东北地区风能资源空间分布特征与模拟

谢今范[1],刘玉英[2],王玉昆[2],张 亮[1],于秀晶[1]

(1.吉林省气候中心,吉林 长春 130062;2.吉林省气象信息网络中心,吉林 长春 130062)

摘要:利用东北地区104个气象站1991~2010年观测资料和70个测风塔2009年6月~2010年5月测风资料,进行了风能资源空间分布特征分析,并利用中尺度模式WRF进行风能资源空间模拟,以研究观测站点稀少地区的风能资源分布特征。研究结果表明:① 东北地区气象站和测风塔揭示的大风区域主要分布在平原和丘陵的高海拔地带。② 中尺度模式WRF能够较好地模拟东北区域风速分布的气候特征,模拟结果既反映出平原大面积的大风区域,也可反映出山区因地形起伏造成的风速空间分布差异。③ 对风能资源参数模拟结果进行海拔高度订正,可以进一步提高模式计算结果的准确性和可靠性。④ 松嫩平原、辽河平原、三江平原70 m高度年平均风功率密度在300~500 W/m^{2}之间,属于风能资源可利用区或较丰富区;在辽宁省西部、吉林省中部和黑龙江省中部丘陵以及东北地区东南部的呈东北–西南走向的中高山区的70 m年平均风功率密度可达300 W/m^{2}以上,局部地方可达500 W/m^{2}以上,风能资源丰富。

关 键 词:风能资源;空间分布;数值模拟;风速;风功率密度

中图分类号:P425.6.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-0690(2014)12-1497-07

风力发电作为当今世界新能源开发中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式,并得到广泛的开发和应用[1]。近年来中国风电发展速度加快,2010年中国风电新增装机容量达到18.9 GW,累计装机容量达到44.7 GW,居全球第一位[2]。

早在20世纪80年代,朱瑞兆等[3]利用气象站观测资料开展了全国风能资源分析和区划,将全国划分为风能丰富、较丰富、可利用和贫乏4个区。2003年启动了全国风能资源普查工作,基于全国2 000多个气象站的历史观测资料,进行了距离地面10 m高度的风能资源评估[4]。中国气象局于2008年基于梯度风观测资料和数值模拟技术,进行了全国风能资源分布分析和储量计算[5]。基于上述普查结果,国内多位学者开展了全国及区域风能资源观测和特征分析[6~10]。近年来,数值模拟技术开始被应用于风能资源空间分布分析和评估。国外应用数值模拟的方法多使用风能资源评估软件WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program) [11]和WEST(The WindEnergy Simulation Toolkit) [12]进行风能资源空间分布分析和评估。在国内,多采用MM5、WRF和WEST模式进行风场模拟分析[13~16],模拟结果较好地反映了风速的日变化特征和月平均风速变化趋势以及实际风的空间分布状况。

中国东北地区大部分属于风能资源丰富区[4],但是到目前为止,关于东北地区风能资源空间分布特征方面的研究不多,仅限于对辽宁省[17,18]和黑龙江省[19]风能资源的观测分析和模拟。本文以东北地区(包括辽宁、吉林和黑龙江三省)为分析对象,利用气象站长期观测资料和测风塔短期观测资料,进行近地层(70 m以下)风能资源空间分布特征分析,利用中尺度天气预报模式WRF进行该区域风能资源空间模拟,揭示观测点稀少地区风能资源分布特征,为东北地区风电场选址、风电规划制定、进行风能资源评估提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料来源

本文所用数据包括:1991~2010年东北地区

收稿日期:2013-07-03;**修订日期**:2013-12-05

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF201232)资助。

作者简介:谢今范(1959–),男,吉林长春人,高级工程师,主要从事气候变化、气候资源开发利用工作。E-mail: xiejinfan0704@126.com

104个气象站年平均风速、2009年6月~2010年5月东北三省70个测风塔10 m和70 m测风资料(站点分布见图1)、美国国家环境预测中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)2009年1月~2010年1月逐小时再分析资料和东北地区1:250 000 DEM数据。

