

大规模虚拟储能模式平抑新能源功率预测误差研究

樊国旗¹,刘桂龙²,樊国伟³,王志远³,赵普志³,卫瑞⁴,印欣³,曾林俊⁵

- (1. 国网金华供电公司,浙江 金华 321017; 2. 中国海诚工程科技股份有限公司,上海 200031;
3. 国网新疆电力有限公司,新疆 乌鲁木齐 830011; 4. 西安西电避雷器有限责任公司,陕西 西安 710200;
5. 湖南大学电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要:新能源预测误差使系统调节能力不足导致新能源限电。为提高新能源消纳,结合自备电厂虚拟储能特点,提出大规模虚拟储能平抑新能源功率预测误差优化调度方法。首先分析新能源功率预测误差分布特点,然后将新能源预测功率按照一定置信度纳入发电计划,进而建立大规模虚拟储能平抑新能源功率预测误差调度模型。通过某地区实际数据验证所提模型的经济性和有效性,并针对关键因素灵敏度分析验证该模型的有效性。

关键词:新能源消纳;新能源预测误差;虚拟储能

中图分类号:TM734 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2021)02-0019-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210204

Research on Large-scale Virtual Energy Storage Mode for Stabilizing New Energy Power Prediction Error

Fan Guoqi¹, Liu Guilong², Fan Guowei³, Wang Zhiyuan³, Zhao Puzhi³, Wei Rui⁴, Yin Xin³, Zeng Linjun⁵

(1. State Grid Jinhua Electric Power Supply Company, Jinhua 321017, Sichuan, China;

2. China Haisum Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 200031, China;

3. State Grid Xinjiang Electric Power Company, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

4. Xi'an XD Arrester Co., Ltd., Xi'an 710200, Shaanxi, China;

5. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China)

Abstract: New energy prediction errors cause insufficient regulation of the system, resulting in new energy abandonment. In order to improve the new energy consumption, combined with the characteristics of virtual energy storage of self-owned power plants, an optimal dispatch method is proposed for the prediction error of new energy power stabilized by a large-scale virtual energy storage. Firstly, the distribution characteristics of new energy power prediction errors are analyzed, and the new energy prediction power is incorporated into the power generation plan according to a certain degree of confidence, and then a dispatching model for new energy power prediction error stabilized by a large-scale virtual energy storage is established. The economics and effectiveness of the proposed model is verified through actual data examples in a certain area, and aiming at the sensitivity analysis of key factors, the availability of the proposed model is verified too.

Key words: new energy consumption; new energy prediction error; virtual energy storage

0 引言

新能源可再生特点在促进经济可持续发展中发挥着越来越重要的作用^[1],但是新能源功率预测误

基金项目:国家重点研发计划项目“面向跨境互联的多能互补新型能源系统关键技术研究”(2018YFE0208400)

差对电力系统调节能力带来巨大的压力^[2],导致新能源功率预测误差造成新能源限电。

目前主要通过电源侧、负荷侧及电力市场建设来促进新能源消纳^[3-6]。文献[7-8]利用需求侧响应平衡新能源功率预测误差,促进新能源消纳。文献[9]通过电热综合系统联合调度应对风电功率预测不确定性,减少弃风。文献[10]利用储能减少

风电预测误差。文献[11]首先利用高斯分布拟合风电预测功率,然后利用源荷互动促进风电消纳。文献[12]将风电预测值和实际值聚类成多目标场景,然后利用风电-水电联合调度验证其优良调峰能力和经济效果。

某地区含有大量自备电厂,通过大规模虚拟储能平抑新能源功率预测误差,可促进新能源消纳。下面提出大规模虚拟储能平抑新能源功率预测误差优化调度方法,针对新能源预测功率误差问题,采取自备电厂虚拟平抑预测误差,并对比不含虚拟储能调度方法的系统成本及新能源限电情况,通过对某地区实际电网进行算例仿真,验证所提调度方法的可行性;并分析虚拟储能参与比例、新能源功率预测准确率和新能源预测功率纳入率等关键因素对新能源限电的影响。

