



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Tương tác giữa sóng nổ với vỏ chống công trình ngầm

Nguyễn Thành Nam¹, Nguyễn Xuân Mãn^{2,*}, Nguyễn Duyên Phong²

¹ Cục Kinh tế Xây dựng, Bộ Xây dựng, Việt Nam

² Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 10/8/2018
 Chấp nhận 25/9/2018
 Đăng online 31/10/2018

Từ khóa:
 Tương tác
 Sóng nổ
 Công trình ngầm

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một cách đánh giá tác động của sóng nổ đến vỏ chống công trình ngầm. Trong bài viết này xem xét loại vỏ chống được tạo nên từ các vòng chống dạng hình trụ; được chế tạo từ bê tông, bê tông cốt thép hoặc đúc bằng gang. Các vòng chống này có mặt cắt ngang dạng vành khuyên, có độ dày theo thiết kế và chiều dài mỗi đoạn từ 1,5 đến 3,0m. Vỏ chống được giả thiết đặt trong môi trường có biến dạng liên tục theo mô hình đàn hồi hay đàn - dẻo. Bài toán được giải bằng phương pháp giải tích với việc áp dụng lý thuyết thay thế gần đúng để tìm nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Tương tác giữa sóng nổ với vỏ chống công trình ngầm xảy ra theo chu kỳ và sự phân bố ứng suất phụ thuộc vào chu kỳ dao động riêng T_0 của kết cấu vòng chống dạng trụ và dạng của hàm tải ngoài $H(t)$ gây nên do sóng nổ tác dụng vào bề mặt kết cấu chống công trình ngầm.

- Những kết quả nhận được cho phép chính xác hóa sự phân bố ứng suất và chuyển vị trong vòng chống; từ đó có thể kiểm tra sức mang tải của vòng chống dạng trụ của công trình ngầm chịu tác động của sóng nổ mìn..

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Bài toán về tác động của sóng nổ đến kết cấu chống của công trình ngầm xây dựng trong môi trường đất đá xung quanh là phức tạp và không phải lúc nào cũng đưa ra được lời giải giải tích một cách chính xác và tổng quát (Vlaxop, 1962; Onhiasvili, 1957; Panokhop, 1967; Liakhop, 1964; Lê Đình Tân, 2000; Nguyễn Xuân Mãn, 2010; Kutuzov, 1992).

Để giải quyết khó khăn này các nhà khoa học

đã đưa ra phương pháp số để tìm nghiệm gần đúng như phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp sai phân, phương pháp biến phân (Argyris, 1968; Zienkiewicz, 1970; Konyvkiado, 1974; Bath, 1978; Trần Văn Minh, 1998; Lê Đình Tân, 2000; Trần Đình Châu, 2004; Nguyễn Tất Ngân, 2010; Đỗ Ngọc Anh, 2018;...).

Trong bài toán này chúng tôi cố gắng đi tìm lời giải giải tích. Để đạt được mục đích này các tác giả đã thực hiện phép đơn giản hóa bài toán bằng việc chấp nhận giả thuyết như sau: Môi trường đất đá xung quanh có khả năng cản trở biến dạng của vòng chống công trình ngầm khi nó chịu tác động của tải trọng động do sóng nổ sinh ra. Khả năng

*Tác giả liên hệ

E-mail: mannxdoky@gmail.com

này liên quan đến độ cứng của vòng chống và môi trường xung quanh.

Dưới đây sử dụng lý thuyết vỏ moment và phương pháp biến đổi đúng đắn của Galerkin để tìm lời giải tích cho bài toán đặt ra.

2. Thiết lập bài toán

Giả thiết tồn tại lực động xung kích tác động theo phương pháp tuyến lên bề mặt kết cấu chống của đường hầm do sóng nổ sinh ra, theo quy luật công thức (1) (Vlaxop, 1962).

$$Z(\alpha, \beta, t) = P(\alpha, \beta).H(t). \quad (1)$$

Trong đó: α, β - là các tọa độ cong trục giao, lần lượt theo hướng dọc trục hầm và theo hướng vuông góc với trục hầm; t - biến thời gian; $Z(\alpha, \beta, t)$ - hàm của 3 biến α, β và t ; $P(\alpha, \beta)$ - hàm của 2 biến α, β ; $H(t)$ - hàm tải trọng thay đổi theo thời gian t .

