

集群风电出力特性评价指标及应用

姚天亮, 吴兴全, 李志伟

(中国能源建设集团甘肃省电力设计院有限公司, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 基于风电出力和出现频率的区间划分, 研究了集群风电出力特性的分析方法, 提出了集群风电的瞬时最大出力系数、最低保证出力系数和有效容量系数 3 个重要出力特性指标。以甘肃酒泉千万千瓦级风电基地为例分析了集群风电出力特性, 得到了具有重要参考价值的评价指标。同时, 分析了大容量风电参与电力系统电力平衡时, 最大瞬时出力系数、最低保证出力系数和有效容量系数的 3 个出力特性指标的应用场合和应用价值。

关键词: 集群风电; 出力特性; 评价指标; 瞬时最大出力系数; 最低保证出力系数

Abstract: Based on the statistical method of time probability about wind power output levels, three important indicators for output characteristics of clusters of wind power are proposed, that is, the instantaneous maximum output coefficient, the minimum guaranteed output coefficient and the effective capacity factor. Taking Jiuquan million kilowatts of wind power base in Gansu Province for example, the output characteristics of clusters of wind power are studied, and some evaluation indicators with important reference value are obtained. At the same time, the application condition and application value of these three indicators are analyzed when large capacity wind farms participate in power balance of power system.

Key words: clusters of wind power; output characteristics; evaluation indicators; instantaneous maximum output coefficient; minimum guaranteed output coefficient

中图分类号: TM614 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0029-03

0 前言

众所周知, 风电出力随机性强, 变化范围广, 理论上讲单个风电场可能最大出力为 100% 装机容量, 最小出力为 0, 出力区间跨度特别大, 没有典型的发电出力特性曲线。

随着大容量集群风电的不断并网, 如果风电按照装机容量参与系统电力平衡和安排配套调峰电源, 将严重影响经济调度曲线的准确性, 造成系统调峰能力的浪费。并且, 如果按照装机容量选择风电升压变压器容量和上网线路导线截面, 将造成线路长期轻载, 浪费投资。

因此, 对于集群风电出力特性而言, 采用合理的分析方法和选择有效的评价指标, 具有紧迫性和重要意义。基于时间概率统计方法, 提出了集群风电的最大瞬时出力系数、最低保证出力系数和有效容量系数 3 个重要出力特性指标, 以甘肃酒泉千万千瓦级风电基地为例分析了其出力特性。并且, 分析了大容量风电参与电力系统电力平衡时, 上述 3 个

出力特性指标的应用场合和应用价值。

1 风电出力特性指标

1.1 风电出力的相关性

事实上, 大容量风电机群虽然没有典型的发电曲线, 总的发电出力具有一定规律可循, 最大出力必然小于 100% 装机容量, 最小出力必然大于 0。这是因为风场占地面积广, 同一风带内不同子区域的风能具有相关性和延时性, 同一时刻各子风场间风力大小呈现此起彼伏的现象, 可理解为“风风互补”效应。

也就是说, 不同子风场的发电出力具有相关性, 风电基地装机规模越大, 互补性越明显, 风电出力变化区间越小, 最大值变小, 最小值变大。

1.2 出力特性

大区域集群风电发电出力的相关性比较复杂, 但其发电出力数值基本落在一定的区间内, 即存在一个最大值和最小值。

公式(1)定义: 最大出力系数为最大发电出力

数值与风电装机容量的比值;最大出力系数为最大瞬时发电出力数值与风电装机容量的比值;最小出力系数为最小瞬时发电出力数值与风电装机容量的比值。

$$\begin{cases} K_{\text{wind. MAX}} = \frac{P_{\text{MAX}}}{S_N} \\ K_{\text{wind. MIN}} = \frac{P_{\text{MIN}}}{S_N} \end{cases} \quad (1)$$

