BỘ CÔNG THƯƠNG

Global Gateway

Funded by the European Union

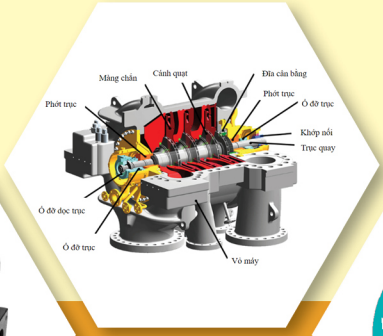
TỔ CHỨC PHÁT TRIỂN CÔNG NGHIỆP LIÊN HỢP QUỐC

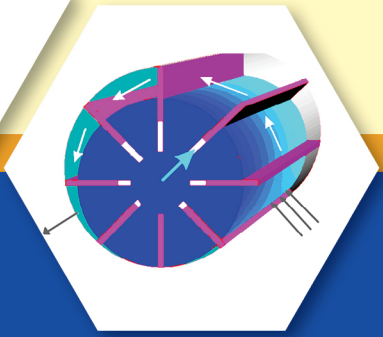
CHƯƠNG TRÌNH QUỐC GIA VỀ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TIẾT KIỆM VÀ HIỆU QUẢ

VNEEP

Cẩm nang
HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT

VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN CÔNG NGHIỆP NHẰM TỐI ƯU HÓA SỬ DỤNG HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP





NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG

BỘ CÔNG THƯƠNG

Global Gateway

Funded by the European Union

UNIDO

TỔ CHỨC PHÁT TRIỂN CÔNG NGHIỆP LIÊN HỢP QUỐC

VNEEP

CHƯƠNG TRÌNH QUỐC GIA VỀ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TIẾT KIỆM VÀ HIỆU QUẢ

Cẩm nang

HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT

VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN CÔNG NGHIỆP NHẰM TỐI ƯU HÓA SỬ DỤNG HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP

NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG

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.

LỜI NÓI 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 có chi phí rất cao trong quá trình sản xuất và nhiều khi không được quản lý hiệu quả để giảm chi phí, nên thường bị bỏ qua như một nguồn tiết kiệm.

Nhằm nâng cao nhận thức và xây dựng năng lực tối ưu hóa hệ thống vận hành khí nén công nghiệp cho các kỹ sư, nhân viên vận hành kỹ thuật đến từ các doanh nghiệp công nghiệp, giúp doanh nghiệp sản xuất nâng cao hiệu suất sử dụng khí nén, tiết kiệm năng lượng, qua đó giảm

chi phí sản xuất và bảo vệ môi trường, Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công – Bộ Công Thương phối hợp với Nhà xuất bản Công Thương tổ chức xuất bản ấn phẩm ***Cẩm nang hướng dẫn kỹ thuật về hệ thống khí nén công nghiệp nhằm tối ưu hoá sử dụng hiệu quả năng lượng trong các ngành công nghiệp.***

Trong quá trình biên soạn cuốn sách khó tránh khỏi một số thiếu sót nhất định, chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý của quý độc giả để các nội dung được đầy đủ và cập nhật hơn cho lần tái bản sau.

Ban Biên soạn

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU 3
DANH MỤC BẢNG 9
DANH MỤC HÌNH 10

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN 12
1.1. Giới thiệu về khí nén 12
1.2. Hệ thống khí nén và ưu, nhược điểm của hệ thống khí nén 14
1.2.1. Hệ thống khí nén 14
1.2.2. Ưu, nhược điểm của hệ thống khí nén 16
1.3. Tình hình sử dụng năng lượng trong hệ thống khí nén 18

CHƯƠNG 2. CÁC LOẠI MÁY NÉN KHÍ 23
2.1. Giới thiệu chung các loại máy nén 23
2.1.1. Một số máy nén thể tích điển hình 24
2.1.2. Một số máy nén động lực học 32
2.2. So sánh ưu, nhược điểm của một số loại máy nén khí 35

2.3. Tiêu chí lựa chọn máy nén phù hợp 39

2.3.1. Lựa chọn theo công suất và lưu lượng khí nén 39

2.3.2. Lựa chọn máy nén theo ứng dụng 40

CHƯƠNG 3. CÁC THÀNH PHẦN HỆ THỐNG KHÍ NÉN PHÍA SAU MÁY NÉN KHÍ 43

3.1. Giới thiệu chung về hệ thống 43

3.2. Hệ thống đảm bảo chất lượng khí nén 45

3.2.1. Tiêu chuẩn chất lượng khí nén sử dụng trong các lĩnh vực 45

3.2.2. Hệ thống đảm bảo chất lượng khí 51

3.3. Hệ thống phân phối và điều khiển khí nén 58

3.3.1. Hệ thống bồn chứa - tích áp 58

3.3.2. Hệ thống đường ống phân phối đến hộ tiêu thụ 61

3.3.3. Hệ thống điều khiển áp suất/lưu lượng 63

CHƯƠNG 4. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG KHÍ NÉN 70

4.1. Thay đổi lưu lượng khí nén và vận hành các van phụ trợ 70

4.1.1. Cách thay đổi lưu lượng khí nén và vận hành đáp ứng nhu cầu 70

4.1.2. Các van điển hình trong hệ thống 74

4.2. Điều khiển hệ thống khí nén 82

4.2.1. Các phương pháp điều khiển máy nén đơn lẻ 82

4.2.2. Các phương pháp điều khiển một hệ thống máy nén 85

4.2.3. Đánh giá các tùy chọn điều khiển tối ưu cho hệ thống 88

CHƯƠNG 5. QUẢN LÝ VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ HỆ THỐNG KHÍ NÉN 94

5.1. Đo lường hiện trường, thu thập số liệu và phân tích dữ liệu 94

5.1.1. Đo lường tại chỗ trong quá trình vận hành và theo dõi bảo trì 94

5.1.2. Thu thập, phân tích số liệu trong dự báo nhu cầu sử dụng khí nén trong tương lai 99

5.2. Nhu cầu và chi phí khí nén 110

5.2.1. Chi phí hoạt động, nâng cao chất lượng khí và chất lượng điều khiển 110

5.2.2. Chi phí trong việc đảm bảo chất lượng khí nén theo yêu cầu 118

CHƯƠNG 6. CÁC BIỆN PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ TRONG HOẠT ĐỘNG HỆ THỐNG KHÍ NÉN 130

6.1. Phương pháp tiếp cận hệ thống 130

6.2. Phân tích để cải thiện hệ thống khí nén 132

6.2.1. Đánh giá năng suất máy nén 132

6.2.2. Đánh giá mức tổn thất phân phối trong hệ thống khí nén 135

6.2.3. Các giải pháp tối ưu hóa hệ thống 137

6.3. Một số cách áp dụng thực hành cho các biện pháp tối ưu hệ thống 141

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO 146

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2.2.1	So sánh ưu, nhược điểm giữa máy nén pít tông và máy nén trục vít	36
Bảng 2.2.2	So sánh ưu, nhược điểm giữa máy nén khí ly tâm và máy nén khí hướng trục	38
Bảng 2.3.1	Công suất máy nén tương đương lưu lượng khí điển hình	40
Bảng 3.2.1	Các cấp độ sạch đối với các chất nhiễm bẩn dạng hạt	47
Bảng 3.2.2	Các cấp độ sạch đối với độ ẩm và nước dạng lỏng	48
Bảng 3.2.3	Các cấp độ sạch theo tổng nồng độ dầu	49
Bảng 3.2.4	Khuyến nghị về cấp độ sạch của các ứng dụng khí nén thông dụng	50
Bảng 5.1.1	Các phép đo và vị trí đo để xác định đặc tính hệ thống khí nén điển hình	96
Bảng 5.2.1	Lưu lượng khí nén thoát qua lỗ rò và tổn thất năng lượng	122
Bảng 5.2.2	Thoát khí qua lỗ tiết lưu	125

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1	Hệ thống khí nén đặc trưng	15
Hình 1.2	Biểu đồ chi phí vận hành của hệ thống khí nén	19
Hình 2.1	Phân loại máy nén khí theo TCVN 9456:2013	24
Hình 2.2	Máy nén pít tông 2 cấp, tác động kép	26
Hình 2.3	Sơ đồ cấu tạo máy nén khí pít tông chữ V	27
Hình 2.4	Máy nén trục vít quay phun dầu bôi trơn	29
Hình 2.5	Sơ đồ cấu tạo máy nén khí trục vít	30
Hình 2.6	Roto lệch tâm của máy nén cánh trượt	31
Hình 2.7	Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của máy nén roto cánh trượt	32
Hình 2.8	Cấu tạo cơ bản của buồng nén máy nén ly tâm	33
Hình 2.9	Kết cấu 1 cấp của máy nén ly tâm	34
Hình 2.10	Cấu tạo máy nén hướng trục	35
Hình 3.1	Hệ thống xử lý khí phía sau máy nén	44
Hình 3.2	Tác động của không khí chưa qua xử lý	46
Hình 3.3	Các phương pháp sấy tách ẩm khí nén	52
Hình 3.4	Bộ lọc tách dầu trong máy nén khí	58
Hình 3.5	Hình ảnh minh hoạ về hai loại bình khí nén	60
Hình 3.6	Ví dụ về đường ống cấp khí tới hộ tiêu thụ	63
Hình 3.7	Biểu đồ theo dõi chênh lệch áp suất	64

Hình 3.8	Hệ thống đối với độ chênh áp suất giữa hai thể tích chứa	65
Hình 3.9	Mô hình hệ thống điều khiển thông dụng của máy nén khí trục vít	66
Hình 4.1	Ảnh hưởng của áp suất điều khiển hệ thống	72
Hình 4.2	Cấu tạo van an toàn	75
Hình 4.3	Mô tả cấu tạo và nguyên lí van xả tạp chất lỏng tự động	78
Hình 4.4	Nguyên lý hoạt động van phân phối	81
Hình 4.5	Mối quan hệ giữa sản lượng khí nén và hiệu suất tiêu thụ của các phương pháp điều khiển	88
Hình 5.1	Biểu đồ phân bố áp suất hệ thống	98
Hình 5.2	Sơ đồ khối hệ thống khí nén kèm vị trí đo lường	105
Hình 5.3	Sự thay đổi nhu cầu và các dấu hiệu đặc trưng của biến động tải	106
Hình 5.4	Phản ứng của phía cung cấp khí nén với sự thay đổi nhu cầu tiêu thụ	108
Hình 5.5	Chất lượng bộ lọc ảnh hưởng đến lượng năng lượng tiêu thụ	119
Hình 6.1	Kiến nghị vị trí lắp van xả nước ngưng	140

CHƯƠNG 1

GIỚI THIỆU CHUNG VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN

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*.

- Trong các ứng dụng mà khí nén được sử dụng như một *nguồn năng lượng*, không khí được nén đến áp suất cao hơn áp suất môi trường xung quanh. Tiếp đó, khí nén sẽ được vận chuyển thông qua hệ thống phân phối (đường ống) và cung cấp tới hộ tiêu thụ, tại đó, phần năng lượng đã dùng để nén khí sẽ được phục hồi để sinh công. Công này có thể sử dụng để dịch chuyển thanh truyền trong xy lanh khí nén, để đẩy sơn từ miệng súng phun sơn đến bề mặt sản phẩm, hoặc sử dụng trong các ứng dụng khác cần đến lực hoặc chuyển động.

- Trong các *ứng dụng công nghệ*, khí nén được dùng như một phần của công nghệ sản xuất. Khí nén có thể dùng để hỗ trợ cho quá trình cháy, sục khí vào các chất lỏng hoặc xúc tác trong các phản ứng hóa học. Trong các ứng dụng công nghệ này, khí nén không được sử dụng để tạo ra chuyển động hoặc tác động lực.

- Các *ứng dụng điều khiển* sử dụng khí nén theo cách tương tự như sử dụng một mạch điện. Khí nén có thể khởi động, dừng, điều chỉnh, hoặc thực hiện các chức năng điều khiển hoạt động khác của các máy móc hoặc quá trình công nghệ. Trong nhiều nhà máy, khí nén được sử dụng cho hai hoặc cả ba chức năng trên.

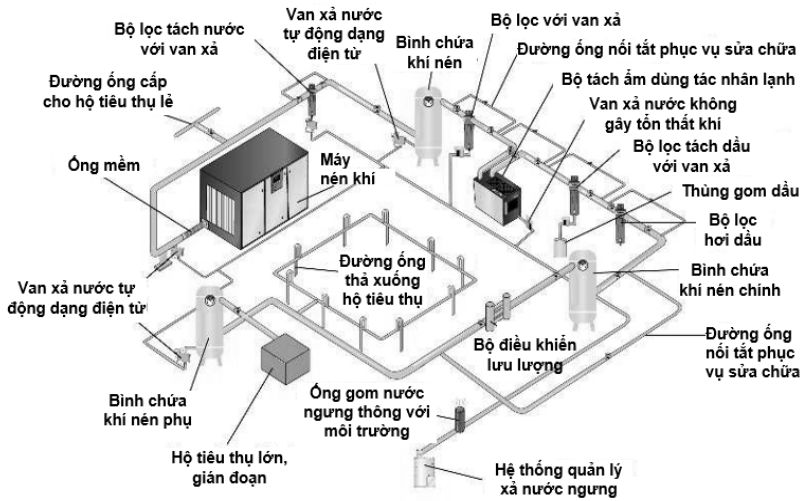
Trên thực tế, khí nén thường được sử dụng như một dạng tiện ích giống như điện và nước. Trong một số ứng dụng khác, khí nén là một phần không thể thiếu trong quá trình sản xuất. Đối với các ứng dụng có ảnh hưởng đến năng suất, chất lượng sản phẩm, tỷ lệ sai hỏng và chi phí gia công lại, thì khí nén là 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 khoẻ, thể thao, giải trí và dịch vụ, hoạt động sản xuất nông nghiệp.

1.2. Hệ thống khí nén và ưu, nhược điểm của hệ thống khí nén

1.2.1. 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.

HỆ THỐNG KHÍ NÉN ĐẶC TRƯNG



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: bụi vào gây tắc nghẽn van, làm mòn xy lanh và các bộ phận khác, v.v.

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 hộ 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.

1.2.2. Ưu, nhược điểm của hệ thống khí nén

Ưu điểm

- Công cụ được vận hành bằng khí nén thường nhỏ gọn và nhẹ hơn so với các công cụ được điều khiển bằng động cơ điện. Chúng cũng có một loạt cài đặt tốc độ và mô-men xoắn đầy đủ và đạt được tốc độ và mô-men xoắn cần thiết một cách nhanh chóng.
- Đặc điểm nổi bật nhất của khí nén là nó không độc và không cháy vì thành phần chính của khí nén là không khí tự nhiên có chứa 21% ôxy và 78% nitơ.
- Khí nén được tạo từ không khí tự nhiên và đây là nguồn tài nguyên dồi dào được xem là vô tận

giống như năng lượng mặt trời, năng lượng gió,... Sau khi hoàn thành quy trình sử dụng, khí nén sẽ được thoát ra ngoài môi trường, hòa với không khí và được tiếp tục tái sử dụng.

- Máy nén khí thường được thiết kế để hoạt động ổn định và bền bỉ, với tuổi thọ dài nếu được bảo trì và vận hành đúng cách.
- Khí nén có thể được vận chuyển cực kì nhanh chóng và dễ dàng thông qua các đường ống có cự ly phù hợp.
- Sau khi khí nén được tạo ra bởi các máy tạo khí nén, chúng sẽ được lưu trữ trong các thiết bị chứa cho đến khi hệ thống hoặc cá nhân cần sử dụng. Do đó, máy nén khí không cần phải tạo ra khí nén liên tục trong quá trình sử dụng. Bình chứa lưu trữ khí nén dùng trong hệ thống sản xuất, công nghiệp.
- An toàn cũng là một yếu tố quan trọng - các công cụ khí nén không tạo ra tia lửa và không tạo ra nhiệt độ cao.

Nhược điểm

- Tiếng ồn: Máy nén khí thường tạo ra tiếng ồn khá lớn trong quá trình hoạt động, đặc biệt là các loại máy cỡ lớn.

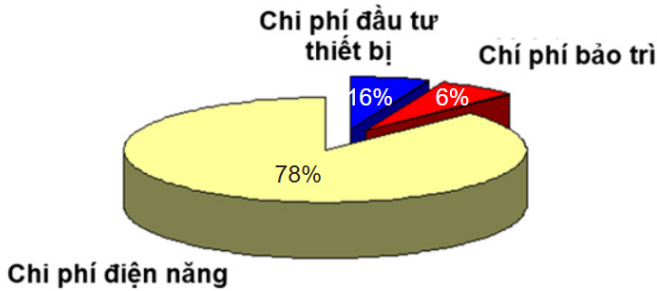
- Tác động môi trường: Việc sử dụng máy nén khí có thể gây ra ô nhiễm âm thanh và dầu nhớt thải, đặc biệt là nếu không được bảo trì và vận hành đúng cách.
- Chi phí đầu tư ban đầu cao: Các loại máy nén khí chất lượng cao thường có chi phí đầu tư ban đầu khá cao, đặc biệt là các loại máy công nghiệp.
- Không gian lắp đặt: Máy nén khí thường có kích thước lớn, yêu cầu không gian lắp đặt riêng biệt và có hệ thống đường dẫn khí.
- Tiêu thụ điện năng: Máy nén khí có thể tiêu thụ năng lượng điện khá cao, đặc biệt là trong những mô hình hoạt động liên tục.
- Độ an toàn: Cần tuân thủ các quy tắc an toàn chặt chẽ khi sử dụng máy nén khí, do áp suất cao có thể gây nguy hiểm nếu xảy ra sự cố.

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.

Báo cáo năm 2003 của Cơ quan Năng lượng Mỹ cho thấy, 70 – 90% năng lượng trong việc tạo ra khí nén bị tổn thất dưới dạng nhiệt, ma sát, tiếng ồn và do sử dụng không đúng. Hệ thống khí nén chiếm khoảng 10 - 30% tổng năng lượng tiêu thụ trong nhiều nhà máy công nghiệp. Máy nén khí thường tiêu thụ năng lượng đáng kể để tạo ra khí nén từ không khí xung quanh. Vì vậy, máy nén và hệ thống khí nén là những khu vực quan trọng để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong các nhà máy công nghiệp.

