

江河管道取水流量计量值溯源合格性评定

王黎^a,何英杰^a,王成^b,石正国^a

(长江科学院 a. 工程质量检测中心; b. 科技成果推广及信息中心 武汉 430010)

摘要:水量计量是实行计划用水、节约用水、按量征收水资源费、实现水资源科学配置的重要基础性工作。以“管道取水流量计现场计量校准技术研究”专题为基础,介绍了流量计量量值溯源工作原理、以及现场使用的标准表在量值溯源校准中的合格性评定方法。通过应用实例分析,说明标准表流量计量合格性评定方法是可行的,并提出了进一步研究思路。

关键词:水资源;管道流量计;量值溯源;合格评定

中图分类号:X321 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-5485(2013)07-0127-04

水量计量是实行计划用水、节约用水、按量征收水资源费、实现水资源科学配置的重要基础性工作。《取水许可管理办法》第四十二条规定:单位或者个人应当安装符合国家法律法规及技术标准要求的计量设施,对取水量和退水量进行计量,并定期进行检定或核准,保证计量设施正常使用及量值的准确、可靠。

江河管道取水计量设施主要采用电磁流量计和超声流量计。流量计运行工况是否满足规定要求,需要定期进行现场计量校准;而开展现场计量校准用的标准表每年应送到更高级计量精度的实验室进行量值溯源。本文以近年开展的“管道取水流量计现场计量校准技术研究”专题为基础,介绍了应用测量不确定度原理提出的流量计量量值溯源合格性评定方法,为编制管道取水流量计现场计量校准方法标准提供了技术支撑。

1 流量计量量值溯源工作原理

1.1 TP3 流量计量量值传递装置

目前国内液体流量计校准用的量值传递装置,其工作原理一般采用静态容积法、静态质量法和变水头动态容积法。TP3 静态质量法流量计量量值传递装置,是我国水利水电系统在中国水利水电科学研究院高精度水力机械模型通用试验台上建立的唯一可进行水轮机、水泵的各项性能试验及流量计的正、反向原位校准^[1]。流量校准利用安装在2根测量管道上的2个大小不同的 ROSEMOUNT8705TSE 型电磁流量

计进行;流量校准时循环系统开敞运行,循环并同时记录注水时间,以此计算通过电磁流量计的标准水流量。TP3 流量计量量值传递装置经合法溯源到国家基准后是可用于校准现场使用的标准表。

1.2 标准表量值溯源原理

用高精度外夹式超声流量计作为标准表与 TP3 试验台流量计量量值传递装置所用的电磁流量计相串联;流体依次流过二者,比较二者的示值,确定标准表的误差,达到校准标准表准确性目的。如图1所示^[2]。

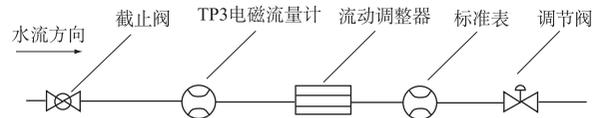


图1 标准表校准示意图

Fig.1 Sketch of the method for the calibration of standard meter

TP3 流量计量量值传递装置输出稳定的水流,流量范围在 $0 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间,管道中标准表安装在 TP3 电磁流量计下游处,中间装有流动调整器,流量调节阀装在标准表的后直管段上,通过自动控制调节阀开度调节流体的流量达到所需要的校准流量值。流动调整器包含抑制上游对流场产生较大影响的各种装置。

1.3 标准表传感器安装方法

通常定义标准表传感器超声波声路数量等于1为Z法,声路数量等于2为V法,声路数量等于3为W法。奇数传输(对角线模式,Z法、W法)中,传感器应安装在管路的相对侧;偶数传输(反射模式,V

法)中,传感器应安装在管路的同一侧。如图 2 所示。

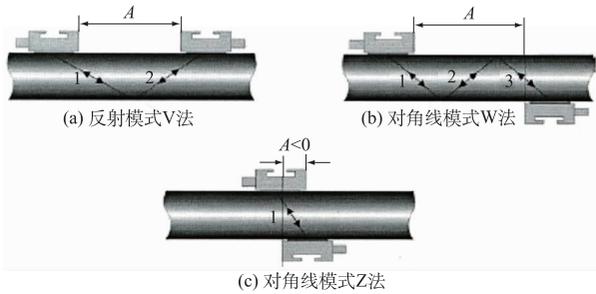


图 2 声路径和传感器距离 A

Fig.2 Acoustic path and sensor distance A

传输路径数的增加意味着测量精度的提高,但是传输距离的增加也会导致更大的信号衰减。经现场试验统计分析,管径在 DN500 mm 以内,用 V 法为宜;管径在 DN500 ~ 800 mm 范围,V 法、Z 法并存使用;管径在 DN800 mm 以上,用 Z 法为宜。

