

# MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CƠ CHẾ HÌNH THÀNH HIỆN TƯỢNG NỔ ĐÁ TRONG QUÁ TRÌNH XÂY DỰNG ĐƯỜNG HẦM

**CHU VIẾT THỨC** - Trường Đại học Điện lực  
**HOÀNG ĐÌNH PHÚC** - Trường Đại học Mỏ-Địa chất  
Email: hoangdinhphuc@khoaxaydung.edu.vn

**H**iện nay, “Nổ đá” là một trong những hiện tượng địa cơ học được các nhà khoa học đặc biệt quan tâm nghiên cứu. Bài báo giới thiệu quá trình phát triển của các lý thuyết nghiên cứu về hiện tượng “Nổ đá” và xu hướng phát triển của nó nhằm giúp cho các bạn đọc có cái nhìn tổng quan về hiện tượng này.

“Nổ đá” (còn gọi là “Cú đấm mỏ” [1], thuật ngữ tiếng Anh là “Rockburst”, “Coal Bump” hoặc là “Press Bump in Collieries”) là hiện tượng phá hủy tức thì khối đá gần công trình ngầm có sự giải phóng đột ngột năng lượng biến dạng của vùng khối đá chịu tải, kèm theo âm thanh lớn và chấn động mạnh [1]. Đây là một trong những hiện tượng phá hủy động học của đá thường thấy trong ngành công nghiệp khai thác mỏ và thi công các công trình ngầm.

Báo cáo đầu tiên về hiện tượng nổ đá đã xuất hiện vào cuối thế kỷ XIX tại mỏ vàng Kolar Gold Field của Ấn Độ, nơi độ sâu khai thác ở mức -500 m (Morrison (1942) và Blake (1971)). Tuy đã trải qua hơn 200 năm nghiên cứu nhưng cho tới nay các nhà nghiên cứu về địa cơ học mới chỉ dừng lại ở việc miêu tả hiện tượng bên ngoài, một số quy luật bên trong mà chưa đưa ra được một quy luật hoặc nhận thức đầy đủ về mặt cơ học lý giải cho hiện tượng này. Trong những năm gần đây, đặc biệt ở một số nước Châu Phi, Bắc Âu, Bắc Mỹ, Trung Quốc,... thì quá trình nghiên cứu về hiện tượng “Nổ đá” đã bước đầu hình thành một số lý thuyết về cơ chế phát sinh và minh chứng về toán cơ học.

Ở nước ta, hiện tượng này hầu như chưa được ghi nhận hoặc cũng có thể đã phát sinh nhưng được hiểu nhầm với các hiện tượng động lực học phá hủy đá khác. Do vậy, trong phạm vi bài viết này, các tác giả giới thiệu một số lý thuyết nghiên cứu lý thuyết về cơ chế hình thành hiện tượng “Nổ

đá”, đồng thời phân tích các điểm còn thiếu sót của mỗi lý thuyết để người đọc có một cái nhìn tổng quan về hiện tượng phá hủy động lực học đá còn tương đối mới mẻ ở Việt Nam.

## 1. Các nghiên cứu về cơ chế “Nổ đá”

### 1.1. Lý thuyết cường độ

Thực tế cho thấy nguyên nhân và quy luật của đá bị phá hủy chủ yếu là do vấn đề cường độ phá hủy của đá (giới hạn phá hủy của đá) [2], [3]. Lý thuyết cường độ được Jones đề xuất vào năm 1926 nhằm giải thích hiện tượng “Nổ đá”. Với lý thuyết này, ông chủ yếu tập trung đề xuất các giả thiết xoay quanh nguyên nhân hình thành ứng suất trong khối đá. Ông cho rằng khi đào đường hầm thì khối đá xung quanh đường hầm luôn phải chịu ứng suất tập trung và khi ứng suất tập trung đó đạt đến và vượt giá trị cường độ phá hủy của đá xung quanh thì lập tức xảy ra phá hủy đột ngột, tức là gây ra hiện tượng “Nổ đá”. Nói cách khác, nếu coi ứng suất tác dụng lên khối đá là  $\sigma$  và cường độ của khối đá là  $\sigma'$ . Nếu  $\sigma > \sigma'$  thì sẽ phát sinh “Nổ đá”. Lý thuyết này sau đó được nhiều nhà địa cơ học nêu lên với các cách thức diễn tả khác nhau. Trong đó: tiêu biểu nhất là tiêu chuẩn của Hoek-Brown được đề xuất vào năm 1980 [4]:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + \left( m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + 1, 0 \right)^{1/2} \quad (1)$$

Trong đó:  $\sigma_1$  - Ứng suất chính lớn nhất, MPa;  $\sigma_3$  - Ứng suất chính nhỏ nhất, MPa;  $\sigma_c$  - Cường độ kháng nén đơn trục, MPa;  $m$  - Hằng số, quyết định bởi tính chất của đá và khả năng mang tải trước khi phá hủy.

