

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.02.002

关于飞机系统模拟试验中流量计 在线校准技术的探讨

On-Line Calibration Technology of Flow Meter in the Simulation Testing of Aircraft Systems

倪君菲 柯一春 盛承勋 / NI Junfei KE Yichun SHENG Chengxun

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

在飞机系统地面模拟试验中, 各类液体流量计及其流量显示仪表在液压、飞控、电源等系统试验中得到了广泛使用。从流量计连接方式、液体介质、流量显示方式三个方面分析了传统实验室的液体流量计计量方式所存在的弊端, 同时, 研究发现在各飞机试验系统中某些位置的液体流量计体积较大、安装复杂、不便拆卸。为解决上述问题, 列举了 3 种在线校准液体流量计的方法, 以避免流量计拆卸和安装, 提高了工作效率, 具有实用价值。

关键词: 液体流量计; 流量显示仪表; 在线校准

中图分类号: V241.7⁺22

文献标识码: A

[**Abstract**] In the ground simulation testing of aircraft systems, varieties of liquid flow meters and their corresponding flow meters are widely used in the hydraulic, flight control, power supply and other system tests. This paper analyzes the traditional methods of laboratory measurement of liquid flow meters in three aspects which are the flow meter connection, the liquid medium, and flow display mode. The result shows that optimization of the traditional methods of laboratory measurement is urgent. At same time, some liquid flow meters are too large and complicated to install and disassemble. This paper presents three novel methods for calibration of liquid flow meter on-line mode. These methods can avoid the disassembly and installation of the flow meter and improve the work efficiency, which have great practical value.

[**Keywords**] liquid flow meter; flow meter; on-line calibration

0 引言

在飞机系统地面模拟试验中, 液体介质流量是需要测量的重要参数之一。如在飞机电源系统集成试验中, 对发电机冷却设备管路中润滑油流量进行测量和监控, 往往对试验的正常开展起到重要作用。各类液体流量计可以测量液体介质流量, 其中流量显示仪表显示是流量测量的常见方式, 虽然流量计一般都自带有流量显示, 但由于其往往安装于管路中, 无法便捷观察流量显示值, 最

终还是会选择另配流量显示仪表以便于实时查看流量变化。

流量计按其测量原理不同, 可分为多种类型, 如涡轮流量计、差压流量计、涡街流量计、超声波流量计等。为实现流量测量, 流量计内部结构往往较为复杂, 甚至包含有其他传感器, 如某些高精度的差压流量计, 其内部集成了压力传感器、温度传感器、差压变送器, 进行温度、压力补偿, 通过压力、温度、压差三参数测量计算得出流量值。

流量计及其流量显示仪表传统计量方式是分

别拆卸后送计量技术机构实验室检定/校准,计量完成后装回原处。拆装、检定/校准都耗费时间,并且拆装过程容易损坏流量计和流量显示仪表,这种计量方法耗时费力,还可能影响飞机系统试验进度。同时,在实验室检定/校准中,由于流量计的连接方式、液体介质和流量显示方式等因素影响同样会给实验室流量计计量带来困难。因此,随着现代测量技术的发展,对于流量计和流量显示仪表的计量开始逐渐倾向于现场在线校准。

1 流量计实验室计量弊端分析

1.1 流量计连接方式

目前流量计与管路最常见的连接方式主要有螺纹接连和法兰连接两种,如图 1 所示的椭圆齿轮流量计,其连接方式就是法兰连接。图 2 所示是齿轮流量计,其连接方式为螺纹连接。在实际流量计计量中会出现流量标准装置构造和被校准流量计的连接方式不匹配的现象,从而导致计量困难。如上海某计量技术机构,其计量齿轮流量计的标准装置在柴油介质下只能计量法兰连接方式的流量计,如果要计量螺纹连接方式的流量计需另外加工直管段和法兰,无形中就提高了计量的成本,也延长了计量时间。



