

电磁流量计 示值误差校准不确定度评定

Evaluation of Uncertainty in Calibration Display Errors of Electromagnetic Flowmeter

姜渝 徐华（上海贝菲自动化仪表有限公司）

摘要：上海贝菲自动化仪表有限公司流量检测中心依据 JJF1059-1999《测量不确定度评定与表示》，通过对电磁流量计在该公司水流量标准装置实流校验得出的结果进行示值误差校准不确定度分析评定，介绍评定的测量依据、环境条件、测量标准、被测对象、测量过程以及评定结果的使用。最后结合上面所得说明标定装置在不确定度分析评定中的重要性。

关键词：电磁流量计 示值误差 不确定度评定 水流量标定装置

Abstract: The flow testing center of Shanghai Beifei Automation Instrument Co. Ltd, accord to JJF 1059-1999《Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement》，through the analysis and evaluation of uncertainty in calibration display errors of electromagnetic flowmeter which is the results of actual flow calibration from water flow standard device of this company, to introduce the basis、the conditions and the object of the survey process, also introduce how to use the evaluate consequence. At last, according to the all above, expound the importance of the water flow standard device in the evaluation.

Keywords: Electromagnetic Flowmeter Display errors Evaluation of uncertainty Water flow standard device

0 前言

随着自动化工业的不断发展，电磁流量计应用不断扩展，它在各项工业系统中，作为过程控制或贸易结算上呈现极为重要的仪器，此类仪表已由国家计量部门列入重点监管控制计量仪表目录，并且制定了相应的检定规程（详见 JJG1033-2007《电磁流量计》检定规程）。

电磁流量计校验必须在具有权威计量部门检定认可的水流量标定装置上实流标定，校验误差是在相对特定标定装置上测得的。实际上，某一台电磁流量计通过标定测得的是示值误差，应该充分考虑和分析标定装置本身的标准不确定度。二者综合分析才能确定仪表标准误差的不确定度。

现在不少电磁流量计生产厂方，在其选型资料上标明了自家生产仪表的精度即允许最大误差或准确度等级，然而这些测量误差只能表明流量计在其自己标定装置上校验的结果，而校准误差的不确定度

未作说明，一旦将仪表换台到其它台位上校验，将出现较大的偏差。这就是没有考虑流量标定装置不确定度因素（当然流量计的稳定性和重复性是关键重要因素）。本文详细阐述了流量计示值误差不确定度评定的计算方法并通过与中国计量科学研究所和上海市计量测试院进行比对试验论证了计算方法的准确性。

1 校准不确定度评定

本文主要介绍本公司依据 JJG1033-2007 《电磁流量计》检定规程，对电磁流量计示值误差的测量结果的不确定度进行评定，通过严谨的标定实验以确保产品的精确度和可靠性。

1.1 标定实验要求

在校准的环境条件下（环境温度：5℃~35℃、相对湿度：15%~85%、大气压力：86kPa~106kPa。交流电源电压为 220±22V，电源频率 50±2.5Hz。也可以根据流量计的要求使用合适的交流或直流电源，如 24V 直流电源。外界磁场应小到对流量计的影响可忽略不计。机械振动和噪声应小到对流量计的影响可忽略不计）；以最大流量为 100m³/h，准确度等级为 0.5% 的 DN80mm 电磁流量计为被测对象。

测量标准与主要配套仪器设备为经上一级检测机构校准的 DN40mm-DN150mm 水流量标定装置，不确定度为 0.041% (k=2)

符合上述条件的测量结果，一般可以直接使用本不确定度评定结果。

1.2 标定方法和数学模型

在规定的条件下，按 JJG1033-2007 《电磁流量计》检定规程检定，以检定规程给出的示值误差表示式作为不确定度评定的数学模型（式 1），以循环水为介质，用静态质量法测量，将电磁流量计显示的累积流量值与标准装置的容积值（换算到流量计处状态的累积流量值）比较，计算得出电磁流量计相对示值误差。

$$E_{ij} = \left[\frac{(Q_{ij} - (Q_s)_{ij})}{(Q_s)_{ij}} \right] \times 100\% \quad \text{式 1}$$

