

基于拟合方程的水表误差曲线校正方法

姚灵

(宁波水表股份有限公司, 浙江 宁波 315032)

摘要: 在传统机械水表上设置嵌入式计算机系统及特性校正算法和数据处理等软件, 可将机械水表改造成宽量程高准确度的新型电子水表。水表特性的计算机校正过去大都采用查表法, 致使校正工作量过大, 校正效率低下。本文采用基于拟合直线方程的校正方法, 根据水表误差曲线的变化趋势将曲线平坦部分划分成若干校正段, 并用相应的直线方程予以拟合, 使水表误差曲线控制在较小的误差范围内, 也使校正效率得以明显提高。

关键词: 流量测量特性; 仪表系数; 特性校正技术; 拟合直线方程; 管道水流量测量

Water meter error curve correction method based on fitted equation

YAO Ling

(Ningbo Water Meter Co.,Ltd. Zhejiang Ningbo 315032)

Abstract: The traditional mechanical water meters setting up the embedded computer system and characteristic correction algorithm and data processing software, they can be transformed into new type electronic water meter of wide range and high accuracy. In the past, water meter characteristic computer correction mostly adopts the look-up table method, the calibration workload is big, the calibration efficiency is low. This paper describes the correction methods based on the fitting equation, according to the water meter error curve change trend will curve part flat fan if the correction section, and the corresponding linear equation be fitting, make water meter error curve control in smaller error scope, also make the correction efficiency greatly improved.

Keyword: Meter factor; Flow measurement characteristics; Characteristics calibration technology; WS water meter; Measurement of water flow in closed conduits

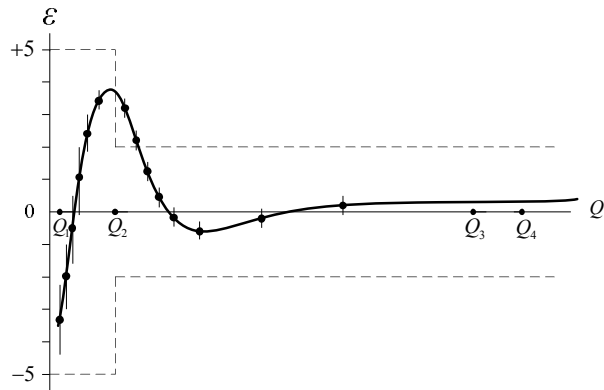
0 引言

当前, 水表产品已从传统机械水表逐步向机械水表、带电子装置水表和电子水表三者并存的新阶段发展。随着新技术和新方法的不断引入, 水表产品的测量范围和测量准确度显著提高, 水表在水资源管理方面的作用也日益加强。

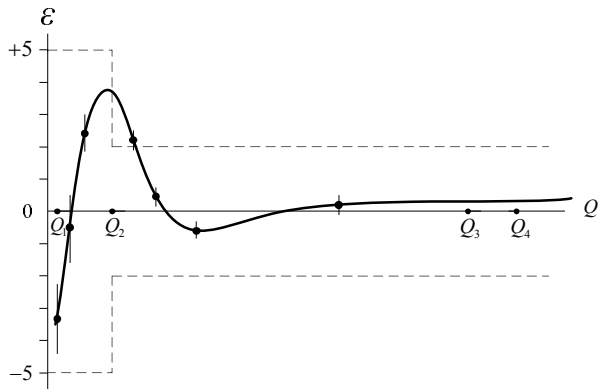
在性能稳定的机械水表中设置计算机系统及校正和信号处理等算法, 可以构成流量测量特性优良的新型电子水表。机械水表在较宽的测量范围内其测量特性具有复杂的非线性, 导致宽量程水表的示值误差很难控制在最大允许误差范围内。新的水表标准将流量高区范围作了大幅压缩, 对水表线性度提出了更高要求, 也使原有水表特性面临着更大挑战。

