

TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY VEN BỜ NAM BIỂN ĐÔNG

GS. TS. Lê Quang Toại, NCS. Võ Thanh Tân,

Th.S Nguyễn Thế Hào

Phân viện Khí tượng Thủy văn phía Nam

1. Mở đầu

Biển Đông nằm ngay giữa khu vực Đông Nam Á, trải dài từ kinh tuyến 95° E đến 120° E và từ vĩ tuyến 1° N đến 25° N, diện tích bề mặt khoảng $3.500.000 \text{ km}^2$, bao gồm các bán đảo, các quần đảo và hàng ngàn đảo nhỏ cũng như các đảo san hô bao quanh. Hầu hết các quốc gia thuộc khối ASEAN đều có bờ biển tiếp giáp với biển Đông (trừ Myanmar và Lào), và đây là một trong những vùng kinh tế năng động nhất thế giới hiện nay. Việc nghiên cứu cấu trúc thủy văn biển Đông có một ý nghĩa to lớn trong việc khai thác tài nguyên vô cùng phong phú của biển Đông và góp phần thúc đẩy quan hệ hợp tác nghiên cứu khoa học giữa các quốc gia khối ASEAN.

Trong những năm gần đây, các công trình nghiên cứu biển Đông đã tăng lên một cách đáng kể, một phần nhờ vào sự gia tăng số lượng và chất lượng các trạm quan trắc để nghiên cứu và khai thác tài nguyên biển Đông, một phần nhờ vào các phương tiện tính toán đã được cải thiện mạnh mẽ và do đó đã thể hiện được những mô hình tương đối phức tạp. Lần lượt các mô hình khác nhau nghiên cứu biển Đông ứng với các trường gió mùa đã ra đời, trong đó đáng chú ý là [1] hay Mô hình ba chiều nghiên cứu biến động cấu trúc nhiệt muối và hoàn lưu biển Đông trong điều kiện gió mùa biến đổi (*Đinh Văn Ưu, 1997*) hay Peculiar Temporal Structure of the South China Sea Summer Monsoon (*Wang and Renguang Wu, 1999*).

2. Vị trí địa lý khu vực biển Đông

Biển Đông chiếm một diện tích khá lớn và nằm ngay giữa các quốc gia khối ASEAN, giới hạn phía bắc bởi eo biển Đài Loan và eo biển Luzon, bề rộng của hai eo biển này khoảng 500 km. Phía nam thông với biển Java qua thềm lục địa Sunda nằm giữa Malaysia và Indonesia. Phía tây tiếp giáp với dãy ven bờ Việt Nam và vịnh Thái Lan. Phía đông giới hạn bởi các quần đảo Philippines. Phía đông nam là quần đảo Ralawan rất hẹp nằm dọc hướng tây bắc đông nam chắn ngang làm giới hạn, tại nơi này biển Đông được thông với Thái Bình Dương qua biển Sulu bởi nhiều eo biển nhỏ và hẹp.

Sự phân bố độ sâu của biển Đông rất phức tạp. Độ sâu trung bình của toàn bộ biển Đông vào khoảng 1.140m. Vùng có độ sâu trên 2.000m chiếm một phần tư diện tích biển Đông, chủ yếu ở vùng trung tâm và phía đông của khu vực này. Từ kinh tuyến 110° E trở về phía đông (cách bờ biển Nha Trang vài chục kilômét) độ sâu tăng lên một cách đáng kể. Vùng sâu nhất cách bờ biển Philippines khoảng 200km có tọa độ $14^{\circ}10' \text{ N} - 119^{\circ}\text{E}$, độ sâu đạt đến 5.400m. Vịnh Thái Lan, vịnh Bắc Bộ và thềm lục địa Sunda có độ sâu nhỏ, trung bình khoảng 30m - 40m, tại các khu vực này sự phân bố độ sâu ổn định và có sự biến thiên độ sâu tương đối đều đặn mà thực tế có thể xem là vùng biển nông, điều này làm gia tăng tính ổn định của mô hình trong việc áp dụng các thuật toán hai chiều và ba chiều cho khu vực này.

