



CHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN DỊCH NĂNG LƯỢNG
BỀN VỮNG VIỆT NAM - EU (SETP)



HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT

TỐI ƯU HÓA HỆ THỐNG KHÍ NÉN CÔNG NGHIỆP



Hà Nội, 2024

HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT
Dành cho nhân viên kỹ thuật doanh nghiệp công nghiệp

**TỐI ƯU HÓA HỆ THỐNG
KHÍ NÉN CÔNG NGHIỆP**

TÀI LIỆU ĐƯỢC PHÁT TRIỂN CHO DỰ ÁN IEEP

Đẩy mạnh hoạt động tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp công nghiệp lớn thông qua hệ thống quản lý năng lượng và tối ưu hóa hệ thống và thực hành tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp vừa và nhỏ tại Việt Nam

LỜI MỞ ĐẦU

Tài liệu hướng dẫn kỹ thuật này nhằm mục đích giới thiệu cho các doanh nghiệp Việt Nam về hệ thống khí nén. Với các hiểu biết về việc vận hành và bảo trì hệ thống máy nén, các doanh nghiệp sẽ sẵn sàng đáp ứng các yêu cầu quy định, đồng thời củng cố kế hoạch sử dụng hiệu quả năng lượng đối với hệ thống này.

Khí nén được sử dụng rộng rãi trong toàn bộ ngành công nghiệp. Hoạt động cung cấp khí nén là một hoạt động cần thiết, đôi khi còn được gọi là "dịch vụ thứ tư", sau điện, nhiên liệu và nước. Vì nhiều cơ sở không thể hoạt động mà không có khí nén, độ tin cậy là rất quan trọng, nhưng với việc thực hiện các phương pháp vận hành hiệu quả, có thể giảm tiêu thụ năng lượng từ 20% đến 50%, hiệu suất được ưu tiên cao. Hoạt động cung cấp khí nén cũng rất đắt tiền nhất trong quá trình sản xuất và nhiều khi không được quản lý để giảm chi phí, nên thường bị bỏ qua như một nguồn tiết kiệm.

Tài liệu hướng dẫn kỹ thuật được bố cục thành 6 phần:

- Chương 1: Giới thiệu chung về hệ thống máy nén khí;
- Chương 2: Các loại máy nén khí;
- Chương 3: Các thành phần hệ thống khí nén phía sau máy nén khí;
- Chương 4: Phương pháp điều khiển hệ thống khí nén;
- Chương 5: Quản lý và sử dụng hiệu quả hệ thống khí nén;
- Chương 6: Các biện pháp nâng cao hiệu quả trong hoạt động hệ thống khí nén.

Tuyên bố miễn trừ trách nhiệm

Tài liệu này được thực hiện trong khuôn khổ Dự án "Đẩy mạnh hoạt động tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp công nghiệp lớn thông qua hệ thống quản lý năng lượng và tối ưu hóa hệ thống và thực hành tiết kiệm năng lượng trong các doanh nghiệp vừa và nhỏ tại Việt Nam" (Dự án IEEP) do Liên minh Châu Âu (EU) tài trợ, Bộ Công Thương quản lý và Tổ chức phát triển công nghiệp liên hợp quốc (UNIDO) thực hiện. Nội dung tài liệu thuộc trách nhiệm duy nhất của dự án và không nhất thiết phản ánh quan điểm của bất kỳ cá nhân hay tổ chức nào.

MỤC LỤC

MỤC LỤC	2
DANH MỤC HÌNH	4
DANH MỤC BẢNG	5
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU	6
1.1 Giới thiệu về khí nén.....	6
1.2 Hệ thống khí nén.....	6
1.3 Tình hình sử dụng năng lượng trong hệ thống khí nén.....	7
CHƯƠNG 2. CÁC LOẠI MÁY NÉN KHÍ ĐIỂN HÌNH	10
2.1 Giới thiệu chung các loại máy nén khí điển hình.....	10
2.1.1 Một số loại máy nén thể tích điển hình	11
2.1.1.1 Máy nén khí pít tông	11
2.1.1.2 Máy nén khí kiểu quay (rôto)	12
2.1.2 Một số máy nén động lực học	15
2.1.2.1 Máy nén khí ly tâm.....	16
2.1.2.2 Máy nén khí hướng trục.....	17
2.2 Tiêu chí lựa chọn máy nén khí phù hợp.....	18
2.2.1 Lựa chọn theo công suất và lưu lượng khí nén	18
2.2.2 Lựa chọn máy nén khí theo ứng dụng	20
CHƯƠNG 3. CÁC THÀNH PHẦN HỆ THỐNG KHÍ NÉN PHÍA SAU MÁY NÉN KHÍ	21
3.1 Giới thiệu chung về hệ thống.....	21
3.2 Hệ thống đảm bảo chất lượng khí nén	21
3.2.1 Hệ thống tách ẩm	21
3.2.2 Hệ thống tách dầu	23

3.3	Hệ thống phân phối và điều khiển khí nén	24
3.3.1	Hệ thống bồn chứa – tích áp	24
3.3.2	Hệ thống đường ống phân phối đến hộ tiêu thụ và thiết bị sử dụng cuối.....	24
CHƯƠNG 4. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG KHÍ NÉN.....		26
4.1	Thay đổi lưu lượng khí nén.....	26
4.2	Điều khiển hệ thống khí nén.....	28
CHƯƠNG 5. QUẢN LÝ VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ HỆ THỐNG KHÍ NÉN ..		32
5.1	Đo lường hiện trường, thu thập số liệu và phân tích dữ liệu ...	32
5.2	Nhu cầu và chi phí khí nén	35
5.2.1	Chi phí hoạt động, nâng cao chất lượng khí và chất lượng điều khiển	35
5.2.2	Chi phí liên quan đến rò rỉ trong hệ thống khí nén	38
CHƯƠNG 6. CÁC BIỆN PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ TRONG HOẠT ĐỘNG HỆ THỐNG KHÍ NÉN		43
6.1	Phân tích để cải thiện hệ thống khí nén	43
6.2	Các giải pháp tối ưu hóa hệ thống.....	46
6.3	Cách áp dụng thực hành hiệu quả nhất	49
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO		51

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Hệ thống khí nén đặc trưng	7
Hình 1.2. Biểu đồ chi phí vận hành của hệ thống khí nén	8
Hình 2.1. Phân loại máy nén khí theo TCVN 9456:2013	10
Hình 2.2. Máy nén pít tông chữ V	11
Hình 2.3. Sơ đồ cấu tạo máy nén khí pít tông chữ V	12
Hình 2.4. Máy nén trục vít phun dầu bôi trơn	13
Hình 2.5. Sơ đồ cấu tạo máy nén khí trục vít	14
Hình 2.6. Rôto lệch tâm của máy nén cánh trượt	14
Hình 2.7. Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của máy nén rôto cánh trượt	15
Hình 2.8. Cấu tạo cơ bản của buồng máy nén khí ly tâm	16
Hình 2.9. Kết cấu 1 cấp của máy nén ly tâm	17
Hình 2.10. Cấu tạo máy nén hướng trục	18
Hình 3.1. Hệ thống xử lý khí phía sau máy nén	21

Hình 3.2. Các phương pháp sấy tách ẩm khí nén	22
Hình 3.3. Bộ lọc tách dầu trong máy nén khí	23
Hình 3.4. Ví dụ về đường ống cấp khí tới hộ tiêu thụ	25
Hình 4.1. Ảnh hưởng của áp suất điều khiển hệ thống	27
Hình 4.2. Mối quan hệ giữa sản lượng khí nén và hiệu suất tiêu thụ của các phương pháp điều khiển	29
Hình 5.1. Biểu đồ phân bố áp suất hệ thống	35

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2.2.1. Công suất máy nén tương đương lưu lượng khí điển hình	19
Bảng 5.1.1. Các phép đo và vị trí đo để xác định đặc tính hệ thống khí nén điển hình	32
Bảng 5.2.1. Lưu lượng khí nén thoát qua lỗ rò và tổn thất năng lượng	39
Bảng 5.2.2. Thoát khí qua lỗ tiết lưu	40

CHƯƠNG 1

GIỚI THIỆU

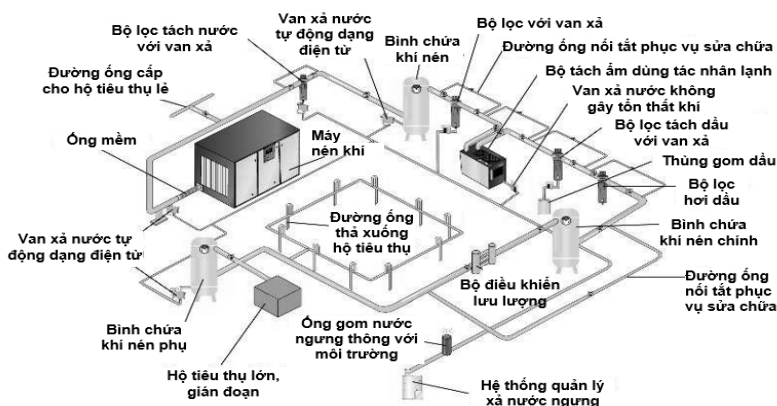
1.1 Giới thiệu về khí nén

Khí nén là không khí được nén tăng áp lên một áp suất nhất định. Không khí được nén lấy từ khí quyển là hỗn hợp các chất khí, trong đó O_2 chiếm 21%, N_2 chiếm 78% và 1% còn lại là các khí như CO_2 , H_2 , Ne... Không khí trong khí quyển được hình thành từ các phân tử liên kết với nhau bằng lực phân tử. Các phân tử này chuyển động liên tục. Tổng khối lượng phân tử khí chứa trong một thể tích khí nhất định là rất nhỏ. Điều này cho phép một lượng khí được nén đến một thể tích rất nhỏ so với thể tích ban đầu của nó. Chức năng phổ biến nhất của khí nén hoạt động như một nguồn năng lượng. Nó cho phép vận chuyển năng lượng từ điểm này đến điểm khác để sinh công (tại đó dòng khí nén sinh công và giảm áp suất). Ngoài ra nó còn có ứng dụng như một phần của công nghệ sản xuất hoặc điều khiển.

Trên thực tế, khí nén thường được sử dụng như một dạng tiện ích giống như điện và nước. Trong một số ứng dụng khác, khí nén là một phần không thể thiếu trong quá trình sản xuất. Đối với các ứng dụng có ảnh hưởng đến năng suất, chất lượng sản phẩm, tỷ lệ sai hỏng và chi phí gia công lại, thì khí nén là một chỉ tiêu sản xuất quan trọng cần được theo dõi và giám sát. Ngoài các ứng dụng trong công nghiệp, khí nén còn được sử dụng trong nhiều khía cạnh đời sống như y tế và chăm sóc sức khỏe, thể thao, giải trí và dịch vụ, hoạt động sản xuất nông nghiệp.

1.2 Hệ thống khí nén

Một hệ thống khí nén bao gồm cả các thành phần thuộc phía cung cấp và các thành phần thuộc phía tiêu thụ khí nén. Phía cung cấp khí nén bao gồm tất cả các thiết bị để sản xuất và xử lý khí nén. Thông thường, khu vực này bao gồm máy nén khí, bình chứa khí nén, thiết bị tách ẩm và bộ lọc để loại bỏ dầu và các vật chất dạng hạt (bụi, gỉ sắt, v.v.). Trong một số ứng dụng, hệ thống khí nén có thể có thêm các bộ điều khiển áp suất/lưu lượng được bố trí giữa phía cung cấp và phía tiêu thụ khí nén.



Hình 1.1. Hệ thống khí nén đặc trưng.

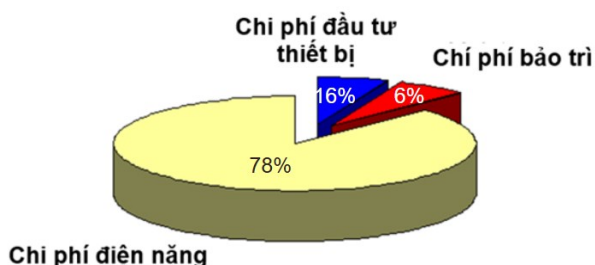
Phía tiêu thụ khí nén bao gồm hệ thống đường ống phân phối, các bộ lọc bổ sung tại điểm tiêu thụ và các thiết bị, các quá trình công nghệ hoặc các hệ thống điều khiển có sử dụng khí nén. Một hệ thống khí nén được thiết kế phù hợp phải đảm bảo phía tiêu thụ được tối ưu hóa để có thể sử dụng khí nén với lưu lượng nhỏ nhất và áp suất thấp nhất có thể, và phía cung cấp phải được tối ưu hóa để cung cấp được lượng khí nén đó với mức tiêu thụ điện năng thấp nhất có thể. Bộ lọc khí vào có tác dụng ngăn không cho bụi vào máy nén vì bụi vào gây tắc nghẽn van, làm mòn xi lanh và các bộ phận khác, vv... Hệ thống phân phối khí nén là mạng lưới các đường ống nối giữa khu vực cung cấp khí nén với các điểm sử dụng khác nhau ở khu vực tiêu thụ. Chức năng của đường ống phân phối là đưa khí nén từ nguồn cung cấp tới các hệ tiêu thụ với lưu lượng và áp suất cần thiết để thực hiện nhiệm vụ sản xuất một cách hiệu quả. Khí nén lưu thông qua mạng phân phối từ vùng có áp suất cao đến vùng có áp suất thấp theo đường có trở lực nhỏ nhất. Tất cả các thành phần trong hệ thống như đường ống, van, phụ kiện, bộ lọc, đầu nối đều gây ra trở lực ma sát đối với dòng khí nén. Tương tác giữa dòng khí nén và trở lực của đường ống sẽ tạo ra tổn thất áp suất.

