



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu xây dựng mối quan hệ giữa mức độ ổn định bờ mỏ với thông số hình học bờ mỏ cho mỏ khai thác quặng titan sa khoáng khu vực Bình Thuận

Phạm Văn Việt ^{1,*}, Lê Quý Thảo ¹, Lê Thị Thu Hoa ¹

¹ Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 25/2/2017
 Chấp nhận 26/3/2017
 Đăng online 28/4/2017

Từ khóa:
 Titan sa khoáng
 Ổn định bờ mỏ
 Thông số bờ mỏ

TÓM TẮT

Trong quá trình khai thác quặng titan sa khoáng sẽ tạo ra các khoảng trống, kích thước những khoảng trống này phụ thuộc vào quy mô khai thác và chiều cao tầng cát chứa titan. Một trong vấn đề cần thiết trong khai thác titan sa khoáng là đảm bảo bờ mỏ ổn định. Mức độ ổn định bờ mỏ có quan hệ mật thiết với thông số hình học bờ mỏ như: chiều cao bờ, góc nghiêng bờ và hình dạng bờ. Như vậy, việc xác định được các thông số hình học bờ mỏ để đảm bảo bờ mỏ ổn định theo giá trị nhất định là một vấn đề cần thiết cho sự tồn tại của mỏ. Do đó, bài báo đề xuất xây dựng mối quan hệ giữa mức độ ổn định bờ mỏ với thông số hình học bờ mỏ cho mỏ khai thác quặng titan sa khoáng khu vực Bình Thuận.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Việt Nam có tiềm năng lớn về trữ lượng khoáng sản titan sa khoáng phân bố chủ yếu dọc bờ biển. Khoáng sản titan hầu hết nằm trong các tầng cát có độ sâu từ bề mặt tới 10m đến tới 100m. Công nghệ khai thác cho quặng titan sa khoáng hiện nay đang được sử dụng là khai thác bằng sức nước (bè hút kết hợp với các vít xoắn tuyến thô), tạo ra các moong khai thác trong quá trình khai thác theo một trình tự nhất định. Điều này có thể tạo ra sụt lở đột ngột của bờ mỏ, đặc biệt là trong tầng cát đỏ có độ dính kết lớn, gây thiệt hại về người và các thiết bị khai thác bố trí ở trong moong khai thác. Vấn đề cấp thiết đặt ra là phải

thiết lập mối quan hệ giữa các thông số moong khai thác như: chiều cao, góc nghiêng bờ moong đảm bảo độ ổn định cần thiết và định hướng trong quá trình khai thác luôn luôn phải đạt được một góc bờ mong nhất định đã đặt ra.

2. Đặc điểm quặng titan sa khoáng khu vực Bình Thuận

Titan sa khoáng khu vực Bình Thuận nằm trong khu vực địa hình dạng đồi núi ven biển, phân bố dọc theo ven biển tạo thành dải kéo dài. Đặc điểm địa hình là những cồn, gò cát có kích thước và hình thái khác nhau. Trên bề mặt địa hình chủ yếu trồng các cây chống xói mòn, chống cát bay. Mạng lưới sông suối ít phát triển, chủ yếu là các rãnh xói thoát nước trong mùa mưa.

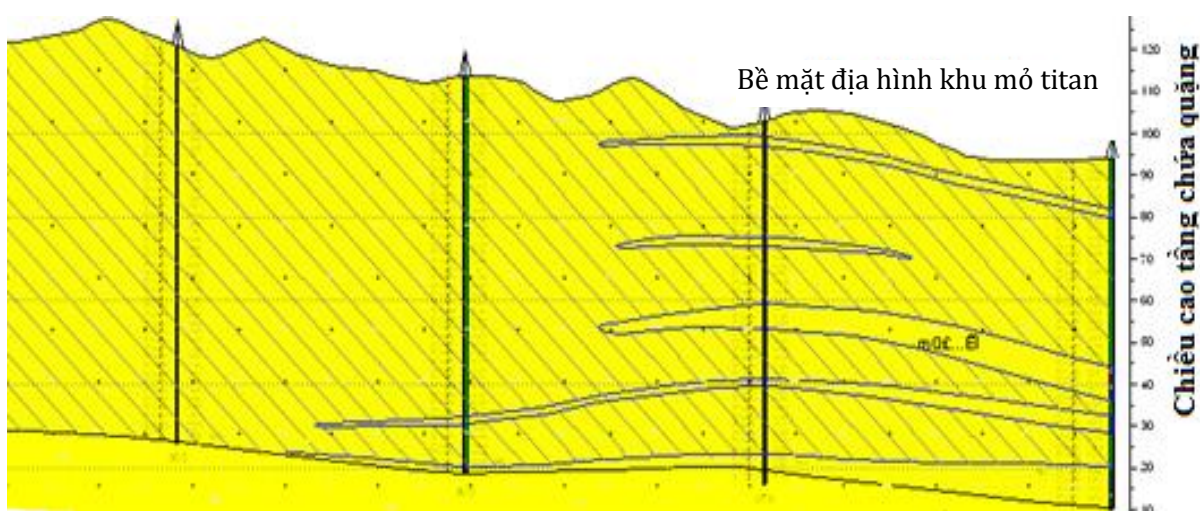
Theo đánh giá thăm dò cho thấy trong các

