



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17612—1998  
idt ISO 4185:1980

---

## 封闭管道中液体流量的测量 称重法

Measurement of liquid flow in closed conduits  
—Weighing method

1998 - 12 - 11 发布

1999 - 07 - 01 实施

国家质量技术监督局 发布

GB/T 17612—1998

## 目 次

前言 .....	1
ISO 前言 .....	Ⅱ
1 总则 .....	1
1.1 应用范围和场合 .....	1
1.2 引用标准 .....	1
1.3 定义 .....	1
1.4 单位 .....	2
1.5 符号 .....	2
1.6 认证 .....	2
2 原理 .....	2
2.1 原理的说明 .....	2
2.2 称重法的精确度 .....	3
3 装置 .....	3
3.1 换向器 .....	3
3.2 时间测量装置 .....	6
3.3 称重容器 .....	7
3.4 衡器 .....	7
3.5 辅助测量 .....	8
4 程序 .....	8
4.1 静态称重法 .....	8
4.2 动态称重法 .....	8
4.3 一般规定 .....	8
5 流量的计算 .....	8
5.1 质量流量的计算 .....	8
5.2 体积流量的计算 .....	9
6 流量测量总不确定度的计算 .....	9
6.1 结果的表示形式 .....	9
6.2 误差源 .....	10
6.3 流量测量不确定度的计算 .....	12
附录 A(标准的附录) 关于注水时间测量的修正 .....	14
附录 B(标准的附录) 纯水的密度 .....	16
附录 C(标准的附录) 误差分析中所用术语的定义和误差分析的程序 .....	16
附录 D(标准的附录) 学生氏 $t$ 分布 .....	18
附录 E(提示的附录) 引用标准译文文献 .....	19

GB/T 17612—1998

## 前 言

本标准根据国际标准 ISO 4185:1980《封闭管道中液体流量的测量——称重法》制订的。虽然该标准发布于 1980 年,但经 ISO 于 1985 年、1990 年和 1995 年三次确认,仍为现行标准。制订本标准时,还按 ISO 4185:1980/Cor. 1:1993 文件,对原标准的错误部分作了修正。本标准在技术内容上与该国际标准等同。

近几年来,我国在液体流量校准(标准)装置方面,采用称重法原理建立的装置逐年增多,且随着高精度质量流量计的广泛应用,称重法流量校准装置还将继续发展,因此制订本标准,符合行业的发展要求。

在检验近几年建立的称重法液体流量校准装置时,已广泛地参考了 ISO 4185 的技术内容,实践证明,ISO 4185 完全适合我国情况。

本标准制订时,根据 GB/T 1.1—1993《标准化工作导则 第 1 单元:标准的起草与表述规则 第 1 部分:标准编写的基本规定》的规定,在引用的标准前增加了引用标准的引导语;对其引用的 6 份 OIML 建议,分别列出了建议的发布年份和标题名称;将 ISO 4185 的附录按其性质进行了分类,并增加了附录 E《引用标准译文文献》。此外,还按规定把附录中的图 7、图 8 和图 9 分别改为图 A1、图 C1 和图 C2;把附录中的式(1)、式(2)和式(3)分别改为式(C1)、式(C2)和式(C3)。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 和附录 D 都是“标准的附录”,附录 E 为“提示的附录”。

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由全国工业过程测量和控制标准化技术委员会归口。

本标准由机械工业部上海工业自动化仪表研究所负责起草。参加起草单位:中国计量科学研究院、上海计量测试技术研究院、湖北省计量科学研究所、开封仪表厂和安庆石油化工总厂。

本标准主要起草人:仇梁、沈钦照。

本标准委托机械工业部上海工业自动化仪表研究所负责解释。

GB/T 17612—1998

## ISO 前言

ISO(国际标准化组织)是各国标准协会(ISO 成员团体)的世界性联合会。国际标准的制定工作是由 ISO 各技术委员会进行的。对已建立了技术委员会的研究主题感兴趣的每一个成员团体都有权派代表参加该委员会。与 ISO 有联系的政府性和非政府性的国际组织也可参与这项工作。

各技术委员会所采纳的国际标准草案在其被 ISO 理事会承认国际标准之前都要分发给成员团体进行表决。

国际标准 ISO 4185 由 ISO/TC 30“封闭管道中流体流量的测量”技术委员会制订,于 1978 年 8 月分发给各成员团体。

本国际标准已经得到下列国家的成员团体同意:

澳大利亚	德意志联邦共和国	波兰
比利时	印度	罗马尼亚
巴西	意大利	西班牙
智利	韩国	联合王国
捷克斯洛伐克	墨西哥	美利坚合众国
埃及阿拉伯共和国	荷兰	苏联
法国	挪威	南斯拉夫

下列国家的成员团体由于技术上的理由,对本国际标准表示不同意:

日本	南非共和国
----	-------

## 中华人民共和国国家标准

封闭管道中液体流量的测量  
称重法GB/T 17612—1998  
idt ISO 4185:1980Measurement of liquid flow in closed conduits  
—Weighing method

## 1 总则

## 1.1 应用范围和场合

本标准规定了在已知时间间隔内测量流入称重容器内的流体质量以确定封闭管道内流体流量的方法。特别论述了测量装置、程序以及计算流量和计算与测量有关的不确定度的方法。

本标准所论述的方法可以适用于任何液体,只要其蒸气压力不致于使称重容器中的液体由于蒸发而逸出的量影响所需的测量精确度(亦称准确度,以下同)。本标准不考虑密闭的称重容器及其应用于高蒸气压力液体的流量测量。

本标准也不适用于腐蚀性和有毒液体的场合。

理论上,一般仅用于固定实验室装置中的这种方法在使用上是不受限制的。但是,由于某些经济上的理由,采用这种方法的普通水力实验室通常只能产生  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  或  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  以下的流量。

由于这种方法的精确度很高,所以只要精确知道液体密度,则该方法常作为基准的方法,用来校准其他的质量流量测量或容积流量测量的方法或装置。必须确保管线中是充满液体的,并且在测量段内不存在空气穴或蒸气穴。

## 1.2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 17611—1998 封闭管道中流体流量的测量 术语和符号(idt ISO 4006:1991)

ISO 5168:1978 流体流量的测量——流量测量不确定度的估计

OIML No. 1:1976 1 克至 10 千克圆柱形砝码

OIML No. 2:1977 5 千克至 50 千克矩形砝码

OIML No. 3:1976 非自动衡器计量规程

OIML No. 20:1975 50 千克至 1 毫克  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$  准确度级砝码

