

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.05.016

基于机舱传递函数的风电机组传动链效率测试与研究*

余清清, 叶浩, 方郁锋, 潘特, 孙栋健, 任静

(浙江运达风电股份有限公司 风力发电系统国家重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 针对国内风力发电机组传统传动链效率测试方法存在成本过高、难度较大的问题, 对机舱传递函数(NTF)分区间式的最优拟合进行了分析与研究。对机舱传递函数有效性的检查流程进行了阐述, 提出了一种相对可靠且便捷的风电机组传动链效率测试方法, 利用机舱传递函数对机舱风速进行了校正, 对某平坦地形风电场内的某台2.0 MW风电机组进行了传动链效率测试, 将实测结果与利用传统测风方法的实测结果进行了比对分析。研究表明: 两种测试方法的测试结果基本一致, 因此利用分区间式的机舱传递函数的测试方法可以准确测得风电机组传动链效率, 大大降低了测试成本及实施难度。

关键词: 机舱传递函数; 风电机组; 传动链效率; 测试

中图分类号: TM614

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2018)05-0529-05

Measure and research on the efficiency of wind turbine drive chain based on nacelle transfer function

YU Qing-qing, YE Hao, FANG Yu-feng, PAN Te, SUN Dong-jian, REN Jing

(State Key Laboratory of Wind Power System, Zhejiang Windey Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: Aiming at the problems of high cost and difficulty in the traditional measure method on drive chain efficiency of domestic wind turbine, the optimal fitting of nacelle transfer function (NTF) based on divided-interval was researched and effectiveness of NTF was discussed. In addition, a new method to measure the drive chain efficiency more reliable and convenient was proposed. By using this method a test was taken on a 2.0 MW wind turbine in a flat terrain and wind farm to measure its drive chain efficiency. The experimental data was verified by the results by traditional method. The results indicate that they were coincided well, therefore by this method nacelle drive chain efficiency can be measured accurately and greatly reduces the measurement costs and implementation difficulty.

Key words: nacelle transfer function(NTF); wind turbine; drive chain efficiency; measure

0 引言

由于国内风电场环境恶劣, 机组在不同环境下的传动链损耗存在差异, 且现阶段开发的风资源基本以低风速为主, 传动链效率高对机组性能影响尤为明显, 甚至对整个风电场的年发电量有着较大影响。

目前, 国内各家风电制造商普遍用传动链效率的

理论计算值来进行机组建模及控制策略开发, 使得机组在实际运行的性能与理论设计之间存在着明显的差异, 尤其是机组服役多年后, 传动链的效率已明显发生了变化, 那么能测得机组实际传动链效率就显得尤为重要^[1]。

目前, 国内外针对风电机组传动链效率的测试有以下两种方法较为常见: (1) 在理想工况下测得传

收稿日期: 2017-10-31

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAA06B01)

作者简介: 余清清(1986-), 男, 浙江上虞人, 工程师, 主要从事风电机组的整机测试、整机性能方面的分析与研究。E-mail: yuqq@chinawindey.com

动链中单个部件的效率后进行累加计算,该方法的缺点是和实际工况不符,测试结果的准确度可靠性欠佳,且对服役多年后的机组无法进行测试评估;(2)在风电场利用测风塔等传统测试设备进行实测统计,该方法虽然弥补了前者的缺点,但是存在着测试成本高、测试周期长、维护不便等缺点,无法得到广泛应用^[2-3]。

因此,本文介绍一种基于机舱传递函数(NTF)的风电机组传动链效率测试方法,利用机舱风速计测得的风速,通过机舱传递函数关系修正为叶轮前方真实的自由来流风速。

1 传动链效率理论及测试装置介绍

风力发电机组传动链是风能转化为电能的媒介,双馈式机组传动链包含了风轮、低速轴、变速箱、高速联轴器及发电机的整个能量转化的硬件部分,风电机组能量转换和传输主要包括风能捕获,能量传递和机电能量转换,是将风能转化为机械能,再将机械能转化为电能的过程,整个过程存在着能量损失,从而决定着机组传动的效率优劣。