3. Thiết lập mô hình tính toán

a. Hệ thống phương trình xuất phát, các điều kiện biên và ban đầu

Theo lý thuyết Ekman, dòng chảy do gió chỉ phát triển ở một lớp nước không sâu và xoay hướng dần về bên phải (ở bắc bán cầu) theo độ sâu. Đến độ sâu ma sát $h = D$ vận tốc dòng chảy chỉ bằng $1/23$ vận tốc dòng chảy tầng mặt và đến độ sâu $h = 2D$ thực tế vận tốc dòng chảy gió bằng 0. Do đó, việc áp dụng mô hình hai chiều, bằng cách xem sự vận chuyển của một khối nước trên mặt (khoảng độ sâu ma sát, nếu đáy biển sâu) theo phương thẳng đứng là không đổi. Áp dụng mô hình tính toán dòng chảy hai chiều vào thềm lục địa Nam Việt Nam tương đối tốt, bởi vì nơi này có độ sâu không lớn lắm và sự phân bố độ sâu ổn định. Ngoài ra, một số giả thiết được đưa vào để thiết lập mô hình như: biển đồng nhất, không có thành phần vận tốc dòng chảy theo phương thẳng đứng, không có sự phân tầng mật độ nước biển,...

Mô hình tính toán dòng chảy hai chiều gồm các phương trình bảo toàn động lượng và phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_x^s}{\rho_0(H + \zeta)} - \frac{\tau_x^b}{\rho_0(H + \zeta)} + A_\lambda \Delta u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_y^s}{\rho_0(H + \zeta)} - \frac{\tau_y^b}{\rho_0(H + \zeta)} + A_\lambda \Delta v \quad (2)$$

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

trong đó:

u, v - các thành phần vận tốc dòng chảy trung bình theo phương nằm ngang,

ζ - độ dâng mực nước biển,

$f = 2\Omega \sin \varphi$. Với $\Omega = 7,2912 \cdot 10^{-4}$ rad/s là vận tốc góc quay của trái đất,

φ - vĩ độ địa lý,

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$ - gia tốc trọng trường,

$(H + \zeta)$ - độ sâu toàn phần đáy biển,

τ_x^s, τ_y^s - ứng suất tiếp tuyến gió trên bề mặt biển,

τ_x^b, τ_y^b - ứng suất tiếp tuyến gió tại đáy biển,

A_λ - hệ số nhớt rối ngang.

Điều kiện ban đầu được chọn là các thành phần vận tốc trung bình theo phương ngang u, v và độ dâng mực nước ζ bằng 0 trên toàn miền tính toán. Nghĩa là:

$$\begin{aligned} u(x, y, t = 0) &= 0 \\ v(x, y, t = 0) &= 0 \\ \zeta(x, y, t = 0) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Trên biên rắn, áp dụng điều kiện trượt, thành phần vận tốc dòng chảy theo phương pháp tuyến với biên rắn bằng 0.

$$\vec{V} \cdot \vec{n} \Big|_{G_1} = 0 \quad (5)$$

Trên biên lỏng sử dụng một trong các điều kiện sau:

- Thành phần vận tốc pháp tuyến với biên lỏng không đổi qua biên

$$\frac{\partial V_n}{\partial n} \Big|_{G_2} = 0 \quad (6)$$

- Độ dâng mực nước biển không đổi qua biên lỏng

$$\frac{\partial \zeta}{\partial n} \Big|_{G_2} = 0 \quad (7)$$

- Cho trước thành phần vận tốc pháp tuyến với biên

$$V_n(x, y, t) \Big|_{G_2} = f(x, y, t) \quad (8)$$

- Cho trước độ dâng mực nước biển trên biên

$$\zeta(x, y, t) \Big|_{G_2} = g(x, y, t) \quad (9)$$

Trong đó G_1 và G_2 là các biên rắn và biên lỏng; n - vectơ pháp tuyến ngoài với biên. Các hàm $f(x, y, t)$ và $g(x, y, t)$ đã được cho trước.

