

NGHIÊN CỨU SỰ PHÁT TRIỂN CỦA VI KHE NỨT TRONG VẬT LIỆU ĐÁ, BÊ TÔNG ĐỂ DỰ BÁO THỜI GIAN PHÁ HỦY

TS. NGUYỄN VĂN MẠNH
Trưởng Đại học Mỏ-Địa chất

Vật liệu đá và bê tông là những loại vật liệu có cấu trúc phức tạp và luôn luôn tồn tại các vi khe nứt, lỗ rỗng trong nó hay còn gọi là các khuyết tật trong cấu trúc. Do luôn có sự tồn tại của các khuyết tật này trong vật liệu đá, bê tông nên chúng được xem là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến độ bền và tuổi thọ của vật liệu. Khi vật liệu chịu tác động của tải trọng, các vi khe nứt có thể phát triển và liên kết với nhau tạo thành các vết nứt lớn dẫn đến gây phá hủy vật liệu. Khi vết nứt hình thành và phát triển trong vật liệu đến một thời điểm nào đó sẽ làm mất khả năng làm việc an toàn của công trình hoặc gây phá hủy công trình. Thời điểm vết nứt phát triển vượt quá giới hạn cho phép dẫn tới nguy cơ mất an toàn của công trình là rất quan trọng trong việc đưa ra các giải pháp xử lý thích hợp, để đảm bảo cho công trình làm việc trong giới hạn an toàn.

Đến nay trên thế giới đã có rất nhiều mô hình được đề xuất và áp dụng để dự báo, phân tích sự phát triển của vết nứt trong vật liệu đá và bê tông [1], [2]. Ở nước ta, việc sử dụng các mô hình để phân tích, đánh giá sự phá hoại các bộ phận kết cấu công trình đã và đang được áp dụng trong tính toán thiết kế nhằm nâng cao độ chính xác, độ tin cậy khi tính toán tuổi thọ của công trình. Lý thuyết cơ học phá hủy bê tông đã được áp dụng ở nước ta để phân tích sự phá hoại của các bộ phận kết cấu như dầm, vỏ hầm hay tường chắn bê tông do sự xuất hiện và lan truyền các khe nứt [4], [5]. Tuy nhiên, khi áp dụng phương pháp này để đánh giá sự làm việc của kết cấu bê tông đòi hỏi phải tiến hành rất nhiều thí nghiệm để xác định các đặc trưng cơ học của vật liệu, đặc biệt là các đặc trưng nứt cơ bản của vật liệu bê tông, để làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế và dự đoán sự phá hoại. Các đặc trưng nứt của một số loại bê tông thường dùng trong xây dựng ở Việt Nam đã được xác định thông qua thí nghiệm [6]. Đây là các thông số rất

hữu ích trong việc tính toán dự báo sự phát triển của các khe nứt trong kết cấu công trình bằng bê tông và bê tông cốt thép.

Nhìn chung các mô hình lý thuyết được đề xuất để nghiên cứu sự phát triển của vết nứt trong vật liệu đá và bê tông đều dựa trên cơ sở là các khe nứt ban đầu ở dạng mở và đơn lẻ, từ đó phát triển các phương pháp tính toán sự phát triển nứt từ vết nứt mở ban đầu. Trong thực tế, ngoài các khe nứt mở ban đầu còn có các vi khe nứt kín phân bố trong vật liệu. Do đó, việc nghiên cứu mô phỏng sự làm việc của các vi khe nứt kín trong vật liệu đá và bê tông sẽ giúp hiểu rõ hơn bản chất của sự phá hủy cũng như để dự báo thời gian phá hủy.

1. Mô hình nứt và hệ số tập trung ứng suất K

Cơ chế nứt và lan truyền các vết nứt trong các vật liệu dưới tác động của tải trọng có thể chia thành 3 dạng chính gọi là Mode I, Mode II và Mode III và dạng hỗn hợp giữa chúng [7]. Các kiểu nứt này được thể hiện như trên hình H.1.

