

SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ ĐỂ DỰ BÁO CÁC TAI BIẾN ĐỊA CHẤT TRONG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH NGẦM VÀ MỎ

GS.TS. NGUYỄN QUANG PHÍCH, NCS. NGUYỄN VĂN MẠNH,
ThS. LÊ TUẤN ANH, ThS. BÙI VĂN ĐỨC - Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Khai thác mỏ, khai đào và xây dựng các công trình ngầm trong lòng vỏ quả đất trước tiên gây ra sự biến đổi trạng thái vật chất và cấu trúc địa chất trong khối đất đá. Sự biến đổi về vật chất này dẫn đến biến đổi về trạng thái cơ học, vật lý nói chung trong khối đất đá. Các quá trình biến đổi này xảy ra phức tạp và phụ thuộc và nhiều yếu tố tác động khác nhau [1].

Tùy thuộc vào mức độ ảnh hưởng của các yếu tố tác động có thể dẫn đến các biến cố khác nhau như:

- ❖ Lún, sụt, trượt lở đến mặt đất;
- ❖ Trượt lở, sập lở vỡ nổ đá xung quanh khu vực khai thác, xây dựng công trình ngầm;
- ❖ Bực nước, khí, nổ khí;
- ❖ Gây ra các rung chấn trong lòng đất do các quá trình phá hủy khối đất đá, được điều khiển hoặc ngẫu nhiên.

Các hiện tượng, các biến cố này xuất hiện, trước tiên là do sự tiềm ẩn các điều kiện địa chất phức tạp trong lòng vỏ trái đất, tiếp đó là các hoạt động kỹ thuật của con người. Mặc dù rất nhiều biến cố xảy ra có thể là hậu quả của những hoạt động chưa hợp lý về mặt kỹ thuật, song thực tế cho thấy, nguyên nhân chính của các biến cố này điều kiện địa chất trong khối đất đá, mà dù có đầu tư vào công tác thăm dò nhiều hơn, con người vẫn khó có thể đánh giá chính xác được các biến đổi địa chất trong không gian. Chính vì vậy có thể coi các biến cố này là các tai biến địa chất, với yếu tố nhân sinh là hoạt động khai thác khoáng sản cũng như xây dựng các công trình ngầm trong lòng đất [2], [3].

Ở nước ta, các dạng tai biến địa chất này đã gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng về kinh tế và mạng sống của con người. Dự báo và hạn chế các loại tai biến địa chất luôn là mối quan tâm, bức xúc trong công tác quản lý và nghiên cứu khoa học.

Ngày nay, bên cạnh các phương pháp nghiên cứu truyền thống được phát triển trong lĩnh vực

Trắc địa mỏ và Địa cơ học, có thể xếp vào 4 nhóm điển hình là:

- ❖ Phương pháp tích phân hình học, với mô hình kinh nghiệm của Loos (1960) [4],
- ❖ Phương pháp mô hình địa cơ học, với mô hình khối đá đàn hồi, không đồng nhất của Kratsch (1997) [5],
- ❖ Phương pháp xác suất-thông kê, với mô hình của Litwiniszyn (1956) [6] và đề xuất riêng của Knothe (1953) [7],
- ❖ Phương pháp mô hình vật liệu tương đương như Jacobi (1981) [8],

Nhằm dự báo các hiện tượng dịch động và lún sụt đến mặt đất, trong lĩnh vực Địa cơ học đã và đang phát triển, áp dụng các phương pháp số để dự báo và phân tích tổng thể các tai biến địa chất nói chung và đặc biệt là các tai biến liên quan với khai thác mỏ và xây dựng công trình ngầm.

Trong bài này giới thiệu sơ lược một số kết quả nghiên cứu đã thu được trên thế giới trong thời gian qua.

1. Về các phương pháp số, sử dụng trong lĩnh vực Địa cơ học

Các phương pháp số quan trọng nhất hiện nay, sử dụng trong Địa cơ học, Địa kỹ thuật là các phương pháp vi phân, phương pháp tích phân và phương pháp phần tử rời rạc [9].

