

改进混合半云模型在不规则风速概率分布拟合中的应用

陈绍南, 陈碧云, 韦化, 叶蕾

(广西大学 广西电力系统最优化与节能技术重点实验室, 广西 南宁 530004)

摘要: 针对基于概率密度峰值法的混合半云模型存在的模型精度易受扰动风速影响的问题, 提出了一种基于范数理论的混合半云模型峰值求解方法。首先, 由风速历史数据获得风速概率密度统计离散点; 然后, 采用范数理论选取风速概率密度离散点的拟合多项式; 最后, 求取多项式的峰值点, 并将其对应的风速值作为风速概率密度区域划分的边界, 从而建立混合半云模型。结果表明: 与基于概率密度峰值法的混合半云模型相比, 所提方法可以有效地避免扰动风速对模型概率峰值选取的影响, 模型拟合度保持在 99% 以上。所提方法提高了混合半云模型的鲁棒性和拟合精度, 有效降低了“峰值偏离”对半云模型区域划分的影响。

关键词: 风速分布; 概率密度; 峰值法; 混合半云模型; 范数理论; 拟合多项式

中图分类号: TM 71

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.04.009

0 引言

新能源的种类繁多, 风能因其清洁、无污染、可再生以及技术日益成熟、发电成本大幅降低等特点, 具备与传统发电方式竞争的潜力, 成为最具开发潜力的新能源之一。截至 2013 年, 我国风电累计装机容量达 91413 MW, 年发电量 134.9 TW·h, 成为继火电、水电之后的第三大电源^[1]。风速概率分布模型是风能资源评估^[2]、系统规划设计^[3]的基础。因此, 如何准确建立风速概率分布模型成为重要的研究课题。

由风速历史数据可实现风速概率分布模型的构建。通常概率分布模型有正态分布^[4]、瑞丽分布^[5]及威布尔(Weibull)分布^[6-7]。正态分布通过均值、方差特征表示风速的特点, 适用于具有对称特性的风速概率分布。威布尔分布则是通过形状参数和尺度参数描述不对称风速概率分布。瑞丽分布属于威布尔分布的特例, 通过尺度参数描述风速概率分布。威布尔分布模型因其模型简单、适用性较强而被广泛应用。1995 年, 李德毅教授提出了基于概率统计的定性定量转换的认知模型——云模型^[8-9], 其被广泛应用于描述概率分布不确定性问题。上述模型对于规则风速概率分布均具有较高的拟合精度, 但对于不规则风速概率分布则无法准确描述。为了更好地描述风速概率分布的特点, 文献^[10]提出了采用混合半云模型描述方法, 采用概率峰值处对应的风速值对概率分布进行区域划分, 以便有效提高风速概率分布的拟合精度。但是, 该模型的抗干扰能力较差, 当风速概率峰值附近出现扰动时, 将出现“峰值偏离”现象, 使得模型精度降低。

为此, 本文提出了一种基于范数理论^[11-12]的概率峰值选取方法, 实现风速概率密度的区域划分。分别采用范数理论中的 L_1 、 L_2 范数实现概率峰值选

取。 L_1 范数表征了 2 点连接线段对坐标轴产生的投影距离总和, 称为曼哈顿距离^[13]。 L_2 范数表征了 2 点连接线段对坐标轴产生的投影距离平方和的开方, 称为欧氏距离^[14]。采用 L_1 范数实现离散点的拟合多项式求解过程, 较 L_2 范数具有更强的奇异点抗扰动能力。然而, L_2 范数求解难度较 L_1 范数简单, 因此 L_2 范数得到更广泛的应用。文献^[15]提出采用内点法求解 L_1 范数, 使得求解难度问题得到了很好的解决。

1 基于范数理论的峰值选取方法

1.1 L_1 范数基本理论

L_1 范数通过以离散点拟合偏差绝对值之和最小为目标函数选取最优拟合多项式, 从而实现曲线拟合。因此, 可采用 L_1 范数求取风速概率密度离散点的拟合多项式。

基于 L_1 范数的 n 次拟合多项式可表示为:

$$p_{fa} = \sum_{k=0}^n b_k s^k \quad (1)$$

其中, b_k 为多项式系数; n 为多项式最高次数项; s 为多项式自变量; p_{fa} 为多项式因变量。

可通过拟合偏差曼哈顿距离大小判断模型的优劣, 求取拟合偏差曼哈顿距离的表达式为:

$$I_a = \sum_{i=1}^m \left| \sum_{k=0}^n b_k s_i^k - v_i \right| \quad (2)$$

其中, v_i 为第 i 个数据样本; m 为数据样本总数; s_i^k 为第 i 个自变量的 k 次方。

构建基于内点法的 L_1 范数求解模型, 风速概率密度离散点集 $\mathbf{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$, 其对应拟合曲线上的离散点 \mathbf{D} , 定义向量 $\mathbf{e} = [1, 1, \dots, 1]^T$, 则模型可表示为:

$$\begin{aligned} \min \mathbf{e}^T |\boldsymbol{\varepsilon}| \\ \text{s.t. } \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{Y} - \mathbf{D} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $\boldsymbol{\varepsilon}$ 为向量 \boldsymbol{Y} 与向量 \boldsymbol{D} 对应离散点间的距离向量; $|\boldsymbol{\varepsilon}|$ 为离散点之间距离绝对值的向量。

