



# TÍNH TOÁN KIỂM TRA BỀN VỎ CẦU DAO CHÂN KHÔNG PHÒNG NỔ THCDPN-660(1140) DÙNG TRONG MỎ THAN HẦM LÒ

Đỗ Đức Trọng<sup>1,\*</sup>, Phạm Tất Thế<sup>2</sup>, Lê Văn Phúc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin, 565 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Tư vấn đầu tư Mỏ và Công nghiệp – Vinacomin, 565 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 05/11/2025

Ngày nhận bài sửa: 08/12/2026

Ngày chấp nhận đăng: 10/12/2025

<sup>1,\*</sup>Tác giả liên hệ:

Email: ductrongiem@gmail.com

## TÓM TẮT

Khi thiết kế các thiết bị điện sử dụng trong các môi trường có khí và bụi nổ trong các mỏ than hầm lò, vỏ của thiết bị có vai trò quan trọng. Vỏ của thiết bị phải đáp ứng tất cả các tiêu chuẩn, quy chuẩn đối với vỏ không xuyên nổ - dạng bảo vệ "d". Do đó, thiết kế đòi hỏi phải đáp ứng các yêu cầu đối với vỏ, kết hợp phải tính toán kiểm tra bền khi thiết kế. Bài báo đưa ra yêu cầu đối với vỏ cầu dao chân không và phương pháp, kết quả tính toán kiểm tra bền khi thiết kế. Các phương pháp nghiên cứu, trình tự thiết kế và kết quả được đề cập cụ thể trong bài viết có thể áp dụng khi thiết kế vỏ cho thiết bị điện phòng nổ dùng trong mỏ than hầm lò nói chung.

**Từ khóa:** tổ hợp cầu dao chân không, mỏ than hầm lò, mối ghép phòng nổ, ứng suất, biến dạng.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, công nghệ khai thác than hầm lò đang ngày càng được cơ giới hóa đồng bộ, con người và máy móc có thể đi sâu hơn để tiếp cận nhiều khoáng sản hơn và đem lại nhiều lợi ích cho các công ty khai thác, nhưng cũng đồng thời tạo ra nhiều rủi ro hơn trong quá trình khai thác. Điện là động lực chính của ngành than hiện đại, do đó, sự an toàn trong các mỏ khai thác hầm lò là rất quan trọng đối với con người và thiết bị máy móc. Việc sử dụng thiết bị điện phải có những yêu cầu rất nghiêm ngặt, bao gồm cả việc thiết kế các kết cấu cơ khí phòng nổ và đảm bảo an toàn cao cho các linh kiện điện bên trong. Do đó, để đạt hiệu quả tốt nhất trong việc thiết kế, cần phải đảm bảo việc lựa chọn kết cấu vỏ thiết bị điện phòng nổ dưới mỏ than hầm lò được trang bị các tính năng tối ưu như chống cháy nổ và chống ăn mòn. Những biện pháp bảo vệ này giúp ngăn chặn tia lửa điện do thiết bị điện tạo ra phát nổ dưới lòng đất vì điều đó có thể dẫn đến mất an toàn lao động, nhất là trong những không gian chật hẹp trong lò.

Thiết kế của mỗi vị trí hoặc kết cấu vỏ phòng nổ phải được tính toán, kiểm tra kỹ lưỡng trước để đảm bảo đáp ứng tất cả các yêu cầu an toàn tối đa, đáp ứng các yêu cầu đối với thiết bị điện dùng trong mỏ than hầm lò [1] - [8].

Tổ hợp cầu dao phòng nổ là một thiết bị sử dụng trong mỏ than hầm lò cũng phải được thiết kế, chế tạo theo các tiêu chuẩn an toàn an toàn trên.

