

## ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MỘT ĐỒNG HỒ KHÍ KIỂU MÀNG

## ACCURACY EVALUATION OF A DIAPHRAGM GAS METER

Nguyễn Lan Phương<sup>1,\*</sup>, Phạm Thị Mai Anh<sup>2</sup><sup>1</sup>Khoa Cơ khí chế tạo máy, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội<sup>2</sup>Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Mở – Địa chất

## TÓM TẮT

Đo lường là khâu quan trọng và không thể thiếu trong sản xuất và đời sống. Một trong các loại dụng cụ đo phổ biến hiện nay là lưu lượng kế, cho phép phát hiện và định lượng chính xác dòng chảy đi qua. Đồng hồ khí kiểu màng là một loại lưu lượng kế thông dụng trên thế giới nhờ cấu tạo đơn giản, dùng để đo lượng khí ga sử dụng trong các gia đình. Trước nhu cầu sử dụng khí gas ngày càng phổ biến ở những vùng khó khăn trong việc điện khí hóa, việc thiết kế, xây dựng một hệ thống đường ống cung cấp gas đến từng hộ gia đình trở nên cấp thiết. Để có thể sản xuất hàng loạt các đồng hồ đo gas cho từng hộ gia đình, việc nghiên cứu, tính toán đồng hồ khí là điều không thể thiếu. Bài báo này đưa ra những tính toán định lượng của một mẫu đồng hồ khí G1.6, từ đó quyết định sai số chế tạo cần thiết của van, bộ phận quyết định chính độ chính xác của đồng hồ khí. Kết quả nghiên cứu có thể được dùng làm tài liệu tham khảo trong việc tính toán, thiết kế, chế tạo đồng hồ khí kiểu màng.

**Từ khóa:** Lưu lượng kế; Đồng hồ khí kiểu màng; Tính toán thể tích khí; Đánh giá độ chính xác.

## ABSTRACT

Metrology is a key factor in manufacturing and social life as well. One of the most common measuring equipment is flow meters, which can detect and measure the passing flow accurately. Diaphragm gas meters are simple tools which can measure the gas volume used in families. Nowadays, consuming gas is getting increasingly popular in areas where it is difficult for electricity, designing and building a gas supply system is necessary. In order to manufacture a gas meter for each family, studying and calculating a sample of gas meter must be conducted. Based on the model of a diaphragm gas meter G1.6, this study calculated some important parameters, such as: ratio, gas volume, then proposed manufactured error permission of the valve, the part mostly decided the accuracy of the gas meter. The finding of this research could be used as a reference for calculating, designing, and manufacturing a diaphragm gas meter further.

**Keywords:** Flow meter; Diaphragm gas meter; Gas volume calculation; Accuracy evaluation. 

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đo lưu lượng chất lỏng và chất khí là một lĩnh vực có ý nghĩa to lớn trong khoa học, sản xuất và đời sống. Nó không chỉ phổ biến trong mạng lưới vận chuyển dầu khí, chất đốt,... mà còn trong các thiết bị công nghiệp để khống chế dòng chảy tham gia vào các quá trình sản xuất khác nhau như ở lò phản ứng, xí nghiệp dệt nhuộm, các thiết bị cung cấp nước sạch,... [1]. Không phổ biến như các thiết bị đo lưu lượng chất lỏng, các dụng cụ đo lưu lượng chất khí (trong bài báo này gọi là “đồng hồ khí”) vẫn giữ được vị trí quan trọng trong việc định lượng và khống chế chất khí cho các mục đích sử dụng khác nhau như cung cấp khí đốt (gas) trong công nghiệp và dân dụng. Tùy từng điều kiện kỹ thuật và điều kiện sử dụng nhất định, đồng hồ khí có nhiều kiểu khác nhau như kiểu roto, kiểu piston, kiểu tuốc-bin, kiểu màng [2]. Đồng hồ khí kiểu màng là loại được sử dụng nhiều nhất do cấu tạo và hoạt động đơn giản. Hình 1 là một đồng hồ khí kiểu màng, mẫu G1.6 nhập khẩu từ Trung Quốc.