图 1 椭圆齿轮流量计图



图 2 齿轮流量计图

1.2 液体介质

国防科技工业 4113 二级计量站的王俊涛、桑培勇等人利用已建立的燃油流量标准装置和滑油流量标准装置,对涡轮流量计在航空燃油和航空润滑油两种不同液体介质下进行了性能测试和比较,发现涡轮流量计在两种不同液体介质中仪表系数不同,同时线性差别也较大。因此得出不同液体介质粘度会对涡轮流量计测量性能产生较大影响^[1]。

某飞机系统地面模拟试验中所用齿轮流量计的液体介质是航空润滑油,该介质主要起润滑和冷却作用。目前,计量技术机构在流量计计量时主要采用水和柴油两种介质,与实际使用的润滑油在密度和黏度上都存在差异。同时对于齿轮流量计,水介质容易造成流量计内部结构生锈,导致流量计测量精度下降,甚至损坏。

1.3 流量显示方式

图 1 所示的椭圆齿轮流量计,其自带计数器指针显示被测液体介质的累积流量,同时其内部发信器也可将被测液体介质流量转换成电脉冲信号输出给流量显示仪表,由其显示流量值。实际使用时,由于流量计安装在管路里,流量值读取一般只查看流量显示仪表的显示值。图 2 所示的齿轮流量计无自带显示功能,但其内部放大器可将被测液体介质流量转换成电脉冲信号输出给流量显示仪表显示流量值。某些计量技术机构在计量如图 1 所示的椭圆齿轮流量计时,往往读取流量计自带计数器的指针显示作为流量计测量值,但是常年使用的计数器由于其内部机械结构磨损容易造成计数器指针走快或走慢,从而导致流量计测量精度下降,甚至出现超差的现象。

1.4 流量计拆卸与安装

在飞机系统地面模拟试验中,液体流量计一般安装于管道内,同时某些位置的流量计安装复杂,不便拆卸,拆卸过程中必然也会导致管道内液体介质流出,造成浪费。一些大口径流量计体积较大、质量重,运输送检也极为不便。

2 流量计在线校准方法

针对章节 1 中提到的液体流量计实验室计量所存在的弊端,本研究提出采用比对法来对流量计开展现场在线校准,根据流量测量原理不同,可将该方法分为称重比对法和流量计比对法两种。

2.1 称重比对法

所谓称重比对法,即是在管路中液体介质流场稳定的状态下,将某段时间 t 内流经流量计的液体介质导出至某一容器内,再用电子秤对这些液体介质进行称重,得到液体介质质量 m ,时间 t 则由电子秒表测量得到,假设液体介质密度是 ρ ,则可得出:

- 1) 流经流量计的液体介质质量流量 $M = m/t$;
- 2) 流经流量计的液体介质体积流量 $Q = m/(\rho \cdot t)$ 。

将 M 或 Q 与流量显示仪表显示值比对即可得出被校准流量计及其显示仪表对液体介质流量测量的示值误差。

称重比对法所需主要校准设备见表 1,这些设备须经有资质计量技术机构检定/校准,计量结果符合预期使用要求且在计量有效期内。

表 1 主要校准设备

设备名称	主要技术指标
电子秤	电子秒表
准确度等级:Ⅲ级及以上	准确度: $\pm 0.5 \text{ s/d}$

称重比对法实施的简易图如图 3 所示。

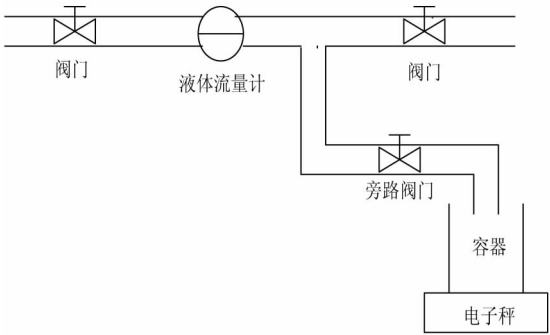


图 3 称重比对法实施简易图

称重比对法实行必须具备以下条件:

- 1) 管路中必须留有旁路引流口可将流经流量计的液体介质导出至容器中;
- 2) 如需得到体积流量 Q 需事先了解液体介质的密度或用密度计现场测量得到。

称重比对法操作简单,计算方便,但其实条件相对苛刻,同时时间 t 由人工根据电子秒表得到,容易带入人为误差,从而导致质量流量 M 和体积流量 Q 计算不准确。

2.2 流量计比对法

流量计比对法是被校准流量计与更高精度流

量计同时对液体介质进行流量测量,测量结果进行相互比对得出被校准流量计及其显示仪表对液体介质流量测量的示值误差,例如在管路里接入更高精度的流量计、管路外夹装临时超声波流量计等。

2.2.1 管路里接入高精度流量计比对法

流量计比对法中常用的一种方法是在被校准流量计管路中接入更高精度流量计,以该流量计作为标准流量计,与被校准流量计同时测量液体介质流量,测量结果进行相互比对得出被校准流量计及其显示仪表对液体介质流量测量的示值误差。

该方法所用主要校准设备见表 2,接入的高精度流量计应经有资质计量技术机构检定/校准,计量结果符合预期使用要求且在计量有效期内。

表 2 主要校准设备

设备名称	主要技术指标
高精度流量计	精度优于被校准流量计最大允许误差的 1/3

该方法的原理框图如图 4 所示:

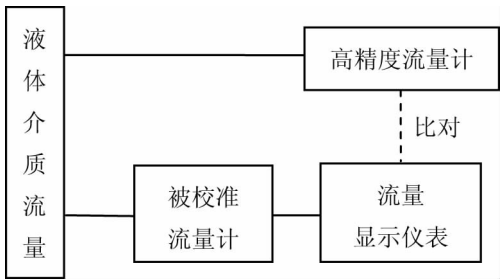


图 4 管路里接入高精度流量计比对法原理框图

该方法目前已运用到某型号飞机系统地面模拟试验的流量计计量中,其操作简单方便,可直接得到液体介质质量流量 M 或体积流量 Q ,无需换算。同时该方法实行需具备一个重要条件:管路需留有接口可让高精度流量计接入到管路中,必要时需要加工相关配件,如用于接入高精度流量计的管路等。

2.2.2 超声波流量计比对法

超声波流量计用于流量计在线校准的主要方法为时差法^[2],它是声波在液体介质中传播,由于受到液体介质顺流、逆流影响,传输会出现时间差,通过推算这个时间差与液体介质流速存在的换算关系,进而得到液体介质的流量。通常认为声波在流体中的实际传播速度是由介质静止状态下声波的传播速度(c_f)和流体轴向平均速度(v_m)在

声波传播方向上的分量组成。按图 5,顺流和逆流传播时间与各量之间的关系如式(1)和式(2)所示^[3]:

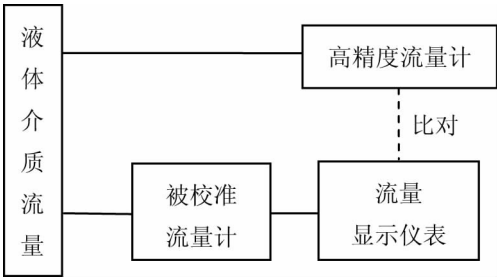


图 5 超声波在流体中传输各量示意图

$$t_{\text{down}} = t_{\text{AB}} = \frac{L}{(c_f + v_m \cos \phi)} \tag{1}$$

$$t_{\text{up}} = t_{\text{BA}} = \frac{L}{(c_f - v_m \cos \phi)} \tag{2}$$

式中:

- t_{up} ——超声波在流体中逆流传播的时间;
- t_{down} ——超声波在流体中顺流传播的时间;
- L ——声道长度;
- c_f ——声波在流体中传播的速度;
- v_m ——流体的轴向平均流速;
- ϕ ——声道角。

利用式(1)和式(2)即可得到液体介质轴向平均流速如式(3)所示:

$$v_m = \frac{L}{2 \cos \phi} \left(\frac{1}{t_{\text{down}}} - \frac{1}{t_{\text{up}}} \right) \tag{3}$$

将式(3)得到的 v_m 乘以管道横截面即可得到液体介质的体积流量。

按超声波流量计使用说明书要求,将其安装于被校准流量计管路上。把超声波流量计作为标准流量计,与被校准流量计同时测量液体介质流量,测量结果进行相互比对得出被校准流量计及其显示仪表对液体介质流量测量的示值误差。该方法原理框图与图 4 相同。

