

MỘT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ NEO DÍNH KẾT THEO NGUYÊN LÝ GIA CỐ KHỐI ĐÁ

NGUYỄN MẠNH KHÀI, *Văn phòng Chủ tịch nước*
NGUYỄN QUANG PHÍCH, NGUYỄN VĂN MẠNH, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*
LÊ VĂN CÔNG, *Viện Khoa học Công nghệ mỏ*

Tóm tắt: *Sử dụng neo dính kết để gia cố, giữ ổn định khối đá trong xây dựng công trình ngầm, khai thác mỏ và các lĩnh vực khác đã và đang được triển khai rộng rãi. Tuy nhiên cho đến nay vẫn còn tồn tại nhiều quan điểm khác nhau về cơ chế làm việc của neo dính kết và cũng vì vậy, neo dính kết được thiết kế theo nhiều phương pháp, dựa trên các giả thiết khác nhau. Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết tính toán, thiết kế neo dính kết theo nguyên lý gia cố khối đá. Các tham số của hệ thống neo được xác định với giả thiết là kết cấu neo góp phần tăng khả năng nhận tải và giảm khả năng biến dạng của khối đá.*

Sử dụng neo để tạo ra kết cấu chống tích cực, tăng cường mức độ ổn định của khối đá xung quanh các công trình ngầm đã được tiến hành trên thế giới từ thế kỷ trước. Cùng với khối lượng xây dựng công trình ngầm ngày càng nhiều, các loại neo càng được sử dụng rộng rãi, được phát triển, hoàn thiện và ngày càng tỏ ra rất công hiệu trong nhiều lĩnh vực. Neo dính kết (NDK), điển hình là neo bê tông cốt thép (BTCT), neo chất dẻo cốt thép (CDCT) và neo chất dẻo cốt chất dẻo (CDCD) ngày càng chiếm tỷ lệ cao so với các loại neo khác. Tại Việt nam sử dụng chủ yếu neo dính kết (neo bê tông cốt thép) để chống giữ, gia cố khối đá trong xây dựng công trình ngầm và khai thác than hầm lò. Neo dính kết có thể được lắp dựng dính kết một phần ở đầu neo với khối đá và cho phép kéo căng tạo dự ứng lực (ứng suất trước) như ở neo cơ học đầu nở, song thông thường nhất trong thực tế hiện nay là toàn bộ thân neo được gắn kết với khối đá. Trong trường hợp này có thể coi neo dính kết đóng vai trò gia cố khối đá. Khối đá có thể ví như "được đặt cốt".

Mặc dù NDK được sử dụng ngày càng nhiều, song nhận thức, hiểu biết về khả năng làm việc, khả năng chịu tải khi thiết kế kết cấu neo vẫn còn nhiều hạn chế. Vật liệu làm thân neo, đường kính thanh neo, khoảng cách, chiều dài cũng như các tham số của kết cấu neo vẫn chủ yếu được xác định và lựa chọn theo kinh nghiệm, mặc dù phương pháp thiết kế và cơ sở

thiết kế có thể là phương pháp giải tích, phương pháp số, phương pháp thí nghiệm tại hiện trường, thí nghiệm vật lý hay phân loại khối đá [1].