Phương pháp vi phân bao gồm: phương pháp phần tử hữu hạn FEM (Finit Element Method), phương pháp sai phân hữu hạn FDM (Finite Difference Method). Ở đây môi trường được nghiên cứu được chia cắt theo một mạng các phần tử có kích thước hữu hạn, tiếp xúc với nhau bởi các nút. Bằng phương pháp này việc giải một hệ các phương trình vi phân được đưa về dạng giải một hệ các phương trình đại số, liên kết các lực tại các nút với các chuyển vị nút qua "ma trận độ cứng". Các hàm số "hình dạng" và nội suy được áp

dụng để diễn tả các biểu hiện ứng suất, biến dạng của từng phần tử.

Phương pháp tích phân hiện nay được phát triển với tên gọi là phương pháp phần tử biên BEM (Boundary Element Method). Với phương pháp này miền nghiên cứu chỉ phải chia theo mạng phần tử tại biên, nhằm thực hiện được các điều kiện trên biên. Điều kiện áp dụng của phương pháp BEM là phải tồn tại lời giải chính xác cho bài toán nêu ra cho một trường hợp tải trọng cơ bản nhất định, trong đó các điều kiện cân bằng và liên tục của biến dạng phải được thỏa mãn.

Phương pháp phần tử rời rạc hay những thủ thuật cho môi trường không liên tục bao gồm: phương pháp phần tử riêng rẽ (rời rạc) DEM (Distinct Element Method), phương pháp phân tích biến dạng không liên tục DDA (Discontinuous Deformation Analysis), phương pháp dòng hạt PFC (Particle Flow Code). Các phương pháp này có điểm khác với cơ học môi trường liên tục là phân chia đối tượng nghiên cứu thành các khối, các hạt riêng rẽ, có liên kết nhất định và tác động tương hỗ lẫn nhau. Nhiều thuật toán đã được phát triển, nhưng nói chung đều phải thỏa mãn các điều kiện là: phải kiểm soát được các điểm tiếp xúc hoàn toàn tự động và miêu tả đầy đủ mọi điều kiện động học (chuyển động quay, dịch chuyển, các quá trình biến mất hay thiết lập mới các điểm tiếp xúc). Các khối riêng rẽ lại được phân chia theo mạng lưới các phần tử nhằm chú ý đến tính biến dạng của các khối đó. Như vậy các quá trình xảy ra trong các khối lại được nghiên cứu bằng phương pháp FEM hay FDM.

Nhìn chung các phương pháp số đều có những ưu điểm nhất định. Các phương pháp vi phân có ưu điểm là có thể chú ý được các đặc điểm phi tuyến, tính không đồng nhất, không liên tục về biểu hiện của môi trường. Phương pháp tích phân BEM có ưu điểm hơn các phương pháp vi phân ở chỗ giảm được việc phân chia phần tử (chỉ ở trên biên), cụ thể là với bài toán phẳng chỉ cần sử dụng phần tử dạng thanh (một chiều) và với bài toán không gian chỉ cần phần tử phẳng (hai chiều). Thời gian tính của phương pháp BEM thường ngắn hơn so với FEM đối với các bài toán đơn giản. Ngoài ra hiện nay trong cơ học đá BEM là phương pháp cho kết quả phù hợp nhất đối với các bài toán bán không gian và không gian. Nhược điểm của BEM so với các phương pháp vi phân là không hoặc hạn chế chú ý các tính không tuyến tính, không đồng nhất, không đẳng hướng của môi trường.

Các phương pháp phần tử rời rạc có ưu điểm chính trong việc giải các bài toán cho môi trường không liên tục hay môi trường rời, như khối đá nứt

nẻ, môi trường cát, sỏi, cuội. Ngoài ra bằng phương pháp này cho phép minh họa được các điều kiện phá hủy sát với thực tế hơn.

