

基于分段支持向量机的风电机组理论功率计算研究

刘永前¹, 邵振州¹, 王 铮², 赵俊屹³

(1. 华北电力大学可再生能源学院, 北京 102206; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 3. 国网山西省电力公司, 太原 030001)

摘 要: 结合风电机组功率曲线特性与支持向量机学习方法, 建立基于分段支持向量机的风电机组理论功率计算模型。研究表明, 该模型计算精度无论是在单机理论功率计算还是全场理论功率计算方面都要高于目前已有方法。在得到高精度理论功率的基础上, 提出一个新的机组性能评价指标——出力可提高系数, 该指标能够科学地反映机组设备的运行状态与质量, 可为实现风场精细化管理提供依据。

关键词: 理论功率; 支持向量机; 分段混合模型; 出力可提高系数

中图分类号: TM614

文献标识码: A

0 引 言

风电场弃风电量的准确统计在国家对新能源产业的规划布局及发电企业的项目投资决策上均起着重要作用。统计弃风电量需知道弃风时段内风电场的理论功率, 要得到更为准确的结果则要求知道每台机组的理论功率。文献[1]综述了目前工程实际常用的4种理论功率统计方法并进行对比分析, 发现标杆风力机法误差最小。国家电监会^[2]亦规定在风电场出力受限时, 采用样板机法计算风电受限电量。文献[3]结合测风塔测风数据与风电场功率数据, 统计风电场理论功率曲线。IEC标准^[4]也提供了一种使用测风塔数据计算风电场理论功率的方法。

但以上几种目前工程中常用的风电场理论功率计算方法精度均不高, 因在一个风电场中, 每台机组运行工况不同, 不管是单台风电机还是单一的测风塔均无法与场内所有风电机均保持较好的相关性。文献[5]提出风速修正法, 对机舱测量风速进行修正应用于机组功率曲线计算理论功率。文献[6]利用CFD技术修正风速。文献[7]通过实验分析指出来流风速在经过风轮后的风速与来流风速存在着对应的映射关系, 给本文工作带来了很大

启发。文献[8]提出机舱风速法, 拟合了基于机舱风速计测量风速的理论功率曲线。

支持向量机(support vector machine, SVM)是均文献[9]提出的一类新型机器学习方法, 最初被用来处理分类问题。在后来的发展过程中, SVM在回归问题上也得到了一定的应用, 用来处理函数近似问题非常有效, 特别适合处理高维函数近似。文献[10]将SVM同BP神经网络进行比较, 结果表明SVM方法明显好于BP神经网络, 并分析了SVM优于BP神经网络的原因。

本文将机器学习方法支持向量机(SVM)应用于风电机组理论功率计算中, 通过分析风电机组功率曲线特性, 一方面将风向数据参与进训练样本, 另一方面提出支持向量机分段混合模型(PSVM)以提高计算精度。基于该计算模型, 提出一个风电机组性能动态评价指标——出力可提高系数, 用以更好地评价机组的运行情况和发电能力及预判和处理机组故障。

1 支持向量机学习方法

SVM是针对结构风险最小化原则提出的, 改变了传统的经验风险最小化原则, 因此具有很好的泛化能力。另外, SVM在处理非线性问题时, 首先将

非线性问题转化为高维空间中的线性问题,然后用一个核函数来代替高维空间中的内积运算,从而巧妙地解决了复杂计算问题,并且有效地克服了维数灾难及局部极小问题。支持向量机的结构如图 1 所示。图中 $K(x, x_a) = (\phi(x) \times \phi(x_a))$ 为相应的核函数, $\phi(x)$ 为非线性变换函数。在本文所建立模型中, x_i 是风速、风向数据, y_i 是机组功率数据。

