

# 基于 SCADA 数据的风电机组偏航控制参数优化

高 峰, 凌新梅, 刘 强

(华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206)

**摘 要:** 针对大型风电机组偏航控制参数在实际应用中适应水平差、控制精度低等问题, 首先对机组 SCADA 数据进行统计处理和分析计算, 以确定偏航控制区间的划分界限; 然后依据各个区间控制策略和风向特点的不同确定参数优化范围, 在此基础上应用细菌群体趋药性(BCC)算法对偏航控制参数进行搜索寻优, 分别得到高、中、低3级风速区间最优偏航偏差阈值和延迟时间; 通过 Bladed 软件仿真表明该优化方法可在满足偏航比要求的前提下提高发电量, 使风场获得更大的经济效益。

**关键词:** 风电机组; 优化; SCADA; 偏航控制; BCC 算法

**中图分类号:** TK81

**文献标识码:** A

## 0 引 言

目前, 大型风力发电机组均采用主动偏航控制技术<sup>[1-3]</sup>。机组通过风向标测得风向信号, 将测得的风向信号送到偏航控制器中进行数据处理, 然后依据控制策略判定是否进行偏航及确定偏航的方向, 使风轮正对风向。考虑到风向标的测量误差与风向湍流, 必须计算延迟时间内机舱轴线方向与实际风向的偏差均值, 当该值在设定的范围内, 即其绝对值小于偏航偏差阈值时, 系统不进行偏航; 而当该值超过了设定范围, 偏航系统启动对风, 以减小偏航误差角。

国内外学者将多种新型控制算法应用于风电机组偏航系统。如文献[4~6]给出 V-HC(vane-hill climbing)控制, 该方法的核心内容是在大范围风向变化时采用风向标控制, 小范围风向变化时则采用爬山算法; 文献[7~9]分别设计神经网络、模糊和仿生机制偏航控制器, 但因新型控制算法存在稳定性与实时性问题, 很难进行推广应用, 风电机组仍主要采用传统偏航控制策略完成偏航对风, 即大型风场往往统一指定同类型机组偏航偏差阈值和延迟时间, 这种做法忽略了风场与风场之间、同一风场

不同机组之间、同一机组不同风况下的性能差异, 有可能导致机组对风失准或对风动作频繁, 会影响机组的发电量或增加机组疲劳损耗, 因而对处于不同风场中各台机组的偏航控制参数进行针对性的整定与优化有着重要的实际意义。但从查阅的文献和资料来看, 国内外对于这方面的研究还不多, 没有形成比较系统、完整的优化方法。文献[10]可利用风速范围分高、低2个区间进行差异化参数设定, 所采用偏航参数为经验值; 文献[11]依据风速设定3个偏航工作区间并采取不同的偏航控制模式, 并未讨论如何进行参数设置; 文献[12]将切入风速以上的区域划分为4段进行分析, 但分段标准缺乏理论依据, 且未对偏航参数进行优化寻优操作。

为保证稳定性的同时提高偏航系统的快速性, 从而实现风电机组对风能的最大捕获, 本文采用粒细菌群优化(bacterial colony chemotaxis, BCC)算法<sup>[13, 14]</sup>, 针对具体机组 SCADA 数据进行统计和分析, 在满足偏航比要求的条件下, 实现对风电机组偏航控制区间的合理划分和偏航参数的全局优化, 使偏航参数具有更高的自适应水平和针对性, 进而提高机组发电量。

收稿日期: 2017-01-26

基金项目: 国家自然科学基金(51577065); 中央高校基本科研业务费(2015MS24)

通信作者: 高 峰(1976—), 男, 博士、讲师, 主要从事风力发电机组性能评估与控制优化方面的研究。gaofeng@ncepu.edu.cn

# 1 基于SCADA数据的自动偏航控制策略优化

## 1.1 偏航控制区间划分方案

当前风场同型机组普遍采用相同的偏航控制参数,控制区间一般根据风速划分为两部分,分界标准也多为某经验风速值或额定风速值。由于该方案未考虑不同机组的个体差异,其针对性不强且缺乏理论依据。本文基于单台机组 SCADA (supervisory control and data acquisition) 数据获得风速概率分布曲线,通过识别概率曲线“峰值”对应的风速  $V_m$ ,以  $V_m$  为分界点可将额定风速  $V_e$  以下风速区间分成 2 个区间,如图 1 所示。

