

[风力发电]

用于风机功率曲线评估的SCADA数据时间步长研究

文/湖北省电力勘测设计院有限公司 吴莎 康慨 汪健
新疆金风科技股份有限公司 胡威
美迪欧动力气象技术(北京)有限公司 夏天

为合理选取SCADA数据时间步长进行风机功率曲线评估,采用功率测量值与根据功率曲线获得的预测值之间的均方根误差分析及频谱分析方法,研究了不同的SCADA数据时间步长对风电机组功率曲线评估准确度的影响,显示将步长为10 min等级的SCADA数据用于风机功率曲线评估是工程应用中的最优选择。

采用风力发电机组运行数据采集与监视控制(SCADA)数据进行风电场运行后评估是行业内研究的焦点,其中采用SCADA数据进行风电机组功率曲线评估是了解风机性能表现与运行状态的重要手段。

目前,在大多数SCADA系统中,各个运行状态信号首先以1 Hz的采样率进行测量,然后每隔10 min将采集的数据进行平均,最终将平均值录入数据库。10 min平均的方法在采样频率和数据库大小之间取得了良好的平衡,已被广泛接受为行业标准。除此之外,10 min平均数据也方便与风资源评估中使用的风流数据进行比较和关联。随着存储技术的发展,高频数据的采集变得可行,当前已有针对高频数据的分析和研究,高频数据也为功率曲线评估提供了更多数据选择。因此有必要针对用于功率曲线评估数据的时间步长的选取做深入分析研究。

技术方法

收集某风电场8台风机实际运行的高频SCADA数据,数据记录时间步长为7 s。通过特定分类算法将其中诸如不合理测量值、风机停机、电网限电以及其他原因的欠发或超发的数据等不合理数据去除,只考虑采用风机处于正常运行状况下的

SCADA数据进行机组运行功率曲线评估。

如图1所示为时间步长为7 s的SCADA风速和功率的散点图。在理想的情况下,每个风速值仅对应一个功率值,这就形成了风机的功率曲线,数据的离散程度为零。然而在实际情况,数据点是离散分布的,离散程度越低,意味着风速与功率的相关关系越好,评估功率曲线的误差越小;而离散程度越高,意味着风速与功率的相关关系越差,评估功率曲线的误差越大。

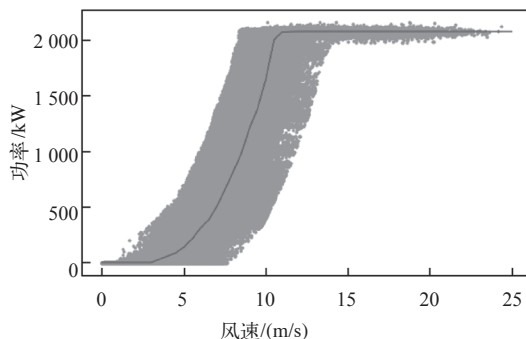


图1 时间步长为7 s的SCADA风速与风机功率散点图

通过计算,采用不同时间步长的SCADA数据条件下,功率的测量值与由功率曲线和测量风速得到的预测值之间的均方根误差(RMSE)对离散程度进行量化。其中使用的功率曲线是根据SCADA数据通过迭代中值估计方法而获得,并非

风机制造商提供的功率曲线。

然后对SCADA数据应用信号处理技术，计算风速和功率的功率谱密度（PSD），进行频谱分析。频谱分析方法可区分在不同频率或时间尺度上的表现，考虑到功率曲线为单调递增特性，可采用频谱分析方法从原理上解释基于均方根误差（RMSE）的离散程度量化分析结果。

结果与分析

1. 功率曲线评估的最优SCADA数据时间步长

为了观察功率曲线的时间依赖性，按照不同的时间步长对风速和风机输出功率这两个信号进行时间平均。如图2所示为风速与功率分别在以下时间步长下进行平均后的散点图：7 s、30 s、1 min、5 min、10 min、30 min、60 min和120 min。从散点图中可以看出，较长时间步长的数据点离散程度较小。

