[控制系统]

风力发电机组出质保前功率曲线、发电量分析及验证

文/水电十四局大理聚能投资有限公司　方　磊

通过对某风电场风力发电机组（以下简称风机）出质保前功率曲线、发电量进行分析计算，阐明功率曲线、发电量的计算方法，验证风机实际动态功率曲线与合同保证功率曲线之间存在的差异，为风电场风机出质保前功率曲线及保证发电量验收提供一定的计算与理论依据，确保风机厂家功率曲线及发电量在出质保期前达标。

风机功率曲线是衡量风力发电机组工作性能的重要依据，它描绘的是风速和风机输出功率之间的对应曲线，描绘风机净电功率输出与风速的函数关系图和表。在风机采购合同中，风机功率曲线作为一项非常重要的指标在合同及招投标文件中进行约定。风机功率曲线是否达标直接影响风机的发电量，从而影响风电场的发电效益及经济效益。因此，做好风机功率曲线的分析和优化工作尤为重要。

风机功率曲线及发电量的计算方法

目前，计算分析风机功率曲线可通过WIND FARM、WASP、WIND SIM等软件实现模拟计算，可通过风机后台监控系统导出风机功率曲线，也可采用Excel办公软件进行计算。一般而言，风机厂家、设计单位和风资源专业评估公司采用WIND FARM、WASP、WIND SIM等软件进行计算，以上软件需购买使用，费用相对较高，部分风电业主单位使用Excel办公软件进行分析计算或直接从风机厂家后台监控系统导出曲线的方式。相对而言，从风机后台导出曲线较为简单，但考虑到最终进行功率曲线考核，此方式风机厂家存在功率曲线修正风险。另外，Excel办公软件操作较为方便、成本较低、数据量大时计算分析时间长；专业软件计算效率较高、对大数据处理较为方便，各种计算方式均可准确计算风机功率曲线。在进行风机功率曲线计算时，我们采用Excel办公软件进行风机功率曲线计算分析。

1．风机风速、功率数据收集

依照《风力发电机组 功率特性测试》（GB/T18451.2—2012）对风机功率曲线计算数据收集要求及我风电场风机合同要求，经同风机厂家商议后，选用风机后台系统原始数据进行分析，收集了2015年一个完整年度的全场风机风速、功率及发电机转速10 min平均值数据。根据数据汇总完成的单台风机数据库，经同风机厂家商议确定，将2.5 m/s以下的风速及25.5 m/s以上的风速进行筛出，对风机故障停机、维护检修停机、通信中断的数据进行筛出，保留风机2.5～25.5 m/s之间的风速及功率有效数据进行功率曲线计算分析。在此说明，进行数据收集覆盖到风机切入风速以下0.5 m/s到风机切出风速以上0.5 m/s的数据，至少收集720 h的采样数据。

2．功率曲线计算

根据合同约定，风机厂家提供了我风电场现场空气密度下（0.874 kg/m^3）的保证功率曲

线，在此说明，若风机厂家仅提供了标准空气密度下（1.225 kg/m^3）的风机功率曲线，还需结合现场空气密度进行功率曲线数据折算。我风电场功率曲线达标值为单台风机实际动态功率曲线达到风机厂家保证功率曲线的95%时，该台风机功率曲线达标。依照要求，逐台对全场风机功率曲线进行了计算。使用的方法为风速对应功率区间法进行计算，即风速分为4个步长区域，具体步长为0.1、0.2、0.5、1.0，对应区域风速分别代表3 m/s、3.5 m/s、4 m/s一直到25 m/s的风速。

根据单台风机数据库中的数据，通过Excel对风机一年的风速、功率进行分类筛选，使用AVERAGEIFS 函数进行计算。

最后，通过3 m/s、3.5 m/s、4 m/s到25 m/s风速下对应的功率数据，结合推算数据和风机保证功率曲线情况通过插入散点图的方式生成风机功率曲线。功率曲线生成情况如下图所示。

