 56% 时,瞬时错峰度保持 6.41 并趋于稳定,后续接纳能力随原始峰值负载率增大而急剧减小。由此可进一步生成夜峰型—午峰型,接纳能力与原始峰值负载率关系如图 6 所示。

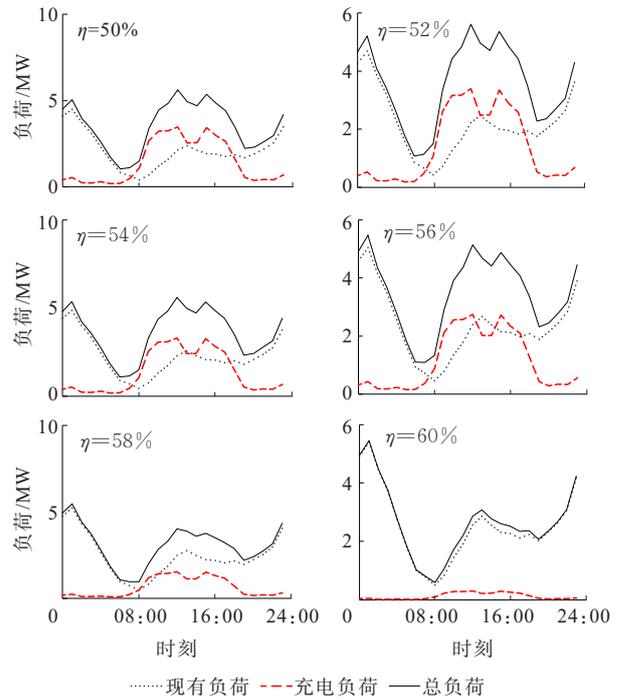


图 5 夜峰型—午峰型负荷叠加特性

Figure 5 Superposition characteristics of night-noon peak load

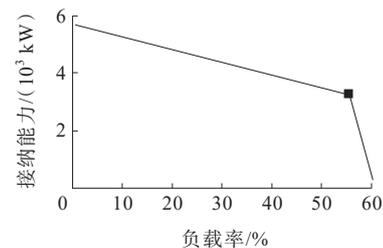


图 6 接纳能力与原始峰值负载率关系

Figure 6 Relationship between acceptance capacity and original peak load rate

一般采用峰值冗余容量方法求解传统充电设施可允许接入容量,而本文所提方法考虑了现有负荷和未来新增充电负荷错峰性的特点,充分挖掘了错峰充电的利用空间,在保证配电网安全运行的情况下,求取目标区域最大接纳充电设施的能力。另外,为对比本文方法与一般性冗余求法的差异,进一步对算例 1 情景下各方案采用冗余求法,即

$$P'_a(t) = \sqrt{3} U_0 I_{\max} \cos \varphi - P_{\text{now, max}} \quad (12)$$

式中, $P'_a(t)$ 为冗余求法下的接纳能力; U_0 为基准电

压,取 10.5 kV; $\cos\varphi$ 为功率因数; $P_{\text{now,max}}$ 为现有负荷峰值。

由式(9)求解算例1各方案接纳能力结果如表4所示。对比表2、4可知,当原始峰值负载率为0%时,即原有网架无现有负荷,2种算法接纳能力一致,负荷特性对接纳能力无影响,接纳能力等于线路电流为 I_{max} 时对应的负荷值。

表4 算例1结果(冗余求法)

Table 4 Result of example 1 (solved by redundancy method)

原始峰值 负载率/%	接纳能 力/kW	原始峰值 负载率/%	接纳能 力/kW	原始峰值 负载率/%	接纳能 力/kW
0	5 700	30	2 000	50	1 200
10	4 800	40	2 100	60	300
20	3 900				

因冗余求法等效于仅考虑电流超限的情况,所以选取表2中因电流超限而导致收敛输出的数据项进行对比,即夜峰型—午峰型的结果,可以看出,本文求法比冗余求法能够求得更大的接纳能力,即本文方法充分利用了新增充电负荷错峰叠加的特性,挖掘了配电网系统更多可增设充电设施的空间,在保证电压、电流安全约束的前提下相比冗余求法具有更好的规划参考价值。

