

QUAN HỆ GIỮA CÁC THAM SỐ LÀM VIỆC CỦA MÁY BƠM LY TÂM VÀ DÒNG HỖN HỢP HAI PHA RẮN-LỎNG VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA CHÚNG ĐẾN HIỆU SUẤT CỦA MÁY BƠM

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

Hiện nay, máy bơm ly tâm đóng vai trò quan trọng trong việc vận tải dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng và được sử dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp. Chúng ta thường gặp các máy bơm ly tâm bơm ở các mỏ khai thác khoáng sản, các nhà máy tuyển than, quặng, bơm cát trong xây dựng, bơm bùn trong việc nạo vét lòng hồ, sông, bến cảng... Do điều kiện làm việc rất nặng nề và dòng chảy không ổn định nên hiệu suất và tuổi thọ của máy bơm thấp hơn so với khi nó làm việc trong môi trường nước sạch.

1. Quan hệ giữa các tham số của máy bơm ly tâm với các tham số của dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng và ảnh hưởng của chúng đến hiệu suất của máy bơm

Khi máy bơm ly tâm bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng thì cột áp H và hiệu suất η của nó đều bị giảm đi so với khi bơm nước sạch [1], [3], [4], [6]. Có sự giảm này là do tác động của hạt rắn trong dòng chảy hai pha. Các tham số chính trong dòng chảy hai pha rắn-lỏng là: nồng độ chất rắn (c_v), khối lượng riêng của hạt rắn (ρ_h) và đường kính trung bình của hạt rắn (d_h). Theo [3], độ giảm cột áp tương đối của máy bơm được xác định theo biểu thức:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{c_v}{k} \sqrt[3]{R_{e,h}} \left(\frac{38,69}{n_s} \right)^{2,46} \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) \quad (1)$$

Trong đó: $\Delta H = H_{tt} - H$; H_{tt} , H - Cột áp tính toán và cột áp làm việc thực tế của máy bơm; $n_s = 3,65n\sqrt{Q}/H^{3/4}$ là tốc độ quay đặc trưng của máy bơm; Q - Lưu lượng làm việc thực tế của máy bơm; $R_{e,h} = d_h v_{hh} / \nu$ - Số Ray-nôn của dòng hỗn hợp hai pha rắn lỏng; ρ_n , ρ_h - Tương ứng là khối lượng riêng của nước sạch và của hạt rắn; $k = H/H_0$; H_0 là cột áp của máy bơm ở hiệu suất cao nhất; v_{hh} , ν - Tương ứng là vận tốc và độ nhớt động học của dòng hỗn hợp rắn-lỏng; n - Tốc độ quay của máy bơm.

Quan hệ giữa độ giảm hiệu suất tương đối của máy bơm $\Delta\eta/\eta$ và các tham số của dòng hai pha (c_v , ρ_h , d_h) dựa trên độ giảm cột áp tương đối ($\Delta H/H$) của máy bơm; $\Delta\eta = \eta - \eta_{hh}$.

Ta có thể xác định công suất của máy bơm (N_B) khi bơm nước sạch như sau:

$$N_B = (\rho_n \cdot g \cdot Q \cdot H) = (\eta \cdot M \cdot \omega) \quad (2)$$

$$\rho_n \cdot g \cdot (Q+q) \cdot (H+h) = (M - M_d - M_{ch}) \cdot \omega \quad (3)$$

Chia phương trình (2) cho (3), ta được hiệu suất toàn phần của bơm:

$$\eta = \eta_{tt} \cdot \eta_{tt} \cdot \eta_{ck} \quad (4)$$

Ở đây: $\eta_{tt} = H/(H+h)$; $\eta_{tt} = Q/(Q+q)$; $\eta_{ck} = (M - M_d - M_{ch})/M$ - Tương ứng là hiệu suất thủy lực, hiệu suất thể tích và hiệu suất cơ khí của máy bơm; g - Gia tốc trọng trường; h, q - Tương ứng là tổn thất cột áp và tổn thất lưu lượng của máy bơm; M, M_d , M_{ch} - Tương ứng là mô men trên trục quay, mô men ma sát của đĩa bơm, mô men ma sát cơ học (không tính M_d).