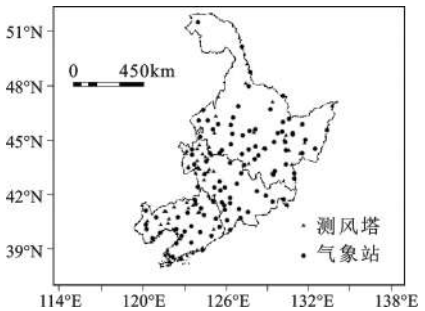


图1 研究区观测站点分布

Fig.1 Distribution of observation stations in study area

1.2 方法

1.2.1 年平均风速和年平均风功率密度的计算方法

年平均风速[4]:

$$V=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}v_i \quad (1)$$

年平均风功率密度[4]:

$$D=\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}\rho v_i^3 \quad (2)$$

式中:V为年平均风速(m/s);D为年平均风功率密度(W/m^2);ρ为平均空气密度(kg/m^3);v_i为逐小时风速(m/s);n为统计时段的小时数(h)。

空气密度由以下公式计算得出:

$$\rho=\frac{1.276}{1+0.00366t}\left(\frac{p-0.378e}{1000}\right) \quad (3)$$

式中,p为年平均大气压(hPa);e为年平均水汽压(hPa);t为年平均气温(℃)。

东北地区风力发电机轮毂一般在70 m左右,因此本文计算了10 m和70 m高度的年平均风速和年平均风功率密度值。

1.2.2 测风塔观测资料多年平均的订正方法

测风塔观测资料仅1 a,而且是跨年度观测,为了与气象站1991~2010年的多年平均值进行对比,需要把测风塔短期观测资料订正到1991~2010年的多年平均水平。根据国家标准[20]和行业标准[21],共筛选出32个气象站作为东北地区风能资源多年平均订正的参证气象站。由于2005年前后东北地区参证站测风仪器由EL型风向风速仪改为EZC-1型风向风速仪,为了保证观测资料序列的均一性,利用对比观测资料进行仪器订正。对70个测风塔10 m或70 m高度的日平均风速与相应的参证气象站同期日平均风速进行相关检验,相关系数高达0.80以上,检验信度为0.01。

利用筛选出的参证站年平均风速数据,采用行业标准[21]推荐的方法进行多年平均风速订正。

对于气象站和测风塔观测资料,基于地理信息系统(GIS)空间分析技术,采用反距离加权插值法得到年平均风速和风功率密度的空间分布图。

1.2.3 数值模拟方法

为了获取观测点稀少地区的风能空间分布,本文利用数值模拟方法对东北地区风能资源进行2009年全年的模拟。分析表明,2009年东北地区各气象站平均风速为2.73 m/s,与东北地区多年平均风速(2.76 m/s)非常接近。因此,本文认为2009年的模拟结果可以反映多年平均状况,未对数值模拟结果进行长年代订正。

本文的数值模拟方法采用中尺度天气预报模式WRF 3.1.1(Weather Research and Forecasting Model)。WRF是一种通用的中尺度数值天气预报模式,在近年来得到了深入研究和广泛应用[22~24]。初始场资料为2009年1月1日00时至2010年1月1日00时的逐小时NCEP全球再分析资料,水平分辨率为1°×1°。采用了双重嵌套方案,模拟区域的中心位置43.56°N,126.2°E,第一重嵌套格距为18 km,第二重嵌套格距为6 km,积分步长均为54 s。将WRF模式垂直分层增加为51层,模式顶气压为10 hPa。在模式物理过程的参数选择上,两重区域都采用相同的方案:微物理过程选用WSM 5-class scheme方案;长波辐射选用Rrtm方案;短波辐射选用Dudhia方案;近地面层选用Monin-Obnkhov方案;陆面过程选用Noah方案;边界层选用Global Forecast System scheme方案;积云参数化方案选用Grell-Devenyi集合方案。每日模拟一次,从前一天的12时到后一天的00时,每次模拟时间为30 h,每日模拟1次;舍弃前6 h数据,采用后24 h的模拟结果。