1.4 标准表流量采集

1.4.1 瞬时流量采集

标准表和 TP3 流量计量量值传递装置进入测量状态后,同时记录两者流量示值,每对数据在同一时刻读取,间隔要求不大于 2 s,每个流量级至少读取 20 个数值作为 1 组数据。

1.4.2 累积流量采集

标准表和 TP3 流量计量量值传递装置进入测量状态后,同一时刻分别记下双方流量累积起始值;经过 10 min 后,同一时刻分别记下两者流量累积止码值。每次采集,标准表和 TP3 装置的流量累积值等于止码值减去起始值。每个流量级读取次数不少于 3 次。

1.5 标准表量值传递附加误差

根据《超声流量计》(JJG1030—2007)要求,标准表应尽量在与使用管径相同的管径下进行标定。如使用管径与标定管径之比大于 2 或小于 1/2,标准表使用时应增加 0.5% 的附加误差。

2 流量计量量值溯源

2.1 标准表示值误差计算

单次测量标准表示值误差、流量点标准表示值误差、标准表相对示值误差和标准表重复性计算公式为^[3]

(1) 单次测量标准表示值误差

$$E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_s)_{ij}}{(q_s)_{ij}} \times 100\% \quad \circ$$

式中: q_{ij} 为第 i 流量点第 j 次校准时的标准表示值

(瞬时值); $(q_s)_{ij}$ 为第 i 流量点第 j 次校准时的 TP3 管道流量示值(瞬时值); E_{ij} 为第 i 流量点第 j 次校准时标准表相对示值误差。

(2) 流量点标准表示值误差

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad \circ$$

式中, E_i 为标准表第 i 流量点相对示值误差。

(3) 标准表相对示值误差

$$E = |E_i|_{\max} \quad \circ$$

式中, $|E_i|_{\max}$ 为标准表各流量点相对示值误差中最大值。

(4) 标准表重复性

$$(E_r)_i = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (E_{ij} - E_i)^2 \right]^{1/2} \quad \circ$$

式中, $(E_r)_i$ 为标准表第 i 流量点重复性。

2.2 标准表测量偏差技术要求

(1) 流量校正系数计算

$$F_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_{ij} \quad \circ$$

$$F_{ij} = \frac{q_{sij}}{q_{ij}} \quad \circ$$

式中: q_{sij} 为第 i 流量点第 j 次校准 TP3 流量示值; q_{ij} 为第 i 流量点第 j 次校准标准表流量示值; F_{ij} 为第 i 流量点第 j 次校准的流量校正系数。

(2) 与 TP3 装置相比,标准表测量偏差为^[4]

$$e_i = \frac{F_i - F_{0i}}{F_{0i}} \quad \circ$$

式中: F_i 为本次检验得到的第 i 流量点标准表流量校正系数平均值; F_{0i} 为上次检验得到的第 i 流量点标准表流量校正系数平均值; e_i 为标准表第 i 流量点测量偏差。

3 流量计量量值溯源合格性评定分析

3.1 合格性评定 I

标准表校准后的合格性评定,即为评定标准表的示值误差是否在最大允许误差范围内;若在此范围为合格,否则判定为不合格。但是,在合格性评定时还要考虑 TP3 流量计量量值传递装置引入的不确定度分量,不确定度分量引入会有待定区存在,若不考虑待定区,就会存在误判的风险^[5-6]。

(1) TP3 测量不确定度引入后标准表合格性评定。

设:MPEV 表示标准表的最大允许误差(MPE)的绝对值; E 为标准表的相对示值误差; U_{95} 为 TP3 流量计量量值传递装置的扩展不确定度, $P=95\%$ 、

$k = 2$ 。

当： $|E| \leq MPEV - U_{95}$ 时，标准表校准合格；
 $|E| > MPEV + U_{95}$ 时，标准表校准不合格； $MPEV - U_{95} < E < MPEV + U_{95}$ 时，标准表处于待定区，待定区
 评定由量值传递单位给出不确定范围说明。