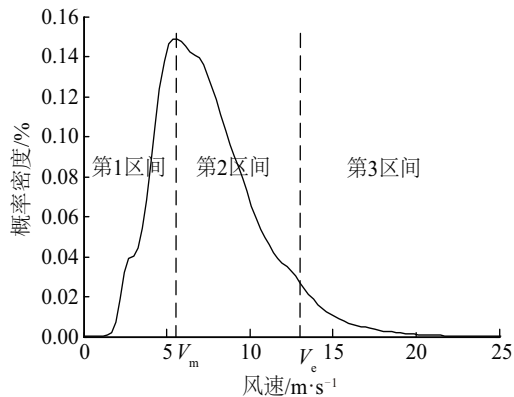


图1 风速概率密度分布曲线

Fig. 1 Wind speed probability distribution curve

在第 1 区间内,由于风速较低,偏航偏差对机组总发电量的影响较小,因而可取相对较大的偏航偏差阈值和较长的延迟时间;而在第 2 区间风速相对较高,风向的采样精度也较高,同时风力机本体受到的侧向力的作用引起的振动也较大,应取相对较小的偏航偏差阈值和较短的延迟时间,来提高对风精度,从而提高发电量;在额定风速以上时,机组通过变桨距控制能够实现恒功率输出,可适当降低偏航控制的精度来减轻变桨负担,同时也可减少偏航次数。

根据上述不同风速下控制目标的差异将机组的正常运行风速范围划分成 3 个区间,并分别对各个风速区间的偏航偏差阈值和延迟时间进行综合寻优,得到 3 组不同偏航对风控制参数,改进后自动偏航控制方案流程如图 2 所示。

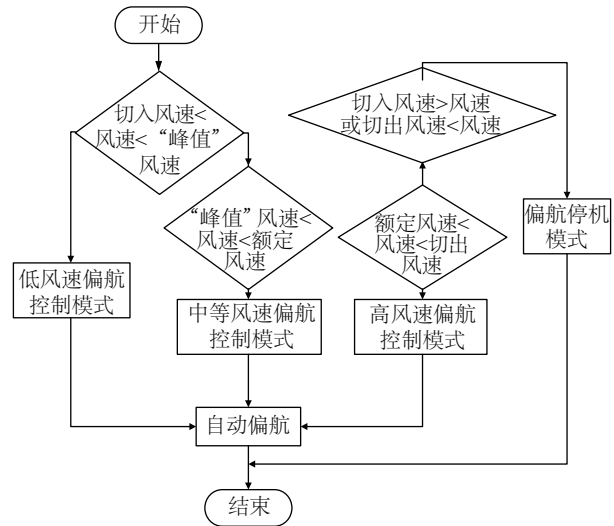


图2 优化后自动偏航控制策略

Fig. 2 Automatic yaw control strategy after optimization

## 1.2 各区间偏航控制参数优化原则差异性分析

因不同控制区间机组控制方式的不同,其偏航参数优化的原则就存在差异。优化前通过确定参数的寻优范围可实现这种差异化的优化效果,即通过规定解的不同可行域以用于初始群体的生成。对于实际的风电机组,首先将 SCADA 数据在第 1、第 3 个区间绘制形如图 3(第 1 区间)的偏航误差概率密度曲线,并按置信度 95% 求出相应置信区间  $[\theta_{1min}, \theta_{1max}]$ 、 $[\theta_{3min}, \theta_{3max}]$ ,其中  $\theta_{1min}$ 、 $\theta_{1max}$  分别为第 1 区间偏航偏差置信区间的下限和上限,  $\theta_{3min}$ 、 $\theta_{3max}$  别为第 3 区间偏航偏差置信区间的下限和上限。然后令第 1 区间新的偏航偏差阈值范围为  $[\theta_L, \theta_{1max}]$ ,  $\theta_L$  为机组原低风速段偏航偏差阈值;由 1.1 节分析可知,在第 2 区间应取相对小的偏航偏

