

Nghiên cứu quá trình cắt đất đá của chòong khoan lắp trên máy khoan xoay

Study the stone cutting process of the drilling installed on rotary drilling machine

> TS TRẦN ĐỨC HIẾU

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; Email: hieutd@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Búa khoan đá xoay đập được sử dụng phục vụ công tác khoan lỗ nổ mìn khi thi công công trình ngầm, khai thác mỏ...thiết bị này sử dụng nguyên lý khoan đập đỉnh, tức là tạo ra lực va đập và mô men quay để thực hiện quá trình khoan. Búa khoan tạo ra lực va đập và mô men quay chòong khoan trong quá trình khoan. Quá trình cắt đất đá bằng chòong khoan lắp trên máy khoan xoay là một quy trình phức tạp và chủ yếu được sử dụng trong công nghiệp khoan đá và khoan khoáng sản. Bài viết trình bày quá trình cắt đất đá của chòong khoan lắp trên máy khoan xoay.

Từ khóa: Chòong khoan; mô men xoắn; lực dọc trục; dao cắt.

ABSTRACT

The rotary hammer rock drill is used for blast hole drilling in underground construction and mining. This equipment operates based on the principle of top percussion drilling, generating impact force and rotational torque to drive the drilling process. During drilling, the hammer drill creates impact force and rotational torque for the drill bit, enabling effective penetration through soil and rock. This complex cutting process, primarily utilized in the rock drilling and mineral exploration industries, involves a drill bit mounted on a rotary drill. This article examines the mechanics of soil and rock cutting with a rotary drill-mounted bit.

Keywords: Drill bit; torque; axial force; cutting tool

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khoan là một thiết bị được sử dụng rộng rãi trong công tác khoan lỗ nổ mìn trong khai thác mỏ, xây dựng công trình ngầm, xây dựng công nghiệp và dân dụng... để tạo các lỗ khoan phục vụ nổ mìn trên mỏ lộ thiên, trong mỏ than hầm lò, ngoài ra còn khoan để tháo nước, tháo khí và lắp neo, lắp đặt các thiết bị trong đường