## 2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

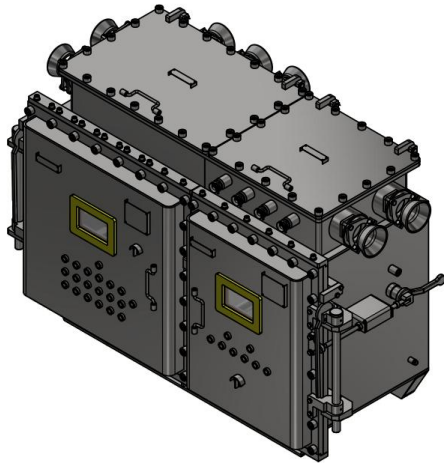
a) Cấu tạo và thông số vỏ phòng nổ tổ hợp cầu dao chân không.

Trên cơ sở việc tính toán, lựa chọn các thiết bị điện điều khiển bên trong vỏ phòng nổ. Đồng thời đảm bảo các tiêu chuẩn, quy chuẩn phòng nổ, kết cấu vỏ phòng nổ cho tổ hợp cầu dao chân không phòng nổ như sau:

Vỏ phòng nổ tổ hợp cầu dao chân không được thiết kế chế tạo với kết cấu vỏ không xuyên nổ dạng bảo vệ "d" đảm bảo theo TCVN 7079-1:2002 [2]. Vỏ tủ được thiết kế bao gồm 3 khoang riêng biệt, trong đó các khoang đều được thiết kế phòng



nỗ. Độ nhám bề mặt gia công các mối ghép không xuyên lỗ nhỏ hơn 6,3  $\mu\text{m}$



**Hình 1. Kết cấu tổng thể của vỏ phòng nổ tổ hợp cầu dao chân không**

Các khoang được chế tạo từ thép tấm và được hàn kết cấu với nhau.

Khoang đặt thiết bị điện, điện tử (Khoang chính): Khoang chính lắp đặt thiết bị điện, điện tử có kích thước 1527x830x625 mm thiết kế phòng nổ bao gồm tấm đáy và các tấm bao quanh dày 10 mm. Mặt bích dày 25 mm (sau gia công đảm bảo độ nhám bề mặt trên mặt mối ghép nhỏ hơn 6,3  $\mu\text{m}$ ).

Khoang chính bao gồm hai khoang thông nhau, giữa hai khoang được gia cố bằng tấm chắn hồ độ dày 10 mm. Xung quanh các mặt được gia cố gân tăng cứng dày 10 mm và cao 30 mm để đảm bảo độ cứng cáp cho thiết bị theo các tiêu chuẩn phòng nổ.

Khoang đấu cáp: Khoang đấu cáp có kích thước 1397x548x208 mm được thiết kế đảm bảo yêu cầu an toàn tia lửa. Mặt bích khoang đấu cáp được làm từ tôn tấm có độ dày 16 mm, được gia công phay sau khi hàn để đảm bảo không cong vênh và độ nhám bề mặt nhỏ hơn 6,3  $\mu\text{m}$ . Khoang đấu cáp được chia thành hai khoang là khoang đấu cáp đầu vào và khoang đấu cáp đầu ra. Tấm đáy ngăn cách giữa khoang đấu cáp và khoang chính có độ dày 16 mm được phay phẳng hai mặt và được tạo các lỗ để lắp sứ xuyên. Xung quanh khoang đấu cáp được bố trí các cổ cáp lực tiêu chuẩn loại  $\Phi 138$  (7 cổ cáp) và 4 cổ cáp tín hiệu tiêu chuẩn loại M36. Khoang trên được làm kín bằng hai nắp có kích thước lần lượt là 796x548x10 và 597x548x10 được phay bề mặt lắp ghép đảm bảo độ phẳng và độ nhám bề mặt như với mặt bích của khoang đấu cáp. Cánh được lắp ghép với thân bằng hệ thống bu lông M12 và được đỡ bằng bản lề có tay cầm hỗ trợ khi đóng mở.

Cánh khoang thiết bị bao gồm hai cánh.