1 新能源功率预测误差及其平抑调度方法

1.1 新能源功率预测误差分布

日前新能源预测功率基于输入风速、光照强度等拟合得到超短期新能源功率预测数据,预测误差较大。根据历史数据得到预测的置信度 A_{pos} 。

$$A_{\text{pos}} = \left| 1 - \frac{|P_{n,f} - P_n|}{P_{n,f}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

式中: $P_{n,f}$ 为新能源预测功率; P_n 为新能源实际功率。

置信度 A_{pos} 为 95% 时,新能源功率预测准确性如图 1 所示。

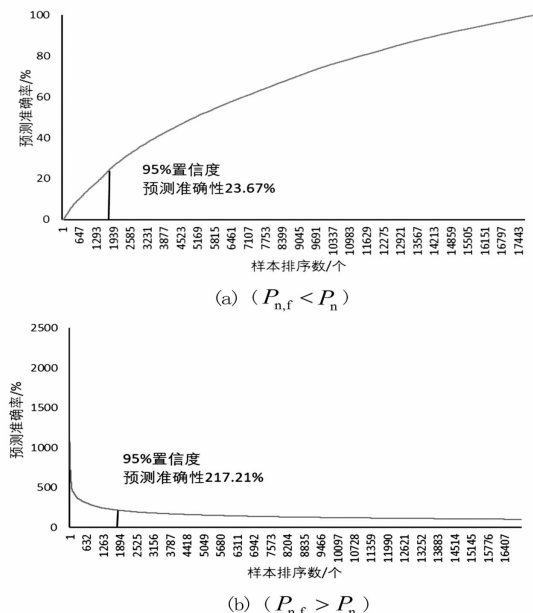


图 1 置信度 95% 时新能源功率预测准确性

由图 1 可知 95% 置信度时新能源预测准确率分别为 0.236 7 ($P_{n,f} < P_n$) 和 2.172 1 ($P_{n,f} > P_n$)。

1.2 新能源纳入发电计划方法

由于新能源比例不断增高,因此需要将新能源纳入发电计划中。如果将新能源完全纳入发电计划,则可能因预测功率高于实际功率过大产生新能源限电,或者因预测功率低于实际功率过多导致失负荷。电网目标为可靠、安全、经济、高效和环境友好,其首要目标为可靠和安全,其次为经济和高效。因此为了电网可靠安全,将新能源按照一定置信度预测准确率纳入发电计划,尽量避免失负荷导致电网安全可靠问题。

首先,按照 95% 置信度的新能源预测准确率纳入发电计划;其次,将预测非自备负荷与纳入新能源预测功率拟合,得到考虑新能源预测准确率的预测非自备等效负荷 $P_{L,g,e,n}$,由于负荷预测准确率较高,因此用实际非自备负荷代替预测非自备负荷。

$$P_{n,n} = P_{n,f} \cdot A_{\text{pos}}^* \quad (2)$$

式中: $P_{n,n}$ 为纳入新能源预测功率; A_{pos}^* 为所要求的置信度。

$$P_{L,g,e,n} = P_{L,g} - P_{n,n} \quad (3)$$

式中, $P_{L,g}$ 为非自备负荷。

由于自备企业负荷由自备电厂机组供电,因此需要独立考虑。自备负荷和非自备负荷组成系统负荷为

$$P_L = P_{L,g} + P_{L,z} \quad (4)$$

式中, $P_{L,z}$ 为自备负荷。

1.3 考虑虚拟储能平抑新能源误差调度方法

自备企业通过调整自备电厂机组出力参与大规模虚拟储能,平抑新能源预测功率误差。当新能源预测功率大于实际功率时,首先减少火电机组出力,当仍不能满足要求时,降低自备电厂机组出力;如果仍然不能满足要求,则将该部分新能源采取限电处理。当新能源预测功率小于实际功率时,首先增加火电机组出力;当仍不能满足要求时,增加自备电厂机组出力,此时如果仍然不能满足要求,则对该部分负荷采取失负荷处理。

