

PHÂN TÍCH KINH TẾ - KỸ THUẬT SỬ DỤNG ĐỘNG CƠ HIỆU SUẤT CAO TRONG KHAI THÁC MỎ

ĐỖ NHƯ Ý, BÙI NGỌC HÙNG, LƯU VĂN UY, TRỊNH BIÊN THÙY

TÓM TẮT

Hiện nay công suất của mỏ ngày càng tăng, độ sâu khai thác ngày càng lớn đưa đến máy móc ngày càng sử dụng nhiều trong khai thác mỏ. Việc cơ giới hóa khai thác dẫn tới sử dụng điện năng trong khai thác mỏ ngày một tăng làm cho tỉ trọng giá thành điện năng trên một tấn than khai thác ngày càng lớn. Giảm thiểu chi phí sử dụng điện năng trong khai để nâng cao hiệu quả sản xuất trong khai thác mỏ làm một trong những nhiệm cấp bách không chỉ với các ngành nghề công nghiệp khác và cả với ngành khai thác mỏ.

Trong những năm qua ngành khai thác mỏ đã áp triển khai áp dụng nhiều các giải pháp kỹ thuật để tiết kiệm năng lượng trong khai thác mỏ như sử dụng biến tần để điều chỉnh quá trình làm việc, sử dụng khởi động mềm, sử dụng hệ thống giám sát đo đếm điện năng ... Động cơ điện là thiết bị động lực sử dụng nhiều điện năng nhất chiếm khoảng 70-80% điện năng tiêu thụ của toàn mỏ. Việc sử dụng các động cơ hiệu suất cao để thay thế trực tiếp cho các động cơ không đồng bộ truyền thống có hiệu suất thấp trong khai thác mỏ sẽ mang lại hiệu quả cao. Nội dung của bài viết đi phân tích kinh tế - kỹ thuật của việc áp dụng động cơ hiệu suất cao trong khai thác mỏ từ đó để có phương án đầu tư hợp lý để nâng cao sử dụng điện năng trong khai thác mỏ.

Từ khóa: Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu; điện năng, khai thác mỏ.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay công suất của mỏ ngày càng tăng, độ sâu khai thác ngày càng lớn đưa đến máy móc ngày càng sử dụng nhiều trong khai thác mỏ để thay thế sức lao động của con người như mỏ Hà Lâm trang bị lò chột cơ giới hóa công suất 1,2 triệu tấn than và lò chột cơ giới hóa công suất 600.000 tấn than, mỏ núi bèo trang bị chột cơ giới hóa đồng bộ công suất 600.000 tấn than/năm. Việc cơ giới hóa khai thác dẫn tới sử dụng điện năng trong khai thác mỏ ngày một tăng làm cho tỉ trọng giá thành điện năng trên một tấn than khai thác ngày càng lớn.

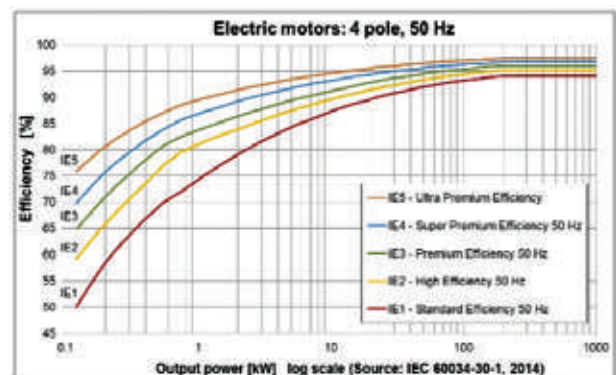
Giảm thiểu chi phí sử dụng điện năng trong khai để nâng cao hiệu quả sản xuất trong khai thác mỏ làm một trong những nhiệm cấp bách không chỉ với các ngành nghề công nghiệp khác và cả với ngành khai thác mỏ hiện nay. Trong những năm qua ngành khai thác mỏ đã áp triển khai áp dụng nhiều các giải pháp kỹ thuật để tiết kiệm năng lượng trong khai thác mỏ như sử dụng biến tần để điều chỉnh quá trình làm việc, sử dụng khởi động mềm, sử dụng hệ thống giám sát đo đếm điện năng ...[1]

Các giải pháp trên cũng đã phần nào phát huy và có hiệu quả trong việc sử dụng năng lượng hiệu quả. Tuy nhiên phần lớn điện năng tiêu thụ trong khai thác mỏ thuộc về các hệ truyền động điện. Động cơ điện là thiết bị động lực được dùng để tạo ra các truyền động của các khâu khai thác mỏ. trong khai thác mỏ ở Việt Nam năng lượng điện được tiêu thụ bởi các hệ truyền động chiếm hơn 75% tổng điện năng tiêu thụ của mỏ [1][3]. Việc sử dụng các động cơ hiệu suất cao để thay thế trực tiếp cho các động cơ không đồng bộ truyền thống có hiệu suất thấp trong khai thác mỏ vẫn chưa được triển khai. Nội dung của bài viết đi phân tích kinh tế - kỹ thuật của việc áp dụng động cơ hiệu suất cao trong khai thác mỏ.

