

RA-ĐA THỜI TIẾT

PTS.Trần Duy Sơn

Đài Khí tượng cao không

Hiện nay ở nhiều nước trên thế giới ngành khí tượng thủy văn đã được trang bị các thiết bị hiện đại giúp các nhà dự báo thời tiết làm dự báo nhanh và chính xác, song họ vẫn không thể dự báo với độ chính xác cao ở đâu và khi nào các hiện tượng thời tiết nguy hiểm sẽ xảy ra.

Nhờ các ra - đa thời tiết các nhà khí tượng có thể nhìn được hình ảnh phản hồi và vị trí của một số hiện tượng thời tiết nguy hiểm như dông, mưa mạnh, tố lốc, vòi rồng, bão nhiệt đới ... gây hậu quả xấu cho cuộc sống con người. Rất tiếc rằng việc dự báo với độ chính xác 100% ở đâu và khi nào các hiện tượng thời tiết sẽ xảy ra vẫn còn ngoài khả năng của khoa học khí tượng hiện nay, song những thành tựu mới trong kỹ thuật ra - đa thời tiết đã góp phần không nhỏ trong việc nâng cao độ chính xác của dự báo khí tượng. Các ra - đa thời tiết hiện đại được chế tạo dựa trên nhiều nguyên lý: nguyên lý lan truyền và phản xạ sóng âm thanh, nguyên lý lan truyền phản xạ sóng ánh sáng, nguyên lý lan truyền và phản xạ sóng điện từ, song ra-đa thời tiết dựa trên việc lan truyền và phản xạ sóng điện từ được sử dụng rộng rãi nhất. Với loại ra-đa này ta phân biệt thành hai nhóm ra-đa thông dụng và ra-đa Đốp - le.

1. Ra-đa thời tiết thông dụng

Ra-đa thời tiết thông dụng được sử dụng trong ngành khí tượng từ những năm 50 của thế kỷ này. Tuy còn nhiều hạn chế, các ra-đa thời tiết thông dụng đã cung cấp được nhiều số liệu quý phục vụ cho công tác dự báo thời tiết, cụ thể:

- Phát hiện và xác định vị trí của các vùng mây và các hiện tượng thời tiết liên quan (gọi tắt là mục tiêu khí tượng) trong bán kính hoạt động của ra-đa.

- Xác định kích thước nằm ngang và thẳng đứng của mục tiêu khí tượng, hướng và tốc độ di chuyển của chúng.

- Xác định xu thế biến đổi các đặc trưng phản hồi của mục tiêu khí tượng.

- Xác định cường độ mưa và lượng mưa tổng thể.

Màn hình ra-đa cho biết vị trí, hình ảnh mặt cắt ngang của phản hồi vô tuyến mây với các hiện tượng thời tiết liên quan. Cấu trúc mặt cắt ngang của trường mây cho biết loại hình thời tiết trong khu vực. Trong trường hợp có bão, trong phạm vi hoạt động của ra - đa, màn hình cho biết vị trí mắt bão, các dải mây xoắn và liên quan với nó là các vùng mưa và vùng gió mạnh. Xu thế thay đổi vị trí và đặc điểm phản hồi của mục tiêu là những số liệu quan trọng để làm dự báo cực ngắn và siêu cực ngắn.

Một trong những đặc trưng kỹ thuật quan trọng của ra-đa thời tiết là bước sóng (λ). Bước sóng ra-đa quyết định tính năng và hiệu quả hoạt động ra-đa. Chọn đúng bước sóng, phù hợp với nhiệm vụ của ra-đa ở từng khu vực sẽ làm tăng hiệu quả của thiết bị. Bước sóng ra-đa quyết định giá trị của thế năng khí tượng Pm. Bước sóng càng ngắn thì thế năng khí tượng càng cao và như vậy ưu điểm của ra-đa trong nhiệm vụ phát hiện mục tiêu càng lớn. Phần lớn các ra-đa thời tiết hiện nay có thế năng Pm=47-60db. Bước sóng ra-đa còn quyết định độ rộng cánh sóng θ , đại lượng có ý nghĩa quyết định trong phép xác định tọa độ mục tiêu. Bước sóng quyết định độ rộng cánh sóng theo công thức [1].

