

大规模新能源接入后系统调峰能力与 常规电源开机方式关系研究

张 顺, 葛智平, 郭 涛, 张世才, 钱 康

(国网甘肃省电力公司电力科学研究院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 近年来, 风、光电等新能源发展迅速, 而相配套的水、火电等常规能源发展速度放缓, 且在电网并网电源结构中, 所占比例呈逐年下降趋势。以某电网为例, 从风电反调峰出现概率、风电对电网负荷波动的实时贡献率指标以及光电的出力特性等方面分析大规模新能源系统接入电网后对系统调峰产生的影响。并对该电网水、火电等常规电源的现有开机方式与系统调峰之间的关系进行了研究。在此基础上核算出该电网的调峰能力以及能够接纳风、光电等新能源的规模。

关键词: 风电反调峰; 贡献率; 系统调峰; 开机方式; 消纳能力

Research on relationship between the capacity of systematic peak regulation and conventional power startup mode after access to large-scale new energy

ZHANG Shun, GE Zhiping, GUO Tao, ZHANG Shicai, QIAN Kang
(Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730070, China)

Abstract: New energy including wind and photovoltaics develops rapidly in recent years, while the corresponding normal energy, such as water, thermal power and so on, is slowing down. Simultaneously, the ratio of normal energy goes down in the structure of grid network connected power with each passing year. This paper researches the effect of the large-scale new energy access to power grid on system peak regulation, which is based on the probability of wind power peak shaving, the real-time contribution made by wind power to the burden of grid, and photovoltaic output characteristics. In addition, the relationship between the available power-on mode of conventional power source and the systematic peak regulation is also studied. Consequently, the ability of peak regulation and the scale to taking in wind sources are obtained.

Key words: wind power peak shaving; ratio of contribution; systematic peak regulation; power startup mode; given ability

中图分类号: TM73

文章编号: 1674-3415(2016)01-0106-05

0 引言

目前, 我国的电源结构中, 由于风、光电等新能源的超常规发展, 水电、抽水蓄能、气电等快速调节电源所占比例逐步减小, 使电网通过常规手段进行系统调频、调峰的压力不断增大。随着电网中大规模风、光电基地的建成, 渗透率的逐渐提高, 其具有的随机性、间歇性、反调节性及出力波动大等特点, 以及预测的不准确性对电网安全运行产生了威胁。在新能源接入电网负荷较低的时候, 其发电负荷的波动对电网调峰的影响较低, 但当新能源

接入电网负荷提升到一定比例时, 电网需要针对风、光电的出力波动采取预控措施^[1-4]。尤其在某些特殊运行日中, 当负荷实际曲线明显高于预测曲线、伴随风、光电功率实际曲线明显低于预测曲线时, 净负荷将出现持续性大幅值的预测偏差, 电网必须进行更快、更深的频率调节。

近年来, 与大规模新能源相配套的水、火电等常规能源发展速度放慢, 在电网并网电源比例中, 水、火电机组所占比例呈逐年下降趋势。以某省级电网为例, 2012年底, 水、火电等常规电源装机容量为 22 864.1 MW, 占总装机容量的 75.89%, 而风、

光电等新能源装机容量为 7 256.6 MW, 占 24.1%。经过两年的发展, 截止 2014 年底, 水、火电等常规能源装机容量 26 666 MW, 占总装机容量的 63%, 增加 3 802 MW, 与此同时风、光电等新能源装机容量 1 5244 MW, 占总装机容量的 36.37%, 增加 7 987.4 MW。随着新能源机组容量比例的不不断提高, 尤其在水电进入满发、防凌期后, 基本丧失调峰能力, 电网仅仅依靠火电机组旋转备用容量无法克服风、光电最大出力所带来的频率波动, 电网调峰将面临很大的困难^[5-8]。

1 新能源接入对电网调峰的影响分析

1.1 某省级电网风、光电发展趋势

作为可再生能源的风、光能有着巨大的发展潜力。目前, 世界上许多主要的发达国家和发展中国家为应对日益严峻的气候变化和能源危机双重挑战, 正在大力发展风、光电等新能源。虽然中国风、光电起步晚, 但装机容量增长速度最快^[9]。

而作为中国风、光能储存最丰富的地区之一, 某省级电网新能源发展飞速, 装机容量不断增加, 截至 2014 年底, 全省发电装机容量达到 41 910 MW, 已并网的新能源装机占总装机容量的 36.38%, 其中风电装机 10 076 MW, 占 24.04%; 光电装机 5 170 MW, 占 12.34%。另外, 该省 50 m 高度风能资源 3 级以上的面积为 4.7 万 km², 太阳能电站平均辐照强度 2 368 W/m², 平均年累计日照时间 3 756 h, 风、光电潜在开发量、可开发装机容量均居全国前列。同时, 新能源发电量也在不断增加, 1~11 月, 新能源发电总量已经达到了 48.9 亿 kWh^[10]。根据该电网拟定的截至 2020 年的新能源发展规划, 风、光电在电网中所占的比重将会进一步增加。

