

TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ PHẦN TỬ HẤP THỤ NĂNG LƯỢNG DÙNG CHO GIÀN CHỐNG THỦY LỰC MỎ THAN HÀM LÒ

OPTIMIZING THE PARAMETERS OF THE ENERGY ABSORBING ELEMENTS FOR HYDRAULIC SUPPORTS USED IN UNDERGROUND COAL MINES

Phạm Trung Hải, Xu Ping, Yu Yinghua, Shen Jiaying

Trường Đại học Kỹ thuật Liêu Ninh, Trung Quốc

TÓM TẮT

Phần tử hấp thụ năng lượng (HTNL) sử dụng cấu trúc mạng vi phần tử được thiết kế sử dụng cho giàn chống thủy lực nhằm tăng khả năng HTNL và nâng cao độ an toàn. Để thiết kế bộ HTNL phù hợp, sử dụng cho giàn chống ZHDF4150/31/40, phần mềm Ansys Worckbench đã được sử dụng để mô phỏng, phân tích, từ đó lựa chọn ra bộ tham số tối ưu nhằm đạt được hiệu quả hấp thụ năng lượng tốt nhất. Theo kết quả tính toán mô phỏng, bộ tham số tối ưu của phần tử HTNL là h40a25d6. Bộ HTNL có 7 tầng với chiều cao 310mm có thể hấp thụ năng lượng tới 658kJ. Đã chế tạo và thử nghiệm bộ HTNL đơn tầng thu nhỏ. Thử nghiệm trên mô hình cho kết quả tương đồng với tính toán mô phỏng.

Từ khóa: Bộ hấp thụ năng lượng; Cấu trúc mạng vi phần tử; Giàn chống thủy lực; Mỏ than hầm lò.

ABSTRACT

The energy-absorbing elements uses the micro-element lattice structure that is designed for hydraulic supports to increase energy absorption and improve safety. To design the suitable energy absorber for use in the support ZHDF4150/31/40, Ansys Worckbench software was used to simulate, analyze and select the optimal set of parameters to achieve efficiency of energy absorption. According to the simulation results, the optimal parameters of the energy absorber is h40a25d6. The 7-stage energy absorber with the height of 310mm can absorb energy up to 658kJ. Built and tested the miniature monostage energy absorber. Testing on the model gives similar results to simulation calculations.

Keywords: Energy absorber; Micro-element lattice structure; Hydraulic support; Underground coal mine.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với mục tiêu thiết kế bộ hấp thụ năng lượng (HTNL) sử dụng cấu trúc mạng vi phần tử cho giàn chống chống xung kích ZHDF4150/31/40, đã nghiên cứu về vật liệu, lựa chọn được cấu trúc vi phần tử phù hợp để chế tạo [1]. Tuy nhiên, cần phải lựa chọn các

tham số kết cấu cho phù hợp, để bộ HTNL có lực chống tới hạn phù hợp với giàn chống ZHDF4150/31/40, ngoài ra còn cần phải có khả năng HTNL nhiều nhất có thể. Do đó, việc điều chỉnh lựa chọn các tham số sao cho phù hợp, tối ưu nhất là vô cùng quan trọng, đảm bảo giàn chống này an toàn khi xảy ra nổ đá.



2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Để lựa chọn thông số tối ưu bộ HTNL sử dụng phương pháp nghiên cứu kết hợp lý thuyết và thực nghiệm:

- Nghiên cứu lý thuyết: Trên cơ sở phân tích thông số kỹ thuật, điều kiện làm việc của giàn chống xác định điều kiện chịu lực của bộ HTNL. Bằng phần mềm ANSYS Workbench để xây dựng mô hình 3D bộ HTNL và tính toán mô phỏng với các dải thông số các vi phần tử, từ đó chọn bộ thông số tối ưu của vi phần tử và bộ HTNL.

- Nghiên cứu thực nghiệm: Chế tạo các vi phần tử và thử nghiệm khả năng HTNL của các vi phần tử.

- So sánh kết quả tính toán mô phỏng và kết quả thực nghiệm để đánh giá tính khả dụng của phương pháp tính toán mô phỏng trong tính toán thiết kế bộ HTNL áp dụng cho giàn chống thủy lực ZHDF4150/31/40 và các loại giàn chống thủy lực khác dùng trong mỏ than hầm lò.