Từ việc xét bài toán cân bằng động của vòng chống dạng hình trụ dẫn đến điều kiện thỏa mãn hệ gồm hai phương trình vi phân bậc 4 đối với hai hàm vô hướng: hàm ứng suất $\varphi(\alpha, \beta)$ và hàm chuyển vị $w(\alpha, \beta)$ theo Vlaxop (1962) như công thức (2) sau (Vlaxop, 1962; Onhiasvili, 1957).

$$\begin{cases} \frac{1}{Eh} \nabla^4 \varphi - R \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} = 0; \\ R \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \alpha^2} + D \nabla^4 w + \frac{\gamma h}{g} R^4 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = R^4 P H \end{cases} \quad (2)$$

Trong công thức (2), ngoài các ký hiệu đã biết trong (1), thì: $\nabla^4 = \left(\frac{\partial^4}{\partial \alpha^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^4} \right)$ - là toán tử lưỡng điều hòa; E - mô đun đàn hồi của vật liệu bê tông làm vỏ chống hầm; $H=H(t)$ - Hàm tải trọng theo biến thời gian t ; γ - trọng lượng thể tích của vật liệu bê tông làm vòng chống, T/m³; D - độ cứng chống uốn của dầm là hình trụ tròn xoay có tiết diện ngang là vành khuyên, gọi tắt là độ cứng trụ (Khái niệm độ cứng trụ hay độ cứng hình trụ khi uốn của vỏ chống dạng hình trụ tròn ký hiệu là D và được xác định theo công thức $D = E.J$; trong đó: E - mô đun đàn hồi của vật liệu; J - Mô men tĩnh của mặt cắt ngang của kết cấu dạng trụ có dạng vành khuyên với bề dày là b , xác định như sau: $b = (d_n - d_t)$, với d_n - đường kính ngoài của vành khuyên, d_t - đường kính trong của vành khuyên); $\varphi = \varphi(\alpha, \beta)$ - hàm ứng suất trong vòng chống; $w = w(\alpha, \beta)$ - hàm chuyển vị của vòng chống; g - gia tốc trọng trường; R - bán kính ngoài của vòng chống hình trụ; $P = P(\alpha, \beta)$ - biên độ dao động của tải ngoài.

Nhiệm vụ đặt ra là tìm hai hàm: $\varphi = \varphi(\alpha, \beta)$ -

hàm ứng suất và $w = w(\alpha, \beta)$ - hàm chuyển vị thỏa mãn (2) và thỏa mãn các điều kiện ban đầu của bài toán.

3. Giải bài toán

Lời giải của (2) đối với $\varphi = \varphi(\alpha, \beta)$ và $w = w(\alpha, \beta)$ được tìm ở dạng (3), cụ thể như sau:

$$\begin{cases} \varphi = \sum_m \sum_n A_{mn}(t) \varphi_{mn}(\alpha, \beta); \\ w = \sum_m \sum_n B_{mn}(t) w_{mn}(\alpha, \beta). \end{cases} \quad (3)$$

Các hàm $\varphi = \varphi(\alpha, \beta)$ và $w = w(\alpha, \beta)$ trong (3) là các chuỗi hàm, mà các hệ số của chuỗi là $A_{mn}(t)$, $B_{mn}(t)$ là các hàm của thời gian t (để đơn giản về sau ta gọi các hệ số đó là A_{mn}, B_{mn}).