1.2 风电系统调节特性分析

由于风力资源的多变性导致了风电出力的不确定性, 电网用电负荷的峰谷值和风电出力的峰谷值之间相关性很小, 且用电负荷的峰谷值变化通常小于风电出力的峰谷值变化。因此风电大规模并入电网情况下, 风电出力的变化速率将是影响系统调频的重要考量因素^[11-12]。根据统计风电基地出力每月最大负荷变化速率数据表明, 全网风电 1 min、5 min、15 min 最大负荷变化速率年平均值则分别达到 264 MW、354 MW 及 521 MW。

风电反调峰特性也对电网的调峰能力产生较大影响。风电反调峰特性是指风电日内出力增减变化曲线与系统用电负荷曲线相反。在衡量风电在调峰方面的作用时, 最常见的方法是从负荷峰谷差角度、

风电出力与负荷变化趋势角度这两方面进行研究。

风电反调峰出现概率是从负荷峰谷差角度进行研究分析。该方法用原始负荷减去风电负荷得到净负荷, 然后再对原始负荷峰谷差与净负荷峰谷差进行对比分析。假设用 ΔP_{vi} 代表风电接入前后系统峰谷差的变化值量。

$$\Delta P_{vi} = P_{vi} - P'_{vi} \quad (1)$$

式中: P_{vi} 为原始负荷峰谷差; P'_{vi} 为净负荷峰谷差, 如果 ΔP_{vi} 为负则表示该电网内风电起到反调峰作用, ΔP_{vi} 为正则表示该电网内风电起到正调峰作用。

依据式(1)对某电网 2013 年 3 月份的负荷数据进行分析。如图 1 所示, ΔP_{vi} 基本为负值, 即该电网风电基本全部表现为反调峰特性, 反调峰率出现概率为 90%。

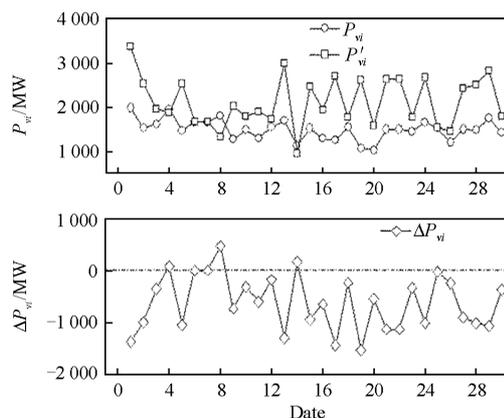


图 1 某电网风电反调峰概率分析

Fig. 1 A grid wind power peak shaving probability

从风电出力与电网负荷变化趋势角度衡量是通过风电出力对电网负荷的实时贡献情况进行研究分析。风电的随机波动性导致各个时间点对负荷的贡献有“正、负”之分, 当风电变化趋势与负荷变化趋势相同时, 风电该时段的出力对电网负荷的贡献作用为正, 如果风电变化趋势与负荷变化趋势相反时, 风电该时段的出力对电网负荷的贡献作用为负。据此定义风电对电网负荷波动贡献率指标。由于短时间尺度下负荷波动不大, 同时风电波动的随机性过强, 调频机组来不及动作; 而长时间尺度下, 负荷的波动性特点又无法体现出来, 所以, 选择时间尺度为 1 h, 然后综合全月的数据进行分析。

假设风电对负荷波动贡献率为 C_r , 即相邻时间点风电出力变化值 Pl 与负荷变化值 Pw 之比:

$$C_r = \frac{Pw(t+T) - Pw(T)}{Pl(t+T) - Pl(T)} \times 100\% \quad (2)$$

依据式(2)对某电网 2013 年 3 月份的数据进行分析,如图 2 为每天(综合每小时变化情况)风电负荷贡献率出现概率情况,结果表明,该电网风电月均负荷贡献出现概率为 49.4%

