

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ MÁY KHOAN CỌC NHỒI TRÊN MÁY CƠ SỞ CUMMINS M11C310

STUDY AND DESIGN A BORED PILE DRILLING BASE ON CUMMINS M11C310
MACHINE

Huỳnh Công Lớn*, Lương Văn Tới

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày quá trình tính toán thiết kế các bộ phận trên bộ công tác của máy khoan cọc nhồi chuyên dụng dạng cần hộp nhằm mục đích nghiên cứu và xây dựng mô hình của máy. Thiết kế bộ công tác máy khoan cọc nhồi bao gồm việc thiết kế các bộ phận theo thứ tự như gầu khoan, mâm xoay, tời nâng hạ, cần hộp và các chi tiết phụ khác. Việc thiết kế trên cần xác định được công suất cần thiết của mâm xoay thông qua lý thuyết khoan xoay để tính toán. Ngoài ra cần dựa vào các thông số và điều kiện làm việc như đường kính và chiều sâu khoan, loại đất và khí hậu, phương pháp khoan dùng ống vách và dung dịch khoan, quy trình thi công... Các bộ phận có cấu tạo phức tạp như gầu khoan và cần hộp cần được mô phỏng và phân tích trên phần mềm chuyên dụng để hỗ trợ tính toán sức bền.

Từ khóa: Máy khoan cọc nhồi kiểu gầu xoay; Máy khoan cọc nhồi dạng cần hộp.

ABSTRACT

This article presents the design process of parts on the working set of a specialized pile drilling machine with mast for the purpose of researching and building that model. Designing the pile drilling machine work set includes the design of parts in order such as drilling bucket, rotary head, lifting winch, mast and other auxiliary details. The design work needs to determine the driving power required work of the rotary head through rotary drilling theory to calculate. In addition, it is necessary to rely on working parameters and conditions such as diameter and depth, soil type and climate, casing drilling method and drilling application, construction process, etc. Structural parts complex structure such as drilling buckets and mast need to be simulated and analyzed on specialized software to support strength calculations.

Keywords: Bucket drilling machine; Pile drilling machine; Rotary drilling rig.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xây dựng các công trình nhà cao tầng, công trình có quy mô lớn đòi hỏi phải có kỹ thuật thi công nền móng thích hợp và hiệu quả. Để đáp ứng những yêu cầu đó, ngành xây dựng không những cần đến trình độ tay nghề của công nhân, trình độ quản lý của các kỹ sư mà còn phải đầu tư những trang thiết bị máy móc kỹ thuật. Vì vậy, máy xây dựng là một phần tất yếu của công tác xây dựng, trong đó máy khoan cọc nhồi là một trong các thiết bị quan trọng không thể thiếu. Công tác cải tạo và thiết kế các máy xây dựng một cách hợp lý và khoa học phù hợp với đặc thù công việc, thuận lợi cho công việc tổ chức thi công các công trình xây dựng nhằm phát huy lợi thế thi công là một trong những yếu tố vô cùng quan trọng cấu thành nên sự thành công của một công trình xây dựng. Để làm chủ công nghệ, chủ động trong khai thác vận hành máy và tiến tới thiết kế chế tạo một phần hay toàn bộ máy khoan cọc nhồi là việc làm hết sức có ý nghĩa và cần thiết.

2. NỘI DUNG QUÁ TRÌNH NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ

2.1. Xác định lực cản tác dụng lên gầu khoan trong quá trình khoan đất

Ở hầu hết các gầu khoan hiện nay, răng gầu hay còn gọi là lưỡi cắt có dạng hình chêm. Cũng như các loại lưỡi cắt của máy làm đất khác, răng gầu có các thông số chính như góc sắc β , góc trước γ và góc cắt δ . Trên gầu khoan, các răng gầu được bố trí từ mép ngoài của gầu vào tâm thành hai phần theo bán kính và có chiều ngược nhau. Giữa răng gầu và đáy gầu có khe hở để khi gầu quay, răng gầu tiến hành cắt đất và đồng thời đất sẽ theo khe hở đi vào trong gầu. Do khoảng cách giữa các răng gầu là rất nhỏ so với chiều dài của một răng cắt nên

có thể coi như trên mặt dưới của gầu có gắn hai lưỡi cắt có chiều dài bằng bán kính của gầu.

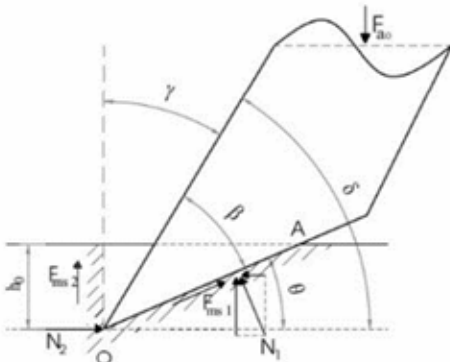
Trong lý thuyết về công nghệ khoan xoay, cho thấy quá trình phá vỡ đất đá được thực hiện là do lực tác dụng của vật thể cứng mà ở đây là lưỡi cắt của khoan vào đất đá mềm hơn. Trong khi khoan, dưới tác dụng của lực dọc trục và mô-men quay, lưỡi cắt vừa chuyển động tịnh tiến, vừa chuyển động quay tròn theo quỹ đạo xoắn vít để cắt và phá vỡ đá. Nếu gặp đất mềm thì lưỡi cắt phá vỡ đất theo từng lớp. Khi đó, lực tác dụng của lưỡi cắt trong quá trình phá vỡ đất thay đổi không đáng kể. Nếu gặp đất đá cứng thì lực tác dụng của lưỡi cắt trong quá trình phá vỡ đất đá sẽ thay đổi theo chu kỳ từ giá trị cực đại xuống giá trị cực tiểu. Các thành phần lực cản tiếp tuyến và pháp tuyến tác dụng lên dao cắt được tính toán dựa trên cơ sở ứng suất giới hạn chịu nén của đất. Riêng thành phần lực cản tiếp tuyến, để kể đến đặc điểm phá vỡ đất đá ở mặt trước của lưỡi cắt không chỉ do lực nén của lưỡi cắt mà còn do đất bị trượt lở nên thành phần lực này thường được lấy giảm đi thông qua một hệ số $k = 0,5 \div 0,7$. Thông số làm việc của máy: Đường kính lỗ khoan $d = 1,2$ m; chiều sâu lỗ khoan $l_{\max} = 46$ m; tốc độ khoan $n_{\max} = 30$ vòng/phút; cấp đất IV. Thiết bị cơ sở là máy xúc thủy lực Cummins M11C310 của hãng BUMA.

