

几种水表校验方法误差分析

宁波水表股份有限公司 汪少白

摘要：通过试验和误差分析方法来讨论不同水表校验方法的系统误差和随机误差，说明同一个水表采用同一校验方法或不同校验方法有不同的示值误差的原因，对比了几种水表校验方法准确度高低。

关键词：水表；校验装置；检定规程；不确定度

0 引言

从事过水表校验的人都知道：水表在多次重复校验或在不同类型校验台上校验时其示值误差具有一定的离散性，这些离散性是如何产生的呢？文章用一些试验数据，并通过对启停静态容积法、换向静态称重法、活塞缸动态容积法的系统误差和随机误差分析，主要项的不确定度计算来说明示值误差离散性是如何产生的.并对提高启停静态容积法准确度提出改进方案。

1 试验与数据

1.1 惯性试验

试验方法：旋翼式水表按常规装夹在校验台上，然后通水排汽，控制流量在试验流量点，使水表在该试验流量下匀速转动，突然关闭阀门停止水流，观察水表从水流停止起靠惯性转过的指示值。

表 1 LXS-F3 型水表转动惯性量

口径	表号	流量（升/小时）				
		30	50	120	2500	100
		转动惯性量（升）				
15	9441	0.03	0.05	0.07	0.21	
	8552	0.02	0.04	0.05	0.25	
	6396	0.03	0.05	0.07	0.22	
	9942	0.03	0.05	0.07	0.21	
	6397	0.03	0.05	0.06	0.25	
	9905	0.04	0.05	0.08	0.24	
25	1513	0.04	0.06	0.11	0.34	0.12
	1509	0.05	0.08	0.13	0.44	0.11
	1510	0.05	0.07	0.13	0.39	0.12
	1511	0.03	0.06	0.12	0.4	0.13
	1503	0.04	0.06	0.11	0.34	0.11
	1508	0.05	0.07	0.13	0.4	0.12

1.2 不同用水量示值误差试验

试验方法：按常规启停静态容积法校验水表，在同一试验流量下分别记录用水量 10 升、100 升的示值误差。

表 2 LXS-F3 型水表不同用水量示值误差 (%)

口径	表号	流量：100 (升/小时)	
		10 (升)	100 (升)
25	1513	0.50	-0.62
	1509	1.00	0.11
	1510	1.29	0.47
	1511	1.59	0.49
	1503	1.19	0.06
	1508	1.69	0.47

1.3 水密度测试试验

试验方法：用温度计、密度计测试常压下实际校验使用中水的不同温度下的密度

表 3

类别	温度 (°C)							
	10	20	30	39.5	50	59.5	78	88
使用水密度	0.9980	0.9960	0.9945	0.9900	0.9860	0.9815	0.9720	0.9665
纯水密度 ^[3]	0.99970	0.99820	0.99565	0.99240	0.98804	0.98345	0.97300	0.96661

2 误差分析

水表是一种体积测量仪表，现对启停静态容积法、换向静态称重法、活塞缸动态容积法三种校验装置校验旋翼式速度水表时系统误差、随机误差进行分析以及主要项的不确定度计算，水表示值误差=（水表指示值—标准容积）/标准容积×100%。

2.1 启停静态容积法

启停静态容积法是一种直接法，是目前校验小口径水表最广泛的校验方法，由于此种校验设备比较经济，不但水表生产企业广泛使用，而且技术监督部门也大量使用。

此种设备操作方法是：装夹上被校水表后，排汽，关闭标准容器放水阀门，抄录水表读数，电磁阀打开使流量达到校验流量，当标准容器的水量达到规定容积时关闭电磁阀，待水表指针停止转动后再次抄录水表读数。

2.1.1 系统误差

1) 当阀门关闭后水表靠惯性转动的指示值

以 15 水表为例：当流量是 50 升/小时，绝对转动惯性量约为 0.05 升。不同水表有不同的惯性量（见表 1），当校验水表确定后可以用实验确定它的估计值，现在该系统误差未作修正，从表 1、表 2 试验数据可以看出，其影响量不小。

温度变化引起的标准容器变化量、水体积变化量、标准容器指示标尺变化量，这些系统误差由于影响量小未作修正。

2.1.2 随机误差

水表分辨率、标准容器标尺分辨率

2.1.3 主要项不确定度计算

标准容器千分之二允差，相对标准不确定度 $u_{允}=0.002/3=0.00067$

标准容器指示标尺千分之二分辨率，相对标准不确定度 $u_{标}=0.001/\sqrt{3}=0.00058$

15~25 水表指针最小分辨率 0.05 升，如果校验用水量为 10 升时相对分辨率是 0.005，其

相对标准不确定度 $u_{w分}=0.0025/\sqrt{3}=0.00144$

相对合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{0.00067^2+0.00058^2+0.00144^2}=0.0017$

相对扩展标准不确定度 $U_{99}=3\times 0.0017=0.51\%$

2.2 换向静态称重法。

换向静态称重法是一种间接测量法，操作方法如下：装夹水表，排汽，调节流量至校验流量，当水表在该流量下匀速转动时操作换向器使校验流量换入称重容器中，当用水量达到要求时操作换向器换出流量，在这过程同时用光电信号记录水表指示的用水量，电子秤上显示的质量通过公式 $V=m/\rho$ 换算成标准容积。

