

# 间接法蒸汽质量流量测量中的几个问题

钱川根 (上海石化股份有限公司化工研究所, 上海 200540)

纪 纲 (上海宝科自动化仪表研究所, 上海 200940)

**摘 要** 间接法蒸汽质量流量计, 因较经济而且能满足各种工况而得到广泛应用。但流体密度的求取方法, 温度压力补偿方式, 温度压力测量口位置以及实施中的其他问题必须合理处理, 才能获得满意的准确度。

**关键词** 间接法 质量流量 蒸汽密度 温压补偿 液柱影响

## 1 引言

现在已经实现商品化并已投入工业应用的流量计虽有好几十种, 但是能用来测量蒸汽质量流量的流量计, 种类并不多。如果按工作原理细分, 可分为直接式质量流量计和推导式 (也称间接式) 质量流量计两大类。前者直接检测与质量流量成函数关系的变量求得质量流量; 后者用体积流量计和其他变量测量仪表, 或两种不同测量原理流量计组合成的仪表, 经计算求得质量流量。

近二十年来发展起来的科利奥里质量流量计是直接式质量流量计中的佼佼者, 具有精度高, 仪表数量少等优点, 其中的一些品种也可用来测量蒸汽质量流量, 但在实际应用中, 并不多见, 这主要是因为科利奥里质量流量计用来测量蒸汽质量流量, 有其客观的局限性, 使其在蒸汽质量流量测量中的推广应用受到限制。例如:

- a. 科利奥里质量流量计价格高。
- b. 对于高温、高压、大管径的蒸汽流量测量对象, 科利奥里质量流量计目前还有困难。

所以, 现在已投入运行的蒸汽质量流量计绝大多数仍为推导式。下面就以蒸汽流量测量中普遍使用的两种推导式质量流量计——差压流量和旋涡流量计为主, 对具体实施中必定要碰到的几个问题作较详细的讨论。

## 2 用差压式流量计测量蒸汽质量流量

差压式流量计的一般表达式为<sup>[1]</sup>

$$q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \varepsilon_1 \cdot d^2 \sqrt{2\Delta p \cdot \rho_1} \quad (1)$$

式中:  $q_m$  - 质量流量,  $\text{kg/s}$ ;

$c$  - 流出系数;

$\beta$  - 直径比,  $\beta = d/D$ ;

$\varepsilon_1$  - 正端取压口平面上的可膨胀性系数;

$d$  - 工作条件下节流件的开孔直径,  $\text{m}$ ;

$\Delta p$  - 差压,  $\text{Pa}$ ;

$\rho_1$  - 正端取压口平面上的流体密度,  $\text{kg/m}^3$ 。

在式(1)中,  $c$  和  $d$  为常数,  $\varepsilon_1$  和  $\rho_1$  在一定的流量范围之内也可看做常数, 因此式(1)可简化为

$$q_m = k \sqrt{\rho_1} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (2)$$

从式(2)可清楚看出, 仪表示值同  $\rho_1$  密切相关。而蒸汽工况 (温度  $t$ , 压力  $p$ ) 的变化, 必然使  $\rho_1$  产生相

应的变化。因此，差压式流量计必须与用以求取蒸汽密度的工况测量仪表配合，并同计算部分一起组成推导式质量流量计，才能保证测量精度。

在实际应用系统中，常用测量点附近的流体温度、压力，经计算后求得相应的密度，再经演算求得瞬时质量流量。通常称作温度、压力补偿。由于水蒸气的性质和特点，在过热状态和饱和状态时可有不同的补偿方法。

### 2.1 过热蒸汽质量流量测量

当流体为过热蒸汽时， $\rho_1$ 取决于流体压力  $p_1$  和流体温度  $t_1$ 。图 1 所示为测量系统图。

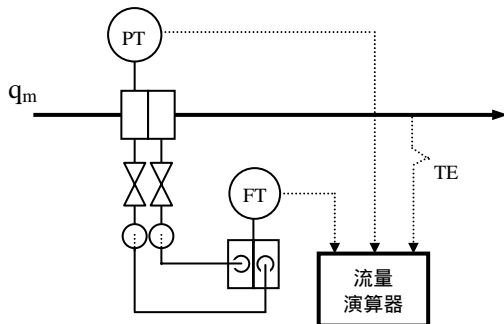


图 1 差压式流量计测量过热蒸汽质量流量系统图

### 2.2. 饱和蒸汽质量流量测量

饱和蒸汽的压力和温度是密切相关的，临界饱和状态的蒸汽从其压力查得的密度同从其温度查得的密度是相等的，所以推导式质量流量计测量其流量时，既可采用压力补偿也可采用温度补偿。采用压力补偿时，是利用  $\rho_1 = f(p_1)$  的关系获得  $\rho_1$ ；采用温度补偿时，是利用  $\rho_1 = f(t_1)$  的关系获得  $\rho_1$ 。

