

文章编号: 1007-7588(2013)03-0673-08

风电场风速预报集合订正方法的尝试性研究

江 滢, 宋丽莉, 程兴宏

(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要:以中国气象局风能太阳能资源评估中心风能预报系统(WINPOP)预报的甘肃 HYZ 和 GHK 两个风电场 2012 年大风月风速预报结果为基础, 利用 BP 神经网络法(简称 BP 法)和自适应最小二乘法(简称 LS 法), 采用两种训练样本构建方案对风电场风速预报进行订正试验, 并尝试性使用神经网络集合方法对订正后的风速进行集合订正试验。结果发现:①经 BP 法和 LS 法等直接统计订正及其集合订正后风电场风速预报效果明显优于 WINPOP 直接预报效果, 且集合订正效果优于任何一种单一的统计订正;②与 WINPOP 直接预报相比, 单一的统计订正及其集合订正都能较好地消除系统误差;③与单一的统计订正相比, 集合订正具有更为明显的平均误差小、好日子率高、风速预报日变化幅度误差小等优势;④无论是 HYZ 风电场还是 GHK 风电场, 随着预报时效的增加, 各种预报(或订正)误差无显著差别。各种预报或订正方法的预报误差均随风速的增大而先减小后增大, 随 3h 气压变量的增加而增大。

关键词:风电场; 风速; 预报; 集合订正; 甘肃省

1 引言

随着我国风能利用的快速发展以及风电并网“瓶颈”的日益显现, 风电场风速或风电功率预报研究工作也快速发展。风电场风或风电功率预报主要有统计预报、动力预报以及统计和动力结合预报三种方式^[1-2]。统计预报是一种简单的风速和风电功率预报方法, 主要通过建立风电场大气要素和风电功率之间的经验关系以及合理的经验系数, 进行外推直接得到风电量预报值^[3-8]。统计预报的优点是方法简单、计算速度快; 缺点是过分地依赖于观测资料, 观测资料的质量和长度是决定统计预报质量的重要条件。动力预报则基于大气质量、动量、能量守恒以及大气状态方程等基本物理原理, 模拟大气运动的计算流体动力学模式, 也称为物理大气模拟预报或动力学模拟预报。动力预报模式可以较为有效地模拟风电场风场的变化背景和较大范

围的地形或海陆边界等^[9-13]。但动力模式在物理过程设计等方面存在较明显的不确定性, 致使动力预报会产生系统误差。在动力预报基础上, 利用统计模型对动力预报结果进行订正, 消除其误差, 这种将动力预报和统计订正相结合的方法称为统计和动力结合预报法。目前, 统计和动力结合预报法是风电场风速或风电功率预报最有效的方法, 统计订正方法的优劣直接影响到风电场风速或风电功率预报效果。

到目前为止, 部分学者在风电场风速或风电功率预报中都采用了统计订正方法。如孙川永^[10]、陈德花等^[14]和傅蓉等^[15]利用 BP 神经网络对风电场风速和风电功率预报进行了统计订正; 陈兴宏等^[16]、赵攀等^[17]、戚双斌等^[18]分别采用了自适应最小二乘、Kalman 滤波和支持向量机等方法对风电场风速的动力预报结果进行统计订正。然而, 这些统计订正

收稿日期: 2012-07-09; 修订日期: 2012-12-18

基金项目: 国家自然科学基金: “中国观测风速长期变化的原因和机制研究”(编号: 41205114); 中国气象局公益性行业专项: “复杂地形风能预报技术研究”(编号: GYHY201006035); 2012 年度中国气象局公共气象服务中心业务服务专项基金: “风能预报业务风速订正子系统开发”。

作者简介: 江滢, 女, 吉林通化市人, 博士, 高级工程师, 主要从事气候变化、风能太阳能资源评估和预报研究。E-mail: jiangy@cma.gov.cn

