

Analysis on Reliability Indices of Wind Farm and its Influencing Factors

Yu XU, Yongqiang ZHU, Zejun DING

School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing, 102206, China

Email: xuyuxuyuxuyu@yeah.net, zyq@ncepu.edu.cn

Abstract: With the capacity of single wind turbine and the size of wind farm increasing, the generation reliability issues of wind farms become increasingly prominent. This paper proposes four indices, which are wind farm capacity validity coefficient (CVC), wind farm generation intensity coefficient (GIC), wind farm operation security coefficient (OSC), wind farm relative benefit coefficient (RBC). They evaluate the reliability of wind power generation from point of abundance, continuity, security and economic. Addition, these indices do not stand alone and are interrelated and complemented each other. As a system, they are integrated reflection of the overall wind farm situation. More importantly, to demonstrate the four indicators as an evaluation system is feasible, the paper has done a lot of figures, which response how indices change when the types of wind turbine and wind speed distribution change separately. These analysis results can be used as a basis for assessment of wind farms. At the same time they have an important reference value for the study of the economy and the true value of wind power and provide some help to wind farm design. Also, these results run a certain guide for wind farm planning, for the government in formulating relevant policies and for the power companies to determine the internet price.

Keywords: wind power; reliability; indices; influencing factors

风电场可靠性指标及其影响因素分析

许 郁, 朱永强, 丁泽俊

华北电力大学电气与电子工程学院, 北京市, 中国, 102206

Email: xuyuxuyuxuyu@yeah.net, zyq@ncepu.edu.cn

摘 要:随着风电场规模化发展,风电场发电可靠性问题日益突出。由于风电与常规电源相比具有很强的随机波动性,常规电源的可靠性评估指标已不适用于风电,因此研究和制定评价风电的可靠性指标愈加重要。本文提出了风电场容量有效度(CVC)、风电场发电密集度(GIC)、风电场运行安全度(OSC)、风电场相对效益系数(RBC)四个指标,分别从充裕性、连续性、安全性、经济性四个角度评价了风电场发电可靠性,四个指标相互联系相互补充并不是单独存在的,它们作为一个体系,综合起来系统的反应风电场的整体状况。为了验证指标体系的合理性,文中采用大量的实际风电场数据分析了两种情况下,四个指标的变化规律。这些分析结果可以作为风电场评估的依据,对研究风电的经济性和真实价值具有重要的参考价值,对风电场的设计提供一定的帮助,对风电场规划运行有一定指导意义。

关键词:风电; 指标; 风速; 可靠性

1. 引言

风能资源储量丰富,风力发电是技术最成熟、最具规模开发和商业化发展前景的可再生能源开发方式,近年来取得了突飞猛进的发展。随着风电规模在电力系

本课题由国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAA14B05)和北京市优秀人才资助计划项目资助

统当中比重的加大,风电已经处于由小规模补充能源向大规模主要能源转变的重要发展阶段。风能具有波动性、随机性、间歇性和不可调度性的特点,大规模风电场与传统电网并网后会给电网带来很大影响,有必要探讨风电机组并网后,电网和风电机组的运行效率、安全性和稳定性问题。这正是本文将要研究的并网风电场的

可靠性问题。

由于风电与常规电源相比具有很强的随机性,常规电源的可靠性指标已不适用,研究和制定属于风电自己的具体可靠性衡量指标,十分必要。本文从风电场发电的充裕性、连续性、安全性、经济性四个角度出发,分别定义了风电场容量有效度(CVC)、风电场发电密集度(GIC)、风电场运行安全度(OSC)、风电场相对效益系数(RBC)相应的可靠性评价指标,四个指标相互联系相互补充并不是单独存在的,它们作为一个体系,综合起来系统的反应风电场的整体状况。基于此,本文还分别研究了影响风电场可靠性的因素:风电场的风速分布和风电场的风机类型对四个指标的影响规律。