Trong thực tế, các Mode hỗn hợp là Mode kết hợp hai hoặc ba Mode cơ bản nói trên là thường gặp hơn cả. Ví dụ, trong cơ chế nứt do ứng suất kéo chính trong các dầm chịu uốn là Mode I và Mode II gây ra. Để xác định trạng thái ứng suất trong những trường hợp phức tạp, trước hết cần phải tính toán cho từng dạng cơ bản riêng biệt.

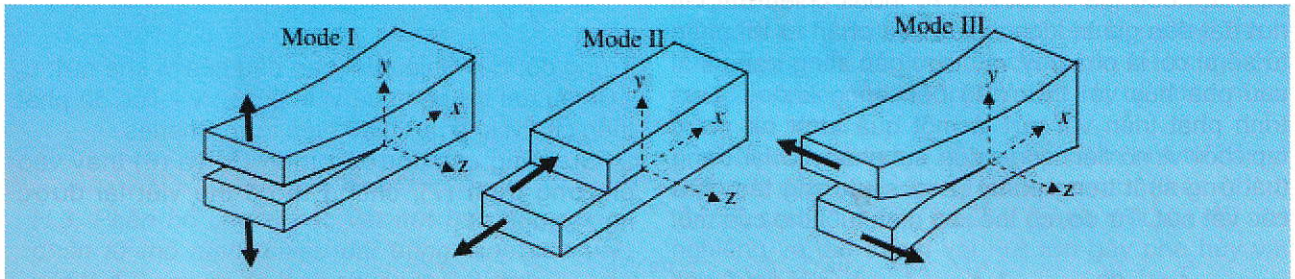
Hệ số tập trung ứng suất (K) là một khái niệm được Irwin [4] đề cập lần đầu tiên vào năm 1957. Irwin chứng minh rằng tất cả các trường ứng suất đàn hồi xung quanh vết nứt đều phân bố giống nhau và tỉ lệ với $\sigma\sqrt{\pi a}$. Để phân biệt các dạng phát triển của vết nứt, người ta đánh chỉ số I, II và III cho ba Mode cơ bản nói trên và tính toán hệ số tập trung ứng suất như sau [4]:

$$K_I = \sigma\sqrt{2\pi a} \quad (1)$$

$$K_{II} = \tau \sqrt{2\pi a} \quad (2)$$

$$K_{III} = \tau' \sqrt{2\pi a} \quad (3)$$

Trong đó: a - Nửa chiều dài vết nứt; σ , τ và τ' - Lần lượt là các thành phần ứng suất pháp, ứng suất cắt trong mặt phẳng và ngoài mặt phẳng.



H.1. Các Mode nứt của vật liệu [7]: Mode I là dạng mở rộng các vết nứt do hiệu ứng pháp tuyến gây ra; Mode II là dạng cắt phẳng do các hiệu ứng cắt gây ra; Mode III là dạng cắt ngoài mặt phẳng do các hiệu ứng xoắn gây ra

Trong thực tế các vết nứt không chỉ phát triển theo một trong 3 dạng cơ bản ở trên mà là sự tổ hợp của hai hay ba dạng khác nhau. Mặt khác, các giá trị K_I , K_{II} và K_{III} còn phụ thuộc vào vị trí vết nứt trên vật thể, tỉ lệ kích thước của vết nứt so với vật thể. Chính vì vậy, việc xác định các giá trị này sẽ phức tạp hơn rất nhiều đối với các trường hợp có sự tổng hợp của các Mode phá hoại.

Khi hệ số tập trung ứng suất K đạt đến giá trị giới hạn K_C thì vết nứt sẽ phát triển và lan truyền ngoài ra thì vết nứt vẫn duy trì ổn định. Giá trị hệ số tập trung ứng suất giới hạn K_C phụ thuộc vào loại vật liệu và được xác định thông qua thí nghiệm.

