

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.08.012

置换法气体流量标准装置的设计*

王锐刚¹, 赵金燕¹, 胡波², 黄勇^{2*}

- (1. 云南农业大学 基础与信息工程学院, 云南 昆明 650201;
2. 云南省计量测试技术研究院, 云南 昆明 650228)

摘要: 气体流量计量是科学计量的一个重要组成部分, 针对目前采用的气体流量标准装置对于小流量气体计量准确度低, 并且校准费用大, 实现高精度的气体流量计检定及校准较为困难等问题, 根据流体力学的基本原理, 采用液体置换法设计了检测气体流量的标准方法。当液体以一定流量流入标准量器, 测出了流入标准容器的液体流量, 并与被校流量计的示值进行了比较, 从而检测被测气体流量计的精度, 同时在制备的样机上进行了试验。研究表明, 该方法可以使装置的扩展不确定度为 0.09%, 校准精度达到 0.2 级, 满足设计的要求。该气体流量标准装置具有操作方便、稳定性高、重复性好等优点, 特别是在高准确度小流量气体测量方面具有极大的优势。

关键词: 气体流量计量; 流量校准; 置换法; 高准确度

中图分类号: TH814; TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)08-0952-04

Design of displacement gas flow standard equipment

WANG Rui-gang¹, ZHAO Jin-yan¹, HU Bo², HUANG Yong²

- (1. College of Foundation and Information Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;
2. Yunnan Institute of Measurement and Testing Technology, Kunming 650228, China)

Abstract: The measurement of gas flow is an important part of scientific measurement. Aiming at the problems that the standard equipment at present is adapted lower accuracy and higher cost to the calibration for small gas flow measurement, it is difficult to be realized gas flow verification and calibrated for high precision. According to the basic principle fluid mechanics, the standard method for the detection of gas flow was designed by using liquid displacement method. When the liquid was flowed into the standard measure, it was measured liquid flow into the standard containers, and compared the value with showing for the flow gauge, so it could be detected the gas flow meter accuracy. The experiments were carried out in the preparation of the prototype. Test results indicate that this method could make the expansion uncertainty reach 0.09%, and the calibration accuracy reach 0.2 for the equipment, which could reach the design requirements. The gas flow standard equipment has the advantages of convenient operation, high stability, good repeatability, especially with great advantages in high accuracy for small gas flow measurement.

Key words: measurement of gas flow; flow calibration; replacement; high accuracy

0 引言

气体流量计量广泛用于贸易结算、能源计量、过程控制、环境保护等方面。而气体流量计流量的溯源核心就是气体流量标准^[1]。特别是近年来全球能源资

源的匮乏, 全社会对流量计量的要求越来越高, 气体流量标准的研究对建立资源节约型社会和节能型工业具有十分重要的意义。

我国的气体流量标准研究水平和发达国家相比相对落后, 目前我国国内准确度等级最高的气体小流

收稿日期: 2013-04-02

基金项目: 国家质检总局科技计划资助项目(2008QK313)

作者简介: 王锐刚(1967-), 男, 云南昆明人, 副教授, 主要从事自动化控制及单片机控制仪表方面的研究。E-mail: wrg3767@163.com

通信联系人: 黄勇, 女, 高级工程师。E-mail: yn-flowrate@163.com

量标准装置为重庆市计量质量检测研究院的200 L活塞式气体流量标准装置,准确度0.05级,流量测量范围为0.01 m³/h~6 m³/h,该装置于上世纪90年代从日本进口,由于结构复杂,机械加工精度要求高,价格昂贵,限制了该标准装置的大量生产,使得这种计量方法无法广泛使用^[2],目前国内科研机构、计量部门大量使用气体流量标准为0.5级钟罩气体流量标准和0.5级皂膜气体流量标准,气体流量的标准总体水平较低^[3]。对于大量作为标准使用的0.2级、0.5级气体流量计无法校准,因此,如何有效校准高精度气体流量的标准研究迫在眉睫。

据国外相关资料报道,荷兰计量技术研究院建立了低压动态置换气体原级标准装置的荷兰国家基准,由500 L钟罩提供1 m³/h~4 m³/h的小流量。我国尚未开展用液体置换法的气体流量标准的研究。目前采用的气体流量标准装置对于小流量气体计量准确度低,并且校准费用大,对高精度的气体流量计无法校准。针对目前气体小流量标准装置存在的问题,设计并研制置换法气体流量标准装置,满足社会对提高气体流量精密检测技术的要求,为企业节能降耗提供手段,具有十分重要的意义。

