

基于特性校正技术的宽量程垂直螺翼式水表的研制

姚 灵, 陈良勇, 任 江, 左富强

(宁波水表股份有限公司, 浙江 宁波 315032)

摘要: 在传统机械水表基础上, 增加旋转量机电转换装置、嵌入式计算机系统、特性校正算法和数据处理软件等, 可以使机械水表改造成极宽量程的新型水表。它的流量测量范围 Q_3/Q_1 在满足测量准确度条件下可扩至 $R=1000$ 以上, 但前提是机械水表要有良好的测量重复性、长期工作的稳定性, 以及很高的测量灵敏阈。文章介绍了宽量程垂直螺翼式水表旋转变换原理和水表误差特性的校正方法, 使新研制的水表性能指标达到了较高水平。

关键词: 仪表系数; 流量测量特性; 特性校正技术; 垂直螺翼式水表; 管道水流量测量

Wide-range WS Water Meter Research and Development on Flow Measurement Characteristics Correction Technology

YAO Ling, CHEN Liang-yong, REN Jiang, ZUO Fu-qiang

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

Abstract: In the traditional mechanical water meter basis, to increased mechanical and electrical switching device used for rotation quantity, embedded computer system, characteristics correction algorithm and data processing software, etc, can make the mechanical water meter transformed into a broad measurement range of new water meter. Under meet the measurement accuracy conditions, it's the flow measurement range Q_3/Q_1 can be expansion to $R=1000$ above, but the premise is the mechanical water meter to have good repeatability data, long-term work stability and high measuring sensitivity threshold. This paper introduces spin quantity transform principle and water meter error characteristics correction methods about the wide-range WS water meter, make water meter performance index reached higher level.

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

1 概述

近年来水表技术快速发展, 主要体现在流量测量性能的提升和使用功能的拓展等方面。流量测量性能的优劣是由测量范围(即常用流量 Q_3 与最小流量 Q_1 之比)和最大允许误差等指标决定的。为了保证水表在极宽范围内满足测量准确度要求, 传统的叶轮式水表是无能为力的。目前国内大多数机械水表的流量测量范围在 $R=50 \sim 250$ 之间, 而国外内置嵌入式计算机系统的叶轮式水表的测量范围比值已经超过了 1000 倍, 有的甚至达到了 1600 倍。

当今水表标准覆盖了传统机械水表、带电子装置水表和电子水表等三类。电子水表因流

量传感器采用无机械运动结构和信号处理技术，是一种很有发展前景的新型水表，但由于其传感和信号处理技术相对比较复杂，因此需要投入较多的资源进行研究与开发；带电子装置水表是在原有机械式水表基础上增加机电转换装置和信号处理软硬件构成的另一类新型水表，它可以借助叶轮和活塞式水流量传感器的成熟技术，在较短时间内、用较少投入就可将传统机械水表改造成宽量程或极宽量程的高性能水表，这是目前性价比较高的提升方案。

将机械水表改造成带电子装置水表，其叶轮或活塞式流量传感器的测量重复性要高，在检定周期内工作应稳定可靠，并且要有较高的测量灵敏阈（即有很小的始动流量值）。

2 原理及结构

采用计算机流量特性校正技术的宽量程垂直螺翼式水表主要由叶轮式垂直螺翼式水表、旋转量机电转换部件、信号预处理部件、内置嵌入式微计算机部件、电子显示器及无线数据收发模块等构成，其工作原理框图见图 1。