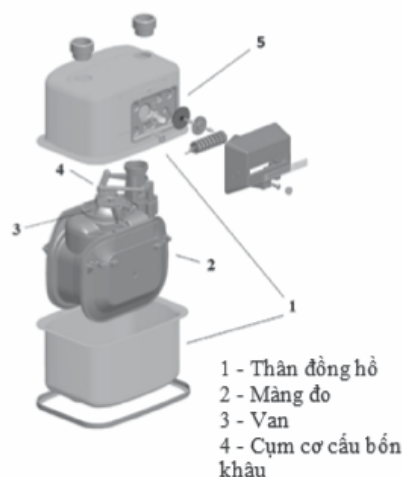


Hình 1. Đồng hồ khí G1.6

Cấu tạo của đồng hồ khí kiểu màng được thể hiện trên Hình 2. Bên trong thân đồng hồ khí có hai màng làm từ vật liệu cao su. Chúng có dạng hình nón cụt, chia hệ thống đo thành bốn buồng màng. Áp suất khí từ đường cung cấp vào tác dụng lên bề mặt của hai màng,

làm chúng phập phồng, lần lượt truyền chuyển động cho cụm cơ cấu bốn khâu, từ đó làm quay một van bốn ngăn. Mỗi ngăn của van thông với một buồng màng; đồng thời có ít nhất một ngăn thông với đường khí vào và một ngăn thông với đường khí ra. Khi van quay, bộ đếm cơ khí cũng hoạt động do được nối với chốt trên nắp van. Bộ đếm cơ khí được thiết kế dạng bánh răng hệ 10, giúp hiển thị lượng khí đi qua đồng hồ với độ phân giải 1 lít.

Yếu tố không thể thiếu để đánh giá một dụng cụ đo được chấp nhận trong thực tế hay không chính là độ chính xác [3]. Độ chính xác của thiết bị đo phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: phương pháp đo, các thông số chế tạo, lắp đặt,... Đối với đồng hồ khí kiểu màng, các yếu tố mang tính chất quyết định độ chính xác của dụng cụ chính là độ chính xác của màng, của van và của cụm cơ cấu bốn khâu.



Hình 2. Cấu tạo của đồng hồ khí G1.6 [4]

Đồng hồ khí kiểu màng hoạt động dựa trên nguyên tắc đóng thể tích khí chảy qua nhờ thể tích của màng. Như vậy, độ chính xác của màng có ảnh hưởng lớn đến kết quả đo. Độ chính xác của màng phụ thuộc vào đường kính trên, đường kính dưới (đường kính đĩa nhôm). Độ chính xác này hoàn toàn do chế tạo.

Để đóng được thể tích khí chảy qua đồng hồ, ta cần cụm cơ cấu bốn khâu. Góc lắc của cần lắc trong cụm cơ cấu bốn khâu càng lớn thì thể tích khí đóng được càng nhiều. Ngoài ra, chiều dài các cánh tay đòn, thanh truyền và cần lắc cũng ảnh hưởng đến việc đóng được nhiều hay ít. Như vậy, độ chính xác của cụm cơ cấu bốn khâu ngoài phụ thuộc vào thông số chế tạo còn phụ thuộc vào quá trình lắp đặt.

Hai yếu tố màng và cụm cơ cấu bốn khâu đều có ảnh hưởng tới độ chính xác của thiết bị. Tuy nhiên, độ chính xác của chúng hoàn toàn có thể không chế được vì sai số nếu có chỉ là sai số hệ thống. Quan trọng hơn cả trong việc quyết định chất lượng của đồng hồ khí kiểu màng chính là độ chính xác chế tạo của van. Mục đích của bài báo này là tính toán độ chính xác chế tạo cần thiết của van, từ đó quy định độ chính xác của thiết bị. Kết quả tính toán dùng để phục vụ quá trình thiết kế, chế tạo đồng hồ khí kiểu màng, đưa thiết bị này vào sản xuất hàng loạt, phục vụ cuộc sống.

