

湍流强度规格化风电机组测量功率曲线的方法研究

风电机组的功率曲线是发电量的直接保证。但是,风电机组的测量功率曲线在很大程度上会受到测试场地湍流强度的影响。湍流强度不仅会造成风电机组测量功率曲线和保证功率曲线之间的区别;而且还会影响风电场设计,使风电场的实际发电量与设计发电量产生较大的差别。详细介绍了一种湍流强度规格化风电机组测量功率曲线的方法,可以将不同湍流强度下的功率曲线规格化至同样的湍流强度,可用于不同功率曲线的比较,也可用于指导风电场设计。

薛 扬 秦世耀 焦 渤 付德义/中国电力科学研究院新能源研究所

0 引言

风电机组的测试功率曲线在很大程度上会受到湍流强度的影响。其主要原因是,风电机组的输出功率和风速是三次方的关系,风速的微小变化会带来功率的大幅度变化,但是在进行功率曲线测试时,每个风速区间内的功率和风速10 min数据都是线性平均的,如果在10 min内湍流强度较大,将会使测试功率曲线的风速和功率出现较大的不匹配。以实际测试数据为例,在1个风速区间内,功率和湍流强度的关系如图1所示。

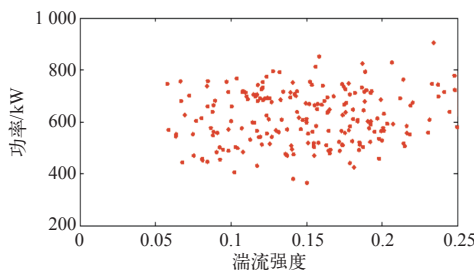


图1 风速区间内功率与湍流强度关系图

国家能源应用技术研究工程示范项目
(NY20110401-1)。

比较典型的情况如图2所示,在测试功率曲线的踝部,随着湍流强度的增大,输出功率会增加;在测试功率曲线的膝部,随着湍流强度的增大,输出功率会降低。

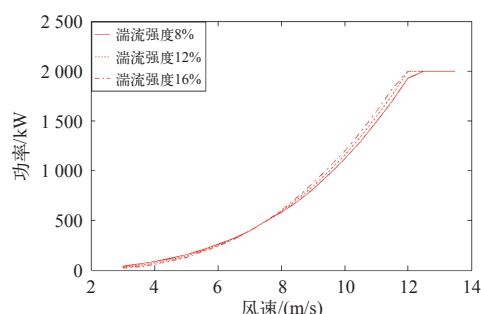


图2 不同湍流情况功率曲线比较

新版的风电机组功率特性测试标准 IEC 61400-12-1给出了一种根据湍流强度进行测试功率曲线规格化的方法,并且推荐在今后的风电机组功率特性测试中进行使用。

这种根据湍流强度规格化的方法还可以将测试结果规格化到一个特定风电场的湍流强度下,从而为前期的风资源评估、风电场设计和风电机组选型提供便利。

1 湍流强度规格化功率曲线的理论

这个湍流强度规格化方法基于一个假设,在风电机组发电每一个时刻,风电机组都遵循一条特定的功率曲线,这条功率曲线称为“零湍流功率曲线”,这条功率曲线不受湍流强度的影响。而且,这条功率曲线中,风速和功率有很好的对应关系,风电机组按照这条曲线



薛 扬/工程师

关键词/Keywords

风电机组 ·
功率曲线 ·
湍流强度 ·

发电时,功率随风速的变化有良好的变化关系。

基于零湍流功率曲线的理论,风电机组的输出功率可以通过式(1)仿真得到,即

$$p_{\text{sim}}(v) = \int_{v=0}^{\infty} p_{I=0} f(v) dv \quad (1)$$

式中, p_{sim} 为仿真功率输出; $p_{I=0}$ 为零湍流功率曲线对应的功率; $f(v)$ 为风速分布。

通过式(1)可以计算两种情况下的仿真功率输出。

1) 风速分布为实际测试的风速分布情况。全部的10 min原始测试数据都应当进行仿真计算。风速分布可以假设为高斯分布。

2) 风速分布为参考湍流强度得到。假设风速分布为高斯分布。

3) 湍流强度规格化的功率输出通过式(2)计算得到,即

$$p_{\text{ref}}(v) = p(v) - p_{\text{sim}}(v) + p_{\text{sim,ref}}(v) \quad (2)$$

