

基于10分钟数据的风力发电机组损失量分析 ——以K风电场23号风机2016年1月为例

颜庭煜

(国华(贵州)新能源有限公司)

【摘要】风电场精益化管理对提升经济效益至关重要,其中准确量化发电损失并分析其成因是核心环节。本研究基于K风电场23号机组2016年1月份风机十分钟SCADA数据,提出了一套完整的风电机组发电损失量化分析方法,分析了该台风机在1月份理论发电量、实际发电量和损失电量三者之间的关系。验证了基于SCADA十分钟数据量化损失电量的可行性,为风电场优化检修策略、提升设备可利用率与电网协调运行提供了数据支撑和决策依据。

【关键词】风电机组;发电损失;SCADA数据;十分钟数据;功率曲线;限电;故障停机;降容运行

中图分类号:TM315;TM614

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.171

Analysis of Wind Turbine Loss Based on 10-minute Data ——Taking No.23 Fan of K Wind Farm in January 2016 as an Example

YAN Ting-yu

(GUOHUA (Guizhou) New Energy Co., Ltd.)

【Abstract】Lean management of wind farms is crucial for enhancing economic efficiency, with accurate quantification of power generation losses and analysis of their causes being a core aspect. Based on the 10-minute SCADA data of Turbine No. 23 in the K Wind Farm in January 2016, this study proposes a complete quantitative analysis method for the power generation losses in wind turbines. The relationships among theoretical power generation, actual power generation, and power loss of the wind turbine during January are analyzed. The feasibility of quantifying power loss electricity based on 10-minute SCADA data is verified, providing data support and a decision-making basis for wind farms to optimize maintenance strategies, improving equipment availability, and enhancing coordinate operation of the power grid.

【Keywords】wind turbine; power generation loss; SCADA data; 10-minute data; power curve; power rationing; fault shutdown; de-rating operation

1 引言

风电作为当前最具开发潜力的可再生能源之一,在我国能源结构转型中扮演着关键角色^[1-2]。随着风电机组大规模并网和运行年限的增加,其运行效率与经济效益日益受到关注。然而,在早期风电场开发中存在的微观选址欠规范、测风数据不完善、设备选型欠科学等问题,以及部分地区受限于电源结构导致的频繁电网调峰限电^[3-4],显著增加了后期运维成本与成本压力。本文提出一种分析风电机组发电损失量及其构成因素,对于诊断设备状态、优化检修策略,进而提升风电场运行的经济性具有重要意义。

发电损失指风电机组在正常运行状态下本可发出但因各种内部或外部因素限制而未能发出的电量^[5],精准量化损失电量并识别损失来源是提出措施建议的前提。风电机组监控与数据采集(SCADA)

系统记录的运行数据包括了风电机组的基本全部信息,可在其基础上进行数据分析、量化计算,进而提出策略和建议。

本文以23号机组2016年1月十分钟SCADA数据为研究对象,通过建立一套基于标准功率曲线和SCADA数据的理论发电量、实际发电量及损失电量计算方法;定量计算该月总损失电量;并结合运行记录与数据特征,深入分析损失电量的来源(故障停机、限电停机、降容运行)及占比。

