XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC HỢP LÝ CỦA HỆ THỐNG BƠM CẤP LIỆU Ở CÁC NHÀ MÁY TUYỂN THAN QUẢNG NINH KHI BƠM DÒNG HỖN HỢP

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

Hệ thống thiết bị bơm cấp liệu chuyên dụng để vận chuyển dòng hỗn hợp, gồm than lẫn đá, cát, sỏi... với nước, gọi là dòng hỗn hợp bùn than (hoặc dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng) là dây chuyền công nghệ quan trọng trong các nhà máy tuyển than vùng Quảng Ninh. Hệ thống này 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 khi bơm tuyển mà chế độ làm việc của máy bơm cũng thường xuyên thay đổi theo. Trường hợp đặc biệt, khi nồng độ pha rắn trong dòng hỗn hợp không hợp lý, hệ thống bơm có thể làm việc kém hiệu quả hoặc phải dừng làm việc, như vậy sẽ ảnh hưởng lớn đến sản suất của nhà máy. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định chế độ làm việc hợp lý của hệ thống thiết bị bơm do ảnh hưởng của dòng hỗn hợp bùn than là việc làm cấp thiết, đáp ứng cho sự làm việc bình thường của nhà máy.

1. Dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng trong hệ thống thiết bị bơm

Ở các nhà máy tuyển than vùng Quảng Ninh (Vàng Danh, Cửa Ông, Hòn Gai) hiện nay đang sử dụng nhiều loại máy bơm 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 thiết bị bơm bao gồm: pha rắn và pha nước. Pha rắn tập hợp các loại hạt rắn, gồm: than (là chủ yếu), manhetit, 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 kg/m^3 đến 1500 kg/m^3. Đặc tính cơ học của các hạt rắn bao gồm: khối lượng riêng (ρ_S); cỡ hạt (đường kính trung bình) d_S từ 0,1 mm đến 60 mm và hình dáng hạt (độ sắc cạnh). Những yếu tố trên ảnh hưởng lớn đến chế độ làm việc của hệ thống thiết bị bơm.

2. Phương trình đường đặc tính của mạng ống dẫn khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng

Khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng thì sức cản trong mạng ống dẫn tăng lên, nên đường đặc tính của nó sẽ dịch chuyển lên phía trên đường đặc tính mạng dẫn bơm nước sạch. Để xây dựng đường đặc tính mạng ống dẫn của dòng hỗn hợp, có nhiều tác giả đã đưa ra các công thức tính toán khác nhau [2,3,6], ở đây ta sử dụng công thức của Duran-Condolios-Smoldurev[2]:

$$Y=a_0.Q_M^2.\left[\lambda_F\frac{L}{D}+a_6+\frac{a_1}{Q_M^3}+\frac{a_5}{\left(4Q_M-\pi D^2 c_{SF}\right)^2}\right]$$

$$+Y_{hh}\left[1+c_T\left(1-\frac{\rho_0}{\rho_S}\right)\right], \qquad (1)$$

Trong đó: $Y=g.H_M$ - 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; 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]; D - Đường kính trong của ống dẫn; ρ_0, ρ_s - Khối lượng riêng của pha nước và của pha rắn; δ - Góc tạo bởi giữa các đoạn ống cong; ξ - Hệ số sức cản cục bộ ở các phụ kiện; C_T - Nồng độ vận tải hạt rắn.

$$c_{SF}=\sqrt{\frac{4}{3}\frac{g.d_S}{c_w}\left(\frac{\rho_S}{\rho_0}-1\right)}, \qquad (2)$$

$\lambda_{F=} 0,3164/R_e^{1/4}$, (3)

$a_0=0,811/D^4$ (4)

$a_1=40,21.g^{1,5}.C_T.\lambda_F.L_h.\cos\delta.D^{6,5}\times$

$\times(1-\rho_0/\rho_s)^{1,5}(\rho_0/\rho_s)^{0,5}/c_w^{0,75}$, (5)

