

PHƯƠNG PHÁP KHAI THÁC VÀ VẬN TẢI CHẤT RẮN DƯỚI NƯỚC BẰNG DÒNG HỖN HỢP BA PHA RẮN-LỎNG-KHÍ

VŨ NAM NGẠN, VŨ NGỌC TRÀ
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Trong khai thác và vận tải chất rắn, người ta đã áp dụng nhiều phương pháp khác nhau, như: sử dụng hệ thống thiết bị máy bơm ly tâm bơm dòng 2 pha rắn-lỏng 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,... Nhưng phương pháp khai thác và vận tải chất rắn dưới nước bằng dòng hỗn hợp 3 pha rắn-lỏng-khí (còn gọi là hệ thống thiết bị bơm dòng 3 pha) đã và đang được sử dụng để khai thác và vận chuyển khoáng sản ở đáy biển; khai thác cát, sỏi dưới nước trong xây dựng; nạo vét lòng moong ở các mỏ,...

Áp dụng phương pháp nêu trên sẽ cho hiệu quả tốt và giá thành rẻ hơn so với các phương pháp khác. Đặc điểm của hệ thống thiết bị bơm này chính là vận chuyển chất rắn bằng dòng hỗn hợp 3 pha: khí-rắn-lỏng. Ở đây, vấn đề quan trọng đặt ra là cần phải xác định tỷ lệ các thành phần trong hỗn hợp 3 pha nói trên hợp lý để sao cho phương pháp đạt hiệu quả cao nhất. Vì vậy việc nghiên cứu tính toán tỷ lệ chất khí (hệ số cấp khí) 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 thiết bị bơm dòng 3 pha rắn-lỏng-khí.

1. Xác định lưu lượng khí nén hợp lý và hiệu suất của hệ thống thiết bị bơm dòng 3 pha

Xuất phát từ cân bằng công suất của dòng chảy ở phần trên và dưới ống, đồng thời chú ý tới ảnh hưởng của ma sát giữa dòng chảy với ống dẫn và tác dụng trượt giữa các hạt rắn với chất lỏng để tính toán lượng khí nén yêu cầu cho việc bơm chất rắn đi lên (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 hút vào phía dưới và chỗ uốn cong phần trên khi dòng chảy ra khỏi ống dẫn;

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

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

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

- Trong phạm vi chiều cao từ mặt nước đến miệng ống xả h (hình H.1), bỏ qua sự tham gia của chất khí.

Khi đó, nồng độ thể tích hạt rắn ở trên ống ($C_{h,0}$) và dưới ống ($C_{h,u}$) là như nhau, nghĩa là:

$$C_{h,0} = C_{h,u} \quad (1)$$

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

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

Trong đó: p_E , p_a - 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).

Phương trình cân bằng công suất của dòng hỗn hợp ở phía trên và dưới ống là:

$$N_U + N_T = N_0 \quad (3)$$

Trong đó: N_T , N_U và N_0 - Tương ứng là công suất đẳng nhiệt, công suất ở dưới ống và trên ống.

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

$$N_U = (\rho_n Q_n + \rho_n Q_r) \left(\frac{p_a}{\rho_n} + g T_E - \frac{\Delta p_{RU}}{\rho_n} \right) - \left(\frac{\Delta p_{SU}}{\rho_n} \right) \quad (4)$$

Trong đó: Q_n , Q_r - Lưu lượng của pha rắn và pha nước; ρ_n - Khối lượng riêng của hạt rắn; Δp_{RU} , Δp_{SU} - Tương ứng là tổn thất áp suất do ma sát

của dòng hỗn hợp ở phần dưới ống và tổn thất áp suất do sự trượt giữa các pha. Tại đây, tổn thất áp suất riêng do ma sát của phần dưới ống sẽ là:

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

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

Trong đó: d_h - Đường kính trung bình của hạt rắn; C_w - Hệ số sức cản của hạt rắn; f - Hệ số hình dáng của hạt.

Công suất đẳng nhiệt NT, bằng:

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

$$N_O = (\rho_h Q_h + \rho_n Q_n) \left[\frac{p_a}{\rho_n} + \frac{v_{tb,O}^2}{2} + g(T_E + h) + \frac{\Delta p_{R,O}}{\rho_n} + \frac{\Delta p_{S,O}}{\rho_n} \right], \text{ w; } (8)$$

Trong đó: $v_{tb,O}$ - 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 tổn thất áp suất do sự trượt của các pha.

Tổn thất áp suất riêng do ma sát ở phần ống

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

Thay các phương trình từ (4) đến (10) vào phương trình (3). Sau những phép biến đổi cần

Trong đó: Q_K - Lưu lượng của chất khí trên ống dẫn.

