

Phương pháp định lượng tốc độ rò rỉ (LRQ) cho máy chụp ảnh sóng âm

TS.

Toros Senan Kỹ thuật nghiên cứu âm học

Giới thiệu

Nhiều ứng dụng yêu cầu phát hiện rò rỉ. Trong số các hệ thống thường được sử dụng trong công nghiệp, hệ thống khí nén được sử dụng trong nhiều ứng dụng và được triển khai phổ biến nhất trong các nhà máy sản xuất.

Nguyên lý hoạt động của Fluke ii900/ii910

Fluke ii900/ii910 sử dụng 64 micro được sắp xếp và bố trí đặc biệt tối ưu. Ở giữa là một máy ảnh ánh sáng khả kiến để cung cấp hình ảnh thực tế. Thiết bị sử dụng các thuật toán phức tạp để chụp được một bản đồ âm thanh hoặc ảnh của nguồn âm thanh, sau đó bản đồ âm thanh được xếp chồng lên ảnh thực. Tùy vào vị trí của nguồn âm thanh trong trường nhìn của ii900/ii910, âm thanh được thu nhập sẽ có chút khác biệt ở từng micro. Sự khác biệt về thời gian đến của sóng âm giữa các micro cho phép định vị vị trí của nguồn âm thanh: Nếu âm thanh đến từ bên phải thiết bị, các micro ở bên phải sẽ nhận âm thanh sớm hơn các micro ở bên trái khoảng một phần nhỏ của một giây. ii900/ii910 sẽ hiển thị vị trí của nguồn âm thanh đó ở bên phải màn hình.

ii900/ii910 phát hiện rò rỉ như thế nào?

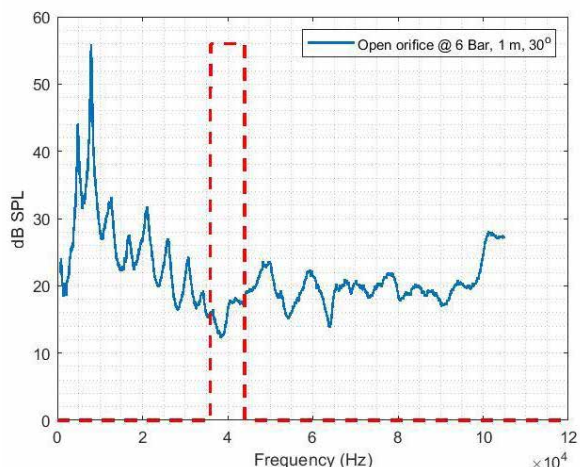
Khi rò rỉ xảy ra trong hệ thống khí nén, các phân tử khí (không khí) thoát ra sẽ sinh ra các dòng chảy rối, điều này gây nên những thay đổi nhanh chóng của áp suất và tốc độ dòng chảy. Những thay đổi này có thể được truyền đi dưới dạng sóng âm. ii900/ii910 có khả năng phát hiện vị trí và cường độ của những sóng âm này.

Khí nén rò rỉ vào khí quyển tạo nhiều dải tần rộng ở cả phạm vi tần số âm thanh khả thính và siêu âm (Eret và Meskell, 2012; Holstein và các đồng sự, 2016). Trong các hệ thống khí nén, các cảm biến siêu âm dải tần hẹp (tập trung quanh 40 kHz) là dụng cụ được sử dụng rộng rãi để định vị rò rỉ. Tuy nhiên, việc sử dụng cảm biến siêu âm dải tần hẹp có một số hạn chế.

Khoảng cách giữa điểm rò rỉ và thiết bị đo và góc đo là các yếu tố thiết yếu đóng góp vào mức độ hiệu quả của cảm biến siêu âm: Thứ nhất, âm thanh tần số cao bị suy giảm nhanh chóng bởi sự hấp thụ của khí quyển (xem Wolstencroft và Neale, 2008).

