

多时次多尺度波谱相似预报风要素

毛卫星¹ 许晨海² 何立富¹ 刘还珠¹

(1. 国家气象中心,北京 100081; 2. 气象科学研究院)

提 要

利用 1975~2004 年 500hPa 高度和 850hPa 温度格点场的历史资料,分别计算出不同纬度带的超长波和长波合成波,以此作为风要素预报的基本资料。根据谐波分析原理,结合相似系数法和相似距离法建立一套多时次、多尺度波谱相似预报模型,并提出相似离度概念。经过近两年的运行试验,该预报模型运行稳定,检验结果表明,对于由风压定律制约的风要素预报具有较大的参考作用,在大尺度天气形势控制下,与当地地形、地貌结合形成的风要素预报不失为一种简便易行的风向风速预报方法。利用多时次多尺度动态相似法制作风要素预报既考虑了物理量场不同尺度的空间相似,又考虑了连续时间的过程相似,因此这对中期天气过程的预报是有意义的。

关键词: 谐波分析 相似离度 风要素预报 效果检验

引 言

大气运动在空间上的多尺度性和在时间上的多频性,为谐波分析在天气分析预报中的应用提供了物理依据,在大气超长波、长波与我国天气过程的研究中,已揭示出它们之间存在着良好关系,并在我国天气预报业务中得到广泛应用^[1-3]。截至目前,波谱分析相似预报方法多用在温度或暴雨预报^[4-8]方面,对风要素的预报方面所作的工作还不多见。

风是人们能直接感观到的气象要素之一,它瞬息万变,不仅受大中尺度风压定律所制约,也受边界层动力和热力湍流作用的影响,同时局地地形、地貌的影响也不可忽视。这一切给地面风的预报带来了较大困难。作为国家级预报单位,要掌握各地气候和地形地貌对风向风速的影响实属不易,因此,数值预报直接输出的 10 米高的风向风速,应是我们预报依据的首选。可惜,目前数值预报的边界层物理过程和模式的地形、分辨率等原因,使这一数值预报产品的精度还达不到可使用的水平。为了做出各地风的预报,本文仅考虑大尺度天气形势的影响,用波谱分析

技术寻找与预报日的长波与超常波具有相似特点的某日作为预报起点,从而得出未来短中期风要素的预报。

1 谐波分析

任一空间分布的物理量场 Z ,如高度场或温度场,对某一或几个纬带可以分解为一系列的具有不同周期的正弦波,这些波动相互之间是正交的,可写为:

$$Z_{\phi} = A_0 + \sum_{k=1}^p A_k \sin\left(\frac{2\pi kx}{T} + \theta_k\right) \quad (1)$$

式中 ϕ 为纬度; k 为波数; T 为周期; θ_k 为初位相,如令 λ 为经度,则由三角函数和角公式(1)式可变为:

$$Z_{\phi} = a_0 + \sum_{k=1}^p (a_k \cos k\lambda + b_k \sin k\lambda) \quad (2)$$

根据谐波三角函数正交性,并写成离散求和形式,对某一纬度格点场可推得富氏系数,由此,容易得到谐波的振幅和位相角,并可根据各谐波的方差贡献来衡量所分析的物理量场的优势波,还可将所分解的波合成为超长波(1~3波)、长波(4~6波),如:

超长波:

$$Z_u(\lambda, \varphi) = a_0(\varphi) + \sum_{k=1}^3 [a_k(\varphi) \cos k\lambda + b_k(\varphi) \sin k\lambda] \quad (3)$$

长波:

$$Z_l(\lambda, \varphi) = a_0(\varphi) + \sum_{k=4}^6 [a_k(\varphi) \cos k\lambda + b_k(\varphi) \sin k\lambda] \quad (4)$$

其中 $a_0(\varphi)$, $a_k(\varphi)$ 和 $b_k(\varphi)$ 是 Z 物理场在 φ 纬度处富氏系数。

2 相似离度

衡量两个或两类事物属性的相似程度有很多方法,相似系数法、各种距离法等都为广大气象工作者十分了解,它们在一定条件下适用,但都有局限性。如相似系数可反映环流型之间的位相差异(即槽脊位置的分布——形相似),而对同位相波动的振幅难以区分;各种距离法可以反映两样本间在数值上的差异程度(值相似),对描述天气系统的强度很有效,但却不能很好地反映系统形态的相似与否。显然,既可反映形态的相似又能描述数值的相似,应是将相似系数法和距离法相结合(称:相似离度法,下同),我们认为相似离度法是一种比较客观、合理的描述相似性方法,这里用于衡量两样本 i 与 j 之间相似程度的量——相似离度,其定义为:

相似离度:

$$c_{ij} = (1 - R_{ij}) \times D_{ij} \quad (5)$$

相似系数:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (H_{i(k)} - \bar{H}_i) \cdot (H_{j(k)} - \bar{H}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (H_{i(k)} - \bar{H}_i)^2 \cdot \sum_{k=1}^n (H_{j(k)} - \bar{H}_j)^2}} \quad (6)$$

距离系数:

$$D_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |H_{i(k)} - H_{j(k)}| \quad (7)$$

