

PHÂN BỐ TIÊU HAO CÔNG SUẤT MŨI KHOAN QUAY PDC ĐƯỜNG KÍNH NHỎ DÙNG KHOAN THÁO KHÍ, THOÁT NƯỚC TRONG MỎ THAN HẦM LÒ

TS. Tạ Ngọc Hải – Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ

ThS. Vũ Đức Quảng, ThS. Trần Hà Thương, ThS. Dương Tiến Thành, TS. Phùng Khắc Sỹ

Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

Tóm tắt: Trong quá trình khoan, mũi khoan tác động vào đất đá tạo lỗ khoan phục vụ các khâu công nghệ trong khai thác mỏ, xây dựng công trình ngầm, xây dựng công nghiệp và dân dụng... Công suất tiêu hao cho mũi khoan bao gồm công suất quay mũi khoan và công suất đẩy mũi khoan. Để phục vụ tính toán thiết kế máy khoan, mũi khoan và lựa chọn loại máy khoan, mũi khoan, chế độ khoan hợp lý, phù hợp với đặc tính đất đá, cần nghiên cứu công suất tiêu hao cho từng quá trình khi khoan. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu phân bố tiêu hao công suất của mũi khoan PDC đường kính nhỏ khi khoan đất đá.

Từ khóa: Máy khoan xoay, mỏ than hầm lò, mũi khoan PDC, phân bố công suất.

1 Đặt vấn đề

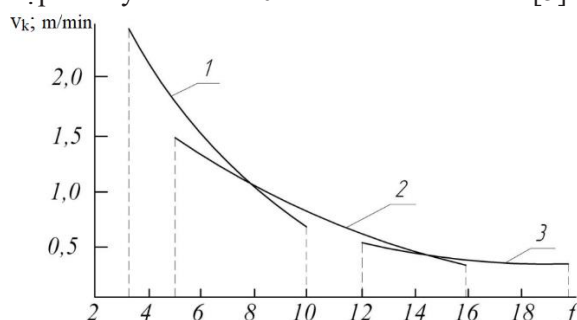
Khoan được sử dụng rộng rãi trong khai thác mỏ, xây dựng công trình ngầm, xây dựng công nghiệp và dân dụng... để tạo các lỗ khoan phục vụ nổ mìn trên mỏ lộ thiên, trong mỏ than hầm lò, ngoài ra còn khoan để tháo nước, tháo khí và lấp neo, lắp đặt các thiết bị trong đường lò... Quá trình phá đất đá khi khoan là quá trình phức tạp, phụ thuộc vào: Cơ chế khoan phá của mũi khoan như cắt, ép vỡ, ép trượt, đập vỡ, nghiền...; loại máy khoan như khoan xoay, khoan xoay - đập, khoan đập - xoay, khoan đập... [4]. Với bất kỳ loại máy khoan, mũi khoan, quá trình khoan là kết hợp của một số cơ chế phá hủy đất đá. Tuy nhiên, đối với mỗi loại máy khoan có cơ chế phá hủy chính chi phối. Đối với máy khoan xoay là cắt, ép vỡ trượt, ép vỡ. Tác động của mũi khoan xoay lên đá gồm hai quá trình: Quay các lưỡi cắt để cắt, ép vỡ trượt đất đá và đẩy mũi khoan ép vỡ đất đá. Để tính toán, thiết kế máy khoan xoay, mũi khoan xoay, cần quan tâm đến tiêu hao công suất cho hai quá trình phụ thuộc vào đặc tính đất đá. Trong các mũi khoan xoay, mũi khoan dùng lưỡi cắt trụ tròn gắn hợp kim cứng PDC (Polycrystalline Diamond Compact) đang được

dùng rộng rãi. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về vấn đề này [1]

2 Nội dung nghiên cứu

2.1 Tình hình nghiên cứu

Lĩnh vực sử dụng phù hợp của mũi khoan xoay là dùng để khoan đất đá có độ kiên cố không cao. Qua các nghiên cứu của nhiều tác giả, khoảng áp dụng hiệu quả của các loại máy khoan theo thang đo độ kiên cố của Protodiakonov M.M của đá là: Khoan xoay $f = 3 \div 10$; khoan xoay - đập $f = 5 \div 16$; khoan đập - xoay $f = 12 \div 20$ như trên hình hình 1 [5].



