

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG ĐỘ CỨNG TRUYỀN ÂM CỦA MÔI TRƯỜNG NƯỚC CHỨA BỌT KHÍ ĐỐI VỚI TẢI TRỌNG SÓNG NỔ

ĐÀM TRỌNG THẮNG

Học viện Quân sự, Bộ Quốc phòng

TRẦN ĐỨC VIỆT - Trường Đại học Mở-Địa chất

Email: thangdt@lqdtu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Độ cứng truyền âm “Z” của môi trường là một đại lượng được xác định theo công thức:

$$Z = (\rho \cdot c). \quad (1)$$

Trong đó: ρ , c - Mật độ và tốc độ truyền âm của môi trường.

Một cách định tính, có thể nhận thấy rằng bong bóng khí trong nước làm tăng khả năng nén của nước và do đó làm giảm vận tốc và tăng sự suy giảm của sóng. Đại lượng đặc trưng cho sự cản trở này của môi trường đối với sóng lan truyền trong nó là độ cứng truyền âm. Độ cứng truyền âm càng nhỏ thì sự suy giảm của sóng truyền trong môi trường càng giảm. Các ứng dụng thực tế sử dụng đặc tính giảm độ cứng truyền âm của môi trường để ngăn ngừa thiệt hại của sóng nổ cho các công trình ngập nước và bể chứa đầy nước trong các hoạt động dập nổ,...

Phần tiếp theo đây ta sẽ xác định ảnh hưởng của từng thừa số cấu thành độ cứng truyền âm trong môi trường.

2. Nghiên cứu phân tích độ cứng truyền âm trong môi trường nước chứa bọt khí

2.1. Mật độ của môi trường nước chứa bọt khí

Tiến hành nghiên cứu trong trường hợp bọt khí được phân bố đều mọi phương diện trong môi trường nước. Khi đó gần đúng có thể giả thiết hỗn hợp môi trường chất lỏng chứa bọt khí là một môi trường đồng nhất.

Gọi α_{n0} , α_{k0} là hàm lượng hay tỷ lệ thể tích thành phần chất lỏng, chất khí trong môi trường ở trạng thái ban đầu. Khi đó ta có quan hệ:

$$\alpha_{n0} + \alpha_{k0} = 1. \quad (2)$$

$$\rho_0 = \alpha_{n0} \cdot \rho_{n0} + \alpha_{k0} \cdot \rho_{k0}. \quad (3)$$

Với: ρ_0 , ρ_{n0} , ρ_{k0} - Lần lượt là mật độ môi trường hỗn hợp, mật độ phần chất lỏng, mật độ phần chất khí ở trạng thái ban đầu.

Khi môi trường chịu tải trọng sóng nổ, các thông số môi trường thay đổi rất mạnh khi mặt sóng nổ đi qua. Mật độ môi trường ở điều kiện chịu tải đó có thể xác định thông qua các phương trình trạng thái của môi trường. Do môi trường đang xét có hai thành phần là chất lỏng và chất khí nên khi xem xét dưới tác dụng của tải trọng động ta phải sử dụng tổng hợp hai phương trình trạng thái thành phần chất lỏng và khí có trong môi trường.

Theo Lyakhov, khi chịu tác dụng của tải trọng xung kích do nổ, các thông số của thành phần chất lỏng tuân theo phương trình trạng thái có dạng viết dưới dạng thể tích riêng như sau [3], [4], [5], [6]:

$$p = p_{mn} + \frac{\rho_{n0} \cdot c_{n0}^2}{K_n} \left[\left(\frac{v_{n0}}{v_n} \right)^{K_n} - 1 \right]. \quad (4)$$

Trong đó: p , p_{mn} - Áp suất ở trạng thái khảo sát và áp suất ban đầu của khí quyển trên mặt nước; v_n , v_{n0} - Lần lượt là thể tích riêng của thành phần nước ở trạng thái khảo sát và trạng thái ban đầu, xác định theo công thức: $v_n = (1/\rho_n)$ và $v_{n0} = (1/\rho_{n0})$; K_n - Chỉ số đa biến của môi trường nước được xác định bằng thực nghiệm, theo Lyakhov $K_n = 3$; c_{n0} - Tốc độ truyền âm trong nước ở trạng thái ban đầu; ρ_0 , ρ_{n0} - Mật độ phần nước ở trạng thái khảo sát và trạng thái ban đầu.

