

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG DÒNG CHẢY BA PHA VÀO PHƯƠNG PHÁP BƠM AIRLIFT ĐỂ VẬN CHUYỂN CHẤT RẮN NẸM SÂU DƯỚI NƯỚC

TS. VŨ NAM NGẠN

Trường Đại học Mở-Địa chất

Người ta đã áp dụng nhiều phương pháp khác nhau để vận chuyển chất rắn như: sử dụng hệ thống máy bơm ly tâm ở các mỏ và các nhà máy tuyển than, tuyển quặng; hệ thống vận chuyển xi măng bằng khí nén ở các nhà máy xi măng....

Tuy nhiên, phương pháp bơm Airlift cũng đang được sử dụng để khai thác và vận chuyển khoáng sản ở đáy biển, khai thác cát, sỏi dưới nước, nạo vét lòng moong ở các mỏ...

Phương pháp này cho hiệu quả cao và giá thành rẻ hơn so với các phương pháp khác. Đặc điểm của hệ thống bơm Airlift là vận chuyển dòng hỗn hợp 3 pha: khí-rắn-lỏng.

Vấn đề cần đặt ra là xác định tỷ lệ các thành phần trong hỗn hợp này phải hợp lý để cho phương pháp đạt hiệu quả cao.

Bài báo này giới thiệu phương pháp tính toán tỷ lệ chất khí (hệ số cấp khí) của dòng hỗn hợp 3 pha sao cho phù hợp với lượng hạt rắn cùng được vận chuyển trong dòng hỗn hợp 3 pha.

Ngoài ra phương pháp này cũng cho ta tính được đường kính tối ưu của ống dẫn và hiệu suất cao nhất của hệ thống bơm Airlift.

1. Xác định lưu lượng khí hợp lý và hiệu suất của thiết bị bơm Airlift

Việc tính toán được xuất phát từ sự cân bằng công suất của dòng chảy ở phần trên và dưới ống, đồng thời chú ý tới ảnh hưởng của ma sát và tác dụng trượt giữa các hạt rắn với chất lỏng để xác định lượng khí yêu cầu cho việc bơm chất rắn đi lên (hình H.1).

Để đơn giản trong quá trình nghiên cứu và tính toán, có thể bỏ qua:

- ❖ Tổn thất áp suất do sức cản ở miệng vào phía dưới và chỗ uốn cong phần trên khi dòng chảy ra khỏi ống dẫn;

- ❖ Động năng của dòng chảy ở miệng vào ống dẫn phía dưới;

- ❖ Phần động năng của khí ở cửa ra trên ống dẫn;

- ❖ Tổn thất do ảnh hưởng trượt và ma sát của riêng chất khí;

- ❖ Trong phạm vi chiều cao h (hình H.1), bỏ qua sự tham gia của chất khí.

Vì vậy, nồng độ thể tích hạt rắn ở trên ống ($C_{h,U}$) và dưới ống ($C_{h,O}$) là như nhau, nghĩa là:

$$C_{h,U} = C_{h,O} \quad (1)$$

Ký hiệu chỉ số "U" cho trên ống và chỉ số "O" cho dưới ống.

Khi xác định tỷ số áp suất p_E/p_a bỏ qua ma sát, theo [1] ta viết được:

$$\frac{p_E}{p_a} = \left(1 + \frac{\rho_n g H T_E}{p_a H} \right) \quad (2)$$

Trong đó: p_E , p_a - Giá trị áp suất của dòng hỗn hợp 3 pha trong buồng trộn và áp suất khí quyển; ρ_n - Khối lượng riêng của nước; g - Gia tốc trọng trường; H - Chiều sâu đoạn ống ngập dưới nước; T_E - Độ ngập sâu của buồng trộn (hình H.1).

Từ hình H.1, phương trình cân bằng công suất của dòng hỗn hợp ở phía trên và dưới ống là:

$$(N_U + N_T) = N_O \quad (3)$$

Trong đó: N_T , N_U và N_O - Tương ứng là công suất đẳng nhiệt, công suất ở dưới ống và trên ống.

Công suất dưới ống được tính như sau [2]:

$$N_U = (\rho_n Q_h + \rho_n Q_n) \cdot \left(\frac{p_a}{\rho_n} + g T_E - \frac{\Delta p_{R,U}}{\rho_n} \right) - \left(\frac{\Delta p_{S,U}}{\rho_n} \right) \quad (4)$$

Tại đây, ma sát của phần dưới ống sẽ là:

$$\frac{\Delta p_{R,U}}{\rho_n} = gH \left(1 - \frac{TE}{H} \right) \cdot \frac{8\lambda_n}{\pi^2 g D_R^5} \left(\frac{Q_h}{C_h} \right)^2, \text{ Nm/kg. (5)}$$

Còn ma sát trượt ở phần dưới ống dẫn sẽ được xác định bằng biểu thức sau đây:

$$\frac{\Delta p_{S,U}}{\rho_n} = \frac{gH \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) \left[1 - \frac{T_E}{H} \right] C_h}{1 - \frac{\pi D_R^2 C_h}{4Q_h} \left[1 - \left(\frac{d_h}{D_R} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_w} \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) f d_h}}, \text{ Nm/kg. (6)}$$

Công suất đẳng nhiệt N_T , bằng:

$$N_T = p_a Q_K \ln \frac{p_E}{p_a}, \text{ W. (7)}$$

Trong các công thức trên: Q_h, Q_n - Lưu lượng của pha rắn và pha nước; ρ_k - Khối lượng riêng của hạt rắn; $\Delta p_{R,U}, \Delta p_{S,U}$ - Tương ứng là tổn thất áp suất của dòng hỗn hợp ở phần dưới ống và do sự trượt; λ_n - Hệ số ma sát của ống dẫn; D_R - Đường kính của

ống dẫn; C_h - Nồng độ hạt rắn trong dòng hỗn hợp; d_h - Đường kính trung bình của hạt rắn; C_w - Hệ số sức cản của hạt; f - Hệ số hình dáng của hạt; Q_K - Lưu lượng của chất khí trên ống dẫn.

Nếu bỏ qua tổn thất ma sát ở ống dẫn khí nén từ máy nén khí đến nơi nạp khí (buồng hỗn hợp - hình 1), thì công suất ở phần ống dẫn phía trên N_o sẽ được tính theo công thức sau [2, 3]:

$$N_o = \left(\rho_h Q_h + \rho_n Q_n \right) \left(\frac{p_a}{\rho_n} + \frac{v_{tb,o}^2}{2} + g(T_E + h) + \frac{\Delta p_{R,o}}{\rho_n} + \frac{\Delta p_{S,o}}{\rho_n} \right), \text{ W. (8)}$$

Còn ma sát ở phần ống dẫn này sẽ là:

$$\frac{\Delta p_{R,o}}{\rho_n} = gH \left(\frac{T_E}{H} + \frac{h}{H} \right) \cdot \frac{8\lambda_n}{\pi^2 g D_R^5} \left(\frac{Q_h}{C_h} \right)^2, \text{ Nm/kg (9)}$$

và ma sát trượt bằng:

$$\frac{\Delta p_{S,o}}{\rho_n} = \frac{gH \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) \left(\frac{T_E}{H} + \frac{h}{H} \right) C_h}{1 - \frac{\pi D_R^2 C_h}{4Q_h} \left[1 - \left(\frac{d_h}{D_R} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_w} \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) f d_h}}, \text{ Nm/kg. (10)}$$

Tại các công thức trên: $v_{tb,o}$ - Vận tốc trung bình của dòng hỗn hợp ở phần trên ống; $\Delta p_{R,o}, \Delta p_{S,o}$ - Tổn thất áp suất của dòng hỗn hợp ở phần trên ống

và do sự trượt. Thay các phương trình từ (4) đến (10) vào phương trình (3) và biến đổi, ta sẽ nhận được hệ số tỷ lệ (hệ số cấp) khí là:

$$\psi_K = \frac{Q_K}{Q_n} = \frac{\frac{\rho_n g H}{p_a}}{\left(1 - C_h \right) n \frac{p_E}{p_a}} \cdot \left[1 + \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) C_h \right] \cdot \left[\frac{v_{tb,o}^2}{2gH} + \frac{h}{H} + \left(1 + \frac{h}{H} \right) \frac{8\lambda_n}{\pi^2 g D_R^5} \left(\frac{Q_h}{C_h} \right) \right] + \frac{\left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) \left(1 + \frac{h}{H} \right) C_h}{1 - \frac{\pi D_R^2 C_h}{4Q_h} \left[\left(1 - \left(\frac{d_h}{D_R} \right)^2 \right) \right]^2 \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_w} \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) d_h f}}, \text{ (11)}$$

Để có thể khảo sát so sánh giữa các thiết bị Airlif khác nhau, cần sử dụng thêm tỷ số về độ cao của hệ thống ống dẫn, được biểu thị qua hệ số α :

$$\alpha = \frac{TE}{(TE + h)} = \frac{T_E/H}{T_E/H + h/H}. \text{ (12)}$$

Đây là một đại lượng rất quan trọng (cũng như hệ số đồng dạng) để so sánh các thiết bị Airlift

khác nhau. Hằng số Froude-Zahl của thiết bị Airlift được viết:

$$Fr = \frac{v_{tb}^2}{g(T_E + h)}. \text{ (13)}$$

Còn hằng số Olee được biểu thị như sau:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho_{tb} v_{tb}^2} = \frac{\rho_{tb} g T_E}{\rho_{tb} v_{tb}^2} = \frac{g T_E}{v_{tb}^2}. \text{ (14)}$$

Từ đây ta nhận được tích số của hai hằng số trên:

$$Eu.Fr = \frac{gT_E}{v_{tb}^2} \cdot \frac{v_{tb}^2}{g(T_E + h)} = \frac{TE}{(TE + h)} = \alpha. \quad (15)$$

$$\psi_k = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot \frac{1 + \left(\frac{\rho_h}{\rho_n}\right) C_h}{1 - C_h} \cdot \frac{\frac{\rho_n g H}{p_a} \cdot \frac{T_E}{H}}{\ln \left(1 + \frac{\rho_n g H}{p_a} \cdot \frac{T_E}{H}\right)} \left[1 + \frac{1}{1-\alpha} \left(\frac{1 - T_E/H}{T_E/H} \alpha + 1 \right) \frac{8\lambda_n}{\pi^2 g D_R^5} \left(\frac{Q_h}{C_h} \right)^2 \right]. \quad (16)$$

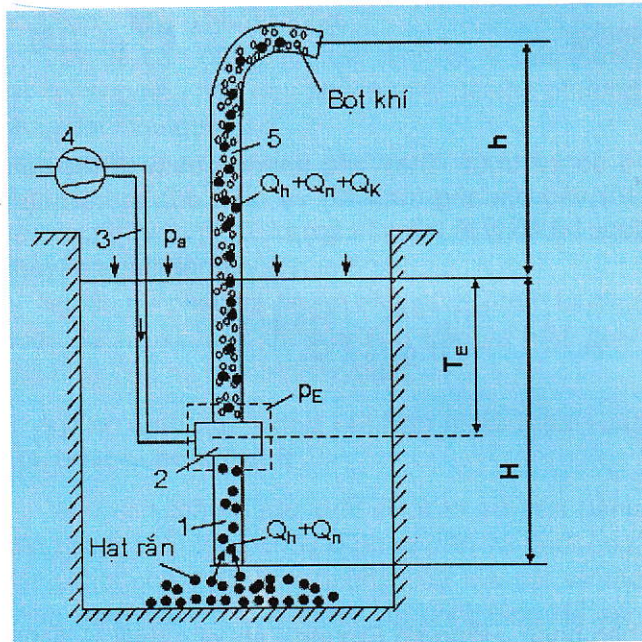
Cho công suất hút (N_H) để bơm được chất rắn, ta nhận được:

$$N_H = \rho_n g H \cdot \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) \cdot Q_h + \rho_n g h \cdot Q_h, \text{ W.} \quad (17)$$

Từ đây ta tính được hiệu suất thủy khí (η) của thiết bị Airlift ứng với trường hợp hiệu suất của máy nén khí ở chế độ đẳng nhiệt ($\eta_{T,K}$), bằng:

$$\eta = \frac{N_H}{N_T} \cdot \eta_{T,K} \cdot \frac{C_h}{1 - C_h} \cdot \frac{\rho_n g H}{p_a} \cdot \frac{\rho_n \left(1 + \frac{h}{H}\right) - 1}{\psi_k \ln \frac{p_E}{p_0}} \cdot \eta_{T,K}. \quad (18)$$

Từ các phương trình trên ta sẽ tính được lượng khí yêu cầu Q_K (tính từ hệ số ψ_k) và hiệu suất η của thiết bị bơm Airlift



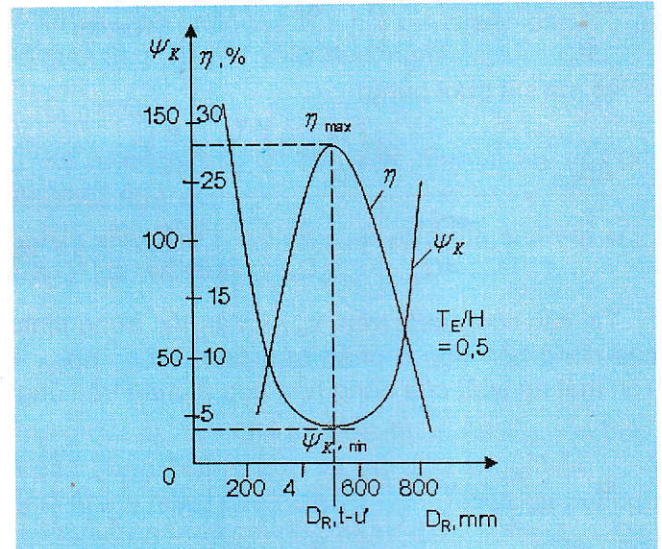
H.1. Sơ đồ hệ thống thiết bị bơm Airlift khai thác quặng dưới nước: 1 - Đường ống dẫn dưới; 2 - Bể trộn hỗn hợp; 3 - Đường ống dẫn khí nén; 4 - Máy nén khí; 5 - Đường ống dẫn trên

3. Áp dụng để tính toán cho hệ thống thiết bị bơm Airlift

Ta có thể thấy hệ số α có ảnh hưởng rất cơ bản đến các thông số của thiết bị Airlift trong việc nghiên cứu mô hình nhờ giá trị α này. Từ phương trình (11) sau khi biến đổi, ta nhận được:

Để bơm quặng măng gan ở đáy biển, sử dụng hệ thống thiết bị bơm Airlift (hình H.1), ta có các số liệu như sau:

- ❖ Lưu lượng hạt rắn: $Q_h = 0,0446 \text{ m}^3/\text{s}$;
- ❖ Chiều sâu dưới mực nước biển: $H = 5000 \text{ m}$;
- ❖ Khối lượng riêng của nước: $\rho_n = 1000 \text{ kg/m}^3$;
- ❖ Khối lượng riêng của hạt rắn: $\rho_h = 2600 \text{ kg/m}^3$;
- ❖ Hệ số ma sát của ống dẫn: $\lambda_n = 0,02$;
- ❖ Hệ số hình dáng của hạt rắn: $f = 1$;
- ❖ Hệ số sức cản của hạt rắn: $C = 0,4$;
- ❖ Nồng độ vận tải hạt rắn: $C_h = 5 \%$;
- ❖ Áp suất khí quyển: $p_a = 98100 \text{ Pa}$;



H.2. Đồ thị xác định các thông số làm việc hợp lý của hệ thống bơm Airlift ($Q_K = 46000 \text{ m}^3/\text{giờ}$)

Trên hình H.2 là các kết quả tính cho các giá trị khác nhau của đường kính ống dẫn D_R , còn hiệu suất được tính theo phương trình (18). Nó chỉ ra giá trị hiệu suất cực đại nhận được ở giá trị đường kính ống dẫn tối ưu $D_{R,t-Ư}$.

Phía trái của giá trị hiệu suất cực đại (η_{max}) thì hiệu suất sẽ giảm dần do ma sát ống tăng lên vì đường kính ống dẫn nhỏ lại. Phía bên phải của η_{max} , hiệu suất cũng giảm đi là do ảnh hưởng của sự trượt về tốc độ, nghĩa là độ chênh lệch tốc độ giữa pha rắn và chất lỏng (nước) tăng lên. Lý do là có sự tăng lên của lượng khí yêu cầu Q_K (chính là

hệ số cấp khí ψ_K trên đồ thị) cho thiết bị bơm Airlift. Nghĩa là ứng với điểm có hiệu suất cực đại sẽ có giá trị cực tiểu của hệ số cấp khí yêu cầu $\psi_{K,min}$. Tương ứng với các số liệu đã đưa vào tính toán cho hệ thống bơm Airlift này, ta nhận được: $D_{R,t-u}=530$ mm, $\eta_{max}=28,6\%$; $\psi_{K,min}=15$.

3. Kết luận

❖ Phương pháp tính toán hệ thống thiết bị bơm Airlift ở trên cho phép lựa chọn được đường kính ống dẫn vận chuyển chất rắn phù hợp để khai thác khoáng sản ở sâu dưới nước;

❖ Công thức (16) và đồ thị hình 2 cho phép xác định lượng cấp khí yêu cầu phù hợp với lượng hạt rắn cần phải vận chuyển trong hệ thống thiết bị bơm Airlift;

❖ Công thức (18) và đồ thị hình 2 sẽ xác định được hiệu suất cần thiết và cực đại của hệ thống bơm Airlift dùng để khai thác và vận chuyển khoáng sản ở dưới đáy biển hoặc ở độ sâu dưới nước nào đó. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Sống, Vũ Nam Ngạn. Giáo

trình Máy thủy khí. Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội 2001.

2. Gerd Grabow. Hydro-pneumatischer und hydraulischer Feststofftransport in vertikalen Rohrleitungen. Neue Bergbautechnik. 11 Jg. Heft 8. 1981. 447-452.

3. Vergleich hydropneumatischer und hydraulischer Forderverfahren zur Gewinnung von Kies-sand-Gemischen. Neue Bergbautechnik. 15 Jg. Heft 12. 1985. 471-475.

4. Meerestechnik. Einsatz des Airlift-Verfahrens und der hydraulischen Forderung mit Kreiselpumpen auf der Grundlage von Ähnlichkeitszahlen. Seewirtschaft, Berlin 19, 1987.

Người biên tập: Đào Đức Tạo

SUMMARY

The paper introduces some study results using three phase streamline in the airlift pumping method to transport the solid materials in the deep under water.

BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN...

(Tiếp theo trang 11)

3. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu, tính toán lý thuyết và xây dựng mô hình thực nghiệm nhóm tác giả đã thu được kết quả tốt, được kiểm tra qua chạy thực tế trên mô hình thực nghiệm.

Dựa trên phần mềm Protool V6.0 của hãng Siemens, một giao diện giám sát và vận hành cũng đã được xây dựng (hình H.3) giúp cho quá trình thao tác vận hành được thuận tiện.

Với các kết quả đạt được này, nhóm tác giả tiếp tục phát triển để cho phù hợp với môi trường sản xuất của ngành công nghiệp giấy, thay thế cho các bộ điều khiển không còn chính xác. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hoàng Minh Sơn. Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình. Nhà xuất bản Bách khoa. Hà Nội. 2006.
2. Hoàng Minh Sơn. Mạng truyền thông công nghiệp. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội. 2001.
3. Nguyễn Doãn Phước. Lý thuyết điều khiển tuyến tính. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội. 2007.

Người biên tập: Đào Đức Tạo

SUMMARY

The article will present research results on theory in a problem on accurate position control. Therefore, the algorithm on position control and experimental models in the laboratory are developed. The experimental model is developed based on basic components of a control system which includes: a Human Machine Interface HMI (Protool V6.0), a PLC S7-200, and the load drive system.

Khai thác đá xây dựng...

(Tiếp theo trang 31)

Người biên tập: Hồ Sỹ Giao

SUMMARY

Bình Dương province locates in the important economy zone in the North part of Vietnam. This province has rich natural resources. Output of the construction stone in the 2009 year is 14,020,000 m³. The paper shows the state of the construction stone exploitation and some solutions for development of this national industry branch.