

基于激光雷达测风仪的风机功率曲线对比研究及应用

雷阳¹, 马东¹, 杜成荣²

(1. 华电电力科学研究院, 杭州 310030; 2. 浙江运达风电股份有限公司, 杭州 310026)

摘要:通过激光雷达测风仪精准、快速地测得不同型号风机的功率曲线,对功率进行标幺化处理并参考 IEC 61400-12-1—2015 标准进行功率曲线对比分析,从而确定较优机型,为风机性能评估和风电场机组选型提供参考。

关键词:激光雷达测风仪;风机;功率曲线;标幺化

中图分类号:TM 315 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2016)12-0070-03

0 引言

风电是目前新能源开发中技术最成熟、最具有规模化发展前景的发电方式之一^[1]。功率曲线可多方面反映机组的特性,功率曲线测试是目前风电场运营商最为关注的一项环节^[2]。

随着世界各国风机装机容量的迅速增大,主流风机的单机容量越来越大,如何更合理地进行风机选型成为目前国内外研究人员日益重视的问题^[3]。由于不同型号风机的额定功率不尽相同,准确、公平地进行对比分析显得尤为重要。

参考 IEC 61400-12-1—2015^[4] 标准,利用地面式激光雷达测风仪对不同型号风机进行功率曲线测试,采用标幺化方法对功率进行处理,对比分析不同型号的风机功率曲线,从而确定最优机型,为风电场机组优化选型提供强有力的数据支撑。

1 不同型号风机功率曲线对比分析

1.1 基于 IEC 标准的功率曲线测试

IEC 61400-12-1—2015^[4] 标准规定了风机功率曲线的测试方法,基本流程包括:(1)前期准备和测风塔位置的选择;(2)测量扇区的排除和测试场地的评估;(3)数据收集、筛选和修正;(4)数据标准化处理后得到功率曲线;(5)年发电量(AEP)估算。IEC 是利用测风塔对风机进行功率曲线测试的,但受各种因素的影响测风塔无法应用于现场,本文利用激光雷达测风仪代替测风塔,参考 IEC 61400-12-1—2015 标准进行功率曲线测试,具有效率高、精度高、成本低等特点^[1,5]。

1.2 激光雷达测风仪

激光雷达测风仪利用光的多普勒频移原理,通过测量光波反射在空气中遇到随着风运动的气溶胶粒子所产生的频率变化得到风速、风向的信息,从而计算出相应高度的矢量风速和风向数据,具有测试精度高、测量范围广、可快速精准地进行功率曲线测试等优点。本文测试采用的地面式激光雷达测风仪,其主要参数见表 1。

表 1 激光雷达测风仪主要参数^[6]

| 参数 | 数值 |
|---------------------------|--------|
| 测量范围/m | 10~300 |
| 风速范围/(m·s ⁻¹) | 0~70 |
| 风速精度/(m·s ⁻¹) | <0.1 |
| 风向精度/(°) | <0.5 |
| 采样率/(次·s ⁻¹) | 50 |
| 温度测量精度/°C | ±0.5 |
| 大气压力测量范围/kPa | 60~110 |
| 气压测量精度/% | ±1 |
| 相对湿度测量范围/% | 0~100 |
| 湿度测量精度/% | ±2 |

1.3 功率曲线的标幺化处理

标幺值是电力系统中常用的数值标记方法,表示各物理量和参数的相对值,最大优点是易于对结果进行分析比较。由于不同型号风机的功率不尽相同,故较难进行对比分析;若将不同型号风机的功率进行标幺化处理,可非常直观地进行功率曲线对比分析。标幺值的计算公式如下

$$S^* = S/S_b, \quad (1)$$

式中: S 为实际值; S_b 为基准值; S^* 为标幺值。

1.4 激光雷达测风仪应用于不同型号风机功率曲线的测试

测试风电场位于安徽省无为县,该风电场分为 2 期工程,共有 2 种不同型号的风机。因二期扩容

工程的工作需要,需对一、二期风机进行功率曲线对比,为新建设的风电工程风机选型提供数据支撑。一期和二期风机参数见表 2。

表 2 一期、二期风电场风机主要参数

| 参数 | 一期风机 | 二期风机 |
|---|------|------|
| 额定功率/kW | 2000 | 2200 |
| 叶轮直径/m | 111 | 110 |
| 轮毂高度/m | 80 | 80 |
| 切入风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 3 | 3 |
| 切出风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 20 | 20 |

参考 IEC 61400-12-1—2015 标准进行计算并结合现场踏勘,确定一期 #15 风机、二期 #22 风机为测试机组。将一台激光雷达测风仪放置于 #15 风机北 360° , 距离风机 $2D_1$ (222 m , D_1 为 #15 风机叶轮直径) 距离处; 设置测量高度为 #15 风机的轮毂高度。将另一台激光雷达测风仪放置于 #22 风机北 351° , 距离风机 $2D_2$ (220 m , D_2 为 #22 风机叶轮直径) 距离处; 设置测量高度为 #22 风机的轮毂高度。激光雷达测风仪现场布置如图 1 所示。



