

# 基于激光雷达测风仪的风电场风电机组性能评估研究

付立, 刘晓光

(华电电力科学研究院, 杭州 310030)

**摘要:**针对风电机组出质保验收或实际运行中较难准确实现功率曲线考核评估的问题,提出一种利用激光雷达测风仪测风数据并结合风电机组数据采集与监控(SCADA)系统的运行数据,快速实现风电场全场风电机组 SCADA 系统风速校正及功率曲线和运行性能考核评估的方法。利用该方法对某风电场 22 台机组的功率曲线及运行性能进行了评估。结果表明:22 台机组中, #12, #13, #17, #21 机组功率曲线较差,运行性能表现异常,存在一定的性能优化提升空间。此方法评估准确、简单实用,为风电机组性能考核评估提供了参考。

**关键词:**风电机组;风速校正;功率曲线;运行性能;评估

**中图分类号:**TM 614 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2017)06-0014-03

## 0 引言

近年来,伴随着我国风电产业的快速发展,风电机组运行期间产生的种种问题日益浮现,并已严重影响到风场的安全运行及经济效益<sup>[1-2]</sup>。

目前风电机组普遍存在的问题,主要表现在功率曲线达不到投标保证值、偏航变桨性能差、设备故障率较高等方面。其中,体现风电机组输出功率随风速变化的功率曲线,是评估风机性能的一项重要指标<sup>[3]</sup>。功率曲线考核的关键因素之一是风速测量,由于机舱风速仪位于叶轮后方,受风机尾流影响,测得的风速数据不能准确代表风电机组所接受的真实自由流风速,不能够准确反映机组实际功率曲线。通过目前行业内应用较为广泛的激光雷达测风仪,对风场内风电机组机舱风速仪进行校正,结合各风电机组数据采集与监控(SCADA)系统运行数据,能够快速对全场机组实际运行功率曲线进行评估,并通过全场对比,找出功率曲线较差的机组,进一步对运行数据进行分析,评估机组性能,并提出相关优化方案或建议。

## 1 SCADA 系统风速校正

某复杂地形风电场共有 22 台额定功率 1 650 kW,风轮直径  $d$  为 82.4 m 的风电机组,场区盛行风向为 N,S。场区内 #19 机组周围无大型障碍物,机组东 308.9 m(3.7d)、西 250.1 m(3.0d)分别沿着东西向山脊布置有 #20, #18 机组,参考 IEC 61400-

12-1—2005 等相关标准<sup>[4-5]</sup>,结合现场实际情况,确定在 #19 机组东侧约 164 m(2.0d)处一海拔高差、地形相近的点位布置激光雷达测风仪(如图 1 所示),选取激光雷达测风仪测风数据对 #19 机组机舱风速进行校正。



图 1 激光雷达测风仪布置位置示意

根据场区内各个机位坐标及参考 IEC 61400-12-1—2005 等相关标准,可以求得 #19 机组测试干扰扇区分别为(6.9°,90.5°)和(206.6°,323.9°),故在后期数据处理时需要剔除该风向区间的测风数据。

根据同步采集 1 个月的 #19 机组 SCADA 系统风速以及激光雷达测风仪测风数据,剔除失测、无效以及干扰扇区内的数据后,得到激光雷达测风仪轮毂高度处的实测风速与同期机组 SCADA 系统风速的相关性函数

$$y = 0.866x + 0.718, \quad (1)$$

其中: $x$  为 SCADA 系统风速; $y$  为激光雷达测风仪轮毂高度处实测风速。

由于全场风电机组采用的是同一批次风速、风向仪,故在默认均不存在安装误差条件下,可按照上述相关性函数,对全场风电机组 SCADA 系统风速进行校正。

## 2 全场功率曲线评估

根据风场提供的 10 个月的 10 min 级全场 SCADA 系统运行数据等信息,对全场风电机组进行性能分析,其中 SCADA 系统运行数据等信息包括风速、风向、功率、环境温度、故障记录等。在剔除无效数据、机组故障状态等数据后,对所有风电机组 SCADA 系统风速按照上节得到的相关性函数进行校正,之后参考标准将所选数据组采用区间法存储,风速范围划分为测试风机切入风速以下 1 m/s 起,以 0.50 m/s 整数倍的风速为中心、左右各 0.25 m/s 的连续区间,分别计算各区间平均风速和平均功率,由此得到全场风电机组实际运行功率曲线如图 2 所示。