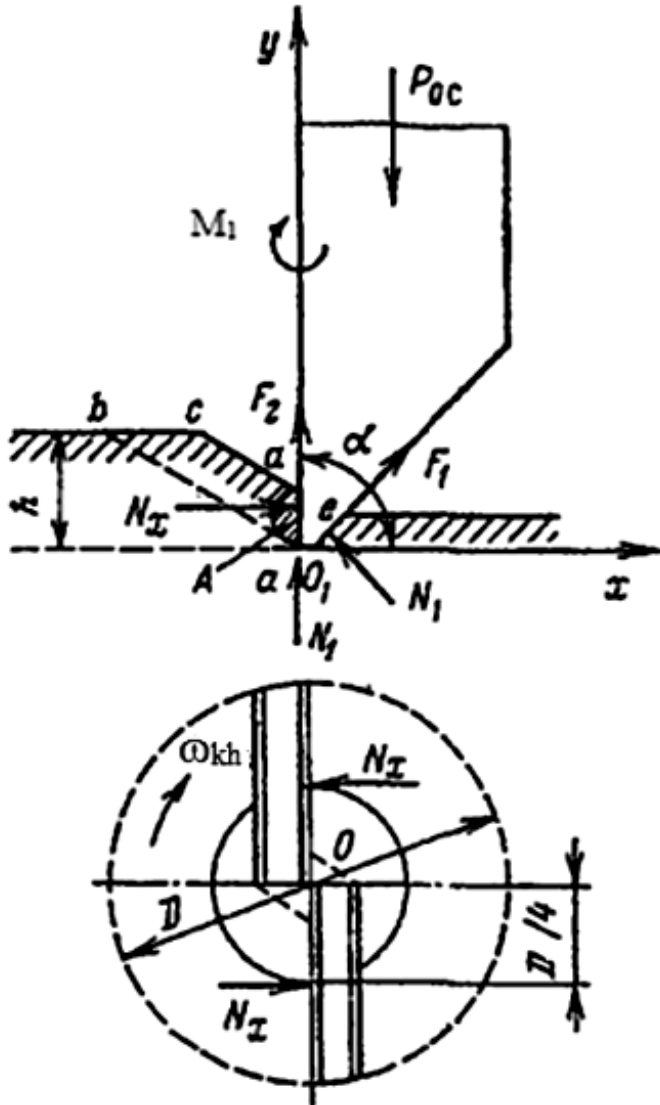
lò. Hiện có một số công trình nghiên cứu có liên quan đến lĩnh vực này như: Trương Văn Từ và các cộng sự [1] đã sử dụng các phương pháp phân tích lý thuyết, nguyên lý Dalamber nhằm phân tích các lực tác dụng lên răng chòong trong quá trình phá hủy đất đá để xây dựng công thức xác định tốc độ cơ học khoan cho chòong PDC (polycrystalline diamond compact); Tạ Ngọc Hải cùng các cộng sự [2] đã giới thiệu kết quả nghiên cứu phân bố tiêu hao công suất của mũi khoan PDC (polycrystalline diamond compact) đường kính nhỏ khi khoan đá; Nguyễn Văn Khương cùng các cộng sự [3] đã đề xuất các giải pháp cải tạo nâng cao hiệu suất làm việc và tăng độ bền của chòong khoan bằng cách giảm xung lực va đập của chòong với một loạt các giải pháp công nghệ - kỹ thuật, bao gồm: Chuyển code của chòong; Tăng số lượng răng trên cùng tiết diện; Bố trí răng để chống nhai lại; Phủ phần hợp kim bên hông của chòong; Sử dụng gioăng làm kín với công nghệ HARD; Nguyễn TrầnTuân cùng các cộng sự [4] đã trình bày một số kết quả nghiên cứu về lựa chọn chòong khoan hợp lý để thi công các giếng khoan tại khu vực vịnh Bắc Bộ. Với đặc tính đất đá tầng Oligoxen khu mỏ là mềm xen kẹp các lớp đất đá cứng và có độ mài mòn cao thì sử dụng kết hợp giữa chòong PDC và chòong TCI mang lại hiệu quả khoan tốt, tuổi thọ chòong cao. Việc lựa chọn chòong FuseTek, chòong Kymera, chòong StingBlade để khoan vào các vùng đất đá có đặc tính khác nhau trong khu mỏ là kết quả tổng hợp lý thuyết phá hủy đá truyền thống giữa chòong PDC, chòong TCI và chòong kim cương thẩm nhiễm; Nguyễn Hữu Trường [5] đã đề xuất xây dựng một mô hình tuổi thọ của mũi khoan có độ tin cậy cao để khoan giếng trong tầng hầm bằng phần mềm thống kê, trên cơ sở đó, tác động của nhiều thông số khác nhau đến tuổi thọ của mũi khoan sẽ được ước tính bằng cách sử dụng phân tích hồi quy bội.

Trần Đức Hiếu [6] đã trình bày các phương pháp cắt đất đá của thiết bị dạng hình nêm, nhưng chưa đề cập đến quá trình cắt đất đá của chòong khoan. Công trình của Lemesko M.A. [7] đã tập hợp các kết quả các công trình nghiên cứu, nêu các tập hợp, giới hạn các thông số khi khoan xoay để nâng cao hiệu quả khoan. Tài liệu [8] đã nêu về các loại mũi khoan, trong đó có khoan với lưỡi cắt PDC. A.M. Abdul-Rami cùng các cộng sự [9] đã nghiên cứu ảnh hưởng của thay đổi tốc độ quay và lực đẩy mũi khoan đến độ mòn lưỡi cắt PDC. Phương pháp nghiên cứu là thực nghiệm, kết quả đã đưa ra mối quan hệ tốc độ quay, lực đẩy mũi khoan đến độ mòn lưỡi cắt PDC. Han Xiaoming cùng các cộng sự [10] đã thiết lập mô hình các lực tác động lên lưỡi cắt PDC để tối ưu hóa thông số hình học lưỡi cắt

Có nhiều nghiên cứu trong tài liệu hiện có về việc sử dụng chòong khoan trong quá trình vận hành các máy khoan. Tuy nhiên, quá trình cắt đất đá của chòong khoan vẫn chưa được nghiên cứu kỹ lưỡng. Bài báo trình bày quá trình cắt đất đá của chòong khoan.