Vào năm 1994, dựa vào các nghiên cứu của mình W.D. Ortlepp và T.R. Stacey đã đề xuất công thức thể hiện mối quan hệ giữa ứng suất chính lớn nhất và



cường độ kháng nén đơn trục của đá khi bị nén ép, tức quá trình chuẩn bị phát sinh nổ đá như sau [5]:

$$\sigma_1 \geq (0,25 \div 0,5) \cdot \sigma_c \quad (2)$$

Tại Trung Quốc, lý thuyết cường độ được dùng để dự báo hiện tượng “Nổ đá” dựa vào điều kiện [6]:

$$\sigma > (0,15 \div 0,20) \cdot R_c \quad (3)$$

Trong đó:  $\sigma$  - Ứng suất ban đầu (ứng suất nguyên sinh) của khối đá;  $R_c$  - Cường độ kháng nén đơn trục (giới hạn bền nén đơn trục) của khối đá.

Đối với lý thuyết cường độ, khi đạt được các điều kiện ở trên ta thấy rằng tại đây chỉ mới chứng tỏ khối đá phát sinh các khe nứt hoặc phá hoại mà vẫn chưa chỉ ra được điều kiện cụ thể để xảy ra phá hủy tức thì mãnh liệt (tức hình thành hiện tượng “Nổ đá”). Vậy nên có thể nói rằng: lý thuyết cường độ chỉ mới chỉ ra những điều kiện cần để hình thành và làm xuất hiện hiện tượng “Nổ đá”.

### 1.2. Lý thuyết độ cứng

Lý thuyết độ cứng được Cook N.G. và cộng sự [7] đề xuất năm 1965. Hai ông dùng các máy nén thông thường để tiến hành các thí nghiệm nén đơn trục. Khi thí nghiệm, các mẫu đá bị phá hủy rất mạnh. Tuy nhiên, nếu thay đổi máy thí nghiệm có độ cứng lớn hơn thì hiện tượng phá hủy của mẫu đá thể hiện không mạnh mà ổn định hơn, đồng thời có thể mô tả toàn bộ quá trình phá hủy thông qua đường cong ứng suất-biến dạng. Từ đó, các tác giả cho rằng: nguyên nhân của mẫu bị phá hủy mạnh bởi vì độ cứng của của mẫu lớn hơn độ cứng của máy thí nghiệm (tức hệ thống gia tải). Blacke (1972) dùng lý thuyết độ cứng để phân tích hiện tượng nổ than của mỏ Idaho, bang California, Mỹ [8]. Ông cho rằng: độ cứng của thân quặng lớn hơn độ cứng của đá bao quanh chính là điều kiện để phát sinh “Nổ đá”. Petukhov I.M. dựa vào lý thuyết độ cứng để làm rõ hơn cơ chế cơ học của hiện tượng “Nổ đá”. Ông mô tả trên đường cong ứng suất-biến dạng khi đạt giá trị cường độ đỉnh sau đó đột ngột hạ xuống, tức là tại đây xuất hiện sự phá hủy đột ngột - xuất hiện hiện tượng “Nổ đá”.

Lý thuyết độ cứng rất đơn giản, mang tính trực quan tuy nhiên vẫn còn nhiều vấn đề bất cập. Dựa vào mô hình thí nghiệm và thực tiễn có thể thấy lý thuyết này chỉ phù hợp để giải thích hiện tượng “Nổ đá” trong các mỏ có để lại trụ khi khai thác. Hơn nữa, nó chỉ mới chỉ đưa ra một số khái niệm cơ học của quặng và đá bao quanh mà chưa làm rõ được cấu trúc của mỏ, chưa đưa ra được chỉ tiêu độ cứng tới hạn trong hệ thống thân quặng-đá bao quanh và khả năng tích lũy cũng như giải phóng năng lượng chính là tiền đề để xác định khả năng phát sinh nổ đá. Ngoài ra, khái niệm độ cứng của hệ thống kết cấu mỏ cho đến nay vẫn chỉ là

một khái niệm mang tính tương đối và rất khó để xác định chính xác.

