

文章编号: 1004-4965 (2003) 01-0094-07

广东沿海强东北季风的概率预报方法

毛绍荣, 林镇国, 梁 健, 李晓娟

(广州中心气象台, 广东 广州 510080)

摘 要: 通过对 1988~1997 年十年中冷空气造成的广东沿海强东北季风过程的统计研究, 挑选出多个与强东北季风相关程度较高的因子作最优因子组合, 分月份、分时段共设计了 24 条概率预报方程, 从而建立起冬春季强东北季风概率预报方法, 因子结构合理, 处理技术科学, 所有计算过程完全客观定量。预报检验和业务试验表明, 该方法的预报结果效果良好, 有较高的应用参考价值。

关 键 词: 广东沿海; 东北季风; 概率预报; 最优因子组合

中图分类号: P425.4.2

文献标识码: B

1 引 言

目前对广东沿海大风的研究主要偏重于热带气旋造成的大风, 而对于冷空气造成的东北季风 (特别是 7~8 级以上的强东北季风) 的研究较少, 而冬春季的强东北季风对广东沿海的海上作业威胁很大, 对此的研究也是很有必要的。

90 年代以前, 广东沿海东北季风的预报主要依赖于一些固定指标站的统计判别工具^①, 有一定的局限性。首先, 这些工具都是静态的指标 (固定站点的气压差), 未能反映出冷空气的动态特性; 其次, 这些工具都是判别指标, 非是则否 (0、1 判别), 在边界附近不连续, 具有跳跃性, 而实际冷空气是连续的过程, 特征函数应是 [0, 1] 区间内任何值而不只是取 0、1 两个值。如判别指标未达到起风条件但非常接近临界值时, 特征函数接近 1 而不等于 1, 出现强风的可能性仍然较大, 容易造成漏报。这些都是我们在研究新方法中需要探讨的问题。

2 强东北季风的定义

2.1 资 料

收稿日期: 2001-06-09; 修订日期: 2002-03-05

基金项目: 中国气象局重点研究课题“南海海洋天气预报技术研究”资助

作者简介: 毛绍荣 (1963-), 男, 广东云浮人, 高级工程师, 主要从事天气预报业务和研究工作。

① 广东省短期天气预报手册[M]. 广东省气象局. 1987, 326-331.

本方法主要是研究近 10 年 (1988~1997 年) 冷空气过程中造成广东沿海强东北季风最多的 10 月到次年 3 月 (冬春季 6 个月) 的资料。考虑到冷空气主要反映在低层系统, 因此主要选取地面和 850 hPa 资料作统计, 以 12 小时内出现 2 次以上平均风力大于等于 11 m/s 作为一次强风过程, 强风过程中当小风时段 (小于 11 m/s) 超过 24 小时作为新的一次 (冷空气) 强风过程, 分别找出与强东北季风相关程度较高的因子作为预报因子。

2.2 强东北季风的定义

由于我们研究的重点是具有强度的东北季风, 有别于一般意义上的强风 (6 级), 因此我们以 10 年中冬春季冷空气造成广东沿海 6 级 (11 m/s) 以上强风过程中约占三分之一的更大的强风过程作为研究对象 (强冷空气)。通过统计, 在 11 m/s 以上共 326 次过程中 12 小时内出现 2 次以上平均风力大于等于 15 m/s 的强风过程为 115 次, 约占 35 %, 因此我们把冷空气造成的 6 级以上强风过程中大于等于 15 m/s 的更大的强风过程定义为强东北季风过程, 作为本研究的对象 (共 115 个样本)。

3 预报因子的挑选 (基本因子集)

根据影响广东的冷空气路径的不同, 选取汕头、深圳、阳江分别作为东路、中路、西路冷空气造成粤东、粤中、粤西强东北季风的代表站, 考虑到不同月份和起风前的不同时间, 因子的差异都较大, 因此需要分月、分起风前 12、24、36、48 小时反查资料, 分别统计。即根据定义先制作强东北季风日历表, 把 115 次过程中每次从起风时刻往前查, 把前 12、前 24、前 36、前 48 小时的地面、850 hPa 资料分月份分别统计, 挑选出相关程度较高的因子作为基本预报因子。