2. ĐỘNG CƠ HIỆU SUẤT CAO

Theo tiêu chuẩn TCVN 6627-30:2011 (IEC 60034-30:2008) hiệu suất động cơ được phân thành các cấp: IE₁ - động cơ hiệu suất tiêu chuẩn (IE₁-Standard Efficiency), IE₂ - động cơ hiệu suất cao (IE₂- High Efficiency), IE₃ - động cơ có hiệu suất cao cấp (IE₃-Premium Efficiency), IE₄ - động cơ hiệu siêu cao (IE₄ -Super Premium Efficiency) và IE₅ - động cơ hiệu suất cực cao (IE₅-Ultra Premium Efficiency). Theo [2] các mức hiệu suất từ IE₁ đến IE₅ của động cơ có đồ thị phụ thuộc như hình 1.

Động cơ truyền thống sử dụng trong khai thác mỏ là các động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc (IM). Loại động cơ này có nhiều ưu điểm như: cấu tạo đơn giản, độ bền cao, mômen khởi động lớn, giá thành rẻ..., tuy nhiên nhược điểm lớn của các loại động cơ này là khó có khả năng nâng cao được hiệu suất do vẫn tồn tại tổn thất điện năng trên rotor trong quá trình làm việc. việc nâng cao hiệu suất



Hình 1. Quan hệ phụ thuộc giữa mức hiệu suất và công suất động cơ

động cơ IM lên mức IE_2 , IE_3 theo tiêu chuẩn IEC60034-30 đang thực sự khó khăn [2][6].

Ngày nay với công nghệ vật liệu và kỹ thuật điều khiển phát triển nhiều các động cơ có hiệu suất cao đã có những bước phát triển vượt bậc. Các động cơ này có thể kể đến các loại như động cơ từ trở (SRM), động cơ nam châm vĩnh cửu (IPM), động cơ động bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp (LSPMSM). Với công nghệ vật liệu và kỹ thuật điều khiển hiện nay các động cơ này có thể được chế tạo đạt đến hiệu suất siêu cao IE_4 . Việc triển khai áp dụng các loại động cơ này trong công nghiệp đã được triển khai mạnh mẽ trong những năm gần đây như công nghệ robot, công nghệ xe điện... tuy nhiên vẫn chưa được triển khai áp dụng trong ngành khai thác mỏ [3].

Như đã phân tích ở trên các động cơ hiệu suất cao hiện nay phổ biến và đang phát triển mạnh mẽ có thể kể đến như động cơ từ trở (SRM), động cơ nam châm vĩnh cửu (IPM), động cơ động bộ nam châm vĩnh cửu khởi động trực tiếp (LSPMSM). Các loại động cơ này có phân thành hai loại gồm loại động cơ hiệu suất cao có thêm bộ điều khiển đi kèm gồm SRM, IPM) và loại động cơ hiệu suất cao không có bộ điều khiển đi kèm như loại LSPMSM. Việc áp dụng các loại động cơ hiệu suất cao có bộ điều khiển đi kèm sẽ gây ra tốn kém về chi phí và gây nên phức tạp trong vận hành trong khai thác mỏ. Nên trong các loại động cơ hiệu suất cao trên việc sử dụng động cơ LSPMSM thay thế cho động cơ IM truyền thống là phù hợp nhất về mặt công nghệ và vận hành [4] [5].

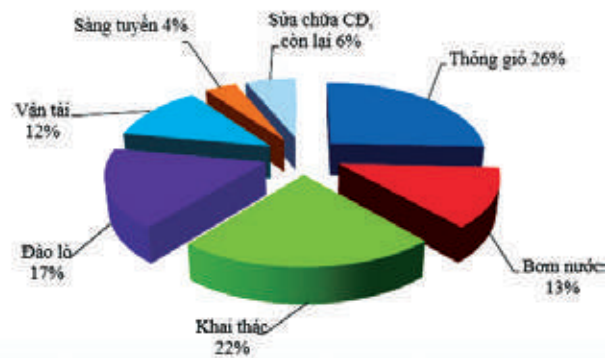
Động cơ LSPMSM có ưu điểm hiệu suất cao, hệ số công suất lớn và không cần bộ khởi động đi kèm, tuy nhiên có nhược điểm là mômen khởi động thấp nên chỉ phù hợp với các khâu công nghệ có yêu cầu mômen khởi động nhỏ. Để có thể sử dụng động cơ này thay thế các động cơ không đồng bộ ba pha (IM) truyền thống cần thiết phải có các nghiên cứu sâu về các yếu tố kỹ thuật và hiệu quả kinh tế khi áp dụng loại động cơ hiệu suất cao này vào trong thực tế khai thác mỏ.