### 1.3. Lý thuyết năng lượng [4], [9], [10]

Lý thuyết này được Cook N.G.W. và cộng sự đề xuất vào giữa những năm 60 của thế kỷ XX sau khi tổng kết các kết quả nghiên cứu cơ bản về “Nổ đá” tại một mỏ vàng của Nam Phi. Ông cho rằng: khi quy mô khai thác tăng lên thì hiện tượng “Nổ đá” phát sinh là do hệ thống “khối đá-đá bao quanh” bị phá vỡ trạng thái cân bằng ứng suất. Hệ thống đó sẽ giải phóng năng lượng. Giá trị năng lượng được giải phóng lớn hơn rất nhiều so với giá trị năng lượng tiêu hao để phá hủy khối đá tại cùng vị trí. Lý thuyết này cơ bản đã giải thích tương đối thỏa đáng hiện tượng địa chấn, đá bắn ra và các hiện tượng động lực mỏ. Cũng trong thời gian này, Dunk House đã đề xuất phương trình cân bằng năng lượng của quá trình phát sinh “Nổ đá”. Ông tiến hành phân tích mối liên hệ giữa năng lượng giải phóng và năng lượng tiêu hao. Sau đó lý thuyết này được Petukhov I.M. bổ sung, phân tích lại và hoàn thiện hơn lý thuyết năng lượng của Cook N.G. Năm 1970, Brauner G.B. đã đưa ra lý thuyết năng lượng tỷ lệ thể hiện bởi công thức sau [10]:

$$\alpha \cdot \left( \frac{dE_R}{dt} \right) + \beta \cdot \left( \frac{dE_E}{dt} \right) > \frac{dE_D}{dt} \quad (4)$$

Trong đó:  $\alpha$  - Hệ số giải phóng năng lượng hữu hiệu của khối đá xung quanh;  $\beta$  - Hệ số giải phóng năng lượng hữu hiệu của khối (thể) quặng xung quanh;  $E_R$  - Năng lượng tích trữ của khối đá xung quanh, MJ;  $E_E$  - Năng lượng tích trữ của khối (thể) quặng xung quanh, MJ;  $E_D$  - Năng lượng tiêu hao cản trở phá hủy tại khu vực giao nhau giữa thể quặng và đá xung quanh, MJ;  $dE_E/dt$ ,  $dE_R/dt$  - Lần lượt là tốc độ giải phóng năng lượng của khối quặng và hệ thống khối đá xung quanh;  $dE_D/dt$  - Tốc độ hấp thụ năng lượng khi phá hủy và lực cản tại khu vực giao nhau giữa khối quặng và khối đá xung quanh.

Theo công thức (4) khi năng lượng tích lũy lớn hơn năng lượng tiêu hao thì xảy ra hiện tượng nổ đá và khi năng lượng tích lũy nhỏ hơn hoặc bằng năng lượng tiêu hao thì không xảy ra hiện tượng nổ đá. Từ góc độ năng lượng, lý thuyết này đã tiến một bước dài trong việc giải thích được cơ chế phá hủy của “Nổ đá”. Ví dụ như đã xem xét đến quy luật và tính không đồng nhất trong quá trình giải phóng năng lượng của hệ thống thể quặng, khối đá xung quanh trên một đơn vị thời gian. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của lý thuyết này là chưa giải thích được tính chất của trạng thái cân bằng trong hệ thống khối quặng-đá xung quanh, điều kiện giải phóng năng lượng, điều kiện phá vỡ khối đá, các tham số tải trọng tác động từ bên



ngoài, cấu tạo đá xung quanh,... và đặc biệt là vẫn chưa lượng hóa được chỉ tiêu năng lượng cụ thể. Trong thực tế, rất khó xác định vị trí khối đá gây ra "Nổ đá" trong tổng thể khối đá xung quanh do đó mà không thể tính toán được chính xác năng lượng để làm phát sinh nổ đá.

**1.4. Lý thuyết về xu hướng "Nổ đá"**

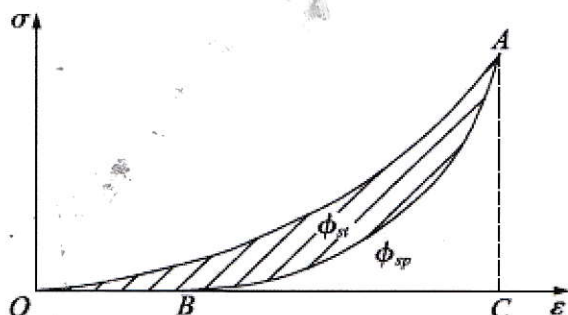
Thực tế ta biết rằng, ở cùng một mỏ có cùng điều kiện tự nhiên và kỹ thuật khai thác, nhưng có vỉa than thì phát sinh "Nổ than", có vỉa than lại không. Do vậy than (đá) ở vỉa phát sinh "Nổ đá" phải có tính chất cơ lý đặc thù, quyết định khả năng gây ra phá hủy đột ngột đối với than hoặc đá. Khả năng này chính là đặc tính "tự thân" của than còn được các nhà khoa học gọi là "xu hướng nổ đá" [11], [12]. Các chỉ tiêu của lý thuyết "xu hướng nổ đá" được đề xuất tương đối nhiều. Tuy nhiên, trên thực tế thường dùng các chỉ tiêu sau đây: chỉ số năng lượng đàn hồi  $W_{ET}$ ; chỉ số năng lượng nén ép  $K_E$ ; hệ số dòn của đá.

