

新型电力系统需求侧源荷协调方案研究

王云飞¹, 庞洁琼¹, 张 师²

(1. 北京电力设备总厂有限公司, 北京 102400; 2. 东北电力大学电气工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘 要:在双碳背景下,大规模新能源将成为电源的重要组成部分,其功率波动为系统调峰带来压力,因此需求侧源荷协调方案的制定是一项值得研究的工作。文中分析了新能源和负荷的功率波动特性,制定了需求侧响应方案,并搭建某地区算例进行分析,验证方案的有效性。通过研究表明,文中的负荷侧响应方案可以有效缓解高峰时段的供电压力。

关键词:新型电力系统;需求侧响应;负荷波动;风电功率;光伏功率

中图分类号:TM 715 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-348X(2025)01-0055-04

0 引言

在双碳背景下,新能源将进入快速发展时期,随着未来电力系统的发展,大规模新能源将成为电源的重要组成部分,如风电、光伏发电、潮汐发电等。新能源的功率具有随机性、波动性,其大规模接入后,仅依靠传统的火电、水电响应,无法满足系统供需平衡,因此深入挖掘负荷侧潜能,推动用户积极主动响应是一项重要的工作^[1-4]。

目前关于需求侧响应的研究已经取得了一些成果,文献[5]在电、热、冷多元负荷具备转移、削减和替代响应特性的基础上,构建考虑电动汽车有序充电策略的需求侧响应模型,从而深入挖掘需求侧的可调度潜力,以购能成本、弃风成本、响应补偿成本、运维成本和碳交易成本之和最小为优化目标,建立 IES 供需协同优化模型;文献[6]分析了需求侧单体灵活性资源调节特性,建立了海量需求侧单体灵活性资源聚合调节模型,并构建了基于时序生产模拟的需求侧响应促进新能源消纳量化分析模型;文献[7]考虑当日分时电价信息,建立需求侧能源消费支出最小和电器设备使用满意度最高的能源优化调度策略;文献[8]提出了电力碳银行的结构,由“源随荷动”变为“源荷互动”模式,把尖峰时

刻的用电需求转移到低谷,降低负荷而不影响负荷用电需求,提出负荷控制模型及算法,引导用户主动参与电网的错峰平谷调控,实现负荷调控过程的精准化、高效化;文献[9]根据负荷特性将用户负荷分类,建立用户负荷的需求侧响应模型,并基于不确定因素的历史数据,使用场景法生成典型场景,在此基础上以综合能源系统的经济运行目标,建立综合能源系统随机优化模型,并通过算例分析该优化模型效果;文献[10]考虑了可平移负荷、可转移负荷和可削减负荷约束条件,构建面向新能源消纳的多类型需求响应聚合协同优化运行模型,并以某省级电网算例开展仿真研究,分析了各种类型需求响应的改善效果与机制;文献[11]建立了考虑响应可靠率的需求侧资源自主被动组合响应模型,提出了基于二分搜索算法的电网需求调节系数优化方法,动态优化自主响应资源和被动响应资源的组合方案,在满足响应可靠率和电网调节需求的同时实现成本最小化。

以上分析表明,针对新能源波动的电力系统需求侧源荷协调研究受到了学者们的广泛关注,电网负荷侧源荷协调能力是决定未来电网新能源发展规模的重要因素。基于此,文中将研究新能源功率波动特性及负荷功率波动特性,并制定相应的协调方案,最后通过算例分析验证文中方案有效性。