$$\theta = 70. \frac{\lambda}{D}$$

Trong đó D là đường kính ăng-ten. Để có giá trị cánh sóng phù hợp, phải điều chỉnh đường kính ăng-ten cho hợp lý. Tuy vậy, giữa khả năng giảm độ dài bước sóng và tăng đường kính ăng-ten cần phải cân nhắc kỹ để có được độ rộng cánh sóng đáp ứng được nhiệm vụ. Nếu tăng đường kính ăng-ten thì khó khăn cho việc xây dựng vòm cầu bảo vệ để chống lại sức gió mạnh. Nếu giảm bước sóng thì ảnh hưởng đến tầm hoạt động của ra-đa.

Trong kỹ thuật ra-đa thời tiết người ta chia bước sóng thành ba dải.

- Dải X - cỡ sóng milimét ($\lambda = 0,8 \text{ cm}$)

- Dải C - cỡ sóng centimet ($\lambda = 3,0 \div 5,6 \text{ cm}$)

- Dải S - cỡ sóng dèximét ($\lambda = 10 \text{ cm}$)

Phụ thuộc vào nhiệm vụ cụ thể người ta sẽ lựa chọn bước sóng thích hợp.

Dải sóng X có ưu điểm tạo được cánh sóng hẹp, đường kính ăng-ten nhỏ. Với $\theta = 0,2^\circ$ đường kính ăng-ten bằng 3 m. Thế năng của ra-đa ở bước sóng này cao, tạo ra khả năng đo chính xác các đặc trưng phản hồi vô tuyến, xác định đúng kích thước hình học và vị trí mục tiêu. Nhược điểm của dải sóng này là năng lượng sóng điện từ bị suy yếu mạnh trong mây và giáng thủy nên không thể dùng để đo mưa, đặc biệt là mưa nhiệt đới. Hiện nay dải sóng này ít được sử dụng.

Dải sóng S có nhược điểm tạo ra cánh sóng rộng, đường kính ăng-ten lớn. Với $\theta = 1,0 - 1,5^\circ$, đường kính ăng-ten bằng 4 - 6 m. Ưu điểm của dải sóng này là năng lượng sóng điện từ không bị suy giảm trong mây và mưa nên sử dụng để đo mưa, đặc biệt là mưa nhiệt đới, mưa trong bão rất tốt. Vùng Đông Nam Trung Quốc, khu vực Hồng Kông đang trang bị loại ra-đa có dải sóng này. Thái Lan có 15 ra-đa mới lắp đặt thì có 8 chiếc sử dụng bước sóng 10cm.

Dải sóng C với bước sóng $\lambda = 5,6\text{cm}$ kết hợp được ưu điểm của hai dải sóng X và S song cũng mang cả nhược điểm của hai dải đó, cho nên có thể coi là dải sóng trung gian. Các nước ôn đới sử dụng nhiều dải sóng này.

Có những loại ra-đa sử dụng đồng thời cả hai dải sóng. Ra-đa MRL - 5 của Nga có hai kênh sóng, kênh 1 sử dụng bước sóng 3,2cm, kênh 2 sử dụng bước sóng 10cm. Cả hai kênh có thể hoạt động đồng thời hoặc có thể hoạt động độc lập tùy theo thời tiết và mục tiêu quan trắc. Gần đây, Trung Quốc đã sản xuất loại ra-đa sử dụng đồng thời cả hai dải sóng: dải X và dải S [2]. Việc sử dụng đồng thời hai kênh sóng với hai dải sóng khác nhau có thể phát hiện vùng mưa đá trong mây đối lưu, trên cơ sở đó sẽ có biện pháp phòng chống thích hợp.

Việc phân tích khí tượng các thông tin ra-đa được dựa vào kích thước hình học (độ cao đỉnh mây, độ rộng đám mây) và phản hồi Z

$$Z = \sum_{i,v} a_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \quad (2)$$

Trong đó a_i - bán kính hạt

m - chỉ số khúc xạ của vật chất cấu tạo nên hạt.