水表中嵌入特性校正器件和方法, 可以减少测量误差, 提高线性度。常用校正方法主要有内存查表法, 即将水表特性曲线(即误差曲线)划分成若干段, 然后分别加以修正并将修正值存入存储器。该方法的不足是: 如果将特性曲线划分成很多段, 每段范围都很窄, 可以将水表的误差控制在较小的范围内, 其代价是校正工作量大, 校正成本高、工作效率低; 如

果将特性曲线区间划分的比较宽，即校正特性段比较少，则校正后特性曲线的弯曲度和转换点的数值离散性会很大，这样就难以满足测量准确度的要求。上述两种校正状态见图 1 示意图。本文介绍的基于拟合直线方程的校正方法可以在划分较少校正区段的情况下，得到较为平直的水表误差特性曲线。



(a) 校正区间窄



(b) 校正区间宽

图 1 查表法校正示意图

1 水表特性描述

当管道内水流体通过机械水表叶轮时，叶轮转速就会随水的流量大小而改变，且转速快慢与被测流量大小成比例。水表流量测量特性主要由仪表系数所决定，见下式

$$K_i = \frac{N_i}{Q_i} \quad (1)$$

式中 K_i —某流量点仪表系数； N_i —某流量点水表叶轮转速； Q_i —某流量点的流量值。

理想情况下，整个流量测量范围内水表的仪表系数为常数，此时其 $N-Q$ 特性为直线，见图 2 (a)；实际情况下水表特性是曲线，即在流量测量范围内的不同流量点上其仪表系数

是变化的，见图 2 (b)。

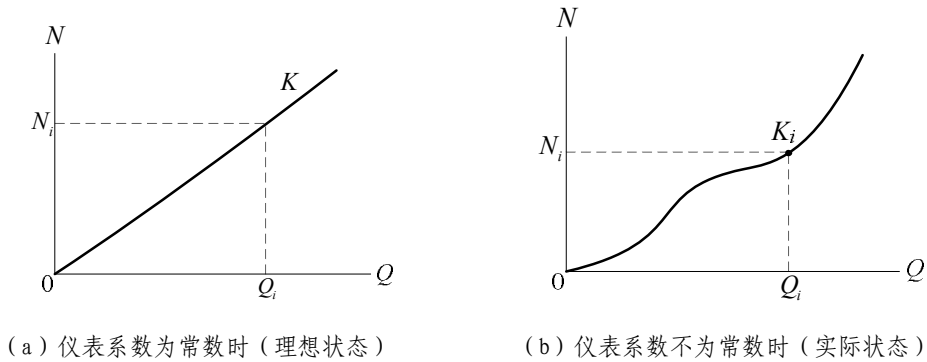


图 2 叶轮式机械水表流量测量特性图

通常，未经校正的水表特性会导致其误差曲线同步弯曲，使得部分测量值超出最大允许误差 ε 的界限，见图 1。

在水表叶轮上设置机电转换装置，可将叶轮旋转量转换成输出的电脉冲。累积流量 V 与累积脉冲数 M 之比称为脉冲当量 k ，即单位脉冲所反映的体积量。通过记录累积脉冲数和获得经过实流标定的脉冲当量值，即可求的累积流量，即实际用水量 V ，

$$V = M k \tag{2}$$

由于在某流量 Q_i 测量条件下，叶轮经过时间 t 的总转数 n_i ($n_i = N_i t$) 与累积脉冲数 M_i 成正比（仅与叶轮每转输出的脉冲数有关），因此有

$$V_i \propto n_i k_i \tag{3}$$

因为
$$K_i = \frac{N_i}{Q_i} = \frac{n_i}{V_i} \tag{4}$$

又因为
$$k_i \propto \frac{V_i}{n_i} = \frac{1}{K_i} \tag{5}$$

所以
$$V_i = \frac{1}{K_i} n_i \propto k_i n_i \tag{6}$$

式中 V_i 一某流量点 Q_i 求得的体积值。

因此，只要调整仪表系数 K_i 或脉冲当量 k_i ，即可校正水表的实际测得值。

对水表 n 个流量测量点进行多次重复实流测量，取各点的平均值就可确定水表未校正误差的特性曲线。

水表相对示值误差可按下式计算

$$\varepsilon = \frac{V_I - V_S}{V_S} \times 100\% = \left(\frac{V_I}{V_S} - 1 \right) \times 100\% \quad (7)$$

