

盐城地区风电及光电特性研究

吴兴泉, 万秋兰

(东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 风电的大规模接入会对电网产生较大影响, 对风电特性的分析有助于电网对风电的接纳。文中基于数理统计理论, 采用盐城地区实测风电和光伏出力数据, 全面地分析了盐城地区风电的出力特性、波动特性、调峰特性; 并分析了盐城地区的光伏与风电的互补性。以上分析为有效利用盐城地区的风能和保证风电并入电力系统运行的安全提供了依据。

关键词: 风电; 出力特性; 波动特性; 调峰特性; 风光互补

中图分类号: TK8; TK511

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2013)04-0001-05

江苏盐城地区处于黄海之滨, 海岸线长达 582 km, 占全江苏海岸线的 56%。盐城地区滩涂面积广大, 占江苏省滩涂面积的 57%, 是典型的季风气候, 风力资源丰富, 地区年平均风力大于 3 m/s, 沿海年平均风力在 4~5 m/s 以上; 其光伏资源丰富, 日照峰值时数日平均值达到 3.98, 是太阳能资源较丰富的 II 类地区^[1-6]。至 2012 年, 接受统调的风电场已有 4 座, 总装机达 658 MW, 分别是东台和国华风电厂共 258 MW, 大丰风电厂 200 MW, 以及响水风电厂 200 MW; 光伏电厂并未接受统调, 共有 219.8 MW。其 2011 年总负荷为 3 758 MW。即在盐城地区, 新能源的渗透率达到了 23.36%。

风电具有极强的随机性, 间歇性以及波动性的特点。在大规模并网时, 风电的随机性和波动性将对系统运行及调峰特性造成较大影响, 甚至可能影响电力系统运行的稳定性。由于风能具有较强的地域性, 内陆风和沿海风有其不同的特点。而光电与风电在季节性上有一定互补性。因此, 研究盐城地区的风电及光电特性就极为重要。

1 盐城地区风电出力特性

1.1 风电年度出力特性

根据盐城地区 2011 年至 2012 年实际测风数据, 累加各个风电厂对应时刻的出力数据, 画出 2011 年 3 月到 2012 年 3 月一年的风电日平均出力曲线, 如图 1 所示。盐城地区风电日平均出力分布范围比较广, 出力情况从接近 0 到 0.9, 大部分日平均出力处于 0.1 左右, 其风电年度平均出力为 0.18。2011 年 3 月至 2012 年 3 月一年的风电月度平均出力曲线如图 2 所示。

从图 2 中可以看出, 在 2011 年 3 月至 2012 年 3 月这一年里, 出力最大月份为 2012 年 2 月, 将近

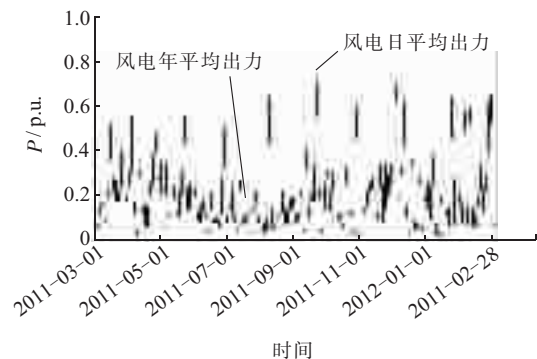


图 1 2011 年 3 月至 2012 年 3 月风电日平均出力曲线

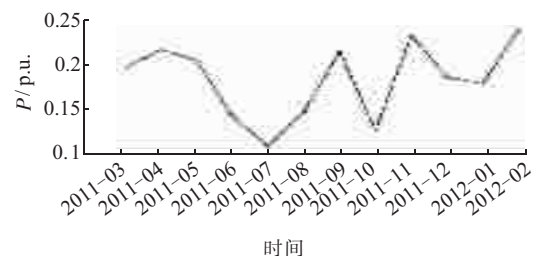


图 2 2011 年 3 月至 2012 年 3 月风电月度平均出力曲线

0.25, 出力最低的月份为 7 月, 仅为 0.105 3。其中 6 月、7 月、8 月以及 10 月份出力明显低于 0.15, 其余则接近 0.2 或接近 0.25。

盐城地区风电出力在连续一年内的分布特性如图 3 所示。风电出力在 0~0.5 之内的概率为 91.7%; 出力在 0~0.02 之内的概率为 13.5%; 而出力在 0.94~0.96 之间的概率最低, 仅为 0.03%。盐城地区年度风电总输出功率处于总装机容量的一半以下。

