

风预报的数值产品释用研究¹⁾

范淦清

(江苏省气象台, 南京 210008)

提 要

根据地转风和偏差风原理,建立了风预报的数值产品释用方案。通过一年试验预报和3年业务预报检验,证明此方案是一个有效的实用的方案。

关键词: 风预报 数值产品释用 地转风 偏差风

前 言

风是天气预报要素中一个主要项目,它与人们生活、国民经济建设密切相关。理论探讨中曾给出了风的表达式^[1],业务预报中则以天气学经验为主,依据初始时刻的天气图资料,估计出未来的形势场,考虑现有天气系统的移动、变化以及动量下传、日变化、地形等因素作出风向风力的预报。一些国家已将风预报列入数值产品释用正式项目^[2],国内客观定量地预报风的工作开展得较少,江苏省气象台^[3]曾从欧洲中心1000hPa气压场格点预报值,计算地转风得到风向风力。

本文根据动力学原理,以地转风为基础,进而考虑偏差风,将两者融为一体,从统计角度建立了风的数值产品释用方案,研制出风预报的统计方程,经过一年试报三年预报,证明是一个有效的实用方案。

1 风预报的动力学根据

在大尺度运动中当不考虑摩擦力时,空气质点的运动遵从地转风规则,这是我们进行风预报的基础。但是,实际大气地面摩擦力不等于零,所以地面风向和等压线之间存在一个交角,而地面风速也不等于地转风风速,气象上将不满足地转风关系的部分称为偏差风。

理论研究表明,近地面层摩擦力来自于粗糙的地面以及近地面层空气的粘性力,而

空气粘性力主要是由湍流活动引起,近地面层湍流与低层温度层结有关,也即与大气稳定度相关。

由于摩擦力的存在,使定量地表示地面风有一定困难,特别是摩擦力大小的估计是难以精确做到的,从对实测风的读数中就显而易见风向风速均存在着明显的脉动现象,以致于只能以自记曲线的10分钟平均作为平均风,而以某一时段中最大平均风作为该时段的平均风。

本文从统计角度,通过对表示大气稳定度的因子入手,寻求表示估计偏差风的统计关系式。

2 采用MOS方法建立预报方程

2.1 预报量设置和样本长度

研究样本取自于南京站1986年12月1日—1987年2月28日,1987年12月1日—1988年2月29日,共181天。设置了夜间(20—08时)、白天(08—20时)两个时段的最大平均风和(20—20时)24小时时段的最大阵风等预报量。

2.2 预报因子

风的预报主要依赖于地面气压场的数值预报产品。我们在建方程时使用的是B模式1986、1987两年相应日期的短期36、48小时时效的地面场、高度场及其压、温、湿等物理量场的预报产品,这些产品是我们研究风预

1) 江苏省气象局短平快项目

报的主要因子来源。

2.3 分型

业务预报中常常发现同样等压线疏密程度的地方风未必一样大,而南风 and 北风同样风级情况下气压梯度也不一样。为此,我们依据数值预报产品中的地面气压场中南京站最大气压梯度定出地转风风向,将 90° — 270° 度区间的风定义为南风型样本,之外的定义为北风型样本,分别建立方程。

2.4 地转风的计算

与分型步骤相联系,在南风样本和北风样本下,分别计算风向和风速。我们规定,时效为 36 小时的地面形势场匹配夜间 20—08 时的风场,时效为 48 小时的地面形势场匹配白天 08—20 时的风场。

2.4.1 地转风风向

从计算中,首先计算南京站附近气压梯度达到最大的方位,然后依据地转风规则得到风向,表 1 列出了所有样本地转风风向与实测风风向的代表率。

表 1 风的拟合和预报准确率

年 代	风速误差/ $m \cdot s^{-1}$		地转风风向代表率	
	平均风	阵风	平均风风向	阵风风向
1986—1988 年冬 (历史样本 181 天)	1.3—1.9	2.5 左右	夜 84.5%(153/181) 白天 78.5%(142/181)	82.9% (151/181)
1990—1991 年冬 (试报样本 88 天)	夜 1.3 白天 1.5	2.1	夜 80.7%(71/88) 白天 82.9%(73/88)	
1992—1994 年冬 (业务运行 141 天)	误差一级 以内 94%	误差一级 以内 87%	84.0% (118/141)	81.0% (114/141)

表 1 中,风向误差在 90° 度以内示为可代表,超过则不能代表,由代表率数据,三项均大于或接近 80%,可见以地面气压梯度力计算的地转风风向基本上能代表实测风风向。

2.4.2 地转风风速

在得到站点最大气压梯度后,我们将此值与相应期的实际风速进行统计相关分析,相关系数列于表 2。

表 2 气压梯度力与实测风风速相关系数

项目	白天平均风				阵风			
	20—05 时	08—20 时	20—05 时	08—20 时	20—05 时	08—20 时	20—05 时	08—20 时
	北风	南风	北风	南风	北风	南风	北风	南风
相关系数	0.55	0.28	0.22	0.17	0.41	0.20	0.39	0.32