OIML No. 28:1980 非自动衡器技术规程

OIML No. 33:1973 空气中称重结果的约定值

## 1.3 定义

下面所定义的术语仅指那些用作特定含义的术语或那些含义需要重新说明的术语。

## 1.3.1 静态称重 static weighing

在测量的时间间隔内,根据分别称出换向前称重容器的皮重和换向后液体进入称重容器后的总重而推算出所收集液体净质量的方法。

## 1.3.2 动态称重 dynamic weighing

国家质量技术监督局 1998-12-11 批准

1999-07-01 实施

液体流入称重容器过程中,通过称量而推算出流入液体净质量的方法(本方法不需要换向器)。

1.3.3 换向器 diverter

在测量时间间隔内,可将液体送入称重容器或引向容器旁路,而不会改变流量的一种装置。

1.3.4 流量稳定器 flow stabilizer

组成测量系统一部分的一种结构,以保证液体供应管道中有一个稳定的流量,例如一个通过足够长的堰槽来控制液面的恒液位高位容器。

1.3.5 浮力修正 buoyance correction

考虑到大气压作用在被称液体产生的向上推力与大气压作用在衡器校正期间所使用的标准砝码产生的向上推力之间的差而对衡器读数进行的修正。

1.4 单位

本标准采用法定计量单位(国际单位制),米,千克和秒。为了方便,使用摄氏度代替开尔文。

1.5 符号

符 号	名 称	量 纲	法定计量单位
$q_m$	质量流量	$MT^{-1}$	kg/s
$q_v$	体积流量	$L^3T^{-1}$	$m^3/s$
$m$	质量	M	kg
$V$	容积	$L^3$	$m^3$
$t$	时间	T	s
$\rho$	液体密度	$ML^{-3}$	$kg/m^3$
$\rho_a$	空气密度	$ML^{-3}$	$kg/m^3$
$\rho_p$	标准砝码密度	$ML^{-3}$	$kg/m^3$
$s_x$	标准偏差的估计值		
$\sigma_x$	标准偏差		
$e$	测量的不确定度		
$e_s$	系统不确定度		
$E_s$	百分率系统不确定度		
$e_R$	随机不确定度		
$E_R$	百分率随机不确定度		

1.6 认证

如果采用称重法的流量测量装置用于法制计量目的,则其应通过国家计量部门的认证和进行备案,并应在规定的时间内进行周期性检定。

2 原理

2.1 原理的说明

2.1.1 静态称重

用静态称重的流量测量方法原理(典型装置的示意图见图 1A、1B、1C)是:

——确定容器和容器内剩余液体的初始质量;

——操作换向器使液体流入称重容器(直到认为的量足以达到所要求的精确度),同时启动计时器以测量注水时间;

——确定容器和收集在容器内液体的最终质量。

## GB/T 17612--1998

于是,根据所收集液体的质量、注水的时间以及本标准第5章和附录A(标准的附录)所论述的其他数据来求得流量。

### 2.1.2 动态称重

用动态称重的流量测量方法原理(见图1D典型装置的示意图)是:

——当收集在容器内的液体到达预定初始质量时启动计时器;

——当被收集的液体到达预定的最终质量时停止计时器。

根据所收集的液体质量和时间,以及本标准第5章和附录A(标准的附录)所论述的其他数据求得流量。

### 2.1.3 瞬时流量和平均流量的比较

应该强调,用称重法所给出的仅是注水过程的流量平均值。只有当在测量过程中采用流量稳定系统以使流量保持稳定时,或者在整个注水期间瞬时值完全是按时间平均时,在流量回路中通过其他仪器或仪表所得的流量瞬时值,才能与称重法给出的流量平均值进行比较。

## 2.2 称重法的精确度

### 2.2.1 称重测量法的总不确定度

称重法是一种流量的绝对测量法,从原理上讲,这种方法仅要求质量和时间的测量。只要遵守2.2.2所列的注意点,这种方法可认为是所有流量测量方法中最精确的一种方法,正因为这一原因它常常用作检验用的方法。当仔细地建造、维护和使用,这种装置的不确定度能够达到 $\pm 0.1\%$ (不确定度随机部分95%的置信限)。

### 2.2.2 精确测量的若干要求

只要符合下列条件,称重法就能给出一个精确的流量测量:

- a) 在流动回路中没有泄漏,也没有未经计量的泄漏液体通过换向器;
- b) 不会由于热的收缩(或膨胀)而使部分回路中积聚(或排出)液体,也不会由于含有未知的蒸气或气体的体积变化而使流量回路中积聚液体;
- c) 需对大气浮力的影响进行修正,在校准衡器时可以进行这一修正;
- d) 衡器、计时器以及启动、停止计时器的平均值均应达到必要的精确度;
- e) 相对于注水时间,换向器所需的换向时间要短;当换向器刚好通过水力中心时计时器正好启动和停止;
- f) 在动态称重法的情况下,动态现象的影响要足够小。

## 3 装置

### 3.1 换向器

换向器是一种用以引导液流交替地沿着正常通道流动或流向称重容器的可动装置。它可以由导管或可动的导流槽组成,或者更好的是由一块围绕水平或垂直轴旋转的导流板组成(见图2)。

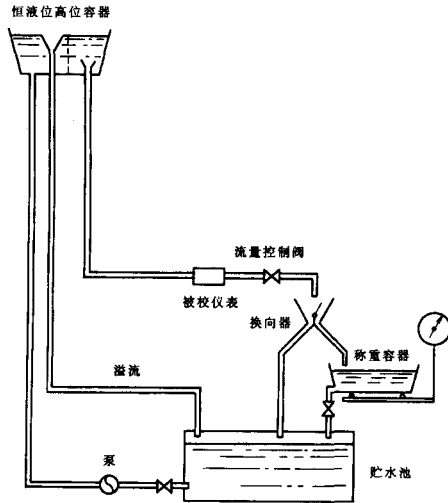
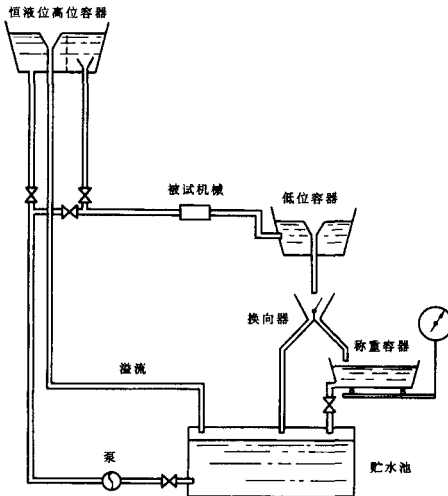


图 1A 用称重法校验的装置图  
(静态方法,采用恒液位高位容器供水)



• 图 1B 用称重法测量流量的装置图  
(用于水力机械的试验,静态方法,采用恒液位高位容器供水)



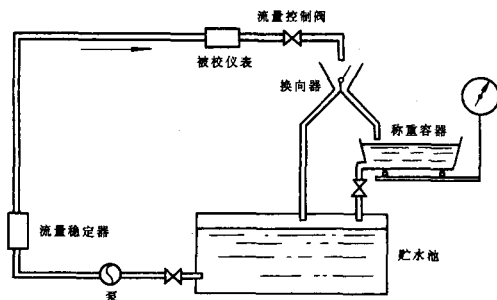


图 1C 用称重法校验的装置图  
(静态方法, 泵直接供水)

