

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2018.06.09

基于电磁阀的小流量换向器修正方法研究

张永胜, 于华伟, 张毅治

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 为了研究二位三通电磁阀在微小流量下的换向性能, 研究中对某型电磁阀换向时间差开展了测试试验。试验结果表明电磁阀换向时间差为负值, 且时间差随流量减小其绝对值增大。在高流量段电磁阀具有良好换向性能; 而在低流量范围内, 通过采用双衰减函数进行修正, 可有效降低换向时间差引入的不确定度。研究表明: 将电磁阀作为换向器应用于小流量液体流量标准装置具有较高可行性。

关键词: 计量学; 电磁阀; 换向器; 液体流量标准装置

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2018)06-0037-04

Research on Correction Method of Small Flow Diverter Based on Solenoid Valve

ZHANG Yongsheng, YU Huawei, ZHANG Yizhi

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: In order to study the performance of the two-position three-way solenoid valve as a diverter under a small flow rate, a test was conducted to investigate the diverting time difference of a certain type of solenoid valve. The test result shows that the diverting time difference of the solenoid valve is negative, and the difference increases as the flow rate decreases. The solenoid valve has good performance in high flow range. In the low flow range, the correction method by using a double exponential decay function, the uncertainty introduced by the diverting time difference can be effectively reduce. The study shows that it is highly feasible to use a solenoid valve as a diverter for the standard facility for small liquid flow.

Key words: metrology; solenoid valve; diverter; standard facility for liquid flow

0 引言

液体流量标准装置作为流量参数量值统一与传递的标准^[1-2], 能够为液体流量计的量值传递准确、统一提供重要保证; 液体流量标准装置是对流量计进行型式评价、计量校准的评判准绳。换向器是静态质量法或容积法流量标准装置的重要组成部分, 是影响装置准确度的关键部件之一。JJG 164-2000《液体流量标准装置检定规程》明确指出^[3], 换向器的不确定度、衡器(或工作量器)的不确定度、计时器的不确定度是静态质量法(或容积法)装置最为主要三项不确定度分量。合理控制换向器引入的不确定度是保证液体流量标准装置整体性能重要环节。

根据换向器结构形式可分为闭式换向器和开式换向器两种^[4-5], 两种形式的换向器 DN10 口径以上都有较为成熟行业专用产品可供选择, 但在流量小于 500 mL/min 的微小流量范围无满意成熟专用产品。电磁阀作为成熟工业产品, 广泛应用于气动、液压、水压等系统内, 用于系统内调整介质的方向、流量、速

度和其他的参数。电磁阀具有很高响应速度, 响应时间可小于 10 ms; 二位三通电磁阀和闭式换向器具有相同工作原理^[6-7]。研究中采用二位三通电磁阀作为换向器, 依据 JJG 164-2000《液体流量标准装置检定规程》中换向时间检定方法对电磁阀换向时间差进行了测试评价, 并给出换向时间差修正方法降低其引入不确定度。

1 试验方法

1.1 试验系统

试验系统通过压缩空气排出压力容器中的工作介质, 图 1 是试验系统示意图。系统内工作介质为纯净水, 压力容器内注入工作介质, 压缩空气经过减压后进入压力容器形成稳定的压力, 根据要求开启必要阀门形成回路, 利用流量调节阀调节流量。系统内流量计输出信号为脉冲信号, 利用电子天平对流经流量计和电磁阀的介质进行称量。试验系统管路内径约为 $\Phi 4$ mm, 流量范围是 3~600 mL/min, 电子天平最大称量重量为 1600 g, 分辨力为 0.01 g。

试验系统根据流动方向具有两种工作状态,即工作介质由压力容器 1 流入压力容器 2(方式一)和由压力容器 2 流入压力容器 1(方式二),根据工作状态确定开关阀开启或关闭。方式一:开启 V1, V4, V6, V7, V9(或 V10), 关闭 V2, V3, V8; 方式二:开启 V2, V3, V5, V8, V9(或 V10), 关闭 V1, V4, V7。