Hình 1: Khoảng áp dụng hiệu quả máy khoan:

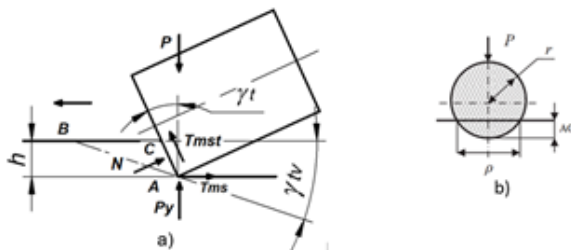
- 1) Khoan xoay; 2) Khoan xoay - đập;
- 3) Khoan đập - xoay

Tác động của lưỡi cắt mũi khoan xoay dạng cánh lên đất đá đã được nhiều tác giả nghiên cứu từ lâu, còn tác động của lưỡi cắt PDC mới được

một số tác giả công bố trong thời gian gần đây. Abdul-Rami [2] 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 [3] cũng đã thiết lập mô hình các lực tác động lên lưỡi cắt PDC để tối ưu hóa thông số hình học lưỡi cắt. Công trình của Лемешко [6] đã tập hợp 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. Буткин [4] đã nêu về các loại mũi khoan, trong đó có khoan với lưỡi cắt PDC. Đặc biệt sâu trong lĩnh vực này là công trình của Нескромных [7] đã thiết lập phương trình quan hệ độ sâu lát cắt với lực đẩy, quan hệ lực đẩy, lực cắt với chiều sâu lát cắt của lưỡi cắt dạng cánh. Đối với lưỡi cắt PDC đã nêu kết quả nghiên cứu trước đó về lực đẩy và lực cắt lưỡi cắt PDC, thiết lập phương trình quan hệ này. Tuy nhiên, công trình chưa nêu phương pháp thiết lập quan hệ giữa lực đẩy và chiều sâu lát cắt của lưỡi cắt PDC, trong mô hình lực tác động lên lưỡi cắt chưa tính đến lực ma sát giữa lưỡi cắt và đất đá.

2.2 Quan hệ giữa các thông số lưỡi cắt PDC khi làm việc

Để nâng cao hiệu quả làm việc của lưỡi cắt nói riêng và mũi khoan nói chung, quan hệ giữa các thông số sau cần được nghiên cứu: Lực đẩy lưỡi cắt, lực cắt, chiều sâu lát cắt. Khi cắt đất đá, các lực tác động lên lưỡi cắt PDC như hình 2.



Hình 2: Sơ đồ lực tác động lên lưỡi cắt PDC

Các thành phần lực tác động lên lưỡi cắt: Lực nén P; lực cắt F_c ; lực ma sát F_{ms} và F_{mst} ;

phản lực P_y và phản lực N. Các thông số khác: γ_t – góc trước lưỡi cắt; h – chiều sâu lát cắt. Sử dụng phương pháp nêu trong [2, 3, 7] xây dựng các phương trình cho lưỡi cắt PDC:

$$N = 0,5\pi\sqrt{dh^3}\sigma_{tv}\frac{1+\operatorname{tg}\varphi}{\sin\gamma_{tv}}, \text{ mm}^2 \quad [7] \quad (1)$$

Trong đó: σ_{tv} – độ bền trượt vỡ của đất đá, MPa; $\operatorname{tg}\varphi$ – hệ số ma sát trong của đá; d – đường kính lưỡi cắt trụ tròn, mm; h – chiều sâu lát cắt, mm; γ_{tv} – góc trượt vỡ đất đá, độ.

$$F_{mst} = Nf; F_{ms} = P_y f, N \quad (2)$$

Trong đó f – hệ số ma sát giữa lưỡi cắt và đất đá.

