



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107655552 B

(45)授权公告日 2019.12.03

(21)申请号 201711118256.2

G01P 21/02(2006.01)

(22)申请日 2017.11.14

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107655552 A

CN 106885609 A, 2017.06.23,

CN 105403265 A, 2016.03.16,

CN 103940495 A, 2014.07.23,

CN 106546296 A, 2017.03.29,

KR 20140133400 A, 2014.11.19,

(43)申请公布日 2018.02.02

(73)专利权人 南京林洋电力科技有限公司

地址 210019 江苏省南京市建邺区奥体大

街69号05幢2层西半层

专利权人 江苏林洋能源股份有限公司

姚灵.超声水表测量误差分析及处理.《仪表技术》.2015,第1-4页.

审查员 刘盛

(72)发明人 任尚德 薛军 陆寒熹

(74)专利代理机构 北京思创大成知识产权代理

有限公司 11614

代理人 王尧

(51)Int.Cl.

G01F 25/00(2006.01)

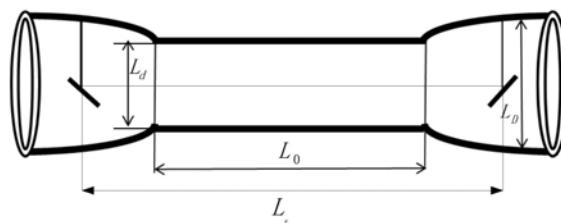
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于非测量段传播时差及零漂误差的
超声水表流速修正方法

(57)摘要

一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法,它包括以下步骤:精确测量参比温度下顺、逆流时间和,通过多次采样平均,计算出非测量段的时间和;根据参比温度、最低温度、最高温度多次测量的时间差,计算参比零漂与校准零漂;实流测量时可屏蔽非测量段时间,校准测量段时差值,去除实际温度零漂,进行温度反算,雷诺数补偿。本发明通过单点温度下静水测量计算出测量段有效时差及非测量段误差,解决基表及换能器的加工及装配引起的误差;通过建立零漂与温度曲线,有效去除零漂值,减少计时芯片分辨率不足引起的误差,通过实流测量反算温度进行温度补偿校正,出厂进行一次精确校准,实际测量时测量算法简单,计量准确度高。



1. 一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法,其特征在于该方法包括以下步骤:S1、计算非测量段传播时间的步骤;S2、建立零漂误差与温度关系曲线的步骤;S3、计算瞬时线流速;

步骤S1具体为:

步骤S1-1、校验台向超声水表发送校准指令和参考温度 T_r ;

步骤S1-2、采用超声水表进行采样其在参考温度 T_r 下零流量的顺、逆流传播时间之和 SumTof_{T_r} ;

步骤S1-3、采用下述公式计算非测量段传播时间 E_s :

$$E_s = \text{SumTof}_{T_r} - 2 \times (L_0 + L_d) / C_r$$

其中: T_r 表示参考温度, SumTof_{T_r} 为超声波在参考温度 T_r 下多次测量的零流量的顺、逆流传播时间之和的平均值, L_0 表示有效测量管长度, L_d 表示有效测量管直径, C_r 表示参考温度 T_r 下的超声速,通过查表获取;

步骤S2包括以下步骤:

步骤S2-1、根据参考温度 T_r 和超声水表测量温度范围 (T_i, T_j) ,划定温度范围 $T_i < T_r \leq T_j$;

步骤S2-2、获取三个温度点 T_i, T_r, T_j 零流量的测量零漂值 $E_{O_i}, E_{O_r}, E_{O_j}$;

步骤S2-3、计算参考温度 T_r 的参比零漂值 E_{O_r}' ;

$$E_{O_r}' = E_{O_j} - (T_j - T_r) \times K(T_j, T_i);$$

其中: $K(T_j, T_i)$ 表示温度值与对应的测量零漂值的斜率;

步骤S2-4、在水表工况下,获取实测温度 T_m 的测量零漂值 E_{O_m} ;