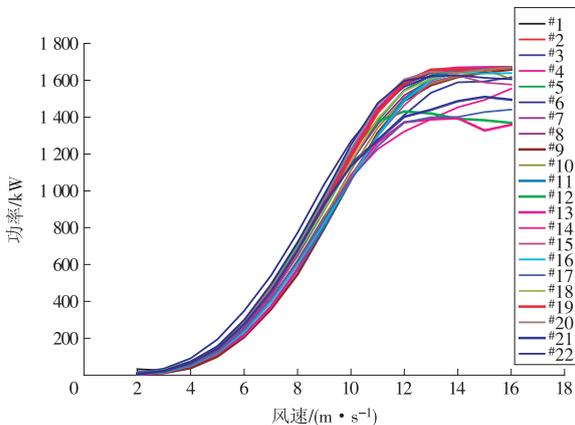


图2 全场风电机组功率曲线

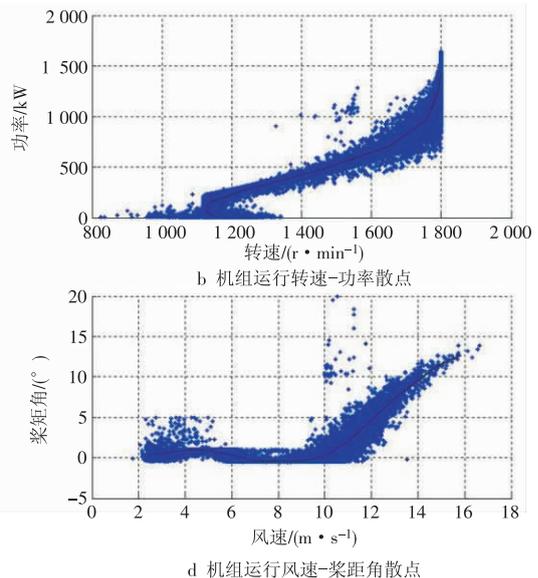
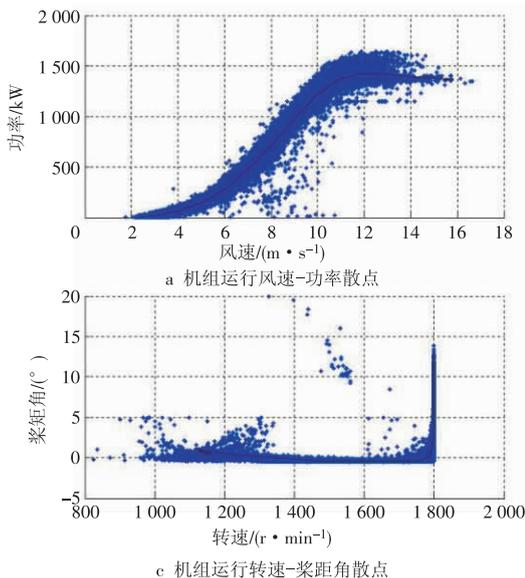


图3 #12 风电机组运行散点

由图 2 可以看出, #6, #19, #22 等机组功率曲线较优, #12, #13, #17, #21 等机组功率曲线较差,主要表现为大风速段对应功率较低。

根据全场功率曲线对比,能够迅速发现分功率曲线表现较差的机组,进而有针对性地深入分析机组性能存在的问题。

## 3 异常机组运行性能评估

针对上文部分功率曲线表现较差的异常风电机组,根据其 SCADA 系统历史运行数据(如图 3 ~ 6 所示),进一步分析评估其运行性能。

### 3.1 #12, #13, #17, #21 机组功率曲线异常

(1) 主要表现。6 m/s 以上风速条件下,机组存在大量小功率的数据及停机现象;部分时段满发功率未达到额定功率。

(2) 原因分析及改进建议。1) 限功率,经查验 SCADA 系统数据,在满发风速附近,存在提前变桨动作,导致无法达到满发功率,应对变桨控制策略进行检查和优化;2) 机组故障及检修导致停机;3) 叶片结冰,部分时间段存在环境温度在 0 °C 以下的恶劣天气状况,应注意做好除冰保护。