图 2 (a)所示为压力补偿法，图 2 (b)所示为温度补偿法。

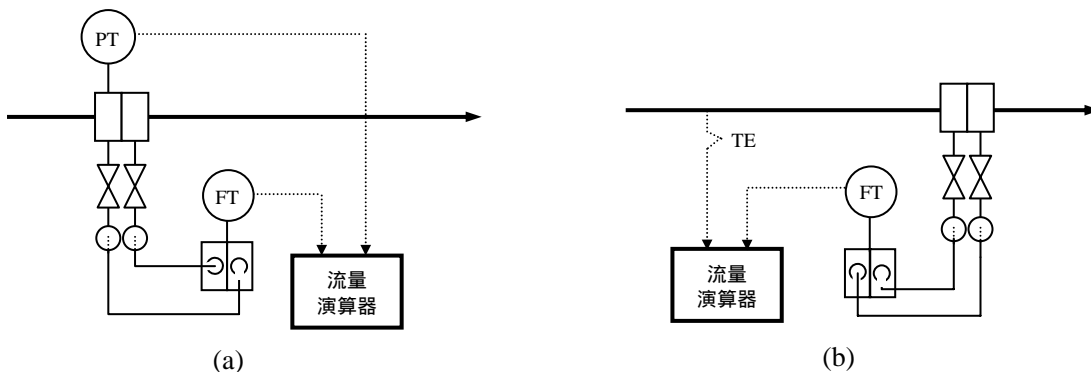


图 2 差压式流量计测量饱和蒸汽质量流量系统图

## 3 用旋涡流量计测量蒸汽质量流量

旋涡流量计说到底还是体积流量计，即流体雷诺数在一定范围内，其输出只与体积流量成正比。

旋涡流量计的输出有频率信号和模拟信号两种，模拟输出是在频率输出的基础上经  $f/I$  转换得到的。这一转换大约要损失 0.1%精度。所以用来测量蒸汽流量时，用户更爱选用频率输出。

频率输出旋涡流量计更受热力公司欢迎的另外几个原因是：

a. 频率输出旋涡流量计价格略低。

b. 频率输出旋涡流量计满量程修改更方便，只需对可编程演算器面板上的按键按规定的方法进行简单的操作就可实现。

c. 由频率输出旋涡流量计输出的频率信号计算蒸汽质量流量，只需知道流体当前工况，而模拟输出旋涡流量计的温压补偿只是对当前工况偏离设计工况而引起的误差进行补偿，因此，不仅需知道当前工况，还需知道设计工况。这后一种工况数据常常因为时间推移或人事变迁引起资料遗失而引起差错，相比之下，频率输出旋涡流量计却不会有此问题。

