

风电消纳能力分析方法的研究

刘畅¹, 吴浩², 高长征¹, 董添¹, 李德鑫¹

(1. 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院, 吉林 长春 130021;

2. 国网吉林省电力有限公司白城供电公司, 吉林 白城 137000)

摘要: 为了提高风电的消纳能力, 提出了一种考虑调峰时段限制风电出力的新的风电消纳能力计算方法。该方法通过电网调峰困难时期允许少量弃风, 保证更大的允许装机总量, 因而非调峰困难期可获得更大的风电发电负荷。与 unlimited 风电出力时消纳能力的计算方法相比, 该方法实用、能够大幅度地提高风电接纳的能力, 并且可灵活地应用于各种经济运行指标考核下的风电接纳能力计算。通过实际的算例验证了新方法的准确性, 证明了该方法对电网规划及提高风电消纳能力具有指导意义。

关键词: 风力发电; 消纳能力; 电网规划; 分析方法; 风电出力限制

Study on analysis method of accommodated capacity for wind power

LIU Chang¹, WU Hao², GAO Chang-zheng¹, DONG Tian¹, LI De-xin¹

(1. State Grid Jilin Province Electric Power Research Institute, Changchun 130021, China;

2. State Grid Baicheng Power Supply Company, Baicheng 137000, China)

Abstract: In order to improve accommodation of wind power, a new analysis method is proposed considering wind power output limited during light load. In the presented method, the output of wind power is restricted and curtailment of wind power is permitted when peak regulation is difficult. Comparing with the conventional analysis method, the proposed method is more practical and is able to improve greatly the accommodated capacity of wind power. In addition, the method can be applied flexibly to calculate the accommodation of wind power under kinds of economic operated indexes. Finally, by means of the calculated results of case study, the accuracy of the presented method and accommodated capacity for wind power are confirmed. The method is significant for improving accommodated capacity of wind power and instructing power planning.

Key words: wind power; accommodated capacity; power planning; analysis method; wind power output limit

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)04-0061-06

0 引言

风能作为一种可再生的清洁能源由于其总资源蕴藏量大、可再生、无污染等优点越来越受到世界各国的重视^[1-2]。中国风能资源丰富, 风电发展具有良好的资源条件, “十一五”规划以来, 中国的风力发电迅速发展。然而, 随着风电在电源结构中的比例不断增大, 其本身所具有的随机性、波动性与不稳定性问题对电力系统安全稳定运行的影响也越来越显著。尤其是我国的风电发展极不平衡, 受风能资源的限制, 风电主要集中分布在华北、东北、西北——“三北”地区, 而“三北”地区的电源结构以煤电为主, 严重缺乏具有灵活调节能力的电源, 电网调峰困难, 无法有效平衡风电波动对电网带来的冲击^[3-5]。随着风电开发规模逐渐增大, 特别在冬

季, 火电机组的供热期、水电机组的枯水期、风电机组的大发期相互叠加, 导致调峰更加困难, 风电消纳将受到严重制约。因而部分地区风电发展与系统安全运行的矛盾逐步显现, 弃风现象不断出现, 据统计 2012 年全国弃风电量高达 200 亿 kWh, 按照现行风电电价的最低标准 0.51 元/kWh 计算, 仅 2012 年弃风总损失就高达 100 亿元^[6]。出现大量“弃风”现象的主要原因之一就是电网规划与风电场规划不协调, 风电消纳能力分析计算方法单一且不精确。

目前国内的关于风电消纳能力分析的研究主要集中在定性分析方面^[7-11], 对定量分析计算方法的研究很少。现有的计算方法大多不考虑限制风电出力, 可消纳的风电容量少; 而且边界条件比较粗放造成计算结果偏差较大^[12-15]。本文提出一种计算风

