



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

Tạ Ngọc Hải

Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ

Vũ Đức Quảng, Trần Hà Thương,

Dương Tiến Thành, Phùng Khắc Sỹ

Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ- Vinacomin

Email: djemore20@gmail.com

TÓM TẮT

Trong quá trình khoan, mũi khoan tác động vào 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 cắt đá và công suất đẩy mũi khoan. Để phục vụ tính toán, thiết kế máy khoan, mũi khoan quay và cả lựa chọn máy khoan, mũi khoan, chế độ khoan hợp lý phù hợp với đặc tính 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 đá.

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

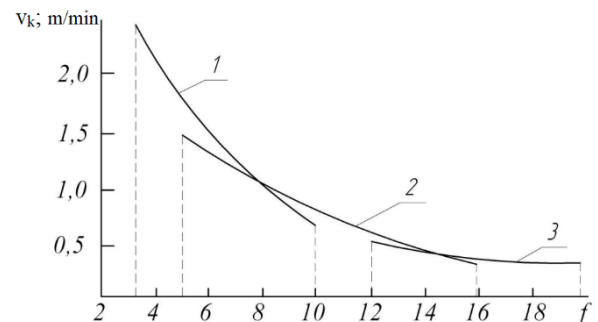
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

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 lắp neo, lắp đặt các thiết bị trong đường lò... Quá trình phá đá khi khoan là quá trình phức tạp, phụ thuộc vào cơ chế phá đá của mũi khoan: Cắt, ép vỡ, ép trượt, đập vỡ, nghiền...; Loại máy khoan: khoan xoay, khoan xoay- đập, khoan đập- xoay, khoan đập... [3]. Với bất kỳ máy khoan, mũi khoan, quá trình phá đá là kết hợp của một số cơ chế phá hủy đá. Tuy nhiên, đối với mỗi loại máy khoan có cơ chế phá đá 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 đá và đẩy mũi khoan ép vỡ 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 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. Nghiên cứu tiêu hao công suất của loại mũi khoan này là vấn đề cần quan tâm.

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 đá có độ bền cơ không cao. Qua các nghiên cứu của nhiều tác giả, khoảng áp dụng hiệu quả của các loại máy khoan theo thang đo độ bền cơ của Protodiakonov M.M của đá là: Khoan xoay $f=(3÷10)$; khoan xoay- đập $f=(5÷16)$; khoan đập- xoay $f=(12÷20)$. như trên hình H.1 [4].



H.1. Khoảng áp dụng hiệu quả máy khoan

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

Tác động của lưỡi cắt mũi khoan xoay dạng cánh lên đá được nhiều tác giả đã nghiên cứu từ lâu, còn tác động của lưỡi cắt trụ tròn gắn hợp kim cứng PDC (lưỡi cắt PDC) mới được một số tác giả

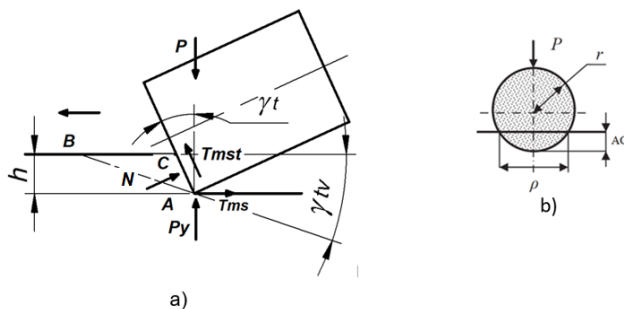
công bố trong thời gian gần đây. A.M. Abdul-Rami et al. đã nghiên cứu ảnh hưởng của thay đổi tốc độ quay và lực đẩy mũi khoan đến độ mòn lưỡi cắt PDC. Phương pháp nghiên cứu là thực nghiệm, kết quả đã đưa ra mối quan hệ tốc độ quay, lực đẩy mũi khoan đến độ mòn lưỡi cắt PDC [1]. Trong công trình [2], Han Xiaoming et al, 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 Lemesko M.A. [5] 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 [3] 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 Neskromnukh v.v. [5]. Trong công trình 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 giữa lực đẩy và lực cắt lưỡi cắt PDC, thiết lập phương trình quan hệ này. Tuy nhiên, trong công trình chưa nêu phương pháp thiết lập phương trình 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 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 phải được nghiên cứu: Lực đẩy lưỡi cắt, lực cắt, chiều sâu lát cắt. Sử dụng phương pháp nêu trong [1], [2], [6], xây dựng phương trình cho lưỡi cắt PDC.