3.1 预报警戒区因子

根据冷空气移动的平均速度、影响广东的不同路径和作 48 小时预报的需要, 设计三条预报警戒区。即以福州、赣州、桂林作为 12~24 小时警戒区(I 防), 以上海、汉口、重庆作为 24~36 小时警戒区(II 防), 以青岛、郑州、西安作为 36~48 小时警戒区(III 防), 分别统计其与代表站汕头、深圳、阳江的气压差 (直接反映冷空气强度和远近) 作为预报警戒区因子 (静态因子): 把 I 防因子分别记为 A_1 、 A_2 、 A_3 , 把 II 防因子分别记为 B_1 、 B_2 、 B_3 , 把 III 防因子分别记为 C_1 、 C_2 、 C_3 (图 1)。

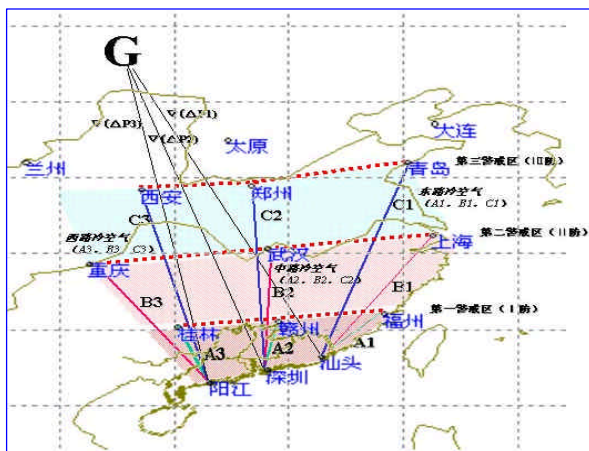


图 1 三条防区和各预报因子示意

3.2 动态预报因子

我们把预报实践中普遍认同能反映冷空气主要特征的气象要素及其组合作为动态预报因子：把地面高压中心的位置、中心气压值、中心最低气温记为 L_0 、 P_0 、 T_0 ；把 850 hPa 高压中心位置、中心高度值、中心最低气温记为 L'_0 、 P'_0 、 T'_0 ；把高压中心值与汕头、深圳、阳江的气压差除以其距离作为气压差梯度因子，记为 $\nabla(\Delta P_1)$ 、 $\nabla(\Delta P_2)$ 、 $\nabla(\Delta P_3)$ 。

3.3 因子的概括率

为了挑选相关程度较高的因子，需要普查各特征变量的最大概括率。

首先统计各月各时次地面高压中心平均位置 $\bar{L}_i$ (图 2)，以此作中心位置因子的参照系。以 11 m/s 以上过程样本作为研究的全域 (R)，各变量以步长 1 作聚类分析 (气压差梯度因子步长取 0.1)， R^0 为大于等于 15 m/s 的报对个例， R^- 为漏报个例， R^+ 为空报个例，则相对某变量取 i 步长值时的概括率为

$$X_i = \frac{\Sigma R_i^0}{\Sigma R_i^0 + \Sigma R_i^- + \Sigma R_i^+} \quad (i \text{ 为步长}) \quad (1)$$

根据统计计算，以上变量中地面各因子与强东北季风独立相关程度较高，最大概括率 X_m 都在 60 % 以上，即在全域 (R) 中，地面各特征变量都能找到概括率大于 60 % 的临界值

$$X_m = \max\{X_{ij}\} > 0.6 \quad (2)$$

而 850 hPa 各因子对冷空气灵敏度较低，最大概括率仅在 0.5 左右，相关性较差，这一点也可以从旧的预报工具大多只选取地面要素作判别指标得以印证，因此只挑选上述变量中的地面因子构成概率预报基本因子集 (A_1 、 B_1 、 C_1 、 L_0 、 P_0 、 T_0 、 $\nabla(\Delta P_i)$)。