2 调度计划

2.1 目标函数

调度目标:新能源限电量最小。

$$\min(\sum_{i=1}^T P_{n,a} \cdot t) \quad (5)$$

式中, $P_{n,a}$ 为新能源限电功率。

新能源限电及虚拟储能调用总成本 C_e 为

$$C_e = C_{n,a} + C_x \quad (6)$$

式中: $C_{n,a}$ 为新能源限电成本; C_x 为虚拟储能调用成本。

系统总成本 C_s 为

$$C_s = C_e + C_f \quad (7)$$

式中, C_f 为火电(自备)机组运行成本。

参与虚拟储能自备电厂同为火电机组,因此火电(自备)机组运行成本统一表示为

$$C_{f(z)} = \sum_{i=1}^{T_1} \sum_{i=1}^{N_1} [a_i \cdot (P_{f(z),i} \cdot t)^2 + b_i \cdot P_{f(z),i} \cdot t + c_i] \quad (8)$$

式中: T_1 为火电(自备)机组运行总时间; N_1 为火电(自备)机组数量; $P_{f(z),i}$ 为第 i 台火电(自备)机组的功率大小; a_i 、 b_i 、 c_i 分别为火电发电二次、一次和常数成本系数。

新能源限电成本为

$$C_{n,a} = \sum_{i=1}^{T_2} P_{n,a} \cdot c_{n,a} \cdot t \quad (9)$$

式中: $c_{n,a}$ 为新能源限电单位限电成本; T_2 为新能源限电时间。

虚拟储能调用成本为

$$C_x = \sum_{i=1}^{T_3} P_x \cdot c_x \cdot t \quad (10)$$

式中: P_x 为虚拟储能调用功率; c_x 为虚拟储能调用单位成本; T_3 为虚拟储能调用时间。

2.2 约束条件

1) 系统功率平衡约束

日前功率平衡约束为:

$$\sum_{i=1}^N P_{f,i} + P_{n,n} + P_x = P_{L,g} - P_{n,a} \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{N_1} P_{f(z),i} - P_x = P_{L,z} \quad (12)$$

日内功率平衡约束为:

$$P_F + P_x + P_n = P_{L,g} - P_{n,a} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{N_1} P_{f(z),i} - P_x = P_{L,z} \quad (14)$$

式中, $\sum_{i=1}^{N_1} P_{f(z),i}$ 为火电(自备)机组总功率。式(11)、式(13)为非自备负荷功率平衡;式(12)、式(14)为自备负荷功率平衡。

2) 火电机组约束

火电(自备)机组出力 $P_{f(z),i}$ 约束为

$$P_{f(z),i}^{\min} \leq P_{f(z),i} \leq P_{f(z),i}^{\max} \quad (15)$$

式中: $P_{f(z),i}^{\min}$ 为第 i 台火电(自备)机组最小功率; $P_{f(z),i}^{\max}$ 为第 i 台火电(自备)机组最大功率。

爬坡约束为

$$\frac{dT}{dt} P_{f(z),i} \leq R^{\max} \quad (16)$$

式中: $\frac{dT}{dt} P_{f(z),i}$ 为火电(自备)机组爬坡速率; R^{\max} 为机组最大爬坡速率。

3) 虚拟储能调用约束

$$P_x \leq \sum_{i=1}^{N_1} P_{f(z),i} - \sum_{i=1}^{N_1} P_{f(z),i}^{\min} \quad (17)$$

