

流量测量系统的现场校验

文/纪纲 纪波峰 上海同欣自动化仪表有限公司

引言

流量测量系统的校验，通常是将被校表的流量测量结果与标准作比较。流量计在出厂之前，制造厂要做出厂校验。即将流量计放在流量标准装置上校验。对于贸易交接计量的流量计，在投入使用之前，还要送政府授权的计量机构作检定，按照计量检定规程，将被检表与流量标准作比较。而仪表安装到使用现场后，则将被校表与移动式标准器、基地式标准器或简易的标准器作比较。在三种不同的环境中作校验，所依据的规程是相同的，所以操作方法相似。但在现场校验，大多达不到检定规程所规定的参比条件，因此需要因陋就简，因地制宜。

流量测量系统零点的校验

在使用现场对流量测量系统的零点进行校验，同在实验室中进行校验方法没有什么不同，都是使流过流量计的流量为零，然后读取流量表的示值。只是使用现场条件没有实验室那么理想，有较多不利因素。

经验丰富的工程监理人员或验收人员，在流量计启用前对其检查验收时，都要检查一下流量计的零点示值，因为此项校验最容易实施，也最为重要。

在校验时流量计既不能无中生有，也不能指向负值。校零时需注意如下各点：

■ **保证流过流量计的流体流量确实为零**

这是流量计校零的基础。现场使用一段时间的切断阀关闭后，能做到无内泄者不是很多。所以校对零点时，需

确认这一点，才能避免弄巧成拙。

■ **在流量计测量通道中必须充满被测介质**

这一点对于电磁流量计尤为重要。因为大多数电磁流量计在空管时都会指向满度值。这是由于测量管空管时，电极之间开路，使示值超过满度。

■ **小信号切除问题**

对于以模拟信号输出的流量计，由于模拟电路难免有些漂移，导致零点出现微小的偏移。通常用小信号切除的方法予以解决，这一方法也有缺点，因为切除点以下的小流量信号也一起被切除了，所以切除点不能定得太高。在流量仪表普遍实现可编程后，切除点可根据需要任意设定。为解决这一困难提供了有效的手段。但应注意，有些变送器（例如差压变送器）由于安装位置有一定的倾斜，或因承受机械应力，导致零点漂移，不能用小信号切除的方法解决，只能用零点校准的方法解决。

涡街流量计测量液体，管中充满着液体，包围在传感器周围，具有良好的阻尼。若测量管中充的是气体，由于气体的密度和粘度均比液体小得多，阻尼特性较差，管道或厂房的振动，甚至周围空气较强烈的振动，都会导致仪表示值的“无中生有”。

■ **振动对涡街流量计零点的影响**

涡街流量计在测量管充满被测介质时，如果零点示值偏高，也即存在“无中生有”的现象，一般都可通过噪声平衡（NB）调整和触发电平调整（TLA）使输出回零^[2]。但若安装现场振动较严重，往往无法用仪表调整的方法解决问题，因为将触发电平调得太高，或将放大器增益（GAIN）调得太小，必将导致可测最小流量值的提高，

甚至在流量较大时涡街所产生的信号仍低于触发门限值而被当作噪声予以滤除。这时就得另想办法，例如减小振动，换上耐振性更佳的仪表等。

■ **涡街流量计在零流量时易引入干扰**

涡街流量计校零时，容易接受外界干扰的主要原因，是因为其传感器前置放大器的变增益特性。以压电传感器为例^[3]，由于传感器的输出幅值，同流过测量管的流体流速的平方成正比，流速越高，传感器的输出幅值越大；反之，输出幅值就小。微弱的信号送入涡街流量计的前置放大器，该放大器为了将幅值悬殊的频率信号，放大到幅值近似相等的信号，采用了变增益放大器，即流速高时输入频率高，增益小，流速低时输入频率低，增益大，当然，输入频率为零时，增益最大，这时，各种干扰也一视同仁被放大了很多倍数，而高于触发器的门限值，最终被当作信号送到输出端。