1.2.4 高度差影响订正法

风速随海拔高度的变化一般遵循指数律,公式为:

$$v_2=v_1\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^m \quad (4)$$

式中,v_1、v_2分别为高度z_1、z_2处的风速(m/s);m为风切变系数,可以根据测风塔观测资料计算得出。具体做法是:把DEM数据转换为与数值模拟结果相同的网格,根据网格点上DEM的高度与对应网格点的数值模拟地形高度,利用公式(7),把模拟点风速订正到DEM高度上。

2 结果与分析

2.1 气象站、测风塔风能资源空间分布

图2a为近20 a东北地区各气象站10 m高度年平均风速分布图。可见,东北地区大风区域主要分布在平原地区:松嫩平原、辽河平原和三江平原年平均风速在3.0 m/s以上,最大风速在辽宁的长海,为4.1 m/s。在接近平原的丘陵地带,年平均风速在2.5~3.0 m/s之间。山区风速最小,长白山区、小兴安岭山区的高海拔地带,年平均风速在1.5 m/s以下;最小在临江,为1.1 m/s。平原地区因地形平坦,在东北–西南走向的长白山脉和大兴安岭的阻挡下,西风气流在平原加速,形成所谓的"狭管效应",这是东北平原大风区形成的主要原因[25]。但是在丘陵和山区,随着海拔高度增加,风速趋于减小。风速的这些空间分布特征与已有研究成果相矛盾[26,27]。在自由大气中,风速随着距地面高度增加而增大,在山地区域,相同地形条件下的风速也是随着海拔高度增加而增大的[26]。

图2b为经过长年代订正10 m高度测风塔年平均风速分布图。可见,松嫩平原、辽河平原和三江平原仍然是大风区,年平均风速大多在4.5~5.0 m/s之间,由于测风塔建在野外空旷的地方,所以年平均风速较气象站偏大。在辽宁北部丘陵、南部环渤海、黑龙江东部密山的高海拔地带出现了5.0 m/s以上的大风,哈达户稍最大,达到了7.2 m/s。

图2c为经过长年代订正的70 m高测风塔年平均风速分布图。70 m高测风塔观测的年平均风速空间分布特征与10 m高度测风塔数据相似,但风速整体偏大。松嫩平原、辽河平原和三江平原仍然是大风区,年平均风速大多在6.0~7.0 m/s之间,辽宁北部丘陵、南部环渤海、黑龙江东部密山的高海拔地带出现了7.5 m/s以上的大风。

可见,大风区域不仅仅局限在平原地区,也分布在丘陵的高海拔地带。由于测风塔分布不均匀,大部分测风塔分布在平原或低海拔区域,所以还不能全面掌握山区风的分布特征。

2.2 10 m和70 m高度风能资源空间分布数值模拟结果

图3a为模式模拟的10 m高度风速空间分布。可见,大风区域主要集中在松嫩平原、辽河平原和三江平原,年平均风速大多在4.5~5.5 m/s之间。在辽宁省北部丘陵和南部环渤海地区、吉林省东部山区高海拔地带、黑龙江省北部和东部密山的高海拔地带存在着4.5 m/s以上的大风区域。山间盆地及低海拔地方风速偏小,在3.0 m/s以下。与气象站和测风塔观测结果相比,模拟结果既反映出了平原大范围的大风区域,也反映出了山区因地形起伏造成的风速空间分布差异,这说明模式对风速空间分布特征具有较好的模拟能力。这一点在文献[28]中也得到证实。在风速值的模拟上,因本文仅模拟了2009年的风速,故模拟值与多年平均气象站风速和经过长年代订正的测风塔风速有偏差,但偏差不应太大。从图3a与图2a和图2b对比可知,东北地区中部和西部模拟值较观测值偏小,东北地区北部模拟值较观测值偏大。

