PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH TÂM BÃO THÔNG QUA TRƯỜNG GIÓ

PTS. HOÀNG MINH HIỀN, VŨ THỦY NGA
Cục Dự báo KTTV

I – ĐẶT VẤN ĐỀ

Xác định tâm bão là công việc đầu tiên và không thể thiếu được trong quá trình phân tích và dự báo bão. Tuy nhiên, do mạng lưới trạm quan trắc khí tượng trên đại dương và biển rất thưa thớt nên vấn đề này không phải lúc nào cũng được giải quyết một cách dễ dàng. Trong công tác nghiệp vụ thường kết hợp đồng thời nhiều phương pháp xác định tâm bão khác nhau [2]. Nền tảng chính của một số phương pháp thông dụng là dựa trên cơ sở giả thiết về tính đối xứng qua tâm bão của một số trường khí tượng như trường khí áp, trường mây hoặc trường gió. Trường gió là trường véctơ, tuy nhiên cho đến nay người ta mới chỉ sử dụng đặc tính đối xứng của hướng gió vào việc xác định tâm bão. Nhằm khai thác một cách triệt để hơn thông tin về trường gió (hướng gió và môđun vận tốc gió) vào việc xác định tâm bão, ở đây chúng tôi thử nghiệm xây dựng một phương pháp mới: xác định tâm bão thông qua trường véctơ vận tốc gió.

II. – NỘI DUNG PHƯƠNG PHÁP*

Như đã phân tích trong [1] về cấu trúc phẳng trường gió XTNĐ trên toàn cầu, cũng như đối với XTNĐ tây bắc Thái Bình Dương, có thể chấp nhận tương quan sau:

$$Vr^x = \text{const} \qquad (1)$$

Trong đó, V – mô đun vận tốc gió; lũy thừa x – hằng số được xác định thông qua thực nghiệm và có giá trị xấp xỉ 0.5.

Thông qua các số liệu quan trắc thực tế về trường gió có thể sử dụng tương quan (1) vào việc xác định tâm bão. Giả sử tại ba điểm A (x_a, y_a), B(x_b, y_b) và C(x_c, y_c) có các quan trắc về véctơ vận tốc gió $\vec{V_a}$, $\vec{V_b}$ và $\vec{V_c}$. (V_a, V_b, V_c là mô đun vận tốc gió của các điểm tương ứng). Với giả thiết $V_a \neq V_b \neq V_c$, từ tương quan (1) có thể rút ra hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} V_a r_a^x = V_b r_b^x = \text{const} \\ V_a r_a^x = V_c r_c^x = \text{const} \end{cases} \qquad (2)$$

và từ đó có:

$$\begin{cases} \dfrac{V_a}{V_b} = \left(\dfrac{r_b}{r_a}\right)^x \\ \dfrac{V_a}{V_c} = \left(\dfrac{r_c}{r_a}\right)^x \end{cases} \tag{3}$$

hoặc:

$$\begin{cases} r_b = r_a\left(\dfrac{V_a}{V_b}\right)^{1/x} \\ r_c = r_a\left(\dfrac{V_a}{V_c}\right)^{1/x} \end{cases} \tag{4}$$

Đặt:

$$\propto = \left(\frac{V_a}{V_b}\right)^{1/x} = \text{const và } \beta = \left(\frac{V_a}{V_c}\right)^{1/x} = \text{const} \tag{5}$$

và thay vào (4) ta có:

$$\begin{cases} r_b = \propto r_a & \text{(a)} \\ r_c = \beta r_a & \text{(b)} \end{cases} \tag{6}$$

Tâm bão cần tìm là điểm phải thỏa mãn hệ phương trình (6). Như vậy, có thể thấy rằng vấn đề xác định tâm bão được qui về bài toán tìm quĩ tích của những điểm thỏa mãn các điều kiện (6).