Thứ hai, mức áp suất âm thanh được tạo bởi rò rỉ khí nén khác nhau tùy vào góc đo (Wolstencroft và Neale, 2008). Ngoài ra, môi trường ồn sẽ làm giảm hiệu suất của cảm biến siêu âm dải tần hẹp (Eret và Meskell, 2012). Sử dụng các cảm biến dải tần rộng hoạt động ở cả phạm vi tần số âm thanh khả thính và siêu âm cho phép người dùng khắc phục được những hạn chế đề cập ở trên. Khả năng chuyển đổi linh hoạt dải tần số làm tăng độ tin cậy của thiết bị phát hiện rò rỉ. Ví dụ: như trong Hình 1, bạn có thể thấy khí nén rò rỉ ra ngoài khe hở dưới áp suất hệ thống là 6 bar tạo ra tiếng ồn dải tần rộng. Hình 1 cho thấy vùng tần số với mức áp suất âm thanh đo được lớn nhất nằm trong phạm vi âm thanh khả thính. Ngược lại, mức áp suất âm thanh đo được trong phạm vi tần số 35 – 45 kHz (đường ngắt quãng màu đỏ trong Hình 1) thấp hơn đáng kể so với phần còn lại của phổ tần số.





Hình 1: Rò rỉ khí nén qua lỗ hở (1/4 inch). Phép đo được tính cách nguồn rò rỉ 1 mét với góc phép đo 30 độ bằng ii910. Đường màu xanh dương hiển thị phổ mịn và đường đứt quãng màu đỏ cho biết vùng tần số quanh 40 kHz.

Chỉ giới hạn một số ít nghiên cứu điều tra các đặc tính tần số của âm thanh rò rỉ khí nén. Trong nghiên cứu của Holstein và các đồng sự (2016), phổ tần số của phép đo rò rỉ khí nén với tốc độ dòng chảy tăng có tính hệ thống được trình bày (xem Hình 2 trong Holstein và các đồng sự, 2016). Nguồn rò rỉ là lỗ hở tròn và các phép đo được tính từ khoảng cách 20 cm cách nguồn. Phổ tần số hiển thị cho thấy tốc độ dòng chảy càng lớn thì năng lượng càng tăng ở dải tần trên 50 kHz. Đối với tốc độ dòng chảy lớn nhất đo được trong thử nghiệm, phổ tần số cho thấy đỉnh biên độ âm vào khoảng 80 kHz.

Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng phát hiện rò rỉ

Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng phát hiện rò rỉ được thảo luận riêng trong phần trình bày. Nên lưu ý rằng các yếu tố được giải thích trong phần trình bày ảnh hưởng nhau và nên được coi là các thành phần đơn lẻ của một hiện tượng phức tạp.

Các yếu tố nguồn rò rỉ:

- Áp suất hệ thống** Nhìn chung, áp suất hệ thống càng lớn, rò rỉ càng lớn, dẫn đến cường độ âm thanh càng cao, và càng dễ phát hiện hơn.
- Tốc độ dòng chảy** Giống như áp suất, tốc độ dòng chảy của hệ thống càng cao, rò rỉ càng lớn, dẫn đến cường độ âm thanh đo được tại vị trí rò rỉ càng cao. Cường độ âm thanh càng cao thì càng dễ phát hiện sóng âm.

3. Kích cỡ và hình dạng của lỗ hở

Kích cỡ và hình dạng của lỗ hở cần được xem xét cùng nhau. Khi chúng tôi xem xét một loạt điểm rò rỉ khí tiềm ẩn, thật khó để đưa ra các hướng dẫn về ảnh hưởng của hình dạng và kích cỡ đối với việc phát hiện rò rỉ. Danh sách này cho thấy một số nguồn rò rỉ tiềm ẩn. Cả kích cỡ và hình dạng của lỗ hở khác nhau ứng với từng mục trong danh sách Các ống dẫn khí và các đầu nối ống hoặc khớp nối