式中, $\sum_{i=1}^{N_1} P_{f(z),i}^{\min}$ 为总自备负荷最小功率。

3 算例分析

3.1 地区情况

某地区新能源短期预测功率、新能源实际功率、非自备负荷和自备负荷如图2所示,设虚拟储能调用成本为50元/MWh,新能源限电成本为500元/MWh。

火电(自备)机组参数见表1。

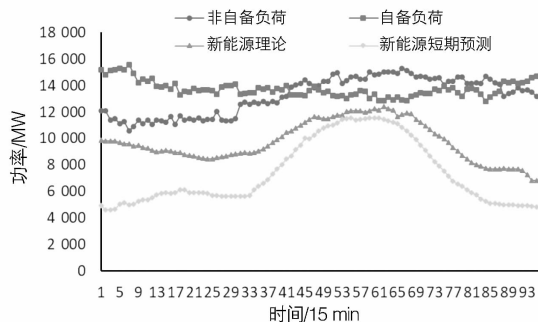


图2 负荷和新能源曲线

表1 火电(自备)机组参数

$P_{f(z)}^{\min}/MW$	$P_{f(z)}^{\max}/MW$	R^{\max}/MW	$a_i/元$	$b_i/元$	$c_i/元$
300	600	200	0.017 3	150	2250