Ở nước ta, cho đến nay nguyên lý làm việc của neo được phân tích theo nhiều dấu hiệu khác nhau, nhưng việc xác định các thông số của kết cấu neo vẫn chủ yếu được thực hiện theo "nguyên lý treo" hoặc "nguyên lý dầm hay vòm mang tải". Về mặt cơ học, việc tính toán như thế tương tự như sơ đồ cho trước tải trọng. Tuy nhiên, cả lý thuyết và thực tế đều chứng tỏ rằng "vòm phá hủy" hay "vòm cân bằng" không phải bao giờ cũng xuất hiện, nhất là khi đã sử dụng neo hoặc bê tông phun. Việc tính toán theo các nguyên lý trên chưa thực sự khai thác hết vai trò gia cố của NDK. Tính tích cực của neo là làm tăng khả năng "tự mang tải" của khối đá được chú ý không đầy đủ, nhất là khi tính theo nguyên lý treo. Cũng đã có các công trình nghiên cứu tính toán thiết kế neo theo nguyên lý gia cố được tiến hành, như Nguyễn Quang Phích, Đào Văn Canh (1996) [2,3], Lê Văn Công (2002) [4], tuy nhiên, chưa có được các chỉ dẫn thiết kế cụ thể. Một chỉ dẫn theo nguyên tắc này được giới thiệu trong [5], song cho bài toán với các thông số mang tính trung bình hóa trong vùng cấm neo.

Sau đây giới thiệu phương pháp tính giải tích có chú ý đến kích thước vùng ảnh hưởng của neo trong khối đá.

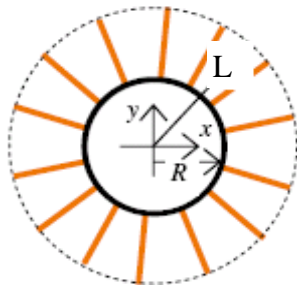
1. Mô hình bài toán và kết quả

Để nghiên cứu, khảo sát vấn đề nêu ra bằng lý thuyết, ở đây trước tiên xét mô hình bài toán phẳng, phát triển kết quả trong [2,3,4,5] với các giả thiết sau:

- Công trình ngầm có tiết diện tròn với bán kính R (1/2 chiều rộng đường lò); trạng thái ứng suất ban đầu là thủy tĩnh với thành phần ứng suất $p=\gamma.H$ (γ là dung trọng trung bình của khối đá, H là độ sâu bố trí công trình ngầm);

- Khối đá trước khi neo có mô đun đàn hồi là E_0 , độ bền nén đơn trục là σ_{N0}^* và hệ số Poisson $\mu_0=0,5$;

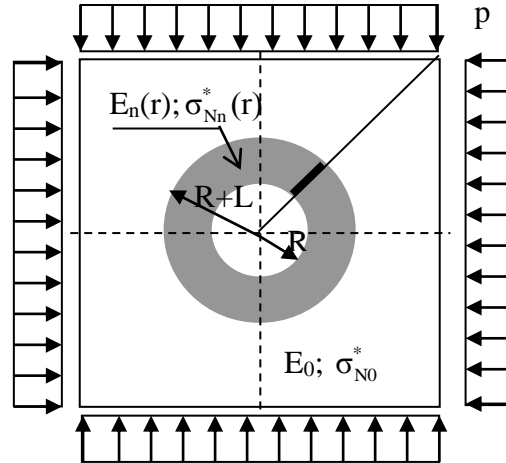
- Vùng khối đá sau khi neo có mô đun đàn hồi là E_n , độ bền nén đơn trục là σ_{Nn}^* và hệ số Poisson $\mu_n=0,5$. Giữa các tham số cơ học của vùng khối đá sau và trước khi neo được xác định gần đúng theo mô hình vật liệu tổ hợp (composite) như trong [1], phụ thuộc vào kích thước diện tích vùng tác động của một thanh neo, cụ thể càng xa biên hầm, hệ số gia cố càng giảm, theo biểu thức sau:



$$\frac{E_n}{E_0} = \frac{\sigma_{Nn}^*}{\sigma_{N0}^*} = \alpha = 1 + \frac{\pi}{4} \frac{d_{lk}^2 (E_{lk} - E_0) + d_{tn}^2 (E_{tn} - E_{dk})}{a^2 E_0} \frac{R}{r} = 1 + A_0 \frac{R}{r} \quad (1)$$