MỘT SỐ NỘI DUNG CẦN CHÚ Ý:

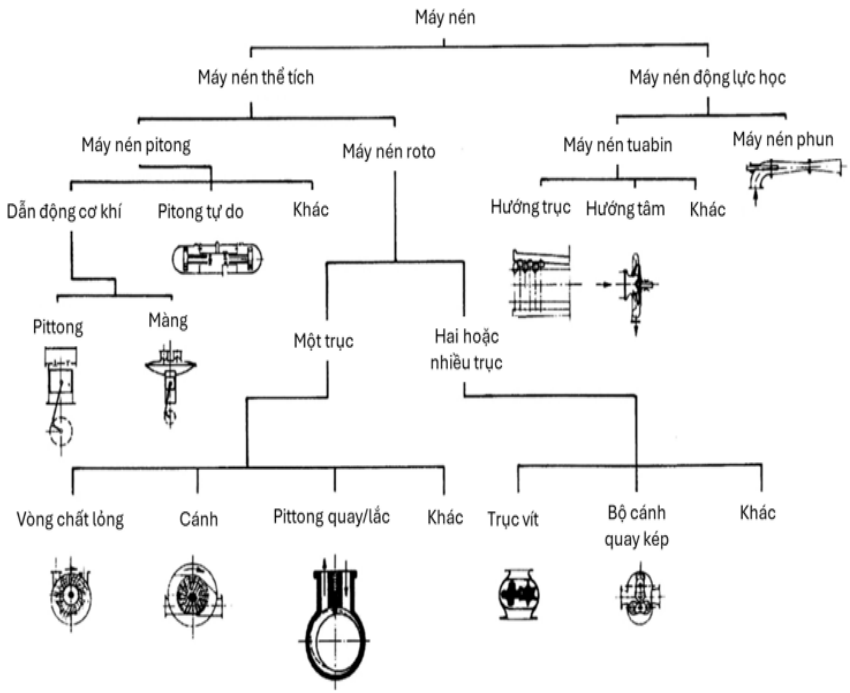
- Khí nén là một dạng tiện ích cần thiết trong các nhà máy công nghiệp.
- Đối với một số ứng dụng trong sản xuất, khí nén là một tham biến quan trọng của quá trình công nghệ.
- Sản xuất khí nén là một quá trình chuyển đổi năng lượng không thực sự hiệu quả.
- Chỉ nên sử dụng khí nén khi không có lựa chọn khác thay thế.
- Khí nén là một phương pháp phổ biến để truyền tải năng lượng tới dụng cụ và thiết bị sử dụng khí nén.
- Công do khí nén thực hiện phụ thuộc vào khối lượng khí nén được truyền tới thiết bị tiêu thụ.
- Khối lượng của không khí phụ thuộc vào điều kiện áp suất, nhiệt độ và độ ẩm tương đối.
- Khi năng lượng của khí nén được truyền tải từ vị trí này đến vị trí khác, tổn thất áp suất là phần tổn thất năng lượng không thể phục hồi được.
- Tổn thất áp suất liên quan đến vận tốc khí nén trong đường ống.
- Năng lượng của khí nén có thể được tồn trữ.

CHƯƠNG 2

CÁC LOẠI MÁY NÉN KHÍ

2.1. Giới thiệu chung các loại máy nén

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 máy nén thể tích điển hình

2.1.1.1. Máy nén khí dạng pít tông

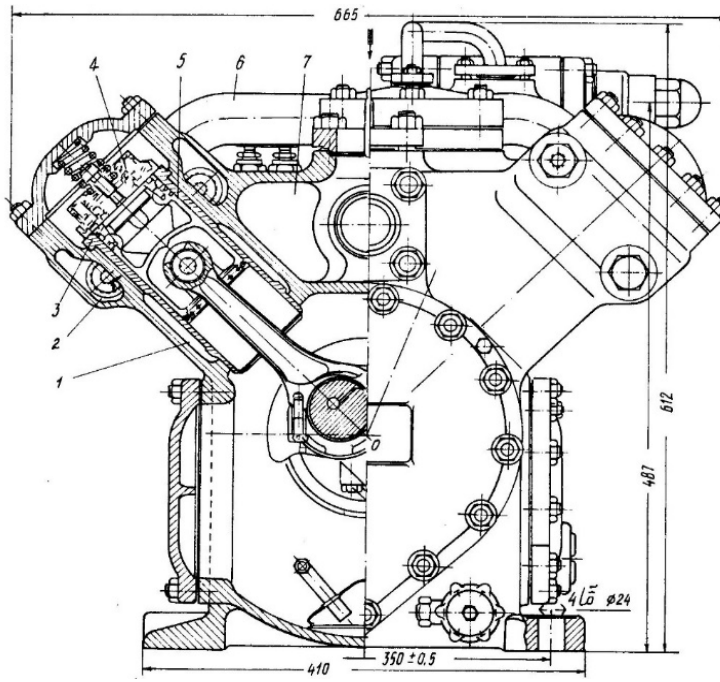
Máy nén pít tông một cấp hút và nén khí tới áp suất xả cuối cùng trong một hành trình. Tỷ số nén của quá trình nén một cấp là tỷ số giữa áp suất tuyệt đối đầu ra và áp suất tuyệt đối đầu vào. Một máy nén có áp suất dư tại đầu ra là 7,5 bar (áp suất tuyệt đối là 8,5 bar) có tỷ số nén toàn phần là 8,5/1. 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/m^3/phút. Máy tác động kép tiêu hao điện năng từ 5,3 đến 5,7 kW/m^3/phút.

Hình 2.2. Máy nén pít tông 2 cấp, tác động kép

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: Xy 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).

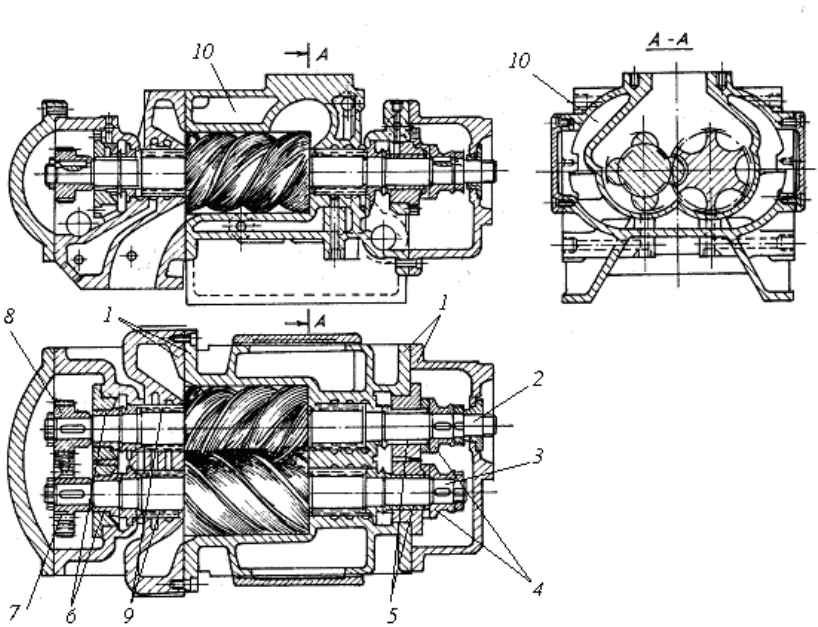
2.1.1.2. Máy nén khí kiểu quay (roto)

Máy nén khí kiểu quay có hai loại phổ biến, loại trục vít và loại cánh 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 quay phun dầu bôi trơn

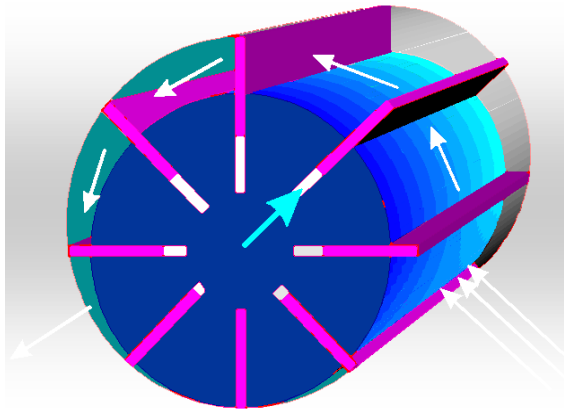
Máy nén trục vít quay (hình 2.4) có hai trục vít lắp bên trong một thân máy với cửa hút ở một đầu và cửa thoát ở đầu đối diện. Trục vít đực (trục chính) có các gờ tạo thành hình xoắn ốc dọc theo trục vít. Trục vít cái (trục phụ) có các rãnh xoắn tương ứng được khớp với các gờ xoắn trên trục vít đực. Khi cặp trục vít quay qua cửa hút, không khí được nạp vào các rãnh trên trục vít cái. 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 thoát của máy nén. Khí nén được đẩy ra ngoài qua cửa thoát 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).



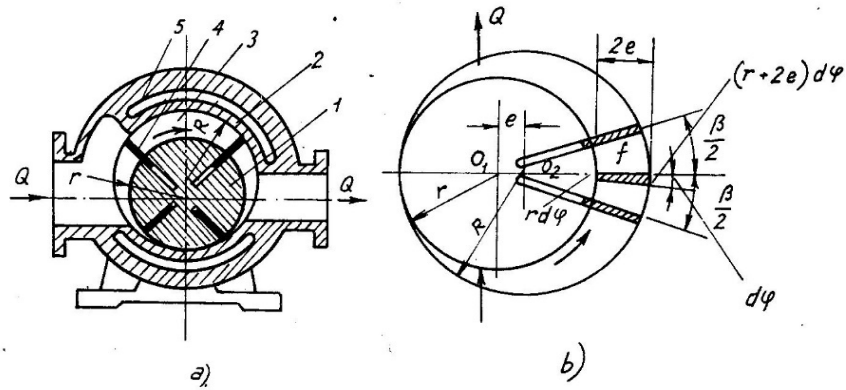
Hình 2.5. Sơ đồ cấu tạo máy nén khí trục vít

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. Roto lệch tâm của máy nén cánh trượt

Máy nén cánh trượt (hình 2.6) bao gồm một roto hình trụ đặt lệch tâm trong thân máy. Các cánh trượt được lắp theo hướng bán kính vào các rãnh gia công sẵn trên roto hình trụ. Khi roto quay, các cánh được ép sát vào thân máy bằng lực ly tâm hoặc bằng lò xo. Roto và thân máy không đồng tâm. Cửa hút được đặt ở khu vực có thể tích buồng nén đang tăng lên. Khi roto chuyển động qua vị trí cửa hút, một lượng không khí sẽ bị giữ lại trong khoang chứa. Chuyển động quay liên tục của roto 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, roto chuyển động cửa xả trên thân máy và khí nén được đẩy ra ngoài. Yêu cầu sửa chữa thường xuyên do mòn các cánh trượt khiến cho loại máy nén này chỉ phù hợp với những tải thấp và có thời gian hoạt động hạn chế.



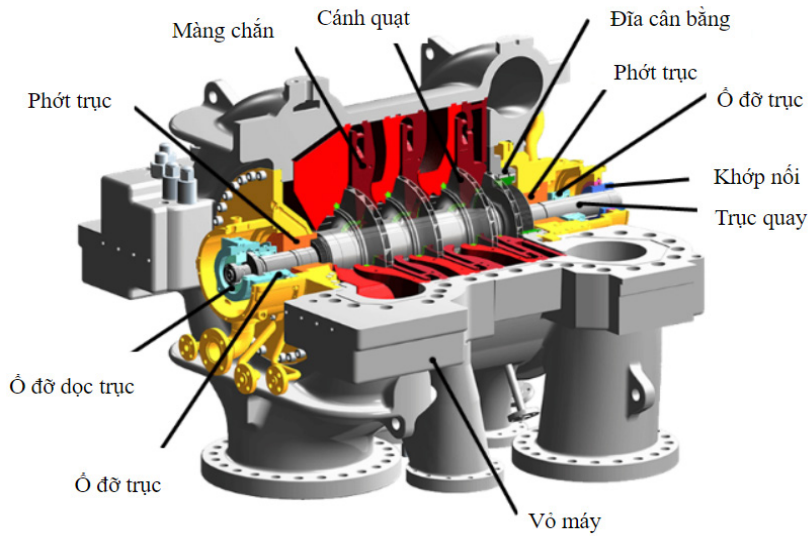
Hình 2.7. Nguyên lý cấu tạo và hoạt động của máy nén roto cánh trượt

1: Roto; 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.

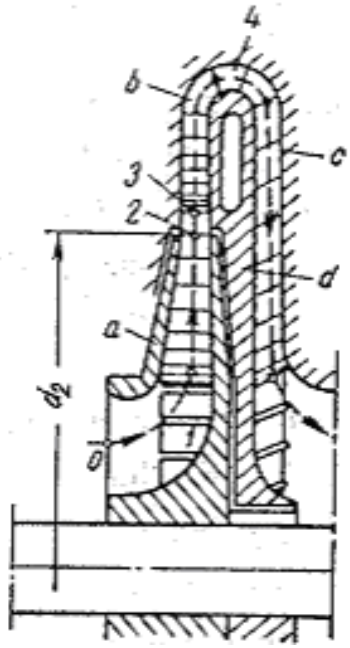
2.1.2.1. Máy nén khí ly tâm



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

Máy nén 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.

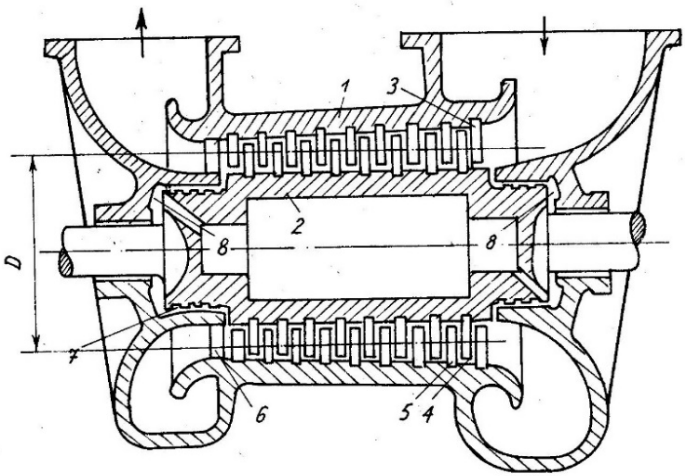


Hình 2.9. Kết cấu 1 cấp của máy nén ly tâm

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 roto 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 roto. 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: Stato; 2: Roto ; 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. So sánh ưu, nhược điểm của một số loại máy nén khí

Dựa trên nguyên lý hoạt động và cấu tạo, máy nén khí có thể được phân thành nhiều loại khác nhau, bao gồm máy nén khí pít tông, máy nén khí trục vít, máy nén khí ly tâm... Mỗi loại máy nén khí đều có những đặc điểm, ưu điểm và nhược điểm riêng, phù hợp với các ứng dụng

và yêu cầu cụ thể. Việc hiểu rõ về các loại máy nén khí sẽ giúp chúng ta lựa chọn được loại máy phù hợp nhất cho nhu cầu sử dụng, từ đó tối ưu hóa hiệu suất và tiết kiệm chi phí. Sau đây, ta sẽ có các bảng so sánh tương quan giữa các loại máy trên.

Bảng 2.2.1. So sánh ưu, nhược điểm giữa máy nén pít tông và máy nén trục vít

	Máy nén pít tông		Máy nén trục vít	
	Loại tác động đơn	**Loại tác động kép**	**Loại phun dầu bôi trơn**	**Loại không cần bôi trơn**
Ưu điểm	- Kích thước và trọng lượng nhỏ - Có thể lắp đặt gần điểm sử dụng để cho phép ống dẫn ngắn hơn và hạn chế giảm áp suất - Không yêu cầu hệ thống làm mát riêng biệt - Thiết kế đơn giản, dễ bảo trì, sửa chữa.	- Hiệu suất nén tốt hơn, đặc biệt với máy nén nhiều tầng - Có khả năng hoạt động với ba mức tải (0-50-100%) hoặc năm mức (0-25-50-75-100%), cho phép vận hành tải từng phần hiệu quả.	- Chi phí đầu tư ban đầu không cao - Kích thước nhỏ gọn - Hệ thống kiểm soát công suất tải từng phần có thể phù hợp với nhu cầu hệ thống - Hoạt động êm ái, không rung ồn.	- Thiết kế theo kiểu trọn bộ, dễ dàng lắp đặt, chiếm ít diện tích - Khí nén tạo ra sạch, không có chất bôi trơn - Vận hành êm ái, do đó không yêu cầu lắp đặt bệ đỡ đặc biệt.

	Máy nén pít tông		Máy nén trục vít	
	Loại tác động đơn	**Loại tác động kép**	**Loại phun dầu bôi trơn**	**Loại không cần bôi trơn**
Nhược điểm	- Khí nén dễ dính chất bôi trơn - Độ ồn lớn - Lưu lượng khí tạo ra gián đoạn, thường thiết kế để chạy không quá 50% thời gian - Nén và lưu trữ khí trong bình chứa ở áp suất cao hơn mức yêu cầu tại điểm sử dụng, do đó cần giảm áp suất vận hành gây tiêu tốn năng lượng - Phải chạy hết công suất ngay cả đối với tải nhỏ.	- Chi phí ban đầu tương đối cao so với máy nén trục quay tương đương - Yêu cầu về không gian tương đối lớn - Dễ nhiễm chất bôi trơn vào khí nén - Độ rung tương đối - Cần sử dụng bánh đà để thắng mô men và xung dòng điện trong bộ điều khiển động cơ - Quy trình sửa chữa yêu cầu kỹ thuật cao.	- Hiệu suất hoạt động toàn tải và một phần tải kém hơn so với máy nén khí pít tông - Để tránh nhiễm chất bôi trơn vào không khí được cung cấp đòi hỏi phải bảo dưỡng thích hợp bộ tách không khí/ chất bôi trơn.	- Chi phí cao hơn đáng kể so với loại phun chất bôi trơn - Kém hiệu quả hơn loại máy nén trục quay có bôi trơn - Giới hạn trong việc kiểm soát công suất tải và sử dụng biến tần - Chi phí bảo trì cao hơn loại có bôi trơn trong suốt thời gian sử dụng máy do ảnh hưởng của ma sát giữa các chi tiết.