Giả sử (x,y) là tọa độ của điểm thỏa mãn điều kiện (6a), ta có thể viết đẳng thức sau với điều kiện $\propto \neq 1 \rightarrow V_a \neq V_b \neq V_c$

$$(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 - \propto^2(x - x_a)^2 - \propto^2(y - y_a)^2 = 0 \tag{7}$$

$$\begin{cases} P_1 = \dfrac{x_b - \propto^2 x_a}{1 - \propto^2}; \quad P_2 = \dfrac{y_b - \propto^2 y_a}{1 - \propto^2} \\ H_1 = \left(\dfrac{x_b - \propto^2 x_a}{1 - \propto^2}\right)^2 - \dfrac{x_b^2 - \propto^2 x_a^2}{1 - \propto^2}; \quad H_2 = \left(\dfrac{y_b - \propto^2 y_a}{1 - \propto^2}\right) - \dfrac{y_b^2 - \propto^2 y_a^2}{1 - \propto^2} \end{cases} \tag{8}$$

$$R_\alpha^2 = H_1 + H_2 \tag{9}$$

và viết lại (7) ta có:

$$(x - P_1)^2 + (y - P_2)^2 = R_\alpha^2 \tag{10}$$

Từ biểu thức (10) dễ dàng thấy rằng quỹ tích của những điểm thỏa mãn điều kiện (6a) là đường tròn tâm $O_\alpha (P_1, P_2)$, bán kính $R_\propto$.

Tương tự như trên có thể tìm được quỹ tích của những điểm thỏa mãn điều kiện (6b) là một đường tròn khác tâm O_β (Q_1, Q_2), bán kính R_β^2:

$$(x - Q_1)^2 + (y - Q_2)^2 = R_\beta^2 \tag{11}$$

trong đó

$$Q_1 = \frac{x_c - \beta^2 x_a}{1 - \beta^2}; \qquad Q_2 = \frac{y_c - \beta^2 y_a}{1 - \beta^2}; \tag{12}$$

$$K_1 = \left(\frac{x_c - \beta^2 x_a}{1 - \beta^2}\right)^2 - \frac{x_c^2 - \beta^2 x_a^2}{1 - \beta^2}; \quad K_2 = \left(\frac{y_c - \beta^2 y_a}{1 - \beta^2}\right)^2 - \frac{y_c^2 - \beta^2 y_a^2}{1 - \beta^2} \tag{13}$$

và $R_\beta^2 = K_1 + K_2$

Như vậy, có thể thấy rằng quỹ tích của những điểm thỏa mãn các điều kiện (6) (a và b) là giao điểm của hai đường tròn (10) và (11). Dễ dàng thấy rằng bài toán chỉ có nghiệm khi thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\begin{cases} R_\alpha + R_\beta \geqslant \overline{O_\alpha O_\beta} \\ |R_\alpha - R_\beta| \leqslant \overline{O_\alpha O_\beta} \end{cases} \tag{14}$$

Nếu xảy ra dấu bằng bài toán sẽ chỉ có một nghiệm, khi đó tâm bão được xác định như là tiếp điểm của hai đường tròn kể trên. Trong trường hợp tổng quát hai đường tròn giao nhau cho nhiều nhất 2 giao điểm. Có thể tìm được tọa độ của các điểm này thông qua việc giải hệ phương trình (10) và (11). Lấy (10) trừ đi (11) ta có:

$$2x(Q_1 - P_1) + 2y(Q_2 - P_2) + P_1^2 + P_2^2 - Q_1^2 - Q_2^2 = R_\alpha^2 - R_\beta^2 \tag{15}$$

và từ đó có:

$$y = \frac{P_1 - Q_1}{Q_2 - P_2}x + \frac{R_\alpha^2 + Q_1^2 + Q_2^2 - R_\beta^2 - P_1^2 - P_2^2}{2(Q_2 - P_2)}$$

$$\text{Đặt: } A = \frac{P_1 - Q_1}{Q_2 - P_2} \text{ và } B = \frac{R_\alpha^2 + Q_1^2 + Q_2^2 - R_\beta^2 - P_1^2 - P_2^2}{2(Q_2 - P_2)} \tag{16}$$

và thay (16) và (11) ta có:

$$(x - P_1)^2 + (Ax + B - P_2)^2 = R_\alpha^2 \tag{17}$$

Biến đổi (17) ta có:

$$A_1 x^2 + B_1 x + C_1 = 0 \tag{18}$$

trong đó:

$$A_1 = 1 + A^2; \quad B_1 = 2A(B - P_2) - 2P_1 \text{ và } C_1 = P_1^2 + (B - P_2)^2 - R_\alpha^2$$