Cánh khoang trái có kích thước 867x890x123 mm được tạo thành bằng phương pháp hàn. Bao gồm mặt bích có kích thước 867x870x25 mm có hệ lỗ bu lông lắp ghép và tấm lưng được tạo thành từ tôn tấm có độ dày 8 mm được uốn vuông góc hai bên. Ngoài ra còn có hệ thống gân tăng cứng, các bạc hàn để bảo vệ đầu bu lông lắp ghép, hệ thống thanh cài và bản lề để đóng mở cánh; các giá để gắn tem mác và tem cảnh báo của tủ điện. Trên cánh chính được thiết kế cửa xuyên sáng có đường kính bao 200 mm để quan sát phía trong tủ khi tủ được đóng kín.

Cánh và khoang thiết bị được lắp ghép với nhau bằng hệ thống các thanh cài đóng mở nhanh, khi mở cánh sử dụng tay cầm đẩy cánh lên cao sau đó kéo ra phía ngoài và được gia cố thêm bằng hệ bu lông M16 xung quanh. Hệ thống đóng mở nhanh được thiết kế chính xác, trơn tru để đảm bảo thuận tiện khi mở và kín khít trong quá trình làm việc. Do đó mặt bích của cánh và mặt bích của thân khoang thiết bị phải được gia công phay tinh và cần đảm bảo các thông số sau:

Mối ghép giữa thân tủ và cánh khoang thiết bị:

Dạng mối ghép: Mối ghép phẳng

Chiều rộng nhỏ nhất của mối ghép: 48 mm;

Khe hở lớn nhất của mối ghép: < 0,4 mm;

Độ nhám bề mặt gia công lớn nhất:  $\leq 6,3 \mu\text{m}$ .

#### *b) Nguyên lý hoạt động*

Tổ hợp cầu dao chân không phòng nổ làm việc theo lệnh điều khiển của người vận hành bằng nút bấm trên thân tủ, trên các hộp điều khiển tại chỗ hoặc trên panel di động.

Để vận hành thiết bị, ban đầu phải kiểm tra tất cả các công tác đấu nối, đảm bảo an toàn điện đã được hoàn thiện theo đúng các quy phạm hiện hành. Sau đó trình tự thực hiện các bước như sau:

B1: Đóng tay dao cách ly để cấp nguồn điện đầu vào cho tủ.

B2: Chuyển vị trí khóa chuyển mạch cấp nguồn điều khiển sang vị trí BẬT để cấp nguồn cho thiết bị điều khiển.