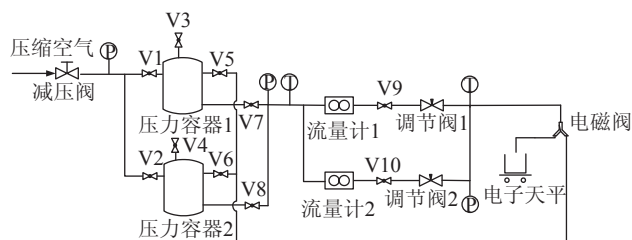


图1 试验系统示意图

1.2 二位三通电磁阀

研究选用电磁阀是 ASCO 二位三通电磁阀,电磁阀管径为 1/4 吋,内部通径为 4.4 mm。图 2 和图 3 分别是电磁阀实物图和结构图。电磁阀内通孔 1 与出口 1 联通,通孔 2 与出口 2 联通。断电状态下,在弹簧作用下密封件 2 封堵住通孔 2,通孔 1 打开,进口与出口 1 联通,断电状态下,试验系统工作介质直接进入回流容器内;通电状态,在电磁线圈驱动下动铁芯,密封件 2 与通孔 2 脱离,密封件 1 封堵住通孔 1,使进口和出口 2 接通,通电状态下,流体介质流入称量容器,可由电子天平进行称重。



图2 电磁阀实物图

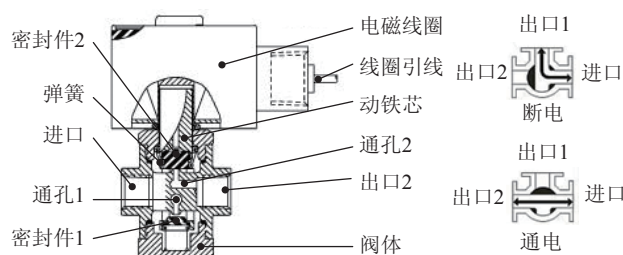


图3 电磁阀结构图

1.3 测试方法

依据 JJG 164-2000《液体流量标准装置检定规程》中“流量计检定法”对电磁阀换向时间差进行测量。首先对系统中某支流量计检定 1 次,记录电子天平示值 B_{1i} 、测量时间 t_{1i} 和流量计脉冲数 N_{1i} ;在与 t_{1i} 大致相同的时间内造作电磁阀,使电磁阀换向 $m(m \geq 10)$ 次,记录电子天平示值 B_{2i} 、累积测量时间 t_{2i} 和流量计累积脉冲数 N_{2i} 。完成 1 次测量。重复进行 n 次,研究中 $n=3$,记录 B_{1i} , B_{2i} , t_{1i} , t_{2i} , N_{1i} 和 N_{2i} , 则第 i 次换向时间差 Δt_i 可通过式(1)计算。

$$\Delta t_i = \frac{t_{1i}(N_{1i}/N_{2i} - B_{1i}/B_{2i})}{[(mB_{1i}/B_{2i})(t_{1i}/t_{2i}) - (N_{1i}/N_{2i})]} \quad (1)$$

通过式(2)、式(3)、式(4)计算换向时间差平均值 Δt , A 类相对标准不确定度 s 和 B 类相对标准不确定度 u 。A 类相对标准不确定度 s 通过极值法进行计算,研究中取 $d_n = 1.69$ 。

$$\Delta t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (2)$$

$$s = \frac{(\Delta t_i)_{\max} - (\Delta t_i)_{\min}}{d_n t_{11}} \times 100\% \quad (3)$$

$$u = \frac{\Delta t}{2t_{11}} \times 100\% \quad (4)$$

2 修正方法研究

2.1 测试结果

研究在中在 4.5 ~ 594 mL/min 范围内对电磁阀换向时间差进行了测量,图 4 是电磁阀换向时间差、A 类相对标准不确定度及 B 类相对标准不确定度随流量变化曲线。电磁阀换向时间差具有以下变化趋势:①在试验流量范围内,换向时间差为负值,且随着流量变小,换向时间差绝对值增大;②在大于 80 mL/min 的范围,换向时间差基本小于 0.1 s,变化梯度较小;30 ~ 80 mL/min 为过渡范围,变化梯度逐渐增大;在小于 30 mL/min 范围内,时间差变化梯度迅速增大,时间差绝对值迅速增加;③在大于 200 mL/min 范围内, A 类与 B 类标准不确定度权重接近;在小于 200 mL/min 范围内,由于换向时间差变化梯度增大, B 类不确定度权重迅速增加;④A 类不确定度变化范围远小于 B 类不确定度变化范围,两类不确定度变化范围分别是 0.01% ~ 0.12% 和 0.02% ~ 0.45%;⑤B 类不确定度与时间差绝对值变化趋势一致,在大于 200 mL/min 范围, B 类不确定度不大于 0.06%,在小于 200 mL/min 范围内, B 类不确定度迅速增大,在最小流量点处达到 0.45%。