流量测量系统的示值校验

流量测量系统的零点示值校验，实施起来较容易，因为使流过流量计的流量为零，比较容易实现。零点之外其他点示值的校验，难度较高。

在仪表使用现场对流量测量系统进行校验，常用的方法有静态容积法，静态质量法，标准表法，PVTt法等。

■ **校验前的准备工作**

要对流量测量系统示值进行现场校验，需具备必要的条件，如图1所示，要预留校验口和切断阀，是在仪表安装时就已设置的。如果只设置出料校验口，则只能用流量计实际被测流体校验；如果既装设了出料校验口又装设了

进料校验口，就也可用其他合适的流体校验。

用静态容积法进行校验

■ 以标准容器为标准的校验

用容积法对被校表进行校验，其管道连接就如图1所示。适用于液体流量校验，流量校验点一般取被校流量计常用流量，可在不影响生产操作的情况下实施校验。标准容器的容量不应小于一分钟的输送量。

流量计的误差按下式计算^[4]：

$$E = \frac{Q_v - V}{V} \times 100\% \tag{1}$$

式中：

E —— 流量计误差（一般指累积误差）取二位有效值；

Q_v —— 流量计所计容积总量， m^3 ；

V —— 经修正后，流量标准装置测得容积， m^3 。

■ 以水池为标准器的校验

Vt法属于静态容积法，在仪表使用现场应用这一方法对流量计进行校验，需要有一台标准容器，当流量值很大时，往往找不到合适的标准容器，这时，可利用形状规则的水池、水箱、油箱等设备作代用标准容器。

这种方法的典型应用，是自来水厂用开口水池对用于自来水计量的大口径电磁流量计进行校验。首先要确定水池水位与容积V的关系，然后是经被校流量计向水池注水（或从水池抽水），再后根据水位的变化计算出容积的增量和流量计测出的进水（或出水）总量 Q_v ，最后按式（2）计算误差E。