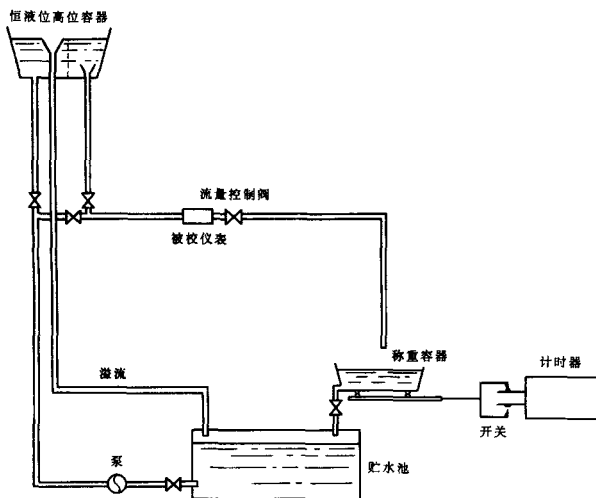


图 1D 用称重法校验的装置图  
(动态方法, 采用恒液位高位容器供水)

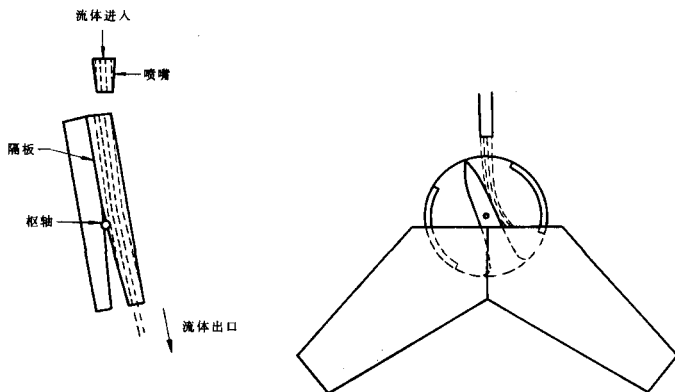


图2 换向器结构举例

换向器动作应足够快(例如小于 $0.1\text{ s}$ ),以减少在测量注水时间中引入较大误差的可能性。这由快速的换向器穿过由喷嘴狭缝所产生的薄的液流束来完成。通常该液流束的长度为换向器行程方向宽度的15到50倍。通过喷嘴狭缝的压力损失不应超过 $20\text{ kPa}$ 以避免液体飞溅、夹杂空气<sup>1)</sup>,以及避免液体超过换向器和在称重容器内扰动。换向器可由各种电器或机械装置驱动,例如用弹簧或扭力杆,或者用电动或气动执行机构来驱动。在测量程序的任何阶段,换向器不应影响回路中的流动。

对能够引起过大应力的大流量,可使用换向性能均衡且速度慢(例如 $1\sim 2\text{ s}$ )的换向器,但其动作的规律要恒定,以及以换向器行程为函数的流量分布变化最好是线性的,且在任何情况下是已知的和能够验证的。

应该仔细设计装置和换向器的机械部分,而且在使用中要经常检查换向器是否发生液体泄漏或飞溅到外面,或从一个换向器通道泄漏或飞溅到另一边。

除了薄的平直液流之外,在换向器通道中也允许其他形状的液流。如需要对换向时间进行修正,可使用附录A(标准的附录)的说明。

### 3.2 时间测量装置

液体流入称重容器的时间通常用内部带有一个精确的时间参比标准例如石英晶体的电子计数器来测量。因而,换向周期能被读出 $0.01\text{ s}$ 的分辨率或更好些。只要时间显示的分辨率足够高,并且周期性地与国家时间标准例如某些无线电台所发射的频率信号进行校对,则由计时装置引起的误差可以忽略不计。

计时器应由换向器本身的运动通过固定在换向器上的开关(例如光学或磁的开关)来驱动。严格地讲,时间的测量应该在图3中阴影区相等的瞬时开始(或终止)。图3表示流量随时间的变化。然而实际上通常可以认为该点相当于液体喷流束换向器行程的中点位置。只要换向器穿过水流经历的时间与换向到称重容器的周期相比可以忽略不计,则该误差就可忽略不计。

1) 在喷嘴狭缝的某些设计中,或许需要允许空气进入液体喷流束中的特殊通道,以保证试验回路中有稳定的流动。

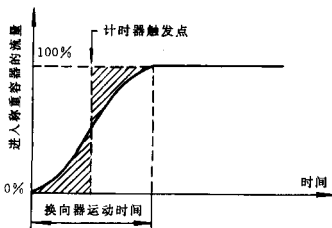


图3 换向器操作规律

如果换向器的动作规律在两个方向上是相同的(见图4),则可在换向器每个方向动作的瞬间启动或停止计时器。这是指流量和时间的规律是线性的特殊情况。

然而如果在注水时间测量中由于换向器的操作使计时器的启停所引起的误差不能忽略不计时,应按照附录A(标准的附录)中的说明进行修正。

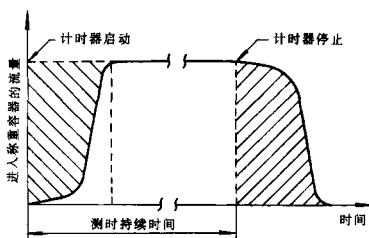


图4 操作规律在两个方向上相同的换向器的时间测量

### 3.3 称重容器

在每次测量期间液体所流入的容器应具有足够大的容量,以使时间的测量误差可忽略不计。考虑3.1和3.2的说明,最大预期流量的注水时间应至少为30 s。但是只要根据附录A(标准的附录)所叙述的程序,若能用实验方法确定能达到所需的精确度,则注水时间可以减小。

容器可以是任何形状的,但最基本的是必须完全防漏,并务必防止液体外溢。可以利用内壁或阻尼板来减小液体在容器内的振荡和改善结构的牢固性。

容器可以悬挂在衡器上或可以构成衡器的秤架或被放在秤架的某一位置。为防止突然的超负荷而损伤称重装置,有必要在注水时将容器锁定在秤盘上。

容器可以用下列不同方法放水:

- 在底部装一只闸阀,其渗漏应该能检查的(自然流出、透明的软管或检漏回路);
- 或采用一只配有有效的和能检验虹吸中断的虹吸管;
- 或装有一只自动泵或潜水泵。

排水速率应充分高以能在短时间内周而复始地进行试验。

在所有情况下应仔细检查不要有能传递称重容器与装置固定部分之间应力的管子和电线连接。因此,必不可少的连接物应该是极其柔软的,而且其柔软性在校准衡器时要通过确认。

### 3.4 衡器

可以采用任何形式的衡器,例如机械秤和带应变式负荷传感器的衡器,只要它们提供所需的灵敏度、精确度和可靠性。作为法制计量用称重法测量流量时,遵照OIML No. 3和No. 28号建议使用衡器