电消纳能力的新方法, 它以可以少量限制风电出力为前提, 通过在电网调峰困难时期少量弃风从而保证更大的允许装机总量, 从而在非调峰困难期获得更大的风电发电负荷, 增加总的风电发电量的风电消纳能力分析, 并且对约束条件中的负荷水平及电源的开机方式进行了严格的处理, 使计算结果更加精确。

1 不限制风电出力的最大消纳能力

目前国内计算风电消纳能力的常规方法, 以完全不限制风电出力为原则, 计算可以允许的最大风电装机。该方法以不限制风电出力为前提, 主要是分析系统调峰裕量能否满足一定容量的风电机组由于其反调峰特性对于系统调峰能力的需求, 具体如下。

1) 根据负荷水平和电网运行需要确定非风电机组的开机容量和对应的调峰能力 P_T 和 P_1 。

其中开机容量 P_T 为

$$P_T = P_{Gmax} + P_R \quad (1)$$

最大发电负荷 P_{Gmax} 为

$$P_{Gmax} = \frac{P_{Lmax}}{(1 - K_{Loss})(1 - K_G)} \quad (2)$$

备用容量 P_R 为

$$P_R = P_{Gmax} (K_{Load} + K_{emergency}) \quad (3)$$

2) 根据负荷特性计算系统调峰容量需求 P_2 。

$$P_2 = (P_{Gmax} - P_{Gmin}) + P_{Gmax} K_R \quad (4)$$

3) 计算系统调峰能力裕量 ΔP 。

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (5)$$

根据风电最大增大峰谷差的值占风电装机容量系数 R_w , 可以得到允许的最大风电装机 P_{Max} 为

$$P_{Max} = \frac{\Delta P}{R_w} \quad (6)$$

其中: P_{Gmax} , P_{Gmin} 为最大、最小发电负荷; P_{Lmax} 为最大统调负荷; $K_{emergency}$ 为事故备用率; K_{Loss} 为线损率; K_G 为厂用电率; K_{Load} 为负荷备用率; K_R 为旋转备用率。

2 限制风电出力的最大消纳能力

在不限制风电出力的前提下, 以电网调峰能力作为约束得到的允许风电装机规模较小, 事实上不利于风电发展。从风电运行经验分析, 允许在电网调峰困难等条件下对风电出力加以少量限制, 从而增大风机装机规模, 增加风电在非调峰困难时期的发电量, 从而促进风电全年总发电量的增加。

2.1 计算公式

考虑到我国目前受负荷水平和电源结构特点影响冬季的调峰困难极大, 出现限制风电出力的情况已有发生并将长期存在, 本论文中提出了一种在电网调峰困难时期限制风电出力为前提的风电消纳能力分析, 具体方法如下。

1) 确定计算期间负荷水平, 认为每年每小时的负荷预测值 P_{iL} 为该小时内的平均负荷; 并分别对最大及最小负荷的增长率进行统计核实, 确保预测负荷更准确。

