

温度对水表小流量测量误差的影响

宁波水表股份有限公司 郑家珍

摘要：随着水表新标准的实施， Q_3/Q_1 的值有不断提升的趋势，特别是 Q_1 和 Q_2 也变得越来越大，因此需要通过优化设计来不断提高水表性能。根据实验分析，水温是影响水表性能的关键因素之一，特别是小流量时，对流量测量误差影响较大。通过优化水表参数的设计，降低水表的传动阻力，而增加叶轮动力，能够提高水表叶轮运动的灵敏度。进而减少水的温度对小流量误差的影响，能够生产高精度水表。

关键词：小口径水表；测量误差；温度；小流量

Effect of Temperature on Low Flow Measurement Error of Water Meter

ZHENG Jiazhen

Abstract: To facilitate the implementation of new standard of water meter, Q_3/Q_1 value keeps increasing, especially Q_1 and Q_2 become more lower. Water temperature is a key factor on measurement error of water meter, especially with low rate flow, according to experiment. Rotor of water meters can be moved more sensibility with improved force and lowed resistance of rotor, which can be achieved with the optimized design of water meter. Thus we can produce high precision water meters by reducing water temperature effect on low rate flow error.

Keywords: small diameter water meter; measurement error; temperature; low flow

0 引言

水表是计量流经管网的用水量的计量产品。水从水表进水口流入表壳，进入叶轮盒，推动叶轮旋转，经计数机构的齿轮传动带动字轮计数，在表盘显示流经的水量。作为贸易结算工具的计量仪表，在水资源普遍缺乏的情况下，水表对于节约用水将起到更加的关键作用，因此其性能的提升愈来愈被人们所重视。

1 流量测量误差

水表的流量测量误差又称为水表示值误差，是指水表表盘显示的值与实际流经水表流量的差。水表在不同流量时，呈现出不同的流量测量相对误差。作为计量仪表，水表标准规定了最大的允许误差。2 级冷水水表，低区流量 $Q_1 \leq Q < Q_2$ 时的最大允许误差为 $\pm 5\%$ ，高区流量 $Q_2 \leq Q \leq Q_4$ 时的最大允许误差为 $\pm 2\%$ 。随着水表新标准的颁布和实施， Q_3/Q_1 成为衡量水表性能的关键指标之一，引起了各水表生产厂家重点关注， Q_3/Q_1 有不断提升的趋势。降低 Q_1 是提升 Q_3/Q_1 的一种重要途径，而 Q_2/Q_1 的值又有恒定的标准，因此使得 Q_1 和 Q_2 的取值越来越小。（注： Q_4 为过载流量， Q_3 为常用流量， Q_2 为分界流量， Q_1 为最小流量）

2 流量测量误差曲线

不同流量点测的流量测量误差值，表示在流量与误差坐标系中为一条曲线，该曲线即为水表的流量测量误差曲线。理想流量测量误差曲线应该是一条水平直线。而实际上，在不同

流量，受到机械摩擦阻力和流体粘性阻力的影响，流量测量误差呈非线性变化，表现为曲线形状（见图 1）。在水表测试检定时，不同流量点的误差值必须要调整到检定规程要求的误差范围内，该水表才能确定为合格。

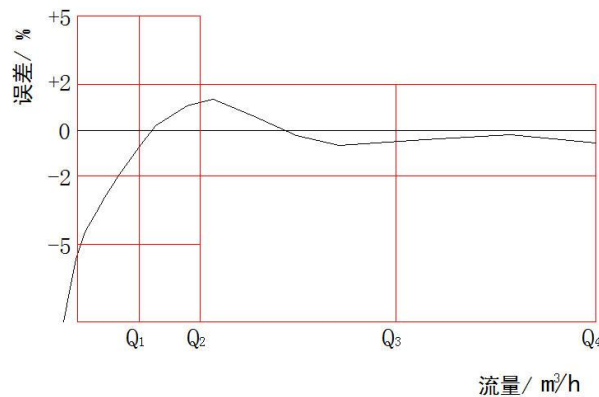


图1. 水表流量测量误差曲线图

3 温度对水表小流量测量误差的影响

在水表的生产中，发现水温变化对小流量测量误差影响较大。冬季寒冷的天气，气温较低，测试用水的温度也较低，而生产的水表小流量测量误差呈现较低的负值。而且随着水表生产精度等级的提高， Q_1 和 Q_2 的值越来越小，因此温度对流量测量误差的影响也越来越大。下面是表号 000001 在流量 30L/h 和 15L/h 时不同水温下的流量测量误差值（见表 1）及对应的误差曲线(见图 2):

表1

温度	8 °C	10 °C	12 °C	17 °C	21 °C	24 °C	27 °C	30 °C
流量30 L/h	+0.5%	+1.5%	+1.5%	0	+0.75%	+1%	+0.75%	+1.25%
流量15 L/h	-6%	-4.3%	-3%	-0.25%	+0.5%	0	0	+1%