**1.4.1. Chỉ số năng lượng đàn hồi  $W_{ET}$**

Chỉ số năng lượng đàn hồi  $W_{ET}$  do nhà khoa học Ba Lan Kidybinshi A.Q. đề xuất. Nó được tính bởi tỷ số giữa năng lượng tiêu hao sản sinh khi biến dạng dẻo và năng lượng biến dạng tích lũy trước khi bị phá hủy trong thí nghiệm nén đơn trục thông qua phương pháp gia tải đối với mẫu thí nghiệm đạt đến giá trị  $(0,7 \div 0,8)R_b$  (cường độ kháng nén của đá) sau đó được dỡ tải đến  $(0,05.R_b)$  (H.1), tức là [13]:

$$W_{ET} = \frac{\phi_{SP}}{\phi_{ST}} \tag{5}$$

Trong đó:  $\phi_{SP}$  - Năng lượng biến dạng đàn hồi là diện tích của hình hợp bởi đường cong dỡ tải với đoạn thẳng AC, BC;  $\phi_{ST}$  - Năng lượng biến dạng dẻo là diện tích của hình hợp bởi đường cong gia-dỡ tải với đoạn thẳng OB.



H.1. Đường cong ứng suất-biến dạng dỡ tải khi nén đơn trục [13]

Công thức (5) cho thấy: nếu năng lượng tích lũy trong đá càng lớn, mà năng lượng tiêu hao càng nhỏ thì khả năng phát sinh "Nổ đá" càng cao. Điều này phản ánh khả năng tích lũy năng lượng đàn

hồi của đá, ở mức độ nào đó nó còn phản ánh mức độ giải phóng năng lượng khi đá bị phá hủy. Đây cũng là tiêu chuẩn quốc gia mà Ba Lan và một số quốc gia khác dùng làm chỉ tiêu để dự báo định lượng mức độ xuất hiện một vụ "Nổ đá", cụ thể như sau [13]:

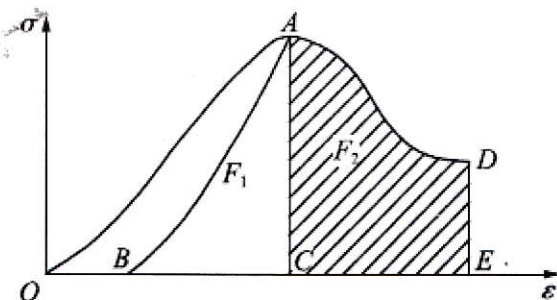
- Khi  $W_{ET} < 2,0$  - Không gây ra "Nổ đá";
- Khi  $2 < W_{ET} < 4,9$  - "Nổ đá" xảy ra ở mức độ trung bình;
- Khi  $W_{ET} \geq 5,0$  - "Nổ đá" xảy ra ở mức độ mạnh.

Chỉ tiêu này không liên quan đến trường hợp thay đổi ứng suất sau giá trị cường độ phá hủy của đá. Lý thuyết này không phản ánh đầy đủ mối tương quan giữa năng lượng giải phóng sau phá hủy và động năng cần thiết để gây phá hủy. Tại đây, rất khó xác định các điều kiện để đá phá hủy đột ngột hay là tiếp tục ổn định phá hủy. Do vậy, chỉ tiêu này chưa phản ánh một cách chân thực xu hướng xuất hiện "Nổ đá".

**1.4.2. Chỉ số năng lượng nén ép  $K_E$**

Đây là chỉ tiêu thường dùng để dự báo "Nổ đá". Tư tưởng trọng tâm của phương pháp này cho rằng: nếu trong quá trình khai đào đường hầm lượng năng lượng được đá hấp thụ lớn hơn lượng năng lượng tiêu hao trong toàn quá trình phá hủy đá thì sẽ phát sinh hiện tượng "Nổ đá". Chỉ số  $K_E$  này được tính bởi tỉ số giữa diện tích  $F_1$  (diện tích hình OAC) và  $F_2$  (diện tích hình ACED) trên đường cong ứng suất-biến dạng trong thí nghiệm nén đơn trục đối với đá như trên H.2 [14]:

$$K_E = (F_1 / F_2) \tag{6}$$



H.2. Phương pháp tính chỉ số  $K_E$  trên đường cong ứng suất-biến dạng [14]

Chỉ số  $K_E$  áp dụng để dự báo "Nổ đá" như sau [14]:

- Khi  $K_E < 1,5$  - Không gây ra "Nổ đá";
- Khi  $1,5 < K_E < 5,0$  - "Nổ đá" xảy ra ở mức độ trung bình;
- Khi  $K_E \geq 5,0$  - "Nổ đá" xảy ra ở mức độ mạnh.