方法中,缺少统计订正集合方面的研究。当前,天气预报中的集合统计订正方法已经比较成熟^[19-23]。因此,本文将利用BP神经网络法和自适应最小二乘法,采用两种训练样本构建方案,对甘肃HYZ风电场和GHK风电场大风月(3月-6月)风速预报进行订正试验,并尝试性使用神经网络集合方法对订正后的风速进行集合预报试验。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2007年,中国气象局北京城市气象研究所建立并完善了基于WRF三维变分同化技术和WRF模式的3h周期快速更新循环同化预报系统(BJ-RUC)。该预报系统进行了三层嵌套,并同化了包括全球探空、地面、船舶、飞机等全球观测资料和自动站(AWS)等资料。2009年开始,中国气象局风能太阳能资源评估中心以BJ-RUC为基础,经过抽点、动力降尺度或统计降尺度等多种方法建立了提供风电场整场风速和风机点位上风速预报的业务服务系统(WINPOP)。本文以甘肃HYZ和GHK两个风电场2012年3月1日00时00分至6月30日23时45分每15分钟实测风速为预报和订正的参考风速,利用WINPOP预报的甘肃HYZ风电场和GHK风电场2012年3月1日至6月30日的未来72h每15分钟整个风电场预报的风速、温度、气压、风向等预报要素进行风电场风速预报的订正试验。

考虑到选取构建训练样本的实测风速和预报要素的时段应独立于预报检验时段,故3月1日00时00分至3月31日23时45分实测风速和模式直接预报要素资料仅作为训练样本使用。4月1日00时00分至6月30日23时45分资料即作为滚动的训练样本使用,也作为预报检验样本使用。训练样本选取的时段随着预报试验时间的向后推移而滚动增加,并始终保持训练样本时段独立于预报检验时段。

2.2 订正方法

利用在风电场风速预报订正中常用且效果较好的BP神经网络法(简称BP法)和自适应最小二乘法(简称LS法)对WINPOP风速预报结果进行订正试验。在构建训练样本时采用两种方案,一是用过

去10天所有时刻的预报要素(风速、风向、温度、气压和湿度)及其对应实测风速,按照时间先后顺序构建训练样本,该方案称为时间顺序方案。利用时序构建样本方案的BP法和LS法分别标识为“BP1”和“LS1”。另一种训练样本构建方案是用过去30天每天的 a 时刻预报要素(风速、风向、温度、气压和湿度)及其对应的观测风速来构建训练样本,用来订正某日 a 时刻预报风速值,称为时刻方案。利用时刻方案的风速预报订正法分别标识为“BP2”和“LS2”。直接用BP1、BP2、LS1和LS2对风电场风速预报进行统计订正的方法统称为直接统计订正方法,标识为 REV_{DR} (表1)。

2.3 集合方法

以上述4种 REV_{DR} 结果作为集合订正预报的“元”,采用BP神经网络法的时间顺序方案构建训练样本,对WINPOP预报结果进行集合订正,称为集合订正(标识为 REV_{ES});其中所有以上4种 REV_{DR} 订正结果的集合为 REV_{ESa} ;为了查看集合订正预报“元”的优劣对集合订正预报效果的影响,剔除订正效果较差的BP2结果,其它3种 REV_{DR} 订正结果的集合为 REV_{ESc} (表1)。

2.4 预报准确率评判方法

均方根误差(简称误差)是反映预报值与实测值之间接近程度的量,也是反映预报值与实测值之间的离散程度的量。计算公式为:

$$err = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (P_{Mk} - P_{Pk})^2} \quad (1)$$

式中 P_{Pk} 为第 k 时次预报值; P_{Mk} 为第 k 时次实测值; N 为样本数; err 为均方根误差。

表1 电场风速预报订正方法及标识符号

Table 1 The symbol table of wind speed's forecasting revised methods and their symbols

订正方法	详细名称	训练方案	标识符号
直接统计订正方法 (REV_{DR})	BP神经网络法	时序	BP1
		时刻	BP2
	自适应最小二乘法	时序	LS1
		时刻	LS2
BP神经网络集合 订正法(REV_{ES})	所有订正结果的集合	时序	REV_{ESa}
	剔除BP2的集合	时序	REV_{ESc}

2013年3月

3 结果分析

3.1 0~24h 预报

从4月~6月的平均情况来看(图1,表2),HYZ风电场WINPOP预报风速的平均误差为3.21m/s。经BP1、BP2、LS1和LS2订正后预报误差分别为2.58m/s、3.52m/s、2.43m/s和2.23m/s;分别将WINPOP预报误差降低(为“-”)或增加(为“+”)了-19.6%、+9.7%、-24.3%和-30.8%。经 REV_{ESa} 和 REV_{ESc} 集合订正后预报误差分别为2.16m/s和2.32m/s,分别降低了40.5%和27.7%。也就是说:①除了BP2外,经其它任何一种 REV_{DR} 订正后风速预报结果都明显优于WINPOP直接预报,其中LS1、LS2和BP1订正效果非常相近,LS法略好于BP法;