该方法所用主要校准设备见表 3。所用超声波流量计应经有资质计量技术机构检定/校准,计量结果符合预期使用要求且在计量有效期内。

表 3 主要校准设备

设备名称	主要技术指标
超声波流量计	精度优于被校准流量计最大允许误差的 1/3

超声波流量计比对法在流量计在线校准中有其不可替代的优势:超声波流量计体积小,便于携带,安装相对方便;适用范围广,可用于各种类型流量计的在线比对;适应性强,可用于不同管径,不同介质的比对^[4]。但是,目前便携式超声波流量计精度一般在 $\pm 0.5\%$ 左右,无法校准高精度的流量计。同时超声波流量计受制于其自身测量方式,其测量精度还受以下几方面影响:

1)超声波流量计安装距离。一般情况下,安装距离应根据上下游位置的不同来确定:在上游,应选择大于 10 倍直管径的位置;在下游,应选择 5 倍直管径以内没有弯头、阀门等材质均匀的直管段。此外,安装的地点应尽量避免高压电、变频器等主要干扰物,且直管段的长度应尽量加长,这样更有利于消除各种不利因素^[5]。

2)管道要求。在超声波流量计上、下游直管段范围内,管道内壁应清洁,无明显凹痕、锈蚀、结垢等现象。

3)需事先了解管道直径、管道壁厚等参数或现场用卷尺、测厚仪等量具多次测量取平均值得到。对无法测量的参数,如管道材质、衬里材料等,根据技术资料查明并确认^[6]。

4)确认校准环境条件。比如现场的温度、湿度、外磁场及机械振动等,应小到对被校准流量计和超声波流量计的影响忽略不计。同时应确认管道内为单相稳定流、满管流且不含气泡^[7]。

3 结论与展望

液体流量计现场在线校准既避免了其传统实验室计量所存在的弊端,又可以解决因多种原因导致流量计难以拆卸送检计量的难题。在保证流量计数据准确可靠的基础上,提高了工作效率,节省了时间,在紧张的飞机系统地面模拟试验进程中,必将对保证试验的质量和试验的节点发挥重要作用。

在线校准是计量技术发展的趋势。一方面,随着现代测量技术的不断发展,将会有更多高端测试设备、测量方法出现,如更高精度的超声波流量计的产生。另一方面,应积极推进“可计量性”、“可检测性”理念的发展,在产品设计研制阶段就能考虑产品的可计量性,为后续产品周期计量奠定基础。

参考文献:

- [1] 王俊涛,桑培勇,尚增强,等. 涡轮流量计在不同黏度液体介质中试验分析[J]. 工业计量,2015,25 (4):22-25.
- [2] 李长武,张东飞. 超声流量计用于液体流量仪表在线校准方法研究[C] // 中国仪器仪表学会. 中国仪器仪表学会第十一届青年学术会议论文集. 2009,4.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 超声流量计检定规程:JJG 1030-2007 [S]. 北京:中国计量出版社,2007.
- [4] 吴新生,廖小永,魏国远,等. 流量计现场在线计量校准方法初探[C] // 中国水利学会. 中国水利学会 2010 学术年会论文集. 郑州:黄河水利出版社, 2010.
- [5] 陈现. 超声流量计在液体流量仪表在线校准中的应用[J]. 科技与创新,2015(21):120-121.
- [6] 姜继生. 水流量仪表在线校准方法探讨[J]. 计量与测试技术,2012,39(1):24.
- [7] 吴静. 采用超声波流量计进行在线校准研究[J]. 中国计量,2008 (9):68-69.

作者简介

倪君菲 男,本科,工程师。主要研究方向:民用飞机计量管理、计量技术研究;E-mail:nijunfei@comac.cc

柯一春 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机计量管理、计量技术研究;E-mail:keyichun@comac.cc

盛承勋 男,本科,高级工程师。主要研究方向:民用飞机计量管理、计量技术研究;E-mail:shengchengxun@comac.cc