

Consistency Analysis of Wind Turbine Power Curve

Zhengwei Guo Xiuzhong Gong Runchao Chen Junyi Zhou

Shandong Branch of Huadian Electric Power Research Institute Corporation, Jinan, Shandong, 250003, China

Abstract

According to the historical operation data of SCADA of 12 fans of a wind farm in 2022, the information operation data of the fan is mined and processed, the guaranteed power generation of the fan under the theoretical power curve and the converted power generation under the actual power curve are calculated, and the guaranteed value of each fan is calculated. According to the principle of the fan selection, the topographic map, the requirements of the adjacent fan and obstacles, a test fan is selected for the power curve verification, and the power curve consistency of the fan is analyzed according to the relevant standards.

Keywords

wind motor; data processing; guarantee power curve; consistency analysis

风电机组功率曲线一致性分析

郭政委 巩秀中 陈润超 周峻毅

华电电力科学研究院有限公司山东分院, 中国·山东 济南 250003

摘要

根据某风电场12台风机2022年SCADA历史运行数据,对风机运行数据进行信息挖掘和处理,计算风机在理论功率曲线下的保证发电量和在实际功率曲线下的折算发电量,并计算各风机保证值。根据风机选取原则、地形图、邻近风机及障碍物的要求选择一台测试风机进行功率曲线验证,根据相关标准,对风机功率曲线一致性进行分析。

关键词

风电机; 数据处理; 保证功率曲线; 一致性分析

1 功率曲线一致性分析

1.1 分析结果

1.1.1 功率曲线对比

根据提供的 SCADA 运行数据,参考相关标准,剔除异常数据后,分析处理得到 12 台风机功率曲线分布,部分曲线见图 1。

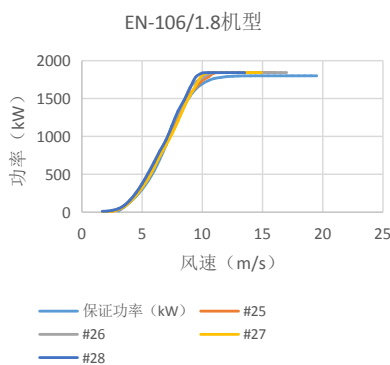


图 1 EN106-1.8 风机功率曲线分布

由图 1 分析可知, EN-106/1.8 机型风机在全风速段实际功率高于保证功率。

1.1.2 保证值

根据每台风机完整一年风速分布,得到该风机在理论功率曲线下的保证发电量和在实际功率曲线下的折算发电量,并计算各风机保证值,详见表 1。

表 1 EN-106/1.8 机型风机保证值

风机号	AEP (基于实际功率) (万 kWh)	AEP (基于保证功率) (万 kWh)	保证值 K (%)
#25	114.78	103.92	110.45
#26	125.52	103.60	121.16
#27	116.25	109.64	106.03
#28	100.80	82.14	122.71
#29	121.88	101.05	120.62
#31	100.81	81.65	123.46
#32	106.58	106.61	99.98
#34	137.43	121.54	113.07
#42	160.31	137.80	116.34
#44	169.96	158.45	107.26
#47	143.70	144.77	99.26