$a_5=968,21.L_v.C_T.D^4.(1-\rho_0/\rho_s)$, (6)

$a_6=\xi[1+C_T(1-\rho_0/\rho_s)]$. (7)

Khi đã xác định được công riêng Y theo phương trình (1), ta nhận được phương trình đường đặc tính mạng ống dẫn là:

$H_M=(Y/g)$. (8)

3. Phương trình đường đặc tính của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp hai pha 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 đường đặc tính của bơm sẽ bị dịch chuyển xuống phía dưới [1, 2, 3, 4, 5, 6] đường đặc tính khi bơm nước sạch. Có nhiều tác giả đã đưa ra các công thức tính hệ số giảm cột áp λ_H, ở đây dùng công thức của tác giả Vocadlo [2]:

$$\lambda_H=C_T\left(\frac{\rho_S}{\rho_0}-1\right)\left[0,167+6,02\sqrt{\frac{d_s}{D_2}\left(\frac{\rho_S}{\rho_0}-1\right)}\right] \quad (9)$$

Trong đó: D_2 - Đường kính ngoài của bánh công tác.

Như vậy, ta có thể xác định cột áp của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng theo biểu thức:

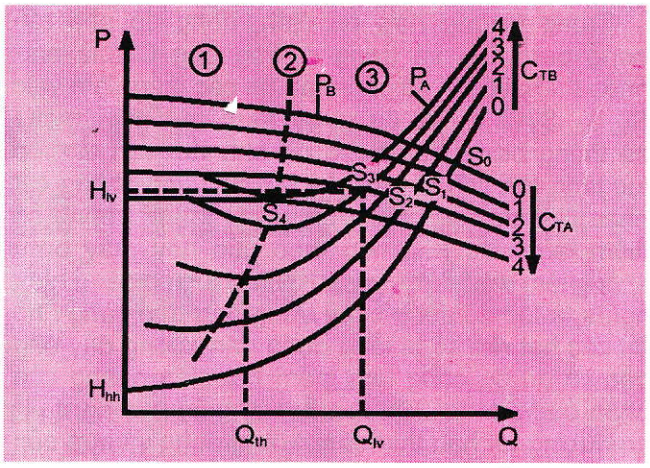
$H_M=H(1-\lambda_H)$. (10)

Sau khi tính được hệ số giảm cột áp λ_H từ phương trình (9), ta sẽ xác định được cột áp của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng theo phương trình (10) và từ đây sẽ xây dựng được đường đặc tính của máy bơm.

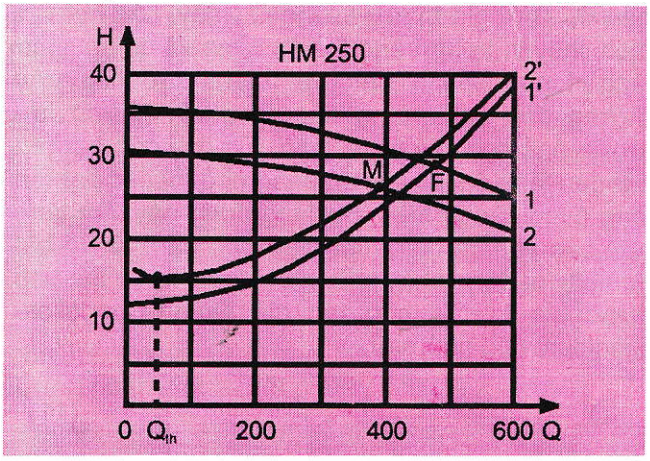
4. Ảnh hưởng của pha rắn trong dũng hỗn hợp đến chế độ làm việc của bơm