引入 $\boldsymbol{l}=(|\boldsymbol{\varepsilon}|-\boldsymbol{\varepsilon})/2 \geq 0$ 与 $\boldsymbol{u}=(|\boldsymbol{\varepsilon}|+\boldsymbol{\varepsilon})/2 \geq 0$ 这 2 个向量, 由此可得 $|\boldsymbol{\varepsilon}|=\boldsymbol{l}+\boldsymbol{u}$ 、 $\boldsymbol{\varepsilon}=\boldsymbol{u}-\boldsymbol{l}$ 。从而上述模型可转变为:

$$\begin{aligned} \min & \boldsymbol{e}^T(\boldsymbol{l}+\boldsymbol{u}) \\ \text{s.t.} & \boldsymbol{Y}-\boldsymbol{D}+\boldsymbol{l}-\boldsymbol{u}=0 \\ & \boldsymbol{l} \geq 0, \quad \boldsymbol{u} \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

根据式(4)将模型转换为标准模型:

$$\begin{aligned} \min & \boldsymbol{f}^T \boldsymbol{X} \\ \text{s.t.} & \boldsymbol{A}_{\text{eq}} \boldsymbol{X}=\boldsymbol{b}_{\text{eq}} \\ & \boldsymbol{L} \leq \boldsymbol{X} \leq \boldsymbol{U} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $\boldsymbol{f}=[1; 1; \dots; 1]_{(2m+n+1) \times 1}$; 向量 \boldsymbol{X} 由向量 \boldsymbol{l} 、 \boldsymbol{u} 和 \boldsymbol{b} 组成, $\boldsymbol{X}=[l_1; l_2; \dots; l_m; u_1; u_2; \dots; u_m; b_n; b_{n-1}; \dots; b_0]$; \boldsymbol{X} 中 $b_i(i=0, 1, \dots, n)$ 为拟合多项式系数; 向量 $\boldsymbol{U}=[\text{inf}; \text{inf}; \dots; \text{inf}]_{(2m+n+1) \times 1}$ 为向量 \boldsymbol{X} 的上界; $\boldsymbol{L}=[\overbrace{0; 0; \dots; 0}^{2m}; \overbrace{-\text{inf}; -\text{inf}; \dots; -\text{inf}}^{n+1}]_{(2m+n+1) \times 1}$ 为 \boldsymbol{X} 的下界; $\boldsymbol{b}_{\text{eq}}=\boldsymbol{Y}$; $\boldsymbol{A}_{\text{eq}}=[-\boldsymbol{o}, \boldsymbol{o}, \boldsymbol{S}]_{m \times (2m+n+1)}$ 由三部分构建而成, 具体组成部分如下。

$$\begin{aligned} \boldsymbol{o} &= \text{diag}([1, 1, \dots, 1])_{m \times m} \\ -\boldsymbol{o} &= -\text{diag}([1, 1, \dots, 1])_{m \times m} \\ \boldsymbol{S} &= \begin{bmatrix} s_1^n & s_1^{n-1} & \dots & s_1 & 1 \\ s_2^n & s_2^{n-1} & \dots & s_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ s_m^n & s_m^{n-1} & \dots & s_m & 1 \end{bmatrix}_{m \times (n+1)} \end{aligned}$$

调用 MATLAB 的 linprog 指令采用内点法实现 L_1 范数拟合多项式参数的快速求解, 指令调用格式为 $[\boldsymbol{X}]=\text{linprog}(\boldsymbol{f}, [], [], \boldsymbol{A}_{\text{eq}}, \boldsymbol{b}_{\text{eq}}, \boldsymbol{L}, \boldsymbol{U})$ 。

1.2 L_2 范数基本理论

L_2 范数通过以离散点拟合偏差欧氏距离最小为目标函数选取最优拟合多项式, 从而实现曲线拟合。因此, 可采用 L_2 范数求取风速概率密度离散点的拟合多项式。

基于 L_2 范数的 n 次拟合多项式可表示为:

$$p_{\text{fs}}=\sum_{k=0}^n a_k s^k \quad (6)$$

其中, a_k 为多项式系数; n 为多项式最高次数项; s 为多项式自变量; p_{fs} 为多项式因变量。

可通过拟合偏差欧氏距离大小判断模型的优劣, 求取拟合偏差值表达式为:

$$I_s=\sum_{i=1}^m \left(\sum_{k=0}^n a_k s_i^k - v_i \right)^2 \quad (7)$$

对式(7)求取偏导数, 得到:

$$\frac{\partial I_s}{\partial a_j}=2 \sum_{i=1}^m \left(\sum_{k=0}^n a_k s_i^k - v_i \right) s_i^j \quad j=0, 1, \dots, n \quad (8)$$