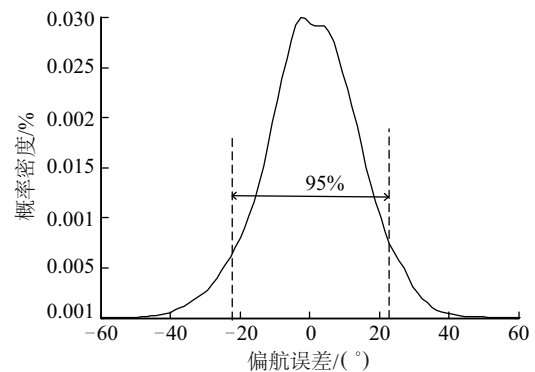


图3 第1区间偏航误差概率密度分布曲线

Fig. 3 First interval yaw error probability density curve

差阈值,因而令第2区间偏航偏差阈值范围为 $[\theta_0, \theta_H]$ ,其中 $\theta_0$ 为偏航停止误差, $\theta_H$ 为原高风速段偏航偏差阈值;由于第3区间同样不需要较高偏航控制精度,其偏航偏差阈值范围可取 $[\theta_H, \theta_{3\max}]$ 。

由风资源自身特性可知风速越小,风向变化越频繁;相反,风速越大,湍流作用越弱,风向也越稳定。根据此特性,第1区间延迟时间可大于机组原低风速段参数值,考虑到延迟时间取值最小、最大范围 $[T_{\min}, T_{\max}]$ ,一般为 $[5, 120]\text{min}$ ,可令第1区间延迟时间取值范围为 $[T_L, T_{\max}]$ ,其中 $T_L$ 为机组原低风速段延迟时间,在此范围内寻优可以降低偏航次数,也不会明显降低发电量;而第2区间的延迟时间应小于原参数,令其取值范围为 $[T_{\min}, T_H]$ ,其中 $T_H$ 为原高风速段延迟时间阈值,应用在此范围内求取的较小延迟时间值来提高第2区间对风精度,可提高发电量;而当风速达到额定风速以后,可适当增大原高风速段的延迟时间来降低偏航控制的精度从而减轻变桨负担,同时也可降低偏航时间,当然考虑到高风速时机组所受载荷的限制,可令 $[T_H, T_{\max}]$ 为第3区间新的延迟时间取值范围。总之,3个区间控制策略下偏航控制参数具体优化范围如表1所示。

表1 偏航参数寻优范围表

Table 1 Yaw parameter optimization range

风速区间	风速范围	偏航偏差 阈值范围	延迟时间范围
第1区间	$[V_{in}, V_m]$	$[\theta_L, \theta_{l\max}]$	$[T_L, T_{\max}]$
第2区间	$[V_m, V_c]$	$[\theta_0, \theta_H]$	$[T_{\min}, T_H]$
第3区间	$[V_c, V_{out}]$	$[\theta_H, \theta_{3\max}]$	$[T_H, T_{\max}]$

## 2 风电机组SCADA数据预处理

### 2.1 剔除SCADA数据中停机点和异常值

确定需优化的目标机组后,应获取目标机组SCADA系统中记录的运行数据。为使数据分析具有统计学意义,数据时间跨度应不小于1年;而延迟时间取值范围一般在5~120 s之间,要对其进行优化,取得的SCADA数据应为秒级数据,时间间隔应不大于5 s。由于SCADA数据中包含风力发电机组所测时间段内的全部运行数据,在进行参数优化前需去除SCADA数据中存在的停机时间点数

据。另外,机械失灵、外界冲击、电磁干扰等测量条件意外改变或测量者工作失误等都可能产生错误的读数或记录,若SCADA数据混杂着这些异常值,会对正确分析产生较大的影响,致使计算和结论的可靠性降低,尤其运行数据总量不大时,会导致错误的结论,因而需剔除这些异常数据。

### 2.2 对优化前机组偏航控制状况的初步评估

由于我国大多数风场风资源并不很理想,年平均风速偏低,机组运行时间主要处在第2控制区间。在保证对偏航时间相关要求的前提下,通过优化偏航控制参数提升机组的出力性能,是此类风场优化的主要目的。因此,优化前除了计算风速与风向的湍流特性,还需计算目标机组原始SCADA数据的总发电量及偏航比作为对机组偏航运行状况的初步评价和分析,而且也能够用于优化前后的初步比较,如出现发电量增加不大或偏航比明显增大,可调整寻优策略或寻优范围重新优化。

