

Khai thác và cải tiến mô hình chính áp một tầng dự báo đường đi của bão

PTS. NGÔ NGỌC THẠCH, KS. LÊ CÔNG THÀNH

Cục Dự báo KTTV

Sau khi nhận được một số đồ dự báo đường đi của bão bằng mô hình chính áp một tầng dưới dạng chương trình máy tính chưa hoàn chỉnh, không có sơ đồ lý thuyết và kết quả thử nghiệm, Tổ số trị đã tiến hành khôi phục lại có sơ lý thuyết, hiệu chỉnh lại chương trình, đánh giá kết quả thử nghiệm và cải tiến nó. Trong bài này, chúng tôi trình bày cơ sở lý thuyết cũng như kết quả dự báo trước và sau khi cải tiến mô hình. Hiện nay mô hình đã được đưa vào dự báo thử nghiệm nghiệp vụ theo phương án cải tiến tại Cục Dự báo KTTV mỗi khi có bão hoạt động trên biển Đông.

1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÓ BẢN

1.1. Phương trình xoáy

Trong mô hình này tư tưởng quan trọng bao trùm toàn bộ là xác định trường hàm dòng trên mực trung bình và dự báo nó. Cho nên mô hình được xây dựng dựa trên phương trình xoáy chính áp, áp dụng cho mực 500 mPa. Phương trình có dạng sau:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + u \frac{\partial \Omega}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega}{\partial y} + v \frac{\partial l}{\partial y} = -1D \quad (1)$$

Ở đây $\Omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ - xoáy tương đối,

$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$ - độ tán xạ (divergence),

u, v - các thành phần tốc độ gió,

1 - Lực Coriolis.

Phương trình (1) được áp dụng cho mực đó với divergence $D = 0$, ta có:

$$\frac{\partial \Omega a}{\partial t} + u \frac{\partial \Omega a}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega a}{\partial y} + v \frac{\partial l}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Nếu ký hiệu $\Omega_a = \Omega + l$ - độ xoáy tuyệt đối và lưu ý rằng 1 chỉ phụ thuộc vào y (vĩ độ) nên phương trình (2) có thể viết lại dưới dạng:

$$\frac{\partial \Omega a}{\partial t} + u \frac{\partial \Omega a}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega a}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

hay $\frac{d\Omega a}{dt} = 0$

Đây là phương trình bảo toàn xoáy tuyệt đối. Trong phương trình này giả thuyết solenoit đã được sử dụng, nghĩa là

$$u = - \frac{\partial \psi}{\partial y} ; \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Như vậy:

$$\Omega = \nabla^2 \psi$$

ψ - hàm dòng; ∇^2 - toán tử Laplace

Phương trình (2) được viết lại dưới dạng:

$$\nabla^2 \frac{\partial \psi}{\partial t} + J(\psi, \nabla^2 \psi + 1) = 0 \quad (4)$$

ở đây $J(\psi, \nabla^2 \psi + 1)$ là ký hiệu của Jacobian.

1.2. Các điều kiện biên của mô hình.

Mô hình đã được khai thác và chuyển về vùng có kinh độ từ $72^\circ E$ đến $180^\circ E$ và vĩ độ từ $20^\circ S$ đến $44^\circ N$, sao cho vùng biển Đông nằm ở trung tâm miền tích phân của phương trình (2). Ở biên nam tại $\varphi = 20^\circ S$ và biên bắc $\varphi = 44^\circ N$, các giá trị hàm dòng không đổi theo thời gian (nghĩa là $\partial \psi / \partial t = 0$). Các biên tây ($\lambda = 72^\circ E$) và biên đông ($\lambda = 180^\circ E$) thỏa mãn điều kiện biên tuần hoàn.

1.3. Điều kiện ban đầu.

Để xây dựng trường ban đầu, số liệu gió của các trạm cao không đã được phân tích vào các điểm nút mạng lưới theo phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp. Trường hàm dòng ban đầu được tính theo phương trình

$$\nabla^2 \psi = \Omega \quad (5)$$

Phương trình (5) được giải theo phương pháp lặp Lipman. Trường hàm dòng gần đúng đầu tiên $\bar{\psi}_0$ được tính như sau: giả sử tại mỗi vĩ độ i ta tính được thành phần tốc độ gió trung bình \bar{u}_i , như vậy:

$$\frac{\partial \bar{\psi}_0}{\partial y} = - \bar{u}_i \quad (6)$$

$\bar{\psi}_0$ - trường hàm dòng gần đúng đầu tiên trung bình ở vĩ độ i .