2. QUÁ TRÌNH CẮT ĐẤT ĐÁ CỦA CHÒNG KHOAN

Khi khoan xoay thực hiện quá trình cắt đất đá dưới tác động của lực dọc trục P_{oc} và mô men xoắn M_1 truyền lên chòong khoan (hình 1). Khi này lực dọc trục P_{oc} cần phải khắc phục lực cản N_1 của đất đá ở diện tích mặt đầu phần cắt bên trái của chòong khoan, ngay cả khi chúng bị mòn cùn (phần ao_1), còn mô men xoắn M_1 cần phải vượt qua lực cản làm vỡ đất đá tiếp giáp với giới hạn phần trước dao cắt.



Hình 1. Sơ đồ lực tác dụng lên chòong khoan khi làm việc

Giới hạn phần trước dao cắt làm nhẵn đất đá, hình thành nên lõi A được nén chặt, hình thành từ các phần đất đá vụn nát. Lực cản của đất đá tác động lên lưỡi dao của chòong khoan, làm cho mô men tăng đến giá trị lớn nhất, sau đó diễn ra sự vỡ thể tích đất đá $abcd$. Khi này lực cản của đất đá giảm nhanh chóng tới giá trị nhỏ nhất, sau đó chu kỳ phá hoại lặp lại.

Tính toán các trạng thái thông số khoan liên quan đến việc xác định giá trị lực dọc trục P_{oc} (kN), chiều dây phoi cắt h (m), tốc độ khoan V_m (m/ph hoặc m/h) và tần số quay của khoan n_{kh} (s^{-1}), khi đảm bảo vận chuyển phần đất đá được cắt từ dưới lỗ khoan lên phía trên.

Lực dọc trục P_{oc} (kN) cần thiết để khoan cắt được đường kính D (m) với chiều sâu h (m), được xác định bởi công thức sau:

$$P_{oc} = 0,25 \cdot K_{mc} \cdot D \cdot h \cdot \sigma_d \quad (1)$$

Trong đó: K_{mc} là hệ số tính đến sự mòn cùn của dao cắt, thường $K_{mc} = 1,5 \div 0,7$ (giá trị lớn đối với sự mòn cùn, từ lớn của dao cắt và chiều dây phoi cắt nhỏ); σ_d là giới hạn bền của đất đá quy đổi (kPa).

Thông thường góc cắt của dao cắt $\alpha = 90^\circ$, giả thiết rằng lực chống lại sự phá hủy đất đá N_x (kN) tác động lên phần giới hạn phía trước của dao cắt và song song với mặt đáy (mặt ngang) của lỗ khoan, được tính theo công thức sau:

$$N_x = P_{oc} \cdot K_{mc} \quad (2)$$

Tính toán năng lượng tiêu tốn để khắc phục lực N_x và lực ma sát ở phần mòn cùn ao_1 (lực F_2) và giới hạn góc cắt sau với đất đá (lực F_1) với hệ số ma sát μ_1 , giá trị mô men M_1 (kNm) cần thiết để chòong khoan cắt phá hủy đất đá, được xác định bởi công thức sau:

$$M_1 = 0,125 \cdot D^2 \cdot \sigma_d \cdot h \cdot Z(1 + \mu_1 \cdot K_{mc}) \quad (3)$$

Trong đó: Z là số dao cắt của chòong khoan.

Chiều dây phoi cắt được tính theo công thức sau:

$$h = \frac{v_{max}}{3600 \cdot Z \cdot n_{kh}} \quad (4)$$

Trong đó: v_{max} là tốc độ khoan lý thuyết lớn nhất, (m/h); n_{kh} là tần số quay của khoan, (s^{-1}).

Trên thực tế để chòong khoan cắt được đất đá thì tải trọng riêng dọc trục trên 1m đường kính của chòong khoan xác định trong giới hạn từ 100 ÷ 300kN/m.

Tần số quay nhỏ nhất của khoan n_0 (s^{-1}) với đường kính D_1 (m) và góc nâng đường xoắn ốc β (độ) được xác định theo công thức:

$$n_0 \geq \sqrt{\frac{g(\sin\beta + \mu_1 \cos\beta)}{2\pi^2 \cdot \mu_2 \cdot D_1}} \quad (5)$$

Trong đó: μ_1 là hệ số ma sát giữa đất với thép; μ_2 là hệ số ma sát giữa đất với đất; g là gia tốc trọng trường, (m/s^2).

