

PHÁT TRIỂN MỘT PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ LÀM VIỆC CỦA THIẾT BỊ MỞ RỘNG ĐÁY CỌC NHỒI PHÙ HỢP VỚI TỪNG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT

Trần Thị Hồng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG-HCM

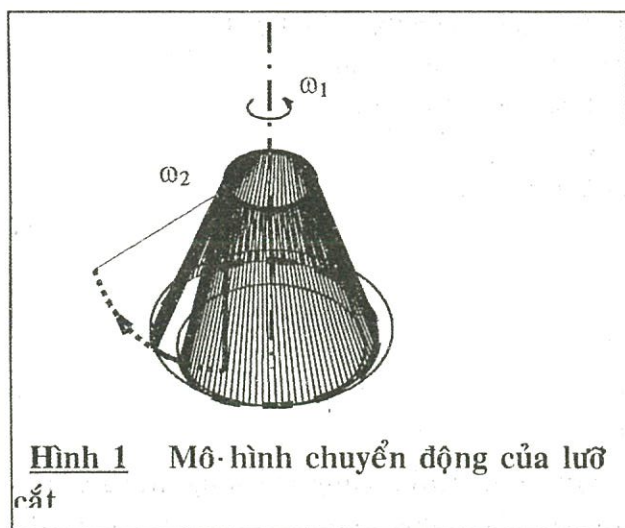
(Bài nhận ngày 25 tháng 11 năm 2002)

TÓM TẮT: Sự ổn định của đáy hố cọc mở rộng phụ thuộc vào các thông số làm việc của thiết bị như vận tốc quay của trục chính ω_1 và vận tốc cắt đất của lưỡi cắt ω_2 cũng như các thông số kết cấu như: đường kính cọc d , đường kính đáy cọc mở rộng D , chiều cao đáy mở rộng h và góc mở rộng đáy α .

Trong bài báo này, một mô hình toán với các mối quan hệ giữa các thông số làm việc và các tính chất của đất đã được thiết lập. Mô hình này đã cho chúng ta một phương pháp tính toán chính xác mối quan hệ giữa các thông số vận hành, thông số kết cấu và các tính chất của đất. Các điều kiện biên như điều kiện quá tải và các giá trị giới hạn của α , ω_1 , ω_2 được xác định. Các nguyên nhân gây ra sự quá tải của máy cũng được xác định. Bài báo đã chỉ ra sự quá tải của thiết bị gây ra do lực cản cắt của đất và mối quan hệ giữa đường kính cọc và công suất thiết bị là một hàm số mũ.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ:

Sự ổn định của đáy hố khoan mở rộng phụ thuộc vào vận tốc quay của thiết bị và vận tốc cắt đất của lưỡi cắt. Vấn đề ổn định vách hố khoan phụ thuộc vào các thông số kết cấu như: đường kính cọc d , đường kính đáy mở rộng D , chiều cao đoạn đáy mở rộng h , góc mở rộng đáy α , cũng như các thông số làm việc của thiết bị như tốc độ quay của trục chính ω_1 hay là tốc độ cắt đất của lưỡi cắt ω_2 (M. Kanaoka et al, 2000).



Hình 1 Mô hình chuyển động của lưỡi cắt

Việc nghiên cứu các thông số vận hành của thiết bị khoan mở rộng đáy, phù hợp với từng loại đất thông qua việc mô hình hóa trên máy tính được đánh giá cao (T. T. Hong, 2001). Nó đưa ra được một phương pháp tính toán chính xác mối quan hệ giữa các thông số vận hành, thông số kết cấu và loại đất. Bài báo này tập trung vào việc thiết lập mối liên quan giữa các

tính chất đất, các thông số kết cấu cũng như các thông số vận hành của thiết bị. Quá trình mô hình hóa các mối quan hệ này được giả thiết cho nhiều loại đất khác nhau.