2.2. Nội dung nghiên cứu

2.2.1. Xác định kích thước tổng và lực chống tới hạn

Khi ở trạng thái làm việc bình thường, bộ HTNL phải đảm bảo lực chống theo đặc tính kỹ thuật mà không bị biến dạng dẻo. Khi xảy ra nổ đá, áp lực lên giàn chống tăng đột ngột, lúc này bộ HTNL sẽ bị biến dạng và phát huy chức năng của mình. Vì vậy, bộ HTNL phải có lực chống tới hạn phù hợp, là lực khiến cho bộ HTNL bắt đầu bị biến dạng dẻo để hấp thụ năng

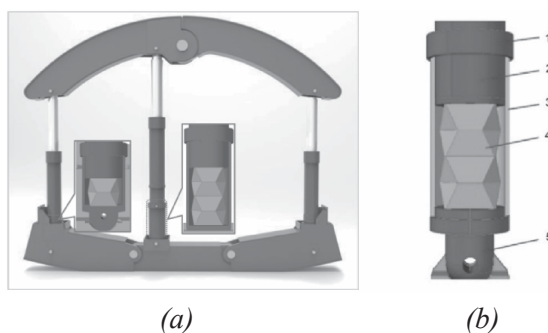
lượng từ vụ nổ đá, phát huy tính năng bảo vệ, tránh cho các kết cấu khác của giàn chống bị tổn hại. Nếu lực chống tới hạn thiết kế thấp, sẽ ảnh hưởng đến lực làm việc của giàn chống. Ngược lại, nếu lực này quá lớn thì khi nổ đá, kết cấu của giàn chống sẽ bị tổn hại trước khi bộ HTNL kịp phát huy tác dụng. Như vậy, lực chống tới hạn của bộ HTNL phải lớn hơn lực chống làm việc của cột chống F_N , đồng thời phải nhỏ hơn giá trị lực có thể phá vỡ kết cấu cột chống. Theo tiêu chuẩn Trung Quốc GB25974.1-2010, các cột chống của giàn chống phải chịu được lực gấp 1,5 lần lực định mức mà không bị hỏng [3]. Vậy, để đảm bảo bộ HTNL làm việc hiệu quả, lựa chọn lực chống tới hạn cho bộ HTNL:

$$1,2F_N \leq F_{\max} \leq 1,4F_N \quad (1)$$

Trong đó: F_N - Lực chống làm việc của cột chống lắp bộ HTNL;

$F_{\max}$ - Lực chống tới hạn của bộ HTNL.

Giàn chống ZHDF4150/31/40 là loại giàn chống chống xung kích dạng cổng có trang bị bộ HTNL ở dưới chân các cột chống (Hình 1), thông số kỹ thuật của giàn thể hiện trong Bảng 1 [2]:



Hình 1. Dàn ZHDF4150/31/40 và vị trí lắp bộ HTNL

a) Vị trí lắp bộ hấp thụ năng lượng; b) Kết cấu bộ hấp thụ năng lượng

1) Vòng tăng cứng; 2) Đầu cột chống; 3) Ống dẫn hướng; 4) Phần tử hấp thụ năng lượng loại ống nếp gấp; 5) Đầu liên kết

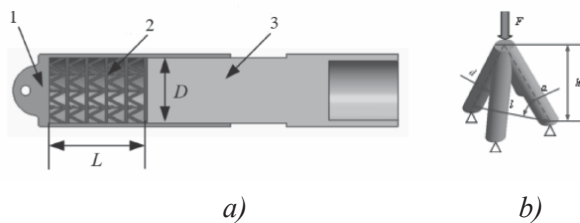
Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của dàn
ZHDF4150/31/40:

STT	Thông số	Giá trị
1	Chiều cao dàn	3100-4000mm
2	Lực chống	4150kN
3	Áp suất làm việc	40MPa
4	Số cột chống	3
5	Đường xi lanh	Φ 230/273
6	Lực chống của cột	1652kN
7	Chiều dài lắp bộ HTNL	350mm

Từ Bảng 1 và công thức (1) có:

$$1983\text{kN} < F_{\max} < 2313\text{kN} \quad (2)$$

Kích thước của bộ HTNL được xác định là có đường kính $D = 230\text{mm}$, dài $L = 350\text{mm}$ được lắp đặt ở chân cột chống như thể hiện ở Hình 2:



Hình 2. Bộ hấp thụ năng lượng với vi phần tử
a) Bộ hấp thụ năng lượng; b) Vi phần tử
1. Đế; 2. Phần tử hấp thụ năng lượng; 3. Chân cột chống thủy lực

2.2.2. Xác định thông số kết cấu tối ưu cho bộ hấp thụ năng lượng

Dùng phần mềm Ansys Workbench để xây dựng mô hình tham số 3D, sau đó tiến hành mô phỏng phân tích để xác định lực chống tối hạn và khả năng hấp thụ năng lượng ứng với từng bộ thông số của vi phần tử như sau:

- Chiều cao h : 30mm; 40mm; 50mm; 60mm; 70mm;
- Chiều rộng chân a : 20mm; 25mm; 30mm; 35mm; 40mm; ($a = l/2$);
- Đường kính chân d : 4mm; 4,5mm; 5mm; 5,5mm; 6mm; 6,5mm; 7mm.