1.3 评价指标

从某种意义上讲,风电出力特性可以看作是某一出力区间出现的时间概率问题,也可以理解为出现频率统计问题,其不同出力水平可以通过出现的时间概率来统计分析。

如果按照发电出力区间划分,统计各区间出现的频率,称为“风电出力-频率分布特性”,它反映集群风电出力大小的时间密度;统计 0 至某个出力区间以下出现的累积频率,称为“风电出力-累积频率分布特性”,它反映风电出力的累积频率分布情况;各出力区间对应累积电量,称为“风电出力-电量分布特性”,它反映集群风电累积电量分布特性;总的累积电量反映弃风量。

如果按照出现频率区间划分,对应于某个累积频率的风电出力,称为“累积频率-风电出力分布特性”,它反映风电出力水平的可信度。

考虑弃风率和认可度,定义集群风电的 3 个评价指标如下。

1) 最大瞬时出力系数:全时段统计发电出力数值中,对应 95% 保证率的最大瞬时出力数值,称为“最大瞬时出力”。最大瞬时出力占装机容量的百分比称为“最大瞬时出力系数”。

2) 最小保证出力系数:全时段统计发电出力数值中,对应 100% 累积频率可以保证的最小出力数值,称为“最小保证出力”。最小保证出力占装机容量的百分比称为“保证出力系数”。

3) 有效容量系数:考虑 5% 弃风率系数,对应 95% 累积电量的风电最大出力,占装机容量的百分比称为“有效容量系数”。

2 酒泉风电出力特性分析

2.1 按出力水平划分区间

将酒泉发电出力水平 0% ~ 100% 分为 20 个区

间,相邻区间出力变化为装机容量的 5%,分别统计各区间出现的频率,得到风电出力-频率分布特性,如饼状图 1 所示,可以看出风电总体出力水平较低,风电出力系数小于 0.2 的频率占 54.7%,小于 0.6 的频率占 97%。

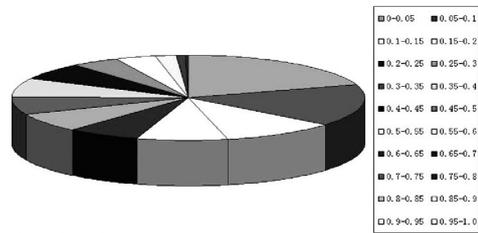


图 1 风电出力-频率分布特性

饼状图 2 给出了风电电量-频率分布特性。可以看出风电有效电量累计主要集中在低出力水平区间,风电出力系数小于 0.2 的频率占 63%;小于 0.6 的频率达到 100%,因此出力系数大于 0.6 的风电出力对电量无贡献。

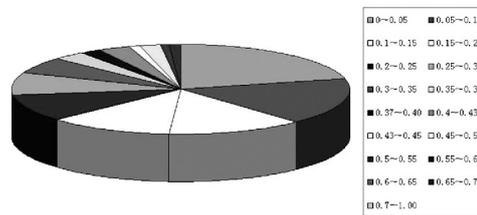


图 2 风电电量-频率分布特性

表 1 和饼状图 3 为风电出力累积电量分布特性,可以看出对应 5% 弃风率的风电有效容量系数为 0.43。

表 1 风电出力累积电量分布特性

出力范围	累积电量	弃风电量
0~0.05	0.21	0.79
0~0.10	0.38	0.62
0~0.15	0.51	0.49
0~0.20	0.63	0.37
0~0.25	0.73	0.27
0~0.30	0.81	0.19
0~0.35	0.87	0.13
0~0.37	0.90	0.10
0~0.40	0.92	0.08
0~0.43	0.95	0.05

2.2 按出现频率划分区间

与按照出力水平划分相比,采用逆向思维,按照

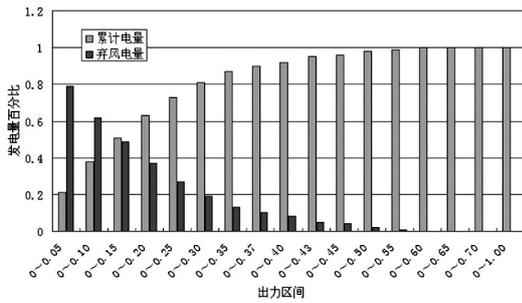


图 3 风电出力累计电量分布特性

出现频率划分,利用柱状图分析集群风电的可信出力系数,横坐标为累计频率,纵坐标为发电出力系数。

表 2 和图 4 给出了累计频率 - 风电出力系数分布特性。可以看出,对应 100% 保证率的风电最大出力系数约为 0.734; 对应 95% 保证率的风电最大出力系数约为 0.518; 对应 100% 累计频率的风电最小保证出力系数为 0.017; 对应 95% 累计频率的风电最小保证出力系数为 0.024。