令式(8)等于 0, 求解方程组即可获得多项式系

数 a_k 的值, 从而获得拟合多项式参数。

2 基于范数理论的混合半云模型

云模型通过逆向云发生器及正向云发生器实现定性概念和定量数值之间的相互转化, 并采用期望(E_x)、熵(E_n)和超熵(H_e) 3 个数字特征描述数据整体概念^[8-9]。云模型适用于描述具有对称特性的概率分布, 而对不规则概率分布拟合存在较大误差。文献[10]利用 2 个具有不同特征参数的半云构造了混合半云模型(如图 1 所示), 大幅提高了不规则概率分布的拟合精度。

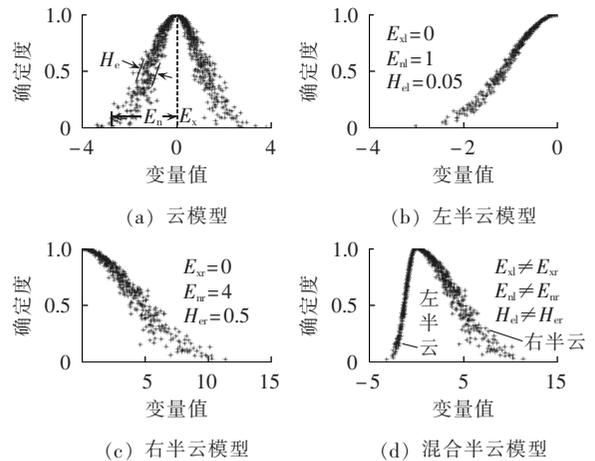


图 1 混合半云模型构建思路

Fig.1 Concept of mixed half cloud model building

图 1 中, 云模型左右区域具有相同特征参数, 而混合半云模型则具有不同特征参数。其中, 期望表征了变量的均值, 熵表征了变量的分布范围, 而超熵则表征了熵的不确定性程度, 即云滴的厚度。超熵越小, 云滴越集中, 相反则越分散。

本文针对原混合半云模型峰值选取易受扰动风速影响的问题, 提出了基于范数理论的混合半云模型构建方法, 主要建模过程如图 2 所示。

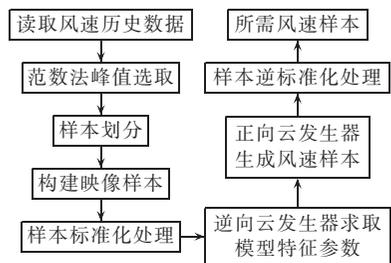


图 2 模型构建流程图

Fig.2 Flowchart of model building

以美国 Montevue 地区 2012 年时间间隔为 5 min 的风速样本^[16]为例, 绘制风速概率密度分布及正态分布检验和威布尔分布检验 Q-Q 图, 分别如图 3、4 所示。

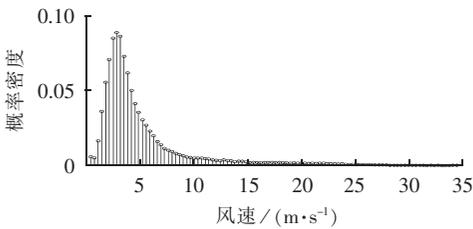
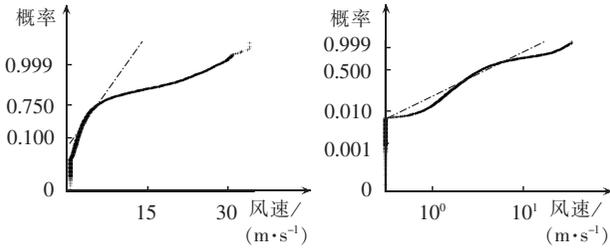


图 3 风速概率密度分布

Fig.3 Probability density distribution of wind speed



(a) 正态分布检验

(b) 威布尔分布检验

图 4 Q-Q 图

Fig.4 Q-Q plots

由图 4 可见,样本数据偏离正态分布及威布尔分布的 $y=x$ 曲线,说明该地区风速数据不符合正态及威布尔分布,具有不规则分布特性。文献[10]通过风速概率密度峰值处的风速值实现区域划分,并构建相应半云模型。当风速概率密度峰值附近出现扰动时将造成模型偏差,影响模型的准确性。原风速数据样本的概率密度峰值位于 2.6892 m/s 风速处,为了判断本文所提方法的有效性,在峰值附近 3.5 m/s 及 4 m/s 处分别增加一个扰动因素(分别称为扰动 1 和扰动 2),使得概率峰值偏离。增加扰动后的风速概率密度曲线如图 5 所示。