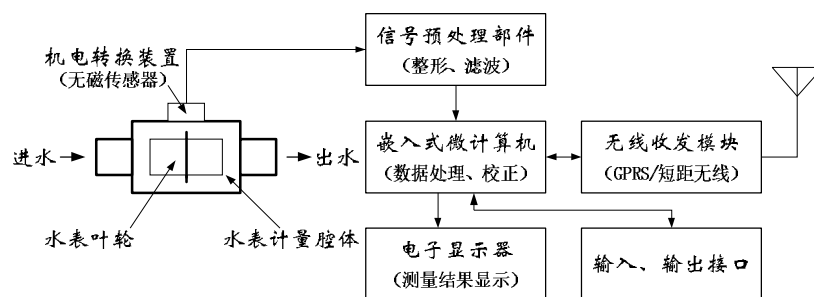


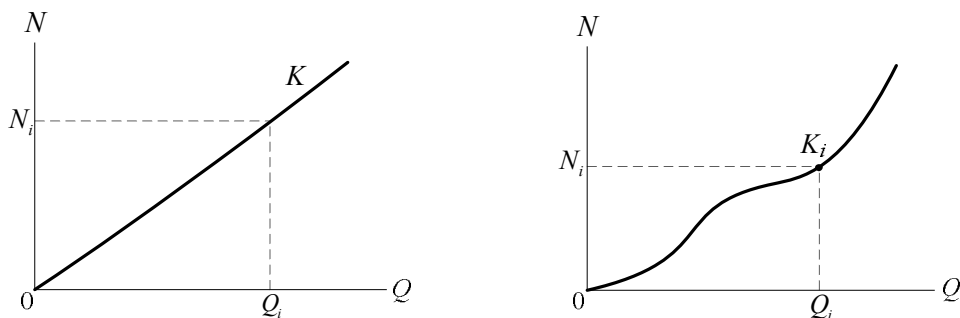
图 1 宽量程垂直螺翼式水表工作原理框图

当管道内水流量通过机械水表叶轮时，叶轮转速就会随水流量大小而改变，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决定的，见下式

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

式中 K_i 一某流量点仪表系数； N_i 一相应流量点水表叶轮转速； Q_i 一某流量点的流量值。

理想情况下，整个流量测量范围内水表仪表系数为常数，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)。



(a) 仪表系数为常数时 (理想状态)

(b) 仪表系数不为常数时 (实际状态)

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, 因此部分测量值就有可能超出最大允许误差 ε 的界限。

在水表叶轮上设置机电转传感器, 可将叶轮旋转量转换成输出的脉冲量。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 ,

$$V = M k \quad (2)$$

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

$$V_i \propto n_i k_i \quad (3)$$

因为
$$K_i = \frac{N_i}{Q_i} = \frac{n_i}{V_i} \quad (4)$$

又因为
$$k_i \propto \frac{V_i}{n_i} = \frac{1}{K_i} \quad (5)$$

所以
$$V_i = \frac{1}{K_i} n_i \propto k_i n_i \quad (6)$$

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。

3 旋转量转换技术

旋转量转换技术采用电感传感方式, 该方式可以削弱外界磁干扰以及被测介质中铁性杂质对叶轮工作的影响。采用电涡流传感原理构成的电感传感方式是一种可避开采用磁性体和磁敏元件, 传感器结构简单、工作稳定可靠的旋转量转换新技术。

电感传感方式是采用 LC 谐振回路中电感元件与被测金属零件之间的位置改变使其电感量发生变化,进而改变回路振荡输出幅值的一种非接触式传感方式,见图 3。

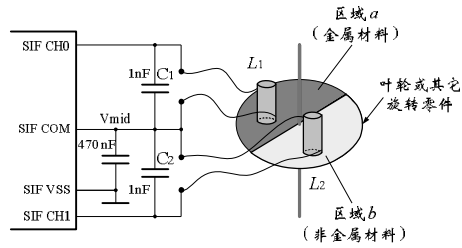


图 3 电感传感方式原理图

当叶轮上金属材料区域 a 出现在电感元件 L_1 或 L_2 的下方时,因振荡波在金属片上产生电涡流使其振幅很快衰减, LC 回路发生明显的阻尼振荡;而当无金属材料的区域 b 出现在电感元件 L_1 或 L_2 的下方时,振荡波受电涡流的影响较小, LC 回路处于准阻尼振荡状态,其振幅衰减要比前者小得多,见图 4。

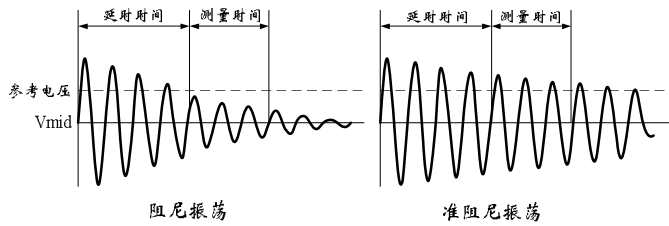


图 4 LC 振荡波形图

可以把电感元件在区域 a 时的阻尼振荡输出记为状态 0,在区域 b 时的准阻尼输出记为状态 1。因设计中使用两个 LC 振荡器(即有两个电感元件 L_1 和 L_2),所以在叶轮转动一转时,电感传感方式共会输出四个状态的电平组合,见图 5。如果输出状态变化次序为 01、11、10、00、...;可设定叶轮为正转;如果输出状态变化次序为 00、10、11、01、...;则可设定叶轮为反转。