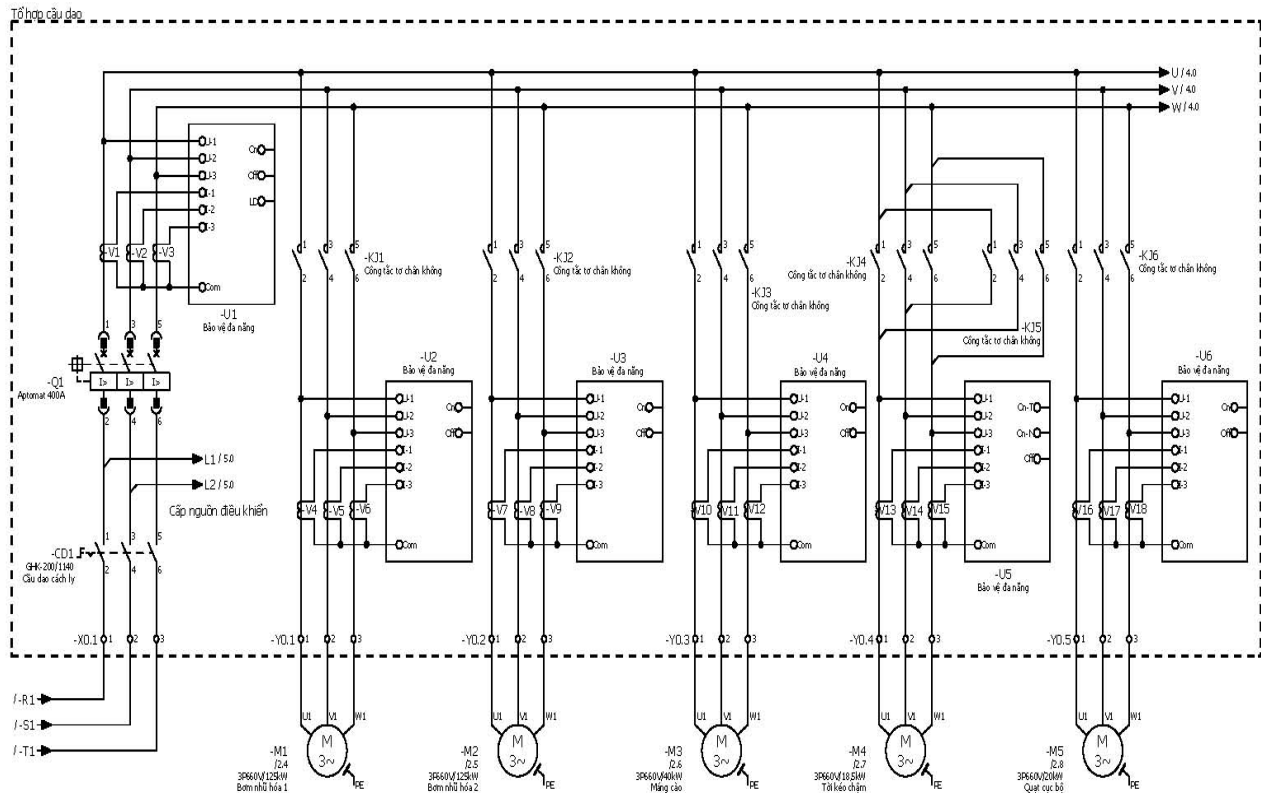
B3: Kiểm tra trạng thái vận hành của bộ rơ le bảo vệ đa năng cho Aptomat tổng.

B4: Ấn nút đóng điện cho Aptomat tổng.

B5: Kiểm tra cách điện trước khi khởi động cho từng bộ khởi động từ chân không bằng cách ấn nút kiểm tra tương ứng cho từng thiết bị.

B6: Chọn chế độ điều khiển bằng cách chuyển vị trí khóa chuyển mạch trên cánh tủ về vị trí tương ứng với chế độ cần điều khiển.

B7: Điều khiển chạy/dừng thiết bị bằng cách ấn nút Start/Stop tương ứng cho từng thiết bị.



**Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch lực của tổ hợp cầu dao chân không**

c) *Tính toán kiểm nghiệm bền cho vỏ tủ cầu dao chân không đã thiết kế ở trên.*

Theo [2] (tiểu mục 6 – Phương pháp thử) vỏ thiết bị cần được tiến hành thử nghiệm theo các phương pháp sau:

- Thử khả năng chịu áp lực của vỏ.

Vỏ thiết bị được coi là đạt yêu cầu thử, nếu sau khi thử nó không có một hư hỏng nào, không bị biến dạng làm suy yếu các bộ phận của nó. Trên toàn bộ mặt bích cũng không được phép xuất hiện một biến dạng vĩnh cửu ở bất kỳ vị trí nào.

- Thử nghiệm không lan truyền các vụ nổ từ bên trong

Vỏ được đặt vào trong buồng thử nổ. Thử nghiệm được tiến hành với cùng một loại hỗn hợp khí nổ ở bên trong vỏ thiết bị và ở bên trong buồng thử nổ.

Hỗn hợp ở bên trong vỏ thiết bị được kích nổ bởi nguồn đánh lửa điện áp cao hoặc nguồn năng lượng thấp. Nếu thiết bị có thiết bị đóng cắt phát ra tia lửa có khả năng gây bốc lửa hỗn hợp ở bên trong thì có thể sử dụng nó để làm nguồn đánh lửa thử nghiệm.