Chỉ số  $K_E$  cho thấy: trong phần  $F_1$  đã bao gồm năng lượng gây nên biến dạng dẻo và lượng năng lượng đã tiêu hao phát triển các vi khe nứt; năng lượng này không chỉ giải phóng tại vùng sau giá trị cường độ đỉnh (giới hạn phá hủy)  $F_2$ . Chính điều này làm cho việc áp dụng chỉ tiêu này để dự báo hiện tượng "Nổ đá" thường không chính xác và nó



có xu hướng “khuếch đại” khả năng gây nên hiện tượng “Nổ đá”.

**1.4.3. Hệ số đòn của đá**

“Nổ đá” là một loại phá hủy dòn. Tính dòn của đá ở phương diện nào đó được hiểu là trước khi bị phá hủy thì tổng biến dạng rất nhỏ, hay còn được hiểu là tỷ số giữa cường độ kháng kéo đơn trục và cường độ kháng nén đơn trục đạt giá trị nhỏ. V. Hucka và B. Das đã đề xuất hai chỉ tiêu hệ số độ dòn của đá “K<sub>1</sub>”, “K<sub>2</sub>” như sau [15]:

$$K_1 = (\sigma_c - \sigma_t) / (\sigma_c + \sigma_t) \tag{7}$$

$$K_2 = \sin \varphi \tag{8}$$

Trong đó: K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> - Các hệ số đòn; σ<sub>c</sub>; σ<sub>t</sub> - Cường độ kháng nén và kháng kéo đơn trục, MPa; φ - Góc nội ma sát trong của đá.

Gần đây, các nhà khoa học Trung Quốc đã đưa ra một cách tính khác về hệ số đòn “K<sub>b</sub>” như sau [16]:

$$K_b = \alpha \frac{\sigma_c \cdot \varepsilon_f}{\sigma_t \cdot \varepsilon_b} \tag{9}$$

Trong đó: α - Hệ số điều chỉnh, thường lấy bằng 0,1; ε<sub>f</sub>, ε<sub>b</sub> - Giá trị biến dạng của đá tại điểm trước và sau giá trị đỉnh (giá trị phá hủy); σ<sub>c</sub>; σ<sub>t</sub> - Cường độ kháng nén và kháng kéo đơn trục.

Sử dụng hệ số đòn “K<sub>b</sub>” dự báo khả năng xảy ra “Nổ đá” như sau [16]

- > Khi K<sub>b</sub> ≤ 3 - Không gây ra “Nổ đá”;
- > Khi 3 < K<sub>b</sub> < 5,0 - “Nổ đá” xảy ra ở mức độ trung bình;
- > Khi K<sub>b</sub> ≥ 5,0 - “Nổ đá” xảy ra ở mức độ mạnh.

Để dàng nhận thấy: chỉ tiêu này chỉ áp dụng được cho trường hợp đá có độ cứng trung bình đến cứng, đối với các đá hình thành do mác ma phun trào thường có cấu tạo lỗ rỗng, chứa bọt,... nên cường độ kháng kéo của các mẫu lấy ở vị trí khác nhau có sự chênh lệch rất lớn. Ngoài ra, đối với đá mềm do sự phát triển của thớ nứt làm cường độ kháng kéo rất thấp dẫn đến tỷ số giữa cường độ kháng nén và kháng kéo rất lớn điều này dẫn đến hệ số đòn có sự sai lệch. Vậy nên, hệ số đòn chưa phản ảnh đầy đủ khả năng tích lũy năng lượng biến dạng đàn hồi của đá. Lý thuyết này chỉ mới biểu trưng khả năng tích lũy năng lượng biến dạng đàn hồi của đá có kết cấu liên khối điều này phản ánh chưa đúng với cấu tạo của đá trong tự nhiên, làm khuếch đại khả năng gây nên “Nổ đá”.