(2) TP3 测量不确定度忽略时标准表合格性评定。

当 TP3 流量计量校准装置测量不确定度与标准表示值的最大允许误差的模 MPEV 之比达到 1/3 时，在合格评定中约定，可以忽略不计 TP3 测量不确定度的影响。

当： $|E| \leq MPEV$ 时，标准表校准合格； $|E| > MPEV$ 时，标准表校准不合格。

3.2 合格性评定 II

由于环境、人员、设备安装等诸因素导致标准表示值误差大于其最大允许误差，则按标准表测量偏差方法评定。

标准表的测量偏差 e 和重复性 E_r 分别满足公式 $|e| \leq (\sigma_s^2 + \sigma_1^2)^{1/2}$ 和 $E_r \leq \frac{(\sigma_s^2 + \sigma_1^2)^{1/2}}{3}$ ，则判定为合格。 σ_s 为 TP3 流量计量标准装置最大允许误差， σ_1 为标准表最大允许误差。

4 实例分析

4.1 合格性评定 I 实例分析

2012 年 5 月，在中国水利水电科学研究院高精度水力机械模型 TP3 流量计量标准装置上对 F601^[7] 外夹式超声流量计（作为标准表）进行流量值校准，评定标准表是否满足技术参数要求。TP3 流量计量标准装置扩展不确定度为 $U = 0.035\ 6\%$ ， $k = 2$ ；最大允许误差为 $\pm 0.2\%$ ；校准管道 DN500，不锈钢管壁厚度 8 mm。标准表最大允许误差 $\pm 0.5\%$ （最优条件下校准值），重复性 0.15%（最优条件下校准值）。传感器安装在距离管道进水口 2 m 处。

试验在 2 个流量点进行，每个流量点读取 10 个

瞬时值（平均值见表 1），标准表和 TP3 装置同时读数，单次校准的相对示值误差超过 5% 则舍去，数据分析如表 1。

表 1 DN500 流量计量量值溯源试验数据统计分析

Table 1 Statistical data of the DN500 flowmeter in measurement traceability test

流量点	TP3 示值平均值 $q_{sj}/(L \cdot s^{-1})$	标准表示值平均值 $q_{ij}/(L \cdot s^{-1})$	标准表示值误差/%	
			单值	平均值
500 L/s	499.66	497.67	-0.399	-0.037
	499.76	501.38	0.325	
800 L/s	807.38	806.56	-0.102	0.073
	806.34	808.34	0.248	

由于 TP3 流量计量标准装置扩展不确定度 $U = 0.035\ 6\%$ ，小于 1/3 标准表示值的最大允许误差（ $\pm 0.5\%$ ），因此在合格评定中可以忽略不计 TP3 测量不确定度影响。在 500 L/s、800 L/s 2 个流量点标准表校准后，其示值误差均小于最大允许误差，评定标准表校准合格。

4.2 合格性评定 II 实例分析

2012 年 5 月，在中国水利水电科学研究院高精度水力机械模型 TP3 流量计量标准装置上，对 F601 外夹式超声流量计（作为标准表）进行流量量值校准，校准管道为 DN200，传感器安装在距离管道进水口 6，9 m 处。

试验在 2 个流量点进行，每个流量点读取 10 个瞬时值，标准表和 TP3 装置同时读数，单次校准的相对示值误差超过 5% 则舍去，数据分析如表 2。

由于 F601 外夹式超声流量计在 DN200 管径上检定，与在现场大流量管径上作为标准表使用，二者管径之比小于 1/2，则误差分析时标准表应增加 0.5% 的附加误差，即 $\sigma_s = \pm 0.2\%$ ， $\sigma_1 = \pm 1.0\%$ 。

按公式 $|e| \leq (\sigma_s^2 + \sigma_1^2)^{1/2}$ 和 $E_r \leq \frac{(\sigma_s^2 + \sigma_1^2)^{1/2}}{3}$

对校准结果进行判断，标准表测量偏差 $|e| = 0.42\%$ ，小于 $\sqrt{(\pm 0.2\%)^2 + (\pm 1.0\%)^2} = 1.02\%$ ；2 次试验的流量计重复性 E_r 分别为 0.21，0.11，按《超声流量计》JJG1030—2007 标准规定取大值，则 $E_r = 0.21$ 。