3.2 效益评估

两种调度方法均以新能源限电量最小为原则,由于是混合整数非线性规划问题,这里采用lingo12进行计算,日前计划主要考虑电网安全。最大负荷与开机数量如表2所示。

表2 火电(自备)机组开机数量

负荷	最大负荷/MW	开机/台
$P_{L,z}$	15 575.6	26
$P_{L,g,e,n}$	13 476.2	23

日前调度无虚拟储能参与新能源消纳和新能源消纳空间如图 3 所示;日前调度虚拟储能参与新能源消纳和新能源消纳空间如图 4 所示。

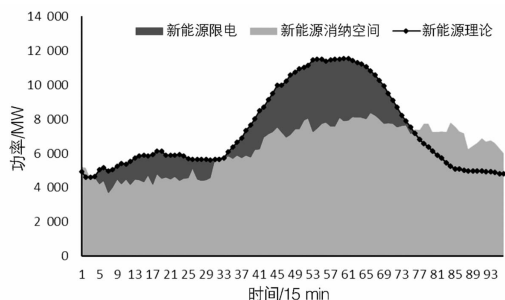


图 3 无虚拟储能日前新能源消纳

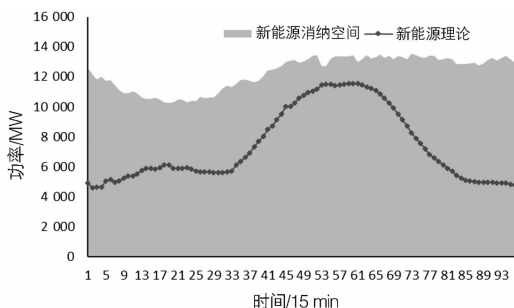


图 4 含虚拟储能日前新能源消纳

无虚拟储能日前新能源限电 33 613.4 MWh, 新能源限电率 19%;调用虚拟储能电量与新能源限电量相同。

日内调度无虚拟储能参与新能源消纳空间和新能源限电如图 5 所示。

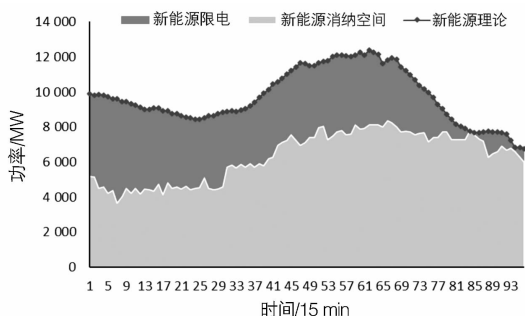


图 5 无虚拟储能日内新能源消纳

日内调度虚拟储能参与新能源消纳和新能源消纳空间如图 6 所示。

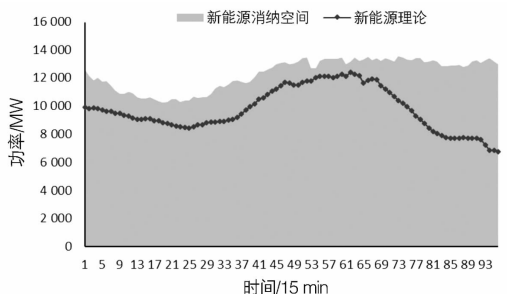


图 6 含虚拟储能日内新能源消纳

无虚拟储能日内新能源限电 81 807.3 MWh, 新能源限电率 35%;调用虚拟储能电量与新能源限电量相同。

不同调度方法下成本对比如表 3 所示。

表 3 调度成本对比

调度方法	$C_{n,a}$ /万元	C_x /万元	$C_{f(x)}$ /万元	C_s /万元
日前无虚拟储能	1 680.7	0	9 110.3	10 791.0
日前含虚拟储能	0	168.1	8 476.0	8 644.1
日内无虚拟储能	4 090.2	0	8 086.8	12 177.0
日内含虚拟储能	0	409.0	6 731.7	7 140.7

由表 3 可知,日前调度采用大规模虚拟储能模式,成本可减少 2 146.9 万元;日内调度采用大规模虚拟储能模式,成本可减少 5 036.3 万元。

3.3 关键影响因素的灵敏度分析

1) 虚拟储能参与比例影响

虚拟储能参与比例与新能源限电率关系如图 7 所示。

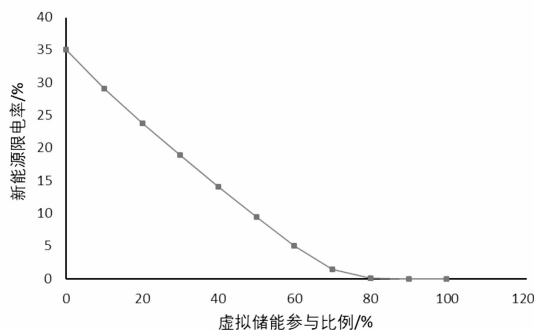


图 7 虚拟储能参与比例与新能源限电率关系

由图 7 可知,虚拟储能参与比例为 0 时,新能源限电率为 34.9%;虚拟储能参与比例为 80% 时,新能源限电率为 0。该新能源出力状况下,虚拟储能参与调度可实现全部消纳新能源。

2) 新能源功率预测准确率影响

新能源功率预测准确率与满足无新能源限电时虚拟储能参与比例关系如图 8 所示。

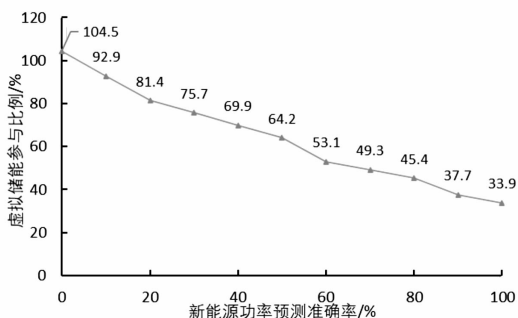


图 8 新能源功率预测准确率与虚拟储能参与比例关系

当新能源功率预测准确率达到 100% 时,虚拟储能参与比例为 33.9% 时不发生新能源限电。当新能

源功率预测准确率为0时,所需虚拟储能参与比例需达到104.5%,新能源才不会被限电,即当虚拟储能全部参与比例为100%时,仍会有102.3 MWh 新能源被限,限电率为0.04%。

3) 新能源预测功率纳入率影响

新能源功率预测功率纳入率与满足无新能源限电时虚拟储能参与比例关系如图9所示。

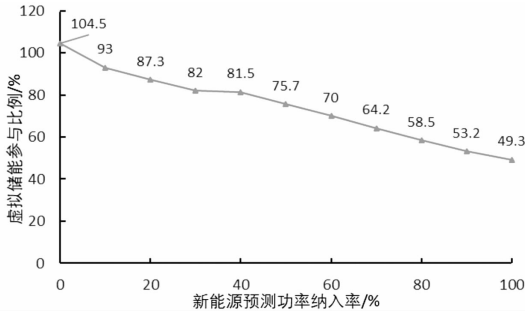


图9 新能源预测功率纳入率与虚拟储能参与比例关系

当新能源预测功率纳入率为100%时,虚拟储能参与比例为49.3%时不发生新能源限电。当新能源预测功率纳入率为0时,所需虚拟储能参与比例需为104%才不会发生新能源限电,即当虚拟储能参与比例为100%时,仍会有409.1 MWh 新能源被限,此时新能源限电率为0.1%。