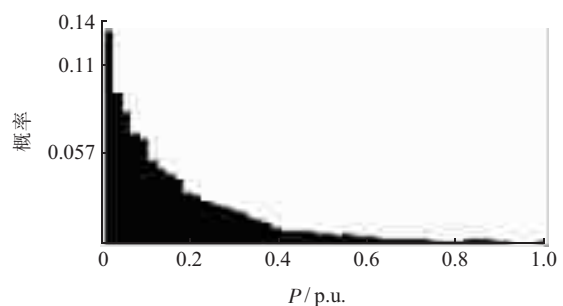


图 3 2011 年 3 月至 2012 年 3 月风电出力分布图

1.2 风电季节出力特性

盐城地区四季分明,尤其夏冬两季差异明显。因此,其风电出力会受到气候影响。本文按春季(3月至5月)、夏季(6月至8月)、秋季(9月至11月)、冬季(12月至次年2月)进行划分。

盐城地区风电出力概率最大的始终处于 $[0, 0.25]$ 区间内。这体现出盐城所在的东南沿海地区与内陆地区的风电出力分布有所区别。在内陆区域,风电出力的最大概率一般出现在 $[0.2, 0.3]$ 左右,且 $[0, 0.25]$ 的出现概率较低。另外,盐城地区四季风电出力特性又有所区别,如表1所示。

表1 四季出力统计特性

季节	均值	方差	中位数	$[0, 0.2]$ 区间内概率	$[0.5, 1]$ 区间内概率
春季	0.21	0.037 6	0.149 9	0.57	0.13
夏季	0.13	0.020 3	0.085 6	0.75	0.037
秋季	0.19	0.039 9	0.125 6	0.65	0.085
冬季	0.20	0.046 8	0.130 2	0.63	0.11

从表1可看出,盐城地区四季的风电出力分布特性并无太大差异,主要分布均在 $[0, 0.5]$ 区间内。在此区间内的概率可达80%以上。夏秋两季甚至到90%以上。春、秋、冬三个季节里,风电的方差较大,则波动比较大,出力较分散;夏季方差较小相对集中,且出力相对其他季节明显较小,出力更多的分布在 $[0, 0.2]$;冬季波动最大。

1.3 同一地区不同区域之间风电的相关性

1.3.1 短时间下不同区域间风电的相关性

盐城地区风电场主要分布于3个县级市:大丰市、东台市和响水县。由于响水县处于盐城地区最北边,与东台市、大丰市相距较远,在一段短时间内,会削弱风电的相关性,提高区域间风电的互补性。这是由于风电场分布较广,在出力时风速分布并不均匀,地区不同地点间的风力差异造成。响水风电场及国华风电场短期出力如图4所示。由图4可知,响水风电出力与国华东台风电场出力呈互补性。从两者二阶矩(如表2所示)也体现了这点,两者的出力和二阶矩分别小于两者的二阶矩。

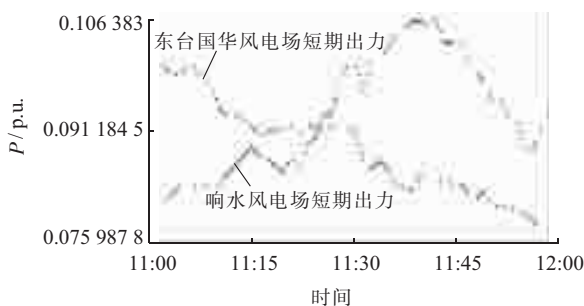


图4 响水风电场及国华风电场短期出力

表2 响水和东台国华风电场出力方差

响水风电场出力方差	东台国华风电场方差	两者出力相加之后方差
0.001 1	0.001 6	0.001 0

1.3.2 长时间下不同区域间风电的相关性

长时间内,不同风电场出力呈相关性,且互补性较弱。因为在长时间下,一个地区的风力总体是一致的,如图5所示。

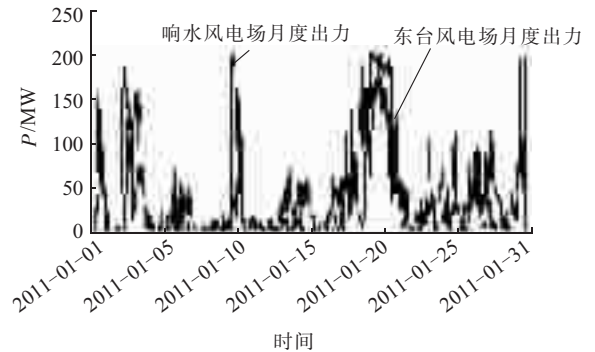


图5 响水风电场及国华风电场长期出力

2 风电的波动特性

2.1 风电的年度波动特性

风电之所以会对电网运行造成影响,除了其随机性外,波动特性也是主要因素之一。本文分析风电波动特性采用一阶差分,并分析其分布特性。风电15 min及1 d一阶差分波动量如图6、图7所示。