Xác định thể tích vỏ

Với kích thước dự kiến của vỏ tủ tổ hợp cầu dao như trên, bỏ qua phần thể tích do các gân và bích cửa trước chiếm giữ thì thể tích tổng tương đối của các khoang của vỏ tủ lần lượt là:

Khoang chính bên trái có kích thước là:

Chiều dài: 790 mm = 79 cm

Chiều sâu: 712 mm = 71,2 cm

Chiều cao: 790 mm = 79 cm

Diện tích khoang chính bên trái là:  $79 \times 71,2 \times 79 = 444359,2 \text{ cm}^3$

Khoang chính bên phải có kích thước là:

Chiều dài: 600 mm = 60 cm

Chiều sâu: 712 mm = 71,2 cm

Chiều cao: 790 mm = 79 cm

Diện tích khoang chính bên phải là:  $60 \times 71,2 \times 79 = 337488 \text{ cm}^3$

Tổng thể tích của Khoang chính là  $444359,2 + 337488 = 781847,2 \text{ cm}^3$

Theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7079-1:2002 - Thiết bị điện dùng trong mỏ hầm lò - Phần 1: Vỏ không xuyên nổ - dạng bảo vệ "d"

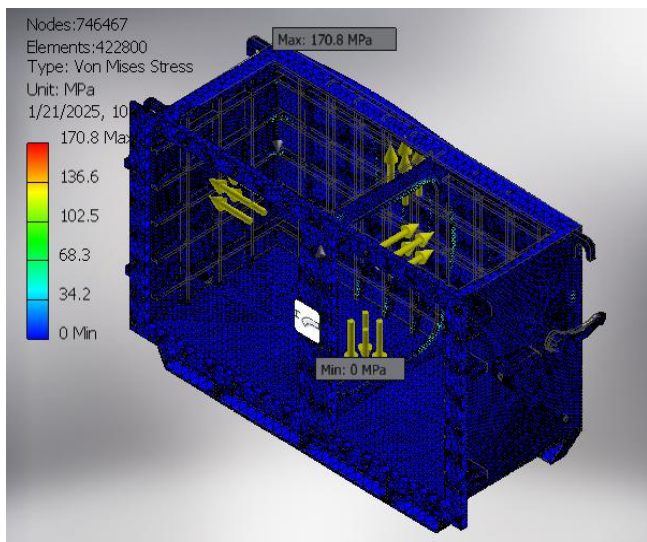
Áp suất tính toán: Áp suất đỉnh khi thử nằm trong khoảng 4,14 – 5,52 bar, trung bình 6,9 bar (0,69 MPa) [9], áp suất kiểm tra bằng  $1,5P_r$  [6], chọn áp suất dùng trong tính kiểm tra bền  $1,5 \cdot 0,69 = 1,035 \text{ MPa}$ .

Sử dụng phần mềm tính toán kiểm tra bền vỏ cầu dao.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