Việc chọn điều kiện biên trên biên lỏng phụ thuộc vào tài liệu thu thập được. Do đó, để tính hệ thống dòng chảy khu vực ven bờ Nam Việt Nam cần thiết phải tính một bài toán lớn hơn cho cả khu vực nam biển Đông với các điều kiện biên (6) và (7) (trong mô hình tính toán, điều kiện (6) được áp dụng cho biên bắc và điều kiện (7) được áp dụng cho biên nam của mạng lưới). Kết quả từ bài toán này được rút ra để tính toán cho bài toán dòng chảy khu vực ven bờ Nam Việt Nam bằng cách áp dụng điều kiện biên (8) hoặc (9).

b. Xây dựng mạng lưới tính toán

Với chương trình tự động chia mạng lưới tam giác của Jonathan Richard Shewchuk trong hệ điều hành UNIX, được viết lại để sử dụng được trong Windows trên nền Visual C với phân giao diện là các bản đồ dạng bmp. Hai mạng lưới được xây dựng để tính toán dòng chảy gồm mạng lưới khu vực nam biển Đông và khu vực ven bờ Nam Việt Nam.

Mạng lưới nam biển Đông có diện tích tổng cộng 2.011.600km² gồm 1602 điểm nút, 3031 phân tử và 4.633 cạnh. Diện tích phân tử lớn nhất 5.663km², diện tích phân tử nhỏ nhất 259,6km². Cạnh dài nhất 130,2km và cạnh ngắn nhất 19,8km.

Mạng lưới ven bờ Nam Việt Nam có diện tích tổng cộng 456.670km² gồm 947 điểm nút, 1.769 phân tử và 2.716 cạnh. Diện tích phân tử lớn nhất 1.091km², diện tích phân tử nhỏ nhất 100,9km², diện tích trung bình 256,5km², cạnh dài nhất 61,5km và cạnh ngắn nhất 13,4 km. Mạng lưới nằm trong phạm vi kinh tuyến 102°E đến 112°E và vĩ tuyến 7,5°N đến 13°N.

Phương pháp phần tử hữu hạn 2D được áp dụng để tính hệ thống dòng chảy cho cả hai mô hình.

4. Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn

Theo phương pháp phần tử hữu hạn, các thành phần vận tốc dòng chảy u, v , độ dâng mực nước ζ , các thành phần ứng suất tiếp tuyến gió τ_x, τ_y được xấp xỉ quanh các điểm nút i, j, m của mỗi phần tử:

$$\begin{aligned} \tilde{u} &= u_i \Phi_i + u_j \Phi_j + u_m \Phi_m & \tilde{v} &= v_i \Phi_i + v_j \Phi_j + v_m \Phi_m & \tilde{\zeta} &= \zeta_i \Phi_i + \zeta_j \Phi_j + \zeta_m \Phi_m \\ \tilde{\tau}_x &= \tau_{xi} \Phi_i + \tau_{xj} \Phi_j + \tau_{xm} \Phi_m & \tilde{\tau}_y &= \tau_{yi} \Phi_i + \tau_{yj} \Phi_j + \tau_{ym} \Phi_m \end{aligned} \quad (10)$$

trong đó, hàm dạng Φ được cho dưới dạng tuyến tính

$$\Phi_j = \frac{a_j + b_j x + c_j y}{2\Delta} \quad (11)$$

với $a_j = x_m y_i - x_i y_m$; $b_j = y_m - y_i$; $c_j = x_i - x_m$ và Δ là diện tích của phần tử