- Đầu nối bị mòn hoặc đầu nối thiếu vòng chữ O
- Bộ lọc, bộ bôi trơn và bộ điều chỉnh, nếu bị lắp sai
- Van xả mở
- Bẫy hơi mở
- Rò rỉ hoặc hỏng van xả
- Keo làm kín ren chất lượng kém hoặc hỏng hoặc dùng sai keo làm kín ren
- Van điều khiển đóng ngắt
- Phốt hoặc gioăng bị mòn
- Dụng cụ khí nén cũ hoặc bị bảo trì kém
- Máy không được sử dụng hoặc ngừng sản xuất thiết bị có đầu nạp khí

Khí	Công thức	Po (Kg/m ³)
Axetylen	C ² H ²	1,173
Không khí	-	1,2929
Amoniac	NH ³	0,7710
Agon	A	1,7837
Cacbon dioxit	CO ²	1,977
Cacbon monoxit	CO	1,250
Clo	Cl ²	3,214
Etan (10°C)	C ² H ⁶	1,356
Ethylene	C ² H ⁴	1,260
Heli	He	0,1785
Hydrô	H ²	0,0899
Hydrosulfua	H ² S	1,539
Métan	CH ⁴	0,7168
Neon	Ne	0,9003
Nitơ oxit (10°C)	NO	1,34
Nitơ	N ²	1,2506
Ôxit nitơ	N ² O	1,977
Ô xy	O ²	1,429
Prôban	C ³ H ⁸	2,9009
Lưu huỳnh dioxit	SO ²	2,927
Hơi (100°C)	H ² O	0,598
Lưu huỳnh hexaflorua	SF ⁶	6,17
Môi chất lạnh R134a***	CH ² FCF ³	14,433

Bảng 1: Danh sách giá trị mật độ cho các loại khí. Mật độ khí, po, ở 0°C 1ATM*

*Handbook of Chemistry and Physics. 48th ed.

**https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride

***https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html

Các đặc tính chất lỏng

Các đặc tính chất lỏng ảnh hưởng đến âm thanh được tạo khi nó thoát ra từ chỗ rò rỉ.

4. Mật độ

Bảng bên dưới cho thấy mật độ của các loại khí ở đơn vị Kg/m³ ở 0°C và một áp suất khí quyển. Mật độ của khí có ảnh hưởng lên cường độ âm thanh của điểm rò rỉ. Ví dụ: Khí Heli với mật độ thấp, nghĩa là khi so với khí nén, giả sử ở cùng tốc độ dòng chảy và áp suất, mức áp suất âm thanh đo được tại vị trí rò rỉ sẽ thấp hơn. Kinh nghiệm thực tế xác nhận rằng phát hiện rò rỉ Heli là một thách thức lớn.

5. Vận tốc

Vận tốc của khí ảnh hưởng lên mức áp suất âm thanh ở vị trí rò rỉ. Tuy nhiên, ảnh hưởng của vận tốc sẽ thấp hơn mật độ.

6. Nhiệt độ môi trường

Chúng tôi xem xét nhiệt độ môi trường xung quanh ở cả nguồn rò rỉ và đường dẫn. Đối với nguồn rò rỉ, nhiệt độ môi trường sẽ ảnh hưởng đến mật độ và vận tốc. Cả hai yếu tố này sẽ thay đổi mức áp suất âm thanh tại vị trí rò rỉ. Khi nhiệt độ môi trường tăng lên, động năng phân tử cũng tăng, dẫn đến sự tăng cường độ âm thanh ở điểm rò rỉ.

7. Áp suất môi trường

Áp suất môi trường sẽ có ảnh hưởng trực tiếp lên mật độ của một chất khí. Giảm áp suất môi trường sẽ dẫn đến giảm mật độ, từ đó giảm cường độ âm thanh ở điểm rò rỉ.

8. Khoảng cách từ rò rỉ đến máy ảnh

Khoảng cách đo ảnh hưởng đến mức áp suất âm thanh đo được. Khi âm thanh lan truyền từ nguồn ra mọi hướng, cường độ âm thanh giảm theo khoảng cách.