3. PHÂN TÍCH KỸ THUẬT

Việc sử dụng động cơ hiệu suất cao LSPMSM thay thế cho động cơ IM hiện có ý nghĩa lớn khi được áp dụng cho các khâu công nghệ sử dụng nhiều điện năng và sự phù hợp về mặt kỹ thuật. Theo báo cáo tình hình sử dụng điện năng trong khai thác mỏ hầm lò, hiện nay điện năng được sử dụng chủ yếu ở các khâu: khai thác, thông gió, bơm nước, đào lò và vận tải, biểu đồ phân chia sử dụng điện năng như hình 2:

Để động cơ hiệu suất cao LSPMSM thay thế được cho động cơ IM truyền thống thì một trong yêu cầu bắt buộc là phải phù hợp với tốc độ yêu cầu của khâu công nghệ. Đối với các khâu công nghệ vận tải, đào lò hoặc khai thác các khâu này yêu cầu tốc độ của động cơ phải chính xác với động cơ thiết kế, nghĩa là động cơ thay thế phải làm việc với tốc độ không đồng bộ như động cơ IM hiện đang sử dụng. Nếu thay thế các động cơ có tốc độ khác so với động cơ IM hiện có sẽ dẫn tới sự không ăn khớp giữa cơ cấu với nhau. Tuy nhiên các khâu thông gió và bơm nước là những khâu tiêu thụ điện năng lớn mà không đòi hỏi về độ chính xác tuyệt đối về tốc độ, chúng ta có thể thay thế các động cơ quay với tốc độ đồng bộ cho động cơ qua với tốc độ không đồng bộ IM hiện có nên có thể thay thế các động cơ LSPMSM cho các động cơ IM đang sử dụng [1].

Như đã phân tích ở trên động cơ LSPMSM có ưu điểm



Hình 2. Phân bố sử dụng điện năng trong khai thác mỏ hầm lò

là hiệu suất cao, hệ số công suất cosφ lớn, khởi động trực tiếp không cần bộ điều khiển đi kèm. Tuy nhiên nhược điểm của động cơ này là mômen khởi động nhỏ nên phân tích về phần mômen khởi động thì động cơ này phù hợp cho các khâu thông gió, bơm nước phụ tải mà có mômen cần ban đầu nhỏ mômen khởi động nhỏ

Như vậy từ sự phân tích đặc điểm kỹ thuật trên nhận thấy rằng hòa toàn có thể sử dụng động cơ LSPMS có hiệu suất cao để thay thế cho các động cơ IM truyền thống trong khâu thông gió của khai thác mỏ. Đây là khâu công nghệ sử dụng điện năng nhiều nhất thời gian sử dụng lớp nhất. Việc thay thế sử dụng động cơ LSPMSM cho động cơ IM có thể mang lại hiệu quả kinh tế cao, giảm điện năng sử dụng nâng cao hệ số công suất của mạng.

Phân tích yếu tố kinh tế khi sử dụng động cơ hiệu suất cao LSPMSM

Việc đầu tư động cơ hiệu suất cao sẽ làm tăng chi phí ban đầu, tuy nhiên sẽ thu lại được từ chi phí tiết kiệm điện năng trong quá trình vận hành. Việc động cơ hiệu suất cao LSPMSM có được sử dụng trong khai thác mỏ hay không ngoài việc phù hợp về thông số kỹ thuật như đã chỉ ra ở trên còn cần thiết xem xét về phương diện hiệu quả kinh tế.

Tương quan chênh lệch giữa chi phí đầu tư mua động cơ và chi phí vận hành động cơ điện trong quá trình sử dụng lâu dài được thể hiện trên hình 3.