表 2 累计频率 - 风电出力系数分布特性

累积频率 / %	风电出力	累积频率 / %	出力
0 ~ 100	0.017	0 ~ 50	0.201
0 ~ 95	0.024	0 ~ 45	0.237
0 ~ 90	0.038	0 ~ 40	0.273
0 ~ 85	0.047	0 ~ 35	0.311
0 ~ 80	0.063	0 ~ 30	0.348
0 ~ 75	0.076	0 ~ 25	0.384
0 ~ 70	0.098	0 ~ 20	0.412
0 ~ 65	0.118	0 ~ 15	0.458
0 ~ 60	0.143	0 ~ 10	0.518
0 ~ 55	0.171	0 ~ 5	0.734

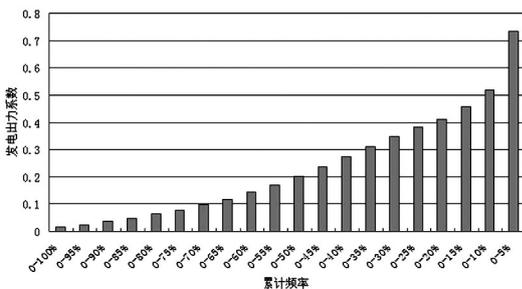


图 4 累计频率 - 风电出力系数分布特性

3 应用分析

对集群风电出力特性分析而言,最大出力系数、

最小保证出力系数和有效容量系数 3 个特性指标具有重要应用价值。

1) 优化升压变压器容量和送出线路导线截面。以酒泉地区风电为例,求得对应 100% 保证率的风电最大出力系数约为 0.734,对应 95% 保证率的风电最大出力系数约为 0.518。对于 200 MW 风电场,按照风电 100% 不受限原则主变压器容量可选择 150 MVA,按照风电 95% 不受限原则主变压器容量可选择 120 MVA。风电集中上网线路导线截面可直接按照风电送出 95% 不受限和导线极限输送容量确定。初步估算,可以节省投资约 10%。

2) 电网可用输电能力和调峰容量。对于大区域内集群风电而言,几乎不可能按额定装机容量满发,配套的电网输电能力和调峰容量需求按照装机容量计算是不合理的。如果采用对应 95% 保证率的风电最大出力系数 0.518,可提高电网接纳风电能力近一倍。如果按照装机容量的 51.8% 比例配套调峰火电电源,可以大大降低投资,并且提高电网调峰能力。

3) 风电参与系统电力平衡。保证重要负荷的连续可靠供电是电网安全稳定运行的基本要求;因为风电可靠性差,所以通常不考虑风电参与负荷供电的电力平衡。实际上,大容量集群风电并网后,存在一定的最小保证出力,可以参与电力平衡,就地平衡部分负荷,具有一定的电源补充和电压支撑作用,还可以降低电网线路和变压器的负载率。

4) 提高发电量的预测准确性。传统风电电量是根据风能资源及发电系统效率测算理论发电量,考虑的影响折减因素局限性大,因此发电量测算不精确。利用有效容量系数和可发电利用小时数计算发电量的方法更接近实际情况,发电量预测更合理。并且,掌握了电量与风电出力分布特性,可以指导风机选型及合理安排风电场运行方式。

4 结论

1) 基于风电出力和出现频率划分区间统计风电出力特性,能够有效分析集群风电的出力分布特性。最大瞬时出力系数、最低保证出力系数和有效容量系数是集群风电 3 个典型出力特性指标,酒泉风电的 3 个出力特性指标分别约为 0.518、0.017 和 0.43。

(下转第 44 页)