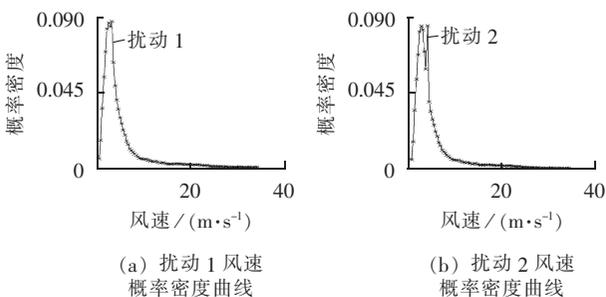
(a) 扰动 1 风速
概率密度曲线(b) 扰动 2 风速
概率密度曲线

图 5 扰动后风速概率密度曲线

Fig.5 Probability density curves of
wind speed with disturbance

由图 5 可知,采用峰值法对风速进行区域划分,将造成模型中心偏移,影响模型精度。为此,本文分别采用 L_1 和 L_2 范数实现概率峰值的选取。

根据概率密度离散变量及式(5)构建的 L_1 范数模型并采用 MATLAB 的 linprog 指令实现拟合多项式参数的求解。

而采用 L_2 范数求取拟合多项式参数步骤如下:

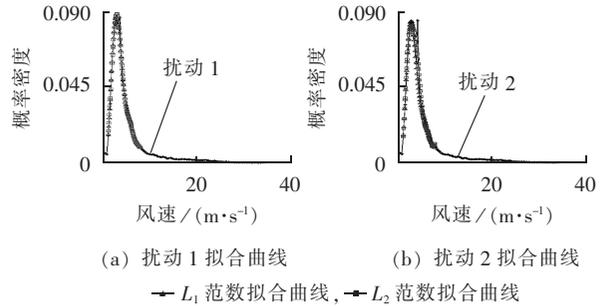
a. 通过 L_2 范数求取 c 次最优拟合多项式,初值

$c=2$;

b. 根据离散概率密度数据与拟合多项式求取偏差平方和,判断偏差平方和是否满足阈值的精度要求,满足则转步骤 c,否则 $c=c+1$,转步骤 a;

c. 由最优拟合多项式导数等于 0 求取概率峰值对应的风速值,并以此风速值作为混合半云模型区域划分的边界。

分别采用 L_1 和 L_2 范数获得扰动后的风速概率密度拟合多项式曲线,如图 6 所示。



(a) 扰动 1 拟合曲线

(b) 扰动 2 拟合曲线

— L_1 范数拟合曲线, - - L_2 范数拟合曲线

图 6 扰动后多项式拟合曲线

Fig.6 Curves of fitting polynomial of probability density
distribution for wind speeds with disturbance

由图 6 可知,基于 L_1 、 L_2 范数的拟合多项式均能很好地拟合风速概率密度曲线,并能够有效避免扰动点对拟合曲线的影响。

2.1 无扰动情况

峰值法以风速概率密度峰值对应风速值作为区域划分的边界,改进模型则以拟合多项式概率密度峰值处的风速值作为区域划分的边界。分别对无扰动风速数据进行左右区域划分、构建映像样本、样本标准化处理,左右 2 个区域的风速概率分布如图 7 所示。

由图 7 可知,模型构建过程中,区域风速概率密度分布保持单峰特性,可通过云模型有效描述。

采用逆向云发生器求取经标准化处理后的区域模型特征参数,如表 1 所示。

表 1 中,3 种方法的数字特征无法直观描述模型优劣,需通过混合半云模型的期望、熵和超熵数字特征产生的云滴与实测风速样本对比分析求取模型残差和拟合优度进行判断,残差小、拟合度高则模型较优,对比结果如表 4 所示。以峰值法为基准,范数法选取的风速概率密度峰值偏差仅为 1.42% 和 2.95%,说明范数法可有效选取风速概率密度峰值点。通过表 1 参数,分别采用峰值法混合半云模型和范数法改进混合半云模型拟合无扰动风速数据,如图 8 所示。

图 8 中,离散分布点是由模型的期望、熵和超熵 3 个数字特征随机产生的云滴。云滴的密集程度描述了该风速样本出现的可能性。左区域超熵值较小,则云滴相对集中;而右区域超熵值较大,则云滴