式中, $p_{\text{ref}}(v)$ 为规格化到参考湍流强度的功率输出; $p(v)$ 为测量的10 min平均值; $p_{\text{sim}}(v)$ 为根据测量风速分布得到的仿真功率输出; $p_{\text{sim,ref}}(v)$ 为根据参考湍流强度得到的仿真功率输出。

2 零湍流功率曲线的确定

零湍流功率曲线需要通过多个步骤计算得到。首先需要确定一个初始的零湍流功率曲线。确定初始的零湍流功率曲线需要基于测量功率曲线,初始的零湍流功率曲线通过如下的方式确定。

1) 假设初始的零湍流功率曲线在切入风速以下的输出功率为0,初始的零湍流功率曲线的切入风速定义为测量功率曲线的功率达到0.1%的额定功率所对应的区间风速。

2) 假设初始的零湍流功率曲线在切入风速到额定风速之间的功率系数为常数,且等于测量功率曲线中功率系数最大的值。初始的零湍流功率曲线在切入风速到额定风速之间的功率输出按照标准空气密度、功率系数计算得到,为风速的三次方关系。

3) 根据额定功率、标准空气密度、风轮扫掠面积和功率系数最大值计算额定风速。

4) 超过额定风速的功率输出设置为额定功率。

然后,调整初始零湍流功率曲线的切入风速、额定功率和最大功率系数。这3个值与湍流强度完全无关。

在每个风速区间上,使用式(1)对初始零湍流功率曲线进行积分,高斯分布的参数按照对应的风速区间湍流强度。通过这一计算,可以得到测量风速区间平均值对应的仿真功率曲线。

调整零湍流功率曲线的切入风速,额定功率和最大功率系数,使得仿真功率曲线的切入风速、额定功率和最大功率系数与测量功率曲线的切入风速、额定功率和最大功率系数相符合,即仿真功率曲线的最大功率与测量功率曲线的最大功率相差不超过0.1%,仿真功率曲线的切入风速与测量功率曲线的切入风速相差不超过0.5 m/s,仿真功率曲线的最大功率系数与测量功率曲线的最大功率系数相差不超过0.01。

使用调整后的零湍流功率曲线对每10 min的测量原始数据利用式(1)进行积分。然后假设湍流强度为0,再次对10 min的测量原始数据利用式(1)进行积分。利用式(2)得到零湍流功率曲线的10 min原始数据,按照区间平均的方法处理这些10 min原始数据,得到最终的零湍流功率曲线。

3 实际算例

某2 MW风电机组的测量功率曲线如图3所示。

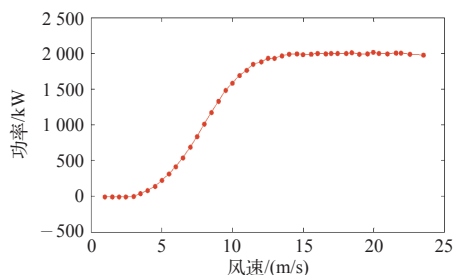


图3 测量功率曲线

3.1 确定初始零湍流功率曲线

按照测量功率曲线,确定初始零湍流功率曲线的切入风速为3.5 m/s,最大功率系数为0.478 3,额定功率为2 018.589 kW,确定额定风速为10.05 m/s。按照这些参数,确定的零湍流功率曲线如图4所示。

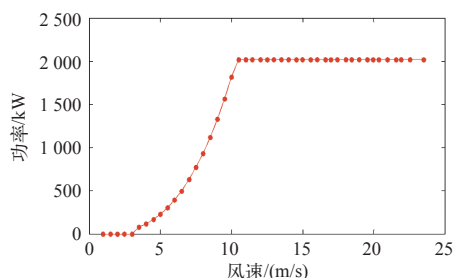


图4 初始零湍流功率曲线

3.2 调整零湍流功率曲线

在每个风速区间上,使用式(1)对初始零湍流功率曲线进行积分,得到仿真功率曲线。调整零湍流功率曲线的切入风速、额定功率和最大功率系数,使得仿真功率曲线的切入风速、额定功率和最大功率系数与测量功率曲线的切入风速、额定功率和最大功率系数相符合。