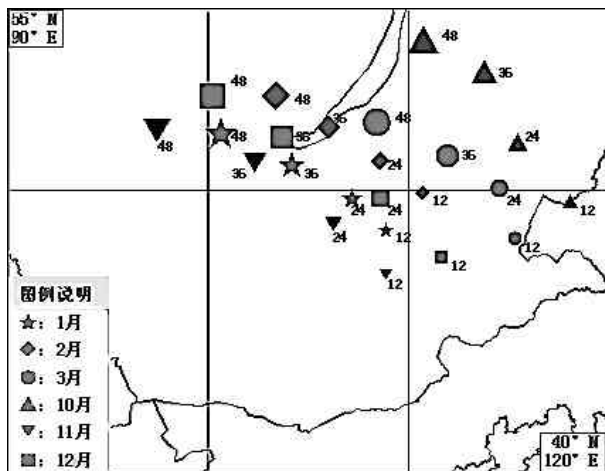


图 2 各月各时次地面高压中心平均位置

4 预报方程的建立

4.1 入选及格线和起报条件

为了解决漏报问题，尽量把入选及格线降低，把基本因子集中各因子分月分时次的统计最低值作为入选及格线（而不以概括率较高的临界值作为及格线）；以大于 50 % 概率作为起报条件，以此减少空报。除了高中心位置要素以外，其余因子都是标量，理论上与预报概率成线性关系，超过及格线越多（广义距离越大），强风出现的概率越大，反之越小，即在达到及格线的前提下，广义距离与强风概率成正比；而位置要素则以分月分时次样本统计的平均位置作为参照系，越靠近平均位置（距平越小），强风概率越大，即位置距平与强风概率成反比。

通过这种方式挑选因子和技术处理，使预报因子与概率成线性关系，避免了 0、1 判别的跳跃性，既解决了漏报的问题，也考虑了冷空气的动态特性，同时也使预报因子和预报概率保持了一定的连续性，使之更为合理、客观、科学。

4.2 因子的最优组合(最优因子子集)

参照文献[1, 2]挑选预报因子的思路，结合强风预报的实践经验作以下因子筛选步骤，挑选出最优因子集。

考虑到挑选出的是三条冷空气路径的统计因子，对于每次预报，实际只有一种路径选择，为了避免重复计算，因此在每次做预报时需要在基础因子集中挑选最优因子组合。在静态因子 A_i 、 B_i 、 C_i ($i=1, 2, 3$) 中挑选广义距离最大者作为最后入选参与计算的最佳因子，记为

$$\begin{cases} A = \max\{A_i - A_{\min}\} \\ B = \max\{B_i - B_{\min}\} \\ C = \max\{C_i - C_{\min}\} \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) 中 $i=1, 2, 3$ (代表三种冷空气路径)， $Q_{\min}$ 为样本统计最小值（及格线）。

动态因子记为

$$\nabla(\Delta P)^{(t)} = \max\{\nabla(\Delta P_i)^{(t)} - \nabla(\Delta P_{\min})^{(t)}\} \quad (4)$$

($i=1, 2, 3$, $\nabla(\Delta P_{\min})^{(t)}$ 为各时次气压差梯度统计最小值)。

其余动态因子记为

$$P^{(t)} = P_0 - P_{\min}^{(t)} \quad (5)$$

$$T^{(t)} = T_0 - T_{\min}^{(t)} \quad (6)$$

$$\Delta L^{(t)} = \left| L_0 - \overline{L^{(t)}} \right| \quad (7)$$

上式中 $(t) = (12), (24), (36), (48)$ 小时， $Q_{\min}^{(t)}$ 为各时次各因子统计最小值（及格线）， Q_0 为实况， $Q^{(t)}$

为各因子广义距离， $\Delta L^{(t)}$ 为位置距平， $\overline{L^{(t)}}$ 为平均位置。

上述变量分月计算，最后挑选所有取正值（超过及格线）的变量组合成该时次概率预报的最优因子子集。

最优因子组合中， A 、 B 、 C 反映气压梯度风和冷空气离广东沿海远近程度；

$\nabla(\Delta P)$ 反映本次冷空气对广东的相对强度；

P 、 T 代表本次冷空气的绝对强度；

ΔL 代表本次冷空气位置对广东强风的有利程度。

4.3 预报方程

通过以上挑选出最优预报因子组合，借鉴文献[3, 4]建立预报方程的思路和方式，考虑到各因子与

强风的相关程度（最大概率率）不同，而需要引入调整系数，而三个警界区因子在方程中只能合成一个权重（以免重复计算），即可设计出各月各时次共 24 条概率预报方程，如

$$F_{(m)}^{(t)} = K_0(aA_{(m)} + bB_{(m)} + cC_{(m)}) + (k_1 \nabla(\Delta P))_{(m)}^{(t)} + (k_2 P)_{(m)}^{(t)} + (k_3 T)_{(m)}^{(t)} + (k_4 \frac{1}{1+\Delta L})_{(m)}^{(t)} \quad (8)$$