2. 风电场可靠性的评价指标

风电与常规电源根本区别在于原动能风能的不确定性,这也是影响风电场可靠性的最大因素。另外,影响风电场发电量的因素如下:风电场内,风速低于切入风速或者高于切除风速,机组的故障和检修都会造成风电机组的停运,停运频率越频繁引起的输出功率损失越大,实际出力越少。风电场外:由于在与电网并联运行的风力发电系统中大多采用异步发电机,其在向电网输送有功功率的同时,也会从电网吸收滞后的无功功率;另一方面,电网停运也会使得风电场发出的电无法输送到用户,所以,电网的计划和计划停运也会造成风电场实际输出功率的损失。这里的其他因素包括:空气密度,湍流,气候,尾流效应;风机叶片污损,控制系统的滞后;场内箱变、主变、汇流线路等的故障停运,风电场与风电场之间的风速关联等等。风电场能量去向如图1所示,有效风能是指风速处于切入风速和切出风速之间风能^[1]。基于上面的分析,本文提出评估风电场可靠性的四个指标:

A 该指标沿用已有的容量系数的思想^[2]。风电场容量有效度(CVC):风电场在统计时间段内的实际发电量与该时间段的理论发电量的比值。其反映风电场发电充裕性,既反映出各个影响因素对发电量影响程度也表征出整个风电场的发电效率的高低。

$$CVC = \frac{W_{rf} - W_{fl} - W_{gl} - W_{ol}}{NP_r T} \quad (1)$$

其中, W_{rf} 是风电场在统计时间段内在只考虑风速影响时的发电量; W_{fl} 是风电机组的停运造成的电量损

失; W_{gl} 是电网的影响造成的电量损失; W_{ol} 是其他因素造成的电量损失; N 是风电场风机台数; P_r 表示风电机的额定功率; T 是统计时间。注意, W_{fl} , W_{gl} , W_{ol} 都是在有效风速范围内计算所得。

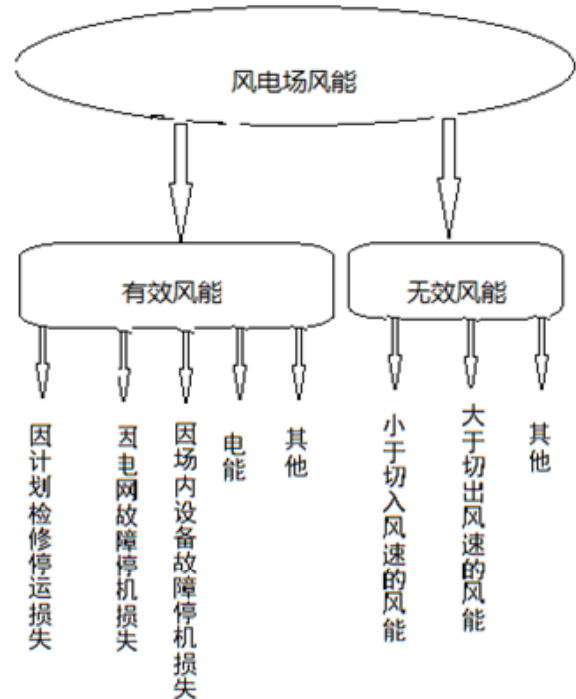


Figure 1. Wind energy flows

图 1. 风电场的能量去向图

B 风电场发电密集度(GIC):风电场等效的全额发电时间与统计时间的比值。其反映风电场发电的连续性及设备利用率。

$$GIC = \frac{T_{\pi}}{T} \quad (2)$$

$$T_{\pi} = \kappa_1 T_{ci-r} + T_{r-co} \quad (3)$$

其中, T_{π} 是风电场在有效风速范围内的全额发电时间, T_{ci-r} 和 T_{r-co} 分别是风速处于切入风速和额定风速, 额定风速和切出风速之间的时间; κ_1 是折合系数, 是降额运行时间按额定功率运行行为基准折算的等效系数, T 表示统计时间。