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

dẫn này sẽ là:

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

và tổn thất áp suất riêng do ma sát trượt bằng:

thiết, ta sẽ nhận được hệ số tỷ lệ khí nén (hệ số cấp khí) là:

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

Để có thể khảo sát so sánh giữa các hệ thống thiết bị vận tải dòng 3 pha khác nhau, cần sử dụng thêm tỷ số về độ cao của hệ thống ống dẫn, được biểu thị qua hệ số α :

$$\alpha = T_E / (T_E + h) = (T_E / H) / [(T_E / h) + (h / H)]. \quad (12)$$

Đây là một đại lượng rất quan trọng (cũng như hệ số đồng dạng) để so sánh giữa các hệ thống thiết bị vận chuyển dòng 3 pha với nhau.

Hằng số Froude-Zahl của thiết bị 3 pha rắn-lỏng-khí được viết [3]:

$$F_r = (v_{tb}^2 / [g \cdot (T_E + h)]). \quad (13)$$

Trong đó: v_{tb} - Vận tốc trung bình của hỗn hợp 3 pha rắn-lỏng-khí.

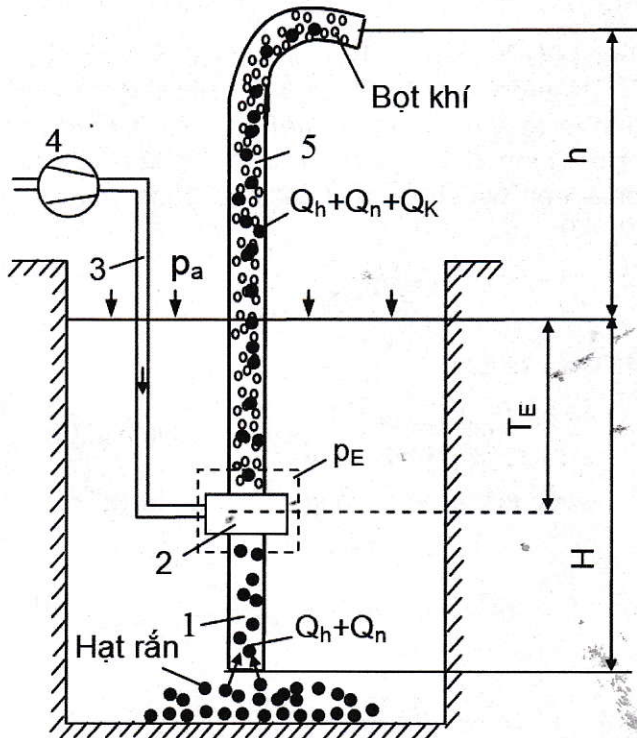
Còn hằng số O'le được biểu thị như sau:

$$E_u = \Delta p / [\rho_{tb} \cdot (v_{tb}^2)] = (\rho_{tb} \cdot g \cdot T_E) / [\rho_{tb} \cdot (v_{tb}^2)] = (g \cdot T_E) / (v_{tb}^2). \quad (14)$$

Trong đó: ρ_{tb} - Khối lượng riêng trung bình của hỗn hợp rắn-lỏng-khí. Từ đây ta nhận được tích số của hai hằng số nêu trên:

$$E_u.F_r = [(g.T_E)/(v_{tb})^2] \cdot [(v_{tb})^2/[g.(T_E+h)]] = T_E/(T_E+h) = \alpha \quad (15)$$

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



H.1. Sơ đồ hệ thống thiết bị bơm ba pha khai thác quặng dưới nước. 1 - Ống dẫn dưới; 2 - Buồng trộn hỗn hợp; 3 - Ống dẫn khí nén; 4 - Máy nén khí; 5 - Ống dẫn trên

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

$$N_H = \rho_n \cdot g H \cdot [(p_h/p_n) - 1] \cdot Q_h + \rho_n \cdot g h \cdot Q_n \cdot w. \quad (17)$$

Từ đây, chúng có thể tính được đại lượng hiệu suất thủy khí η của hệ thống thiết bị bơm 3 pha tương ứng với trường hợp khi hiệu suất của máy nén khí hoạt động tại chế độ đẳng nhiệt $\eta_{T,K}$, theo công thức như sau:

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

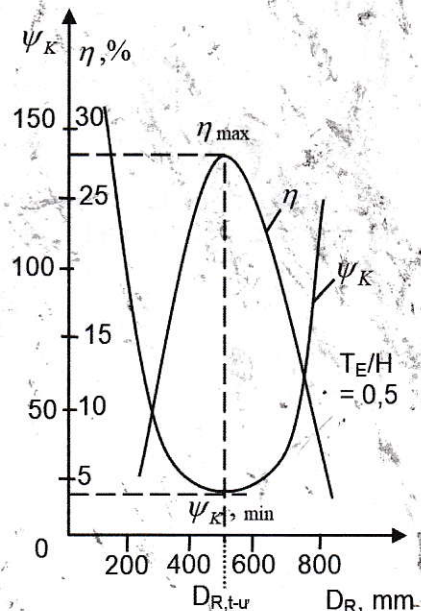
Từ các phương trình trên, chúng ta có thể tính được lượng khí yêu cầu Q_K (tính từ hệ số ψ_K) và

Ta có thể thấy hệ số α có ảnh hưởng rất cơ bản đến các thông số của hệ thống thiết bị 3 pha trong việc nghiên cứu mô hình của nó nhờ giá trị α này. Từ phương trình (11) sau khi biến đổi, ta nhận được biểu thức như sau:

hiệu suất η của hệ thống thiết bị bơm dòng 3 pha rắn-lỏng-khí.

2. Áp dụng để tính toán cho hệ thống thiết bị bơm dòng ba pha rắn-lỏng-khí

Để bơm quặng măng gan ở đáy biển, sử dụng hệ thống thiết bị bơm 3 pha (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 biển $\rho_n = 1008 \text{ kg/m}^3$; 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 $C_w = 0,4$; nồng độ vận tải hạt rắn $C_h = 5 \%$; áp suất khí quyển: $p_a = 98100$.



H.2. Đồ thị xác định các thông số làm việc hợp lý của hệ thống bơm ba pha

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 đã chỉ ra giá trị hiệu suất cực đại nhận được ở giá trị đường kính ống dẫn tối ưu $D_{R,t-u}$.

Phía bên trái của giá trị hiệu suất cực đại ($\eta_{\max}$) thì hiệu suất giảm dần do ma sát ống tăng lên vì đường kính ống dẫn nhỏ lại.

Phía bên phải của $\eta_{\max}$, 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 pha lỏng (nước) tăng lên.

Lý do của những quy luật biến đổi trên đây là do nguyên nhân chủ yếu sau đây: tại đây có sự tăng lên của lượng khí yêu cầu QK (đó là hệ số cấp khí ψ_K trên đồ thị hình H.2) cho thiết bị bơm dòng 3 pha.

Nghĩa là trên thực tế 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 thiết bị bơm ba pha này, chúng ta có thể nhận được: $D_{R,t-u}=530$ mm, $\eta_{\max}=28,6$ %; $\psi_{K,\min}=15$.

3. Kết luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây, chúng tôi rút ra một số kết luận sau:

➢ Phương pháp tính toán hệ thống thiết bị bơm với dòng 3 pha rắn-lỏng-khí ở trên có thể cho phép lựa chọn được đường kính ống dẫn phù hợp để khai thác và vận chuyển khoáng sản rắn ở sâu dưới nước;

➢ Hiệu suất thiết bị bơm dòng 3 pha rắn-lỏng-khí đạt giá trị lớn nhất khi hệ số cấp khí là nhỏ nhất. Vì vậy, để đạt hiệu suất cao nhất cần tối ưu hóa hệ số cấp khí. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Sướng, Vũ Nam Ngạn. Giáo trình Máy thủy khí. Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội 2012.
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 Förderverfahren 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

Ngày nhận bài: 15/04/2018

Ngày gửi phản biện: 16/05/2018

Ngày nhận phản biện: 20/08/2018

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/04/2019

Từ khóa: tỷ lệ chất khí; hệ số cấp khí; lượng hạt rắn; bơm chất rắn, hỗn hợp rắn-lỏng-khí, dòng 3 pha; đường kính tối ưu; ống dẫn; thiết bị bơm dòng 3 pha

SUMMARY

This paper introduces the method of calculating the gas ratio in accordance with the amount of solid particles transported together in a solid-liquid-gas mixture of 3 phases. In addition, this method also calculates the optimal diameter of the pipeline and the highest efficiency of the three-phase flow pump system.

ĐỀ-THIỀN-ĐỀ

1. Tình yêu thương con người là tài sản quý giá nhất. *Tục ngữ Ả Rập.*

2. Một ngày không có tiếng cười là một ngày lãng phí. *Charlie Chaplin.*

3. Một người vĩ đại có hai quả tim: một quả tim chảy máu, một quả tim khoan dung. *Gibran.*

4. Người giàu trù tính cho tương lai. Người nghèo trù tính cho hiện tại. *Ngạn ngữ Phương Đông.*

5. Nếu họ khắc khổ sau lưng bạn, điều đó có nghĩa là bạn đang ở phía trước họ. *Khổng tử.*

6. Không đủ thông minh để nói lời phù hợp. Không đủ khôn ngoan để im lặng. Đó là nguyên nhân của mọi sự thô lỗ. *Ngạn ngữ Nhật Bản.*

7. Học vấn do người siêng năng đạt được, tài sản do người tinh tế sở hữu, quyền lợi do người dũng cảm nắm giữ, thiên đường do người lương thiện xây dựng. *Franklin.*

8. Đừng cố gò gẫm để hình thành nhân cách, điều đó cũng giống như cố bắt nụ hồng xanh nở hoa vậy. Bạn hãy sống sao cho tốt nhất, và nhân cách của bạn tự nó sẽ hình thành. *Henry James.*

9. Kiêu hãnh đốt nóng lòng can đảm, kích thích tài năng, phát triển tư chất tự nhiên cho tâm hồn, biết oán ghét cái hèn hạ ti tiện và không xứng đáng với thiên cảm mà tự nơi chúng ta có. *Gomong.*

VTH sưu tầm