图3b为模式模拟的70 m高度风速空间分布。可以看出,其与10 m高度风速的空间分布特征相似。松嫩平原、辽河平原和三江平原年平均风速大多在6.0~7.0 m/s之间。在辽宁省北部丘陵和南部环渤海、吉林省东部山区高海拔地带、黑龙江省北部和东部密山的高海拔地带存在着6.5 m/s以上的大风区域。山间盆地及低海拔地方风速偏小,在5.0 m/s以下。与测风塔观测结果相比,大部分地方模拟值与观测值较为接近,特别是平原区模拟结果与观测值更为接近;但丘陵或山区的高海拔地带模拟值较观测值偏小。70 m高度的模拟值与观测值的差异较10 m高度有所减小,可能原因是随着距地面高度的增加,风受下垫面影响减小,风速因地形产生的空间分布差异也有所减小[26]。

分析数值模拟值偏离实际值的原因,既有模式计算方法的问题[29],也有地形因素。模式的地形特征与观测点的地形是存在差异的,模式本身在运行中对地形进行了一定程度的平滑,模式地形高度与实际地形存在一定差异[30,31]。丘陵或山地海拔高度与模式地形高度差异较大,在东北地区西北部和东南部,地形高度差异一般在50 m以上,部分地方差异甚至达到500~700 m。由此可见,模式地形高度与实际地形高度存在一定差异。因此,考察地形高度的差异是否对风速有影响是十

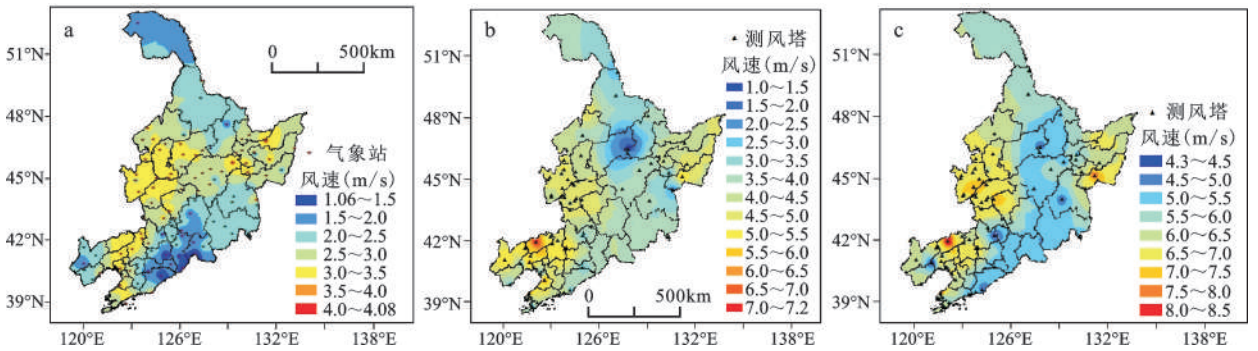


图2 东北地区10 m气象站(a)、10 m测风塔(b)和70 m测风塔(c)实测年平均风速

Fig.2 The observed annual velocity of 10 m in meteorological stations(a)、10 m observed by wind tower(b) and 70 m observed by wind tower(c)in Northeast China

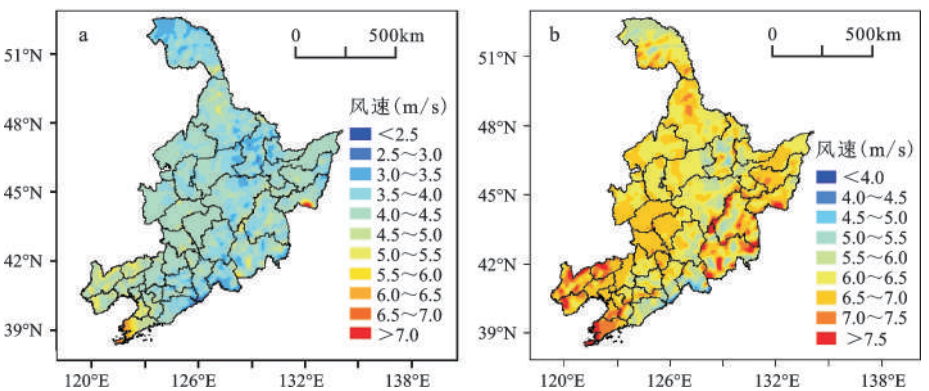


图3 东北地区10 m高度(a)和70 m高度(b)模拟年平均风速

Fig.3 The annual velocity of 10 m(a)and 70 m(b)simulated by Models in Northeast China