式 (8) 中 $(m) = (1), (2), (3), (10), (11), (12)$ (月份), $(t) = (12), (24), (36), (48)$ (时次), K_0 为合成权重调整系数

$$K_0 = 1/(A_{\min} + B_{\min} + C_{\min}) \quad (9)$$

a, b, c 为各警界区权重调整系数, $k_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为各月各时次各因子统计相关概率调整系数, 与各因子最大概率率成正比

$$k_i \propto (X_m)_i \quad (10)$$

式 (10) 中 X_m 为因子的最大概率率。

式 (8) 中, 根据三条警界区的定义, 可作以下简化:

当 $(t) = (12)$ 时, 由于 B, C 不属于 12 小时警界区范围, 可令

$$bB_{(m)} + cC_{(m)} = 0; \quad B_{\min} + C_{\min} = 0 \quad (11)$$

当 $(t) = (24)$ 时, 由于 C 不属于 24 小时警界区范围, 可令

$$cC_{(m)} = 0; \quad C_{\min} = 0 \quad (12)$$

当 $(t) = (36)$ 时, 由于 A 不属于 36 小时警界区范围, 可令

$$aA_{(m)} = 0; \quad A_{\min} = 0 \quad (13)$$

当 $(t) = (48)$ 时, 由于 A, B 不属于 48 小时警界区范围, 可令

$$aA_{(m)} + bB_{(m)} = 0; \quad A_{\min} + B_{\min} = 0 \quad (14)$$

这样得到 24 个预报方程 (每月 4 个), 构成了广东沿海冬春季强东北季风概率预报方程组, 每次预报都能计算出 4 个时次强风概率 $F^{(t)}$, 取其最大者作为最后预报结论

$$F = \max\{F^{(t)}\} \quad (15)$$

则可得出本次预报结果。

最大可能出现强东北季风的概率为 F , 最大可能起风时间为 (t) 小时。

以 50 % 作为起报条件, 即当 $F > 50\%$ 时, 就可以把本概率预报结论提供给预报员参考。

5 预报检验和业务试验

方法完成后, 利用 1998 和 1999 两年达到 11 m/s 以上强风的冷空气过程作预报检验, 检验以达到起报条件时预报起风时间的前 6 小时和后 6 小时 (12 小时) 时段内广东沿海指标站出现的实况风力大于等于 15 m/s 为检验标准, 结果报对过程 21 次, 漏报 1 次, 空报 3 次, 过程准确率达 84 % (表 1)。

2000 年 12 月起本方法进行了强东北季风业务试验, 到 2001 年 3 月共有 8 次冷空气过程达到起报条件, 即有 8 次过程强东北季风概率大于 50 %, 结果报对过程 7 次, 漏报 0 次, 空报 1 次, 过程准确率达 87.5 %。

从试验结果可以看到, 当概率大于 50 % 时所做的 25 次强东北季风预报在预报时段前后 (± 6 小时) 广东沿海有 21 次都出现了 15 m/s 以上的大风, 只有 4 次是 14 m/s, 但其阵风也达 20 m/s 以上; 其中概率大于 80 % 的 3 次预报都出现了 18 m/s 以上的大风, 而概率小于 60 % 的 4 次预报出现的大风都在 15 m/s

以下，概率与强风存在较好的正比关系；同时以过程看，概率大于 80 % 的 2 次过程其出现的风力也最大（18~20 m/s），概率小于 60 % 的 1 次过程出现的风力最小（14 m/s，空报），说明过程最大概率与过程最大风力也成正比。