②集合订正(REV_{ES})效果也明显优于WINPOP直接预报,且 REV_{ES} 订正效果还明显优于任何一种 REV_{DR} ,其中 REV_{ESa} 集合订正略好于 REV_{ESc} 。

HYZ风电场大风月风速预报订正试验中,预报误差最大值和最小值存在与预报平均误差相似的规律(图1),都表现为除BP2外任何一种单一的 REV_{DR} 优于WINPOP直接预报; REV_{ES} 订正效果优于任何一种单一的 REV_{DR} 订正效果。

对于GHK风电场,大风月平均风速预报误差略大于HYZ风电场的预报误差。GHK风电场各种风速预报或订正效果存在与HYZ风电场相似的规律(图1,表2)。分别比较4月、5月、6月HYZ风电场和GHK风电场风速预报和订正效果发现,两个风电

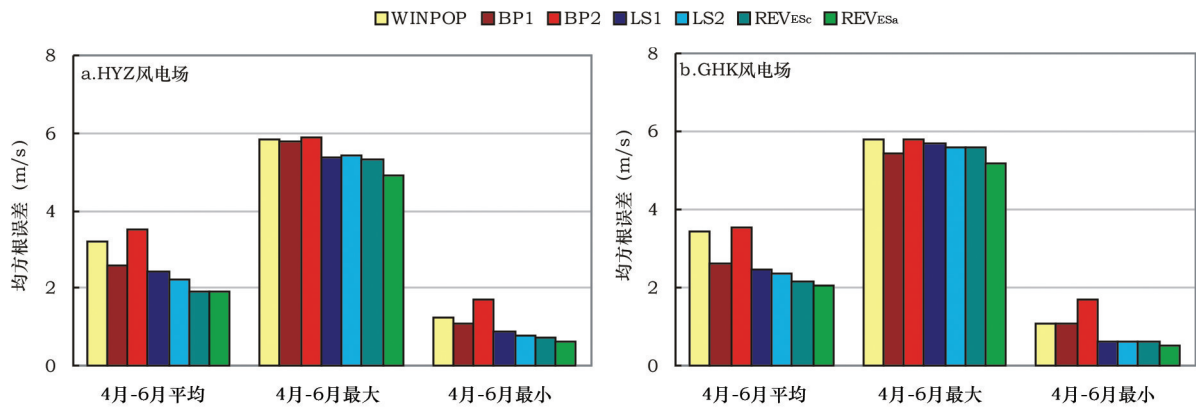


图1 WINPOP预报、统计订正及其集合订正预报HYZ风电场和GHK风电场2012年4月~6月风速均方根误差

Fig.1 Root mean square error of wind speed forecasting by WINPOP, the statistics revised methods (including BP1, BP2, LS1, LS2) and their integration revised methods for the HYZ (a) and GHK (b) wind farm from April to June, 2012

表2 WINPOP预报、统计订正及其集合订正预报HYZ风电场和GHK风电场

2012年4月~6月风速均方根误差及变化趋势

Table 2 Root mean square error and it change trend of wind speed forecasting by WINPOP, the statistics revised methods and their integration for the HYZ and GHK wind farm from April to June, 2012

	HYZ 风电场				GHK 风电场			
	0~24h 误差 (m/s)	24~48h 误差 (m/s)	48~72h 误差 (m/s)	0~72h 误差趋势 (m/(s·24h))	0~24h 误差 (m/s)	24~48h 误差 (m/s)	48~72h 误差 (m/s)	0~72 误差趋势 (m/(s·24h))
WINPOP	3.21	3.43	3.51	0.15	3.42	3.46	3.54	0.13
BP1	2.58	2.54	2.87	0.13	2.62	2.86	2.83	0.19
BP2	3.52	3.67	3.89	0.08	3.53	3.67	3.85	0.13
LS1	2.43	2.62	2.71	0.21	2.45	2.64	2.79	0.20
LS2	2.22	2.35	2.47	0.13	2.36	2.45	2.59	0.13
REV_{ESc}	2.32	2.3	2.33	-0.02	2.41	2.41	2.42	-0.02
REV_{ESa}	1.91	1.91	1.93	-0.01	2.16	2.17	2.18	-0.02