步骤S2-5、计算实测温度 T_m 的参比零漂值 E_{O_m}' ;

$$E_{O_m}' = E_{O_j} - (T_j - T_m) \times K(T_j, T_i);$$

步骤S2-6、建立零漂误差 $E_{O_m(\text{Adapt})}$ 与水表工况实测温度 T_m 的关系曲线:

$$E_{O_m(\text{Adapt})} = E_{O_m}' + E_{O_m} - E_{O_r}'$$

其中: T_m 表示超声水表正常工作时的实际测量温度; E_{O_m}' 表示温度 T_m 时的参比零漂值; E_{O_m} 表示温度 T_m 时的测量零漂值;

步骤S2-2和步骤S2-4中,测量零漂值 $E_{O_i}, E_{O_r}, E_{O_j}, E_{O_{T_m}}$ 的计算步骤为:对应于各温度点,分别多次测量对应温度点下零流量的顺、逆流时差值,分别计算对应温度点的测量零漂值 $E_{O_\chi}, \chi \in (i, r, j, T_m)$:

$$E_{O_\chi} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_\chi} (\Delta t_\chi - \Delta t_{\chi \text{avg}})^2}{N_\chi}}$$

其中, N_x 分别表示对应温度下的测量次数, Δt_x 分别表示对应测量温度点在第 k 次测量时的零流量的顺、逆流时差值, Δt_{xavg} 分别表示对应测量温度点的零流量的顺、逆流时差值的平均值;

步骤S3具体包括:

步骤S3-1、超声水表正常工作, 计算超声速 C_T ;

$$C_T = \frac{(L_0 + L_d) \times (\text{SumTof}_T - E_S)}{2 \times (t_{up} - \frac{E_S}{2}) \times (t_{down} - \frac{E_S}{2})}$$

其中: L_0 表示有效测量管长度, L_d 表示有效测量管直径, $(L_0 + L_d)$ 表示有效测量声程, SumTof_T 为超声波在实际工作时的在温度 T 下顺、逆流传播时间之和, $\text{SumTof}_T = t_{up} + t_{down}$, t_{up} 、 t_{down} 分别表示顺、逆流传播时间; E_S 表示非测量段传播时间;

步骤S3-2、根据超声速 C_T 查表获取实际温度 T ;

步骤S3-3、计算瞬时线流速 V_L ;

$$V_L = K(L_d, L_D) \times K_{\Delta T} \times \frac{C_T^2 \times (\Delta t - E_{Om(Adapt)})}{2(L_0 + L_d)}$$

其中, $K(L_d, L_D)$ 表示有效测量管直径 L_d 与水管口径直径 L_D 的缩径系数, $K_{\Delta T}$ 表示实际温度 T 的温度补偿系数, C_T 表示超声速, Δt 表示超声波在实际工作时的在温度 T 下顺、逆流传播时间之差, $E_{Om(Adapt)}$ 表示零漂误差。

2. 根据权利要求1所述一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法, 其特征在于步骤S3之后, 还包括步骤S4: 根据线流速所在区间, 调取对应的校准方程对流速进行校正, 计算出瞬时流量与标准值比较, 使用零漂值进行流量校正。

一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法

技术领域

[0001] 本发明属于水表计量检测技术领域,具体是一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法。

背景技术

[0002] 目前,影响超声波水表误差的因素有线平均流速与面平均流速的非线性、加工装配误差、非测量段误差、管道内壁粗糙度影响、常压下温度变化引起的误差、TDC计时分辨率不足引起的误差、计时结束回波不稳定产生的误差、管道内流体干扰、特性校正引起的误差、管内震动及安装条件不满足带来的误差。

[0003] 部分误差因素可通过分段线性校正、或拟合直线校正、增加计时分辨率、设计滤波电路获得更可靠的stop波、增加整流件、前后增加直管段、增加温度传感器或采用精确温度反算等手段补偿相关误差;零漂、非测量段引入的误差大都采用外接检测设备或校正系数的修正强制修复,并未提及较优的解决方案。