5. Kết quả tính toán

Các nguồn tài liệu được sử dụng để tính hệ thống dòng chảy cho khu vực nam biển Đông khu vực ven bờ Nam Việt Nam gồm:

- Bản đồ độ sâu biển Đông từ tài liệu của hải quân Liên Xô,
- Bản đồ nhiệt độ và độ muối từ tài liệu World Ocean Atlas - Monthly Means của NOAA,
- Bản đồ vận tốc gió trên bề mặt biển từ tài liệu COADS của NOAA
- Bản đồ khí áp trên biển, mật độ không khí trên biển từ tài liệu Atlas of Surface Marine Data của NOAA.
- Ngoài ra, chúng tôi cũng tham khảo thêm tài liệu về nhiệt độ, độ muối, mật độ nước biển tại thêm lục địa Nam Việt Nam do Viện Nghiên cứu biển Nha Trang cung cấp.

Các chương trình được viết bằng ngôn ngữ Matlab. Bước thời gian trong tính toán dòng chảy nam biển Đông là $\Delta t = 600s$ và dòng chảy ven bờ Nam Việt Nam $\Delta t = 240s$. Thời gian tính là ba ngày (72 giờ).

Trường gió tháng I và tháng VII phát triển theo hướng đông - bắc và tây - nam là các tháng gió mùa đặc trưng trong năm. Trong khi đó các tháng chuyển mùa, ứng với tháng IV và tháng X, trường gió biến thiên phức tạp cả về hướng lẫn độ lớn làm ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống dòng chảy.

Dưới đây là một số nhận xét về hệ thống dòng chảy nam biển Đông và ven bờ nam Việt Nam:

Tháng I

Có hai hệ thống xoáy ngược kim đồng hồ hình thành rõ rệt ngay giữa vùng nam biển Đông. Có thể nói đây là xoáy rất đặc trưng, do tính chất đặc thù của bờ biển khu vực. Vận tốc dòng chảy lớn nhất khoảng 18,6 cm/s có hướng tây nam ở ngay thêm lục địa Việt Nam. Vùng biển vịnh Thái Lan có vận tốc dòng chảy không lớn lắm và có một xoáy cùng chiều kim đồng hồ hình thành ngay giữa vịnh.

Tháng IV

Do trường gió biến đổi phức tạp (giữa biển Đông gió có hướng tây và vịnh Thái Lan gió có hướng bắc) nên kết quả là có nhiều xoáy nhỏ hình thành trong toàn bộ khu vực nam biển Đông. Dòng chảy có giá trị lớn nhất là 7m/s – 8m/s ở ngay mũi Cà Mau. Ở vịnh Thái Lan lại có hai hệ thống xoáy ngược chiều nhau rõ rệt được hình thành.

Tháng VII

Do ảnh hưởng gió mùa tây nam và vùng cao nguyên Việt Nam nên trong suốt dãy ven bờ Nam Việt Nam có một xoáy nhỏ ngược chiều kim đồng hồ hình thành. Trong khi đó, phần phía đông của biển dòng chảy lại ngược hướng gió, hướng về tây nam nên có một xoáy cùng chiều kim đồng hồ xuất hiện hơi lệch về phía đông. Vận tốc dòng chảy lớn nhất đạt tới 15,6 cm/s ở ngay mũi Cà Mau. Trong vịnh Thái Lan cũng xuất hiện một xoáy cùng chiều kim đồng hồ như tháng I.

Tháng X

Vào tháng X, hệ thống gió lại càng biến đổi phức tạp hơn. Phía bắc khu vực nam biển Đông có gió SW, phía nam có gió NE, vịnh Thái Lan gió SE, vì đây là tháng chuyển mùa đặc trưng và thường hay có bão xuất hiện. Tương tự như tháng VII, ngoài khơi ven biển Nam Việt Nam có một xoáy nhỏ ngược chiều kim đồng hồ hình thành trải dài. Vận tốc dòng chảy lớn nhất là 3,5 cm/s ở quanh đảo Natuna (Indonesia). Vịnh Thái Lan có hai hệ thống xoáy ngược chiều nhau hình thành tuy không rõ rệt bằng tháng IV.