发电量与偏航比计算式如式(1)、式(2)所示:

$$W = \sum P \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$Y_{\text{Ratio}} = \frac{T_{\text{yaw}}}{T} \quad (2)$$

式中, $W$ ——机组总发电量,kWh; $P$ ——机组SCADA偏航功率,kWh; $\Delta t$ ——SCADA数据时间间隔,s; $Y_{\text{Ratio}}$ ——偏航比; $T_{\text{yaw}}$ ——风电机组偏航时间,h; $T$ ——风电机组运行总时间,h。依据国家标准,要求偏航比不高于10%。

### 2.3 应用SCADA数据建立偏航功率模型

由风力机动量理论可得到适用于偏航功率评价的法则:

$$P_a = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 V^3 \cos^3 \theta \quad (3)$$

式中, $P_a$ ——风轮吸收功率,kW; $R$ ——风轮半径,m; $V$ ——风轮前风速,m/s; $\rho$ ——空气密度, $\text{kg/m}^3$ ; $\theta$ ——偏航偏差角,rad; $C_p$ ——风能利用系数。

因风速测量数据准确性较差,而 $C_p$ 是桨距角和叶尖速比的函数<sup>[7]</sup>,式(3)可化为:

$$P_a = \frac{1}{2} \pi \rho R^5 C_p(\lambda, \beta) \frac{1}{G^3 \lambda^3} \omega_g^3 \cos^3 \theta \quad (4)$$

式中, $\omega_g$ ——发电机转速,rad/s; $G$ ——齿轮箱速比; $\lambda$ ——尖速比; $\beta$ ——桨距角,(°)。

目前大型风力发电机组普遍采用了变速变桨



距控制技术,在控制策略上分为 2 个不同阶段,机组根据风速的高低处于不同的运行方式下:1)在风速高于额定风速的高风速阶段,主要进行以变桨控制为主的恒功率控制,偏航偏差的变化对功率影响很小,对于这部分 SCADA 数据中的功率在优化时可不做更新,只进行偏航偏差更新;2)当机组处于风速低于额定风速的低风速阶段时,主要进行最大风能捕获控制,桨距角保持最佳角度不变,通过转矩控制使风力机叶尖速比基本保持在最佳叶尖速比  $\lambda_{opt}$ ,从而保证风能利用系数为最大值  $C_{pmax}$ ,因此本阶段式(4)即为:

$$P_a = \frac{1}{2} \pi \rho R^5 C_{pmax} \frac{1}{G^3 \lambda_{opt}^3} \omega_g^3 \cos^3 \theta$$

$$= k \omega_g^3 \cos^3 \theta \quad (5)$$

考虑到测量误差、动态控制过程及发电机转换效率等因素,低风速段偏航功率模型采用为:

$$P = k \omega_g^3 \cos^3 \theta + b \quad (6)$$

式(6)中的模型参数  $k$ 、 $b$  可利用风速低于额定风速以下 SCADA 数据,应用遗传算法进行参数辨识,因不是本文重点讨论内容,此处不做赘述。

### 3 BCC 算法在偏航控制参数优化中的应用

#### 3.1 细菌群体初始化

BCC 算法是一种新的从生物行为中取得灵感的函数优化算法,它同时使用单个细菌在引诱剂环境下的应激反应和细菌群体间的位置信息的交互来进行函数优化<sup>[15,16]</sup>。BCC 算法具有较强的寻优能力及稳定性,且具有很好的收敛速度<sup>[17]</sup>。细菌群体规模会影响 BCC 算法的有效性,由  $N_{pup}$  表示初始偏航参数群体规模大小。若  $N_{pup}$  太小,不能提供足够的采样点;  $N_{pup}$  太大,会增加迭代计算量,可能使收敛时间延长。细菌之间良好的信息共享机制使得在群体达到一定规模之后就已经完全可以满足算法的需要,即能够很好地进行信息交互,从而达到调整寻优策略并得到不错的收敛效果<sup>[18]</sup>。

