

Two Methods for Correcting the Power Curve of Wind Turbines

Kuo Ren, Hongkui Li

Shenyang Ligong University, Shenyang Liaoning
Email: 974660756@qq.com

Received: Nov. 11th, 2018; accepted: Nov. 28th, 2018; published: Dec. 5th, 2018

Abstract

An important indicator for evaluating the performance of wind turbines is the power curve of the wind turbine. In the actual process of fan operation, in order to accurately measure the power curve of the fan, it is necessary to consider the uncertain factors on the site, such as wind direction change, natural wind speed, turbulence intensity, etc., and these uncertain factors bring great difficulties to the measurement. Therefore, in order to obtain the wind turbine power curve simply and accurately, the wind speed correction and air density correction can be performed according to the aerodynamic theory [1]. The wind measured by the corrected wind speed is closer to the wind obtained by the actual unit; by correcting the air density, the density measurement of the on-site air density into standard air is closer to reality. Two corrections of the two methods are used to obtain a more accurate power curve.

Keywords

Wind Turbine, Power Curve, Wind Speed Correction, Air Density

两种修正风力发电机功率曲线的方法研究

任 阔, 李洪奎

沈阳理工大学, 辽宁 沈阳
Email: 974660756@qq.com

收稿日期: 2018年11月11日; 录用日期: 2018年11月28日; 发布日期: 2018年12月5日

摘 要

评估风力发电机组性能的一项重要指标是风机的功率曲线。在风机运行的实际过程中, 为了准确测量风机的

功率曲线, 必须考虑现场不确定因素, 如风向变化、自然风速、湍流强度等, 而这些不确定的因素给测量带来了很大的困难。因此, 为了简单准确求得风力发电机功率曲线, 可以依据空气动力学理论[1]对该曲线进行风速修正和空气密度修正, 经过修正风速测得的风更加逼近实际机组获得的风; 通过修正空气密度将现场空气密度折算成标准空气下的密度测量更接近实际。经过两种方法的两次修正以得到更准确的功率曲线。

关键词

风力发电机组, 功率曲线, 风速修正, 空气密度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着人类对电的依赖不断增强, 在 21 世纪资源匮乏的今天, 如何寻找人类可开发利用的新能源是我们的首要任务。全球可利用风资源量巨大约为 2×10^7 MW, 比可开发的水资源总量的 10 倍还多[1]! 如何高效率的利用这些可再生资源是我国乃至全世界重点关注的问题。因此各大公司在不断积极研发投资建设风电场, 但是根据以往的经验教训, 在推广新设备之前必须首要考虑机组的性能。而对风力发电的机组重点的性能考核指标就是功率曲线。为了提高其发电量, 发现异常要及时采取适当的措施进行调整。

风机的功率曲线指的是输出功率在不同风速段下的与之对应的随着风速变化而变化的函数关系。其一般分为标准空气密度对应下的、现场空气密度对应下的功率曲线。现场空气密度一般指在标准空气密度 1.225Kg/m^3 按照当地湍流强度实际折算所得。根据国际能源署 (IEA) 统一规定, 测风仪应装于距离 2~8 倍风轮直径的风力发电机前。若按此规定: 对于风机实际的安装由于自然风速和风向的不确定, 尤其是沿海地区、高海拔地区、陡峭山岭地带等: 以及湍流强度、测试点和风机平均时间的延迟等因素的干扰, 极大的可能导致风轮真正接受的数据与测风塔测的数据不同, 从而导致最终绘制功率曲线严重失真。

所以很难用常规方法准确的测绘出功率曲线, 更不能直接将其用来考核其机组的性能。所以对发电机自身绘制的功率曲线进行修正以此来作为评判机组考核的性能是本文所重点讨论的。

2. 本身绘制风力发电机功率曲线的偏差

一般的风速计装在风力发电机的风向水平轴上的机舱尾部。当风机在工作过程中, 计算机对这个风速计及对应输出功率进行动态采样, 功率曲线便可自动的绘制便生成了。但是, 安装在风机上的风速仪测的风是大气流速在风轮上做功降低的风速, 所以必定与用尾流绘制出的功率曲线有较大的差异。根据能量守恒定律, 风通过风轮后风速降低, 损失的动能转换成了风轮的机械能。从而导致自身绘制的功率曲线存在偏差。

3. 功率曲线的修正方法

3.1. 修正风速

风机发电功率是指在单位时间内, 以速度 v 垂直流过风机截面 A 的气流所具有的动能。因为在时间 t 内, 以速度 v 垂直流过截面 A 的气流所具有的动能为:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(\rho Avt)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3t \quad [1]$$