是合适的。

衡器安装在试验室后,应该用标准砝码在整个测量范围内对衡器进行校准,此时应遵循 OIML No. 1、No. 2、No. 20 和 No. 33 建议。

衡器应定期进行维护和周期地进行校准。如果所使用砝码的数目或规格不足以覆盖整个测量范围,可用液体替代砝码的方法分步进行校验,并用标准砝码精确地检验其间隔范围。应该指出,鉴于用砝码校准衡器和用衡器称一个相同质量的液体时两者的浮力存在差异,因此需要对衡器的读数进行修正(见 5.1 的计算)。

### 3.5 辅助测量

为了从质量流量求得体积流量,必须知道在称重期间的液体密度,其精确度要达到一定的要求。

如果被测量的液体非常洁净,则可以通过测量其温度并从物理性质表中查得其密度[见附录 B(标准的附录)水的密度表]。可用简单的水银玻璃温度计或更好的仪表如电阻温度计或热电偶来测量温度,温度计最好放在需要测量体积分流量的回路中。对于水来说,考虑到在环境温度下其密度随温度的变化较小,有 0.5℃ 的精确度足以保证密度的估计误差低于  $10^{-4}$ 。

如果对液体的纯度有怀疑,则必须实测密度。为此可收集一定量的样品,或者采用量筒放在分析天平上称重的直接法测量密度,或者采用间接法,例如测量作用在校准过的浮球(比重秤)上的流体静推力。不管用什么方法测量密度,都必须测量液体温度,在很多情况下,可以假定密度随温度的相对变化与纯净液体相同。

## 4 程序

### 4.1 静态称重法

为了消除剩余液体留在容器底部或依附在壁上的影响,应有足够量的液体首先注入容器(或者在上一次测量之后排水的最终时剩留下来)以达到衡器动作的临界值。在换向器把液体引入贮水池和流量趋向稳定时记录该初始质量  $m_0$ 。当流量达到稳定后,操作换向器,使液体注入称重容器,而换向器的动作自动地启动计时器。当收集到适当的液体后,操作换向器向相反方向动作使液体回到贮水池内,并自动停止计时器,因而确定了注水时间  $t$ 。当容器内液体的振荡平息后,记录称重容器的最终质量  $m_1$ 。然后使容器排水。

### 4.2 动态称重法

达到稳定的流量后,关闭称重容器放水阀。此时容器内的液体质量增加,当克服秤杆一端配重质量  $M_1$  所产生的阻力时,秤杆抬起并启动计时器,然后把一个附加质量  $\Delta m$  加到秤杆的砝码盘上,压下秤杆。当秤杆再次抬起时,其停止计时器并记录注水时间  $t$ 。质量  $\Delta m$  被用来作为下一步流量计算中的  $(m_1 - m_0)$ 。

还可以用其他的测量方法,例如衡器自动显示出读数。

### 4.3 一般规定

如果要对测量结果进行随机不确定度的分析,则建议对一系列流量测量中的每一个流量值,至少测量两次。

所测的各种量可以由操作人员人工记录,或者由一台自动数据采集系统进行传输,以数字形式记录在打印机上,或者直接送入计算机。

## 5 流量的计算

### 5.1 质量流量的计算

在注水期间的平均质量流量是用注水时间除注入液体实际质量而求得的:

$$q_m = \frac{m}{t} = \frac{m_1 - m_0}{t} \times \frac{1 - \frac{\rho_s}{\rho}}{1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}}$$

如需要考虑换向器的计时误差或动态称重的计时误差,则按照附录 A(标准的附录)所叙述的程序之一对  $t$  进行修正。该方程的最后一项是考虑到大气压作用在给定质量液体上的浮力和作用在呈砝码形式的等效质量(例如校准衡器时所用的铸铁砝码)上的浮力这两者之差所引入的修正项。

考虑到这些量相对的数量级,该方程式可以改写成下式,以得到令人满意的近似值:

$$q_m = \frac{m_1 - m_0}{t} (1 + \epsilon)$$

式中:

$$\epsilon = \rho_s \left( \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_p} \right)$$

如果液体是水,由下列平均近似值来计算修正系数是足够的:

$$\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 1.21 \text{ kg/m}^3 \text{ (在 } 20^\circ\text{C, } 10^5 \text{ Pa 时)}$$

$$\rho_p = 8\,000 \text{ kg/m}^3 \text{ (根据 OIML No. 33 建议的约定平均值)}$$

则

$$\epsilon = 1.06 \times 10^{-3}$$

$$q_m = 1.001\,06 \frac{m_1 - m_0}{t}$$

## 5.2 体积流量的计算

体积流量是根据 5.1 计算所得的质量流量和从标准对照表上读得的在操作温度下液体的密度来计算的。附录 B(标准的附录)列出了在环境温度范围内水的密度的标准对照表(在特殊情况下也许有必要直接测量出密度)。

$$q_V = \frac{q_m}{\rho} = \frac{m_1 - m_0}{\rho t} (1 + \epsilon)$$

## 6 流量测量总不确定度的计算

流量测量不确定度应根据 ISO 5168 进行计算。为了方便起见,下面给出的主要步骤适用于称重法测量流量的场合。

### 6.1 结果的表示形式

最好应分别求取附录 C(标准的附录)的方程式(C3)中由于误差的随机分量和系统分量所引起的不确定度。在流量测量中,由这两个误差源所引起的不确定度可分别用  $(e_R)_{95}$  和  $e_S$  表示其绝对项,用  $(E_R)_{95}$  和  $E_S$  表示其百分项,于是流量测量可用下列形式之一表示:

a) 流量 =  $q$

$$(e_R)_{95} = \pm \delta q_1; e_S = \pm \delta q_2$$

根据 ISO 5168 计算不确定度。

b) 流量 =  $q$

$$(E_R)_{95} = \pm \delta q_3\%; E_S = \pm \delta q_4\%$$

根据 ISO 5168 计算不确定度。

另外一种方法尽管不太令人满意,但仍可选用。该方法是把由随机和系统误差所引起的不确定度组合起来的平方和方根法。然而在这种情况下还是有必要出方程式(C3)中随机分量,因为  $(e_R)_{95}$  或  $(E_R)_{95}$  的值是必须给出的。在这种情况下,流量测量可用下列形式之一表示。

c) 流量 =  $q \pm \delta q$

$$(e_R)_{95} = \pm \delta q_1$$

根据 ISO 5168 计算不确定度。

d) 流量 =  $q(1 \pm 10^{-2} \delta q)$

$$(E_R)_{95} = \pm \delta q_3 \%$$

根据 ISO 5168 计算不确定度。

## 6.2 误差源

下面仅考虑系统误差和随机误差两个主要误差源,所提到的误差数值将用例题给出。

这里分别考虑了系统误差源和随机误差源,但应该指出所考虑的仅是单独一次的流量测定。亦应指出,测量的目的被认为是测定整个换向期间的平均流量。因此,只要流量不稳定的影响不至于影响换向器系统的操作,则可以不考虑。