图 8 吊心检查中压 B 相

中 - 低短路阻抗 ABC 三相变化趋势 $B < C < A$, 诊断其 B 相高中压绕组相对距离增大 , 中低压绕组相对距离减小 , 即中压 B 相向低压收紧变形。绕组频率响应的相关系数结论为轻度变形。通过运行数据 , 该主变压器 10 kV、35 kV 侧曾遭受过多次短路冲击。通过吊心检查 , 中压 B 相存在严重变形 , 绕组向内收紧 , 验证了试验数据及其诊断结论。利用当前的测试方法进行绕组变形诊断提供了典型经验积累 , 通过综合分析变压器低电压短路阻抗相间变化趋势、频率响应图谱和运行数据 , 若三者间存在较强的逻辑关联 , 可以较为准确地判定变压器绕组变形状况 , 为相似试验数据的诊断提供了参考。

(上接第 31 页)

2) 深刻理解风电出力特性指标的含义和应用场景 , 能够节省风电建设和电网配套工程投资 , 提高电网风电接纳能力 , 缓解系统调峰压力 , 并且在倡导风电参与系统电力平衡 , 合理安排风电运行方式 , 提高发电量预测准确率等方面具有很好的应用价值。

参考文献

[1] 辛颂旭,白建华,郭雁珩,等.甘肃酒泉风电特性研究[J].能源技术经济,2010,22(12):16-20.

[2] 秦睿,刘海燕,杨萍,等.大规模风电送出能力影响因素分析[J].电力建设,2013,34(6):36-40.

[3] 蔺红,孙立成,常喜强.新疆风电出力波动特性的概率建模[J].电网技术,2014,38(6):1616-1620.

[4] 王小红,周步祥,张乐,等.基于时变 Copula 函数的风电出力相关性分析[J].电力系统及其自动化学报,2015,27(1):43-48.

[5] 刘晓东,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,

参考文献

[1] Jun Liu, Lijun Zhou, Guangning Wu, et al. Dielectric Frequency Response of Oil - paper Composite Insulation Modified by Nanoparticles [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2012, 19(2): 510 - 520.

[2] M. Wang, A. J. Vandermaar, K. D. Srivastava. Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002, 18(6): 12 - 25.

[3] 毕建刚,王献丽,高克利.变压器绕组变形现场测试中应注意的问题[J].变压器,2009,46(12):29-31.

[4] 刘海峰,刘宏亮,唐亮.变压器绕组变形的诊断与分析[J].变压器,2008,45(6):61-63.

[5] Dick E P, Even C C. Transfotrmer Diagnostic Testing by Frequency Response Analysis [J]. IEEE Trans. PAS, 1978, 97(6): 2144 - 2153.

[6] DL/T 911 - 2004 电力变压器绕组变形的频率响应分析法[S].

[7] Q/GDW 1168 - 2013 输变电设备状态检修试验规程[S].

[8] DL/T 1093 - 2008 电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则[S].

作者简介:

刘君(1984),博士、高级工程师,主要从事高压电气设备绝缘状态评估及其方法研究。

(收稿日期:2015-10-08)

[6] 方倩倩,靳宝宝,郭树锋.青海电网风电场出力特性研究[J].青海电力,2014,33(s1):34-39.

[7] 林章岁,罗利群.福建省风电出力特性及其对电网的影响分析[J].电力建设,2011,32(12):18-23.

[8] 尹佳楠,葛延峰,高凯.风电场群出力的汇集效应分析[J].电测与仪表,2015,52(5):104-108.

[9] 高凯,朱加明,葛延峰等.联网风电场集群运行特性分析[J].东北电力大学学报,2014,34(4):11-16.

[10] 姚天亮,杨德洲,郑昕.动态补偿消弧线圈在大型风电场灭弧中的应用[J].电力建设,2013,34(3):109-112.

作者简介:

姚天亮(1979),工程师、硕士,从事电力系统一次规划、电网稳定分析、新能源并网研究工作;

吴兴全(1972),高级工程师,从事电力系统规划、保护研究工作;

李志伟(1983),工程师,从事电力系统一次规划。

(收稿日期:2015-10-10)