

气体容积式流量计检定时间计算分析与研究

赵进涛^{1,2}, 李靖^{1,2}, 段飞飞¹, 张驰¹, 丁凌¹, 康勇^{1*}

(1. 陕西省计量科学研究院 气体流量计量研究所, 陕西 西安 710100;

2. 西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710100)

摘要: 气体容积式流量计在气体流量计量领域应用广泛, 其量值溯源过程中最小检定时间的确认直接关系到其量值的准确性。JJG 633—2024《气体容积式流量计》检定规程中, 对气体容积式流量计的检定时间进行了相关的描述, 但理论计算公式并未详细给出, 该文依据 JJG 643—2024 关于检定时间的描述, 对最小检定时间进行详细分析与理论推导, 并依据此理论推导, 对实际算例进行了计算分析。结果表明, 在小流量点, 理论计算检定时间急剧增加, 检定效率降低, 在中高流量点, 理论计算结果对检定工作具有更强的实际指导意义。

关键词: 气体容积式流量计; 检定时间; 理论计算; 回转体积

中图分类号: TB937

文章编号: 1000-0682(2025)03-0102-04

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.03.019

Theoretical analysis of minimum verification time for displacement gas meters

ZHAO Jintao^{1,2}, LI Jing^{1,2}, DUAN Feifei¹, ZHANG Chi¹, DING Ling¹, KANG Yong^{1*}

(1. Shaanxi Institute of Metrology Science, Shaanxi Xi'an 710100, China;

2. Northwestern Polytechnical University, School of Aeronautics, Shaanxi Xi'an 710100, China)

Abstract: Displacement gas meters are widely used in the field of gas flow measurement, and the confirmation of the minimum verification time during the traceability process directly affects the accuracy of their measurement values. In the verification regulation of JJG 633 - 2024 "Displacement Gas Meters", the verification time of displacement gas meters is described, but the theoretical calculation formula is not provided in detail. Based on the description of verification time in JJG 643 - 2024, this article conducts a detailed analysis and theoretical derivation of the minimum verification time, and based on the theoretical derivation, calculation and analysis were carried out with practical examples. The results indicate that at low flow points, the theoretical calculation verification time increases sharply and the verification efficiency decreases. At medium and high flow points, the theoretical calculation results have stronger practical guidance significance for verification work.

Keywords: displacement gas meters; verification time; theoretical calculation; cyclic volume of gas meter

0 引言

工业发展对气体流量测量要求越来越高, 气体容积式流量计因其高精度和可靠性, 广泛应用于石油、化工、环保等行业, 成为气体流量测量的主要计量器具之一。

气体容积式流量计通过测定的壳体与转子之间形成的容积来测量体积流量, 一般由流量计本体、磁性密封联轴器、调速器、计数器和信号发生器组成^[1]。

目前, 对于气体容积式流量计的研究, 从仪表制造角度来看, 多以关注仪表性能提升为主, 如从采用直压法对其密封性进行研究, 提供一种可靠且实用的密封性测试方法^[2]; 以极角为变量、极径为函数的分段高次曲线组成新型转子型线, 提高气体容积式流量计的计量性能^[3]; 从压损角度进行气体容积式流量计的性能优化等^[4]。

从计量溯源角度来看, 则更多地关注各项因素

收稿日期: 2024-10-11

第一作者: 赵进涛(1985—), 男, 汉族, 陕西西安人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为流量计量。

通信作者: 康勇(1982—), 男, 汉族, 陕西西安人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为流量计量。

对仪表计量溯源的影响,如基于音速喷嘴法气体流量标准装置研究腰轮流量计转子自重对测量结果的影响^[5];对气体容积式流量计的不确定度进行分析^[6-8];采用静态容积法对高精度气体容积式流量计溯源方法的研究等^[9]。

基于前人的研究,结合气体容积式流量计在气体计量领域的应用,该文将继续从量值溯源角度,就其量值计量的准确可靠,对气体容积式流量计展开讨论。

气体流量计量值溯源时,较为常用的标准装置有临界流文丘里喷嘴法气体流量标准装置、钟罩式气体流量标准装置等,装置中计量检定时间的设定对溯源结果有直接影响,因此,各类气体流量计检定规程中,均对流量计的最小检定时间进行了相关规定。