Năng suất lý thuyết lớn nhất Π (m^3/h) của guồng xoắn với bước vít S (m) được tính như sau:

$$\Pi = 9 \cdot 10^2 \cdot \pi(D_1^2 - d^2)K \cdot S \cdot \Psi \cdot n_{kh} \quad (6)$$

Trong đó: d là đường kính trục của guồng xoắn, (m); Ψ là hệ số làm đầy thể tích guồng xoắn;

K là hệ số rơi vãi đất đá khe hở giữa guồng xoắn với thành lỗ khoan, thường $K = 0,8 \div 0,9$;

n_{kh} là tần số quay cần thiết của khoan, $n_{kh} \geq n_0$.

Thể tích đất đá có khối lượng tơi xốp V_1 (m^3/h), được phá hủy bởi đầu mũi khoan có đường kính D_k (m) với tốc độ khoan lớn nhất v_{max} (m/ph) và hệ số tơi của đất đá k_t được xác định theo công thức:

$$V_1 = 0,25 \cdot \pi \cdot D_k^2 \cdot k_t \cdot v_{max} \quad (7)$$

Để đảm bảo vận chuyển thể tích đất đá cần thiết V_1 thì năng suất lý thuyết lớn nhất $\Pi \geq V_1$.

Mô men M_2 (kNm) cần thiết để đảm bảo đưa thể tích đất đá trong guồng xoắn với chiều sâu H (m), khi độ chặt của đất đá γ (T/m^3) lên phía trên và $D \geq D_k$:

$$M_2 = \frac{0,125 \cdot g \cdot \mu_3 \cdot \pi \cdot D_1 (D_1^2 - d^2) (tg\beta + \mu_2) H \cdot \gamma \cdot \Psi}{k_t} \quad (8)$$

Trong đó: μ_3 là hệ số ma sát giữa guồng xoắn với thành lỗ khoan, thường $\mu_3 = 1,5 \div 2$.

Công suất động cơ dẫn động bộ phận quay cần khoan N_{kh} (kW) khi tốc độ góc của khoan ω_{kh} (rad/s) và hiệu suất của cơ cấu truyền động quay cần khoan η được xác định theo công thức sau:

$$N_{kh} = \frac{(M_1 + M_2)\omega_{kh}}{\eta} = \frac{2\pi(M_1 + M_2)n_{kh}}{\eta} \quad (9)$$

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Xác định thông số làm việc của máy, biết các thông số sau:

$\sigma_d = 4 \text{ MPa} = 4.10^3 \text{ kPa}$; $\gamma = 1,8 \text{ T/m}^3$; $Z = 2$; $D = 0,2\text{m}$; $D_1 = 0,18\text{m}$; $\beta = 30^\circ$; chiều sâu khoan 32m ; $\mu_1 = 1$; $\mu_2 = 1,2$.

Xác định lực dọc trục cần thiết khi chiều dây phoi cắt $h = 0,01\text{m}$ và hệ số tính đến sự mòn cùn của dao cắt $K_{mc} = 1,2$. Theo công thức (1) ta có:

$$P_{oc} = 0,25.1,2.0,2.0,01.4.10^3 = 2,4 \text{ kN}$$

Mô men cần thiết để chèo khoan cắt phá hủy đất đá, theo công thức (3) ta có:

$$M_1 = 0,125.0,2^2.4.10^3.0,01.2(1+1,2) = 0,88 \text{ kNm}$$

Tần số quay nhỏ nhất của khoan được xác định theo công thức (5) ta có:

$$n_0 \geq \sqrt{\frac{9,81(\sin 30^\circ + 1 \cos 30^\circ)}{23,14^2.1,2.0,18}} = 1,773 \text{ s}^{-1}$$