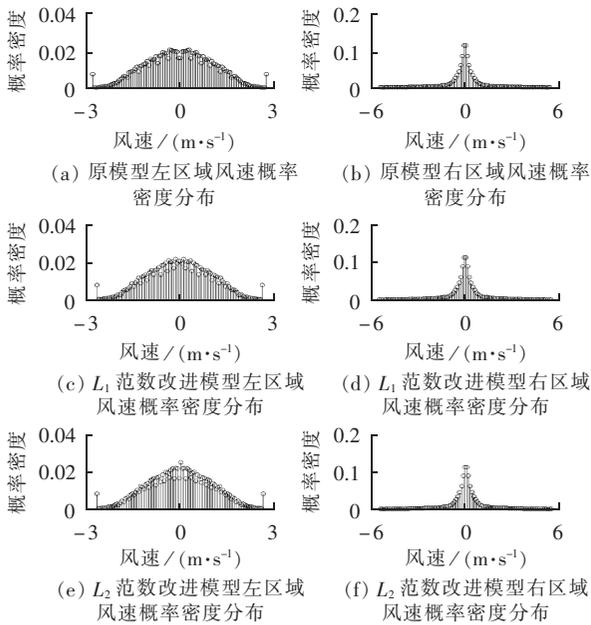


图 7 2 个区域风速概率密度分布

Fig.7 Probability density distributions of wind speed for two regions

表 1 无扰动风速样本半云模型参数

Table 1 Parameters of half cloud model for wind speed without disturbance

方法	区域	E_s	E_n	H_e	峰值风速 / ($m \cdot s^{-1}$)
峰值法	左	6.1758×10^{-15}	1.0128	0.1606	2.6892
	右	6.1476×10^{-16}	0.7133	0.7009	
L_1 范数法	左	-1.6797×10^{-14}	1.0110	0.1496	2.6510
	右	7.7476×10^{-15}	0.7094	0.7048	
L_2 范数法	左	-1.1742×10^{-13}	1.0098	0.1403	2.6100
	右	1.0179×10^{-14}	0.7033	0.7109	

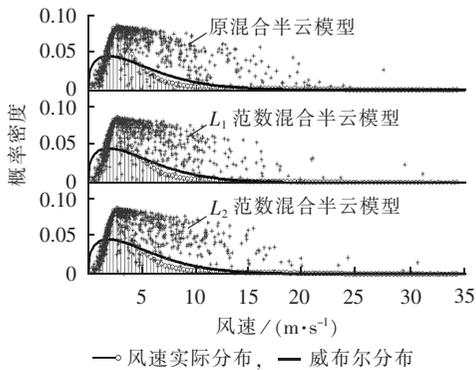


图 8 无扰动风速概率密度分布拟合曲线

Fig.8 Fitting curves of probability density distribution for wind speed without disturbance

相对分散。云滴的分布越集中,说明该处风速概率密度分布不确定性越小。

由图 7、8 及表 1 可知,峰值法与范数法对无扰动风速数据划分效果接近,峰值处风速相差 $0.0382 m/s$ 和 $0.0792 m/s$ 。说明范数法改进混合半云模型适用于拟合无扰动风速概率密度分布。

2.2 扰动 1 情况

构建经扰动 1 后风速数据区域风速概率密度分

布如图 9 所示。

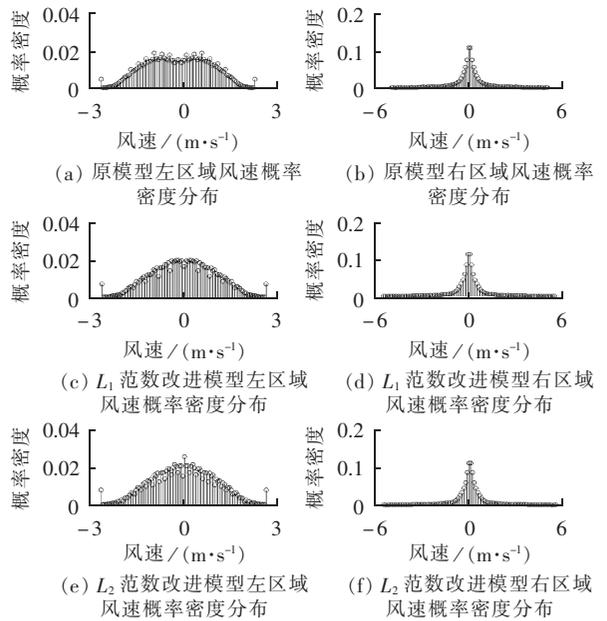


图 9 2 个区域风速概率密度分布

Fig.9 Probability density distributions of wind speed for two regions

由图 9 可知,采用峰值法对风速进行区域划分,出现峰值偏移现象,导致左区域风速概率密度分布出现双峰,这将造成拟合精度降低。而采用范数法则有效避免了该现象。

求取经过扰动 1 后区域模型特征参数,见表 2。

表 2 扰动 1 风速样本半云模型参数

Table 2 Parameters of half cloud model for wind speed with disturbance 1

方法	区域	E_s	E_n	H_e	峰值风速 / ($m \cdot s^{-1}$)
峰值法	左	-4.0709×10^{-14}	1.0029	0.2424	3.3718
	右	1.0849×10^{-15}	0.8153	0.5791	
L_1 范数法	左	-7.9996×10^{-15}	1.0132	0.1629	2.7090
	右	1.5238×10^{-14}	0.7171	0.6970	
L_2 范数法	左	-7.8238×10^{-15}	1.0110	0.1487	2.6500
	右	1.1088×10^{-14}	0.7095	0.7047	

由表 2 可知,当出现扰动情况时,峰值法选取的风速概率密度峰值由 $2.6892 m/s$ 增大为 $3.3718 m/s$,峰值出现偏移。与无扰动风速数据情况下峰值法选取的风速值相比,范数法选取的风速值的误差分别为 0.74% 和 1.46% 。通过表 2 参数,采用 2 种模型拟合经过扰动 1 后的风速数据如图 10 所示。