$$E_i = \frac{\Delta Q_v - \Delta V}{\Delta V} \tag{2}$$

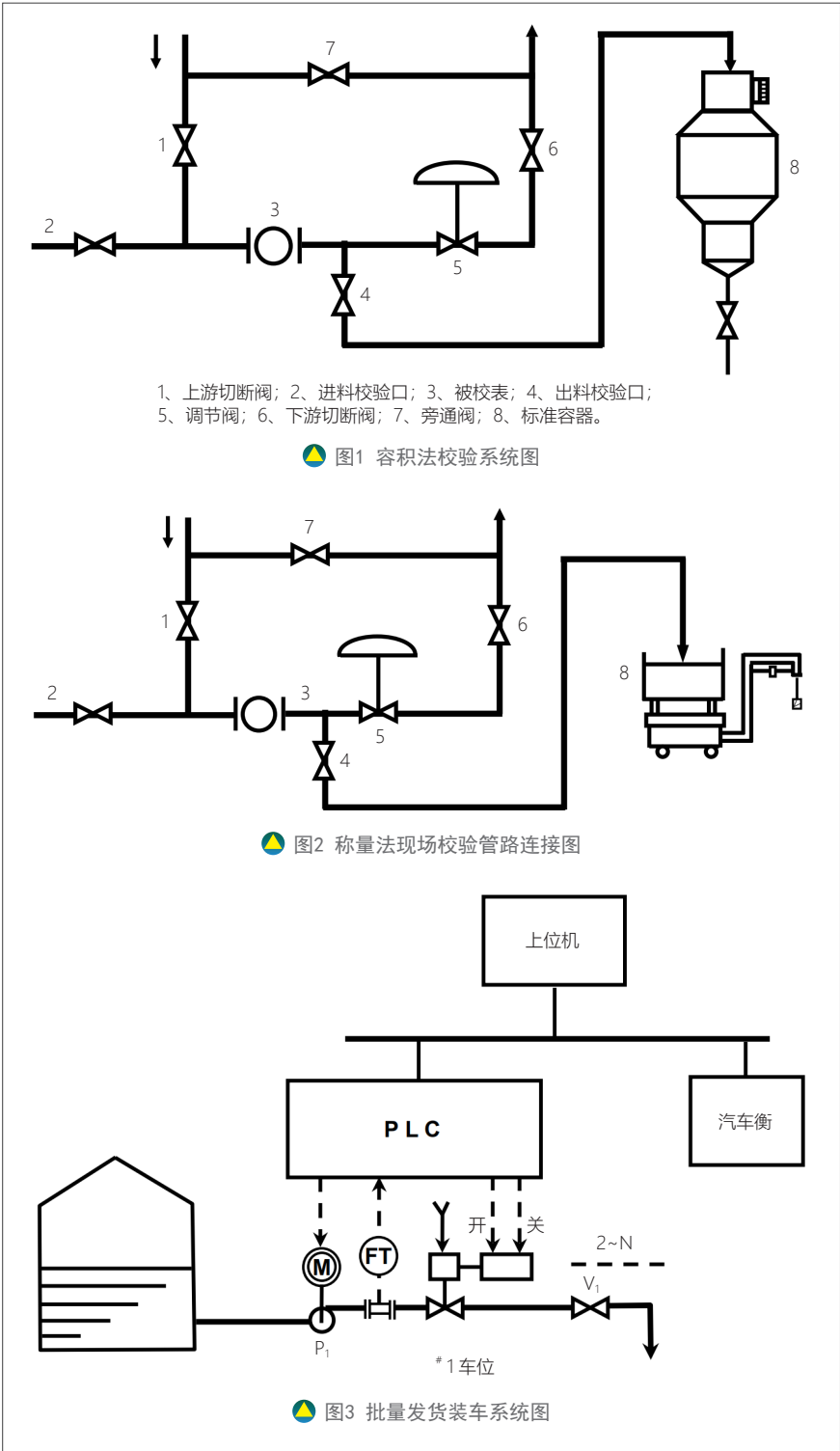
式中：

E_i —— 仪表在校验点i处的示值误差，%；

ΔQ_i —— 仪表所计总量增量， m^3 ；

ΔV_i —— 实际容积增量， m^3 。

如果要得到流量计在其他瞬时流量条件下的误差，只需在注水（或抽水）时，将瞬时流量调节到预定值。



用这个方法校验时，水池上方的风速不能高，否则会增大不确定因素。

用静态质量法进行校验

■ 以电子秤作标准的校验

用容积法进行校验，需要有标准容器，但很多单位没有这种设备，而台秤或电子秤容易找到，这时，则可用质

量法进行校验，如图2所示。

■ 批量发货中的流量计校验

这一方法典型的应用是液体的批量装车发货系统。在图3所示的系统中，PLC担任定量发货任务，电子汽车衡担任槽车称重任务，而上位机担任协调任务。前来货场提货的槽车，先在汽车衡上称出空车质量 m_2 ，然后进

入指定车位经鹤管灌装，灌装量由流量计计量，当预定发货量 m_s 到达时，由PLC发出指令关闭阀门，计出灌装量 Q_m ，然后，槽车开上汽车衡称重车质量 m_1 ，则实发数量为：

$$m = m_1 - m_2 \quad (3)$$

式中：

m —— 实发质量，t；

m_1 —— 重车质量，t；

m_2 —— 空车质量，t。

上位机根据流量仪表所计的名义发货总量 Q_m 与实发质量之差，计算仪表误差，

$$E = \frac{Q_m - m}{m} \quad (4)$$

式中：

E —— 仪表示值误差，%；

Q_m —— 仪表所计名义发货总量，

t；

m —— 实发总量，t。

图3中的上位机，协调称重和控制的各项动作，并编制每一个车位每一批发货报表。报表内容除了品名、日期、时间、提货车号、车位号、产品号之外，还有预定发货量 m_s 、空车质量 m_2 、重车质量 m_1 、实发质量 m 、仪表所计名义发货总量 Q_m 和仪表示值误差 E 等。