频率输出旋涡流量计测量质量流量的表达式为

$$q_m = 3.6 \frac{f}{k_t} \cdot \rho_f \quad (3)$$

式中： $q_m$  - 质量流量，kg/h；

$f$  - 旋涡流量计输出频率，P/s；

$k_t$  - 工作状态下的流量系数，P/l；

$\rho_f$  - 流体密度，kg/m<sup>3</sup>。

当被测流体为过热蒸汽时，可从

$$f = f(\rho_f, t_f) \quad (4)$$

查表求得工作状态下的流体密度。测量系统图见图 3。

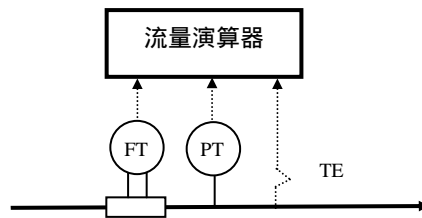


图 3 用旋涡流量计测量过热蒸汽质量流量的系统图

当被测流体为饱和蒸汽时，可从

$$f = f(p_f) \quad (5)$$

或

$$f = f(t_f) \quad (6)$$

查表求得工作状态下的流量密度，其原理同前节所述。其测量系统图见图 4。

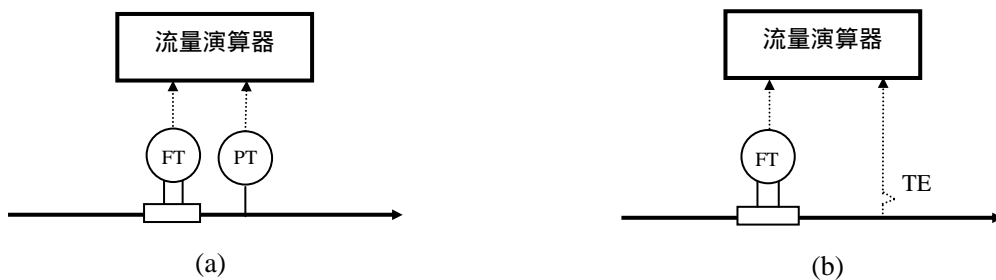


图 4 用旋涡流量计测量饱和蒸汽质量流量的系统图

在式(3)中， $\rho_f$ 应是旋涡流量计出口的流体密度，因此， $p_f$ 的测压点应取在旋涡流量计出口的规定管段上。

有些研究成果表明，临界饱和状态蒸汽经减压后会发生相变<sup>[2]</sup>，即从饱和状态变为过热状态，这时，将其仍作为饱和蒸汽从式(5)或式(6)的关系求取  $\rho_f$ ，必将引入较大误差。如果出现这种情况，应进行温度压力补偿。

## 4 蒸汽密度求取方法比较

从上面的分析可知，工程上普遍使用的推导式蒸汽质量流量测量系统，关键是求取蒸汽密度。几十年以来，许多工程师为此作了大量研究工作。归纳起来主要是采用数学模型法和查表法两类方法。

### 4.1 用数学模型求取蒸汽密度

在工程设计和计算中,工程师们经常需要取蒸汽密度数据,采用的传统方法是由蒸汽的状态数据查蒸汽密度表。但是在微处理器进入仪表之前,这种人工查表的方法还无法移植到仪表中,因此,仪表中仍采用数学模型的方法。人们建立了各种各样的数学模型以满足不同的需要,下面列举使用最广泛的几种。

a. 一次函数法

这种方法的显著特点是简单,适用于饱和蒸汽,其表达式为

$$\rho = Ap+B \tag{7}$$

式中,  $\rho$  - 蒸汽密度, kg / m<sup>3</sup> ;

$p$  - 流体绝对压力, MPa ;

A、B - 系数和常数。

其不足之处是压力在较小的范围内变化时可以使用,而压力变化范围较大时,由于误差太大,就不适用了。因为对于饱和蒸汽来说,  $\rho = f(p)$  是一根曲线,用一根直线拟合它,范围越大,当然误差越大。

b. 分段拟合法

对于压力变化范围较大的测量对象,有的研究者将压力分成若干段,每一个区间建立一个一次函数模型,从而将误差减小。但是这种模型的具体实施还得依赖于计算机,由计算机对自变量在哪一个区间作出判断并选择相应的数学模型。

c. 用指数函数拟合密度曲线

使用较多的是

$$\rho = Ap^{\frac{15}{16}} \tag{8}$$

式(8)描述的是一根曲线,用它来拟合饱和蒸汽的  $\rho = f(P)$  曲线能得到更高的精度,但是在压力变化范围较大的情况下,仍有千分之几的误差。

d. 理想气体定律

对于过热蒸汽来说,其密度是其温度和压力两个自变量的函数,因此,描述它们之间关系的函数式相对复杂些。其中最简单的也是仪表中使用最多的为理想气体定律,即

$$\rho = \frac{p_f \cdot t_d}{p_d \cdot t_f} \tag{9}$$

式中:  $\rho_f, \rho_d$  - 工作状态和设计状态蒸汽密度, kg / m<sup>3</sup> ;

$p_f, p_d$  - 工作状态和设计状态蒸汽绝对压力, MPa ;