图 10 中,受扰动影响,原混合半云模型峰值选取出现偏移。由于模型出现右偏现象,致使左区域云滴集中程度减弱。而基于范数理论的混合半云模型基本不受扰动影响,模型稳定。

2.3 扰动 2 情况

构建经扰动 2 后风速数据左右区域风速概率分布如图 11 所示。

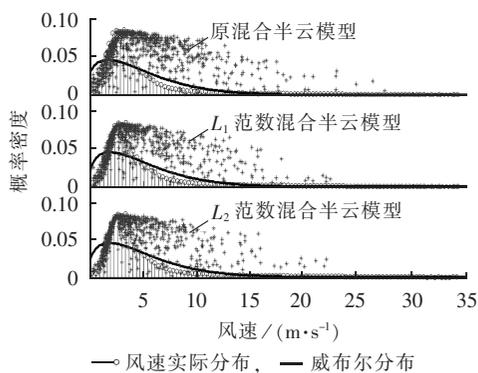


图 10 扰动 1 风速概率密度分布拟合曲线

Fig.10 Fitting curves of probability density distribution for wind speed with disturbance 1

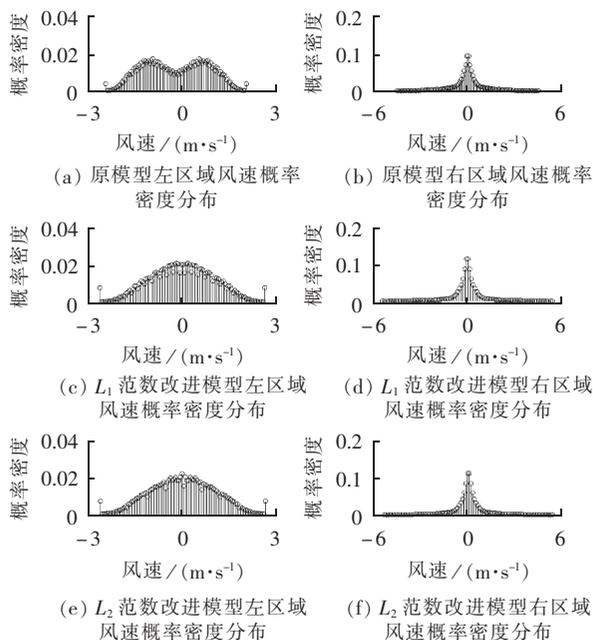


图 11 2 个区域风速概率密度分布

Fig.11 Probability density distributions of wind speed for two regions

由图 11 可知,随着扰动概率密度离原概率密度峰值越来越远,峰值法选取的风速概率密度峰值偏移现象更加严重,导致左区域风速概率密度分布出现明显双峰现象,造成拟合精度进一步下降。而范数法依然能够适应扰动造成的峰值偏移现象。

求取经过扰动 2 后区域模型特征参数,结果如表 3 所示。可见,随着扰动的增大,峰值法选取的风

表 3 扰动 2 风速样本半云模型参数
Table 3 Parameters of half cloud model for wind speed with disturbance 2

方法	区域	E_s	E_n	H_s	峰值风速 / ($m \cdot s^{-1}$)
峰值法	左	-8.2977×10^{-14}	1.0413	0.2904	4.0544
	右	-7.0145×10^{-14}	0.8807	0.4738	
L_1 范数法	左	-1.2430×10^{-13}	1.0118	0.1543	2.6570
	右	1.9240×10^{-14}	0.7084	0.7058	
L_2 范数法	左	-4.3621×10^{-14}	1.0133	0.1635	2.7300
	右	3.1832×10^{-15}	0.7223	0.6916	

速概率密度峰值由 $2.6892 m/s$ 突变为 $4.0544 m/s$, 峰值出现严重偏移。与无扰动风速数据情况下峰值法选取的风速值相比,范数法选取的风速概率密度峰值误差分别为 1.20%、1.51%。通过表 3 参数,采用 2 种模型拟合经过扰动 2 后的风速数据见图 12。

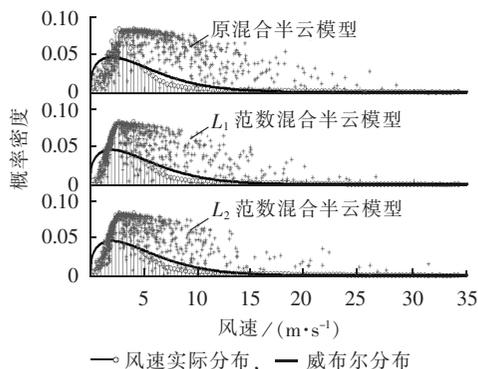


图 12 扰动 2 风速概率密度分布拟合

Fig.12 Fitting curves of probability density distribution for wind speed with disturbance 2