式中:

W ——风能, 单位 J;

ρ ——空气密度, 单位为 kg/m^3 ;

v ——来流速度, 单位为 m/s ;

A ——面积, 单位为 m^2

所以风功率

$$p_w = W/t = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad [1]$$

由上式可知风能与风速的立方成正比例, 因此风速的微小变化将导致功率的大幅波动。如果不进行校正, 就使用发电机风速计测量的实际风速所得到的功率曲线必须远远好于实际的功率曲线。

假设某台额定输出功率 $P_r = 1.5 \text{ KW}$ 。固定螺距水平轴风力发电机, 额定风速 $V_r = 20 \text{ m/s}$ 。前风轮和后风轮风速的变化和能量瞬时转换如图 1 流线图所示前后风轮的风速变化和能量的瞬时转换由流线图如图 1 所示。根据贝茨定律, 其各参数的关系如下:

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2}(1 - \varepsilon^2)(1 + \varepsilon) \quad [2]$$

$$v' = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \quad [2]$$

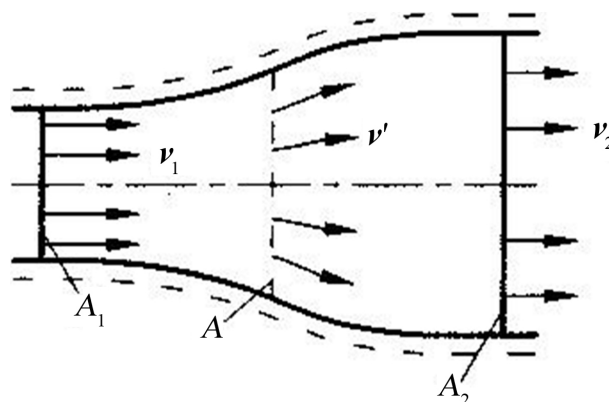
其中: $\varepsilon = \frac{v_2}{v_1}$ [2]

式中: C_p ——反映风力涡轮机从风能中获得的有用能量比例的功率因数;

P ——实测功率;

P_0 ——换算到标准条件下的功率。

风力发电机的风速与功率因数 C_p 的关系如图 2 所示。从图 2 和等式(1)和(2), 可以计算出对应于每个风速 v_1 的 v_2 和 v' 的值。并绘制出它们的关系曲线(如图 3 所示)。



v_1 : 风轮前远方风速; v_2 : 风轮后远方风速; v' : 气流通过风轮时的风速; A : 风轮扫风面积; A_1 : 风轮前扫风面积; A_2 : 风轮后扫风面积

Figure 1. Schematic diagram of airflow in a wind turbine [2]

图 1. 风力发电机中气流的示意图[2]

该风机的风速计距离风轮后面约 10 米机舱上。因为空气在气流中低速时认为其为不可压缩的物质。根据能量守恒定律, 进叶轮的气流量等于出叶轮的气流量, 而气流流经风轮速度减小、通流面积增大。因此可得, 风速计所测得风 V_m 不是风速, 那数值必是 v' 和 v_2 之间的。使用 v_1 和 v_m 之间的对应关系, 很容易从风力发电机的计算机本身绘制的功率曲线中获得校正的实际功率曲线(如图 4 所示)。

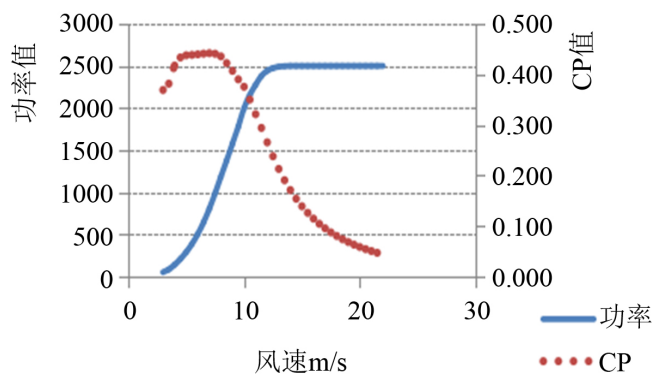


Figure 2. Relationship between wind speed and power factor CP

图 2. 风速与功率因数 CP 的关系

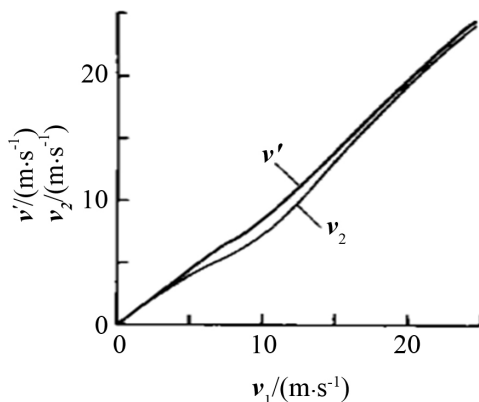


Figure 3. Relationship between front and rear wind turbine speed [3]