2) 根据负荷水平和电网运行需要确定非风电机组的最小开机容量 P_{iMin} 。

3) 计算每小时电网可接纳的风电发电负荷 P_{iWC} 为

$$P_{iWC} = P_{iL} - P_{iMin} \quad (7)$$

4) 根据风电出力同时率 $P_{iWRatio}$ 和风电装机数 P_C 确定每小时风电可提供的发电负荷 P_{iWG} 为

$$P_{iWG} = P_{iWRatio} P_C \quad (8)$$

5) 比较 P_{iWC} 和 P_{iWG}

如果 $P_{iWC} \geq P_{iWG}$, 该小时的风电可提供的发电负荷被全部消纳, 上网风电量 P_{iWR} 为

$$P_{iWR} = P_{iWG} \quad (9)$$

如果 $P_{iWC} < P_{iWG}$, 该小时的风电可提供的发电负荷不能被全部消纳, 实际消纳量为

$$P_{iWR} = P_{iWC} \quad (10)$$

每小时风电损失量 P_{iWL} 为

$$P_{iWL} = P_{iWG} - P_{iWR} \quad (11)$$

6) 根据每小时的风电实际消纳量计算全年的风电发电量 E_{WT} 为

$$E_{WT} = \sum_{i=1}^{8760} P_{iWR} \quad (12)$$

全年弃风电量 E_{WLT} 为

$$E_{WLT} = \sum_{i=1}^{8760} P_{iWL} \quad (13)$$

非风电上网电量 E_{ET} 为

$$E_{ET} = \sum_{i=1}^{8760} P_{iL} - E_{WT} \quad (14)$$

同时可以计算全年限制风电出力的小时数、风电和火电机组的利用小时数等进行风电消纳能力分析所需的量。

2.2 约束条件

风电消纳能力受多个条件限制, 本论文采用的风电消纳能力计算方法的约束条件包括负荷水平、

电源结构、系统调峰、调频能力、网架结构、电力市场发展情况等因素。

1) 计算期间的负荷水平包括地区负荷情况以及相邻区域间联络线控制直接决定了计算地区内风电和其他电源的发电总量。

2) 电源结构特点决定了计算期间风电的发展空间, 而系统调峰、调频能力决定了每个时段系统可以允许的风电最大发电量。

3) 网架结构决定了各地区的风电的可并网规模和发电负荷。

2.3 计算流程

计算方法的详细流程如图 1 所示。

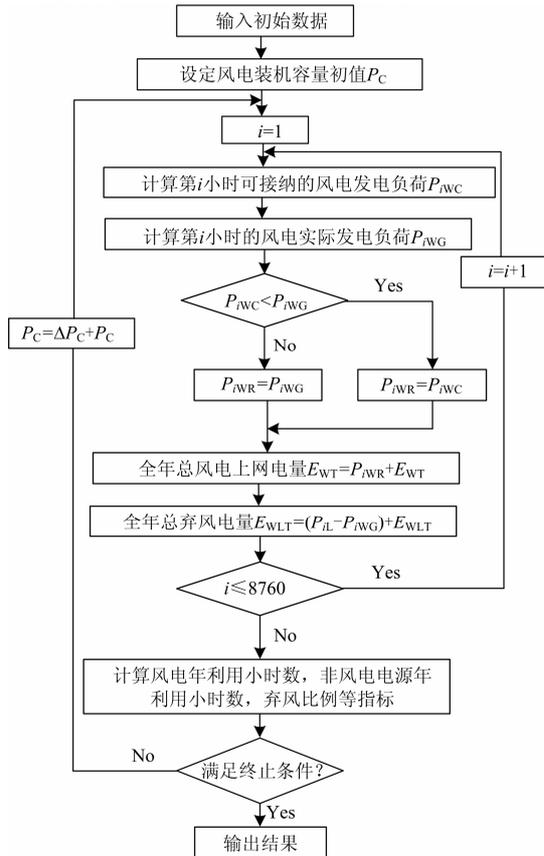


图 1 限制出力时风电消纳能力的计算流程

Fig. 1 Flowchart for accommodation of wind power with output limited

依据 2.1 节所提方法的计算思路, 计算限制风电出力的年度风电消纳能力的具体步骤如下:

1) 输入初始数据: 如边界条件中的负荷, 电网结构数据, 电源的开机方式等。

2) 设定风电装机容量的初值 P_C 。

3) 计算小时平均负荷 P_{iL} 。

4) 根据边界条件计算非风电机组的小时内最小开机容量 P_{iMin} 。

5) 根据式 (7) 计算每小时电网可接纳的风电发电负荷。

6) 由式 (8) 确定每小时风电可提供的发电负荷。

7) 根据式 (9) ~ 式 (14) 迭代计算风电全年上网电量及弃风电量。

8) 计算风电年利用小时数, 非风电电源年利用小时数, 弃风比例等指标。

9) 根据计算目标确定终止条件, 如: 风电利用小时数、受限风电比例、非风电机组运行小时数等; 若不满足条件, 风电装机容量增加 ΔP_C , 返回步骤 3) 继续计算; 若满足条件的话, 即刻终止计算并输出计算结果。