Khi cắt đá, các lực tác động lên lưỡi cắt PDC như sau (hình H.2).



H.2. Sơ đồ lực tác động lên lưỡi cắt PDC khi cắt

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; γ_t – Góc trước lưỡi cắt. Chiều sâu lát cắt là h.

$$N = 0,5\pi\sqrt{dh^3}\sigma_{tv}\frac{(1+tg\varphi)}{\sin\gamma_{tv}}; \text{mm}^2; N \text{ [6] (1)}$$

Trong đó: σ_n - Độ bền trượt vỡ đá, MPa; $tg\varphi$ - 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.

$$F_{mst} = Nf; F_{ms} = P_y f \text{ (2)}$$

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:

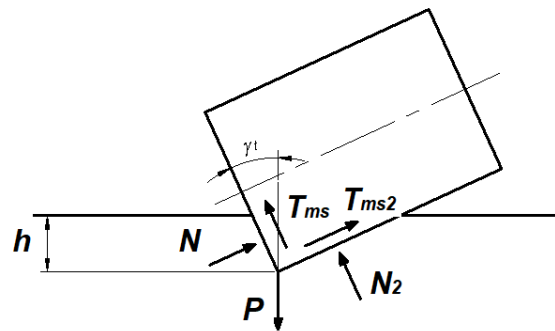
$$F_c = Pf - 0,5\pi\sqrt{dh^3}\sigma_{tv}\frac{(1+tg\varphi)}{\sin\gamma_{tv}}[\cos(f^2 - 1) + 2f\sin\gamma_t]; N \text{ (3)}$$

Phương trình (3) đã thiết lập cho quan hệ giữa lực cắt F_c ; lực nén P và các thông số liên quan đến tính chất cơ học của 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 [6]:

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

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

Khi đẩy lưỡi cắt vào đá, có các lực tác động lên lưỡi cắt PDC như sau (hình H.3).



H.3. Sơ đồ lực tác động lên lưỡi cắt PDC khi đẩy vào đá

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

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

Trong đó: σ_{tv} - Ứng suất ép vỡ trượt của đá, MPa; 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} có:

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

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

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

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

Rút ra

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

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:

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

Trong đó: P_k - Lực đẩy lên mũi khoan, N; v_k - Tốc độ khoan, m/s.

$$v_k = 60 h Z_n \omega_q; m/s$$

Trong đó: Z_n - số lưỡi cắt trên vòng ngoài cùng (vòng thứ 1) mũi khoan; ω_q - Tốc độ quay mũi khoan, rad/s, Có

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

Trong đó: P_k - Lực đẩy lên mũi khoan, N; ω_q - chiều sâu lưỡi cắt, mm.

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

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

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 H.4). Mô men cắt tính theo công thức:

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

Trong đó: F_c - Lực cắt của 01 lưỡi cắt; n - Số lượng vòng bố trí lưỡi cắt; Z_i - Số lưỡi cắt trên vòng thứ 1 ngoài cùng; D_i - Đường kính tâm lưỡi cắt vòng thứ i , mm.

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

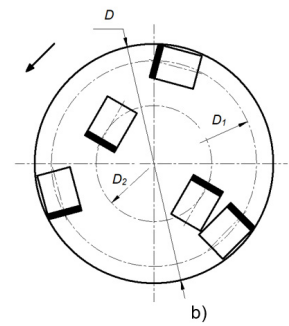
$$N_q = 10^{-6} \frac{F_c \omega_q}{2} \sum_{i=1}^n Z_i D_i; kW \quad (12)$$

2.3. 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 bền đá trong khoảng làm việc hiệu quả của khoan xoay $f = (4 \div 10)$ theo thang đo Protodiakonov M.M. Bố trí lưỡi cắt như trên hình H.4.



a)



b)

H.4. Mũi khoan PDC

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

Thông số mũi khoan như trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số mũi khoan PDC D64 và D76

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: Z1	-	3	3
4	Số lưỡi cắt vòng 2: Z2	-	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
Thông số lưỡi cắt				
-Loại				
			Chốt trụ PDC	
-Đường kính d		mm	13	15
7	-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_c	rad/(độ)	0,087/5	

Đặc tính đất đá tương ứng trình bày trong Bảng 2 [3].