Như vậy, với điều kiện ban đầu $\bar{\psi}_0 = 20^\circ S = 0$ thì trường $\bar{\psi}_0$ cho tất cả vĩ độ đều tính được. Phương trình (5) được giải với điều kiện biên như sau:

Tại $\varphi = 20^\circ S$ và $\varphi = 44^\circ N$ thì $\psi = \bar{\psi}_0$ ($i = 20^\circ S$ hoặc $i = 44^\circ N$ tương ứng). Còn tại $\lambda = 72^\circ E$ và $\lambda = 180^\circ E$ thỏa mãn điều kiện biên tuần hoàn.

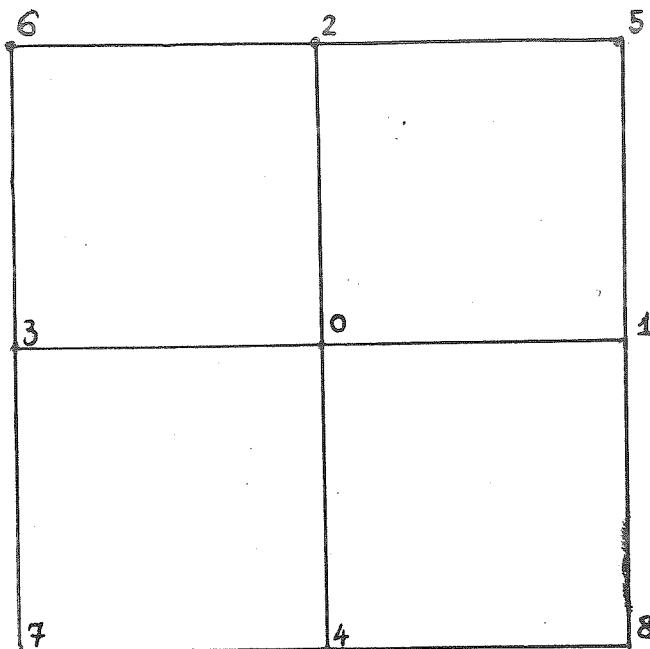
2. CÁC PHƯƠNG TRÌNH SAI PHÂN

2.1. Sai phân theo không gian.

Các công thức sai phân theo không gian đều có độ chính xác bậc d^2 (d - bước mạng lưới). Nếu S là một yếu tố nào đó thì:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_0}{\partial x} &= \frac{S_1 - S_3}{2d} \\ \frac{\partial S_0}{\partial y} &= \frac{S_2 - S_4}{2d} \end{aligned} \quad (7)$$

S_i - giá trị hàm S ở điểm thứ i



Hình 1. Phân bố các điểm nút mạng lưới

Với toán tử Laplace ∇^2 ta có:

$$(\nabla^2 S)_o^1 = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 - 4S_0}{sd^2}$$

$$(\nabla^2 S)_o^2 = \frac{S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + 4S_0}{2d_2}$$

$$(\nabla^2 S)_o = [2.(\nabla^2 S)_o^1 + (\nabla^2 S)_o^2] / 3 \quad (8)$$

Sai phân toán tử Jacobian

$$J(S, H) = \frac{\partial S}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial S}{\partial y} \frac{\partial H}{\partial x}$$

Theo công thức của Arakawa [2] ta có:

$$J(S, H) = \frac{1}{3} (J^{++} + J_{x+} + J_{+x}) \quad (9)$$

Ở đây:

$$J^{++} = -\frac{1}{4d^2} [(S_1 - S_3)(H_2 - H_4) - (S_2 - S_4)(H_1 - H_3)] ;$$

$$J_{x+} = \frac{1}{4d^2} [S_1(H_5 - H_8) - S_3(H_6 - H_7) - S_2(H_5 - H_6) + S_4(H_8 - H_7)] ;$$

$$J_{+x} = \frac{1}{4d^2} [S_5(H_2 - H_1) - S_7(H_3 - H_4) + S_6(H_3 - H_2) - S_8(H_4 - H_1)]$$

2.2. Sai phân theo thời gian

$$\text{Giả sử } q = \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (10)$$

thì phương trình (4) được viết lại dưới dạng $\nabla^2 q = F_{ij}$ (11)

Ở đây F_{ij} là hàm sai phân của vế phải.

Nếu toán tử laplace $\nabla^2 q$ được thay bằng toán tử sai phân:

$$(\nabla^2 q)_{ij} \approx -\frac{1}{d^2} (q_{i-1,j} + q_{i+1,j} + q_{i,j-1} + q_{i,j+1} - 4q_{ij})$$

thì phương trình (11) có dạng:

$$q_{i-1,j} + q_{i+1,j} + q_{i,j-1} + q_{i,j+1} - 4q_{ij} = f_{ij} \quad (12)$$

ở đây $f_{ij} = d^2 F_{ij}$.