Bảng 2.2.2. So sánh ưu, nhược điểm giữa máy nén khí ly tâm và máy nén khí hướng trục

	Máy nén khí ly tâm	Máy nén khí hướng trục
Ưu điểm	- Độ tin cậy cao và ít cần bảo trì - Hiệu suất cao - Ít nhạy cảm với sự gián đoạn lưu lượng - Có dải tốc độ quay rộng và có thể điều chỉnh lưu lượng cụ thể - Độ tin cậy cao, do đó có thời gian ngừng hoạt động rất thấp - Có khả năng tạo khí áp suất cao.	- Lưu lượng khí lớn và tỉ lệ áp suất cao - Thiết kế nhỏ gọn - Không làm thay đổi hướng dòng lưu lượng khí, do đó có hiệu suất cao hơn - Có thể sử dụng nhiều tầng để tăng áp suất với tổn thất không đáng kể.
Nhược điểm	- Những máy nén này rất nhạy cảm với những thay đổi trong thành phần khí - Khi hoạt động gây rung và ồn mạnh, đặc biệt ở áp suất cao, do đó cần lắp đặt chắc chắn và giám sát độ rung, vòng bi, khe hở. - Không có hệ thống điều khiển tích hợp - Theo thời gian, hiệu suất động cơ có thể suy giảm - Cần nhiều diện tích lắp đặt và cần một số thành phần bổ sung như van điện từ.	- Cấu trúc phức tạp khiến chế tạo khó khăn và đắt tiền - Nhạy cảm với sự gián đoạn lưu lượng - Dễ bị hư hại do vật thể lạ - Yêu cầu nhiều năng lượng khi khởi động.

2.3. Tiêu chí lựa chọn máy nén 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 pít tông, 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.

2.3.1. 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 (m^3/phút) hoặc feet khối mỗi phút (cfm).

Bảng 2.3.1. Công suất máy nén tương đương lưu lượng khí điển hình

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

2.3.2. Lựa chọn máy nén theo ứng dụng

Máy nén pít 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 so 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 suất, 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.

MỘT SỐ NỘI DUNG CẦN CHÚ Ý:

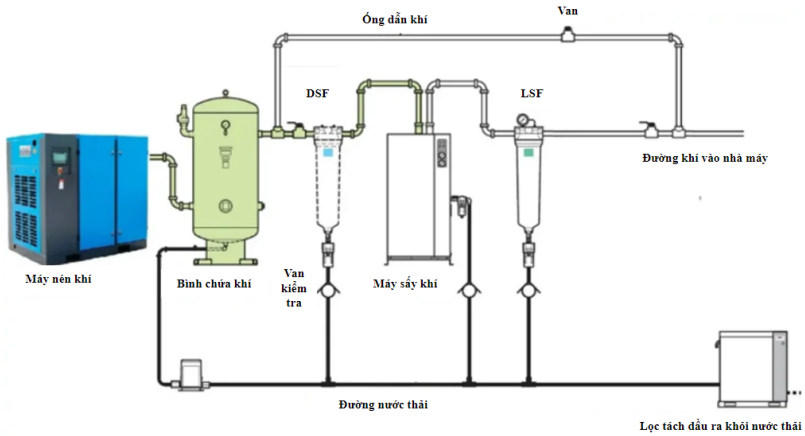
- Có hai dạng máy nén chính trong công nghiệp, máy nén thể tích và máy nén động lực học.
- Máy nén khí pít tông là máy nén khí thể tích.
- Máy nén trục vít cũng là máy nén khí thể tích.
- Máy nén trục vít sử dụng hai trục vít quay ngược chiều nhau trong buồng nén để tạo khí nén
- Máy nén trục vít là loại máy nén khí công nghiệp phổ biến nhất.
- Máy nén ly tâm là dạng máy nén động lực học được sử dụng rộng rãi nhất trong công nghiệp.
- Máy nén ly tâm sử dụng lực ly tâm để tạo áp suất cho không khí.
- Thực hiện việc bảo dưỡng định kỳ kém hiệu quả có thể dẫn tới các hỏng hóc gây tốn kém đối với các bộ phận chính của máy nén.
- Lựa chọn máy nén khí dựa trên nhu cầu áp suất và chi phí năng lượng, chí phí bảo trì tối thiểu.

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.



DSF (Dust Safety Filter) : Bộ lọc thô, sử dụng lọc bụi và tạp chất rắn
LSF (Lubricant Safety Filter) : Bộ lọc tinh, lọc tạp chất/ chất lỏng ra khỏi khí nén

Hình 3.1. Hệ thống xử lý khí phía sau máy nén

(Nguồn: pegasusvn)

Thiết bị tồn trữ khí nén có thể là bình chứa sơ cấp thường được đặt trong phòng máy nén, hoặc bình chứa khí nén thứ cấp được đặt gần hộ tiêu thụ. Tất cả các thiết bị bố trí phía sau bình chứa phải được định cỡ đủ lớn để đáp ứng được lưu lượng khí nén lớn nhất khi hệ thống yêu cầu. Các thành phần của hệ thống khí nén thường có thể được xác định bằng chức năng chính mà chúng cung cấp, cho dù chức năng đó có liên quan đến nén, điều hòa, lọc, phân phối và một số tính chất của mục đích sử dụng cuối cùng hay không. Hầu hết các hệ thống đều có phía cung và phía cầu. Phía cung cấp thường là nơi không khí xung quanh được xử lý thành dạng sạch, khô, có áp suất và có

thể được sử dụng cho nhiều nhiệm vụ hữu ích. Phía cầu là phần của nhà máy nơi khí nén được phân phối, lọc lần cuối, điều tiết để sử dụng cuối cùng một cách hiệu quả. Để hiểu rõ hơn về hệ thống, chúng ta có thể chia hệ thống phía sau máy nén thành hai thành phần chính là hệ thống đảm bảo chất lượng khí và hệ thống phân phối, điều khiển khí nén. Chức năng chính của hai thành phần này là cung cấp không khí sạch và ổn định cho các thiết bị và quá trình sản xuất.

3.2. Hệ thống đảm bảo chất lượng khí nén

3.2.1. Tiêu chuẩn chất lượng khí nén sử dụng trong các lĩnh vực

Khi không khí được nén lại, mọi thứ trong không khí đều được nén theo. Mọi máy nén, bất kể loại nào, khi hoạt động sẽ hút vào các chất gây nhiễm bẩn trong không khí. Các chất gây nhiễm bẩn này bao gồm các hạt bụi rắn, hơi hydrocacbon (dầu, gas, dầu diesel), các hơi hóa chất và hơi nước. Sử dụng các máy nén không bôi trơn bằng dầu hay máy nén khô sẽ không thể đảm bảo chất lượng không khí sạch. Nếu các chất gây nhiễm bẩn này không được loại bỏ khỏi khí nén, chúng sẽ tích tụ lại trong hệ thống phân phối và trong các thiết bị sử dụng khí nén.

Hình 3.2. Tác động của không khí chưa qua xử lý

Có nhiều hướng dẫn và tiêu chuẩn khác nhau giúp xác định các yêu cầu về chất lượng không khí. Hai trong số các tiêu chuẩn phổ biến nhất là ANSI/ISA-7.0.01-1996 – Tiêu chuẩn chất lượng không khí cho các dụng cụ khí nén và Tiêu chuẩn quốc tế ISO 8573-1 – Không khí nén - Phần 1: Chất gây nhiễm bẩn và cấp độ sạch (*Lưu ý: tại Việt Nam, TCVN 11256-1:2015 hoàn toàn tương đương ISO 8573-1:2010*). Tiêu chuẩn quốc tế ISO 8573-1 rất hữu ích cho việc lựa chọn các hệ thống để sản xuất khí nén và xử lý chất lượng khí nén. Tiêu chuẩn này thay thế các thuật ngữ chất lượng mơ hồ như "không chứa nước", "không chứa dầu" hoặc "không chứa bụi" bằng các giá trị số đơn giản và phân chia chúng vào các cấp độ sạch khác nhau. Tiêu chuẩn ISO 8573-1 quy định cấp độ sạch của khí nén đối với bụi, nước, dầu, bất kể nguồn khí nén là gì. Tiêu chuẩn này không đưa ra khuyến nghị về cấp độ thích hợp cho các nhu cầu sử dụng khí nén khác nhau, mà chỉ quy định lượng các chất gây nhiễm bẩn cho phép trong từng cấp độ sạch. Các cấp độ sạch của khí nén đối với các chất gây

nhiễm bẩn dạng hạt (bụi) quy định theo dải cỡ hạt và mức độ nhiễm bẩn cho phép tương ứng, tính theo số lượng hạt trong một mét khối không khí.

Bảng 3.2.1. Các cấp độ sạch đối với các chất nhiễm bẩn dạng hạt

Cấp độ sạch	Kích thước hạt (µm) Nhỏ nhất ≤ d ≤ Lớn nhất		Số hạt[1] lớn nhất trong 1 mét khối không khí
0	Quy định cho từng ứng dụng (nghiêm ngặt hơn so với cấp độ 1)		
1	0,5	1,0	1
2	1,0	5,0	10
3	1,0	5,0	500
4	1,0	5,0	1.000
5	1,0	5,0	20.000
6	--	5,0	5 mg/m^3
7	--	40,0	10 mg/m^3

Cấp độ sạch đối với độ ẩm và nước dạng lỏng cũng được quy định. Giá trị độ ẩm được đưa ra dưới dạng nhiệt độ đọng sương có áp và nước dạng lỏng được đưa ra dưới dạng hàm lượng nước dạng lỏng *Cw* (g/m^3).

[1] "Số hạt": Số lượng hạt chất vô cơ/ hữu cơ được tìm thấy trong khí nén trước khi đưa vào sử dụng.

Bảng 3.2.2. Các cấp độ sạch đối với độ ẩm và nước dạng lỏng

Cấp độ sạch	Nhiệt độ đọng sương của hơi ẩm		Hàm lượng nước lỏng (g/m^3) $LSL^2 \leq C_w \leq USL$	
0	Quy định cho từng ứng dụng (nghiêm ngặt hơn so với cấp độ 1)			
1	≤ -70°C	≤ -94°F	- -	- -
2	≤ -40°C	≤ -40°F	- -	- -
3	≤ -20°C	≤ -4°F	- -	- -
4	≤ +3°C	≤ +37°F	- -	- -
5	≤ +7°C	≤ +45°F	- -	- -
6	≤ +10°C	≤ +50°F	- -	- -
7	- -		0	0,5
8	- -		0,5	5,0
9	- -		5,0	10

Phân loại về mức nhiễm dầu được quy định theo tổng nồng độ dầu bao gồm dạng sol khí (aerosol), dạng lỏng và hơi (mg/m^3).

[2] (LSL – Giới hạn mức thấp, USL – Giới hạn mức cao)

Bảng 3.2.3. Các cấp độ sạch theo tổng nồng độ dầu

Cấp độ sạch	Tổng nồng độ dầu (sol khí, lỏng và hơi) ≤ USL (mg/m³)
0	Quy định cho từng ứng dụng (nghiêm ngặt hơn so với cấp độ 1)
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0

Các khuyến nghị về cấp độ sạch của khí nén không chỉ giúp bảo vệ thiết bị khỏi hư hỏng mà còn đảm bảo chất lượng sản phẩm và sự an toàn trong quá trình sản xuất. Để đáp ứng các tiêu chuẩn khắt khe về cấp độ sạch, các hệ thống lọc và xử lý khí nén phải được thiết kế và vận hành một cách chính xác. Bảng dưới đây đưa ra các khuyến nghị về cấp độ sạch cho các ứng dụng khí nén thông dụng, giúp bạn lựa chọn và duy trì hệ thống khí nén hiệu quả.

Bảng 3.2.4. Khuyến nghị về cấp độ sạch của các ứng dụng khí nén thông dụng

Các cấp độ sạch của khí nén thông dụng				**Các cấp độ sạch của khí nén thông dụng**			
Ứng dụng	*Bụi bẩn*	*Nước*	*Dầu*	*Ứng dụng*	*Bụi bẩn*	*Nước*	*Dầu*
Khuấy bằng khí nén	3	5	3	Dụng cụ cầm tay công nghiệp	4	5-4	5-4
Ổ trục khí nén	2	2	3	Máy công cụ	4	3	5
Khí nén đo lường	2	3	3	Khai khoáng	4	5	5
Động cơ khí nén, loại lớn	4	4-1	5	Máy đóng gói và máy dệt	4	3	3
Động cơ khí nén, loại nhỏ	3	3-1	3	Xử lý phim chụp ảnh	1	1	1
Tuabin kiểu khí nén	2	2	3	Nhà máy khí nén thông thường	4	4	5
Máy làm gạch và kính	4	4	5	Xy lanh khí nén	3	3	5
Làm sạch máy móc	4	4	4	Bộ điều chỉnh áp suất chính xác	3	2	3
Xây dựng	4	5	5	Thiết bị điều khiển quá trình	2	2	3
Vận chuyển sản phẩm hạt	3	4	3	Khoan đá	4	5-4	5
Vận chuyển sản phẩm bột	2	3	2	Phun cát	-	5-2	5
Mạch năng lượng khí động	4	4	4	Phun sơn	3	3-2	3

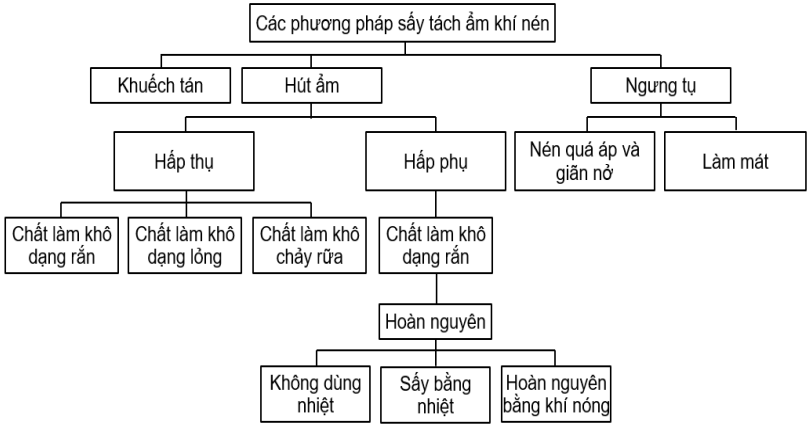
Các cấp độ sạch của khí nén thông dụng				Các cấp độ sạch của khí nén thông dụng			
Ứng dụng	*Bụi bẩn*	*Nước*	*Dầu*	*Ứng dụng*	*Bụi bẩn*	*Nước*	*Dầu*
Sensor khí động	2	2-1	2	Máy hàn	4	4	5
Xưởng đúc	4	4	5				
Công nghệ đồ uống, thực phẩm	2	3	1				

3.2.2. Hệ thống đảm bảo chất lượng khí

3.2.2.1. 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 5m^3/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 đọng 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 đọng 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 hai 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 3.3. 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 đọng 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.

Lựa chọn loại máy tách ẩm

Có 4 loại máy tách ẩm phổ biến trên thị trường:

- Máy tách ẩm bằng tác nhân lạnh với điểm đọng sương có áp xuống đến +2°C (1°C – 5°C)
- Máy tách ẩm hấp phụ với điểm đọng sương từ –20°C xuống đến –80°C; máy tách ẩm hấp phụ có thể là dạng hoàn nguyên bằng gia nhiệt hoặc hoàn nguyên không sử dụng nhiệt
- Máy tách ẩm hấp thụ có điểm đọng sương có áp phụ thuộc vào nhiệt độ không khí đầu vào và phụ thuộc một phần vào nhiệt độ môi trường. Ví dụ PDP (điểm sương có áp) là –11°C đối với nhiệt độ không khí đầu vào và nhiệt độ môi trường là 40°C. Loại máy tách ẩm này chỉ được sử dụng cho những ứng dụng đặc biệt.

- Máy tách ẩm hấp phụ hoặc hấp thụ với điểm đọng sương có áp khoảng – 30°C. Máy tách ẩm này chỉ phù hợp với khí nén không có dầu.

Các loại máy tách ẩm khác nhau sẽ yêu cầu mức năng lượng tiêu thụ khác nhau. Nói chung, khi nhiệt độ đọng sương có áp của khí nén càng thấp thì suất tiêu hao năng lượng trên một đơn vị lưu lượng khí nén càng cao. Suất tiêu hao năng lượng tương đối dưới đây được trích từ tài liệu Compressed Air Challenge®

- 1,6 kW trên lưu lượng 100 l/s đối với máy tách ẩm bằng tác nhân lạnh
- 0,4 – 0,6 kW trên lưu lượng 100 l/s đối với máy tách ẩm hấp phụ[3] với điểm đọng sương có áp là –40°C
- 0,4 kW trên lưu lượng 100 l/s đối với máy tách ẩm hấp thụ; điểm đọng sương có áp thay đổi.
- 1,6 kW trên lưu lượng 100 l/s đối với máy tách ẩm hấp phụ hoặc hấp thụ với điểm đọng sương có áp là –30°C.

[3] Yêu cầu về điện năng này tính đến cả mức giảm áp suất qua máy tách ẩm và bộ lọc liên quan, nhưng không bao gồm chi phí để thay thế chất hút ẩm. Máy sấy kiểu hấp thụ không cần bất cứ nguồn điện năng trực tiếp nào.

Nếu đường ống được đặt trong nhà, máy tách ẩm dùng tác nhân lạnh nói chung là đủ đáp ứng. Các máy tách ẩm này hoạt động chủ yếu trong hai giai đoạn. Trong giai đoạn đầu, không khí đi vào được làm mát bằng không khí lạnh đi ra khỏi máy tách ẩm. Giai đoạn này sẽ loại bỏ khoảng 60% lượng hơi nước. Phần hơi nước còn lại được loại bằng cách làm lạnh. Khoảng 90% máy tách ẩm là loại tách ẩm bằng tác nhân lạnh.

Trong hầu hết các trường hợp, máy tách ẩm hấp phụ được sử dụng cho các ứng dụng có yêu cầu điểm đọng sương có áp thấp hơn 0°C. Trong các máy tách ẩm dạng này, hơi nước được liên kết với các chất hút ẩm nhờ lực phân tử. Sau đó, các chất hút ẩm có thể được hoàn nguyên bằng cách gia nhiệt hoặc không sử dụng nhiệt.

Các máy tách ẩm có quá trình hoàn nguyên không sử dụng nhiệt có thể rẻ hơn về chi phí đầu tư ban đầu nhưng chi phí vận hành lại rất cao. Nhiệt độ không khí đầu vào có thể cao đến +60°C. Ngược lại, máy tách ẩm có quá trình hoàn nguyên bằng gia nhiệt có chi phí đầu tư ban đầu rất cao nhưng chi phí vận hành lại rất thấp. Nhiệt độ không khí đầu vào không quá +40°C. Khác với hấp phụ, hấp thụ là một quá trình hóa học mà trong đó nước sẽ kết hợp với chất hút ẩm.