分必要的。

2.3 海拔高度订正后风速的模拟结果

2.3.1 海拔高度订正后测风塔模拟结果与实测结果的对比

由于模式对风的描述存在地形平滑等原因,模拟风速和实测风速不可避免地存在一定的误差,可以通过合适的订正方法,减小误差[32]。本文采用1.2.4节介绍的方法对不同高度风速模拟结果进行海拔高度订正。表1列出了代表平原、丘陵的6个测风塔10 m高度订正后的结果。可以看出,用上述方法对模拟风速进行订正后,得到的年平均风速与实测值之间误差明显减小。把观测点海拔高度划分为0~100 m、100~200 m、200~400 m和400 m以上4个等级,分析70个测风塔10 m模拟风速和订正后模拟风速相对误差出现的频率,结果见表2。可见,各高度等级订正后模拟风速的相对误差均较订正前模拟风速相对误差有所下降,0~100 m和100~200 m高度模拟风速相对误差主要集中在20%以下,订正后模拟风速相对误差更集中在10%以下;200~400 m和400 m以上高度模拟风速相对误差偏大,相对误差20%以上的频率达到27%以上,订正后相对误差明显向20%以下集中。高海拔模拟风速订正效果要好于低海拔。总的来看,这种订正方法是有效的,用来订正各模拟网格点的模拟值是适宜的。

2.3.2 海拔高度订正后年平均风速空间分布的模拟结果

采用1.2.4节介绍的方法得到订正后的模拟结果。图4a为10 m高度风速空间分布。由图可见,订正后模拟风速空间分布特征仍表现为:平原区为大面积的大风区域,丘陵和山区的高海拔地带风速较大,山间低海拔地带风速较小。但是海拔高度订正后的风速空间分布特征较订正前有所变化,主要表现在:在丘陵和山区的高海拔地带,订正后风速有所增加,大风区域扩大。

图4b为海拔高度订正后70 m高度模拟风速

表1　测风塔10 m模拟风速与观测风速对比

Table 1　The comparison of 10 m velocity simulated by Models and observed by wind tower

塔　号	海拔高度(m)和地形	实测风速(m/s)	模拟风速(m/s)	相关系数	模式海拔高度(m)	订正后模拟风速(m/s)
1号杜蒙靠山	148.4,平原	4.2	4.1	0.84	145.0	4.1
2号长岭东方红	138.0,平原	4.6	4.1	0.76	144.2	4.1
3号网户	0.5,平原	3.4	3.8	0.75	3.8	3.6
4号富锦本站	65.0,平原	4.0	4.3	0.78	59.5	4.4
5号新台子	237.3,丘陵	5.6	3.9	0.57	95.4	4.6
6号化石戈	430.0,丘陵	5.8	4.3	0.70	161.1	5.2

表2　测风塔10 m模拟风速和订正后模拟风速相对误差出现的频率(%)

Table 2　The frequency of error correction for the 10 m simulated velocity and corrected simulated velocity by wind tower(%)

相对误差	0~100 m		100~200 m		200~400 m		>400 m	
	模拟风速	订正后模拟风速	模拟风速	订正后模拟风速	模拟风速	订正后模拟风速	模拟风速	订正后模拟风速
<5%	18	36	30	33	0	20	9	27
5%~10%	18	9	30	30	20	20	27	36
10%~20%	36	36	18	18	27	20	27	18
20%~30%	9	9	15	16	13	0	18	0
>30%	9	9	7	3	40	40	9	18