本研究根据流体力学基本原理,采用液体置换法设计检测气体流量的标准方法。

1 液体置换法气体流量装置的设计

1.1 置换法的工作原理

根据流体力学知识,当普通流体不可压缩,密度为常数,且流动是恒定的时候,可视为理想流体看待。而理想流体流动时流过任意不同截面时满足质量守恒和机械能守恒定律,即满足流体力学的连续性方程和伯努利方程^[4-5]。

置换法气体流量校准是将被校流量计、密封标准容器和标准容器用管路连接起来,液体以一定流量流入标准量器,测出流入标准容器的液体流量,并与被校流量计的示值进行比较,从而检测被测的气体流量计。置换法的工作原理图如图1所示。

下面以图1来说明校准过程:

首先,关闭阀4和阀5,打开阀1和阀2,用水泵将标准密封容器装满水,关闭阀1和阀2,打开阀3,根据被校流量范围分别选用小流量调节阀4或大流量调节阀5、阀6调到流量检定点,开始计时,这时标准密封容器的水流入标准量器,同时分别记录被校流量计前和密封容器内的温度、湿度和压力,当水可以从标准量器液位读出时,记录时间 t 和标准体积 V_s ,由于是校准气体流量计,必须对流动气体的温度、压力、湿度加

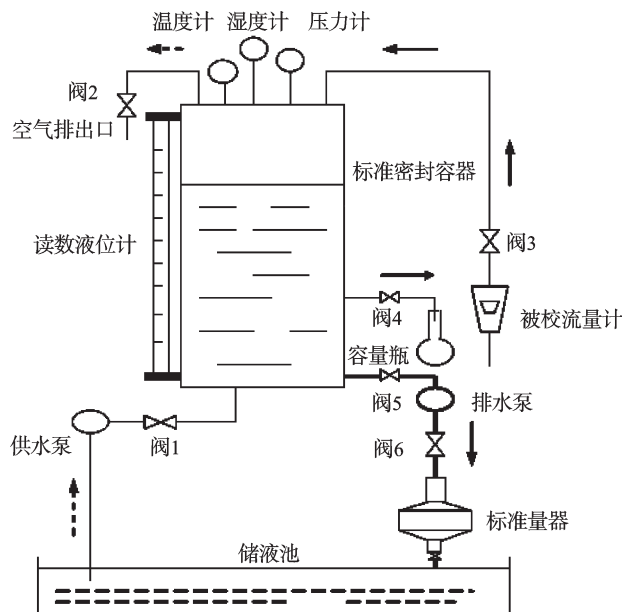


图1 置换法的工作原理图

以修正,被校流量计为转子流量计^[6-7],根据下式可计算出通过被校气体流量计的标准刻度流量 q_{sN} :

$$q_{sN} = \frac{V_s}{t} \frac{P_s - P_{Ds}}{T_s} \left(\frac{T_N T_m}{P_N (P_m - P_{Dm})} \right)^{1/2} \quad (1)$$

式中: V_s —流入标准量器的液体体积; t —液体流入标准量器的时间; P_N , P_s , P_m —标准状态下、标准密封容器内和流量计前的气体绝对压力, $P_N=101\,325\text{ Pa}$; T_N , T_s , T_m —标准状态下、密封容器内和流量计前的气体热力学温度, $T_N=293.15\text{ K}$; P_{Ds} , P_{Dm} —标准密封容器内和流量计前水蒸气压力。

被校流量计为其他气体流量计,根据下式可计算出通过被校气体流量计的实际流量 q_s :

$$q_s = \frac{V_s}{t} \frac{P_s - P_{Ds}}{P_m - P_{Dm}} \frac{T_m}{T_s} \quad (2)$$

1.2 气体流量装置的样机

气体流量装置的样机如图2所示。管路设计参



图2 装置样机图

数分别是:管内径 $d=0.032$ m,管道长度 $l=1.5$ m,流量 $Q_1=130$ L/min, $Q_2=45$ L/min,水温 $T=20$ °C,装置管路采用PVC材质,绝对粗糙度 $K=0.02$ mm。