*Tác giả liên hệ
 E-mail: thaoquile2008@gmail.com

trầm tích tuổi Pleistocen hệ tầng Phan Thiết tồn tại 1 thân quặng sa khoáng titan - zircon phủ kín diện tích thăm dò. Ranh giới thân quặng công nghiệp không rõ ràng khi quan sát mẫu lõi khoan, mà chỉ khoanh định chính xác dựa vào kết quả phân tích mẫu. Các khoáng vật quặng sa khoáng màu đen, khá tròn cạnh, xâm tán khá đồng đều, bề mặt hạt quặng bị nhiễm bẩn. Thành phần khoáng vật quặng chủ yếu là: ilmenit, zircon, rutil, anatas, leucoxen và monazit. Thân quặng phân bố với chiều dày khác nhau, phụ thuộc vào từng vị trí, khoảng từ 40m tới 90m (Hình 1).

Theo khảo sát về điều kiện địa chất thủy văn khu vực, thành phần thạch học của lớp trên là cát

thạch anh hạt nhỏ màu xám, xám trắng đến nâu vàng. Lớp giữa là cát hạt nhỏ lẫn bột sét màu nâu đỏ, đỏ nhạt. Lớp dưới là cát hạt nhỏ lẫn bột, sét màu xám, xám vàng. Dựa vào điều kiện thành tạo, thành phần độ hạt, đặc tính chứa và lưu thông nước, chúng tôi xếp 3 lớp trên thành 1 tầng chứa nước, nước trong tầng này được lưu thông và tồn tại trong các lỗ hổng của cát dưới dạng nước không áp. Hệ số thấm lớn nhất 3,23m/ng-đ, nhỏ nhất 0,31m/ng-đ, trung bình 1,07m/ng-đ. Bề dày tầng chứa nước lớn nhất 32,1m, nhỏ nhất 19,32m, trung bình 25,5m. Bán kính ảnh hưởng lớn nhất 98,3m, nhỏ nhất 41,5m, trung bình 68,91m.



Hình 1. Mặt cắt địa chất đặc trưng tầng quặng titan khu vực Bình Thuận.



Hình 2. Hệ thống khai thác áp dụng cho các mỏ khu vực Bình Thuận.

4. Nghiên cứu xây dựng mối quan hệ giữa mức độ ổn định bờ mỏ với thông số hình học bờ mỏ cho mỏ khai thác titan sa khoáng khu vực Bình Thuận

4.1. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến độ ổn định bờ mỏ

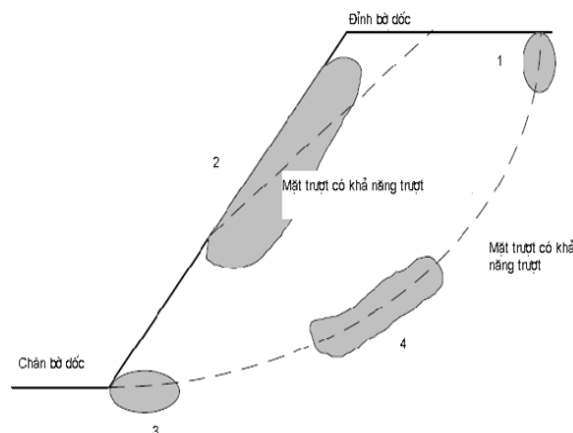
Khoáng sản titan sa khoáng khu vực Bình Thuận nằm trong tầng cát có độ bền yếu, chiều cao bờ mỏ lớn nên khi khai thác nguy cơ xảy ra trượt lở rất cao nếu không xác định được mối quan hệ góc nghiêng bờ mỏ với chiều cao bờ. Dưới đây, tác giả đưa ra một số các nhân tố mà có ảnh hưởng đến độ ổn định của bờ mỏ trong quá trình khai thác của nó. Những nhân tố này có thể làm tăng ứng suất gây trượt hoặc làm giảm độ bền cắt của đất đá trong bờ mỏ. Những nhân tố chính gồm: trạng thái ứng suất trong bờ mỏ, mực nước ngầm, thông số hình học bờ mỏ, phương pháp khai thác.