2. Tính toán tốc độ phát triển nứt

Charles (1958) đã đề xuất biểu thức tính toán tốc độ phát triển vết nứt như sau [5]:

$$v = v_0 K^n e^{-u/(K_b T)} \quad (4)$$

Trong đó: v_0 - Hằng số vật liệu; n - Chỉ số suy giảm ứng suất; K - Hệ số tập trung ứng suất; u - Năng lượng hoạt động; T - Nhiệt độ tuyệt đối; K_b - Hằng số Boltzman.

Trên hình H.2 thể hiện mối quan hệ giữa tốc độ lan truyền nứt (v) và hệ số tập trung ứng suất (K). Với giả thiết nhiệt độ (T) là hằng số, phương trình (4) có thể viết lại dưới dạng đơn giản như sau [5]:

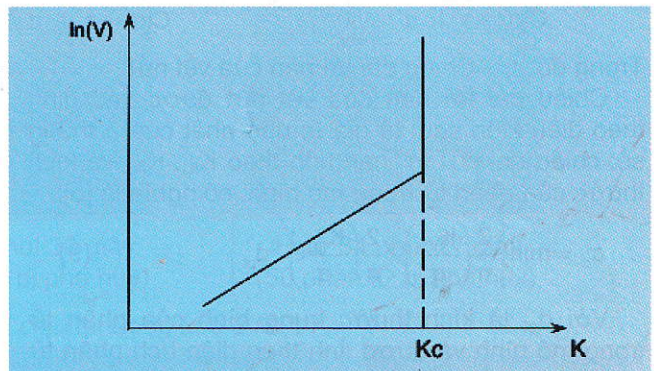
$$v = C.K^n \quad (5)$$

Trong đó: C - Hằng số vật liệu được xác định từ thí nghiệm.

Ngoài sự phát triển nứt do kéo, chúng ta cũng cần chú ý đến phát triển nứt do cắt. Giải thích tốc độ phát triển nứt là sự kết hợp của cả nứt do kéo và nứt do cắt, khi đó tốc độ phát triển nứt của mô hình kết hợp sẽ là:

$$v = v(K_I) + v(K_{II}) \quad (6)$$

Với các hệ số tập trung ứng suất K_I và K_{II} được tính toán theo công thức (1) và (2).



H.2. Quan hệ giữa tốc độ phát triển nứt và hệ số tập trung ứng suất

Từ (6) có thể nhận thấy rằng tốc độ phát triển nứt phụ thuộc rất lớn vào chiều dài vết nứt và độ lớn của trường ứng suất tác dụng. Sự phát triển nứt diễn ra cho đến khi hệ số tập trung ứng suất đạt đến giá trị giới hạn K_{IC} và K_{IIC} - Các hằng số.

3. Xây dựng mô hình dự báo thời gian phá hủy

Tuổi thọ của vật liệu rắn dưới tác dụng của tải trọng kéo đã được nhiều tác giả nghiên cứu [3], [8]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ phù hợp cho vật liệu rắn và đặc hoàn toàn. Để hiểu sâu hơn về tuổi thọ của vật liệu rắn cần chú ý đến các khuyết tật (lỗ rỗng, vi khe nứt...) trong vật liệu. Quá trình phá hủy vật liệu là một quá trình phá hủy dưới tác dụng của tải trọng và được gọi là sự phát triển tới hạn của vết nứt.

Nội dung của mô hình để mô phỏng sự phát triển của vi khe nứt để dự báo tuổi thọ của vật liệu chịu tác dụng của tải trọng dựa trên việc sử dụng ngôn ngữ FISH của chương trình FLAC 2D. Giả sử rằng mỗi phần tử của mô hình có chứa một vi khe nứt có chiều dài cho trước. Sự phân bố trạng thái ứng suất được tính toán theo tiêu chuẩn bền Mohr-