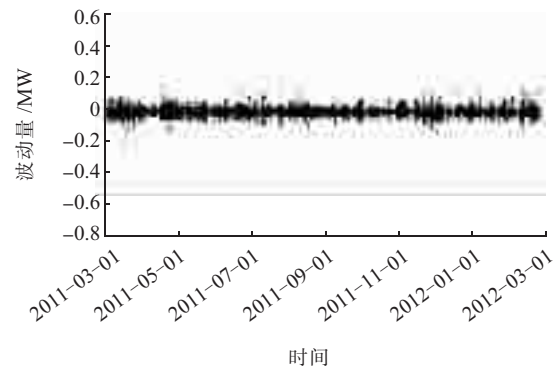


图6 风电15 min一阶差分波动量

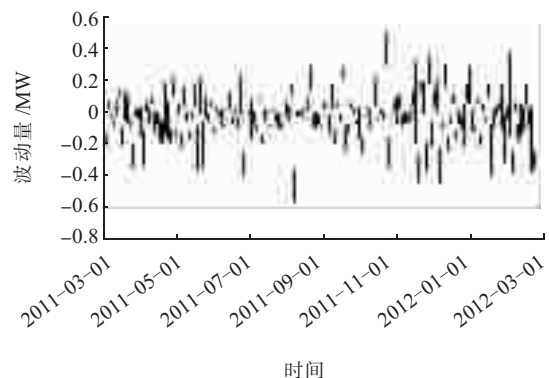


图7 风电1 d一阶差分波动量

日前调度时,主要考虑的是 15 min 的时间间隔。时间间隔 15 min 波动量分布如图 8、图 9 所示。

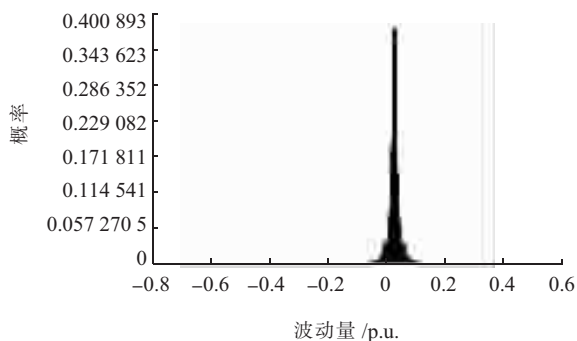


图 8 时间间隔 15 min 波动量分布

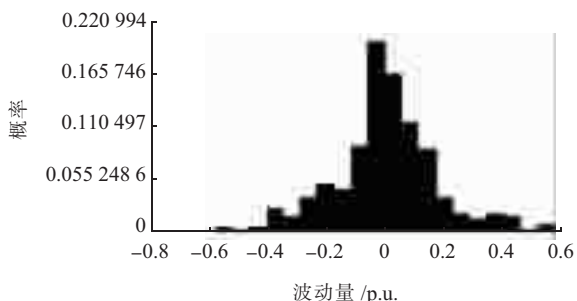


图 9 时间间隔 1 d 波动量分布

分析结果表明,在 15 min 的时间间隔内,风电波动量在 ± 0.1 内超过 98%, ± 0.2 内的超过了 99%;而时间间隔为 1 d 的波动量,风电波动量在 ± 0.1 内的概率为 59.7%, ± 0.2 内的概率为 82.6%。

15 min 时,风电年度最大波动量为+0.3,-0.67,经分析最小波动量-0.67 是出现在满发运行突然切机造成。鉴于这是系统事故不属于自然情况可将其排除。从图 8 也可以看出,分布在负半轴的约等于分布在正半轴。由于 15 min 间隔全年风电波动量均值约等于 0。另分析波动量正、负时刻的均值,为正的波动量均值为 0.006,为负的波动量均值为-0.006。可以推断,盐城风电的短时波动特性对系统有功调节不会产生影响。时间间隔 15 min 波动量较小,造成原因之一是风虽然随机性强,但并非瞬变,气流的流动亦有其惯性。而 15 min 内,并无明显气候特征,日内分布也较为统一,在短时间内出现大规模变化的概率极低。