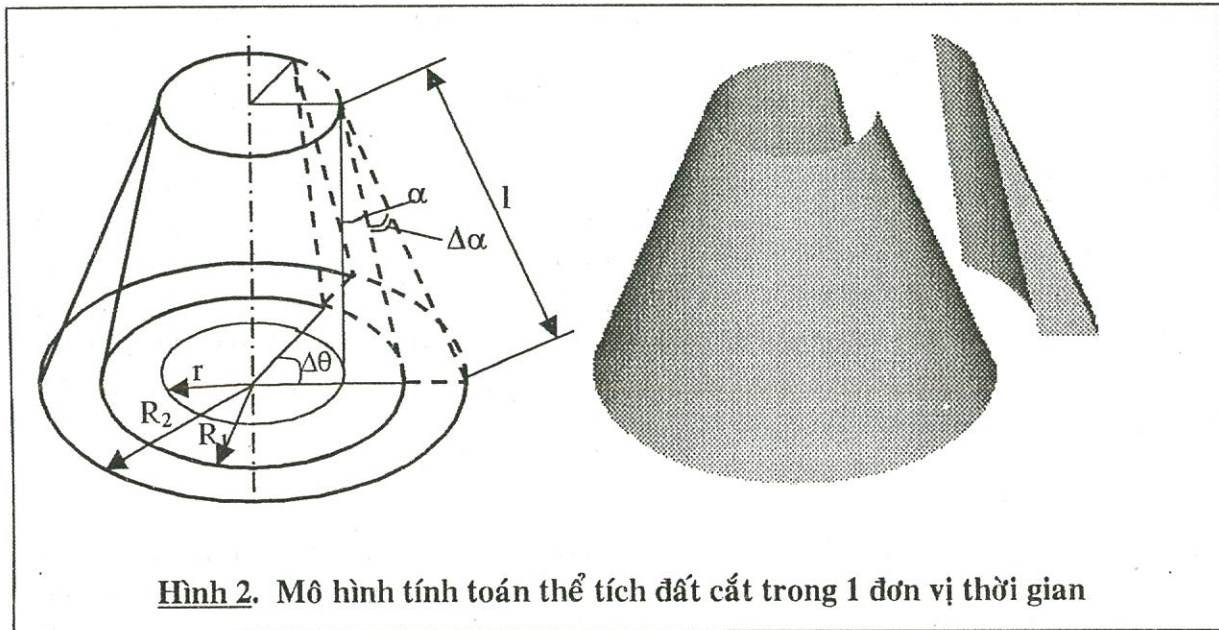
2. MỐI QUAN HỆ GIỮA NĂNG SUẤT, ĐẤT VÀ CÁC THÔNG SỐ LÀM VIỆC:

Năng suất của thiết bị:

Trong thực tế, đầu khoan mở rộng đáy có hai chuyển động chính: chuyển động quay xung quanh trục truyền chính ký hiệu là ω_1 và chuyển động cắt đất của các cánh cắt gọi là ω_2 .

Đây chính là hai thông số vận hành chính của thiết bị, ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất và công suất của thiết bị. Nó phải được thay đổi theo từng điều kiện địa chất để cho thiết bị không bị quá tải, không bị bó và không làm mất ổn định của hố khoan.

Để tính năng suất cắt đất của thiết bị tại bất kỳ vị trí nào với góc mở rộng đáy là α , khối đất cắt ra sẽ được mô hình hóa như hình 2, trong đó:



Hình 2. Mô hình tính toán thể tích đất cắt trong 1 đơn vị thời gian

- α : góc mở rộng của lưỡi cắt tại thời điểm tính năng suất (rad).
- $\Delta\alpha$: hiệu số góc mở rộng lưỡi cắt sau một vòng quay của trục chính (rad).
- R_1 : bán kính đáy mở rộng ở vòng quay trước đó của trục chính.
- R_2 : bán kính đáy mở rộng tại thời điểm hiện tại của trục chính.
- l : chiều dài lưỡi cắt.