仪表维修人员根据一段时间内的误差 E ，进行分析判断，如果已经超过允许范围，就可对仪表流量系数 K 进行微调。

其实，按式（4）计算得到的误差 E ，只是在常用瞬时流量条件下，流量计的示值平均误差，但是如果它很小，而且在多批操作中也很稳定，工艺操作人员已经很满意了。

■ 用Mt法校验气体流量计的例子

气体生产厂将各种气体产品用钢瓶集装格送到用户端，经气体流量计注入储气罐，总是要用Mt法核对送气量。在卸载之前，在汽车衡上称出整车质量 m_1 ，卸载之后再称出整车质量 m_2 ，则两次称重结果之差，就为交货数量，也应当就是流量计所计的总量。即：

$$m = m_1 - m_2 \quad (5)$$



图4 钢瓶集装格外形

式中：

m —— 交付气体质量，kg；

m_1 —— 卸载前质量，kg；

m_2 —— 卸载后质量，kg。

读出校验器件被较表的质量流量增量 ΔQ_m ，就可以 m 为标准，计算被校表误差。

用标准表法进行校验

■ 用标准表法进行校验

上面所述的两种方法具体实施时，最重要的是注意安全，包括人生安全和生产流程的安全。两种方法都不适用于高温高压流体、易燃易爆流体、强腐蚀流体以及有毒有害流体。至于生产流程的安全，主要是校验时不要影响生产的正常进行，不要对产品产量、质量以及环境造成影响。用夹装式超声流量计进行现场校验，在安全方面具有独特的优点。因为超声探头被夹装在管道外面，对管道内流体的流动毫无影响，因此对生产安全和人身安全无直接影响。

用超声流量计对流量计进行现场校验，从方法来分类仍属标准表法，但是超声流量计的实际准确度多半达不到规程要求，例如单声道时差法超

声流量计，流速精确度为读数值的0.5%~1%，再计入流通截面求取的误差、传感器安装距离误差等，系统误差更大，所以也只能称为比对或验证。

■ 用基地式标准器进行现场实流校准

在计量学意义上，在线实流校准最符合准确性、一致性、溯源性和实验性等计量特点。

流量仪表的现场校准（Insite Calibration）通常在其校准条件（即流体物性、操作条件、安装条件、环境条件）与实际使用条件充分一致的前提下进行。此方法已在油品、天然气的贸易交接计量中普遍应用。

大型油库或油码头的储运交接常有多台容积式流量计或科氏力质量流量计，用一套体积管标准装置和相应的切换阀就可以实施流量计的在线周期校准。如图5所示。关闭图中的 V_{12} ，打开 V_{11} 、 V_{13} ，就可对流量计 M_1 进行校准^[5]_[6]。

■ 用移动式标准器进行现场实流校准

图6所示是天然气门站计量和移动式校准系统例。正常输气时经阀门切

换，按输气量大小切入一台、两台或三台流量计。怀疑某台流量计不准时，可以切换阀门，实现现场互校。检定周期到后，可请检定机构上门，用移动式标准装置进行实流检定^[7]。

应用PVTt法校验气体流量计

工作原理：PVTt法是用来检定音速喷嘴等高精度气体流量计的标准装置。是某一时间间隔t内，气体进入容积为V的容器，根据容器内气体的绝对压力P和热力学温度T的变化，求得气体的质量流量。在仪表使用现场应用PVTt方法对流量计进行校验，往往是利用现场现成的容器，标定出其容积，然后根据容器内气体压力和温度的变化，计算质量流量总量，与被校表的总量示值作比较。

其质量流量的数学模型如式（5）所示。

$$q_m = \frac{V}{t} \left(\frac{P_F}{T_F Z_F} - \frac{P_E}{T_E Z_E} \right) \times \frac{T_N Z_N}{P_N} \rho_N \tag{5}$$