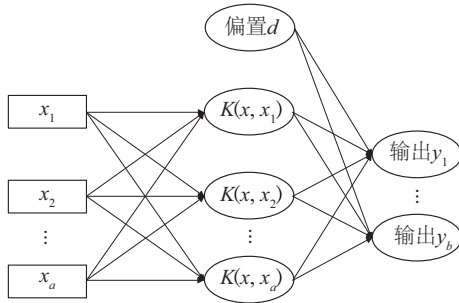


图 1 支持向量机结构图

Fig. 1 structure of SVM

选取适合的核函数是支持向量机能够取得较好效果的必要条件,径向基核函数 $K(x, x_a) = \exp\left(-\frac{\|x - x_a\|^2}{\sigma^2}\right)$ 是目前应用最为广泛的一种,本计算模型采用径向基核函数。

支持向量机一般采用式(1)来估计函数:

$$y = f(x) = \mathbf{w} \cdot \phi(x) + d \quad (1)$$

式中, \mathbf{w} ——权向量; d ——偏置量。

结构风险最小化的优化目标可转化为如下二次规划问题:

$$\begin{aligned} \min Q &= \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i^* + \xi_i) \\ \text{s.t.} &\begin{cases} y_i - \mathbf{w} \cdot \phi(x_i) - d \leq \varepsilon + \xi_i \\ \mathbf{w} \cdot \phi(x_i) + d - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i^*, \xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中, ε ——估计精度; C ——惩罚参数; ξ_i^* 、 ξ_i ——松弛因子。

引入拉格朗日乘子 α_i 和 α_i^* , 根据 KKT 条件, 式(2)可转化为以下优化问题:

$$\max W(\alpha_i, \alpha_i^*) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i (\alpha_i - \alpha_i^*) - \varepsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) \\ - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x_i, x_j) \end{cases}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i^* \\ 0 \leq \alpha_i, \alpha_i^* \leq C, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

引入拉格朗日函数, 权向量 \mathbf{w} 可写为:

$$\mathbf{w} = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) \phi(x_i) \quad (4)$$

将式(4)代入式(1)中可得:

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) (\phi(x_i) \cdot \phi(x)) + d \\ &= \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_i, x) + d \end{aligned} \quad (5)$$

利用 KKT 条件可以计算出偏置量 d :

$$\begin{cases} d = y_i - \varepsilon - \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_j, x_i), \alpha_i \in (0, C) \\ d = y_i + \varepsilon - \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_j, x_i), \alpha_i \in (0, C) \end{cases} \quad (6)$$

注意只有当 $\alpha_i \neq 0$ 且 $\alpha_i^* \neq 0$ 时, 该模型才可对预测对象进行预测和回归。

2 基于 PSVM 的理论功率计算原理

根据空气动力学原理, 风电机组功率与来流风速的 3 次方存在明确的线性关系:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (7)$$

式中, P ——风轮的输出功率; C_p ——风轮的功率系数; A ——风轮扫掠面积; ρ ——空气密度; v ——来流风速。

来流经过风轮做功后平均风速降低, 并在风轮后形成复杂的尾流区。机舱测风仪位置距离风轮较近, 处于近尾流区, 所测得风速较来流风速会有变化(不一定是降低)。整个过程作为一个流体绕流问题, 遵循质量守恒、动量守恒及能量守恒, 所以虽然机舱测风仪位置处的风速与来流风速之间不是简单的线性对应, 但是两者之间会存在一个复杂但却稳定的映射关系。国内外已有许多学者利用 CFD 技术对来流经过风轮后的风速变化做过数值分析^[11, 12]。基于此, 机舱测风数据与风电机组功率之间也会存在着一个稳定的映射关系, 利用这个关系即可以通过机舱测风数据计算得出与之对应的风电机组理论功率。

在众多影响 SVM 计算模型精度的因素中, 输

入样本与输出样本的构造对其有着重要的影响。图2是某台风电机组出厂功率曲线图,观察风电机组功率曲线可以发现,对于不同的风速范围,功率的涨幅变化呈现2种不同的态势。当风速在额定风速(此处为13 m/s)以下的时候功率随着风速的增加而呈曲线型增加,当风速在额定风速以上时功率保持不变。理论功率计算原理简而言之即通过计算归纳出输入和输出样本间的变化关系,使之在最大程度上反映两者的对应关系。若同时考虑功率曲线的分布特性及 SVM 算法的优点,将数据样本在建模前按照不同特性分类,不仅使 SVM 建立映射关系变得较为容易,不易受样本容量减少的影响,且在模型训练速度上也有提高的空间。