Năng suất cắt đất Q (m^3/s) trong một đơn vị thời gian sẽ là:

$$Q = \frac{V_{\pi}}{T_1} = \frac{h\omega_1(R_2 - R_1)(R_2 + R_1 + r)}{6} \tag{1}$$

Thay thế $\sin\alpha = \alpha$; $h = l \cdot \cos\alpha$

$$Q = \frac{\pi\omega_2 l^2 \cos\alpha}{3} \left[3r + 2l \left(\alpha + \frac{\pi\omega_2}{\omega_1} \right) \right] \tag{2}$$

Năng suất cắt đất thay đổi tùy theo góc mở lưỡi cắt α . Khi α càng mở rộng, năng suất cắt đất càng tăng. Nếu hàm mục tiêu về năng suất được xây dựng tại vị trí α_{max} khi đó Q sẽ là năng suất lớn nhất có thể đạt được trong quá trình cắt đất và kết quả sau cùng là thời gian mở rộng đáy sẽ lớn hơn giá trị thật rất nhiều. Để giảm sai lệch này, ta chọn vị trí khảo sát tại giá trị trung bình của góc mở $\alpha_{tb} = \alpha_{max}/2$.

Công suất của thiết bị:

Chuyển động quay tròn của trục chính được truyền động từ động cơ chính, chuyển động mở ra của lưỡi cắt được thực hiện thông qua hệ thống truyền động thủy lực trong đó dầu áp được

cung cấp từ bơm dầu cũng được dẫn động bởi động cơ chính. Công suất cần thiết cho sự vận hành của hai cơ cấu sẽ bao gồm hai thành phần:

Công suất quay trục chính :

$$N_1 = \int_0^l \frac{dF_t \cdot (r + a_1 \cdot \sin \alpha) \omega_1}{\eta_1 1000} \quad [3]$$

Trong đó, F_t là lực tác dụng vào lưỡi cắt theo phương tiếp tuyến, r là bán kính đáy nhỏ, η_1 hiệu suất truyền động của cơ cấu, ω_1 vận tốc góc chuyển động quay của trục chính.

Lực tiếp tuyến F_t trong phương trình trên gồm có 2 thành phần, một là lực cản cắt thuần túy F_1 theo phương tiếp tuyến với lưỡi cắt và F_b lực cản của bùn khoan.

$$F_t = F_1 + F_b \quad [4]$$

Lực cản cắt thuần túy F_1 theo phương tiếp tuyến được tính theo lý thuyết Dombrowski, còn lực cản bùn khoan F_b tại đầu cắt đang quay với vận tốc n_1 , được tính toán theo công thức Skundin.

Như vậy công suất quay trục chính được tính:

$$N_1 = \frac{\omega_1}{\eta_1 1000} \left[\begin{array}{l} K_1 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(\ell^2 r + \frac{2}{3} \ell^3 \sin \alpha \right) + \frac{1}{2} K_3 \rho_h (2r + \ell \cdot \sin \alpha)^* \\ \omega_1^2 \left(r^3 \ell + r \ell^3 \sin^2 \alpha + \frac{3}{2} r^2 \ell^2 \sin \alpha + \frac{1}{4} \ell^4 \sin^3 \alpha \right) \end{array} \right] \quad [5]$$

Trong đó, $K_3 = 0.2$ là hệ số cản bề mặt của lưỡi cắt; ρ_h là tỷ trọng bùn khoan và K_1 là hệ số cản cắt thuần túy của Dombrowski.

Công suất mở rộng cánh:

$$N_2 = \int_0^l \frac{dF_p \cdot a_1 \cdot \omega_2}{\eta_2 1000} = \frac{K_1 K_2 \pi \ell^2 \omega_2^2}{\eta_2 \omega_1 1500} \quad [6]$$

Trong đó, F_p là tổng lực tác dụng vào lưỡi cắt theo phương pháp tuyến, η_2 là hiệu suất truyền động của cơ cấu; K_2 là hệ số tỷ lệ giữa lực cản cắt tiếp tuyến và pháp tuyến.

Công suất vận hành chung cho cả thiết bị:

$$N = N_1 + N_2 \quad [7]$$

Trong đó, N_1 và N_2 phụ thuộc rất lớn vào các thông số vận hành và thông số kết cấu của thiết bị, với cùng một chế độ vận hành trên một thiết bị, khi lưỡi cắt càng mở rộng thì công suất vận hành càng lớn.

$$N = \frac{\omega_1}{\eta_1 1000} \left[\begin{array}{l} K_1 \pi \frac{\omega_2}{\omega_1} \left(\ell^2 r + \frac{2}{3} \ell^3 \sin \alpha \right) + \frac{1}{2} K_3 \rho_h (2r + \ell \cdot \sin \alpha)^* \\ \omega_1^2 \left(r^3 \ell + r \ell^3 \sin^2 \alpha + \frac{3}{2} r^2 \ell^2 \sin \alpha + \frac{1}{4} \ell^4 \sin^3 \alpha \right) \end{array} \right] + \frac{K_1 K_2 \pi \ell^2 \omega_2^2}{\eta_2 \omega_1 1500} \quad [8]$$

Công suất vận hành phải được tính toán tại vị trí lớn nhất của góc α trong từng trường hợp.