1.3 Tình hình sử dụng năng lượng trong hệ thống khí nén

Hệ thống khí nén công nghiệp là một đối tượng có quy mô đầu tư và chi phí vận hành lớn. Các chi phí vận hành có thể nhận thấy rõ nhất là chi phí năng lượng và chi phí bảo trì hệ thống. Khó nhận thấy hơn một chút là ảnh hưởng của hiệu suất hệ thống khí nén đến quá trình sản xuất

và năng suất của nhà máy. Có 4 yếu tố góp phần vào tổng chi phí sở hữu và vận hành một hệ thống khí nén, bao gồm:

- Chi phí đầu tư thiết bị;
- Chi phí bảo trì;
- Chi phí năng lượng;
- Hiệu suất của hệ thống khí nén và năng suất bị tổn thất của nhà máy.



Hình 1.2. Biểu đồ chi phí vận hành của hệ thống khí nén.

Hiện tại, chưa có số liệu thống kê chính thức về lượng tiêu thụ khí nén của Việt Nam.

- Một số yếu tố ảnh hưởng đến lượng tiêu thụ khí nén ở Việt Nam bao gồm:
 - Sự phát triển kinh tế: Khi nền kinh tế phát triển, nhu cầu về khí nén cho các hoạt động sản xuất và công nghiệp cũng sẽ tăng;
 - Quá trình đô thị hóa: Quá trình đô thị hóa dẫn đến sự gia tăng nhu cầu về các dịch vụ như xây dựng, sửa chữa, và bảo trì, tất cả đều sử dụng khí nén;
 - Nâng cao mức sống: Khi mức sống của người dân tăng cao, nhu cầu về các sản phẩm tiêu dùng như xe hơi, đồ điện tử, và thiết bị gia dụng cũng sẽ tăng, dẫn đến nhu cầu cao hơn về khí nén cho các hoạt động sản xuất.

- Lượng tiêu thụ khí nén ở các quốc gia khác nhau phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm:
 - Mức độ công nghiệp hóa: Các quốc gia công nghiệp hóa cao có xu hướng tiêu thụ nhiều khí nén hơn các quốc gia đang phát triển;
 - Ngành công nghiệp: Một số ngành công nghiệp, như ô tô và sản xuất thép, sử dụng nhiều khí nén hơn các ngành công nghiệp khác;
 - Hiệu quả năng lượng: Các quốc gia có hiệu quả sử dụng năng lượng cao có xu hướng tiêu thụ ít khí nén hơn các quốc gia có hiệu quả sử dụng năng lượng thấp.

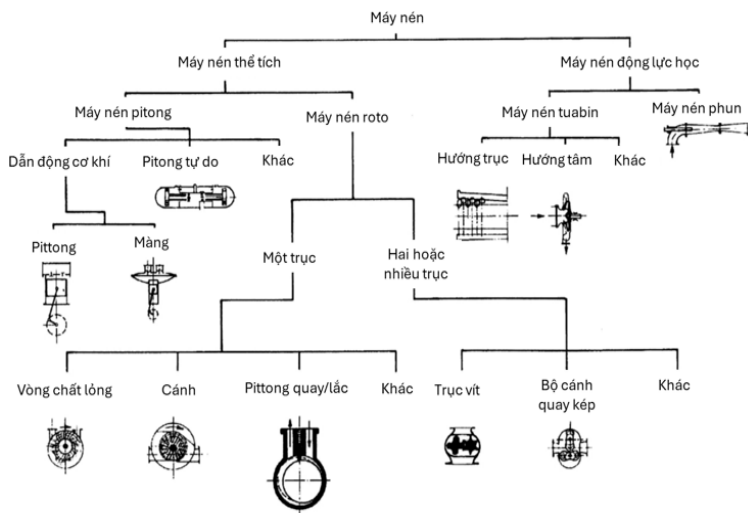
Chi phí đầu tư thiết bị và chi phí bảo trì chỉ chiếm một tỷ lệ nhỏ trong tổng chi phí để sở hữu và vận hành hệ thống khí nén. Trong khoảng thời gian 10 năm, chi phí năng lượng cần thiết để vận hành máy nén khí thường chiếm 75% hoặc cao hơn trong tổng chi phí hàng năm cho khí nén (Nguồn: Compressed Air Challenge®). Nếu hệ thống không đảm bảo tin cậy và vận hành với hiệu suất thấp, thì các tác động gây ra tổn thất trong sản xuất, các ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm, tỷ lệ phế phẩm và chi phí gia công lại có thể là phần chi phí lớn nhất trong chi phí hàng năm.

CHƯƠNG 2

CÁC LOẠI MÁY NÉN KHÍ ĐIỂN HÌNH

2.1 Giới thiệu chung các loại máy nén khí điển hình

Theo nguyên lý làm việc, người ta chia máy nén khí thành 2 nhóm cơ bản gồm máy nén khí cánh dẫn và máy nén khí thể tích (theo TCVN 9456:2013). Trong đó, máy nén khí cánh dẫn hay còn gọi là máy nén khí động lực học. Quá trình xảy ra do tác động tương hỗ giữa hệ thống cánh dẫn với dòng khí vận chuyển qua máy (tạo áp suất động là chủ yếu). Máy cánh dẫn lại được chia làm 2 loại chính gồm máy nén ly tâm và máy nén hướng trục. Máy nén thể tích làm việc theo nguyên lý chèn ép luồng không khí trong một thể tích kín. Sự tăng áp suất xảy ra do việc giảm thể tích không gian làm việc (tạo áp suất tĩnh là chủ yếu). Sự tăng lên của áp suất tĩnh thu được bằng cách cho phép các thể tích khí tuần tự được hút vào và xả ra trong một không gian kín bằng sự dịch chuyển của một bộ phận di động. Quá trình nén có thể diễn ra ở bên trong hoặc không ở bên trong, nếu quá trình nén diễn ra ở bên trong thì tỷ số nén có thể là không đổi hoặc thay đổi.



Hình 2.1. Phân loại máy nén khí theo TCVN 9456:2013.

2.1.1 Một số loại máy nén thể tích điển hình

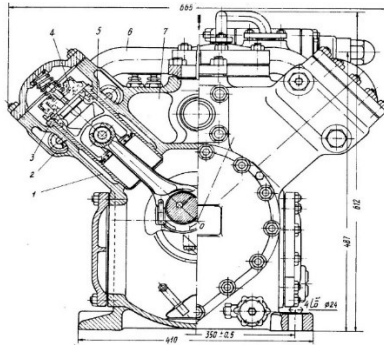
2.1.1.1 Máy nén khí pít tông

Máy nén pít tông một cấp hút và nén khí tới áp suất xả cuối cùng trong một hành trình. Tỷ số nén của quá trình nén một cấp là tỷ số giữa áp suất tuyệt đối đầu ra và áp suất tuyệt đối đầu vào. Một máy nén có áp suất dư tại đầu ra là 7,5 bar (áp suất tuyệt đối là 8,5 bar) có tỷ số nén toàn phần là 8,5/1. Máy nén pít tông hai cấp đạt đến áp suất đầu ra bằng cách: trước tiên nén không khí hút vào đến một áp suất trung gian trong quá trình nén thứ nhất, sau đó nén từ áp suất trung gian lên áp suất đầu ra trong quá trình nén thứ hai. Có nghĩa là cần hai quá trình nén riêng biệt để đạt được áp suất đầu ra. Tỷ số nén của mỗi cấp là căn bậc hai của tỷ số nén tổng thể. Khi nén hai cấp tới áp suất dư là 7,5 bar thì tỷ số nén của mỗi cấp sẽ là 2,92. Tỷ số nén mỗi cấp của máy nén ba cấp sẽ là căn bậc ba của tỷ số nén tổng thể. Máy nén nhiều cấp sẽ có hiệu quả cao hơn nếu khí nén có thể được làm mát giữa các giai đoạn nén. Công suất cần thiết để nén không khí phụ thuộc vào khối lượng và tỷ số nén. Máy nén một cấp có tỷ số nén là 8,5 sẽ cần cung cấp nhiều năng lượng hơn để nén cùng một thể tích khí so với máy nén hai cấp với tỷ số nén là 2,92 cho mỗi cấp, và tổng tỷ số nén của hai cấp là 5,84. Máy nén pít tông có thể được phân loại nhỏ hơn thành máy nén tác động đơn và máy nén tác động kép. Máy nén tác động đơn thực hiện quá trình nén khí ở một phía của pít tông. Máy nén này hoạt động giống như động cơ đốt trong. Máy nén tác động kép nén khí ở cả hai phía của pít tông. Quá trình nén theo cả hai hướng hiệu quả hơn quá trình nén theo một hướng. Do đó máy nén tác động kép thường có hiệu suất cao hơn máy nén tác động đơn. Thông thường, máy nén tác động đơn tiêu hao điện năng từ 7,8 đến 8,5 kW/m³/phút. Máy tác động kép tiêu hao điện năng từ 5,3 đến 5,7 kW/m³/phút.



Hình 2.2. Máy nén pít tông chữ V.

Tất cả các máy nén pít tông đều có chung một đặc điểm trong thiết kế làm hạn chế hiệu suất tổng thể của máy. Nó luôn có một khoảng hở giữa bề mặt pít tông và đỉnh buồng nén. Không khí được nén trong không gian này sẽ giãn nở ra trong chu trình hút. Lượng không khí giãn nở ra này sẽ chiếm chỗ của xy lanh, khiến cho thể tích xy lanh không được nạp đầy không khí mới từ môi trường thông qua van hút. Ngoài ra, lượng khí nén này có nhiệt độ cao hơn và sẽ gia nhiệt một phần cho không khí hút vào làm giảm lượng khí thực tế hút được. Các van và vòng xecmăng của pít tông là những chi tiết dễ mòn. Máy nén pít tông sẽ đạt hiệu quả tốt nhất khi các van và các vòng xecmăng bị mòn phải được làm kín lại đúng cách.



Hình 2.3. Sơ đồ cấu tạo máy nén khí pít tông chữ V.

1: Xi lanh; 2: Cánh tản nhiệt; 3: Van nạp (hút); 4: Van xả;

5: Pít tông; 6: Ống dẫn khí; 7: Khoang làm mát xy lanh.

Nguyên lý hoạt động chung của hầu hết các loại máy nén pít tông: Trường hợp pít tông đi xuống, thể tích phần không gian phía trên pít tông lớn dần, áp suất P sẽ giảm, van nạp số 3 mở ra, lúc này không khí sẽ được nạp vào phía trên pít tông. Khi pít tông đi lên, thể tích phía trên pít tông giảm, P tăng van xả số 4 mở ra, khí theo đường ống qua bình chứa (với máy nén một cấp) hoặc đưa sang cấp nén tiếp theo (với máy nén nhiều cấp).

2.1.1.2 Máy nén khí kiểu quay (rôto)

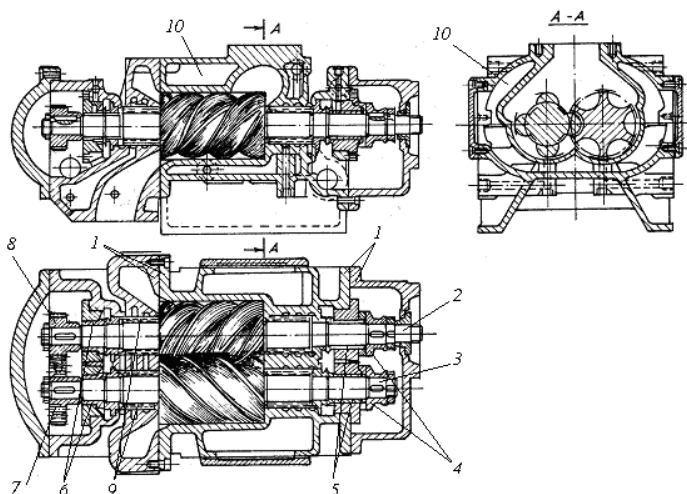
Máy nén khí kiểu quay có hai loại phổ biến loại trục vít và loại cánh gạt trượt. Máy nén trục vít là loại máy nén thể tích được sử dụng phổ biến

nhất trong công nghiệp hiện nay. Các máy nén này lại được chia làm hai loại: loại được phun dầu bôi trơn và loại khô. Máy nén trục vít được phun dầu bôi trơn sử dụng chủ yếu để cung cấp khí nén công nghiệp nói chung. Máy nén trục vít khô thường sử dụng cho các ứng dụng ngành thực phẩm, dược phẩm, điện tử có yêu cầu cao về kiểm soát ô nhiễm trong khí nén. Nếu được lọc kỹ và giám sát thích hợp, máy nén được phun dầu bôi trơn cũng có thể được sử dụng trong các ứng dụng này.



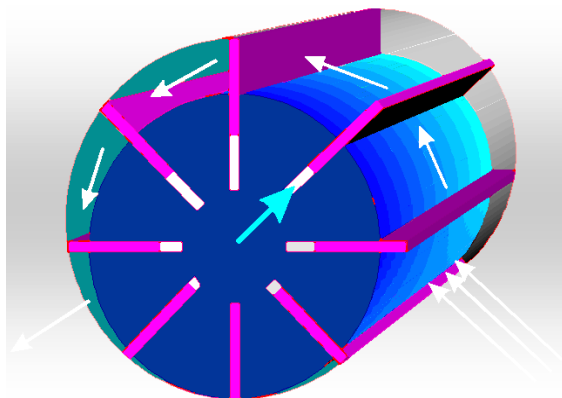
Hình 2.4. Máy nén trục vít phun dầu bôi trơn.