收稿日期:2024-11-14

作者简介:王云飞(1985),男,大学本科,工程师,研究方向为电力系统调度运行。

1 负荷和新能源波动特性分析

抽取某小区2012年实测负荷数据,如图1所示,30天的日负荷为96个数据,每15 min一个数据。

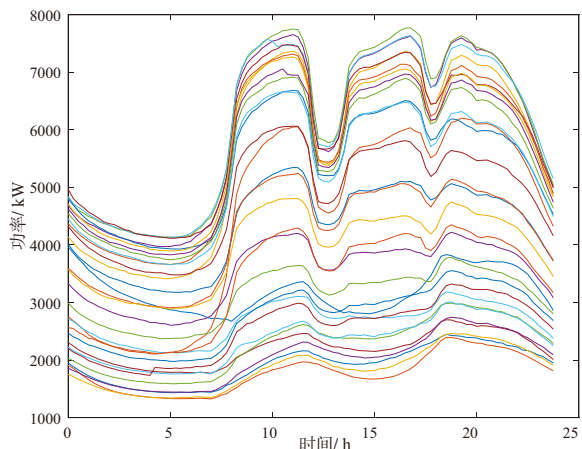


图1 某30日负荷波动情况

根据图1中的数据,将每个小时的组数据取平均值,再将30组数据取平均值,得到一组典型的日负荷曲线,如图2所示。

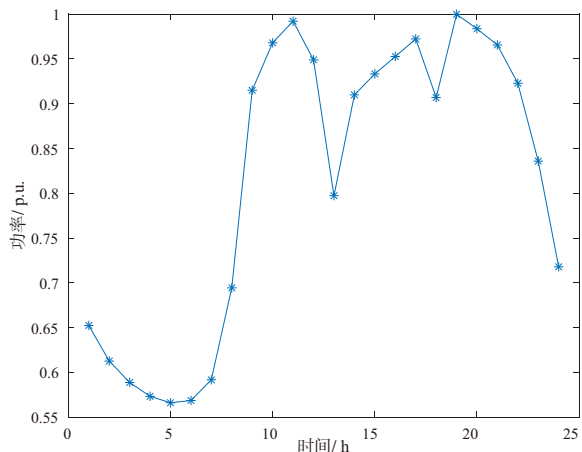


图2 典型日负荷

负荷的标么值按式(1)计算:

$$P_{Li^*} = \frac{P_{Li}}{\max(P_{Li})} \quad (1)$$

式中: P_{Li} 为负荷的有名值; P_{Li^*} 为负荷的标么值。式(1)公式可以为后续算例中的典型负荷数据形成提供参考。

从图2可以看出,10-12 h、19-21 h为负荷高峰时段,0-7 h为负荷低谷时段。

对新能源功率标么值计算可以用以下方法:

$$P_{Gi^*} = \frac{P_{Gi}}{\max(P_{Gi})} \quad (2)$$

式中: P_{Gi} 为新能源发电功率的有名值; P_{Gi^*} 为发电功率的标么值。

采用式(2)的方法和光伏实测数据,得出典型日光伏功率曲线如图3所示。

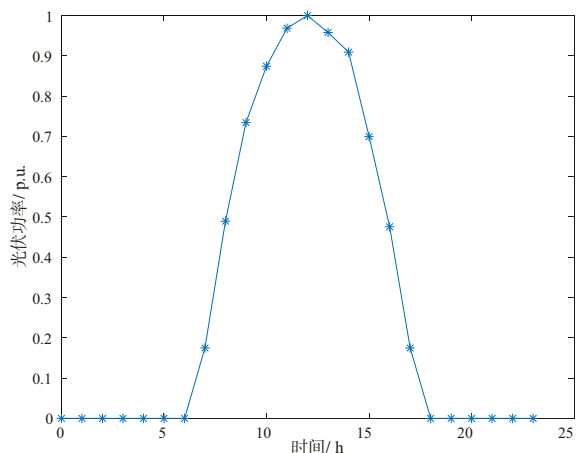


图3 典型日光伏功率

从图3可以看出,光伏功率在18-22 h存在反调峰特性。

典型日风电功率如图4所示,从图4可以看出,风电功率波动于负荷功率波动之间存在反调峰特性。

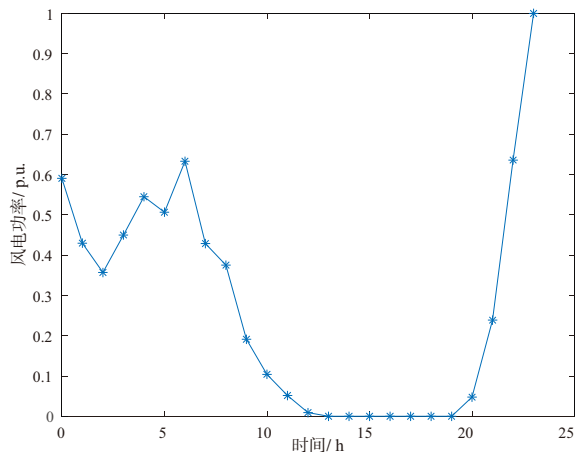


图4 典型日风电功率

2 需求侧源荷协调方案

设电网中的可响应负荷有 n 处,第 i 个可以响应新能源功率波动的负荷响应功率可以表示为:

$$\Delta P_{Li^*} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{Li^*} - \sum_{i=1}^k P_{Gi^*}}{n} \quad (3)$$

式中: m 为系统中的负荷接节点数; k 为系统中的新能源节点数。

每处能够响应新能源波动的负荷功率也要满足功率约束:

$$\Delta P_{Li} \leq \alpha_{\max i} P_{Li} \quad (4)$$

式中: $\alpha_{\max i}$ 为第 i 个负荷接节点能够响应的最大负荷占比,在不同时段负荷能够响应的功率不同, $\alpha_{\max i}$ 一般可以取3%~10%。