3. CÁC ĐIỀU KIỆN BIÊN:

Để thiết bị có thể hoạt động ngay cả khi công suất vận hành đạt giá trị lớn nhất, đồng thời không để xảy ra tình trạng sụp đất trong quá trình khoan, một số điều kiện biên sau đây phải được xét đến. Công suất động cơ của máy cơ sở phải lớn hơn hoặc bằng công suất vận hành chung cho cả thiết bị ngay cả trong trường hợp công suất vận hành này tăng đến giá trị

lớn nhất trong quá trình khoan mở rộng đáy đến kích thước cho trước. Điều kiện này được gọi là điều kiện quá tải. Momen xoắn sinh ra trong quá trình khoan phải nhỏ hơn giá trị momen xoắn giới hạn tính theo lý thuyết cơ học đất trong trường hợp ứng suất tiếp đạt đến giá trị tới hạn τ_f ([13]). Để đảm bảo an toàn trong việc truyền tải trọng, đường kính đáy mở rộng của hố khoan không được lớn hơn ba lần đường kính cọc.

Công suất vận hành chung cho cả thiết bị phụ thuộc vào góc mở lưỡi cắt α và đạt giá trị lớn nhất tại vị trí góc mở α lớn nhất. Để thiết bị có thể hoạt động được ngay cả trong trường hợp công vận hành đạt đến giá trị cực đại, công suất cần thiết N_F của động cơ cho hoạt động chung của thiết bị phải lớn hơn hay bằng công suất vận hành N_{max} như nêu trên: $N(\alpha_{max}) < N_F$, tức là:

$$N(\alpha_{max}) = \int_0^l \frac{dF_t \cdot (r + a_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \omega_1}{\eta_1 \cdot 1000} + \int_0^l \frac{dF_p \cdot a_1 \cdot \omega_2}{\eta_2 \cdot 1000} \leq N_F \quad [9]$$

Để hố khoan không bị sập trong quá trình khoan, momen xoắn sinh ra trong quá trình khoan M_x phải nhỏ hơn giá trị momen xoắn giới hạn chống sập của đất M_{gh} tính theo lý thuyết cơ học đất khi ứng suất tiếp tuyến đạt đến giá trị giới hạn τ_f .

$$M_x < M_{gh} \quad [10]$$

Theo điều kiện cân bằng momen từ phía cơ học đất, ta có:

$$M_{gh} = M_c + M_t + M_d \quad [11]$$

Trong đó, momen kháng mặt bên được tính: $M_c = A_s \cdot \tau_f \cdot d_a/2$ [12]

- ♦ A_s là diện tích mặt bên;
- ♦ τ_f : cường độ chống cắt khi đất ở vị trí bất kỳ, có thể được xác định theo công thức:

$$\tau_f = C + [\sigma - p_a + \lambda (p_a - p_u)] \cdot \text{tg} \varphi \quad [13]$$

Ở đây, p_a là áp lực không khí trong lỗ rỗng đất; p_u là áp lực nước trong lỗ rỗng; λ là hệ số kể đến sự ảnh hưởng mức độ không bão hòa đất (khi ở trạng thái khô $\lambda = 0$, khi bão hòa hoàn toàn).