风力发电机组能量转换和传输如图 1 所示。

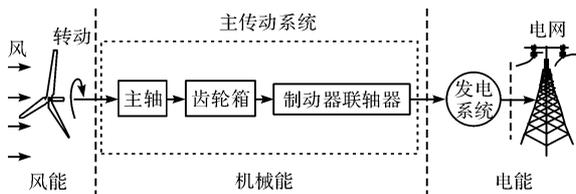


图 1 风力发电机组能量转换和传输

风力发电机组所捕获的是风的动能,其大小可以由风功率 P_w 来表示。风功率是指单位时间 t 内,以速度 v 垂直流过截面 A 的气流所具有的动能。

风功率 P_w 表达式为:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

式中: ρ —空气密度; v —来流速度; A —机组的扫风面积。

风电机组利用风轮将风的动能转换成风轮旋转的动能,从而把风轮输出功率传递给主传动系统,完成风能到机械能的转换,风轮的输出功率即为主传动系统输入功率,则主传动系统输入功率为:

$$P_m = M_m \Omega_m = P_w \eta_1 \quad (2)$$

式中: P_m —主传动系统的输入功率; M_m —主传动系统的输入转矩; Ω_m —主传动系统的角速度; η_1 —风轮利

用率。

主传动系统将能量传递给发电系统,发电系统把机械能转换为电能。发电系统的输出功率为:

$$P_e = \sqrt{3} UI \cos\varphi = P_m \eta_2 \quad (3)$$

式中: P_e —风电机组输出功率(该功率为除去机组自损耗后的净功率); U —风电机组网侧线电压; I —风电机组网侧线电流; $\cos\varphi$ —功率因数; η_2 —传动系统效率。

从式(1 ~ 3)可以看出:传动链效率可拆分为风轮利用率和传动系统效率。要想测得传动链效率必须得到空气密度、风速、扫风面积、主传动系统角速度、主传动系统输入转矩以及机组输出功率等数据^[4-5]。

风力发电机组传动链效率测试装置主要由测风数据采集单元、功率数据采集单元、载荷数据采集单元、主采集单元四部分构成。传统测试方法采集测风数据的设备主要由测风塔以及风速风向仪等测风设备组成,用于采集风速、风向、气压和气温等气象数据,而本文介绍的测试方法是用机舱风速计来替代传统的测风装置,利用机舱传递函数准确获取来流速度;功率数据采集单元主要设备是功率变送器、电流互感器,用于采集电压、电流及电功率等数据;载荷数据采集单元主要设备是应变片、应变采集模块,用于采集传动链转矩等信号;主采集单元主要设备是主采集模块、工控机、无线远程模块,用于采集试验机组状态信号,同时汇集其他采集单元的数据,并能进行远程监控及数据传输,各采集模块以 CAN 总线通讯方式同步采集分布在机组各测点的信号^[6-7]。

传动链效率测试装置拓扑结构如图 2 所示。

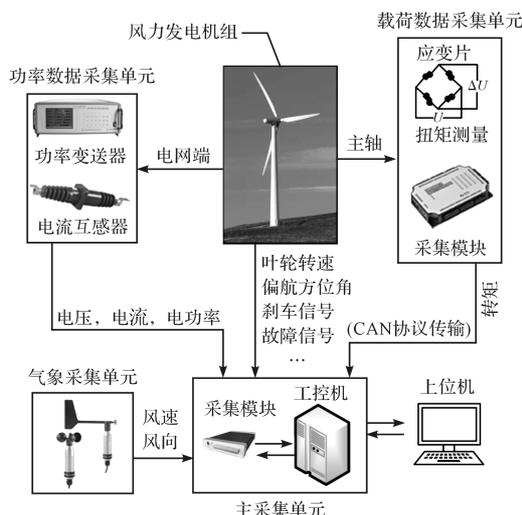


图 2 传动链效率测试装置拓扑结构

2 机舱传递函数分析

2.1 机舱传递函数的建立

由于机舱风速计安装位置在机舱顶部风轮后方,易受风轮和机舱影响,气流会发生畸变。实际上,机舱风速与测风塔风速呈现一定的函数关系,将机舱风速利用函数关系校正为轮毂高度叶轮前方自由流风速,一般将该函数称为机舱传递函数。

参考 IEC61400-12-2 标准中的 Bin 方法,笔者将测风塔风速和机舱风速以 0.5 m/s 风速分区间,利用下列公式分别计算出每个 Bin 区间的机舱风速均值和测风塔风速均值:

$$V_{nacelle,i} = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{nacelle,i,j} \quad (4)$$

$$V_{free,i} = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{free,i,j} \quad (5)$$