Máy nén trục vít (hình 2.4) có hai trục vít lắp bên trong một thân máy với cửa hút ở một đầu và cửa xả ở đầu đối diện. Trục vít chủ động (trục chính) có các gờ tạo thành hình xoắn ốc dọc theo trục vít. Trục vít bị động (trục phụ) có các rãnh xoắn tương ứng được khớp với các gờ xoắn trên trục vít chủ động. Khi cặp trục vít quay qua cửa hút, không khí được nạp vào các rãnh trên trục vít phụ. Các trục vít tiếp tục quay trong thân máy cho đến khi đi qua một điểm mà tại đó không khí trong rãnh sẽ bị ngắt khỏi cửa hút. Vòng quay tiếp tục, làm giảm thể tích không khí bị giữ trong các rãnh chứa. Quá trình nén tiếp tục diễn ra cho đến khi túi khí này chuyển động đến cửa xả của máy nén. Khí nén được đẩy ra ngoài qua cửa xả và đi vào một bộ tách dầu (nếu là máy nén được phun dầu bôi trơn) hoặc đi trực tiếp vào hệ thống làm mát khí nén (nếu là máy nén khô).



Hình 2.5. Sơ đồ cấu tạo máy nén khí trục vít.

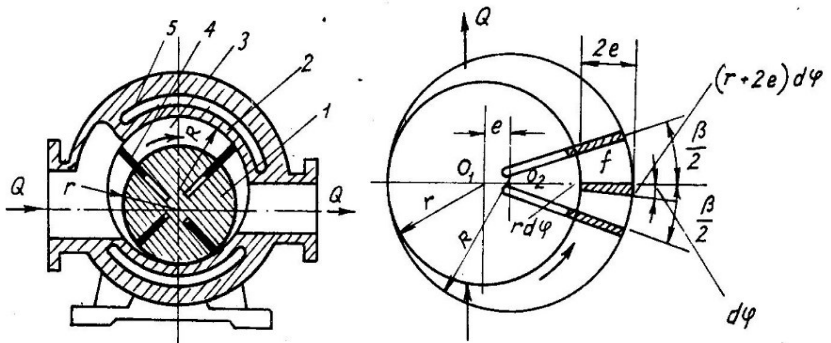
1. Vỏ máy; 2. Trục vít chủ động; 3. Trục vít bị động; 4. Bạc cách; 5,6. Bạc đỡ trục; 7. Bánh răng bị động; 8. Bánh răng chủ động; 9. Bộ làm kín đầu trục; 10. Khoang dẫn chất lỏng làm mát.



Hình 2.6. Rôto lệch tâm của máy nén cánh trượt.

Máy nén cánh trượt (hình 2.6) bao gồm một rôto hình trụ đặt lệch tâm trong thân máy. Các cánh gạt được lắp theo hướng bán kính vào các

rãnh gia công sẵn trên rôto hình trụ. Khi rôto quay, các cánh được ép sát vào thân máy bằng lực ly tâm hoặc bằng lò xo. Rôto và thân máy không đồng tâm. Cửa hút được đặt ở khu vực có thể tích buồng nén đang tăng lên. Khi rôto chuyển động qua vị trí cửa hút, một lượng không khí sẽ bị giữ lại trong khoang chứa. Chuyển động quay liên tục của rôto sẽ làm giảm thể tích không khí bị giữ lại trong khoang chứa cho đến khi đạt được độ nén mong muốn. Tại thời điểm đó, rôto chuyển động cửa xả trên thân máy và khí nén được đẩy ra ngoài. Yêu cầu sửa chữa thường xuyên xuyên do mòn các cánh gạt khiến cho loại máy nén này chỉ phù hợp với những tải thấp và có thời gian hoạt động hạn chế.



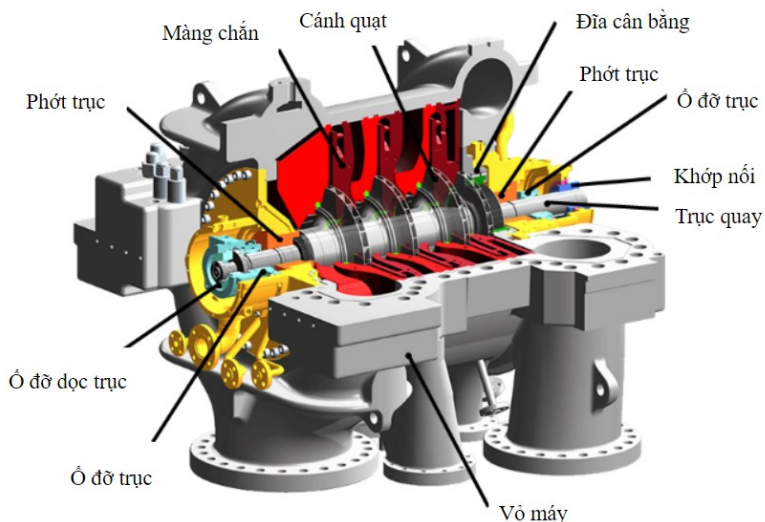
Hình 2.7. Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của máy nén rôto cánh trượt.

1: Rôto; 2: Stato; 3: Khoang chứa khí; 4: Cánh trượt; 5: Áo nước làm mát.

2.1.2 Một số máy nén động lực học

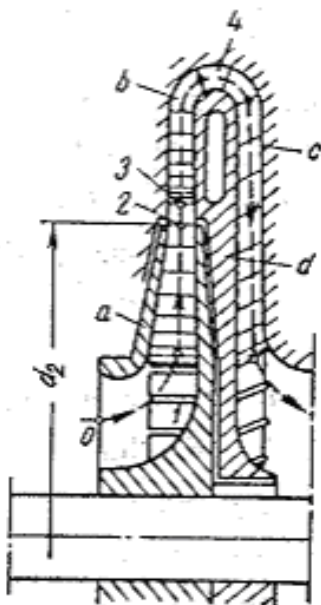
Máy nén động lực học được chia làm hai loại: máy nén ly tâm và máy nén hướng trục. Cả hai loại máy nén này nén không khí bằng cách tăng tốc dòng không khí đi vào, sau đó chuyển đổi vận tốc thành áp suất. Máy nén ly tâm là máy nén động lực học phổ biến nhất trong các ứng dụng công nghiệp nói chung.

2.1.2.1 Máy nén khí ly tâm



Hình 2.8. Cấu tạo cơ bản của buồng máy nén khí ly tâm.

Máy nén khí ly tâm có một hoặc nhiều bộ cánh quạt để tăng tốc cho dòng không khí đi vào. Các cánh quạt tạo ra khoảng 50% áp suất. Phần áp suất còn lại được tạo ra khi bộ phận khuếch tán và buồng xoắn làm giảm vận tốc của dòng không khí. Nguyên lý này tương tự như nguyên lý tăng áp trong động cơ. Động cơ sử dụng khí xả để quay cánh quạt, còn máy nén ly tâm nói chung sử dụng động cơ điện và bộ truyền động để cung cấp điện năng cho cánh quạt. Các cánh quạt trong máy nén quay với vận tốc rất lớn, có thể đến 50.000 vòng/phút. Sử dụng vận tốc để tạo ra áp suất đòi hỏi phải thực hiện một số cấp nén để đạt tới áp suất vận hành bình thường của hệ thống. Phổ biến nhất là các máy nén ly tâm có hai đến ba cấp nén. Dầu bôi trơn không được phun vào trong quá trình nén, do đó có thể làm mát giữa các cấp nén.



a: Bánh công tác

b: Bộ tăng áp

c: Thành ngoài của rãnh dẫn không khí vào bánh công tác tiếp theo

d: Thành trong của rãnh dẫn không khí vào bánh công tác tiếp theo

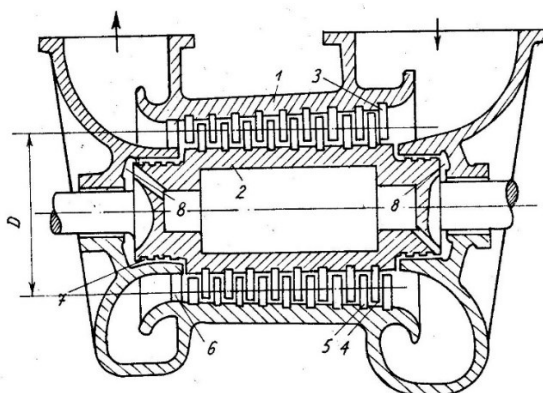
1&2: Cửa vào và ra của bánh công tác

3&4: Cửa vào và ra của bộ tăng áp.

Hình 2.9. Kết cấu 1 cấp của máy nén ly tâm.

2.1.2.2 Máy nén khí hướng trục

Máy nén khí hướng trục hoạt động theo nguyên lý tương tự như động cơ phản lực. Máy nén bao gồm một rôto với nhiều hàng cánh động, đặt bên trong vỏ máy có nhiều hàng cánh tĩnh. Dòng không khí được nén dọc trục, hướng vào mặt rôto. Máy nén hướng trục được dùng trong các ứng dụng yêu cầu thể tích khí nén rất lớn như các nhà máy hóa dầu.



Hình 2.10. Cấu tạo máy nén hướng trục.

1: Stator; 2: Rôto; 3: Cánh dẫn hướng ở cửa vào tầng cánh công tác đầu tiên; 4: Cánh công tác đầu tiên; 5: Tầng cánh tĩnh; 6: Tầng cánh dẫn hướng cuối cùng; 7: Khe hình ren; 8: Khoang thông áp để cân bằng.

2.2 Tiêu chí lựa chọn máy nén khí phù hợp

Khi lựa chọn máy nén phù hợp cho một ứng dụng cụ thể, có nhiều yếu tố cần cân nhắc để đảm bảo hiệu suất tối ưu và hiệu quả hoạt động. Tiêu chí lựa chọn máy nén không chỉ dựa vào thông số kỹ thuật của thiết bị mà còn phải phù hợp với yêu cầu vận hành và môi trường làm việc. Các yếu tố quan trọng bao gồm công suất nén, loại máy nén (như máy nén piston, trục vít, hoặc ly tâm), khả năng tiết kiệm năng lượng và khả năng chịu đựng điều kiện hoạt động khắc nghiệt. Ngoài ra, các yếu tố như chi phí đầu tư, bảo trì, và độ tin cậy của máy cũng cần được xem xét kỹ lưỡng. Việc hiểu rõ và đánh giá đúng các tiêu chí này sẽ giúp chọn lựa được máy nén phù hợp nhất, từ đó tối ưu hóa hiệu suất và tiết kiệm chi phí trong quá trình sử dụng.

2.2.1 Lựa chọn theo công suất và lưu lượng khí nén

Khi lựa chọn máy nén, việc xác định công suất và lưu lượng khí nén là một trong những yếu tố quan trọng nhất để đảm bảo rằng thiết bị đáp ứng đúng yêu cầu vận hành và hoạt động hiệu quả. Công suất của máy nén, được đo bằng kilowatt (kW hoặc HP), xác định khả năng của thiết bị trong việc chuyển đổi năng lượng cơ học thành khí nén, trong khi lưu lượng khí nén, thường được đo bằng mét khối mỗi phút ($\text{m}^3/\text{phút}$) hoặc feet khối mỗi phút (cfm).

Kích cỡ				Lựa chọn loại máy nén			
Công suất		Lưu lượng		Máy nén pít tông		Máy nén trục quay	Máy nén động lực học
kW	Hp	m ³ /m	cfm	Tác động đơn	Tác động kép		
3 – 20	5 – 30	0.6 – 3.4	20 – 120	1 hoặc 2 cấp	1 cấp	Trục vít quay	Không khả dụng
20 – 110	30 – 150	2.8 – 21	100 – 750	1 hoặc 2 cấp	2 cấp	Trục vít quay	Không khả dụng
110 – 220	150 – 300	17 – 45	600 – 1600	1 hoặc 2 cấp	2 cấp	Trục vít quay	Ly tâm
> 220	> 300	> 45	> 1300	Không có	2 cấp	Trục vít quay	Ly tâm

Bảng 2.2.1. Công suất máy nén tương đương lưu lượng khí điển hình

2.2.2 Lựa chọn máy nén khí theo ứng dụng

Máy nén khí pitt tông

Lưu lượng khí tạo ra gián đoạn, thường được thiết kế để chạy không quá 50% thời gian. Hiệu suất cao đối với các ứng dụng sử dụng khí nén không liên tục, phù hợp với các ứng dụng quy mô nhỏ và thủ công yêu cầu lưu lượng khí nén thấp và chu kỳ hoạt động không liên tục như xưởng sản xuất, cửa hàng máy móc, sửa chữa, công trình xây dựng, doanh nghiệp quy mô nhỏ. Trong một số quy trình trong ngành công nghiệp ô tô, gas và dầu khí, đúc thổi trong sản xuất nhựa.

Máy nén trục vít

Có khả năng cung cấp khí nén liên tục (hoạt động toàn thời gian). Lưu lượng lớn, hiệu suất cao và ít tiếng ồn hơn so với các loại máy nén khác. Ít ô nhiễm hơn với loại không sử dụng bôi trơn. Thường được sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp quy mô lớn và tự động hoá cao sử dụng lưu lượng khí nén cao với chu kỳ làm việc liên tục. Sử dụng trong công nghệ xử lý nước thải, nhà máy sản xuất, chế tạo.....