[0004] 目前通用的做法是管道声程L依赖于管段厂家的加工精度,实际测量的超声波经过的声程包含了两次反射面的中心距离、2倍的换能器到反射面的中心距离。由于换能器安装及自身尺寸误差、管道内反射面的实际波形反射位置不同引起装配误差。而温度变化通过采用外接温度传感器的做法,或通过采用较先进的计时芯片(内部集成测温单元)在实际测量时反算温度与实测温度的差值进行补偿的做法,由此带来硬件成本增加;TDC计时芯片分辨率自身产生的误差即零漂,通常通过外接元件单独测试零漂,在不改变原有基表结构且不外接设备的前提下没有较优的解决方案。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术不足,提供了一种不改变现有基表结构,不增加成本,外部无辅助测量设备,通过算法精确计算实际测量声程、建立零漂与温度变化曲线、采用分段校准的方法实现户用超声水表的精确计量。

[0006] 本发明的技术方案是:

[0007] 本发明提供一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法,该方法包括以下步骤:S1、计算非测量段传播时间的步骤;S2、建立零漂误差与温度关系曲线的步骤;S3、计算瞬时线流速。

[0008] 进一步地,步骤S1具体为:

[0009] 步骤S1-1、校验台向超声水表发送校准指令和参考温度 T_r ;

[0010] 步骤S1-2、采用超声水表进行多次采样其在参考温度 T_r 下零流量的顺、逆流传播时间之和,获取多次采样的平均值 SumTof_{T_r} ;

[0011] 步骤S1-3、采用下述公式计算非测量段传播时间 E_s :

[0012] $E_s = \text{SumTof}_{T_r} - 2 \times (L_0 + L_d) / C_r$

[0013] 其中： T_r 表示参考温度， $SumTof_r$ 为超声波在参考温度 T_r 下多次测量的零流量的顺、逆流传播时间之和的平均值， L_0 表示有效测量管长度， L_d 表示有效测量管直径， C_r 表示参考温度 T_r 下的超声速，查表获取。

[0014] 进一步地，步骤S2包括以下步骤：

[0015] 步骤S2-1、根据参考温度 T_r 和超声水表测量温度范围 (T_i, T_j) ，划定温度范围 $T_i < T_r \leq T_j$ ；

[0016] 步骤S2-2、获取三个温度点 T_i, T_r, T_j 零流量的测量零漂值 $E_{O_i}, E_{O_r}, E_{O_j}$ ；

[0017] 步骤S2-3、计算参考温度 T_r 的参比零漂值 E_{O_r}' ；

[0018] $E_{O_r}' = E_{O_j} - (T_j - T_r) \times K(T_j, T_i)$ ；

[0019] 其中： $K(T_j, T_i)$ 表示温度值与对应的测量零漂值的斜率；

[0020] 步骤S2-4、在水表工况下，获取实测温度 T_m 的测量零漂值 E_{O_m} ；

[0021] 步骤S2-5、计算实测温度 T_m 的参比零漂值 E_{O_m}' ；

[0022] $E_{O_m}' = E_{O_j} - (T_j - T_m) \times K(T_j, T_i)$ ；

[0023] 步骤S2-6、建立零漂误差 $E_{O_m(Adapt)}$ 与水表工况实测温度 T_m 的关系曲线：

[0024] $E_{O_m(Adapt)} = E_{O_m}' + E_{O_m} - E_{O_r}'$

[0025] 其中： T_m 表示超声水表正常工作时的实际测量温度； E_{O_m}' 表示温度 T_m 时的参比零漂值； E_{O_m} 表示温度 T_m 时的测量零漂值。

[0026] 进一步地，步骤S2-2和步骤S2-4中，测量零漂值 $E_{O_i}, E_{O_r}, E_{O_j}, E_{O_m}$ 的计算步骤为：对应于三个温度点，分别多次测量对应温度点下零流量的顺、逆流时差值，分别计算对应温度点的测量零漂值 $E_{O_\chi}, \chi \in (i, r, j, T_m)$ ：