C 风电场运行安全度(OSC):风电场的等效停运时间与统计时间的比值。其反映风电场运行的安全稳定性及设计的合理程度。

$$OSC = \frac{T_{out1} + T_{out2}}{T} \quad (4)$$

其中, T_{out1} 是风能有效范围内的风电场受风速影响等效停运时间; T_{out2} 是在整个统计时间段内的风电场受除风速外的因素影响的等效停运时间; T 表示统计时间。

D 风电场相对效益系数(RBC): 在总成本费用相同的情况下, 风电场寿命期限内的成本-效益与常规电源寿命期限内的成本-效益的比值。其反映风电场的经济性。

$$RBC = \frac{E_w}{E_c} \quad (5)$$

$$E_w = \frac{C_a}{C_c} \quad (6)$$

$$Ec = \frac{C_b}{C_c} \quad (7)$$

式中, E_w 是风电场在寿命期限内成本-效益; E_c 是在总成本费用投入与风电场相同时, 常规电厂在寿命期限内成本-效益; C_a 是风电场的效益; C_c 是总成本费用; C_b 是常规电厂的发电效益。

以上提到的四个指标综合起来反应风电场的可靠性程度。

3. 影响风电场可靠性指标的因素分析

在上节中分析了影响风电场可靠性的因素及风电场可靠性的评价指标, 那么这两者究竟有怎样的关系呢, 本节将采用实际的风电场数据深入的研究分别分析 2 种情况下, 风电场四个评价指标的变化规律。在本部分将用到的 A,B,C,D 四个实际风电场的风速分布如图 2 所示, 这里的风速统计时间是年, 取 8760 小时。风机类型按额定功率从小到大依次为 G58/850kW, N60/1300 kW, S70/1500 kW, N90/2300 kW, N80/2500 kW, 功率输出特性曲线见参考文献[3]。在分析这两种情况时, 为了突出变量的唯一性, 假设风电场的装机台数是统一的为 20 台, 且风电场内每台机组的强迫停运率, 电网造成的风电场停运率是相同的。计算方法采用参考文献[4]中提到的基本概率方法。在这里取风电机组的强迫停运率为 1.82% (此结果为 2003 年河南省主要机组的统计结果^[5]), 电网的停运率为 2% (此结果为 1997 年全国的统计结果^[5]), 其他影响因素造成的发电量折减率为 3.5%。