式(3)中可以看出,当新能源发电功率标幺值小于系统总负荷标幺值时,需要负荷响应功率波动,此时 ΔP_{Li} 为正;当新能源发电功率标幺值大于系统总负荷标幺值时,需要负荷响应功率波动,此时 ΔP_{Li} 为负。

3 算例分析

文中采用某地区的10 kV配电网进行分析,简化后的系统如图5所示。

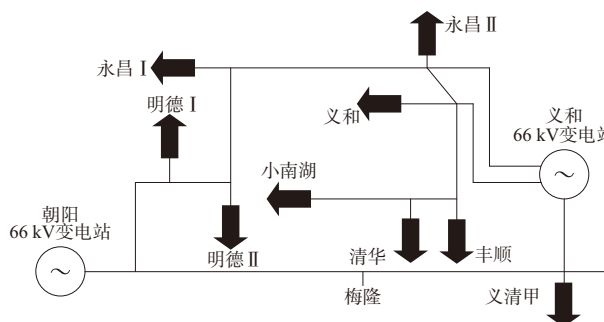


图5 简化后某地区系统图

节点编号及设置各节点最大负荷及可响应情况如表1所示,朝阳66 kV变电站与义和66 kV变电站均作为系统电源,计算潮流时设为平衡节点。

表1 系统负荷及电源情况

节点编号	位置	最大负荷/MVA	光伏/MW	风电/MW
1	电源	0	0	0
2	义清甲	5+j1.5	0	0
3	梅隆	0	0	4
4	明德I	2+j0.5	0	0
5	明德II	2+j0.5	3	0
6	永昌I	2.5+j0.75	0	0
7	永昌II	2.5+j0.75	0	0
8	义和	3+j0.75	0	0
9	丰顺	2+j0.5	0	0
10	清华	1.5+j0.35	0	0
11	小南湖	7.5+j1.5	3	3.5