Nếu biểu diễn biên độ dao động của tải trọng ngoài $P = P(\alpha, \beta)$ trong (2) dưới dạng (4) (Onhiasvili, 1957):

$$P = \sum_m \sum_n C_{mn} w_{mn} \quad (4)$$

với C_{mn} là các hệ số của phân tích Furie; và trong trường hợp tổng quát được xác định theo công thức (5) sau đây (Onhiasvili, 1957, Panokhop, 1967):

$$C_{mn} = \frac{\iint p(\alpha, \beta) \cdot w_{mn} d\alpha d\beta}{\iint w_{mn}^2 d\alpha d\beta} \quad (5)$$

Các hệ số của các chuỗi hàm trong (3) được xác định sao cho thỏa mãn điều kiện biên của các hàm φ_{mn} và w_{mn} , để có thể đáp ứng tốt nhất hệ phương trình vi phân (2). Sử dụng phương pháp biến đổi đúng đắn của Galerkin (Onhiasvili, 1957) thì các phương trình vi phân ở (2) được biến đổi thành (6) (Onhiasvili, 1957; Panokhop, 1967)

$$\begin{cases} \iint \left(\frac{1}{Eh} \nabla^4 \varphi - R \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} \right) \varphi \cdot d\alpha \cdot d\beta = 0 \\ \iint \left(R \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \alpha^2} + D \nabla^4 w + \frac{\gamma h}{g} R^4 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - R^4 P H \right) w \cdot d\alpha \cdot d\beta = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Đưa (3) và (4) vào (6) và chú ý rằng các hàm φ_{mn} và w_{mn} là trực giao, ta biến đổi và viết được như sau (3, 4):

$$\begin{cases} \iint \left(\frac{A_{mn}}{Eh} \nabla^4 \varphi_{mn} - B_{mn} R \frac{\partial^2 w_{mn}}{\partial \alpha^2} \right) \varphi_{mn} \cdot d\alpha \cdot d\beta = 0 \\ \iint \left(\begin{matrix} A_{mn} R \frac{\partial^2 \varphi_{mn}}{\partial \alpha^2} + \\ B_{mn} D \nabla^4 w_{mn} + \\ \frac{\gamma h}{g} R^4 \frac{\partial^2 B_{mn}}{\partial t^2} w_{mn} - \\ C_{mn} R^4 H w_{mn} \end{matrix} \right) w_{mn} d\alpha d\beta = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Trong (7): A_{mn}, B_{mn} và C_{mn} là các hệ số cần tìm.

Các tích phân (7.1) và (7.2) được lấy trên toàn miền giới hạn bởi các biến α và β .

Trong (7.1) ta đặt các ký hiệu I_1 và I_2 thay các tích phân xác định; đặt các ký hiệu I_3, I_4 và I_5 là các tích phân xác định trong (7.2); khi đó (7.1) và (7.2) được viết dưới dạng:

$$\begin{cases} \frac{A_{mn}}{Eh} I_1 - B_{mn} R I_2 = 0 \\ A_{mn} R I_3 + B_{mn} D I_4 + \frac{\gamma h}{g} R^4 \frac{\partial^2 B_{mn}}{\partial t^2} I_5 = C_{mn} R^4 H I_5 \end{cases} \quad (8)$$

Chia hai vế của (8) cho I_5 và để ý rằng: $B_{mn}'' = \frac{\partial^2 B_{mn}}{\partial t^2}$, ta có:

$$\frac{\gamma h}{g} R^4 B_{mn}'' + B_{mn} \left(Eh R^2 \frac{I_2 I_3}{I_1 I_5} + D \frac{I_4}{I_5} \right) = C_{mn} R^4 H \quad (9)$$

Ta ký hiệu:

$$\omega_{mn}^2 = \left(Eh R^2 \frac{I_2 I_3}{I_1 I_5} + D \frac{I_4}{I_5} \right) \frac{g}{\gamma h R^4} \quad (10)$$

Chia cả hai vế của (9) cho $(\gamma h/g)R^4$ và chú ý đến biểu thức ở (10) ta nhận được:

$$B_{mn}'' + \omega_{mn}^2 B_{mn} = C_{mn} \frac{gH}{\gamma h} \quad (11)$$

Trong (11): $H = H(t)$ - là tải trọng ngoài tác động vào vòng chống dạng trụ và thường là hàm của thời gian t do nổ mìn gây ra.