2 研究区域与数据

2.1 K风电场概况

K风电场位于辽宁省西北部,设计年等效满发小时数为2206h,安装有33台国产P型1.5MW风电机组,总装机容量49.5MW,2010年投入商业运行。

2.2 K风机的标准功率曲线说明

风力发电机组可采用风速—有功功率曲线来表示能量转换。

$$P = f(v) \quad (1)$$

式(1)中: P 为风力发电机组的有功功率, v 为风速。

图1是空气密度为 1.255kg/m^3 ,按照IEC61400-12,给出的K风机动态功率曲线,本文将此情况动态功率曲线定义为K风机标准功率曲线。

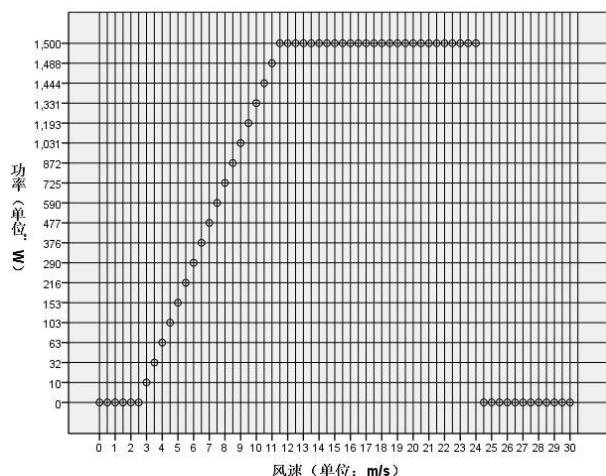


图1 K风机标准功率曲线

2.3 考虑10分钟数据有效性

对于风电机组而言,其SCADA系统涉及风速、功率等采用的是平均值,同时也记录在该时间段的最大值和最小值。实际10分钟数据往往由于通讯故障等原因导致数据出现异常或者中断。采用以下步骤进行数据有效性校验与清洗。

- ①完整性检查:统计实际获取的有效数据条数,检查数据完整性,是否有数据缺失等情况。
- ②异常值剔除:明显超出物理意义的数据点。
- ③有效性计算:数据理论条数 N_1 ,实际数据数目为 N_2 ,数据有效性 η 。

$$N_1 = 24 \times 6 \times 31 = 4464$$

排除异常点实际数据 $N_2 = 4312$,数据有效性:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} \times 100 \approx 96.59\%$$

另外,需要确定一个具有代表性的最低数据有效性的值,数据有效性需大于95%。

3 理论发电量计算模型

通过统计K风场33台风机从2015年5月到

2016年5月的数据,排除异常点后,将有效性校核过的十分钟数据的风速,代入标准功率曲线,可得到在对应风速下的理论有功功率,通过计算可得到该风机的理论发电量。

K风场23号风机在1月份,SCADA系统给出的该风机的实际发电量为 $147017.7\text{kW}\cdot\text{h}$,平均风速为 5.86m/s 。而通过将风速代入标准功率曲线可以得到风机在对应时间范围的理论有功功率:

$$\sum P_{\text{理论}} = 1211718\text{kW}$$

由于 $\sum P_{\text{理论}}$ 为各个10分钟时间段内理论有功功率之和,由于功率是瞬时量,而电量是能量(功率对时间的积分),近似计算为电能 $W_{\text{理论}}$:

$$W_{\text{理论}} = \sum P_{\text{理论}} \times \frac{10}{60} = 201953\text{kW}\cdot\text{h}$$

4 实际发电量与损失电量计算

实际发电量 $W_{\text{实际}}$:SCADA系统记录的该月总发电量数据为 $147017.7\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