Bảng 2. Đặc tính đất đá

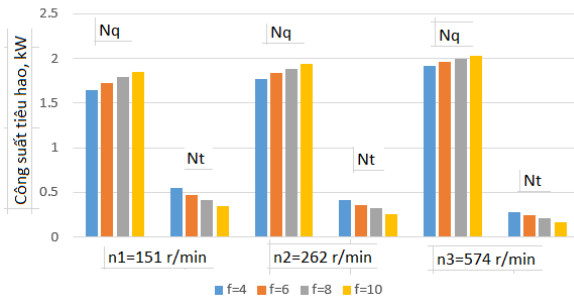
Độ bền đá f	4	6	8	10
Ứng suất ép vỡ trượt σ_x ; MPa (N/mm ²)	430	600	788	1123

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÷571) r/min, tương đương tốc độ quay (15,8÷59,7)rad⁻¹. Kết quả tính toán trình bày trong Bảng 3.

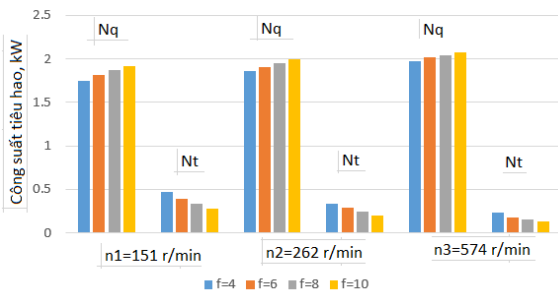
Phân bố công suất thể hiện bằng đồ thị như trên hình H.5.

Bảng.3. Phân bố tiêu hao công suất mũi khoan

Độ kiên cố f	Tần số quay mũi khoan; r/min								
	151			262			571		
	Mũi khoan D64								
	N_q, kW	N_r, kW	P_k, N	N_q, kW	N_r, kW	P_k, N	N_q, kW	N_r, kW	P_k, N
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



a)



b)

H.5. Biểu đồ tiêu hao công suất của mũi khoan

a) D= 64 mm; b) 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 đá, thông số hình học của mũi khoan và lưỡi cắt cho thấy:

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

-Tiêu hao công suất để quay cắt đá tăng khi độ kiên cố tăng. Độ kiên cố tăng từ f=8 lên f=10: với mũi khoan D64, tăng từ 1,99 kW lên 2,11 kW (90,5% lên 95,9%) công suất tiêu hao của mũi khoan khi n=151 r/min và tăng từ 2,1 kW lên 2,16 kW (95,5% lên 98,18%) khi n=571 r/min; với mũi khoan D76, tăng từ 2,03 kW lên 2,14 kW (92,27% lên 97,27%) công suất tiêu hao của mũi khoan khi n=151 r/min và tăng từ 2,12 kW tăng lên 2,18 kW (96,36% lên 99,1%) khi n=571 r/min;

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

-Với cùng độ kiên cố đất đá, với cùng một tần số quay mũi khoan thì tiêu hao công suất quay mũi khoan tăng, ngược lại tiêu hao 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 mũi khoan chủ yếu để quay mũi khoan cắt đá, công suất tiêu hao quay mũi khoan tăng khi độ kiên cố tăng, trong khi công suất tiêu hao 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. 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.
2. 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.
3. Буткин В.Д., Демченко И.И. (2012), Буровые машины и инструменты. Сибирский федеральный университет, Красноярск.
4. Гринько Д.А. (2015), 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
5. Лемешко М.А., Волков Р.Ю. (2015), Анализ вращательного бурения, Молодой учёный №21(101)-2015, стр. 179÷184.
6. Нескромных В.В. (2012), Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ, Сибирский федеральный университет, Красноярск.

POWER COSUMPTION DISTRIBUTION OF SMALL DIAMETER POLYCRYSTALLINE DIAMOND COMPACT BIT FOR DRILLING OF GAS AND WATER DRAINING BOREHOLES IN THE UNDERGROUND COAL MINES

**Ta Ngoc Hai, Vu Duc Quang, Tran Ha Thuong,
Duong Tien Thanh, Bui Khac Sy**

ABSTRACT

During the drilling, the drill bit impacts the rock, creating holes to serve the technological process in mining, industrial and civil construction, etc. The power consumed in drilling is spent to the rotation and the force of the drill bit. In order to design of rotary drilling machines and also to select drilling machines, drill bits, reasonable drilling modes suitable for rock properties, it is necessary to study the power consumption for each drilling process. This paper introduces some research results on power consumption distribution of small diameter polycrystalline diamond compact bit during the rock drilling.

Keyword: rotary drill, power consumption distribution, PDC bit, coal underground mine.

Ngày nhận bài: 25/7/2021;

Ngày gửi phản biện: 28/7/2021;

Ngày nhận phản biện: 5/8/2021;

Ngày chấp nhận đăng: 10/9/2021.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.