式中 V_I —水表测得的累积流量值(即指示体积); V_S —装置提供的标准累积流量值(即实际体积); ε —水表相对示值误差。

当 $V_I/V_S = 1$ 时, 水表示值相对误差为零, 此时水表的仪表系数或脉冲当量为理想值。校正的目的是使各流量点的 V_I 尽量接近于 V_S 。

2 校正方法和程序

在实流测量条件下, 通过实验方法确定水表误差特性曲线并在坐标纸上画出曲线图, 见图 3 中原始误差曲线。

- 1) 在水表误差曲线拐点或拐点附近处建立校正区间分界点。
- 2) 建立校正区间拟合直线方程:

$$\varepsilon = a + bQ \quad (8)$$

式中 ε —水表示值误差; Q —校正拟合直线方程下的被测流量值; a —拟合直线方程的截

距; b —拟合直线方程的斜率 ($b = \frac{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i}{q_{i+1} - q_i}$)。

- 3) 建立误差曲线与水表测得的实际体积 V_I 之间的关系:

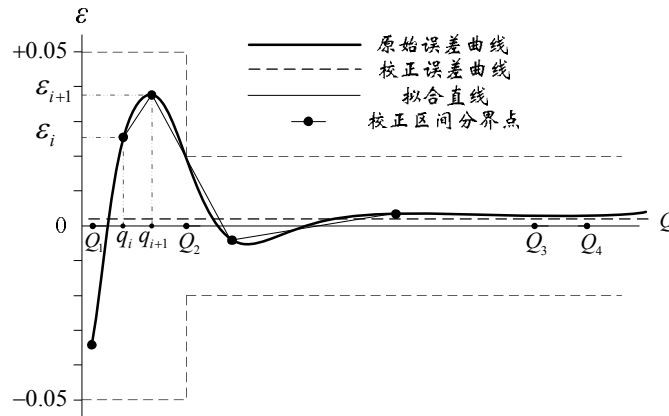


图 3 误差曲线校正区间划分示意图

$$\varepsilon = \frac{V_I - V_S}{V_S} = \frac{V_I}{V_S} - 1 \quad (9)$$

为了使 $\varepsilon = 0$, 必须使 $\frac{V_I}{V_S} = 1$,

因为

$$\begin{cases} \varepsilon = a + bQ \\ \varepsilon = \frac{V_I}{V_S} - 1 \end{cases}$$

所以

$$\frac{V_I}{V_S} = (a + bQ) + 1$$

4) 建立校正系数:

因为

$$V_I = [(a + bQ) + 1]V_S$$

所以当 $[(a + bQ) + 1] = 1$, 即 $V_I = V_S$ 时, $\frac{V_I}{V_S} = 1$, $\varepsilon = 0$

取 $[(a + bQ) + 1]$ 的倒数 $\frac{1}{[(a + bQ) + 1]}$ 为校正系数, 在校正区间内测得的任意值 V_{Ii} 都

乘上该系数, 使 $\frac{[(a + bQ) + 1]}{[(a + bQ) + 1]} = 1$, 即 $V_I = V_S$ 。

3 校正举例

1) 在误差曲线中截取一段线性度较好的校正区间, 见图 4。在截取点之间划出一条拟合直线, 写出直线方程: $\varepsilon = a + bQ$; 将坐标零位从 0 处平移至 0' 处, 可得直线方程截距:

$$a = -0.04, \text{ 直线方程斜率: } b = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{q_2 - q_1} = \frac{0.05 - (-0.04)}{0.200} = 0.45 \text{ (现设: } q_2 = 0.300\text{m}^3/\text{h},$$