由表 1 可知全场风机保证值 K 均大于 95%, EN-106/1.8

【作者简介】郭政委 (1996-), 男, 中国山东日照人, 硕士, 工程师, 从事新能源研究。

机型 #26、#28、#29、#31 风机整体 K 值较全场其余风机偏高。

1.1.3 Cp 值

按照相关标准和风电机组技术参数，计算各风机风能利用系数 Cp 与风速的曲线^[1-3]见图 2。

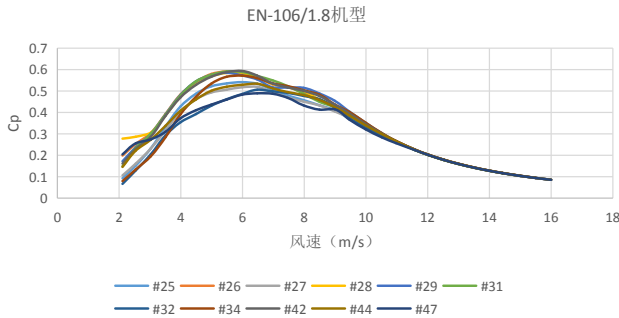


图 2 EN-106/1.8 机型风机风能利用系数 Cp

通过对图 2 进行分析，发现 EN-106/1.8 机型 #26、#28、#29、#31、#34、#42 风机风能利用系数 Cp 较全场其余风机偏高。

1.2 偏航性能分析

以风向与机舱位置的夹角—错风角为评估机组偏航性能的指标^[4,5]。通过对错风角—功率图的对比分析，可以对全场风电机组偏航性能评估。将各风机正常并网状态下进行错风角分区间，为 $-18^\circ \sim -14^\circ$ 、 $-14^\circ \sim -10^\circ$ 、 $-10^\circ \sim -6^\circ$ 、 $-6^\circ \sim -2^\circ$ 、 $-2^\circ \sim 2^\circ$ 、 $2^\circ \sim 6^\circ$ 、 $6^\circ \sim 10^\circ$ 、 $10^\circ \sim 14^\circ$ 、 $14^\circ \sim 18^\circ$ ，求取各错风角区间的功率平均值，其中错风角为 0° 表示正对风，此时功率平均值高于其他错风角区间功率平均值，表示风机地对风效果好。通过对 2022 年全年历史数据进行处理得到图 3。

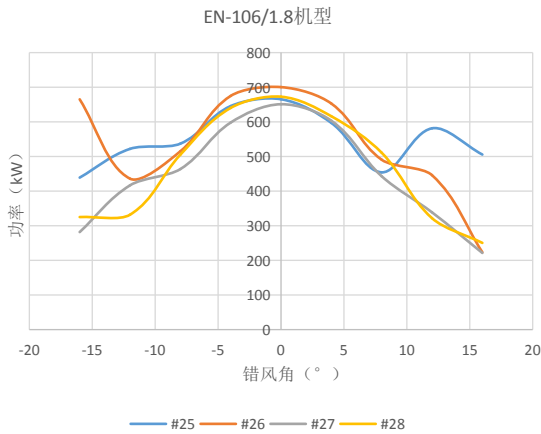


图 3 EN106-1.8 风机错风角—功率曲线图

对图 3 进行进一步分析，全场 24 台风机功率平均值最高点均在 $-2^\circ \sim 2^\circ$ 区间，无明显偏航对风误差问题。

2 功率曲线验证

2.1 测试风机选取

参考相关标准，测试风机选取原则如下：

- ①在风场边缘位于主风向上风向位置；
- ②目标风机在测试期间故障率较低；
- ③叶片不应有砂眼等缺陷；
- ④风机其他部件完好，运行稳定可靠；
- ⑤主风向上风向无明显障碍物。

根据风机选取原则、地形图、邻近风机及障碍物的要求经过现场实地踏勘，确定 #45 风机作为测试风机。测试雷达安装于 #45 风机 243° （正北为 0° ）方向，距离风机 236.2m（2.15D），雷达海拔低于风机海拔 25m。

风机轮毂高度为 80m。对 #45 激光雷达测风仪设置测试高度为：40m、50m、60m、70m、75m、80m、85m、90m、100m、105m、110m、140m，其中 105m 代表的是风机轮毂高度处的风速。

2.2 测试数据

2.2.1 数据采集

风速数据采集于激光雷达测风仪，功率数据采用功率采集器，#45 风机风速采集时间为 2023 年 3 月 8 日至 2023 年 4 月 20 日。将收集到的激光雷达测风仪原始数据进行整理分析。

2.2.2 风速

测试期间各高度平均风速情况见表 2。

测试期间 #45 激光雷达测风仪 40~140m 各高度平均风速为 5.58~7.48m/s。

3 风电机组功率曲线分析

3.1 数据标准化

根据厂家提供的当地空气密度下保证功率曲线，按照相关标准对采集的风速数据进行标准化处理，由激光雷达测风仪所测得的大气压强、温度与湿度数据计算得到测试期间实际空气密度，空气密度计算方法依据 GB/T 18451.2—2021《风力发电机组功率特性测试》标准执行^[6]。

经过标准化处理，激光雷达测风仪相应高度处推算至测试风机轮毂高度处风速变化前后结果为，在 105m 高度处，平均风速为 6.92m/s，标准化后平均风速为 6.80m/s。

3.2 功率曲线验证

利用激光雷达测风仪所测风速，并进行标准化处理，同时按照标准要求，剔除测风仪异常情况、停机、故障时间段内及测量扇区之外等的的数据，并结合同时段功率采集器功率数据，处理后的数据散点图见图 4。