因为风电装机容量为 658 MW,全年平均波动量为 3.95 MW。考虑到盐城地区 2011 年总负荷为 3 758 MW,接受统调的火电机组为 1 895 MW。绝大部分情况下,盐城地区可以负担现有风电的波动量。根据规划,2013 年盐城地区风电装机容量将达到 1 400 MW,负荷达到 4 000 MW,估算其风电的波动量为 ± 8.4 MW。2008 年,江苏省 AGC 负荷高峰时的调节裕度为 14 MW/min。可以预见 2013 年电网是能够调节风电波动量的。

2.2 风电的季节波动特性

比较图 6 与图 7,在 0 点两侧,波动量几乎均匀分布。但以 1 d 为时间尺度明显比以 15 min 为时间尺度更为分散。在 1 d 为时间尺度的情况下,风电的波动呈现一定的季节性,明显的夏季波动要比其他季节小,波动及范围主要在 $[-0.2, 0.2]$ 区间内;春季风电波动量更多地分布在 $[-0.4, 0.4]$ 左右波动;秋冬季风电的波动量更多地分布在 $[-0.6, 0.6]$ 内,相对无规律。如图 10—13 所示。

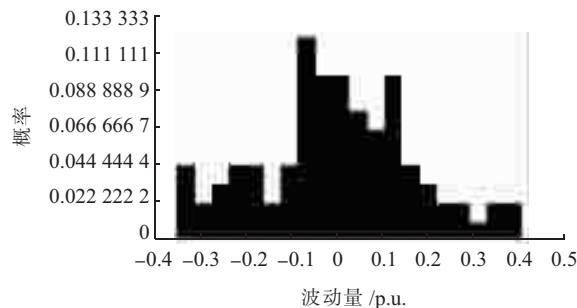


图 10 春季波动分布特性

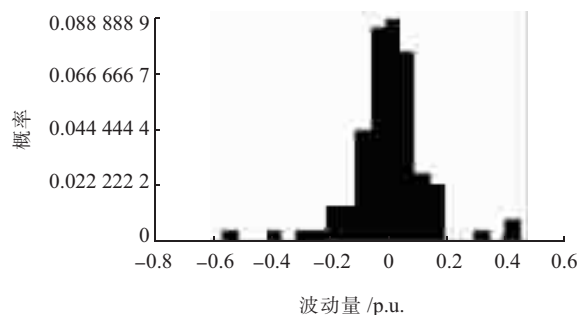


图 11 夏季波动分布特性

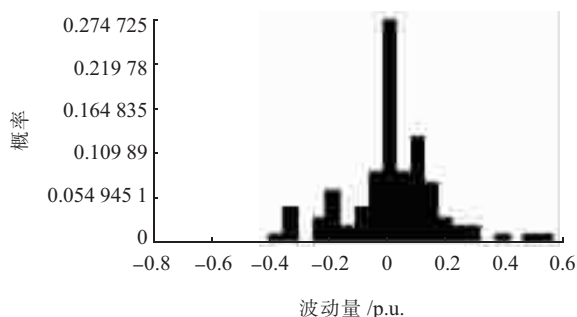


图 12 秋季波动分布特性

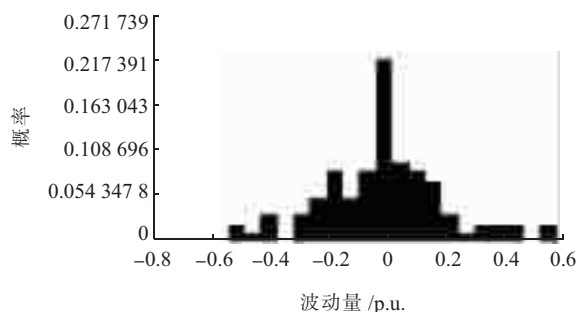


图 13 冬季波动分布特性

由图 10—13 可以看出,以 1 d 为时间间隔时,四季风电波动量分布有明显不同。春季风电波动量在 ± 0.2 以内的概率为 65.6%;夏季为 87.8%;秋季为 76.7%;冬季为 75.6%。秋季与冬季更为接近。春季波动量最为发散,夏季则最为集中。时间间隔为 1 d 时,波动量明显,且每个季节均有其不同的特征。在风电预测中,必须考虑季节因素。

