

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN BIÊN BÀI TOÁN CFD MÔ PHỎNG SỰ HÌNH THÀNH SIÊU KHOANG Ở ĐẠN BẮN DƯỚI NƯỚC

STUDYING THE INFLUENCE OF SOME FACTORS ON THE SUPERCAVITY
FORMATION IN UNDERWATER PROJECTILES USING CFD

TS. Lê Hữu Ban

Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo phân tích, trình bày các bước chính xác định một số điều kiện biên cho bài toán CFD mô phỏng sự hình thành siêu khoang của đạn bắn dưới nước, bao gồm: áp suất động, áp suất hơi bão hòa và độ nhớt. Một mô hình đạn bắn dưới nước được tiến hành mô phỏng CFD áp dụng phương pháp này, kết quả thể hiện hình ảnh siêu khoang xuất hiện ở mũi đạn, tương ứng với các giá trị khác nhau của áp suất hơi bão hòa.

Từ khóa: Đạn dưới nước; Siêu khoang; CFD; Áp suất hơi bão hòa.

ABSTRACT

The article analyzes and presents the main steps to determine some boundary conditions for the CFD problem simulating the formation of supercavities of underwater projectiles, including: dynamic pressure, saturated vapor pressure, and viscosity. An underwater projectile model was conducted for CFD simulation using this method. The results showed a supercavity image appearing at the nose of the projectile, corresponding to different values of saturated vapor pressure.

Keywords: Underwater projectiles; Supercavity; CFD; Saturation vapor pressure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những vấn đề cốt lõi khi thiết kế đạn bắn dưới nước là xác định được các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hình thành siêu khoang ở loại đạn này. Có nhiều phương pháp lý thuyết để giải quyết vấn đề này, tuy nhiên chúng khá phức tạp và cho độ chính xác không cao. Một phương pháp thường được sử dụng là mô phỏng số dòng chảy – phương pháp CFD, cho kết quả trực quan và độ chính xác cao.

Để có được kết quả với độ chính xác cao từ mô phỏng CFD, điều kiện biên là một trong những yếu tố tiên quyết. Một số bài báo đã sử dụng mô phỏng CFD để khảo sát sự hình thành siêu khoang ở đạn bắn dưới nước, tuy nhiên mô hình điều kiện biên và dòng chảy được trình bày chưa tường minh, hoặc chỉ mô phỏng cho một trường hợp điều kiện biên cụ thể [1]. Để có cơ sở khoa học cho việc xác định điều kiện biên, bài báo phân tích các cơ sở vật lý của dòng chảy, từ đó đưa ra quy trình xác

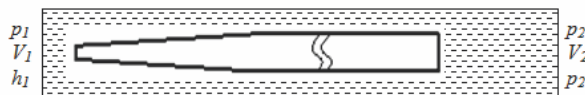
định các điều kiện biên và áp dụng mô phỏng CFD cho một mô hình đạn bắn dưới nước cụ thể.

2. XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN BIÊN

Khi đạn chuyển động trong dòng chất lỏng, dòng chảy bao quanh thân đạn có thể coi như một ống dòng. Theo [4], một số giá trị điều kiện biên cần xác định bao gồm: áp suất chênh lệch giữa đầu vào và đầu ra của ống dòng; áp suất hơi bão hòa; độ nhớt của chất lỏng.

2.1. Xác định độ chênh áp suất dòng chảy

Xét ống dòng bao quanh một viên đạn bắn dưới nước, được mô tả như Hình 1.



Hình 1. Ống dòng chất lỏng bao quanh đạn

Áp dụng định luật Bernoulli cho ống dòng bao quanh đạn, khi đó:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g h_2. \quad (1)$$

Trong đó: p_1 , V_1 , h_1 lần lượt là áp suất, vận tốc dòng chảy, độ sâu dòng chảy tại tiết diện vào của ống dòng; p_2 , V_2 , h_2 lần lượt là áp suất, vận tốc dòng chảy, độ sâu dòng chảy tại tiết diện ra của ống dòng.