trong đó: d_{lk} - đường kính lỗ khoan neo; d_n - đường kính thanh neo; E_{dk} - mô đun đàn hồi của chất dính kết (bê tông hay chất dẻo); E_n - mô đun đàn hồi của vật liệu làm thanh neo (chúng ta mới sử dụng thép, còn một số nước trên thế giới đã sử dụng thanh neo bằng chất dẻo); a - khoảng cách giữa các thanh neo trong vòng neo, tính trên biên công trình và trong nghiên cứu này cũng là khoảng cách không đổi giữa các hàng neo; α - hệ số gia cố khi sử dụng NDK, phụ thuộc vào các tham số hình học của kết cấu neo và các tham số cơ học của các vật liệu thành phần; ở đây cho thấy rõ α tăng khi mật độ neo tăng, tức là a giảm.

- Khối đá được khảo sát theo sơ đồ trên hình 1 với vùng $R < r < L+R$ là vùng được neo và chiều dài thân neo bằng L.



Hình 1. Sơ đồ bài toán neo gia cố khối đá

Giải bài toán trên với các điều kiện biên tương ứng nhận được các kết quả về quy luật phân bố ứng suất trong vùng có cắm neo (chỉ số n) và vùng không có neo (chỉ số kn).

$$\sigma_m = 2p \cdot \frac{1}{B} \left[-\frac{1}{2r^2} - \frac{A}{3r^3} + \frac{1}{2R^2} + \frac{A}{3R^3} \right]$$

$$\sigma_{\theta n} = 2p \cdot \frac{1}{B} \left[\frac{1}{2r^2} + \frac{2A}{3r^3} + \frac{1}{2R^2} + \frac{A}{3R^3} \right]$$

và

$$\sigma_{rkn} = p - \left[p - p \left(1 - \frac{1}{(R+L)^2} \cdot \frac{1}{B} \right) \right] \left(\frac{R+L}{r} \right)^2$$

$$\sigma_{\theta kn} = p + \left[p - p \left(1 - \frac{1}{(R+L)^2} \cdot \frac{1}{B} \right) \right] \left(\frac{R+L}{r} \right)^2$$

trong đó:

$$A = \frac{\pi d_{lk}^2 (E_{dk} - E_0) + d_{tn}^2 (E_{tn} - E_{dk})}{4 a^2 E_0} R$$

$$B = \frac{1}{R^2} + \frac{2}{3} A \frac{(R+L)^3 - R^3}{R^3 (R+L)^3}$$

Từ đó dựa vào mối quan hệ giữa các thành phần chuyển vị với biến dạng và biến dạng với ứng suất, xác định được thành phần ứng suất trên biên công trình ngầm $\sigma_{\theta n-b}$ cũng như độ dịch chuyển tuyệt đối của các điểm trên biên u_{n-b} theo các biểu thức sau:

$$\sigma_{\theta n-b} = 2p \frac{[1+A_0]}{1 + \frac{2}{3} A_0 \frac{(R+L)^3 - R^3}{(R+L)^3}} = 2p \frac{(1+A_0)(R+L)^3}{\left(1 + \frac{2}{3} A_0\right)(R+L)^3 - \frac{2}{3} A_0 R^3} \quad (2)$$

$$u_{n-b} = \frac{3P}{2E_0} R \frac{1}{1 + \frac{2}{3} A_0 \left(1 - \frac{R^3}{(R+L)^3}\right)} = u_0 \frac{1}{1 + \frac{2}{3} A_0 \left(1 - \frac{R^3}{(R+L)^3}\right)} \quad (3)$$

với:

$$A_0 = \frac{\pi d_{lk}^2 (E_{dk} - E_0) + d_{tn}^2 (E_{tn} - E_{dk})}{4 a^2 E_0} \quad (4)$$

u_0 - chuyển vị tuyệt đối của biên công trình ngầm không có neo, khi coi khối đá là đàn hồi, đồng nhất. Từ các biểu thức (2) và (3) so với các đại lượng tương ứng khi không neo:

$$\sigma_{\theta 0} = 2p; \quad u_0 = \frac{3p}{E_0} R \quad (5)$$

chúng ta nhận thấy quy luật:

$$\sigma_{\theta n-b} > \sigma_{\theta 0}; \quad u_{n-b} < u_0 \quad (6)$$

Điều đó chứng tỏ rằng, thông qua cắm neo sẽ hạn chế được dịch chuyển của khối đá về phía khoảng trống ngầm, tuy nhiên thành phần