## 2. TÍNH TOÁN ĐỊNH LƯỢNG ĐỒNG HỒ KHÍ KIỂU MÀNG

### a) Tỷ số truyền

Tỷ số truyền của đồng hồ khí được quyết định bởi các thông số của các bánh răng, trục vít và bánh vít (Hình 3). Tỷ số truyền của đồng hồ là [45]:

$$i = \left( \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z}{K} \right) \cdot \left( \frac{Z_{38}}{Z_{59}} \cdot \frac{Z_{62}}{Z_{47}} \cdot \frac{Z_{10}}{Z_8} \right) \quad (1)$$

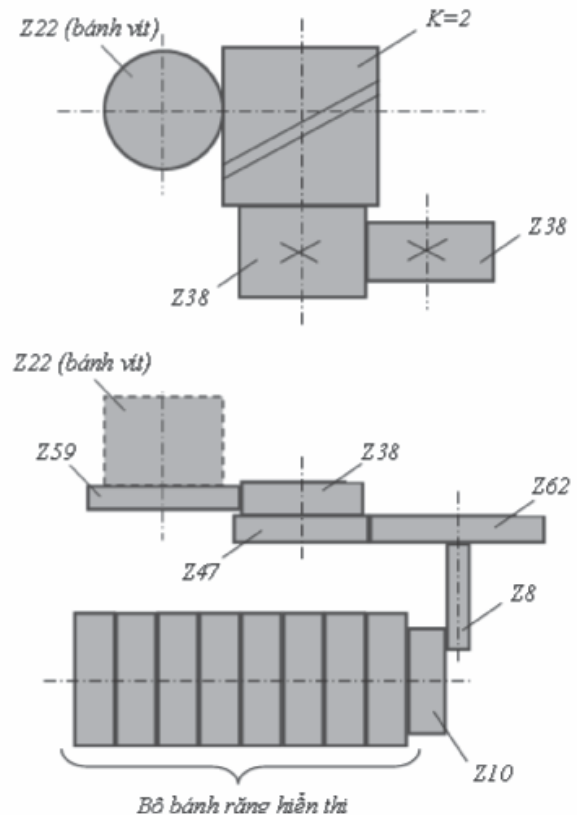
$$i \approx 11,682$$

### b) Thể tích khí đóng được của một màng

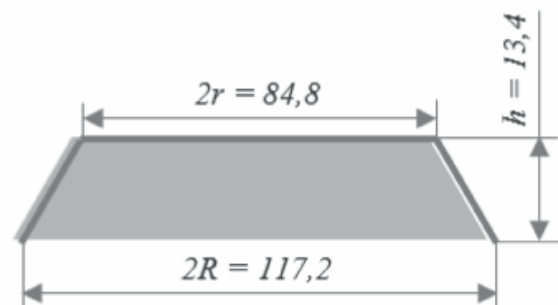
Từ kích thước của một buồng màng trên Hình 4, thể tích khí đóng được là:

$$V_T = 2 \cdot \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (2)$$

$$V_T \approx 0,216 \text{ (dm}^3\text{)}$$



Hình 3. Sơ đồ bộ đếm cơ khí



Hình 4. Kích thước một buồng màng

### c) Sai lệch thể tích thực của màng so với lý thuyết





Hình 5. Bộ phận hiển thị lưu lượng khí

Khi bánh răng ① quay một vòng (tương ứng với  $10 \text{ dm}^3$ ) thì thể tích cần phải đo của hai màng là (Hình 5):

$$V_{LT} = \frac{10}{i}$$

$$V_{LT} \approx 0,214 (\text{dm}^3) \quad (3)$$

Như vậy, so với tính toán lý thuyết thì thể tích khí đo được thực tế của màng đã sai lệch một lượng là:

$$\Delta = \frac{V_T - V_{LT}}{V_{LT}}$$

$$\Delta \approx +1\% \quad (4)$$

Nhận xét:

Thể tích khí đo được thực tế của màng lớn hơn thể tích khí tính toán là 1%, nghĩa là đồng hồ có sai số đo là 1%. Nói cách khác, một lượng khí đã bị rò rỉ mà không được đo trong suốt quá trình đo.