损失电量,即考虑风机因故停机或限负荷后,风电场当时的风速情况和风机功率曲线,若风机不停机或不被限负荷,风机能多发的发电量就是风机的损失电量^[6]。

5 机组损失电量的计算

在K风机的实际生产中,往往存在如限电限负荷运行、性能自降容等情况。导致风机有功功率与在该风速下的理论有功功率不一致,或者偏差较大。

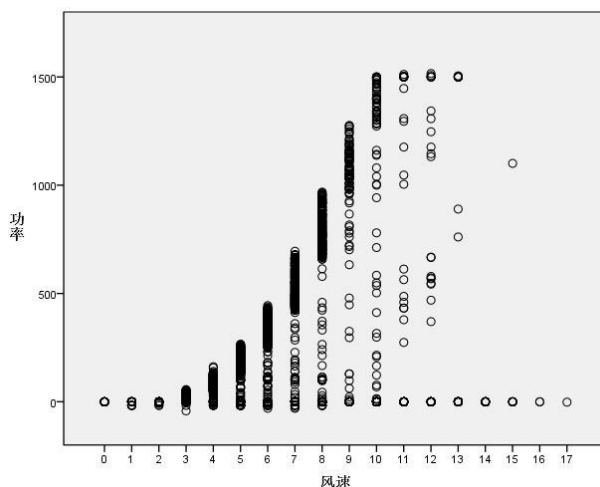


图2 23号风机1月份风速功率分布图

图2是该台风机1月份风速与有功功率的分布图像,从图中可见,深色部分基本与实际有功功率与标准功率曲线基本一致,表示风机在该时刻风速与

有功功率的关系基本符合标准功率曲线,可以分为以下三类。

①正常发电点集:密集分布在标准功率曲线附近,表明无外部限制和内部故障,性能符合预期。

②停机损失点集($P=0$):在横轴覆盖从切入风速到较高风速。这些点对应的时间段即为损失发生期。

③降容损失点集:显著地分布在标准功率曲线下方,并在特定功率水平(如1000kW)形成聚集带。这些点直观地反映了降容指令的执行效果。

位于曲线以下,X轴以上部分的点是由于机组降容导致的,而机组降容的原因主要是AGC系统限功率运行。从限功率运行的点中,任选一点Q,在Q时刻,风速为15.9m/s,按照该风机标准功率曲线,此时有功功率P应该为1500kW,而此时机组实际有功功率仅为998kW,与实际相差502kW,可近似求得Q时刻所在的十分钟,风机损失电量。按照上述计算方式,对于23号风机,可得1月份全部损失电量为:

$$W_{\text{损失}} = W_{\text{理论}} - W_{\text{实际}} = 201953 - 147017.7 = 54935.3 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

6 23号风机损失电量原因分析

通过数学计算得到了23号风机在2016年1月损失电量为54935.3kW·h。通过查阅该风场的月度报表、日报表、风机设备缺陷报表和输变电设备缺陷报表,该风机在1月并未出现由于输变电设备导致机组损失电量。损失电量主要由以下三部分构成,由于风机故障导致的损失电量为19227.38kW·h,由于调度限电停机导致的损失电量为21424.79kW·h,由于调度降容导致的损失电量为14283.19kW·h。

7 有效性讨论

7.1 方法的有效性

通过对K风电场23号机组2016年1月数据的应用,成功计算了理论发电量、实际发电量和总损失电量,并将损失精确归因于三大类原因。数据有效性(96.59%)和最终归因结果的总和验证(三类损失之和等于总损失)表明该方法具有较好的可靠性和实用性。利用风速—功率分布图(见图2)结合运行记录进行损失识别的方法,直观且有效。

7.2 研究局限性与改进方向

功率曲线模型:本研究直接采用标准功率曲线。实际空气密度、湍流强度、风向、机组老化等因素可

能导致实际功率曲线偏移^[7]。未来可探索基于历史数据的功率曲线修正模型(如引入空气密度修正系数或建立本地化功率曲线),或者使用机组大数据结合AI进行曲线拟合,拟合出特定机组的标准功率曲线。

数据精度:十分钟平均数据会平滑掉一些瞬时波动和短时损失,可通过高分辨率数据(如1秒数据)借助AI等技术进行分析研判。

环境和其他因素:未考虑复杂地形(尾流效应、地形加速效应),风机自身叶片脏污等原因导致的风资源情况对风力发电机组发电效率的影响。

验证方法:利用SCADA状态变量(如限功率状态标志位、故障代码)进行自动化和更客观的分类。

8 结论与展望

本论文研究基于K风电场23号机组2016年1月十分钟SCADA数据,系统研究了风电机组发电损失的量化与归因方法。建立了完整的损失电量分析流程、量化了损失电量和来源、揭示了损失分布的特征,为风电场实施精细化管理、优化检修计划、评估限电影响以及与电网协调运行提供了重要的数据支持和分析工具。通过量化损失并识别主因,可更有针对性地采取措施,从而有效提升机组可利用率与发电效益,研究可对模型精细化和技术融合、多机协同与场级分析以及人工智能的深化应用进行深化。

参考文献

- [1] Global Wind Energy Council (GWEC). Global Wind Report 2023[R]. Brussels, Belgium; 2023.
- [2] 中国风电发展路线图2050[J]. 电世界, 2012 (6): 50.
- [3] 国家能源局. 2022年度风电并网运行情况[Z]. 2023.
- [4] 张运洲,等. 中国电力系统低碳发展分析模型开发与应用[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41 (1): 1-15.
- [5] 张伯明,等. 风电场发电量损失评估方法综述[J]. 电力系统自动化, 2015, 39 (23): 139-145.
- [6] 甘槐樟. 利用损失电量评价指导风电场的生产管理[J]. 湖南电力, 2011, 31 (4): 44-46.
- [7] Wagner R, et al. Accounting for the speed shear in wind turbine power performance measurement[J]. Wind Energy, 2011, 14(8): 993-1004.