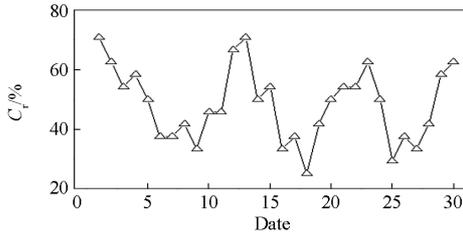


图 2 某电网风电对实时负荷贡献率分析

Fig. 2 A grid wind power contribution of real-time load

1.3 光伏发电对系统调峰影响分析

随着大容量光伏发电系统接入,对电网线路潮流、电能质量、调频调峰能力以及经济性运行均产生了较大的影响。光伏夜间不能发电,具有明显的间歇特性,而随着光照强度和环境温度的不同,光伏电池的工作电压相应发生改变,导致光伏发电输出的负荷具有较大的随机性和波动性^[13-14]。

2014 年该省级电网中,光伏发电总量达到 40 亿 kWh。如图 3 所示,该电网全年光伏发电出力 P_{max} 范围为 1 200~2 600 MW,且光伏发电占总发负荷最大比例 $Pct.A$ 和占总用电负荷最大比例 $Pct.B$ 超过 10% 的概率分别达到了 66.67%和 91.67%。与此同时,由于光伏大规模后对系统调频、调峰产生了较大的压力,全年由于电网安全保障约束条件限制和电力电量平衡能力不足发生弃光电量约有 20 亿 kWh。因此当光伏系统大规模并网运行时,须增加旋转备用容量,来消除光伏发电不稳定引起的调频、调峰问题。

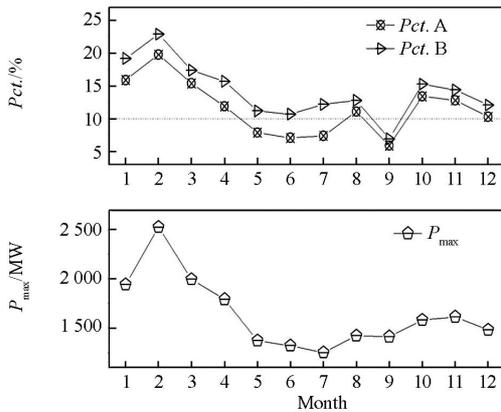


图 3 某电网光电出力特性分析

Fig. 3 Photovoltaic power output characteristic

2 常规电源开机方式与调峰能力关系研究

2.1 水电机组开机方式与调峰能力分析

某电网水电装机容量 7 360 MW,除黄河、白龙江梯级水电具备调峰能力外,其余约 4 500 MW 均为径流式水电站或者地方小水电站,基本不具备调峰能力。但水电受来水、防凌、下游灌溉用水等因素的影响,全年调峰能力差异较大。如表 1 所示,该电网除 10、11 月份外,其余时刻由于受到黄河进入防凌期后,梯级水电站出力向上调整能力受限;水电大发期间,机组负荷向下调节能力受到限制,总体对电网的调峰能力减弱,尤其在上游来洪水期间,水电机组基本满发,基本丧失调峰能力。

表 1 某电网水电开机方式与系统调峰能力关系表

Table 1 Relationship between the capacity of systematic peak regulation and water power startup mode

时间/月	最大出力/MW	最小出力/MW	调峰量/MW	调峰能力
1~3	1 906~2 250	968~1 603	911~1 060	较弱
4~6	3 822~4 653	2 511~3 376	1 283~1 312	较弱
7~9	4 966~5 032	3 834~3 909	1 101~1 138	较弱
10~11	3 301~4 218	1 904~2 810	1 480~1 606	最大
12	2 243~3 321	1 283~1 907	920~1 050	较弱

2.2 火电机组开机方式与调峰能力分析

某电网火电装机容量 18 700 MW,其中供热电厂装机容量接近 6 800 MW,在供热期,供热机组需维持基本出力,供热机组基本只有上备用容量,而无下备用容量,调峰能力很小。调峰机组在 1 至 3 月份,全网开启火电机组比例较大,调峰能力最强,而在水电大发期间,全网火电开机容量较小,供热机组又占据一定容量,纯凝机组发电负荷较低,调峰能力最小。

表 2 某电网火电开机方式及调峰能力统计

Table 2 Relationship between the capacity of systematic peak regulation and thermal power startup mode

时间/月	开机容量/MW	调峰量/MW	上备用/MW	下备用/MW	调峰能力
1~3	9 942~11 180	3 280~3 910	600	1 051~1 762	最强
4~6	7 832~8 425	2 931~3 196	600	1 132~1 378	较强
7~9	5 943~6 611	2 342~2 636	600	223~755	最小
10~12	8 819~11 811	2 694~4 071	600	847~1 722	较强