2.1.1. Xác định lực cần thiết để lưỡi cắt xâm nhập vào nền đất tạo chiều dày phoi cắt

Khi khoan, các răng gầu thực hiện quá trình cắt đất đá dưới tác dụng của lực dọc trục F_{ao} và mô-men xoắn M truyền qua cần khoan đến gầu. Lực dọc trục F_{ao} thường được tạo ra nhờ trọng lượng bản thân gầu và cần khoan, nhiều trường hợp còn có thêm lực ép của xy-lanh thủy lực hay của tời thông qua pa-lăng cáp. Khi này, lực dọc trục F_{ao} phải khắc phục

lực kháng của đất đá tác dụng lên phần diện tích mặt đầu của lưỡi cắt khi lưỡi cắt ấn vào đất. Mô-men xoắn M cần phải vượt qua lực cản ở phần trước của lưỡi cắt để làm vỡ đất đá.

Hình 1 thể hiện sơ đồ ấn lưỡi cắt vào nền đất. Sự tách rời của các hạt đất đá dưới đáy hố khoan trong quá trình khoan xảy ra do sự tác động liên tục của lực ấn F_{ao} và mô-men quay do cần khoan tạo ra. Việc tách, cắt phá đất đá dưới đáy hố khoan trong quá trình khoan xảy ra do tác động liên tục và đồng thời của lực ấn dọc trục và mô-men quay tác động từ cần khoan lên các lưỡi cắt.



Hình 1. Sơ đồ lực tác dụng của răng gầu khi ấn mũi dao vào nền

Dưới tác dụng của lực F_{ao} , lưỡi cắt bị ấn vào nền đất với độ sâu h_0 . Sự thâm nhập của lưỡi cắt vào nền đất chỉ xảy ra khi:

$$F_{ao} > S_0 \cdot \sigma \quad (1)$$

Trong đó: $S_0 = l \cdot b_0$ (cm²) là diện tích bề mặt của lưỡi cắt; l (cm) là chiều dài của lưỡi cắt, gần bằng bán kính của gầu; b_0 (cm) là chiều rộng của lưỡi cắt, phần tiếp xúc với lưỡi cắt; σ (N/cm²) là giới hạn bền nén của đất đá.

Lưỡi cắt xâm nhập vào nền đất xảy ra khi: $F_{ao}/S_0 > \sigma$, tức là khi áp lực tác dụng lên

nền đất lớn hơn sức kháng của nền trong quá trình khoan. Lực tác dụng sẽ phải tăng lên khi độ mài mòn của lưỡi cắt tăng do nó làm tăng diện tích bề mặt tiếp xúc với đất đá.

Khi bắt đầu khoan, lực ấn gầu vào nền là F_a trên một lưỡi cắt có:

$$F_{ao} = F_a/m \quad (2)$$

Trong đó: m là số lưỡi cắt trên gầu khoan; N_1, N_2 (hình 1) là các thành phần lực do đất tác dụng lên mặt sau và mặt trước của lưỡi cắt.

Chống lại sự đi xuống của lưỡi cắt còn có các thành phần lực ma sát F_{ms1} của đất với mặt sau và F_{ms2} của đất với mặt trước của lưỡi cắt. Mối quan hệ giữa các thành phần lực này như sau:

$$\begin{aligned} F_{ms1} &= N_1 \cdot \mu = N_1 \cdot \tan \varphi \\ F_{ms2} &= N_2 \cdot \mu = N_2 \cdot \tan \varphi \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó: $\mu = \tan \varphi$ là hệ số ma sát giữa đất và dao cắt.