5. Kết luận

Kết quả tính toán cho thấy có một sự phù hợp tương đối tốt giữa hai mô hình bằng cách lấy kết quả tính toán của bài toán dòng chảy nam biển Đông làm điều kiện biên cho mô hình thứ hai, mô hình ven bờ. Cả hai điều kiện biên (8) và (9) đều được áp dụng thực nghiệm số trị cho mô hình thứ hai và cho kết quả tương tự như nhau, mặc dù với điều kiện biên (9) - cho trước độ dâng mực nước ζ tại biên lỏng - cho kết quả tốt hơn.

Phương pháp phần tử hữu hạn có một ưu thế nhất định cho các bài toán biên, nhất là các bài toán có đường bờ biển phức tạp hay là các khu vực có nhiều đảo nhỏ. Phương pháp phần tử hữu hạn thể hiện rõ là một công cụ mạnh trong việc thiết lập mạng lưới, nhất là ở mô hình thứ hai, mạng lưới có vẻ như bị chia cắt về mặt địa lý bao gồm khu vực thềm lục địa Việt Nam lẫn vùng biển Tây Nam và một phần vịnh Thái Lan. Sự xuất hiện hệ thống dòng chảy quanh các đảo (Natuna trong mô hình một và đảo Phú Quốc trong mô hình hai) được đánh giá bằng cách áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn.

Tuy nhiên, trong tính toán, sự ảnh hưởng của lượng nước từ các cửa sông đổ ra biển Đông và vịnh Thái Lan chưa được tính đến. Ngoài ra, mô hình cũng đã được rút gọn đáng kể khi chỉ tính dòng chảy trung bình theo phương thẳng đứng và đưa vào một số giả thiết về mật độ, độ muối, nhiệt độ,... không đổi theo độ sâu.

Một trong những hạn chế của phương pháp phần tử hữu hạn là thời gian tính toán tương đối lớn. Tuy nhiên, với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ máy tính, trong tương lai, phương pháp phần tử hữu hạn sẽ dần trở thành phương pháp tốt để tính toán các bài toán thủy động lực học, nhất là các mạng lưới tính toán phức tạp, có đường bờ bị chia cắt,...

Tài liệu tham khảo

1. Brankart J-M. Seasonal variation of temperature and salinity fields and water masses in the Bien Dong Sea. 1998.
2. David S. Rurnnet. Finite element analysis. Addison Wesley publishing company, 1987.
3. David A. Greenberg. A diagnostic finite element ocean circulation model in spherical polar coordinates. Journal of atmospheric and oceanic technology, vol: 15, pp. 942 – 958, 1997.
4. Đinh Văn Ưu - Đoàn Bộ - Phạm Huấn. Mô hình tính toán và dự báo biến động trạng thái môi trường nước biển. Hội nghị KHCN biển toàn quốc lần thứ IV, 1997.
5. Kowalik - T.S. Murty. Numerical modelling of ocean dynamic, Advanced series on ocean engineering, vol. 5, World scientific, 1993.
6. Oliver Pironneau. Finite element methods for fluids. Masson, Milan, 1989.
7. Richart J. Greatbatch, Timm. Otterson. On the formulation of open boundary condition at the mouth of a bay. Journal of Geophysical research, Vol 96, pp. 18.431-18.445, 1991.
8. Võ Thanh Tân - Lê Quang Toại. Dòng chảy gió trong biển, Hội nghị lần I, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, 1998.
9. Võ Thanh Tân - Lê Quang Toại. The Finite Element Method for The Current Model in Ganh Rai Bay. International Colloquium in Mechanics of solids, fluids, structures and interactions, 2000.