Nghiệm riêng của phương trình vi phân bậc 2 dạng (11) sẽ là:

$$B_{mn}(t) = \frac{g C_{mn}}{\gamma h \omega_{mn}^2} \int_0^t H(t) \sin(\omega_{mn}(t - \tau)) d\tau \quad (12)$$

Nếu ta viết cho gọn các số hạng của chuỗi bằng việc bỏ các ký hiệu mn ở chỉ số, tức là $B=B_{mn}$, $\omega=\omega_{mn}$, đồng thời lấy tích phân từng phần của (12), sẽ nhận được:

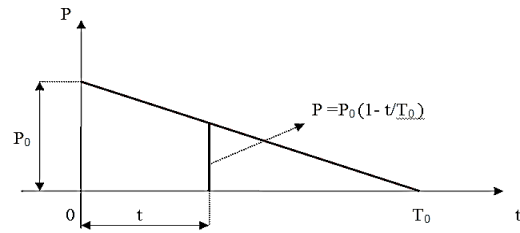
$$B(t) = \frac{gC}{\gamma h \omega^2} \left\{ H(t) - H(0) \cos \omega t - \int_0^t H'(t) \cos \omega(t - \tau) dt \right\} \quad (13)$$

Để tiếp tục giải (13) cần cho trước dạng của hàm $H(t)$ tác dụng nên bề mặt của kết cấu công trình ngầm. Dạng đơn giản nhất của hàm tải trọng ngoài do sóng nổ có thể lấy như sau (B.Z. Vlastov, 1962)

$$H(t) = P_0 (1 - t/T_0). \quad (14)$$

Trong (14): P_0 là giá trị của tải trọng ngoài tại thời điểm tác động của sóng nổ đến bề mặt kết cấu vỏ chống ứng với thời điểm ban đầu $t = 0$; T_0 - chu kỳ tác động của tải dao động dạng sóng do nổ. Hàm $H(t)$ theo (14) là hàm tuyến tính đối với t .

Công thức (14) minh họa đồ thị trong Hình 1.



Hình 1. Dạng của hàm $H(t)$ - Hàm tuyến tính của t và phân bố dạng tam giác

Theo (4) thì hàm $H(t)$ được tính theo công thức (15). Đây là hàm phi tuyến dạng parabol bậc 2 đối với t . Theo nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết của (Liakhov 1964) thì dạng hàm $H(t)$ được xác định theo công thức gần đúng - bán thực nghiệm như sau (Liakhov, 1964):

$$H(t) = 2P_0 (1 - t/T_0)^2 \quad (15)$$

Cũng theo (Liakhov, 1964) thì dạng hàm (15) đã xét đến đặc điểm của sóng tới và sóng phản xạ với việc coi vòng chống là kết cấu cứng. Như vậy dạng hàm (15) phù hợp với thực tế hơn (14).

Công thức (13) có kể đến hàm $H(t)$ tính theo (15) cho ta:

$$B(t) = \frac{gC}{\gamma h \omega^2} 2P_0 \left\{ \left(\left(1 - \frac{t}{T_0} \right)^2 - \cos \omega t + \right) \right. \\ \left. 2 \left(1 - \frac{t}{T_0} \right) \frac{\sin \omega t}{\omega T_0} \right\} \quad (16)$$

Phân tích công thức (16) cho thấy thành phần $\left(\frac{gC}{\gamma h \omega^2} 2P_0 \right)$ ở ngoài dấu ngoặc nhọn chính là lời giải của bài toán tĩnh ứng với tải trọng ngoài tác động lên kết cấu là $P = 2P_0$.

Ta ký hiệu biểu thức bên trong ngoặc nhọn bằng μ :

$$\mu = \left\{ \left(\left(1 - \frac{t}{T_0} \right)^2 - \cos \omega t + \right) \right. \\ \left. 2 \left(1 - \frac{t}{T_0} \right) \frac{\sin \omega t}{\omega T_0} \right\} \quad (17)$$

Như vậy μ trong (17) về ý nghĩa vật lý được xem là hệ số động của tải ngoài dạng parabol bậc 2 cho trong (15).