4.1.1. Trạng thái ứng suất trong bờ mỏ

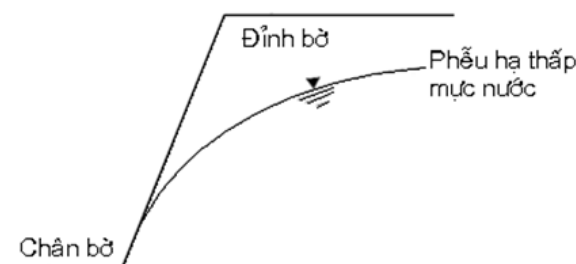
Khi khai thác mỏ sa khoáng titan sẽ tạo ra khoảng trống để lại bờ mỏ có chiều cao lớn. Trạng thái ứng suất nguyên sinh trong bờ mỏ sẽ bị thay đổi hình thành trạng thái ứng suất thứ sinh, với sự xuất hiện các vùng ứng suất tăng cao ở chân bờ dốc và vùng ứng suất giảm ở phần phía sườn bờ dốc (Hình 3). Những khu vực này có nguy cơ xảy ra trượt cao nhất trong bờ mỏ, gồm vùng ứng suất giảm xuất hiện dưới trạng thái ứng suất đơn nên độ bền đất đá thấp, nguy cơ rất dễ xảy ra trượt, còn khu vực ứng suất tăng cao ở chân bờ dốc, tồn tại ở trạng thái ứng suất khối, nhưng ứng suất tập trung quá cao nên rất dễ xảy ra trượt ở khu vực này trước.

4.1.2. Nước ngầm trong bờ mỏ

Nước ngầm được thể hiện bằng đường cao trình mực nước ngầm, ở trạng thái địa hình bằng phẳng đường cao trình có xu hướng nằm ngang. Nhưng khi mỏ titan khai thác hình thành bờ dốc thì đường cao trình có xu hướng là một đường dốc về phía khai trường khai thác (Hình 4). Khi dạng cao trình có hình dạng như vậy sẽ xuất hiện áp lực của nước ngầm tác dụng vào bờ mỏ. Khi đó, bờ mỏ sẽ tăng nguy cơ xảy ra trượt, áp lực của nước ngầm phụ thuộc rất lớn vào vào độ cao của cao trình mực nước ngầm và độ dốc đường cao trình mực nước ngầm (Jonny Sjöberg, 1996).



Hình 3. Phân bố ứng suất khi hình thành bờ mỏ. Vùng 1: ứng suất kéo; Vùng 2: ứng suất giảm; Vùng 3: ứng suất tăng cao; Vùng 4: ứng suất luôn duy trì mức cao (Jonny Sjöberg, 1996).



Hình 4. Hình dạng mực nước ngầm hình thành khi mỏ tiến hành khai thác.

4.1.3. Thông số hình học bờ mỏ

Các thông số quan trọng của hình học bờ mỏ gây ra mất ổn định bờ mỏ gồm chiều cao và góc nghiêng bờ mỏ. Nhìn chung, độ ổn định bờ mỏ giảm khi tăng chiều cao bờ mỏ. Điều này được lý giải khi chiều cao bờ dốc tăng, thì lực cắt bên trong chân bờ dốc tăng do tăng thêm trọng lượng khối trượt. Lực cắt còn liên quan tới góc nghiêng bờ mỏ. Khi góc nghiêng bờ mỏ tăng, lực cắt tăng so với áp lực (hay lực cắt lớn hơn lực ma sát). Điều này là nguyên nhân làm giảm độ ổn định của bờ moong.