Tổng cộng có 175 trường hợp cần phân tích xem xét. Để đơn giản hóa, tăng hiệu quả cho quá trình mô phỏng, thực hiện sàng lọc 2 bước để giảm bớt khối lượng tính toán.

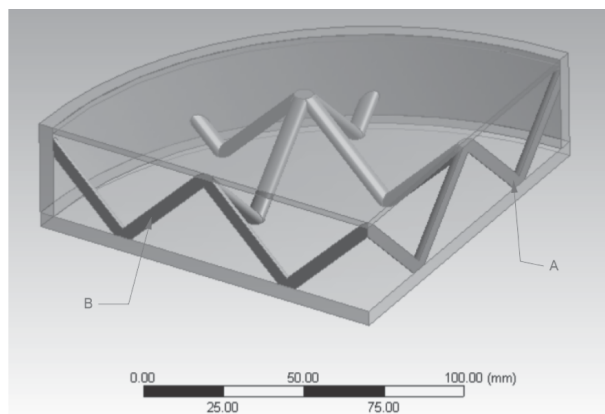
- Bước 1: Do bộ HTNL có cấu tạo đối xứng và cấu thành từ nhiều tầng giống nhau, lực nén các tầng như nhau, cho nên thực hiện mô phỏng đối với mô hình 1/4 bộ HTNL đơn tầng;

- Bước 2: Cần so sánh và tìm ra bộ tham số cho HTNL lớn nhất nên bài toán mô phỏng được cài đặt với tốc độ nhanh hơn để rút ngắn thời gian phân tích. Các bộ HTNL hoàn chỉnh của từng phương án đã chọn ở Bước 1 được lập và tiến hành phân tích với tốc độ nhanh để tìm ra phương án có mức HTNL lớn nhất. Từ đó, quyết định phương án thiết kế tối ưu cho bộ HTNL dùng trong dàn ZHDF4150/31/40.

a. Bước 1: Lọc các bộ tham số phù hợp

Mô hình 1/4 bộ HTNL đơn tầng được lập như Hình 3. Các thông số h , a , và d được khai báo dưới dạng tham số. Tấm đáy và tấm trên có độ dày 5mm, ống dẫn hướng bao ngoài cũng có độ dày 5mm. Liên kết giữa các vi phần tử với tấm đáy và tấm trên là liên kết cứng, liên kết giữa tấm trên, vi phần tử và ống dẫn hướng là liên kết trượt. Mặt dưới tấm đáy được khai báo là khối cố định, các mặt A và B ràng buộc chuyển bị theo phương pháp tuyến bằng 0. Tốc độ nén của tấm trên xuống là 10m/s. Với cài đặt tốc độ nén như này, các phương án có độ cao vi

phần tử h khác nhau sẽ được thực hiện riêng rẽ.



Hình 3. Mô hình 1/4 bộ hấp thụ năng lượng đơn tầng

Theo (1), với mô hình 1/4 bộ HTNL đơn tầng, điều kiện biên của lực là $495\text{kN} < F_{\max} < 578\text{kN}$. Sau khi tiến hành mô phỏng, lọc ra được các tổ hợp tham số của bước 1. Căn cứ vào các bộ tham số đã được lựa chọn ra ở bước 1, tiến hành lập các mô hình 3D của bộ HTNL đầy đủ như ở Hình 4.



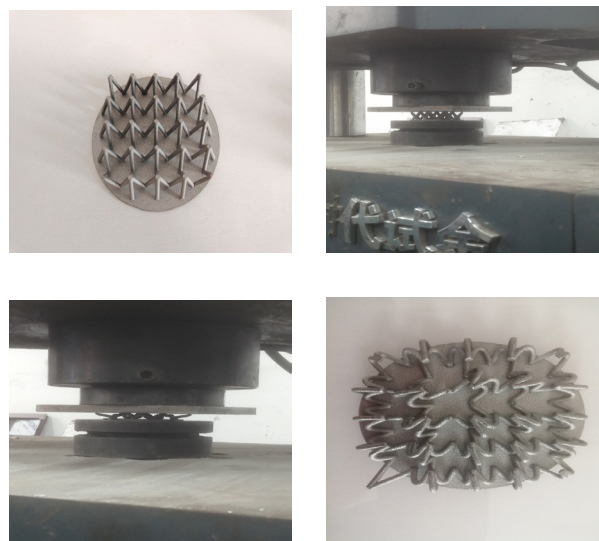
Hình 4. Mô hình bộ hấp thụ năng lượng đa tầng