3 不同时间尺度的调峰特性

3.1 日调峰特性

调峰特性,一直是风电接纳的一大问题。风电具有反调峰特性^[7-11],是对风电调峰特性的普遍认知。负荷区间一般高峰时段均处于白天,从上午 10:00 到晚上 22:00 为峰,其余为谷。按照这两个时段统计 2011 年至 2012 年度风电的峰谷特性。

在上午 10:00 到晚上 22:00 时段,风电出力比当天其余时段风电出力高的日子有 349 d,而负荷的低谷时段,风电出力比负荷高峰时段出力高的天数仅有 14 d。即是说,在盐城地区,风电的反调峰特性并不是特别突出。其中,春季负荷高峰风电出力比负荷低谷风电出力高的天数为 85 d,夏季为 88 d,秋季 90 d,冬季为 86 d。2011 年 3 月至 2012 年 3 月各月份风电反调峰情况如表 3 所示。表 3 亦验证了盐城地区四季风电日内反调峰特性并非特别突出。

表 3 2011 年 3 月至 2012 年 3 月各月份风电反调峰情况

时间	顺调峰日	反调峰日	时间	顺调峰日	反调峰日
2011-03	28	3	2011-09	30	0
2011-04	28	2	2011-10	31	0
2011-05	30	1	2011-11	29	1
2011-06	28	2	2011-12	29	2
2011-07	30	1	2012-01	30	1
2011-08	31	0	2012-02	26	0

表 3 中,其 2012 年 2 月因为数据不全,且只考虑 26 d。

3.2 月度调峰特性

盐城地区风电有明显的季节性,夏季出力最小,春季最大,秋冬季次之。但负荷电量却有所不同,夏季是负荷的高峰,冬春季的负荷相对少,尤其是农历新年期间为负荷最低谷。盐城地区 2011 年月度出力如图 14 所示。盐城地区 2011 年负荷指示如图 15 所示。

由图 14、图 15 可以知道,在 2011 年 6 月到 8 月,是负荷的高峰期,而此时盐城地区的风电出力恰恰为低谷。

在 2013 年,风电装机容量将达到 400 MW,届时盐城地区负荷预计为 1 400 MW,风电渗透率将达到

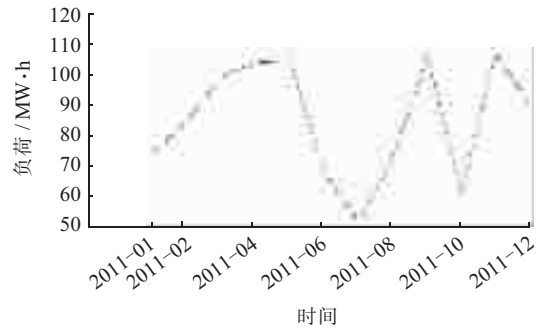


图 14 盐城地区 2011 年月度出力

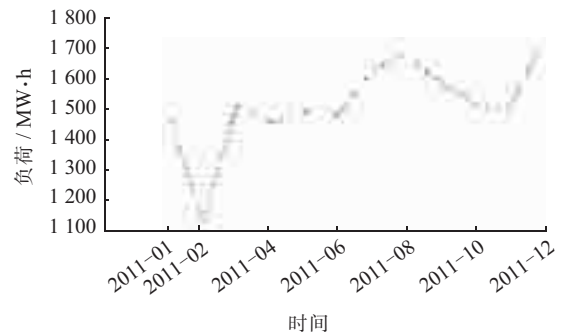


图 15 盐城地区 2011 年负荷

28.5%，反调峰特性在高渗透的电网条件下将会更为突出。

4 盐城地区风电与光伏的互补特性

4.1 盐城地区光伏出力

盐城地区四季光伏典型出力如图 16 所示。其中夏季日出力最大,均值为 18.53 MW;冬季日出力最小,仅为 12.56 MW;而春季平均日出力为 14.81 MW,秋季为 18.61 MW。

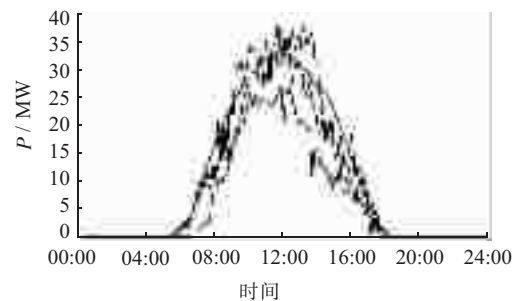


图 16 盐城地区光伏四季典型日出力曲线

由图 16 可以看出,光伏发电日出力曲线近似于正弦曲线。

4.2 盐城地区风光的互补特性

为了研究盐城地区风电和光伏电厂的物理上的互补特性,本文引入互补率描述其互补特性的指标:

$$k = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\sigma_A} \quad (1)$$

式(1)中: σ_A 为系统中容量最大的一种不可调资源(本

文中为风电)的方差; σ_B 为计入另外的不可调资源后,系统中不可调资源(本文中指风电与光伏发电之和)总的方差; k 值为互补率指标。 k 值取值范围为 $(-\infty, 1)$ 。当 $k < 0$ 时,认为系统中的不可调资源不存在互补性; $k > 0$ 时,则认为其存在一定互补性。 k 值越大,则互补程度越好,反之亦然。