Giải tam thức bậc 2 (18) dễ dàng tìm được các tọa độ x_1 và x_2. Thay các giá trị x_1 và x_2 vào (16) sẽ tìm được các tọa độ y_1 và y_2. Hiển nhiên thấy rằng tâm bão thì chỉ là một điểm. Trong trường hợp này để chọn điểm nào trong 2 nghiệm tìm được làm tâm bão có thể sử dụng số liệu hướng gió và đặc tính đối xứng của nó. Thực tế cho thấy trong khu vực hoàn lưu bão gió thổi theo qui luật: đi vào và ngược chiều kim đồng hồ đối với bắc bán cầu; đi vào và xuôi chiều kim đồng hồ đối với bão nam bán cầu. Gọi Θ là góc tạo bởi véc tơ pháp tuyến và véc tơ vận tốc gió. Các số liệu thực tế cho thấy rằng góc Θ xấp xỉ bằng 108°. Để chọn tâm bão có thể sử dụng độ lệch quân phương hướng gió:

$$\delta_{\Theta} = \sqrt{\frac{3}{1} \sum_{i=1}^{3} (\Theta i - 108)} \qquad (19)$$

Trong 2 giao điểm tìm được của bài toán quĩ tích ở trên sẽ chọn điểm có độ lệch quân phương hướng gió nhỏ hơn là tâm bão cần tìm.

Trường hợp đặc biệt khi môđun vận tốc gió ở cả 3 trạm đều bằng nhau ($V_a = V_b = V_c$) sẽ nhận được $\alpha = \beta = 1$ và bài toán không thể giải theo phương pháp trên.

Tuy nhiên, trong trường hợp này có thể thấy rằng tâm bão là điểm cách đều các trạm A, B và C. Như vậy, có thể xác định tâm bão thông qua việc tìm tọa độ tâm đường tròn ngoại tiếp tam giác ABC bằng cách giải hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 \\ (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \end{cases} \qquad (20)$$

Nếu các điểm A, B, và C không nằm trên cùng một đường thẳng, dễ dàng có thể chứng minh được rằng hệ (20) luôn luôn tồn tại một và chỉ một cặp nghiệm:

$$\begin{cases} x_1 = (x_b^2 - x_a^2 + D^2 - C^2)/(AC' - A'D + x_b - x_a) \\ y_1 = A'x_1 + B' \end{cases}$$

trong đó:

$$A' = (x_c - x_b)/(y_b - y_c);\quad B' = 0{,}5\,[(y_b + y_c) + (x_b^2 - x_c^2)/(y_b - y_c)] \qquad (21)$$

$$C = B' - y_a;\quad D = B' - y_b.$$

Như vậy, trong trường hợp này không cần thiết phải sử dụng thông tin về hướng gió.

Trường hợp đặc biệt khác là khi môđun vận tốc gió ở hai trạm có giá trị bằng nhau. Trong trường hợp này dễ dàng thấy rằng luôn luôn có thể cho được một hệ phương trình [2] thích hợp sao cho đồng thời $\alpha \neq 1$ và $\beta \neq 1$.

Gọi n là số trạm có quan trắc gió trong khu vực hoàn lưu bão. Nếu $n > 3$ ta có thể thiết lập được nhiều hệ phương trình độc lập (dạng [2]) khác nhau và nói chung số điểm quỹ tích tìm được, thỏa mãn các điều kiện dạng [6], sẽ tăng lên. Dễ dàng thấy rằng số nghiệm lớn nhất có thể tìm được là bằng tổ hợp chập 3 của n. Gọi S là tổng số nghiệm tìm được trên thực tế và đặt:

$$m = \frac{S}{C_n^3} \cdot 100\% = \frac{3!\ S}{n(n-1)(n-2)} \cdot 100\% \tag{22}$$

Ở đây m đặc trưng cho tỉ lệ quĩ tích tìm được trên thực tế (tính theo phần trăm) so với số số nghiệm lớn nhất có thể tìm được. Với $S>1$, tọa độ của tâm bão tính trung bình có thể xác định thông qua các biểu thức sau:

$$\bar{x} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{S} x_i ; \qquad \bar{y} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{S} y_i \tag{23}$$

trong đó (x_i, y_i) là tọa độ của các điểm quĩ tích tìm được.