Hai áp suất p_1 , p_2 tại tiết diện vào và tiết diện ra của ống dòng lần lượt là các áp suất P_{Inlet} , P_{Outlet} được thiết lập trong điều kiện biên.

Xét chuyển động tương đối của viên đạn so với môi trường nước; viên đạn chuyển động song song với mặt nước, khi đó $V_2 = 0$; h_1

$= h_2$. Độ chênh áp suất giữa tiết diện vào và tiết diện ra của ống dòng là điều kiện biên là:

$$\Delta P = P_{\text{Inlet}} - P_{\text{Outlet}} = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho V_1^2. \quad (2)$$

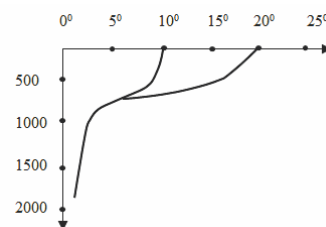
Từ phương trình (2), chọn bộ thông số điều kiện biên tại tiết diện của ống dòng như sau:

Inlet: Pressure-inlet; Reference Frame: Relative to Adjacent Cell Zone; Initial Gauge Pressure: 0; Gauge Total Pressure = $P_{\text{Inlet}} = 0,5 \rho V_1^2$ [Pa].

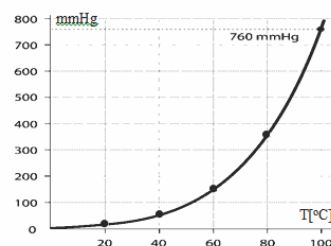
Outlet: Pressure- Outlet; Gauge Pressure: 0.

2.2. Xác định áp suất hơi bão hòa

Theo [2], sự thay đổi nhiệt độ theo độ sâu của nước được biểu diễn như trong Hình 2-a. Theo [3], sự phụ thuộc của áp suất hơi bão hòa vào nhiệt độ được thể hiện như trong Hình 2-b.



a



b

Hình 2. Sự thay đổi của nhiệt độ dòng chảy (a) và áp suất hơi bão hòa (b)

Hiện tượng siêu khoang hình thành khi nước bị chuyển hóa thành hơi nước, tạo thành bong bóng hơi nước bao quanh thân đạn, làm giảm lực cản của nước, giúp viên đạn chuyển động xa hơn trong môi trường nước. Nước chuyển hóa thành hơi nước khi áp suất hơi nước ở nhiệt độ đang xét nhỏ hơn một giá trị giới hạn – áp suất hơi bão hòa. Áp suất hơi bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ. Mặt khác, đối với đạn bắn dưới nước, nhiệt độ lại thay đổi theo độ sâu, vì vậy áp suất hơi bão hòa cũng thay đổi theo độ sâu của đạn. Những nguyên nhân trên cho thấy ở các độ sâu khác nhau thì tốc độ hình thành siêu khoang cũng khác nhau.

Quá trình xác định áp suất hơi bão hòa được thực hiện qua hai bước chính như sau:

- Từ độ sâu của đạn, xác định nhiệt độ chất lỏng tại độ sâu đang xét, sử dụng đồ thị Hình 2-a;

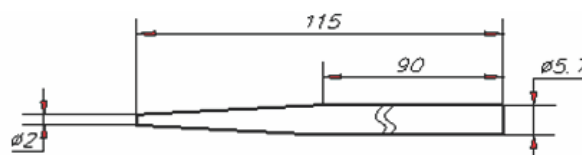
- Xác định áp suất hơi bão hòa của chất lỏng tương ứng với nhiệt độ, sử dụng đồ thị Hình 2-b.

2.3. Xác định độ nhớt chất lỏng

Môi trường tác chiến của đạn bắn dưới nước chủ yếu là biển (nước mặn) và sông ngòi (nước ngọt). Độ nhớt của các môi trường này thường ít thay đổi theo nhiệt độ, có thể coi là không đổi và bằng độ nhớt của nước, $\mu = 0.001003$ [kg/m/s].

3. MÔ PHỎNG SỐ SỰ HÌNH THÀNH SIÊU KHOANG

Bài báo giải mô hình CFD với mô hình đạn bắn dưới nước được thể hiện trong Hình 3. Môi trường nước ngọt, độ sâu 5 m; vận tốc đạn 30m/s; nhiệt độ bề mặt nước 20°C.