表4 四季典型互补率

季节	互补率
春季	0.037 7
夏季	0.153 3
秋季	-0.431 3
冬季	0.209 7

由盐城典型风电日出力曲线、光伏典型日出力曲线以及互补率公式得到结果如表4所示。由表4可知,除秋季外,其余三季风电与光伏均有互补性。

5 结束语

在沿海地区,风电的输出对于内陆风电有较大的差异性。经过分析,江苏省盐城地区的风电具有其典型特性。

(1) 盐城地区风电有较强的季节性。夏季风电出力明显偏小,春季最大,而秋冬季节出力次之,且差异不大。

(2) 盐城地区风电具有很强的波动性和随机性,连续两天风电出力亦会明显不同,且风电出力变化范围较大。由分析可知,以15 min为时间间隔时,连续两个时刻间的风电出力差异并不大,居大部分处于区间 $[-0.2, 0.2]$ 内;而以1 d为时间间隔时,相邻2 d的出力差异呈季节性,夏季出力波动更为集中,春季则最为发散,秋冬季次之。

(3) 盐城地区风电在长时间尺度内具有反调峰特

性,但在日内,反调峰特性并不突出。在一年内,夏季和冬季有明显的反调峰特性。

(4) 盐城地区风电与光电具有互补性,除秋季外,其他三季均体现了这一特性。

参考文献:

- [1] 韦宁. 浅析沿海滩涂风力提水的经济效益[J]. 粮油加工与食品机械, 1990(3):15-17.
- [2] 凌申. 盐城东沙风能资源开发与海上风电场建设对策研究[J]. 生态经济, 2008(9):113-115.
- [3] 郭宗林, 虞华, 陈光亚, 等. 新能源产业发展现状及趋势研究——基于盐城市第二次经济普查资料[J]. 山西能源与节能, 2010(5):84-86.
- [4] 崔晓丹, 李威, 任先成, 等. 大规模风电接入的输电网规划研究述评[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(6):1-5.
- [5] 张伯泉, 杨宜民. 风力和太阳能光伏发电现状及发展趋势[J]. 中国电力, 2006, 39(6):65-69.
- [6] 陈春, 张士勇, 郝海贤. 风力发电并网对盐城电网的影响研究[J]. 中国电机(技术版), 2011(1):56-59.
- [7] 陈晓芬. 抽水蓄能电站工程建设文案(2010)[C]. 北京:中国电力出版社, 2010.
- [8] 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.
- [9] 孟祥星. 大规模风电并网条件下的电力系统调度[J]. 东北电力大学学报, 2009, 29(1):1-7.
- [10] 高赐威, 何叶, 胡荣. 考虑大规模风电接入的电力规划研究[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(10):53-59.
- [11] 张明理, 李青春, 张楠. 基于多目标经济调峰模型的区域电网风电接纳能力评估方法研究[J]. 东北电力技术, 2011(9):23-26.

作者简介:

吴兴泉(1989),男,广东中山人,硕士研究生,研究方向为新能源并网、电力系统经济调度;

万秋兰(1951),女,江西南昌人,教授,研究方向为电力系统运行与控制、电力系统经济调度。

Study on the Characteristics of Wind Power and Photovoltaic Power in Yancheng Area

WU Xing-quan, WAN Qiu-lan

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Analysis of characteristics of wind power could contribute to its integration into the grid, while high penetration of wind power has a great impact on the power grid. Based on statistical theory, this paper comprehensively analyzes wind power output characteristics, fluctuation characteristics and peak load regulation performance using measured data of Yancheng wind and photovoltaic power. Moreover, complementariness of wind power and photovoltaic power in Yancheng is studied. The above analysis supplies the evidence for utilizing the wind power in this area and ensures power system operation safety with wind power integration.

Key words: wind power; output characteristic; fluctuation characteristic; peak load regulation performance; wind and solar energy mutual-complementing