图 3. 前后风轮风速的关系[3]

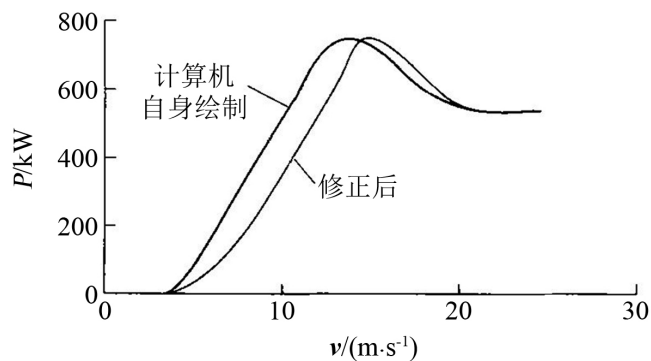


Figure 4. Relationship between 1.5 KW horizontal axis wind turbine parameters [3]

图 4. 1.5 KW 水平轴风力发电机参数之间的关系[3]

3.2. 修正空气密度

由于实际空气密度一般会低于标准的空气密度, 使风力机实际输出功率曲线在额定风速下不能达到额定功率: 如果风速继续增大, 通过风力机的控制和调节, 可使风力机在原始额定风速之后的某一风速值达到额定功率, 并经过控制使其保持额定功率。

标准功率曲线是在 ISO 标准空气密度 1.225 kg/m^3 的条件下得到的, 大气压强和环境温度的改变都会导致空气密度发生变化, 因此在进行发电量评估时需要考虑空气密度变化带来的影响, 图 5 是对风力发电机组的功率曲线在不同空气密度下进行的仿真结果对比。由功率曲线图也可以看出, 当空气密度下降时, 将会导致风力发电机组的切入速度增加, 要相应调整机组的控制策。

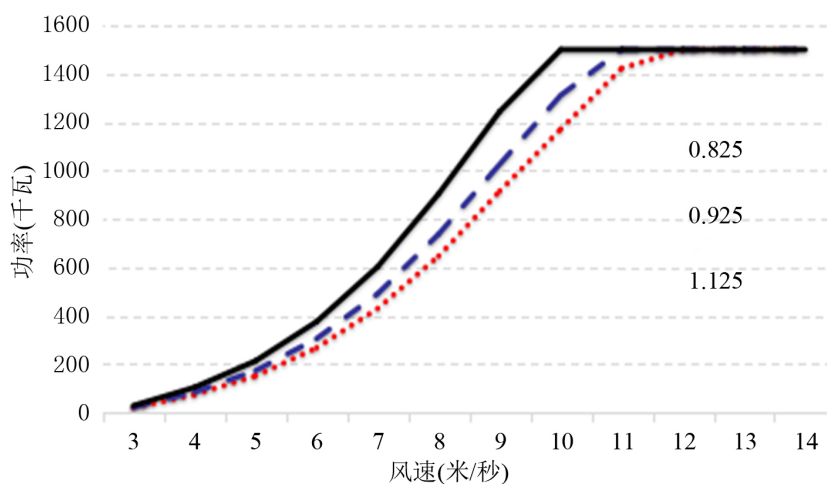


Figure 5. Comparison of wind turbine power curves at different air densities
图 5. 风力发电机组功率曲线在不同空气密度下的对比

现场空气密度与风力发电机的输出功率成正比, 当计算和测量现场的空气密度时, 必须安装温度传感器和记录大气压力。并且连续记录大气压力和温度 20 min 均值。可以根据大气压力和与大气温度相关的空气密度来校正每个功率的平均值, 即为了比较, 计算机绘制的功率曲线折算成标准空气密度下的功率曲线。

标准空气密度 $\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$ 。

温度 $T_0 = 288.15 \text{ K}$

压力 $p_0 = 101.33 \text{ kpa}$ 将测量点的空气密度 ρ 按以下公式计算换为功率 P_0 。

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \times \frac{P}{P_0} \quad [4]$$

$$P_0 = \frac{\rho_0}{\rho} P \quad [4]$$

式中: T ——现场测得的大气温度;