4.1.4. Phương pháp khai thác

Mỏ khai thác titan sa khoáng khu vực Bình Thuận sử dụng công nghệ khai thác, tuyến bằng sức nước, cụ thể là bè hút và các cụm tuyến vít xoắn. Khoảng trống khai thác dịch chuyển dần theo hướng bè hút, còn cát thải sẽ được đổ thải lại phía sau. Trong hoạt động khai thác titan có hai

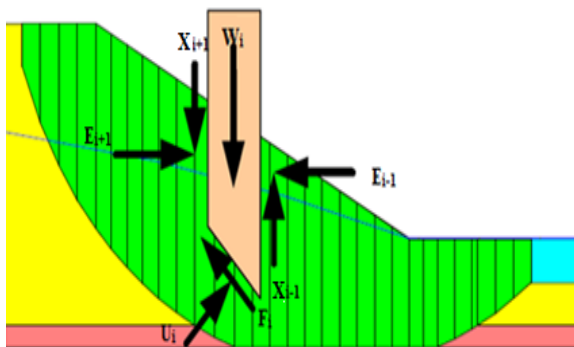
vấn đề tồn tại ảnh hưởng đến ổn định bờ moong là sử dụng nguồn nước ngầm phục vụ cho khai thác và không đảm bảo góc bờ mỏ theo thiết kế ban đầu khi khai thác. Việc khai thác titan có nhu cầu quá lớn về nước ngầm do công suất khai thác quá lớn sẽ tạo ra phễu hạ thấp mực nước ngầm có độ chênh cao lớn và dốc về phía bờ moong. Từ đó, tạo ra áp lực nước ngầm lớn tác động vào bờ mỏ như một lực gây trượt. Còn việc khai thác không đảm bảo duy trì góc nghiêng bờ mỏ theo thiết kế cũng sẽ làm tăng lực gây trượt và làm mất ổn định bờ moong dẫn tới tạo ra khối trượt vào khai trường.

4.2. Phương pháp đánh giá ổn định bờ mỏ

Các phương pháp dựa trên lý thuyết cân bằng giới hạn dùng cho đánh giá ổn định bờ dốc đã được sử dụng từ lâu. Phương pháp này áp dụng phổ biến cho đánh giá mặt trượt dạng cắt tròn. Đó là dạng trượt phổ biến trong đất có độ bền trung bình và yếu và rất phù hợp với tính chất cơ lý mỏ quặng titan sa khoáng ở khu vực Bình Thuận. Bản chất của phương pháp đánh giá này dựa trên việc giả định mặt trượt, sau đó tiến hành chia khối trượt thành các khối thẳng đứng (Hình 5).

Để đánh giá đưa ra mức độ ổn định nhất định cho bờ mỏ, sử dụng phương pháp lý thuyết cân bằng giới hạn tiến hành so sánh theo phương trình cân bằng mô men (1) hoặc phương trình cân bằng lực (2). Với phương trình cân bằng mô men nhằm mục đích so sánh giữa mô men giữ và mô men gây trượt, còn phương trình cân bằng lực nhằm mục đích so sánh giữa lực giữ và lực gây trượt tồn tại trong khối trượt.

Phương trình (1) tính toán độ ổn định theo phương trình cân bằng mô men (Krahn, 2004).



Hình 5. Thể hiện hình dạng mặt trượt và các lực tác dụng lên các khối (Krahn, 2004)

$$\eta = \frac{\sum (c' \beta R + (N - u\beta)tg\varphi)}{\sum Wx - \sum Nf \pm \sum Dd} \quad (1)$$

Phương trình (2) tính toán độ ổn định theo phương trình cân bằng lực ngang (Krahn, 2004).

$$\eta = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - u\beta)tg\varphi \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \alpha} \quad (2)$$

Trong đó:

c' - cường độ lực dính kết của đất đá.

φ - góc nội ma sát của đất đá.

u - áp lực nước ngầm của mỗi khối trượt.

N - lực pháp tuyến ở đáy mỗi khối trượt.

W - trọng lượng mỗi khối trượt.

D - lực từ bên ngoài, (\pm phụ thuộc vào hướng lực bên ngoài).

$\beta, R, x, f, d, \varpi$ - tương ứng chiều rộng khối, bán kính mặt trượt, cánh tay đòn của W, N và D .

α - góc nghiêng của đáy mỗi khối trượt.

Do có sự khác nhau về phương trình cân bằng (lực hoặc mô men) và sử dụng thành phần lực tương hỗ từ các khối bên cạnh (lực pháp E và lực tiếp X) lên khối đang xét. Từ đó, hình thành một số phương pháp đánh giá khác nhau thể hiện cụ thể trong Bảng 1.

Ngoài việc thỏa mãn cân bằng về lực và mô men so với phương pháp Bishop và Janbu (Hình 6) thì phương pháp đánh giá Morgentern-Price còn xét mối quan hệ lực tương hỗ theo phương trình (3) của (Krahn, 2004).

$$X = E \cdot \lambda \cdot f(x) \quad (3)$$

Trong đó:

$f(x)$ - là một hàm.