由于 BCC 算法操作需要,必须对细菌群体位置进行初始化。对可利用风速段的高、中、低 3 级风速区间分别进行差异性参数优化,即在 3 级风速区间下各有其偏航偏差阈值和延迟时间,可将单组群体表示为  $[\theta_1, \theta_2, \theta_3, T_1, T_2, T_3]$ ,单组群体长度

$N_{size} = 6$ 。最终生成一个大小为  $(N_{size} \times N_{pup})$  的偏航参数初始细菌群体,并根据第 1.2 节所求变量范围,将初始细菌群体中各细菌随机分布在寻优范围内的不同位置。

#### 3.2 适应度函数计算

适应度函数分为无约束条件的适应度函数和有约束条件的适应度函数两类。现实生活中的大多数问题都是有约束问题,工程中常用惩罚函数法进行处理,通过惩罚不可行解,将原始问题转换成无约束最优化问题。本优化问题是含有 1 个不等式约束项的有约束问题,其约束项为偏航比小于 0.1,选取该组控制参数下机组发电量为优化目标函数。

由于偏航控制参数改变后,原始 SCADA 数据中的某些运行数据将发生改变,即采用新偏航控制策略后的运行数据,因此需要对原始 SCADA 数据中某些时间戳的功率和偏航偏差进行更新,这样才能由更新后的 SCADA 数据计算新参数下的发电量作为优化目标函数,其中高风速段数据只需根据式(7)进行偏航偏差的数据更新,而低风速数据还需依据 3.3 节中所建偏航功率模型进行偏航功率更新,即:

$$\theta_n = \theta \pm \Delta t \cdot V_y \quad (7)$$

$$P_n = k \omega_g^3 \cos^3 \theta_n + b \quad (8)$$

式中,  $\theta_n$  ——更新后偏航误差,rad;  $V_y$  ——机舱偏航速度,rad/s;  $P_n$  ——更新后功率,kW。

使风电机组总发电量值达到最大属于适应度函数最大值的优化问题,但同时又不能明显提高偏航比,即保证偏航比满足要求,因此适应度函数中应当包含惩罚函数。惩罚函数法一般有加法和乘法两种构造方式,采用加法形式的适值函数可表示为:

$$F(x) = \begin{cases} f(x), & Y_{Ratio}(x) < Q_e \\ f(x) - C_i Y_{Ratio}(x), & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

式中,  $F(x)$  ——适应度函数;  $f(x)$  ——优化目标函数(风电机组发电量);  $C_i$  ——惩罚系数;  $Y_{Ratio}(x) < Q_e$  为约束项(要求偏航比小于某一限定值  $Q_e$ ,国家标准为 0.1)。求得适应度函数后进行常规的选择、交叉和变异运算,最终分别求得 3 个风速区间控制参数最优值。