Vị trí bộ tách ẩm

Nói chung, không dễ để xác định vị trí bộ tách ẩm trong hệ thống khí nén nếu không hiểu về động lực học của hệ thống. Trong điều kiện nhu cầu khí nén dao động mạnh, vị trí lắp bộ tách ẩm ở phía trước bình chứa khí nén có ưu điểm hơn vì bộ tách ẩm chỉ cần phù hợp với năng suất của máy nén. Nhiệt độ đầu ra của bộ làm mát thứ cấp là nhiệt độ đầu vào của máy tách ẩm. Nếu bình chứa khí nén được đặt ở vị trí mà có thể làm lạnh dòng khí nén phía sau bộ làm mát thứ cấp, thì cần xem xét thêm khả năng lắp đặt bộ tách ẩm ở phía sau của bình chứa. Do hơi ẩm đã được tách trong bình chứa, nên có thể chọn máy tách ẩm có công suất nhỏ hơn. Tuy nhiên, máy tách ẩm phải đủ lớn để đáp ứng được lưu lượng thể tích lớn nhất có thể. Có một rủi ro có thể xảy ra với việc định cỡ bộ tách ẩm theo nhu cầu khí nén thực tế, vì kinh nghiệm cho thấy rằng, theo thời gian ngày càng có thêm nhiều hộ tiêu thụ kết nối vào đường ống khí nén chính.

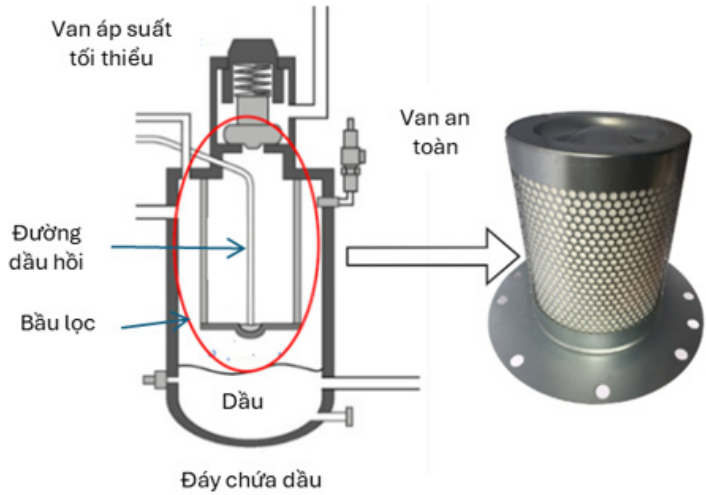
3.2.2.2. Hệ thống tách dầu

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 thực hiện các chức năng 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 sẽ thoát ra và lúc này khí cần là khí không lẫn dầu (xem hình 3.4).

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 giật 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 khi nén sẽ tồn tại dưới dạng những giọt li ti giống sương mù. Khi lượng dầu có trong khi 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.



Hình 3.4. Bộ lọc tách dầu trong máy nén khí

3.3. Hệ thống phân phối và điều khiển khí nén

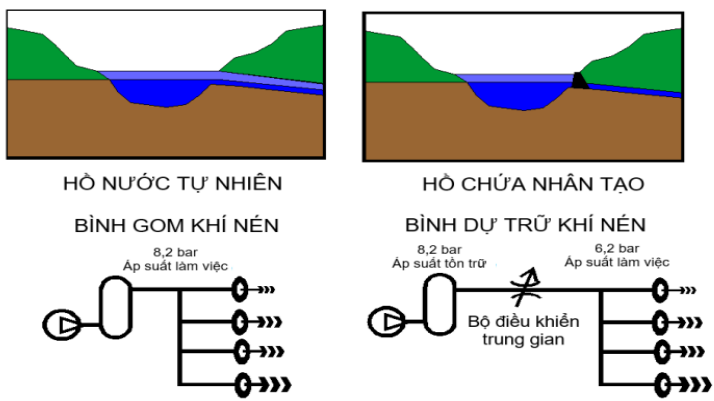
3.3.1. Hệ thống bồn chứa - tích áp

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.

Dung tích tồn trữ khí nén sơ cấp trước bộ điều chỉnh áp suất/lưu lượng được thiết kế để cung cấp đủ lượng khí nén cần sử dụng từ các bình chứa. Năng lượng được tồn trữ là một yếu tố quan trọng trong việc đảm bảo ổn định của hệ thống. Khi một thiết bị hoặc một quá trình sản xuất được khởi động, nhu cầu khí nén (năng lượng) của hệ thống sẽ nhanh chóng tăng lên. Hệ thống tồn trữ sẽ phải cung cấp năng lượng ngay lập tức. Trong trường hợp có nhu cầu lớn đòi hỏi phải tăng công suất của máy nén khí, các bình chứa phải đảm bao cung cấp năng lượng trong khoảng thời gian cần thiết để hệ điều khiển máy nén kịp đáp ứng. Chỉ riêng dung tích tồn trữ không thể tạo ra lượng dự trữ khí nén cần sử dụng. Mọi hệ thống khí nén đều có áp suất cung cấp mục tiêu. Khi nguồn cung của hệ thống bị sụt áp xuống dưới áp suất mục tiêu thì độ tin cậy của hệ thống sẽ giảm. Do đó, áp suất tồn trữ phải được duy trì ở mức cao hơn áp suất mục tiêu. Lượng khí nén tồn trữ có thể sử dụng được phụ thuộc vào thể tích bình chứa và độ chênh áp giữa áp suất bình chứa PS và áp suất mục tiêu PT.

Tuy nhiên, nếu áp suất cung cấp cao hơn mức đặt ra nhằm tránh lãng phí năng lượng do nhu cầu giả thì có thể lãng phí đến 12% khi tăng thêm 1 bar áp suất (nếu tất cả các thiết bị sử dụng khí nén không được kiểm soát). Áp suất mục tiêu phải là áp suất tối ưu thấp nhất để đảm bảo cung cấp đúng nhu cầu khí nén cho sản xuất. Khi đánh giá dung tích tồn trữ được kiểm soát, các thông số của thiết bị

cần tính đến khả năng đáp ứng nhu cầu đột biến và các tải nhất thời được xác định theo biểu đồ phân bố áp suất của nhà máy. Các đặc tính phản ứng theo thời gian của bộ điều khiển áp suất/lưu lượng phụ thuộc vào tính chất và mức độ thay đổi lưu lượng khí nén khi gặp các tải biến động. Bên cạnh phản ứng động, bộ điều khiển áp suất/lưu lượng còn phải duy trì độ chênh áp được kiểm soát giữa áp suất tồn trữ và áp suất mục tiêu của hệ thống. Bộ điều khiển áp suất/lưu lượng phải có khả năng tạo ra lưu lượng dòng khí nén cao hơn trong khi vẫn duy trì kiểm soát độ chênh áp nhỏ. Hoạt động của hệ thống cần giữ ổn định trong thời gian có nhu cầu khí nén thấp khi năng suất giảm nhanh. Ví dụ được minh họa trong hình dưới đây cho thấy, bình gom khí nén giống như một hồ nước tự nhiên, còn bình dự trữ khí nén thì giống như một hồ chứa nhân tạo.



Hình 3.5. Hình ảnh minh hoạ về hai loại bình khí nén

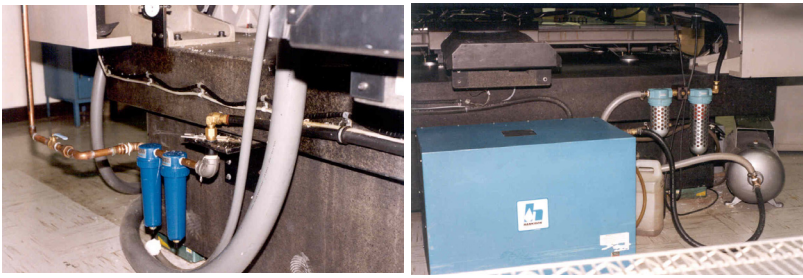
Khi mực nước trong hồ nước tự nhiên dâng cao, nước sẽ chảy ra ngoài nhanh hơn và bao nhiêu nước đổ vào sẽ chảy hết về phía hạ lưu. Trong hầu hết các hệ thống khí nén, bộ điều khiển của máy nén được cài đặt ở mức cao hơn áp suất mục tiêu. Bình gom được duy trì ở mức áp suất cao này và dự trữ một lượng khí nén có thể sử dụng được. Nhưng áp suất cao hơn sẽ khiến cho khí nén tạo ra lưu lượng lớn ở phía tiêu thụ (tương tự như nước tràn về hạ lưu), kết quả là 13% khí nén lãng phí do nhu cầu giả khi tăng áp suất lên thêm 1,0 bar. Tuy nhiên, nếu một con đập được xây dựng ở đầu thoát của hồ nước tự nhiên, thì hồ này sẽ trở thành một hồ chứa nhân tạo. Khi mực nước dâng lên, dòng chảy ra khỏi hồ sẽ được điều tiết và ngăn được lũ lụt ở hạ lưu. Trong hệ thống khí nén, bộ điều khiển áp suất/lưu lượng sẽ điều tiết lưu lượng dòng khí nén đi ra và ngăn chặn sự gia tăng áp suất ở phía tiêu thụ. Nhờ đó nhu cầu giả sẽ bị ngăn chặn.

3.3.2. Hệ thống đường ống phân phối đến hộ tiêu thụ

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, bẫy chất lỏng, các bình chứa trung gian và phần tản 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 đẩy 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.

Giải pháp ở đây là gì? –Tăng áp suất của hệ thống khí nén. Việc này có thể khắc phục được ngay hiện tượng, nhưng liệu có giải quyết được căn nguyên của vấn đề hay không? Thông thường, căn nguyên của vấn đề thiết bị hoạt động kém hiệu quả là do bị tổn thất áp suất trên đường ống nối. Vậy bố trí đường ống như thế nào để cho phép thiết bị hoạt động hiệu quả nhất?



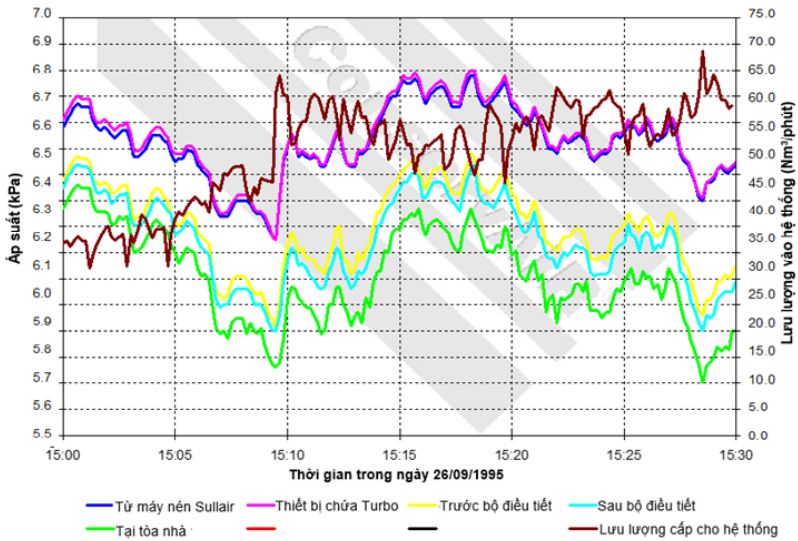
Hình 3.6. Ví dụ về đường ống cấp khí tới hộ tiêu thụ

- 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 một ống to thay vì nhiều ống nhỏ nối song song
- Áp dụng các hệ thống đường ống mạch vòng khép kín để hỗ trợ cân bằng áp và tránh các sụt áp khi có các nhu cầu khí lớn đột ngột.

3.3.3. Hệ thống điều khiển áp suất/lưu lượng

Khi đánh giá tính năng hoạt động hệ thống phân phối, cần phải kiểm tra lưu lượng đỉnh và độ chênh áp. Sự biến đổi các đặc tính động của hệ thống bởi các tải gián đoạn lưu lượng thể tích lớn có thể gây ra sự gia tăng vận tốc nhất thời và làm tăng độ chênh áp trong hệ thống. Đồ thị trong

hình 3.7 thể hiện độ chênh áp suất tại các thiết bị trong hệ thống khí nén cấp cho một toà nhà, áp suất sau bộ điều tiết là áp suất cung cấp cho hệ thống cung cấp sẽ bám theo sự thay đổi của áp suất cung cấp. Đồ thị này cũng cho thấy có độ sụt áp khá lớn của áp suất phân phối từ nguồn cung cho tòa nhà 13 vào thời điểm gần 15:30 khi lưu lượng khí nén đạt đỉnh 70 m^3/phút.

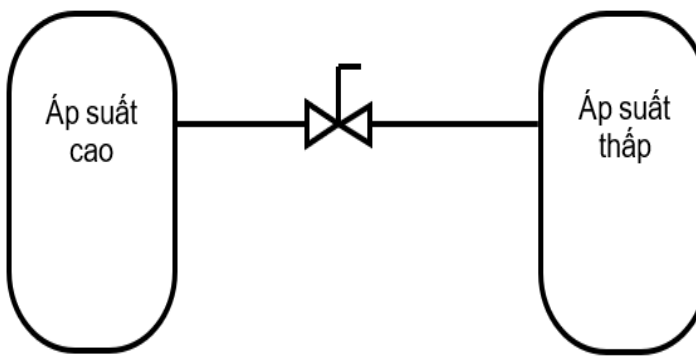


Hình 3.7. Biểu đồ theo dõi chênh lệch áp suất

Một độ chênh áp suất duy trì liên tục có thể tác động như một lỗ rò rỉ lớn trong hệ thống khí nén. Rò rỉ trong hệ thống khí nén về bản chất là sự nối thông hệ thống khí nén với khí quyển. Có thể coi khí quyển như một thể tích vô cùng lớn chứa không khí ở áp suất thấp. Dòng không

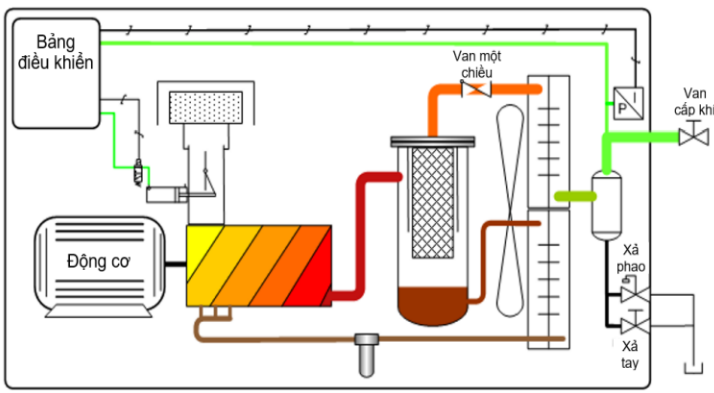
khí luôn đi từ vùng áp suất cao đến vùng áp suất thấp theo con đường có ít trở lực nhất. Vì vậy, dòng không khí sẽ thoát ra khỏi hệ thống để vào môi trường. Độ chênh áp suất bên trong thể tích của hệ thống sẽ gây ra những hiệu ứng tương tự đối với khí nén.

Trong hệ thống khí nén, khí nén cũng chảy từ nơi có áp suất cao đến nơi có áp suất thấp hơn. Hệ thống được mô tả trong hình 3.8 có hai bình chứa với áp suất khác nhau và được nối với nhau bằng một van đóng kín. Khi mở van thì điều gì sẽ xảy ra đối với áp suất trong hai bình? Áp suất sẽ cân bằng khi áp suất cao giảm xuống còn áp suất thấp tăng lên. Tốc độ thay đổi áp suất sẽ phụ thuộc vào độ mở của van, hay nói cách khác là phụ thuộc vào trở lực của đường ống nối giữa hai bình.



Hình 3.8. Hệ thống đối với độ chênh áp suất giữa hai thể tích chứa

Một điểm chung của tất cả các hệ điều khiển là đều có một cảm biến (rơ le áp suất, bộ chuyển đổi áp suất...) để giám sát áp suất của hệ thống và cung cấp tín hiệu đầu vào cho hệ thống điều khiển. Giá trị áp suất đo được này thường được gọi là "Tín hiệu áp suất điều khiển". Tín hiệu áp suất điều khiển có thể được đo tại các vị trí khác nhau trong hệ thống khí nén. Đối với máy nén khí trục vít nguyên cụm tiêu chuẩn, cảm biến tín hiệu áp suất điều khiển được bố trí bên trong cụm máy và thường ở gần điểm kết nối đầu ra.



Hình 3.9. Mô hình hệ thống điều khiển thông dụng của máy nén khí trục vít

Khi tín hiệu điều khiển máy nén được ghi nhận tại vị trí bên trong máy nén, các thiết bị xử lý không khí phía sau (bộ tách ẩm và bộ lọc) sẽ ảnh hưởng đến tín hiệu áp suất điều khiển. Hệ thống cần được xem xét để đảm bảo

rằng không có bộ phận nào khác trên đường ống có thể gây ra các ảnh hưởng tiêu cực đến tín hiệu điều khiển máy nén. Ngoài các bộ phận như bộ tách ẩm và bộ lọc, bất kỳ van hay bộ phận nào giữa vị trí cảm biến điều khiển và máy nén có thể ảnh hưởng đến hoạt động điều khiển.

MỘT SỐ NỘI DUNG CẦN CHÚ Ý:

- Các tiêu chuẩn về chất lượng không khí cần phải được tham vấn để thiết lập và đo lường các cấp độ nhiễm bẩn.
- Việc áp dụng thiết bị xử lý khí nén phải đạt được cấp độ sạch cần thiết cho các ứng dụng được cung cấp khí nén. Tránh xử lý khí nén quá mức yêu cầu vì sẽ tốn thêm chi phí và không hiệu quả.
- Các loại bộ lọc khác nhau sẽ có khả năng loại bỏ các chất nhiễm bẩn cụ thể. Việc lựa chọn và sử dụng các bộ lọc cần dựa trên loại chất nhiễm bẩn cần loại bỏ và cấp độ sạch cần thiết.
- Cần xem xét đến chi phí phát sinh do sụt áp khi sử dụng và bảo trì các bộ lọc khí nén.
- Các loại máy tách ẩm khác nhau sẽ đạt được nhiệt độ đọng sương có áp khác nhau. Nhiệt độ đọng sương càng thấp thì chi phí đầu tư thiết bị và chi phí vận hành càng cao.
- Cách thức kết nối đường ống với hộ sử dụng có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất sử dụng.
- Xem xét lại các nhu cầu khí nén áp suất cao ghi nhận được để xác thực yêu cầu áp suất của ứng dụng.