Khi máy bơm bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng với khối lượng riêng là ρ_{hh} thì mô men trên trục quay sẽ thay đổi từ M đến M_{hh} (M_{hh} - Mô men trên trục quay của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp). Nếu chú ý tới tổn thất ma sát ở đĩa bơm (M_d) và coi tổn thất lưu lượng (q) khi bơm nước sạch và bơm dòng hỗn hợp là như nhau, thì theo phương trình (2) và (3), ta có thể viết được:

$$\rho_{hh} \cdot g \cdot Q \cdot (H - \Delta H) = \eta_{hh} \cdot M_{hh} \cdot \omega \quad (5)$$

$$\rho_{hh} \cdot g \cdot (Q+q) \cdot (H+h) = (M_{hh} - M_d - M_{ch} - \Delta M) \cdot \omega \quad (6)$$

Chia phương trình (5) cho (6) và chú ý sử dụng các biểu thức: $\eta_{tt} = H/(H+h)$; $\eta_{tt} = Q/(Q+q)$, ta được hiệu suất toàn phần của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp (η_{hh}):

$$\eta_{hh} = \eta_{tt} \eta_{tt} \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left(\frac{M_{hh} - M_d - M_{ch} - \Delta M_d}{M_{hh}} - \frac{\Delta M_d}{M_{hh}} \right),$$

Đặt $\eta_{ck, hh} = [M_{hh} - (M_d - M_{ch})]/M_{hh}$ là hiệu suất cơ khí của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng;

$\Delta M = (M_{hh} - M)$ là độ tăng mô men trên trục của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn-lỏng. Ta có:

$$\eta_{ck, hh} - \eta_{ck} = \left(\frac{M_{hh} - (M_d - M_{ch})}{M_{hh}} \right) - \left(\frac{M - (M_d - M_{ch})}{M} \right) = (1 - \eta_{ck}) \frac{\Delta M}{M + \Delta M}$$

Trong thực tế, hiệu suất của máy bơm khi bơm nước sạch là tương đối cao, nhưng giá trị $(1 - \eta_{ck})$ là nhỏ. Từ kết quả nghiên cứu [3], [4], [7] thấy được sự thay đổi của mô men M là rất nhỏ, vì vậy giá trị $\Delta M / (M_{hh} - M)$ là rất nhỏ. Giá trị của $(1 - \eta_{ck}) \cdot [\Delta M / (M_{hh} - M)]$ là nhỏ hơn $(1 - \eta_{ck})$ hoặc $[\Delta M / (M_{hh} - M)]$. Vì vậy, giá trị $(1 - \eta_{ck}) \cdot [\Delta M / (M_{hh} - M)] \approx 0$. Do đó: $\eta_{ck, hh} \approx \eta_{ck}$ và:

$$\eta_{hh} = \eta_{tt} \eta_{tt} \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left(\frac{M_{hh} - M_d - M_n}{M_{hh}} - \frac{\Delta M_d}{M_{hh}} \right) = \eta_{tt} \eta_{tt} \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left(\eta_{ck, hh} - \frac{\Delta M_d}{M_{hh}} \right) \approx \eta_{tt} \eta_{tt} \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left(\eta_{ck} - \frac{\Delta M_d}{M_{hh}} \right)$$

Do đó hiệu suất toàn phần của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp được xác định như sau:

$$\eta_{hh} = \eta_{tt} \eta_{tt} \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left(\eta_{ck} - \frac{\Delta M_d}{M_{hh}} \right) \quad (7)$$

Từ phương trình (4) và (7), ta có:

$$\frac{\eta_{hh}}{\eta} = \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left(\eta_{ck} - \frac{\Delta M_d}{M_{hh}} \right) / \eta_{ck} \quad (8)$$

Từ phương trình (5), ta viết được:

$$M_{hh} = \rho_{hh} g Q (H - \Delta H) / \eta_{hh} \cdot \omega$$

Thế phương trình này vào phương trình (2) và biến đổi, ta nhận được:

$$\frac{\eta_{hh}}{\eta} = \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \frac{M}{M_{hh}} \cdot \frac{\rho_{hh}}{\rho_n} / \eta_{ck}$$

Thế phương trình này vào phương trình (8), ta nhận được:

$$M_{hh} = \frac{\rho_{hh}}{\rho_n} M + \frac{\Delta M_d}{\eta_{hh}} \quad (9)$$

Kết hợp giải phương trình (8) và (9), ta nhận được:

$$\frac{\eta_{hh}}{\eta} = \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left[1 - \frac{\Delta M_d}{\eta_{hh}} \left(\frac{\rho_{hh}}{\rho_n} M + \Delta M_d \right) \right]$$

Chú ý tới biểu thức: $\Delta \eta / \eta = 1 - \eta_{hh} / \eta$ ta sẽ có phương trình sau đây:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta H}{H} + \left(1 - \frac{\Delta H}{H} \right) \left[\Delta \left(\frac{\rho_{hh}}{\rho_n} M + \Delta M_d \right) \right] \quad (10)$$

Phương trình (10) nói lên mối quan hệ về độ giảm hiệu suất ($\Delta \eta$) với độ giảm cột áp (ΔH) của máy bơm khi tính đến mô men ma sát ở đĩa bơm

(ΔM_d) với khối lượng riêng (ρ_{hh}) của dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng.