### 3.3 算法步骤

应用 BCC 算法对风电机组偏航控制参数进行搜索寻优,该算法实施流程如图 4 所示。

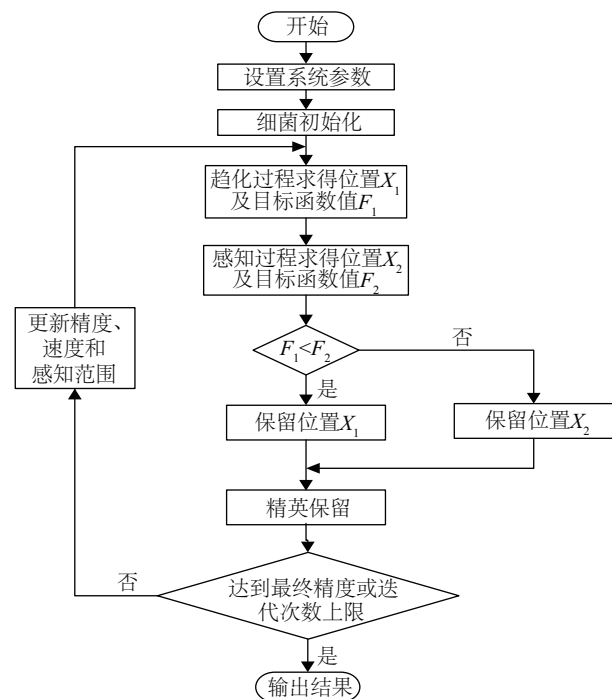


图4 BBC算法优化流程图  
Fig. 4 Flow chart of BCC algorithm

具体步骤说明如下：

- 1)设置初始收敛精度  $\varepsilon_{\text{begin}}$ 、终止收敛精度  $\varepsilon_{\text{end}}$  和进化精度更新常数  $\alpha$ ；
- 2)根据终止收敛精度  $\varepsilon_{\text{end}}$ ，求得系统参数  $T_0$ 、 $\tau_c$  和  $b$ ；
- 3)在整个寻优范围内对初始菌群进行随机分配,使细菌随机的分布在寻优范围内；
- 4)利用趋化过程和感知过程,分别求得两次的新位置及对应的适应度函数值,选取较大的适应值为  $F_{\text{best}}$ ,对应的细菌位置为  $X_{\text{best}}$ ；
- 5)利用精英保留策略对位置最差的细菌进行移动；
- 6)循环计算,直至达到最终精度或迭代次数上限。

## 4 算例与仿真验证

为了验证该优化算法的有效性,以某 1.5 MW 风力发电机组 SCADA 系统中记录的秒级运行数据进行算例分析,优化前后偏航控制参数如表 2

所示。

表2 偏航参数优化前后对比

Table 2 Comparison of yaw parameter before and after optimization

风速区间	偏航偏差/(°)		延迟时间/s	
	原始	优化后	原始	优化后
第1区间	16	20	64	83
第2区间	16	8	64	23
第3区间	8	16	20	32

优化前偏航比为 0.0936,总偏航次数为 106763 次;优化后的偏航比为 0.0961,总偏航次数为 109117 次。上述数据表明,采用新的偏航控制参数既能满足偏航比的要求,又无明显增加偏航动作次数,从而造成机组过多的疲劳损伤。由功率更新前后的 SCADA 数据可分别画出该机组在偏航控制策略优化前后的功率曲线,对比效果如图 5 所示。从图 5 的仿真结果可看出,机组风功率曲线在 7~11 m/s 风速段有较明显的改善,新的偏航控制参数在风速较高、风向变化较快时能使机组及时对风,提高风能利用效率。根据仿真计算可知,此台 1.5 MW 的风电机组优化前的年发电量约为 84.5 万 kWh,优化后的年发电量约为 86.9 万 kWh,采用新的偏航控制参数能够使机组的理论年发电量提升约为 2.84%。

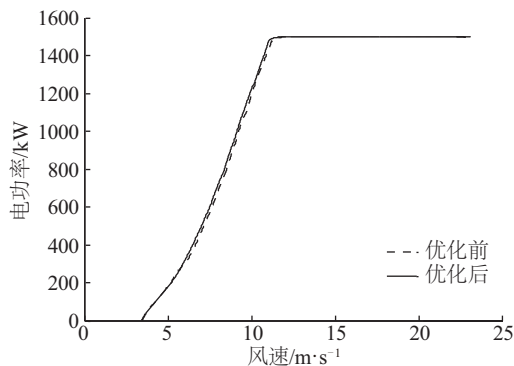


图5 控制策略优化前后风功率曲线对比

Fig. 5 Comparison of wind power curve before and after the control strategy optimization

在偏航参数优化的基础上,应用风力发电机权威仿真软件 GH bladed 的外部控制器模块对风力机的偏航控制进行仿真分析。Bladed 作为风电机组性能和载荷计算的集成化软件包具有非常良好的仿真精度,广泛应用于国内外风电行业。Bladed 软

件可利用现实中大气层湍流的统计特性,生成一个与真实风资源近似的湍流风场。此外,还应用 Bladed 动态链接库(DLL)的形式编写了偏航外部控制器,来展现 Matlab 软件所优化偏航控制参数的应用效果,图 6 为 Bladed 根据 SCADA 数据得到的风速、风向统计特性生成的湍流风速样本,图 7 为优化前后偏航状态对比图。从图 7 的仿真结果可看出,由于优化后采用相对较小的偏航偏差阈值和较短的延迟时间,机组在第 2 风速区间明显提高了偏航对风精度。在整个仿真时间内,优化前偏航偏差的标准差为 10.17,优化后偏航偏差的标准差为 8.24,偏航参数全局优化效果明显。