式中: $V_{nacelle,i}$ —在区间 i 的机舱风速平均值; $V_{free,i}$ —在区间 i 的测风塔风速平均值; $V_{nacelle,i,j}$ —在区间 i 中的第 j 个的机舱风速; $V_{free,i,j}$ —在区间 i 中的第 j 个的测风塔风速; N_i —在区间 i 的测试数据的数量。

利用下列公式得到区间 i 的函数关系式的斜率 s_i 和 o_i :

$$s_i = \frac{V_{free,i+1} - V_{free,i}}{V_{nacelle,i+1} - V_{nacelle,i}} \quad (6)$$

$$o_i = V_{free,i} - s_i V_{nacelle,i} \quad (7)$$

最终可得机舱自由流风速:

$$V_{free} = V_{nacelle} s_i - o_i \quad (8)$$

式中: V_{free} —利用实测机舱风速和测风塔风速估算并针对地形引起的气流畸变修正后的自由流风速; $V_{nacelle}$ ——机舱风速计实测值。

机舱传递函数定义为每个区间内的机舱风速 $V_{nacelle}$ 作为 V_{free} 的函数,从而实现二者之间最优拟合关系,只在最小风速区间至最大风速区间内有效,不允许 NTF 外推。

在实际应用中,如果机舱风速传递函数尚未得到,那么就应先测量机舱风速传递函数,如已测得传递函数,则需要验证该传递函数的有效性^[8]。

2.2 机舱传递函数有效性检查

机舱传递函数的应用需满足一定条件,也就是在应用前需对测试机组及场地进行评估,对 NTF 进行有效性检查,机舱传递函数有效性检查流程如图 3 所示

(其中风电机组 A 获得了机舱传递函数,风电机组 B 是测试机组)。

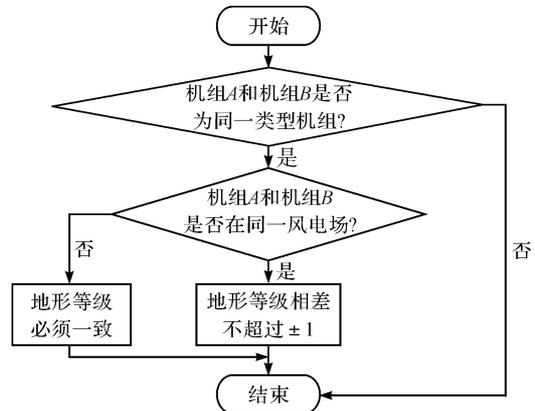


图 3 机舱传递函数有效性检查流程

2.3 机舱传递函数的应用

本研究在确定机舱传递函数有效性通过以后,对被试机组进行现场实测。首先将实测机舱风速根据上述介绍的 NTF 修正为 V_{free} ,由于现场环境时刻变化,需要对修正后 10 min 平均风速进行标准化处理,利用下列公式得到标准空气密度下的机舱风速:

$$V_n = V_{10min} \left(\frac{\rho_{10min}}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

式中: V_n —标准化的机舱风速; V_{10min} —根据 NTF 修正后的 10 min 平均机舱风速; ρ_{10min} —10 min 内平均空气密度; ρ_0 —标准空气密度。

本研究对标准化的数据用分区间式处理,即标准化后的数据以 0.5 m/s 分区,利用公式(1~3)计算得到各风速区间内的风轮利用率、传动系统效率,最终得到标准空气密度下的测试曲线。由于经过标准化处理,测试曲线不仅可以在同一风场不同机组或者不同风场不同机组进行横向比较,也可对服役多年后的同一机组进行纵向比较。

3 测试结果比对与分析

依据上述理论分析,基于机舱传递函数有效性,笔者选择浙江某风场某台 2.0 MW 风力发电机组开展现场传动链效率测试,该类型机组已获得机舱传递函数,且地形符合机舱传递函数的应用要求,可通过有效性检查。同时,利用测风塔的测试设备在同一时间对该机组进行传动链效率测试,将两者的测试结果进行比对。