3 算例分析

以某省 2015 年风电并网容量为例, 分析电网消纳风电能力, 验证所提出方法的实用性。该省有 9 个供电区域, 其中各地区又有多个供热区, 2012 年全省装机容量达 2 399 万 kW, 火电机组装机容量 1 613 万 kW, 其中供热机组占 77%, 风电装机容量 330 万 kW, 全社会最大负荷为 1 094 万 kW, 供大于求的形势非常突出。随着装机容量的不断增加, 至 2015 年供大于求的趋势将更加严重, 必须合理规划风电装机容量, 提高风电消纳能力。2015 年计算的边界条件如表 1 所示。

表 1 2015 年边界约束计算数据

Table 1 Data of boundary condition in 2015

项目	2015 年
最大发电负荷/MW	13 346
最小负荷率	56%
峰谷差/MW	5 872
备用率	8%
调峰需求/MW	6 940
最大调峰能力/MW	7 486
火电机组/MW	6 096
水电/MW	890
抽蓄/MW	0
核电/MW	0
跨区送电/MW	500

3.1 不限风电出力的最大消纳能力

根据上述条件计算不考虑风电出力时 2015 年的电网调峰裕量较小, 只有 546.1 MW。由式 (6) 计算可得在不限制风电出力前提下 2015 年的可消纳的风电装机总量为 1 260.3 MW, 远小于目前已并网风电装机规模, 无法适应风电发展规划。

3.2 限制风电出力的最大消纳能力

根据本文中第2节所提方法计算原理及计算流程,以风电受限比例大于20%为迭代终止条件,2015年不同风电装机规模的风电消纳能力如表2所示。由上述的分析方法及计算终止条件得到2015年风电装机为6500MW左右时,风电受限电量比例为18%左右,7000MW时受限比例将超过20%,所以

表2 限制风电出力条件下2015年风电消纳能力
Table 2 Accommodation of wind power with output limited in 2015

风电装机容量/MW	风电上网电量/亿 kWh	受限电量/亿 kWh	受限电量比例/%	风电机组利用小时数/h	受限小时数/h	非风电电源发电量/亿 kWh	火电机组利用小时数/h
5 000	85.817	10.97	11.33	1 796	1 490	614.62	3 601
5 500	91.798	14.66	13.77	1 747	1 739	608.64	3 566
6 000	97.218	18.92	16.29	1 696	1 944	603.22	3 534
6 500	102.12	23.69	18.83	1 644	2 186	598.31	3 506
7 000	106.55	28.94	21.36	1 593	2 397	593.89	3 480
8 000	114.25	40.61	26.22	1 495	2 763	586.19	3 435
9 000	120.78	53.43	30.67	1 405	3 068	579.65	3 396
10 000	126.37	67.19	34.71	1 323	3 328	574.06	3 364

表2中还列出了装机容量为7000~10000MW时各考核指标的数值,从数据结果可知,如果风电装机规模达到10000MW,风电机组利用小时数在1300左右,受限电量已超过30%,同时火电机组利用小时数低于3400h,整个发电系统环节将面临亏损局面。

当风电装机为10000MW时,夏季典型日和冬季典型日的风电出力空间和根据风电出力特性得到的风电最大出力分别如图2、图3所示。从图中可以看出,由于夏季属于该省小风季节,同时风电出力空间较大,所以10000MW风电装机的出力除在凌晨时段(0点~7点)少量受限外大部分可以被接纳。冬季由于大量供热机组的运行,风电出力空间大大减小,而此时恰恰是风电大发的季节,因此风电消纳空间不足,特别是凌晨时段,风电的反负荷特征明显,大部分风电出力都将受到限制。