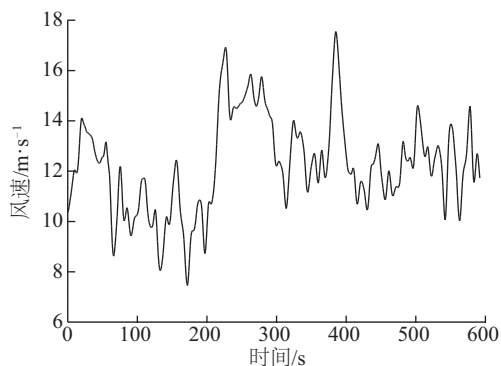


图 6 3D 湍流风速

Fig. 6 3D turbulent wind speed

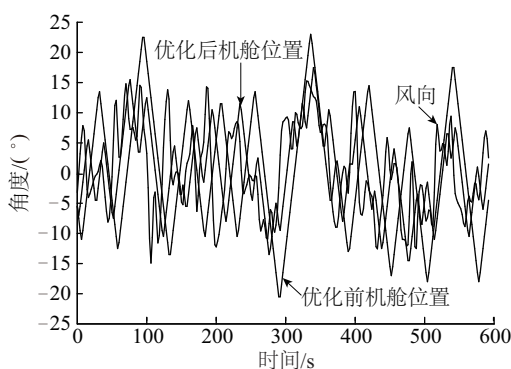


图 7 优化前后偏航状态对比图

Fig. 7 Yaw status contrast figure before and after optimization

## 5 结 论

1) 着眼于实际需求,针对风电机组偏航控制系统在实际应用中自适应水平差、针对性低的问题,以机组 SCADA 数据为基础,结合 BCC 算法进行偏航控制参数的分区间优化,可为偏航控制器设计与

优化提供方法指导与数值参考;

2) 根据不同风速下风电机组控制目的不同采用分区间的控制策略,同时考虑到不同风速下的风向变化特性差异,对风电机组偏航系统的控制性能进行评估分析来完成寻优计算,不仅显著地提升了机组的出力性能,而且不会明显提高偏航时间;

3) 为了验证参数优化方法的正确性和有效性,利用 Bladed 软件中的外控制器、3D 湍流风场生成模块并以某实际机组 SCADA 数据作为算例进行仿真与验证,仿真结果表明该优化方法具有非常好的综合优化效果。

## [参考文献]

- [1] Shariatpanah H, Fadaeinedjad R, Rashidinejad M. A new model for PMSG-based wind turbine with yaw control [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2013, 28(4): 929—937.
- [2] Choi Han-Soon, Kim Jeong-Gi, Cho Jang-Hwan, et al. Active yaw control of MW class wind turbine [A]. International Conference on Control Automation and Systems, IEEE[C]. Gyeonggi-Do, South Korea, 2010: 1075—1078.
- [3] 沈小军, 杜万里. 大型风力发电机偏航系统控制策略研究现状及展望[J]. 电工技术学报, 2015, 30(10): 196—203.
- [3] Shen Xiaojun, Du Wanli. Expectation and review of control strategy of large wind turbines yaw system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(10): 196—203.
- [4] Farret F A, Pfitscher L L, Bernardon D P. Sensorless active yaw control for wind turbines [A]. Industrial Electronics Society 2001 (IECON'01), The 27th Annual Conference of the IEEE[C], Denver, CO, USA, 2001.
- [5] 邹强, 刘波峰, 彭 镭, 等. 爬山算法在风力发电机组偏航控制系统中的应用[J]. 电网技术, 2010, 34(5): 72—76.
- [5] Zou Qiang, Liu Bofeng, Peng Lei, et al. Application of hill-climbing control algorithm in yaw control system for wind power generation sets [J]. Power System Technology, 2010, 34(5): 72—76.
- [6] 朴海国, 王志新. 风电机组偏航控制系统的新型算法: V-HC 研究[J]. 太阳能学报, 2008, 29(8): 1028—1032.

