

## Phương pháp xác định chính xác chiều dài làm việc của cánh tay đòn trên thiết bị chuẩn mômen

A Measurement Method to Determine the Working Length of the Arm in Torque Standard Machine

Vũ Văn Duy<sup>1,\*</sup>, Vũ Toàn Thắng<sup>2</sup>, Vũ Khánh Xuân<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Phường Minh Khai, Quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội

<sup>2</sup> Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội

<sup>3</sup> Viện Đo lường Việt Nam, Số 8, Hoàng Quốc Việt, Quận Giấy, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 10-01-2017; chấp nhận đăng: 28-02-2017

### Tóm tắt

Mô men là đại lượng dẫn xuất trong hệ đơn vị đo lường Quốc tế (SI), đại lượng này ngày càng được sử dụng nhiều cùng với nền phát triển của ngành công nghiệp. Việc xác định đại lượng mô men phụ thuộc vào việc xác định các yếu tố chính: chiều dài làm việc của cánh tay đòn, khối lượng của quả tải và mô men ma sát của ổ quay... Hiện nay, một số nước trên thế giới thiết lập thiết bị chuẩn đầu mô men để hiệu chuẩn các chuẩn thấp hơn và các thiết bị mô men khác. Bài báo này giới thiệu phương pháp đo dùng để xác định chính xác chiều dài làm việc cánh tay đòn của máy chuẩn mô men dùng ổ khí quay, góp phần đánh giá nâng cao độ chính xác của máy chuẩn mô men.

Từ khóa: cánh tay đòn, chuẩn mô men, độ không đảm bảo đo của chuẩn mô men.

### Abstract

Torque is one of the derived quantities in the International Measurement Units System (SI), which is used more and more with industrial developing. The measurement accuracy of torque quantity depends on the main factors: accuracy of the working length of the arm, the uncertainty of the acting force, the friction torque of the bearing, etc. In the world, some countries have their primary torque standard machines to calibrate and adjust lower torque standards and measuring equipment. This article introduces the measurement method for accurate determining the working length of the arm in a torque standard machine, and to contribute to improving the accuracy of the torque standard machines.

Keywords: arm length, torque standard, uncertainty of torque standard

## 1. Đặt vấn đề

### 1.1 Tình hình thực tế

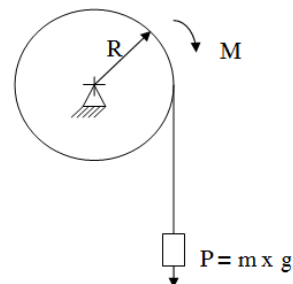
Cùng với sự phát triển của ngành công nghiệp của trong nước và quốc tế, đại lượng mô men ngày càng được sử dụng nhiều: trong các dây truyền sản xuất cơ khí; các nhà máy lắp ráp; các thiết bị điện, điện tử... ví dụ: trong công nghiệp sản xuất ô tô, xe máy. Đặc biệt, đối với các mối ghép cho chi tiết động, đối với mối ghép làm việc trong điều kiện không ổn định thì mô men xiết chặt càng đòi hỏi độ chính xác cao. Mô men xiết chặt phải đảm bảo có giá trị đủ lớn để đảm bảo mối ghép, nhưng cũng không được vượt qua giới hạn để đảm bảo tuổi thọ của mối ghép cũng như hình dạng của chi tiết được lắp ghép.

Do đó, các thiết bị mô men lực như tuốc-nơ-vít, chia vận, cờ lê lực sau thời gian sử dụng cần được hiệu chuẩn với các chuẩn thứ cấp và chuẩn thứ cấp được hiệu chuẩn so với chuẩn đầu mô men.

Nhu cầu hiệu chuẩn mô men cho các thiết bị đo mô men ngày càng đa dạng, về phạm vi của giá trị cũng như độ không đảm bảo đo. Hiện nay, tại Việt Nam mới có thiết bị hiệu chuẩn mô men, sau thời gian sử dụng thiết bị này cần được hiệu chuẩn với thiết bị chuẩn mô men của nước cung cấp nên phụ thuộc về thời gian, không chủ động và tốn kém về kinh phí.

### 1.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến độ không đảm bảo của mô men chuẩn.

Khái niệm mô men bắt đầu từ các nghiên cứu của Archimedes (287-212 Trước CN) về đòn bẩy.