式中，【 E_{ij} 为第 i 检定点第 j 次检定被检流量计的相对示值误差，%】；

【 Q_{ij} 为第 i 检定点第 j 次检定时流量计显示的累积流量值，m³】；

【 $(Q_s)_{ij}$ 为第 i 检定点第 j 次检定时标准器换算到流量计处状态的累积流量值，m³】。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial f}{\partial Q_{ij}} = \frac{1}{(Q_s)_{ij}}, \quad c_2 = \frac{\partial f}{\partial (Q_s)_{ij}} = -\frac{Q_{ij}}{(Q_s)_{ij}^2} \approx -\frac{1}{(Q_s)_{ij}} \quad \text{式 2}$$

传播率公式：

$$u_{rel}^2(E) = \left(\frac{\partial f}{\partial Q_{ij}} \right)^2 u^2(Q_{ij}) + \left(\frac{\partial f}{\partial (Q_s)_{ij}} \right)^2 u^2 \quad \text{式 3}$$

因所有输入量 Q_{ij} , $(Q_s)_{ij}$ 彼此独立, 不相关。传播率公式简化后如(式 4):

$$(Q_s)_{ij} = u^2_{rel}(Q_{ij}) + u^2_{rel}(Q_s)_{ij} \quad \text{式 4}$$

1.3 示值误差 E 的测量结果

依据 JJG1033-2007 《电磁流量计》检定规程安装电磁流量计, 检定流量点可分为五点 (10%、25%、50%、75%、100%), 每个流量检定点与设定流量的偏差应不超过 $\pm 5\%$, 每个流量检定点的重复检定次数应不少于 3 次。结果如表 1 所示:

表 1 仪表校验记录

校验点	测量容积	标准容积	误差
101.70%	1694.07	1700.48	-0.38%
101.70%	2256.01	2264.14	-0.36%
101.70%	1694.13	1700.48	-0.37%
78.10%	1308.03	1313.19	-0.39%
78.10%	1308.57	1313.69	-0.39%
78.10%	1303.5	1308.68	-0.40%
52.00%	870.54	873.79	-0.37%
52.10%	870.03	873.29	-0.37%
52.10%	876.32	879.8	-0.40%
24.80%	551.69	553.13	-0.26%
24.80%	551.68	553.13	-0.26%
24.80%	553.72	555.14	-0.25%
9.00%	351.67	351.72	-0.02%
9.00%	350.43	350.22	0.06%
9.00%	352.18	352.22	-0.01%

2: 评定数据分析整理

2.1 误差 E 的不确定度

被测电磁流量计示值误差 E 的不确定度来源于输入量 Q_{ij} 和标准装置输出 $(Q_s)_{ij}$ 。分析指出, 主要不确定度源包括:

- ① 输入量 Q_{ij} 测量的不重复性引入的相对不确定度 $u_{rel}(Q_{ij})$ 。
- ② 标准装置输出 $(Q_s)_{ij}$ 测量不准引起的相对不确定度 $u_{rel}(Q_s)_{ij}$ 。

2.1.1 相对不确定度 $u_{rel}(Q_{ij})$

该不确定度采用 A 类方法评定。

取校验点 100% 处测得的三个误差 (见表 1) 算得:

$$\overline{E_j} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 E_{ij} = -0.37\%$$

式 5

应用贝塞尔公式 (见式 6) 计算出单次实验标准差:

$$s_{rel} = \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 (E_{ij} - \overline{E_j})^2} = 0.01\% \quad \text{式 6}$$

分别代入测量所得的其它校验点各次流量计误差值可以求出各校验点的实验标准差 s_{rel} 如表 2 所示:

表 2 各校验点的实验标准差

校验点	10%	25%	50%	75%	100%
实验标准差 S_j	0.04%	0.00%	0.01%	0.00%	0.01%

合并实验标准差 s_p 为:

$$s_{prel} = \left(\frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 S_j^2 \right)^{1/2} = 0.02\% \quad \text{式 7}$$

因标准差的标准差不小于四分之一的 s_{prel} , 为减小风险取最大实验标准差作为相对不确定度 $u_{rel}(Q_{ij})$ 则

$$u_{rel}(Q_{ij}) = MAX(S_j) = 0.04\% \quad \text{式 8}$$

$$\text{自由度: } \nu_1 = \sum_{j=1}^m N_j = 5 \times (3-1) = 10 \quad \text{式 9}$$

2.1.2 相对不确定度 $u_{rel}(Q_{s,ij})$

DN40mm-DN150mm 水流量标准装置经上海计量测试技术研究院华东国家计量测试中心校准(根据 JJG 164-2000 液体流量标准装置检定规程)。具体校准试验数据见表 3:

表 3 水流量标准装置校准试验数据

设备名称	A 类不确定度	B 类不确定度	标准不确定度	
计时器	0.0008%	0.0020%	u_1	0.0022%
衡器	————	0.0173%	u_2	0.0173%
换向器(流量计法)	0.0063%	0.0070%	u_3	0.0094%
水密度计	0.0058%	————	u_4	0.0058%

其中为了更好的反应装置的实际状况并与实际应用相结合, 换向器选用流量计法进行检定

综合以上各设备的标准不确定度不确定度液体流量标准装置的扩展不确定度: 其给出的扩展不确定度为。

$$u_{rel}(Q_{s,ij}) = 2(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2)^{1/2} = 0.041\% (k=2) \quad \text{式 10}$$

为了可靠程度越高取置信概率 $p=95\%$, $\nu_2 = 50$ 。

2.2 合成标准不确定度

测量的合成标准不确定度 $u_{rel}(E)$:

$$u_{rel}(E) = \sqrt{u_{rel}(Q_{ij})^2 + u_{rel}(Q_s)_{ij}^2} = \sqrt{(0.04)^2 + (0.041)^2} \% = 0.057\%$$

式 11

有效自由度为:

$$v_{eff} = \frac{u_{rel}^4(E)}{\frac{[u_{rel}(Q_{ij})]^4}{v_1} + \frac{[u_{rel}(Q_s)_{ij}]^4}{v_2}} = \frac{0.057^4}{\frac{0.04^4}{10} + \frac{0.041^4}{50}} \approx 35$$

式 12

2.3 扩展标准不确定度评定

取置信概率 $p=95\%$, 按有效自由度 $v_{eff}=35$, 查 t 分布表得 $k_{95}=t_{95}(35)=2.03$, 示值误差 E 测量结果的扩展标准不确定度 U_{95rel} 为:

$$U_{95rel} = k_{95} \times u_{rel}(E) = 0.057\% \times 2.03 = 0.12\%$$

式 13

2.4 测量不确定度的报告与表示

被测电磁流量计示值误差 $E = -0.40\%$ 。其扩展标准不确定度为:

$$U_{95rel} = 0.12\%, \quad v_{eff} = 35$$

2.5 不确定度汇总

经过一系列的实验, 通过对所得数据的处理, 所得到的有关本公司产品的一系列数据列于表 4 中, 从表中可以很直观的看到标定装置对流量计测量精度的影响。

表 4 被测电磁流量计示值误差 E 测量不确定度评定汇总表

序号	符号	来源	评定方法	相对不确定度
1	S_{prel}	Q_s 测量重复性	A 类	0.04%
2	u_{rel}	Q_s 测量不准	——	0.04%
3	$u_{rel}(E)$	示值误差 E 测量的合成相对不确定度		0.06%
4	示值误差 E 测量结果的扩展标准不确定度: $U_{95}=0.12\%$, $v_{eff}=35$, $k_{95}=t_{95}(35)=2.03$			