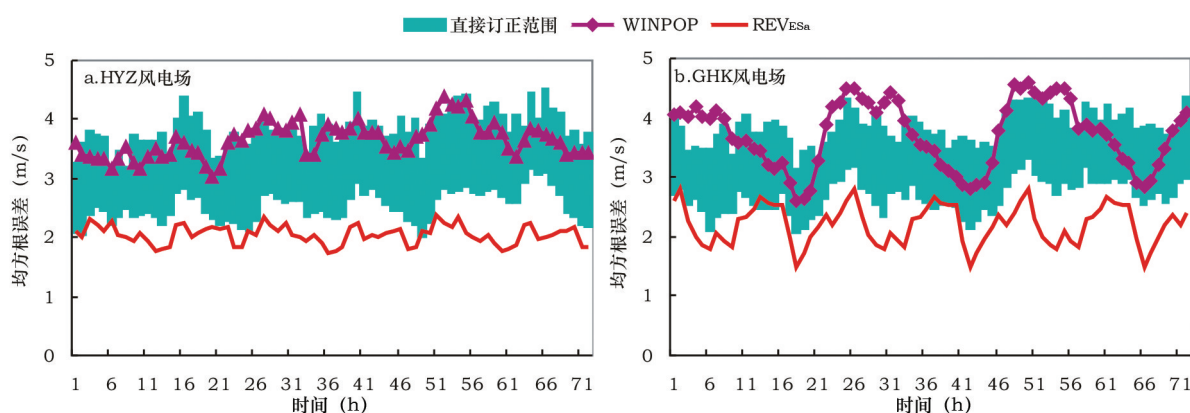


图2 HYZ和GHK风电场未来72h WINPOP预报、统计订正及其集合订正均方根误差(2012年4月-6月平均)

Fig.2 Root mean square error of future 72 hours wind speed forecasting by WINPOP, the statistics revised methods and their integration for the HYZ(a) and GHK(b) wind farm (been averaged from April to June, 2012)

场各月预报效果较接近,且都存在与大风月平均状况相似的规律。

3.2 0~72h 预报

总体来说,无论是HYZ风电场还是GHK风电场,随着预报时效的增加预报误差无显著差别(图2,表2)。具体表现为:①WINPOP预报误差在 REV_{DR} 预报误差范围的上限附近波动;② REV_{ES} 集合订正误差在任何时刻都远小于WINPOP预报误差;且几乎所有时刻都小于所有 REV_{DR} 订正误差的最小值。这充分体现了集合订正预报的优势(集合订正优势1);③WINPOP预报误差存在较为明显的日变化特征,尤其是GHK风电场; REV_{DR} 订正后,其预报误差仍存在一定的日变化周期特征;而 REV_{ES} 集合订正后明显地消除了预报误差的日变化特征,此为集合订正优势2(详见4.1节)。

从预报时效与误差关系来看(图2,表2),①未来0~72h预报误差随预报时效的增加而变化的趋势不是很显著,但仍存在一些细微的特征;②WINPOP预报和各 REV_{DR} 预报误差都存在随着预报时效增加而略增大,误差变化趋势为 $0.13\text{m}/(\text{s} \cdot 24\text{h})$ 至 $0.20\text{m}/(\text{s} \cdot 24\text{h})$ 之间;其中LS1法预报误差随预报时效的增加而增大略快,为 $0.20\text{m}/(\text{s} \cdot 24\text{h})$;③采用集合订正后,HYZ风电场未来0~72h预报误差随预报时效的增加无明显变化趋势。即,集合订正可以较好地消除随着预报时效增加而带来的预报误差的增加,此为集合订正优势3。GHK风电场预报时效与误差关系与HYZ风电场情况类似。

3.3 日预报效果分析

考察一个风电场风速订正预报方法的优劣,除了分析整体预报误差外,日平均订正效果好于WINPOP直接预报日平均预报效果的日数也是一个重要指标。为此,本文统计HYZ风电场和GHK风电场 REV_{DR} 法和 REV_{ES} 法日平均误差小于WINPOP预报日平均误差的日数占总日数的百分率(表3)。为了描述方便,将订正预报效果好于WINPOP预报日数占总日数百分率简称为“好日子率”。从表3可知,①无论是HYZ风电场还是GHK风电场,LS法好日子率比BP法好日子率略高; REV_{ES} 法好日子率比任何一个单一 REV_{DR} 的好日子率高,此为集合订正优势4;②无论是HYZ风电场还是GHK风电场,好日子率随预报时效的增加无明显变化。