2.3 电网调峰能力分析

由上文所述可知,电网调峰能力受水电、火电等常规电源开机方式影响较大。在风、光电等可再生能源大规模接入电网后,火电机组开机容量进一

步压缩, 导致电网调峰压力明显增大。分析该电网调峰能力时, 设定全网发电、用电基本等值情况下, 火电机组负荷调节能力按照 45%~50%考虑, 全网峰谷差按照最大及平均分别考虑, 风电按照高峰、低谷时段平均发电出力(低谷时段电量占 45%左右, 高峰时段电量占 16%左右)方式考虑, 高峰期间火电机组旋转备用容量按 60 万 kW 考虑。在不考虑风、光电的影响下, 该电网调峰能力如表 3 所示。

如图 4 所示, 全网允许接纳新能源容量为 2 260~3 530 MW, 而风、光电实际出力已达 2 420~4 140 MW。该电网在新能源大规模接入后, 仅在 1、2 月份能够满足调峰要求, 其他时段系统调峰困难。尤其在黄河进入防凌期和满发期后, 水电将基本丧失调峰能力, 此时, 系统调峰将主要依靠火电机组完成。但在用

电负荷处于谷值期间, 如果风电大发, 火电机组负荷比例将偏低, 电网负荷调节困难; 在用电负荷处于峰值期间且由于无风导致风电出力为零情况下, 全网必须留取 600 MW 及以上火电旋转备用容量, 这将造成火电机组开机方式偏大。

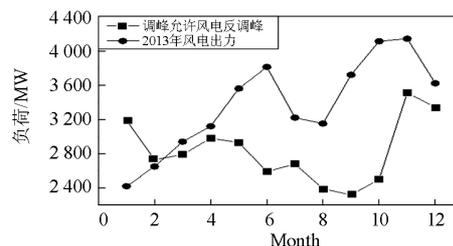


图 4 某电网允许风电反调峰/风电出力曲线关系图

Fig. 4 A grid allows wind load/wind power output diagram

表 3 某电网调峰能力分析

Table 3 A power grid peak shaving capacity analysis

月份	万 kW											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
系统月最大负荷	1 238	1 128	1 150	1 132	1 194	1 220	1 178	1 176	1 128	1 248	1 353	1 317
系统月最小负荷	1 035	936	992	990	1 042	1 144	1 020	998	986	1 052	1 176	1 148
月负荷平均峰谷差	203	192	158	142	152	76	158	178	142	196	177	169
常规电源调峰能力	501	466	445	452	450	416	439	421	388	422	530	508
平均峰谷差下调峰富裕量	298	274	287	310	298	340	281	243	246	226	353	339
调峰允许新能源接入负荷	298	274	287	310	298	340	281	243	246	226	353	339
风、光电实际出力	245	260	296	315	358	388	324	319	373	417	416	365
需区域电网帮助调峰	/	/	-9	-5	-60	-48	-43	-76	-127	-191	-63	-26

2.4 提高系统调峰能力的方法及建议

综上所述, 风、光电等新能源大规模接入电网后, 使系统在调峰方面存在一定的问题及困难。为提高电网的调峰能力, 使电网在保证安全、稳定运行和电能质量的前提下尽可能降低风、光电弃用率, 需要在以下方面进行研究和探讨。

(1) 充分发挥水、火电等常规电源机组的调峰能力, 深入研究火电机组深度调峰和功率快速调节技术, 并在火电旋转备用容量无法克服风电波动的时候, 考虑临时开启火电机组来进行系统调频、调峰的方法和模式。

(2) 加快新能源送出通道建设, 增加电力外送规模, 有效增加新能源消纳能力, 减少由于通道受阻导致的新能源限电现象发生。

(3) 研究本地高载能企业主动参与电网内新能源消纳及系统调峰的模式, 增强新能源的就地消纳能力, 缓解系统调峰压力。

(4) 规划抽水蓄能、储能电站的建设, 在电网负荷处于高峰期时输出功率, 负荷处于谷值期时吸收功率, 改善系统的峰谷差, 平滑负荷曲线。

(5) 提高风、光电功率预测准确率, 使电网调度部门尽可能制订合理的水火电开机方式和火电旋转备用容量, 确保电网的安全稳定运行。

3 结论

本文通过对某电网一段时间内风、光电的调峰特性进行数据分析, 确定大规模新能源接入电网后对系统调峰造成的压力, 并在此基础上对该电网水、火电等常规电源的开机方式与系统调峰之间的相关性进行了分析研究, 核算了该电网的调峰能力以及能够接纳新能源的规模, 针对该问题提出相关建议, 为电网部门的政策制订提供了技术支持。