Thiết lập các phương trình cân bằng lực và biến đổi có:

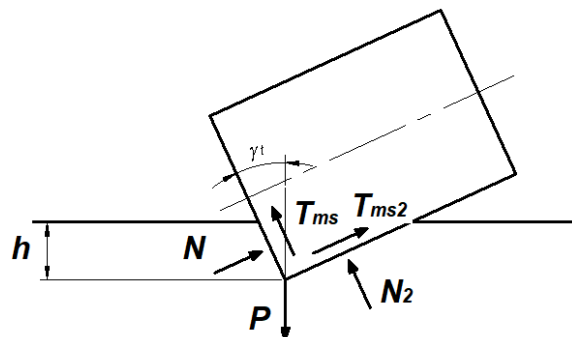
$$F_c = Pf - 0,5\pi\sqrt{dh^3}\sigma_{tv}\frac{1+\operatorname{tg}\varphi}{\sin\gamma_{tv}}\left[\cos(f^2 - 1) + 2f\sin\gamma_{tv}\right], N \quad (3)$$

Phương trình (3) thiết lập quan hệ giữa lực cắt F_c , lực nén P và các thông số liên quan đến tính chất cơ học của đất đá, thông số hình học lưỡi cắt. Bằng các nghiên cứu thực nghiệm với lưỡi cắt PDC đã đưa ra công thức thực nghiệm quan hệ giữa lực cắt và lực đẩy mũi khoan [7]:

$$\begin{cases} P \approx 0,5F_c & \text{với góc } \gamma_t \text{ dương} \\ P = \operatorname{tg}(26^\circ + \gamma_t) & \text{với góc } \gamma_t \text{ âm} \end{cases} \quad (4)$$

Với góc γ_t âm, lưỡi khoan PDC làm việc tốt hơn với đất đá độ kiên cố cao.

Khi đẩy lưỡi cắt vào đất đá, các lực tác động lên lưỡi cắt PDC như hình 3.



Hình 3: Sơ đồ lực tác động lên lưỡi cắt PDC khi đẩy vào đất đá

Các thành phần lực tác động lên lưỡi cắt: Lực đẩy P; phản lực N, N_2 ; lực ma sát F_{ms} , F_{ms2} ;

$$\begin{cases} T_{ms} = Nf \text{ và } T_{ms2} = N_2f \\ N = S_{ep} \sigma_{iv} (1 + \operatorname{tg} \varphi) \text{ và } N_2 = S_{ep2} \sigma_{iv} (1 + \operatorname{tg} \varphi) \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó: S_{ep} , S_{ep2} – diện tích mặt tiếp xúc trước và sau lưỡi cắt, mm^2 . Lập phương trình tính toán gần đúng các diện tích S_{ep} , S_{ep2} :

$$S_{ep} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{h}{\cos \gamma_t} \right)^{3/2} \sqrt{d} \quad (6)$$

$$S_{ep2} = \frac{\pi}{2} \frac{h^{3/2} \sqrt{d}}{\sin \gamma_t \sqrt{\cos \gamma_t}} \quad (7)$$

Thiết lập phương trình cân bằng lực. Sau khi biến đổi có phương trình:

$$P_k = Z \sigma_{iv} (1 + \operatorname{tg} \varphi) \frac{\pi h^{3/2} \sqrt{d} f \sin \gamma_{iv} + \cos \gamma_{iv} \left(\frac{\sin^2 \gamma_{iv}}{\cos \gamma_{iv}} + \cos \gamma_{iv} \right)}{2 \cos^{3/2} \gamma_{iv} \sin \gamma_{iv}}, N \quad (8)$$

Rút ra

$$h = \left\{ P_k / \left[Z \sigma_{iv} (1 + \operatorname{tg} \varphi) \frac{\pi \sqrt{d} f \sin \gamma_{iv} + \cos \gamma_{iv} \left(\frac{\sin^2 \gamma_{iv}}{\cos \gamma_{iv}} + \cos \gamma_{iv} \right)}{2 \cos^{3/2} \gamma_{iv} \sin \gamma_{iv}} \right] \right\}^{2/3}, \text{ mm} \quad (9)$$