经过多次调整切入风速、额定功率和最大功率系数,将零湍流功率曲线的切入风速调整为4 m/s,将零湍流功率曲线的额定功率调整为2 018.589 kW,将零湍流功率曲线的最大功率系数调整为0.437 5,可以使得仿真功率曲线与测量功率曲线相符合。

经过调整后的零湍流功率曲线与初始零湍流功率曲线相比较如图5所示。与初始零湍流功率曲线相比,调整后的零湍流功率曲线功率系数略低,切入风速略高。

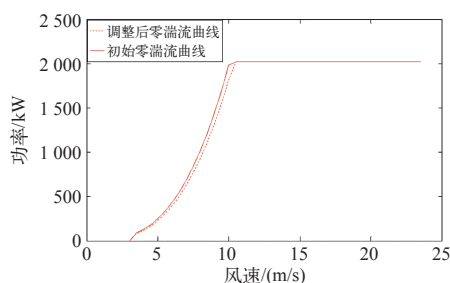


图5 初始零湍流功率曲线与调整零湍流功率曲线比较

3.3 最终的零湍流功率曲线

利用式(1),对所有的原始10 min测试数据,代入调整后的零湍流功率曲线进行积分。分别计算原始测试湍流数据和假设湍流为0两种情况下的仿真结果,然后代入式(2)进行计算,得到最终的零湍流功率曲线。

调整后的零湍流功率曲线与最终的零湍流功

率曲线比较如图6所示。由于最终的零湍流功率曲线由实际测试数据计算得到,所以更符合实际测试功率曲线。

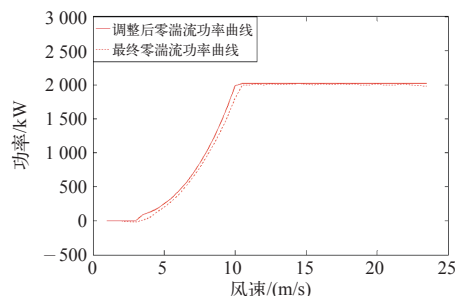


图6 调整后的零湍流功率曲线与最终的零湍流功率曲线比较

3.4 对测量功率曲线进行湍流规格化

将测量功率曲线按照湍流为10% (即0.1) 进行规格化。得到的湍流规格化的功率曲线与测量功率曲线的比较如图7所示。

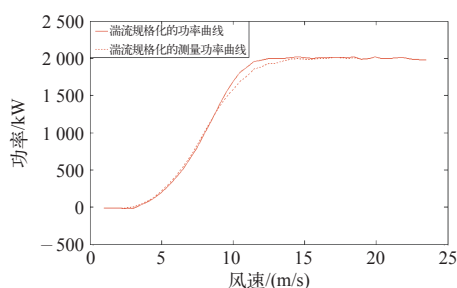


图7 湍流规格化的功率曲线与测量功率曲线的比较

由于测量功率曲线的湍流强度的区间分析值都在10%之上,所以测量功率曲线与湍流规格化至10%的功率曲线比较,在踝部功率较高,在膝部功率较低。这与实际测试结果是相符的。

4 结束语

由于湍流强度对风电机组测量功率曲线影响程度很大,使得风电场开发商和风电机组制造商之间,风电场开发商和风电场设计单位之间由于不同功率曲线之间的差别产生了矛盾。因此,通过湍流强度规格化风电机组测量功率曲线对于比较不同的功率曲线和指导风电场设计有重要意义。本文给出了一种湍流强度规格化风电机组测量功率曲线的方法,并通过实际算例证明了这种方法与实际情况的一致性。通过这一方法,可以