[0027]
$$E_{O_\chi} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_\chi} (\Delta t_\chi - \Delta t_{\chi avg})^2}{N_\chi}}$$

[0028] 其中， N_χ 分别表示对应温度下的测量次数， Δt_χ 分别表示对应测量温度点在第 k 次测量时的零流量的顺、逆流时差值， $\Delta t_{\chi avg}$ 分别表示对应测量温度点的零流量的顺、逆流时差值的平均值。（标准差可解释测量点的离散性，同时与计时芯片自身的计时分辨率息息相关，因此取标准差作为零漂指导值）。

[0029] 进一步地，步骤S3具体包括：

[0030] 步骤S3-1、超声水表正常工作，计算超声速 C_T ；

[0031]
$$C_T = \frac{(L_0 + L_d) \times (SumTof_T - E_S)}{2 \times (t_{up} - \frac{E_S}{2}) \times (t_{down} - \frac{E_S}{2})}$$

[0032] 其中： L_0 表示有效测量管长度， L_d 表示有效测量管直径， $(L_0 + L_d)$ 表示有效测量声

程,SumTof_T为超声波在实际工作时的在温度T下顺、逆流传播时间之和,SumTof_T=t_{up}+t_{dwn},t_{up}、t_{dwn}分别表示顺、逆流传播时间;E_S表示非测量段传播时间;

[0033] 步骤S3-2、根据超声速C_T查表获取实际温度T;(声速与温度关系表)

[0034] 步骤S3-3、计算瞬时线流速V_L;

$$[0035] \quad V_L = K(L_d, L_D) \times K_{\Delta T} \times \frac{C_T^2 \times (\Delta t - E_{Om(Adapt)})}{2(L_0 + L_d)}$$

[0036] 其中,K(L_d,L_D)表示有效测量管直径L_d与水管口径直径L_D的缩径系数,K_{ΔT}表示实际温度T的温度补偿系数,C_T表示超声速,Δt表示超声波在实际工作时的在温度T下顺、逆流传播时间之差,E_{Om(Adapt)}表示零漂误差。

[0037] 进一步地,步骤S3之后,还包括步骤S4:通过分段校正进行流量校准。

[0038] 本发明的有益效果:

[0039] 本发明在不改变基表结构且不增加辅助测量设备的前提下,只需一次恒定温度下精确测量,得出非测量段误差,在实流测量时提高测量段的精度,减少由于加工、装配引起的非测量段的误差,有效修正加工装配误差;测量三个温度点下时差和标准差,计算参比零漂,建立零漂与温度曲线,使用标准差检测TDC计时芯片测量的离散性,动态计量零漂随温度的变化特性,减少计时芯片分辨率不足带来的误差。

[0040] 本发明提出了一种去除非测量段时间、零漂的方法,使有效测量段的计量更为准确,经过出厂一次校准,实际测量时反算温度进行雷诺数补偿,并计算出有效测量时差,使用分段修正法校正流速,大大提高水表计量精度。

[0041] 尽管本发明已经参照附图进行了说明,但是,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。本发明的各种更改、变化的等同物均在本发明权利要求书内容的涵盖范围内。

[0042] 本发明未涉及技术均与现有技术相同或可采用现有技术实现,因此不在本发明中详细赘述。

[0043] 本发明的其它特征和优点将在随后具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0044] 通过结合附图对本发明示例性实施方式进行更详细的描述,本发明的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显,其中,在本发明示例性实施方式中,相同的参考标号通常代表相同部件。

[0045] 图1测量管结构图。

[0046] 图2零漂与温度曲线图。

[0047] 图3校准算法流程图。

具体实施方式

[0048] 下面将参照附图更详细地描述本发明的优选实施方式。虽然附图中显示了本发明的优选实施方式,然而应该理解,可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施方式所限制。

[0049] 一种基于非测量段传播时差及零漂误差的超声水表流速修正方法,该方法包括以

下步骤:

[0050] S1、计算非测量段传播时间的步骤;

[0051] 步骤S1-1、校验台向超声水表发送校准指令和参考温度 T_r ;