### 6.2.1 系统误差

#### 6.2.1.1 由衡器所产生的误差

可能发生与使用衡器有关的系统误差,例如就杆秤而论可能由下列情况引起系统误差:

- a) 杆秤上刀口的位置;
- b)  $\epsilon$  值的估计。

杆秤上每一刀口位置都会产生一定量的误差,理论上该误差应小于衡器的分辨力。但在很多情况下达不到这一要求,从而在校准衡器时会产生如图 5 所示的误差分布。

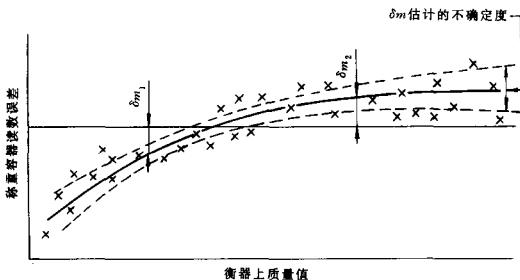


图 5 校准衡器的误差分布图例

在一般情况下,通过每一个点的最佳拟合曲线可用一个多项式来表示:

$$\delta m = a_0 + a_1 m + a_2 m^2 + \dots + a_n m^n$$

建议,处理数据时应选择阶数最低的多项式。

于是测定称重容器内质量的系统误差由下式得出:

$$\delta(\Delta m) = \delta m_2 - \delta m_1$$

因此,为了估计该系统误差值,就需要使用图 5 所给出的校准曲线。但是,即使用合适的值修正了质量差之后,仍有一个残余的不确定度( $e_s$ )<sub>b</sub> 进入流量测量中,其值等于在确定  $\delta(\Delta m)$  时的不确定度。这就是确定通过各个被校点的最佳曲线的不确定度。

( $E_s$ )<sub>b</sub> 的最大允许值应是衡器指示质量的  $\pm 0.05\%$ 。因此在确定  $\delta(\Delta m)$  时为了满足这一给定的不确定度绝对值,就有必要规定出在换向期间注入水质量的最低限度,以保证由这系统误差所引入的不确定度始终不超过  $\pm 0.05\%$ 。

浮力  $\epsilon$  的修正值是由已知的  $\rho$ 、 $\rho_a$  和  $\rho_w$  来确定的。使用这些值,尤其是如果取 5.1 中推荐的标准值,就会引入一个系统误差,但所涉及的这些量的数值对流量测量的影响小于  $0.01\%$ ,因此这一误差可以

忽略不计。

#### 6.2.1.2 由计时装置所引起的误差

计时装置的标定误差,将会导致换向时时间测量的系统误差,但若采用现代设备,这误差可忽略不计(小于1 ms)。

计时装置有一个合适的分辨力是重要的。具有数字显示的仪器其读数误差由最后一位数决定,而误差的正负符号取决于数字的进位是在相应时间间隔的结束时还是在开始时。要舍弃这个误差,所使用的任何计时装置的分辨力应规定为小于换向周期的0.01%。

#### 6.2.1.3 由换向器系统所引起的误差

只要按照附录A(标准的附录)所叙述的方法来修正计时误差,或者调整计时装置的触发器使计时误差为零,则由这个误差源所引入的流量测量的不确定度将等于测量计时误差的不确定度。

这个不确定度( $e_s$ )<sub>p</sub>可运用附录C(标准的附录)方程式(C3)概括的一般原理,根据附录A(标准的附录)中A1的方程式来计算;或者使用替代方法2,根据附录A(标准的附录)图A1上直线斜率的不确定度来计算。

这个( $E_s$ )<sub>p</sub>值必须小于0.05%。

#### 6.2.1.4 由密度测量引起的误差

在必须计算体积流量时,将产生一个与液体密度所取值有关的系统误差。其误差由以下两方面引起:

- a) 装置中液体的温度测量;
- b) 使用密度测量装置或密度对照表。

正如在3.5中指出的,水在环境温度下的密度测量误差是不太大的,只要温度测量的精确度在±0.5℃以内。这个精确度用简单的温度计就能达到,但重要的是要保证流入称重容器中的液体处于恒定的温度,这样从整体来看,靠近温度计的液体温度就反映了容器中液体的温度。

使用密度对照表时,引入的误差是不太大的。如果直接测量液体的密度,则必须对所用的方法进行评估,以确定其结果的不确定度( $e_s$ )<sub>d</sub>,然后用该( $e_s$ )<sub>d</sub>的值来计算体积流量的不确定度。

在测出体积流量并通过直接测量方法获得液体密度的场合,所用的方法应能保证( $E_s$ )<sub>d</sub>值小于0.05%。

### 6.2.2 随机误差

#### 6.2.2.1 由衡器引起的误差

应该用如图5所示的图形来计算最佳拟合曲线周围各点分布的标准偏差,并用学生氏*t*表[见附录D(标准的附录)]来确定该分布的95%的置信限。这个置信限的值应乘上 $\sqrt{2}$ (因为在一次换向期间所收集的液体质量是通过二次称重之差求得的),其结果( $e_R$ )<sub>b</sub>就是由衡器的随机误差所引起的不确定度。

这个由衡器随机误差所引起的不确定度( $E_R$ )<sub>b</sub>应不超过±0.1%;应根据这个指标来选择被称的最小液体质量。

#### 6.2.2.2 由换向器系统引起的误差

换向持续时间的重复性取决于触发计时装置的换向器运动的重复性和触发位置的设定精确度。对于任何给定的装置,可用实验方法来确定这个重复性,办法是先将流量设定在一个稳定值,然后进行一系列试验,例如对同一个固定的换向周期进行十次换向以得出一连串的十个流量评定值。

对若干不同换向周期重复进行这样的试验,并根据每组测量的标准偏差*s*,即可评定出95%的置信限,即± $t_{95}$ [见附录D(标准的附录)]。这样对于一个设计完好的换向器系统就能画出如图6所示的图形。应该指出,在每组流量测量期间流量要保持稳定,或者最好在回路中用一台参比流量计使流量规范化。超过某一最小换向周期,则95%的置信限将相对恒定,而这样所得的值,应被用来作为在换向器系统中由于随机影响所造成的流量测量方面的不确定度( $E_R$ )<sub>p</sub>。

应该指出( $E_R$ )<sub>p</sub>包括了由衡器标尺读数所引起的分散性。

对系统整个范围内各点流量的 $(E_R)_p$ 进行估计是重要的,因为其值是与流量有关的。

由换向器系统的随机误差所造成的不确定度 $(E_R)_p$ 应不超过 $\pm 0.1\%$ 。要获得这样的界限值就要求使用某一最小换向周期,对某一个给定装置来说最小换向周期必须通过知道各个不确定度的绝对值来确定。