$q_1 = 0.100\text{m}^3/\text{h}$); 经坐标变换后得:

$$q_2 = 0.3 - 0.1 = 0.200\text{m}^3/\text{h}$$

$$q_1 = 0\text{m}^3/\text{h}$$

注: 水表在 q_2 、 q_1 流量下的示值误差 ε_2 、 ε_1 是在实流检测条件下得到的。

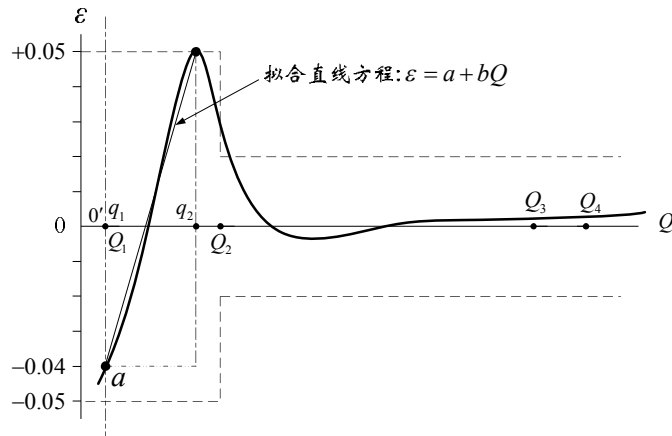


图 4 校正拟合直线方程举例

2) 根据上述参数, 代入后的直线方程为: $\varepsilon = -0.04 + 0.45Q$;

3) 当 $Q = 0.200\text{m}^3/\text{h}$ 时, $V_I = 1.05V_S$, $\varepsilon = 0.05$ (即示值误差为 +5%); 将 V_I 乘上

校正系数 $\frac{1}{[(a+bQ)+1]}$, 可得校正后体积值: $V'_I = \frac{1}{[(a+bQ)+1]} V_I = \frac{1}{1.05} V_I$; 用

$V_I = 1.05V_S$ 代入, 可得水表最终显示的实际体积值为: $V'_I = V_S$, 此时 Q 在 q_2 流量点下水表的示值误差为零 ($\varepsilon = 0$); 校正拟合直线下的其它流量点校正方法与此相同。校正后水表的误差特性曲线见图 4。

4 结束语

采用水表测量特性的计算机校正方法可以用较少的成本提升传统水表的测量准确度, 扩展流量测量范围, 但前提是机械式水表的测量重复性和长期工作稳定性必须良好。当前水表设计与制造技术已经能保证机械式水表达达到较高的可靠性和成批性能的一致性, 嵌入式计算机软硬件技术也普遍应用且成熟度高, 因此选择好的校正方法和算法则是至关重要的。

经特性校正的大口径垂直螺翼式水表, 其测量范围 (Q_3/Q_1) 在大于等于 800 条件下, 其误差特性曲线总体比较平直, 各流量点的示值误差均能保持在靠近零误差附近的状态, 使水表能在较小的最大允许误差区间内稳定地工作。

参考文献

- [1] 姚灵. 电子水表传感与信号处理技术 [M]. 北京: 中国质检出版社, 2012
- [2] [美]R. W. 米勒编著, 孙延柞译. 流量测量工程手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [3] 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 [S]. 北京: 中国质检出版社, 2007
- [4] GB/T 22133—2008, 流体流量测量 流量计性能表述方法 [S]. 北京: 中国质检出版社, 2008

[5] JJF 1094—2002, 测量仪器特性评定[S].北京: 中国质检出版社, 2002

2012年9月15日

作者简介: 姚灵(1953~), 男, 浙江庆元人, 教授级高级工程师, 博士后合作导师, 主要从事几何量与水计量技术研究及仪器仪表产品研发

联系方式: 浙江省宁波市江北区北海路268弄99号(邮编: 315032) 宁波水表股份有限公司, 电话: 0574-88195868, 邮址: 13806630959@139.com

注: 本文曾在2013年6月《上海测试计量技术》杂志上发表。