图 12 中,随着扰动的增大,原混合半云模型右偏现象愈发严重,致使左区域云滴集中程度进一步减小,而基于范数理论的混合半云模型依然具备良好的稳定性。

根据原风速和扰动后风速半云模型参数采用正向云发生器分别随机生成风速数据,并与历史数据进行模型残差和拟合优度比较,结果如表 4 所示。

表 4 模型残差和拟合优度比较

Table 4 Comparison of residuals and fitting goodness among models

数据	模型	残差值	拟合度/%	
无扰动 风速数据	威布尔分布	190790	90.12	
	混合半云 模型	峰值法	18778	99.03
		L_1 范数法	18707	99.03
		L_2 范数法	18893	99.02
扰动 1 风速数据	威布尔分布	195580	89.88	
	混合半云 模型	峰值法	36389	98.12
		L_1 范数法	18797	99.03
		L_2 范数法	18839	99.02
扰动 2 风速数据	威布尔分布	201170	89.59	
	混合半云 模型	峰值法	58896	96.95
		L_1 范数法	18719	99.03
		L_2 范数法	18984	99.02

表 4 中,拟合无扰动风速数据情况,采用 L_1 范数法改进混合半云模型,拟合效果最优,与峰值法混合半云模型相比,残差值降低了 71,拟合度提升了 0.01%。说明 L_1 范数法适用于无扰动风速数据,而 L_2 范数法改进混合半云模型拟合精度较峰值法略显偏低。对于扰动 1 的情况, L_1 范数法改进模型拟合效果最优,拟合残差较威布尔分布模型、峰值法模型分别降低了 176783、17592,拟合度分别提升了 9.15%、0.91%; L_2 范数法改进模型拟合效果较 L_1 范数法拟

合度降低了 0.01%,拟合效果依然较好。在扰动 2 的情况下, L_1 范数法改进模型拟合效果依然最优,拟合残差较威布尔分布模型、峰值法模型分别降低了 182 451、40 177,拟合度分别提高了 9.44%、2.08%。同时,随着扰动程度的加大,基于范数法的混合半云改进模型依然保持较高的拟合精度,并具有较好的鲁棒性。

3 结论

本文通过范数法改进混合半云模型概率密度峰值求取方法有效提高了模型鲁棒性。由计算结果得出以下结论。

a. 对于无扰动风速数据,峰值法混合半云模型及其范数法改进模型拟合精度均高于 99%,远高于威布尔分布模型的 90.12%。

b. 通过对风速概率分布扰动情况的拟合分析可知,随着扰动量增大,采用峰值法混合半云模型描述风速概率密度分布的精度不断下降,而范数法改进混合半云模型拟合度依然可保持在 99% 及以上,高于峰值法混合半云模型的 98.12% 及 96.95%。说明在应对风速扰动情况下,改进模型具有更好的鲁棒性。

参考文献:

- [1] 李俊峰,蔡丰波,乔黎明,等. 2014 中国风电发展报告[R]. 北京:中国环境科学出版社,2014.
- [2] 叶林,朱远,赵永宁,等. 风能资源分布特性的改进最大熵方法[J]. 中国电机工程学报,2014,34(34):6093-6100.
YE Lin,ZHU Yuan,ZHAO Yongning,et al. An improved approach based on maximum entropy principle for wind resource distribution characteristics[J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(34):6093-6100.
- [3] 郑静. 考虑风电场的输电系统规划研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
ZHENG Jing. Transmission system expansion planning considering wind farms[D]. Hangzhou:Zhejiang University,2013.
- [4] 江岳文,温步瀛. 结合风电功率超短期预测值偏差的实时市场调度[J]. 电力自动化设备,2015,35(3):12-17.
JIANG Yuewen,WEN Buying. Real-time market dispatch based on ultra-short-term forecast error of wind power[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(3):12-17.
- [5] 胡叶舟. 大型风电场对发输电系统可靠性影响评估研究[D]. 保定:华北电力大学,2011.
HU Yezhou. Research on reliability assessment of generation and transmission system integrate with wind farms[D]. Baoding:North China Electric Power University,2011.
- [6] 杨洪明,王爽,易德鑫,等. 考虑多风电场出力相关性的电力系统随机优化调度[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):114-120.
YANG Hongming,WANG Shuang,YI Dexin,et al. Stochastic optimal dispatch of power system considering multi-wind power correlation[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(1):114-120.
- [7] 姜欣,陈红坤,向铁元,等. 考虑调峰特性的电网风电接入能力分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(12):13-18,25.
- [8] 徐岩,陈昕. 基于合作博弈和云模型的变压器状态评估方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(3):88-93.
- [9] XU Yan,CHEN Xin. Transformer status assessment based on cooperative game and cloud model[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(3):88-93.
- [10] 苗夺谦. 不确定性与粒计算[M]. 北京:科学出版社,2011:1-22.
- [11] 陈绍南,陈碧云,韦化,等. 不规则风速概率分布的混合半云建模方法[J]. 中国电机工程学报,2015,35(6):1314-1321.
CHEN Shaonan,CHEN Biyun,WEI Hua,et al. Mixed half cloud modeling method of irregular probability distribution of wind speed[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(6):1314-1321.
- [12] 胡格丽,倪志鹏,王秋良. 一种结合快速 L_1 范数最小化算法的柱面匀场线圈目标场设计方法[J]. 中国电机工程学报,2014,34(27):4737-4742.
HU Geli,NI Zhipeng,WANG Qiuliang. Cylindrical-surface shim coil design using target-field method combined with fast L_1 norm minimization algorithm[J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(27):4737-4742.
- [13] 黄操,袁海文,马钊,等. 基于 Tikhonov 正则化方法的同步电机参数辨识[J]. 电力自动化设备,2016,36(5):107-111.
HUANG Cao,YUAN Haiwen,MA Zhao,et al. Synchronous generator parameter identification based on Tikhonov regularization method[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(5):107-111.
- [14] AGGARWAL C C,HINNEBURG A,KEIM D A. On the surprising behavior of distance metrics in high dimensional space[J]. Lecture Notes in Computer Science,2002,1973:420-434.
- [15] 柯佳佳,胡建中. 基于 Manhattan 距离与随机邻域嵌入的故障特征提取算法[J]. 计算机应用研究,2015,32(10):2992-2995.
KE Jiajia,HU Jianzhong. Fault feature extraction method based on Manhattan distance and stochastic neighbor embedding[J]. Computer Engineering and Applications,2015,32(10):2992-2995.
- [16] WEI H,SASAKI H,KUBOKAWA J,et al. An interior point method for power system weighted nonlinear L_1 norm static state estimation[J]. IEEE Transactions on Power Systems,1998,13(2):617-623.
- [17] JAMA H. Agrimet cooperative agricultural weather network[EB/OL]. (2013-01-01)[2016-07-31]. <http://www.usbr.gov/pn/agrimet/agrimetmap/mntida.html>.