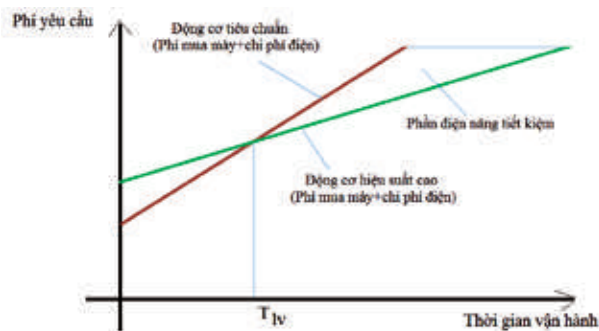
Từ hình 1 thấy rằng, việc phải gánh thêm chi phí ban đầu thì trong khoảng thời gian sử dụng ngắn thì động cơ tiêu chuẩn có lợi hơn về mặt chi phí. Nhưng sau khoảng thời gian làm việc T_{lv} thì việc tiết kiệm được điện năng trong quá trình sử dụng động cơ hiệu suất cao sẽ có hiệu quả kinh tế cao hơn.

Các động cơ IM sử dụng trong khai thác mỏ ở Việt Nam thường có hiệu suất đạt dưới ngưỡng IE_1 . Giả sử hệ truyền động của khâu khai thác mỏ được nâng cấp từ động cơ có hiệu suất IE_1 lên dụng động cơ có hiệu suất IE_n (với $n=2, 3, 4$). Theo [7] chi phí vận hành tiết kiệm được mỗi năm khi sử dụng động cơ hiệu suất cao thay thế cho động cơ hiệu suất IE_1 được tính theo công thức.

$$S = P_{out} \cdot C \cdot T \left[\frac{100}{E_1} - \frac{100}{E_n} \right] \quad (1)$$

Trong đó: P_{out} - công suất động cơ (kW); C - là giá bán điện (đồng/kWh); T - số giờ làm việc mỗi năm (giờ); E_n , E_1 - lần lượt là hiệu suất động cơ theo chuẩn IE_n và IE_1 .

Chênh lệch chi phí ban đầu giữa hai động cơ hiệu suất cao IE_n và động cơ thông thường IE_1 được xác định theo



Hình 3. Hiệu quả giữa động cơ tiêu chuẩn và động cơ hiệu suất cao

công thức [6]:

$$\Delta C = m \cdot Y \quad (2)$$

trong đó: m - Chênh lệch khối lượng, vật liệu; Y - chênh lệch đơn giá.

Thời gian thu hồi vốn:

$$T_c = \Delta C / S \quad (3)$$

Từ cơ sở trên, so sánh hiệu quả kinh tế thu được đối với quạt thông gió cục bộ trong các mỏ hầm lò đang sử dụng động cơ IM15kW có hiệu suất IE_1 bằng động cơ LSPMSM 15kW có hiệu suất cao IE_3 , các động cơ có thông số kỹ thuật như trong bảng 1

Theo tài liệu [8], khối lượng của nam châm điện cần dùng cho động cơ LSPMSM 15kW khoảng $m_{PM}=1,85kg$,

Bảng 1. Thông số của động cơ IM và động cơ LSPMSM

TT	Thông số động cơ	IM	LSPMSM
1	Công suất (kW)	15kW	15kW
2	Điện áp (V)	380/660	380/660
3	Tần số (Hz)	50	50
4	Tốc độ (v/phút)	2960	3000
5	Hiệu suất động cơ (%)	89 (IE_1)	93,2 (IE_3)

giá bán nam châm NdFeB431 là $P_{PM}=250\$/kg$ tương đương 5,75triệu đồng/kg. Theo tài liệu [9] chênh lệch chi phí sử

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Bộ Công Thương đã cấp kinh phí để thực hiện nghiên cứu này, trong khuôn khổ của Đề tài NCKH thuộc chương trình CNKK mã số: 012.2021.CNKK.QG.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Đỗ Như Ý, Lê Anh Tuấn, Đỗ Anh Tuấn, Trịnh Biên Thùy. Thiết kế động cơ phòng nổ hiệu suất cao tốc độ 3.000 vòng/phút sử dụng cho quạt gió cục bộ trong khai thác mỏ hầm lò, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2022.
- Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6627-30:2011 (IEC 60034-30:2008) về Máy điện quay – Phần 30: Cấp hiệu suất của động cơ cảm ứng lồng sóc ba pha một tốc độ.
- Lê Anh Tuấn, Đỗ Như Ý, Bùi Đức Hùng. Nghiên cứu ảnh hưởng của kiểu dây quấn stato đến đặc tính khởi động của LSPMSM 5,5kW 3000 vg/ph bằng phương pháp số, Science-Technology, 2022.
- Đỗ Như Ý, Ngô Xuân Cường, Lê Anh Tuấn. Xác định thông số nam châm vĩnh cửu trong động cơ LSPMSM tốc độ 3000 vòng/phút, HNNCN Quốc Gia - ĐHCN Quảng Ninh, 2022