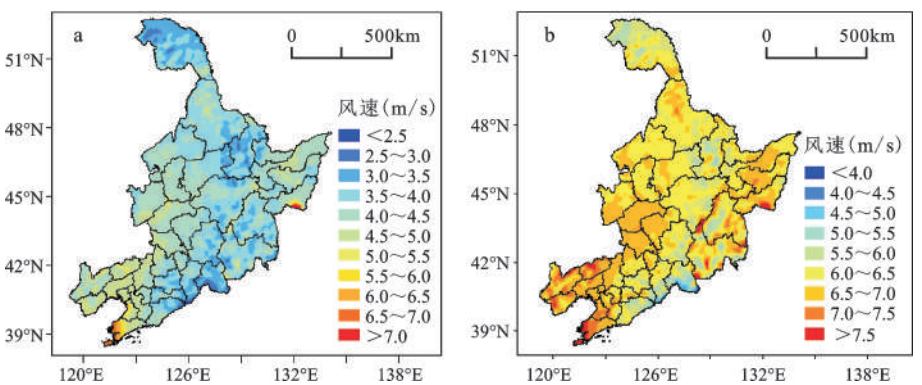


图4　海拔高度订正后10 m(a)和70 m(b)模拟风速

Fig.4　The revised velocity of 10 m(a)and 70 m(b)simulated by Models

的空间分布图。可见,订正前后风速空间分布特征变化不大,只是在丘陵和山区的高海拔地带,订正后风速有所增加。

2.3.3　海拔高度订正后年平均风功率密度空间分布特征

年平均风功率密度反映了风能资源的丰富程度,是风能资源评估的主要参数之一[20]。国标"风电场风能资源评估方法"仅对10 m、30 m和50 m高度进行了分级划分。本文利用公式(5)对70 m高度的风能资源进行了等级划分,如表3所示。

图5a为订正后10 m高度年平均风功率密度空间分布。由图可见,松嫩平原、辽河平原及辽宁西部大部分地方年平均风功率密度在100~200 W/m^2,其他大部分地方年平均风功率密度在100 W/m^{2}以下。

表3　70 m高度风功率划分标准(W/m^2)

Table 3　The classification criterion of the wind power density at height of 70 m(W/m^2)

等级	贫乏区	可利用区	较丰富区	丰富区	极丰富区
年平均风功率密度	<230	230~345	345~460	460~575	>575~690

图5b为订正后的70 m高度年平均风功率密度空间分布。由图可见,松嫩平原、辽河平原、三

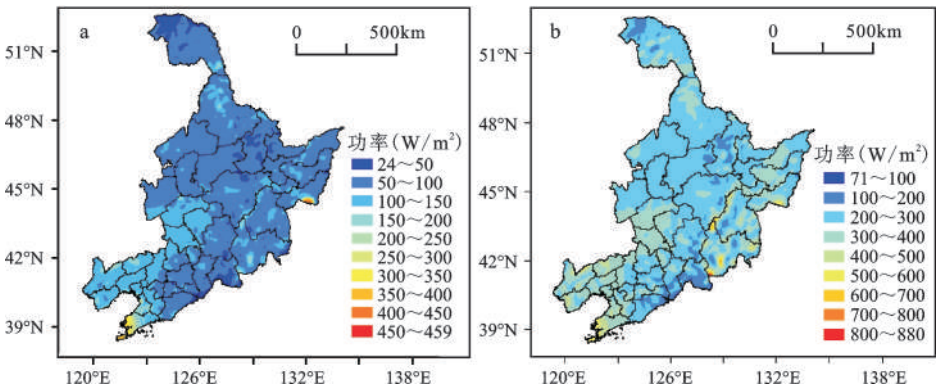


图5 模拟订正后10 m(a)和70 m(b)年平均风功率密度

Fig.5 The revised annual mean wind density of 10 m(a)and 70 m(b)simulated by Models

江平原年平均风功率密度在300~500 W/m²之间，根据表2的评估标准，属于风能资源可利用区或较丰富区。这些地方地形平坦，植被以牧草或农作物为主，适合集群安装风机，大规模发展风电产业。在辽宁省西部的大部分区域、吉林省中部和黑龙江省中部的高海拔地带存在年平均风功率密度在300 W/m²以上的风能资源较丰富区，这些地方为平原和丘陵过渡地带，平原与低山丘陵和台地相间，地表植被以农作物为主，可以有选择地安装高功率风机。在图中还可以看出，在东北地区东南部存在着风能资源丰富区，年平均风功率密度可达300 W/m²以上局部地方可达500W/m²以上，主要分布在呈东北–西南走向长白山脉的中高山区，也适宜建立风力发电场。