Lý thuyết về xu hướng “Nổ đá” là nhằm để xác định tính chất cơ học vốn có của than xem có hay là không có khả năng sinh ra hiện tượng nổ đá. Lý thuyết này có vị trí tương đối quan trọng trong việc nghiên cứu cơ chế hình thành nên hiện tượng nổ than và là nền tảng trong việc dự báo và phòng ngừa “Nổ đá”. Tuy nhiên, lý thuyết này có nhược điểm là các chỉ số đều được thực hiện trong phòng thí nghiệm, vì mẫu thí nghiệm được lấy tại một số

vị trí và tương đối hoàn thiện không thể đại diện cho điều kiện địa chất thay đổi phức tạp về thành phần tạo thành và cấu tạo ngoài thực địa. Điều này giải thích tại sao khi tiến hành xác định các chỉ số trong phòng đều thể hiện giá trị “nguy hiểm” nhưng lại không phát sinh nổ đá ngoài thực địa và ngược lại hoặc tại cùng một vỉa nhưng có vị trí lại phát sinh “Nổ đá” có vị trí lại không. Điều này thể hiện lý thuyết trên chỉ mang tính cục bộ, tính chính xác trong dự báo không cao.

**1.5. Lý thuyết mất ổn định**

Lý thuyết mất ổn định được đề xuất bởi Cook N.W.G. [17]. Ông coi hiện tượng “Nổ đá” như là hiện tượng hệ thống vật liệu mất ổn định [18], [19]. Áp dụng tiêu chuẩn Dirichlet để dự đoán định tính hệ thống cơ học biến dạng. Điều này phụ thuộc vào giá trị thế năng biến dạng trong hệ thống và được xác định bởi công thức sau [20]:

$$\delta^2 \Pi = \int_{V_s} \delta(d\Sigma)^T D \delta(d\Sigma) dv + \int_{V_i} \delta(d\Sigma)^T D_{ep} \delta(d\Sigma) dv \tag{10}$$

Trong đó: V<sub>s</sub> - Biểu thị khu vực khối đá bao quanh; V<sub>i</sub> - Biểu thị khu vực chứa vi khe nứt; D - Ma trận độ cứng của khu vực đá bao quanh; D<sub>ep</sub> - Ma trận đàn dẻo của khu vực vi khe nứt, ở đây giả thiết khu vực đá xung quanh vẫn là khu vực đàn hồi, khu vực vi khe nứt là khu vực dẻo.

Lý thuyết mất ổn định dự báo khả năng xảy ra “Nổ đá” thể hiện như sau [19]:

- > Khi δ<sup>2</sup>Π ≥ 0 - Hệ thống coi như ổn định;
- > Khi δ<sup>2</sup>Π < 0 - Hệ thống mất ổn định, nếu có yếu tố tác dụng từ bên ngoài sẽ phát sinh “Nổ đá”.

Bước tiến lớn nhất của lý thuyết này là đã coi môi trường đá xung quanh là phi tuyến, tuy vậy lý thuyết này vẫn chưa làm rõ nguyên nhân hình thành “Nổ đá”. Với lý luận này rất khó để xây dựng tiêu chí để đánh giá cường độ cũng như mức độ nguy hiểm của một vụ “Nổ đá”.

**1.6. Lý thuyết phá hủy và hư hỏng**

Những năm gần đây, sự phát triển của cơ học hư hỏng (Damage mechanics) và cơ học phá hủy (Fracture mechanics) đã có ảnh hưởng lớn đến sự phát triển của ngành cơ học môi trường liên tục. Việc vận dụng chúng để phân tích cường độ của đá đã đưa ra được các đánh giá về tính mất ổn định, nứt vỡ của khối đá tương đối sát với thực tế. Gần đây việc vận dụng hai lý thuyết trên để nghiên cứu về “Nổ đá” cũng đã đạt được một số thành tựu nhất định. Lý thuyết phá hủy thực chất là sự phát triển của lý thuyết mất ổn định, căn cứ cơ học phá hủy tuyến tính, điều kiện để mở rộng khe nứt tương đương với trường hợp thế năng của hệ thống F=(W-U) [21]:



$$d(W-U)/da=0. \tag{11}$$

Trong đó: U - Năng lượng đàn hồi; W - Năng lượng cần để mở rộng khe nứt; a - Một nửa độ dài của khe nứt.