Ngoài những đặc điểm riêng của từng phương pháp, nói chung các phương pháp này đều có chung mục tiêu và cơ sở lý thuyết.

Theo nguyên lý cực tiểu Hamilton's thì tích phân của chuyển động thực của một vật thể từ trạng thái 1 tại thời điểm t_1 sang trạng thái 2 tại thời điểm t_2 trong mọi điều kiện khả dĩ là cực tiểu:

$$J = \int_{t=t_1}^{t=t_2} L(t, q_k, \dot{q}_k) dt \Rightarrow \min \quad (1)$$

Tại đây: $L = (E_d - E_t)$ - Hàm Lagrange; E_d - Động năng; E_t - Thế năng; q_k - Tọa độ tổng quát của chất điểm.

Lời giải của tích phân xác định này có thể biểu diễn ở dạng phương trình vi phân Euler và dẫn đến phương trình chuyển động Lagrange loại II:

$$\frac{\partial L}{\partial q_k} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} = 0 \quad (2)$$

Tại đây: $k = 1, 2, 3, \dots, n$ cho n chất điểm.

Biểu diễn hàm Lagrange qua các nội và ngoại lực sẽ nhận được phương trình vi phân của chuyển động từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 như trong cơ học kết cấu:

$$\Delta F_n(u, \dot{u}, \ddot{u}) - \Delta F_{ng} = 0 \quad (3)$$

Các nội lực trong kết cấu có thể tách ra các thành phần lực quán tính, lực cản và lực biến dạng, cụ thể:

$$\frac{\partial F_n}{\partial \ddot{u}} \ddot{u} - \text{Lực quán tính}; \quad \frac{\partial F_n}{\partial \dot{u}} \dot{u} - \text{Lực cản}; \quad \frac{\partial F_n}{\partial u} u - \text{Lực biến dạng}.$$

Tại đây: $\ddot{u}$ - Véc tơ gia tốc, $\dot{u}$ - Véc tơ tốc độ; u - Véc tơ dịch chuyển; F_n và F_{ng} - Nội và ngoại lực.

Lời giải chính xác phương trình vi phân này chỉ nhận được trong trường hợp đặc biệt, vì vậy để giải các bài toán thực tế phải sử dụng các phương pháp tính gần đúng. Các phương pháp số tính gần đúng thường phân biệt qua dạng tích phân theo thời gian ra phương pháp trực tiếp và phương pháp gián tiếp.

Trong phương pháp tích phân trực tiếp ma trận khối lượng được tách ra và phương trình cân bằng được viết dưới dạng:

$$M\ddot{u} + F_n(u, \dot{u}) - F_{ng} = 0. \quad (4)$$

Với: $M = \partial F_n / \partial \ddot{u}$ - Ma trận khối lượng.

Đối với chất điểm phương trình được đưa về dạng phương trình chuyển động II của Newton:

$$\ddot{u} = \frac{[F_{ng} - F_n(u, \dot{u})]}{m_k} = \frac{\Sigma F}{m_k} \quad (5)$$

Vì chỉ sử dụng các véc tơ, nên phương pháp này cũng còn được gọi là phương pháp véc tơ. Cơ sở vật lý cho phép tách kết cấu ra là dựa vào "khoảng thời gian giới hạn" của tích phân theo thời gian. Cụ thể là thời gian để lan truyền một thông tin số giữa các điểm tính toán đã được rời rạc hoá phải nhỏ hơn tốc độ lan truyền đại lượng vật lý lớn nhất. Để tích phân các phương trình vi phân tại điểm tính toán có thể sử dụng phương pháp sai phân trung tâm.

Phương pháp tích phân gián tiếp theo thời gian giải hệ phương trình đại số với ma trận gia số các véc tơ của nội lực. Phương trình cân bằng (4) có thể đưa về dạng:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F_{ng} \quad (6)$$

Tại đây: $C = \partial F_n / \partial \dot{u}$ - Ma trận cản; $K = \partial F_n / \partial u$ - Ma trận độ cứng.