结合 SVM 的优点与功率变化特性曲线的特点这2个方面,本文提出支持向量机分段计算模型(PSVM)用于理论功率的计算。以额定风速为界,按照不同的风速范围将建模数据分2组,构造两个模型来对应不同区域的风速值。模型A表示当风速处于小于额定风速范围内时所需模型(对应图2中A段),模型B表示当风速处于大于额定风速范围内时所需模型(对应图2中B段)。分别建立2个模型之后,将它们整合到1个程序中。计算时首先判断其风速属于哪个分段模型,接着将其导入到相应的分段模型中。

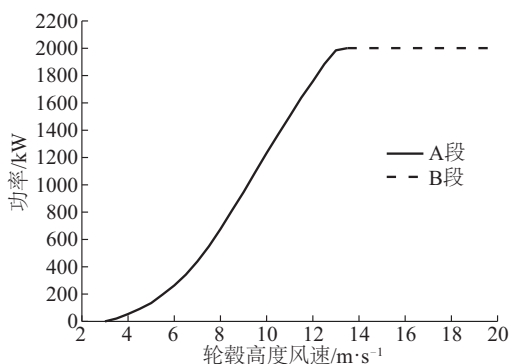


图2 某台风电机组出厂功率曲线图

Fig. 2 Power curve of one wind turbine generator system

该计算模型是基于风电机组正常运行时的机舱测风数据与机组出力数据,利用 PSVM 建立起二者之间的回归关系模型,再将之应用于其他时段的机舱测风数据,得到风电机组的理论功率,具体计算流程见图3。

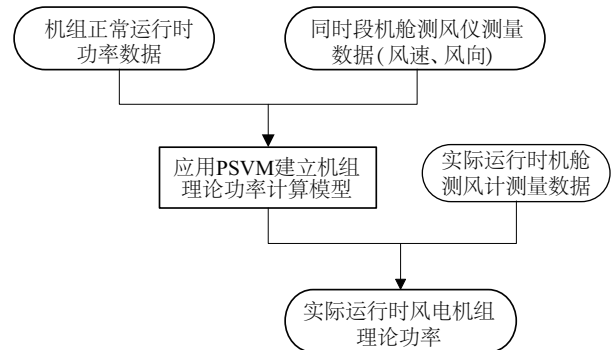


图3 风电机组理论功率计算流程

Fig. 3 Calculation flow of theoretical power generated by wind turbine

3 风电机组性能评价参数

在风电场实际运营中,业主单位会对风电机组运行情况进行考核。根据2014年中电联发布的《全国风电场生产运行指标对标评比管理办法》^[13],针对单台机组而言,最常用的考核指标是上网电量及设备可利用率。单纯的上网电量仅能用来反映设备发电量是否达到了考核目标,却无法说明更多的运行细节。当上网电量未完成目标,或者相邻机组上网电量出现较大差别时,无法对原因进行分析;设备可利用率是用来考核设备可靠性时常用的一项指标。近年来国内外在运风电场的机组可利用率均普遍达到90%以上,但是年可利用小时却相差很大,设备可利用率作为单纯时间维度的衡量无法反映设备本身的性能及发电能力,更不能准确反映机组的运行状况。目前常用的机组性能评价指标统计算法简单、易执行,但均存在问题指向性不明显、缺乏客观性和说服力等众多问题。

在火电厂运行时,机组的发电量可以准确地对应煤耗量,故可以建立起一系列以标准煤耗量为基准的机组性能评价指标^[14]。风本身具有不稳定性,无法得到每台机组前精确的来流风速。而且由于设备存在不同程度的故障或缺陷,同时由于受到运行人员操作水平、责任心等主观因素的影响,因而难以保证机组时刻在最佳状态下运行,实际功率曲线无法达到设备厂商给出的机组出厂功率曲线。基于前文提出的 PSVM 计算模型,借鉴火电机组的性能评价体系,本文提出一个动态评价参数——出力可提高系数 θ ,以表征某时刻风电机组实际功率偏离理论功率的程度。这是一个随时间不断变化