Lấy phương trình cân bằng lực theo phương ngang:

$$N_2 - N_1 \cdot \sin \theta + F_{ms1} \cdot \cos \theta = 0 \quad (4)$$

Thay giá trị F_{ms} từ (3) vào (4) và rút N_2 ra:

$$\begin{aligned} N_2 &= N_1 (\sin \theta - \tan \varphi \cdot \cos \theta) \\ &= N_1 \cdot \frac{\sin \theta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \theta}{\cos \varphi} = N_1 \cdot \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \end{aligned} \quad (5)$$

Lấy phương trình cân bằng lực theo phương đứng:

$$F_{ao} - F_{ms2} - N_1 \cdot \cos \theta - F_{ms1} \cdot \sin \theta = 0 \quad (6)$$

Thay F_{ms1} , F_{ms2} từ (3) và N_2 từ (5) vào (6) có:

$$F_{ao} = N_1 \cdot \left[\frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot tg\varphi + tg\varphi \cdot \sin\theta + \cos\theta \right] \quad (7)$$

Với: $\sigma_n = \sigma \cdot \cos\theta$ (N/cm²) là ứng suất nén theo phương tiếp tuyến với mặt sau lưỡi cắt, ta có:

$$N_1 = l \cdot A_0 \cdot \sigma_n = l \cdot \frac{h_0}{\sin\theta} \cdot \sigma \cdot \cos\theta = l \cdot \sigma \cdot \frac{h_0}{tg\theta} \quad (N) \quad (8)$$

Thay (8) vào (7) có:

$$F_{ao} = l \cdot \sigma \cdot \frac{h_0}{tg\theta} \cdot \left[\frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot tg\varphi + tg\varphi \cdot \sin\theta + \cos\theta \right] \quad (9)$$

Đặt:

$$\eta = \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot tg\varphi + tg\varphi \cdot \sin\theta + \cos\theta \quad (10)$$

$$\text{Rút ra: } h_0 = \frac{F_{ao}}{\eta \cdot l \cdot \sigma} \cdot tg\theta \quad (11)$$

Hệ số phụ thuộc vào các thông số hình học của răng gầu và góc ma sát giữa răng gầu với nền đất. Thay các giá trị góc ma sát $\varphi = 30^\circ$, góc sắc $\beta = 20^\circ$, góc cắt $\delta = 55^\circ$ tương ứng với góc sau $\theta = 35^\circ$ vào biểu thức (10) nhận được $\eta = (1,112 - 1,285)$.

Do góc ma sát giữa răng gầu với nền đất φ , sức kháng của nền đất đối với răng gầu σ khó có thể xác định được một cách chính xác nên để đơn giản trong tính toán, ta có thể lấy $\eta = 1,3$. Khi đó, ta có:

$$F_{ao} = 1,3 \cdot l \cdot \sigma \cdot \frac{h_0}{tg\theta} \quad (12)$$

Lực cần thiết để nhấn gầu vào nền đất với chiều sâu h_0 là:

$$F_a = m \cdot F_{ao} = 1,3 \cdot m \cdot l \cdot \sigma \cdot \frac{h_0}{tg\theta} = 1,3 \cdot 2,55 \cdot 140 \cdot \frac{2,5}{tg 35^\circ} = 71479 \text{ (N)} \quad (13)$$

Khi cho trước lực ấn gầu F_a có thể xác

định được chiều sâu phoi cắt là:

$$h_0 = \frac{F_a \cdot tg\theta}{1,3 \cdot m \cdot l \cdot \sigma_n} \quad (14)$$

Lực ấn F_a được phân đều ra các dao cắt trên gầu khoan, khi đó lực ấn lên mỗi lưỡi cắt trên gầu khoan phải đảm bảo điều kiện:

$$F_{ao} = \frac{F_a}{m} > S_o \cdot \sigma$$

2.1.2. Quãng đường, chiều sâu phoi cắt và vận tốc khoan

Quãng đường lưỡi cắt thâm nhập vào nền đất sau một vòng quay là:

$$h_{av} = h_0 \cdot m = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ (cm)} \quad (15)$$

Tốc độ tiến dao của gầu khoan:

$$V_{av} = \frac{h_{av}}{t_r} = h_0 \cdot m \cdot n = 2,5 \cdot 2 \cdot 30 = 150 \text{ (cm/ph)} \quad (16)$$

Trong đó: t_r (phút) là thời gian một vòng quay và n (vg/ph) là tốc độ quay của gầu.

Với một thời gian cho trước t , thì chiều sâu H của lưỡi cắt thâm nhập vào nền đất là:

$$H = h_0 \cdot m \cdot n \cdot t \text{ (cm)} \quad (17)$$

Khi dao cắt làm việc, độ mòn cùn của dao cắt phụ thuộc tuyến tính theo thời gian, sự thâm nhập của dao cắt vào nền đất sẽ giảm đi, khi này chiều sâu phoi cắt thực tế của lưỡi dao sẽ là: $h = h_0 - y$, trong đó y là lượng mòn của dao theo hướng ăn dao. Tốc độ khoan thực tế khi này là:

$$V_{tt} = h \cdot m \cdot n = (h_0 - y) \cdot m \cdot n = (2,5 - 0,3) \cdot 2 \cdot 30 = 132 \text{ (cm/ph)} \quad (18)$$

Độ ấn sâu của gầu vào nền đất sau một vòng quay là:

$$h = \frac{V_{tt}}{m.n} = \frac{120}{2.30} = 2,2 \text{ (cm/vg)} \quad (19)$$

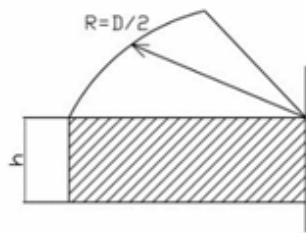
2.1.3. Công suất cần thiết để quay gầu khi cắt và tích đất vào gầu

Công suất cần thiết để khoan được xác định theo biểu thức:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \text{ (kW)} \quad (20)$$

Trong đó: P_1 là công suất cần thiết để phá vỡ đất; P_2 là công suất cần thiết để thắng lực cản ma sát giữa bộ phận công tác với nền đất; P_3 là công suất cần thiết để quay cần và gầu khoan khắc phục lực cản của dung dịch khoan; P_4 là công suất cần thiết để thắng các lực cản do quá trình đưa phoi đất vào gầu; P_5 là công suất cần thiết để thắng lực cản của dao cắt thành bên.

a) Công suất cần thiết để phá vỡ đất



Hình 2. Phoi cắt khi tính lực cản phá vỡ đất

Khi nằm ở độ sâu h và chuyển động quay theo gầu để cắt đất, lưỡi cắt gặp phải sức kháng tiếp tuyến của nền đất:

$$T_0 = \frac{h \cdot k_p \cdot D}{2} \text{ (N)}$$

Trong đó: k_p (N/cm²) là lực cản cắt riêng của đất; h (cm) là chiều sâu ấn của lưỡi cắt vào nền đất; D (cm) là đường kính ứng với

mép ngoài của lưỡi cắt.

Sức kháng tiếp tuyến của gầu, với số lưỡi cắt m là:

$$T = m \cdot T_0 = m \cdot h \cdot k_p \cdot D/2 \text{ (N)}$$

Công suất cần thiết để tách các hạt đất đá là:

$$P_1 = T \cdot v/1000 \text{ (kW)} \quad (21)$$

Trong đó: v (cm/s) là vận tốc theo phương tiếp tuyến của điểm đặt lực T . Coi điểm đặt lực nằm tại vị trí cách tâm $2/3$ bán kính tính đến mép của dao cắt nên ta có:

$$v = \frac{2}{3} \cdot \frac{D \cdot n \cdot \pi}{60 \cdot 100} \text{ (cm/s)} \quad (22)$$

Từ đó có công suất cần thiết để tách các hạt đất đá là:

$$P_1 = \frac{T \cdot v}{1000} = \frac{m \cdot h \cdot k_p \cdot D}{2 \cdot 1000} \cdot \frac{D \cdot n \cdot \pi}{90 \cdot 100} = \frac{m \cdot h \cdot k_p \cdot D^2 \cdot n \cdot \pi}{180 \cdot 10^5} \text{ (kW)} \quad (23)$$

Đặt:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 110^2}{4} \text{ có: } P_1 = \frac{m \cdot h \cdot k_p \cdot n \cdot A}{45 \cdot 10^5} \text{ (kW)} \quad (24)$$

Do địa tầng của đất không đồng đều vì vậy lực cản của nền cũng không đồng đều, nên công suất cần thiết để phá vỡ đất đá được điều chỉnh thông qua hệ số k_0 và được xác định như sau:

$$P_1 = k_0 \cdot \frac{m \cdot h \cdot k_p \cdot n \cdot A}{45 \cdot 10^5} \text{ (kW)} \quad (25)$$

Trong đó: k_0 là hệ số điều chỉnh kể đến sự không đồng nhất của nền đất ($k_0 > 1$) thường lấy $k_0 = 2$, thay giá trị của h từ (19) vào (25), ta được:

$$P_1 = k_0 \cdot k_p \cdot \frac{V_{tt} \cdot A}{45 \cdot 10^5} = 2 \cdot 20 \cdot \frac{132 \cdot 9503}{45 \cdot 10^5} = 11,15 \text{ (kW)} \quad (26)$$

b) Công suất cần thiết để thắng lực ma sát giữa bộ phận công tác với nền đất

Trong khi khoan, lực ma sát xuất hiện trên bề mặt phía sau và mặt bên của lưỡi cắt.

Lực ma sát trên bề mặt phía sau của lưỡi cắt là:

$$F_f = \mu \cdot F_a \quad (\text{N}) \quad (27)$$

Trong đó: μ là hệ số ma sát giữa dao và nền đất, $\mu = 0,6$; F_a là lực ấn gầu khoan vào nền đất tương ứng với chiều sâu ấn dao là h .

Để kể thêm đến ma sát mép bên của lưỡi cắt đối với thành đứng hố khoan, tổng lực ma sát giữa bộ phận công tác với nền đất được tính bằng cách nhân thêm hệ số k (lấy $k = 1,2$) vào công thức (27), ta được:

$$F_f = k \cdot \mu \cdot F_a \quad (\text{N}) \quad (28)$$

Công suất cần thiết để thắng lực ma sát lên bộ phận công tác là:

$$P_2 = F_f \cdot v / 1000 = k \cdot \mu \cdot F_a \cdot v / 1000 \quad (\text{kW}) \quad (29)$$

Thay giá trị của v từ (22) vào (29), ta được:

$$P_2 = \frac{\pi \cdot k \cdot \mu \cdot n \cdot D \cdot F_a}{9 \cdot 10^6} = \frac{\pi \cdot 1,2 \cdot 0,6 \cdot 30 \cdot 110 \cdot 71479}{9 \cdot 10^6} = 59,28 \quad (\text{kW}) \quad (30)$$

c) Công suất cần thiết để thắng lực cản của dung dịch khoan

Trong quá trình khoan, cần khoan và gầu nằm trong khối dung dịch khoan chứa trong hố khoan. Khi quay, chúng có chuyển động tương đối với dung dịch khoan, do đó xuất hiện mô-men cản ma sát giữa bộ phận công tác với dung dịch khoan. Công suất để thắng lực cản của dung dịch khoan có thể áp dụng công thức thực nghiệm sau:

$$P_3 = \alpha \cdot \gamma \cdot L \cdot d^2 \cdot n \cdot \sqrt[3]{n} = 9 \cdot 10^{-7} \cdot 1,05 \cdot 10 \cdot 110^2 \cdot 30 \cdot \sqrt[3]{30} = 10,66 \quad (\text{kW}) \quad (31)$$

Trong đó: $\gamma = 1,05 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ là tỷ trọng của dung dịch khoan, phụ thuộc vào môi trường khoan; $L = 10 \text{ (m)}$ là chiều dài của cần khoan ngập trong môi trường thủy lực; $d = 110 \text{ (cm)}$ là đường kính ngoài của gầu khoan; $n = 30 \text{ (vg/ph)}$ là tốc độ quay cần khoan; α là hệ số thực nghiệm.

d) Công suất cần thiết để thắng các lực cản do quá trình đưa phoi đất vào gầu khoan

Công suất cần thiết để thắng được các lực cản do quá trình đưa phoi vào gầu khoan được xác định bằng biểu thức sau:

$$P_4 = P_{41} + P_{42} \quad (32)$$

Trong đó: P_{41} là công suất để thắng lực cản ma sát khi phoi cắt trượt trên lưỡi cắt để đi vào gầu; P_{42} là công suất tiêu tốn để nâng đất vào gầu được tính ở cuối giai đoạn đầy gầu.

Công suất để thắng lực cản ma sát khi phoi cắt trượt trên răng gầu:

$$P_{41} = \frac{F_{ms} \cdot v}{1000} \quad (\text{kW}) \quad (33)$$

Trong đó: v là vận tốc tiếp tuyến được lấy theo công thức (22), với: $F_{ms} = T \cdot \mu = m \cdot h \cdot k_p \cdot \text{tg}\varphi \cdot D/2 \quad (\text{N})$.

$$P_{41} = m \cdot h \cdot k_p \cdot \text{tg}\varphi \cdot \frac{\pi \cdot n \cdot D^2}{18 \cdot 10^6} = 2,2 \cdot 2,20 \cdot 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 30 \cdot 110^2}{18 \cdot 10^6} = 3,35 \quad (\text{kW}) \quad (34)$$

Công suất tiêu tốn để đưa đất vào gầu ở cuối giai đoạn đầy gầu được xác định như sau:

Lực cản để nâng đất lên độ cao của lớp đất trên cùng khi đầy gầu H_g là:

$$T_{n1} = m \cdot h \cdot H_g \cdot \gamma_d \cdot D/2 \quad (\text{N}) \quad (35)$$

Lực cản ma sát do có sự trượt tương đối giữa đất với đất trong quá trình làm đầy gầu:

$$T_{n2} = m \cdot H_g^2 \cdot \gamma_d \cdot k_1 \cdot D/2 \quad (\text{N}) \quad (36)$$

Trong đó: φ_1 là góc ma sát trong của đất; γ_d (N/cm³) là trọng lượng riêng của đất đá; k_1 là hệ số phụ thuộc vào góc ma sát trong của đất, với:

$$k_1 = \frac{tg\varphi_1}{1 + tg^2\varphi_1} = 0,3$$

Công suất tiêu tốn để đưa đất vào gầu ở cuối giai đoạn đầy gầu là:

$$P_{42} = \frac{T_{n1} + T_{n2}}{1000} \cdot v \quad (\text{kW}) \quad (37)$$

Với: v được xác định theo biểu thức (22), cuối cùng ta được:

$$P_{42} = (h \cdot H_g + k_1 \cdot H_g^2) \cdot \frac{\pi \cdot n \cdot m \cdot \gamma_d \cdot D^2}{18 \cdot 10^6} \\ = (2,2 \cdot 100 + 0,3 \cdot 100^2) \cdot \frac{\pi \cdot 30 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 110^2}{18 \cdot 10^6} = 7,34 \quad (\text{kW})$$

Thay vào biểu thức (32), ta được:

$$P_4 = P_{41} + P_{42} = 3,35 + 7,34 = 10,69 \quad (\text{kW}).$$

e) Công suất cần thiết để thắng lực cản của dao cắt thành bên

$$P_5 = \frac{2k_p \cdot B \cdot C \cdot v'}{1000} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 1,88}{1000} = 3,76 \quad (\text{kW})$$

Trong đó: $B = 10$ cm là bề rộng phoi đất mở rộng; $C = 5$ cm là độ dày phoi đất mở rộng; v' (cm/s) là vận tốc theo phương tiếp tuyến của điểm đặt lực.

$$v' = \frac{D_2 \cdot n \cdot \pi}{60 \cdot 100} = \frac{120 \cdot 30 \cdot \pi}{60 \cdot 100} = 1,88 \quad (\text{cm/s})$$

Vậy, tổng công suất là:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 11,15 + 59,28 + 10,66 + 10,69 + 4,5 = 96,28 \quad (\text{kW})$$

Mô-men cần tính toán trên cần Kelly từ tổng công suất cần và tốc độ quay cần Kelly:

$$M = \frac{9550 \cdot P}{n} = \frac{9550 \cdot 96,28}{30} = 30649,13 \quad (\text{Nm}) \approx 31 \quad \text{kNm}$$

2.2. Giới thiệu về cần khoan

Cần khoan hay còn gọi là thanh Kelly, nó bao gồm các đoạn nối với nhau theo kiểu ống lồng dạng ống ten. Chức năng của nó là truyền mô-men xoắn từ mâm xoay thủy lực và tổng lực nén dọc trục xuống gầu khoan để thực hiện cắt và tích đất vào gầu. Cấu tạo cần khoan bao gồm 2 đến 5 ống lồng vào nhau, trên bề mặt ngoài của ống có hàn các vấu truyền lực mô-men và gờ hình thang vuông để khóa các thanh Kelly lại với nhau cũng như để nhận và truyền lực dọc trục cho gầu khoan. Trong quá trình làm việc, cần khoan chịu xoắn và nén dọc trục, ngoài ra chúng còn chịu lực va đập và rung động từ mâm xoay và gầu khoan.



Hình 3. Quá trình phân tích mô phỏng cần khoan từ Công ty SIP&T Foundation Drilling Tools

2.3. Mô phỏng điều kiện làm việc để tính toán sức bền của gầu khoan

Thông số cơ bản của gầu: Đường kính thành gầu $D_1 = 1100\text{mm}$; đường kính lỗ khoan $D_2 = 1200\text{mm}$; chiều cao $H = 1000\text{mm}$; thể tích gầu $V_G \approx 0,95\text{m}^3$; khối lượng gầu $M \approx 700\text{Kg}$; chiều dày thành gầu $b = 20\text{mm}$. Loại gầu 2 lưỡi cắt và có 8 răng cắt.

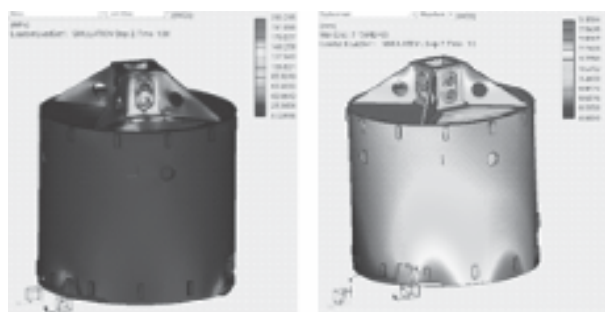
Vì kết cấu gầu khá phức tạp nên ta dùng phần mềm để xây dựng mô hình và mô phỏng để hỗ trợ tính toán sức bền của gầu. Trong quá trình xây dựng mô hình thì toàn bộ gầu được coi là đồng nhất về vật liệu, chất lượng mối hàn của gầu đạt tiêu chuẩn.

Vật liệu chế tạo gầu là thép CT3 có các thông số như sau: $\sigma_k = 450\text{ MPa}$; $\sigma_{ch} = 250\text{ MPa}$; $E = 206\text{ GPa}$; hệ số Poisson là 0,3.



Hình 4. Lực nén và xoắn tác dụng lên cổ gầu

Kết quả mô phỏng và phân tích trên phần mềm Creo Parametric:



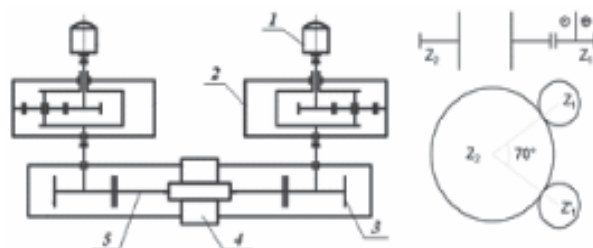
Hình 5. Phân bố ứng suất và chuyển vị trên gầu khi làm việc

Ứng suất lớn nhất nằm ở vị trí liên kết giữa cổ gầu và thân gầu, giá trị ứng suất là 213 MPa, với vật liệu chế tạo gầu là thép CT3 và chất lượng mối hàn thì gầu đảm bảo điều kiện làm việc.

Chuyển vị lớn nhất của gầu khi làm việc là 3,16 mm. Với giá trị này, gầu vẫn thỏa điều kiện làm việc.

2.4. Mâm xoay dẫn động cần khoan

Bộ truyền cơ khí dẫn động cho mâm xoay là cụm chi tiết máy gồm có hộp giảm tốc bánh răng hành tinh, cặp bánh răng trụ, các ổ lăn và khớp nối. Bộ truyền có nhiệm vụ truyền công suất từ động cơ thủy lực đến mâm xoay để quay thanh Kelly và gầu khoan, tiến hành thực hiện cắt và tích đất vào gầu.



Hình 6. Sơ đồ bộ truyền dẫn động cho mâm xoay

1. Động cơ thủy lực;
2. Hộp giảm tốc hành tinh;
3. Bánh răng chủ động;
4. Trục rỗng dẫn động cần khoan;
5. Bánh răng bị động

Phân phối tỉ số truyền: $u_{HGT} = 30$; $u_{BRT} = 3$.

Thông số của động cơ thủy lực: Mô-men trên trục động cơ $M_{DC} = 700\text{ Nm}$; số vòng quay $n_{DC} = 900\text{ vg/ph}$ (có thể thay đổi được từ 450 đến 950 vòng/phút); công suất $P_{DC} = 70\text{ kW}$.

Phương pháp tính toán ứng suất trên trục rỗng:

Ứng suất uốn:

$$\sigma_b = \frac{32M}{\pi d_0^3 (1-C^4)} \quad (38)$$

Ứng suất do lực dọc trục:

$$\sigma_a = \frac{4F_a}{\pi d_0^2 (1-C^2)} \quad (39)$$

Ứng suất do mô-men xoắn:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_0^3 (1-C^4)} \quad (40)$$

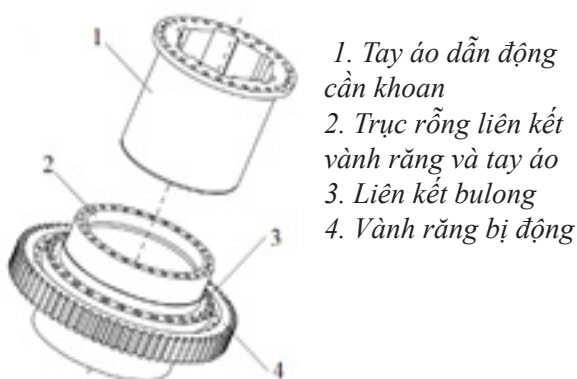
Ứng suất tương đương:

$$\sigma_{td} = \frac{k_b \cdot \sigma_b + \sigma_a}{2} + \sqrt{\left(\frac{k_b \cdot \sigma_b + \sigma_a}{2}\right)^2 + (k_t \cdot \tau)^2} \quad (41)$$

Ứng suất cắt cực đại:

$$\tau_c = \sqrt{\left(\frac{k_b \cdot \sigma_b + \sigma_a}{2}\right)^2 + (k_t \cdot \tau)^2} \quad (42)$$

Trong đó: $C = d_i/d_o$ (d_i là đường kính trong của trục, d_o là đường kính ngoài của trục); k_b là hệ số kết hợp giữa sức và mô đối với trục chịu uốn; k_t là hệ số kết hợp giữa sức và mô đối với trục chịu xoắn.



Hình 7. Cụm dẫn động cần khoan

2.5. Mô phỏng điều kiện làm việc để tính toán sức bền của cần hộp

Cần hộp bao gồm phần thân chia thành ba phần và hệ pully đối hướng. Phần thân hàn từ tấm kim loại dày 15 mm được uốn dạng chữ U dọc suốt chiều dài với một tấm kim loại khác để tạo thành tiết diện hình chữ nhật rỗng, bên trong được hàn các tấm gân tăng cứng. Các bộ phận chính của cần hộp được liên kết với nhau bằng bản lề để có thể gấp gọn lại khi di chuyển và bulong khi làm việc. Trong quá trình xây dựng mô hình thì toàn bộ cần được coi là đồng nhất về vật liệu, chất lượng mối hàn của cần hộp đạt tiêu chuẩn. Vật liệu chế tạo cần hộp là thép CT3 có các thông số như sau: $\sigma_k = 450$ MPa; $\sigma_{ch} = 250$ MPa; $E = 206$ Gpa; khối lượng riêng $\gamma = 7850$ kg/m³; hệ số Poisson là 0,3.



Hình 8. Kết cấu của cần hộp và liên kết bulong ở khớp bản lề

Điều kiện biên: Coi hai vị trí lỗ liên kết cần hộp với xy-lanh và giá đỡ là liên kết Pin (liên kết chốt, cho phép quay quanh trục nhưng không di chuyển tịnh tiến dọc trục).

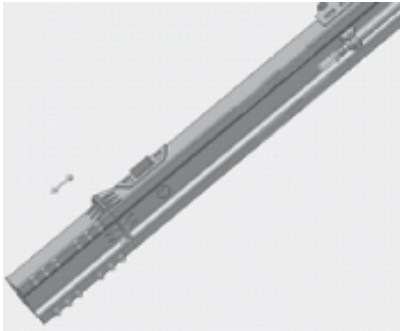
Kết quả mô phỏng và phân tích hai trường hợp làm việc của cần hộp trên phần mềm Creo Parametric:

2.5.1. Trường hợp 1: Khi đang khoan đất

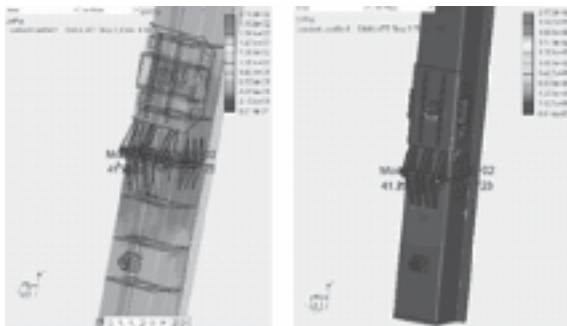
Các lực tác dụng lên cần hộp là:

- Trọng lượng bản thân cần hộp phân bố đều trên chiều dài của nó;
- Tải trọng gió ở độ cao dưới và trên 10m được phân bố đều trên chiều dài của cần;

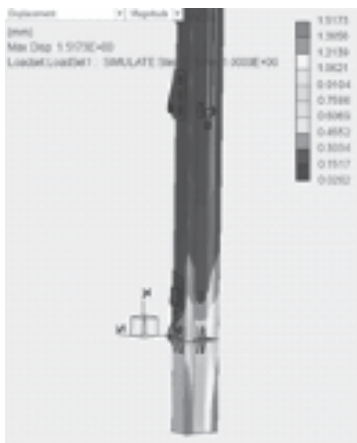
- Lực ép xuống của xy-lanh thủy lực;
- Mô-men xoắn do mâm xoay tác dụng lên cần hộp.



Hình 9. Các lực tác dụng lên cần hộp



Hình 10. Phân bố ứng suất trên cần hộp khi khoan



Hình 11. Chuyển vị trên cần khi khoan

Ứng suất lớn nhất của cần nằm ở lỗ lắp chốt bản lề nối giữa vằn thân giữa và thân dưới. Giá trị ứng suất là 211MPa với vật liệu thép CT3 đáp ứng yêu cầu làm việc.

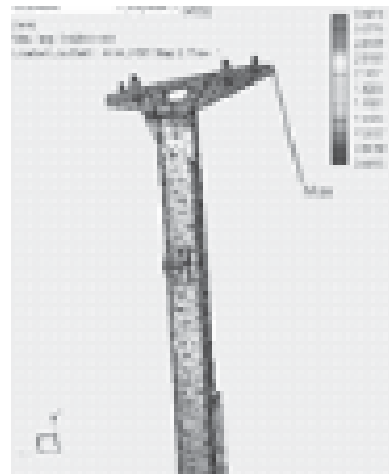
Chuyển vị lớn nhất của cần nằm ở hai đoạn cuối của ray dẫn hướng mâm xoay với độ lớn là 1,52mm thì cần hộp vẫn thỏa điều kiện làm việc.

2.5.2. Trường hợp 2: Khi rút cần khoan lên

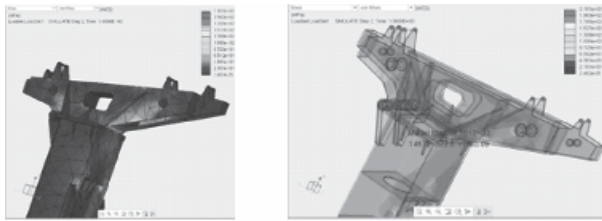
Thời điểm bắt đầu được rút lên gầu ở vị trí sâu nhất (46m), gầu chứa đầy đất và đang ngập trong dung dịch Bentonite. Khi rút gầu khoan, dung dịch theo khe hở giữa gầu và thành lỗ khoan chảy xuống phía dưới gầu. Lực ma sát của dung dịch lên gầu khoan thực tế rất nhỏ so với các thành phần khác nên có thể bỏ qua. Theo kết quả tính toán thì hợp lực tác dụng lên ba trục puly đổi hướng của tời chính lần lượt là $S_1 = 179 \text{ kN}$; $S_2 = 170 \text{ kN}$ và $S_3 = 55 \text{ kN}$. Phân bố ứng suất và chuyển vị của cần được thể hiện ở hình 12 và hình 13.



Hình 12. Các lực tác dụng lên cần hộp



Hình 13. Chuyển vị trên cần hộp khi kéo gầu



Hình 14. Phân bố ứng suất trên cần hộp khi kéo gầu lên

Chuyển vị lớn nhất nằm ở tám kim loại thẳng đứng của hệ pully với giá trị là 3,64mm thì cần hộp thỏa điều kiện làm việc.

Ứng suất lớn nhất là ở góc lượn trên tám thép của hệ pully nằm gần mặt phẳng tiếp xúc của thân giữa cần hộp và hệ pully. Giá trị ứng suất là 218MPa với vật liệu thép CT3 thì cần hộp thỏa điều kiện làm việc. Thông qua mô phỏng trạng thái ứng suất của cần hộp khi lực nâng lớn nhất và mô-men xoắn lớn nhất thì các ứng suất phân bố trên toàn bộ cần hộp đều nhỏ hơn so với giới hạn chảy của vật liệu.

3. KẾT LUẬN

Xác định lực và mô-men cần của đất tác dụng lên bộ công tác của máy khoan cọc nhồi kiểu gầu sẽ là cơ sở để tính toán kết cấu gầu và hệ dẫn động cho gầu khoan cũng như lựa chọn chế độ vận hành phù hợp của máy khi cấp đất và đường kính lỗ khoan thay đổi. Đã tiến hành xác định các trường hợp làm việc của máy nhằm xác định các điều kiện cho việc phân tích phần tử hữu hạn cần hộp. Sau đó sử dụng phần mềm Creo Parametric để phân tích kết cấu và

nhận được kết quả thể hiện các điểm làm việc bất lợi của cần hộp, từ đó thấy được kết cấu mô hình đưa ra đảm bảo khả năng chịu lực và đáp ứng nhu cầu công việc của máy. Các kết quả tính toán và đề xuất kết cấu của bộ công tác khoan có thể sử dụng để triển khai chế tạo trong nước nhằm mục tiêu giảm giá thành so với nhập khẩu. ❖

Ngày nhận bài: **16/9/2023**

Ngày phản biện: **27/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển (2007); *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí*, NXB. Giáo dục.
- [2]. Trương Quốc Thành, Nguyễn Văn Mạnh (2014); *Tính toán lực công tác lên thiết bị khoan cọc nhồi kiểu gầu*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
- [3]. Vũ Liêm Chính (2002); *Cơ sở thiết kế máy xây dựng*, NXB. Xây dựng.
- [4]. Nguyễn Bá Kế (2010); *Thi công cọc khoan nhồi*, NXB. Xây dựng.
- [5]. Hoa Văn Ngũ, Lưu Bá Thuận (2012); *Máy làm đất*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [6]. Jian Qin, Yimin Ma (2015); *Structural analysis mast of special rotary drilling rig for transmission line*, Atlantis Press.
- [7]. Lưu Bá Thuận (2014); *Sổ tay máy làm đất và làm đường thi công cọc gia cố móng*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [8]. Nguyễn Văn Hùng (2001); *Máy và thiết bị xây dựng*, NXB. Xây dựng.
- [9]. Nguyễn Văn Hợp, Phạm Thị Nghĩa (2006); *Kết cấu thép máy xây dựng – Xếp dỡ*, NXB. Giao thông Vận tải.