其中 $\bar{H}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n H_{i(k)}$, $\bar{H}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n H_{j(k)}$ 。

由相似离度 c_{ij} 的计算公式(5)可以看出,当 $(1 - R_{ij})$ 的值越小时(相似系数大,即槽脊地理位置分布越接近),且 D_{ij} 的值也越

小时(数值相似,即波动的振幅越相当),则相似离度的值才会越小;当 $(1 - R_{ij})$ (或 D_{ij}) 的值为零时,无论 D_{ij} (或 $(1 - R_{ij})$) 的值的大小如何,相似离度的值总是零,在此情况下对环流形势的描述是不可靠的,但就我们所研究的对象(北半球环流形势)来说出现这种情况的可能很小。因此,我们完全可以用相似离度值的大小来衡量两个或两类事物属性的相似程度。

3 多时次多尺度动态相似法及风向风速预报流程

利用自 1975~2004 年 500hPa 高度和 850hPa 温度格点场的历史资料,其中 1985 年以前为中央气象台提供的,1985 年 1 月以后为欧洲中期数值预报中心(ECMWF)提供的,分别计算出北、南不同纬带超长波和长波合成波,作为预报基本资料库。每天预报时,首先将接收到的 ECMWF 前 3 天和当天 00 时分析场以及 24~72 小时的预报场资料进行谐波分析计算,然后将这 7 天的谐波分析与历史上的连续过程资料进行比较,动态地寻找相似过程,最后依据预报日和相似日之间计算的相似离度值确定最佳相似日。而后,依据所得到的最佳相似日,从事先建立的逐日风向风速数据库中提取该相似日(08、20 时)及其后 5 天的全国各地风向风速资料作为预报日未来 12~120 小时每隔 12 小时的风要素预报。预报流程如图 1 所示:

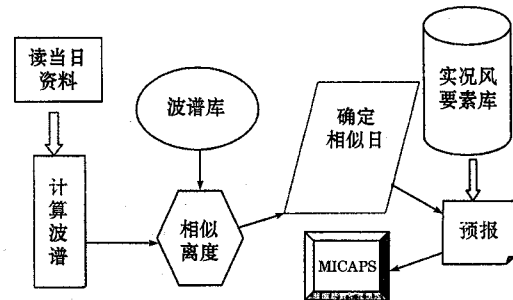


图 1 多时次多尺度波谱相似风预报流程

仅在此给出一例,如 2004 年 3 月 8 日相似于:1987/3/17、1990/3/17、1981/3/17、1977/3/17、1991/3/17(图略),预报日 500hPa 高度场和最佳相似日(因 1987/3/17 缺)1990 年 3

月17日的高度场,两者比较,其东亚天气形势均为一脊一槽型,只是相似日东亚大槽更深些,未来是位于北疆的长波槽较快地东移南下,造成我国北方大部分地区的大风降温天气,发生一次东亚大槽替换过程。

该相似方法24、36、48小时预报的风场与实况风的比较(图略),可以看到地面冷锋中段在前36小时东移较快,而其南北段东进较慢。因此,强风带在东北南部和华北地区北部报的比实况偏快。36小时以后,冷锋快速东撤,其南段扫过华北南部、山东大部,而实况显然偏慢得多。

4 预报结果的检验

对于风速预报这里引用降水预报的 T_s 评分、空报率 N_H 、漏报率 P_O 的办法,设对某级风报对次数为 H ;该事件出现但未预报的次数为 M ;预报了该事件但实际未出现的次数为 F_a ,则

$$T_s = H / (M + F_a + H)$$

$$P_O = M / (M + H)$$

$$N_H = F_a / (F_a + H)$$

得到2003年1~12月对全国673站风速预报结果的检验(表1)。由表1可见:

① T_s 评分随着风速级别的增大而明显地下降。对于3级风的预报 T_s 评分年平均为0.57,达到可参考水平。但3级以上的预报评分下降很快,对于5级以上的风,已经没有预报能力了。

② 较弱的风(3级)存在着明显的日变化,24、48、72小时的预报评分低于36、60、84小时,也就是说,白天的预报较夜间差,可能是由于日间的风速不确定的因素更多些。但更强的风这种日变化不明显。并且,相似方法预报的评分并不随着预报时效的延长而下降。

表1 波谱相似方法2003年1~12月全国673站风速预报检验(%)

时效	3级						4级						5级					
	24	36	48	60	72	84	24	36	48	60	72	84	24	36	48	60	72	84
1月	63	77	63	76	62	76	22	22	24	23	23	21	7	14	7	11	8	8
2月	58	75	59	75	58	74	25	20	26	20	24	19	5	5	5	6	4	6
3月	49	68	48	66	49	66	29	22	28	22	30	23	7	7	5	5	6	8
4月	44	64	44	63	43	63	31	25	31	24	31	25	6	5	5	4	4	4
5月	50	66	50	66	50	67	30	23	30	23	30	22	4	3	2	2	7	5
6月	54	71	54	71	55	71	27	21	27	21	27	22	6	8	7	7	6	5
7月	56	75	56	74	56	74	24	21	24	21	24	21	7	10	10	10	8	10
8月	61	76	61	75	56	74	23	20	24	20	24	21	7	5	7	9	8	10
9月	63	77	63	77	63	77	19	19	20	17	20	19	7	4	4	3	2	4
10月	61	75	60	76	60	76	23	21	23	22	23	23	6	10	5	7	5	8
11月	61	74	60	74	61	74	22	22	22	22	22	22	6	10	8	7	8	5
12月	66	77	66	77	66	77	23	21	22	21	21	22	8	5	8	5	5	5
平均	57	73	57	73	57	72	25	25	25	21	25	22	6	7	6	6	6	7