λ - tỉ lệ hàm được sử dụng.

E - lực tương hỗ pháp tuyến của mỗi khối.

X - lực tương hỗ tiếp tuyến của mỗi khối.

Hàm $f(x)$ trong phương pháp Morgentern-Price là một hàm half-sine, (Hình 7). Từ hình vẽ ta thấy, đường cong phía trên là một hàm lực thực tế, còn đường cong phía dưới là một hàm lực được sử dụng. Tỉ lệ giữa hai đường này là giá trị λ .

Như vậy, sử dụng phương pháp đánh giá Morgentern-Price cho kết quả về độ ổn định bờ mỏ chính xác hơn so với các phương pháp Bishop, Janbu và Spencer.

3.3. Xây dựng mối quan hệ giữa độ ổn định bờ mỏ với thông số bờ mỏ cho các mỏ khu vực Bình Thuận.

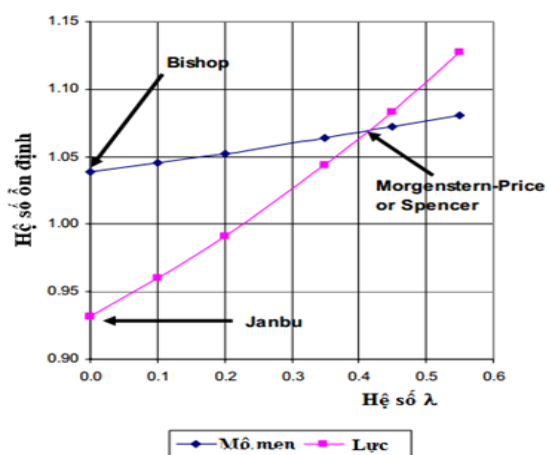
Độ ổn định của bờ moong khai thác phụ thuộc

Bảng 1. Các phương pháp đánh giá sử dụng cân bằng mô men và lực, (Krahn, 2004).

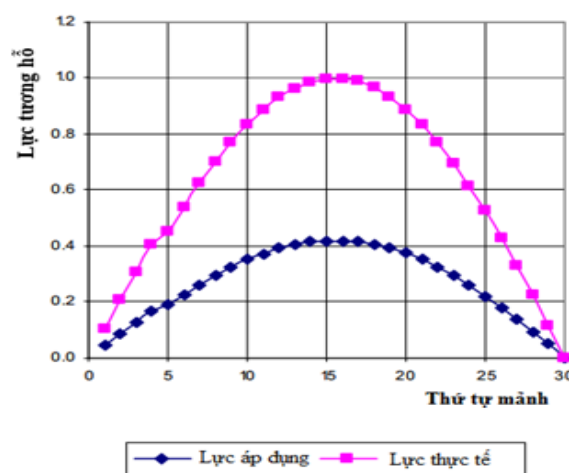
Phương pháp đánh giá	Cân bằng mômen	Cân bằng lực
Ordinary or Fellennius	Có	Không
Bishop's Simplified	Có	Không
Janbu's Simplified	Không	Có
Spencer	Có	Có
Morgenstern -Price	Có	Có
Corps of Engineers-1	Không	Có
Corps of Engineers-2	Không	Có
Lowe-Karafiath	Không	Có
Junbu Generalized	Có	Có
Sarma-vertical slices	Có	Có

Bảng 2. Đặc trưng các lực tương hỗ và mối quan hệ giữa chúng theo từng phương pháp (Krahn, 2004).