4.1. Điểm làm việc của bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng

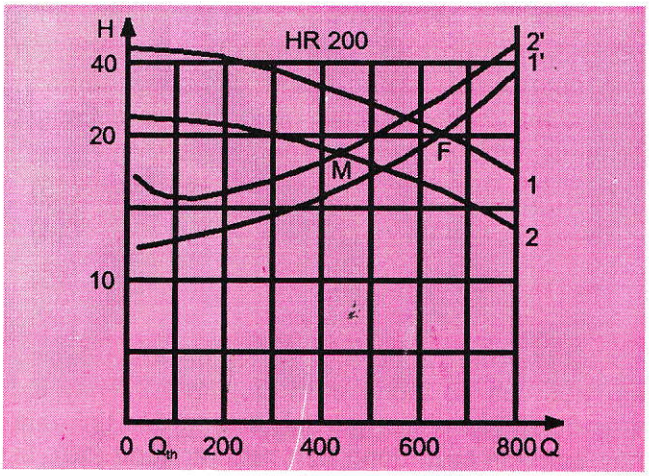
Trong H.1, khi máy bơm làm việc trong hệ thống với nước sạch, tức $C_{TA}=0$, đường đặc tính (ĐĐT) mạng dẫn là đường cong Parabol (điểm S_0 xác định chế độ làm việc của bơm với mạng dẫn khi bơm nước sạch). Khi bơm dòng hỗn hợp có chứa hạt rắn thì áp suất yêu cầu trong đường ống dẫn tăng lên, nên các ĐĐT mạng dẫn P_A sẽ nằm ở vị trí cao hơn theo sự tăng lên của nồng độ hạt rắn vận tải 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 ĐĐTcủa máy bơm P_B sẽ bị dịch chuyển xuống phía dưới theo sự tăng lên của nồng độ hạt rắn vận tải C_{TB}.



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



H.2. Các ĐĐT của máy bơm HM 250 và mạng dẫn: 1 và 1' - Bơm nước sạch; 2 và 2' - Bơm dùng hỗn hợp rắn-lỏng; C_T=30 %; d_S=10 mm; ρ_S=1650 kg/m^3



H.3. Các ĐĐT của máy bơm HR 200 và mạng dẫn: 1 và 1' - Bơm nước sạch; 2 và 2' - Bơm dùng hỗn hợp rắn-lỏng; C_T=30 %; d_S=10 mm; ρ_S=1650 kg/m^3

Trong trường hợp ổn định, nồng độ pha rắn trong bơm C_{TB} và trong đường ống C_{TA} là như nhau thì hai ĐĐT 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 pha rắn vận tải tiếp tục tăng lên đến khi hai đường đặc tính không cắt nhau (hai đường số 4 trong 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-Smoldurev [2] như sau:

$$Q_{th} = \left(\frac{0,5.a_1}{(\lambda.L/D) + a_6} \right)^{1/3}. \quad (11)$$

Còn vận tốc tới hạn:

$$C_{th} = \frac{4.Q_{th}}{\pi.D^2}. \quad (12)$$

Để xác định lưu lượng tại điểm làm việc của hệ thống thiết bị bơm khi bơm hỗn hợp hai pha rắn lỏng, có nhiều tác giả đó đưa ra các công thức tính khác nhau, ở đây ta dùng công thức của tác giả Duran-Condolios-Smoldurev [2]:

$$b_3 - b_1 - Q_{lv}^2 \left[b_2 + a_0 \left((\lambda.L/D) + a_6 + (a_1/Q_{lv}^3) \right) \right] = 0 \quad (13)$$

Trong đó: $b_1 = Y_M \left[1 + C_T (1 - \rho_0/\rho_s) \right]$; (14)

$b_2 = \left[(Y_0 - Y_n)/Q_n^2 \right] (1-\lambda_H)$; (15)

$b_3 = Y_0 (1-\lambda_H)$. (16)

Giải phương trình (13) ta sẽ tìm được lưu lượng làm việc của hệ thống bơm Q_{lv}, (m^3/h). Thay Q_{lv} nhận được vào phương trình đường đặc tính của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn lỏng (10), ta sẽ tìm được cột áp làm việc H_{lv}, (m).