Phương trình (12) được giải theo phương pháp giản dư Lipman cho $(M - 2) \times (N - 2)$ điểm với điều kiện

$$q_{1j} = q_{i,1} = q_{M,j} = q_{i,N} = 0. \quad (i = 1, 2, 3, \dots, M; j = 1, 2, 3, \dots, N)$$

Sau khi tìm được q_{ij} , giá trị ψ tính được ở thời điểm $t + \Delta t$ sẽ là :

$$\psi(t + \Delta t) = \psi(t - \Delta t) + 2\Delta t q_{ij}(t) \quad (13)$$

t - bước thời gian tích phân.

3. TÍNH TỐC ĐỘ DỊCH CHUYỂN CỦA BÃO

3.1. Phương án trước khi cải tiến

Tốc độ dịch chuyển của bão được tính sau mỗi bước tích phân theo thời gian Δt . Tốc độ được tính là tốc độ trung bình tính theo hàm dòng ở 6 x 6 điểm xung quanh vị trí tâm bão. Còn tốc độ chuyển động của bão được tính theo công thức sau :

$$u_B = k u_t + \Delta t + (1-k) u_t, \quad (14)$$

$$v_B = k v_t + \Delta t + (1-k) v_t,$$

Ở đây k - hệ số thực nghiệm, $u_t + \Delta t$ - tốc độ tính ở thời điểm $t + \Delta t$, u_t ở thời điểm t .

3.2. Phương án sau khi cải tiến

Mô hình nhằm ứng dụng cho việc phân tích và dự báo các quá trình qui mô lớn nên các xoáy bão đã được là di nhiều và trong mô hình nó chỉ thể hiện là một xoáy yếu. Do vậy, tốc độ di chuyển của bão sẽ là tốc độ tính được từ trường dự báo. Mặt khác, khi phân tích các kết quả thu được từ phương án trên chúng tôi nhận thấy dự báo hướng di chuyển của bão khá trùng với hướng thực tế, song mô-đun tốc độ thường lớn hơn thực tế. Đồng thời để tận dụng những thông tin mới nhất về bão [1] chúng tôi giả thiết tốc độ di chuyển của bão là tổ hợp tuyến tính của tốc độ dịch chuyển ban đầu (u_0, v_0) và tốc độ tức thời tại thời điểm $t + \Delta t$ được tính theo công thức trung bình trong miền 6 x 6 điểm xung quanh vị trí tâm bão ($u_t + \Delta t, v_t + \Delta t$).

Nghĩa là:

$$u_{cb} = k u_0 + (1 - k) u_t + \Delta t \quad (15)$$

$$v_{cb} = k v_0 + (1 - k) v_t + \Delta t$$

Khi tính tốc độ u_0, v_0 ban đầu chúng ta có thể tận dụng những thông tin quá khứ (12h trước) và các thông tin mới về bão tại thời điểm làm dự báo.

3.3. Kết quả dự báo thử nghiệm

Mô hình trên đã được tính thử nghiệm kiểm tra cho các cơn bão hoạt động trên biển Đông năm 1989. Mạng lưới tích phân gồm 33×55 điểm kéo dài từ 72°E đến 180°E và từ 20°S đến 44°N . Bước mạng lưới $d = \Delta x = \Delta y = 2^{\circ}$

Bảng 1 - Kết quả dự báo theo phương án 1

Hạn dự báo (h)	Số cơn bão	Số trường hợp	ΔR (km)	$\Delta\alpha$ (độ)	ΔV (km/h)
12	6	15	201,30	-14,38	7,48
24	6	15	415,09	-3,11	8,31
36	6	15	592,48	-5,19	10,05
48	6	15	748,28	-11,23	-25,88

Bảng 2 - Kết quả dự báo theo phương án 2

Hạn dự báo (h)	Số cơn bão	Số trường hợp	ΔR (km)	$\Delta\alpha$ (độ)	ΔV (km/h)
12	6	15	56,60	1,28	-1,22
24	6	15	148,71	-0,66	0,01
36	6	15	232,00	1,57	1,09
48	6	15	346,20	-2,44	-5,63

Bảng 3 - Kết quả dự báo nghiệp vụ mùa bão 1989

Hạn dự báo (h)	Số cơn bão	Số trường hợp	ΔR (km)	$\Delta\alpha$ (độ)	ΔV (km/h)
12	9	26	49,01	1,21	-0,58
24	9	24	137,70	1,04	-0,92
36	9	19	235,85	3,09	-0,87
48	9	14	341,22	-2,60	-4,40

ở đây ΔR - sai số khoảng cách

$\Delta\alpha$ - sai số về hướng di chuyển

ΔV - sai số về vận tốc.