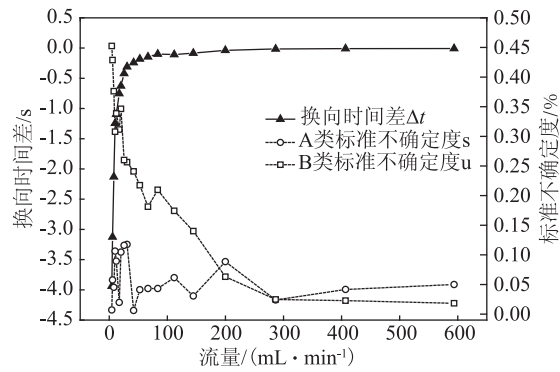


图4 换向时间差和不确定随流量变化曲线

试验中存在排入称量容器的管路末端悬垂水滴在电磁阀通电瞬间吸回管路的现象，排入称量容器的管路是与电磁阀出口 2 连接。水滴吸入管路后经过一段时间 δt 后，流体介质才会重新流出并进入称量容器。所经过的时间 δt 与流量相关，流量越小时时间 δt 越长。出现该现象的原因在于，通电瞬间动铁芯带动密封件 2 高速远离通孔 2，由于流体介质的粘性，导致密封件底部通孔 2 内流体微团反向流出通孔 2，使得通孔 2 内压力低于出口 2 连接管末端的大气压，进而使悬垂的水滴反流回管内。动铁芯动作完成后，经过时间 δt 后，通过上游流体进行补充，重新建立稳定流场和压力后，流体再次从出口 2 连接管中流出。显然通孔 2 内流体补充时间导致换向时间差为负值，且该时间随流量减小而增大。

2.2 修正方法

研究中采用双指数衰减函数对换向时间差与流量关系进行曲线拟合，双指数衰减函数由式(5)表示。表 2 是拟合曲线系数。通过 R-square 值对拟合度进行评估，拟合优度值约为 0.996，拟合结果非常好。图 5 是时间差与流量关系拟合曲线图。

$$\Delta t = A_1 e^{-q/t_1} + A_2 e^{-q/t_2} + \Delta t_0 \quad (5)$$

表 2 换向时间差拟合曲线系数

A_1	t_1	A_2	t_2	Δt_0
-9.821	3.853	-0.9902	27.57	-0.03909

2.3 修正方法验证

通过双指数衰减函数对电磁阀换向时间差进行修正，再次利用流量计检定方法对电磁阀流量计换向时间差进行测试。图 6 是修正后换向时间差和不确定随流量变化曲线。试验针对 250 mL/min 以下流量范围展开，验证试验结果表明，电磁阀换向时间差和 B 类不

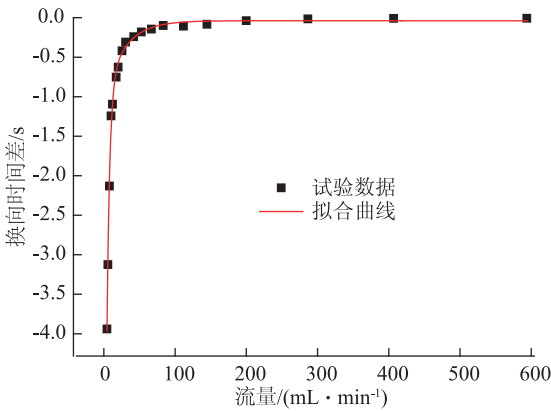


图5 换向时间差和流量拟合函数曲线

确定度大幅度降低。最小流量点 5.2 mL/min，换向时间差为 0.83 s，B 类标准不确定度是 0.11%；除去最小流量点，其他各点 B 类不确定度最大值是 0.074%；修正前后 A 类不确定度无明显变化。

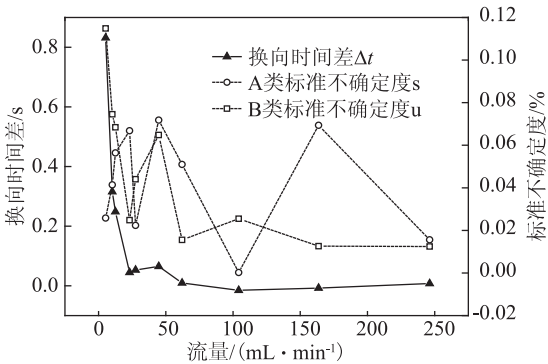


图6 修正后换向时间差和不确定随流量变化曲线

3 结论

研究中对电磁阀在小流量液体流量标准装置作为换向器的性能进行试验，并给出了基于双指数衰减函数时间差修正方法，并对修正方法进行验证。研究结果表明：当不使用修正方法时根据流量范围选择适当口径和流量系数的电磁阀，可将换向器引入的不确定度控制在较小的范围内；对于宽流量范围标准装置可通过多个电磁阀并联实现。使用修正方法时采用合理的修正方法可有效减小电磁阀换向时间差，并大幅度降低时间差引入 B 类不确定度，进而扩展电磁阀适用的流量范围。

参考文献

[1] 苏彦勋，杨有涛. 流量检测技术[M]. 北京：计量质检出版社，2012：277-337.