表3 HYZ和GHK风电场大风月风速预报采用订正方法后日预报误差小于WINPOP日预报误差日数占总日数的比率

Table 3 The days' ratio is the days number which day average error of wind speed forecasting by revised method is less than that of WINPOP of the total days number for HYZ and GHK wind farm (%)

	HYZ风电场			GHK风电场		
	0~24h	24~48h	48~72h	0~24h	24~48h	48~72h
BP1	83	87	80	78	78	83
BP2	48	54	36	53	40	47
LS1	84	82	77	84	84	75
LS2	93	91	93	88	87	87
REV_{ESc}	94	95	95	85	90	87
REV_{ESa}	91	94	95	90	86	97

2013年3月

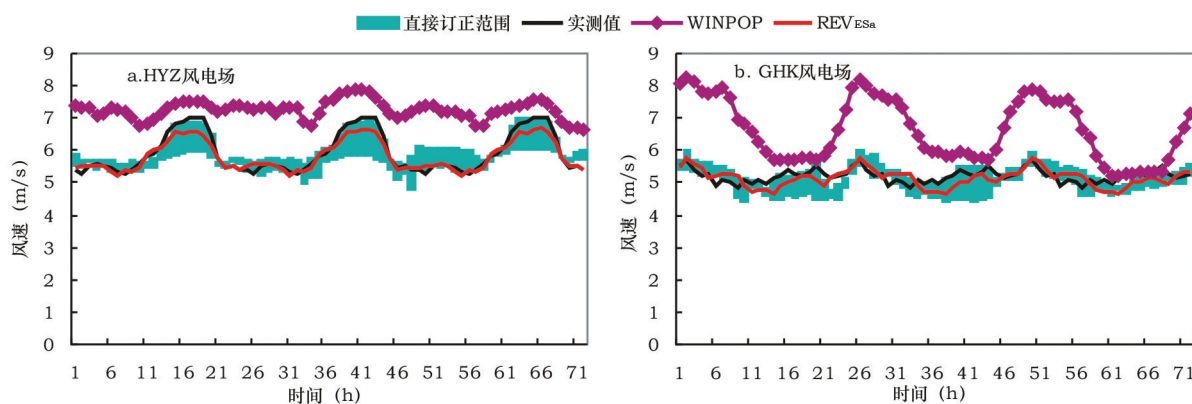


图3 HYZ和GHK风电场未来72h WINPOP、统计订正及其集合订正风速(4月-6月平均)

Fig.3 Wind speed for future 72 hours forecasting by WINPOP, the statistics revised methods and their integration for the HYZ (a) and GHK (b) wind farm (been averaged from April to June, 2012)

4 误差原因分析

4.1 系统误差

从图3可知,(1)HYZ风电场大风月平均风速5.9m/s,而WINPOP预报风速为7.3m/s,预报风速与实测风速存在明显的系统误差。大风月平均未来0~72h预报的每个时刻平均预报风速均存在WINPOP预报风速大于实测风速的情况。REV_{DR}法和REV_{ES}法都可非常明显地去除了WINPOP预报的系统误差。(2)HYZ风电场实测风速日变化特征非常突出,WINPOP基本能预报出这种特征,但预报风速日变化幅度偏小;REV_{DR}法能较为明显的预报出风速的日变化特征,但各REV_{DR}法预报风速日变化幅度略小、范围略大;REV_{ES}法更为明显地预报出风速的日变化特征,其预报风速日变化幅度与实测风速日变化幅度很接近。

与HYZ风电场相似,GHK风电场WINPOP预报风速存在明显的预报误差;经各REV_{DR}法和REV_{ES}订正后,消除了WINPOP预报风速的系统误差。与HYZ风电场所不同的是:GHK风电场实测风速存日变化特征,但幅度相对较小;WINPOP预报风速的日变化特征幅度较大;各REV_{DR}法和REV_{ES}法,尤其是REV_{ES}法,可以明显地消除WINPOP预报风速日变化幅度误差。