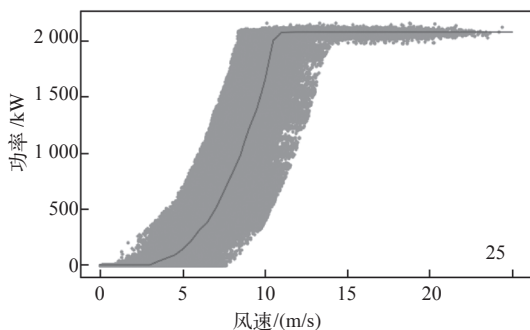
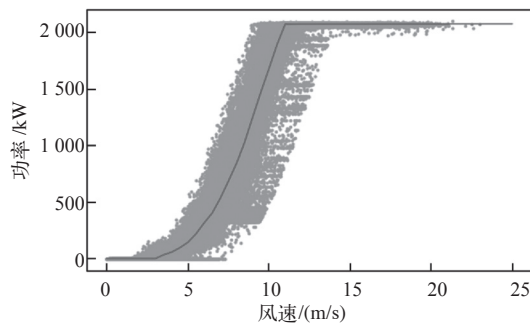
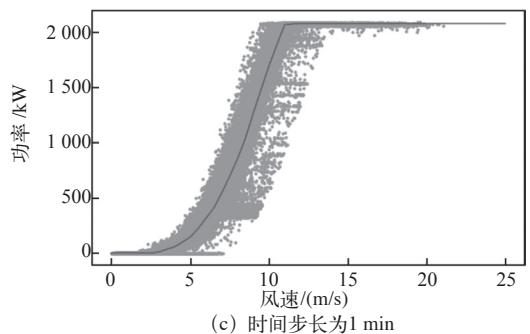
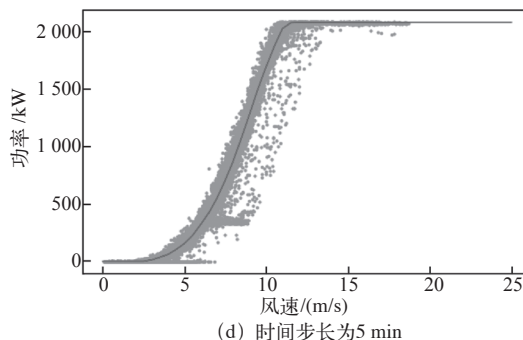
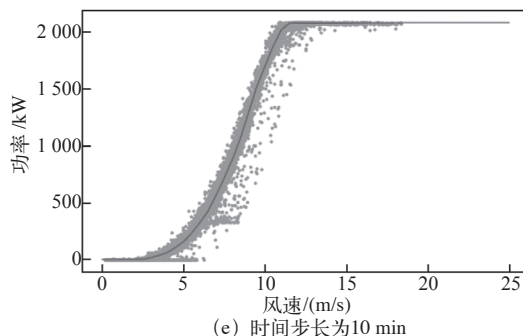
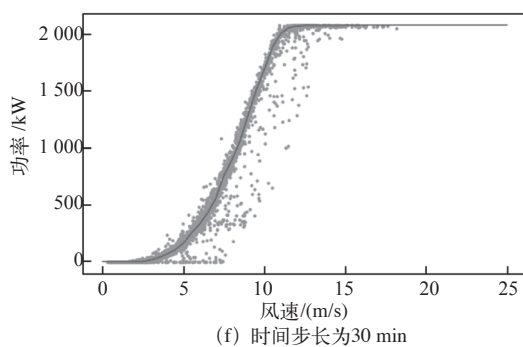
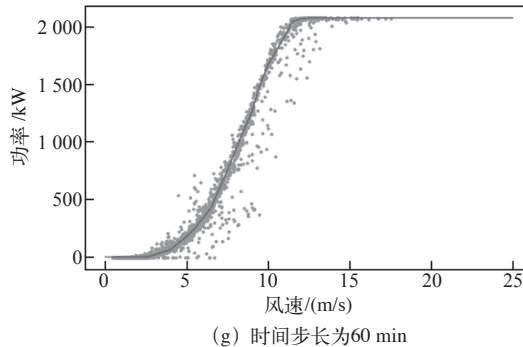
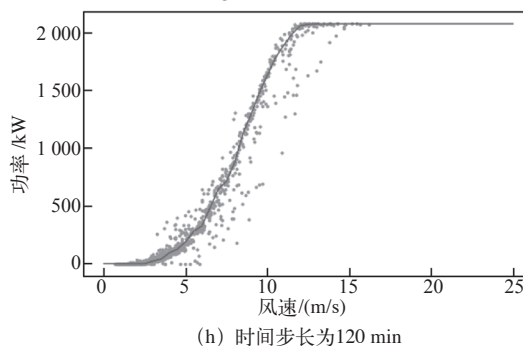


图2 不同时间步长的风速与功率散点图

下表列出了8台风机不同时间步长的功率测量值和预测值的均方根误差。从表中看出, 7 s时间步长的功率测量值和预测值的均方根误差最大, 10 min时间步长的功率测量值和预测值的均方根误差最小。

表 功率测量值和预测值的均方根误差

(单位: kW)

时间步长	7 s	30 s	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	120 min
F01	163	121	106	90	72	120	114	126
F02	165	122	118	105	109	117	122	121
F07	195	123	100	67	60	56	59	85
F12	181	131	120	105	99	111	96	113
F13	207	139	125	106	98	110	120	113
F19	190	145	129	114	96	130	134	150
F24	172	130	107	81	88	82	97	126
F25	159	106	90	64	60	57	63	74
平均值	179	127	112	92	85	98	101	113