容积式流量计溯源依据为现行的国家检定规程JJG 633—2024《气体容积式流量计》^[10]。其对检定时间的描述存在定性和定量两种概念,并且未对定性要求给出具体的定量计算公式,给日常检定工作造成了一定困扰。部分工作人员依据检定经验确定检定时间,以方便实际操作,但经大量实验验证,在气体容积式流量计检定过程中,尤其在小流量点的检定过程中,检定时间的设定对检定结果影响较大。因此,对气体容积式流量计关于检定时间的理论推导和计算十分重要。

该文将依据JJG 633—2024《气体容积式流量计》现行版本对检定时间的描述,进行检定时间定量理论方法的确认、公式推导和相应的计算,以指导气体容积式流量计的日常检定工作。

1 检定时间分析

JJG 633 中关于检定时间的描述,有以下3方面:

(1)每次测量时间应不少于装置和被检流量计允许的最短测量时间;

(2)当采用被检表脉冲输出进行检定时,脉冲数(或整脉冲计时)引入的不确定度应不超过流量计最大允许误差的1/10;

(3)在一次检定过程中,流量计的检测元件起停时应同一位置,设定的气体体积量或设定的脉冲数应等于回转体积的整数倍,或大到足以使由回转体积带来的影响可忽略不计。

在上述描述中(1)中,每个装置的最小检定时间是已知的,被检流量计的最短允许检定时间应由条件(2)和(3)进行计算确定。

(2)属于定量描述,可利用脉冲数引入的不确

定度进行检定时间的计算。

(3)中并未对检定时间进行确切的描述,规程中也并未给出如何保证检测元件起停在同一位置的方法,且未明确规定如何设定检定气体体积量或脉冲数才可以保证其大到使回转体积带来的影响可忽略不计。

从(3)描述可知,此条规定的目的是为了减少回转体积对读数的影响。一次检定,读数的最大体积误差为1个回转体积,通常信号分辨力也为一个回转体积,因此为了保证检测元件起、停时处在同一位置,设定的气体体积量或设定的脉冲数对应的体积量需等于回转体积的整数倍。

对于体积量或脉冲数大到使回转体积带来的影响可忽略不计,则可依据其引入的标准不确定度小于流量计误差标准不确定度的三分之一来确定。

依据以上分析进行检定时间计算,并选取最大时间作为理论计算检定时间的最小值在标准装置中进行设定,从而完成检定工作,使检定工作符合规程要求。

2 检定时间理论公式推导

根据上一节的讨论,气体容积式流量计在一次检定中应满足以下两个条件组合之一,并在每种条件组合中,选取符合条件的检定时间最大值,作为一次检定的最小检定时间。

条件组合一:

(1)每次测量时间不小于测量法装置最小测量时间;

(2)脉冲数(或整脉冲计时)引入的不确定度应不超过流量计最大允许误差的1/10;

(3)设定的气体体积量或设定的脉冲数应等于回转体积的整数倍。

条件组合二:

(1)每次测量时间不小于装置测量时间;

(2)脉冲数(或整脉冲计时)引入的不确定度应不超过流量计最大允许误差的1/10;

(3)气体体积量或设定的脉冲数大到足以使由回转体积带来的影响可忽略不计。

以下将对两种条件组合进行理论分析和公式推导。

两个条件组合中(1)(2)均相同。其中,测量装置最小测量时间因装置的不同而不同,一般在其溯源证书中给出,为已知值。公式(1)可计算满足溯源要求的检定累积流量。

$$Q_1 = \frac{q \cdot t}{3600} \quad (1)$$

式中： Q_1 为最小测量时间对应的累积流量， m^3 ； q 为检定流量点， m^3/h ； t 为检测装置最小检定时间， s 。

脉冲数（或整脉冲计时）引入的不确定度应不超过流量计最大允许误差的 1/10，可由公式（2）进行推导计算。

$$\frac{1}{N\sqrt{3}} \leq \frac{MPEV}{10} \quad (2)$$

式中： N 为应设定的脉冲数； $MPEV$ 为流量计最大允许误差绝对值， $\%$ 。

根据公式（2）可知，要满足相应要求，检定时设定脉冲数 N 应满足公式（3）的要求。

$$N \geq \frac{10}{MPEV \cdot \sqrt{3}} \quad (3)$$

再根据公式（4）计算出相应的累积流量。

$$Q_2 = \frac{N}{K} \quad (4)$$

式中： Q_2 为脉冲数（或整脉冲计时）引入的不确定度不超过流量计最大允许误差的 1/10 时的累积流量， m^3 ； K 为流量计仪表系数， $1/m^3$ 。