[0052] 步骤S1-2、采用超声水表进行采样其在参考温度 T_r 下零流量的顺、逆流传播时间之和 SumTof_{T_r} ;

[0053] 步骤S1-3、采用下述公式计算非测量段传播时间 E_s :

[0054] $E_s = \text{SumTof}_{T_r} - 2 \times (L_0 + L_d) / C_r$

[0055] 其中: T_r 表示参考温度, SumTof_{T_r} 为超声波在参考温度 T_r 下多次测量的零流量的顺、逆流传播时间之和的平均值, L_0 表示有效测量管长度, L_d 表示有效测量管直径, C_r 表示参考温度 T_r 下的超声速,查表获取。

[0056] S2、建立零漂误差与温度关系曲线的步骤;

[0057] 步骤S2-1、根据参考温度 T_r 和超声水表测量温度范围 (T_i, T_j) ,划定温度范围 $T_i < T_r \leq T_j$;

[0058] 步骤S2-2、获取三个温度点 T_i, T_r, T_j 零流量的测量零漂值 $E_{O_i}, E_{O_r}, E_{O_j}$;

[0059] 步骤S2-3、计算参考温度 T_r 的参比零漂值 E_{O_r}' ;

[0060] $E_{O_r}' = E_{O_j} - (T_j - T_r) \times K(T_j, T_i)$;

[0061] 其中: $K(T_j, T_i)$ 表示温度值与对应的测量零漂值的斜率;

[0062] 步骤S2-4、在水表工况下,获取实测温度 T_m 的测量零漂值 E_{O_m} ;

[0063] 步骤S2-5、计算实测温度 T_m 的参比零漂值 E_{O_m}' ;

[0064] $E_{O_m}' = E_{O_j} - (T_j - T_m) \times K(T_j, T_i)$;

[0065] 步骤S2-6、建立零漂误差 $E_{O_m(\text{Adapt})}$ 与水表工况实测温度 T_m 的关系曲线:

[0066] $E_{O_m(\text{Adapt})} = E_{O_m}' + E_{O_m} - E_{O_r}'$

[0067] 其中: T_m 表示超声水表正常工作时的实际测量温度; E_{O_m}' 表示温度 T_m 时的参比零漂值; E_{O_m} 表示温度 T_m 时的测量零漂值。

[0068] S3、计算瞬时线流速;

[0069] 步骤S3-1、超声水表正常工作,计算超声速 C_T ;

[0070]
$$C_T = \frac{(L_0 + L_d) \times (\text{SumTof}_T - E_s)}{2 \times (t_{up} - \frac{E_s}{2}) \times (t_{dwn} - \frac{E_s}{2})}$$

[0071] 其中: L_0 表示有效测量管长度, L_d 表示有效测量管直径, $(L_0 + L_d)$ 表示有效测量声程, SumTof_T 为超声波在实际工作时的在温度 T 下顺、逆流传播时间之和, $\text{SumTof}_T = t_{up} + t_{dwn}$, t_{up} 、 t_{dwn} 分别表示顺、逆流传播时间; E_s 表示非测量段传播时间;

[0072] 步骤S3-2、根据超声速 C_T 查表获取实际温度 T ;

[0073] 步骤S3-3、计算瞬时线流速 V_L ;

$$[0074] \quad V_L = K(L_d, L_D) \times K_{\Delta T} \times \frac{C_T^2 \times (\Delta t - E_{Om(Adapt)})}{2(L_0 + L_d)}$$

[0075] 其中, $K(L_d, L_D)$ 表示有效测量管直径 L_d 与水管口径直径 L_D 的缩径系数, $K_{\Delta T}$ 表示实际温度 T 的温度补偿系数, C_T 表示超声速, Δt 表示超声波在实际工作时的在温度 T 下顺、逆流传播时间之差, $E_{Om(Adapt)}$ 表示零漂误差。

[0076] 具体实施时:

[0077] 本实施例以测量 DN15 铜质管段超声水表为例, 取参考温度 $T_r = 25^\circ\text{C}$, 如图 1 所示有效测量管长度 $L_0 = 0.045\text{m}$ 。有效测量管直径 $L_d = 0.011\text{m}$, 基表实际内径 $L_D = 0.017\text{m}$ 。两换能器反射面中心距 $L_t = 0.063\text{m}$ 。

[0078] 以下步骤为零流量校准测量:

[0079] 1) 连续采样 N 次 ($N \geq 32$) 零流量的顺、逆流传播时间之和 SumTof_i 。

$$[0080] \quad 2) \text{ 计算出 } N \text{ 次 } \text{SumTof}_{T_r} \text{ 的平均值 } \text{SumTof}_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{SumTof}_i}{N}。$$

[0081] 3) $T_r = 25^\circ\text{C}$ 时, $C_r = 1496.6\text{m/s}$, 因此 $E_s = \text{SumTof}_{avg} - 2 \times (L_0 + L_d) / C_r$ 得非测量段时间 E_s 。

[0082] 4) 温度等级 T50, $T_i = 1^\circ\text{C} < T_r \leq T_j = 50^\circ\text{C}$, 测量 T_j 零流量的顺逆流时差 Δt_j , T_i 的顺逆流时差 Δt_i , 测量三个温度点下 N 次 ($N \geq 32$) 时差值, 记录三个温度点 N 次时差并求出其平

均值, 根据公式 $E_o = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\Delta t_n - \Delta t_{avg})^2}{N}}$ 计算出 T_j 时零漂 $E_{o_j} = 36.154305\text{ps}$, T_i 时零漂

$E_{o_i} = 32.997854\text{ps}$, 因此参比零漂 $E_{o_r}' = E_{o_j} - (T_j - T_r) \times K(T_j, T_i) = 34.543871\text{ps}$ 。根据参比零漂, 取实际测量零漂与参比零漂差值来校准实际零漂, 因此实际温度下的零漂曲线为

$$E_{Om(Adapt)} = E_{o_m}' + E_{o_m} - E_{o_r}'。$$

[0083] 从上式看出, 实际零漂是温度与测量零漂的函数, 需要在实流测量时计算出测量零漂, 并反算温度。

[0084] 以下为实流测量:

[0085] 5) 在实际应用中, 测量得到 SumTof_T , t_{up} , t_{down} , 由图 1 可知声程 $L = L_0 + L_d$, 可计算出

$$\text{超声速 } C_T = \frac{L \times (\text{SumTof}_T - E_s)}{2 \times (t_{up} - \frac{E_s}{2}) \times (t_{down} - \frac{E_s}{2})}, \text{ 通过声速与温度关系表反查到实际温度 } T。$$

[0086] 6) 根据步骤 5 中得到的温度 T , 代入零漂与温度曲线, 根据步骤 S2 中实际零漂与温度关系进行校准, 获取 $E_{Om(Adapt)}$, 如图 2 所示为采取部分温度点下, 实测零漂与校准零漂曲线图。

$$[0087] \quad 7) \text{ 实际零漂代入流速计算公式 } V_L = K(L_d, L_D) \times K_{\Delta T} \times \frac{C_T^2 \times (\Delta t - E_{o_r})}{2L}。 \text{ 其中 } L$$

为有效测量声程。

[0088] 8) 判断当前线流速 V_L 处于哪个流速段, 调用不同校准方程进行流速校正。

[0089] 表1部分温度点测量零漂与校准零漂对照表

[0090]

温度(℃)	测量零漂 (ns)	校准零漂 (ns)
0.1	0.0266351	0.025031107
1	0.038379	0.036832983
5	0.031137	0.029848652
10	0.0296148	0.028648539
15	0.039592	0.038947826
20	0.028828	0.028505913
25	0.0292474	0.0292474
30	0.052954	0.053276087
35	0.029888	0.030532173
40	0.0275011	0.02846736
45	0.043885	0.045173347
50	0.037035	0.038645434