4.2 误差与风速

总体上来看,WINPOP预报、各REV_{DR}和REV_{ES}预报误差都随着风速的增加先减小后增大(图4)。

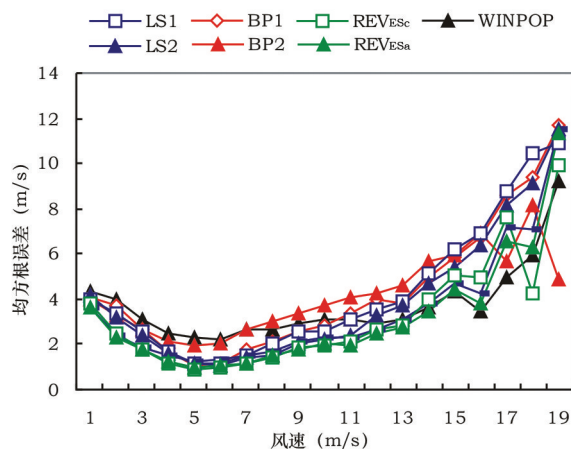


图4 WINPOP、统计订正及其集合订正预报风电场风速均方根误差与风速变化关系

Fig.4 The diagram between wind speed forecasting error and wind speed change by WINPOP, the statistics revised methods and their integration

风速在(0~5)m/s范围内,预报误差随着风速的增加而减小;风速在(5~20)m/s范围,预报误差随着风速的增加而明显增大。风速在(4~7)m/s预报误差相对最小。风速在(15~20)m/s范围,预报误差最大。

详细对比WINPOP预报、REV_{DR}和REV_{ES}预报误差与风速变化特征,发现:①在风速小于4m/s时,REV_{ES}预报误差最小,其次是REV_{DR}法,误差最大的是WINPOP;②(4~11)m/s风速段,除了BP2外,各REV_{DR}预报误差比较接近,其中REV_{ES}预报误差相对较小;③大于11m/s风速段,随着风速的增大,各REV_{DR}预报误差增大速度比WINPOP预报误差随风速增大而增大的速度快;在15m/s左右,各REV_{DR}法

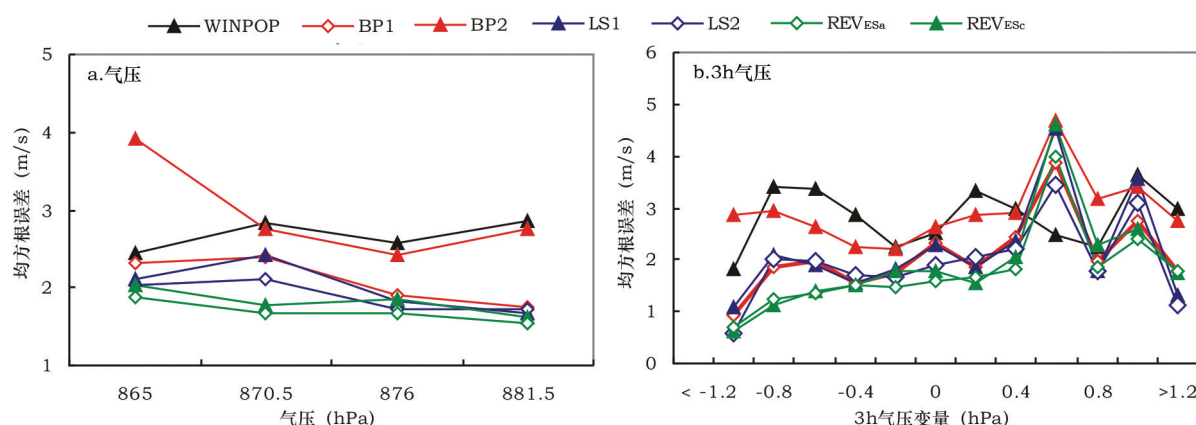


图5 WINPOP、统计订正及其集合订正预报风电场风速均方根误差与气压和3h气压变量变化关系

Fig.5 The diagram between wind speed forecasting error and the changes of surface pressure changes and the variables of 3 hours air pressure by WINPOP, the revised and its integration

预报误差开始大于WINPOP直接预报误差。风电场各种风速预报或订正方法预报风速误差与风速变化特征之间的关系同时适用于HYZ风电和GHK风电场。

4.3 误差与气压

WINPOP、REV_{DR}和REV_{ES}预报风速的误差与气压大小关系不是很显著。预报误差随着气压的增加而略减小(图5)。可能是因为,气压高时,一般天气状况较好,为非天气系统过境时,大气气流变化稳定,风速也相对稳定,较容易预报;而气压较低时,多为阴雨等有天气系统经过时,风速变化较大,较难预报。各种预报方法预报风速误差随着3h气压变量的增加而快速增大,也说明了这一点,即,气压突然剧烈变化时,会造成风电场风速预报误差的增加。