Coulomb. Hệ số tập trung ứng suất của mỗi phần tử được tính toán cho các vi khe nứt tương ứng theo công thức (1) và (2). Nếu hệ số tập trung ứng suất đạt đến giá trị tới hạn K_C hoặc chiều dài vết nứt đạt đến giá trị kích thước của phần tử thì phần tử sẽ bị coi là phá hủy và được gán sang trạng thái sau phá hủy với trị số độ bền bằng không. Quá trình phát triển vết nứt là một quá trình rất phức tạp, bởi vì nó liên quan đến sự phân bố lại trạng thái ứng suất trong phần tử và sự tương tác giữa các vết nứt. Từ đó, có thể xác định tuổi thọ của mỗi

phần tử bằng cách lấy tích phân trên toàn bộ chiều dài của vết nứt như sau [5]:

$$t_{pt} = \int_{c_o}^{c_c} \frac{dc}{v} \tag{7}$$

Trong đó: c_o - Chiều dài ban đầu của vi khe nứt; c_c - Chiều dài tới hạn của vi khe nứt; v - Tốc độ phát triển của vi khe nứt theo biểu thức Charles.

Sử dụng các phương trình (5) và (6) thay vào phương trình (7), chúng ta có thể viết lại được như sau:

$$t_{pt} = \int_{c_o}^{c_c} \frac{dc}{C.K_I^n + C.K_{II}^n} = \frac{1}{C} \int_{c_o}^{c_c} \left[\left(\sigma \left(\frac{1}{2} \pi c \right)^{1/2} \right)^n + \left(\tau \left(\frac{1}{2} \pi c \right)^{1/2} \right)^n \right]^{-1} dc$$

$$t_{pt} = \frac{1}{C(\sigma^n + \tau^n)} \left(\frac{2}{\pi} \right)^{n/2} \int_{c_o}^{c_c} c^{-n/2} dc; \quad t_{pt} = \frac{1}{C(\sigma^n + \tau^n)} \left(\frac{2}{\pi} \right)^{n/2} \left(\frac{c_c^{1-n/2} - c_o^{1-n/2}}{1-n/2} \right) \tag{8}$$

Trong đó: c_c - Chiều dài tới hạn của vết nứt.

Chiều dài tới hạn của vết nứt được xác định theo điều kiện sau: là giá trị nhỏ nhất của 3 thông số: chiều dài nứt tới hạn tính theo K_{IC} , K_{IIc} và kích thước của phần tử trong mô hình, có nghĩa là [5]:

$$c_c = \min \left\{ \frac{2}{\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma} \right)^2; \frac{2}{\pi} \left(\frac{K_{IIc}}{\sigma} \right)^2; d_{pt} \right\} \tag{9}$$

Với d_{pt} là kích thước trung bình của phần tử trong mô hình và được tính theo diện tích phần tử như sau [5]:

$$d_{pt} = \sqrt{\frac{4A_{pt}}{\pi}} \tag{10}$$

Mô hình mô phỏng được chia thành nhiều phần tử, mỗi phần tử tuân theo quy luật Mohr-Coulomb, do đó cần các tham số vật liệu sau: mô đun đàn hồi (E), hệ số Poát-xông (ν), lực dính (c), góc ma sát trong (ϕ) và độ bền kéo (σ_t). Ngoài ra mỗi phần tử có chứa một vi khe nứt. Các vi khe nứt được giả thiết là có hướng nằm ngang. Do đó, ứng suất cắt lớn nhất trong mỗi phần tử và các thành phần ứng suất chính cần được tính toán thận trọng trong quá trình lan truyền nứt.

Thời gian của bước tính toán được giữ đủ nhỏ để phù hợp với sự phân bố lại trạng thái ứng suất khi lan truyền vết nứt. Chiều dài vết nứt hiện tại a_{new} được tính toán theo thời gian như sau [5]:

$$a_{new} = a_{old} + v.\Delta t \tag{11}$$

Trong đó: a_{old} - Chiều dài vết nứt cũ; a_{new} - Chiều dài vết nứt mới; v - Tốc độ lan truyền nứt; Δt - Khoảng thời gian lan truyền nứt.

Các vi khe nứt phân bố trong các phần tử theo phân phối chuẩn. Do đó, các thành phần ứng suất trong phần tử được sử dụng để tính toán sự phát triển nứt tới hạn.