被试机组主要参数如表 1 所示。

表 1 被试机组的主要参数

额定功率/kW	额定风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	切入风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	切出风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	轮毂中心距地面高度/m	风轮直径/m	扫掠面积/ m^2
2 000	9.2	2.5	20	90	115	10 405

本研究依据 IEC61400-12-1 规定的扇区计算方法,确定被试机组有效扇区,根据扇区及标准要求筛选数据^[9]。气象数据、机组状态信号采样率至少 1 Hz,功率数据、载荷数据采样率至少为 50 Hz,在进行数据分析时需将所有数据以相同采样率处理。笔者利用已知机舱传递函数,将机舱风速折算为机舱自由流风速。

由计算可知被试机组利用机舱传递函数的方法实测数据。实测风轮利用率散点如图 4 所示。

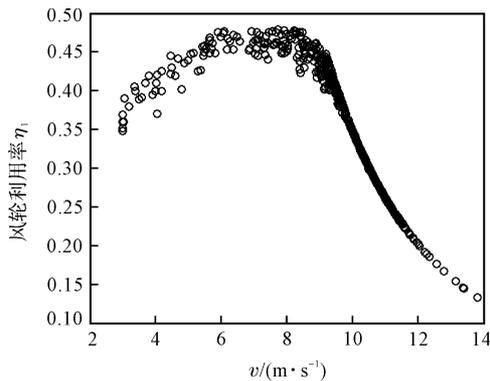


图 4 实测风轮利用率散点图

实测传动系统效率散点如图 5 所示。

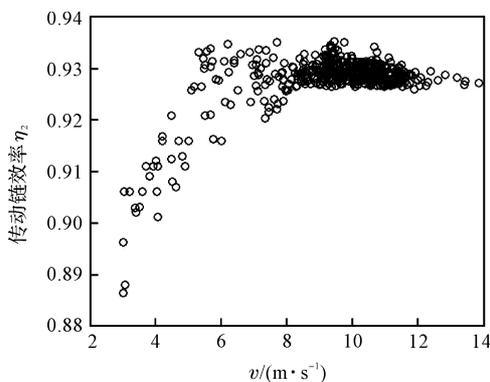


图 5 实测传动系统效率散点图

本研究将利用机舱传递函数的实测风轮利用率平均值和利用测风塔测量的实测风轮利用率平均值进行对比,风轮利用率对比如图 6 所示。

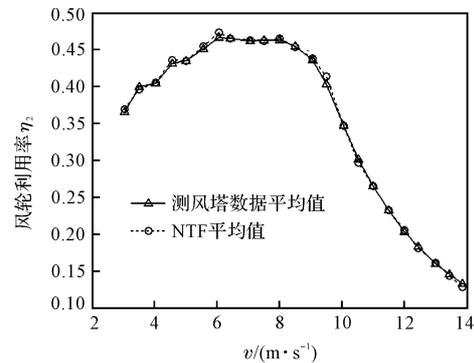


图 6 风轮利用率对比图

本研究将利用机舱传递函数的实测传动系统效率平均值和利用测风塔测量的实测传动系统效率平均值进行对比,传动系统效率对比如图 7 所示。

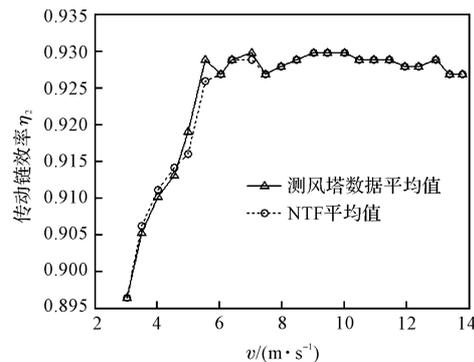


图 7 传动系统效率对比图

从图(6,7)可知:

- (1) 利用分区间式机舱传递函数测得的传动链效率的结果和利用测风塔测得的结果基本一致;
- (2) 利用分区间式机舱传递函数进行风电机组传动链效率测试可以应用实际。

(下转第 539 页)

本文引用格式:

余清清,叶 浩,方郁锋,等.基于机舱传递函数的风电机组传动链效率测试与研究[J].机电工程,2018,35(5):529-532,539.

YU Qing-qing, YE Hao, FANG Yu-feng, et al. Measure and research on the efficiency of wind turbine drive chain based on nacelle transfer function[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018, 35(5): 529-532, 539.