值得注意的是,本文分析风电场各种风速预报方法的预报误差与气压的关系,是建立在HYZ风电场和GHK风电场大风月(4月-6月)的预报服务基础上的,气压变化样本存在一定的局限性,因此,预报风速误差与气压的关系仅适应相同时段同地点的风速预报服务。

5 结论

(1)通过对HYZ风电场和GHK风电场大风月风速预报平均均方根误差分析可知,除了BP2外,各REV_{DR}法(BP1、LS1和LS2)风速预报误差均小于WINPOP预报的误差。BP法是考虑了 t 时刻各种预

报要素(风速、温度、气压、风向)与 t 时刻实测风速之间相关关系的同时,还考虑了 $t-1$ 和 $t-2$ 时刻各种预报要素与 $t-1$ 和 $t-2$ 时刻实测风速之间关系。而训练样本构建方案2是选择过去30天每天与预报同时刻预报要素与实测风速构建的训练样本。这种训练样本的构建方法,打乱了预报要素和实测风速的 $t-2$ 、 $t-1$ 和 t 时刻之间时间持续性,给神经网络关系的构建造成混乱,形成了BP2法较差的订正预报。而训练样本构建方案1是选取过去10天的具有时间顺序的所有时刻的预报要素和实测风速来构建训练样本,符合神经网络构建预报要素和实测风速关系的基本要求,故BP1订正预报结果较好。LS法以预报要素与实测风速之间误差最小为原则,不考虑各种要素的时间的持续性,故,两种训练样本的构建方法无明显差别。

(2)两种集合订正方法(REV_{ES})预报误差都小于WINPOP预报误差,也都小于任何一种REV_{DR}预报误差;剔除订正效果不很理想的BP2订正结果后的REV_{ESc}法的预报误差略大于所有“元”的集合订正预报REV_{ESa}的预报误差。这可能是因为,目前构建集合订正预报的“元”较少,仅有BP1、BP2、LS1和LS2 4种统计订正预报方法的结果,而集合订正预报方法在“元”较少的情况下,较差订正“元”对集合预报整体的预报效果仍有贡献。

(3)WINPOP预报、各REV_{DR}和REV_{ES}法预报误差随预报时效的增加而变化的规律不显著。

2013年3月

(4)对于日平均误差而言,除了BP2外,经各 REV_{DR} 订正后好日子率达77%~93%;经 REV_{ES} 订正后好日子率达85%~97%。

(5) REV_{DR} 和 REV_{ES} 均可非常明显去除WINPOP预报风速的系统误差; REV_{ES} 法还可以较好地修正WINPOP预报风速的日变化幅度偏差。

(6)WINPOP、各 REV_{DR} 和 REV_{ES} 都存在预报误差随着风速的增加先减小后增大变化特征。风速在(4~7)m/s范围内预报误差较小;风速在(15~20)m/s范围预报误差较大。各种预报方法预报风速的误差随着气压的增加而略减小;随着3h气压变量的增加而较快增大。

总之,在合理采用统计订正方法的基础上,经单个统计订正预报方法订正后风电场风速预报效果优于模式直接预报效果;集合订正预报效果优于任何一个单个统计订正预报效果。集合订正预报方法与直接订正预报方法相比较,集合订正预报方法具有平均误差较小、好日子率高、能较好剔除预报风速日变化幅度误差、剔除预报误差随预报时效增长而增大等方面的优势。

参考文献(References):

- [1] 柳艳香,陶树旺,张秀芝.风能预报方法研究进展[J].气候变化研究进展,2008,4(4):209-214.
- [2] Zack J. Overview of wind energy generation forecasting[R]. Albany, NY: True Wind Solutions/AWS Scientific, 2003.
- [3] Kristin A L, Tilmann G. Advanced short-range wind energy forecasting technologies—challenges: solutions and validation[R]. Chicago: Preprint of the conference “global wind power”, 2004.
- [4] 厉卫娜,苏小林.基于小波-神经网络的风电功率短期预测[J].山西电力,2012,172(2):59-62.
- [5] 刘纯,范高峰,王伟胜,等.风电场输出功率的组合预测模型[J].电网技术,2009,33(13):74-79.
- [6] Han S, Liu Y Q, Yang Y P. Wind speed prediction model of neural network based on Tabu search algorithm[C]. Harbin, China: 2nd IEEE conference on industrial electronics and applications, 2007.
- [7] Yao CA, Yu YC. Predication of sediment yield using wavelet-

neural networks[C]. Changsha China: 2010 International conference on measuring technology and mechatronics automation, 2010.