Máy nén ly tâm

Có khả năng tạo khí áp suất và thể tích cao. Không chứa dầu và không nhạy cảm với sự gián đoạn lưu lượng do đó máy nén ly tâm ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp cần áp suất cao như sản xuất kính, dệt may, luyện kim, động cơ phản lực nhỏ và nén khí giàn khoan dầu, khai thác mỏ.

Máy nén hướng trục

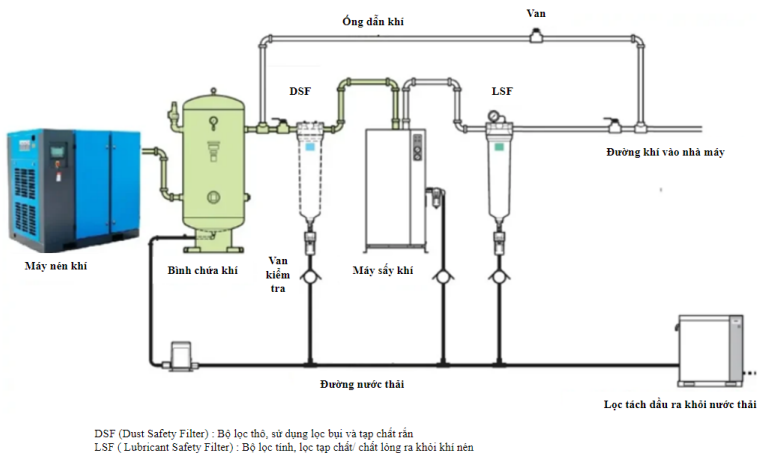
Lưu lượng và tốc độ khí rất cao và không làm thay đổi hướng dòng khí, dùng trong các ứng dụng yêu cầu thể tích khí rất cao. Máy nén hướng trục dùng thổi khí trong các lò cao, nhà máy tách khí, tuabin khí và động cơ phản lực.

CHƯƠNG 3

CÁC THÀNH PHẦN HỆ THỐNG KHÍ NÉN PHÍA SAU MÁY NÉN KHÍ

3.1 Giới thiệu chung về hệ thống

Các ứng dụng khí nén yêu cầu phải đảm bảo đủ thể tích khí nén với áp suất cung cấp phù hợp. Thể tích khí nén được đề cập ở đây có thể là nhu cầu khí nén trung bình hoặc lưu lượng khí nén ở tải đỉnh. Công suất của máy nén khí được lựa chọn dựa trên nhu cầu khí nén trung bình. Thể tích bình chứa khí nén có thể được thiết kế để đáp ứng yêu cầu lưu lượng khí nén ở tải đỉnh.



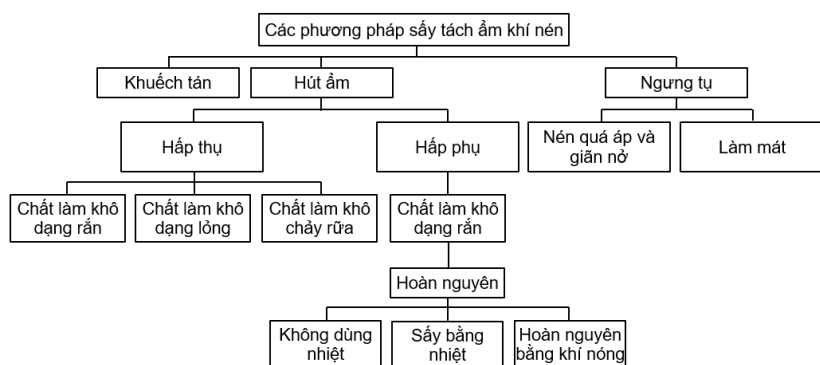
Hình 3.1. Hệ thống xử lý khí phía sau máy nén (nguồn: pegasusvn).

3.2 Hệ thống đảm bảo chất lượng khí nén

3.2.1 Hệ thống tách ẩm

Nhiệm vụ đầu tiên của hệ thống xử lý không khí là loại bỏ nước ra khỏi khí nén. Với điều kiện không khí đầu vào là 20°C, độ ẩm tương đối 70% (bão hòa) và áp suất tuyệt đối là 1 bar, một máy nén khí có năng suất 5m³/phút sẽ nén lượng hơi nước tương ứng với 30 lít nước dạng lỏng mỗi ngày. Việc nén hơi nước sẽ làm thay đổi nhiệt độ đọng sương. Nhiệt độ

động sương trong hệ thống khí nén được gọi là điểm sương theo áp suất. Theo lý thuyết, khi áp suất nén cao hơn thì nhiệt độ động sương có áp cũng cao hơn. Các điểm ngưng tụ điển hình gồm: bình tách dầu trong máy nén trục vít, sau bộ làm mát bổ sung, bình chứa khí nén, máy tách ẩm có tác nhân lạnh và đường ống. Hiện tượng ngưng tụ xảy ra ở 2 trong số các điểm này là điều không mong muốn. Nước ngưng tụ trong bình tách dầu có thể dẫn đến việc nước được đưa đến các ổ trục máy nén thay vì dầu bôi trơn. Nước ngưng tụ trong hệ thống đường ống phân phối có thể làm hư hại thiết bị, gây ra hiện tượng rỉ sét đường ống và làm tăng chi phí bảo trì.



Hình 3.2. Các phương pháp sấy tách ẩm khí nén.

Hút ẩm: Loại bỏ hơi ẩm bằng các cơ chế hấp thụ hoặc hấp phụ;

Hấp phụ: Quá trình vật lý – hơi ẩm được giữ lại trong chất làm khô bằng lực phân tử;

Hấp thụ: Quá trình hóa học – hơi ẩm được tách ra bằng các phản ứng hóa học với chất làm khô;

Ngưng tụ: Nước được tách ra bằng cách làm mát xuống dưới nhiệt độ điểm sương;

Nén quá áp sau đó đi qua thiết bị giãn nở: Nén quá áp sẽ làm tăng áp suất riêng phần của hơi nước và làm thay đổi hoàn toàn nhiệt độ động sương. Sau khi làm mát và được tách nước, khí nén sẽ được giãn nở sau đó đi ra khỏi bộ tách ẩm;

Làm mát bằng sự tuần hoàn của môi chất lạnh: Sử dụng trong máy tách ẩm bằng tác nhân lạnh;

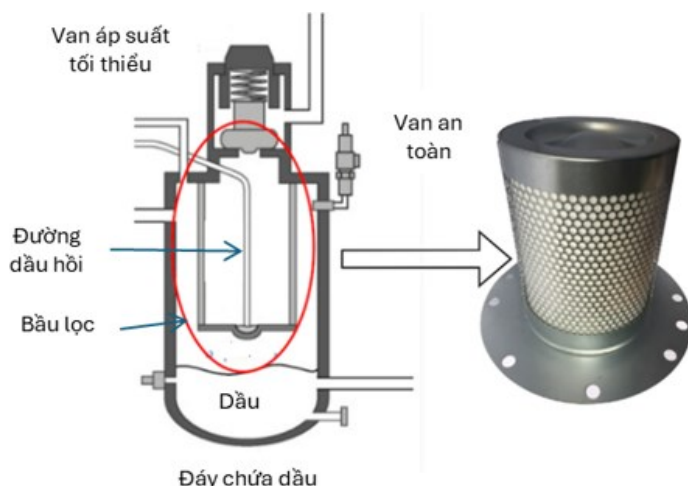
Khuếch tán: Hơi ẩm thấm qua màng nhờ sự chênh lệch áp suất riêng phần của hơi nước và các khí khác trong không khí.

3.2.2 Hệ thống tách dầu

Lọc tách dầu máy nén khí là bộ phận xuất hiện trong mọi máy nén khí trục vít ngâm dầu, với máy nén khí trục vít không dầu (oil-free) thì sẽ không cần đến bộ lọc này.

- Mô tả/ chức năng của bộ lọc tách dầu trong máy nén khí

Lọc tách dầu có chức năng tách dầu ra khỏi khí nén. Đây là một trong ba bộ lọc (lọc dầu, lọc gió, lọc tách dầu) cần thay thế định kỳ của máy nén khí. Cần phân biệt với lọc dầu, lọc dầu làm nhiệm vụ loại bỏ các cặn bẩn có trong dầu bôi trơn của máy nén khí, bảo vệ đầu nén. Còn lọc tách dầu là tách hạt/hơi dầu ra khỏi khí nén. Trong quá trình nén khí, dầu được phun vào buồng nén để làm các chức năng là làm kín, bôi trơn, làm mát và chống gỉ. Sau đó một hỗn hợp khí dầu sẽ ra khỏi buồng nén. Dầu lúc này cần được giữ lại trong máy nén khí, trong khi đó khí thì sẽ thoát ra và lúc này khí cần là khí không lẫn dầu (xem hình 3.3).



Hình 3.3. Bộ lọc tách dầu trong máy nén khí.

Hầu hết dầu được tách bởi lực li tâm. Hỗn hợp dầu và khí đi vào bình dầu, sau đó dầu sẽ được đẩy ra ngoài và rơi xuống đáy của bình dầu. Thường có một tấm giạt được lắp để ngăn chặn hỗn hợp dầu và khí từ việc tách dầu trực tiếp. 85% lượng dầu sẽ được loại bỏ thông qua việc tách này. 15% lượng dầu còn lại trong khí nén sẽ tồn tại dưới dạng những giọt li ti giống sương mù. Khi lượng dầu có trong khí nén này đi qua bộ lọc tách dầu, những giọt nhỏ được gộp lại thành những giọt lớn cho đến khi nó rơi xuống và được thu lại dưới đáy của bộ lọc tách dầu.

3.3 Hệ thống phân phối và điều khiển khí nén

3.3.1 Hệ thống bồn chứa – tích áp

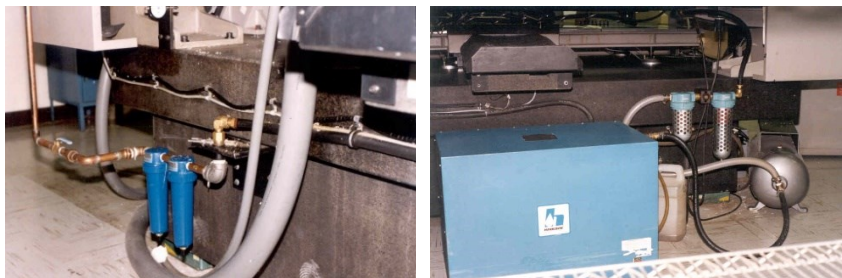
Một trong những khâu quan trọng nhất nhưng ít được quan tâm nhất trong hệ thống khí nén là tồn trữ khí nén. Lượng khí nén thích hợp được tồn trữ có thể cho phép sản xuất liên tục, không bị gián đoạn, đáp ứng các nhu cầu cao điểm trong thời gian ngắn, kể cả khi máy nén bị hỏng và chờ máy nén khác khởi động và khi khởi động thêm các máy nén để bổ sung cho nhu cầu khí nén tăng thêm. Việc tồn trữ khí nén cũng ảnh hưởng không nhỏ đến hiệu suất của máy nén.

3.3.2 Hệ thống đường ống phân phối đến hộ tiêu thụ và thiết bị sử dụng cuối

Một hệ thống đường ống phân phối và tiết lưu dẫn khí nén từ hệ thống máy nén trung tâm tới các hộ tiêu thụ. Hệ thống này bao gồm các van cách ly, bể chất lỏng, các bình chứa trung gian và phân tán nhiệt đều trên ống để tránh hiện tượng ngưng tụ hoặc đông lạnh trên đường ống ở ngoài trời. Tổn thất áp suất trong quá trình phân phối thường được bù bằng áp suất cao hơn ở đầu đầu của máy nén.

Ống cấp tới hộ tiêu thụ cung cấp khí nén từ đường ống chính hoặc đường ống nhánh tới các hộ tiêu thụ để sử dụng năng lượng của khí nén thực hiện các chức năng của thiết bị. Năng lượng được cung cấp cho thiết bị sử dụng phụ thuộc vào lưu lượng và áp suất dòng khí nén khi quá trình chuyển đổi năng lượng khí nén thành cơ năng diễn ra. Trong nhiều trường hợp, cách bố trí đường ống có thể gây ra tổn thất áp suất giữa đường ống chính và hộ tiêu thụ từ 1,4 bar đến 2 bar hoặc nhiều hơn. Điều này sẽ khiến cho các ứng dụng khí nén hoạt động kém hiệu quả và thiếu tin cậy. Thông thường, những người vận hành đều nhận thấy thiết bị dường như sẽ hoạt động tốt hơn khi áp suất của khí nén cao hơn. Bằng trực giác cũng có thể

nhận thấy các thiết bị hoạt động kém hiệu quả trong điều kiện áp suất thấp.



Hình 3.4. Ví dụ về đường ống cấp khí tới hệ tiêu thụ.

- Sử dụng đường ống có đường kính phù hợp;
- Sử dụng đoạn nối chữ Y thay vì dùng T để giảm lực cản dòng chảy khí nén;
- Sử dụng chỗ uốn dài thay vì dùng chỗ uốn cong gấp khúc;
- Dùng 1 ống to thay vì nhiều ống nhỏ nối song song.

CHƯƠNG 4

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG KHÍ NÉN

4.1 Thay đổi lưu lượng khí nén

Điều khiển lưu lượng là điều khiển giữ cho áp suất hoặc khối lượng riêng của khí nén trong hệ thống không đổi.