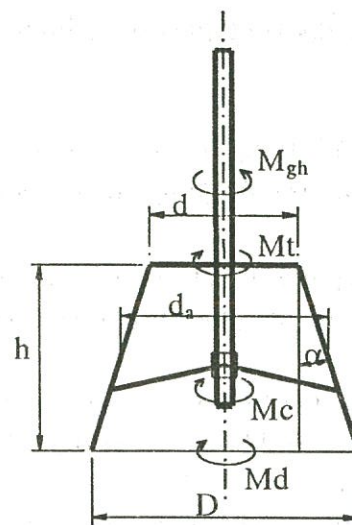
M_t : momen kháng ở mặt trên, trong trường hợp khoan mở rộng đáy thì $M_t = 0$

M_d : momen kháng ở đáy dưới và được tính như sau:

$$M_d = \pi \tau_f (2/3) (D^3/4) = 4\pi \tau_f D^3/3 \quad [14]$$

Như vậy, điều kiện biên về giới hạn ổn định của khối đất ở đáy được trình bày:

$$M_{gh} = \pi \tau_f \left[\frac{1}{2} h \left(r + \frac{D}{2} \right) (2r + h \sin \alpha) + \frac{4D^3}{3} \right] \geq M_x \quad [15]$$



Hình 3. Mô hình tính toán momen xoắn

Điều kiện biên thứ ba về giới hạn khả năng truyền lực, đường kính đáy cọc mở rộng không được lớn hơn ba lần đường kính cọc: $D \leq 3d$ [16]

4. MÔ HÌNH TOÁN:

Mô hình toán chỉ mối quan hệ giữa thiết bị và tính chất đất gồm có các hàm mục tiêu về năng suất Q_0 và công suất. Việc tối ưu hóa chúng đối với từng loại đất được trình bày theo mô hình toán sau:

$$0.8Q_0 \leq Q \leq 1.2Q_0$$

$$\frac{\partial N}{\partial(\alpha, \omega_1, \omega_2, n_1, d, D)} = 0$$

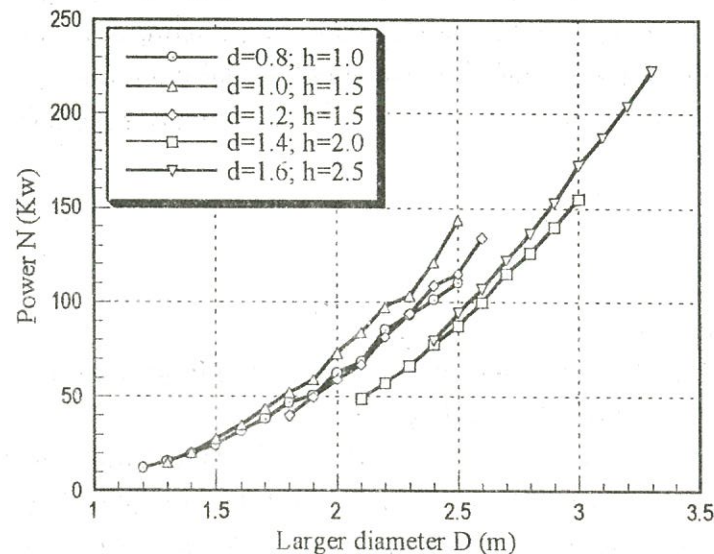
Các điều kiện biên:

$$N(\alpha_{max}) < N_F ; M_x(\alpha_{max}) < M_{gh} ; D \leq 3d$$

Mối quan hệ giữa các thông số kết cấu của cọc mở rộng đáy d, D, h, α , các thông số làm việc $n_1, \omega_1, \omega_2, t$, và tính chất của đất được thể hiện hệ phương trình phi tuyến trên. Như vậy, đòi hỏi ta phải giải mô hình toán phi tuyến.

5. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT:

♦ Kết quả tính toán đối với vùng đất Củ Chi, thành phố Hồ Chí Minh được trình bày trong bảng 1. Các tính toán này được thực hiện với các loại cọc nhồi thông dụng nhất ở Việt Nam:



Hình 4. Mối quan hệ giữa D và N

Bảng 1: Kết quả tính toán đối với đất Củ chi, thành phố Hồ Chí Minh

d (m)	D (m)	h (m)	α (°)	n_1	$\omega_2 \times 10^{-3}$ (rad/s)	N (KW)	t (s)
0.8	1.2	1.0	11.30	7	0.33	11.8	584
0.8	1.3	1.0	14.03	7	0.41	15.8	584
0.8	1.4	1.0	16.69	7	0.47	19.6	612
0.8	1.5	1.0	19.29	7	0.55	24.7	610
0.8	1.6	1.0	21.80	7	0.65	31.9	581
1.0	1.6	1.5	11.30	7	0.33	35.0	584
1.0	1.7	1.5	13.13	7	0.39	43.5	580
1.0	1.8	1.5	14.93	7	0.44	52.0	584
1.0	1.9	1.5	16.69	7	0.47	59.1	612
1.0	2.0	1.5	18.43	7	0.55	72.6	583
1.2	1.8	1.5	11.30	7	0.33	40.1	584
1.2	1.9	1.5	13.13	7	0.39	49.6	580
1.2	2.0	1.5	14.93	7	0.44	59.0	584
1.2	2.1	1.5	16.69	7	0.47	66.7	612
1.2	2.2	1.5	18.43	7	0.55	81.6	583
1.4	2.1	2.0	9.92	7	0.21	48.7	885
1.4	2.2	2.0	11.30	7	0.22	57.3	895
1.4	2.3	2.0	12.68	7	0.24	66.1	908
1.4	2.4	2.0	14.03	7	0.27	77.1	900
1.4	2.5	2.0	15.37	7	0.29	87.4	909
1.6	2.5	2.5	10.20	7	0.20	94.0	884
1.6	2.6	2.5	11.30	7	0.22	106.7	895
1.6	2.7	2.5	12.40	7	0.24	122.2	889
1.6	2.8	2.5	13.49	7	0.26	136.3	899
1.6	2.9	2.5	14.57	7	0.28	152.9	898

$d = (0.8 \text{ to } 1.6) \text{ m}$; $D \leq 3d$; và $h \approx (0.8 \text{ to } 1) D$. Việc tính toán được thực hiện cho các loại đất ở 5 quận thuộc thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả tính toán được trình bày ở đây là các kích thước của cọc khoan mở rộng đáy: đường kính cọc d , đường kính đáy mở rộng D , chiều cao đáy mở rộng h , và góc mở rộng đáy α . Các thông số vận hành thu được từ tính toán là tốc độ quay của trục truyền chính n_1 , vận tốc góc của lưỡi cắt ω_2 , công suất cần thiết tối thiểu của thiết bị và thời gian cắt đất. Say khi giải các phương trình này,

một số các kết luận được rút ra như sau:

- ♦ Góc mở rộng đáy α phụ thuộc vào các tính chất của đất và các kích thước hình học của đáy mở rộng (đường kính cọc d , đường kính đáy cọc D , và chiều cao đáy mở rộng h), nhưng cũng chỉ giới hạn từ $\alpha = 10^\circ \div 24^\circ$. Giá trị α_{\max} đòi hỏi một công suất rất lớn, như vậy α bị giới hạn trước hết là bởi công suất của máy cơ sở hoặc bởi momen cắt đất của thiết bị.
- ♦ Tốc độ vòng quay của trục chính n_1 không thay đổi trong suốt quá trình tính toán. Điều này khá hợp lý vì trong quá trình tính toán ta chỉ thực hiện với các lớp đất cứng cho nên các tính chất của đất như lực dính C_u , góc ma sát trong φ_u , độ ẩm, trọng lượng riêng, độ sệt, v.v... thay đổi rất ít, và dẫn đến chế độ làm việc của thiết bị thay đổi rất ít. Giá trị $n_1=7$ v/ph thu được trong tính toán này rất phù hợp với những giá trị mà một số công ty nền móng trên thế giới quy định $n_1=4 \div 10$ v/ph.
- ♦ Tốc độ cắt ω_2 thay đổi $\omega_2=(0.21+0.81)10^{-3}$ rad/s theo đường kính cọc d , đường kính đáy D và chiều cao đáy h . Đường kính cọc d , đường kính đáy D càng lớn thì tốc độ cắt ω_2 càng nhỏ. Giá trị ω_2 rất nhạy cảm với sự thay đổi của đất và các thông số hình học khác. Các trường hợp máy quá tải xảy ra, thông thường là do thông số làm việc ω_2 . Vì vậy khi mở rộng đáy hố, người lái phải rất thận trọng, chú ý từng giây để kịp thời can thiệp khi máy có khả năng quá tải. Trong bài toán này, các lớp đất đưa vào tính toán có độ xê dịch trong tính chất rất ít. Một khi tính toán và tìm ra qui luật thay đổi của tốc độ cắt ω_2 thì vấn đề tự động hóa thiết bị khoan mở rộng đáy có thể được giải quyết dễ dàng.