- [6] Piao Haiguo, Wang Zhixin. A new control algorithm for yaw control system of wind turbine[J]. *Acta Energaie Solaris Sinica*, 2008, 29(8): 1028—1032.
- [7] Azimi V, Menhaj M B, Fakharian A. Adaptive control of a wind turbine based on neural networks[A]. 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC) [C], Qazvin, Iran, 2013.
- [8] 杨伟欢, 叶安丽, 马鸿雁. 模糊控制在风力发电机组偏航控制系统中的应用[J]. *北京建筑工程学院学报*, 2011, 27(14): 44—48.
- [8] Yang Weihuan, Ye Anli, Ma Hongyan. Yaw control system of wind turbine based on fuzzy control[J]. *Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture*, 2011, 27(14): 44—48.
- [9] Zhu Chenghui, Li Pengju, Wang Jianping, et al. Research on intelligent controller of wind-power yaw based on modulation of artificial neuro-endocrine-immunity system[J]. *Procedia Engineering*, 2011, 15: 903—907.
- [10] 卢晓光, 岳红轩, 吴鹏, 等. 大型风机偏航状态力学分析及偏航控制策略研究[J]. *可再生能源*, 2014, 32(7): 973—977.
- [10] Lu Xiaoguang, Yue Hongxuan, Wu Peng, et al. Mechanical analysis and control strategy of yaw for large-scale wind turbine[J]. *Renewable Energy Resources*, 2014, 32(7): 973—977.
- [11] 杜杨超. 风力发电机组偏航控制策略的设计[J]. *机械管理开发*, 2015, 30(8): 23—24.
- [11] Du Yangchao. Design of yaw control strategy of the wind generating set[J]. *Mechanical Management and Development*, 2015, 30(8): 23—24.
- [12] 王欣, 吴根勇, 潘东浩, 等. 基于运行数据的风电机组偏航优化控制方法研究[J]. *可再生能源*, 2016, 34(3): 413—420.
- [12] Wang Xin, Wu Genyong, Pan Donghao, et al. Wind turbine yaw control optimization utilizing the running data[J]. *Renewable Energy Resources*, 2016, 34(3): 413—420.
- [13] 李威武, 王慧, 邹志君. 基于细菌群体趋药性的函数优化方法[J]. *电路与系统学报*, 2005, 10(1): 58—63.
- [13] Ling Weiwu, Wang Hui, Zou Zhijun. Function optimization method based on bacterial colony chemotaxis[J]. *Journal of Circuits and Systems*, 2005, 10(1): 58—63.
- [14] Yalcinoz T, Köksoy O. A multi-objective optimization method to environmental economic dispatch[J]. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2007, 29(1): 42—50.
- [15] Muller S D, Marchetto J, Airaghi S, et al. Optimization based on bacterial chemotaxis[J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, 6(1): 16—29.
- [16] Li Wei-Wu, Wang Hui, Zou Zhi-Jun, et al. Function optimization method based on bacterial colony chemotaxis[J]. *Journal of Circuits and System*, 2005, 10(1): 58—63.
- [17] 陈继明, 王元元, 孙名好, 等. 基于改进BCC算法的配电网综合运行优化[J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2015, 36(01): 87—92.
- [17] Chen Jiming, Wang Yuanyuan, Sun Mingyu, et al. Comprehensive operation optimization of distribution network based on improved bacterial colony chemotaxis algorithm[J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2015, 36(01): 87—92.
- [18] 贾利. 基于细菌群体趋药性算法的配电网开关优化配置研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [18] Jia Li. Research on optimal switching device configuration of distribution system based on bacterial colony chemotaxis[J]. Beijing: North China East Power University, 2009.

## PARAMETER OPTIMIZATION OF YAW CONTROL FOR WIND TURBINE BASED ON SCADA DATA

Gao Feng, Ling Xinmei, Liu Qiang

*(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)*

**Abstract:** The yaw control parameters for large wind turbine currently used encounters the problem of low-level adaptability to the environment and low control accuracy. The SCADA data of the unit is first analyzed and calculated to determine the boundaries line of the yaw control region, based on each interval different control strategy and the wind direction characteristics to determine the scope of the parameter optimization. Then, using the bacterial colony chemotaxis(BCC) algorithm to optimize the yaw control parameters, get high, medium and low three wind speed interval optimization of yaw deviation threshold and delay time. The simulation results of Bladed show that the optimization method increase the power generation capacity in the premise of ensuring the yaw ratio to meet the relevant requirements, so that the wind farm can obtain greater economic benefits.

**Keywords:** wind turbines; optimization; SCADA; yaw control; BCC algorithm