- Không sử dụng thừa các bộ tách ẩm, bộ lọc... cho hộ tiêu thụ, vì mỗi thiết bị phụ này sẽ làm tăng trở lực, gây ra sụt áp.
- Thiết bị dự trữ khí nén phải được thiết kế để cung cấp cho các nhu cầu tăng đột biến, đáp ứng được các tải trong biểu đồ phân bố áp suất và cải thiện sự đáp ứng của bộ điều khiển máy nén.
- Lượng năng lượng trong thiết bị dự trữ khí nén phụ thuộc vào thể tích chứa và độ chênh áp được kiểm soát.
- Loại bỏ các đường ống kết nối với hộ tiêu thụ không hợp lý, dẫn đến tổn thất áp suất quá mức.

CHƯƠNG 4

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN HỆ THỐNG KHÍ NÉN

Nội dung chương 4 xác định các phương pháp kiểm soát công suất máy nén khí, so sánh hiệu quả các phương pháp khác nhau trên một biểu đồ đơn giản. Đánh giá các tùy chọn điều khiển khác nhau và chọn ra phương pháp tối ưu nhất đáp ứng nhu cầu sử dụng khí trong hệ thống .

4.1. Thay đổi lưu lượng khí nén và vận hành các van phụ trợ

4.1.1. Cách thay đổi lưu lượng khí nén và vận hành đáp ứng nhu cầu

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

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, tất 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.

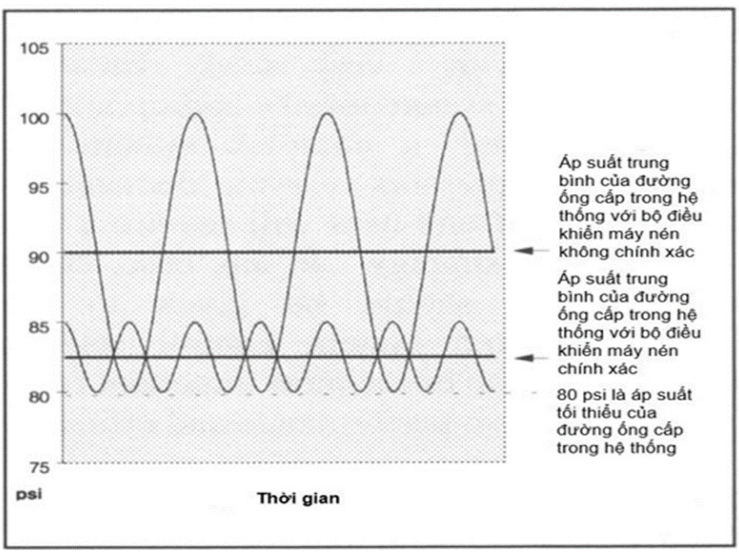
Dung tích dự trữ, được định cỡ để đáp ứng các biến động được dự đoán về nhu cầu tải, là một phần thiết yếu của phương pháp điều khiển này. Khí nén cung cấp có áp suất cao hơn đi vào bình chứa với lưu lượng được định trước và dự trữ sẵn để đáp ứng các biến động của nhu cầu tải một cách tin cậy ở mức áp 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

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;
- Tỷ số nén thay đổi;
- Xả khí hoặc thải.

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

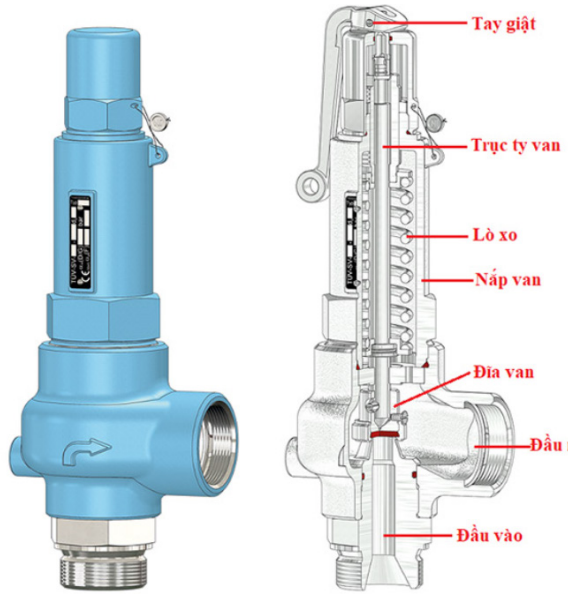
4.1.2. Các van điển hình trong hệ thống

❖ *Van an toàn*

Van an toàn trong hệ thống khí nén đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ hệ thống khỏi nguy cơ quá áp. Các nhà sản xuất máy nén khí cung cấp dữ liệu về đặc tính kỹ thuật cho từng model máy nén, bao gồm áp suất làm việc lớn nhất (MWP). Mỗi máy nén đều được trang bị van xả an toàn để bảo vệ hệ thống khi áp suất vượt quá mức này.

• Cấu tạo:

Thân van an toàn: là bộ phận chứa các bộ phận chi tiết của van, vỏ van bao gồm lò xo, cửa ra, cửa vào, đĩa van, nút vặn, vít điều chỉnh. Tất cả các bộ phận trên thân van hầu như được làm từ vật liệu giống phần thân như inox, gang, thép, đồng. Cửa van an toàn được kết nối với đường ống lắp ren và lắp bích theo tiêu chuẩn JIS, BS, DIN, lớp sơn phủ epoxy cao cấp, thân van chịu được áp lực 10 bar - 20 bar.



Hình 4.2. Cấu tạo van an toàn

Phần tay giật - nắp chụp:

Phần tay giật là bộ phận có thể tháo rời để điều chỉnh hay còn gọi là cài đặt áp lực theo yêu cầu. Đối với tay giật thì ngay cả khi áp lực chưa vượt quá hoặc vượt quá mức giới hạn an toàn cho phép vì bị kẹt hoặc một nguyên nhân bất kỳ, chúng ta có thể kéo hoặc bóp để xả lưu chất ra ngoài.

• **Hoạt động của van an toàn bao gồm:**

– Bảo vệ các bộ phận chịu áp lực bên trong máy nén: Các thành phần như đường ống, bộ làm mát,

và bình chứa dầu/tách dầu đều được thiết kế để chịu áp lực. Van xả an toàn sẽ kích hoạt khi áp suất trong hệ thống vượt quá mức MWP, giúp giải phóng áp lực và bảo vệ các bộ phận này khỏi bị hư hại do quá áp.

- Bảo vệ động cơ máy nén: Các máy nén còn có cơ cấu an toàn để bảo vệ quá tải động cơ, và cơ cấu này sẽ được kích hoạt để ngắt động cơ khi máy nén hoạt động vượt quá áp suất định mức. Khi áp suất trong hệ thống tăng cao, động cơ sẽ tiêu thụ nhiều điện năng hơn và chịu tải lớn hơn. Nếu động cơ bị quá tải, hệ thống bảo vệ sẽ kích hoạt và ngắt máy nén để ngăn ngừa hư hỏng.

Trong hệ thống khí nén có nhiều máy nén với MWP khác nhau, các máy nén có MWP thấp hơn thường được sử dụng để đáp ứng tải đỉnh. Điều này đòi hỏi phải cài đặt để ngắt máy nén khi áp suất đạt đến MWP của máy nén đó, đảm bảo rằng các máy nén và hệ thống hoạt động an toàn.

Đối với máy nén sử dụng bộ điều khiển tiết lưu, có hai giá trị áp suất làm việc lớn nhất cần lưu ý: MWP liên quan đến bình chịu áp lực và mức cài đặt van xả an toàn, và áp suất làm việc đầy tải lớn nhất liên quan đến công suất định mức của động cơ dẫn động. Hệ thống khí nén phải được thiết kế để bảo vệ các thiết bị hoặc ứng dụng có giới hạn MWP thấp hơn áp suất làm việc lớn nhất của hệ thống.

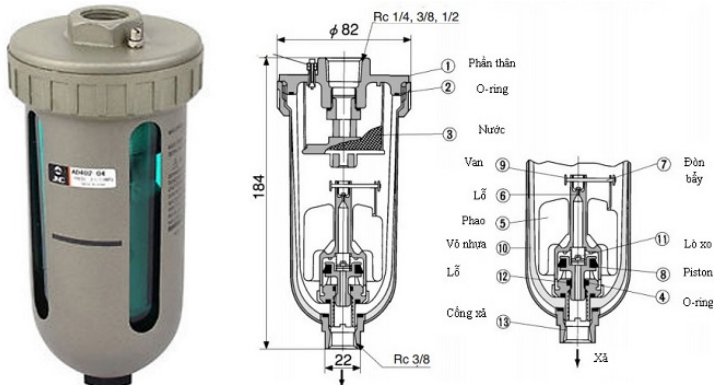
Các cơ cấu bảo vệ như bộ điều chỉnh giảm áp, van xả an toàn chống quá áp, và các thiết bị bảo vệ khác cần được lắp đặt để đảm bảo an toàn vận hành.

❖ *Van xả tạp chất lỏng tự động*

Van xả tạp chất lỏng tự động (hay còn gọi là cốc lọc xả tự động) là một thiết bị được sử dụng để lắp đặt cho các hệ thống, thiết bị khí nén với nhiệm vụ lọc xả các tạp chất, hơi nước có lẫn trong khí nén, nước ngưng tụ trên đường ống/ bình chứa khí nén, giúp lưu lượng khí nén đi qua hệ thống. Cốc lọc xả tự động (bộ lọc xả tự động) hoạt động một cách hoàn toàn tự động.

Thông số kỹ thuật chính:

- Kích cỡ đầu vào và xả: ½”, ¾”, 1”, 1.$^{1/4”}$, 1.$^{1/2”}$, 2”,...
- Chất liệu cấu tạo: hợp kim nhôm, nhựa
- Áp suất max: 1,5 MPa
- Áp suất làm việc: 1,0 MPa, áp suất hoạt động: 0,15 MPa - 1,0 MPa
- Nhiệt độ làm việc: 5 ^{o}C đến 60 ^{o}C
- Môi trường làm việc: khí nén, hơi



Hình 4.3. Mô tả cấu tạo và nguyên lí van xả tạp chất lỏng tự động

Nguyên lý hoạt động:

Cốc lọc xả tự động (bộ lọc xả tự động) có nguyên lý hoạt động đơn giản, lắp đặt cốc lọc xả tự động vào hệ thống cần cấp khí nén. Khi cho khí nén đi qua cốc lọc, khí nén sẽ đi xuống khoang dưới cốc lọc, các tạp chất, nước nặng sẽ rơi xuống đóng cổng xả, khí nén đi qua cốc lọc bình thường.

Khi nước, tạp chất đầy khoang chứa cốc lọc, lúc này quả phao bên trong sẽ nổi lên kéo nút xả, khiến lưu chất, tạp chất đi ra bên ngoài, khi lưu chất đi ra hết bên ngoài, quả phao hạ xuống, nắp xả đóng lại. Quá trình này lặp đi lặp lại, giúp lượng khí nén đi qua hệ thống thiết bị luôn sạch nhất.

❖ *Van điều tiết*

Trong hệ thống khí nén, **van điều tiết** đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh lưu lượng khí nén và áp suất. Đặc biệt, việc điều khiển tiết lưu đầu vào của máy nén là một phần quan trọng để tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của hệ thống. Phương pháp này thường được áp dụng cho các loại máy nén ly tâm và trục vít, nơi mà việc giảm lượng khí đi vào máy nén có thể cải thiện điều khiển hiệu quả. Đối với máy nén ly tâm, việc sử dụng các cách hướng dẫn có thể tối ưu hóa hiệu suất điều khiển, mặc dù giảm việc năng suất bị giới hạn bởi nguy cơ tăng áp đột biến. Mặt khác, máy nén thể tích không phù hợp với phương pháp này do không thay đổi năng suất đầu ra một cách hiệu quả.

Các loại van điều tiết khác nhau như van trượt hoặc van quay cũng được sử dụng để cải thiện hiệu suất non tải và kiểm soát áp suất chính xác hơn. Tuy nhiên, sự tổn thất áp suất không thể phục hồi từ các bộ phận như lỗ tiết lưu, van kim, bộ điều khiển tốc độ, ống và phụ kiện đòi hỏi sự cân nhắc kỹ lưỡng trong thiết kế và vận hành hệ thống. Điều này cần phải được xem xét kỹ lưỡng để đảm bảo hiệu suất và hiệu quả cao nhất của hệ thống khí nén.

❖ *Van phân phối*

Van phân phối trong hệ thống khí nén đóng vai trò quan trọng trong việc điều khiển và phân phối luồng khí nén đến các thiết bị khác nhau. Các loại van phân phối như van 2/2, 3/2, 4/2, 4/3, 5/2 và 5/3 được sử dụng để thực hiện các chức năng cụ thể trong hệ thống (hình 4.4). Van 2/2 được sử dụng để bật hoặc tắt luồng khí nén, trong khi van 3/2 có thêm một cổng xả để kiểm soát việc xả khí nén ra môi trường. Các loại van 4/2 và 4/3 thường được sử dụng để điều khiển xy lanh khí nén hai chiều trong các hệ thống phức tạp, trong khi van 5/2 và 5/3 được sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu nhiều đầu vào và đầu ra khí nén.

Các loại van phân phối này giúp tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống bằng cách kiểm soát chính xác lượng khí nén đi vào và ra khỏi các thiết bị. Chủ yếu được sử dụng trong việc phân phối khí nén đến các cơ cấu xy lanh khí nén, đảm bảo thực hiện các hoạt động điều khiển vị trí và công nghệ trong lĩnh vực tự động hóa. Sự linh hoạt của hệ thống được cải thiện, và thiết kế trở nên đơn giản hóa do số lượng ống và phụ kiện cần thiết giảm đi. Van phân phối giúp tăng tính linh hoạt của hệ thống khí nén bằng cách cho phép thực hiện nhiều chức năng chỉ bằng việc thay đổi hướng dòng khí. Chúng tối ưu hóa hiệu suất hệ thống, đảm bảo kiểm soát chính xác lượng khí nén đi vào và ra khỏi các thiết bị. Điều này đơn giản hóa thiết kế hệ thống,

giảm số lượng ống và phụ kiện cần thiết. Van phân phối được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp, từ sản xuất, lắp ráp đến tự động hóa và điều khiển quy trình, đảm bảo các thiết bị hoạt động đúng cách và hiệu quả.

Hình 4.4: Nguyên lý hoạt động van phân phối

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 hoạt động và hiệu suất của hệ thống.

4.2.1. Các phương pháp điều khiển máy nén đơn lẻ

Trong những năm qua, các nhà sản xuất máy nén đã phát triển một số phương pháp điều khiển khác nhau. Các bộ điều khiển như *bật/tắt* và có *tải/không* tải phản ứng với việc giảm tải hay tăng áp suất đầu ra bằng cách tắt máy nén hoặc ngắt tải, để máy nén dừng cấp khí trong một khoảng thời gian. *Điều khiển tiết lưu đầu vào* và *điều khiển nhiều bước* cho phép máy nén hoạt động ở chế độ non tải và giảm bớt lượng khí cung cấp trong thời gian nhu cầu khí nén giảm.

- **Bật/tắt:** Bật/tắt là kiểu điều khiển đơn giản nhất hiện có và có thể áp dụng cho cả máy nén trục vít

hoặc máy nén pít tông. Động cơ dẫn động máy nén được bật hoặc tắt tùy theo áp suất đầu ra của máy. Thông thường, một rơle áp suất đơn giản sẽ cấp tín hiệu để bật/tắt động cơ. Loại điều khiển này không nên áp dụng cho các máy nén có chu kỳ chạy thường xuyên vì việc khởi động lặp đi lặp lại sẽ khiến cho động cơ quá nóng và các bộ phận khác của máy nén cần phải bảo trì thường xuyên hơn. Loại điều khiển này thường chỉ được sử dụng cho các ứng dụng có chu kỳ làm việc rất thấp.

- **Có tải/không tải:** Điều khiển có tải/không tải, còn được gọi là điều khiển tốc độ không đổi, cho phép động cơ chạy liên tục, nhưng sẽ ngắt tải máy nén khi áp suất đầu ra đã đạt giá trị cần thiết. Các nhà sản xuất máy nén sử dụng các phương thức điều khiển khác nhau để ngắt tải máy nén, nhưng trong hầu hết các trường hợp, máy nén trục vít chạy không tải sẽ tiêu thụ 15 – 35% công suất đầy tải trong khi không sinh công hữu ích. Do đó, một số phương thức điều khiển có tải/không tải có thể không hiệu quả.

- **Điều khiển tiết lưu đầu vào:** Điều khiển tiết lưu (điều tiết) đầu vào cho phép năng suất đầu ra của máy nén thay đổi để đáp ứng yêu cầu về lưu lượng. Việc điều tiết thường được thực hiện bằng cách đóng bớt van đầu vào, vì vậy hạn chế lượng khí đi vào máy nén. Phương thức điều khiển này thường

được áp dụng cho máy nén ly tâm và máy nén trục vít. Khi áp dụng cho máy nén thể tích, phương pháp này không hiệu quả trong việc thay đổi công suất đầu ra của máy nén. Khi sử dụng trên các máy nén ly tâm, phương thức điều khiển này sẽ phát huy hiệu quả hơn, đặc biệt là khi sử dụng các cánh quạt dẫn hướng để dẫn không khí hướng theo cùng hướng với đầu vào của bộ cánh quạt. Mức giảm năng suất bị giới hạn bởi nguy cơ tăng áp đột biến (surge) và công suất tiết lưu tối thiểu.

- **Điều khiển nhiều bước (non tải):** Một số máy nén được thiết kế để vận hành trong hai hoặc nhiều điều kiện non tải. Với phương thức điều khiển này, áp suất đầu ra có thể được điều khiển chính xác mà không yêu cầu máy nén phải bật/tắt hoặc chạy có tải/không tải. Các máy nén pít tông được thiết kế điều khiển theo hai bước (bật/tắt hoặc có tải/không tải), 3 bước (0%, 50%, 100%) hoặc 5 bước (0%, 25%, 50%, 75%, 100%). Các phương thức điều khiển này thường thể hiện mối quan hệ trực tiếp giữa mức tiêu thụ của động cơ và công suất mang tải.