4. Kết quả mô phỏng

Sử dụng ngôn ngữ FISH để xây dựng mô hình mô phỏng bài toán và tính toán tuổi thọ của vật liệu.

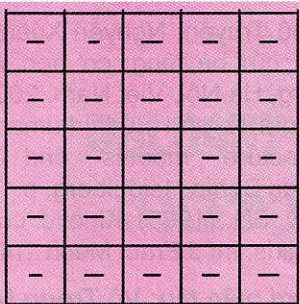
Ví dụ được tính toán cho vật liệu đá granit chịu nén và chịu kéo với các thông số của vật liệu như trên Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của vật liệu [1]

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Mô đun đàn hồi	GPa	75
Hệ số Poát-xông	-	0,22
Khối lượng riêng	T/m ³	2,7
Góc ma sát trong	Độ	30
Lực dính kết	MPa	45
Độ bền kéo	MPa	15
Hệ số suy giảm ứng suất	-	32,427
Hệ số tập trung ứng suất tới hạn K_{IC}	MPa.m ^{1/2}	1,8
Hệ số tập trung ứng suất tới hạn K_{IIc}	MPa.m ^{1/2}	1,8
Hằng số phát triển nứt C	(m/s)(Pa.m ^{1/2}) ⁻ⁿ	10 ^{-205.04}

Mô hình mô phỏng mẫu đá có kích thước 2x2 (m) chịu tải trọng kéo (8 MPa) và nén (15 MPa). Mô hình được chia thành 50x50 phần tử, mỗi phần tử có kích thước là 4x4 cm.

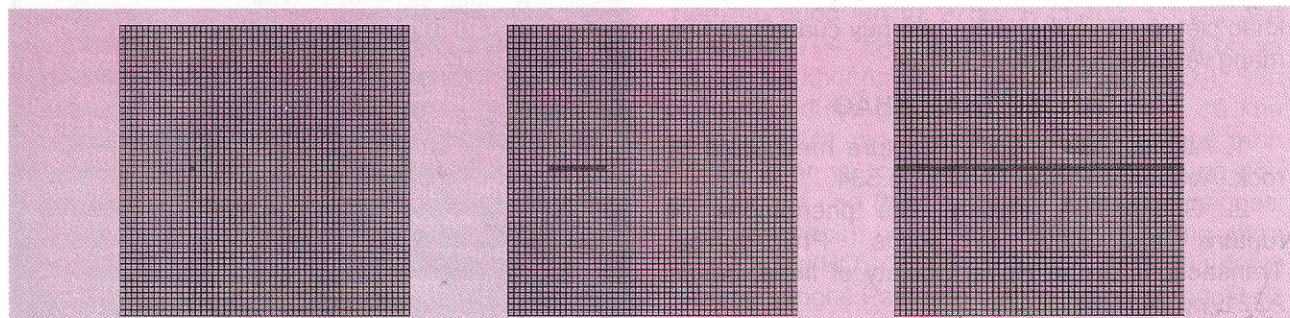
Hệ thống vi khe nứt ban đầu phân bố trong vật liệu có chiều dài trung bình là 1,0 cm với độ lệch chuẩn là 0,2 cm và tạo với phương nằm ngang một góc 0⁰ (hình H.3). Tiến hành nghiên cứu sự phát triển nứt do chịu tải trọng kéo và nén đơn trục.



H.3. Phân bố chuẩn các vết nứt ban đầu trong phần tử mô hình (chiều dài trung bình của vết nứt là 1,0 cm với độ lệch chuẩn là 0,2 cm)

Kết quả trạng thái phát triển nứt theo thời gian trong các mô hình chịu kéo và nén đơn trục như trên hình H.4 và H.5. Từ kết quả này có thể nhận thấy rằng dưới tác dụng của tải trọng kéo chỉ có một dải nứt phát triển theo phương ngang (hình H.4). Trong khi đó dưới tác dụng của tải trọng nén, sự phát triển nứt xảy ra ở nhiều vị trí khác nhau trong mô hình.