3 结论与讨论

本文利用东北地区长期观测资料、测风塔短期观测资料进行了近地层(70 m以下)风能资源空间分布特征分析，为了获取观测站点稀少地区的风能资源分布特征，将数值模拟技术应用于风能资源空间模拟。研究结果表明，气象站和测风塔揭示的东北地区风速空间分布特征为：大风区域主要分布在平原和丘陵的高海拔地带。中尺度天气预报模式WRF能够较好地模拟东北地区风速分布的气候特征，与气象站和测风塔观测结果相比，模拟结果既可反映平原大范围的大风区域，也能反映山区因地形起伏造成的风速的空间分布差异。尤其是在丘陵和山区高海拔地带的风能资源丰富区,这种差异用现有气象站观测资料是反映不出来的。本文的研究结果说明，将数值模式模拟结果应用到风能资源评估工作中是可行的。考虑模式地形与实际地形的差异，对风能资源参数模拟结果进行海拔高度订正，能够进一步提高模式计算结果的准确性和可靠性。东北地区风能资源丰富区主要分布在平原及丘陵和山区的高海拔地带，适合建设大规模风电场；在平原和丘陵过渡地带，可有选择地安装高功率风机；在呈东北–西南走向长白山脉的中高山区也存在着风能资源丰富区，适宜建立小规模风电场。

受到数值模式的技术水平限制以及模式参数化方案的不同，本研究模拟结果与实际观测结果仍存在一定差异。另外，气象站观测资料没有考虑城市化发展可能带来的影响。这些问题有待在今后的研究工作中研究并解决。

参考文献：

[1] 李俊峰.风力12在中国[M].北京:化学工业出版社,2005.

[2] Lan Birkby.全球风能加速扩张[J]. 投资与合作, 2011,(10): 86~87.

[3] 朱瑞兆,薛 桁.中国风能区划[J].太阳能学报,1983,**4**(2):123~132.

[4] 杨振斌.中国风能资源评估报告[M].北京：气象出版社,2006.

[5] 中国气象局风能太阳能资源评估中心.中国风能资源的详查和评估[J].风能,2011(8)：26~30.

[6] 李 艳,王 元,汤剑平.中国近地层风能资源的时空变化特征[J].南京大学学报(自然科学),2007,**43**(3)：280~291.

[7] 李 柯,何凡能,席建超.中国陆地风能资源开发潜力区域分析[J].资源科学,2010,**32**(9)：1672~1678.

[8] 毛慧琴,宋丽莉,黄浩辉,等.广东省风能资源区划研究[J].自然资源学报,2005,**20**(5)：679~683.

[9] 蒋 冲,王 飞,刘焱序,等.秦岭南北风速时空变化及突变特征分析[J].地理科学,2013,**33**(2):244~250.

[10] 曾淑玲,巩崇水,尚可政.基于实地观测的库姆塔格沙漠风场时空变化特征研究[J].中国沙漠,2011,**31**(1)：28~33.