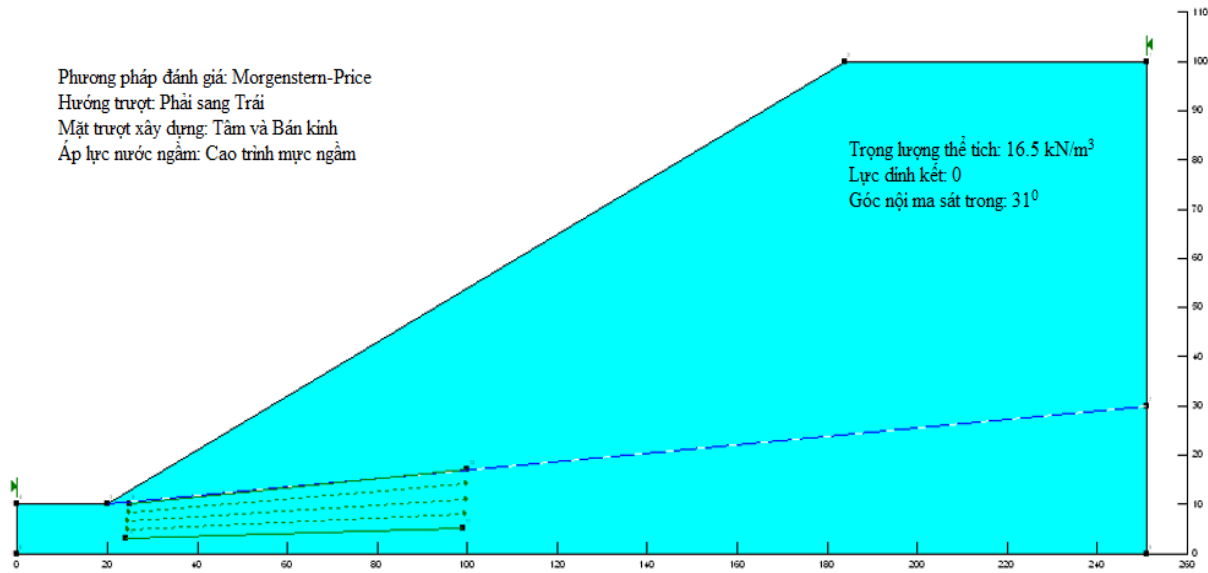
Phương pháp đánh giá	Lực tương hỗ pháp tuyến (E)	Lực tương hỗ cắt (X)	Sử dụng E/X và mối quan hệ giữa E và X
Ordinary or Fellennius	Không	Không	Không lực tương hỗ
Bishop's Simplified	Có	Không	Sử dụng lực E
Janbu's Simplified	Có	Không	Sử dụng lực E
Spencer	Có	Có	Sử dụng E và X, E/X là hằng số
Morgenstern -Price	Có	Có	Biến thiên theo hàm
Corps of Engineers-1	Có	Có	Độ nghiêng của một đường từ đỉnh
Corps of Engineers-2	Có	Có	Độ nghiêng của mặt đất ở đỉnh mỗi mảnh
Lowe-Karafiath	Có	Có	Trung bình của mặt đất và góc nghiêng đáy mỗi mảnh
Sarma-vertical slices	Có	Có	$X=C+Etg\varphi$



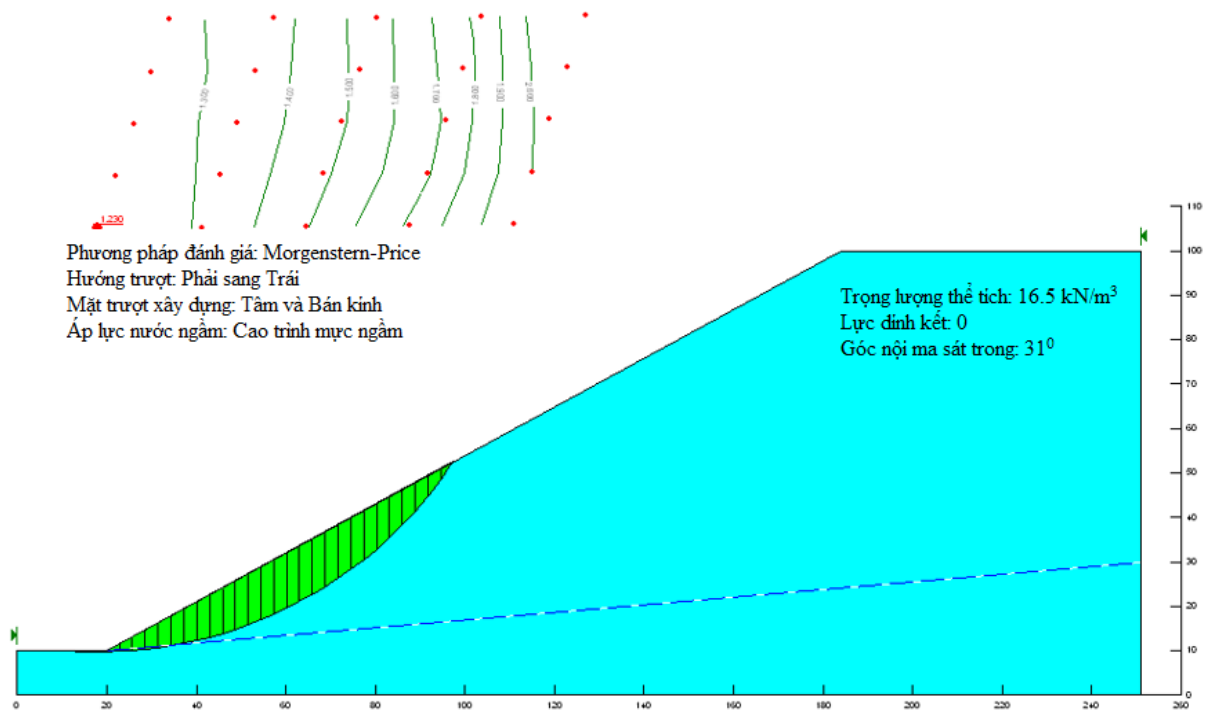
Hình 6. Cân bằng về lực và mô men giữa Morgenstern - Price và Bishop và Janbu (Krahn, 2004).