Hình 1. Nguyên lý tạo mô men

\* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 912.033.288  
Email: duyvcx@gmail.com

Mô men là một đại lượng vật lý thể hiện tác động gây ra sự quay của vật quanh một điểm hoặc một trục. Đơn vị đo của mô men là N.m (Newton mét), là đơn vị dẫn xuất của hệ đơn vị đo lường quốc tế (SI).

Mô hình vật lý để tạo ra mô men thể hiện trên hình 1.

Quả tải có khối lượng  $m$  được treo vào một sợi dây vòng qua đĩa bán kính  $R$  gây ra mô men quay  $M$ .

$$\text{Giá trị của mô men là: } M = m.g.R \quad (1)$$

Trong đó:

$M$ : Mô men (Nm);

$m$ : Khối lượng (kg);

$g$ : Gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ );

$R$ : chiều dài cánh tay đòn (m) – khoảng cách từ tâm quay đến phương tác dụng của lực.

Thiết bị tạo mô men chuẩn được dẫn xuất từ 3 đại lượng cơ bản là khối lượng, chiều dài và thời gian (đại lượng thời gian được thể hiện qua gia tốc trọng trường).

Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của mô men chuẩn được tạo ra là: Mô men ma sát của ổ quay lần trực tiếp vào giá trị mô men chuẩn; tải trọng; chiều dài làm việc của cánh tay đòn [1].

Theo khảo sát của hãng Newways đối với một số ổ quay thông dụng: hệ số ma sát trong ổ trượt là 0,1, ổ lăn là 0,001, ổ khí là 0,00001 [2]. Việc lựa chọn ổ quay phù hợp cho máy chuẩn mô men ảnh hưởng lớn đến độ không đảm bảo đo. Đối với hệ có cánh tay đòn thì việc lựa chọn ổ khí tĩnh chịu tải hướng kính là phù hợp hơn so với ổ dao gồi [3]. Do đó việc lựa chọn ổ khí dùng làm khớp quay của máy chuẩn mô men là một giải pháp hữu hiệu nhằm giảm mô men ma sát tại khớp quay.

Trong thực tế, ngoài việc lựa chọn loại ổ quay thích hợp để giảm thiểu mô men ma sát và lựa chọn quả tải có độ chính xác phù hợp thì việc xác định chính xác chiều dài làm việc cánh tay đòn của thiết bị chuẩn mô men cũng sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới độ chính xác của giá trị mô men cần chuẩn, vì cánh tay đòn là đại lượng nằm trong công thức tính giá trị mô men chuẩn.

Các biện pháp xác định trực tiếp và chính xác chiều dài cánh tay đòn sẽ gặp nhiều khó khăn, vì chiều dài cánh tay đòn chính là khoảng cách từ tâm quay đến tâm dây treo quả tải và đây đều là những tâm ảo. Mặt khác, trong các thiết bị chuẩn mô men để giảm khối lượng quả tải, người ta thường thiết kế, chế tạo chiều dài cánh tay đòn lớn (500 mm, 1000 mm) nên việc đo chính xác càng gặp nhiều khó khăn.

Tại Viện Vật lý-Kỹ thuật Đức (PTB), máy chuẩn mô men 1 kN.m có cánh tay đòn 1 m được xác định trên máy đo tọa độ với độ không đảm bảo đo từ 1 đến 3  $\mu\text{m}$ , độ không đảm bảo đo lớn nhất là:

$$\frac{u_L}{L} = 3.10^{-6} \quad [4].$$

Tuy nhiên, đây mới chỉ là chiều dài của cánh tay đòn chưa phải là chiều dài làm việc của cánh tay đòn để tạo ra mô men chuẩn.

Bài báo này sẽ trình bày một phương pháp có khả năng xác định chính xác chiều dài làm việc của cánh tay đòn gián tiếp thông qua cân bằng mô men khi thay đổi khối lượng và di chuyển khối lượng trên các cánh tay đòn của thiết bị chuẩn mô men dùng ổ quay đệm khí.

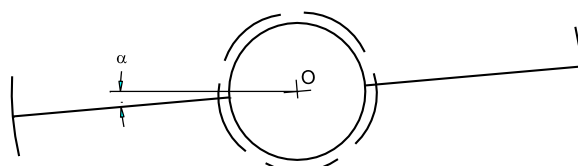
## 2. Phương pháp xác định chính xác chiều dài làm việc của cánh tay đòn.