的参数,计算公式为:

$$\theta = \left| \frac{P' - P}{P_0} \right| \times 100\% \quad (8)$$

式中, P' ——机组理论功率,由本文提出的 PSVM 计算模型结合实时测风数据得到; P ——SCADA 系统采集到的机组实际功率; P_0 ——机组额定功率。值得注意的是分母取值是额定功率,因为如果分母取理论功率,在不同风速下相同的偏差量计算得到的 θ 是不同的。

风电场向安全生产管理部门上报前一天的运行数据报表时,除了常规的上网电量、自用电等数据外,可以另外加上前一天每台机组的出力可提高系数变化表及日平均可提高系数。通过这些参数可以准确定位机组运行中的异常,对于可提高系数较大的区域,风电场需要对损失电量原因进行精细拆解,在报表的同时说明原因。同时管理部门借此可以准确把握风电场每台机组的运行状况,实现精细化管理。该指标能够科学地反映机组设备的健康状态与运行质量,在运行质量考核、运行及检修指导方面具有更好的实用性。

4 算例分析

基于 PSVM 计算理论功率首先需要建立模型的数据样本,即对输入数据进行预处理,使之在更加适合风电机组功率计算的特点的同时又满足支持 PSVM 本身对数据样本的要求。本文把风速、风向和功率作为输入量,计算分析表明,相较于只考虑风速与功率间映射关系的机舱风速法,引入风向变量后计算结果误差减小,也更加科学合理。

实测风电功率中往往存在功率异常的点或是由于测风仪器测量故障造成数据缺失的点,这些与实际风电功率不符的数据统称为“坏点”。在计算前将这些“坏点”以及由于停机、限电、故障等原因造成的离散点剔除,筛选出代表风力机正常运行状态的数据用以建模,以保证计算的可靠性及精度。

为分析模型的准确度,本文使用了均方根误差和平均相对误差作为检验模型准确度的指标,分别将其应用在计算模型中比较模型的准确度。

均方根误差的定义为:

$$e_{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P'_i - P_i)^2}{N}} \quad (9)$$

平均相对误差的定义为:

$$e_{MRE} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |P'_i - P_i|}{P_0} \quad (10)$$

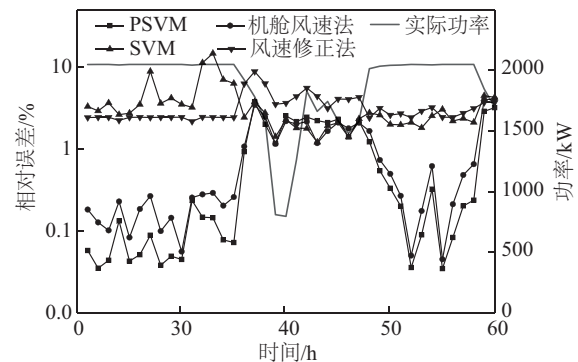
式中, e_{RMSE} 、 e_{MRE} ——理论功率计算的均方根误差和平均相对误差; P'_i 、 P_i ——理论功率计算值和实际功率; P_0 ——风电机组额定功率; N ——计算值的个数。