P ——在现场轮毂高度处测量的大气压力功率曲线经过第二次修正, 其精确度和可比性大大提高。

4. 对比验证

随机选取一台风机将最初原始的功率曲线及经过上述两种方法修正后得到的, 与合同里标准空气下的功率曲线进行对比如图 6 所示。

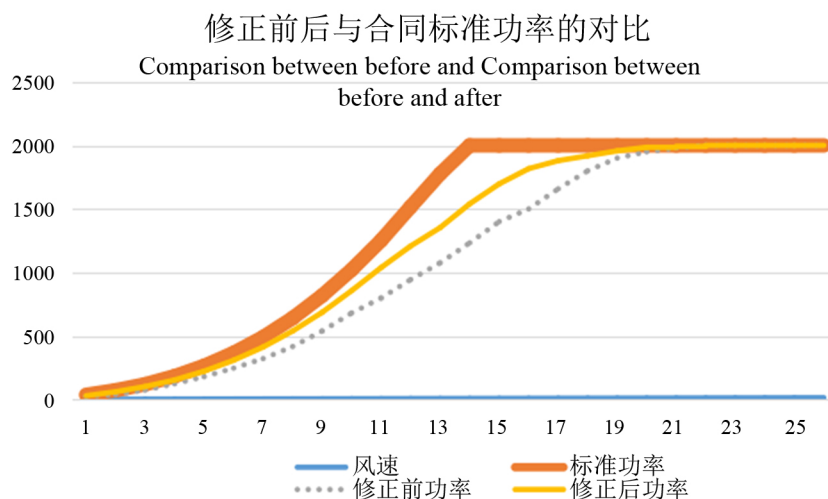


Figure 6. Comparison of standard power with correction by two methods
图 6. 经两种方法修正后与标准功率的对比图

通过上图 6 得知, 未经任何修正的原始功率曲线明显比合同标准下的功率曲线差很多。可能的因素就是风切角度的不同、风速的偏差。风速计测得的风速如果不是风速, 那数值必然是气流通过风轮时的风速和风轮后远方的风速。利用气流通过风轮时的风速和风轮后远方的风速二者的对应关系, 进行修正就能将计算机本身绘制出的功率曲线校正离实际很近的功率曲线。

另外一个重要的影响因素就是空气密度。空气密度随着季节的波动比较大, 冬天空气密度比夏天大, 同样的晚上的空气密度大于白天的。因此针对受温度变化影响极大的功率曲线, 采用第二种方法将现场空气密度折算标准情况下的, 减少误差从而更加的逼近合同里标准的功率曲线。

再者, 影响功率曲线的因素还有很多, 比如湍流强度、风向标松动、风速仪损坏、风向标风速仪测风不准、机组偏航偏差导致机组对风出现较大偏差、风速仪信号回路上的信号防雷模块、叶片对零角度出现较大偏差等都会造成机组功率曲线不良。当然这些都是在平时排查过程中很容易发现到的, 只有首先做到第一对风速的修正, 第二通过理论计算将现场空气密度折合成标准空气密度下才能保证实际值最接近理论值, 才能排除容易忽略的又费时费力甚至查不出来的原因, 乃至给现场造成被迫的停机或延期交接给公司带来巨大的而不必要的经济损失。

5. 结束语

本文通过利用空气流体力学修正风机自身绘制曲线的偏差, 再通过公式理论计算将现场得到空气密度折算成标准空气密度下的。现场性能考核上, 即用该曲线与合同规定的标准功率曲线比精确度和可比性进一步提高!

经过两次修正得到更精确的曲线来评估考核风机发电量。但是建议在建立风机选址时还是要首先考虑地形、台风等天气因素的影响, 只有这样综合考虑多方面因素才能高效的利用风能提高发电量!

参考文献

- [1] 王承煦, 张源. 风力发电[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [2] 谢建民, 邱毓昌, 张治源. 风力发电机优化选型与云南省风力发电厂规划研究[J]. 电力建设, 2001, 22(5): 27-31.
- [3] 王珊珊. 风力发电技术现状及发展趋势[J]. 电子技术与软件工程, 2017(4): 238.
- [4] Jangamshetti, S.H. and Rau, V.G. (1999) Site Matching of Wind Turbine Generators: A Case Study. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **14**, 1537-1543. <https://doi.org/10.1109/60.815102>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2325-1565，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：tdet@hanspub.org