Thực trạng các hệ thống máy nén hiện nay:

- Hệ thống máy nén thường bao gồm nhiều máy nén cung cấp khí nén đến một đường ống cấp chung của nhà máy. Công suất kết hợp của các máy nén này được tính toán, ở mức tối thiểu, để đáp ứng nhu cầu khí nén lớn nhất của nhà máy;
- Điều khiển một cách thích hợp là yếu tố cần thiết để vận hành hệ thống ổn định và đạt hiệu suất cao;
- Mục tiêu của mọi chiến lược điều khiển đều là tắt các máy nén không cần thiết, tắt cả các máy nén đang hoạt động thì phải được chạy ở chế độ đầy tải.

Bộ điều khiển lưu lượng là thiết bị dùng để tách phía cung cấp của hệ thống máy nén với phía tiêu thụ khí nén. Điều này cho phép các máy nén hoạt động ở đúng hoặc gần với áp suất tối ưu của chúng để đạt được hiệu suất cao nhất, trong khi áp suất phía tiêu thụ có thể giảm hơn nữa để giảm thiểu các yêu cầu sử dụng thực tế.

→ Vì vậy bộ điều khiển lưu lượng là một trong những yếu tố quan trọng nhất quyết định hiệu quả năng lượng của toàn hệ thống.

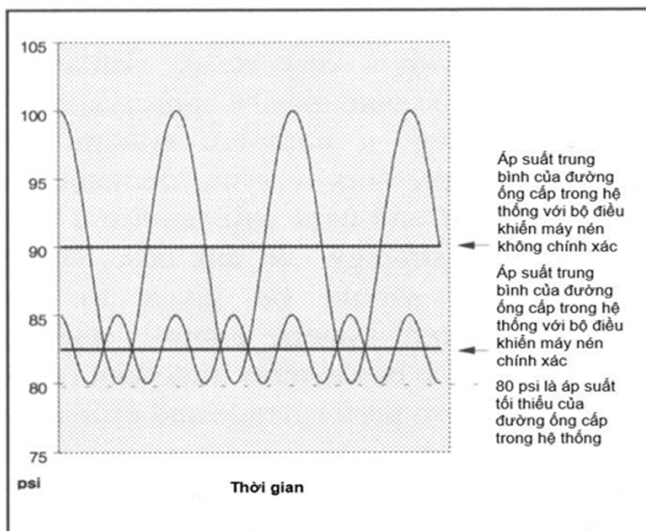
Dung tích dự trữ, được định cỡ để đáp ứng các biến động được dự đoán về nhu cầu tải, là một phần thiết yếu của phương pháp điều khiển này. Khí nén cung cấp có áp suất cao hơn đi vào bình chứa với lưu lượng được định trước và dự trữ sẵn để đáp ứng các biến động của nhu cầu tải một cách tin cậy ở mức áp suất thấp hơn và không đổi. Áp suất của hệ thống được giám sát và hệ thống điều khiển sẽ giảm công suất của máy nén khi áp suất đạt tới giá trị định trước. Công suất của máy nén sau đó sẽ tăng trở lại khi áp suất hệ thống giảm xuống dưới mức định trước. Độ

chênh giữa hai mức áp suất này gọi là dải điều khiển. Tùy thuộc vào nhu cầu của hệ thống khí nén, dải điều khiển có thể từ 0,137 bar đến 1,37 bar.

Trước đây: việc điều khiển từng máy nén riêng lẻ và các hệ thống nhiều máy nén không được giám sát thường phản ứng chậm và không chính xác dẫn đến phạm vi điều khiển rộng, mức thay đổi áp suất lớn.

Ngày nay: điều khiển hệ thống dựa trên các bộ vi xử lý nhanh hơn và chính xác hơn, với phạm vi điều khiển hẹp hơn, cho phép giảm giá trị cài đặt áp suất hệ thống dẫn đến phạm vi điều chỉnh hẹp.

Ưu điểm này được mô tả trong hình sau:



Hình 4.1. Ảnh hưởng của áp suất điều khiển hệ thống.

➤ **Đối với các phương pháp điều khiển máy nén đơn**

Tuy nhiên, sự thay đổi lớn và đột ngột của nhu cầu có thể khiến cho áp suất giảm xuống dưới mức yêu cầu tối thiểu, dẫn tới không đảm bảo các chức năng làm việc của thiết bị. Với sự kết hợp chuẩn xác của các bộ điều khiển hệ thống và dung tích dự trữ khí nén, các vấn đề này có thể phòng tránh được.

Một hệ thống được thiết kế và quản lý tốt cần phải bao gồm một số hoặc tất cả những yếu tố sau đây:

- Chiến lược kiểm soát tổng thể;
- Điều khiển theo nhu cầu;
- Vị trí lấy tín hiệu tốt;
- Điều khiển máy nén và dự trữ khí nén.

Các phương pháp phổ biến để kiểm soát luồng không khí vào hệ thống khí nén từ máy nén bao gồm:

- Van điều chỉnh đầu vào – còn được gọi là điều tiết;
- Van quá áp;
- Thay đổi tỷ số nén;
- Xả khí hoặc thải.

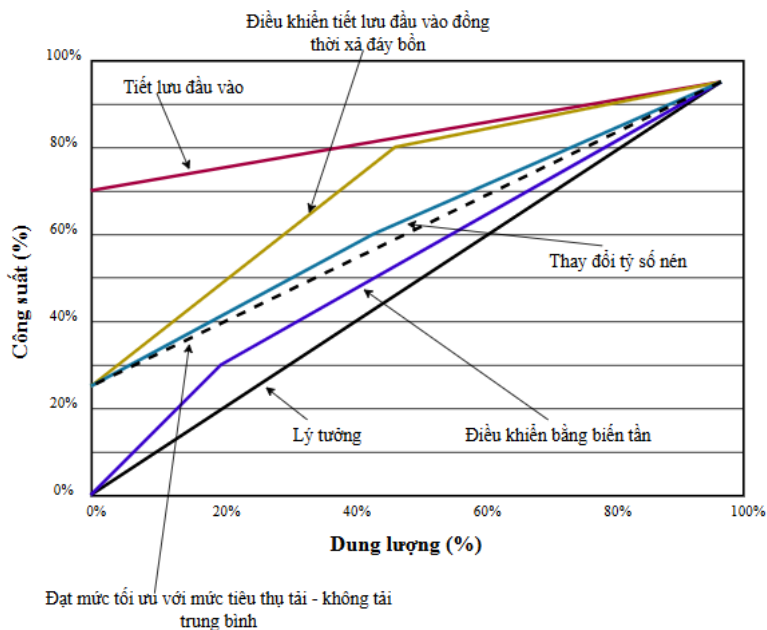
Phương pháp cụ thể được sử dụng sẽ phụ thuộc vào loại và kiểu máy nén bạn đang sử dụng.

4.2 Điều khiển hệ thống khí nén

Phương pháp điều khiển cho một hệ thống cụ thể chủ yếu được xác định bởi chủng loại máy nén đang được sử dụng và sự thay đổi nhu cầu về khí nén của nhà máy. Nếu hệ thống có một máy nén duy nhất với nhu cầu khí nén ổn định, thì sử dụng một bộ điều khiển đơn giản là phù hợp. Mặt khác, một hệ thống phức tạp với nhiều máy nén, nhu cầu khí nén luôn thay đổi và có nhiều mục đích sử dụng sẽ đòi hỏi một phương pháp điều khiển phức tạp hơn. Trong mọi trường hợp, cần xem xét cẩn thận cả việc lựa chọn máy nén và bộ điều khiển hệ thống, bởi chúng có thể là các yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến với hoạt động và hiệu suất của hệ thống.

➤ Đánh giá các tùy chọn điều khiển tối ưu cho hệ thống

Chúng ta cùng xem lại một số phương pháp điều khiển và cùng so sánh trong biểu đồ sau đây để có thể hiểu và áp dụng cho từng trường hợp máy nén với những yêu cầu cụ thể.



Hình 4.2. Mối quan hệ giữa sản lượng khí nén và hiệu suất tiêu thụ của các phương pháp điều khiển.

Ở biểu đồ trên thì trục x hiển thị phần trăm sản lượng khí nén từ máy nén, trục y thể hiện công suất tiêu thụ bằng phần trăm khi đầy tải. Những đường nét đứt thể hiện máy nén không có khả năng hoạt động giữa hai cái điểm cực trị này.

- Điều khiển tiết lưu đầu vào kém hiệu quả nhất do đường đặc tính công suất – dung lượng khí nén quá cao, điều này có nghĩa là ở cùng một phần trăm công suất sẽ cho ra dung lượng khí thấp nhất so với các phương pháp khác;
- Điều khiển tiết lưu đầu vào đồng thời xả đáy bình chứa sẽ hiệu quả hơn;
- Thay đổi tỷ lệ thể tích kết hợp với xả đáy bình chứa cũng sẽ hiệu quả hơn nhiều;

- Đạt mức tối ưu với mức tiêu thụ tải – không tải trung bình với bình chứa lớn đối với máy nén trực vít được bôi trơn hoặc khô và ly tâm;
- Điều khiển bằng biến tần là một cách hiệu quả để công suất tiêu thụ thấp khi không tải hoặc nhu cầu về khí nén giảm (đồ thị đặc tính sát với đường đặc tính lý tưởng).

➤ **Đối với các phương pháp điều khiển hệ thống máy nén**

Đối với hệ thống các máy nén, chúng ta có các phương pháp điều khiển thường được sử dụng sau là:

- Điều khiển dải áp suất theo tầng;
- Điều khiển mạng;
- Điều khiển tổng thể hệ thống;
- Điều khiển nhiều tầng với bộ truyền động thay đổi tốc độ.

Điều khiển dải áp suất theo tầng: Bộ điều khiển này nhằm đảm bảo chỉ chạy một số lượng máy nén khí cần thiết để đáp ứng nhu cầu, sử dụng nguyên lý truyền thống về dải áp suất theo tầng. Khi nhu cầu khí nén tăng lên và áp suất đường ống bắt đầu giảm, máy nén có dải áp suất thấp hơn đi vào hoạt động sẽ làm tăng công suất hệ thống. Khi nhu cầu khí nén giảm và áp suất đường dây tăng lên, chỉ có số lượng máy nén cần thiết có dải áp suất cao hơn mới hoạt động. Sơ đồ điều khiển theo tầng làm tăng mức tiêu thụ điện năng trong hệ thống do áp suất tăng cao. Áp suất tăng cao sẽ gây lãng phí năng lượng và tạo ra nhu cầu giả trong hệ thống.

Điều khiển mạng: Bằng cách liên kết các bộ vi xử lý điều khiển máy nén trên bo mạch, các bộ điều khiển mạng tạo thành một chuỗi giao tiếp. Chuỗi đưa ra các quyết định dừng, bắt đầu, tải, dỡ tải, điều chỉnh, thay đổi chuyển vị và thay đổi tốc độ. Trong hầu hết các trường hợp, một máy nén đảm nhận vai trò chủ đạo, trong khi những máy nén khác đóng vai trò thứ yếu. Loại điều khiển này có thể điều chỉnh được nhiều máy nén trong khi vẫn duy trì áp suất hệ thống trong một dải áp suất thấp hơn duy nhất cho mọi điều kiện. Thông thường, các loại điều khiển này chỉ có thể kết nối các máy nén của cùng một nhà sản xuất. Mặc dù chi phí ban đầu cho các bộ điều khiển hệ thống thường khá cao, nhưng các bộ điều khiển này đang trở nên phổ biến hơn vì chúng giúp giảm chi phí vận hành.

Điều khiển tổng thể hệ thống: Đối với các hệ thống phức tạp hơn, giải pháp điều khiển tổng thể hệ thống sẽ điều phối các chức năng để tối ưu hóa việc sử dụng không khí và giữ cho hệ thống của bạn vận hành hài hòa. Các điều khiển này có nhiều khả năng chức năng hơn, bao gồm giám sát và kiểm soát mọi thành phần trong hệ thống. Ta cũng có thể theo dõi dữ liệu để tăng cường chức năng bảo trì và giảm thiểu chi phí vận hành.

Điều khiển nhiều tầng với bộ truyền động thay đổi tốc độ: Điều khiển VSD điều chỉnh tốc độ của động cơ máy nén để phù hợp chính xác với yêu cầu sử dụng không khí. Khi nhu cầu tăng lên, động cơ sẽ tăng tốc, khi nhu cầu giảm, động cơ chậm lại. Điều này cho phép hiệu suất sử dụng năng lượng và hiệu suất tải từng phần tốt hơn vì máy nén có thể hoạt động ở các tốc độ khác nhau để đáp ứng nhu cầu. Điều này rõ ràng trái ngược với máy nén hoạt động ở tốc độ cố định, nghĩa là chúng chạy ở cùng tốc độ tối đa trong toàn bộ thời gian ngay cả khi nhu cầu thấp hơn. Các lợi ích hiệu quả năng lượng liên quan khác bao gồm:

- Giảm đột biến cường độ dòng điện nhờ điều khiển khởi động/dừng mềm;
- Áp suất nhà máy ổn định hoạt động ở mức dung sai áp suất chặt chẽ hơn. Tiết kiệm khuyến khích tài chính do các tổ chức năng lượng địa phương cung cấp;
- Tăng tuổi thọ của máy nén nhờ hoạt động hiệu quả cho phép giảm căng thẳng nội bộ.