气压梯度力与实测风速关系实际上也是地转风速与实测风速的关系,由表 2 可见,平均相关系数约在 0.30 左右,北风型比南风型好,夜间比白天好,以白天的关系最差。这种结果是很容易从理论上解释的,这是由于白天大气稳定度变化大,它引起的地面摩擦力有较大的量值,且变化也大,造成地面风速偏离地转风风速,非地转成份大。由统计关系可以看出,单纯用地转风风速不能代表实测风速。

2.5 风速统计拟合方程

首先依据时效为 36 小时和 48 小时二个地面气压预告场,分别求得夜间、白天地转风风向,从而分离出北风和南风两类样本,预报量将分为北风下的夜间最大平均风和阵风,白天平均风和阵风,南风下的夜间平均风和阵风,白天平均风和阵风共 8 组。

然后使用数值产品中与大气稳定度有关的物理量如 θ_{se} 、涡度、垂直速度、水汽通量、全风速等热力、动力因子,并计算它们与诸预报量的相关系数。

我们对 8 组预报量与同期压、温、湿的相关系数进行分析,总的讲关系比较密切,统计信度可达到 0.001,这为统计拟合实测风速奠定了基础。以北风型夜间最大平均风的相关系数为例列于表 3。

表 3 实测风风速与同期物理量最大相关系数

产品名称	$\theta_{se500hPa}$	$T_{k,0}$	全风速(850)	水汽通量(850)
相关系数	0.46	-0.40	0.55	0.37

将相关系数计算中得到的高相关压、温、湿因子,包括站点最大气压梯度力,一起投入到逐步回归数学模型,得到相应时效的 8 组逐步回归方程,质量参数列于表 4 和表 1 左半部。

表4 逐步回归方程质量参数

项目参数	夜 间				白 天			
	最大平均风		阵风		最大平均风		阵风	
	北风型	南风型	北风型	南风型	北风型	南风型	北风型	南风型
样本数	112	69	112	69	103	78	103	78
因子数	4	6	3	7	6	3	5	7
复相关系数	0.74	0.61	0.58	0.61	0.52	0.53	0.56	0.52
均方误差/ $m \cdot s^{-1}$	1.70	1.37	2.55	2.49	1.78	1.91	2.55	2.52

方程形式以北风型白天最大平均风为例:

$$y = 41.44 + 0.57x_1 - 0.34x_2$$

$$+ 0.80x_3 + 0.06x_4 + 0.60x_5 + 0.20x_6$$

式中, x_1-x_6 分别为 48 小时预告的地面最大气压差, 36 小时预告的 $\theta se_{500-850}$, $(T-T_d)_{700}$, 全风速₇₀₀, 全风速₈₅₀ 和水汽通量₇₀₀。

由方程和表 4 可见, 入选因子在 3—7 个, 复相关在 0.52—0.74 之间, 风速的均方误差, 最大平均风速误差为 1.3—1.9 $m \cdot s^{-1}$ 之间, 阵风误差为 2.5 $m \cdot s^{-1}$ 左右; 同时也可看出, 阵风方程中白天方程质量不比夜间差, 这与表 2 中白天实测风速偏离地转风风速比夜间大的事实不一样, 说明统计方程中包含的大气稳定度因子对地面风速由于摩擦力作用引起的地转偏差得到了较好的描述, 使白天对实测风的拟合不比夜间差。

2.6 预报流程

图 1 给出业务预报的流程框图。

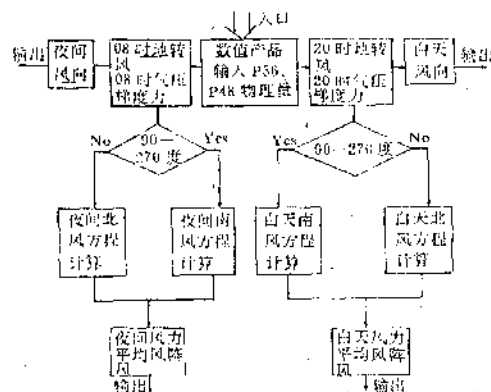


图1 预报流程框图

3 拟合效果和试报

拟合效果除由上述方程质量参数表明外, 另外从逐日拟合结果还发现存在着对实

测风速大的样本, 拟合值普遍偏小的规律。例如夜间北风型最大平均风方程, 样本共 112 个, 回代结果比实测风偏小 50 个, 偏大 62 个。而实测风力较大的样本, 其拟合值一般偏小, 且风速愈大拟合值偏小比例越大。再如, 实测风有 12 个样本在 5 级风以上, 结果 10 个样本的拟合值偏小, 实测风 6 级风以上的样本, 其拟合值偏小达 3 $m \cdot s^{-1}$ (约 1 级); 阵风实测风 6 级以上有 32 个样本, 27 个拟合值偏小, 7 级风以上有 8 个, 4 个偏小达 5 $m \cdot s^{-1}$ (1—2 级)。