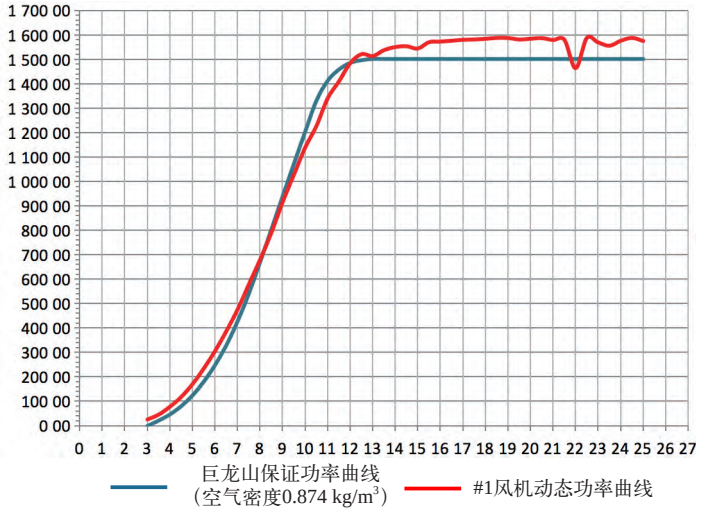

图1　功率曲线生成情况

3．风电场发电量计算

在同风机厂家签订合同时，合同双方会在合同中约定全场风机发电量保证，我风电场具体保证风电场发电利用小时数，前提为我风电场1933#、1935#测风塔年均风速分别超过8.3m/s时风电场发电利用小时数应达到合同约定的利用小时。为此，在风电场出质保前，依据两座测风塔一个完整年度平均风速进行了发电量推算。具体计算方法为综合计算法。

∑保证发电量＝∑（测风塔风频分布值×8 760×风机厂家现场保证功率曲线值）

依照此方法，进行了测风数据的整理，对照3 m/s、3.5 m/s、4 m/s、4.5 m/s、5 m/s……25 m/s，计算出测风塔在各风速段的风频分布值，最后根据计算公式推算出单台风机年度保证发电量及全场风机年度保证发电量。使用该计算方法的前提为测风塔的风速可代表全场风机的风速情况。

其它推算发电量的方法还可采用威布尔分布法、瑞利分步法等。

影响风机功率曲线及发电量的主要因素

影响风机功率曲线及发电量的因素主要包括风电场空气密度、风速大小、风机偏航角度、风机控制策略、叶片零刻线位置错误、控制参数设置错误、湍流强度、叶片覆冰和人为限功率等因素。结合我风电场现场的实际情况，因风电场处于高海拔的高山地区，风机机位地形也存在不同情况的差异，根据功率曲线计算分析不达标的风机，对风机最佳叶尖速比跟踪、偏航控制阈值优化、扩大最佳转矩控制、叶片结冰判断等方面进行功率曲线提升优化，通过三个阶段的优化，不达标风机功率曲线全部达标，经后期计算，风机发电量有了一定程度的提升。

同时，风电场可通过激光雷达测风设备对风机风速仪测风准确度进行验证，推荐准确的风速修正系数，根据相关标准，激光雷达选定位置与风机的距离应该为风机叶轮直径*D*的2～4倍，并且设置在所选的测量扇区内。通过对风机风速仪标定，也可一定程度优化风机功率曲线。

在进行风机功率曲线分析及发电量推算过程中，若同风机厂家在功率曲线分析过程中存在疑义，可由双方共同委托有资质的专业第三方进行分析。

结束语

开展风电场运行分析工作是运维工作的基础，做好风机发电量、功率曲线、可利用率等运行指标分析计算工作是风机高效可靠运维的重要保证。在风机质保期内，风电场应定期进行主要运行指标分析，在风机最终出质保前，风电场应根据风机采购合同、招投标文件及国家相关验收标准进行功率曲线、风机发电量、可利用率等重要验收项目分析工作，对不满足要求的指标要求风机厂家在最终出质保前进行优化整改，直至达到风机最终验收条件。EA

（收稿日期：2018.05.21）
（编辑：朱金凤）