CHƯƠNG 5

QUẢN LÝ VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ HỆ THỐNG KHÍ NÉN

5.1 Đo lường hiện trường, thu thập số liệu và phân tích dữ liệu

Độ chính xác của hệ thống đo lường phụ thuộc vào yếu tố con người, cách kết nối với hệ thống, bộ chuyển đổi, cáp tín hiệu, kết nối điện, phần cứng và phần mềm thiết bị thu thập dữ liệu, cùng với các kỹ thuật đo lường. Cách thức thu thập dữ liệu cũng đóng vai trò quan trọng trong vận hành cũng như bảo trì hệ thống. Tốc độ lấy mẫu, tính giá trị trung bình dữ liệu và quãng thời gian ghi liệu phụ thuộc vào đặc tính của hệ thống. Cần sử dụng các cảm biến, bộ chuyển đổi và độ chính xác của hệ thống đo lường một cách thích hợp. Các tín hiệu đầu ra của bộ chuyển đổi tỷ lệ với đại lượng vật lý được đo. Tín hiệu phải được chuyển đổi thích hợp để nhận được giá trị chính xác của các phép đo.

Dữ liệu hồ sơ hệ thống có thể được sử dụng để xác định chi phí vận hành hàng năm của các máy nén hiện có. Cần xác định khả năng đáp ứng non tải và phương thức điều khiển trình tự các máy nén. Trong hệ thống có nhiều máy nén, một số máy nén thường hoạt động ở chế độ non tải. Khi vận hành ở chế độ non tải, nhiều máy nén có thể giảm đáng kể hiệu suất hoạt động. Thông thường sẽ có nhiều tiềm năng cải thiện hiệu suất vận hành của hệ thống. Các tiềm năng này có thể được xác định thông qua việc thu thập dữ liệu về áp suất và lưu lượng động trong hệ thống.

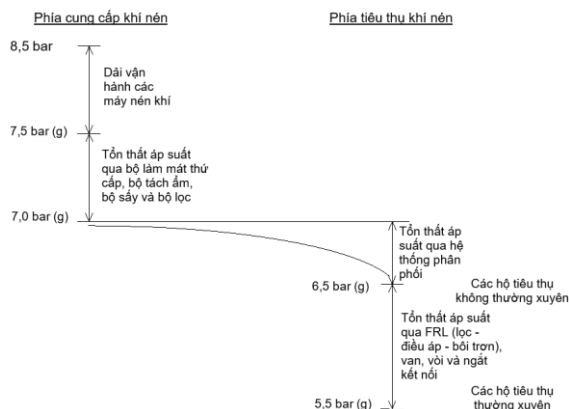
Mục tiêu thông tin	Phép đo và vị trí đo
Sự thay đổi nhu cầu khí nén: (Đặc tính động).	Đo lưu lượng khí nén tại mỗi điểm cung cấp trên hệ thống (Đặc tính động).
Biến động tải khí nén, nhu cầu liên tục, nhu cầu trung bình và nhu cầu tải đỉnh với chu kỳ và thời gian diễn ra.	
Mối liên hệ của các tín hiệu đặc	

Mục tiêu thông tin	Phép đo và vị trí đo
trung với các biến động tải khí nén.	
Sự thay đổi áp suất (Đặc tính động). Độ chênh áp suất trên hệ thống phân phối và mức sai lệch.	Đo áp suất tại các điểm chính trong hệ thống phân phối tại: - Các khu vực có vấn đề đã biết hoặc có nghi ngờ; - Điểm xa nhất của hệ thống; - Gần điểm sử dụng tải gián đoạn với lưu lượng thể tích lớn; - Gần điểm sử dụng có nhu cầu khí nén áp suất cao ghi nhận được; - Kiểm tra xác suất hoặc ghi dữ liệu trong thời gian ngắn.
Các giai đoạn tải gián đoạn với lưu lượng thể tích lớn (Đặc tính động). Các dấu hiệu đặc trưng, các tác động lên biểu đồ phân bố áp suất của hệ thống và độ chênh áp suất của hệ thống phân phối. Biến động tải, các lưu lượng ở tải liên tục, tải trung bình, tải đỉnh, thời gian xảy ra hiện tượng tải gián đoạn và thời gian dừng giữa các hiện tượng tải gián đoạn. Sự thay đổi áp suất, áp suất đỉnh, áp suất đáy và tốc độ suy giảm	Đo áp suất tại các điểm chính liên quan đến hiện tượng tải gián đoạn và quá trình sản xuất, gồm: - Đường ống chính phân phối cho khu vực đó; - Điểm kết nối để cung cấp khí nén cho thiết bị/quá trình; - Điểm sử dụng khí nén; - Đo lưu lượng tại: • Điểm cung cấp cho hộ tiêu thụ có tải gián đoạn;

Mục tiêu thông tin	Phép đo và vị trí đo
dao động.	Thiết bị hoặc quá trình sản xuất. LƯU Ý: Nếu xác định được mối liên hệ giữa các dấu hiệu đặc trưng của hiện tượng tải gián đoạn và phản ứng của phía cung cấp, thì có thể không cần thiết phải đo lưu lượng tại điểm sử dụng.
Các nhu cầu khí nén áp suất cao ghi nhận được (Đặc tính động). Sự thay đổi áp suất, để xác thực các yêu cầu về áp suất và loại trừ việc sụt áp quá mức tại các điểm kết nối sử dụng. Xác định thuộc tính của yêu cầu áp suất là dòng động hay dòng tĩnh.	Đo áp suất tại các điểm chính liên quan đến hiện tượng tải áp suất cao và quá trình sản xuất, gồm: - Đường ống chính phân phối cho khu vực đó; - Điểm kết nối để cung cấp khí nén cho thiết bị/quá trình. Điểm sử dụng khí nén.

Bảng 5.1.1. Các phép đo và vị trí đo để xác định đặc tính hệ thống khí nén điển hình

Biểu đồ phân bố áp suất sẽ giúp thiết lập một sự hiểu biết chính xác về phương thức hoạt động của hệ thống. Trong sơ đồ trên Hình 5.1, hệ tiêu thụ cuối chỉ yêu cầu áp suất là 5,5 bar để hoạt động. Điều này giúp thiết lập một đường cơ sở để từ đó đề xuất một số phương án cải tiến hệ thống.



Hình 5.1. Biểu đồ phân bố áp suất hệ thống.

Có độ chênh áp suất 2 bar giữa áp suất thấp nhất trong dải hoạt động của máy nén và áp suất yêu cầu của hộ tiêu thụ. Nếu có thể loại bỏ áp suất 2 bar này, thì áp suất tại máy nén sẽ giảm xuống. Lượng điện năng tiêu thụ sẽ giảm đi 6% tương ứng với độ giảm áp suất là 1 bar. Nếu tổn thất áp suất là không liên tục, thì nguyên nhân có thể là do những tải gián đoạn có lưu lượng lớn. Điều này cho thấy có thể phải tăng thêm dung tích dự trữ khí nén của hệ thống.

5.2 Nhu cầu và chi phí khí nén

5.2.1 Chi phí hoạt động, nâng cao chất lượng khí và chất lượng điều khiển

Thông thường nhu cầu của hệ thống có thể được chia thành bốn loại:

- Nhu cầu sản xuất thực tế;
- Rò rỉ;
- Sử dụng không phù hợp;
- Nhu cầu giả: Nhu cầu giả được định nghĩa là lượng không khí dư thừa được tiêu thụ bởi các thiết bị cuối không được quy định do cung cấp áp suất cao hơn mức cần thiết cho các ứng dụng tại điểm sử dụng.

Các thiết bị được cung cấp thông qua một bộ điều khiển áp suất/lưu lượng hoặc thông qua các bộ điều chỉnh sẽ sử dụng không khí ở áp suất được điều chỉnh.

Các thiết bị được kết nối với một phần của hệ thống phân phối không có kiểm soát áp suất hoặc dòng sẽ sử dụng không khí ở áp suất nào đang tồn tại tại thời điểm đó.

Nếu áp suất cao hơn so với cần thiết, tất cả các luồng rò rỉ sẽ tăng, và tất cả các thiết bị không được điều chỉnh sẽ sử dụng nhiều không khí hơn thực sự cần để thực hiện công việc của nó. Lượng dư thừa này được gọi là nhu cầu giả đối với khí nén. Việc sử dụng không được điều chỉnh có thể cao đến 30 đến 50 phần trăm của nhu cầu không khí. Hầu hết các nhà máy công nghiệp đều sử dụng khí nén để chạy thiết bị hay vận hành các hệ thống điều khiển. Một cuộc khảo sát gần đây của Bộ Năng lượng Hoa Kỳ đã chỉ ra rằng đối với một cơ sở công nghiệp điển hình, khoảng 10% điện năng tiêu thụ là để sản xuất khí nén. Đối với một số nhà máy, việc sản xuất khí nén có thể chiếm từ 30% trở lên trong tổng lượng điện tiêu thụ. Khí nén là một loại tiện ích được tạo ra ngay tại cơ sở sản xuất. Thông thường chi phí sản xuất khí nén ít được lưu tâm, tuy nhiên, một số công ty tính toán khoảng 130.000 đến 270.000 VNĐ cho 1000m³ khí nén.

Khí nén là một trong những nguồn năng lượng đắt nhất trong nhà máy. Hiệu suất tổng của một hệ thống khí nén rất thấp, chỉ khoảng 10 – 15%. Ví dụ, để vận hành động cơ khí nén có công suất 0,75 kW ở áp suất 6,9 Bar, cần đến khoảng 5-6 kW điện để cung cấp cho máy nén. Để tính toán chi phí khí nén trong cơ sở, sử dụng công thức dưới đây:

$$\text{Chi phí} = \frac{P \times (\text{\#giờ}) \times (\text{giá/kWh}) \times (\% \text{thời gian}) \times (\% P \text{ đầy tải})}{\text{Hiệu suất động cơ}} \quad (5.1)$$

Với: P – Công suất tính theo kW của máy nén.

% thời gian – Tỷ lệ phần trăm thời gian vận hành.

% P đầy tải – Công suất theo phần trăm kW đầy tải.

Cung cấp khí nén đòi hỏi các thiết bị đắt tiền, tiêu thụ một lượng điện năng đáng kể và cần được bảo trì thường xuyên. Mặc dù vậy, nhiều cơ sở sản xuất không biết chi phí hàng năm cho hệ thống khí nén của họ

là bao nhiêu, hoặc họ có thể tiết kiệm được bao nhiêu tiền bằng cách cải thiện hiệu suất của các hệ thống này. Chi phí điện cho đến nay vẫn là chi phí lớn nhất trong việc sở hữu và vận hành hệ thống khí nén. Chi phí đầu tư ban đầu cho một máy nén công suất 75 kW là khoảng 0,7 – 1,2 tỷ VNĐ, tùy thuộc vào loại máy nén và nhà sản xuất, trong khi chi phí điện hàng năm cho cùng một hệ thống có thể lên đến 1 tỷ VNĐ. Thêm vào đó là chi phí bảo trì hàng năm, có thể bằng hoặc lớn hơn 10% chi phí ban đầu của hệ thống.

- **Tính toán chi phí điện năng đơn giản:** Để tính toán nhanh chi phí điện năng cho một máy nén hoạt động ở chế độ đầy tải cần các dữ liệu sau đây:
 - Công suất ghi trên nhãn động cơ máy nén (kW);
 - Hiệu suất ghi trên nhãn động cơ (hoặc ước tính hiệu suất);
 - Số giờ vận hành hàng năm (giờ/năm);
 - Giá điện (VNĐ/kWh).

Chi phí điện hàng năm có thể được tính bằng cách thay các dữ liệu trên vào công thức:

$$\text{Chi phí điện hàng năm} = (\text{Công suất đầy tải của động cơ}) \times \text{kW} \times (1/0,90) \times (\text{Số giờ vận hành hàng năm}) \times (\text{Giá điện tính bằng VNĐ/kWh}) \quad (5.2)$$

Công thức này giả thiết rằng hiệu suất động cơ điện là 90% (số 90 trong hệ số 1/0,90) – một ước tính hợp lý đối với hệ thống hiện đại có công suất lớn hơn 37kW. Các động cơ tiết kiệm năng lượng thế hệ mới hơn có thể có hiệu suất cao hơn nữa. Nếu hệ thống sử dụng động cơ cũ đã được quán lại nhiều lần hoặc sử dụng một động cơ có công suất nhỏ hơn, thì nên sử dụng mức hiệu suất 80% (hoặc mức hiệu suất ghi trên nhãn động cơ). Để đánh giá chính xác hơn, cần bổ sung vào công suất động cơ các mức công suất của tất cả các động cơ phụ hoạt động theo phụ tải trong cụm máy.

Tính toán chi phí điện năng bằng các phép đo: Cách chính xác hơn để xác định mức tiêu thụ điện năng và chi phí là thực hiện đo cả dòng đầy

tải và điện áp. Công suất và hiệu suất động cơ ở chế độ đầy tải không cần thiết cho cách tính toán này, nhưng cần có hệ số công suất đầy tải, có thể lấy từ nhà sản xuất động cơ. Phương pháp tính toán này lấy dòng đầy tải, chuyển đổi thành công suất đầy tải, sau đó nhân với thời gian chạy và giá điện. Tính toán được thể hiện qua công thức sau:

$$\text{Chi phí điện hàng năm} = (\text{Dòng đầy tải}) \times (\text{Điện áp}) \times (1,732) \times (\text{Hệ số công suất}) / 1000 \times (\text{Số giờ vận hành hàng năm}) \times (\text{Giá điện tính bằng VND/kWh}) \quad (5.3)$$

- **Áp suất và chi phí điện năng**

Khí nén áp suất cao có chi phí sản xuất và phân phối đắt hơn so với khí nén áp suất thấp. Đối với hệ thống hoạt động ở áp suất khoảng 6,9 bar, có một nguyên tắc dựa trên kinh nghiệm là cứ tăng thêm 0,14 bar trong áp suất vận hành, thì chi phí năng lượng tăng thêm 1%. Đối với hệ thống được trình bày trong ví dụ đầu tiên cho thấy, vận hành hệ thống ở áp suất 7,58 bar thay vì 6,9 bar sẽ làm tăng chi phí năng lượng lên 5%, tương đương với 42 triệu VNĐ mỗi năm.