Biến đổi biểu thức (15) như sau:

$$H(t) = 2P_0 (1 - t/T_0)^2 = 2 \cdot (1 - t/T_0) \cdot (P_0 (1 - t/T_0)) = k (P_0 (1 - t/T_0)); \text{ với: } k = 2(1 - t/T_0)$$

Nếu đặt: $k = \cos \omega t$, khi đó (17) có thể viết dưới dạng (18):

$$H(t) = \cos \omega t \cdot P_0 (1 - t/T_0) \quad (18)$$

Khi đó thay (18) vào (17) và biến đổi cho ta:

$$\mu(k) = \left\{ 1 - \cos \omega t - \frac{\omega t - \sin \omega t}{\omega T_0} \right\} \quad (19)$$

Như vậy biểu thức (16) đạt cực trị khi $\mu(k)$ tính theo (19) cũng phải đạt cực trị. Điều đó có thể đạt được khi có thể tìm được t_i để thỏa mãn (20):

$$\frac{d\mu(k)}{dt} = \frac{d\left\{1 - \cos \omega t - \frac{\omega t - \sin \omega t}{\omega T_0}\right\}}{dt} = 0 \quad (20)$$

Dưới đây trình bày ngắn gọn (bỏ qua các biến đổi trung gian đơn giản) cách giải (20):

$$\frac{d\mu(k)}{dt} = \frac{d\left\{1 - \cos \omega t - \frac{\omega t - \sin \omega t}{\omega T_0}\right\}}{dt} = 0 \quad (21)$$

$$\Leftrightarrow (T_0 \omega \cdot \sin \omega t + \cos \omega t) = 1$$

Đặt: (22)

$$\cos \alpha = (\omega T_0) / ((\omega T_0)^2 + 1)^{0.5}; \sin \alpha = 1 / ((\omega T_0)^2 + 1)^{0.5}$$

Khi đó: (21) \Leftrightarrow (23)

$$(\cos \alpha \sin \omega t + \sin \alpha \cos \omega t) = \sin(\alpha + \omega t) = \sin(\pi/2)$$

Nghiệm của (23) như (24) (24)

$$t = ((\pi/2 \pm \alpha) + 2i\pi) / \omega; \text{ với: } i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$$

Từ các số liệu đầu vào là ω, T_0 ta sẽ tính α theo (22), sau đó đưa α tính được và cho các giá trị $i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ vào (24) ta sẽ tính được t_i tương ứng theo; còn giá trị $T_i = t_i T_0$.

Các giá trị μ và $\mu(k)$ tính theo (17) và (19) cho trong các Bảng 1 và Bảng 2 dưới đây.

Bảng 1. Giá trị μ tính theo T_i theo công thức (17).

T_i	$0,25 T_0$	$0,50 T_0$	$0,75 T_0$	$1,00 T_0$	$2,50 T_0$	$> 2,55 T_0$
μ	0,40	0,93	1,18	1,30	1,78	$\leq 2,0$
T_0 - chu kỳ dao động riêng của kết cấu vòng chống dạng trụ						

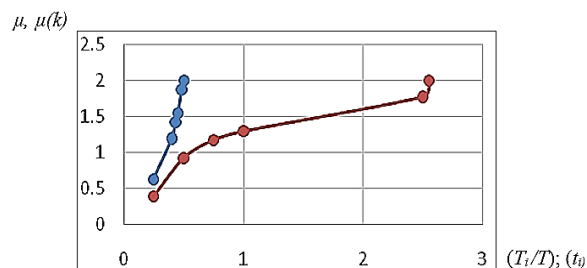
Bảng 2. Giá trị $\mu(k)$ tính theo t_i theo công thức (19).

t_i	0,25	0,40	0,43	0,45	0,48	$\leq 0,50$
$\mu(k)$	0,64	1,20	1,43	1,55	1,88	$\leq 2,0$

Trên cơ sở Bảng 1 và Bảng 2, xây dựng biểu đồ thể hiện quy luật biến đổi của hệ số động của tải trọng μ có quy luật diễn tả theo (17) tính theo T_i và hệ số $\mu(k)$ có quy luật diễn tả theo (19) tính theo t_i khi biết chu kỳ dao động riêng T_0 của kết cấu vòng chống dạng trụ (Hình 2).