Cường độ mưa $I(\text{mm/giờ})$ được tính theo công thức Marsal Palmer

$$Z = 200 I^{1,6} \quad (3)$$

Trong đó Z là độ phản hồi vô tuyến

Lượng mưa tổng thể được lấy ra trên cơ sở tổng hợp lượng mưa trong những khoảng thời gian ngắn ứng với cường độ khác nhau.

Lượng mưa đo bằng ra-đa tuy có sai số do không tính hết được các nhân tố ảnh hưởng song theo [3] vẫn đáp ứng được nhiệm vụ thủy văn.

Tốc độ gió trong mây được xác định trên cơ sở đo độ dịch chuyển của các đám phản hồi trong những khoảng thời gian nhất định.

Bán kính hoạt động của các loại ra-đa thông dụng là 300 km. Tuy vẫn có những tài liệu công bố 400 -500 km hoặc hơn nữa [2] nhưng thông tin ở những khoảng cách lớn như vậy không còn mang được đầy đủ ý nghĩa cho công tác khí tượng.

Các ra-đa thời tiết thông dụng mặc dù có những tác dụng rất lớn trong công tác khí tượng thủy văn vẫn chưa có thể cung cấp được chi tiết các thông tin định lượng về động lực của mục tiêu: tốc độ gió, mức độ loạn lưu, tốc độ rơi của hạt. Để phát hiện được vòi rồng, các ra-đa thông dụng phải thu được phản hồi hình móc câu. Loại phản hồi này thường liên quan trực tiếp với các hiện tượng xoáy cỡ nhỏ (microcyclone) hoặc tổ lốc do các vòi rồng sinh ra. Song không phải tất cả các xoáy cỡ nhỏ đều cho phản hồi hình móc câu, cho nên có rất nhiều vòi rồng không bị ra-đa phát hiện.

Một hạn chế nữa của các ra-đa thông dụng là không loại bỏ được phản hồi vô tuyến của vật cản địa hình trong nền chung của phản hồi vô tuyến mây, đặc biệt là trong phạm vi 30 -40 km cách trạm ra-đa. Phản hồi từ các vật cản địa hình gây khó khăn lớn cho việc đo mưa bằng ra-đa thời tiết.

2. Ra-đa thời tiết Đốp-le

Ngày nay những ra-đa thời tiết hiện đại đều có trang bị bộ Đốp-le. Ngoài chức năng như một ra-đa thời tiết thông dụng, ra-đa này có chức năng sử dụng dựa trên hiệu ứng Đốp-le.

Hiệu ứng Đốp-le được sử dụng để đo gió mà cơ sở của nó là: tần số của tín hiệu phản hồi thu được phụ thuộc vào khoảng cách giữa máy thu cố định và mục tiêu di động.

Tần số Đốp-le F_D hay còn gọi là độ lệch Đốp-le được tính theo công thức:

$$F_D = |f_{thu} - f_{phát}| = \frac{2v}{c} f_{phát} \quad (4)$$

Trong đó: f_{thu} - tần số thu; $f_{phát}$ - tần số phát. V - tốc độ của mục tiêu theo hướng trực cánh sóng, c - tốc độ ánh sáng. Nếu tốc độ thực của mục tiêu V tạo thành với trực cánh sóng một góc ψ thì công thức trên có thể viết khi thay $c = f_{phát} \lambda$

$$F_D = \frac{2v}{\lambda} \cos \Psi \quad (5)$$

Tần số Đốp-le xuất hiện do sự di chuyển của mục tiêu. Trong trường hợp mục tiêu không di động ($V = 0$) hoặc di động song theo hướng vuông góc với trục cánh sóng ($\Psi = 90^\circ$) thì không có tần số Đốp-le. Vì vậy, khi sử dụng ra-đa Đốp-le để đo gió phải nhớ rằng tốc độ gió đo được là thành phần chiếu xuống trục cánh sóng.