- **Điều khiển bằng biến tần:** Trước đây việc sử dụng biến tần (VFDs) cho máy nén công nghiệp là rất hiếm, vì chi phí đầu tư ban đầu khá cao của VFD không thể biện minh tính hiệu quả so với các phương thức điều khiển khác. Hiện nay chi phí không còn là vấn đề lớn nữa. VFD có thể được chấp

nhận trong các ứng dụng máy nén khi chúng trở nên tin cậy hơn và hiệu quả hơn khi chạy đầy tải.

Giải pháp này có thể ứng dụng cho tất cả các loại máy nén và rất hiệu quả. Một động cơ điện hai tốc độ hoặc một bộ biến tần có thể sử dụng để thay đổi tốc độ máy nén (động cơ điện 2 tốc độ là loại động cơ có khả năng hoạt động ở hai tốc độ khác nhau, thường được sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu sự điều chỉnh tốc độ như băng tải, máy bơm, quạt công nghiệp...). Động cơ điện hai tốc độ điều chỉnh công suất máy nén bằng cách chạy ở tốc độ cao khi tải lên cao. Bộ biến tần có thể thay đổi tốc độ vòng quay liên tục để đáp ứng nhu cầu thực tế. Bộ biến tần đáp ứng giới hạn cho tốc độ tối thiểu và tối đa, và điều khiển áp suất, bảo vệ động cơ máy nén cũng như giới hạn về dòng điện và mô men xoắn. Bộ biến tần có thể hỗ trợ cho việc khởi động ở cường độ dòng điện thấp.

4.2.2. Các phương pháp điều khiển một hệ thống máy nén

Các hệ thống có nhiều máy nén thường sử dụng các bộ điều khiển phức tạp hơn để điều phối hoạt động của máy nén và cung cấp khí nén cho hệ thống. Các bộ điều khiển mạng sử dụng các vi xử lý tích hợp trên máy nén, liên kết với nhau tạo thành một chuỗi liên lạc, giúp đưa ra các quyết định dừng/khởi động, tải/không tải, điều chỉnh, thay đổi độ dịch chuyển và tốc độ. Thông thường, một máy nén sẽ đảm nhận vai trò chính, trong khi các máy

nén khác sẽ tuân theo lệnh của máy nén này. Các bộ điều khiển chính của hệ thống điều phối tất cả các chức năng cần thiết để tối ưu hóa khí nén như một tiện ích. Chúng có nhiều chức năng như giám sát và điều khiển tất cả các thành phần trong hệ thống, theo dõi dữ liệu để cải thiện bảo trì và giảm chi phí vận hành.

Mục tiêu của một phương pháp điều khiển hiệu quả là điều chỉnh hệ thống sao cho các máy nén hoạt động ở mức hiệu suất tối đa hoặc gần tối đa. Điều này có thể đạt được bằng nhiều cách khác nhau, tùy thuộc vào sự biến động của nhu cầu, dung lượng lưu trữ sẵn có và đặc tính của thiết bị cung cấp và xử lý khí nén.

- ***Điều khiển đơn kênh (trình tự).*** Bộ xếp trình tự (single setpoint logic) là thiết bị điều chỉnh hệ thống bằng cách sắp xếp hoặc điều chỉnh công suất của các máy nén đơn lẻ để đáp ứng nhu cầu của hệ thống. Nó được gọi là bộ điều khiển đơn kênh vì tất cả các quyết định về vận hành máy nén đều được thực hiện và chỉ đạo từ một bộ điều khiển chính. Bộ xếp trình tự kiểm soát hệ thống máy nén bằng cách điều chỉnh công suất của từng máy nén để đáp ứng áp suất (hoặc nhu cầu) của hệ thống. Hệ thống điều khiển này thường mang lại hiệu quả cao hơn vì phạm vi điều khiển quanh áp suất mục tiêu của hệ thống sẽ hẹp hơn. Phạm vi hẹp hơn này cho phép giảm áp suất trung bình

của hệ thống. Tuy nhiên, cần thận trọng khi giảm áp suất trung bình của hệ thống, vì sự thay đổi lớn và đột ngột của nhu cầu có thể khiến áp suất giảm xuống dưới mức yêu cầu tối thiểu, dẫn đến việc thiết bị không hoạt động đúng chức năng. 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 được phòng tránh.

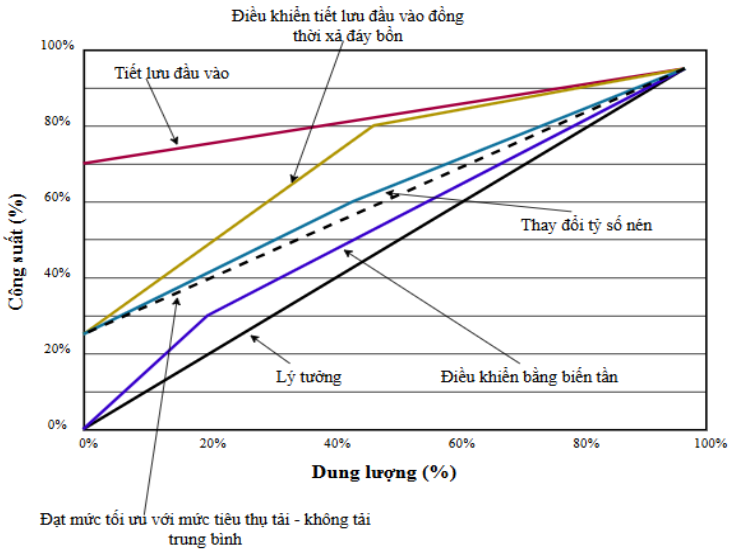
- ***Điều khiển đa kênh (điều khiển mạng).*** Các bộ điều khiển mạng mang đến các tính năng điều khiển hệ thống mới nhất. Các bộ điều khiển này có thể tắt bất kỳ máy nén nào đang chạy không cần thiết. Chúng cũng cho phép các máy nén đang chạy vận hành ở chế độ hiệu quả hơn. Các bộ điều khiển được sử dụng trong mạng lưới là các bộ điều khiển kết hợp. Chúng cung cấp điều khiển các máy nén đơn lẻ cũng như các chức năng điều khiển hệ thống. Thuật ngữ đa kênh đề cập đến khả năng điều khiển hệ thống có trong mỗi bộ điều khiển máy nén đơn lẻ. Các bộ điều khiển đơn lẻ này liên kết hoặc nối mạng với nhau, vì vậy chúng chia sẻ tất cả các thông tin và trạng thái hoạt động. Một trong các bộ điều khiển trong mạng lưới được chỉ định là bộ điều khiển chủ đạo. Vì các bộ điều khiển này chia thông tin nên các quyết định vận hành máy nén liên quan đến sự thay đổi tải khí nén có thể được thực hiện nhanh chóng và chính xác hơn. Hiệu quả là phạm vi điều khiển áp suất hẹp sẽ cho

phép giảm thêm áp suất mục tiêu của hệ thống. 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.

4.2.3. 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 để có thể hiểu và áp dụng cho từng trường hợp máy nén với những yêu cầu cụ thể.

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



Hình 4.5. 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 điểm cực trị này.

- Điều khiển tiết lưu đầu vào là 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 trục 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:

- 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 ống 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 khí nén 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 khí nén. 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.
- Khuyến khích tài chính cho việc tiết kiệm 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 máy nén.

MỘT SỐ NỘI DUNG CẦN CHÚ Ý:

- Giảm áp suất phân phối khí nén trên hệ thống để loại bỏ các nhu cầu giả.
- Giảm thiểu tổn thất do rò rỉ trên hệ thống.
- Giảm thiểu các tổn thất áp suất không thể phục hồi.
- Vận hành hệ thống khí nén ở áp suất thấp nhất cho phép.
- Tối ưu hóa hệ thống điều khiển máy nén khí bằng chiến lược điều khiển thích hợp.
- Có nhiều dạng điều khiển năng suất khác nhau áp dụng cho máy nén trục vít chạy ở chế độ non tải.
- Các dạng điều khiển năng suất chạy non tải khác nhau sẽ có các đặc tính tiêu thụ năng lượng non tải khác nhau.
- Cần ổn định áp suất vận hành của hệ thống.
- Việc tăng áp suất khí nén sẽ làm tăng lượng khí nén rò rỉ và các nhu cầu khí nén không được kiểm soát.
- Áp suất mục tiêu là áp suất tối ưu thấp nhất đảm bảo cung cấp khí nén cho sản xuất.
- Kiểm tra áp suất động của nguồn cung đến các thiết bị sử dụng khí nén.
- Xem xét lại thiết kế của nhà sản xuất để nhận diện các tổn thất áp suất quá mức trong thiết bị sử dụng khí nén. Thiết lập áp suất mục tiêu thích hợp cho điểm kết nối với hộ tiêu thụ.

CHƯƠNG 5

QUẢN LÝ VÀ SỬ DỤNG HIỆU QUẢ HỆ THỐNG KHÍ NÉN

Chương 5 đề cập đến mục tiêu chính là xác định cung - cầu trong hệ thống khí nén và đánh giá chi phí vận hành hàng năm cũng như chi phí do tổn thất áp suất từ các bộ lọc và rò rỉ trong hệ thống dẫn khí.

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

5.1.1. Đo lường tại chỗ trong quá trình vận hành và theo dõi bảo trì

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 dữ 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.

Ghi dữ liệu về đặc tính động lực học của hệ thống là một phương pháp hữu hiệu để xây dựng biểu đồ phân bố áp suất phía cung cấp khí nén cho tất cả các giai đoạn có nhu cầu đặc trưng, bao gồm cả sự thay đổi áp suất nhất thời do các giai đoạn tải đỉnh xảy ra theo chu kỳ. Việc xác định phản ứng động của các bộ điều khiển phía cung cấp với nhu cầu khí nén bình thường và các giai đoạn tải đột biến của hệ thống cũng rất quan trọng. Các nhu cầu khí nén cơ bản cần được đánh giá thông qua việc quan sát, ghi dữ liệu ngắn hạn và một lần đo kiểm tại chỗ. Sự thay đổi nhu cầu khí nén, bao gồm mối tương quan giữa các dữ liệu đường cơ sở với các dữ liệu thực tế đo được về lưu lượng khí nén và các

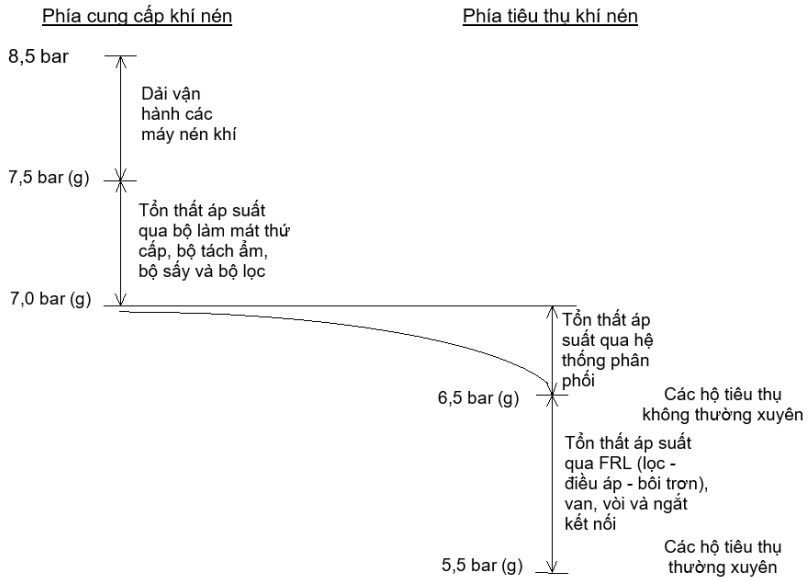
dấu hiệu đặc trưng của giai đoạn tải đỉnh cần được xem xét và ghi lại. Cuối cùng, tóm tắt các phân tích về các loại nhu cầu khí nén (nhu cầu tải đỉnh, nhu cầu trung bình, nhu cầu liên tục) theo các chu kỳ thời gian.

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

Mục tiêu thông tin	Phép đo và vị trí đo
Sự thay đổi nhu cầu khí nén: (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 trưng với các biến động tải khí nén.	Đo lưu lượng khí nén tại mỗi điểm cung cấp trên hệ thống (Đặc tính động).
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.

Mục tiêu thông tin	Phép đo và vị trí đo
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 dao động.	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 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

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 biểu đồ trên hình 5.1, hộ 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.

5.1.2. Thu thập, phân tích số liệu trong dự báo nhu cầu sử dụng khí nén trong tương lai

Thu thập và xử lý số liệu

Việc phân tích các đặc tính của hệ thống khí nén chỉ đảm bảo tin cậy khi dựa trên các dữ liệu chính xác. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của dữ liệu đo được như:

- Tốc độ lấy mẫu
- Quãng ghi dữ liệu
- Độ chính xác/tính lặp lại
- Các tín hiệu điện tử
- Thang đo của các đại lượng

Động lực học là việc nghiên cứu ảnh hưởng của các biến động tải theo thời gian đến các đặc tính của hệ thống. Cách tiếp cận tốt nhất để xác định tính chất động lực học của hệ thống là thực hiện các phép đo đặc tính của hệ thống theo thời gian thực. Cần hiểu rằng các thiết bị đo phải có tần suất lấy mẫu đủ lớn để nắm bắt được các biến động xảy ra trong hệ thống.

Quãng lấy mẫu (quãng quét) – Quãng lấy mẫu là khoảng thời gian (*T*) được tính bằng giây, mà trong đó đầu vào của bộ ghi dữ liệu quét, đọc từ tín hiệu từ cảm biến hoặc từ bộ chuyển đổi đi kèm.

Tính giá trị trung bình dữ liệu – Tính giá trị trung bình dữ liệu là một phương pháp giảm bớt các dữ liệu từ nhiều mẫu đo xuống còn một dữ liệu (thông thường là tính trung bình số học, mặc dù có thể sử dụng những phương pháp khác, bao gồm lọc bớt dữ liệu). Các mẫu từ cảm biến (*S*) được đọc trong một quãng lấy mẫu xác định (*T*) đối với số lượng (*n*) mẫu được chọn. Giá trị trung bình của các dữ liệu đo từ cảm biến được tính như sau:

$$S_{AVG} = \left(S_1 + S_2 + \ldots S_n\right) / n \qquad (5.1)$$

Quãng ghi dữ liệu – Quãng ghi lưu dữ liệu là một khoảng thời gian mà trong đó giá trị trung bình của cảm biến được ghi lại dưới dạng một điểm dữ liệu đo được. Giá trị này được tính từ tốc độ lấy mẫu (*T*) và số lượng mẫu để tính giá trị trung bình (*n*); [*T* x *n*]. Ví dụ, với tốc độ lấy mẫu là 3 giây và giá trị trung bình được tính từ 15 mẫu, quãng ghi dữ liệu là 45 giây [3 giây x 15 mẫu = 1 điểm dữ liệu ghi lại sau mỗi khoảng thời gian 45 giây].

$$\textit{Quãng ghi dữ liệu} = T \times n \qquad (5.2)$$

Mục đích của việc sử dụng tốc độ lấy mẫu cao hơn cùng với việc giảm bớt số lượng dữ liệu là để làm giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu tín hiệu đến dữ liệu thu được. Bên cạnh đó, khi các thông số vật lý (điện năng, lưu lượng, áp suất...) đo được thay đổi theo thời gian, thì việc tính trung bình dữ liệu sẽ giúp đưa ra dữ liệu về xu hướng chính xác hơn. Mặt khác, việc ghi dữ liệu quá thường xuyên có thể tạo ra các file dữ liệu khổng lồ, cần phải được xử lý để làm giảm bớt dữ liệu thành các thông tin hữu ích.

- ***Dữ liệu xu hướng hàng giờ:*** Dữ liệu xu hướng hàng giờ có thể được dùng để xây dựng đồ thị tiêu thụ điện năng của máy nén hoặc dữ liệu về lưu lượng để tính toán chi phí vận hành. Tuy nhiên, dữ liệu xu hướng không có khả năng xác định các đặc tính động của hệ thống.

- ***Phản ứng động:*** Khi thời gian thực xảy ra hiện tượng vật lý cần đo ngắn hơn, thì quãng ghi dữ liệu cũng phải giảm để có thể mô tả đúng đặc tính của hiện tượng. Thời gian đáp ứng của bộ chuyển đổi tín hiệu là một biến số bổ sung dựa trên thời gian có thể ảnh hưởng đến việc thu thập dữ liệu.

➢ *Lựa chọn cảm biến để hỗ trợ các mục tiêu thông tin và kế hoạch đo lường*

Mục tiêu thông tin và kế hoạch đo lường xác định các thông số vật lý như áp suất, năng lượng, công suất, lưu

lượng, v.v. cần đo. Dữ liệu thu được là các số liệu thô. Ví dụ, lắp đặt một cảm biến áp suất trong hệ thống khí nén, và kết nối tín hiệu với bộ ghi dữ liệu thì sẽ thu thập được các giá trị bằng số. Các dữ liệu này thể hiện các thông số vật lý và phản ứng theo thời gian của hệ thống khí nén. Tính năng và việc lựa chọn cảm biến sẽ ảnh hưởng đến các dữ liệu được ghi lại.

Cảm biến (Sensor) – Cảm biến là một thiết bị phần cứng có khả năng đo được một thông số vật lý như áp suất hoặc lưu lượng và chuyển đổi sang một dạng năng lượng khác. Ví dụ, một dụng cụ đo biến dạng là một cảm biến phát hiện các dịch chuyển cơ học nhỏ và đưa ra thay đổi điện trở.

Bộ phát tín hiệu (Transmitter) – Bộ phát tín hiệu là thiết bị phần cứng chuyển đổi một biến đo từ một dạng năng lượng sang dạng năng lượng khác. Ví dụ, bộ phát tín hiệu chuyển đổi sự thay đổi điện trở của cảm biến đo biến dạng dùng để đo áp suất sang tín hiệu đầu ra tuyến tính 4 – 20 mA. Trong công nghệ đo lường từ xa, các bộ phát tín hiệu vô tuyến là một loại thiết bị phát tín hiệu khác có thể thay đổi tín hiệu điện thành tín hiệu sóng vô tuyến.