3.2.2 算例2

为探究不同充电设施接入位置对接纳能力的影响,算例2选取夜峰型现有负荷和3种峰型的充电负荷进行方案搭配,最大负载率选取20%,基于图2网架接入位置,首端选取节点2、4,中端选取节点16、18,末端选取节点31、33,由此求解主干线不同接入位置的接纳能力,计算结果如表5和图7所示。由图7可知,接入充电设施的位置距离主干线首端越远,其接纳能力越小,邻近2个节点的接纳能力差异较小。首、末端的接纳能力相差50~200 kW,若现有负荷与充电负荷峰型相同,首、末端相差100 kW左右,则相比峰型不同的情况这一差异要小一些,因为叠峰型交互下的接纳能力低于错峰型,首、末端接纳能力差异的放大效果也小于错峰型。对于充电设施规划接入位置的选择,应优先考虑接近电源点位置进行接入。

表5 算例2结果

Table 5 Results of example 2

峰型搭配	不同接入位置的接纳能力/kW					
	首端节点		中端节点		末端节点	
	2	4	16	18	31	33
夜峰型—夜峰型	3 828.7	3 819.8	3 766.2	3 760.6	3 727.5	3 722.0
夜峰型—午峰型	4 811.1	4 800.8	4 739.5	4 723.9	4 630.1	4 614.5
夜峰型—晚峰型	4 925.7	4 912.7	4 834.9	4 817.7	4 714.9	4 701.3

注:临近2个节点接纳能力数值差异较小,此处以0.1 kW为最小尺度。

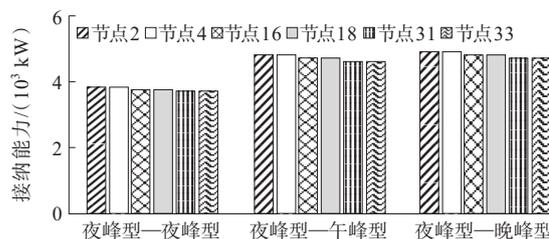


图7 不同接入位置下接纳能力

Figure 7 Acceptance capacity at different access locations

4 结语

1) 本文提出了一种考虑瞬时错峰度的配电网接纳充电设施的容量评估方法,相比一般规划中的冗余求法,充分挖掘了目标场景错峰充电的利用空间,为充电设施规划建设提供了有价值的参考,可充分提高配电网容量资源的利用率,减少不必要的扩容增容需求。

2) 本文通过瞬时错峰度指标评估现有负荷与充电负荷交互特性对接纳能力的影响,当瞬时错峰度发生突变时,表明决定点负荷交互特性发生改变,接纳能力随原始峰值负载率增大而急剧减小。

3) 接入充电设施的位置距离主干线首端越远,其接纳能力越小,但整体来看差别不大,对于充电设施规划接入位置的选择,应优先考虑接近电源点位置进行接入。

4) 后续可进一步从不同网架拓扑结构、不同线路型号等方面深入研究接纳能力的受影响情况,可为充电设施规划建设提供更完善的理论依据。

参考文献:

- [1] 邹才能,熊波,薛华庆,等.新能源在碳中和中的地位与作用[J].石油勘探与开发,2021,48(2):411-420.
ZOU Caineng, XIONG Bo, XUE Huaqing, et al. The status and role of new energy in carbon neutralization[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(2): 411-420.