### 3.2 #13, #17, #21 机组变桨系统异常

(1) 主要表现。1) 小于 6 m/s 的风速条件下,桨矩角非最小桨矩角,风速在 3 ~ 6 m/s 区间内,机组桨矩角主要在 2° ~ 0° 变化,并非停留在最小桨矩角;2) 部分机组提前变桨动作明显;3) 转速未达到额定转速之前非最小桨距角。

(2) 原因分析及改进建议。桨叶零刻线安装位置检查,变桨控制策略检查并优化。

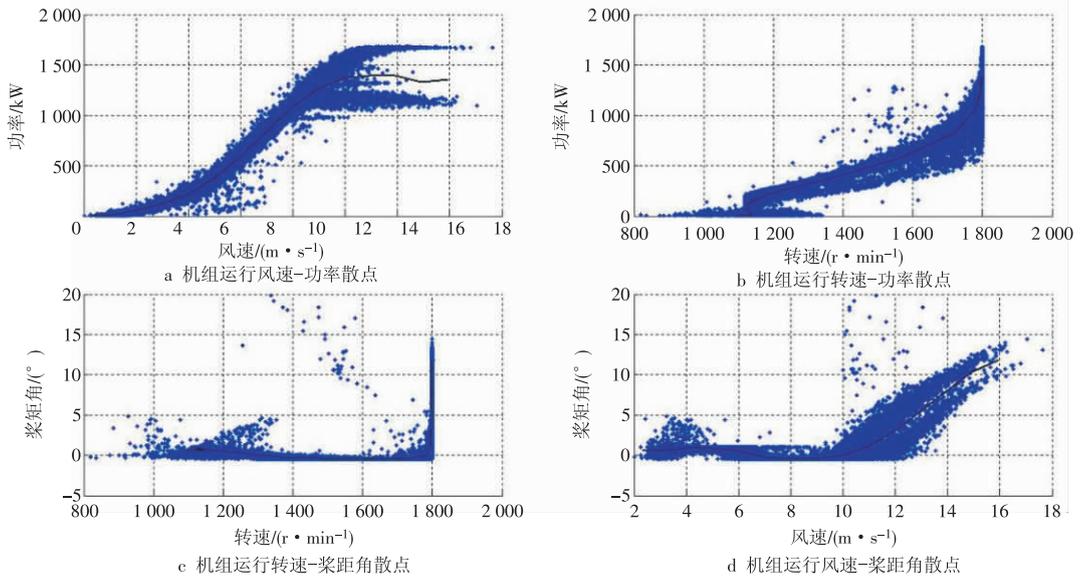


图 4 #13 风电机组运行散点

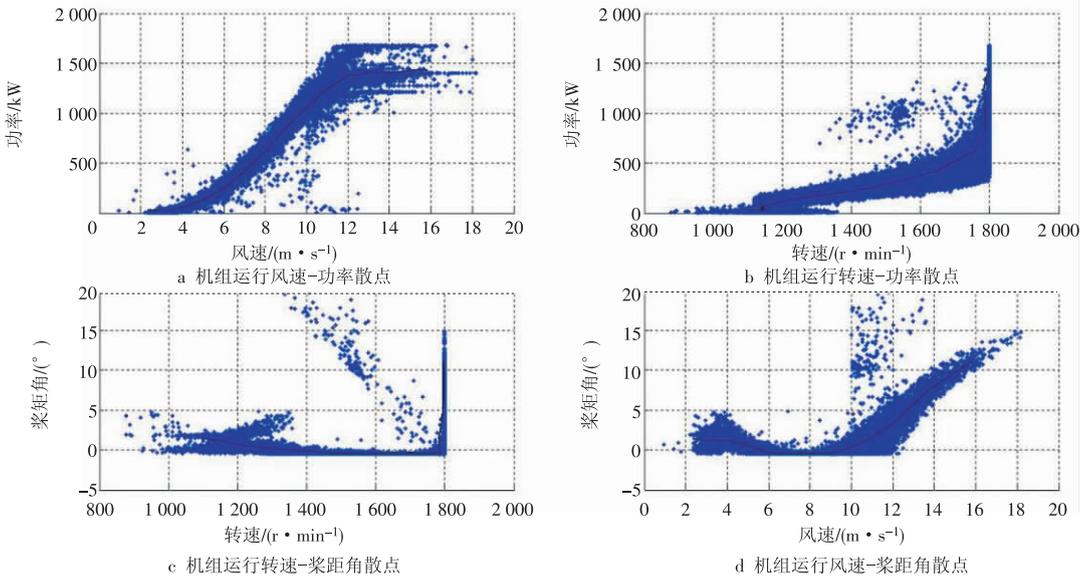


图 5 #17 风电机组运行散点

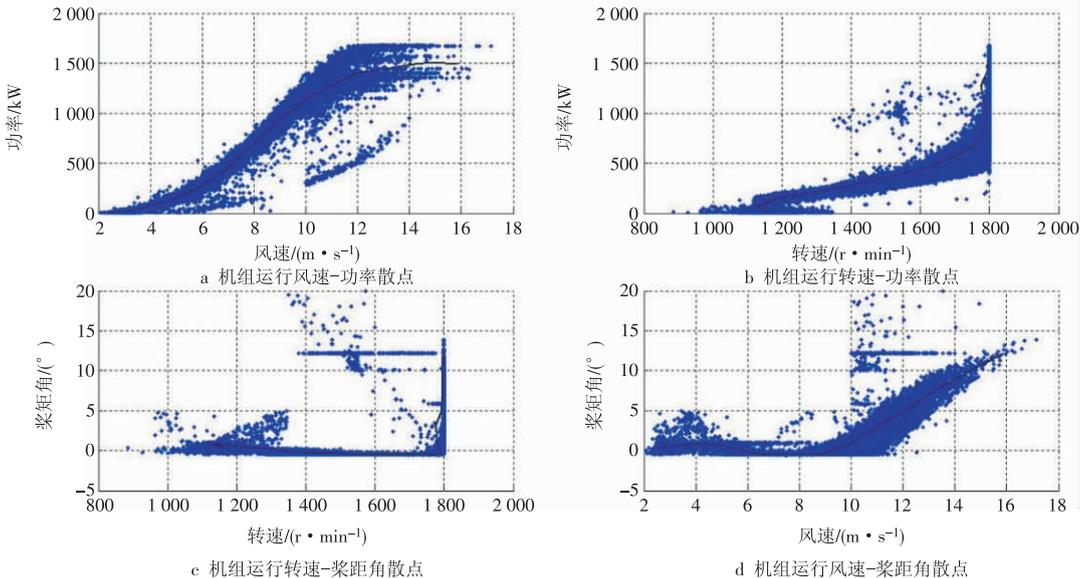


图 6 #21 风电机组运行散点

30 Pa,表明有一定的节流效果。

关小了中间 4 个燃烧器的内二次风后,降低了直流二次风对火焰的穿透力,降低了火焰温度,减少了热力型 NO<sub>x</sub> 的生成,而且更进一步提高了旋流外二次风量,保持燃烧的强化,CO 质量浓度提高幅度可忽略不计,飞灰含碳有所降低。

### 4 结论

(1)改造后 NO<sub>x</sub> 质量浓度下降明显,可以控制在 240 ~ 260 mg/m<sup>3</sup> (标态)之间,飞灰含碳量低(低于 1.5%)。说明燃烧器的扩流锥改变,在增加回流区强化燃烧、提高燃烧效率的情况下,能进一步促进煤粉的浓淡分离和降低主燃区温度,有效地抑制了 NO<sub>x</sub> 的生成。