设系统中各负荷、分布式电源波动情况如图2、图3和图4的数据。基准功率100 MVA,基准电压10 kV。负荷响应前各时段功率如图6所示。

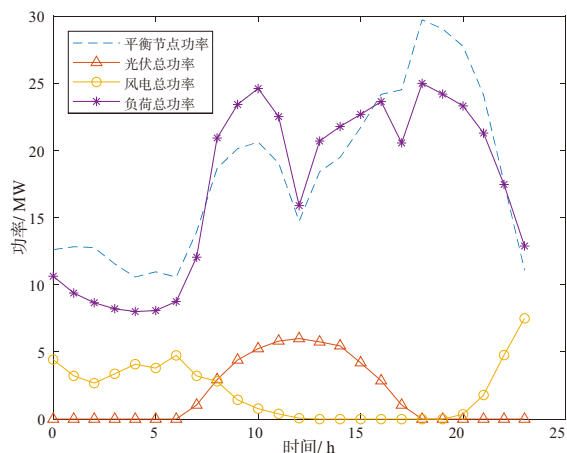


图6 负荷响应前各时段功率

根据公式(3)计算得出的负荷侧响应功率如图7所示。

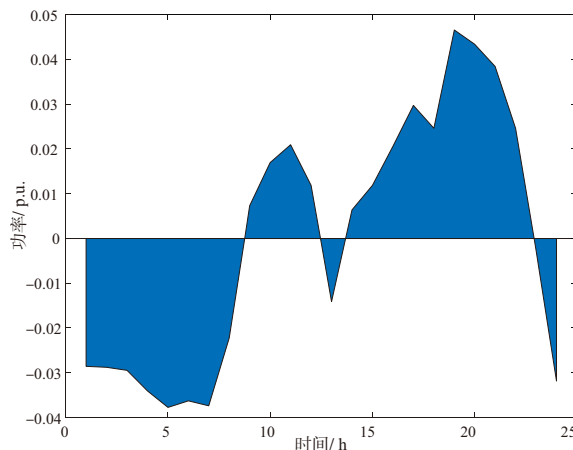


图7 负荷侧响应功率

将负荷按图7进行需求侧相应后,各时段的功率如图8所示。

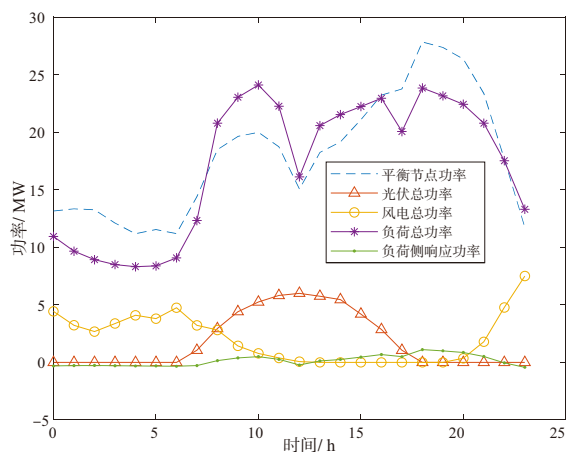


图8 负荷侧响应后功率

从图8可以看出,负荷侧参与响应后,可以减少平衡节点(66 kV变电站)供给系统的功率,负荷参与响应

前,变电站向该系统提供最大功率为29.7349 MW;负荷参与响应后,变电站向该系统提供最大功率为27.8311 MW。

由以上分析可知,文中负荷侧响应方案可以有效缓解高峰时段的供电压力。

4 结论

文中针对新型电力系统研究了负荷、光伏发电、风力发电的功率波动特性,制定了负荷侧响应方案,并采用某地区系统进行算例分析。通过文中分析可知,负荷侧响应新能源功率波动可以有效缓解高峰时段的供电压力。

参考文献:

[1] 李卫国,陈立铭,张师,等.分时电价下考虑储能调度因素的短期负荷预测模型[J].电力系统保护与控制,2020,48(7):133-140.

[2] 徐真真,张师.储能接入风光互补系统潮流分析[J].电气开关,2022,60(6):80-83.

[3] Asaad A, Ali A, Mahmoud K, et al. Multi-objective optimal planning of EV charging stations and renewable energy resources for smart microgrids[J]. Energy Science And Engineering, 2023, 11(3): 1202-1218.

[4] Kida Y, Hara R, Kita H. Microgrid introduction for stabilization of power grid[J]. IEEJ Transactions on Power and Energy, 2023, 143(2): 157-164.

[5] 吴永孝,肖辉,曾林俊,等.考虑供需双边响应的综合能源系统优化调度[J].电力建设,2024,45(10):13-23.

[6] 傅铮,王峰,王若宇,等.基于时序生产模拟的需求侧响应促进新能源消纳量化分析[J].浙江电力,2024,43(9):39-48.

[7] 王锦浩,姚磊,田颖,等.考虑负荷状态提取与分时电价的需求侧能源调度策略[J].智慧电力,2024,52(6):92-99.

[8] 雷庆生,方华亮,夏勇军,等.考虑需求侧响应的电力碳银行结构及模型分析[J].电工技术,2024(11):5-10.

[9] 卢健航,张森,肖国威,等.考虑需求侧响应及V2G的综合能源系统随机优化[J].黑龙江电力,2024,46(2):115-121,127.

[10] 李昂,何嘉泰,李海波,等.面向新能源消纳的需求侧灵活性资源聚合响应分析[J].电网与清洁能源,2024,40(3):147-154,162.

[11] 窦迅,王俊,曾浩辉,等.考虑响应可靠率的需求侧资源自主被动组合响应策略[J].电网技术,2024,48(8):3207-3216.

(上接第48页)

[17] Ma L, Yao Y, Wang M. The optimizing design of wheeled robot tracking system by PID control algorithm based on BP neural network[J]. IEEE, 2017.

[18] Leso M, Zilkova J, Girovsky P. Development of a simple fuzzy logic controller for DC-DC converter[C]//2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Budapest, Hungary, 2018:86-93.

[19] Li R, Wu F, Hou P, et al. Performance assessment of FO-PID temperature control system using a fractional order LQG benchmark[J]. IEEE Access, 2020:81-101.

[20] 吕恩利,蔡晋炜,曾志雄,等.基于BPNN-PID控制策略的果蔬保鲜环境参数调控优化[J].华南农业大学学报, 2024, 45(1):137-147.

[21] 冯旭刚,黄鹏辉,张泽辰,等.基于GA-模糊RBF的发电机组滑模自抗扰控制[J].仪器仪表学报,2023,44(8):319-328.

[22] 罗绍华,王家序,李俊阳,等.柔性滤波驱动机构的自适应动态面模糊控制[J].哈尔滨工程大学学报,2014,35(7):889-894.

[23] Borne LS, WendeM. Iterative solution of saddle-point systems from radial basis function (RBF) interpolation[J]. SIAM journal on scientific computing, 2019, 41(3):1706-1732.

[24] 都吉东,陶文华,李邵鹏,等.自适应差分算法优化的焦炭质量BP模型[J].控制工程,2019,26(6):1170-1176.

[25] 刘桂花,王卫,徐殿国.具有快速动态响应的数字功率因数校正算法[J].中国电机工程学报,2009,29(12):10-15.