在平均相对误差计算中分母选择了风电机组的额定功率而不是真实功率值,这样可以更客观的反应预测误差。

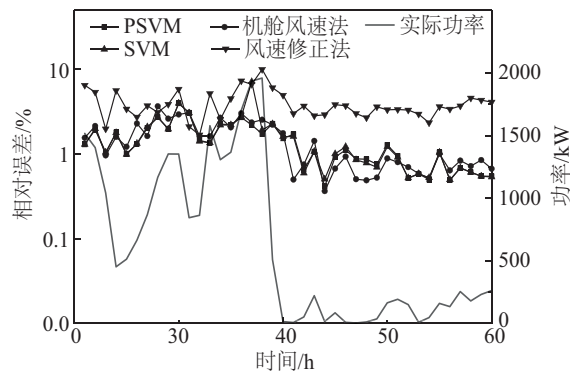
4.1 单台风电机组理论功率计算分析

本文分别选取 2 个风电场中各 1 台机组进行计算分析。风电场 I 位于华北地区,装机容量为 48 MW,安装有 24 台 2 MW 的风电机组,场址地貌类型为中山山地,海拔高度为 1350~1600 m。该风电场受弃风限电影响较大。风电场 II 位于东部地区,装机容量为 48 MW,安装有 24 台 2 MW 的风电机组,组场址地貌类型为低山丘陵,海拔高度为 170~430 m。该风场所处省份经济发达,没有消纳问题,基本不受限电影响。

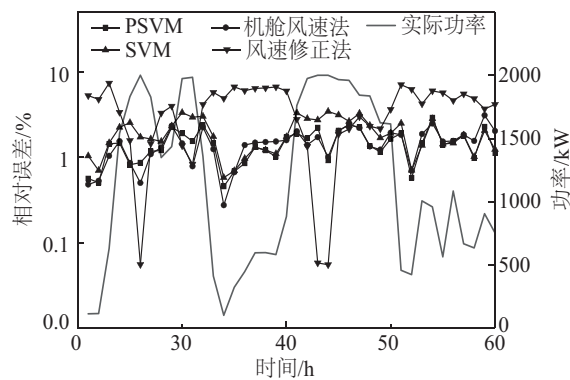
本文分别使用了基于 SVM 和改进后的 PSVM 的理论功率计算模型、风速修正法、机舱风速法计算风电机组的理论功率。为更好地体现风向数据在理论功率计算中的影响,机舱风速法也同样使用 PSVM,取代简单的曲线拟合方法。为评估不同季节的影响,分别用 2014 年的 1 月份和 8 月份这 2 个月的数据进行计算,数据分辨率为 10 min。计算结果如图 4 所示,各种方法的误差统计结果见表 1。通过对比可发现将风向数据引入训练样本可提高计算精度,但是提高量很小,为更好地对比不同计算方法计算结果,图中纵轴代表相对误差并采用对数坐标,横轴为时间序列,时间间隔为 3 h,展示了 5 d 的计算结果。



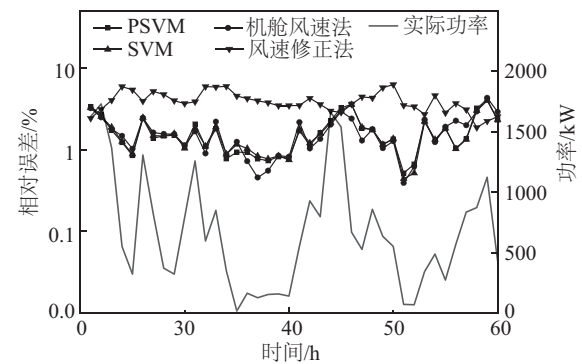
a. 2014 年 1 月份风电场 I 的 14# 风力机



b. 2014年8月份风电场 I 的 14# 风力机



c. 2014年1月份风电场 II 的 8# 风力机



d. 2014年8月份风电场 II 的 8# 风力机

图4 风力机理论功率还原效果对比

Fig. 4 Comparison of the calculated relative error of theoretical power output by different methods of wind turbine

通过图 4a~图 4d 的对比分析统计结果可知 2 个风电场的机组不管是大风月还是小风月,本文提出的基于 PSVM 的计算模型通过将模型分段,比单纯使用 SVM 可得到更为精确的计算结果,同时精确度也高于其他方法,验证了本方法的先进性。将风向变量引入参与训练模型可一定程度提高精度,但是提升空间有限。

表1 风电场 I 14#和风电场 II 8#风力机理论功率计算误差

Table 1 Error of calculated theoretical power output of 14 # wind turbine in wind farm I and 8# wind turbine in wind farm II