Theo khái niệm mô men, chiều dài cánh tay đòn là khoảng cách từ tâm quay đến phương tác dụng của lực.

Bài báo này giới thiệu phương pháp xác định chiều dài làm việc của cánh tay đòn đối với ổ quay đệm khí (mở rộng phương pháp này có thể sử dụng cho các loại ổ quay trong thiết bị tạo mô men chuẩn).

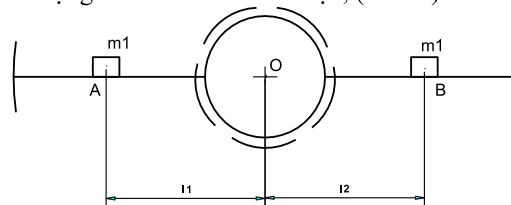
Phương pháp này được thực hiện với hệ khối lượng chuẩn, giá thiết trọng tâm của các cánh tay đòn nằm trên đường thẳng và mô men ma sát của ổ quay tại các trạng thái cân bằng là không thay đổi.

Do trọng tâm của các chi tiết không trùng với trọng tâm hình học do đó trạng thái cân bằng của cánh tay đòn không trùng với phương nằm ngang, (hình 2).



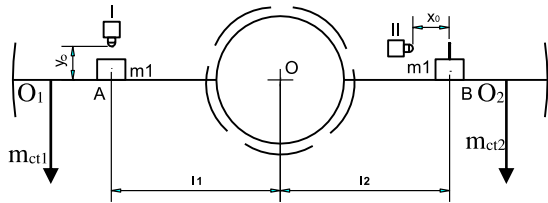
Hình 2. Trạng thái cân bằng của cánh tay đòn sau khi chế tạo

Để điều chỉnh trạng thái cân bằng sao cho cánh tay đòn trùng với phương nằm ngang, cần lắp đối trọng có khối lượng  $m_1$  lên hai cánh tay đòn, vị trí của khối lượng có thể điều chỉnh được, (hình 3).



Hình 3. Trạng thái cân bằng của thiết bị tạo mô men

Để xác định vị trí cân bằng của cánh tay đòn, dùng một đầu đo lazer theo phương thẳng đứng để xác định  $y_0$ . Tại vị trí cân bằng xác định được giá trị  $y_0$ . Sử dụng đầu đo thứ 2 theo phương nằm ngang để xác định khoảng dịch chuyển của khối lượng  $m_1$ . Tại vị trí cân bằng ban đầu ta có giá trị  $x_0$ , (hình 4).



**Hình 4.** Xác định vị trí cân bằng của cánh tay đòn

Gọi khối lượng cánh tay đòn 1 là  $m_{ct1}$ , trọng tâm là  $O_1$ ;

Khối lượng cánh tay đòn 2 là  $m_{ct2}$ , trọng tâm là  $O_2$ ;

O là tâm quay của cánh tay đòn;

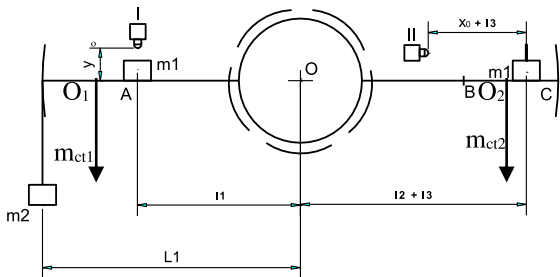
$l_1$ ;  $l_2$  lần lượt là cánh tay đòn của khối lượng  $m_1$  bên trái và bên phải.