9. Nhiệt độ môi trường

Thay đổi trong nhiệt độ môi trường có thể thay đổi cả mật độ và vận tốc của khí. Cả hai đều ảnh hưởng đến tốc độ của âm thanh khi nó đi qua môi trường. Khi nhiệt độ tăng, âm thanh di chuyển nhanh hơn. Thay đổi nhiệt độ môi trường là một trong các cơ chế ảnh hưởng đến năng lượng âm học được môi trường xung quanh hấp thụ. Đối với tần số thấp và khoảng cách ngắn, ảnh hưởng của nhiệt độ lên khả năng hấp thụ của không khí là không đáng kể (Harris, 1966). Tuy nhiên, đối với các tần số rất cao và khoảng cách xa, mức áp suất âm thanh có thể giảm đáng kể (Vladišauskas và Jakevičius, 2004).

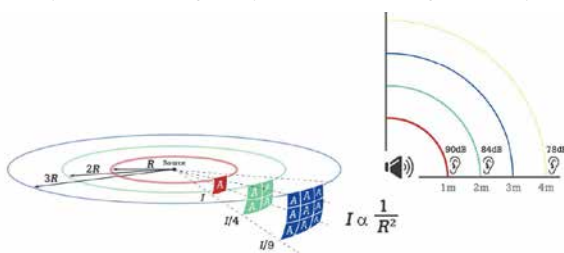
10. Độ ẩm

Cơ chế thứ hai ảnh hưởng đến mức áp suất âm thanh do khả năng hấp thụ của không khí là độ ẩm. Do ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh, trong điều kiện bình thường, sự ảnh hưởng của độ ẩm lên mức áp suất âm thanh là không đáng kể (Harris, 1966). Ảnh hưởng đáng kể đối với các tần số rất cao và mức độ ẩm cao (Vladišauskas và Jakevičius, 2004).

11. Áp suất môi trường

Áp suất môi trường gần như không tác động đến mức áp suất âm thanh đối với khí lý tưởng vì cả mật độ không khí và áp suất khí đều có tác động tương tự nhưng ảnh hưởng ngược lại lên tốc độ âm thanh. Hai đóng góp hủy bỏ. Do đó, không có sự khác biệt được mong đợi giữa mức áp suất âm thanh của vị trí rò rỉ và tại vị trí đo do áp suất môi trường.

Các yếu tố đường truyền và hiệu ứng khí quyển



Khoảng cách giữa nguồn âm thanh và vị trí đo trong trường đồng nhất tăng gấp đôi sẽ làm giảm cường độ âm thanh xuống 6 dB.

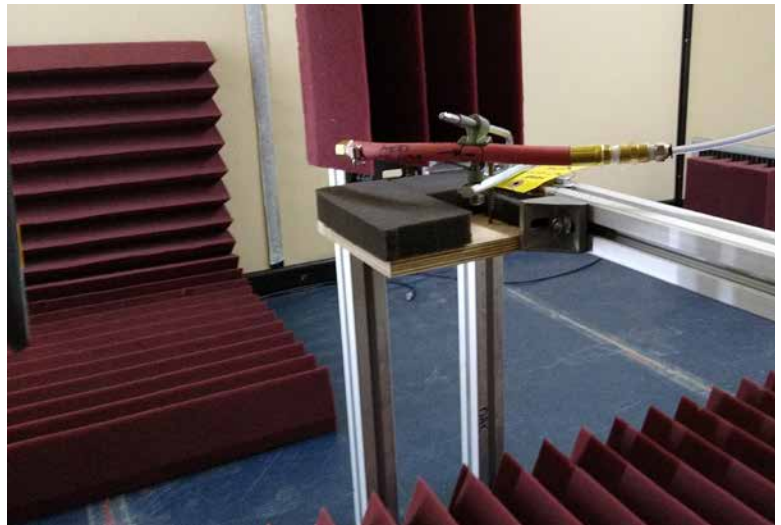
ii900/ii910 đo các thuộc tính rò rỉ nào?

ii900/ii910 phát hiện loại rò rỉ và ước tính tốc độ dòng chảy của rò rỉ dựa trên âm thanh thu nhận được. Một bộ các thí nghiệm được thiết kế và tiến hành để phát triển cách thức phân loại rò rỉ và các thuật toán ước tính tốc độ dòng chảy.