Theo [4], phương trình mô men ma sát ở đĩa bơm khi bơm nước sạch được tính theo công thức:

$$M_d = \frac{2}{5} \pi K' \rho_n \omega^2 R^4 (2R + 5s) \quad (11)$$

Trong đó: K' - Hệ số tổn thất ma sát của đĩa bơm khi bơm nước sạch; ω - Tốc độ góc của trục quay; R - Bán kính ngoài của bánh công tác; s - Chiều dày cánh dẫn ở lõi ra.

Theo phương trình (11), ta có thể viết được phương trình tính mô men ma sát ở đĩa bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn lỏng là:

$$M_d + \Delta M_d = \frac{2}{5} \pi K'_{hh} \rho_{hh} \omega^2 R^4 (2R + 5s)$$

Ở đây: K'_{hh} - Hệ số tổn thất ma sát của đĩa bơm khi bơm dòng hỗn hợp rắn lỏng. Chia phương trình này cho phương trình (11), ta nhận được:

$$\frac{\Delta M_d}{M_d} = \frac{K'_{hh} \rho_{hh}}{K' \rho_n} - 1$$

Nhân hai vế của phương trình trên với M_d / M , ta sẽ có:

$$\frac{\Delta M_d}{M} = \frac{M_d}{M} \left(\frac{K'_{hh} \rho_{hh}}{K' \rho_n} - 1 \right)$$

Đưa phương trình (11) và giá trị $M = \rho_n g Q H / (\eta \omega)$ vào phương trình trên và biến đổi, ta nhận được:

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{2}{5} \frac{\pi \eta}{g Q H} \omega^3 R^4 (2R + 5s) \left(\frac{\rho_{hh}}{\rho_n} K'_{hh} - K' \right) \quad (12)$$

Mặt khác, từ quan hệ về khối lượng riêng của dòng hỗn hợp với nước sạch (ρ_{hh}, ρ_{hh}):

$$\rho_{hh} = \rho_n + C_v (\rho_h - \rho_n) \quad (13)$$

$$\text{Hoặc là: } \frac{\rho_{hh}}{\rho_n} - 1 = C_v \left(\frac{\rho_h}{\rho_n} - 1 \right) \quad (14)$$

Đưa phương trình (1) và (12) vào (10), có chú ý tới phương trình (14), và đặt:

$$A = \frac{2}{5} \frac{\pi \eta}{g Q H} \omega^3 R^4 (2R + 5s);$$

$$B = \frac{1}{k} \left(\frac{38,96}{n_s} \right)^{2,46} \quad (15)$$

Như vậy, phương trình tính toán độ giảm hiệu suất của máy bơm sẽ là:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{A (K'_{hh} - K' \frac{\rho_n}{\rho_{hh}}) + B \eta_{hh} \sqrt[3]{R_{e, hh}} \left(\frac{\rho_{hh}}{\rho_n} - 1 \right)}{A (K'_{hh})} \quad (16)$$

Phương trình (16) đã thể hiện được mối quan hệ giữa độ giảm hiệu suất của máy bơm với các tham số của dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng ($C_v, R_{e, hh}, d_h, \rho_h, \rho_{hh}$) và các tham số làm việc của máy bơm: (Q, H, s, n_s).

2. Áp dụng thực tế

Sử dụng công thức (16) để tính toán cho 2 máy bơm đang sử dụng để bơm dòng hỗn hợp chất rắn-lỏng ở Công ty Tuyển than Vàng Danh, Công ty Tuyển Than Cửa Ông với các thông số kỹ thuật như ở Bảng 1. Tại đây, theo [3] có thể lấy $K'_{hh}/K'=1,05$, nghĩa là:

$K'_{hh}=1,05$. $K'= 1,05.1,31.10^{-3}$. Ở đây: $K'=1,31.10^{-3}$ - Hệ số xác định bằng thực nghiệm. Ta coi chất lỏng là nước sạch có khối lượng riêng bằng: $\rho_h=1000 \text{ kg/m}^3$, độ nhớt động học bằng: $\nu=1,13.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, hiệu suất khi bơm nước sạch lấy theo Bảng 1. Dòng hỗn hợp chất rắn-lỏng có các tham số tính toán như trong Bảng 2.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của máy bơm