5.2.2 Chi phí liên quan đến rò rỉ trong hệ thống khí nén

Mọi người đều biết hệ thống khí nén có rò rỉ. Nhưng không phải ai cũng nắm được lượng rò rỉ là bao nhiêu, hoặc tổn thất chi phí do rò rỉ là bao nhiêu. Rò rỉ có thể chiếm từ 20% đến 30% tổng lượng khí nén tiêu thụ. Một lỗ rò hình tròn có đường kính 3 mm sẽ gây ra rò rỉ 0,5 m³/phút tại áp suất 6 bar. Trong một năm, lỗ rò này gây ra tổn thất hơn 240.000 m³ khí nén.

Tỷ lệ rò rỉ khoảng 20-30% trong hệ thống khí nén của nhà máy công nghiệp không phải là hiếm. Một chương trình tích cực và liên tục để phát hiện và khắc phục rò rỉ có thể giúp giảm đáng kể mức tiêu thụ.

Một lượng lớn khí nén có thể bị thất thoát qua các cơ cấu thoát nước ngưng:

- Các bể kiểu phao và kiểu cơ khí khác có thể bị kẹt khi ở trạng thái mở;
- Cơ cấu xả nước ngưng bằng tay bị hỏng;

- Xả đáy định kỳ có thể khiến cho van mở ngay cả khi không có nước ngưng;
- “Hệ thống xả nước ngưng theo yêu cầu”, chỉ mở khi có nước ngưng và đóng lại khi nước ngưng đã xả hết, có thể loại bỏ các tổn thất.

Rò rỉ khí nén cũng có thể góp phần gây ra các vấn đề vận hành của hệ thống, bao gồm:

- Sự dao động áp suất trong hệ thống, có thể làm các dụng cụ sử dụng khí nén và các thiết bị vận hành bằng khí khác bị hoạt động kém hiệu quả, có thể ảnh hưởng đến quá trình sản xuất;
- Công suất máy nén bị vượt quá, dẫn đến chi phí cao hơn mức cần thiết;
- Giảm tuổi thọ của thiết bị và làm tăng nhu cầu bảo trì thiết bị cung cấp khí nén (bao gồm cả cụm máy nén) do chu kỳ chạy máy không cần thiết và tăng thời gian chạy máy;
- Mặc dù rò rỉ có thể xảy ra ở bất kỳ bộ phận nào của hệ thống, nhưng các khu vực thường xảy ra là: khớp nối, ống mềm, ống, phụ kiện, mối nối ống, cơ cấu ngắt nhanh, các cụm FRL (bộ lọc, điều áp, bôi trơn), bể nước ngưng, van, mặt bích, vòng bít, chèn kín mối nối ren và các thiết bị ở điểm sử dụng. Mức độ rò rỉ phụ thuộc vào áp suất cung cấp trong một hệ thống không được kiểm soát, và càng tăng khi áp suất của hệ thống càng cao.

Cùng với việc thực hiện các biện pháp khắc phục trên đây phải xem xét số lượng máy nén đang hoạt động và cài đặt điều khiển các máy nén để giảm mức tiêu hao năng lượng tương ứng.

Đường kính lỗ rò	Lưu lượng khí thoát qua lỗ rò (m ³ /phút)	Năng lượng tổn thất, (kW)
1mm	0,065	0,3
2mm	0,240	1,7

Đường kính lỗ rò	Lưu lượng khí thoát qua lỗ rò (m³/phút)	Năng lượng tổn thất, (kW)
4mm	0,980	6,5
6mm	2,120	12,0

Bảng 5.2.1. Lưu lượng khí nén thoát qua lỗ rò và tổn thất năng lượng

Trong các hệ thống khí nén nhỏ, khi ngắt tất cả các hộ sử dụng và đo mức giảm áp suất theo thời gian có thể xác định lưu lượng khí nén bị rò rỉ. Công thức tính toán của phương pháp này là:

$$V_L = \frac{V_R \times (P_I - P_F)}{T}$$

(5.4)

Trong đó: V_L = Lưu lượng rò rỉ

V_R = Thể tích chứa

P_I = Áp suất ban đầu

P_F = Áp suất cuối

T = Thời gian đo

Áp suất trước lỗ tiết lưu, bar	Đường kính lỗ tiết lưu, mm											
	(Ghi chú: tính toán với giả định hệ số dòng chảy của lỗ tiết lưu là 0,61)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
4	0,03	0,11	0,25	0,45	0,70	1,01	1,38	1,80	2,28	2,82	6,34	11,28

Áp suất trước lỗ tiết lưu, bar	Đường kính lỗ tiết lưu, mm											
	(Ghi chú: tính toán với giả định hệ số dòng chảy của lỗ tiết lưu là 0,61)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
4,5	0,03	0,12	0,28	0,50	0,78	1,12	1,52	1,98	2,51	3,10	6,98	12,40
5	0,03	0,14	0,30	0,54	0,85	1,22	1,66	2,16	2,74	3,38	7,61	13,53
5,5	0,04	0,15	0,33	0,59	0,92	1,32	1,79	2,34	2,97	3,66	8,24	14,65
6	0,04	0,16	0,35	0,63	0,99	1,42	1,93	2,52	3,19	3,94	8,87	15,78
6,5	0,04	0,17	0,38	0,68	1,06	1,52	2,07	2,70	3,42	4,23	9,51	16,90
7	0,05	0,18	0,41	0,72	1,13	1,62	2,21	2,88	3,65	4,51	10,14	18,03
7,5	0,05	0,19	0,43	0,77	1,20	1,72	2,35	3,06	3,88	4,79	10,77	19,15
8	0,05	0,20	0,46	0,81	1,27	1,82	2,48	3,24	4,11	5,07	11,40	20,27
8,5	0,05	0,21	0,48	0,86	1,34	1,93	2,62	3,42	4,33	5,35	12,04	21,40
9	0,06	0,23	0,51	0,90	1,41	2,03	2,76	3,60	4,56	5,63	12,67	22,52
9,5	0,06	0,24	0,53	0,95	1,48	2,13	2,90	3,78	4,79	5,91	13,30	23,65

Áp suất trước lỗ tiết lưu, bar	Đường kính lỗ tiết lưu, mm											
	(Ghi chú: tính toán với giả định hệ số dòng chảy của lỗ tiết lưu là 0,61)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
10	0,06	0,25	0,56	0,99	1,55	2,23	3,03	3,96	5,02	6,19	13,94	24,77

Bảng 5.2.2. Thoát khí qua lỗ tiết lưu

Đối với các hệ thống lớn hơn, lượng rò rỉ có thể được xác định gần đúng bằng cách ngắt tất cả các hộ tiêu thụ và đo chu kỳ khởi động của máy nén.

Công thức áp dụng cho phương pháp này là:

$$V_L = \frac{V_c \times t}{T}$$

(5.5)

- Trong đó: V_L = Lưu lượng rò rỉ
- V_c = Năng suất của máy nén khí
- t = Thời gian chạy mang tải của máy nén
- T = Thời gian đo

Đối với các hệ thống rất lớn, hoạt động 24 giờ mỗi ngày, việc xác định lưu lượng rò rỉ có thể khó khả thi. Nếu có hệ thống đo lường giám sát lưu lượng liên tục, xu hướng rò rỉ có thể được theo dõi trong các ngày nghỉ hoặc vào thời gian có sản lượng sản xuất thấp nhất. Bảng dưới đây cho phép ước tính lượng khí nén bị rò rỉ trong các điều kiện hoạt động khác nhau. Dữ liệu được dựa trên việc đo đặc sử dụng các lỗ tiết lưu sắc cạnh với hệ số dòng chảy là 0,61. Lượng rò rỉ có thể tăng lên đến 60% đối với các lỗ có cạnh được vê tròn (hệ số dòng chảy là 0,97).

CHƯƠNG 6

CÁC BIỆN PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ TRONG HOẠT ĐỘNG HỆ THỐNG KHÍ NÉN

Chương này đề cập đến một số biện pháp quản lý kế hoạch hành động để nâng cao hiệu quả hệ thống nhằm tiết kiệm chi phí, nhận biết chi phí rò rỉ và lợi ích của chương trình bảo trì để tiết kiệm năng lượng, đồng thời liệt kê các cách sử dụng khí nén không phù hợp và các phương pháp thay thế để đảm bảo yêu cầu sử dụng.

6.1 Phân tích để cải thiện hệ thống khí nén

Năng suất của máy nén là lưu lượng định mức tối đa của dòng khí nén được cấp dưới các điều kiện định mức về nhiệt độ, áp suất và thành phần khí đầu vào. Đôi khi, năng suất này đề cập đến lưu lượng thực tế thay vì lưu lượng định mức và được gọi là năng suất cấp khí tự do (FAD - Free Air Delivery), tức là khí ở các điều kiện khí quyển tại bất kỳ vị trí nào.

Do các máy nén bị lão hóa và hoạt động không thể đạt hiệu suất tối đa, lượng khí cấp (FAD) sẽ ít hơn giá trị định mức, dù bảo dưỡng tốt. Lượng điện lãng phí phụ thuộc vào phần trăm dao động của năng suất FAD. Ví dụ, một van máy nén bị mòn có thể giảm đến 20% năng suất. Cần đánh giá định kỳ năng suất FAD ở mỗi máy nén để kiểm tra năng suất thực tế. Nếu độ lệch lớn hơn 10%, cần thực hiện các giải pháp khắc phục.

Phương pháp lý tưởng để đánh giá năng suất máy nén là thông qua vòi kiểm tra đã được hiệu chuẩn, sử dụng như một tải kiểm tra để xả khí nén ra ngoài. Việc đánh giá lưu lượng phải dựa trên nhiệt độ không khí, áp suất ổn định, và hằng số của vòi phun, đồng thời bao gồm các bước hoạt động như sau:

- Tách riêng máy nén và bình tích cần kiểm tra khỏi hệ thống chính bằng cách đóng chặt van cách ly (van khóa) hoặc tách riêng ra, đóng cửa ra của bình tích;
- Mở van xả và xả hết nước trong bình tích và đường ống. Đảm bảo rằng đường bẫy thoát nước được đóng chặt để bắt đầu tiến hành kiểm tra;

- Khởi động máy nén và kích hoạt đồng hồ bấm giờ;
- Ghi lại thời gian cần để đạt được áp suất vận hành bình thường P_2 (trong bình chứa) từ áp suất ban đầu P_1 .

Tính toán năng suất theo công suất dưới đây (Confederation of Indian Industries):

Năng suất của máy:

$$Q = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times \frac{V}{T}, \text{ Nm}^3/\text{phút} \quad (6.1)$$

Trong đó: P_2 = Áp suất cuối (đẩy), bar

P_1 = Áp suất đầu (hút), bar

P_0 = Áp suất khí quyển, bar

V = Thể tích chứa, bao gồm bể chứa sau làm mát và ống phân phối, m^3

T = Thời gian sử dụng để đạt áp suất P_2 , phút

Hiệu suất máy nén

Các cách đo hiệu suất máy nén khác nhau thường được sử dụng bao gồm: *hiệu suất thể tích*, *hiệu suất đoạn nhiệt*, *hiệu suất đẳng nhiệt* và *hiệu suất cơ học*.

$$\text{Hiệu suất đẳng nhiệt} = \frac{\text{Công suất đầu vào đo được trên thực tế}}{\text{Công suất đẳng nhiệt}} \quad (6.2)$$

$$\text{Công suất đẳng nhiệt} = P_1 \times Q_1 \times \log_e \left[\frac{r}{36.7} \right], \text{ kW} \quad (6.3)$$

Trong đó: P_1 = Áp suất vào tuyệt đối, bar

Q_1 = Năng suất cấp khí của máy, $\text{m}^3/\text{giờ}$

$r = \text{Tỷ số nén } P_2/P_1$

$$\text{Hiệu suất thể tích} = \frac{\text{Năng suất của máy nén (m}^3/\text{phút)}}{\text{Thể tích máy nén}} \quad (6.4)$$

- **Đánh giá mức tổn thất phân phối trong hệ thống khí nén**

Xem xét một hệ thống đường ống phân phối và tiết lưu dẫn khí nén từ máy nén trung tâm tới các hộ tiêu thụ. Hệ thống này gồm các van cách ly, bể chất lỏng, bình chứa trung gian, và phần tản nhiệt để tránh ngưng tụ hoặc đông lạnh trên đường ống. Tổn thất áp suất thường được bù bằng áp suất cao hơn ở đầu đẩy của máy nén.

Tại các điểm cấp khí có ống cấp kèm van khóa, bộ lọc và bộ điều tiết cho các ống dẫn đến các hộ tiêu thụ. Rò rỉ có thể gây tổn thất lớn, tới 20-30% năng suất máy nén. Một dây chuyền không được bảo dưỡng tốt có tỷ lệ rò rỉ khoảng 20%, nhưng nếu khắc phục tốt có thể giảm xuống khoảng 10%.

Ngoài tổn thất năng lượng, rò rỉ gây sụt áp suất, làm thiết bị hoạt động kém hiệu quả, ảnh hưởng đến sản xuất, và giảm tuổi thọ thiết bị. Rò rỉ cũng tăng thời gian vận hành, yêu cầu bảo dưỡng bổ sung và tăng thời gian ngừng sản xuất. Cuối cùng, rò rỉ làm tăng công suất máy nén không cần thiết.