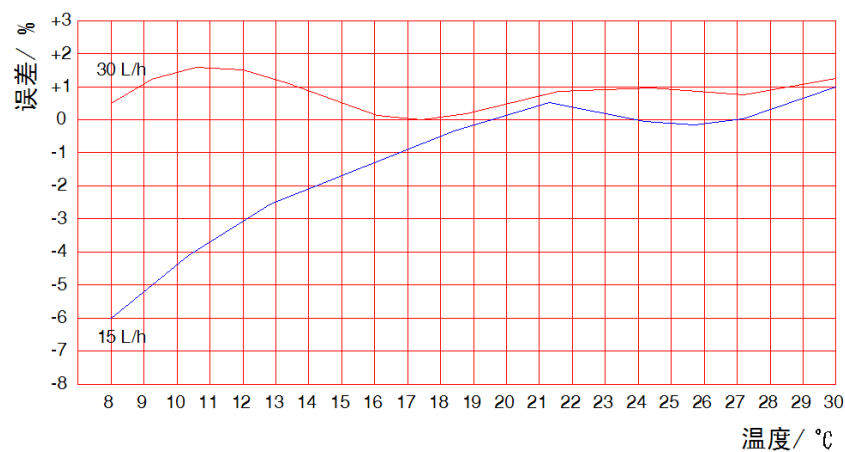


图2. 表号000001对应的误差曲线

从上面的数据可以看出，在流量 15L/h 时水温 8℃比 21℃的时候偏负 6.5%，变化较大。而流量在 30L/h 时水温 8℃比 21℃的时候偏负 0.25%，变化不大。

4 原因分析

在流体力学理论中，黏滞性是流体固有的物理性质。即流体的粘性摩擦阻力特性。又可表示为流体阻抗剪切变形的特性。

根据牛顿内摩擦定律：流体内摩擦力（切力）T 与流速梯度 du/dy 成比例；与流层的接触面积 A 成比例，与流体的性质有关。即：

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1.1)$$

以应力表示：

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.2)$$

μ 是比例系数,称为动力黏滞系数。动力黏滞系数是流体黏滞性大小的度量, μ 值越大, 流体越黏, 流动性越差。

黏滞性随温度而变化, 不同温度下水的动力黏滞系数 μ 的值 (表2) :

表2

温度 (°C)	动力黏滞系数 μ (Pa.s)
5	1.5188×10^{-3}
10	1.3077×10^{-3}
15	1.1404×10^{-3}
20	1.0050×10^{-3}
25	1.8937×10^{-3}
30	1.8007×10^{-3}

由此可见, 水的动力黏滞系数 μ 随温度减小而增大, 原因是液体分子间的距离小, 分子间的引力即内聚力是构成黏滞性的主要因素。温度降低, 分子动能减小, 间距减小, 内聚力增大, 动力黏滞系数 μ 随之增大。因此, 水温越低, 液体内聚力增大, 水表叶轮转动变慢, 性能误差偏负。

5 减少温度对小流量误差影响的对策

通过以上分析可知, 减小水表的传动阻力、增加叶轮动力来提高水表的灵敏度 (即水表的始动流量), 可以减少温度对小流量误差的影响。

提高水表灵敏度的有效途径:

1. 采用小模数齿轮: 目前传动齿轮的模数大多采用 $m=0.5$, 通过采用小模数齿轮来减少齿轮的传动阻力。如选择 $m=0.45$ 或 $m=0.4$ 的齿轮, 并减小齿轮的齿片厚度: 一般齿片厚度为

2mm，可根据计数器的工作环境（湿式或干式），减小至1.5mm和1mm。

2. 合理选择磁钢：对于干式水表，叶轮的动力是靠磁钢的传动来实现的。如果二磁钢的间距过大，易产生脱磁现象。间距过小，吸力强了，但会增加正压力，增加了叶轮和中心齿轮的传动阻力。因此，磁钢的间距设计对水表灵敏度影响较大。同理，磁钢的磁性强度高、磁钢的尺寸大小、磁性的分布等参数都对叶轮的传动带来影响。

3. 支承件的尺寸设计：顶尖头或叶轮轴、齿轮轴头部尺寸；顶尖孔壁、叶轮头孔壁、齿轮轴孔壁的合理选择会减少相互之间的摩擦，有利于提高水表灵敏度。

4. 叶轮和叶轮盒的设计：选择合适的叶轮叶片数与叶片形状，改进叶轮盒进出水孔的角度和切线圆半径是提升叶轮转动动力的理想途径。

另外，选择稳定性好、耐磨性好的材料；采用先进的加工工艺，提高零件的制造精度和光洁度也有利于提高水表的灵敏度。

以下是LXS-15F水表，通过对水表计量机构参数的优化，灵敏度从8L/h提高到6L/h时，在小流量15 L/h时的误差值（见表3）：

表3

始动流量	测试流量 15L/h的误差	测试温度
8 L/h	-7.3%	8 °C
6 L/h	-2.2%	

从以上数据可以看出，提高水表的灵敏度，可以减少温度对小流量误差的影响。

6 结束语

从以上的实验和分析可知：流经水表的温度对水表小流量时的测量误差影响较大。流量越小，温度的变化所造成的影响越敏感。同一流量下，温度越低，流量测量误差越负。可以通过优化水表参数的设计，降低水表的传动阻力，而增加叶轮动力，提高水表的灵敏度，以减少水的温度对小流量误差的影响，生产更高精度的水表。

参考文献

- [1] GB/T 778-2007, 封闭满管道中水流量的测量饮用冷水水表和热水水表——第一部分: 规范. 北京 中国标准出版社 2008年3月.
- [2] 伍悦滨、王芳、曹慧哲等. 工程流体力学. 北京 中国建筑工业出版社. 2006年2月.

此文发表于《仪表技术》，2013年第五期。