2.3 Tiêu hao công suất mũi khoan

Công suất tiêu hao đẩy tiến mũi khoan vào đất đá N_t xác định theo công thức:

$$N_t = 10^{-3} P_k v_k, \text{ kW} \quad (10)$$

Trong đó: P_k – lực đẩy lên mũi khoan, N; v_k – tốc độ khoan, m/s, $v_k = 60hZ_n\omega_q$, m/s

Ở đây: Z_n – số lưỡi cắt trên vòng ngoài cùng (vòng thứ nhất) mũi khoan; ω_q – tốc độ quay mũi khoan, rad/s. Thay vào (10) được:

$$N_t = 10^{-6} P_k h Z_n \omega_q, \text{ kW} \quad (10')$$

Công suất tiêu hao quay mũi khoan cắt đất đá xác định theo công thức:

$$N_q = 10^{-6} M_c \omega_q, \text{ kW} \quad (11)$$

Trong đó: M_c – mô men cắt đất đá, Nmm.

Do mũi khoan có thể bố trí lưỡi cắt nằm trên đường kính khác nhau (hình 4), mô men cắt tính theo công thức:

$$M_c = \frac{F_c}{2} \sum_{i=1}^n Z_i D_i, \text{ Nmm}$$

Trong đó: F_c – lực cắt của một lưỡi cắt; n – số lượng vòng bố trí lưỡi cắt; Z_i , D_i – lần lượt là số

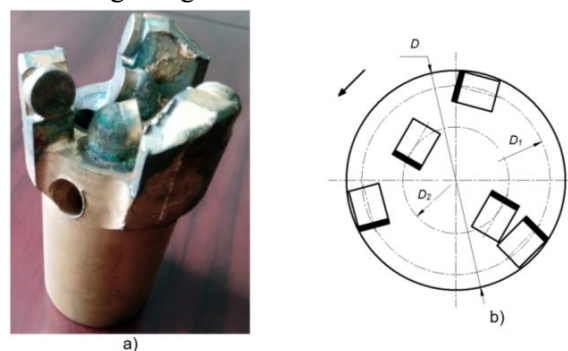
lưỡi cắt và đường kính tâm lưỡi cắt vòng thứ i .

Công thức tính công suất tiêu hao quay mũi khoan cắt đất đá:

$$N_q = 10^{-6} \frac{F_c \omega_q}{2} \sum_{i=1}^n Z_i D_i, \text{ kW} \quad (12)$$

2.4 Xác định phân bố tiêu hao công suất mũi khoan PDC đường kính nhỏ

Sử dụng các công thức (10') và (12) tính toán tiêu hao công suất của mũi khoan PDC đường kính 64 mm và 76 mm, với độ kiên cố đất đá trong khoảng làm việc hiệu quả của khoan xoay $f = 4 \div 10$ theo thang đo Protodiakonov. Bố trí lưỡi cắt như trên hình 4. Thông số mũi khoan như trong Bảng 1.



Hình 4: Mũi khoan PDC:

a) Hình ảnh mũi khoan; b) Sơ đồ bố trí lưỡi cắt

Bảng 1: Thông số các mũi khoan PDC

TT	Thông số	Đơn vị	D64	D76
1	Đường kính mũi khoan (D)	mm	64	76
2	Tổng số lưỡi cắt (Z_t)	-	5	5
3	Số lưỡi cắt vòng 1 (Z_1)	-	3	3
4	Số lưỡi cắt vòng 2 (Z_2)	-	2	3
5	Đường kính tâm lưỡi cắt vòng 1 (D_1)	mm	51	61
6	Đường kính tâm lưỡi cắt vòng 2 (D_2)	mm	34	37
7	Thông số lưỡi cắt			
-	Loại		Chốt trụ PDC	
-	Đường kính (d)	mm	13	15
-	Góc cắt (β_c)	rad/độ	1,57/90	
-	Góc trước (γ_t)	rad/độ	-0,174/10	
-	Góc sau (γ_s)	rad/độ	0,174/10	
-	Góc lệch (φ_k)	rad/độ	0,087/5	

Đặc tính đất đá tương ứng trình bày trong bảng 2 [4].