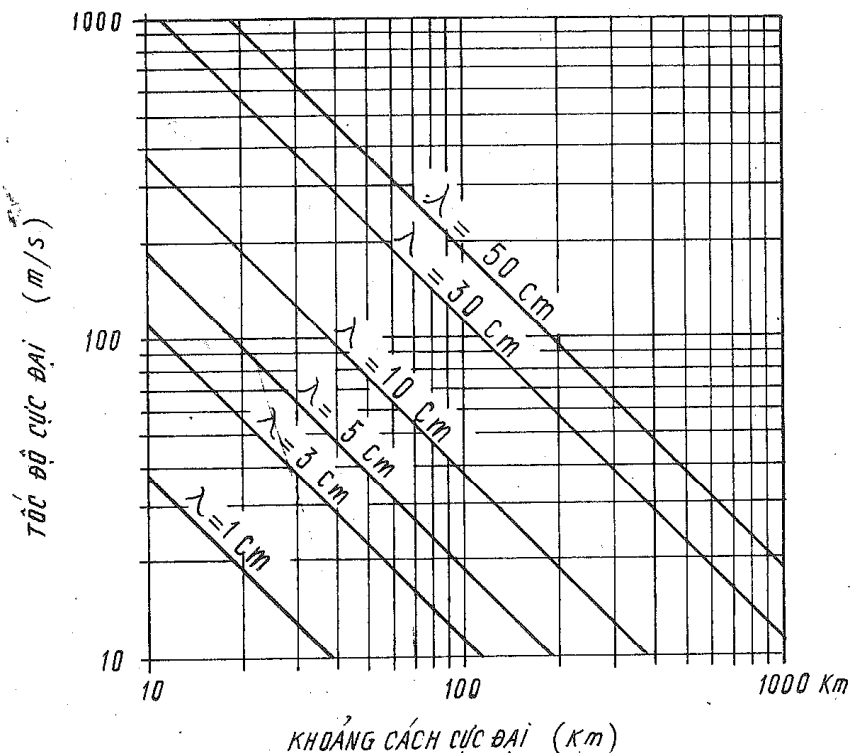
Hạn chế lớn nhất trong việc sử dụng nguyên lý Đốp-le là tính bất định trong khoảng cách tối đa $R_{\max}$ và tốc độ cực đại $V_{\max}$ mà ra-đa đo được. Tính bất định đó được thể hiện bằng biểu thức

$$V_{\max} \cdot R_{\max} = c \frac{\lambda}{8} \quad (6)$$

λ - độ dài bước sóng

C - tốc độ ánh sáng

Đối với một ra - đa cụ thể $\lambda = \text{const}$, cho nên vế bên phải của công thức trên là cố định. Vì vậy, muốn đo tốc độ lớn thì khoảng cách phải ngắn và ngược lại. Tính bất định này được thể hiện trên đồ thị hình 1 [4]



Hình 1. Quan hệ $V_{\max}$, $R_{\max}$ và bước sóng trong ra-đa Đốp - le

Nếu sử dụng dải sóng S ($\lambda = 10\text{cm}$) với tần số lặp lại F là 1000HZ thì ở khoảng cách 150 km chỉ đo được tốc độ tối đa là 25m/giây (tương ứng với gió cấp 10).

Nếu sử dụng dải sóng C với cùng tần số và khoảng cách trên thì tốc độ gió tối đa là 18^m /giây (tương đương với gió cấp 7).

Nếu sử dụng dải sóng X với cùng tần số và khoảng cách như trên thì tốc độ gió tối đa là 8^m /giây (tương đương gió cấp 5).

Một giải pháp để tăng R_{max} và V_{max} là sử dụng bước sóng lớn song như đã nói ở trên, biện pháp này khó thực hiện vì phải có ăng-ten lớn để bảo đảm độ rộng θ thích hợp. Với nhiệm vụ khí tượng, ra-đa Doppler bước sóng $\lambda = 10$ cm là thích hợp hơn cả.

Ra-đa Doppler có tầm hoạt động 300 km song bán kính thích hợp nhất là 75 - 150 km.

Nhờ đo được tốc độ gió, ra-đa Doppler có thể phát hiện được vùng dịch chuyển thẳng đứng của gió trong không gian (hiện tượng microbus). Đây là hiện tượng nguy hiểm cho hàng không nên trước đây khi chưa có ra-đa Doppler không một phương tiện nào có thể phát hiện được.