Trong điều kiện tiêu chuẩn: $c_{n0} = 1500$ m/s; $\rho_{n0} = 1000$ kg/m³. Từ (4) ta xác định được sự phụ thuộc của mật độ của môi trường nước vào áp suất môi trường như sau:

$$\rho_n = \rho_{n0} \cdot \left(\frac{p - p_{mn}}{\rho_{n0} \cdot c_{n0}^2} \cdot K_n + 1 \right)^{\frac{1}{K_n}}. \quad (5)$$

Biểu thức (5) chỉ ra rằng, chỉ cần thay đổi ρ_n rất nhỏ cũng làm cho áp suất tăng lên rất lớn. Điều này phản ánh đúng thực tế, nước được xem như là một môi trường không chịu nén.

Do $(v_{n0}/\alpha_{n0}) = (v_n/\alpha_n)$ nên từ (4) suy ra:

$$\alpha_n = \alpha_{n0} \cdot \left(\frac{p - p_{mn}}{\alpha_{n0} \cdot c_{n0}^2} \cdot K_n + 1 \right)^{\frac{-1}{K_n}} \quad (6)$$

Đối với pha khí, phương trình trạng thái của khí thực biểu thị qua phương trình Klapieiron-Vendeleev với giả thiết quá trình chịu tải là đoạn nhiệt có được biến đổi về dạng [2], [3], [4]:

$$p = p_{k0} \left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}} \right)^{K_k} \quad (7)$$

Trong đó: c_{k0} - Tốc độ lan truyền của sóng âm trong môi trường khí ở trạng thái ban đầu; p , p_{k0} - áp suất pha khí ở trạng thái khảo sát và trạng thái ban đầu; ρ_k , ρ_{k0} - Mật độ pha khí ở trạng thái khảo sát và trạng thái ban đầu; K_k - Chỉ số đa biến của khí thực.

Trong điều kiện tiêu chuẩn có $c_{k0} = 340$ m/s; $\rho_{k0} = 1,27$ kg/m³; $K_k = 1,4$. Tiến hành nghiên cứu đối với loại bóng khí hình thành ban đầu có áp suất cân bằng với áp suất trong nước. Khi đó áp suất pha khí ở trạng thái ban đầu trong môi trường nước bằng:

$$p_{k0} = (p_{mn} + p_{n0} \cdot g \cdot w) \quad (8)$$

Trong đó: g - Gia tốc trọng trường; w - Độ sâu bóng khí khảo sát.

Do $(v_{k0}/\alpha_{k0}) = (v_k/\alpha_k)$ nên từ (7) suy ra:

$$\alpha_k = \alpha_{k0} \cdot \left(\frac{p}{p_{k0}} \right)^{\frac{-1}{K_k}} \quad (9)$$

Trong đó: v_k , v_{k0} - Lần lượt là thể tích riêng của thành phần khí ở trạng thái khảo sát và trạng thái ban đầu, xác định theo công thức: $v_k = (1/\rho_k)$ và $v_{k0} = (1/\rho_{k0})$.