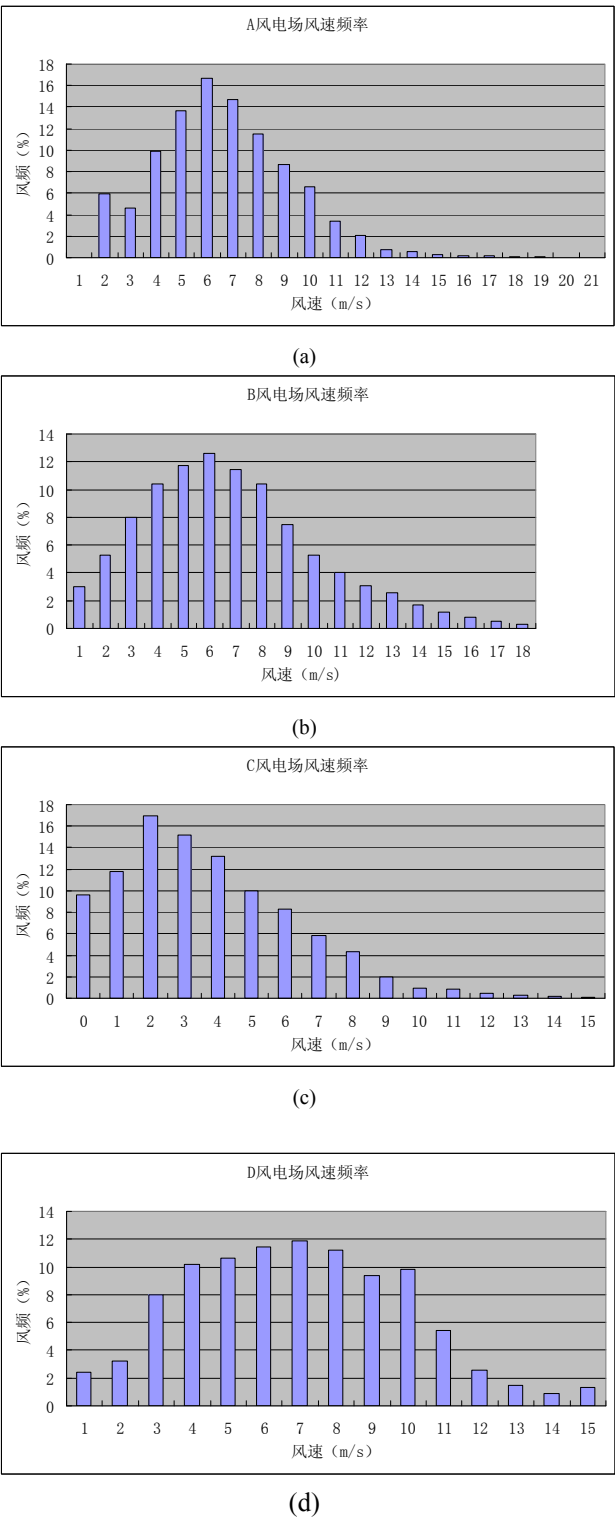
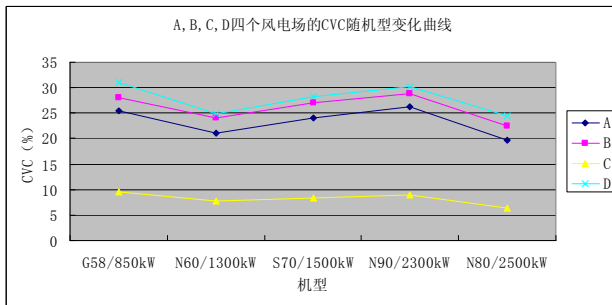


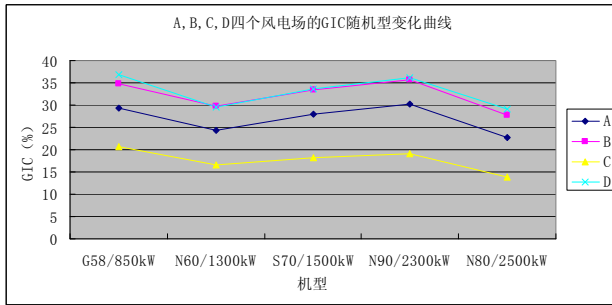
Figure 2. Wind speed frequency distribution in four wind farms

图 2. 四个风电场的风速频率分布图

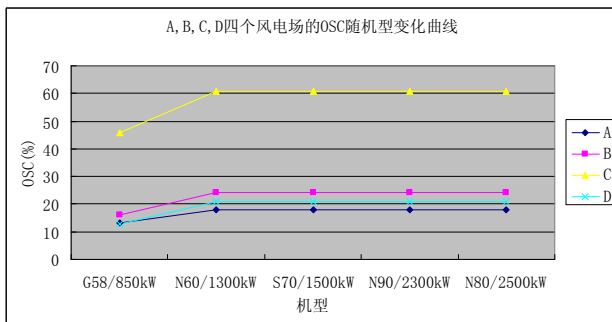
(1) 同一风电场风机类型的变化引起的指标变化;