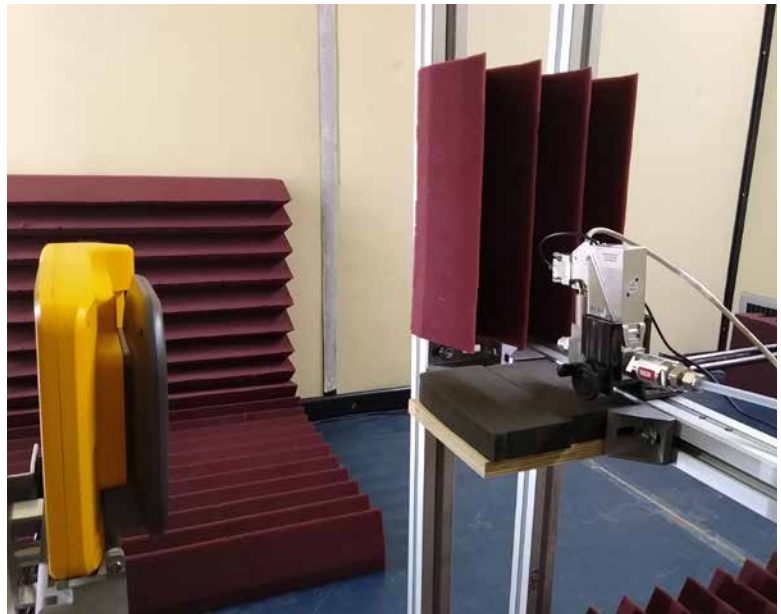
Phân loại rò rỉ trong ii900/ii910

ii900 và ii910 phân loại dữ liệu rò rỉ qua sóng âm thu được dựa trên vị trí xuất hiện: Ống mềm, đầu hồ, kết nối nhanh và khớp nối có ren. Bốn phân loại, bốn loại rò rỉ được lắp đặt vào cuối hệ thống ống khí nén và các phép đo âm học được thực hiện trong buồng bán âm vang. Hai ví dụ của thiết lập thử nghiệm được trình bày trong Hình 3 và Hình 4. Sử dụng các loại đầu nối để hình thành bốn tình trạng rò rỉ cho thử nghiệm được trình bày trong Hình 5.

1. **Ống mềm:** Ống mềm là ống mềm dẻo cho phép ghép nối dễ dàng. Tuy nhiên, trái ngược với ống kim loại và đồng thau, ống mềm là vật liệu nhạy cảm hơn. Vì vậy, các lỗ và vết cắt cụ thể dễ hình thành dọc ống mềm chỗ kết nối đường ống với các thiết bị khí nén. Rò rỉ đường cắt ống được dùng để thu thập dữ liệu sóng âm của rò rỉ ống mềm để phân loại và dự đoán tốc độ dòng chảy (Hình 3 và Hình 5a).
2. **Đầu hồ:** Ống đầu hồ hoặc lỗ hở là loại rò rỉ phổ biến nhất được dùng trong các nghiên cứu khoa học (tham khảo). Rò rỉ xảy ra khi phần tạo ống/đường ống của hệ thống được để hở. Ống đầu hồ được dùng trong thử nghiệm phân loại và dự đoán tốc độ dòng chảy suốt giai đoạn phát triển của ii900 (Hình 4 và Hình 5b).
3. **Kết nối nhanh:** Gá lắp kết nối nhanh, còn gọi là khớp nối nhanh hoặc đầu nối nhanh, cho phép kết nối dễ dàng và nhanh chóng. Gá lắp kết nối nhanh dựa vào các góc nghiêng trượt theo một hướng và có khả năng chống kéo theo hướng ngược lại. Thông thường, một hoặc nhiều góc nghiêng trong này bị hỏng và khí nén rò rỉ qua đầu nối nhanh. Khí rải rác quanh đầu nối và hướng rò rỉ khí nén khác nhau cho mỗi trường hợp biến dạng. Đầu nối nhanh biến dạng được dùng cho các phép đo âm học trong giai đoạn phát triển phân loại và thuật toán ước tính tốc độ dòng chảy của ii900/ii910 (Hình 5c).
4. **Khớp nối có ren:** Thông thường đầu nối có ren được dùng cho điểm cuối của hệ thống khí nén. Đầu nối có ren phải được đặt cẩn thận và điều chỉnh chính xác, có tính đến số lượng ren phải trượt vào đầu ống. Đôi khi các kỹ sư có thể để các phần đầu này lỏng ra. Ngoài ra, đầu nối có ren có thể bị biến dạng với nhiều trường hợp sử dụng. Trong những trường hợp như vậy, khí nén rò rỉ qua đầu nối, gây hại cho hiệu suất của hệ thống. Đầu nối có ren lắp lỏng được dùng như nguồn rò rỉ trong thử nghiệm (Hình 5d).