Điều này có nghĩa là sự phát triển nứt từ các vị trí khe nứt đầu tiên xảy ra ở nhiều vị trí khác nhau, nhưng sau đó chúng hợp lại thành một vài dải nứt nghiêng và tạo thành vết nứt lớn gây phá hủy vật liệu (hình H.5).

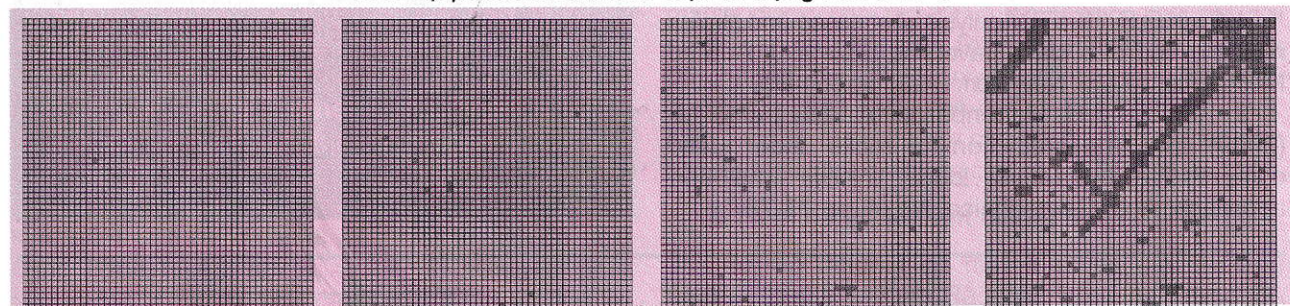


1 giờ 26 phút 0 giây
(1 phần tử bị phá hủy)

1 giờ 28 phút 30 giây
(10 phần tử bị phá hủy)

1 giờ 34 phút 27 giây
(50 phần tử bị phá hủy)

H.4. Sự phát triển nứt khi chịu tải trọng kéo 8 MPa



22 giờ 35 phút
(1 phần tử bị phá hủy)

2 ngày 16 giờ 55 phút
(10 phần tử bị phá hủy)

8 ngày 0 giờ 30 phút
(50 phần tử bị phá hủy)

17 ngày 8 giờ 40 phút
(319 phần tử bị phá hủy)

H.5. Sự phát triển nứt khi chịu tải trọng nén 15 MPa

Mô hình bị coi là phá hủy khi vết nứt phát triển và cắt ngang qua mô hình như trên hình H.4. Kết quả cho thấy dưới tác dụng của tải trọng kéo không đổi là 8 MPa thì mô hình bị phá hủy sau khoảng thời gian là 1 giờ 34 phút 27 giây. Khi tải trọng kéo tác dụng là 7 MPa thì mô hình bị phá hủy sau khoảng thời gian là 4 ngày 12 giờ 56 phút 51 giây. Điều này cho thấy sự tương quan phi tuyến giữa tuổi thọ của vật liệu và cấp độ tải trọng cũng như kiểu tải trọng tác dụng. So sánh kết quả phát triển nứt của mẫu chịu tải trọng kéo và nén cho thấy tuổi thọ của mẫu khi chịu nén 15 MPa lớn hơn rất nhiều so với tuổi thọ của mẫu khi chịu kéo 8

MPa. Điều này là hoàn toàn phù hợp vì với các vật liệu giòn như đá và bê tông thì độ bền kéo nhỏ hơn rất nhiều so với độ bền nén của vật liệu.

Từ hình H.4 và H.5 có thể nhận thấy khoảng thời gian xuất hiện phần tử bị phá hủy đầu tiên cũng như khoảng thời gian từ khi phần tử đầu tiên bị phá hủy đến khi mẫu coi như phá hủy cũng khác nhau khi chịu tải trọng kéo và nén.