Từ (10) ta có:

$$(dW/da)-(dU/da)=0. \tag{12}$$

Giả thiết:  $dW/da=R$ ;  $dU/da=G$ ; G là tỷ suất năng lượng đàn hồi giải phóng tại đầu nứt của khe nứt (động lực thúc đẩy khối nứt), R là tỷ suất năng lượng tiêu hao trên bề mặt diện tích của khe nứt (lực cản sự phát triển khe nứt), căn cứ lý thuyết mất ổn định [21]:

$$d(R-G)/da<0. \tag{13}$$

Từ (12) là điều kiện mở rộng khe nứt, điều kiện phá hủy mất ổn định sẽ là:

$$(R-G)<0 \text{ hay } R<G. \tag{14}$$

Lý thuyết tổn thất được xây dựng thông qua mô hình cấu thành tổn thất của đá, biến quá trình tích lũy tổn thất thành quá trình phá hoại của đá. Hư hỏng tích lũy đến một mức độ nào đó thì xuất hiện các vết nứt vi mô, nếu tổn thất tiếp tục được tích

lũy thì có thể xuất hiện hiện tượng biến dạng mềm hóa làm giảm khả năng tích lũy năng lượng biến dạng dẫn đến giải phóng năng lượng biến dạng đàn hồi. Nếu như quá trình này lặp đi lặp lại nhiều lần sẽ dẫn đến “Nổ đá”.

## 2. Một số kết quả nghiên cứu

Trong phạm vi bài báo này, nhóm tác giả đã tổng hợp một số kết quả về hiện tượng nổ đá đã xảy ra tại các công trình hầm giao thông, thủy lợi hay thủy điện đã được nghiên cứu của một vài tác giả trên thế giới.

Các kết quả này chủ yếu xét đến các vấn đề về cường độ, trong đó các yếu tố về cường độ kháng nén đơn trục  $\sigma_c$  và cường độ lớn nhất  $\sigma_{max}$  ( $\sigma_1$  - Ứng suất ban đầu lớn nhất) đo được tại hiện trường. Bảng 1 tổng hợp một vài công trình cụ thể trên thế giới đã xảy ra hiện tượng nổ đá, độ sâu của hầm, loại đá xung quanh và các giá trị cường độ kháng nén đơn trục,...

Bảng 1. Bảng thống kê hiện tượng nổ đá tại một số công trình trên thế giới

Tên hầm (quốc gia)	Độ sâu, m	Diện tích gương đào, m <sup>2</sup>	Điều kiện địa chất	$\sigma_c$ , MPa	$\sigma_{max}$ , MPa
Hầm Leardal (Na Uy)	200~1500	50	Gneiss, granit, gneiss và flax diorite	60~200	34
Gian đặt máy thủy điện Sima (Na Uy)	700	800	Granit và granit, gneiss	183	48.8
Hầm dẫn dòng Vites (Thụy Điển)	250	-	Siltstone, quartzit	80	50-70
Hầm dẫn dòng Headrace (Thụy Điển)	300	67	Quartzit	200	28
Mỏ vàng Galena (Mỹ)	1200	-	Quartzit	175	52
Gian đặt máy Hoist (Nam Phi)	1450	130	Quartzit	198~230	44.3
Hầm giao thông Sewage (Na Uy)	130	7	Granit	180	35
Hầm dẫn dòng thủy điện Tianshengqiao (Trung Quốc)	400	-	Granit	115	31
Thủy điện Ertan (Trung Quốc)	770	-	Syenit, basalt	160~170	30~35
Mỏ than X (Liên Xô)	1740	-	Cát kết	180	50

Theo kết quả điều kiện địa chất thu được tại hiện trường, tác giả chủ yếu dựa trên lý thuyết về cường độ của nhà khoa học người Na Uy J. Bardon để phán đoán hiện tượng nổ đá. Theo J. Bardon, hiện tượng nổ đá được phân làm 2 mức độ là hiện tượng nổ đá nhẹ và hiện tượng nổ đá mạnh tương ứng với tỷ số giữa cường độ kháng nén đơn trục  $\sigma_c$  và ứng suất nguyên sinh (ban đầu) lớn nhất  $\sigma_{max}$  theo công thức (2).

## 3. Thảo luận và kiến nghị

Theo chúng tôi, lý thuyết cường độ, lý thuyết năng lượng, lý thuyết về xu hướng “Nổ đá” là

những lý thuyết mang tính nền tảng trong các lý thuyết đã được mô tả ở trên. Những lý thuyết khác đều được phát triển từ ba lý thuyết cơ bản nêu trên. Tại đây: các nghiên cứu về vi khe nứt, vi đứt gãy và phá hủy sinh ra do ngoại lực tác dụng chưa đủ sâu, chưa tìm ra được mối liên hệ giữa “Nổ đá” với quá trình hình thành và phát triển của các vi khe nứt. Quá trình nghiên cứu chưa chú ý đến ảnh hưởng của thành phần khoáng vật, thành tạo của đá, điều kiện khai thác, ứng suất nguyên sinh và ứng suất cấu tạo ngẫu hợp tác dụng. Chúng tôi cho rằng, vì điều kiện khai thác, điều kiện thành tạo cũng như ứng suất ban đầu có sự khác nhau nên