作者简介:



陈绍南

陈绍南(1987—),男,广西桂平人,工程师,博士研究生,研究方向为电力系统可靠性分析与规划(E-mail:310940184@qq.com);

陈碧云(1978—),女,广西北海人,副教授,博士,研究方向为电力系统可靠性分析与规划(E-mail:451310528@qq.com);

韦化(1954—),男,广西南宁人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为现代内点理论及其在电力系统中的应用、最优潮流、电压稳定、状态估计等(E-mail:weihua@gxu.edu.cn);

叶蕾(1990—),女,广西桂林人,助理工程师,硕士研究生,研究方向为电力系统可靠性分析与规划(E-mail:357626861@qq.com)。

Application of improved mixed half cloud model in probability distribution fitting for irregular wind speed

CHEN Shaonan, CHEN Biyun, WEI Hua, YE Lei

(Guangxi Key Laboratory of Power System Optimization and Energy Technology,
Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: As the precision of the mixed half cloud model based on the probability density peak-value is easily impacted by the disturbance of wind speed, a mixed half cloud model based on the norm theory is proposed to calculate the peak-value. The statistical discrete points of wind-speed probability density are obtained based on the historical data of wind speed and the norm theory is then applied to select a fitting polynomial for these discrete points. The peak point of the polynomial is then solved and its corresponding wind speed is used as the boundary to partition the probability density regions for building a mixed half cloud model. Simulative results show that, compared with the model based on the probability density peak-value, the model based on the norm theory can effectively avoid the impact of wind-speed disturbance on the peak-value selection, keeping its fitting goodness above 99%. The proposed method improves the robustness and fitting accuracy of the mixed half cloud model and reduces the impact of peak-value deviation on the partition of its regions effectively.

Key words: wind speed distribution; probability density; peak-value method; mixed half cloud model; norm theory; fitting polynomial

(上接第 21 页 continued from page 21)

Parallel control based on dynamic consistency for distributed micro-sources

YAN Xiangwu, WANG Yueru, WANG Xinghai, QU Wei

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Traditional droop control could not easily and reasonably allocate the output power to parallel micro-sources due to different influencing factors, such as line impedance, local load, etc. A strategy of distributed control based on the dynamic consistency is proposed for the reactive-power allocation of microgrid in islanding mode, which adopts the low-bandwidth communication to realize the information exchange between adjacent micro-sources. Based on the local information and the information of adjacent micro-sources, each micro-source estimates the mean reactive-power of microgrid according to the dynamic consistency agreement. Integrator is applied to adaptively adjust the voltage bias of “reactive power”-“voltage droop” characteristic curve to ensure that the reactive-power output is allocated to parallel micro-sources according to the capacity ratio. Different operating conditions of microgrid in islanding mode are simulated and comparatively analyzed, which verifies the correctness and effectiveness of the proposed control strategy.

Key words: microgrid; distributed micro-sources; power allocation; dynamic consistency; distributed control; adaptive; communication