风力机	计算方法	1月份		8月份	
		均方根误差%	相对误差%	均方根误差%	相对误差%
风电场 I 14#风力机	PSVM	1.84	0.90	1.94	1.43
	机舱风速法	2.48	1.59	2.51	1.99
	SVM	3.97	2.53	2.47	1.56
	风速修正法	4.01	3.31	4.83	4.04
风电场 II 8#风力机	PSVM	2.00	1.46	2.18	1.66
	机舱风速法	2.73	2.11	2.76	2.28
	SVM	3.48	2.93	2.55	2.06
	风速修正法	4.88	3.94	4.34	3.96

值得注意的是,本文提出方法在小风季的计算精度相对于大风季有稍许下降的趋势。据分析可能是在大风季平均风速较高,机组在额定风速以上运行时间较多。当风速在额定风速以下的时候功率随着风速的增加而呈线型增加,当风速在额定风速以上时功率保持不变,而 PSVM 在超过额定风速后的功率还原效果更好。

4.2 全场理论功率计算分析

使用基于 PSVM 的单台机组理论功率的计算模型,将风场内所有机组的理论功率求和即为全场理论功率。为了验证该方法的准确性,本文选择风电场 II 进行算例验证。该风电场受限电影影响较小,本文选取 10 d 全场均不限电的数据作为测试样本。计算前对功率数据进行了处理,剔除由于故障

原因导致的离散点,并用相邻风力机同时刻的功率替补。为了更直观观察不同方法计算结果的对比,时间间隔设为 1 h。

本文亦用前面提到的目前工程常用的标杆风力机法与测风塔统计法进行计算并对比分析。标杆风力机共两台,数据完整质量较高。为了更好地与本方法对比,测风塔统计法也采用 PSVM 方法。3 种方法所计算得到的风电场理论功率见图 5,各自的误差统计见表 2。

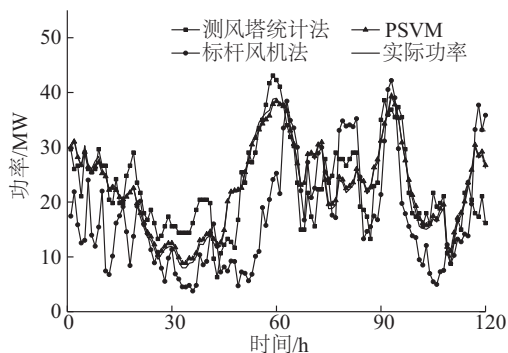


图 5 风电场 II 全场理论功率计算结果对比

Fig. 5 Comparisons of calculated theoretical powers by different methods of wind farm II

表 2 风电场 II 全场理论功率计算误差

Table 2 Error of calculated powers of wind farm II

计算方法	均方根误差%	相对误差%
测风塔统计法	6.79	4.92
标杆风力机法	10.98	8.03
PSVM	2.54	2.22

对计算结果对比分析可看出,业内主流应用的标杆机组法计算简单,但所得误差较大,准确度不高。使用本文提出的基于 PSVM 的全场功率计算方法相比其他方法能更准确地计算实际风电场出力,精度较高,且优势明显。

4.3 出力可提高系数应用计算分析

根据之前的计算分析,采用 PSVM 计算模型所得理论功率平均相对误差不会超过 2.5%。建议当机组运行时出力可提高系数长时间超过 5%时判定为机组运行异常,需要检查是什么原因以便及时发现问题,保证机组的良好运行状态。