式中：

q_m —— 气体的质量流量，kg/s；
 t —— 计时器测得的时间，s；
 T_N —— 标准热力学温度， $T_N = 293.15\text{K}$ ；

p_N —— 标准绝对压力，
 $p_N = 101325\text{Pa}$ ；

Z_N —— 在标准状态（ T_N 、 p_N ）下的气体压缩系数；

ρ_N —— 在标准状态下的气体密度， kg/m^3 ；

T_F —— 检定结束后在标准容器内测得的气体平均热力学温度，K；

P_F —— 检定结束后在标准容器内测得的气体绝对压力，Pa；

Z_F —— 在 T_F 、 P_F 下的气体压缩系数： Z_F 可由 T_F 、 P_F 求得；

T_E 、 P_E 、 Z_E —— 分别为检定前标准容器内气体平均绝对温度、绝对压力、压缩系数；

其质量总量即为：

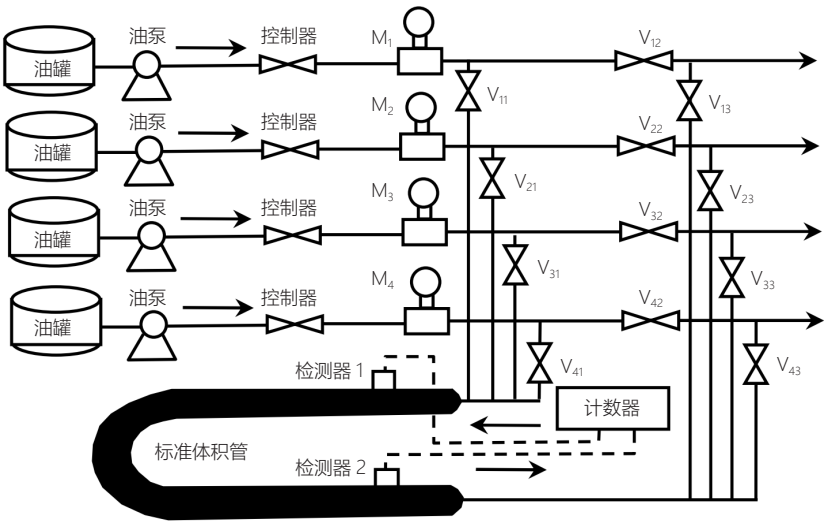


图5 标准体积管在线校准流量仪表

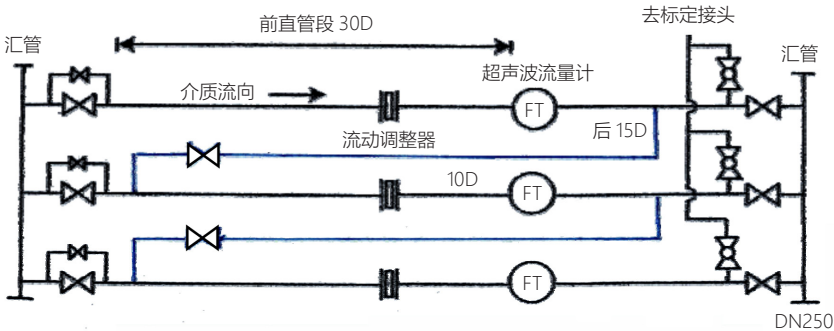
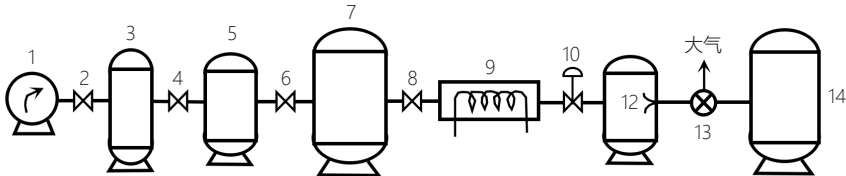


图6 典型天然气门站计量系统



1—压气机；3—过滤器；5—干燥器；7—贮存容器；9—温度调节器；10—压力调节器；11—滞止容器；12—音速喷嘴；13—换向阀；14—标准容器；2、4、6、8—阀门。

图7 高压气体流量标准装置

$$Q_m = V \times \left(\frac{P_F}{T_F Z_F} - \frac{P_E}{T_E Z_E} \right) \times \frac{T_N Z_N}{P_N} \rho_N \tag{6}$$