$t_f, t_d$  - 工作状态和设计状态蒸汽绝对温度, K。

其不足之处也是误差较大,而且温度压力偏离设计值越远,误差越大。

上面所述的用数学模型求取蒸汽密度的方法,尽管人们做了很多努力,但仍存在明显的误差,有的误差值还不小,所以,在微处理器进入仪表后,人们就在寻求更加先进的方法。

## 4.2 计算机查表法

上面所说的通过数学模型求取蒸汽密度的误差都是同人工查密度表方法相比较而言。现在智能化仪表将蒸汽密度表装入其内存中,在 CPU 的控制下,模仿人工查表的方法,采用计算机查表与线性内插相结合的技术,能得到与人工查表相同的精确度。

下面以 FC 6000 型智能流量演算器为例说明自动查表的实施方法<sup>[3]</sup>。

在该仪表的 EPROM 中写入 3 个蒸汽密度表，1 号表是过热蒸汽密度表，另外两个是饱和蒸汽密度表（均从略），采用的都是国际蒸汽密度表 1976 IFC。其中，过热蒸汽密度表有蒸汽温度和蒸汽压力两个自变量。2 号表是蒸汽压力为自变量。3 号表是蒸汽温度为自变量。这样，测得蒸汽温度或测得蒸汽压力都能通过查表求得蒸汽密度。究竟是选查  $\rho = f(p)$  表格还是  $\rho = f(t)$  表格，则在填写组态菜单时由用户自己选定。

#### 4.2.1 查表的优先权问题

过热蒸汽的密度随蒸汽温度、压力变化的关系是 3 维空间中的一个曲面，有两个自变量，因此在查密度表时就存在一个优先权的问题。若先从压力查起，就称压力优先；若先从温度查起，就称温度优先。

而对于饱和蒸汽，若选压力补偿，则为压力优先；若选温度补偿，则为温度优先。

上述三种情况优先关系，由用户在填写菜单时指定，如下表所列。

表 1 优先权指定表

蒸汽温度	蒸汽压力	补偿运算优先	项目 13 l
测定值	测定值	压力	0
测定值	手动设定值	温度	1
手动设定值	测定值	压力	2
手动设定值	手动设定值	压力	3

#### 4.2.2 蒸汽状态判别问题

FC 6000 型仪表具有蒸汽状态判别功能。根据判别结果，查不同的密度表。以过热蒸汽为例，在图 5 所示的查表示意图中，从压力测定值  $P_0$  出发去查温度，如果温度测定值大于饱和温度  $t_1$ ，则判别蒸汽为“过热蒸汽”，查 1 号密度表，例如， $t = t_2$  则  $\rho = \rho_{f2}$ 。如果温度测定值小于  $t_1$ ，则判别蒸汽状态为“过饱和蒸汽”，查 2 号密度表， $\rho = \rho_{f1}$ ，此时，温度信号与压力信号不平衡，所以，仪表自诊断显示“000800”代码。

FC 6000 型仪表具有蒸汽状态判别功能。根据判别结果，查不同的密度表。以过热蒸汽为例，在图 5 所示的查表示意图中，从压力测定值  $P_0$  出发去查温度，如果温度测定值大于饱和温度  $t_1$ ，则判别蒸汽为“过热蒸汽”，查 1 号密度表，例如， $t = t_2$  则  $\rho = \rho_{f2}$ 。如果温度测定值小于  $t_1$ ，则判别蒸汽状态为“过饱和蒸汽”，查 2 号密度表， $\rho = \rho_{f1}$ ，此时，温度信号与压力信号不平衡，所以，仪表自诊断显示“000800”代码。