Do mô men ma sát ảnh hưởng đến vị trí cân bằng là như nhau, nên bỏ qua mô men ma sát, tại vị trí cân bằng ta có phương trình cân bằng sau:

$$m_{ct1}.g.O_1O + m_1.g.l_1 = m_1.g.l_2 + m_{ct2}.g.O_2O$$

$$m_{ct1}.O_1O + m_1.l_1 = m_1.l_2 + m_{ct2}.O_2O \quad (2)$$

Treo quả nặng có khối lượng  $m_2$  vào cánh tay đòn 1 như hình 5, khi đó cánh tay đòn sẽ quay đi 1 góc, để lập lại trạng thái cân bằng của cánh tay đòn ta phải dịch chuyển  $m_1$  trên cánh tay đòn 2 thêm một khoảng  $l_3$  (sao cho lúc đó giá trị của đầu đo lazer theo phương thẳng đứng có giá trị  $y_0$ , cánh tay đòn trở lại vị trí cân bằng ban đầu, khi đó giá trị đầu đo theo phương ngang là  $x_0+l_3$ ), như hình 5.



**Hình 5.** Mô hình toán học để xác định chiều dài cánh tay đòn  $L_1$ .

Tại vị trí cân bằng sau khi thêm khối lượng  $m_2$  và dịch chuyển khối lượng  $m_1$  trên cánh tay đòn bên phải, ta có phương trình cân bằng:

$$m_2.g.L_1 + m_{ct1}.g.O_1O + m_1.g.l_1 = m_1.g.(l_2 + l_3) + m_{ct2}.g.O_2O$$

$$m_2.L_1 + m_{ct1}.O_1O + m_1.l_1 = m_1.(l_2 + l_3) + m_{ct2}.O_2O \quad (3)$$

Kết hợp phương trình (2) và phương trình (3) ta có:

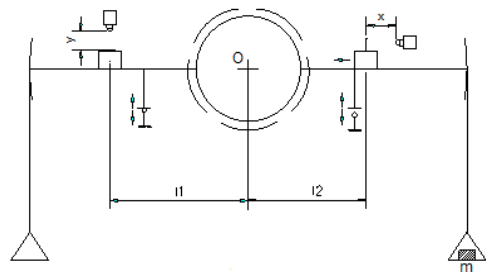
$$m_2.L_1 = m_1.l_3$$

$$L_1 = \frac{m_1}{m_2}.l_3 \quad (4)$$

Trong đó:

$L_1$  là chiều dài làm việc của cánh tay đòn của thiết bị tạo mô men chuẩn (cánh tay đòn bên trái trên hình 5).

Với hệ thống đầu đo Laser để xác định vị trí cân bằng theo phương thẳng đứng ( $y_0$ ) và xác định khoảng dịch chuyển theo phương nằm ngang ( $x_0$ ) như trên, ta có thể xác định  $L_2$  là chiều dài làm việc của cánh tay đòn bên phải, đó là dịch chuyển khối lượng  $m_1$  một khoảng  $l_3$  về phía tâm quay, đồng thời thêm vào quang treo bên phải một khối lượng  $m_2$ , (hình 6).



**Hình 6.** Mô hình toán học để xác định chiều dài cánh tay đòn  $L_2$ .

Nếu thiết lập hệ thống đầu đo lazer bên phải để xác định vị trí cân bằng ( $y_0$ ), đầu đo bên trái để xác định khoảng dịch chuyển ( $x_0$ ) và lần lượt thêm khối lượng vào quang treo hai bên ta xác định được chiều dài làm việc của cánh tay đòn  $L_1, L_2$ .

### 3. Đánh giá độ không đảm bảo đo đạt được với điều kiện thực tế.

Tiến hành thực nghiệm trên thiết bị chuẩn mômen thể hiện trên hình 7.



**Hình 7.** Hình ảnh thực hiện phương pháp đo.

Đánh giá độ không đảm bảo đo đạt được với điều kiện thực tế:

Áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất [5], độ không đảm bảo đo tuyệt đối  $u_{L_1}$  được xác định theo công thức:

$$(u_{L_1})^2 = \left(\frac{\partial L_1}{\partial m_1}\right)^2 u_{m_1}^2 + \left(\frac{\partial L_1}{\partial m_2}\right)^2 u_{m_2}^2 + \left(\frac{\partial L_1}{\partial l_3}\right)^2 u_{l_3}^2 \quad (5)$$

Trong đó:

$$\frac{\partial L_1}{\partial m_1} = \frac{l_3}{m_2} = \frac{L_1}{m_1}$$

$$\frac{\partial L_1}{\partial m_2} = -\frac{m_1}{m_2^2} l_3 = -\frac{L_1}{m_2}$$

$$\frac{\partial L_1}{\partial l_3} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{L_1}{l_3}$$

Tính theo sai số tương đối ta có:

$$(u_{rel(L_1)})^2 = \left(\frac{u_{L_1}}{L_1}\right)^2 = \left(\frac{u_{m_1}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{m_2}}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{l_3}}{l_3}\right)^2 \quad (6)$$

$u_{rel(L_1)}$  : Độ không đảm bảo đo tương đối.