图 1 激光雷达测风仪现场布置图

本次测试中激光雷达测风仪测试周期为 2015 年 6 月 21 日至 8 月 25 日, 采样率为 10 次/min。

2 试验结果分析

2.1 一期风机实测功率曲线

试验中发现一期、二期风机所测得的湍流强度在时间维度上变化较大, 为更精确地进行对比, 一期和二期风机实测数据所取湍流强度均为 $0.10 \sim 0.12$ 。通过计算, 可得到一期 #15 风机实测功率数据, 见表 3。

2.2 二期风机实测功率曲线

同样按照上述方法得到二期 #22 风机实测功率数据, 见表 4。

表 3 一期 #15 风机实测功率曲线

| 风速区间/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 平均湍流 强度 | 平均风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 平均功 率/kW | 样本 数量 |
|---|------------|---|-------------|----------|
| 2.75 ~ 3.25 | 0.118 | 3.01 | 37.21 | 84 |
| 3.25 ~ 3.75 | 0.117 | 3.52 | 93.24 | 78 |
| 3.75 ~ 4.25 | 0.114 | 4.04 | 147.83 | 71 |
| 4.25 ~ 4.75 | 0.109 | 4.55 | 217.34 | 61 |
| 4.75 ~ 5.25 | 0.113 | 5.02 | 303.25 | 52 |
| 5.25 ~ 5.75 | 0.112 | 5.53 | 410.40 | 45 |
| 5.75 ~ 6.25 | 0.104 | 5.99 | 531.35 | 34 |
| 6.25 ~ 6.75 | 0.111 | 6.50 | 624.86 | 35 |
| 6.75 ~ 7.25 | 0.105 | 7.00 | 730.62 | 34 |
| 7.25 ~ 7.75 | 0.110 | 7.44 | 968.33 | 30 |
| 7.75 ~ 8.25 | 0.109 | 7.97 | 1190.36 | 31 |
| 8.25 ~ 8.75 | 0.108 | 8.50 | 1320.82 | 28 |
| 8.75 ~ 9.25 | 0.106 | 9.01 | 1513.60 | 30 |
| 9.25 ~ 9.75 | 0.109 | 9.48 | 1663.00 | 18 |
| 9.75 ~ 10.25 | 0.103 | 10.00 | 1866.50 | 12 |
| 10.25 ~ 10.75 | 0.108 | 10.51 | 1980.86 | 10 |
| 10.75 ~ 11.25 | 0.104 | 11.01 | 1986.00 | 6 |

注: 平均湍流强度为每个风速段样本的平均值; 平均风速为标准空气密度下的平均风速, 下同。

表 4 二期 #22 风机实测功率曲线

| 风速区间/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 平均湍流 强度 | 平均风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) | 平均功 率/kW | 样本 数量 |
|---|------------|---|-------------|----------|
| 2.75 ~ 3.25 | 0.116 | 3.00 | 45.01 | 93 |
| 3.25 ~ 3.75 | 0.113 | 3.51 | 98.24 | 87 |
| 3.75 ~ 4.25 | 0.115 | 4.03 | 178.21 | 83 |
| 4.25 ~ 4.75 | 0.113 | 4.53 | 245.21 | 77 |
| 4.75 ~ 5.25 | 0.112 | 5.01 | 371.34 | 72 |
| 5.25 ~ 5.75 | 0.108 | 5.59 | 609.83 | 80 |
| 5.75 ~ 6.25 | 0.108 | 6.00 | 693.72 | 82 |
| 6.25 ~ 6.75 | 0.107 | 6.48 | 890.23 | 82 |
| 6.75 ~ 7.25 | 0.111 | 6.98 | 1038.03 | 63 |
| 7.25 ~ 7.75 | 0.119 | 7.48 | 1256.34 | 54 |
| 7.75 ~ 8.25 | 0.113 | 8.01 | 1559.50 | 43 |
| 8.25 ~ 8.75 | 0.115 | 8.49 | 1703.14 | 31 |
| 8.75 ~ 9.25 | 0.107 | 8.88 | 1755.88 | 31 |
| 9.25 ~ 9.75 | 0.110 | 9.45 | 1980.84 | 14 |
| 9.75 ~ 10.25 | 0.110 | 10.03 | 2117.69 | 22 |
| 10.25 ~ 10.75 | 0.106 | 10.54 | 2150.06 | 16 |
| 10.75 ~ 11.25 | 0.109 | 10.99 | 2190.85 | 11 |