Trường hợp chịu tải trọng kéo thì khoảng thời gian từ khi phần tử đầu tiên bị phá hủy đến khi mẫu bị phá hủy là 8 phút 27 giây, còn khi chịu tải trọng nén thì khoảng thời gian này là 16 ngày 10 giờ 05 phút.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày thuật toán mô phỏng tính toán thời gian phá hủy vật liệu đá, bê tông chịu tải trọng kéo và nén. Cơ sở của phương pháp tính toán là chiều dài nứt tới hạn và sự hợp nhất của các vi khe nứt thành vết nứt lớn dựa trên cơ sở cơ học phá hủy đàn hồi tuyến tính (LEFM - Linear Elastic Fracture Mechanics). Có thể dễ dàng nhận thấy sự khác biệt của phá hủy do kéo và do cắt. Dưới tác dụng của tải trọng nén, các quá trình phát triển nứt tiếp diễn đến khi quan sát được phá hủy. Ngược lại, dưới tác dụng của tải trọng kéo, thì chỉ xuất hiện các vết nứt đơn. Khi so sánh giữa tải trọng nén và kéo cho thấy sự khác biệt rõ rệt về thời điểm phá hủy của kết cấu và mạng vết nứt khi phá hủy. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Atkinson BK (1987). Fracture mechanics of rock. Academic Press, London, p.534.
2. Griffith A.A. (1920). The phenomena of rupture and flow in solids. Philosophical Transactions of the Royal Society of India, series A221, pp.241-257.
3. Hillerborg A, Modeer M, Petersson P.E. (1976). Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. Cement and Concrete Res. 6: pp.773-782.
4. Irwin G.R. (1957). Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate. J. Applied Mechanics, ASME, New York 24(3): pp.351-369
5. Konietzky H. Heftenberger A. and Feige M. (2009). Life-time prediction for rocks under static compressive and tensile loads: a new simulation approach. Acta Geotechnica, No. 4, pp.73-78.

6. Trần Thế Truyền, Nguyễn Xuân Huy, (2011). Phá hủy, rạn nứt bê tông: cơ học và ứng dụng, NXB Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam, 200 trang, 2011.
7. Shailendra K. and Sudhirkumar V.B. (2011). Concrete fracture models and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.1-286.
8. Zhurkov SN (1965) Kinetic concept of the strength of solids. Int J Fract Mech 1(4):311.

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

For many years, mines put forward an increase in the rock and concrete always contain the microstructural like micro-crack, voids etc. These parameters are effected to lifetime of materials. This article presents a computation algorithm to predict the lifetime of brittle materials like rock and concrete which depends on the distribution of micro-crack in the materials. The proposed model is based on subcritical crack growth using the linear elastic fracture mechanical approach. The algorithm considers both tensile and shear fracturing. The proposed model was applied to rock samples under uniaxial compressive and tensile loads for prediction of lifetime. The results showed that a significant difference of failure zones under uniaxial compressive and tensile loads.

MỘT SỐ VẤN ĐỀ...

(Tiếp theo trang 54)

Người biên tập: Trần Văn Trạch

SUMMARY

Mậu Duệ-Hà Giang Antimony Mine is preparing deep exploitation. However, using current mining technology for deep-down period is inappropriate. In this paper, the authors assess the current state of the mine, which offer a number of issues to consider about mining technology in the next stage deep down in the mine.

LỜI KHUYÊN

1. Chọn con đường đối lập với lối mòn và bạn gần như sẽ luôn làm tốt. *Jean Jacques Rousseau.*
2. Hạnh phúc không phải là thứ có sẵn. Hạnh phúc đến từ hành động của chính ta. *Đức Đạt Lai Lạt ma.*
3. Bản thân đừng quá lo lắng hay nghiêm trọng hóa vấn đề, chẳng ai quan tâm như bạn lo sợ đâu. *Regina Brett.*
4. Khả năng thấy bối rối trước sự vật sự việc là tiền đề cho mọi sáng tạo, dù là nghệ thuật hay khoa học. *William Carlos Williams.*

VTH sưu tầm