(2)从工况 1 与工况 3 的对比看,含氧量对 NO<sub>x</sub> 的影响符合热力型 NO<sub>x</sub> 生成规律,降低含氧量后 NO<sub>x</sub> 质量浓度下降。

(3)根据工况 4 的结果看,燃烧器外二次风的旋流强度对 NO<sub>x</sub> 和 CO 的质量浓度影响明显,燃烧器外二次风角度减小,旋流强度增大,强化燃烧,CO 质量浓度趋于好转,而 NO<sub>x</sub> 质量浓度上升。

(4)从飞灰及 CO 测试结果看,正常运行含氧量稍大,660 MW 时总风量控制在 2 100 t/h (含氧量 3.0%左右)较合适,可减小排烟损失 0.4%,且降低厂用电率。

(上接第 16 页)

### 3.3 #12, #13, #17, #21 机组偏航系统正常

主要表现:错风角处于 -10° ~ +10°之间,平均值基本均为 0°,标准差在 6° ~ 8°内,偏航对风性能基本正常。

### 4 结论

为解决风电场在实际风电机组出质保验收或运行过程中,基于功率曲线的考核评估较难准确实现的问题,提出了一种利用激光雷达测风仪测风数据,并结合风电机组 SCADA 系统运行数据进行 SCADA 系统风速校正,实现全场风电机组功率曲线考核的方法。利用此方法可以快速查找出全场机组运行功率曲线较差的机组,并进一步针对其运行性能重点分析,挖掘问题存在的原因。采用该方法对某风电场 22 台机组的功率曲线及运行性能进行了评估,结果表明:22 台机组中, #12, #13, #17, #21 等机组功率曲线较差,机组运行性能表现异常,存在一定的性能优化提升空间。该方法评估准确、简单、实用,为

(5)由于上层直流 OFA 偏转角度以及主燃区外二次风的调整,可以有效改善两侧墙的还原性气氛,可以有效抑制侧墙的腐蚀,但因为受上层 OFA 偏转角度以及外二次风调整幅度限制,难以做到使两侧墙保持与中心一致的含氧量分布,下一步可以考虑增加侧墙燃烬风。

### 参考文献:

[1]袁镇福. 电站锅炉原理[M]. 北京:中国电力出版社, 1997.

[2]高小涛,黄磊,张恩先,等. 1 000 MW 机组锅炉氮氧化物排放影响的试验研究[J]. 热能动力工程,2010,25(2): 221 - 225.

[3]胡志宏,杨兴森,王军,等. 1 000 MW 超超临界锅炉燃烧优化调整[J]. 锅炉技术,2008,39(4):42 - 46.

[4]高继录,邹天舒,李志山,等. 1 000 MW 机组神华煤掺烧霍林河褐煤的试验研究[J]. 动力工程学报,2012,32(6):430 - 434,475.

[5]王学栋,梁涛,程林,等. 锅炉燃烧调整对 NO<sub>x</sub> 排放和锅炉效率影响的试验研究[J]. 动力工程,2008,28(1):19 - 23.

(本文责编:刘炳锋)

### 作者简介:

蔡泓铭(1984—),男,广东潮州人,工程师,工学硕士,主要从事电厂热力设备优化运行研究(E-mail: caihm01@163.com)。

风电机组运行性能考核评估提供了一种客观、便捷的考核方法。

### 参考文献:

[1]罗茂辉,苏迎彬. 风力发电机组运行安全分析与控制措施[J]. 华东科技(学术版),2016(5):193 - 193.

[2]刘靖武. 关于风电机组运行维护技术的探讨[J]. 引文版:工程技术,2016(6):30 - 31.

[3]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研究[J]. 可再生能源,2013,31(4):100 - 106.

[4]Wind turbines - Part12 - 1: power performance measurements of electricity producing wind turbines: IEC 61400 - 12 - 1—2005[S].

[5]风力发电机组 功率特性测试:GB/T 18451.2—2012[S].

(本文责编:白银雷)

### 作者简介:

付立(1988—),男,河南永城人,工程师,工学硕士,从事新能源发电研究、评估等方面的工作(E-mail: li - fu@chder.com)。