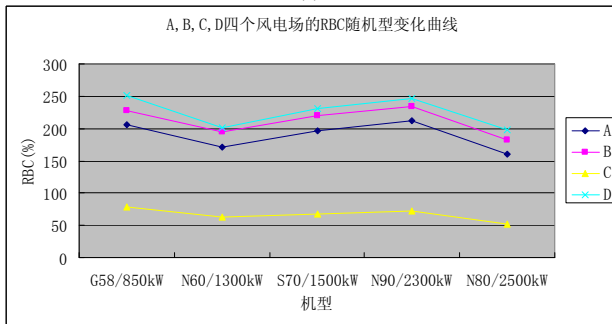
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3. Indices curve with wind turbine types varying

图 3. 四个风电场的指标随机型变化曲线

通过上图 (a) 可知 A,B,D 三个风电场的容量可信度均介于 20%-30%之间, 而风电场 C 容量可信度在 5%-10%之间波动。由图 (b) 知 A,B,D 三个风电场的连续性指标 GIC 均介于 20%-35%之间, 而风电场 C

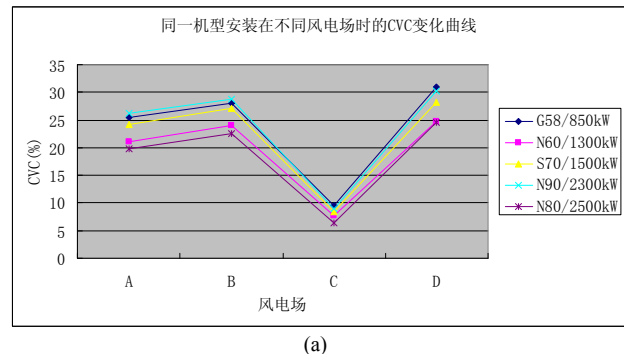
的 GIC 在 15%-20%之间。也就是说风电场运行 10 个小时, 其中满额运行的时间达不到 4 个小时。由图 (c) 知, A,B,D 三个风电场的安全性指标 OSC 均介于 10%-25%之间。而风电场 C 的 OSC 在 50%-60%之间。值得注意的是这个指标的值越低, 风电场的运行安全性越好。比如风电场 C 的曲线说明, 风电场 C 有一半以上的时间处于停机状态。由图 (d) 知, ABD 三个风电场的 RBC 均在 150%-250%之间, 而风电场 C 的 RBC 低于 100%。

通过上面的分析, 可以得出如下结论:

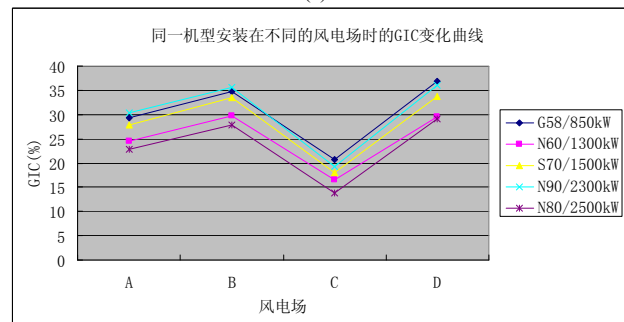
- (1) 风电场的容量可信度不高, 达不到装机容量的一半;
- (2) 在未计算风电的环境效益的情况下, 风电场的成本-效益已经远高于火电的成本-效益。
- (3) 风电场 C 的风资源不足以建设风电场。
- (4) 相比较而言, 五种机型同时适合于风电场 D。
- (5) 风电场 D 的最合理的机型是 N90/2300kW。无论是充裕性, 连续性, 安全性, 经济性, 这个选择都是最科学的。

(2), 同一机型安装在不同的风电场时指标的变化情况;

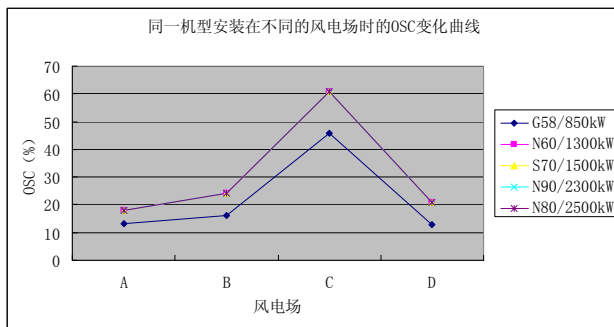
通过上图可以看出风电场的 CVC 曲线和 GIC 曲线有着相同的变化规律, 这说明风电场的充裕性和运行的连续性是密切相关的。而它们的 OSC 和 RBC 却呈现出轴对称的现象。这说明风电场的运行安全性越高, 风电场的经济性越好, 两者是相辅相成的。