Bộ chuyển đổi (Transducer) – Bộ chuyển đổi là một thiết bị phần cứng có khả năng đo các thông số vật lý và xuất ra các tín hiệu điện, được sử dụng khá thuận tiện trong các hệ thống đo lường. Ví dụ, một bộ chuyển đổi áp suất có thể được cấu tạo từ cảm biến đo biến dạng và bộ phát tích hợp

để cung cấp tín hiệu đầu ra tuyến tính 4 - 20 mA tỷ lệ với áp suất từ 0 đến 16 bar (0 đến 232 psig). Bộ chuyển đổi bao gồm cả cảm biến và một bộ phát tín hiệu.

Trong công nghệ đo lường và dụng cụ đo, các thuật ngữ bộ phát tín hiệu (transmitter) và bộ chuyển đổi (transducer) thường được sử dụng thay thế cho nhau. Vì bộ phát tín hiệu (transmitter) là một thuật ngữ không rõ ràng, nên cần tránh sử dụng nó. Bộ chuyển đổi (transducer) là thuật ngữ được ưa dùng.

➢ *Độ chính xác và tính lặp lại*

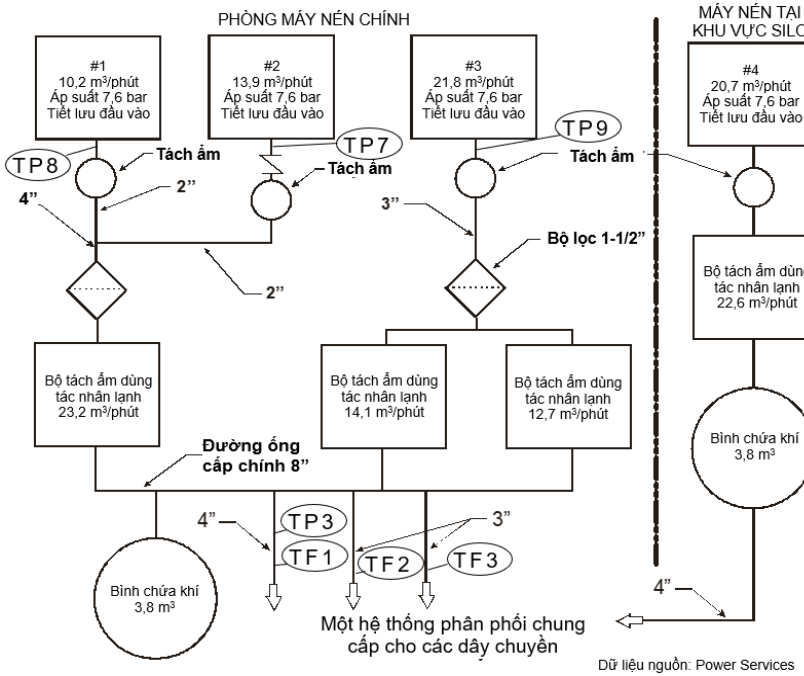
Độ chính xác – Độ chính xác là khả năng của một dụng cụ đo, cảm biến hoặc bộ chuyển đổi cụ thể đo được giá trị của một thông số vật lý so với giá trị thực của nó dựa trên một tiêu chuẩn đã biết.

Tính lặp lại – Tính lặp lại là khả năng của một dụng cụ đo, cảm biến hoặc bộ chuyển đổi cụ thể lặp lại cùng một giá trị đo được.

Phân tích số liệu

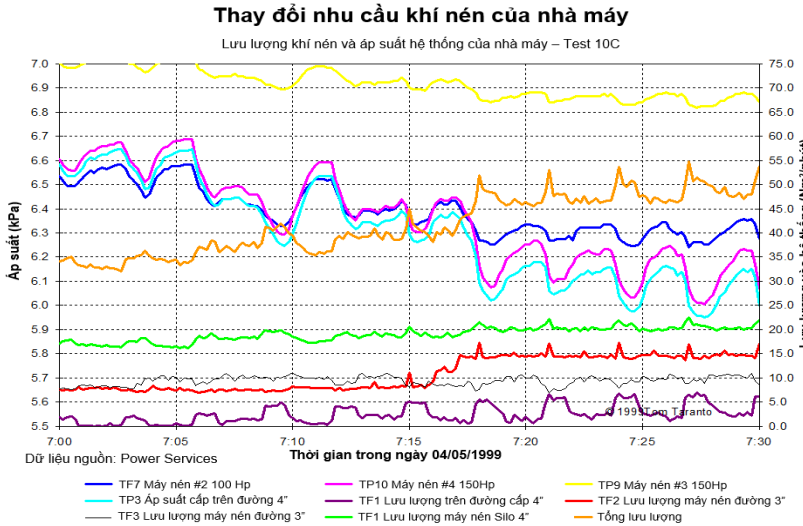
Để dễ dàng nắm bắt được cách thức phân tích số liệu thu thập từ một hệ thống khí nén, ta sẽ xem xét một ví dụ cụ thể sau. Sơ đồ trên hình 5.2 thể hiện một hệ thống khí nén đặc trưng trong một nhà máy sản xuất gốm sứ. Đồ thị theo dõi dữ liệu trên hình 5.3 bao gồm các phép đo lưu lượng khí nén và áp suất hệ thống cho thấy có một biến

động tải mang tính chu kỳ. Hơn nữa, dữ liệu về lưu lượng khí nén tại mỗi đường ống cấp riêng lẻ cho thấy một biến động tải trên đường ống cấp 4"(TF1) và một biến động tải khác trên đường cấp 3" (TF2). Dữ liệu cũng chỉ ra rằng ngay sau thời điểm khoảng 7:15, nhu cầu sử dụng khí nén trên đường ống cấp TF2 thay đổi mạnh từ lưu lượng khí nén ban đầu là 8,5 m^3/phút lên 14,8 m^3/phút. Khi phân tích các biến động tải của hệ thống, điều quan trọng là phải đánh giá mối quan hệ giữa sự thay đổi lưu lượng và áp suất. Dữ liệu trên cho thấy, trong khi xảy ra biến động tải thì lưu lượng tăng lên và áp suất giảm xuống. Sau khi biến động tải kết thúc thì lưu lượng giảm đi xuống áp suất lại tăng lên. Đó là biểu hiện rõ ràng của một giai đoạn biến động tải. Mặt khác, nếu cả lưu lượng và áp suất cùng tăng hoặc cùng giảm, điều đó cho thấy rằng, có một biến động ở phía nguồn cung, trong đó công suất máy nén khí tăng hoặc giảm tương ứng.



Dữ liệu nguồn: Power Services

Hình 5.2. Sơ đồ khối hệ thống khí nén kèm vị trí đo lường



Hình 5.3. Sự thay đổi nhu cầu và các dấu hiệu đặc trưng của biến động tải

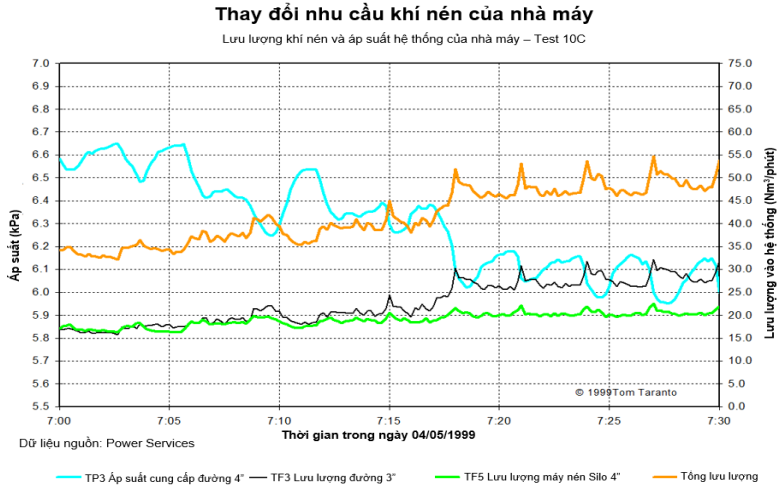
Các biến động tải lặp đi lặp lại thông thường sẽ biểu lộ một dấu hiệu đặc trưng có thể nhận dạng được. Tốc độ giảm áp, mức giảm áp và khoảng thời gian xảy ra biến động sẽ tạo thành các dấu hiệu đặc trưng của biến động tải. Các biến động tải khác nhau sẽ tạo ra những dấu hiệu đặc trưng riêng.

Cần nhận dạng chính xác mối quan hệ giữa các dấu hiệu đặc trưng và các biến động tải đã biết. Một khi đã nhận dạng và xác định được các đặc điểm, có thể đánh giá các tác động mang tính hệ thống của biến động tải khí nén. Các biến động tải có thể là căn nguyên của sự thay

đổi áp suất cục bộ tạm thời hoặc trên toàn hệ thống, tác động tới các hộ tiêu thụ khí nén khác. Ngoài ra, biến động tải có thể kích hoạt việc khởi động/chạy máy nén, trong khi lượng khí nén dự trữ bổ sung có thể ổn định được hệ thống và giảm thời gian chạy máy nén.

Điều tra biểu đồ thay đổi áp suất và lưu lượng là công việc quan trọng để:

1. Đánh giá sự cân bằng giữa cung và cầu của hệ thống và cách thức điều khiển máy nén.
2. Nhận diện các dấu hiệu đặc trưng cho các biến động tải thông thường.
3. Xác định đặc điểm tốc độ giảm áp, độ lớn và khoảng thời gian giảm áp khi xảy ra biến động tải.
4. Định lượng mức thiếu hụt nguồn cung tạm thời và đánh giá lợi ích của việc tăng dung tích dự trữ khí nén và giảm thời gian chạy máy nén.
5. Xác định mối liên hệ giữa các biến động tải đã biết với những thay đổi về đặc tính của phía tiêu thụ khí nén và khả năng đáp ứng của hệ điều khiển phía cung cấp khí nén.



Hình 5.4. Phản ứng của phía cung cấp khí nén với sự thay đổi nhu cầu tiêu thụ

Ngoài sự hiện diện của biến động tải, dữ liệu về lưu lượng của hệ thống khí nén trong hình 5.4 còn cho thấy tổng nhu cầu khí nén nằm trong khoảng từ 35,0 đến 55,0 m^3/phút. Công suất hoạt động của máy nén là 66,6 m^3/phút. Quy đổi ra Nm^3/phút, công suất máy nén là 64,3 Nm^3/phút. Điều đó thể hiện công suất máy nén lớn hơn 11,6 Nm^3/phút so với tổng nhu cầu khí nén.

Tổng lượng khí nén được cấp đi từ phòng máy nén chính dao động từ 17,0 đến 31,0 Nm^3/phút, trong khi công suất hoạt động của máy nén là 44,3 Nm^3/phút. Trong phòng máy nén chính, các máy nén đang chia sẻ tải hoạt động từ 42% đến 64% tổng công suất vận hành kết hợp các

máy nén. Ví dụ về một cuộc đánh giá nhà máy dược phẩm gần đây của ba máy nén khí 150 kW, mỗi máy nén khí đã được đo lường bằng một hệ thống mà Schneider Electric đã lắp đặt vào năm trước. Chín tháng dữ liệu cung cấp đủ thông tin cho các mô hình để thể hiện tiềm năng tiết kiệm vượt quá 35% nếu hoạt động theo các phương pháp tối ưu. Với việc bổ sung đường ống vừa phải và điều chỉnh trên máy nén, máy sấy và điều khiển, hệ thống đã được điều chỉnh để tiết kiệm 35% năng lượng tiêu thụ dự kiến và hơn 7,5 tỷ VNĐ tiết kiệm mỗi năm, và có thời gian hoàn vốn ít hơn một năm. Điều này cũng tương đương với việc giảm tổng lượng điện sử dụng của nhà máy là 13%.

➢ *Đưa ra các phán đoán về tình hình sử dụng khí nén*

Nếu một hệ thống có một máy nén duy nhất với nhu cầu rất ổn định, một hệ thống kiểm soát đơn giản có thể phù hợp. Ngược lại, một hệ thống phức tạp với nhiều máy nén, nhu cầu biến đổi và nhiều loại sử dụng cuối cùng sẽ đòi hỏi một chiến lược phức tạp hơn. Dù cho trường hợp nào, hãy cân nhắc kỹ lưỡng việc lựa chọn kiểm soát máy nén và hệ thống vì chúng có thể là các yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến hiệu suất và hiệu quả của hệ thống.

Một khi các điều khiển được điều chỉnh, đo lại để có các giá trị đo chính xác hơn của công suất tiêu thụ, áp suất và để xác định tải rò rỉ. Tính toán lại sử dụng năng lượng và chi phí. Thực hiện điều này giúp đưa hệ thống vào đúng

quỹ đạo và mang lại các khoản tiết kiệm liên quan đến việc cài đặt kiểm soát không đúng. Tuân theo các bước này sẽ phát hiện ra sự lãng phí năng lượng và nhu cầu sửa chữa trong hệ thống. Các bộ đo lưu lượng rất quý giá trong các hệ thống lớn để xây dựng hồ sơ lưu lượng tổng thể và xác định lượng tiêu thụ và lãng phí thường nhật. Lưu lượng nên được đo:

- Trong các ca làm việc khác nhau để phát hiện các biến động trong việc sử dụng cuối cùng do thiết bị hoặc nhân viên vận hành gây ra.
- Khi các biện pháp tiết kiệm năng lượng được triển khai để theo dõi, xác nhận tiết kiệm và duy trì tiết kiệm theo thời gian.
- Đối với các rò rỉ trong các thời kỳ không sản xuất để theo dõi lãng phí có thể loại bỏ được với bảo dưỡng ngoài ca làm việc.

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 chỉ 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 từ 30% đến 50% 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 từ 130.000 đến 270.000 đồng cho 1000m^3 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:

$$\text{Chi phí} = \frac{\text{P}\times(\#\text{giờ})\times(\text{giá/kWh})\times(\%\text{thời gian})\times(\%\ \text{P đầy tải})}{\text{Hiệu suất động cơ}} \qquad (5.3)$$

Với:

P– Công suất tính theo mã lực 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 đồng, tùy thuộc vào loại máy nén và nhà sản xuất, trong khí chi phí điện hàng năm cho cùng một hệ thống có thể lên đến 1 tỷ đồng. Thêm vào đó 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:

Chi phí điện hàng năm = (Công suất đầy tải của động cơ tính bằng kW) (1/0,90) x (Số giờ vận hành hàng năm) x (Giá điện tính bằng VNĐ/kWh) (5.4)

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 37 kW. 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 quấn 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:

Chi phí điện hàng năm = (Dòng đầy tải) x (Điện áp) x (1,732) x (Hệ số công suất)/1000 x (Số giờ vận hành hàng năm) x (Giá điện tính bằng VNĐ/kWh) (5.5)

➢ *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 đồng mỗi năm.

➢ *Tiết kiệm từ việc cải thiện hiệu suất*

Do chi phí đầu tư ban đầu của máy nén tương đối thấp so với chi phí điện năng trong suốt vòng đời của máy, người dùng nên sử dụng phân tích chi phí vòng đời khi đưa ra quyết định về lắp đặt hệ thống khí nén. Ngoài ra, một hệ thống khí nén hiệu suất cao không chỉ đơn thuần là hệ thống có động cơ tiết kiệm năng lượng hoặc có thiết kế máy nén hiệu quả. Hiệu suất tổng thể của hệ thống là chìa khóa để tiết kiệm chi phí tối đa. Người dùng thường chỉ quan tâm tới chi phí đầu tư ban đầu và chấp nhận giá thầu thấp nhất cho một hệ thống khí nén mà bỏ qua hiệu suất của hệ thống.

Việc phân tích và thiết kế kỹ lưỡng là cần thiết để có được một hệ thống hiệu quả. Nhiều người sử dụng hệ thống khí nén đã bỏ qua các khía cạnh này, nghĩ rằng họ đang tiết kiệm chi phí, nhưng thực tế lại tiêu tốn nhiều chi phí cho năng lượng và bảo trì hơn. Thực hiện các bước được nêu ra trong Tài liệu hướng dẫn có thể giúp tiết kiệm

đáng kể năng lượng cho hầu hết các hệ thống khí nén. Với một hệ thống đã trải qua nhiều lần cải tạo và chỉ được bảo dưỡng vừa đủ để duy trì hoạt động, thì mức tiết kiệm năng lượng có thể đạt được 20 – 50% hoặc cao hơn. Điều đó có nghĩa là, đối với hệ thống có công suất 75 kW như được mô tả trên đây, thì mức tiết kiệm chi phí hàng năm có thể đạt từ 160 - 420 triệu đồng. Các hệ thống lớn hơn tương ứng sẽ tiết kiệm năng lượng nhiều hơn.

Có quá nhiều quyết định liên quan đến hệ thống khí nén được đưa ra dựa trên chi phí đầu tư ban đầu, hoặc với quan điểm "nếu nó chưa hỏng thì đừng sửa". Để đạt được hiệu quả kinh tế tối ưu của hệ thống khí nén, người sử dụng hệ thống cần lựa chọn thiết bị trên cơ sở phân tích chi phí vòng đời, định cỡ các bộ phận một cách thích hợp, tắt các máy nén không cần thiết, sử dụng phương thức điều khiển và dự trữ phù hợp, vận hành và bảo trì thiết bị đúng cách để đạt được hiệu suất cao nhất.

➢ *Tiết kiệm từ việc nâng cao chất lượng điều khiển*

Nâng cao chất lượng điều khiển trong hệ thống khí nén mang lại nhiều lợi ích đáng kể, trong đó tiết kiệm chi phí là một yếu tố quan trọng. Hệ thống khí nén thường được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp, từ sản xuất đến vận chuyển, và việc tối ưu hóa hiệu suất của chúng có thể dẫn đến tiết kiệm năng lượng và chi phí vận hành.

Hầu hết các tổ hợp gồm nhiều máy nén lắp chung đều được điều khiển kém hiệu quả. Việc thiếu một bộ điều khiển trung tâm hoặc việc cài đặt các bộ điều chỉnh của từng máy nén không đúng cách có thể dẫn đến mức tiêu hao điện năng lớn hơn nhiều so với nhu cầu thực tế. Các hệ thống khí nén thường được vận hành ở một áp suất cao hơn đáng kể so với áp suất yêu cầu của các hộ tiêu thụ đơn lẻ. Trong nhiều trường hợp, có thể tiết kiệm được 20% hoặc nhiều hơn điện năng tiêu thụ bằng một số điều chỉnh đơn giản trên các bộ điều khiển máy nén. Ngoài ra, các máy nén được điều chỉnh và vận hành đúng cách sẽ giúp giảm đáng kể chi phí bảo trì hệ thống.