本文选取了风电场 I 几个典型的运行状态,计算各运行状态下的理论功率及出力可提高系数 θ ,如图 6。

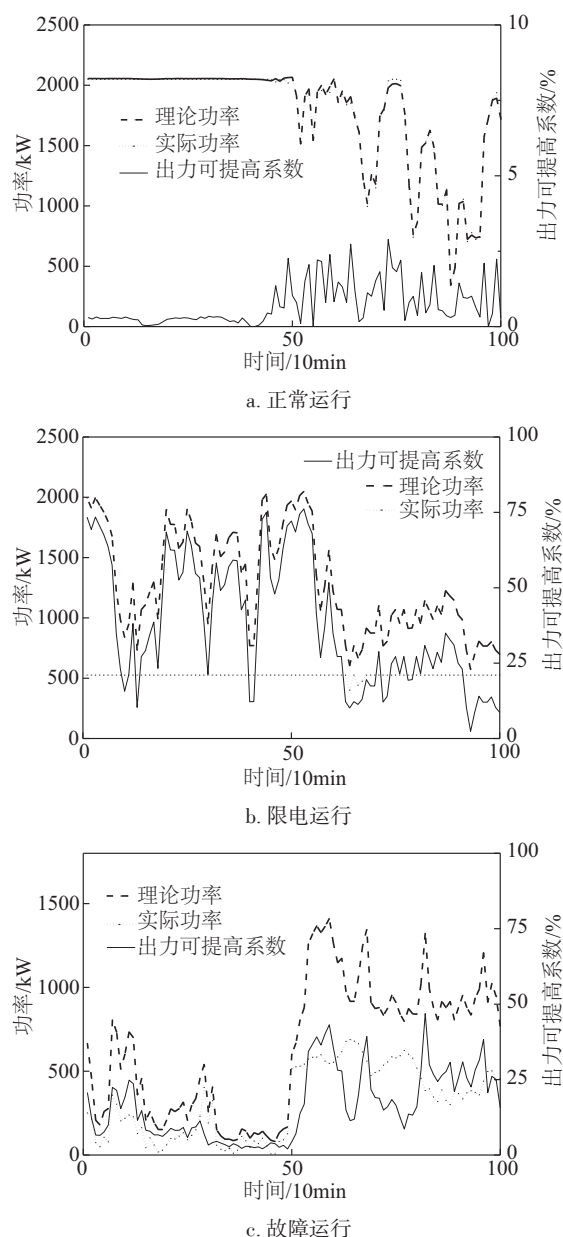


图 6 不同运行工况下出力可提高系数 θ 变化

Fig. 6 Variation of θ under different operating conditions

图 6a 中出力可提高系数一直在 5% 以下,表明机组运行状态良好。同时通过图 6a 也可发现,应用 PSVM 计算理论功率时,小于额定风速段计算精度要低于额定风速段,这可以解释前文计算中小风月计算精度低于大风月的原因。图 6b 中出力可提高系数一直维持较高水平,说明机组运行出现了问题,实际原因是该机组正在限负荷状态下运行。图 6c 中机组在实际中并未限电,也未报修故障,但是出力可提高系数也一直较高。通过观察实际功率与理论功率,发现二者有相同

的变化趋势,但是数值相差较大,据分析该机组出现了故障影响了机组的运行性能,处于“亚健康”状态。此时应该提前对该机组进行检查,排除故障。

综上,通过出力可提高系数这个指标,反映机组的各种运行状态,相较于其他运行管理类指标,可更准确定位问题,量化生产过程中的每个环节导致的损失电量,实现精细化管理。

5 结 论

本文对风电机组理论功率计算及其应用进行系统研究,建立基于 PSVM 的风电机组理论功率计算模型,得出以下结论:

1)结合风电机组功率曲线特性,建立分段混合计算模型。改进后的模型比单纯地使用 SVM 可得到更准确的计算结果。将风向变量引入参与训练模型可一定程度地提高精度,但提升空间有限。

2)通过对不同月份不同风场的算例进行计算分析,使用本文提出的基于 PSVM 的计算模型得到的单机理论功率精确度均要高于其他方法;而通过与现有的风电场弃风电量统计方法计算对比分析,本文方法计算全场弃风电量同样优势明显。

3)在使用本文方法得到高精度机组理论功率的基础上,提出一个新的机组性能评价指标——出力可提高系数。该指标能科学反映机组设备的运行状态与运行质量,为风场实行实现精细化管理提供依据。