4.2. Áp dụng để tính toán cho một vài máy bơm dùng ở các nhà máy tuyển than Quảng Ninh

Sử dụng phần mềm Matlab để tính toán xác định điểm làm việc của hệ thống bơm ở các nhà máy tuyển than vùng Quảng Ninh. Dựa vào các công thức tính toán ở trên, kết hợp với sơ đồ mạng ống dẫn hiện tại và tính chất của thành phần hạt rắn trong dòng hỗn hợp rắn-lỏng, ta lập trình để tính toán và vẽ đường đặc tính cho các máy bơm đang sử dụng tại Công ty than Hòn Gai và Cửa Ông.

❖ Máy bơm DENVER-ORION HM-250, có các thông số định mức: Q_n=600 m^3/h; H_n=25 m; n=1475 vg/ph; D_2=0,60 m.

Kết quả (H.2): điểm làm việc khi bơm nước sạch $F(Q_F, H_F)=F(476,1; 28,97)$; điểm làm việc khi bơm hỗn hợp $M(Q_M, H_M)=M(387,5; 26,39)$; Q_{th}=48,1 m^3/h; C_{th}=0,425 m/s; λ_H=0,155.

❖ Máy bơm DENVER-ORION HR-200, có các thông số định mức: Q_n=360 m^3/h; H_n=18 m; n=1480 vg/ph; D_2=0,40 m.

Kết quả (H.3): điểm làm việc khi bơm nước sạch $F(Q_F, H_F)=F(316,1; 19,76)$; điểm làm việc khi bơm hỗn hợp $M(Q_M, H_M)=M(224,3; 18,57)$; Q_{th}=48,1 m^3/h; C_{th}=0,425 m/s; λ_H=0,182.

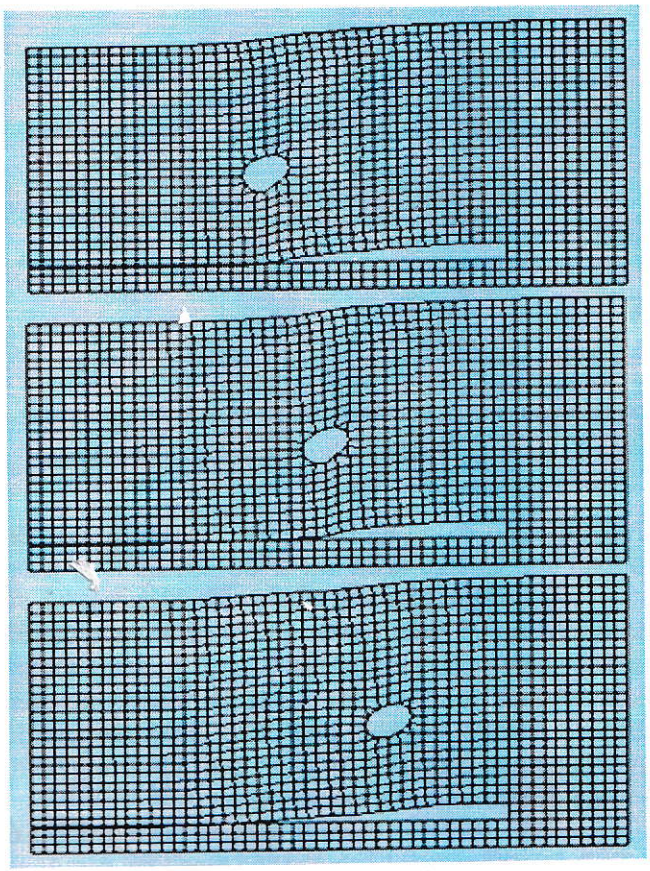
5. Nhận xét

Từ các kết quả đã tính toán cho 2 máy bơm HM-250 và HR-200, để xác định chế độ làm việc hợp lý của hệ thống thiết bị bơm do ảnh hưởng của pha rắn trong dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng, ta lần lượt cho các thông số của hạt rắn là: C_T, u_S hoặc d_S thay đổi, nhưng các giá trị khác vẫn được giữ nguyên. Kết quả sẽ nhận được điểm làm việc của hệ thống bơm bùn có dạng tương tự như H.2 và H.3. Điểm làm việc này sẽ cho các giá trị tương ứng Q_M và H_M giảm đi khi ta tăng dần các giá trị C_T, ρ_S hoặc d_S.