Đầu tiên, việc sử dụng các bộ điều khiển tiên tiến giúp cải thiện độ chính xác và hiệu quả của hệ thống khí nén. Điều này có nghĩa là lượng khí nén được sử dụng đúng mức, không lãng phí, dẫn đến giảm tiêu thụ năng lượng. Ngoài ra, việc giảm thiểu rò rỉ và mất mát khí nén qua các khớp nối và ống dẫn cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tiết kiệm năng lượng.

Thứ hai, cải thiện chất lượng điều khiển còn giúp tăng tuổi thọ của các thiết bị trong hệ thống khí nén. Khi các thiết bị hoạt động hiệu quả và ổn định, chúng ít bị hỏng hóc và ít cần bảo trì hơn, từ đó giảm chi phí sửa chữa và thay thế. Hơn nữa, việc tối ưu hóa lịch trình bảo trì dựa trên dữ liệu thu thập từ các cảm biến và hệ thống giám sát cũng giúp giảm chi phí vận hành.

Cuối cùng, nâng cao chất lượng điều khiển trong hệ thống khí nén cũng góp phần giảm thiểu tác động môi trường. Bằng cách sử dụng năng lượng hiệu quả hơn và giảm lượng khí thải, các doanh nghiệp không chỉ tiết kiệm chi phí mà còn cải thiện hình ảnh và tuân thủ các quy định về bảo vệ môi trường.

5.2.2. Chi phí trong việc đảm bảo chất lượng khí nén theo yêu cầu

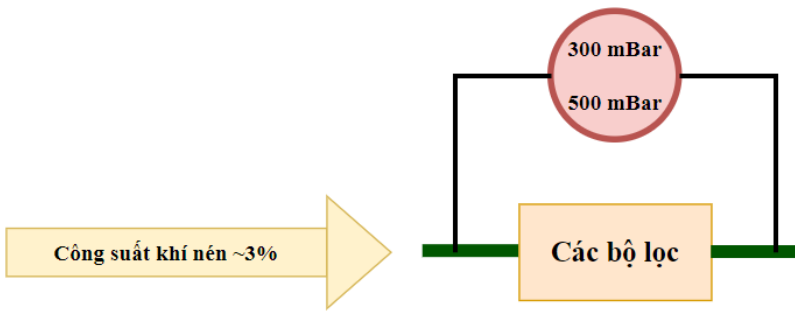
➢ *Chi phí sấy khô bằng không khí*

Nhà phân tích sẽ xác định công nghệ làm khô được sử dụng và năng lượng cần thiết cho mỗi m^3/h khí nén. Sử dụng lưu lượng không khí được tính toán, yêu cầu năng lượng cho việc làm khô không khí có thể được tính toán. Cuối cùng, người khảo sát có thể tính toán chi phí để làm khô một m^3/h mỗi năm bằng cách chia chi phí hàng năm để làm khô cho tỷ lệ sản xuất không khí ở tải đầy bình thường. Các phụ tải điện khác có thể được thêm vào phân tích nếu chúng tồn tại. Tổng cộng cho chi phí năng lượng sản xuất không khí mỗi năm và do đó chi phí trung bình một m^3/h mỗi năm.

➢ *Chi phí lọc*

Một phần của năng lượng được sử dụng để nén không khí sẽ bị mất do quá trình lọc. Chúng ta có thể ước lượng năng lượng bị mất bằng sự giảm áp qua bộ lọc. Để vượt

qua sự giảm áp, chúng ta có thể giả định rằng một máy nén tiêu biểu sẽ tiêu tốn thêm 1% năng lượng cho mỗi 140 millibar tăng áp ở áp suất bình thường. Trong phòng máy nén, chúng ta thường thấy sự giảm áp từ 140 đến 200 millibar hoặc hơn cho các bộ lọc khi mới. Do đó, có thể mong đợi từ 1% đến 2% năng lượng máy nén được sử dụng để phục vụ sự giảm áp của bộ lọc mới. Bộ lọc có thể được mua và lắp đặt một cách hiệu quả về chi phí khi sự giảm áp tăng lên 400 đến 550 millibar so với sự giảm áp khi mới.



Hình 5.5. Chất lượng bộ lọc ảnh hưởng đến lượng năng lượng tiêu thụ

Sự mất này sẽ tăng lên theo thời gian nên việc theo dõi sự giảm áp trên các bộ lọc thông qua các cảm biến áp suất chênh lệch được lắp đặt qua các bộ lọc là rất quan trọng nhằm giúp xác định thời điểm tối ưu để thay chúng. Khi sự giảm áp chênh lệch tăng lên, tỉ lệ phần trăm năng lượng tiêu tốn bởi máy nén để phục vụ sự giảm áp này sẽ tăng lên.

Chi phí của bộ lọc mới có thể được so sánh với chi phí năng lượng bổ sung này. Các bộ lọc có thể được thay đổi khi việc tiết kiệm điện năng bù đắp cho chi phí bộ lọc mới trong khoảng thời gian cần thiết được xác định bởi chủ sở hữu. Chi phí để lọc một m^3/h mỗi năm được tính bằng cách chia chi phí hàng năm của việc lọc cho tỷ lệ sản xuất không khí ở tải đầy bình thường.

➢ *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 3mm sẽ gây ra rò rỉ 0,5 m^3/phút tại áp suất 6 bar. Trong một năm, lỗ rò này gây ra tổn thất hơn 240.000 m^3 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 bẫy kiểu phao và kiểu cơ khí khác có thể bị kẹt khi ở trạng thái mở.

- Cơ cấu xả nước ngưng bằng tay bị hở
- 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, cụm FRL (bộ lọc, điều áp, bôi trơn), bẫy 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.

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

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
4mm	0,980	6,5
6mm	2,120	12,0

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:

$$V_L = \frac{V_R \times (P_I - P_F)}{T} \qquad (5.6)$$

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

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:

$$V_L = \frac{V_C \times t}{T} \quad (5.7)$$

Trong đó:

V_L = Lưu lượng rò rỉ
V_C = Năng suất của máy nén khí (m^3/min)
t = Thời gian chạy mang tải của máy nén
T = Tổng 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 đạc 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).

Bảng 5.2.2. Thoát khí qua lỗ tiết lưu

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
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
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

Ví dụ: Một nhà máy hóa chất đã thực hiện chương trình khắc phục rò rỉ sau một cuộc đánh giá hệ thống khí nén trong nhà máy của họ. Các lỗ rò rỉ, gần tương đương với các kích thước lỗ khác nhau, được phát hiện như sau: 100 lỗ rò rỉ 0,8 mm ở áp suất 6,2 bar, 50 lỗ rò rỉ 1,6 mm ở áp suất 6,2 bar, và 10 lỗ rò rỉ 6,4 mm ở áp suất 6,7 bar. Tính mức tiết kiệm chi phí hàng năm nếu những chỗ rò rỉ này được loại bỏ. Giả thiết rằng số giờ hoạt động hàng năm là 7000 giờ, giá điện là 1.800 VNĐ/kWh, và công suất điện cần thiết để sản xuất khí nén khoảng 18 kW/100m^3/phút.

Mức tiết kiệm chi phí = # rò rỉ x mức rò rỉ (m^3/phút) x kW/m^3/phút x # số giờ x VNĐ/kWh

Sử dụng các giá trị mức rò rỉ từ bảng trên và giả sử các lỗ rò có mép sắc:

Mức tiết kiệm từ các lỗ rò rỉ 0,8 mm:

100 x 1,5 x 0,61 x 0,18 x 7000 x 1800 = 207.522.000 đồng

Mức tiết kiệm từ các lỗ rò rỉ 1,6 mm:

50 x 5,9 x 0,61 x 0,18 x 7000 x 1800 = 408.126.600 đồng

Mức tiết kiệm từ các lỗ rò rỉ 6,4 mm:

10 x 104 x 0,61 x 0,18 x 7000 x 1800 = 1.438.819.200 đồng

Tổng mức tiết kiệm chi phí từ việc loại bỏ các chỗ rò rỉ này xấp xỉ 2,1 tỷ đồng.

Lưu ý rằng mức tiết kiệm chi phí từ việc khắc phục 10 lỗ rò rỉ 6,4mm đã chiếm 70% tổng mức tiết kiệm được. Khi các chỗ rò rỉ đã được xác định, điều quan trọng là ưu tiên khắc phục những chỗ rò rỉ lớn nhất trước.

MỘT SỐ NỘI DUNG CẦN CHÚ Ý:

- Nhiều hệ thống lãng phí đến 50% hoặc nhiều hơn lượng khí nén tiêu thụ.
- Quản lý hệ thống khí nén phải tập trung vào hiệu suất hơn là các mục tiêu truyền thống như trước đây.
- Thiết kế khí động sẽ xác định đặc tuyến cột áp và lưu lượng cho máy nén ly tâm.
- Xác định lưu lượng khí nén trung bình và lưu lượng đỉnh trong chế độ hoạt động.
- Phân loại nhu cầu khí nén thuộc dạng "dòng tĩnh" và "dòng động".
- Đồng hồ đo áp suất có phản ứng chậm với sự thay đổi áp suất. Có thể cần phải sử dụng các đầu dò áp suất có tốc độ lấy mẫu cao để ghi lại sự thay đổi áp suất.
- Lựa chọn kích cỡ của tất cả các thiết bị kết nối dựa trên điều kiện hoạt động thực tế của ứng dụng. Phải tính đến lưu lượng khí nén để đáp ứng được tải đỉnh, không lựa chọn kích cỡ thiết bị dựa trên lưu lượng trung bình.
- Lượng khí nén rò rỉ có thể được giảm đi bằng cách điều chỉnh áp suất của hệ thống xuống thấp hơn.

- Nhu cầu khí nén giả có trong lượng khí rò rỉ hoặc các nhu cầu khí nén không được kiểm soát.
- Đánh giá các hộ sử dụng có yêu cầu áp suất khí nén cao.
- Xác thực các yêu cầu áp suất cao đã được cảm nhận.
- Kiểm tra áp suất động của nguồn cung đến các thiết bị sử dụng khí nén.
- 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.
- 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.

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. Phương pháp tiếp cận hệ thống

Việc đánh giá toàn diện sẽ xem xét toàn bộ hệ thống khí nén, bao gồm: hệ thống sản xuất, xử lý, tồn trữ, phân phối, sử dụng và các tổn thất khí nén. Đánh giá hệ thống khí nén là một nghiên cứu kỹ thuật chi tiết để điều tra hoạt động của một hệ thống khí nén. Việc đánh giá được bắt đầu bằng việc lập danh sách các mục tiêu đã được xác định. Đánh giá là một quá trình khảo sát, trong đó tiến hành đo đạc và xác định các đặc tính của hệ thống theo các mục tiêu đã được định trước.

Việc áp dụng phương pháp tiếp cận hệ thống để đánh giá hệ thống khí nén sẽ cho phép xem xét hiệu suất tổng thể, thay vì chỉ từng thành phần riêng lẻ. Nghiên cứu sẽ xem xét tất cả các hệ thống phụ và thành phần như máy nén khí, bộ tách ẩm, bộ lọc, thiết bị tồn trữ, đường ống, công cụ và máy động lực sử dụng khí nén. Phạm vi đánh giá bao gồm từ đầu vào năng lượng sản xuất khí nén đến các thiết bị sử dụng năng lượng này để sinh công.

Đánh giá hệ thống khí nén cần xét đến hiệu quả chi phí, tránh lãng phí thời gian và tiền bạc cho các hệ thống tiêu thụ ít năng lượng. Mỗi hệ thống khí nén và cuộc đánh giá đều khác nhau, nhưng phải đánh giá toàn bộ hệ thống. Không cần chia đều thời gian và công sức cho tất cả các thành phần, nhưng phải đảm bảo đánh giá toàn diện để hiểu được hoạt động, hiệu suất, và cơ hội cải tiến của từng thành phần.

Các thông tin khảo sát thu thập được sẽ giúp chúng ta:

- Nắm được ứng dụng của các hộ tiêu thụ khí nén cũng như các chức năng quan trọng sản xuất mà chúng thực hiện.
- Điều chỉnh các ứng dụng hoạt động kém hiệu quả hiện có và các ứng dụng làm rối loạn hoạt động của hệ thống.
- Loại bỏ các hoạt động lãng phí, rò rỉ, nhu cầu giả và sử dụng không phù hợp.

- Thiết lập và duy trì cân bằng năng lượng giữa cung cấp và tiêu thụ khí nén.
- Tối ưu hóa việc tồn trữ năng lượng khí nén và điều khiển máy nén khí.

6.2. Phân tích để cải thiện hệ thống khí nén

6.2.1. Đánh giá năng suất máy 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.

- 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 P2 (trong bể chứa) từ áp suất ban đầu P1.

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

Năng suất của máy:

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

Trong đó:

P_2 = Áp suất cuối (đẩy) (bar)

P_1 = Áp suất đầu (hút) (bar)

P_o = Áp suất khí quyển (bar)

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

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 (m^3/h)

r = Tỷ số nén P_2/P_1

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

6.2.2. 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, bẫy 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 bẫy 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 m^3/phút và cũng tỷ lệ với bình phương đường kính của lỗ rò.

Tổng lượng rò rỉ (%) được tính như sau:

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

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 và 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 (m^3/phút), thì lượng rò rỉ của hệ thống (m^3/phút) sẽ là:

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

6.2.3. 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, roto, cánh trượt. 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

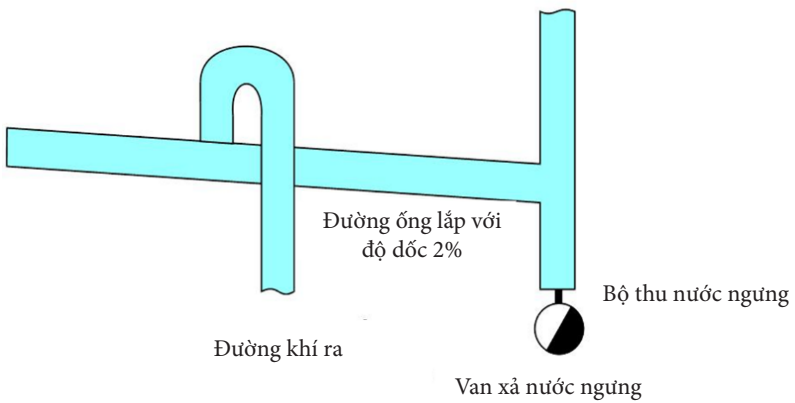
trừ khi khí nén được cung cấp tới các thiết bị không nhạy cảm nhiệt.

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 xiết 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.



Hình 6.1. Kiến nghị vị trí lắp van 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. Một sô cách áp dụng thực hành cho các biện pháp tối ưu hệ thống

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 bẫy nước để đảm bảo chúng hoạt động đúng cách. Thay thế các bẫy 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.

MỘT SỐ NỘI DUNG CẦN CHÚ Ý:

- Thiết lập áp suất mục tiêu thích hợp cho điểm kết nối với hộ tiêu thụ.
- Tách ẩm khí nén đến độ ẩm phù hợp. Việc tách ẩm quá mức sẽ rất tốn kém và nên tránh.
- Tránh lọc khí quá mức cần thiết, duy trì cấp độ sạch của khí nén phù hợp với yêu cầu sử dụng.
- Phương pháp tiếp cận hệ thống là một phương pháp tiếp cận tích hợp, không chỉ quan tâm đến hiệu suất của từng thành phần đơn lẻ.
- Đánh giá năng suất máy nén: đánh giá lưu lượng định mức tối đa của dòng khí nén dựa vào nhiệt độ không khí, áp suất ổn định, hằng số vòi phun.
- Đo hiệu suất máy nén: gồm hiệu suất thể tích, hiệu suất đoạn nhiệt, hiệu suất đẳng nhiệt và hiệu suất cơ học.
- Tổn thất phân phối trong hệ thống khí nén: rò rỉ khí nén gây tổn thất lớn gây làm tăng công suất máy nén không cần thiết.
- Mục tiêu đánh giá: Hiệu quả chi phí, tránh lãng phí, hiểu hoạt động, hiệu suất, cơ hội cải thiện từng thành phần.

- Cần loại bỏ các quá trình sử dụng khí nén không phù hợp.
- Thông tin thu thập: Ứng dụng, điều chỉnh ứng dụng kém hiệu quả, loại bỏ lãng phí, rò rỉ, thiết lập cân bằng cung - cầu, tối ưu hóa lưu trữ, điều khiển máy nén.

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 OfficeOffice of Energy Efficiency & Renewable Energy
4. Compressed Air Systems – Energy university – Schnieder electric

Cẩm nang
HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT
VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN CÔNG NGHIỆP NHẰM TỐI ƯU HÓA SỬ DỤNG HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP

NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG

Trụ sở: Số 655 Phạm Văn Đồng, phường Nghĩa Đô, Hà Nội
Điện thoại: 024 3 934 1562 * **Fax:** 024 3 938 7163
Website: http://nxbcongthuong.vn
Email: nxbct@moit.gov.vn

Chịu trách nhiệm xuất bản
Giám đốc - Tổng biên tập
Trương Thu Hiền

Biên tập:
Tôn Nữ Thanh Bình

Thiết kế bìa:
Vương Nguyễn

Trình bày:
Vũ Việt Dũng

Số xác nhận đăng ký xuất bản phẩm điện tử: 3760-2025/CXBIPH/1-265/CT
Số quyết định xuất bản phẩm điện tử: 639/QĐ - NXBCT cấp ngày 15 tháng 10 năm 2025
Mã ISBN: 978-632-612-616-7
Đăng tải tại website: ebook365.vn; nxbcongthuong.vn
Nộp lưu chiểu quý IV năm 2025

Cẩm nang

HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT

VỀ HỆ THỐNG KHÍ NÉN CÔNG NGHIỆP NHẰM TỐI ƯU HÓA SỬ DỤNG HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP

VNEEP

CHƯƠNG TRÌNH QUỐC GIA VỀ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TIẾT KIỆM VÀ HIỆU QUẢ GIAI ĐOẠN 2019-2030

Cục Đổi mới sáng tạo, Chuyển đổi xanh và Khuyến công - Bộ Công Thương

54 Hai Bà trưng, Phường Cửa Nam, TP. Hà Nội

024.2220.2358

tietkiemnangluong.com.vn

ISBN: 978-632-612-616-7

SÁCH KHÔNG BÁN