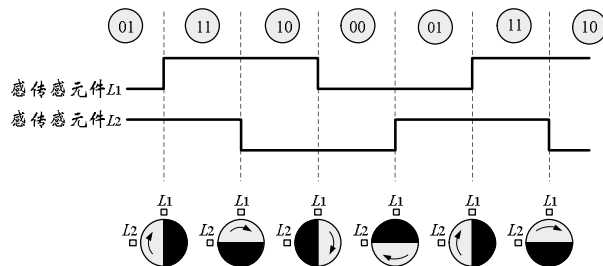


图 5 叶轮或旋转零件位置变化时电感元件的输出状态

4 校正方法与程序

4.1 校正方法

旋转变量机电转换部件输出的脉冲信号可能附带有外部电磁干扰和水表叶轮在水流冲击时产生的抖动等干扰,因此在对脉冲波整形基础上再须进行硬件电路的滤波,滤掉较高频率的干扰成分。滤波电路采用二阶有源低通滤波器。

输入嵌入式计算机的脉冲信号序列还需进行数字滤波和处理。有效信号判断准则为:只有按 01、11、10、00、... 次序产生的脉冲组合信号才为有效计量信号。

对水表 n 个流量测量点进行多次重复实流测量,取平均后确定水表未校正误差特性曲线。水表相对示值误差可按式计算

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

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 V_I 尽量接近于 V_S 。

将误差曲线划分成 n 个小段,通过实验方法确定各校正段的校正系数 W_i ,见图 6。

水表在实际测量时,应定时判断被测流量 Q 落在哪个区间内,然后按该区间校正系数对测量结果作出校正。瞬时流量平均值 Q 的近似公式如下

$$Q_i = \frac{N_i}{K_i} \propto k_i \cdot \frac{n_i}{t_i} = \frac{m_i}{t_i} \quad (8)$$

式中 m_i — t_i 测量时间段测得的累积脉冲数。

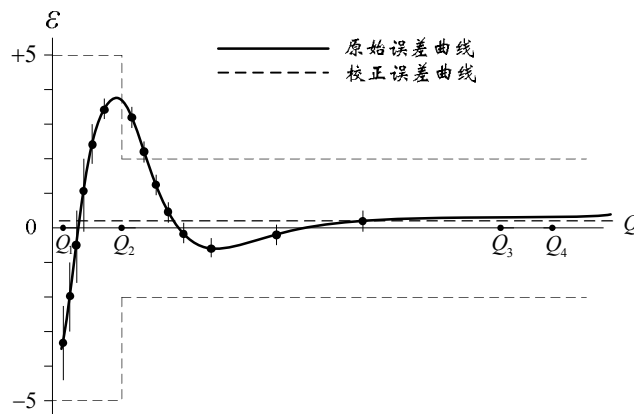


图 6 水表误差曲线示意图

4.2 校正程序

理论上讲，同一型号、同批次水表产品其流量测量特性（即误差曲线）的发散性是很小的，测量与校正可按以下程序进行：

1) 在水表流量测量范围内选择 n 个流量点 ($n=15 \sim 25$) 作为划分校正区间的依据。在曲线变化大的区域设置的流量分界点应密，反之则疏；每个流量点测量 3 次以上（测得值为： $V_i = M_i \cdot k$ ； k 为初始脉冲当量，根据误差曲线在坐标上的位置可适当调整 k 值），然后求出各点的平均误差值，画出水表误差曲线图；

2) 在各流量分界点测出水表在实流条件下的叶轮速率作为校正区间的分界值（其值与该点流量 Q 成比例），见下式

$$S_i = \frac{M_{Zi}}{T_{Zi}} \propto Q_i \quad (9)$$

式中 S_i —各流量点叶轮的速率； $M_{Zi} - T_{Zi}$ 测量时间段内测得的脉冲数。

3) 计算各流量分界点的标准脉冲当量 k_i 值，作为同一校正区间的脉冲当量；

4) 在存储器中设置误差校正表，见表 1。每个 k_i 值和校正系数 W_i 用实流测量确定。

表 1

Q	$Q \leq S_1$	$S_1 < Q \leq S_2$	$S_2 < Q \leq S_3$...	$S_i < Q \leq S_{i+1}$...	$Q > S_{n+1}$
k	k_1	k_2	k_3	...	k_i	...	k_n
W	W_1	W_2	W_3		W_i		W_{n+1}