4. Kết luận

Từ Bảng 1, Bảng 2 và Hình 2 cho thấy: Hệ số



Hình 2. Biểu đồ quan hệ giữa μ với (T_i/T) và giữa $\mu(k)$ với (t_i)

động μ của tải trọng động do sóng nổ gây nên trong mọi trường hợp của hàm $H(t)$ sẽ không vượt quá 2,0. Từ quy luật biến đổi của μ sẽ cho ta quy luật biến đổi của $B(t)$ và suy ra quy luật biến đổi của các hàm ứng suất $\varphi = \varphi(\alpha, \beta)$ và hàm chuyển vị $w = w(\alpha, \beta)$.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy tương tác giữa sóng nổ với vỏ chống công trình ngầm xảy ra theo chu kỳ và sự phân bố ứng suất phụ thuộc vào chu kỳ dao động riêng của kết cấu vòng chống dạng trụ T_0 và dạng của hàm tải ngoài $H(t)$ gây nên do sóng nổ tác dụng vào bề mặt kết cấu chống công trình ngầm.

- Những kết quả nhận được cho phép chính xác hóa sự phân bố ứng suất và chuyển vị trong vòng chống; từ đó có thể kiểm tra sức mang tải của vòng chống dạng trụ của công trình ngầm chịu tác động của sóng do nổ mìn.

Tài liệu tham khảo

Kutuzov, B. N., 1992. *Rocks destruction by explosion*. Published by Moscow Mining Institute, Moscow.

Lê Đình Tân, 2000. Tính toán động lực học công trình ngầm chịu tác dụng của sóng nổ. *Luận án Tiến sĩ khoa học*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Liakhop, G. M., 1964. *Cơ sở động học nổ mìn trong môi trường đất và môi trường lỏng*. Matxcova

Nguyễn Xuân Mãn, 2010. Xác định khoảng cách tối ưu giữa hai lỗ khoan trong phá đá bằng phương pháp khoan nổ mìn. *Tuyển tập Hội nghị Khoa học Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam nhân kỷ niệm 30 năm thành lập, Hà Nội*, trang 43-48.

Onhiasvili, O. D., 1957. *Một số bài toán động lực*

của lý thuyết kết cấu vỏ. Matxcova.
Panokhop, I. G., 1967. Cơ sở lý thuyết ứng dụng của
dao động đàn hồi. Matxcova

Vlaxop, B. Z., 1962. Lý thuyết chung về kết cấu vỏ.
Matxcova.

ABSTRACT

Interaction of explosive waves with underground support

Nam Thanh Nguyen ¹, Man Xuan Nguyen ^{2,*}, Phong Duyen Nguyen ²

¹ State Authority of Construction Economics, Ministry of Construction, Vietnam

² Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

The aim of this paper is to examine the influences of waves caused by blasting on the mechanical behavior of tunnel support structures. Circular cylinder structure, made from concrete, reinforcement concrete and cast-iron, was taken into consideration. Length of each cylinder is of (1.5÷3.0) m, and its thickness is designed of (0.3÷0.4) m. The cylinder structure was assumed to be placed in elastic and elastoplastic medium. Both mathematical analysis method and ricardian equivalence theory were utilized to conduct this research. The study show that the interaction between tunnel support structures and blast waves is cyclic, the stress distribution under blasting effect depends on specific oscillation frequency, T0, form of external load function H(t) induced by blast wave acting on surface of support structures. The finding of this research contribute to the estimation on stress distribution and displacement of support structure developed in circular cylinder structures, subsequently load carrying capacity of tunnel supports induced by blast vibration.