Hình 3: Phép đo loại rò rỉ ống tại góc 30 độ.



Hình 4: Thiết lập thử nghiệm của phép đo rò rỉ đầu hồ ở góc 90 độ.



Hình 5: Bốn loại rò rỉ được điều tra trong thử nghiệm: ống mềm (a), đầu hồ (b), kết nối nhanh (c) và khớp nối có ren (d).

Chỉ số Định lượng tốc độ rò rỉ

ii900/ii910 với khả năng ước tính về tốc độ dòng chảy tại vị trí rò rỉ dựa trên dữ liệu sóng âm thu thập được. Các thuật toán tốc độ dòng chảy được thiết kế dựa trên kết quả của phép đo trong phòng thí nghiệm và được tiến hành trong buồng bán âm vang. Vì các đặc tính sóng âm khác nhau của từng loại rò rỉ, có một thuật toán dự đoán tốc độ dòng chảy cho mỗi loại rò rỉ. Do đó, các thuật toán dự đoán tốc độ dòng chảy hoạt động sau giai đoạn phân loại.

Tốc độ dòng chảy được dự đoán của loại rò rỉ sau đó được chuyển thành chỉ số định lượng tốc độ rò rỉ (LRQ). LRQ lấy giá trị từ 0 đến 10. Giá trị LRQ càng cao, tốc độ dòng chảy càng lớn tại vị trí rò rỉ và có thể được dùng để tạo ra các đề xuất trong việc sửa chữa.

Kết luận

ii900/ii910 cung cấp dải tần số đo một cách hiệu quả và giải pháp thiết bị cầm tay thân thiện với người dùng khắc phục được những khó khăn trong việc phát hiện và định lượng rò rỉ. Tính năng LRQ quan trọng đối với việc duy trì hiệu suất của hệ thống khí nén và các chức năng báo cáo hữu ích cho các kỹ sư bảo trì.

Tham khảo

Eret, P., & Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012.

Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 40(1), 148-159.

Holstein, P., Barth, M., & Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. In *Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing* (pp. 13-17).

Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.

Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. *Proceedings of Acoustics (AAS'08)*.

Fluke. *Giữ cho thế giới của bạn không ngừng vận động.*

Fluke Corporation
P.O. Box 9090
Everett, WA USA 98206
Web: www.fluke.com

Representative office of Fluke South East Asia Pte Ltd
C/O Danaher Vietnam
Green Power Tower, 11th Floor Unit 2
35 Ton Duch Thang Street, District 1
Ho Chi Minh City
Vietnam
Tel: +84-8-2220-5371 (ext 103)
Email: info.asean@fluke.com
www.fluke.com/vn

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853
In Europe/M-East/Africa
+31 (0)40 267 5100
In Canada (905) 890-7600
From other countries +1 (425) 446-5500

©2020-2021 Fluke Corporation.
Specifications subject to change without notice.
06/2021 210581-vi

Modification of this document is not permitted without written permission from Fluke Corporation.