Ngày nhận bài: 17/01/2023; Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 23/01/2023; Ngày chấp nhận đăng bài: 02/02/2023

Người phản biện: TS. Ngô Thanh Tuấn

Thông tin tác giả:

ĐỖ NHƯ Ý¹, BÙI NGỌC HÙNG¹, LƯU VĂN UY², TRỊNH BIÊN THÙY³

1Đại học Mỏ - Địa chất; 2Trường Cao đẳng Việt-Hàn Quảng Ninh; 3Trường Cao đẳng Việt-Hàn Quảng Ninh

dụng lá thép mật độ từ thông cao cho động cơ LSPMSM 15kW $m'_{PM}=4,5kg$, giá bán chênh lệch $P'_{PM}=12\$/kg$ tương đương khoảng 0,276 triệu đồng/kg.

Từ công thức (2) xác định chênh lệch chi phí ban đầu giữa động cơ hiệu suất cao LSPMSM và động cơ tiêu chuẩn IM là:

$$\Delta C = [m_{PM} \cdot P_{PM} + m'_{PM} \cdot P'_{PM}] = [1,85 \cdot 5,75 + 4,5 \cdot 0,276] = 11,88 \text{tr}$$

Chi phí vận hành tiết kiệm được mỗi năm khi thay thế động cơ LSPMSM 15kW cho động cơ IM 15kW theo công thức (1)

$$S = P_{out} \cdot C \cdot T \left[\frac{100}{E_2} - \frac{100}{E_1} \right] = 15.1600 \cdot 5000 \cdot \left[\frac{100}{89,3} - \frac{100}{93,2} \right] = 5,6 \text{tr}$$

Trong đó: Giá bán điện $C=1600$ đồng/kWh; Xí nghiệp mỏ làm việc ba ca $T=5000h/năm$

Thời gian thu hồi vốn khi thay thế động cơ LSPMSM 15kW cho động cơ IM 15kW của quạt thông gió cục bộ xác định theo công thức (1):

$$T_c = \Delta C / S = 11,88 / 5,6 = 2,12 \text{ năm}$$

Do việc tiết kiệm điện năng trong quá trình sử dụng nên việc thay thế động cơ LSPMSM 15kW cho động cơ IM 15kW mang lại hiệu quả kinh tế cao, thời gian thu hồi vốn ngắn trong khoảng 2,1 năm, điều này còn chưa kể đến tiết việc nâng cao hệ số công suất $\cos\phi$ do động cơ LSPMSM có hệ số công suất $\cos\phi$ từ 0,95 trở lên so với động cơ không đồng bộ có hệ số $\cos\phi$ chỉ khoảng 0,85 từ đó giảm được tổn hao trên đường dây truyền tải.

4. KẾT LUẬN

Từ sự phân tích kinh tế và kỹ thuật kể trên nhận thấy rằng, động cơ hiệu suất cao LSPMSM có đặc tính kỹ thuật hoàn toàn phù hợp để thay thế cho các động cơ IM truyền thống hiệu suất thấp đang sử dụng phụ tải quạt thông gió hoặc động cơ bơm nước. Theo phân tích về mặt lợi nhuận kinh tế thấy rằng với việc thay thế động cơ hiệu suất cao này thì thời gian thu hồi vốn trong khoảng 2 năm chưa kể đến các lợi ích về đường dây tải điện, nguồn điện hạn chế phải đầu tư. Ngoài ra với phụ tải quạt gió và bơm nước có tỷ trọng sử dụng điện năng cao trong khai thác mỏ chiếm tới trên 30% tổng điện năng sử dụng của mỏ sẽ có bước đột phá trong việc sử dụng năng lượng hiệu quả trong khai thác mỏ❖

- Le Anh Tuan, Do Nhu Y, Bui Duc Hung. A study on effect of permanent magnet configurations on starting speed curve and phase current waveform in steady state of line start magnet synchronous motors 15 kw, 3,000rpm, Tạp chí Khoa học và công nghệ - Đại học Đà Nẵng, 2022.
- Do Nhu Y, Ngo Thanh Tuan, Le Anh Tuan. Numerical simulation method application in the design of a line-start permanent magnet synchronous motor, MEAE2021.
- Hiroaki Toda, Yoshiaki Zaizen, Misao Namikawa, Nobuo Shiga, Yoshihiko Oda, Shigeo Morimoto (2014). Iron Loss Deterioration by Shearing Process in Non-Oriented Electrical Steel with Different Thicknesses and Its Influence on Estimation of Motor Iron Loss. IEEE Journal 3 Issue 1, p55-61.