Hình 7. Hàm lực tương hỗ half -sine (Krahn, 2004).



Hình 8. Mô hình bờ moong được xây dựng trong phần Slope/W.



Hình 9. Đánh giá độ ổn định bờ mỏ và mặt trượt yếu tương ứng với góc bờ mỏ 29⁰.

vào yếu tố đầu vào như nước ngầm và hình dạng khối trượt và lựa chọn phương pháp đánh giá, xác định nhiều vị trí mặt trượt. Tác giả sử dụng phần mềm Slope/W của hãng Geoslope trợ giúp trong việc xác định độ ổn định bờ mỏ. Phần mềm này được viết dựa trên cơ sở lý thuyết về cân bằng giới hạn, phù hợp với các dạng trượt xảy ra không theo cấu trúc. Trong quá trình khai thác quặng titan khu vực Bình Thuận để lại các moong khai thác với

chiều cao lớn tới 90m. Như vậy, chiều cao này là chiều cao mà bờ dốc sẽ có nguy cơ mất ổn định cao nhất. Do đó, việc xây dựng mối quan hệ giữa độ ổn định bờ mỏ và thông số hình học bờ mỏ cũng chính là xây dựng mối quan hệ giữa độ ổn định cần thiết và góc nghiêng bờ mỏ theo chiều cao này. Các thông số đầu vào được đưa vào phần mềm như thông số hình học bờ mỏ gồm tính chất cơ lý đất đá (trọng lượng đất đá bờ moong, góc ma sát trong

trong lực dính kết) và đường cao trình mực nước ngầm được thể hiện cụ thể trong Hình 8.

Tác giả tiến hành đánh giá độ ổn định bờ mỏ với sự thay đổi một loạt các thông số về hình học bờ mỏ (cụ thể là góc bờ mỏ). Mỗi một sự thay đổi về góc bờ mỏ, tác giả xác định được hệ số ổn định bờ mỏ nhất định và hình dạng mặt trượt yếu nhất trong bờ như Hình 9.

Như vậy, thông qua xây dựng một số mô hình bờ moong trong phần mềm Slope/W từ sự thay đổi góc nghiêng bờ moong, sẽ xác định được các giá trị độ ổn định tương ứng được thể hiện cụ thể trong Bảng 3. Mối quan hệ giữa mức độ ổn định bờ mỏ và góc nghiêng bờ mỏ được xây dựng thể hiện cụ thể qua đồ thị Hình 10 từ các điểm rời rạc giữa hệ số ổn định và góc ổn định bờ mỏ, sử dụng phương pháp quy hồi xây dựng ra phương trình $\eta = 20.99\alpha^{-0.84}$ với $R^2=0.998$ (trong đó η - hệ số ổn định bờ mỏ, α - góc nghiêng bờ mỏ).

Bảng 3. Sự thay đổi độ ổn định phụ thuộc vào góc nghiêng bờ moong.

Góc bờ moong, độ	25	27	29	31	33
Hệ số ổn định	1.382	1.303	1.23	1.153	1.096

5. Kết luận và kiến nghị

Khoáng sản titan sa khoáng khu vực Bình Thuận có tiềm năng lớn về trữ lượng và hàm lượng. Các mỏ titan khu vực này thường sử dụng phương pháp khai thác sức nước (các bệ hút và