由此，确定了两个条件组合中第二条规定的要求。

对于组合条件一中的（3），设定的气体体积量或设定的脉冲数应等于回转体积的整数倍，即满足公式（5）的要求。

$$Q_3 = \frac{N}{K} = n \cdot dv \quad (5)$$

式中： Q_3 为满足组合条件一中（3）要求的累积流量， m^3 ； n 为回转体积的整数倍， m^3 ； dv 为回转体积， m^3 。

按照组合一中（3）的要求，公式（5）中 N 和 n 必须满足全为整数，在实际计算中，此要求计算出的脉冲数一般较大，甚至有时在合理范围内无法找到同时满足 N 和 n 均为整数的结果，因此可操作性较差。

关于组合条件二中（3）的确定，可认为，当回转体积引入的标准不确定度，小于流量计误差标准不确定度三分之一时，其带来的影响可忽略不计。

在检定过程中，每次读数引入的最大误差为回转体积 dv ，起始和终止两次读数的最大误差则为 $2dv$ ，假设其为均匀分布，则在一次检定时，引入的标准不确定度为 $2dv/\sqrt{3}$ 。流量计误差的扩展不确定度不应大于 $MPEV/3$ 。当 $k = 2$ 时，流量计误差的标准不确定度为 $MPEV/6$ 。因此，要使回转体积对计量过程带来的影响忽略不计，其标准不确定度应满

足公式（6）的要求。

$$\frac{2dv}{\sqrt{3}} \leq \frac{1}{3} \times \frac{1}{6} MPEV \times Q_4 \quad (6)$$

式中： Q_4 为满足回转体积不影响检定过程的最小流量， m^3/h 。

综合看来，采用组合条件二计算最小检定时间相对合理。

3 计算结果与分析

以某台气体容积式流量计为例，其流量范围为 $(0.61 \sim 200) m^3/h$ ，准确度等级为 1.0 级，回转体积为 0.708 L，仪表系数为 $K = 1658.31/m^3$ 。根据规程对检定流量点的要求，采用组合条件二对被检表的 $q_{max} = 200 m^3/h$ 、 $q_t = 20 m^3/h$ 和 $q_{min} = 0.61 m^3/h$ 流量点进行检定时间的计算。

当标准器采用临界流文丘里喷嘴法气体流量标准装置时，其最小测量时间为 30 s，采用条件组合二对各流量点最小检定时间计算结果如表 1 所示。

表 1 JJG 643 规定检定点的理论检定时间

流量点/(m^3/h)	200	20	0.61
最小检定时间/s	30.00	264.88	4342.28

由表 1 可知，在 $q_{max} = 200 m^3/h$ 、 $q_t = 20 m^3/h$ 流量点，计算得到的检定时间相对合理，但在 $q_{min} = 0.61 m^3/h$ 流量点，计算得到的单次检定时间则相对较长，装置检定效率降低。

为了得到不同流量点对应的检定时间，在被检流量计流量范围内取多点进行计算，绘制出流量与理论计算最小检定时间的曲线，如图 1 所示。

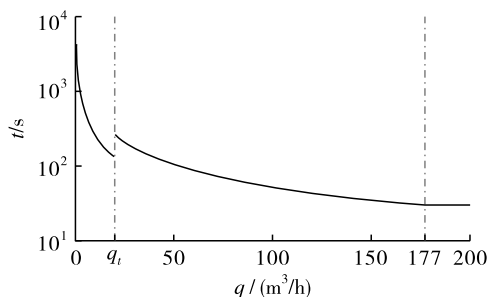


图 1 气体容积式流量计测试流量与理论计算最小测试时间的关系

由图 1 可知，在小流量时，流量计理论计算测试时间较大，并随着流量的增加，理论计算时间急剧下降，并在分界流量 q_t 处，检定时间计算结果出现跳跃，从 132.45 s，阶跃为 264.88 s，这是因为气体容积式流量计溯源时，流量范围以分界流量 q_t 分为高区和低区，且不同分区内流量点的示值误差最大值

的绝对值要求不同,即 $MPEV$ 值不同,低区流量的 $MPEV$ 值是高区 $MPEV$ 值的 2 倍,因此紧邻分界流量的流量点,其计算时间会出现大的阶跃,并存在约 2 倍的关系。

当流量点大于分界流量 q_i 后,曲线逐渐变得平缓,且当流量点大到一定程度时,该文计算示例中为 $q = 177 \text{ m}^3/\text{h}$,装置的最小检定时间将成为满足各制约条件的检定时间最大值,此后只需要以装置最小检定时间为设定标准,展开计量检定工作即可。