[0091] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。

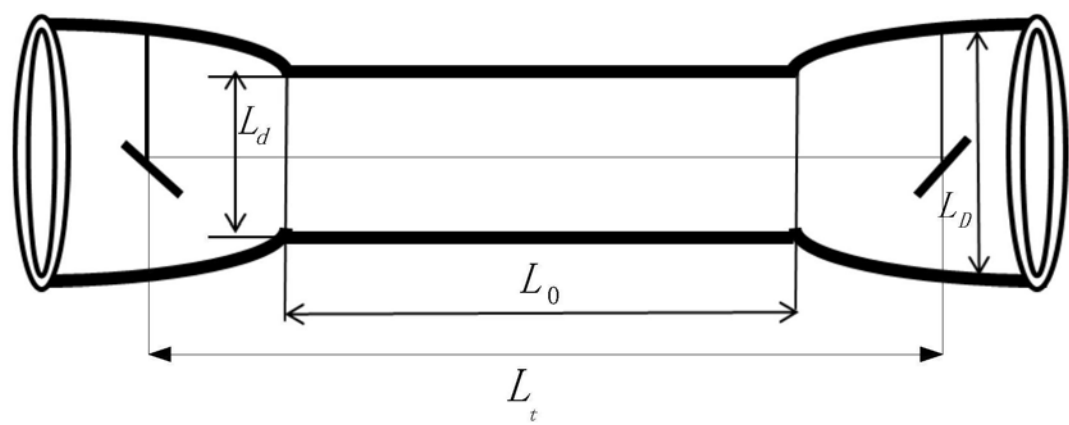