3 评定的准确性

本公司将此台校验的电磁流量计曾送至中国计量科学研究所和上海市计量测试院进行比对试验，其比对

试验结果如图 1 所示：

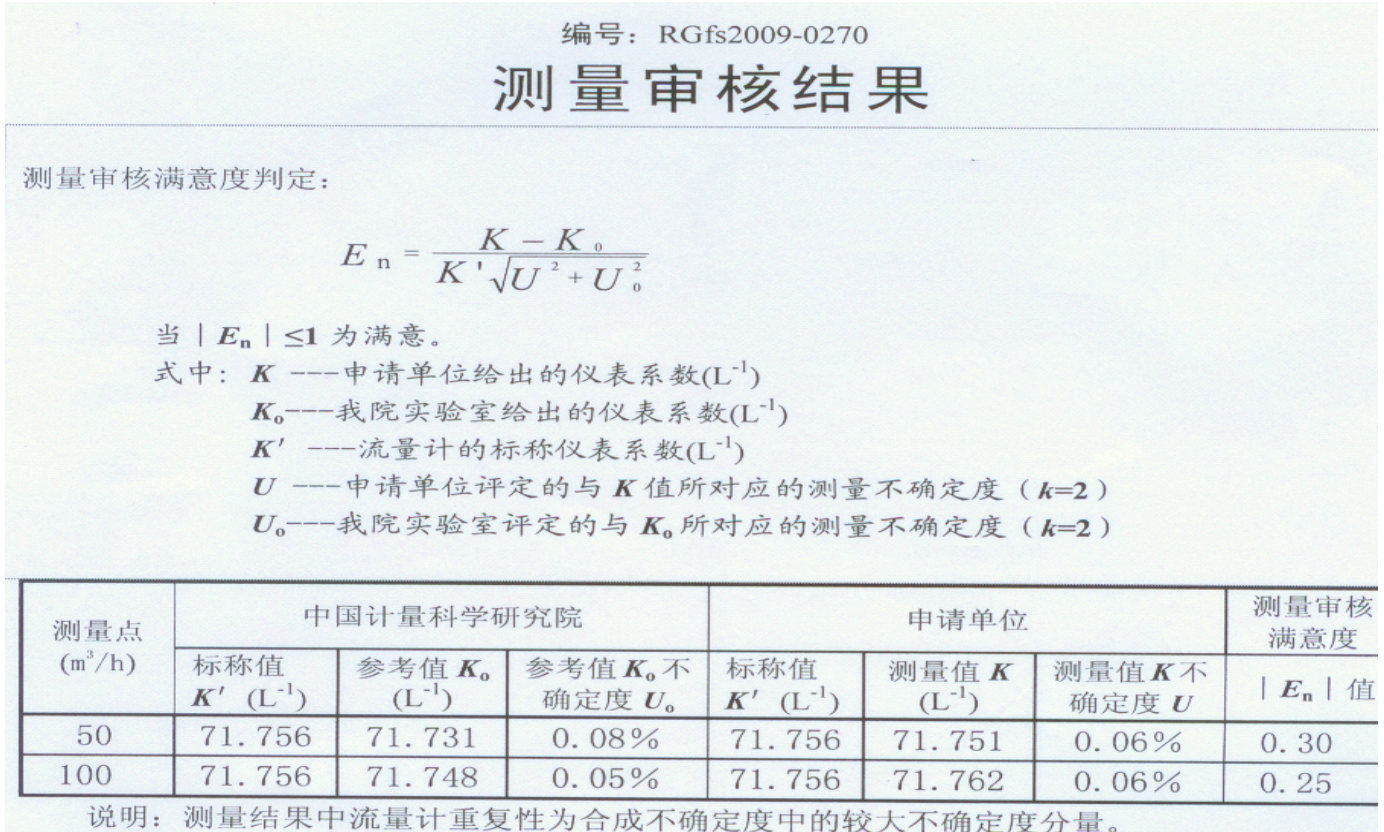


图 1 中国计量科学院试验结果

上图反映了仪表的校验相对误差的不确定度计算的准确性，也证实了本公司水流量标定装置与国家计量科学研究所和上海计量测试院的标定装置有同等级的不确定度。

4 结论

通过对流量计不确定度的评定可以看出标定装置的不确定度对流量计测量精度的重要性，标定装置的不确定度越高越能真实的反映流量计的测量误差。因此提高标定装置的不确定度对于开展流量计的检定工作至关重要。

[参考文献]

- [1] JJF1059-1999 《测量不确定度评定与表示》
- [2] JJG1033-2007 《电磁流量计检定规程》
- [3] JJG164-2000 《液体流量标准装置检定规程》
- [4] 蔡武昌. 流量测量方法和仪表的选用【M】. 北京：化学工业出版社，2001.
- [5] 苏彦勋. 流量计量与测试【M】. 北京：中国计量出版社，1992.

[6] 顾克江. 总量计量与流量测量的理论探讨【J】. 自动化仪表, 2006 (7) .

作者简介:

姜渝, 男, 出生于 1963 年 1 月 20 日, 于 1982 年 7 月毕业于上海交通大学机械工程系, 获工学学士; 期间 1982 年-1984 年, 任山东淄博 481 厂技术科助理工程师, 后于 1987 年获得上海大学精密仪器专业工学硕士学位, 之后于任国营二六四厂研究室工程师。先后参加编写建设部组织的《城市供水行业 2010 年技术进步规划及 2020 年远景目标》、《给水排水设计手册 (器材与装置)》等, 曾获中国水协设备材料工作委员会表彰。