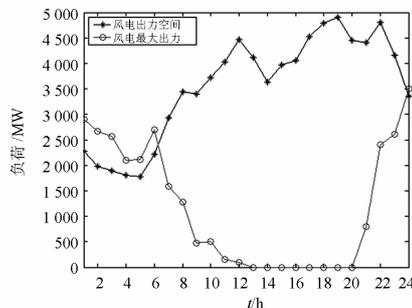


图2 2015年夏季典型日风电出力空间和最大出力
(风电装机容量10000MW)

Fig. 2 Output space and maximum output of wind power in the representative day of summer in 2015 (installed capacity of wind power 10 000 MW)

2015年该省内风电消纳能力以6500MW左右风电装机容量较为适宜。在此装机条件下,其他运行指标如:风电机组利用小时数约1600h左右,火电机组利用小时数约为3500h等基本满足经济运行条件;并且与不限制风电出力计算方法相比,风电的装机容量增加近4倍。

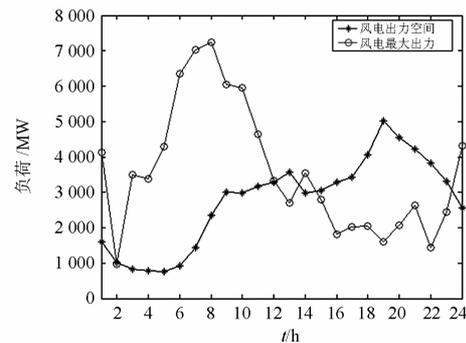


图3 2015年冬季典型日风电出力空间和最大出力
(风电装机容量10000MW)

Fig. 3 Output space and maximum output of wind power in the representative day of winter in 2015 (installed capacity of wind power 10 000 MW)

4 结语

我国的风力资源主要集中在“三北”地区,这些地区负荷小、冬季为了保证供暖,系统调峰容量严重受限,大量的风电并网后不仅对电网经济运行影响很大,而且会给系统的稳定运行带来很大冲击。为了提高风电消纳能力,本文提出了调峰裕度不足时限制风电出力的方法,用于计算风电最大可能装机容量的常规计算方法所得的结果进行比较,通过比较可知,采用本方法将会使2015年该省的风电装机容量增大4倍,达到6500MW。同时,计算结果还详

细分析了装机容量达 10 000 MW 时, 冬夏季典型日的风电出力空间和最大出力, 表明了过度接入风电时, 风电大发期的冬季将造成大量风电被放弃, “弃风”比例超过 30%。此外, 为了更好地接纳风电, 除了在计算方法上改进使其更加精确的同时, 还应考虑优化火电机组的投产时序, 需要同时放开联络线限制, 实现跨区送电方式。另外还可以通过开辟新的途径和方法来消纳过剩的电力, 如依托智能电网技术推广电能储存技术和电动汽车以及电蓄热锅炉等, 配合灵活的电力市场制度提高风电消纳能力。