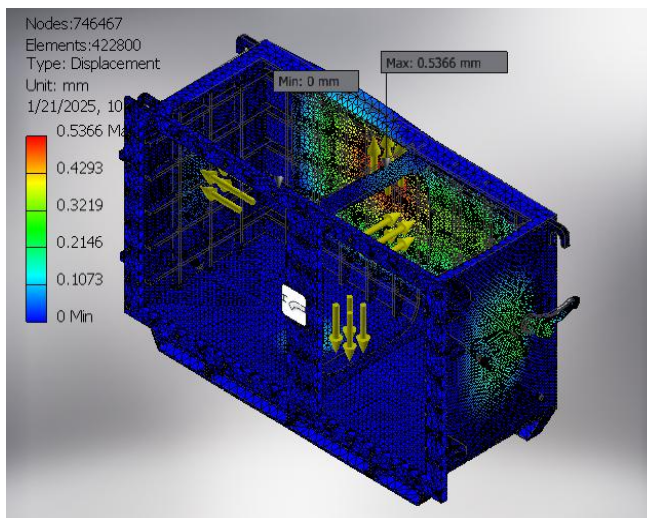
Đối với khoang chính





**Hình 3. Ứng suất trong thân tủ**

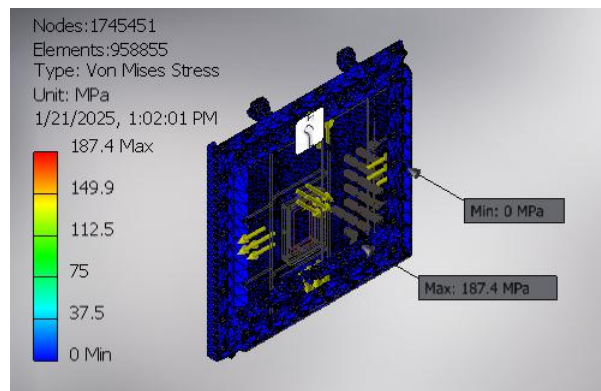
Theo kết quả trên Hình 3 cho thấy, ứng suất lớn nhất khi thử nghiệm với áp suất 10,5 atm là 170,8 MPa. Như vậy ứng suất lớn nhất của vỏ tủ nhỏ hơn giới hạn bền và giới hạn chảy của thép, do đó vỏ tủ đảm bảo điều kiện bền. Ngoài ra, ứng suất này tập trung nhiều tại các khu vực tiếp giáp giữa các tấm với nhau, do đó cần chú ý yêu cầu kỹ thuật về mối hàn để đảm bảo bền cho thân tủ.



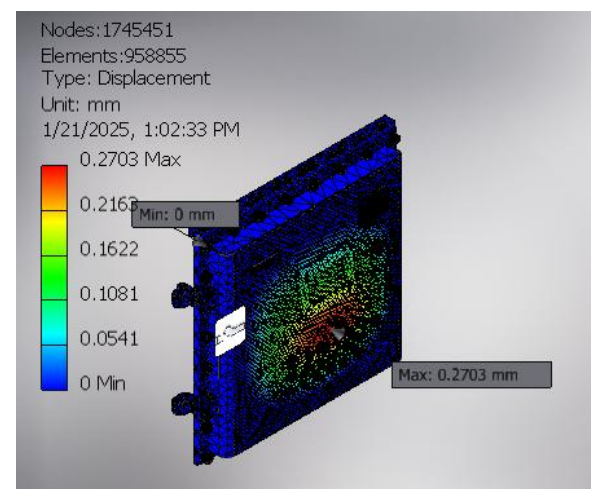
**Hình 4. Biến dạng của vỏ tủ**

Từ Hình 4 có thể thấy rằng khi thử nghiệm thân tủ có xu hướng bị biến dạng các phần mặt phía sau và 2 bên thân tủ, do đó cần tiến hành gia cố các mặt này bằng hệ thống gân tăng cứng để đảm bảo các biến dạng tại các hướng này là nhỏ nhất.

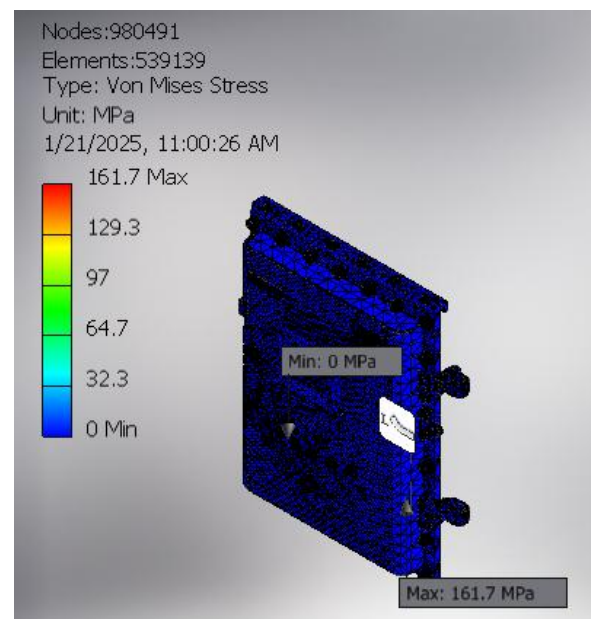
Kiểm nghiệm tương tự với các cánh cửa tủ thu được kết quả như dưới đây