Từ (3), ta có:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{\alpha_k + \alpha_n} \quad (10)$$

Thay (6), (9) vào (10) ta có biểu thức liên hệ giữa áp suất p và mật độ của môi trường, đó chính là phương trình trạng thái của môi trường hai pha, cho phép xác định mật độ của môi trường theo áp suất và tỷ lệ thành phần các pha ở trạng thái ban đầu:

$$\rho = \rho_0 \left[\alpha_{k0} \cdot \left(\frac{p}{p_{k0}} \right)^{\frac{-1}{K_k}} + \alpha_{n0} \cdot \left(\frac{p - p_{mn}}{\rho_{n0} \cdot c_{n0}^2} \cdot K_n + 1 \right)^{\frac{-1}{K_n}} \right]^{-1} \quad (11)$$

2.2. Tốc độ truyền âm trong môi trường nước chứa bọt khí

Theo Domenico, khi tần số nguồn âm thấp hơn tần số cộng hưởng của bọt khí thì tốc độ truyền âm

trong hỗn hợp nước chứa bọt khí được xác định theo phương trình sau [6]:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\beta \cdot \rho}} \quad (12)$$

Trong đó, tần số cộng hưởng của bọt khí trong môi trường nước được xác định theo Silberman [8]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi r} \sqrt{\frac{3 \cdot \mu \cdot K_k \cdot p}{\rho}}, \text{ Hz.} \quad (13)$$

Trong đó: r - Bán kính bóng khí; μ - Hệ số đa biến $(1/K_k) \leq 1$, xác định theo biểu thức:

$$\mu = [1/(1+\beta)]. \quad (14)$$

Chu kỳ biến thiên áp suất trong nước của hiệu ứng dẫn nở buồng nổ (nổ lặn) tại một điểm cố định trong nước khi mặt sóng nổ đi qua gần đúng xác định theo công thức [1]:

$$T = \frac{2,1 \cdot C^{1/3}}{(10,33 + H)^{5/6}}, \text{ s.} \quad (15)$$

Với: C - Khối lượng thuốc nổ, kg; H - Chiều sâu tâm nổ, m.

Các biến thiên áp suất tại điểm khảo sát xuất hiện sau khi mặt sóng nổ đi qua là do các sóng nén hình thành khi bóng khí nổ nén ép nước ở giai đoạn giãn nở lan truyền đến. Do các sóng nén này có biên độ rất nhỏ so với sóng xung kích (sóng nén 1 có biên độ lớn nhất nhưng không quá 10÷20 % biên độ sóng xung kích) và các sóng nén 2, 3,... về sau càng nhỏ, nên thực tế ảnh hưởng của các sóng nén này không nhiều, đặc biệt coi như bằng không ở các vị trí xa tâm nổ. Nếu xét cả các sóng này, coi như sóng nổ có nhiều chu kỳ thì tần số của nó xác định theo công thức:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{(10,33 + H)^{5/6}}{2,1 \cdot C^{1/3}}, \text{ Hz.} \quad (16)$$

Dễ dàng nhận thấy trong thực tế sử dụng thuốc nổ thì: $f \leq 500$ Hz (khi $C \geq 0,5$ g và $H \leq 190$ m hoặc $C \geq 0,1$ kg và $H \leq 1670$ m). Độ nén của môi trường hỗn hợp xác định theo công thức:

$$\beta = (\alpha_{k0} \cdot \beta_k + \alpha_{n0} \cdot \beta_n). \quad (17)$$

Theo Gibson độ nén của thành phần khí xác định theo công thức [7]:

$$\beta_k = [1/(K_k \cdot p)]. \quad (18)$$

Độ nén của nước β_n thay đổi khi nhiệt độ môi trường thay đổi. Tuy nhiên, theo Domenico các ảnh hưởng này là nhỏ và có thể xác định [6]:

$$\beta_n = 4,382 \cdot 10^{-10} (\text{Pa}^{-1}). \quad (19)$$

Thay (18) vào (17) ta có:

$$\beta = \alpha_{k0} \cdot \frac{1}{K_k \cdot p} + \alpha_{n0} \cdot \beta_n \quad (20)$$

Từ đây ta có biểu thức xác định vận tốc truyền âm trong môi trường nước chứa bọt khí như sau:

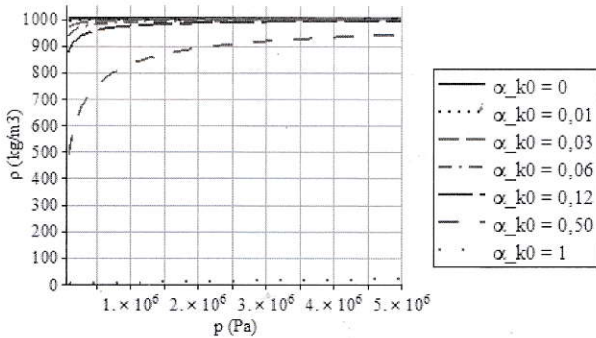
$$c = \sqrt{\frac{\alpha_{k0} \cdot \left(\frac{p}{p_{k0}}\right)^{-\frac{1}{K_k}} + \alpha_{n0} \cdot \left(\frac{p - p_{mn}}{\rho_{n0} \cdot c_{n0}^2} \cdot K_n + 1\right)^{-\frac{1}{K_n}}}{\left(\alpha_{k0} \cdot \frac{1}{K_k \cdot p} + \alpha_{n0} \cdot \beta_n\right) \cdot \rho_0}} \quad (21)$$

Thay (11), (20) vào (22) nhận được độ cứng truyền âm trong môi trường nước chứa bọt khí:

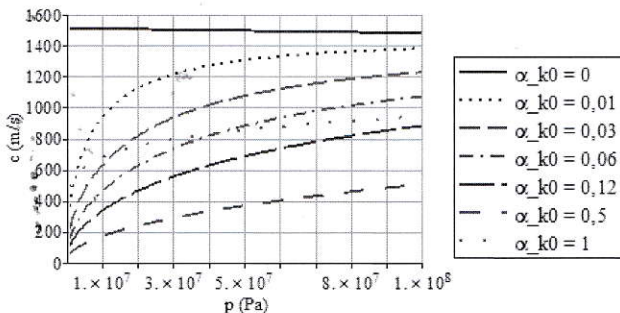
$$Z = \sqrt{\frac{\alpha_{n0} \rho_{n0} + \alpha_{k0} \rho_{k0}}{\left(\alpha_{k0} \cdot \left(\frac{p}{p_{k0}}\right)^{-\frac{1}{K_k}} + \alpha_{n0} \cdot \left(\frac{p - p_{mn}}{\rho_{n0} \cdot c_{n0}^2} \cdot K_n + 1\right)^{-\frac{1}{K_n}}\right) \cdot \left(\alpha_{k0} \cdot \frac{1}{K_k \cdot p} + \alpha_{n0} \cdot \beta_n\right)}} \quad (23)$$

3. Tính toán, khảo sát số và thảo luận

Để khảo sát và đánh giá các thông số đặc trưng có ảnh hưởng đến độ cứng truyền âm của môi trường nước chứa bọt khí, tiến hành viết chương trình tính toán mật độ, tốc độ truyền âm và độ cứng truyền âm trên phần mềm Maple 17. Kết quả khảo sát nhận được sự phụ thuộc của mật độ, tốc độ âm và độ cứng truyền âm của môi trường hỗn hợp nước-bọt khí phụ thuộc vào hàm lượng bóng khí, áp suất môi trường và chiều sâu nước, tương ứng với các đồ thị quy luật biến đổi của chúng được trình bày từ hình H.1 đến hình H.3.