最小流量点小于 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 的容积式流量计在气体流量计量领域非常常见,由上述计算可知,在图 1 的计算中,当流量点为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,理论计算最小检定时间为 1324.40 s ,约 22 min 。当流量点为 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,理论计算最小检定时间 2648.79 s ,约为 45 min 。即小流量点的理论计算检定时间随着流量点的减小将急剧增加。

当最小流量点小于 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,其单次检定理论计算时间会更长,以示例流量计的最小流量点 $0.61 \text{ m}^3/\text{h}$ 为例,其理论计算最小检定时间为 4342.28 s ,即单点单次测量时间接近 1.2 h 。

依据规程规定,对于准确度等级为 1.0 级及以下的流量计,每个流量点的检定次数应不少于 2 次,对于准确度等级为 0.5 级的流量计,每个流量点的检定次数应不少于 3 次。因此,最小点小于 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,完成一次最小流量点检定将需要约 $2 \sim 4 \text{ h}$,检定效率低下。

由上述分析可知,依据规程描述可以对有效检定时间进行准确的定量计算,且可以在高区流量点中获得合理且符合实际操作需求的计量检定时间。但当检定流量点在低区,尤其是接近量程下限时,依据规程规定的理论计算时间进行检定,会降低检定效率。

4 结论与展望

该文依据 JJG 633—2024《气体容积式流量计》对于气体容积式流量计检定流量点最小检定时间的描述,进行了检定最小时间的理论推导与计算,目的在于指导日常检定工作中的检定时间设置,使流量计在溯源过程中获得更加准确的溯源结果。

理论计算过程中,考虑实际操作可行性,选择如下条件组合,选取其中计算结果最大者作为最小检定时间计算结果:

- (1) 每次测量时间不小于装置测量时间;
- (2) 脉冲数(或整脉冲计时)引入的不确定度应

不超过流量计最大允许误差的 $1/10$;

(3) 气体体积量或设定的脉冲数大到足以使由回转体积带来的影响可忽略不计。

由理论计算结果可知,在气体容积式流量计检定过程中,流量越小,其检测时间越长。且当气体容积式流量计流量下限小于 $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,检定时间急剧增加,依据理论计算最小检定时间进行检定,检定效率低下。但在较大的流量点检测流量计时,理论计算最小检定时间,对实际工作具有一定的指导意义。

另外,该文关于气体容积式流量计检定时间的分析与研究,可为涡轮流量计、涡街流量计、超声流量计、旋进旋涡流量计、热式质量流量计等常见气体流量计规程中规定的最小检定时间计算提供参考,准确确定其检定时间。

在未来的研究中,应基于最小检定时间的理论计算结果,开展进一步实验验证工作,将理论计算结果和实验验证结果进行对比,在气体容积式流量计的检定过程中,尤其在小点的检定过程中,给出准确且高效可行的检定方案。

参考文献:

- [1] 袁碟,蒋永荣,刘成良,等. 常见气体流量计的计量原理及控制系统[J]. 仪器仪表用户, 2016, 23(07): 5-9.
- [2] 刘伟或. 气体容积式流量计直压法密封性实验的研究[J]. 计量与测试技术, 2020, 47(06): 14-15.
- [3] 章圣意,林景殿,周兴东,等. 高次分段函数为基元的罗茨转子型线设计[J]. 中国计量大学学报, 2018, 29(04): 358-361.
- [4] 张国玉,苏中地,林景殿. 新型气体罗茨流量计的压损测量[J]. 中国计量大学学报, 2017, 28(01): 35-39.
- [5] 暴冰,范珍星,邹君臣,等. 气体腰轮流量计转子自重对测量结果的影响[J]. 上海计量测试, 2019, 46(06): 6-8.
- [6] 张东. 气体容积式流量计测量结果的不确定度分析[J]. 科技风, 2018(13): 127.
- [7] 李鹏涛,毕磊. 气体腰轮流量计测量结果不确定度分析[J]. 工业计量, 2018, 28(03): 33-38.
- [8] 李送云,曲志勇,陈兴建. 气体容积式流量计相对误差测量值的不确定度[J]. 计量与测试技术, 2017, 44(01): 120-122.
- [9] 耿存杰,张东飞,李长武. 采用静态容积法实现高精度气体容积式流量计量值溯源方法的讨论[J]. 工业计量, 2017, 27(02): 65-67.
- [10] 气体容积式流量计:JJG 633—2024[S]. 北京:国家市场监督管理总局, 2024.