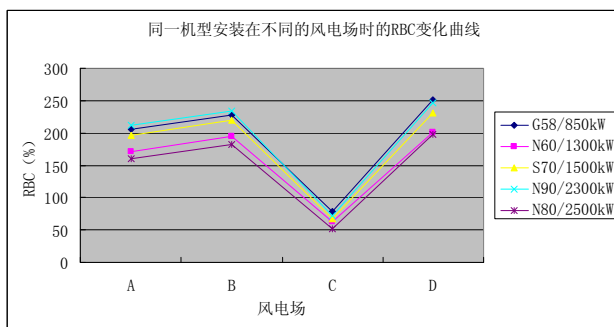
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4. Indices curve with wind speed distribution varying

图 4. 风电场安装同一机型时指标的变化曲线

由图 4 可以得出如下结论

- (1) 本图再一次验证了风电场 C 建场的不合理性。
- (2) 风电场在选型和选址不科学的情况下，不能发挥其优势，如风电场 C。
- (3) 机型选择合理性越高，风电场的可靠性越高。

4. 结论

本文提出了风电场容量有效度 (CVC)、风电场发电密集度 (GIC)、风电场运行安全度 (OSC)、风电场相对效益系数 (RBC) 四个指标,分别从充裕性、连续性、安全性、经济性四个角度评价了风电场发电

可靠性,四个指标相互联系相互补充并不是单独存在的,它们作为一个体系,综合起来系统的反应风电场的整体状况。为了验证指标体系的合理性和实用性,文中采用 A,B,C,D 四个实际风电场风速分布数据和五种常用机型数据 G58/850kW, N60/1300 kW, S70/1500 kW, N90/2300 kW, N80/2500 kW, 在两种情况下作了分析, (1) 同一风电场风机类型的变化引起的指标变化; (2),同一机型安装在不同的风电场时,指标的变化情况;

通过分析曲线可以得出结论:

- (1) 风电场的容量可信度不高;
- (2) 风电场的成本效益远高于火电的成本效益;
- (3) 风电场的选址和机型选择对可靠性影响至深。

这些分析结果可以作为风电场评估的依据,对研究风电的经济性和真实价值具有重要的参考价值,对风电场的设计提供一定的帮助,对风电场规划运行有一定指导意义,是政府制定有关政策和电力公司确定上网电价的依据,也是风电场开发投资商要了解的问题,同时也为研究风电的健康发展做贡献。

References (参考文献)

- [1] Wang Chengxu, "Wind power generation", China Electric Power Press, Beijing, 2003.
王承旭, 风力发电[M], 中国电力出版社, 2003.
- [2] Wang Haichao, Lu Zongxiang and Zhou Shuangxi, Research on the capacity credit of wind energy resource [J], Proceedings of the CSEE, 2005, 25(10), P103-106.
王海超, 鲁宗相, 周双喜. 风电场发电容量可信度研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(10), P103-106.
- [3] Liu Wankun, Wind energy and wind generation technology [M], Chemical Industry Press, 2007.
刘万琨等. 风能与风力发电技术[M]. 化学工业出版社, 2007
- [4] Zhou Jiaqi, Ren Zhen. Power system reliability evaluation [M], Science press Chongqing branch, 1986.
周家启, 任震 (译). 电力系统可靠性评估[M]. 科学技术文献出版社重庆分社, 1986.
- [5] <http://www.cec.org.cn/news/deptnews.asp?id=326>.