对 1990 年 12 月 1 日—1991 年 2 月 28 日之间的 88 天进行了试报检验, 试报结果列于表 1 内, 夜间平均风均方误差 1.35 $m \cdot s^{-1}$, 白天平均风均方误差 1.57 $m \cdot s^{-1}$, 阵风均方误差 2.13 $m \cdot s^{-1}$, 比拟合时的误差还小些, 地转风风向与实测风也达到 80% 以上的代表率。在检验试报情况中也发现预报值比实测风大的天数比小的天数多, 平均风为 53 : 35 (夜间) 和 58 : 30 (白天), 阵风为 57 : 31; 亦发现实测风愈大, 预报值偏小也愈多, 如夜间平均风实测风 5 级以上有 5 天, 预报均偏小 2—5 $m \cdot s^{-1}$, 白天平均风实测风 5 级以上亦有 5 天, 预报偏小 3—4 $m \cdot s^{-1}$, 阵风实测风 6 级以上有 17 天, 全部被报小, 平均偏小 4.1 $m \cdot s^{-1}$, 其中 7 级以上阵风 3 天, 平均偏小 6.6 $m \cdot s^{-1}$, 8 级风 2 天, 亦预报偏小 2 级。

根据这一误差规律, 在使用中进行适当订正, 例如按使用时增大 1 级进行发布, 可以提高大风的预报准确率。

4 业务预报效果

自 1991 年 12 月起每年冬季进行风的 MOS 业务预报, 1992 年因南京站达因式风向风速计因故障停止, 故仅检验了 1992 年冬、

1993年冬141天的预报,总的效果列于表1,可见效果是理想的,最大平均风误差一级以内占94%,阵风一级以内占87%。为比较起见,预报结果和实测风均换算为风级。平均风预报,同级率占57%;误差一级以内占94%;阵风预报同级率38%;误差一级以内占87%。为揭示误差分布,我们给出了误差频数直方图(图2、3)。

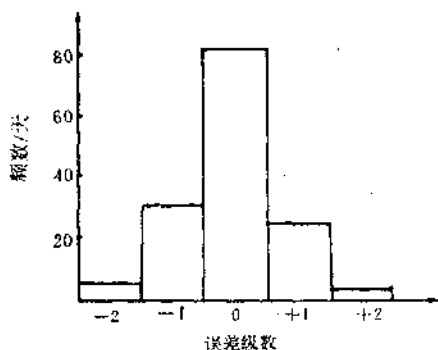


图2 最大平均风风力预报误差分布

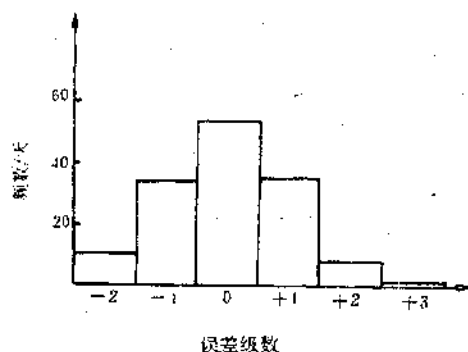


图3 阵风风力预报误差分布

图2和图3揭示了风力预报与实测风的误差成正态分布,误差小是绝对的。

该方案对大风预报有较强的能力,实测风最大平均风5级以上的个例共17天,预报结果如按方程拟合和试报中的规律,对大风均加大一级服务,则同级率达到13/17,一级误差以内17/17;阵风实测风6级以上的个例一共37天,预报结果如加大一级服务,则同级率达到21/37,一级误差以内达36/37。

5 结语

风的统计定量预报限于初次尝试,这方面的参考材料极少,如何确切提取风的预报量,以12小时时段还是24小时时段,用标量还是用矢量,都是极需研究的问题。本文提出的方案,通过几年的应用,在业务中反映较好,在与文献[3]的比较中,亦算是质量较好的了,因为该文献评分准确标准以误差 $3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或 $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为界,而本方案阵风误差才 $2.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。国家数值预报模式正在更新,先进的模式产品将为制作更为准确的风预报提供条件。

参考文献

- 1 正野重方, 动力气象学, 吴伯雄译, 北京: 科学出版社, 1960.
- 2 W. H 克莱茵(朱盛明译), 根据数值预报制作局地天气的统计预报, 1981年全国数值预报文集.
- 3 朱正心等, 应用欧洲中心中期天气预报产品作西北太平洋海面风的中期解释预报, 气象科学, 1988(2).
- 4 M. A. Efroymsen(徐献瑜译), 多重回归分析, 数学计算机上用的数学方法, 上海科技出版社, 1963, 第17章.

Research on NWP Interpretation of Wind Forecast

Fan Ganqing

(Meteorological Observatory of Jiangsu Province, Nanjing 210008)

Abstract

Based on the principle of geostrophic and deviation winds, the NWP interpretation project of wind forecast is established. Through a year forecast experiment and three years operational verification, an effective practical project has been proved.

Key Words: wind forecast interpretation of numerical product geostrophic wind deviation wind