ứng suất trên biên sẽ lớn hơn so với trạng thái chưa cắm neo. Do vậy cần đánh giá khả năng ổn định của khối đá sau khi cắm neo, cũng như tính toán, điều chỉnh các tham số neo, sao cho khối đá được đưa về trạng thái ổn định.

Gọi n_0 và n là hệ số ổn định của khối đá trước và sau khi neo, được định nghĩa bởi các biểu thức:

$$n_0 = \frac{\sigma_{N0}^*}{\sigma_{\theta 0}} = \frac{\sigma_{N0}^*}{2p}; \quad n = \frac{\sigma_{Nn}^*}{\sigma_{\theta n-b}} \quad (7)$$

Khối đá xung quanh công trình ngầm sau khi đào được coi là mất ổn định nếu $n_0 < 1$ và bằng biện pháp cắm neo cần phải đưa khối đá về trạng thái ổn định với $n > 1$. Như vậy, nếu cho trước hay ấn định trước hệ số ổn định n theo mong muốn, hoàn toàn có thể xác định được các thông số của hệ thống neo (chiều dài neo, mật độ neo, đường kính thanh neo, đường kính lỗ khoan...) trong mối tương quan với các tính chất cơ học của khối đá và các thành phần của kết cấu neo (thanh neo, chất dính kết).

Đưa các đại lượng cơ học đã định nghĩa và xác định vào biểu thức đánh giá mức độ ổn định của khối đá sau khi neo sẽ nhận được:

$$\begin{aligned} n &= \frac{\sigma_{Nn}^*}{\sigma_{\theta n-b}} = \frac{(1+A_0)\sigma_{N0}^*}{\sigma_{\theta n-b}} \\ &= (1+A_0) \frac{\sigma_{N0}^*}{2p} \frac{\left(1 + \frac{2}{3} A_0\right)(R+L)^3 - \frac{2}{3} A_0 R^3}{(1+A_0)(R+L)^3} \\ &= \left(1 + \frac{2}{3} A_0\right) n_0 - \frac{2}{3} A_0 n_0 \frac{R^3}{(R+L)^3} \\ \frac{(R+L)^3}{R^3} &= \frac{\frac{2}{3} A_0 n_0}{\left(1 + \frac{2}{3} A_0\right) n_0 - n} \end{aligned} \quad (8)$$

Từ đó có thể tính được chiều dài cần thiết của thanh neo L theo biểu thức:

$$L = R \left[\sqrt[3]{\frac{\frac{2}{3} A_0 n_0}{\left(1 + \frac{2}{3} A_0\right) n_0 - n} - 1} \right] \quad (9)$$

Xuất phát từ điều kiện giá trị $L > 0$, nghĩa biểu thức trong dấu khai căn lớn hơn 1, từ đó còn lại điều kiện (như phân tích trong [1]):

$$\left(1 + \frac{2}{3}A_0\right)n_0 - n > 0 \quad (10)$$

Từ đó cho phép xác định A_0 khi ấn định trước hệ số ổn định mong muốn, cụ thể có:

$$A_0 > \frac{3}{2} \left(\frac{n}{n_0} - 1\right) \quad (11)$$

Kết hợp với (10) với (4) sẽ xác định được khoảng cách giữa các thanh neo, trên cơ sở lựa chọn đường kính thanh neo, đường kính lỗ khoan và chất dính kết với các tham số cơ học của chúng, theo biểu thức.