Khi xây dựng ma trận gia số có thể sử dụng các giả thiết của cơ học môi trường liên tục, lý tưởng hoá các kích thước hình học của các phần tử hữu hạn đảm bảo khả năng thực hiện các phép tính vi phân và tích phân. Trong trường hợp này phải xây dựng và lưu giữ các ma trận cấu trúc trong bộ nhớ do vậy phương pháp này cũng còn được gọi là phương pháp ma trận.

Vấn đề toán học trọng tâm là tính ổn định và độ chính xác của phương pháp giải. Tính ổn định đòi hỏi các sai số hay lỗi nhỏ trong quá trình rời rạc cấu trúc phải thực sự nhỏ. Thực tế cho thấy tính ổn định chỉ tồn tại cho trường hợp tuyến tính. Trong các tính toán phi tuyến, tính ổn định trong các phương pháp trực tiếp và gián tiếp thường không còn được đảm bảo. Vì vậy, việc tính toán được xuất phát từ giả định là có thể vận dụng đánh giá về tính ổn định trong tính toán tuyến tính cho các trường hợp phi tuyến. Độ chính xác được phản ánh qua sai lệch giữa kết quả tính số gần đúng và kết quả tích phân các phương trình vi phân. Trong tính toán phi tuyến cần thiết phải định nghĩa rõ ràng bước tính cùng thuật toán với độ chính xác cho phép.

Trong phương pháp trực tiếp tính ổn định số được đảm bảo thông qua việc chọn hay ấn định các bước thời gian giới hạn. Với các khoảng bước tính đủ nhỏ có thể thực hiện theo các vết của lời giải. Các sai số do tuyến tính hoá sẽ không được chỉnh lại bằng tính lặp mà sẽ được chú ý đến trong bước tính sau đó. Khi sai số do tuyến tính hoá đủ nhỏ thì độ chính xác của tích phân trực tiếp cũng được đảm bảo.

Phương pháp gián tiếp là hoàn toàn ổn định đối với các bài toán tuyến tính, nghĩa là có thể tính toán với các bước thời gian tính lớn tùy ý. Sai số

do tuyến tính hoá sẽ được điều chỉnh trong toàn hệ thống nhờ quá trình tính lặp. Độ hội tụ, tức là khả năng tiếp cận lời giải của phương trình vi phân, được được đảm bảo nhờ quá trình tính lặp hệ phương trình nhờ các ma trận hiệu chỉnh hoặc bằng cách thay đổi véc tơ tải trọng.

Khi giải các bài toán biên ban đầu (các bài toán với các điều kiện biên ban đầu cho trước), phụ thuộc vào thời gian của phương trình chuyển động (phương trình (6)) có thể biến đổi phương pháp giải gián tiếp về dạng phương pháp giải trực tiếp. Trong phương pháp giải gián tiếp như các phương pháp Houbolt, Wilson hoặc Newmark, các phương trình chuyển động trước tiên được phân tích cho một trạng thái chưa biết:

$$M^{t+\Delta t}\ddot{u} + C^{t+\Delta t}\dot{u} + K^{t+\Delta t}u = F_{ng}^{t+\Delta t} \quad (7)$$

Nếu bước thời gian tính toán vượt quá khoảng thời gian giới hạn (khoảng thời gian giới hạn phải nhỏ hơn $2/\omega_{\max}$, với $\omega_{\max}$ là tần số xoay riêng của kết cấu), mọi ma trận hệ thống sẽ được tách ra và đưa về dạng đường chéo. Vì việc tuyến tính hoá để tính nội lực ($F_n \leftrightarrow M, C, K$) tại thời điểm phải tìm ($t+\Delta t$) theo phương án tính trực tiếp không thể hiệu chỉnh qua tính lặp, do vậy biểu thức ma trận (7) được viết cho phương pháp tính trực tiếp có dạng:

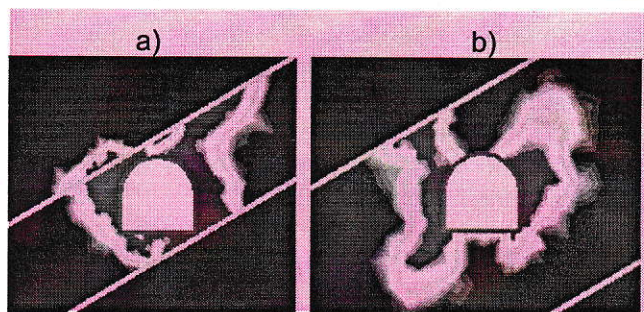
$$M^t\ddot{u} + C^t\dot{u} + K^tu = F_{ng}^t \quad (8)$$

Như vậy các phương pháp số giải gần đúng các phương trình vi phân được quy về hai phương pháp trực tiếp và gián tiếp liên quan với việc tích phân trực tiếp hay gián tiếp theo thời gian.

2. Một số kết quả phân tích

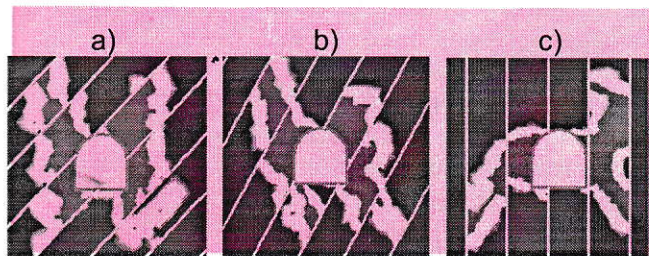
Để khảo sát một số trường hợp, ở đây sử dụng chương trình Phase2, là chương trình tính xây dựng theo phương pháp phần tử hữu hạn, của Hãng Rocscience [10]. Các bài toán biên 2 chiều giới thiệu ở đây, được thiết lập cho các trường hợp: đường lò đào trong than, đường hầm đào trong đá có một hệ khe nứt, đường hầm đào gần đới phá hủy, đường hầm đào gần hang hốc chứa nước (túi nước) và lò chợ khai thác than.

Trên H.1 cho thấy các vùng phá hủy tại các lò đào trong than, cho hai trường hợp vỉa than mỏng và vỉa than dày. Với cùng các điều kiện biên và các tính chất cơ học của than và đá như nhau. Kết quả cho thấy: khi vỉa than mỏng, dưới tác động của ứng suất tập trung trong phạm vi nhỏ, nên vùng phá hủy gần như khép kín quanh đường lò, trong khi đó ở trường hợp vỉa than chiều dày lớn, vùng phá hủy phát triển chủ yếu ở hai bên sườn, do các ứng suất truyền từ các lớp đá vào được lan xa vào trong khối than.



H.1. Vùng phá hủy quanh đường lò đào trong than khi vỉa than mỏng (a) và vỉa than dày (b)

Trong trường hợp khối đá đồng nhất, phân lớp đều, trên hình H.3 cho thấy các dạng vùng phá hủy hình thành khi các góc nghiêng của hệ khe nứt là 45 độ (a), 60 độ (b) và 90 độ (c). Các kết quả nhận được cho thấy sự phụ thuộc đặc biệt vào tính bất đẳng hướng của khối đá. Ở đây mới là các ví dụ tính với các sơ đồ cụ thể về vị trí của hệ khe nứt. Để có được đánh giá đầy đủ và lô gích, sẽ tiến hành “phân tích tham số”, cụ thể là cùng các góc nghiêng, song với các vị trí thay đổi tương đối giữa khe nứt và đường hầm. Tuy nhiên, với các ví dụ này cho thấy tính đa dạng và phức tạp của các vùng phá hủy về cả quy mô và hướng phát triển.