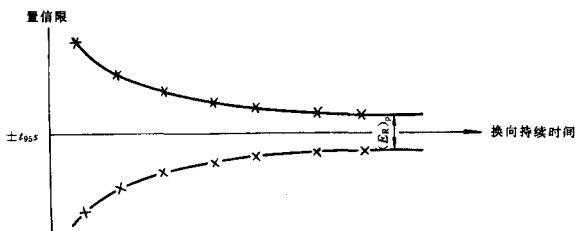


图6 用于估计换向器系统的 $(E_R)_p$ 典型曲线图

### 6.3 流量测量不确定度的计算

#### 6.3.1 概述

流量测量的不确定度是通过综合6.2中所述的误差源所引起的不确定度而获得的。虽然“系统的”误差与“随机的”误差不同,但每个系统分量可能值的概率分布基本上是高斯性质的,因此根据ISO 5168,所有不确定度的合成可以采用平方和的方根法。

尽管应该考虑所有的不确定度,但如果按本标准进行测量,则只须考虑6.2分析中所述的那些不确定度,因为其他误差源对总不确定度的影响是微不足道的。

因此,测量体积流量时其相对系统不确定度可按下式计算:

$$E_s = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{(e_s)_b}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)_F}{t}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)_d}{\rho}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)_t}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_s)_1}{t}\right]^2} \%$$

不确定度 $(e_s)_t$ 和 $(e_s)_1$ 通常可忽略。

置信水平为95%时的相对随机不确定度按下式计算:

$$(E_R)_{95} = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{(e_R)_b}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_R)_F}{t}\right]^2 + \left[\frac{(e_R)_d}{\rho}\right]^2} \%$$

不确定度 $(e_R)_d$ 通常可忽略。

#### 6.3.2 计算例题

这里所举的例题为:在测量周期为40.00 s内,杆秤显示所收集的水的质量为20 000 kg,此处要求测量水的体积流量。用玻璃水银温度计测量称重容器内水的温度和用比重瓶测量水的样品而获得的密度值为1 000.34 kg/m<sup>3</sup>。

本例题仅考虑了6.2中所列举的误差源,并采用在高精度流量测量装置中这些误差源的典型不确定度值。然而必须强调,在无论什么情况下,不确定度必须分别进行计算,因为可能存在其他误差源,并且相应于任何给定误差源的不确定度值有可能变化。

##### 6.3.2.1 系统误差

这里假定已经完成了附录C(标准的附录)所概述的程序,目的是为了得到下面要使用的系统不确定度的数值。

本例中,由衡器所造成的系统不确定度起因于刀口位置和浮力修正,分别用 $(e_s)_b$ 和 $(e_s)_F$ 表示的这两个分量的典型值为 $\pm 0.05\%$ 和 $\pm 0.005\%$ ,在本特例中相当于 $\pm 10$  kg和 $\pm 1$  kg。

由计时装置引起的系统不确定度 $(e_s)_t$ 的典型值小于0.001 s。本例就使用这个值。



## GB/T 17612—1998

由换向器系统引起的系统不确定度 $(e_s)_p$ 的典型值为 $\pm 0.025$  s。

密度测量方面的系统不确定 $(e_s)_d$ 的典型值为 $\pm 0.01\%$ ，本例中相当于 $\pm 0.1$  kg/m<sup>3</sup>。

## 6.3.2.2 随机误差

如图5所示曲线的置信限，其典型值为 $\pm 0.05\%$ ，因而两次称重差异产生的随机不确定度 $(e_R)_b$ 为 $\pm 0.07\%$ 。由衡器引起的随机不确定度在本例中相当于 $\pm 14$  kg的不确定度。

由换向器系统引起的随机不确定度 $(e_R)_p$ 的典型值为 $\pm 0.01$  s，由评估密度引起的随机不确定度 $(e_R)_d$ 的典型值为 $\pm 0.01\%$ ，这里相当于 $\pm 0.1$  kg/m<sup>3</sup>。

## 6.3.2.3 流量测量不确定度的计算

流量测量的百分率系统不确定度 $E_S$ 如下式所示：

$$E_S = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{(e_S)_b}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_S)_t}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_S)_t}{t}\right]^2 + \left[\frac{(e_S)_p}{t}\right]^2 + \left[\frac{(e_S)_d}{\rho}\right]^2} \%$$

因此

$$\begin{aligned} E_S &= \pm 100 \sqrt{\left[\frac{10}{20\,000}\right]^2 + \left[\frac{1}{20\,000}\right]^2 + \left[\frac{0.001}{40}\right]^2 + \left[\frac{0.025}{40}\right]^2 + \left[\frac{0.1}{1\,000.34}\right]^2} \% \\ &= \pm 100 \sqrt{0.654 \times 10^{-6}} \% \\ &= \pm 0.08\% \end{aligned}$$

流量测量的百分率随机不确定度 $(E_R)_{95}$ 如下式所示：

$$(E_R)_{95} = \pm 100 \sqrt{\left[\frac{(e_R)_b}{m}\right]^2 + \left[\frac{(e_R)_p}{t}\right]^2 + \left[\frac{(e_R)_d}{\rho}\right]^2} \%$$

因此，

$$\begin{aligned} (E_R)_{95} &= \pm 100 \sqrt{\left[\frac{14}{20\,000}\right]^2 + \left[\frac{0.01}{40}\right]^2 + \left[\frac{0.1}{1\,000.34}\right]^2} \% \\ &= \pm 100 \sqrt{0.562 \times 10^{-6}} \% \\ &= \pm 0.075\% \end{aligned}$$

于是流量测量结果可以表示为：

$$\begin{aligned} \text{流量} &= 1.001\,06 \frac{m_i - m_o}{\rho t} = 0.500\,4 \text{ m}^3/\text{s} \\ (E_R)_{95} &= \pm 0.075\% \\ E_S &= \pm 0.08\% \end{aligned}$$

上述就是按照 ISO 5168 计算的不确定度。

应该指出前面对某些不确定度已作了说明是可以忽略的，但这里为了说明计算方法仍包括了这些不确定度。

附录 A

(标准的附录)

关于注水时间测量的修正

经验表明,对一个设计完好的系统,相对于换向器一个启停周期,由于计时器的通断所引起的误差可以在 0~25 ms 之间。该误差与流量、换向器顶部在每个方向上横向越过液流的速度,以及从喷嘴狭缝排出液流的计时启动器的正确位置有关。这个误差不可忽略,而应该用下列条款中所述程序的实验方法来估计。

A1 静态称重法

A1.1 方法 1

当流量控制阀处于某一位置的流量已稳定时,就可进行标准试验以测定流量。然后在不重调计时器或标尺的情况下,用一系列短暂流或短时脉冲流(可以多到 25 个短时脉冲流)切入称重容器中,根据累计质量和累计时间确定出流量。为完成这个运行试验,再在稳定流动情况下,进行第二次标准试验的流量测定,求出两次标准测定的平均值。然后把所得结果与累计的流量测定值相比较。