参考文献

- [1] 郭涛, 秦睿, 马呈霞, 等. 利用回热抽汽控制参与风电系统调频方法研究[J]. 节能技术, 2014, 32(2): 108-111. GUO Tao, QIN Rui, MA Chengxia, et al. Frequency regulation method with using steam turbine regenerators in wind power system[J]. Energy Conservation Technology, 2014, 32(2): 108-111.
- [2] 贺建波, 胡志坚, 刘宇凯. 大规模多目标水-火-风协调

- 优化调度模型的建立及求解[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 1-7.
- HE Jianbo, HU Zhijian, LIU Yukai. Establishment and solution of the large-scale multi-objective hydro-thermal-wind power coordination optimization dispatching model[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 1-7.
- [3] 董立娟. 大规模风电接入对甘肃电网安全运行影响的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- DONG Lijuan. Study of impact on operating security of Gansu power grid from large scale wind generation connecting[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [4] 刘畅, 吴浩, 高长征, 等. 风电消纳能力分析方法的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(4): 61-66.
- LIU Chang, WU Hao, GAO Changzheng, et al. Study on analysis method of accommodated capacity for wind power[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(4): 61-66.
- [5] 张顺, 郭涛, 马呈霞, 等. 基于非线性与模糊控制的协调优化控制策略研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2015, 183(1): 1-3.
- ZHANG Shun, GUO Tao, MA Chengxia, et al. Coordination optimization strategy research based on nonlinear and fuzzy control[J]. Automation and Instrumentation, 2015, 183(1): 1-3.
- [6] 郭涛, 葛智平, 张顺, 等. 330 MW 循环流化床机组协调控制系统的特点分析与应用实例[J]. 电力科技与环保, 2012, 28(4): 56-58.
- GUO Tao, GE Zhiping, ZHANG Shun, et al. Frequency regulation method with using steam turbine regenerators in wind power system[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2012, 28(4): 56-58.
- [7] 马林东, 葛智平, 张世才, 等. 基于高耗能企业参与电网内风电消纳的主动调峰技术[J]. 电力建设, 2013, 34(10): 102-106.
- MA Lindong, GE Zhiping, ZHANG Shicai, et al. Frequency regulation method with using steam turbine regenerators in wind power system[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(10): 102-106.
- [8] 郑伟, 何世恩, 智勇, 等. 大型风电基地的发展特点探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(22): 57-61.
- ZHENG Wei, HE Shien, ZHI Yong, et al. Probe into the development characteristics of large-scale wind power base[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(22): 57-61.
- [9] 王茜, 杨文娟. 中国风电发展历程及相关建议[J]. 风能, 2013(6): 42-49.
- WANG Qian, YANG Wenjuan. Frequency regulation method with using steam turbine regenerators in wind power system[J]. Wind Energy, 2013(6): 42-49.
- [10] 张涛, 李家珏, 张延峰, 等. 计及电网调峰约束的风电接纳调度方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 74-80.
- ZHANG Tao, LI Jiajue, ZHANG Yanfeng, et al. Research of scheduling method for the wind power acceptance considering peak regulation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 74-80.
- [11] HAO Z, YAO Z, LI S, et al. The contribution of double-fed wind farms to transient voltage and damping of power grids[J]. Tehnicki Vjesnik, 2015, 22(1): 43-49.
- [12] 张谦, 李琥, 高松, 等. 风电对调峰的影响及其合理利用模式研究[J]. 南方电网技术, 2010, 4(6): 18-22.
- ZHANG Qian, LI Hu, GAO Song, et al. Research on the impact of wind power on peak load regulation and its rational utilization mode[J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(6): 18-22.
- [13] 姚致清, 于飞, 赵倩, 等. 基于模块化多电平换流器的大型光伏并网系统仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 27-33.
- YAO Zhiqing, YU Fei, ZHAO Qian, et al. Simulation research on large-scale PV grid-connected systems based on MMC[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 27-33.
- [14] 姚致清, 张茜, 刘喜梅. 基于 PSCAD/EMTDC 的三相光伏并网发电系统仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 76-81.
- YAO Zhiqing, ZHANG Qian, LIU Ximei. Research on simulation of a three-phase grid-connected photovoltaic generation system based on PSCAD/EMTDC[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 76-81.

收稿日期: 2015-03-27; 修回日期: 2015-06-07

作者简介:

张顺(1984-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为智能电网、热工保护与自动控制系统的的设计、研究及应用; E-mail: zhshnet@163.com

葛智平(1971-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为网源协调、热工自动化系统的的设计、研究及应用; E-mail: gzp2012@163.com

郭涛(1974-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为智能电网、电力系统调峰的研究及应用。E-mail: gt2012@163.com

(编辑 姜新丽)