预报检验和业务试验都表明，该方法的预报结果效果良好，有较高参考价值。

表 1 2000 年 12 月~2001 年 3 月 8 次强东北季风过程业务试验情况

	起报时间	预报起风 时间/ 小时	预报概 率/ %	最大风出 现时间	最大平均 风力/ m/s	阵风 / m/s
2 0 0 0 年	12 月 10 日 08 时	36	69	11 日 20 时	17	25
	12 月 10 日 20 时	24	92	11 日 23 时	18	25
	12 月 11 日 08 时	12	84	11 日 23 时	18	25
	12 月 11 日 20 时	12	67	12 日 02 时	15	23
	12 月 24 日 20 时	24	52	25 日 20 时	14	22
	12 月 25 日 08 时	12	56	25 日 20 时	14	22
2 0 0 1 年	01 月 14 日 08 时	36	69	15 日 20 时	16	19
	01 月 14 日 20 时	24	68	15 日 20 时	16	19
	01 月 15 日 08 时	12	66	15 日 20 时	16	19
	01 月 15 日 20 时	12	55	16 日 02 时	14	20
	01 月 24 日 20 时	36	65	26 日 08 时	16	22
	01 月 25 日 08 时	24	75	26 日 08 时	16	22
	01 月 25 日 20 时	12	72	26 日 08 时	16	22
	02 月 06 日 20 时	36	68	8 日 05 时	15	21
	02 月 07 日 08 时	12	76	7 日 23 时	16	20
	02 月 11 日 20 时	48	59	14 日 02 时	15	21
	02 月 12 日 08 时	48	74	14 日 08 时	16	19
	02 月 12 日 20 时	36	69	14 日 08 时	16	19
	02 月 13 日 08 时	24	71	14 日 08 时	16	19
	02 月 23 日 20 时	24	64	24 日 20 时	18	25
	02 月 24 日 08 时	24	77	25 日 11 时	20	25
	02 月 24 日 20 时	12	86	25 日 11 时	20	25
	02 月 25 日 08 时	12	73	25 日 20 时	16	22
	03 月 06 日 20 时	36	60	8 日 08 时	14	24
	03 月 07 日 08 时	12	77	7 日 14 时	17	24

6 结 语

通过对 1988~1997 十年中 115 次冷空气造成的广东沿海强东北季风过程（样本）资料的统计研究，挑选出多个与强东北季风相关较好的因子作本方法的最优因子组合，从而建立的冬春季广东沿海强东北季风概率预报方法，为广东强东北季风预报提供了一种有效的方法。

本方法从因子挑选到结果输出所有过程完全客观定量化, 最优因子组合结构合理, 处理技术科学, 在预报检验和业务试验中都达到较理想的效果, 特别是试验结果显示该方法预报概率与强风大小存在较好的正比关系, 同时过程最大概率与过程最大风力也有良好的正比关系, 有较高的应用参考价值。

由于近年来对广东沿海强东北季风的研究较少, 难以找到可供参考的类似研究资料, 因此本研究工作基本上处于摸索、探讨、试验阶段, 本方法还有待在今后更多的试验中不断总结、调整, 以便进一步优化。

参 考 文 献:

- [1] 张永三, 李维京, 丁一汇, 等. 模糊优选方法及其在月集合预报中的应用[J]. 气象学报, 2000, 58: 428-435.
- [2] 施 能, 王裁云. 论离散预报因子的综合[J]. 南京气象学院学报, 1980 (2): 141-148.
- [3] 毛绍荣, 贺 忠. 热带气旋路径的模糊概率预报[J]. 热带气象学报, 1998, 14: 142-147.
- [4] 陈 宁, 金 龙, 袁成松. 最优子集的神经网络预报建模研究[J]. 气象, 1999 (1): 14-19.

THE PROBABILITY FORECAST TECHNIQUE ON STRONG NORTHEAST MONSOON ALONG THE COAST OF GUANGDONG

MAO Shao-rong, LIN Zhen-guo, LIANG Jian, LI Xiao-juan

(Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080, China)

Abstract: In this article we made a statistical research on strong northeast monsoon along the coast of Guangdong province caused by cold air during the decade from 1988 to 1997. Several factors with high relevance to strong northeast monsoon are selected to make out the optimal combinations. 24 probability forecast equations are designed based on monthly and forecast period to construct the probability forecast technique for strong northeast monsoon forecast during winter and spring. With rational selection of predictors, scientific processing and fully objective and quantitative computation, the forecast method proves to be valuable in application in forecast practice.

Key words: the coast of Guangdong; northeast monsoon; probability forecast; optimal combination of predictors