Ở đây, dùng quả tải là 1 kg; 2 kg; 5kg . Quả tải sử dụng tương đương với quả cân có cấp chính xác F1, theo OIML R111, sai số tương đối lớn nhất là  $\delta_m = 25mg(25.10^{-6} kg)$  [6], do đó ta có:

$$\frac{u_m}{m} = \frac{25.10^{-6}}{5.\sqrt{3}} = \frac{5.10^{-6}}{\sqrt{3}}$$

Tiến hành thực nghiệm với đầu đo lazer ZX-LDA11-N (ZX-LD30V) của hãng OMRON Corporation, sai số của đầu đo lazer là:  $0,25 \times 10^{-6} m$ , phạm vi đo  $\pm 2 mm$  [7], do đó ta có:

$$\frac{u_{l_3}}{l_3} = \frac{0,25.10^{-6}}{\sqrt{3}.4.10^{-3}} = \frac{0,06.10^{-3}}{\sqrt{3}}$$

Thay số ta có:

$$\left(\frac{u_{L_1}}{L_1}\right)^2 = 2 \cdot \left(\frac{5.10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,06.10^{-3}}{\sqrt{3}}\right)^2$$

$$\frac{u_{L_1}}{L_1} = 34,881.10^{-6}$$

Với chiều dài cánh tay đòn  $L_1$  là 500 mm (0,5 m) thay số ta có:

$$u_{L_1} = 34,881.10^{-6}.0,5 = 17,440.10^{-6} m$$

#### 4. Kết luận

Với độ không đảm bảo đo tương đối của quả cân chuẩn được sử dụng (F1) là  $2,9.10^{-6}$ , độ không đảm bảo đo tương đối của đầu đo Laser để xác định khoảng cách dịch chuyển của quả tải là  $3,7.10^{-5}$ , sử dụng phương pháp được trình bày trong bài báo này có thể xác định được chiều dài làm việc cánh tay đòn của thiết bị tạo mô men chuẩn sử dụng ổ khí quay, với độ không đảm bảo tương đối của chiều dài cánh tay đòn là  $3,5.10^{-5}$ . Tức là, nếu chiều dài danh nghĩa  $L_1$  của cánh tay đòn là 500 mm thì ta có thể đạt được kết quả đo  $L_1$  với độ không đảm bảo đo tuyệt đối  $u_{L_1}$  là  $17.10^{-6} m$ .

Sử dụng hệ quả khối lượng chuẩn đã có tại Viện Đo lường Việt Nam và phương pháp của bài báo này có thể tạo ra thiết bị mô men chuẩn phục vụ cho việc tự hiệu chuẩn thiết bị xác định mô men tại Việt Nam. Việc hiệu chuẩn các thiết bị xác định mô men ngay tại Việt Nam sẽ giúp chúng ta giảm bớt chi phí và chủ động trong các tình huống cần sử dụng.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Koji OHGUSHI, Takashi OTA, Kazunaga UEDA and Eiji FURUTA, "Design and Development of 20 kN.m Deadweight Torque Standard Machine", National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.
- [2]. New Way Precision Instruction "Air bearing - Application and Design", 2003.
- [3]. Diedert Peschel, Dietmar Mauersberger, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany "Determination of the friction of aerostatic radial bearings for the lever-mass system of torque standard machines" XIII IMEKO WORLD CONGRESS, Torino, Italy, September 5 - 9, 1994.
- [4]. Drik Roske, "Some problems concerning the level arm length intorque metrology", PII:S0263-2241 (97)00006-7, Measurement Vol.20, No. 1, pp. 23-32, 1997, Elsevier.
- [5]. Stigler, Stephen M., The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty Before 1900. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press. ISBN 0-674-40340-1, 1986.
- [6]. OIML R111-1:2004 "Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 and M3. Part 1: Metrological and technical requirements".
- [7]. OMRON, User's manual, smart sensors, Laser type ZX-L-N series.