水表测量采样时序见图 7；水表测量与校正过程流程见图 8。

水表在每个测量采样周期 T_i 内的 t_i 时间段，应首先测定流体的瞬时流量值 Q_i ，可按式 (8) 近似计算得到；然后，根据测量结果 m_i / t_i 判断校正区间；通过查表方式获得标准脉冲当量 k_i 和校正系数 W_i ，并对测量结果进行修正；修正后的 V_i 值通过水表电子显示器进行显示，将其存入计算机，与下一采样结果进行继续累加运算。

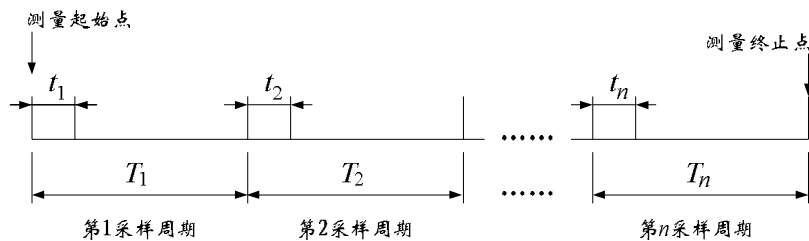


图 7 水表测量采样时序示意图

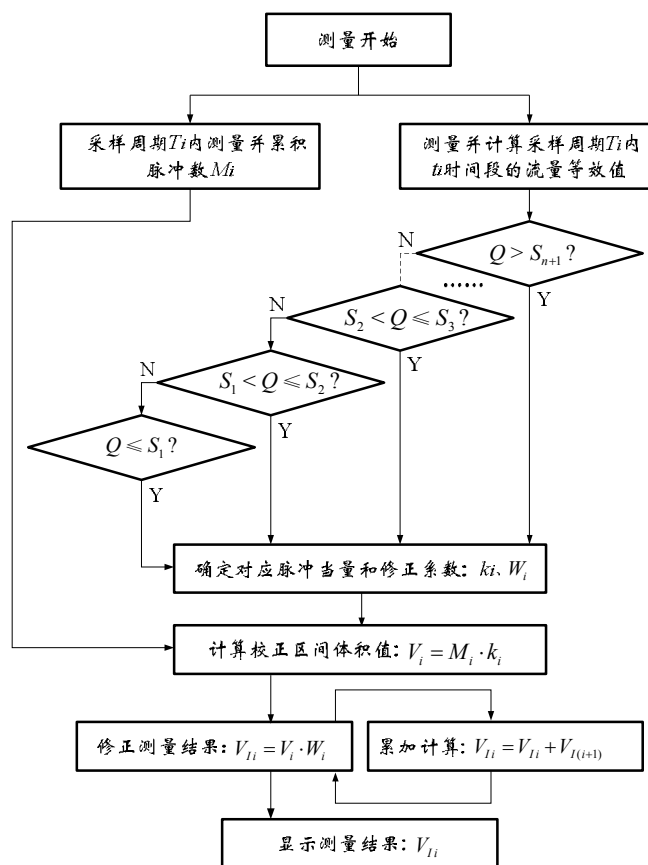


图 8 水表测量与校正过程流程图

5 结语

新型宽量程垂直螺翼式水表样机经特性校正处理和实流测量验证,其流量测量范围比值已经超过了 1000 倍,低区测量范围比值达到了 1.6 倍,最大允许误差完全满足水表产品企业内控标准的要求,整机性能主要指标达到了国外先进水平。

在传统机械水表上增添机电转换部件、嵌入式计算机系统和特性校正算法等可以明显提升水表综合技术水平,是一项很有发展前景的新技术。虽然成本有所增加,但水表计量性能和使用功能有了很大提高。改造后的水表由于具有电信号输出功能,因此可以通过无线或有线收发模块进行测量数据的远传与测控,远期还可接入物联网。

对机械水表进行电子化改造,除了应有正确的特性校正算法与数据处理方法外,还与机械水表的设计、制造精度密切相关,因此要求被改造的机械水表必须具备较高的测量重复性、长期工作的稳定性,以及很高的测量灵敏阈。

主要参考文献

1. 姚灵. 电子水表传感与信号处理技术. 北京: 中国质检出版社, 2012. 3
3. 姚灵、王开拓. 叶轮式水表流量测量特性研究方法的探索. 仪表技术, 2010. 8 (P. 10~13)

联系方式：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 姚灵；电话：13806630959/0574-88195868

13806630959@139.com

作者简介：姚灵（1953-）男 教授级高级工程师；企业博士后合作导师；

主要从事：几何量精密仪器和水流量测量仪表的研发

注：该文已在《仪表技术》杂志 2012 年第 11 期上发表