b. Bước 2: So sánh mức hấp thụ năng lượng của các phương án đã chọn

Với $L < 350\text{mm}$ nên ứng với mỗi giá trị h , lõi HTNL sẽ có số tầng khác nhau. Với $h = 30\text{mm}$ lõi có 10 tầng, $h = 40\text{mm}$ lõi có 7 tầng, $h = 50\text{mm}$ lõi có 6 tầng, $h = 60\text{mm}$ lõi có 5 tầng, $h = 70\text{mm}$ lõi có 4 tầng. Tiến hành mô phỏng nén mô hình với tốc độ nhanh hơn để xác định năng lượng hấp thụ được khi biến dạng.

2.3. Chế tạo và thực nghiệm

Mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng phương pháp in kim loại 3D, được chế tạo thu nhỏ với tỷ lệ 1/3 và chế tạo mẫu HTNL đơn tầng tương ứng với bộ tham số h40a25d6 ($h=40\text{mm}$; $a=25\text{mm}$; $d=6\text{mm}$) với kích thước: đường kính ngoài-76,67mm; tổng chiều cao- 15mm; chiều cao vi phần tử- 13,33mm; chiều rộng chân vi phần tử- 8,33mm; đường kính chân-2mm. Mẫu được nén bằng máy thí nghiệm nén WAW-600c với tốc độ nén 5mm/min. Với tốc độ này, chỉ có thể kiểm tra được khả năng chịu tĩnh tải và khả năng hấp thụ năng lượng của mẫu, không thể kiểm tra khả năng chịu tải động va đập. Hình ảnh mẫu trước và sau khi thí nghiệm được thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Hình ảnh mẫu trước, trong và sau khi thí nghiệm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán mô phỏng

Kết quả tính toán mô phỏng bước 1 thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Các bộ tham số cho phù hợp với yêu cầu:

Ký hiệu	Giá trị tham số			Kết quả mô phỏng mô hình 1/4 bộ HTNL đơn tầng		
	h (mm)	a (mm)	D (mm)	Năng lượng hấp thụ (J)	Lực chống tới hạn (N)	Khối lượng (kg)
h30a30d5.5	30	30	5,5	2973,3	5,26E+05	0,07121
h40a25d5.5	40	25	5,5	7736,0	5,35E+05	0,12835
h40a25d6	40	25	6	9306,3	5,34E+05	0,15139
h50a20d4	50	20	4	4615,0	5,41E+05	0,11433
h50a25d4	50	25	4	2726,8	5,08E+05	0,08300
h50a35d4	50	35	4	1312,0	5,32E+05	0,04558
h60a25d5.5	60	25	5,5	9763,0	5,12E+05	0,17803
h60a25d6	60	25	6	12502,0	5,16E+05	0,20994
h60a40d6.5	60	40	6,5	5071,3	5,23E+05	0,11574
h70a40d5.5	70	40	5,5	4011,1	5,50E+05	0,09345

Kết quả tính toán mô phỏng của từng phương án trong bước 1 được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả mô phỏng các bộ tham số đã chọn:

TT	Ký hiệu	Số tầng	Tổng chiều cao (mm)	Năng lượng hấp thụ (kJ)
1	h30a30d5.5	10	345	648,78
2	h40a25d5.5	7	310	595,84
3	h40a25d6	7	310	657,94
4	h50a20d4	6	325	452,12
5	h50a25d4	6	325	386,62
6	h50a35d4	6	325	293,08
7	h60a25d5.5	5	320	481,59
8	h60a25d6	5	320	570,97
9	h60a40d6.5	5	320	326,3
10	h70a40d5.5	4	295	253,34

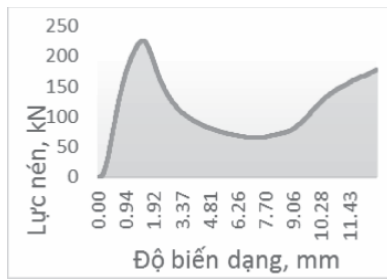
Từ Bảng 3 có thể thấy bộ tham số h40a25d6 (h=40mm; a=25mm; d=6mm) cho khả năng hấp thụ năng lượng lớn nhất là 658kJ. Do đó, lựa chọn bộ tham số này làm phương án tối ưu để thiết kế bộ HTNL cho giàn chống ZHDF4150/31/40.