H.1. Sự phụ thuộc mật độ môi trường nước chứa bọt khí vào hàm lượng bọt khí α_{k0} và áp suất trong bọt khí ở chiều sâu nước khảo sát $w=1$ m

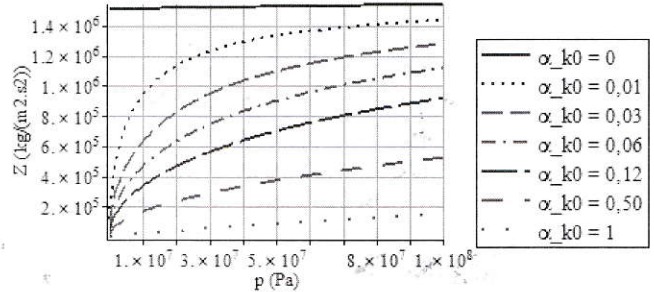


H.2. Sự phụ thuộc của tốc độ âm trong môi trường nước chứa bọt khí vào hàm lượng bọt khí α_{k0} và áp suất trong bọt khí ở chiều sâu nước khảo sát $w=1$ m.

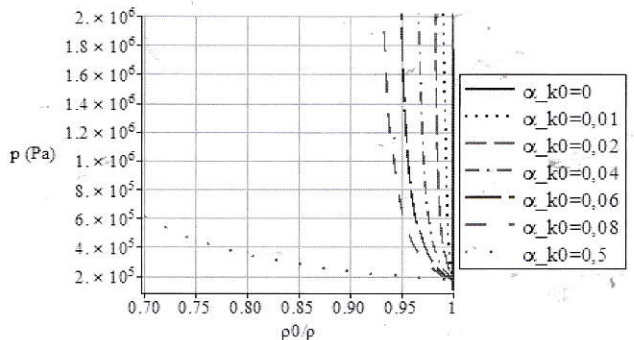
2.3. Xác định độ cứng truyền âm trong môi trường nước chứa bọt khí

Từ (12) và (1) ta có độ cứng truyền âm của môi trường nước chứa bọt khí:

$$Z = \rho \cdot c = \sqrt{\rho / \beta} \quad (22)$$



H.3. Sự phụ thuộc của độ cứng truyền âm trong môi trường nước chứa bọt khí vào hàm lượng bọt khí α_{k0} và áp suất môi trường ở chiều sâu nước khảo sát là $w=1$ m



H.4. Sự phụ thuộc áp suất vào mật độ riêng trong môi trường hỗn hợp nước-bọt khí với thành phần hàm lượng khí khác nhau

Phân tích các kết quả khảo sát trên cho phép rút ra các nhận xét sau:

➤ Từ đồ thị trong hình H.1, H.2, H.3 dễ dàng nhận thấy: khi tăng hàm lượng khí α_{k0} làm giảm mật độ, tốc độ âm và độ cứng truyền âm của môi trường hỗn hợp nước-khí giảm. Khi hàm lượng khí bằng 0 thì phương trình trạng thái của môi trường hỗn hợp quay về môi trường nước, đồ thị là đường nằm ngang. Ở mỗi trị số hàm lượng bọt khí, nếu áp suất của môi trường nước càng tăng thì mật độ, tốc độ lan truyền sóng âm và độ cứng âm học của môi trường hỗn hợp nước-bọt khí càng tăng;

➤ Từ đồ thị hình H.4 chỉ ra rằng ở cùng một giá

trị mật độ riêng của môi trường, khi tăng hàm lượng bọt khí thì áp suất do sóng nổ tại điểm khảo sát trong môi trường hỗn hợp nước-bọt khí giảm mạnh và ngược lại;

➤ Khai thác kết quả khảo sát trong chương trình tính chỉ ra ở các độ sâu $w \leq 50$ m, ảnh hưởng của độ sâu nước đến mật độ, tốc độ truyền âm, độ cứng truyền âm của môi trường hỗn hợp nước-khí là không đáng kể và có thể bỏ qua.

4. Kết luận và khuyến nghị

Môi trường hỗn hợp nước-bọt khí có độ cứng truyền âm lớn hơn độ cứng truyền âm trong không khí và nhỏ hơn trong môi trường nước. Độ cứng truyền âm của môi trường hỗn hợp nước-bọt khí phụ thuộc mạnh vào hàm lượng thành phần khí và áp suất môi trường. Khi tăng hàm lượng bọt khí thì độ cứng truyền âm của môi trường hỗn hợp nước-bọt khí giảm, dẫn đến áp suất trong môi trường hỗn hợp cũng giảm và ngược lại.