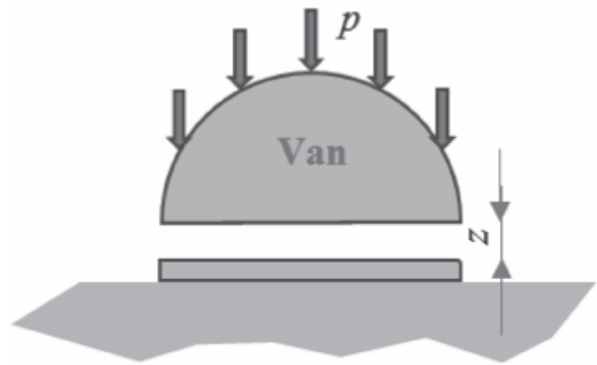
Đứng về phía nhà cung cấp thì đây là điều bất lợi. Do đó, ta phải tìm hiểu nguyên nhân gây ra sai số đo của đồng hồ khí để tìm biện pháp khắc phục cho phù hợp.

### 3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA ĐỒNG HỒ KHÍ

Như đã tính toán, đồng hồ khí kiểu

màng có sai số đo là +1%. Vậy, nguyên nhân gây ra sai số đo ở đâu?

Về nguyên tắc, các cơ cấu truyền động (bao gồm cơ cấu bốn khâu và hệ thống bánh răng) không gây ra sai số đo. Như vậy, sai số ở đây là do khí ga đã bị rò rỉ qua khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc của nó (Hình 6). Lượng rò rỉ càng nhiều thì sai số đo càng lớn.



Hình 6. Khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc

Trong đồng hồ khí, nguyên nhân gây ra chuyển động của màng và các cơ cấu bên trong chính là áp suất khí  $p$ . Áp suất  $p$  một mặt làm cho van quay, một mặt nó cũng gây áp lực lên bề mặt trên và bề mặt dưới của van. Khi áp suất  $p$  tăng, áp lực lên bề mặt trên của van tăng, có tác dụng đè van xuống; nhưng đồng thời áp lực lên bề mặt dưới cũng tăng, có xu hướng đẩy van lên, làm cho lượng khí rò rỉ cũng tăng theo. Vì vậy, ta phải không chế áp suất khí ở một giá trị nào đó để cho khe hở giữa van và mặt tiếp xúc bằng không.

Giả sử khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc là  $z$ . Về lý thuyết, ta hoàn toàn có thể tìm ra áp suất tối ưu để khe hở  $z = 0$ . Nhưng trên thực tế, do chế tạo, bề mặt tiếp xúc của van luôn tồn tại độ nhám bề mặt và độ phẳng, nên dù áp suất khí có tối ưu thì vẫn còn khe hở  $z$ . Vấn đề ở đây là tìm ra độ chính xác chế tạo van (độ phẳng và

độ nhám bề mặt) để thỏa mãn lưu lượng rò rỉ qua khe hở đó là nhỏ nhất. Lưu lượng khí rò rỉ được xác định bởi công thức [6]:

$$Q = v.S \quad (5)$$

Trong đó:

- Q là lưu lượng khí;
- v là vận tốc dòng khí chảy qua khe hở z;
- S là diện tích chảy tương đương.

Diện tích chảy tương đương được tính bằng [6]:

$$S = \pi.D.z \quad (6)$$

Với D là đường kính của van.