Để có được số liệu gió chính xác, ra-đa Doppler phải có tần số phát xung F_x thỏa mãn điều kiện: $F_x \geq 2F_D$. Nếu tiêu chuẩn này không đáp ứng thì sẽ tạo nên tín hiệu giả rất khó phân biệt [6] [5].

Ra-đa Doppler xác định được cường độ mưa, độ phản hồi vô tuyến Z của mây và vùng rối mạnh trong mây. Nếu sử dụng dạng chỉ thị độ phản hồi thì phản hồi của hạt mưa được chuyển đổi thành cường độ mưa (mm/giờ) hoặc là dung lượng nước (kg/m^3). Ở dạng chỉ thị tốc độ, ra-đa đo tốc độ của hạt mưa dọc theo trục cánh sóng. Trường tốc độ này sẽ là thông tin quan trọng xác định sự tồn tại của microbus, vòi rồng hoặc gió mạnh.

Nhờ bộ chuyển đổi Furia có trong thành phần của thiết bị thu, phổ của năng lượng Doppler thu được sẽ được phân tích thành các chuỗi hình sin mà nếu tổng hợp lại sẽ được tín hiệu ban đầu. Do việc tín hiệu của các vật cản của địa hình là cố định nên đã có thuật toán để loại bỏ chúng.

Như trên đã nói, ra-đa Doppler chỉ đo được thành phần tốc độ gió theo hướng trục cánh sóng. Nếu góc cao của ăng-ten $\delta = 0^\circ$ thì đo được thành phần gió nằm ngang dọc theo trục cánh sóng, nếu góc cao $\delta = 90^\circ$ thì sẽ đo được thành phần thẳng đứng. Nếu sử dụng 3 ra-đa Doppler cùng quan trắc một mục tiêu thì sẽ đo được ba thành phần tốc độ gió thực trong không gian [6].

Một trong những khó khăn lớn của việc sử dụng ra-đa Doppler là phân tích thông tin khí tượng. Tín hiệu thu được từ màn hình của ra-đa Doppler rất phức tạp và rất dễ nhầm lẫn khi xử lý để sử dụng. Vì

vậy, phải có những chuyên gia giỏi có trình độ kỹ thuật cao mới có khả năng phân tích và xử lý chính xác.

3. Ra-đa thời tiết trong tương lai

Các ra-đa Đốp-le hiện đại thế hệ mới sẽ được trang bị các thiết bị hiện đại nhằm giảm bớt hiệu ứng bất định giữa tốc độ V_{max} và khoảng cách R_{max} . Với thiết bị này các tín hiệu giả về tốc độ gió có thể giảm đi nhờ sử dụng các thuật toán tìm kiếm sự bất liên tục của tốc độ gió theo khoảng cách. Các ra-đa thời tiết NEXRAD đã ứng dụng các thành tựu này và tương lai sẽ thay thế các loại ra-đa thế hệ trước đó. Hệ thống ra-đa NEXRAD còn được trang bị thêm các thiết bị tự động kiểm tra và cảnh báo thời tiết nguy hiểm. Mặc dù đã đạt đến mức hoàn hảo rất cao, các chuyên gia vẫn cho rằng hiệu quả phục vụ của hệ thống NEXRAD phụ thuộc rất nhiều vào khả năng phân tích thông tin của con người.

Tài liệu tham khảo

1. Hướng dẫn thực hiện quan trắc và sử dụng thông tin ra-đa thời tiết MRL-1, MRL-2, MRL-5. Xanh Petecbua, 1993 (tiếng Nga)
2. JLW.714- Giới thiệu ra-đa thời tiết của Trung Quốc.
3. Tropical cyclone programme. Report N^o 17. TCP. Report of the seminar on the application of radar data to tropical cyclone forecasting.
4. Gossand, EE, and R.G.Strauch, 1983: Radar observation of Clear air and Cloud. Elsevier, Amsterdam, ch.2.4.2-2.4.5
5. Machine design. A penton Publication, March 21, 1991
6. Rađa trong khí tượng học. NXB Khí tượng Thủy văn, Lénin grát, 1973.