Khuyến nghị: như vậy để làm suy giảm hay triệt tiêu sóng xung kích nổ lan truyền trong môi trường nước cần tạo ra trên đường truyền sóng một màn chắn dạng hỗn hợp nước-bọt khí với độ cứng truyền âm phù hợp với yêu cầu bảo vệ công trình. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hồ Sĩ Giao, Đàm Trọng Thắng, Lê Văn Quyền, Hoàng Tuấn Chung. Nổ hóa học - Lý thuyết và thực tiễn. NXB Khoa học và kỹ thuật. 2010.
2. Đàm Trọng-Thắng. Ảnh hưởng của trạng thái đất đá đến đặc tính tác động của sóng nổ trong đất bão hòa nước. Tạp chí Công nghiệp mỏ, số 3 năm 2013.
3. Баум Ф.А, Станюкович К.П, Шехтер В.И. Физика взрыва, «Физматлит», Москва. 2002.
4. Г.М Ляхов. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. "Наука", Москва. 1982.
5. Ханукаев А.Н. "Физические процессы при отбойке горных пород взрывом". Недра. 1974.
6. Domenico. Acoustic wave propagation in air-bubble curtains in water. Geophysics, Vol 47. N03. 1982.
7. Gibson, F. W. Measurement of the effects of air bubbles on the speed of sound in water. J. Acoust. Soc. Am., v. 48. 1970.
8. Silberman. E. Sound velocity and attenuation in bubbly mixtures measured in standing wave tubes: J Acoust. Soc. Am., v. 29. 1957.

Ngày nhận bài: 28/09/2019

Ngày gửi phản biện: 18/30/2019

Ngày nhận phản biện: 25/05/2020

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/06/2020

Từ khóa: độ cứng truyền âm, môi trường nước chứa bọt khí, vận tốc truyền âm, mật độ

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

Tóm tắt: Việc sử dụng màn chắn dạng nước chứa bọt khí là một giải pháp hữu ích để làm suy giảm sóng nổ lan truyền trong nước, góp phần bảo vệ công trình khi thi công nổ dưới nước. Mức độ suy giảm cường độ sóng nổ phụ thuộc vào độ cứng truyền âm của môi trường màn chắn. Các lý thuyết hiện nay chủ yếu nghiên cứu về độ cứng truyền âm trong nước, trong không khí mà chưa có nhiều nghiên cứu trong môi trường nước chứa bọt khí. Trên cơ sở giả thiết hỗn hợp nước-bọt khí là một dạng môi trường liên tục đồng nhất, bài báo sử dụng phương pháp giải tích để xác định độ cứng truyền âm của môi trường khi chịu tác dụng của tải trọng nổ theo các tham số đặc trưng của môi trường nước chứa bọt khí. Kết quả nghiên cứu chỉ ra, độ cứng truyền âm và áp suất của môi trường giảm theo sự gia tăng của hàm lượng bóng khí.

Research affecting the acoustic impedance of bubble-water environment on explosive wave load

SUMMARY

The use of bubble screen is a useful solution to reduce the intensity of underwater shockwaves, which lead to protect the construction from underwater shockwave. The reduce the intensity of underwater shockwaves depends on the acoustic impedance of the material screen medium. The current theories mainly focus on acoustic impedance of water or air without much researches in the bubble-water environment. Based on the assumption that the bubble-water mixture is a homogeneous continuous environment, the paper uses analytic method to determine the acoustic impedance of this medium under explosive load according to the specific parameters of the bubble-water environment. The results show that the acoustic impedance and pressure of the medium decrease with the increase in the fractional bubbles volume.