Vận tốc dòng khí được xác định dựa vào áp suất như sau. Giả sử có dòng khí áp suất  $p_0$  chảy qua khe hẹp có diện tích là F. Áp suất khí sau khi đi qua khe hẹp là  $p_1$  (các áp suất khí đều tính theo giá trị tuyệt đối). Lưu lượng khí chảy qua khe hẹp là [6]:

$$G = \mu F \rho_0 \sqrt{\frac{2gk}{RT(k-1)} \left[ \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (7)$$

Trong đó:

- $p_0$  và  $p_1$  là áp suất khí tuyệt đối trước và sau khe hẹp;
- F là diện tích khe hẹp;
- $\mu$  là hệ số phụ thuộc vào bản chất của dòng chảy;
- $\rho_0$  là tỉ trọng của chất lỏng;
- g là gia tốc trọng trường;
- k là hệ số:  $k = \frac{c_p}{c_v}$ ;
- R là hằng số chất khí.

Đặt  $p = p_0 - p_1$ , ta được công thức xác

định vận tốc dòng khí chảy qua khe hẹp (tính gần đúng với chất khí là không khí) như sau:

$$v = 320\sqrt{p} \quad (8)$$

Vậy lưu lượng khí rò rỉ là:

$$Q = 320\sqrt{p}.\pi.D.z \quad (9)$$

Như đã tính toán ở trên, đồng hồ khí có sai số +1%, tương ứng với lưu lượng khí rò rỉ là 0,01 m<sup>3</sup>. Ta có:

$$\begin{aligned} 320\sqrt{p}.\pi.D.z &= 0,01 \\ \Rightarrow z &= \frac{0,01}{320\sqrt{p}.\pi.D} \end{aligned} \quad (10)$$

Tương ứng với thông số của van, ta tính được:

$$\Leftrightarrow z \approx 4.10^{-6}m = 2\mu m \quad (11)$$

Như vậy, khe hở giữa van và bề mặt tiếp xúc là  $z \approx 2\mu m$  đã quy định độ phẳng và độ nhám cho phép của bề mặt van là:

$$z < [\text{độ phẳng}] + [R_a] \quad (12)$$

hoặc:

$$z < [\text{độ phẳng}] + [R_z] \quad (13)$$

#### 4. THẢO LUẬN VÀ KẾT LUẬN

Khe hở z được tính toán với chất khí ở đây là không khí, vì thế đó là phép tính gần đúng. Với khe hở  $z \approx 2\mu m$ , công nghệ chế tạo ở nước ta hoàn toàn có thể thực hiện được, nghĩa là đồng hồ khí hoàn toàn có thể sản xuất trong nước.

Việc nghiên cứu, tìm hiểu thiết kế của 

đồng hồ khí kiểu màng, dựa trên mô hình G1.6 có ý nghĩa thực tế. Từ những tính toán định lượng đồng hồ khí cho phép đánh giá độ chính xác của đồng hồ khí. Những kết quả tính toán này cho phép xác định sai số chế tạo của van, bộ phận quan trọng của đồng hồ khí, quyết định độ chính xác của dụng cụ đo. ❖

Ngày nhận bài: **24/01/2024**

Ngày phản biện: **12/02/2024**

---

### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Thị Liên Hương; “*Nghiên cứu, tìm hiểu thiết kế đồng hồ đo lưu lượng nước*”, Đồ án tốt nghiệp đại học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2005.
- [2]. <https://chintglobal.com/blog/how-diaphragm-gas-meter-work/>.
- [3]. Nguyễn Tiến Thọ, Nguyễn Thị Xuân Bầy, Nguyễn Thị Cẩm Tú; “*Kỹ thuật đo lường kiểm tra trong chế tạo cơ khí*”, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2009.
- [4]. G. Ficco, “*Metrological performance of diaphragm gas meters in distribution networks*”, Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 37, pp. 65–72, 2014.
- [5]. Tạ Ngọc Hải; “*Bài tập nguyên lý máy*”, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2005.
- [6]. Lương Ngọc Lợi; “*Cơ học thủy khí ứng dụng*”, NXB. Bách Khoa, 2021.