若  $n$  次短时脉冲流所累计的质量近似等于标准运行试验所累计的质量,则对于一个换向周期来说由于计时器控制所造成的平均计时误差  $\Delta t$ ,可近似地用下式表示:

$$\Delta t = \frac{t}{n-1} \left[ \frac{q}{q'} \times \frac{\sum_1^n \Delta m_i / \sum_1^n t_i}{(m_1 - m_0)/t} - 1 \right]$$

式中:  $(m_1 - m_0)/t$ ——由标准程序所测定的流量;

$\sum_1^n \Delta m_i / \sum_1^n t_i$ ——由  $n$  次短时流的累计质量和累计时间所测定的流量;

$q$  和  $q'$ ——分别表示在标准运行期间和在  $n$  次短时脉冲流期间通过装在流量回路中的流量计测得的流量。修正项  $q/q'$  是考虑到两种测量方法之间可能存在的流量变化。

在较宽的流量范围内重复上述程序后,对任何进一步的测量,就有可能利用上述所确定的  $\Delta t$  来修正所测得的注水时间。

A1.2 方法 2

也可用下述调整换向计时启动器的另一种方法。

首先,在装有一台高品质流量计的水力回路中,通过调节流量控制阀把流量设定在接近系统的最大流量,并在该流量下运行若干个小时,在此期间,采用不同的换向时间接连进行多次的流量测量。建议各个换向时间取:“标准”时间和“标准”时间的 20%、10% 和 5%。以“标准”时间的 5% 试验时,试验次数取最大值;而以“标准”时间试验时,则试验次数取最小值。每次试验时,应尽可能精确地读取流量计上的平均读数。

所得的结果应符合下列方程,式中  $\Delta t$  是换向器系统的计时误差。

$$\Delta t \left( \frac{1}{t_{q_i}} - \frac{1}{t_{q_n}} \right) = \frac{(q_i - q_n) - (\bar{q}_n - \bar{q}_m)}{q_n}$$

式中:  $t_{q_i}$ ——特定“短暂”试验的换向时间;

$t_{q_n}$ ——以“标准”时间试验的换向时间,该试验应安排在试验程序中最接近于白天的时间;

$q_i$ ——按特定换向时间  $t_{q_i}$  计算所得的流量;

$q_n$ ——按“标准”换向时间计算所得的流量;

$\bar{q}_n$ ——在时间  $t_{q_i}$  期间流量计的平均读数;

$\bar{q}_m$ ——在时间  $t_{q_m}$  期间流量计的平均读数。

应画出从方程式右边所得值对应  $(\frac{1}{t_{q_1}} - \frac{1}{t_{q_n}})$  的关系曲线,如图 A1 所示。各个点应连成一根通过原点的直线,其斜率就等于  $\Delta t$ 。

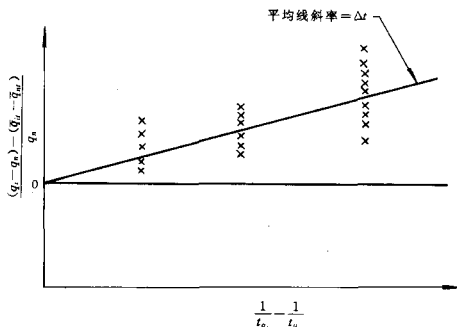


图 A1 A1.2 中所述换向计时启动器试验结果的标绘图

如果所得的  $\Delta t$  值较大,则应通过调整换向计时启动器把误差减到如重复试验所示的最小值。

以几个较小流量重复该程序,以检查所获得的  $\Delta t$  值是否与流量的关系很大。如果所获得的  $\Delta t$  变化较大,则须改进换向器的动作或在换向时间内引入一个可变的修正时间  $\Delta t$ 。

## A2 动态称重法

本程序涉及刚好在计时器启动和停止动作之前的衡器秤杆的动作。

在动态称重周期中发生四个重要的动态现象,即是:

- 在最初与最终的称重点之间注入液体冲击力的变化;
- 由于容器中液位升高所形成的注水液柱,使容器收集到额外的液体量;
- 容器中液体波动所引起的力;
- 衡器和称重容器内液体的惯性变化,其结果是使平衡秤杆加速到计时器启动点所需的时间发生变化。

总的说来,冲击力的减小值与被收集液体的附加重量大小相等而方向相反,因此这两个影响相互抵消。

称重容器内液体振荡可能对这种方法的精确度产生严重影响。在 3.3 中所述的几种方法能够减小但不能完全消除这种不希望的现象,在较大流量时这种现象最为明显。

如果对被测量时间中的误差  $\Delta t$  没有作说明,则在最初与最终称重点之间的惯性变化可能对指示流量的影响大到 0.5%,则这个误差近似为<sup>1)</sup>:

$$\frac{\Delta t}{t} = \left[ \frac{6L_a}{g} \right]^{1/2} \left[ \frac{\Delta m}{t} \right]^{3/2} \frac{(M_1 + \Delta m)^{1/2} - M_1^{1/2}}{\Delta m}$$

式中:  $L_a$ ——长度为  $L$  的平衡秤杆末端由静止点到计时点偏转一个  $\alpha$  角度所移动的距离;

$M_1$ ——通常指的是称重容器和容器中的最初液体质量。根据所使用的衡器,  $M_1$  中还可能包括其他的质量。

在这种情况下,经修正的液体收集时间为  $(t - \Delta t)$ 。

1) SHAFER, M. R 和 RUEGG, F. W. “液体流量计的标定技术”。Trans. ASME, Vol. 180, No. 7, Oct. 1958.

## GB/T 17612—1998

在常规的称重应用中采用限制偏转角度的办法能减小误差  $\Delta r$ 。除此之外,可通过把静态称重试验与使用动态称重技术的试验作比较来确定  $\Delta r$ ,于是可用所得结果来验证上述方程式的适用性和估计其中的常数。在较小的动态称重系统中,实际上其惯性影响可用替代称重技术予以消除。

**附录 B**  
(标准的附录)  
**纯水的密度**

温度 ℃	密度 kg/m <sup>3</sup>
0	999.84
2	999.94
4	999.97
6	999.94
8	999.85
10	999.70
12	999.50
14	999.24
16	998.94
18	998.60
20	998.20
22	997.77
24	997.30
26	996.78
28	996.23
30	995.65
32	995.03
34	994.37

**附录 C**  
(标准的附录)

**误差分析中所用术语的定义和误差分析的程序**

**C1 误差的定义**

估计一个量的误差是该量估计值与真值之间的差。

没有一个物理量的测量是不包含不确定度的。不确定度或者是由系统误差引起的,或者是由测量结果的随机分散性所引起的。系统误差不可能采用重复测量的办法来减小,因为系统误差是由测量装置的特性、安装和流动特性所造成的。而随机误差可以采用反复测量的方法予以减小,因为  $n$  次独立测量平均值的随机误差比单次测量的随机误差要小  $\sqrt{n}$  倍。