表 2 #45 风机激光雷达测风仪主要测风数据表

高度 (m)	40	50	60	70	75	80	85	90	100	105	110	140
风速 (m/s)	5.58	5.95	6.25	6.46	6.54	6.61	6.68	6.74	6.86	6.92	6.99	7.48

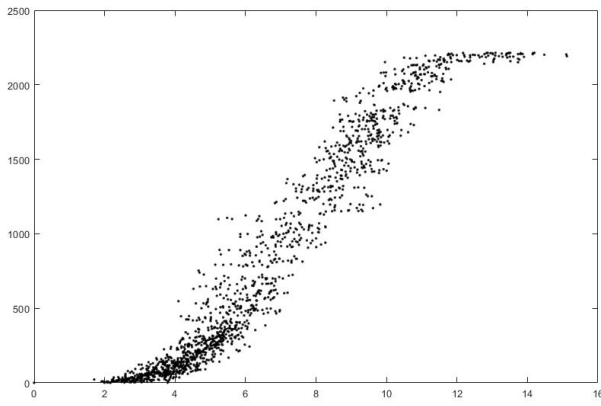


图4 #45 风机轮毂高度实测风速及功率散点图

数据标准化后,将所选数据组采用区间法存储,分别计算各区间平均风速和平均功率。

利用标准化后的数据绘制成基于测试风机轮毂高度风速的功率曲线图,见图5。

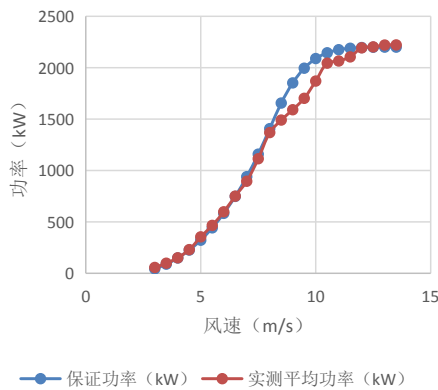


图5 基于测试风机轮毂高度处风速功率曲线

图5主要分析结果为:#45 风机在8~12m/s 风速段实测功率曲线低于保证功率曲线。

进一步地参考 GB/T 18451.2—2021《风力发电机组功率特性测试》中年发电量(AEP)的计算方法,通过参考各风速段实测功率及机组保证功率对功率曲线一致性进行计算分析^[7]。

AEP 测量值从测量功率曲线得到,认为所有测量功率

曲线范围之外的风速对应的功率均为零。当年平均风速为6.4m/s 时,功率曲线对应 AEP 测量值见表3,风频分布参考瑞利分布。

表3 #45 风机功率曲线 AEP 测量值

年均风速 (m/s)	基于实际功率曲线发电量 (kWh)	基于保证功率曲线发电量 (kWh)	占保证功率曲线发电量比例 (%)
6.4	6750044.0	7084171.2	95.3

表3主要分析结果为:#45 风机在年平均风速为6.4m/s 时,基于实测功率曲线计算的年发电量保证值满足大于95% 的要求。

4 验证结果

通过风速标准化等数据处理分析,#45 风机在8~12m/s 风速段实测功率曲线低于保证功率曲线。#45 风机在年平均风速为6.4m/s 时,基于实测功率曲线计算的年发电量保证值满足大于95% 的要求。以下因素可能对测试结果造成偏差:

①根据瑞利分布计算的风频分布,与实际风频分布存在区别。

②测试时间较短,各风速段实测数据较少。

参考文献

- [1] 潘学萍,郭金鹏,孙晓荣,等.双馈风电场频率响应特性的频域等值建模方法[J].电网技术,2024(6).
- [2] 郭骅祥,李杰.风力发电机组发电性能验证系统构架及实现[J].工业控制计算机,2024,37(6).
- [3] 王森,刘晓楠,徐科,等.改善频率二次跌落的风储协调控制策略[J].现代电力,2024(07).
- [4] 刘保松,张伟,张乐平,等.风电机组能效分析及优化研究[J].科技创新与应用,2022,12(21).
- [5] 杨超,王志,叶小广,等.基于SCADA数据的风电机组技术改造后评估方法研究[J].华电技术,2017,39(1).
- [6] 鹿浩,焦姣.风电场的选址与风能资源评估及其后评价[J].太阳能,2023(12).
- [7] 李文明,滩振国,邓睿,等.基于激光雷达实测数据的风电机组功率曲线测试应用与实例分析[J].微电机,2024,57(5).