4 结 语

1) 新能源功率预测准确率不高会导致系统调节能力不足,进而导致新能源限电;大规模虚拟储能可以平抑新能源功率预测误差,减少新能源限电。

2) 大规模虚拟储能参与比例提高可减少新能源限电率,因此需要提高虚拟储能参与比例,促进新能源消纳。

3) 新能源功率预测准确率越高、新能源预测功率纳入率越高,所需参与的虚拟储能越低;因此需要提高新能源功率预测准确率,间接提高新能源预测功率纳入率。

参考文献

- [1] 陈国平,梁志峰,董昱,基于能源转型的中国特色电力市场建设的分析与思考[J]. 中国电机工程学报, 2020,40(2):369-379.
- [2] 张振宇,王文倬,张钢,等. 基于非时序模型的新能源消纳能力评估方法[J]. 电力系统自动化, 2019,43(20):24-32.
- [3] 安天瑜,卓峻峰,杨宁,等. 风电实时调度系统设计与实现[J]. 电气自动化, 2019,38(4):25-27.
- [4] 樊国旗,樊国伟,刘昌东,等. 基于改进的电力现货交易下调度研究[J]. 四川电力技术, 2020,43(4):15-19.
- [5] 黄润,戴晓娟,赖晓文,等. 云南电力现货市场建设的关键问题探究[J]. 云南电力技术, 2020,48(6):42-47.
- [6] Y. Jiang, J. Hou, Z. Lin et al. Optimal under UoNthly Pre-listing BaLancing Mechanism in Actual Sctual Energy Dual-market in China[J]. IEEE AcCess, 2019, 7:70986-70998.
- [7] 李春燕,陈骁,张鹏,等. 计及风电功率预测误差的需求响应多时间尺度优化调度[J]. 电网技术, 2018,42(2):487-494.
- [8] 刘小聪,王蓓蓓,李扬,等. 计及需求侧资源的大规模风电消纳随机机组组合模型[J]. 中国电机工程学报, 2015,35(14):3714-3723
- [9] 税月,刘俊勇,高红均,等. 考虑风电不确定性的电气能源系统两阶段分布鲁棒协同调度[J]. 电力系统自动化, 2018,42(13):43-50.
- [10] 文本颖,李靖,宾雪,等. 风电场储能对于风电功率预测误差的影响及优化分析[J]. 能源与环境, 2020(2):103-105.
- [11] 易明月,童晓阳. 考虑风荷预测误差不确定性的动态经济调度[J]. 电网技术, 2019,43(11):4050-4057.
- [12] 苗树敏,滕子非,罗彬,等. 计及风电不确定性的风-水短期联合优化调度方法[J]. 四川电力技术, 2020, 43(2):1-6.

作者简介:

樊国旗(1993),男,硕士,主要研究方向为电力系统调度与新能源消纳。(收稿日期:2020-12-10)

作者简介:

陈仕军(1989),男,博士,助理研究员,研究方向为流域水电及新能源互补运行管理;

王亮(1990),男,硕士,工程师,研究方向电网及水电站经济运行;

陈刚(1985),男,博士,高级工程师,研究方向为电力系统稳定与控制;

韩晓言(1965),男,博士,教授级高级工程师,研究方向为电力系统运行与控制。(收稿日期:2021-01-20)

(上接第18页)

[11] 李红霞,何清燕,彭辉,等. 基于耦合相似指标的最近邻法在年径流预测中的应用[J]. 水科学进展, 2015, 26(2):161-168.

[12] 叶灏麟,王文圣,袁满. 不同相似指标下最近邻抽样回归模型在径流中长期预测中的应用比较[J]. 水电能源科学, 2017,35(12):14-17.

[13] 彭军. 基于马尔科夫链模型对河流径流量预测探析[J]. 水资源开发与管理, 2018(3):62-64.