để nghiên cứu hiện tượng này cần phân loại “Nổ đá” trong mỏ than với “Nổ đá” trong các công trình ngầm khác để tiến hành nghiên cứu. Cho đến nay, các nghiên cứu về hiện tượng “Nổ đá” vẫn chưa đưa ra được lý thuyết mang tính toàn diện, đầy đủ. Bởi vì, chỉ có hiểu rõ cơ chế hình thành, phát sinh hiện tượng “Nổ đá” thì mới có giải pháp phòng ngừa hữu hiệu. Do đó, đây vẫn là “vấn đề nóng” mà các nhà địa cơ học cần tiếp tục nghiên cứu. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc. Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội. 2005.
2. Beniauwsh A.T., Denkhau H.G., Vogler U.W. Failure of Fracture Rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1969, (6): 323-341.
3. Brandy, Barry H.G., Brown, Edwin T. Rock mechanics for underground mining. Springer Science & Business Media, 2013.
4. Brandy B.H.G.; Brown E.T. Energy changes and stability in underground mining design applications of boundary element methods. Institution of Mining and Metallurgy Transactions, 1981, A61-A67.
5. W.D. Ortlepp, T.R. Stacey. Rockburst mechanisms in tunnels and shafts. Tunnelling and underground space technology, 1994, 9(1): 59-65.
6. 郭雷, 李夕兵, 岩小明. 岩爆研究进展及发展趋势. 采矿技术.
7. Cook N.W.G., Hoek E., Pretorius J.P.G., et al. Rock Mechanics applied to the study of rockbursts. J.S.Afr. Inst. Min. Metall, 1966, 66: 435~ 528.
8. Blake W. Rock-burst Mechanics. Quarterly of the Colorado school of mines. 1972.
9. Cook N.G.W. The basic mechanics of rockburst. J.S.Afr. Inst. Min. Metall. 1963, 64:71-81.
10. Cook N.G.W., Hoek E., Pretorius J.P.G., Ortlepp W.D. and Salamon M.D.G. Rock mechanics applied to rockbursts. HJ.S.Afr. Inst. Min.Met,1966,66: 435-528.
11. 吴祥彬, 献彪, 孙海等, 用钻屑法监测巷道围岩冲击危险性. 矿山压力与顶板管理, 1998,(1): 73-76.
12. Bieniawski Z.T. Mechanism of brittle fracture of rocks. Part I, II and III. Int.J. Rock Mech.Min.Sci.,1967, (6):395 — 430.
13. Bieniawski Z.T., Denkhlaus H.G., Vogler U.W. Failure of Fracture Rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 1969, (6): 32—341.
14. Kidybinski A.Q. Bursting liability indices of coal. Rock Mechanics and Mine Science,1981,18(6): 295-304.
15. 赵本钧.冲击地压及其防治.北京: 煤炭工业出版社,1995.
16. Singh S.P. The influence of rock properties on the occurrence and control of rockbursts. Mining Science and Technology, 1987, 5.1: 11-18.
17. 冯涛, 谢学斌, 王文星,等. 岩石脆性及描述岩爆倾向的脆性系数. 矿冶工程, 2000, 20(4):18-19.
18. Cook N.G.W. A Note on Rockbursts Considered as A Problem of stability. South Afr. Inst. Min. and Metallurgy.,1965, 65:437-446.
19. 章梦涛, 徐曾和, 潘一山. 冲击地压和突出的统一失稳理论. 煤炭学报,1991(4): 48~53.
20. 潘一山, 章梦涛. 冲击地压失稳理论的解析分析. 岩石力学与工程学报, 1996 (S1):504~510.
21. 章梦涛. 冲击地压失稳理论及数值计算. 岩石力学与工程学报, 1987 (3):197~204.
22. 谢和平等人. 基于断裂力学与损伤力学的岩石强度理论研究进展. 自然科学进展, 2004, 14.10: 1086-1092.

**Ngày nhận bài:** 19/01/2018

**Ngày gửi phản biện:** 17/02/2018

**Ngày nhận phản biện:** 20/03/2018

**Ngày chấp nhận đăng bài:** 10/06/2018

**Từ khóa:** “Nổ đá”, cường độ; độ cứng; năng lượng; xu hướng “Nổ đá”

### SUMMARY

Nowadays, geoscientists especially interest the "rockburst" - one of the phenomena in practice of mining and underground construction. This article presents the introduction of the evolution of some main research theories of "rockburst". The systemization and the introduction of theories of "intensity", "hardness", "trend for rockburst",... and its development trend are intended to give the researchers an overview about this phenomenon.