式中：

Q_m —— 质量总量，kg；

其余符号意义与式（5）相同。

当流量计显示的是标准状态体积流量时，计算公式即为：

$$Q_{VN} = V \times \left(\frac{P_F}{T_F N_F} - \frac{P_E}{T_E N_E} \right) \times \frac{T_N Z_N}{P_N} \tag{7}$$

式中：

Q_{VN} —— 体积总量， Nm^3 ；

其余符号意义与式（5）相同。

图8所示是一个利用现场的一台气罐校验气体流量计的例子。江苏张家港的一家化工厂，怀疑一台氢气流量计偏低，然后将一台气罐请计量检定机构上门检定，并取得证书，得知其空间容积 $V=11.8\text{m}^3$ 。

校验起始工况： $P_E = 0.1\text{MPa G}$ ；
 $t_E = 20^\circ\text{C}$ ；

校验结束工况： $P_F = 5.0\text{MPa G}$ ；

$t_F = 40^\circ\text{C}$;

查表得: $Z_N = 1.0006^{[8]}$;

查图得: $Z_E = 1.001$, $Z_F = 1.022^{[8]}$;

因为: $T_N = 293.15\text{K}$,

$P_N = 0.101325\text{MPa A}$;

代入式(7)得:

$$\begin{aligned}\Delta V_N &= 11.8 \times \left(\frac{5.0 + 0.101325}{(50 + 273.15) \times 1.022} \right. \\ &\quad \left. - \frac{0.1 + 0.101325}{(20 + 273.15) \times 1.001} \right) \\ &\quad \times \frac{293.15 \times 1.0006}{0.101325} \\ &= 504.21 \text{ Nm}^3/\text{h}\end{aligned}$$

然后就可按式(8)计算误差。

$$E_i = \frac{\Delta Q_{Ni} - \Delta V_N}{\Delta V_N} \quad (8)$$

式中:

E_i —— 仪表在校验点*i*处的示值误差, %;

ΔQ_{Ni} —— 仪表总量增量, Nm^3 ;

ΔV_N —— 实际容积增量, Nm^3 。

结束语

在仪表使用现场,对流量测量系统进行校验,必须预留管口。用移动式

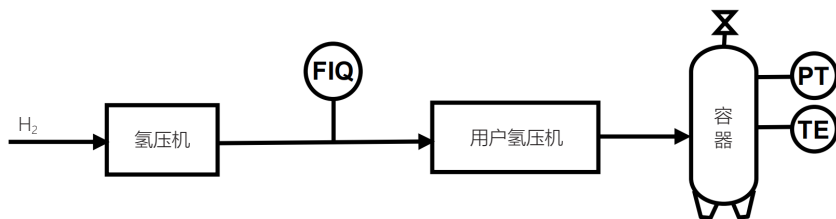


图8 氢气输送系统

标准器或基地式标准器实施校验。

有时候怀疑在用流量计示值超差,也用简易标准器甚至便携式超声流量计实施校验或称为比对。这时,标准器准确度可能不够高,但校验一下也是有益的。IWM

本文参与有奖征文评选

欢迎您对本文发表评论,也希望您能参加本刊有奖征文评选活动,期待您的来稿!

评论和投稿请发送至:

iwm@jixunmedia.com

参考文献

- [1] 纪纲. 流量测量仪表应用技巧. 第二版. 北京: 化工工业出版社, 2009.
- [2] 姜仲霞, 姜川涛, 刘桂芳. 涡街流量计. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [3] 张学巍. 涡街流量计输入电路的设计. 自动化仪表, 1998, 7(6).
- [4] JJG 235-90 椭圆齿轮流量计检定规程.
- [5] 蔡武昌. 流量仪表的现场校准和验证. 第六届工业仪表与自动化学术会议论文集. 上海: 2005.
- [6] 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [7] 潘丕武, 张明. 天然气计量技术基础. 北京: 石油工业出版社, 2013.
- [8] 王森, 纪纲. 仪表常用数据手册. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 20.