H.3. Các vùng phá hủy quanh đường hầm trong khối đá có một hệ khe nứt

Trong thực tế đã có nhiều trường hợp đường hầm đào gần phay, đối phá hủy, bị phá hủy sau khi đào và chống tạm, điển hình là tại đường hầm dẫn nước thủy điện Ba Hạ. Chỉ dựa vào các khảo sát trên biên, hoặc vùng gần ở xung quanh, có thể đánh giá chất lượng khối đá theo tiêu chuẩn nào đó và xếp vào một nhóm xác định, khi không chú ý đến đối phá hủy hoặc phay ở lân cận. Tuy nhiên do sự có mặt của đối phá hủy, nên vùng tập trung ứng suất sẽ co lại gần biên hầm và làm cho vùng phá hủy là rộng về phía đối phá hủy. Trong đối phá hủy hay phay cũng hình thành vùng phá hủy, mặc dù các thành phần ứng suất tập trung không lớn. Từ đó tạo ra vùng phá hủy liên thông với phay.

Trường hợp phổ biến hơn trong thực tế là đường hầm đào tiến gần đến phay và cắt qua phay. Trong các trường hợp này đã xảy ra khá nhiều tai biến (sự cố) cả trong khai thác mỏ và xây

dựng công trình ngầm. Nghiên cứu các quy luật xảy ra ở đây đòi hỏi các chương trình 3D, do vậy trong bài này không đề cập đến.

Gần tương tự như trường hợp đường lò, đường hầm nằm gần phay là các trường hợp các công trình ngầm nằm gần các túi khí, nước. Trường hợp này đã hay xảy ra khi đào các đường lò phục vụ khai thác than và cả trong quá trình khai thác than, quặng ở nước ta. Các hang hốc này có thể hình thành tự nhiên, song cũng có thể xuất hiện từ các quá trình khai thác trước đây, nhưng chưa được xử lý triệt để. Đây cũng là hiện tượng thường gặp trong các vùng có nhiều đá vôi, do sự có mặt của các hang karst. Kết quả khảo sát một ví dụ với vùng hang hốc rộng, cho thấy vùng phá hủy phát triển trong toàn bộ vùng khối đá bao quanh đường lò và vùng chứa túi nước. Như vậy sập lở và bực nước là không tránh khỏi. Tuy nhiên, khi sử dụng chương trình 3D sẽ có thể cho phép xác định được khoảng cách giới hạn chưa dẫn đến bực nước, cho phép xử lý trước khi đào tiếp tục.

Dịch động và lún trong khai thác than là vấn đề đang được chú ý nhiều, khi chúng ta chuẩn bị khai thác than vùng Đồng bằng Sông Hồng. Có khá nhiều công thức kinh nghiệm đã được xây dựng, nhằm dự báo mức độ lún sụt trên mặt đất. Nói chung lún sụt trên mặt đất là hàm số của nhiều yếu tố tác động khác nhau. Do vậy không phải bao giờ cũng có thể sử dụng các công thức kinh nghiệm thu được cho vùng nào đó để áp dụng ngay cho vùng khác, nhất là khi điều kiện địa chất có dấu hiệu khác nhau. Các phương pháp số khác nhau cho phép chú ý được các điều kiện địa chất nhất định, việc lựa chọn và sử dụng hợp lý phương pháp số sẽ cho phép có được nhận định, dự báo gần đúng hơn.

3. Nhận định và kiến nghị

Qua một số kết quả nghiên cứu, sử dụng phương pháp số để phân tích các tai biến địa chất trong xây dựng công trình ngầm và khai thác than cho thấy:

❖ Với mô hình xây dựng hợp lý hoàn toàn có thể chú ý được các đặc điểm địa chất của khối đá, trong tính toán dự báo các quá trình biến đổi địa cơ học trong khối đá, cho phép dự báo được các tai biến địa chất cũng như lựa chọn các giải pháp kỹ thuật hợp lý, khi tiến hành phân tích tham số.

❖ Các kết quả nhận được cho thấy, các dạng tai biến rất phức tạp và đa dạng, không thể mô phỏng, đánh giá được bằng các phương pháp giải tích, hoặc chỉ dựa vào các kết quả thực nghiệm.