③ 风预报的 T_s 评分也存在着显著的季节变化。春季(3~5月)的3级风的 T_s 评分比其它季节差,但4级风又比其它季节的评分高。这可能是春季多强风之故。

根据哈尔滨、乌鲁木齐、兰州、北京、拉萨、成都、昆明、西安、南昌、上海、广州等主要城市2003年1月和3月3、4级风24、36、48小时预报的 T_s 评分及3级以上风预报的空报率和漏报率(表略),分析这些城市冬、春季不同的特点看出:

① 与表1得出的结论一致,弱风预报评分高于较强风的预报评分,且多数仍存在着日间预报低于夜间预报的评分,春季预报低于冬季的预报评分的特点。

② 各地预报评分存在着较大的差异,这是由于各地气候特点和地形特点的综合反映。对于如兰州、西安、成都等出现强风较少的地方,一般3级风 T_s 评分较高。

③ 常出现较强风的地方,如哈尔滨、北京、上海3级风评分较低,但相对而言,4级

风预报评分较高,空报率和漏报率也相应下降。尤其是春季这一特点更为明显。

④拉萨、昆明、上海、广州和南昌的冬季、乌鲁木齐的春季风的日变化比较显著, T_s 评分也反映了这一特点,白天风的预报不如晚上预报的质量高。

5 结 语

(1)对于由风压定律制约的风要素预报主要考虑大尺度物理量预报场,在这种大尺度天气形势控制下,与当地地形、地貌结合形成的风要素预报不失为一种简便易行的风向风速预报方法。

(2)利用多时次多尺度动态相似法制作风要素预报是既考虑物理量场不同尺度的空间分布的相似,又考虑连续时间过程的相似,因此这对中期天气过程的预报是有意义的。

(3)检验结果表明,对于风力不太强的情况下,该方法预报的结果是可参考的。但由于该方法仅考虑中纬度的波谱相似,而产生大风的强冷空气常位于更北的纬带,另外热

带气旋等低纬度天气系统也会造成大风,需要在改进本方法时给予足够的考虑。

(4)对于中尺度系统或雷暴天气引起的大风,本方法无能为力,需要其他方法加以补充。

参考文献

- 1 张延亭,单九生. 逐步引进因子场做相似预报. 气象, 2000,26(3):22~27.
- 2 钟元. 多元判据综合评估中期天气客观相似预报模式. 气象,2003,29(4):3~9.
- 3 钟元,胡波. 综合评估环境场影响的热带气旋路径客观相似预报模式. 热带气象学报,2003,19(2):147~156.
- 4 席林华. 应用波谱分析和因子场典型相关分析研究早春冷空气降温过程. 大气科学,1989,13(1):59~65.
- 5 王玉玺,董步文. 甘肃气温多年变化的波谱分析. 兰州大学学报,1990,26(1):106~112.
- 6 苏永清,吴士兰. 暴雨落区及强度的多维相似预报方法. 气象,1997,23(11):36~38.
- 7 刘勇. 综合相似预报法在短期暴雨预报中的应用. 气象,1996,22(10):31~34.
- 8 李慧武,贡九鼎. 浙江省热带气旋过程雨量的相似预报方法. 气象,1991,17(10):21~25.

Wind Forecasts with Multi-time scale and Multi-space Spectrum Analogy

Mao Weixing¹ Xu Chenhai² He Lifu¹ Liu Huanzhu¹

(1. National Meteorological Center; 2. Chinese Academy of Meteorological Science 100081)

Abstract

The synthesis waves of ultra-long and long waves in different latitudes are calculated based on the grid-data of the 500hPa geopotential height and 850hPa temperature from 1975 to 2004, as a data base for wind forecasting. A forecasting model of multi-time scale and multi-space spectrum analogy is developed together with a new concept of analogue deviation on basis of the principal of harmonic analysis and a combination with coefficient analogy and distance analogy. Test results show that the model works well for the last two years and proved a very useful reference for the forecasts of wind that obey the geostrophic relation. The model, which involves factors of local topography and geography, provides a simple method to forecast the wind direction and velocity under large-scale weather background. As the multi-time scale and multi-space spectrum analogy takes into account of the spatial variety of physical fields as well as the continuous temporal processes, it is meaningful for medium-range weather events. The method needs to be improved in the future for forecasts of the strong winds produced by cold air at high latitudes or tropical cyclone, and other supplementary methods are required in condition of meso-scale system or thunder storms.

Key Words: spectrum analysis analogue deviation wind forecasting