$$a \leq \sqrt{\frac{\pi d_{lk}^2 (E_{dk} - E_0) + d_{tn}^2 (E_{tn} - E_{dk})}{4 \cdot \frac{3}{2} \left(\frac{1}{n_0} - 1\right) E_0}} \quad (12)$$

Tuy nhiên, cũng có thể lựa chọn khoảng cách giữa các thanh neo theo kinh nghiệm, từ đó tính được A_0 . Trong trường hợp này hệ số ổn định khối đá sau khi cắm neo sẽ đạt được giá trị lớn nhất theo biểu thức.

$$n_{max} = \left(1 + \frac{2}{3}A_0\right)n_0 \quad (13)$$

Tùy thuộc yêu cầu gia cố hệ số ổn định thực tế sẽ nằm trong khoảng lựa chọn sau:

$$1 < n < n_{max} \quad (14)$$

2. Ví dụ tính toán

Một đường hầm có đường kính 4,0m được đào ở độ sâu $H=300m$, trong khối đá đồng nhất. Đá có độ bền nén đơn trục $\sigma_{N-D}^* = 60MPa$, dung trọng $\gamma = 27kN/m^3 = 0,0027MN/m^3$; khối đá được đánh giá có chất lượng tốt với $RMR=72$. Mô đun đàn hồi bằng $0,5 \cdot 10^3 MPa$, của thanh neo bằng thép là $210 \cdot 10^3 MPa$, của chất dính kết là $30 \cdot 10^3 MPa$. Các thanh neo (sử dụng tại các công trình thủy điện) có đường kính $25mm = 0,025m$; đường kính lỗ khoan neo là $42mm = 0,042m$.

Từ các điều kiện đã cho, có thể xác định độ bền nén của khối đá theo tiêu chuẩn Hoek-Brown.

$$\sigma_{N-KD}^* = \sigma_{N-D}^* \sqrt{s}$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right) = \exp\left(\frac{72-100}{9}\right) = e^{-3,066} = 0,0466$$

$$\sigma_{N-KD}^* = 60 \cdot \sqrt{0,0466} = 60 \cdot 0,216 = 12,96 MPa = \sigma_{N0}$$

Với giả thiết gần đúng trạng thái ứng suất nguyên sinh là thủy tĩnh, thành phần ứng suất pháp tiếp tuyến trên biên đường hầm sau khi đào là:

$$2\gamma H = 600 \cdot 0,027 = 16,2 MPa$$

do vậy, ở trạng thái không chống hệ số ổn định nhận giá trị:

$$n_0 = \frac{\sigma_{N0}^*}{2\gamma H} = \frac{12,96}{16,2} = 0,8$$

Từ biểu thức (11) cho thấy kết cấu neo đạt hiệu quả gia cố, khi khoảng cách giữa các thanh neo trên biên hầm $a < 0,829m$.

Với các khoảng cách giữa các thanh neo được chọn để tính là 0,8m; 0,7m và 0,6m, từ các biểu thức (4) và (13) xác định được giá trị của A_0 và n_{max} . Với mức độ ổn định cần đạt trên biên sau khi gia cố $n=1$, cho phép xác định chiều dài thanh neo theo (9). Các kết quả tính được thống kê trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính neo theo nguyên lý gia cố khối đá

a (m)	0,8	0,7	0,6
A_0	0,403	0,527	0,717
n_{max}	1,015	1,08	1,18
n	1	1	1
L (m)	2,9	1,1	0,5

Các giá trị tính toán cho thấy khá phù hợp với các điều kiện thực tế, hoặc tính bằng phương pháp treo chốt.

3. Kết luận và hướng nghiên cứu tiếp

Các kết quả thu được cho phép khẳng định rằng, hoàn toàn có thể áp dụng phương pháp trên để xây dựng cơ sở thiết kế kết cấu neo theo nguyên lý gia cố khối đá. Phương pháp được xây dựng xuất phát từ các nguyên lý cơ học lôgích, chặt chẽ. Mặc dù bài toán được đề cập mới chỉ là bài toán cơ bản với các điều kiện biên đơn giản, nhưng đã cho các kết quả dễ chấp nhận so với số liệu thực tế.