❖ Phương pháp số cho phép tiến hành phân tích tham số (thay đổi các tham số đầu vào), do vậy cho phép nhận được các kết luận về tính quy luật của các yếu tố tác động nhất định, từ đó cho phép dự báo được các tai biến có thể xảy ra, trước khi thi công, xây dựng hoặc khai thác.

Tuy nhiên, việc áp dụng phương pháp số cũng có những hạn chế nhất định, cụ thể là:

❖ Muốn có kết quả phù hợp, đòi hỏi phải có các thông số đầu vào phù hợp. Vấn đề này hiện nay còn gặp hạn chế trong khâu thăm dò, khảo sát và thí nghiệm.

❖ Việc phân tích tham số đòi hỏi nhiều thời gian và nhiều thử nghiệm trong quá trình tính toán, một mặt để chú ý đến phạm vi biến động của các tham số, mặt khác cũng phải chú ý để có được sơ đồ, mô hình tính ổn định trong quá trình tính.

❖ Các chương trình số thương mại có giá thành cao, nhưng lại đòi hỏi phải tập trung nghiên cứu khai thác mới có thể phát huy hiệu quả tương xứng.

Phương pháp số, dù có nhiều ưu điểm và khả năng mô phỏng tốt, song chắc chắn cũng không thể chú ý được hết các biến động địa chất, do vậy đo đạc, quan trắc vẫn sẽ là công cụ hỗ trợ đắc lực trong quá trình thi công. Sử dụng các phương pháp khác nhau trong nghiên cứu và giải quyết các bài toán thực tế đòi hỏi sự hợp tác chặt chẽ đa ngành đồng thời đòi hỏi mỗi ngành chuyên môn đều phải phát triển, hoàn thiện các thủ thuật nghiên cứu riêng. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Quang Phích. Cơ học đá. Nhà xuất bản Xây dựng 2007.
2. Tai biến địa chất và các hiện tượng liên quan. <http://www.scribd.com/doc/>
3. Irmina Pöschl and Johannes Kleberger. Geotechnical Risk in Rock Mass Characterisation - A Concept. http://www.ic-group.org/uploads/media/riskrockmasschar_en.pdf
4. LOOS, W. (1960): Die Ausbildung der Senkungsmulde im Saarbergbau, Mitt. Markscheidewesen 67, 266/65.
5. KRATZSCH, H. (1997): Bergschadenkunde. Deutscher Markscheider-Verein e.V. Bochum.
6. LITWINISZYN, J. (1956): Gebirgsbewegungen über einem Abbau als stochastischer Prozess aufgefasst. Freiburger Forschungshefte, C 22, S. 45-64.

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

In mining and tunneling in our homeland and over the world there happened a lot of geohazards like subsidence, sinkholes, collapse in underground, water and gas ingress and also gas explosion, and rock bursts and tremors. Investigation for forecasting and evaluation of geohazards in order to prevent and reduce them it's an important issue. There are a lot of methods used to solve these problems and numerical method is very effective. The paper gives an overview about numerical methods and presents some investigation results by using Phase2.

XÁC ĐỊNH ĐỘ VỒNG...

(Tiếp theo trang 28)

lượng phân bố của cáp; q_{gh} là khối lượng phân bố của ghế; L là khoảng cách giữa hai con lăn đỡ cáp; m ; β là góc dốc của tuyến cáp ứng với đoạn khảo sát. Theo kết quả tính toán, độ vồng cáp lớn nhất tại vùng trạm đối trọng là $f_{max}=59$ mm; $f_{min}=19,5$ mm. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PODNOŚNIKI I KOLEJKI LINOWE. STACHURSKI PWN. 1972.
2. Подвесного Канатного Транспорта. Москва. 1966.
3. Steel Designers' Manual - 6th Edition. 2003.
4. Wire Rope Engineering Handbook. 1970.

Người biên tập: Đào Đức Tạo

SUMMARY

The paper presents a calculation method to determine the deflection curve of steel cable at the mining hoist machines in a state of load bearing.