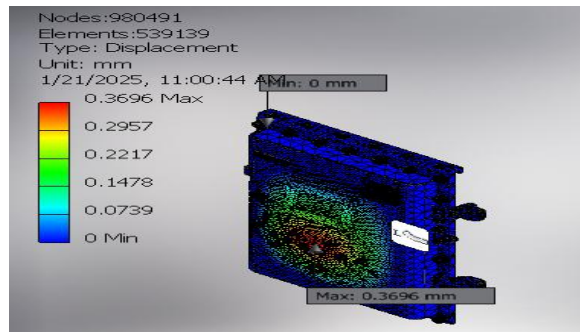
**Hình 5. Ứng suất của cánh cửa lớn bên trái**



**Hình 6. Biến dạng của cánh cửa lớn bên trái**



**Hình 7. Ứng suất của cánh cửa nhỏ bên phải**



Hình 8. Biểu dạng của cánh cửa nhỏ bên phải

Sau khi phân tích ứng suất và biến dạng bằng phần mềm, có thể nhận thấy rằng, khi xem xét tất cả các yêu cầu đối với vỏ tủ điện phòng nổ dùng cho mỏ hầm lò có tính đến yếu tố kinh tế, thiết kế vỏ do nhóm tác giả thực hiện đã đáp ứng được các yêu cầu đặt ra.

Để đảm bảo tính an toàn tuyệt đối của kết cấu vỏ Tổ hợp cầu dao chân không phòng nổ, vỏ tủ đã

được tiến hành kiểm định kiểu tại Trung tâm an toàn mỏ - Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin. Đây là một trong những đơn vị có uy tín và hợp pháp khi kiểm định các thiết bị yêu cầu tính an toàn dùng trong mỏ than hầm lò tại Việt Nam.

Kết quả kiểm định kiểu đối với vỏ



Hình 9. Hình ảnh thử nổ của vỏ tổ hợp cầu dao chân không



Hình 10. Hình ảnh thử áp lực nước của vỏ tủ

Kết quả kiểm định tại Trung tâm An toàn mỏ - Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin cho thấy vỏ tủ hoàn toàn đáp ứng các yêu cầu đối với kết cấu vỏ không xuyên nổ dạng bảo vệ “d” đảm bảo theo TCVN 7079. Kết quả thực tế khi kiểm định đã chứng minh hướng nghiên cứu và kết quả nghiên cứu lý thuyết khi thiết kế tổ hợp cầu dao chân không phòng nổ là đúng đắn

#### 4. KẾT LUẬN

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 7079-0-2002, Thiết bị điện dùng trong mỏ hầm lò – Phần 0: Yêu cầu chung, 2002.
- [2] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 7079-1:2002, Thiết bị điện dùng trong mỏ hầm lò – Phần 1: Vỏ không xuyên nổ - Dạng bảo vệ “d”, 2002.
- [3] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 10888-0:2015, Khí quyền nổ – Phần 0: Thiết bị - Yêu cầu chung, 2015.
- [4] Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 10888-1:2015, Khí quyền nổ - Phần 1: Bảo vệ thiết bị bằng vỏ bọc không xuyên nổ “d”, 2015.