1.3 置换法气体流量装置的软件设计

该系统软件设计采用结构化和模块化设计方法,便于功能扩展。该管理系统主要由文件、检定模块、查询模块、图像采集模块、数据维护等模块组成。其中,最核心的模块是检定模块,该模块包括连接标准流量装置、温湿度计、压力表进行流量检定3个功能。

1.3.1 测量前信息

测量前需要对待检表的相关信息登记,主要有委托单位、制造厂、规格型号等。按照实际情况如实填写各栏即可。其中,流量计类型选定、流量计上限流量及单位、检定依据等须参照待检表来认真填写。当确认信息录入无误后点击“保存”完成测量前信息录入,进入下一步,即进入测量监控部分。

该软件还支持续检功能,即能继续完成以前未完成的检定工作。具体操作为:点击更多未测量信息按钮,界面上测量编号就会变成下拉框并列所有未完成的检定,选择需续检的序号即可进入测量监控界面继续检测。

1.3.2 测量监控

测量监控主要由以下几个部分组成:连接状态区、开关状态区、控制键盘区、实时数据采集显示区、自动测量量程选择区、测量相关信息录入及结果显示区等。具体软件界面如图3所示。



图3 测量监控界面

各模块功能和操作方法如下:

(1) 连接状态。标示系统与压力表、温湿度计和气体流量标准装置的连接状态,如没连接上则显示红色并汉字提示无法连接,此时需检查相关设备和系统的连接线,排除故障后点击“重新连接”按钮重新测试连接状况。若确定采用脱机测试则可点击相应装置连接状况的汉字提示区,就可关掉与相应设备的连接而进行脱机测试。此时颜色会变成灰色并提示手动

输入相应数据;如脱离气体流量标准装置则只能进行离机测量。如需再连接各设备进行测量,点击“重新连接”即可。如系统和各设备连接上则显示绿色并汉字提示,此时可进行所有的操作。

(2) 测量方式选择区。动态测量和静态测量选择。动态测量为采用换向法进行测量,即在测量过程中首先打开通向水槽的电磁阀开始放水,流速稳定后关闭通向水槽的电磁阀,打开通向电子秤上的容器阀门开始测量。静态测量为不进行换向操作,直接打开通向电子秤上的容器阀门开始测量。

(3) 键盘控制区。主要由离机测量、复位、放水、注水、自动测量、手动测量、开始测量和停止测量8个键组成。其中离机测量是专为小流量检测而设计,主要操作为点击此按钮开始计时、采集温湿度及压强值,再次点击结束测量,该操作可脱离气体流量标准装置而进行。键盘控制区后7个按键主要是操作气体流量标准装置而进行测量。

(4) 实时数据采集区。显示测量过程中的各个测量结果值。当脱离压力表进行测量时标准器内表压会变成输入框,此时需手动输入压力值,当脱离温湿度计进行测量时标准器内温度、标准器内湿度都会变成输入框,此时需手动输入温湿度值。

(5) 自动测量量程选择。当进行自动测量时需在此选择量程,有10 L、50 L和100 L(默认)3个选项,当选择好量程后再进行自动测量时在液位到达量程位置时则会自动停止测量。

(6) 单位选择和标准选择。有mL和L,还有瞬时和累计4个选项,根据实际情况进行选择。会影响最后的计算结果的单位和数值及报表格式。

(7) 测量相关信息录入和结果显示。手动录入当地大气压、流量计前温湿度值、实测容积值、被检表流量和流量计前表压再点计算则可以得出此次测量的结果。点击“保存”完成一次测量流程。

1.3.3 测量结果

测量结果分为测量记录区、相关信息录入区两部分。测量记录区是记录上一步中测量的结果数据,相关信息录入区主要是录入检定审核信息,点击“保存结果”结束此次的测量,点击“打印”则可显示测量报告打印信息。测量结果界面如图4所示。

2 检定结果分析

测量不确定度是评定测量质量的一个重要指标,也是评定测量设备能力的基本指标^[8]。本研究根据JJF1059-1999^[9]及自行设计的气体流量标准装置样机的实际情况,在制备的样机上进行了试验。

图4 测量结果界面

试验分析检定结果表明:置换法气体流量标准装置的扩展不确定度为 $U=0.09\%$ ($k=2$), 达到该设计 $U=0.15\%$ ($k=2$) 的要求^[10]。