- [8] 贺志明,吴琼,陈建萍.沙岭风场风速预报试验分析[J].资源科学,2010,32(4):656-662.
- [9] Safat A L, Yamaguchi A, Ishihara T. A physical approach to wind speed prediction for wind energy forecasting[R]. Yokohama: The forth international symposium on computational wind engineering (CWE2006), 2006.
- [10] 孙川永.风电场风电功率短期预报技术研究[D].兰州:兰州大学,2009.
- [11] Kalnay E, Lord S J, McPherson R D. Maturity of operational numerical weather prediction: medium range[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, 79: 2753-2769.
- [12] Adrian G, Fiedler F. Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observations[J]. *Beitr Phys. Atmosph.* 1991, 64: 27-48.
- [13] 王文勇,陈楠.山区风场的WRF/CALMET模式模拟[J].西南交通大学学报,2010,45(6):990-996.
- [14] 陈德花,刘铭,苏卫东,等. BP人工神经网络在MM5预报福建沿海大风中的释用[J].暴雨灾害,2010,29(3):263-267.
- [15] 傅蓉,王维庆,何桂雄.基于气象因子的BP神经网络风电场风速预测[J].可再生能源,2009,27(5):86-89.
- [16] 程兴宏,陶树旺,魏磊,等.基于WRF模式和自适应偏最小二乘回归算法的风能预报试验研究[J].高原气象,2012,31(5):1461-1468.
- [17] 赵攀,戴义平,夏俊荣,等.卡尔曼滤波修正的风电场短期功率预测模型[J].西安交通大学学报,2011,45(5):47-51.
- [18] 戚双斌,王维庆,张新燕.基于支持向量机的风速与风功率预测方法研究[J].华东电力,2009,37(9):1600-1603.
- [19] Hamill T M, Jeffrey S, Whitaker, et al. Ensemble reforecasting: improving medium-range forecast skill using retrospective forecasts[J]. *Mon. Wea. Rev.*, 2004, 132(6): 1434-1447.
- [20] Hou D C, Kalnay E, Droegemeier K K. Objective verification of the SAMEX'98 ensemble forecast[J]. *Mon. Wea. Rev.*, 2001, 129(1): 72-91.
- [21] Mylne K R, Evans R E, Clark R T. Multi-model multi-analysis ensembles in quasi-operational medium-range forecasting[J]. *Q. J. R. Meteor. Soci.*, 2002, 128: 361-384.
- [22] 陈静,陈德辉,颜宏.集合数值预报发展与研究进展[J].应用气象学报,2002,13(4):497-507.
- [23] 袁重光,赵彦,李旭,等.气候预测中的集合方法初探[J].大气科学,2000,24(2):207-214.

An Integrated and Revised Method of Forecasting Wind Speed for Wind Farms

JIANG Ying, SONG Lili, CHENG Xinghong

(Public Weather Service Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Many statistical revised methods have been used in wind speed or wind power forecasting systems and research. However, these statistical methods have their own advantages. In this paper, an integrated and revised concept has been used which is more advanced and mostly used in weather forecasting. The revised test was done on wind speed for wind farms based on the observed wind speed and the forecast wind speed, temperature, air pressure, and wind direction from wind power forecasting system (WINPOP). Test methods included BP neural network, adaptive least square method and integrated methods. Test time: 1 March to 30 June 2012. Time resolution: every 15 minutes. Test place: HYZ wind farm and GHK wind farm in Gansu. Our results showed that wind speed forecasting by every single revised method is better than that of WINPOP and the error was reduced to 19.6%~30.8% and 23.4%~31.0% than that of WINPOP. The revised method error was 77%~93% and 78%~88% less than that of WINPOP for future 24 hours forecasting at HYZ and GHK. The error of integrated revised forecasting is less than that of WINPOP and every single revised forecasting. Error from the integrated revised method decreased to 40.5% and 36.8% and the percentage increased to 94% and 90% of revised error less than that of WINPOP on HYZ and GHK, respectively. Both the integrated method and single revised method remove system error of WINPOPPO remarkably. The integrated method can also remove daily variation error of WINPOP. There were no obvious changes for wind speed forecast error with prediction time increasing from 24h to 72h. The forecast error showed a decreasing trend for wind speed at (0~5)m/s and then increased for wind speeds greater than 5m/s.

Key words: Wind farms; Wind speed; Forecast; Integrated revised; Gansu Province