[11] Bowen A J, N G Mortensen. Exploring the limits of WAsP: The

wind atlas analysis and application program[R]. Proceedings of the 1996 European Union Wind Energy Conference and Exhibition, Goteborg, Sweden, May 20- 24, 1996: 584-587.
[12] Yu W, Benoit R, Girard C, et al. Wind Energy Simulation Toolkit(WEST): A wind mapping system for use by the wind energy industry[J]. Wind Engineering, 2006,**30**: 15-33.
[13] 袁春红,薛 桁,杨振斌.近海区域风速数值模拟实验分析[J].太阳能学报,2004,**25**(6):741~743.
[14] 张鸿雁,丁裕国,刘 敏,等.湖北省风能资源分布的数值模拟[J].气象与环境科学,2008,**31**(2):35~38.
[15] 李 艳,汤剑平,王 元,等.区域风能资源评价分析的动力降尺度研究[J].气候与环境研究,2009,**14**(2):192~200.
[16] 张 德,朱 蓉,罗 勇,等.风能模拟系统WEST在中国风能数值模拟中的应用[J].高原气象,2008,**27**(1):202~207.
[17] 龚 强,袁国恩,汪宏宇,等.辽宁省沿海地区风能资源状况及开发潜力初步分析[J].地理科学,2006,**26**(4):483~489.
[18] 龚 强,袁国恩,张云秋,等.MM5模式在风能资源普查中的应用试验[J].资源科学,2006,**28**(1):145~150.
[19] 郑 红,于宏敏,魏 磊,等.黑龙江省风能资源再分析[J].黑龙江水专学报,2010,**37**(3):64~66.
[20] GB/T18710-2002,风电场风能资源评估方法[S].北京:中国标准出版社,2002.
[21] QX/T74-2007,风电场气象观测及资料审核、订正技术规范[S].北京:中国标准出版社,2007.
[22] 章国材.美国WRF模式的进展和应用前景[J].气象,2004,**30**(12):27~31.
[23] Joseph B Klemp. Weathe rresearch and forecasting model:Atechnical overview [R].84th AMS Annual Meeting, Seattle, USA, Jan.10th-15th, 2004.
[24] 邹旭东,杨洪斌.MM5和WRF模拟东北冷涡雷暴天气过程对比分析[J].气象与环境学报,2007,**23**(6):20~25.
[25] 周 琳.东北气候[M].北京:气象出版社,1991.
[26] 傅抱璞.山地气候[M].北京:科学出版社,1983.
[27] 顾 颖,聂义军,张掌权.风县山地不同海拔高度风场特征[J].宝鸡文理学院学报(自然科学版),2013,**33**(2):1~4.
[28] 方艳莹,徐海明,朱 蓉,等.基于WRF和CFD软件结合的风能资源数值模拟试验研究[J].气象,2012,**38**(11):1378～1389.
[29] 廖洞贤.论当前大气模式存在的若干问题[J].应用气象学报,1996,**7**(2):238~245.
[30] 孙玉婷,高庆九,闵锦忠.再分析温度资料与西藏地区冬、夏季观测气温的比较[J].高原气象,2013,**32**(4):909~920.
[31] 辛 渝,汤剑平,赵逸舟,等.模式不同分辨率对新疆达坂城——小草湖风区地面风场模拟结果的分析[J].高原气象,2010,**29**(4):884~893.
[32] 穆海振,徐家良,杨永辉.数值模拟在上海海上风能资源评估中的应用[J].高原气象,2008,**27**(增刊):196~202.

Spatial Distribution Characteristics of Wind Resource and Its Simulation in Northeast China

XIE Jin-fan[1], LIU Yu-ying[2], WANG Yu-kun[2], ZHANG Liang[1], YU Xiu-jing[1]

(1. *Climate Center of Jilin Province,Changchun ,Jilin* 130062,*China*; 2. *Meteorological Information Network Center of Jilin Province , Changchun ,Jilin* 130062, *China*)

Abstract: The data of 104 meteorological stations during 1991-2010 and the data of 70 wind towers from June 2009 to May 2010 in Northeast China were used to study the spatially distributing laws of wind energy resources, and the numerical simulation WRF were applied to simulate the spatially distribution of wind energy resources. The results showed that: 1) The strong wind regions that the observation data of meteorological stations and wind towers revealed is mainly distributed in plains and high mountains . 2) The mesoscale numerical weather prediction system WRF model performs well in the simulated the wind speed distribution in Northeast China, and the large-scale strong wind regions in plains and the spatial distribution differences of wind speed caused by the mountainous terrain can be simulated. 3) The simulated results of wind energy resource parameters have been corrected with aititude to further improve the accuracy and reliability.4) The annual wind energy density of 70 m in Songnen plain, the Liaohe plain and the Sanjiang plain is between 300-500 W/m^2 which belong to the regions of available or relatively abundant, and that on the hills of the west of Liaoning Province ,the middle of Jilin and Heilongjiang Province and in mountain areas of the southeast in Northeast China is above 300 W/m^2, and in parts of mountain areas is above 500 W/m^2, belong to the abundant areas of wind energy resources.

Key words: wind energy resource; spatial distribution; numerical simulation; wind speed; wind energy density