- [2] 王池, 王自和, 张宝珠, 等. 流量测量技术全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 658-665.
- [3] 全国流量容量计量技术委员会. JJG 164-2000 液体流量标准装置检定规程[S], 2000.
- [4] 史振东, 李旭, 王东伟. 两种换向器在液体流量标准装置中的应用[J]. 计量技术, 2000; 1(12): 65-66.
- [5] 马龙博, 郑建英, 赵建亮. 液体流量标准装置中开式换向器测量误差模型研究[J]. 传感技术学报, 2015, 28(4): 515-520.
- [6] 官志坚, 沈峰. 高粘度微小流量标准装置换向系统的实现及验证[J]. 测控技术, 2013, 32(7): 1-7.

- [7] 韩义中, 官志坚. 主动式体积管实现微小流量校准的改造[J]. 计测技术, 2015(s1): 150-151.

收稿日期: 2018-08-29

作者简介

张永胜(1980-)男, 工程师, 从事流量校准及标准装置研发工作。



2018 首届世界传感器大会在郑州成功召开

本刊讯 2018 年 11 月 12 日, 由工业和信息化部、中国科学技术协会、河南省人民政府指导, 智能传感器创新联盟(国家级)、中国仪器仪表学会、郑州高新技术产业开发区管委会发起, 中国仪器仪表学会、河南省发改委、河南省科技厅、郑州市政府等单位主办, 中国仪器仪表学会秘书处、郑州高新区管委会承办的“首届世界传感器大会”于郑州国际会展中心隆重召开。本次传感器大会邀请了 中国科协、工信部领导出席, 来自国内外顶尖专家学者、国内外企业高管、以及地方政府主管单位代表 1500 余人参加了此次会议, 交流全球传感器科技、产业和应用的最新成果。

盛大的开幕式之后, 大会主论坛“世界传感器科技高峰论坛”召开。主论坛由清华大学副校长、中国工程院院士尤政主持。IEEE 传感器委员会主席 Fabrice Labeau, 《Sensor and Actuators》期刊主编 Paddy French, 以及 2014 年诺贝尔物理学奖获得者、美国加州大学圣塔芭芭拉分校工程学院材料系的中村修二, 美国加州大学伯克利分校传感器和执行器中心主任林立伟, 中国科学院院士、天津大学教授姚建铨, 声表面波世界级专家千叶大学教授桥本研也分别发表了精彩的演讲。主论坛之后还举办了 20 场分论坛。

出席本次大会的国内外知名专家还有: 清华大学教授、中国工程院院士金国藩, 西安交通大学教授、中国工程院院士蒋庄德, 中国科学院院士周立伟, 哈尔滨工业大学教授、中国工程院院士谭久彬, 天津大学教授、中国科学院院士姚建铨, 中科院沈阳自动化研究所研究员、中国工程院院士王天然, 中科院上海微系统与信息技术研究所研究员、中国工程院院士方家熊, 中科院长春应用化学研究所研究员、中国科学院院士杨秀荣等。



传感器大会现场



2018 首届世界传感器大会



传感器产业博览会现场

会议期间举行传感器产业博览会, 1.2 万平方米的展览展示区汇聚近 200 多家国内企业组织、80 余家国外企业组织参展, 很多智能传感器产业的最新技术、产品和应用首次在博览会上亮相。

大会发布了中国仪器仪表学会、智能传感器创新联盟联合河南省人民政府共同发起的“郑州共识”。中国工程院院士、西安交通大学教授蒋庄德宣读了共识。“郑州共识”决定, 从 2018 年开始, 连续 3 年在河南省郑州市召开国际性的传感器大会。大会将联合国内外相关机构、国内外专家学者以及企业家代表, 共同构建全球化的交流平台, 推动全球化的传感器产、学、研、用及上下游产业链的对接融合, 促进世界尤其是中国传感器技术及产业的创新发展。