表 2 DN200 流量计量量值溯源试验数据统计分析

Table 2 Statistical data of the DN200 flowmeter in measurement traceability test

流量点	TP3 示值平均值 $q_{sj}/(L \cdot s^{-1})$	标准表示值平均值 $q_{ij}/(L \cdot s^{-1})$	标准表示值误差/%		重复性 $(E_r)_i$	标准表流量系数		标准表测量偏差/%
			单值	平均值		单值	平均值	
50 L/s (进水口 6m)	50.46	50.29	0.34	0.48	0.21	1.003 4	0.998 6	0.42
	50.16	50.48	0.63			0.993 7		
50 L/s (进水口 9 m)	51.08	50.99	0.22	0.30	0.11	1.001 8	1.002 8	
	50.96	50.77	0.37			1.003 7		

从标准表测量偏差,重复性 E_r 结果分析,标准表在 TP3 流量计量标准装置上校准,其性能满足技术标准要求,可在周期校准范围内使用。

6 结 论

采用 TP3 流量计量量值传递装置对标准表进行校准,其方法、原理是可行的。标准表与 TP3 量值传递装置之间示值误差方程式是建立在误差理论基础之上;对于示值误差超过最大允许误差,给出了测量偏差计算方法。基于不确定度原理,提出了二种流量计量量值溯源合格性评定方法,并给出实例进行分析。示值误差超过最大允许误差,这与传感器安装条件,直管段长度和流体是否处于稳定的流动状态有关,要解决这些问题,还需进一步研究标准表不同安装工况的测试方法和提高 TP3 流量计量量值传递装置的稳定性。

总之,水资源管理与取水设施强制计量是分不开的。本文所介绍的流量计量量值溯源校准方法及其合格性评定将为编制管道取水流量计现场计量校准方法标准提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 中国水利水电科学研究院. 水力机械实验室 TP3 模型通用试验台简介[R]. 北京:中国水利水电科学研究院,2012. (China Institute of Water Resources and Hydropower Research. Introduction to the TP3 General test Bench in Hydraulic Machinery Laboratory[R]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2012. (in Chinese))
- [2] 苏彦勋,杨有涛. 流量检测技术[M]. 北京:中国质检出版社,2012. (SU Yan-xun, YANG You-tao. Discharge Measurement Technology [M]. Beijing: China Quality Press, 2012. (in Chinese))
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. 超声流量计[M]. 北京:中国计量出版社,2007. (State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Ultrasound Flowmeter [M]. Beijing: China Metrology Press, 2007. (in Chinese))
- [4] 全国流量容量计量技术委员会. 速度式流量计[M]. 北京:中国计量出版社,2008. (National Technical Committee of Flow Capacity Measurement. Velocity Flowmeter [M]. Beijing: China Metrology Press, 2008. (in Chinese))
- [5] 施昌彦. 测量不确定度评定与表示指南[M]. 北京:中国计量出版社,2009. (SHI Chang-yan. Guide to the Evaluation and Expression of Measurement Uncertainty [M]. Beijing: China Metrology Press, 2009. (in Chinese))
- [6] 叶德培. 测量不确定度理解评定与应用[M]. 北京:中国计量出版社,2009. (YE De-pei. Evaluation of Measurement Uncertainty and Its Application [M]. Beijing: China Metrology Press, 2009. (in Chinese))
- [7] FLUXIM. FLUXUS F601 便携式超声波流量计使用手册[K]. 德国:弗莱克森,2010. (FLUXIM. Manual of the FLUXUS F601 Portable Ultrasonic Flowmeter [K]. Germany: FLUXIM, 2010. (in Chinese))

(编辑:赵卫兵)

Rationality Assessment for the Measurement Traceability of Pipeline Flowmeter in Water Intake from Rivers

WANG Li¹, HE Ying-jie¹, WANG Cheng², SHI Zheng-guo¹

(1. Engineering Quality Inspection Center, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;
2. Technology Information Center, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Measurement of the water usage through pipeline flowmeter is an important fundamental work for water consumption planning, water conservation, levying water resource fees by volume, and scientific allocation of water resources. On the basis of the subject "On-site measurement and calibration technology for pipeline water flowmeter", the working principle of water volume measurement traceability of the flowmeter and the method of assessing the rationality of using on-site standard flowmeter in the traceability calibration is described in this paper. Application practice illustrates that the rationality assessment method of using on-site standard flowmeter in the traceability calibration is feasible. Finally, ideas for further research are proposed.

Key words: water resource; pipeline flowmeter; measurement traceability; rationality assessment