3 结束语

本研究根据流体力学基本原理,采用液体置换法设计检测气体流量的标准方法。

研究表明,置换法气体流量装置具有操作方便、稳定性高、重复性好等优点,用置换方法标准气体校准流量计,符合国家量传系统中流量计的溯源。置换法气体流量装置校准 1 L/min 以下小流量气体流量计采用的是高液位负压法,由于流量计前为大气,液体流出时有小口径短管控制,无需加泵仅靠液体自

流就可达到恒压,计算和操作相对简单。置换法流量标准装置校准较大流量时采用泵产生恒定流量,从而达到恒压,使流量点的调节易于控制。置换法流量标准装置在流量量传体系中将起到重要作用,特别是在高准确度、小流量测量方面具有优势。

参考文献(References):

- [1] 周伟华. 浅谈流量计量的意义[J]. 计量与测试技术, 2008,35(8):85-86.
- [2] 徐英华. 浅谈气体流量标准装置的发展状况[J]. 现代测量与实验室管理, 2004(2):7-8.
- [3] 王自合. 气体流量标准装置[M]. 北京:中国计量出版社, 2005.
- [4] 王福军. 计算流体动力学分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [5] 刘建军. 流体力学[M]. 北京:北京大学出版社, 2006.
- [6] 段慧明. 液体流量标准装置和标准表法流量标准装置[M]. 北京:中国计量科学出版社, 2004.
- [7] 北京市计量科学研究所. JJG 257-1994 中华人民共和国国家计量检定规程:转子流量计[S]. 北京:中国计量出版社, 1994.
- [8] 王 池. 流量测量不确定度分析[M]. 北京:中国计量出版社, 2002.
- [9] 李慎安. JJG1059-1999 测量不确定度的评定与表示[M]. 北京:中国计量出版社, 1999.
- [10] 莫伟平. 液体置换法气体流量标准装置的研究[D]. 昆明:昆明理工大学信息工程与自动化学院, 2010.

[编辑:张 翔]

(上接第 923 页)

参考文献(References):

- [1] 周 强. 真空镀膜电源技术的创新与发展[C]//真空学会学术年会会议. 东莞:[出版者不详], 2007:113-115.
- [2] 庞 华, 葛袁静, 张跃飞, 等. 射频等离子体自偏压及其对聚合成膜的影响[J]. 北京印刷学院学报, 2003, 11(4):19-23.
- [3] HAO Jun-ying, XU Tao, LIU Wei-min. Effect of deposition pressure on microstructure and properties of hydrogenated carbon nitride films prepared by DC-RF-PECVD[J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2005, 351 (49-51): 3671-3676.
- [4] 王翠珍, 吴凌燕, 陈世夏. 电路阻抗匹配网络的设计[J]. 机械与电子, 2009(33):109-110.
- [5] 王 亮. 射频电源与阻抗自动匹配技术研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学电气工程学院, 2010.
- [6] 楚信谱, 苟 伟, 李国卿, 等. 射频辉光放电自偏压对类金刚石碳膜结构和性能的影响[J]. 真空科学与技术学报, 2006, 26(z1):143-145.
- [7] MIKAMI Y, YAMADA K, OHNARI A, et al. Effect of DC bi-

as voltage on the deposition rate for Ni thin films by RF-DC coupled unbalanced-magnetron sputtering[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2000, 133-134(1):295-300.

- [8] XU Nian-kan, YIN Da-chuan, LIU Zheng-tang, et al. The effects of applied bias voltage on structure and hydrogen content of a-C:H films[J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1997, 30(5):763-768.
- [9] 吉 利, 李红轩, 赵 飞, 等. 电感耦合射频等离子体增强化学气相沉积类金刚石薄膜偏压的影响[C]//第七届全国表面工程学术会议. 武汉:[出版者不详], 2008:353-356.
- [10] 张嘉波, 张 宪. 多焊接电源控制技术[J]. 轻工机械, 2011, 29(4):63-67.
- [11] 常海波, 徐 洮. 直流负偏压对类金刚石薄膜结构的影响[J]. 化学研究, 2005, 16(1):35-38.
- [12] LI H X, XU T, CHEN J M, et al. The effect of applied dc bias voltage on the properties of a-C:H films prepared in a dual dc-rf plasma system[J]. *Applied Surface Science*, 2004, 227(1):364-372.

[编辑:张 翔]