Loại bơm	Q, m ³ /h	H, m	N, kW	n, vg/ph	η	D ₁ , mm	D ₂ , mm	Z	s, mm	b ₁ , mm	b ₂ , mm
WAR MEN 6/6EG	600	25	75	1420	0,67	260	515	3	25	180	180
DENVER ORION 200/150F	200	27	35	1450	0,7	155	330	3	22	120	120

Bảng 2. Tính chất của dòng hỗn hợp rắn-lỏng

Máy bơm	ρ_{hh} , kg/m ³	d _h , mm	C _v , %	ν , m ² /s	Kết quả tính toán $\Delta\eta/\eta$
WAR MEN 6/6EG	1080	48	36	$1,42.10^{-6}$	0,35
DENVER ORION 200/150F	1120	36	38	$1,46.10^{-6}$	0,37

Ghi chú: Q - Lưu lượng, m³/h; H - Cột áp, m; N - Công suất, kW; n - Tốc độ quay, vg/ph; η - Hiệu suất; D₁ - Đường kính BCT ở cửa hút, mm; D₂ - Đường kính BCT ở cửa đẩy, mm; Z - Số cánh dẫn; s - Chiều dày cánh dẫn, mm; b₁ - Chiều rộng cánh dẫn ở cửa hút b₁, mm; b₂ - Chiều rộng cánh dẫn ở cửa đẩy, mm; ρ_{hh} - Khối lượng riêng của hỗn hợp; d_h - Đường kính trung bình của hạt rắn; C_v - Nồng độ thể tích của hạt rắn, %; ν - Độ nhớt, m²/s;

Kết quả tính ở Bảng 2 cho hai máy bơm ở cả hai trường hợp về dòng hỗn hợp có tính chất khác nhau. Theo đây, hiệu suất của bơm khi bơm dòng hỗn hợp chất rắn-lỏng đều bị giảm đi so với khi bơm nước sạch (khi η_{hh} giảm làm cho $\Delta\eta=\eta-\eta_{hh}$ tăng theo).

3. Kết luận

Khi máy bơm bơm dòng hỗn hợp chất rắn-lỏng, thì hiệu suất, cột áp của nó đều giảm so với làm việc ở môi trường nước sạch. Giá trị giảm này phụ thuộc chủ yếu vào 3 thông số: C_v, d_h, ρ_h . Từ đây rút ra: sự giảm hiệu suất của các máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng là do sự tăng tổn thất ma sát của đĩa bơm và tổn thất thủy lực của dòng chảy hai pha rắn-lỏng khi đi qua máy bơm. Để làm tăng hiệu suất của máy bơm khi bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng, cần thiết phải làm tăng độ nhẵn bóng của đĩa bánh công tác và các chi tiết của máy bơm có dòng chảy đi qua; đồng thời thay đổi các thông số kết cấu của máy bơm phù hợp với môi trường làm việc của nó. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vũ Nam Ngạn. Cột áp và hiệu suất của máy bơm ly tâm khi bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn- lỏng. Tuyển tập các công trình khoa học ĐH Mỏ-Địa chất, Tập 31. Hà Nội, tháng 9-2000. Tr. 88-90.
2. Vũ Nam Ngạn. Dòng chảy hai pha và nguyên lý thiết kế máy bơm ly tâm bơm dòng hỗn hợp hai pha rắn-lỏng. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, ISSN 0868-7052, số 3-2008. Tr 26-28.
3. Wang JianSin. Study on relation between

performance parameter of hydraulic machinery and parameter of bi-phase flow. International Conference on pumps and systems, 19-21 May 1992 Beijing, China, p496-503.

4. K. HolZenBreg. The energy loss when centrifugal pump pumps solid-liquid mixed fluid. Irrigation and Drainage Machinery, 1988.

5. Cha Sheng. The principle and hydraulic design of vane pump. Mechanic Industry Press.

6. Xu HongYuan. Velocity ratio theory and design principle on solid - liquid pump. International Conference on pumps and systems, 19-21 May 1992 Beijing, China, p527 - 534.

7. RaYan, M.A;Gad El Hak, N. and Said Askri- Effect of impeller design changes on erosion of centrifugal dredge pumps. FED-Vol. 153, Cavitation and Multiphase Flow, ASEM, 1993, p.111-117.

Người biên tập: Đào Đắc Tạo

SUMMARY

The paper presents the relationship between the working parameters of centrifugal pumps and the parameters of two-phase flow mixture of solid-liquid, and determine their impact on the performance of the pump work. From here apply research results to specific calculations for a number of pumps are being used at the mines.