【参考文献】

- [1] 任 华,姚秀萍,张新燕,等. 风电场弃风电量统计方法研究[J]. 华东电力, 2013, 41(10): 2148—2152.
- [1] Ren Hua, Yao Xiuping, Zhang Xinyan, et al. Statistical method for wind farm abandoned wind power[J]. East China Electric Power, 2013, 41(10): 2148—2152.
- [2] 国家电力监管委员会办公厅. 风电场弃风电量计算办法(试行)[Z]. 2012-12-19.
- [2] Wang N B, Ma M, Lv Q Q, et al. Method for calculating theoretical power of a wind farm based on extrapolation of anemometer tower data[P]. US: 20160025070, 2016.
- [4] IEC 61400-12-2. Wind turbines part 12-2, power performance of electricity producing wind turbines based on nacelle anemometry[S].
- [5] 宋颖巍,万 杰,刘 岩. 基于修正风速的风电并网运行弃风电量评估[J]. 电气应用, 2014, 23(33): 42—45.
- [5] Song Yingwei, Wan Jie, Liu Yan, et al. Wind power integration curtailment electricity assessment based on improved wind speed[J]. Electrotechnical Application, 2014, 33(23): 42—45.
- [6] 邢作霞,张鹏飞,李 媛. 基于CFD技术的风电机组功率特性评估方法[J]. 太阳能学报, 2015, 36(12): 2882—2887.
- [6] Xing Zuoxia, Zhang Pengfei, Li Yuan. Evaluation method of power characteristics of wind turbine based on cfd technology[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2015, 36(12): 2882—2887.
- [7] Smith B, Link H, Randall G, et al. Applicability of nacelle anemometer measurements for use in turbine power performance tests[A]. American Wind Energy Association (AWEA) WINDPOWER 2002 Conference [C], Oregon, USA: 2002.
- [8] 姜文玲,冯双磊,孙 勇,等. 基于机舱风速数据的风电场弃风电量计算方法研究[J]. 电网技术, 2014, 38(3): 647—652
- [8] Jiang Wenling, Feng Shuanglei, Sun Yong, et al. Study on energy loss calculation during wind power curtailment based on wind speed measured by turbine nacelle anemometers[J]. Power System Technology, 2014, 38(3): 647—652
- [9] Cortes C, Vapnic V. Support vector network[J]. Machine Learning, 1995, 20(3): 273—297.
- [10] Cao Lijuan. Support vector machines experts for time series forecasting[J]. Neurocomputing, 2003, 51(2): 321—339.
- [11] Diznabi B. Investigation of the flow relation to nacelle anemometry[D]. Denmark: Technical University of Denmark, 2009.
- [12] 李 杰,赵 萍,戚中浩,等. 风力机叶片旋转对测风仪的影响[J]. 东方汽轮机, 2012, (1): 20—25.
- [12] Li Jie, Zhao Ping, Qi Zhonghao, et al. The effect of rotating wind turbine blade to anemometer[J]. Dongfang Turbine, 2012, (1): 20—25.
- [13] 中国电力企业联合会. 关于印发《全国风电场生产运行指标对标评比管理办法》的通知[Z]. 2014-12-12.
- [14] 杨勇平,刘 彤,郭民臣,等. 关于火电机组性能评价指标的探讨[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(2): 56—60.

- [14] Yang Yongping, Liu Tong, Guo Mingchen, et al. A study on the performance evaluation index for a coal-fired power generation unit[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(2): 56—60.

PIECEWISE SUPPORT VECTOR MACHINE MODEL FOR THEORETICAL WIND-POWER CALCULATION

Liu Yongqian¹, Shao Zhenzhou¹, Wang Zheng², Zhao Junyi³

(1. School of Renewable Energy, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 3. State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan 030001, China)

Abstract: Based on the characteristics of the power curves of wind turbine generator systems and the principles of the support vector machine (SVM), a piecewise support vector machine (PSVM) model is proposed in this article to improve the precision of theoretical wind-power calculation. The results showed that the calculation accuracy of this model is higher than other existing methods on both single wind turbine and the whole wind farm. Based on the precise calculated theoretical power, an original index to evaluate the performance of the wind turbine was put forward- Output Improvement Coefficient, which can reflect the status and the quality of the wind turbines scientifically, providing the basis for the intensive management of the wind farms.

Keywords: theoretical power; support vector machine; piecewise model; output improvement coefficient