Các rò rỉ có thể xảy ra ở mọi vị trí của hệ thống, những khu vực hay bị rò rỉ nhất bao gồm:

- Mối nối, ống cứng, ống mềm và các khớp nối;
- Thiết bị điều chỉnh áp suất;
- Các bể ngưng mở và các van đóng;
- Các mối nối, điểm ngắt, vòng đệm.

Lượng rò rỉ là hàm số của áp suất cấp ở một hệ thống không được kiểm soát và tăng khi áp suất tăng. Mức rò rỉ được tính bằng m³/phút và cũng tỷ lệ với bình phương đường kính của lỗ rò.

Tỷ lệ rò rỉ (%) được tính như sau:

$$\text{Rò rỉ (\%)} = \frac{T}{T+t} \times 100\% \quad (6.5)$$

Trong đó: T = thời gian đóng tải (thời gian máy chạy), phút

t = thời gian ngừng tải (thời gian máy dừng), phút

Lượng rò rỉ được xem như là phần trăm của tổn thất của máy nén. Ở những hệ thống được bảo dưỡng tốt, lượng tổn thất do rò rỉ ít hơn 10%. Ở những hệ thống bảo dưỡng kém con số này có thể lên tới 20-30% công suất.

Các bước đơn giản giúp định lượng rò rỉ tại chỗ ở hệ thống khí nén như sau:

- Ngắt tất cả các thiết bị dùng khí nén (hoặc tiến hành kiểm tra khi không có thiết bị nào đang sử dụng khí nén);
- Chạy máy nén để nâng áp suất hệ thống lên bằng áp suất vận hành;
- Ghi lại thời gian dùng cho chu trình “đóng tải” và “ngắt tải” của máy nén. Để chính xác, lấy thời gian BẬT & TẮT của 8-10 chu trình liên tục. Sau đó tính toán tổng Thời gian “BẬT” (T) và tổng thời gian “TẮT” (t);
- Sử dụng cách trên để xác định lượng rò rỉ của hệ thống. Nếu Q là không khí bên ngoài được cấp vào trong thời gian kiểm tra ($\text{m}^3/\text{phút}$), thì lượng rò rỉ của hệ thống ($\text{m}^3/\text{phút}$) sẽ là:

$$\text{Mức rò rỉ của hệ thống (m}^3/\text{phút)} = Q \times T / (T + t) \quad (6.6)$$

6.2 Các giải pháp tối ưu hóa hệ thống

Vị trí đặt máy nén: Vị trí đặt máy nén và chất lượng khí hút vào máy nén có ảnh hưởng rất lớn đến mức năng lượng tiêu thụ. Hoạt động của máy nén khí cũng giống như một máy thở, sẽ được cải thiện nếu sử dụng khí vào sạch, khô và mát.

Nhiệt độ khí vào: Khí vào bị nhiễm bẩn hoặc nóng có thể làm giảm hoạt động của máy nén, làm tăng chi phí năng lượng và chi phí bảo dưỡng. Nếu hơi nước, bụi và các chất bẩn có nhiều trong khí vào, chúng sẽ gây ra bám bẩn ở các bộ phận bên trong máy nén như các van, bánh công tác, rô-tô, cánh gạt. Những cặn bám này sẽ gây mòn sớm và làm giảm năng suất của máy nén. Vì vậy, nếu khí cấp vào là khí mát sẽ nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của máy nén.

Sụt áp trong bộ lọc khí: Việc lắp đặt một bộ lọc khí vào máy nén là cần thiết, nếu không thì phải lấy khí vào từ vị trí sạch và mát. Việc lọc không khí vào máy nén càng tốt thì khối lượng bảo dưỡng càng giảm. Tuy nhiên, cần giảm thiểu sự sụt áp qua bộ lọc khí vào (bằng cách chọn đúng công suất bộ lọc và bảo dưỡng tốt bộ lọc) để ngăn ngừa hiệu ứng thắt hẹp làm giảm công suất máy nén. Vì vậy, nên định kỳ làm sạch bộ lọc khí vào để giảm thiểu sụt áp. Có thể sử dụng áp kế hoặc đồng hồ chênh áp đo mức sụt áp qua bộ lọc nhằm phục vụ cho việc lên lịch vệ sinh bộ lọc.

Độ cao: Máy nén đặt ở độ cao hơn so với mực nước biển sẽ tiêu thụ nhiều điện hơn với cùng một mức áp suất cấp so với máy đặt ở độ cao bằng mặt biển, vì tỉ số nén cao hơn.

Bộ làm mát giữa các cấp (trung gian) và làm mát sau: Phần lớn các máy nén đa cấp đều có bộ làm mát trung gian để loại bỏ nhiệt sinh ra trong quá trình nén giữa các cấp, ảnh hưởng đến hiệu suất tổng thể của máy nén. Bộ làm mát sau được lắp đặt sau cấp nén cuối cùng để giảm nhiệt độ khí, giúp ngưng tụ và loại bỏ hơi nước trong không khí. Nước ngưng từ máy nén có bộ làm mát trung gian được loại bỏ ngay tại các bộ làm mát trung gian, và phần còn lại được loại bỏ trong bộ làm mát sau. Trong hầu hết các hệ thống công nghiệp, quá trình làm mát sau là cần thiết trừ khi khí nén được cung cấp tới các thiết bị không nhạy cảm nhiệt.

Một số hệ thống nén có bộ làm mát sau tích hợp với bộ máy nén, trong khi các hệ thống khác có bộ làm mát sau là thiết bị rời. Một vài hệ thống có cả hai lựa chọn. Lý tưởng nhất, nhiệt độ khí vào ở mỗi cấp của máy nén đa cấp nên tương tự như nhiệt độ khí vào ở cấp đầu tiên, được xem là “làm mát hoàn hảo” hoặc nén đẳng nhiệt. Tuy nhiên, trong thực tế, nhiệt độ khí vào ở các cấp tiếp theo thường cao hơn ở cấp đầu, dẫn tới mức tiêu thụ điện cao hơn do phải xử lý một thể tích lớn hơn cho cùng một tác vụ. Vì vậy, cần làm sạch định kỳ và đảm bảo đủ lưu lượng ở nhiệt độ hợp lý cả ở các bộ làm mát trung gian lẫn bộ làm mát sau để đảm bảo duy trì kết quả hoạt động mong muốn.

Giảm thiểu rò rỉ: Phát hiện rò rỉ bằng siêu âm là phương pháp tìm rò rỉ phổ biến nhất. Có thể sử dụng phương pháp này cho nhiều dạng phát hiện rò rỉ khác nhau. Rò rỉ thường hay xảy ra ở các mối nối. Có thể xử lý bằng cách rất đơn giản là siết chặt mối nối hoặc phức tạp hơn như thay các thiết bị hỏng, gồm khớp nối, ống ghép, các đoạn ống, ống mềm, gioăng, các điểm xả ngưng và bẫy ngưng. Trong rất nhiều trường hợp, rò rỉ có thể do làm sạch các đoạn ren không đúng cách hoặc lắp vòng đệm làm kín không chuẩn. Chọn các ống ghép, ống ngắt, ống mềm và ống cứng có chất lượng cao và lắp đặt đúng cách, sử dụng ren làm kín phù hợp để tránh rò rỉ về sau.

Xả nước ngưng: Sau khi khí nén rời buồng nén, bộ làm mát sau của máy nén sẽ giảm nhiệt độ khí xả xuống dưới điểm sương, dẫn đến một lượng lớn hơi nước ngưng tụ. Để xả nước ngưng, máy nén có bộ làm mát sau được trang bị thiết bị tách nước ngưng hoặc bẫy ngưng.

Nên lắp van khóa gần cửa đẩy của máy nén và nối đường xả ngưng với lỗ xả ngưng ở bình tích. Để vận hành tốt, đường xả ngưng phải có độ dốc từ bình chứa ra ngoài. Nước ngưng thêm có thể xuất hiện nếu đường ống phân phối làm khí lạnh đi, do đó, tại các điểm thấp trên đường ống phân phối nên có bẫy ngưng và đường xả nước ngưng.

Ống dẫn khí nén sau cửa đẩy phải có kích thước phù hợp với đầu ống nối trên cửa đẩy của máy nén sau bộ tiêu âm, và tất cả đường ống, ống nối phải phù hợp với áp suất khí nén. Cần xem xét kỹ kích thước ống từ đầu ống nối trên máy nén, cũng như chiều dài, kích thước ống, số lượng và kiểu của ống nối và van để máy nén đạt hiệu suất tối ưu.

Kiểm soát sử dụng khí nén: Khi hệ thống khí nén đã sẵn có, các kỹ sư của nhà máy thường có xu hướng muốn sử dụng khí nén để cung cấp cho các thiết bị cần áp suất thấp như cánh khuấy, vận tải bằng khí nén hoặc cấp khí cho buồng đốt. Tuy nhiên, các ứng dụng này nên lấy khí cấp từ quạt thổi, là thiết bị được thiết kế chuyên dụng cho áp suất thấp. Như vậy sẽ giảm rất nhiều chi phí và năng lượng so với sử dụng khí nén.

Điều khiển máy nén: Máy nén khí sẽ không hiệu quả nếu vận hành ở mức thấp hơn nhiều so với năng suất định mức. Để tránh chạy thêm máy nén không cần thiết, nên lắp đặt bộ điều khiển tự động bật và tắt máy nén theo nhu cầu. Giữ áp suất hệ thống khí nén ở mức thấp nhất có thể sẽ cải thiện hiệu suất và giảm rò rỉ khí nén.

6.3 Cách áp dụng thực hành hiệu quả nhất

Sau đây là một số cách áp dụng thực hành cho các biện pháp tối ưu hệ thống:

Kiểm tra và khắc phục rò rỉ: Kiểm tra hệ thống ống dẫn khí. Sử dụng dung dịch xà phòng hoặc thiết bị phát hiện rò rỉ để kiểm tra các điểm nối, van và ống dẫn. Khắc phục ngay các điểm rò rỉ bằng cách siết chặt, thay thế các vòng đệm hoặc sửa chữa các ống dẫn bị hư hỏng.

Kiểm soát và sử dụng khí nén:

- **Tối ưu hóa quy trình sản xuất:** Đánh giá và tối ưu hóa các quy trình sử dụng khí nén để đảm bảo không có lãng phí. Sử dụng khí nén chỉ khi cần thiết và tắt các thiết bị khi không sử dụng;
- **Sử dụng van điều khiển:** Lắp đặt van điều khiển tại các điểm sử dụng để điều chỉnh lưu lượng khí nén theo nhu cầu thực tế. Sử dụng van tiết lưu để giảm áp suất tại các điểm sử dụng không cần áp suất cao;
- **Giảm thiểu tổn thất áp suất:** Sử dụng ống dẫn khí có kích thước phù hợp để giảm thiểu tổn thất áp suất trên đường ống. Tránh các khúc cua gấp và ống dẫn dài không cần thiết.

Xả nước ngưng:

- **Kiểm tra và bảo trì hệ thống xả nước ngưng:** Kiểm tra định kỳ các bể nước để đảm bảo chúng hoạt động đúng cách. Thay thế các bể nước hỏng hoặc không hiệu quả để đảm bảo hệ thống không bị nước ngưng tụ;
- **Lắp đặt bộ tách nước:** Sử dụng bộ tách nước để loại bỏ nước ngưng tụ trước khi khí nén vào hệ thống. Bộ tách nước giúp bảo vệ các thiết bị sử dụng khí nén và cải thiện chất lượng khí nén.

Sử dụng bộ làm mát trung gian và làm mát sau:

- **Lắp đặt bộ làm mát:** Sử dụng bộ làm mát trung gian giữa các cấp nén (để giảm nhiệt độ khí nén) và bộ làm mát sau (để giảm nhiệt độ của khí nén trước khi đưa vào sử dụng). Chọn bộ làm mát phù hợp với công suất và yêu cầu của hệ thống khí nén;

- **Kiểm tra và bảo trì:** Vệ sinh bộ làm mát thường xuyên để đảm bảo không bị tắc nghẽn. Kiểm tra và thay thế các bộ phận bị hư hỏng hoặc giảm hiệu suất.

Cải thiện chất lượng khí nén:

- **Sử dụng bộ lọc khí:** Lắp đặt các bộ lọc khí ở đầu vào và đầu ra của máy nén để loại bỏ tạp chất và bụi bẩn. Thay thế các bộ lọc khí định kỳ để duy trì hiệu suất lọc;
- **Kiểm soát độ ẩm khí nén:** Lắp đặt máy sấy khí để loại bỏ độ ẩm khí nén. Đảm bảo máy sấy khí được bảo trì và vận hành đúng cách để đạt hiệu suất tối ưu.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tối ưu hóa hệ thống khí nén (Tài liệu tham khảo cho các chuyên gia và nhân viên kỹ thuật doanh nghiệp công nghiệp) - **Dự án hiệu quả năng lượng trong công nghiệp của UNIDO**
2. Improving Compressed Air System Performance – U.S Department of Energy
3. Compressed Air Systems - Industrial Efficiency & Decarbonization Office, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy
4. Compressed Air Systems – Energy university – Schnieder electric



Vụ Tiết kiệm năng lượng và Phát triển bền vững

- Phòng 309, tòa nhà B, Bộ Công Thương, số 54 Hai Bà Trưng, Hoàn Kiếm, Hà Nội
- tietkiemnangluong.com.vn

Văn phòng Quản lý Dự án

- Phòng 302, Tầng 3, số 4 Dã Tượng, Quận Hoàn Kiếm, Hà Nội
- +84 24 6682 6818
- IEEP-VIE@unido.org
- setp.vn/ieep