Bảng 2: Đặc tính đất đá

Độ kiên cố f	4	6	8	10
Ứng suất ép vỡ trượt σ_{tv} , MPa	430	600	788	1123

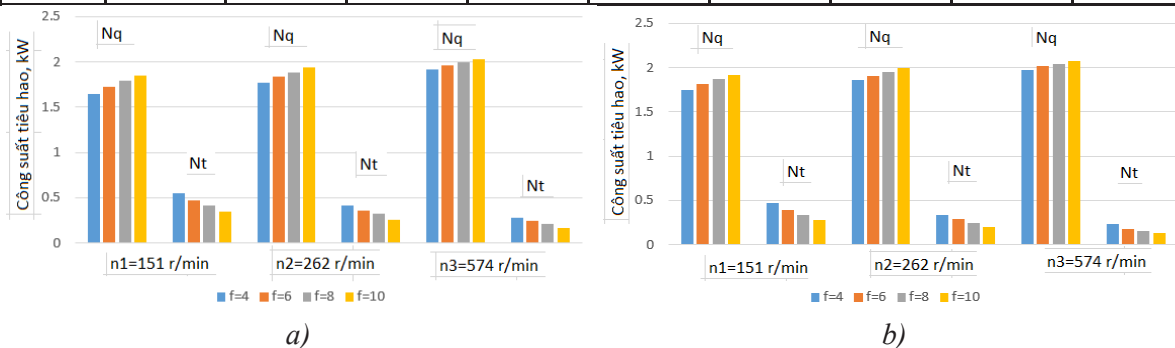
Tiến hành tính toán phân bố công suất với các dải thông số: Công suất khoan của mũi

khoan (bao gồm tiêu hao công suất quay mũi khoan và công suất đẩy tiến mũi khoan) 2,2 kW; tần số quay mũi khoan $151 \div 571$ r/min, tương đương tốc độ quay $15,8 \div 59,7$ rad⁻¹. Kết quả tính toán trình bày trong bảng 3.

Phân bố công suất thể hiện bằng đồ thị như trên hình 5.

Bảng 3: Phân bố tiêu hao công suất mũi khoan

Độ kiên cố f	Tần số quay mũi khoan; r/min								
	151			262			571		
	N_q , kW	N_t , kW	$P_{k,N}$	N_q , kW	N_t , kW	$P_{k,N}$	N_q , kW	N_t , kW	$P_{k,N}$
Mũi khoan D64									
4	1,99	0,21	9500	2,04	0,16	5620	2,10	0,10	2660
6	2,05	0,15	9800	2,10	0,10	5780	2,13	0,07	2700
8	2,09	0,11	10000	2,12	0,08	5850	2,15	0,05	2730
10	2,11	0,09	10100	2,14	0,06	5900	2,16	0,04	2740
Mũi khoan D76									
4	2,03	0,17	8350	2,08	0,12	4925	2,12	0,08	2130
6	2,08	0,12	8550	2,12	0,08	5030	2,15	0,05	2340
8	2,12	0,08	8700	2,14	0,06	5080	2,17	0,03	2360
10	2,14	0,06	8800	2,15	0,05	5100	2,18	0,02	2370



Hình 5: Biểu đồ tiêu hao công suất của mũi khoan: a) Mũi $D = 64$ mm; b) Mũi $D = 76$ mm

3 Kết quả và thảo luận

Qua phân tích kết quả tính toán phân bố tiêu hao công suất mũi khoan PDC đường kính loại nhỏ $D = 64$ mm và $D = 76$ mm, với công suất tiêu hao của mũi khoan là 2,2 kW, trên cơ sở các phương trình quan hệ giữa lực đẩy mũi khoan với vận tốc quay, độ kiên cố đất đá, thông số hình học của mũi khoan và lưỡi cắt cho thấy:

- Đối với mũi khoan PDC $D = 64$ mm và $D = 76$ mm, công suất tiêu hao phần lớn để quay mũi khoan cắt đất đá, lên đến 99,1%.