➤ Vỏ Tổ hợp cầu dao chân không phòng nổ đảm bảo khả năng làm việc trong áp suất 1,05 Mpa với hệ số an toàn nhỏ tại phần thân tủ là 1,53;

➤ Đối với các bề mặt có diện tích lớn như bề mặt phía sau và hai thành bên của vỏ tủ cần tăng cường gân tăng cứng để đảm bảo kết cấu không bị biến dạng nhiều;

➤ Các mối hàn tại các vị trí ghép các tấm của vỏ cần vát mép sâu hơn nhằm tăng diện tích của mối ghép. Siêu âm mối hàn sau mỗi lớp rồi mới tiếp tục hàn lớp sau □



- [5] IEC, *IEC 60079-0:2011 – Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*, 2011.
- [6] IEC, *IEC 60079-1:2007, Explosive atmospheres- Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures “d”*, 2007.
- [7] IEC, *IEC 60079-11:2006 – Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety “i”*, 2006.
- [8] Bộ Công Thương, *QCVN 01:2011/BCT, Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò*, 2011.
- [9] Robert C. Boring et al, *Part 6 Equivalency Review and comparison: MSHA Explosion-proof Enclosure Standard*, US Department of Labor, MSHA, West Virginia, 2005
- [10] Chuazhi Song, Xueming Wang and Yu Qiu. "Structural design and analysis of mine flameproof electric actuator," *Topics In Chemical & Material Engineering (TCME)* 2(1) 83-88, 2023.
- [11] Bhagirath Ahirwal, A. K. Singh and R. K. Vishwakarma, "Maintenance and Safety Requirements of Flameproof and Intrinsically Safe Equipment for Coal Mines," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. Vol. 6, No. 1, 2017, pp. 9 – 15.
- [12] Krause, T., et al., "Investigations of static and dynamic stresses of flameproof enclosures," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2017.04.015>.
- [13] Li, D.; Dai, S. and Lin, T., "Evaluation of the Explosion Pressure. Parameters in Flameproof Enclosures under the Pressure Piling Condition," *Energies*, 2021, 14, 8156. <https://doi.org/10.3390/en14238156>.

### LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cấp Tập đoàn của Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam, mã số 181/HĐ-KHCN-KC.04.Đ10-23/21-25

## STRENGTH VERIFICATION CALCULATION OF THE EXPLOSION-PROOF OF VACUUM CIRCUIT BREAKER ENCLOSURE THCDPN-660 (1140) FOR UNDERGROUND COAL MINES

Duc Trong Do<sup>1,\*</sup>, Tat The Pham<sup>2</sup>, Van Phuc Le<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vinacomin- Institute of Energy and Mining Mechanics, 565 Nguyen Trai, Ha Noi, Vietnam

<sup>2</sup>Vinacomin Mining and Industrial Investment Consultancy JSC, 565 Nguyen Trai, Ha Noi, Vietnam

### ARTICLE INFORMATION

TYPE: Research Article

Received: 05/11/2025

Revised: 08/12/2025

Accepted: 10/12/2025

<sup>1,\*</sup> Corresponding author:

Email: [ductrongiemmm@gmail.com](mailto:ductrongiemmm@gmail.com)

### ABSTRACT

*In the design of electrical equipment intended for use in underground coal mines where explosive gas and dust atmospheres may be present, the flameproof enclosure plays a critical role. The enclosure shall comply with all applicable requirements of type of protection “d” (flameproof enclosure) in accordance with IEC 60079 and the corresponding Vietnamese standard TCVN 7079. Therefore, the design process requires conformity with enclosure construction requirements in combination with mechanical strength verification calculations.*

*This paper presents the technical requirements for the flameproof enclosure of a vacuum switch, together with the methodology and results of strength verification performed during the design stage. The research methods, design procedure, and results presented in this paper can be generally applied to the design of flameproof enclosures for electrical equipment intended for use in underground coal mines.*

**Keywords:** Vacuum switch holder, underground coal mine, explosion-proof joint, stress, displacement.

@ Vietnam Mining Science and Technology Association