图3中黑色粗线为8台风机的平均均方根误差。功率测量值和预测值的均方根误差随评估SCADA数据的时间步长增加而先减小后增加。当SCADA数据的时间步长很短时, 功率测量值和预测值的均方根误差很大, 当时间步长为7 s时RMSE平均值为179 kW, 随着时间步长增加, 均方根误差快速减小; 最优的时间步长为10 min, RMSE平均值为85 kW, 减小一半; 随着时间步长进一步增加, 均方根误差缓慢增加。用于风机功率曲线评估的SCADA数据的最优时间步长为10 min等级。

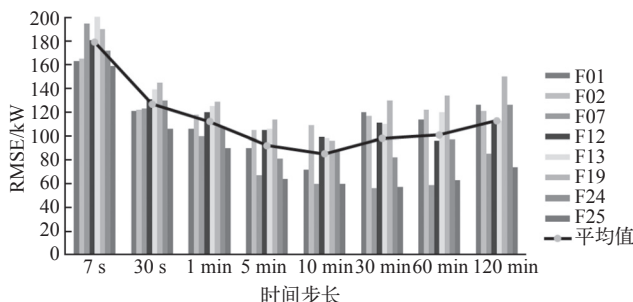


图3 各风机不同时间步长的功率测量值和预测值的均方根误差

2. 频谱分析

采用频谱分析方法从原理上解释基于均方根误差的离散程度量化分析结果。分别计算风速和功率的功率谱密度, 利用小窗口和大重叠以增强平滑。

图4给出了风速PSD和功率PSD比值曲线。从图4中可以看出当频率大于0.03 Hz (对应于SCADA数据的时间步长为30 s) 时, 这个比值大致接近于恒定, 即在频率大于0.03 Hz时, 这两个信号的变化非常小, 并且仅代表测量噪声。

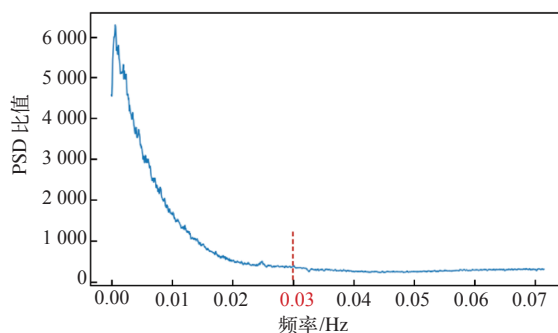


图4 风速PSD和功率PSD比值曲线

图5给出了风速PSD和功率PSD比值的对数坐标曲线, 该曲线类似于波特幅频图。作为首次估计, 这对应于在0.005 Hz (~3 min) 调谐的一阶低通滤波器。这是无刚度的质量阻尼系统的典型情况。3 min为包括轮毂、高速部件和机电零件在内的整个机械惯性的响应时间。如果SCADA数据时间步长小于3 min, 风机轮毂转速不足以响应风速的快速变化, 功率对风速变化不敏感。这种低通滤波器体现了轮毂转速由于惯性而不能跟随风速快速波动的事实。风速PSD和功率PSD比值的最大绝对值在约0.65 mHz, 即时间步长为25 min左右出现。功率转换对于非常慢的变化 (~2 h) 不如对于更快的波动 (~30 min) 有效, 如果时间步长大于25 min, 由于功率曲线的非线性特性, 会使得评估功率曲线曲率下降, 风机整体发电表现效率降低。

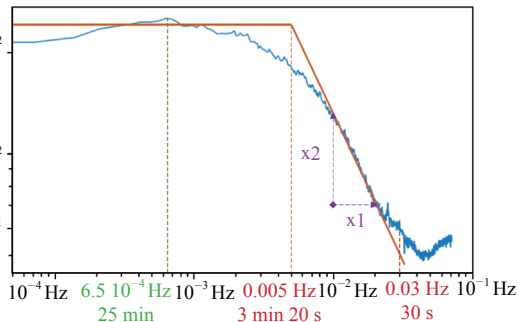


图5 风速PSD和功率PSD比值对数曲线

结束语

本文研究了所采用的SCADA数据时间步长对风机功率曲线评估的影响, 通过计算不同SCADA数据时间步长条件下功率测量值与根据功率曲线获得的预测值之间的均方根误差显示用于风机功率曲线评估的SCADA数据的最优时间步长为10 min等级。考虑到10 min数据是行业内最常见的记录形式, 因此将10 min平均SCADA数据用于风机功率曲线评估是工程实际应用中最优的选择。EA

(收稿日期: 2019.02.19)

(编辑: 朱金凤)