- Công suất để quay cắt đất đá tăng khi độ kiên cố tăng. Độ kiên cố tăng từ $f = 8$ lên $f = 10$: Với mũi khoan D64 công suất tăng từ 1,99 lên 2,11 kW (bằng 90,5% và 95,9% công suất tiêu hao của mũi khoan) khi $n = 151$ r/min và tăng từ 2,10 lên 2,16 kW (bằng 95,5% và 98,2% công suất tiêu hao của mũi khoan) khi $n = 571$ r/min; với mũi khoan D76, công suất tăng từ 2,03 lên 2,14 kW (bằng 92,3% và 97,3% công suất tiêu hao của mũi khoan) khi $n = 151$ r/min và tăng từ 2,12 lên 2,18 kW (bằng 96,36% và 99,1% công

suất tiêu hao của mũi khoan) khi $n = 571$ r/min;

- Công suất để đẩy tiến mũi khoan giảm khi độ kiên cố tăng. Công suất để đẩy tiến mũi khoan không lớn, chiếm 1,8 đến 9,5% đối với mũi khoan D64 và 0,9 đến 7,7% với mũi khoan D76;

- Với cùng độ kiên cố đất đá, với cùng một tần số quay mũi khoan, khi đường kính mũi khoan tăng, công suất để quay mũi khoan tăng, ngược lại công suất đẩy tiến mũi khoan giảm.

4 Kết luận

1) Đối với mũi khoan xoay lưỡi cắt trụ tròn PDC, tiêu hao công suất chủ yếu để quay mũi

khoan cắt đất đá: Khi độ kiên cố tăng, công suất để quay mũi khoan tăng, trong khi công suất để đẩy tiến mũi khoan giảm.

2) Kết quả nghiên cứu có thể tham khảo khi thiết kế khoan xoay dùng mũi khoan PDC loại nhỏ hoặc lựa chọn chế độ khoan phù hợp với điều kiện biến đổi độ kiên cố đá.

3) Quá trình tác động giữa mũi khoan xoay lưỡi cắt trụ tròn PDC 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 mũi khoan và sử dụng khoan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Tạ Ngọc Hải, Vũ Đức Quảng và nnk.** Phân bố tiêu hao công suất mũi khoan quay PDC đường kính nhỏ dùng khoan tháo khí, thoát nước trong mỏ than hầm lò. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 1-2022, tr. 56-60.
2. **Abdul-Rami A.M. et al.** Investigation on the Effect of Changing Rotary Speed and Weight bit on PDC Cutter Wear. *Journal of Petroleum Exploitation and Production Technology*, 2019.
3. **Han Xiaoming et al.** Influence of Polycrystalline Diamond Compact bit Geometric Parameters on Drilling Performance during Gas Drainage Borehole in Soft Coal Seam. *Advanced Mechanical Engineering*, Vol. 10 (I), 2018, PP.1-9.
4. **Буткин В.Д., Демченко И.И.** Буровые машины и инструменты. *Сибирский федеральный университет, Красноярск*, 2012.
5. **Гринько Д.А.** Метод расчёта и поддержания рациональных режимных параметров бурильной машины мехатронного класса. *Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, Южно-Российский государственный технический университет имени м.и. Платова, Новочеркасск*, 2015.
6. **Лемешко М.А., Волков Р.Ю.** Анализ вращательного бурения. *Молодой учёный* № 21 (101), 2015, С. 179-184.
7. **Нескромных В.В.** Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. *Сибирский федеральный университет, Красноярск*, 2012.