Đối với các điều kiện hình học và điều kiện biên phức tạp, trong [1] đề xuất sử dụng phương pháp số với các thủ thuật thích hợp.

Các ví dụ tính toán bằng chương trình FLAC trong [1, 6, 7] đã minh họa sự phù hợp của các thủ thuật tính toán, so sánh với các phương pháp tính theo nguyên lý tương tác.

Các kết quả nhận được cho phép khẳng định tính ưu việt của phương pháp tính neo theo nguyên lý gia cố khối đá. Đương nhiên, đối với các khối đá đặc trưng bởi các điều kiện địa chất phức tạp, cần thiết phải tiếp tục nghiên cứu để xây dựng được các mô hình gia cố phù hợp, tương ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Quang Phích và nnk. Nghiên cứu xây dựng và hoàn thiện các mô hình tính toán, thiết kế neo dính kết trong xây dựng mỏ và công trình ngầm. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, mã số B2009-02-76TD. Hà Nội, tháng 8 năm 2011.
- [2]. Nguyễn Quang Phích, Đào Văn Canh, 1996. Về quy luật và khả năng gia cố khối đá khi sử dụng neo dính kết. Tạp chí Công nghiệp mỏ số 4/1996; Tr.5;6;10.
- [3]. Đào Văn Canh, 1996. Nghiên cứu xác định và lựa chọn những thông số hợp lý của vỏ chống nhẹ khi đào lò xuyên vỉa qua đất đá tương đối vững chắc tại các mỏ hầm lò Việt Nam. Luận án PTS KHKT, Hà Nội.

[4]. Lê Văn Công. Nghiên cứu áp dụng neo chất dẻo cốt thép chống giữ các đường lò tại các mỏ than Việt Nam. Luận văn thạc sỹ. Hà Nội 2002.

[5]. Nguyễn Quang Phích, 1998. Một phương pháp xác định các thông số hợp lý của kết cấu chống bằng neo dính kết. Tuyển tập báo cáo Hội nghị khoa học kỹ thuật Mỏ toàn quốc lần thứ XI -8/1998. Tr.126-129

[6]. Le Van Cong, Nguyen Quang Phich, Bui Thanh Long. Numerical analysis of geomechanical process around underground opening with rock bolt support using FLAC. International Mining Conference -2010. Advanced Mining for Sustainable development. Proceedings. Ha Long 23-35 Sep. 2010. p 622-628.

[7]. Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Văn Mạnh, Nguyễn Văn Trí, Đặng Văn Kiên, Đỗ Ngọc Anh. Một số kết quả so sánh tính neo dính kết theo phương pháp gia cố khối đá và tương tác neo-khối đá. Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học lần thứ 19. Quyển 2 Cơ điện-Xây dựng. Hà Nội 11/11/2010. Tr. 148-152. Một số vấn đề Cơ học đá Việt nam đương đại. Nhà xuất bản Xây dựng 2010. Tr.203-208.

SUMMARY

A design method for fully grouted rock bolt due to the reinforcement principle of rock masses

Nguyen Manh Khai, Office of the President

Nguyen Quang Phich, Nguyen Van Manh, University of Mining and Geology

Le Van Cong, IMSAT

Rockbolts are widely used as a tunnel support and are considered as an effective and economical means of supporting in varies conditions. Unfortunately, the coupling mechanism is still not very clearly at present. The design of rock bolt in tunnelling or other excavations is still empirical, and there are few methods to evaluate the bolting effect in most case. A new model for design of fully grouted rockbolts based on the principle of reinforcement capability of fully grouted rockbolts is suggested. Based on the received analytical solution for a symmetrical boundary problem of a circular tunnel with grouted rockbolts a design method has been developed.