V—容积

m—质量

ρ —水的密度

水表结构、周围环境有时会对光电信号记录水表指示值发生干扰，产生粗大误差。

2.2.1 系统误差

1) 计算时设定的水的密度与实际使用中水的密度差异

从表 3 可以看出二者在常温附近有约 0.2% 不等的差异，不同的校验用水会有不同的密度差异，在实际操作时很难确定。

2) 换向器安装位置和换向时间差造成的误差、空气浮力。

2.2.2 随机误差

1) 以晶振频率为基础的计时时钟分辨率

2) 电子秤读数分辨率

2.2.3 主要项不确定度计算

如果一电子秤在某一称量范围内相对允差为 0.002，相对分辨率为 0.001 则：

允差相对标准不确定度 $u_{允}=0.002/3=0.00067$

分辨率相对标准不确定度 $u_{分}=0.001/\sqrt{3}=0.00058$

相对合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{0.00067^2+0.00058^2}=0.00089$

相对扩展标准不确定度 $U_{99}=3\times 0.00089=0.27\%$

2.3 活塞缸动态容积法

活塞缸动态容积法是一种直接校验方法，通过伺服电机带动丝杆推动活塞在缸体内移动，容积的准确度取决于丝杆、缸体的测量精度和加工精度，移动的距离和速度决定容积和流量。操作方法如下：装夹水表，排汽，当水表在校验流量下匀速转动时开始记录活塞在缸内移动过的容积，在这同时用光电信号记录水表指示值，标准容积 $V=\pi/4\times r\times D^2$ ，流量 $Q=\pi/4\times n\times D^2$ 。

r—电机转数

t—丝杆螺距
n—电机转速
D—缸体直径

2.3.1 系统误差

由于温度变化引起的丝杆螺距、缸体直径的变化

3.3.2 随机误差

伺服电机分度分辨率，计时时钟分辨率

3 三种校验方法准确度图示

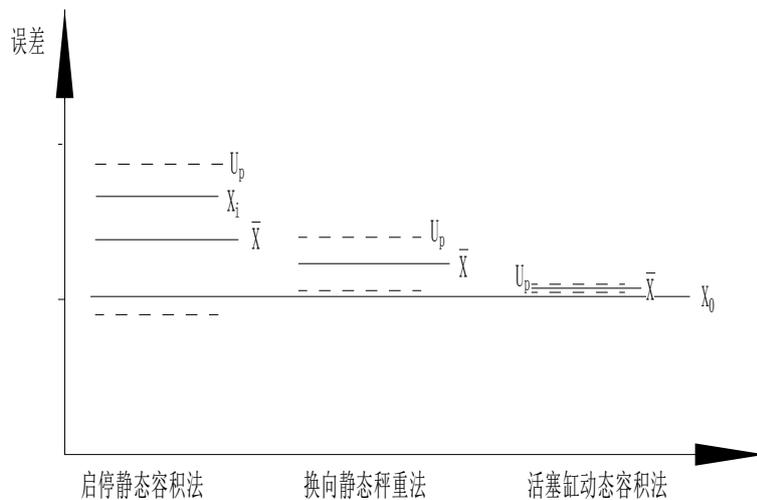


图1

X_0 — 真值
 \bar{X} — 平均值
 X_i — 某一测试值
 U_p — 扩展不确定度

4 结论与讨论

三种校验方法准确度从低到高依次为启停静态容积法、换向静态称重法和活塞缸动态容积法（见图 1），并且它们之间的准确度差异还比较大，由此说明同一校验方法或不同校验方法多次校验水表时会有不同的示值误差。

在实验中显示启停静态容积法中水表转动惯性量，换向静态称重法中计算密度与实际密度差异会引起较大的系统误差，这些系统误差在水表国家鉴定规程中并没有作特别说明和处理，因此，强烈建议在鉴定规程中对这些系统误差如何补偿作出规定，否则，当用准确度高的校验装置中校验合格的水表会在准确度低的校验装置中误判为不合格，反之亦然，这样一定程度上会阻碍水表行业的技术进步。

如果对启停静态容积法作下面描述的改造，再进一步设法提高水表分辨率则将极大提高这种容积法校验水表的准确度和生产效率：“当水表在校验流量匀速转动时用换向器换入校验流量，在这同时对水表读数进行摄影（或光电信号开始计数），当试验达到规定容积时，换向器换出流量，同时再次对水表读数进行摄影（或光电信号结束计数）”。

参考文献

- [1] 王池.流量测量不确定度分析 [M] 北京: 中国计量出版社, 2002.5.
- [2] 陈晓龙, 施庆生, 邓晓卫.概率论与数理统计 [M] 南京: 东南大学出版社, 2011.5.
- [3] 张存恕.大学物理实验 [M] 成都: 四川科学技术出版社, 1986.10: 383.
- [4] 沙定国.误差分析与测量不确定度评定 [M] 北京: 中国计量出版社, 2003.8.
- [5] 浙江省计量科学研究院.JJG162-2009 中华人民共和国国家计量检定规程 冷水水表 [S]
国家质量监督检验检疫总局.北京: 中国计量出版社, 2009.5.

此文发表于《计量技术》2014年第二期。