Hình 4 chỉ ra mối quan hệ giữa đường kính đáy mở rộng D và công suất máy cơ sở N là một hàm số mũ:

$$N = a D^x \quad [17]$$

Trong đó a là hằng số tỷ lệ, x là số mũ và $x \geq 1$, ví dụ :

$$\begin{aligned} d = 0.8 ; h = 1.0 &\Rightarrow N = 7.1663D^{3.0705} \\ d = 1.0 ; h = 1.5 &\Rightarrow N = 6.987D^{3.3199} \\ d = 1.2 ; h = 1.5 &\Rightarrow N = 6.1521D^{3.2412} \\ d = 1.4 ; h = 2.0 &\Rightarrow N = 4.4008D^{3.259} \\ d = 1.6 ; h = 2.5 &\Rightarrow N = 4.9459D^{3.2108} \end{aligned}$$

Mối quan hệ giữa đường kính đáy mở rộng và công suất máy cơ sở là một hàm số mũ, như vậy khi đường kính đáy cọc tăng một giá trị rất nhỏ dẫn đến một đòi hỏi công suất lớn hơn rất nhiều. Mối quan hệ giữa hai thông số này có thể giúp các nhà thiết kế cũng như các kỹ sư thi công chú ý để tránh hiện tượng quá tải của thiết bị, hoặc đầu khoan bị bó trong đất gây thiệt hại lớn về mặt kinh tế.

6. KẾT LUẬN:

Các kết được rút ra từ nghiên cứu này như sau:

1. Lực cản cắt của đất ảnh hưởng lên góc mở rộng đáy α . Giá trị n_1 không thay đổi trong quá trình làm việc của thiết bị, và $n_1 = 7$ v/ph là giá trị giới hạn.
2. Đường kính cọc d và đường kính đáy mở rộng D càng lớn thì tốc độ cắt ω_2 càng nhỏ. Giá trị ω_2 rất nhạy cảm với sự thay đổi của đất và các thông số hình học khác. Các trường hợp máy quá tải xảy ra, thông thường là do thông số làm việc ω_2 . Mối quan hệ giữa đường kính đáy mở rộng và công suất máy cơ sở là một hàm số mũ.

METHODOLOGY ON DEFINING PARAMETERS OF ENLARGED-BOTTOM EQUIPMENT CORRESPONDING TO SOIL PROPERTIES

Tran Thi Hong

Faculty of Mechanical Engineering, University of Technology – VNU-HCM

ABSTRACT: The possibility of drilling enlarged-bottom hole depends on the working parameters such as the rotational speed of the main axle ω_1 and the penetration speed of ground blade ω_2 as well as the structural parameters: the pile diameter of the bottom enlarged D , the height of the bottom enlarged, h and the enlarged-bottom angle, α .

In this paper, a mathematical model for the working parameter of enlarged-bottom drilling equipment was proposed, establishing the relationship between the working parameter and the soil properties. This model gives a method to calculate exactly the relations between the working parameter, the structural parameters and the soil properties. A group of the boundary conditions, such as overloading and limit values of α , ω_1 , ω_2 are defined. And the causes for the overload of a machine are determined. It is concluded that the enlarged bottom angle value of drilling hole is governed by the resistance of the soil and the relationship between the pile diameter and the torque of the drilling base machine is found to be an exponential.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. KANAOKA M., TRẦN THỊ HỒNG, NGUYỄN HOÀNG QUÂN, TOMIO TAMANO (2000) : MODEL TESTS OF BOREHOLE EXCAVATION FOR ELARGED-BOTTOM CAST-IN-PLACE PILE, Proceedings of Tenth (2000) International Offshore and Polar Engineering Conference.
2. TRẦN THỊ HỒNG (2001) : NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG THIẾT BỊ VÀ CÔNG NGHỆ KHOAN CỌC NHỒI MỞ RỘNG ĐÁY TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT TP. HỒ CHÍ MINH, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh.