

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHA RẮN TRONG HỖN HỢP BÙN THAN ĐẾN ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CÔNG TÁC CỦA HỆ THỐNG BƠM LY TÂM Ở CÁC NHÀ MÁY TUYỂN THAN

PGS.TS. VŨ NAM NGẠN, ThS. VŨ NGỌC TRÀ
Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Trong dây chuyền công nghệ ở các nhà máy tuyển than vùng Quảng Ninh người ta sử dụng hệ thống thiết bị bơm (gọi tắt là hệ thống bơm) để vận chuyển dòng hỗn hợp, gồm có: than (thành phần chính) có lẫn đá, cát, sỏi... với nước, gọi là dòng hỗn hợp bùn than (dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng). Hệ thống bơm bao gồm: máy bơm ly tâm, đường ống dẫn và các phụ kiện lắp đặt kèm theo. Do tính phức tạp và không ổn định về tính chất và nồng độ của pha rắn trong dòng hỗn hợp bùn than mà các đường đặc tính (ĐĐT) công tác của máy bơm và mạng dẫn sẽ thay đổi thường xuyên. Vì vậy, chế độ làm việc của máy bơm cũng thường xuyên thay đổi theo. Khi nồng độ pha rắn không hợp lý, hệ thống bơm làm việc kém hiệu quả hoặc dừng làm việc, ảnh hưởng lớn đến sản xuất của nhà máy. Vì vậy, cần nghiên cứu ảnh hưởng của pha rắn đến ĐĐT công tác của hệ thống bơm, nhằm xác định chế độ làm việc hợp lý của chúng, đảm bảo sự làm việc ổn định, để đáp ứng yêu cầu cấp liệu bình thường trong nhà máy tuyển than.

1. Dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng trong hệ thống bơm ở các nhà máy tuyển than

Ở các Nhà máy tuyển than vùng Quảng Ninh (Vàng Danh, Cửa Ông, Hòn Gai và một số phân xưởng tuyển ở các mỏ) hiện nay đang sử dụng nhiều loại máy bơm ly tâm khác nhau của một số nước: Việt Nam, Nga, Australia, Nam Phi trong dây chuyền công nghệ bơm tuyển than và thải bùn đất. Các máy bơm này có mã hiệu: LTS-250; ПБ-100/31; ГРАТ-170/85; 5ГРК-8; WARMAN66EG, WARMAN100E-MP, WARMAN100EG-MP, WARMAN66EG; METSO-HM200-C5; METSO-HM150-C5; METSO-HM250; METSO-HR200; METSO-V8-80; DENVER-ORION 200/150F-CSA...

Dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng đi qua hệ thống bơm bao gồm: pha rắn và pha nước. Pha rắn: tập

hợp các loại hạt rắn, gồm than (là chủ yếu), manhêtit, đá, sỏi, cát,..., chúng rất đa dạng về kích cỡ. Nồng độ pha rắn C_T từ 25 đến 45 %; khối lượng riêng của dòng hỗn hợp ρ_M từ 1250 đến 1500 kg/m³. Đặc tính cơ học của các hạt rắn, bao gồm: khối lượng riêng (ρ_S); cỡ hạt rắn (đường kính trung bình) d_S từ 0,1 đến 60 mm và hình dáng hạt (độ sắc cạnh). Tất cả những yếu tố nói trên đều có ảnh hưởng lớn đến ĐĐT công tác của hệ thống bơm.

2. Phương trình ĐĐT của mạng ống dẫn khi bơm nước sạch và bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng

2.1. Phương trình ĐĐT của mạng ống dẫn với dòng nước sạch

Khi bơm nước sạch, phương trình ĐĐT mạng ống dẫn tính theo công thức [4]:

$$H_{md} = (H_{hh} + K_{md} \cdot Q^2); \quad (1)$$

$$K_{md} = \left(\sum \lambda_i \frac{L_i}{D_i} + \sum \xi_i + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{2gF_i^2} \right). \quad (2)$$

Trong đó: H_{hh} - Chiều cao hình học của mạng ống dẫn; Q - Lưu lượng nước; ξ_i - Hệ số tổn thất cột áp ở vị trí thứ (i) trên mạng ống dẫn; λ_i , D_i , L_i , F_i - Tương ứng là: hệ số tổn thất ma sát dọc đường, đường kính trong, chiều dài và tiết diện của ống dẫn thứ (i). Các hệ số λ_i , ξ_i tra cứu theo các tài liệu chuyên dùng.

2.2. Phương trình ĐĐT của mạng ống dẫn với dòng hỗn hợp rắn-lỏng

Khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng thì sức cản trong mạng ống dẫn sẽ tăng lên, do đó ĐĐT của nó sẽ dịch chuyển lên phía trên so với ĐĐT khi bơm nước sạch. Để xây dựng ĐĐT mạng ống dẫn của dòng hỗn hợp rắn-lỏng, có nhiều tác giả đã đưa ra các công thức tính khác nhau, [2], [3], [5]. Tại đây ta sử dụng công thức của Đuran-Condolios-Smolodrev [2]:

$$Y = a_0 \cdot Q_M^2 \left[\lambda_F \frac{L}{D} + a_6 + \frac{a_1}{Q_M^3} + \frac{a_5}{(4Q_M - \pi D^2 c_{SF})^2} \right] + Y_{nh} \left[1 + C_T \left(1 - \frac{\rho_S}{\rho_0} \right) \right] \quad (3)$$

Trong đó: $Y = (g \cdot H_M)$ - Công riêng; H_M, Q_M - Cột áp và lưu lượng của dòng hỗn hợp; $L = (L_v + L_h)$ - Chiều dài thực của đường ống dẫn; L_h, L_v - Chiều dài đoạn ống nằm ngang và đoạn ống thẳng đứng; c_{SF} - Vận tốc lắng của hạt rắn;

$$c_{SF} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d_s}{c_w} \left(\frac{\rho_S}{\rho_0} - 1 \right)} \quad (4)$$

c_w - Hệ số sức cản của hạt rắn, có thể lấy $c_w = 0,44$; d_s - Đường kính trung bình của hạt rắn; λ_F - Hệ số ma sát, tính theo Blasius [2]:

$$\lambda_F = \left(\frac{0,3164}{R_e^{1/4}} \right) \quad (5)$$

$$a_0 = (0,811/D^4); \quad (6)$$

D - Đường kính trong của ống dẫn; ρ_0, ρ_S - Khối lượng riêng của pha nước và pha rắn;

$$a_1 = 40,21 \cdot g^{1,5} \cdot C_T \cdot \lambda_F \cdot L_h \cdot \cos \delta \cdot D^{6,5} \cdot (1 - \rho_0/\rho_S)^{1,5} (\rho_0/\rho_S)^{0,5} / c_w^{0,75}; \quad (7)$$

$$\delta - \text{Góc tạo bởi giữa các đoạn ống cong}; \quad a_5 = 968,21 \cdot L_v \cdot C_T \cdot D^4 \cdot (1 - \rho_0/\rho_S); \quad (8)$$

$$a_6 = \xi \cdot [1 + C_T \cdot (1 - \rho_0/\rho_S)]; \quad (9)$$

ξ - Hệ số sức cản cục bộ ở các phụ kiện lắp trên ống dẫn; C_T - nồng độ vận tải thể tích hạt rắn.

Khi đã xác định được công riêng Y theo phương trình (3), ta nhận được phương trình ĐĐT mạng ống dẫn là: $H_M = Y/g$, (10)

4. Phương trình ĐĐT của máy bơm khi bơm nước sạch và bơm hỗn hợp rắn-lỏng

4.1. Phương trình ĐĐT của máy bơm khi bơm nước sạch

Từ các thông số của máy bơm ở chế độ định mức: cột áp H_n , lưu lượng Q_n và tốc độ quay n , dựa vào công thức thực nghiệm dưới đây, ta sẽ xây dựng được ĐĐT của máy bơm khi bơm nước sạch [1]:

$$H = H_0 \left[1 - \left(1 - \frac{H_n}{H_0} \right) \left(\frac{Q}{Q_n} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Ở đây: H_0 - Cột áp của máy bơm khi $Q=0$; n_q - Số vòng quay đặc trưng của máy bơm;

$$H_0 = H_n (1,025 + 0,0075 n_q); \quad (12)$$

$$n_q = \left(\frac{n \cdot \sqrt{Q_n}}{H_n^{3/4}} \right) \quad (13)$$

4.2. Phương trình ĐĐT của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng

Khi máy bơm bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng thì các thông số làm việc của máy bơm, như lưu lượng, cột áp và hiệu suất đều bị giảm đi, nghĩa là ĐĐT công tác của bơm sẽ dịch chuyển xuống phía dưới ĐĐT của nó khi bơm nước sạch (xem H.1). Có nhiều tác giả đã đưa ra các công thức tính hệ số giảm cột áp λ_H , ở đây sử dụng công thức của tác giả Vocadlo [3]:

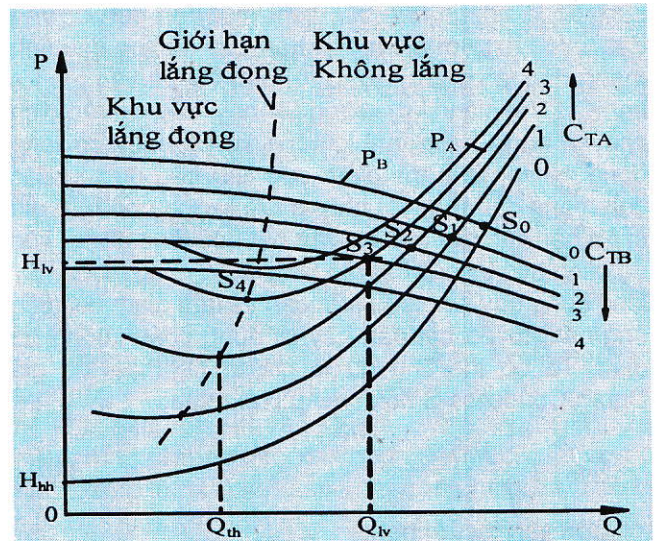
$$\lambda_H = C_T \left(\frac{\rho_S}{\rho_0} - 1 \right) \left[0,167 + 6,02 \sqrt{\frac{d_s}{D_2} \left(\frac{\rho_S}{\rho_0} - 1 \right)} \right] \quad (14)$$

Ở đây: D_2 - Đường kính ngoài của bánh công tác.

Như vậy, ta có thể xác định được cột áp của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn lỏng theo biểu thức sau: $H_M = H(1 - \lambda_H)$, (15).

Theo phương trình (11), sau khi tính được hệ số λ_H từ phương trình (14), ta sẽ xác định được cột áp của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn lỏng theo phương trình (15) và từ đây sẽ xây dựng được ĐĐT của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn- lỏng như mô tả trên H.1.

5. Ảnh hưởng của pha rắn trong dòng hỗn hợp đến các ĐĐT của hệ thống bơm



H.1. Các ĐĐT của máy bơm và mạng dẫn: 0 - bơm nước sạch; 1, 2, 3, 4 - Bơm dòng hỗn hợp, theo thứ tự nồng độ vận tải pha rắn C_T tăng dần.

Để xác định được ảnh hưởng của pha rắn trong dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng đến các ĐĐT công tác của hệ thống bơm, ta lần lượt cho một trong các thông số của hạt rắn là: C_T , (hoặc ρ_S , hoặc d_s) thay đổi, nhưng vẫn được giữ nguyên các giá trị khác, kết quả sẽ nhận được là các ĐĐT công tác của hệ thống bơm như trên H.1.

Ở đây, khi máy bơm làm việc với nước sạch, tức $C_{TA}=0$, ĐĐT mạng dẫn là đường cong Parabol (đường 0), có điểm S_0 xác định chế độ làm việc của máy bơm với mạng dẫn khi bơm nước sạch. Khi bơm dòng hỗn hợp có chứa hạt rắn thì áp suất yêu cầu trong đường ống dẫn tăng lên, nên các ĐĐT mạng dẫn P_A sẽ nằm ở vị trí cao hơn theo sự tăng lên của nồng độ vận tải hạt rắn C_{TA} và tạo ra điểm cực tiểu (điểm giới hạn) trên đó. Ngược lại, cột áp của máy bơm lại bị giảm đi nên các ĐĐT của máy bơm P_B sẽ bị dịch chuyển xuống phía dưới theo sự tăng lên của nồng độ vận tải hạt rắn C_{TB} .

Trong trường hợp ổn định, nồng độ pha rắn trong máy bơm C_{TB} và trong đường ống C_{TA} là như nhau thì hai ĐĐT này sẽ cắt nhau tại các điểm làm việc S_1, S_2, S_3 và chúng được gọi là điểm làm việc của hệ thống bơm. Nếu nồng độ vận tải pha rắn tiếp tục tăng lên đến khi hai đường đặc tính không cắt nhau (hai đường số 4 trên H.1) thì sẽ không có điểm làm việc (S_4) tiếp theo, lúc này máy bơm không làm việc được nữa. Khi lưu lượng càng nhỏ, nghĩa là tốc độ dòng chảy trong ống dẫn càng nhỏ thì các hạt rắn sẽ bị lắng đọng dần xuống đáy ống dẫn và do đó càng làm giảm tiết diện ngang của phần ống còn lại.

Khi lưu lượng giảm xuống dưới lưu lượng tới hạn thì hạt rắn lắng đọng và sức cản tăng vô cùng, lúc này ta không thể xác định được đặc tính mạng ống dẫn nữa, đó là nhánh bên trái điểm giới hạn trên đường đặc tính. Ứng với điểm giới hạn của đường đặc tính mạng dẫn ta có lưu lượng tới hạn Q_{th} và vận tốc tới hạn C_{th} . Với giá trị lưu lượng Q_{th} này, các hạt rắn dịch chuyển trong trạng thái lơ lửng và có nguy cơ lắng đọng. Nhánh bên trái điểm cực tiểu trên đường đặc tính mạng dẫn ứng với những lưu lượng nhỏ hơn giá trị tới hạn, lúc này các hạt rắn bắt đầu lắng đọng. Tốc độ càng nhỏ thì các hạt rắn lắng đọng càng nhiều. Sự lắng đọng này làm tăng sức cản và làm giảm tiết diện ống dẫn, từ đó bắt đầu gây ra dòng chảy không ổn định. Ta có thể tính được giá trị Q_{th} theo tác giả Duran-Condolios-Smoludrev [2] như sau:

$$Q_{th} = \left(\frac{0,5 \cdot a_1}{(\lambda \cdot L/D + a_6)} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Còn vận tốc tới hạn:

$$C_{th} = \left(\frac{4 \cdot Q_{th}}{\pi \cdot D^2} \right) \quad (17)$$

Theo một số tác giả [1], [2], [6],... điểm làm việc của hệ thống bơm hỗn hợp rắn-lỏng có lưu lượng $Q_{lv} \geq (1,2 \cdot Q_{th})$ thì các hạt rắn sẽ không bị lắng đọng. Với quan điểm an toàn về lắng đọng thì lưu lượng (hay vận tốc) của dòng chảy càng lớn càng tốt. Nhưng nếu lưu lượng lớn quá sẽ gây mòn hỏng nhanh chóng máy bơm và mạng ống dẫn, đồng thời tăng tổn thất năng lượng trong hệ thống.

6. Kết luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây, ta nhận thấy rằng máy bơm ly tâm bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng (hỗn hợp bùn than) ở các nhà máy tuyển than thì pha rắn có ảnh hưởng lớn đến các đường đặc tính công tác của máy bơm và của mạng ống dẫn. Nó làm thay đổi điểm làm việc của hệ thống thiết bị bơm, nghĩa là thay đổi chế độ công tác chung của cả hệ thống. Điều này có thể dẫn đến chế độ làm việc của cả hệ thống không phù hợp, làm giảm hiệu quả công tác bơm tuyển, đồng thời làm giảm tuổi thọ của máy bơm và đường ống dẫn. Vì vậy, khi tính toán hệ thống thiết bị bơm vận tải dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng cần lưu ý lựa chọn các thông số kỹ thuật của hệ thống thiết bị bơm phù hợp với tính chất của pha rắn, đồng thời khi vận hành máy bơm phải bảo đảm an toàn về sự lắng đọng của các hạt rắn. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Sướng (1996). Nghiên cứu thực nghiệm với máy bơm ly tâm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng. Hội nghị khoa học lần thứ 12. Đại học Mở-Địa chất, tháng 10/1996, Q1, tr 98-105.
2. Nguyễn Đức Sướng (2000). Nghiên cứu nâng cao hiệu quả làm việc của các máy bơm ly tâm trong việc sử dụng để khai thác, nạo vét lòng moong các mỏ lộ thiên và vận tải bùn ra xa bờ mỏ. Đề tài cấp Bộ, mã số B98-36-30.
3. Vũ Ngọc Trà (2011). Nghiên cứu chế độ làm việc của bơm ly tâm dưới ảnh hưởng của hạt rắn trong dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng tại Nhà máy Tuyển than Hòn Gai. Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật.
4. Nguyễn Đức Sướng, Vũ Nam Ngạn (2012). Máy thủy khí. Trường Đại học Mở-Địa chất.
5. Vũ Nam Ngạn, Vũ Ngọc Trà (2012). Nghiên cứu chế độ làm việc của hệ thống thiết bị bơm chuyên dùng cấp liệu ở nhà máy tuyển than Quảng Ninh khi bơm dòng hỗn hợp bùn than. Tuyển tập báo cáo tóm tắt các báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 20. Trường Đại học Mở-Địa chất. Tháng 11-2012.

Người biên tập: Đào Đắc Tạo

SUMMARY

The paper refers to the effects of solid phase in slurry mixed flow on the working characteristics of centrifugal pump system used at the coal preparation plants and the way to improve the efficiency of these systems is the define their working regime.