Kích thước của XTNĐ là rất nhỏ so với kích thước của trái đất, vì vậy có thể lấy xấp xỉ vĩ độ và kinh độ địa lý của các trạm quan trắc là tọa độ của các trạm này trong việc giải các hệ phương trình ở trên.

III – TÍNH TOÁN THỬ NGHIỆM

Chúng tôi thử nghiệm phương pháp trình bày ở trên với 10 trường hợp khác nhau của các cơn bão CECIL 8211 (9/VIII – 10/VIII/1982), ELLIS 8213 (23/VIII/1982 – 25/VIII/1982) và WAYNE 8614 (11/IX/1986 – 5/IX/1986). Theo đánh giá và kết quả thực nghiệm của nhiều tác giả, ở đây chúng tôi lấy giá trị $x = 0,5$. Để so sánh các kết quả tính toán, tạm thời chúng tôi coi tâm bão do Trung tâm khí tượng Nhật thông báo là tâm thực của bão. Các kết quả tính và các độ chênh lệch Δl (so với tâm Nhật) được trình bày ở bảng 1. Các giá trị tính của tọa độ tâm bão được làm tròn tới một số sau dấu phẩy. Độ chênh lệch trung bình của tất cả các trường hợp là xấp xỉ 43km. Độ chênh lệch lớn nhất cũng không quá 1° vĩ (Δl = 86km, trường hợp bão ELLIS ngày 23/VIII/1982).

Bảng 1

Tên bão	Ngày	Tâm thực		n	S	m (%)	Tâm tính		Δl (km)
		φ	λ				φ	λ	
CECIL	9/VIII/1982	23,9	123,8	9	44	52	24,0	124,0	23
CECIL	10/VIII/1982	26,2	123,0	14	108	30	26,3	123,1	12
ELLIS	23/VIII/1982	19,4	135,0	13	200	70	18,7	135,3	86
ELLIS	24/VIII/1982	22,9	132,7	10	74	62	22,1	132,7	84
ELLIS	25/VIII/1982	26,3	131,1	10	59	49	26.3	131,0	15
WAYNE	1/IX/1986	21,3	123,2	17	189	28	21,4	123,4	25
WAYNE	2/IX/1986	19,7	121,9	9	15	18	20,2	121,9	51
WAYNE	3/IX/1986	18,8	120,1	10	19	16	19,1	120,0	39
WAYNE	4/IX/1986	18,5	116,4	7	2	6	18,4	115,9	58
WAYNE	5/IX/1986	20,0	111,0	7	12	34	30,4	111,0	39

Trong quá trình tính toán có thể thấy rằng việc lọc nghiệm theo tiêu chuẩn độ lệch quân phương hướng gió nhỏ hơn (công thức [19] cho tâm bão rất phù hợp với thực tế hoàn lưu XTNĐ. Trong nhiều trường hợp. các điểm (nghiệm) bị loại có độ chênh lệch so với tâm thực lớn tới hàng chục nghìn ki-lô-mét.

KẾT LUẬN

1. Phương pháp xác định tâm bão trình bày ở trên cho phép khai thác một cách triệt để thông tin về trường gió: hướng gió và môđun vận tốc gió. Đồng thời, đây là phương pháp xác định tâm bão đầu tiên sử dụng đặc tính đối xứng qua tâm bão của trường môđun vận tốc gió.

2. Tính toán thử nghiệm phương pháp xác định tâm bão thông qua trường gió với các cơn bão CECIL 8211, ELLIS 8213 và WAYNE 8614 cho các kết quả khả quan. Độ chênh lệch trung bình so với tâm Nhật nhỏ hơn nửa độ vĩ (Δl gần bằng 43km).

3. Phương pháp xác định tâm bão ở trên đã được đưa đến dạng có thể ứng dụng trực tiếp trong công tác nghiệp vụ.

Cuối cùng có thể thấy rằng, để đánh giá hiệu quả của phương pháp này, cần tính thử nghiệm nhiều hơn các trường hợp bão trong thực tế. Ngoài ra, có thể nâng cao độ chính xác của phương pháp thông qua việc khảo sát sự phụ thuộc của các kết quả tính toán vào các giá trị khác nhau của lũy thừa x.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Minh Hiền. Về cấu trúc phẳng trường gió XTNĐ. Tập san KTTV No 2/1988.

2. Topex operational manual. Analyses and forecast. WMO. Geneva-Switzeland, 1983.