Và bước thời gian $\Delta t = 15$ ph. Trường gió u,v được phân tích khách quan vào các điểm nút mạng lưới theo phương pháp hiệu chỉnh liên tiếp từ mạng lưới quan trắc cao không. Do vậy, tại

vùng ít số liệu (trên biển và vùng xích đạo) kết quả phân tích khó có thể đánh giá được. Chính vì vậy kết quả dự báo có thể bị ảnh hưởng nhiều mà chúng tôi chưa có điều kiện để xác định.

Kết quả dự báo theo phương án 1 và 2 cho ở bảng 1 và 2. Qua hai bảng đó ta thấy nếu sử dụng phương án 1 thì kết quả không thỏa mãn yêu cầu của công tác dự báo nghiệp vụ. Phương án 2 cho kết quả tốt hơn và ổn định hơn. Theo phương án 2 chúng tôi đã dự báo cho các cơn bão di chuyển trên biển Đông mùa bão 1989 trong chế độ nghiệp vụ. Kết quả cho ở bảng 3. Qua theo dõi và đánh giá kết quả dự báo chúng tôi nhận thấy độ chính xác của mô hình phụ thuộc rất nhiều vào trường phân tích ban đầu, vị trí tâm bão ban đầu cũng như các tham số cần thiết để tính tốc độ dịch chuyển ban đầu của bão. Do vậy, công tác dự báo nghiệp vụ đòi hỏi các kỹ sư chuyên trách phải chú trọng đến phân tích và chỉnh lý trường gió ban đầu. Đây cũng là một vấn đề phức tạp đối với vùng vĩ độ thấp và ít trạm quan trắc như vùng biển nước ta. Mặt khác, vị trí ban đầu của bão cũng như những tham số về tốc độ di chuyển ban đầu cũng cần được quan tâm đặc biệt, nếu không, bão trong mô hình sẽ di chuyển theo hoàn lưu không gần bão và gây ra sai số lớn.

4. KẾT LUẬN

Trên đây chúng tôi đã trình bày cách khai thác một mô hình khách quan dự báo sự di chuyển của bão. Với một số cải tiến ban đầu kết quả dự báo đã khả quan hơn. Đó là những bước thử nghiệm đầu tiên để đặt cơ sở nghiên cứu và cải tiến theo phương hướng sau:

- Hoàn thiện mô hình dự báo

- Hoàn thiện sơ đồ phân tích khách quan trường gió ban đầu, gia tăng các thông tin về gió từ các trường phân tích theo ảnh mây vệ tinh và các phân tích của nước ngoài.

- Cải tiến sơ đồ tính tốc độ di chuyển của bão.

Sau một thời gian dài bị gián đoạn do điều kiện kỹ thuật, đến nay các phương pháp dự báo số trị mới bắt đầu được khôi phục lại. Đây là một lĩnh vực rất phức tạp, khó khăn của thế giới, song nó tạo ra một tiềm năng áp dụng các tiến bộ khoa học trong lĩnh vực định lượng hóa các dự báo. Mặt khác, bộ môn dự báo số trị còn tạo cơ sở để tự cải tiến và phát triển. Do vậy, việc đầu tư phát triển và ứng dụng các phương pháp này là cần thiết. Nó cần được tổ chức lại thành các đề tài thiết thực tạo khả năng liên kết các lực lượng khoa học ở nhiều bộ phận khác nhau để thực hiện có hiệu quả hơn. Song cho đến nay ở Cục Dự báo KTTV các đề tài trong lĩnh vực này chưa được hình thành hoặc có được hình thành thì chưa được quan tâm đúng mức ngoài một số giờ tính trên máy hạn chế. Mặt khác, cần mở rộng quan hệ trao đổi với các nước trong khu vực cũng như với các trung tâm dự báo trên thế giới để trao đổi kinh nghiệm và có thể du nhập, hoàn thiện các mô hình dự báo cho phù hợp với điều kiện của khu vực vùng vĩ độ thấp nói chung và vùng Việt Nam nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO.

1. Agrenhich E. A., Sitnhicop I.G. Tính thêm các thông tin về gió và tốc độ ban đầu của bão trong sơ đồ dự báo số trị quỹ đạo bão - Tập san trung tâm KTTV, Liên Xô, 1974, số 123.
2. Gandin L.S., Dubop A.S. Các phương pháp số trị dự báo thời tiết hạn ngắn - Leningrat, NXB KTTV, 1968.