3.2. Kết quả thử nghiệm mẫu

Từ các số liệu thu được, lập được đồ thị

quan hệ giữa lực nén và biến dạng của mẫu như trên Hình 6. Từ Hình 6 có thể thấy, giai đoạn đầu lực nén tăng nhanh và đạt giá trị tới hạn 226,14kN, sau đó, lực nén giảm dần và duy trì khả ổn định đến gần hết hành trình nén. Đến cuối hành trình nén, phản lực có xu hướng tăng trở lại do vật liệu bị dồn nén lại gây cản trở biến dạng. Mức biến dạng cuối cùng là 12,32mm.





Hình 8. Biểu đồ quan hệ giữa lực nén và độ biến dạng

Năng lượng hấp thụ của mẫu chính là công của lực nén gây ra biến dạng, được tính theo công thức:

$$Q = \int_{\delta_0}^{\delta_{\max}} F(\delta).d\delta \quad (3)$$

Đối với số liệu rời rạc thu được từ quá trình thí nghiệm, tích phân trên có thể được tính theo công thức sau:

$$Q = \sum_{i=1}^n F_i \Delta \delta_i = \sum_{i=1}^n F_i (\delta_i - \delta_{i-1}) \quad (4)$$

Trong đó: F_i - Lực nén tại thời điểm thứ i ;
 δ_i - Biến dạng tại thời điểm thứ i ;
 δ_{i-1} - Biến dạng tại thời điểm thứ $i-1$.

Kết quả thu được tổng năng lượng hấp thụ khi nén mẫu là $Q = 1370,19\text{J}$.

Do mẫu thí nghiệm có tỷ lệ kích thước so với nguyên mẫu là 1/3. Do đó, theo lý thuyết mô hình tương tự, các thành phần lực trên mẫu thí nghiệm sẽ bị giảm đi 9 lần, năng lượng sẽ bị giảm đi 27 lần. Như vậy, trên nguyên mẫu, lực chống tới hạn có thể đạt là:

$$F_{\max} = 226,14 \times 9 = 2035,22 \text{ kN}$$

Tổng năng lượng nguyên mẫu có thể đạt là:

$$Q_1 = 1370,19 \times 27 = 36995,06 \text{ J}$$

Kết quả mô phỏng 1/4 mô hình bộ HTNL đơn tầng có tham số h40a25d6 cho ra kết quả lực chống tới hạn là 534kN, năng lượng hấp thụ là 9306,3J. Như vậy bộ HTNL đơn tầng có thể đạt lực chống giới hạn $534 \times 4 = 2136\text{kN}$, năng lượng hấp thụ đạt $9306,3 \times 4 = 37225,2\text{J}$. Kết quả này so với kết quả thí nghiệm có sai khác không lớn.

4. KẾT LUẬN

- Thông qua quá trình mô phỏng và phân tích, bộ tham số tối ưu cho bộ hấp thụ năng lượng sử dụng cho giàn chống ZHDF4150/31/40 là chiều cao vi phân tử hình tháp $h = 40\text{mm}$, chiều rộng chân vi phân tử $a = 25\text{mm}$, đường kính chân vi phân tử $d = 6\text{mm}$. Bộ hấp thụ năng lượng có tổng chiều cao 310mm, bao gồm 7 tầng vi phân tử;

- Thí nghiệm trên mô hình thu nhỏ cũng cho thấy tính năng của bộ hấp thụ năng lượng với bộ tham số h40a25d6 cũng có tính năng tương tự như tính toán mô phỏng. Như vậy, có thể áp dụng phương pháp tính toán mô phỏng như trên để tính toán thiết kế bộ hấp thụ năng lượng cho các giàn chống thủy lực sử dụng trong mỏ than hầm lò. ❖

Ngày nhận bài: 26/9/2022

Ngày phản biện: 04/10/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Trung Hải, Xu Ping, Yu Yinghua, Shen Jiaxing; *Áp dụng bộ hấp thụ năng lượng cho vi chống dùng trong mỏ than hầm lò để nâng cao an toàn trong khi sử dụng*, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 2-2021, Hà Nội, tr.42 ÷ tr.49.
- [2]. 姜红星, ZHDF4150/31/40型防冲液压支架吸能构件的设计与研究, 沈阳航空航天大学, 2020.
- [3]. GB25974.1-2010 《煤矿用液压支架》: 通用技术条件要求.