参考文献

- [1] Moraesj M, Conejo A J, Perez-Ruiz J. Economic valuation of reserve in power systems with high penetration of wind power[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2009, 24(2): 900-910.
- [2] 尹明, 王成山, 葛旭波, 等. 中德风电发展的比较与分析[J]. 电工技术学报, 2010, 23(9): 157-162.
YIN Ming, WANG Cheng-shan, GE Xu-bo, et al. Comparison and analysis of wind power development between China and Germany[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 23(9): 157-162.
- [3] 孙元章, 吴俊, 李国杰. 风力发电对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(20): 55-62.
SUN Yuan-zhang, WU Jun, LI Guo-jie. Influence research of wind power generation on power system[J]. Power System Technology, 2007, 31(20): 55-62.
- [4] 李东东, 叶辰升. 基于改进风力发电机组下的低电压穿越控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(20): 34-40.
LI Dong-dong, YE Chen-sheng. Control strategy research of low voltage ride through based on the improved wind turbine generator system[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(20): 34-40.
- [5] 邹和平, 余芑, 周玮, 等. 基于超级电容器储能的双馈风力发电机低电压穿越研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(10): 48-52.
ZOU He-ping, YU Peng, ZHOU Wei, et al. Study on the low voltage ride through of doubly fed wind generator based on the supercapacitor storage[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(10): 48-52.
- [6] <http://www/china-nengyuan.com/news/44556.html>.
- [7] 韩小琪, 孙寿广, 戚庆茹. 从系统调峰角度评估电网接纳风电能力[J]. 中国电力, 2010, 43(6): 16-19.
HAN Xiao-qi, SUN Shou-guang, QI Qing-ru. Evaluation of wind power penetration limit from peak regulation[J]. Electric Power, 2010, 43(6): 16-19.
- [8] 江岳文, 陈冲, 温不瀛. 含风电成的电力系统机组组合问题随机模拟粒子群算法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(6): 129-137.
JIANG Yue-wen, CHEN Chong, WEN Bu-ying. Particle swarm research of stochastic simulation for unit commitment in wind farms integrated power system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(6): 129-137.
- [9] 刘伟德, 黄越辉, 王伟胜, 等. 考虑调峰和电网输送约束的省级系统风电消纳能力分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 77-81.
LIU Wei-de, HUANG Yue-hui, WANG Wei-sheng, et al. Analysis on provincial system available capability of accommodating wind power considering peak load dispatch and transmission constraints[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 77-81.
- [10] 李凤婷, 晁勤. 基于 Matlab 与遗传算法的风电容量[J]. 电工技术学报, 2009, 24(3): 178-182.
LI Feng-ting, CHAO Qin. Wind power capacity based on Matlab and genetic algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(3): 178-182.
- [11] 朱凌志, 陈宁, 韩华玲. 风电消纳关键问题及应对措施分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 29-34.
ZHU Ling-zhi, CHEN Ning, HAN Hua-ling. Key problems and solutions of wind power accommodation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 29-34.
- [12] 白建华, 辛颂旭, 贾德香, 等. 中国风电开发消纳及输送相关重大问题研究[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(1): 14-17.
BAI Jian-hua, XIN Song-xu, JIA De-xiang, et al. Study of major questions of wind power digestion and transmission in China[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(1): 14-17.

[13] 张宏宇, 印永华, 申洪, 等. 基于序贯蒙特卡洛方法的风电并网系统调峰裕度评估[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 32-37.
ZHANG Hong-yu, YIN Yong-hua, SHEN Hong, et al. Peak-shaving margin evaluation associated with wind power integrated system based on sequential Monte-Carlo method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(1): 32-37.

[14] 刘新东, 方科, 陈焕远, 等. 利用合理弃风提高大规模风电消纳能力的理论研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(6): 35-39.
LIU Xin-dong, FANG Ke, CHEN Huan-yuan, et al. Research on rational wind power casting theory for large-scale wind power integration improvement[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(6): 35-39.

[15] 赵海翔, 关宏亮, 范高锋, 等. 基于静态安全和稳定约

束的地区电网接入风电容量算法[J]. 中国电力, 2007, 40(3): 79-83.

ZHAO Hai-xiang, GUAN Hong-liang, FAN Gao-feng, et al. A calculation method of maximum wind power integrated into the regional grid based on static security and stability constraints[J]. Electric Power, 2007, 40(3): 79-83.

收稿日期: 2013-10-17; 修回日期: 2013-12-13

作者简介:

刘畅(1979-), 女, 博士研究生, 中级职称, 研究方向为电网规划及分布式发电并网技术; E-mail: liuchangz0927@126.com

吴浩(1974-), 男, 本科, 中级职称, 研究方向为风电并网技术研究与应用;

高长征(1978-), 男, 博士研究生, 高级职称, 研究方向为电力系统及其自动化。