Theo một số tác giả, điểm làm việc của hệ thống bơm hỗn hợp có lưu lượng $Q_{lv} \geq 1,2.Q_{th}$ thì các hạt rắn sẽ không bị lắng đọng. Với quan điểm an toàn về lắng đọng thì lưu lượng (hay vận tốc) càng lớn càng tốt. Nhưng nếu lưu lượng lớn quá sẽ gây mòn, làm hỏng nhanh chóng máy bơm và mạng ống dẫn, đồng thời cũng làm tăng tổn thất năng lượng trong hệ thống. Như vậy, ở phạm vi này ta đã xác định được chế độ làm việc hợp lý của hệ thống bơm bùn làm việc trong các nhà máy tuyển than vùng Quảng Ninh.

Từ những vấn đề đã nêu trên đây, cần đặt ra cho chúng ta một điều lưu ý hết sức quan trọng là khi tính toán lựa chọn hệ thống thiết bị bơm để tải dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng phải có các thông số kỹ thuật phù hợp với tính chất của pha rắn và khi vận hành máy bơm phải bảo đảm an toàn về sự lắng đọng của các hạt rắn.❐

(Xem tiếp trang 23)



H.6. Các kết quả mô phỏng biến dạng của lưới sai phân, phản ánh biến dạng của khối đá cho ba sơ đồ tính trong các hình H.1.a, b, c

4. Kết luận

Các kết quả nhận được cho thấy có thể sử dụng các phương pháp số, trong trường hợp này là phần mềm FLAC 2D, với sơ đồ phân tích hợp lý để nghiên cứu, mô phỏng các quá trình biến đổi cơ học trong khối đá có chứa túi nước, khí theo tiến trình khai thác. Đồng thời bằng mô phỏng sẽ cho phép xác định được thời điểm phải dừng khai thác để xử lý các hiện tượng bục nước, phụt khí, trước khi tiến hành khai thác tiếp.❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Itasca. FLAC Fast Lagrangian Analysis of Continua. User's Guide . Third Edition (FLAC Version 5.0) April 2005.

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

There are geological risks in the underground coal exploitation. The courses of the geological risks are the water and gases cracking in the coal exploitation process. The paper shows some study results of modeling the events by the soft ware FLAC 2D.

XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ...

(Tiếp theo trang 42)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Sướng, Vũ Nam Ngạn. Máy thuỷ khí. Trường Đại học Mỏ-Địa chất. 2010.

2. Nguyễn Đức Sướng. 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. 2000

3. Vũ Ngọc Trà. 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. 2011.

4. Nguyễn Đức Sướng, Vũ Nam Ngạn. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính của máy bơm ly tâm dùng trong mỏ. Tạp chí Than Việt Nam. Hà Nội, tháng 10-1996. Tr. 11-12. 1996.

5. Nguyễn Đức Sướng. Nghiên cứu thực nghiệm với máy bơm ly tâm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng. Hội nghị khoa học lần thứ 12. Trường Đại học Mỏ-Địa chất tháng 10/1996, Q1, tr 98-105. 1996.

6. J.J. Vocadlo, M.S. SaGoo. Slurry flow in pipes and pumps. Worthington (Canada) Ltd; Brantford, Ontario, Canada. Journal of Engineering for Industry. 1973.

Người biên tập: Đào Đắc Tạo

SUMMARY

The paper introduces the results of research on determine reasonable working mode of the pumping system due to the impact of the coal - water slurry mixture to meet the normal working to Quảng Ninh preparation plants.