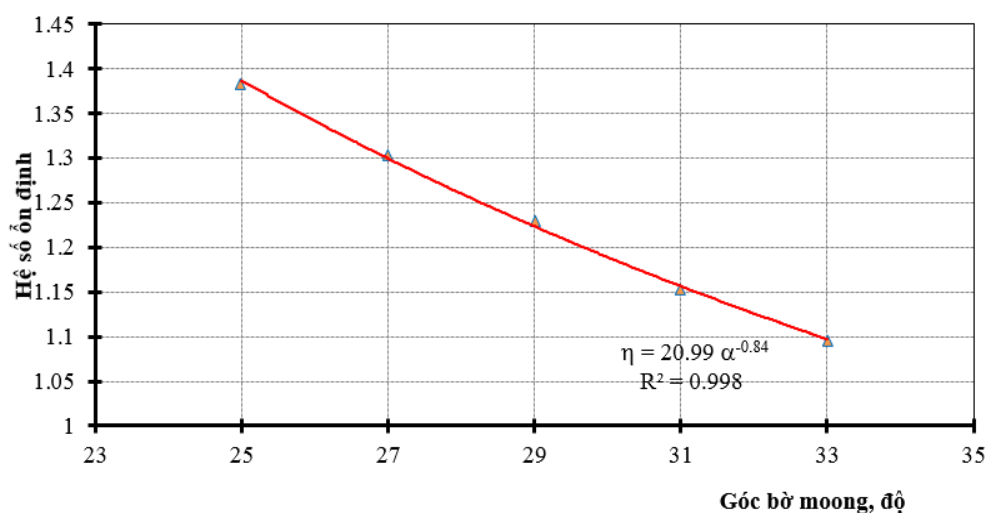
các vít xoắn tuyến thô được lắp đặt tại khai trường). Khó khăn của mỏ titan khu vực Bình Thuận là chiều cao bờ khai thác rất lớn, có chỗ đến 90m. Do đó, khó đảm bảo ổn định bờ mỏ trong quá trình khai thác.

Bài báo xây dựng mối quan hệ giữa độ ổn định bờ mỏ và thông số hình học bờ mỏ cho các mỏ khu vực Bình Thuận với sự trợ giúp của phần mềm Slope/W của hãng Geoslope. Đây là cơ sở cho các mỏ tính toán lựa chọn góc nghiêng bờ mỏ phù hợp với chiều cao bờ và độ ổn định bờ mỏ với điều kiện thực tế của các mỏ khu vực này. Ngoài ra, để đảm bảo mỏ luôn khai thác theo đúng góc nghiêng đã được xác định cụ thể theo từng khu vực trong mỏ, mỏ phải có giải pháp khai thác như dung súng bắn nước làm sụt lở gương khai thác cưỡng bức để luôn duy trì góc nghiêng hợp lý với chiều cao lớn nhất định.

Tài liệu tham khảo

Bui Xuan Nam, Ho Si Giao, Le Qui Thao, Quach Duc Tin, 2013. Propose some technical solutions for titanium mineral mining in Viet Nam. *Proceedings of the first International Workshop on Geology and Natural Resources of ASEAN (Geo ASEAN 1)*, Subject: Asean Titanium, 13-14 May 2013 Vung Tau, Hà Nội.

Krahn, J., 2012. *Stability Modeling with Slope/W: An Engineering Methodology*. GEO-SLOPE International Ltd, Canada.



Hình 10. Đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa hệ số ổn định bờ mỏ và góc nghiêng bờ mỏ tương ứng chiều cao bờ là 90m.

Sjöberg, J., 1996. *Large scale slope stability in open pit mining*, Division of Rock Mechanics, Luleå University of Technology, Sweden.

Trần Mạnh Xuân, 2000. *Giáo trình ổn định bờ mỏ,*

tầng và bãi thải mỏ lộ thiên, Trường Đại học Mỏ -Địa chất, Hà Nội.

Wyllie, D. C. and Mah, C. W., 2004. *Rock lope engineering civil and mining*. The Taylor & Francis e-Library, UK.

ABSTRACT

Study on establishing the relationship between the factor of safety and pit slope geometry parameters for titanium ore mines in Binh Thuan Provice

Viet Van Pham ^{1,*}, Thao Qui Le ¹, Hoa Thu Thi Le ¹

¹ *Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology, Viet Nam*

The extraction of titanium ore in the central province of Binh Thuan will create deep pits in which sizes depend on the production rate of mines and the height of sand-bearing layers. One of the essential issues in the exploitation of this ore is to ensure a certain slope stability. Stability factor has a close relation with pit slope geometry parameters, including slope height, slope angle and slope shape. Thus, determining the parameters to ensure the stability with a specific value of stability factor is an essential issue for mine existence. The content of the research is to determine the relationship between the factors of safety and slope geometry parameters for titanium ore mines in Binh Thuan Province.