Năng suất lý thuyết lớn nhất Π xác định theo công thức (6) với: $d = 0,06\text{m}$; $K = 0,8$; $S = 0,4\text{m}$; $\psi = 0,7$ và tần số quay lớn nhất của khoan $n_{kh} = 1,8 \text{ s}^{-1}$ lớn hơn $n_0 = 1,773 \text{ s}^{-1}$

$$\Pi = 9.10^2.3,14(0,18^2 - 0,06^2)0,8.0,4.0,7.1,8 = 32,8 \text{ m}^3/h$$

Tốc độ khoan lý thuyết lớn nhất theo công thức (4) ta có:

$$v_{max} = 3600.0,01.2.1,8 = 129,6 \text{ m/h}$$

Mô men cần thiết để đảm bảo đưa thể tích đất đá trong guồng xoắn với chiều sâu $H = 32\text{m}$, khi $\mu_3 = 1,5$; $k_t = 1,3$

$$M_2 = \frac{0,125.9,81.1,5.3,14.0,18(0,18^2 - 0,06^2)(tg 30^\circ + 1,2)32.1,8.0,7}{1,3} = 1,65 \text{ kNm}$$

Công suất động cơ dẫn động bộ phận quay cần khoan theo công thức (9) với $\eta = 0,87$ ta có:

$$N_{kh} = \frac{2,3,14(0,88 + 1,65)1,8}{0,87} = 32,8 \text{ kW}$$

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu có thể tham khảo khi thiết kế khoan xoay hoặc lựa chọn chế độ khoan phù hợp với điều kiện biến đổi độ bền cổ đá;

Quá trình tác động giữa mũi khoan xoay lưỡi cắt trụ tròn là quá trình phức tạp cần các nghiên cứu sâu thêm, nhất là nghiên cứu thực nghiệm để áp dụng hiệu quả vào thiết kế chèo khoan lắp trên máy khoan xoay và sử dụng khoan.

Việc lựa chọn các thông số cho máy khoan xoay có lắp chèo khoan trong quá trình khai thác là một nhiệm vụ kỹ thuật quan trọng. Giải pháp cho vấn đề này đảm bảo cơ giới hóa toàn diện hiệu quả trong khai thác vận hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trương Văn Từ, Nguyễn Tiến Hùng, và Vũ Hồng Dương (2021). Nghiên cứu xây dựng công thức xác định tốc độ cơ học khoan cho chèo PDC. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mô-Địa chất*, 57-64.
- [2]. Tạ Ngọc Hải, Vũ Đức Quảng, Trần Hà Thương, Dương Tiến Thành, Phùng Khắc Sỹ, Phân bố tiêu hao công suất mũi khoan quay pdc đường kính nhỏ dùng khoan tháo khí, thoát nước, Công nghiệp mỏ, số 1 - 2022.
- [3]. Nguyễn Văn Khương, Trần Xuân Đào, Nguyễn Thái Sơn, Nguyễn Thế Vinh, Trần Hữu Kiên, Nghiên cứu hoàn thiện cấu tạo chèo 3 chóp xoay đường kính nhỏ khoan đá móng nứt nẻ mở bạch hổ, Tạp chí KHKT Mô - Địa chất, số 50, 4-2015, tr.8-15.
- [4]. Nguyễn Trần Tuân, Lý Ngọc Long, Nguyễn Anh Phương, Nghiên cứu lựa chọn chèo để thi công các giếng khoan tại khu vực bể Sông Hồng, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất Tập 59, Kỳ 1 (2018) 85-91.
- [5]. Nguyễn Hữu Trường, Đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến thời gian khoan của chèo. *Petrovietnam Journal*, 2017. 3: p. 28-34.
- [6]. Trần Đức Hiếu, *Máy và thiết bị thi công đất*, NXB Xây dựng (2022).
- [7]. Лемешко М.А., Волков Р.Ю. (2015), *Анализ вращательного бурения*, Молодой учёный №21(101) -2015, стр. 179÷184.
- [8]. Буткин В.Д., Демченко И.И. (2012), *Буровые машины и инструменты*. Сибирский федеральный университет, Красноярск.
- [9]. A.M. Abdul-Rami et al. (2019), *Investigation on the effect of changing rotary speed and weight bit on PDC cutter wear*, Journal of Petroleum Exploitation and Production Technology.
- [10]. Xiaoming Han et al. (2018), *Influence of polycrystalline diamond compact bit geometric parameters on drilling performance during gas drainage borehole in soft coal seam*, *Advanced Mechanical Engineering*, Vol.10 (1) 1÷9.