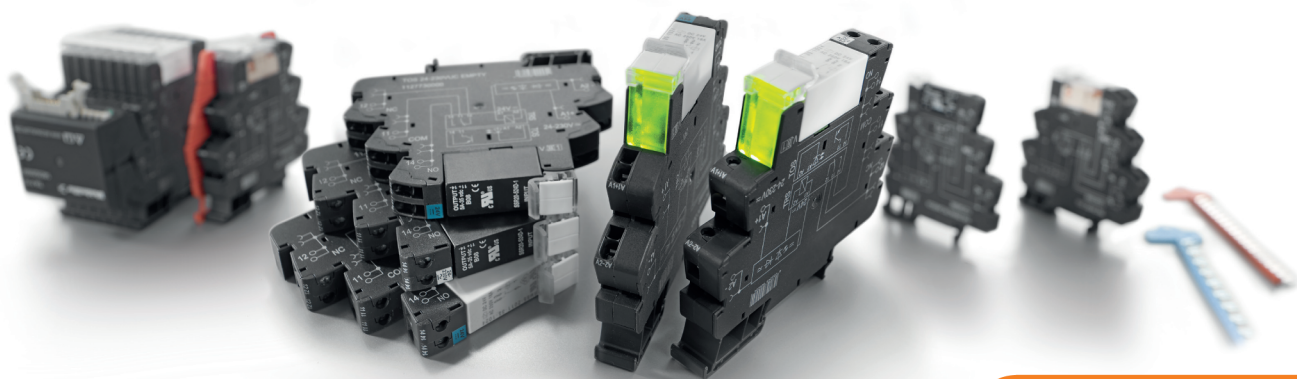
对同一型号风电机组在不同风场的运行情况进行比较;也可以在风电场设计时,比较不同风电机组功率曲线在同一风电场的运行结果,从而选择更加合适的风电机组型号。

在未来的风电机组功率曲线测试中,这种规格化方法也会有广泛的应用前景。下一步,如何提高规格化方法的准确度,使之更好地与实际情况相符合将是更深层次的研究方向。

参考文献

- [1] IEC 61400-12-1 Wind turbines-part 12-1: power performance measurements of electricity producing wind turbines [S]. 2005.
- [2] GB/T 18451.2-2012 风力发电机组功率特性试验 [S].
- [3] IEC 61400-12-1 Wind turbines-part 12-1: power performance measurements of electricity producing wind turbines (Draft CDV) [S]. 2012.
- [4] Power performance measurement procedure [S]. Version 5, December 2009, Measnet.
- [5] Emil Hedevang. Wind turbine power curves incorporating turbulence intensity [J]. Wind Energy, 2014, 17 (2): 173-195.
- [6] Wagner R, Courtney M, Gottschall J, et al. Accounting for the speed shear in wind turbine power performance measurement [J]. Wind Energy, 2011, 14 (8): 993-1004.
- [7] Antoniou I, Pedersen S M, Enevoldsen P B. Wind shear and uncertainties in power curve measurement and wind resources [J]. Wind Engineering, 2009, 33 (5): 449-468.
- [8] Kaiser K, Langreder W, Hohlen H, et al. Turbulence correction for power curves [C]. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 159-162.
- [9] Albers A. Turbulence and shear normalization of wind turbine power curve [C]. EWEC, 2010.

(收稿日期: 2015-06-18) EA



Weidmüller 

魏德米勒TERM系列继电器 —设计紧凑的一体化解决方案

魏德米勒TERM系列继电器解决方案,为满足电力行业客户实际应用中的高标准需求:

- 超薄的继电器和固态继电器,宽度仅为6.4毫米或12.8毫米,占用更少的导轨空间
- 可以选择螺钉或弹片两种接线技术
- 在各种设备或者工厂改造中,24V~230VAC的宽电压输入始终能满足客户的自动化应用需求
- 经过优化的“HC”和“HCP”型号1常开继电器,提供独特和长使用寿命的方案,可用于大冲击电流负载
- 5层横联,易于操作,简单灵活。不同宽度,接线方式的继电器都可以用一根横联件直接横联

扫一扫,关注魏德米勒官方微信



Let's connect.

魏德米勒电联接(上海)有限公司

电话: 86 21-22195008 网址: www.weidmueller.com.cn