## C2 不确定度的定义

可以期望一个被测量值的真值以适当高的概率处于某个范围内,这个范围就被称为测量的不确定度,对于本标准来说,使用概率的置信水平为95%。

## C3 标准偏差的定义<sup>1)</sup>

如果一个变量  $X$  测量了多次,而每次测量与其他因素都无关,则  $n$  次测量  $X_i$  分布的标准偏差  $s_x$  为:

$$s_x = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (C1)$$

式中:  $\bar{X}$ ——变量  $X$  的  $n$  次测量的算术平均值;

$X_i$ ——变量  $X$  第  $i$  次测量所得的值;

$n$ ——变量  $X$  测量的总次数。

为简便起见,  $s_x$  通常被称为变量  $X$  的标准偏差。

## C4 不确定度的估计

### C4.1 随机误差

若已知真正的标准偏差为  $\sigma_x$ ,则测量值在  $\pm 1.96\sigma_x$  范围内的数目预计占总数的95%,即在  $\bar{X} \pm 1.96\sigma_x$  范围中,不包含真值  $X$  的概率是5%,这  $\pm 1.96\sigma_x$  就是测量的不确定度。

而实际上能得到的仅是标准偏差的估计值,因为要精确地确定标准偏差需要无限次的测量,因此置信限只能以该估计值为基础。对小的样本,应该采用“ $t$  分布”来确定95%置信水平的不确定度,见附录D(标准的附录)中的说明。

### C4.2 系统误差

为得出与系统误差有关的不确定度,所遵循的程序取决于误差本身已有的数据。

a) 若已知误差为单一值,则应在测量结果中加上(或减去)这个误差值,而由该误差源所引起的测量不确定度就取为零。

b) 若误差的符号已知,但其大小还需主观估计时,测量结果就应该加上平均估计误差(需考虑符号),然后不确定度取估计误差所处范围的一半,图C1对此作了说明。图中测量值以  $M$  表示,系统误差估计位于  $\delta t_1$  和  $\delta t_2$  之间[即平均估计误差为  $\frac{1}{2}(\delta t_1 + \delta t_2)$ ]。则其测量结果  $R$  为:

$$R = M + \frac{\delta t_1 + \delta t_2}{2}$$

而不确定度为  $\pm \frac{\delta t_1 - \delta t_2}{2}$ 。

1) 这里定义的标准偏差,在统计学上更精确地称为“标准偏差的估计值”。

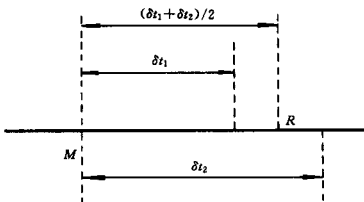


图 C1 考虑平均估计误差的修正说明

把平均估计误差看作等于估计的最大值和最小值的平均值,无疑地假定系统误差是不对称的。

c) 当能够用实验方法估计系统不确定度的大小时,则该不确定度应该用 C4.1 中对随机误差所叙述的方法进行计算,被测量值按上述方法修正。这种情况会在标定和调整衡器时产生。任何读数都有一个系统误差,但各个读数将以随机的形式分布在真值附近,在把综合不确定度应用至衡器的测量结果时,这一随机不确定度能用来作为被测值的设定界限。

d) 若误差的符号未知而其大小又要靠主观估计时,则取平均估计误差为零,而不确定度仍应取为误差估计范围的一半,这在图 C2 中加以说明,图中符号同前。此时,  $[\delta t_1] = [\delta t_2]$ , 所以不确定度为  $\pm \delta t$ 。

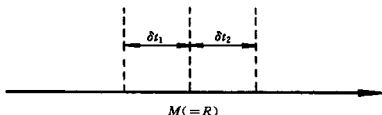


图 C2 不确定度 =  $\pm \delta t$

C5 误差的传播

若已知用于计算流量的各独立变量分别为  $X_1, X_2, \dots, X_s$ , 则流量  $q$  可以表达为这些变量的某一个函数:

$$q = f(X_1, X_2, \dots, X_s) \dots\dots\dots (C2)$$

设变量  $X_1, X_2, \dots, X_s$  的不确定度分别为  $e_1, e_2, \dots, e_s$ , 则流量的不确定度  $e_q$  定义为:

$$e_q = \left[ \left( \frac{\partial q}{\partial X_1} e_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial X_2} e_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial q}{\partial X_s} e_s \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (C3)$$

式中:  $\frac{\partial q}{\partial X_1}, \frac{\partial q}{\partial X_2}, \dots, \frac{\partial q}{\partial X_s}$  为偏导数(见 ISO 5168)。

用百分率表示的不确定度  $E_q$  由下式给出:

$$E_q = 100 \frac{e_q}{q} \%$$

附录 D  
(标准的附录)  
学生氏  $t$  分布

按下所述可求出 95% 置信水平的不确定度:

- 1)  $n$  是测量次数, 取  $(n-1)$  为自由度  $\nu$ ;
- 2) 根据自由度  $(n-1)$  从下表查得  $t$  值;

## GB/T 17612—1998

- 3) 计算测量值  $X$  分布的标准偏差  $s_x$ ;
- 4) 任一读数在置信水平为 95% 时的期望值范围为  $\bar{X} \pm t s_x$ ;
- 5) 真正平均值在置信水平为 95% 时的期望值范围为  $\bar{X} \pm \frac{t s_x}{\sqrt{n}}$ 。

学生氏  $t$  值表

自由度数 $\nu = n - 1$	$t$ 值 置信水平为 95%
1	12.706
2	4.303
3	3.182
4	2.776
5	2.571
6	2.447
7	2.365
10	2.228
15	2.131
20	2.086
30	2.042
60	2.000
$\infty$	1.960

## 附录 E

(提示的附录)

## 引用标准译文文献

- ISO 5168:1978 流体流量的测量——流量测量不确定度的估计  
《国际标准化组织 ISO/TC30 国际标准译文集》，上海工业自动化仪表研究所编译，1984
- OIML No. 1:1976 1 克至 10 千克圆柱形砝码  
《国际法制计量组织 OIML 国际建议译文集(1)》，计量出版社，1985.12
- OIML No. 2:1977 5 千克至 50 千克矩形砝码  
《国际法制计量组织 OIML 国际建议译文集(1)》，计量出版社，1985.12
- OIML No. 3:1976 非自动衡器计量规程  
《国际法制计量组织 OIML 国际建议译文集(1)》，计量出版社，1985.12
- OIML No. 20:1975 50 千克至 1 毫克  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $M_1$  准确度级砝码  
《国际法制计量组织 OIML 国际建议译文集(1)》，计量出版社，1985.12
- OIML No. 28:1980 非自动衡器技术规程  
《国际法制计量组织 OIML 国际建议译文集(1)》，计量出版社，1985.12
- OIML No. 33:1973 空气中称重结果的约定值  
《国际法制计量组织 OIML 国际建议译文集(1)》，计量出版社，1985.12