- [2] 黄廷城,张勇军. 计及充电可靠性的电动汽车有序充电电控制策略优化与分析[J]. 电力科学与技术学报, 2019, 34(4):85-92.
HUANG Tingcheng, ZHANG Yongjun. Optimization and analysis of orderly charge and discharge control strategy of electric vehicle considering charging reliability[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2019, 34(4):85-92.
- [3] WANG H, ZHANG Y, MAO H. Load forecasting method of EVs based on time charging probability[C]//International Conference on Power System Technology (POWERCON), Guangzhou, China, 2018.
- [4] 石扬帆,樊鑫虎,王博文,等. 全球电动汽车发展现状及未来趋势分析[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(10):194-195.
SHI Yangfan, FAN Xinhui, WANG Bowen, et al. Analysis on the development status and future trend of global electric vehicles[J]. Automotive Practical Technology, 2021, 46(10): 194-195.
- [5] 姚一鸣,赵溶生,李春燕,等. 面向电力系统灵活性的电动汽车控制策略[J]. 电工技术学报, 2022, 37(11):2813-2824.
YAO Yiming, ZHAO Rongsheng, LI Chunyan, et al. Control strategy of electric vehicles oriented to power system flexibility[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2022, 37(11):2813-2824.
- [6] 孟宪珍,张艳,安琪,等. 电动汽车接入充电对配电网电压波动的影响[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(2):91-98.
MENG Xianzhen, ZHANG Yan, AN Qi, et al. Influence of electric vehicle access charging on voltage fluctuation of distribution network[J]. Power System and Clean Energy, 2021, 37(2):91-98.
- [7] XUE P, XIANG Y, GOU J, et al. Impact of large-scale mobile electric vehicle charging in smart grids: a reliability perspective[J]. Frontiers in Energy Research, 2021, 9:688034.
- [8] HILSHEY A D, HINES P D H, REZAEI P, et al. Estimating the impact of electric vehicle smart charging on distribution transformer aging[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(2):905-913.
- [9] GONG Q, MIDLAM-MOHLER S, MARANO V, et al. Study of PEV charging on residential distribution transformer life[J]. IEEE Transaction on Smart Grid, 2012, 3(1):404-412.
- [10] KELLY L, ROWE A, WILD P. Analyzing the impacts of plug-in electric vehicles on distribution networks in British Columbia[C]//IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC), Montreal, QC, Canada, 2009.
- [11] 蔡黎,张权文,代妮娜,等. 规模化电动汽车接入主动配电网研究进展综述[J]. 智慧电力, 2021, 49(6):75-82.
CAI Li, ZHANG Quanwen, DAI Nina, et al. Review on research progress of large-scale electric vehicle access to active distribution network[J]. Smart Power, 2021, 49(6): 75-82.
- [12] 肖丽,谢尧平,胡华锋,等. 基于V2G的电动汽车充放电双层优化调度策略[J]. 高压电器, 2022, 58(5):164-171.
XIAO Li, XIE Yaoping, HU Huaifeng, et al. Two-level optimization scheduling strategy for EV's charging and discharging based on V2G[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(5):164-171.
- [13] 徐杨杨,张新松,陆胜男,等. 多重随机特性下的电动汽车充电网络机会约束规划[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(6):30-39.
XU Yangyang, ZHANG Xinsong, LU Shennan, et al. Chance constrained optimization of an electric vehicle charging network with multiple stochastic characteristics[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(6):30-39.
- [14] 胡俊杰,赖信辉,郭伟,等. 考虑电动汽车灵活性与风电消纳的区域电网多时间尺度调度[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(16):52-60.
HU Junjie, LAI Xinhui, GUO Wei, et al. Multi-time-scale scheduling for regional power grid considering flexibility of electric vehicle and wind power accommodation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(16):52-60.
- [15] 刘宗,何俊,黄文涛,等. 基于态势感知的高渗透率电动汽车接入电网后电压调整策略[J]. 中国电力, 2023, 56(2):32-44.
LIU Zong, HE Jun, HUANG Wentao, et al. Voltage adjustment strategy for high-penetration electric vehicles connected to power grid based on situation awareness[J]. Electric Power, 2023, 56(2):32-44.
- [16] 李景丽,杨旭晨,张琳娟,等. 规模化电动汽车有序充电分层控制策略研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(5):168-175.
LI Jingli, YANG Xuchen, ZHANG Linjuan, et al. Research on hierarchical control strategy of orderly charging of large-scale electric vehicles[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(5):168-175.
- [17] 杨景旭,张勇军. 基于有序充电启动机制和补贴机制的充电负荷接纳能力优化[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(11):122-130.
YANG Jingxu, ZHANG Yongjun. Optimization of charging load acceptance capacity based on orderly charging start-up mechanism and subsidy mechanism[J]. Power automation equipment, 2020, 40(11):122-130.
- [18] 谭俊,张世通,刘广一,等. 电动汽车参与多元电碳市场策略框架研究[J]. 供用电, 2022, 39(12):59-66.
TAN Jun, ZHANG Shitong, LIU Guangyi, et al. A strategic framework for integrating electric vehicles into joint electricity and carbon market[J]. Distribution & Utilization, 2022, 39(12):59-66.