Hình 3. Mô hình 2D đạn bắn dưới nước

3.1. Xác định giá trị điều kiện biên

Theo mục 2.2, giá trị của một số thông số điều kiện biên cần xác định là:

$$t_{\text{nước}} \approx 20^{\circ}\text{C} \quad p_{\text{bh}} \Rightarrow 17 \text{ mmHg} =$$

$$101325 \cdot 17 / 760 = 2266 \text{ [Pa]};$$

$$P_{\text{Inlet}} = 0,5 \rho V_1^2 = 0,5 \cdot 998,2 \cdot 30^2 = 449190 \text{ [Pa]}.$$

3.2. Ảnh hưởng của áp suất hơi bão hòa đến sự hình thành siêu khoang

Các giá trị áp suất hơi bão hòa được khảo sát là $P_{\text{bh}} = 2266 \text{ Pa}$; $P_{\text{bh}} = 1500 \text{ Pa}$; $P_{\text{bh}} = 1000 \text{ Pa}$. Sự hình thành siêu khoang quanh đạn được thể hiện ở Hình 4.



a, $P_{\text{bh}} = 2266 \text{ Pa}$



b, $P_{\text{bh}} = 1500 \text{ Pa}$



c, $P_{\text{bh}} = 1000 \text{ Pa}$

Hình 4. Hiện tượng siêu khoang hình thành ở mũi đạn ứng với các giá trị khác nhau của áp suất hơi bão hòa

* Thảo luận:

Hình 4 thể hiện sự hình thành siêu khoang tại mũi đạn ứng với các giá trị khác

nhau của áp suất hơi bão hòa. Khi áp suất hơi bão hòa giảm, hiện tượng siêu khoang hình thành dễ dàng hơn. Từ Hình 3 ta thấy rằng, ở độ sâu tăng thì áp suất hơi bão hòa tăng, do đó sự hình thành siêu khoang khó hình thành hơn. Sự hình thành siêu khoang thường xuất hiện tại các vị trí có sự biến đổi đột ngột về áp suất dòng chảy, chẳng hạn mũi, vai và đáy đạn. Áp suất thay đổi đột ngột tạo thành các vùng áp suất thấp, áp suất thấp hơn áp suất hơi bão hòa sẽ xảy ra sự chuyển từ pha lỏng sang pha hơi, phần hơi nước bao quanh mũi đạn chính là siêu khoang.

4. KẾT LUẬN

Bài báo phân tích và trình bày các bước chính xác định một số thông số điều kiện biên quan trọng trong bài toán CFD mô phỏng sự hình thành siêu khoang ở đạn bắn dưới nước, một số kết quả nổi bật như sau:

- Điều kiện biên P_{Inlet} chỉ phụ thuộc vào khối lượng riêng và tốc độ chuyển động của đạn;
- Sự hình thành siêu khoang phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất hơi bão hòa của chất lỏng;

- Siêu khoang dễ hình thành ở những bề mặt có bước nhảy về vận tốc dòng chảy và độ dốc nhỏ.

Những kết quả nghiên cứu của bài báo bổ sung cơ sở cho quá trình thiết kế đạn dưới nước sử dụng phương pháp mô phỏng số CFD. ❖

Ngày nhận bài: **08/4/2024**

Ngày phản biện: **17/5/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyen Hai Minh, Dao Van Doan, Nguyen Huu Thang, “*Interior ballistics modelling of the underwater gun during the connecting period of the bullet motion*”, Journal of Science and Technique (Military Technical Academy), No.183, April 2017, pp.30-38.
- [2]. Julian David Hunt, Natália De Assis Brasil Weber, Behnam Zakeri, Ahmadou Tidiane Diaby, “*Deep seawater cooling and desalination: Combining seawater air conditioning and desalination*”, Elsevier: Sustainable Cities and Society, August 2021.
- [3]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>.
- [4]. ANSYS, Inc, FLUENT User's Guide, Release 14.0, November 2011.