2.3 一期和二期风机功率曲线对比

由于一期、二期风机额定功率不同, 本文将一期、二期风机功率曲线中的功率进行标幺化处理, 得

到标么化后的功率值,见表 5。

表 5 #15, #22 风机功率标么值

| 风速区间/ (m · s ⁻¹) | #15 风机 | | #22 风机 | |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| | 风速/ (m · s ⁻¹) | 功率标 么值 | 风速/ (m · s ⁻¹) | 功率标 么值 |
| 2.75 ~ 3.25 | 3.01 | 0.02 | 3.00 | 0.02 |
| 3.25 ~ 3.75 | 3.52 | 0.05 | 3.51 | 0.04 |
| 3.75 ~ 4.25 | 4.04 | 0.07 | 4.03 | 0.08 |
| 4.25 ~ 4.75 | 4.55 | 0.11 | 4.53 | 0.11 |
| 4.75 ~ 5.25 | 5.02 | 0.15 | 5.01 | 0.17 |
| 5.25 ~ 5.75 | 5.53 | 0.21 | 5.59 | 0.28 |
| 5.75 ~ 6.25 | 5.99 | 0.27 | 6.00 | 0.32 |
| 6.25 ~ 6.75 | 6.50 | 0.31 | 6.48 | 0.40 |
| 6.75 ~ 7.25 | 7.00 | 0.37 | 6.98 | 0.47 |
| 7.25 ~ 7.75 | 7.44 | 0.48 | 7.48 | 0.57 |
| 7.75 ~ 8.25 | 7.97 | 0.60 | 8.01 | 0.71 |
| 8.25 ~ 8.75 | 8.50 | 0.66 | 8.49 | 0.77 |
| 8.75 ~ 9.25 | 9.01 | 0.76 | 8.88 | 0.80 |
| 9.25 ~ 9.75 | 9.48 | 0.83 | 9.45 | 0.90 |
| 9.75 ~ 10.25 | 10.00 | 0.93 | 10.03 | 0.96 |
| 10.25 ~ 10.75 | 10.51 | 0.99 | 10.54 | 0.98 |
| 10.75 ~ 11.25 | 11.01 | 0.99 | 10.99 | 0.99 |

将上表绘制成图,如图 2 所示。

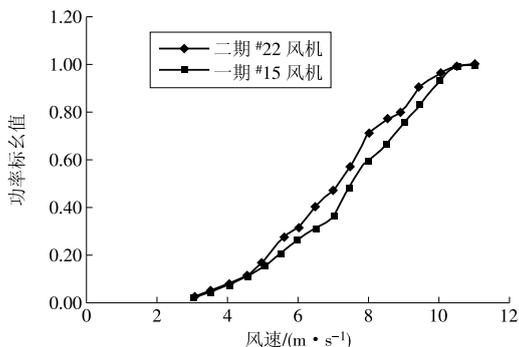


图 2 #15, #22 风机功率标么值对比

由图 2 可知,将功率标么化处理后,二期 #22 风机在 2 ~ 5 m/s 和 10 m/s 以上风速段的功率曲线与一期 #15 风机功率曲线差异较小;5 ~ 10 m/s 风速段

(上接第 61 页)

参考文献:

[1] 火电厂大气污染物排放标准:GB 13223—2011[S].
 [2] 火力发电厂厂用电设计技术规定:DL/T 5153—2014[S].
 [3] 周鹤良. 电气工程师手册[M]. 北京:中国电力出版社, 2008:891—893.
 [4] 谭鹏展. 环保改造中厂用电系统调整方案的确定[J]. 华电技术, 2015, 37(9): 63—64.
 [5] 火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程: DL/T

内,二期 #22 风机功率曲线优于一期 #15 风机。由于本次测试的结果可以直观地进行对比,故不做 AEP 对比,AEP 计算方法可参考 IEC 61400 - 12 - 1—2015 标准。

3 结束语

风机功率曲线测试广泛应用于风机性能评估、质保结束前验收和健康运行中,难点在于如何精准地测量功率曲线并进行不同型号风机功率曲线的对比分析。

采用具有多普勒效应的激光雷达测风仪并参考 IEC 61400 - 12 - 1—2015 标准对风机进行功率曲线测试,将测试所得功率曲线进行功率标么化处理,可非常直观地进行不同型号风机功率曲线对比分析,可为风电场机组优化选型提供数据支撑。

参考文献:

[1] 尹子栋,付德义. 激光雷达测风仪在风电机组功率曲线测试中的应用[J]. 可再生能源, 2013, 31(4): 100—102, 106.
 [2] 张秋生. 风力发电机组功率曲线考核初探[J]. 风力发电, 2004, 20(3): 27—29.
 [3] 易雯岚. 风电机组选型及风电场优化设计研究[D]. 北京:华北电力大学, 2011.
 [4] Wind turbines part 12 - 1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines: IEC 61400 - 12 - 1—2015[S].
 [5] 潘宁. 基于激光雷达测风仪的风电机组功率曲线测试方法研究[J]. 节能技术, 2013, 31(2): 112—115.
 [6] 马东. 激光雷达测风仪在风电机组偏航误差测试中的应用研究[J]. 应用能源技术, 2015(11): 5—7.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

雷阳(1989—),男,江西九江人,工程师,工学硕士,从事新能源检测诊断技术、大数据分析、风资源分析、振动分析与故障诊断技术等方面的研究(E-mail: leiyanngcn@126.com)。

5136—2012[S].

[6] 电力装置的继电保护和自动装置设计规范: GB/T 50062—2008[S].
 [7] 毛锦庆. 电力系统继电保护汇编[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.

(本文责编:刘炳锋)

作者简介:

王东亚(1983—),男,河南商丘人,工程师,从事电厂检修管理工作(E-mail: dongya_2000@163.com)。