图1

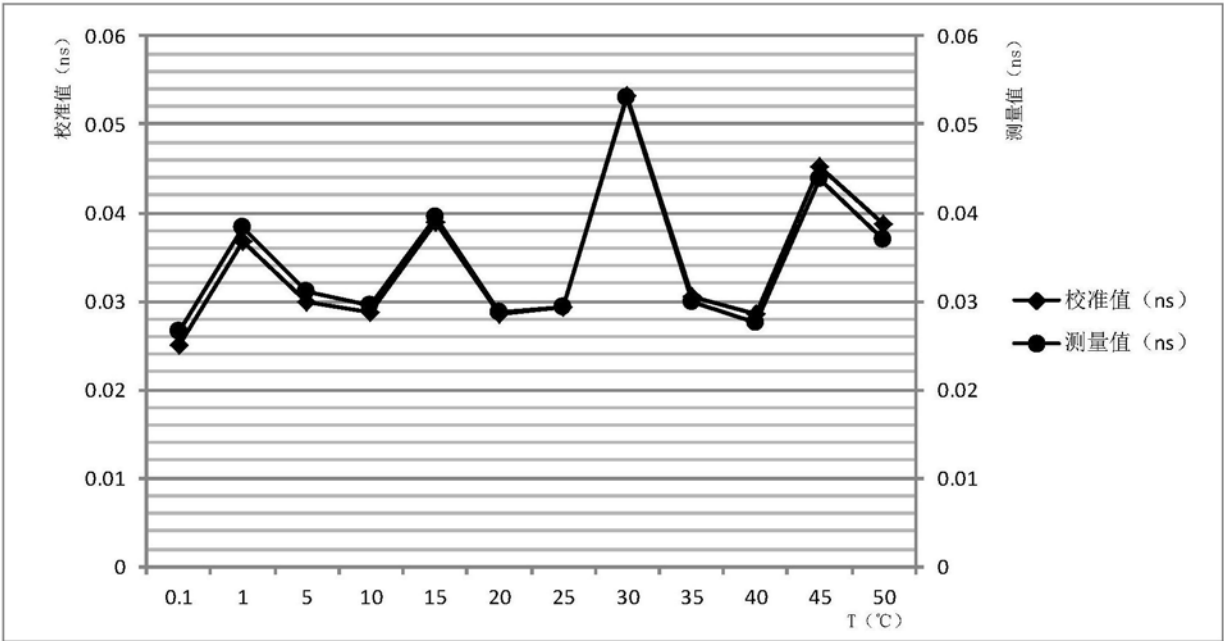


图2

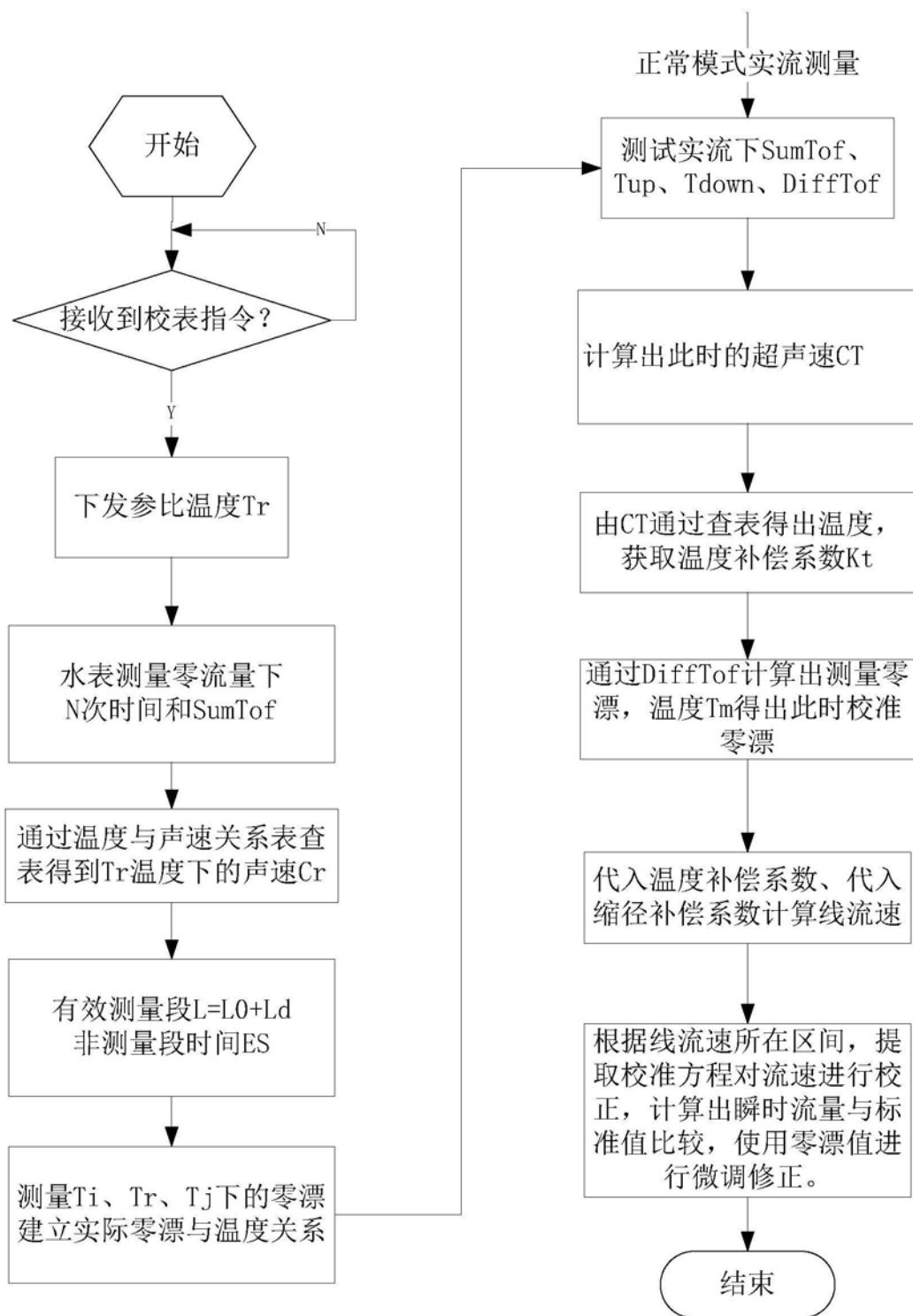


图3