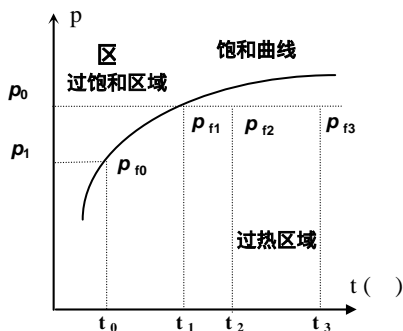


图 5 过热蒸汽密度查表示意图

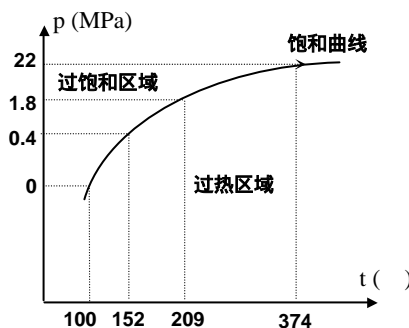


图 6 压力优先求取饱和蒸汽密度

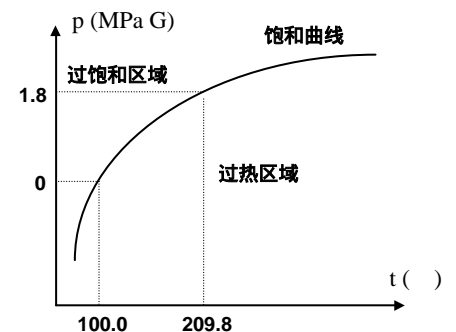


图 7 温度优先求取饱和蒸汽密度

#### 4.2.3 饱和蒸汽密度求取方法

如果优先指定栏内填入 2（压力优先），则手动设定温度置 100，从压力测定值出发查出饱和温度。因

为此时温度信号取手动设定值，所以判别蒸汽状态为“过饱和蒸汽”(如图 6 所示)，查 2 号表。

如果优先指定栏内填入 1 (温度优先)，则手动设定压力一般置 22MPa (密度表中压力上限)，从温度测定值出发查饱和压力。因为此时压力信号取手动设定值，所以判别蒸汽状态为“过饱和蒸汽”(如图 7 所示)，查 3 号表。

上面所谈的蒸汽密度求取方法，用户不一定都要搞清楚，其原因在于用户只须根据自己所用的流体参数选择合适的补偿方法，并在菜单中填入有关数据即可。但是对于饱和蒸汽究竟是采用压力补偿还是温度补偿倒是很重要的。

## 5 温度压力测口位置的合理选择

实施流体温度、压力补偿时，每个用户都要碰到的一个共同问题是温度、压力测口的位置的合理选择问题。因为蒸汽在以一定流速流过流量测量仪表时，将测压口选在不同的位置得到的测量值也不同。测温口也有类似的情况。

对于这个问题，有不少仪表人员不假思索地认为，理所当然应选在流量传感器(或节流装置)前的管道上。从流量计使用现场的实际情况来看，用于温压补偿的测温口、测压口位置虽然多种多样，但大多数是测压口在前，测温口居后。即测压口开在流量计前面的管道上，测温口开在流量计后面的管道上。至于这样做是否合理，大多数人说不清楚。

下述以目前使用最普遍的孔板流量计和旋涡流量计为例，根据有关标准和资料，就这一问题进行一些讨论。

### 5.1 孔板流量计

#### 5.1.1 标准中的要求

国家标准 GB/T 2624-93 提出的质量流量与各自变量的关系，用三个公式表述，其中一个在前面所述的式 (1)，另外两个如下：

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \rho_2 \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \sqrt{2\Delta p \times \beta^2} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{d}{D} \times \sqrt{1 + \Delta p / p_2} \quad (12)$$

式中： $\beta$  - 负端取压口平面上的可膨胀性系数；

$\rho_2$  - 负端取压口平面上的流体密度，kg/m<sup>3</sup>；

$p_2$  - 负端取压口平面上的流体压力，Pa。

假定流体为可压缩性流体，而且在  $p_1$ 、 $p_2$  差别不大的情况下，流体符合理想气体定律，这时将式 (12) 代入 (11)，就可得到式 (1)，因此，式 (11) 和式 (1) 是等价的。

关于流体的密度，GB/T 2624-93 在 4.4 条中规定，上游或下游取压口平面处的密度可直接测量，亦可根据相应平面处静压、温度等特性的资料计算出来。4.4.1 条中进一步规定“流体的静压应在上游或下游取压口平面处测得”。

该标准中的关键数据如流出系数  $C$  和可膨胀性系数  $\beta$ ，都是根据大量实验数据经处理得到的，都是统计量，因此在执行标准时，为了使节流装置不经实流标定就能保证流量测量准确度，必须依照标准的规定，重现实验条件。

至于将取压口开在节流装置前一定距离的管段上测得的压力比标准规定的方法测得的压力差多少,照理可以按伯努利方程、连续性方程和热力学过程方程<sup>[4]</sup>计算出来,但具体计算时还有一些困难,而如果在现场实测,却是不困难的。

### 5.1.2 测温问题

GB/T 2624-93 中规定,“流体温度最好在节流件下游测得”,“如温度计插孔或套管位于下游,它与节流件之间的距离应等于或大于 5D”,“如温度计插孔或套管位于上游,它与节流件之间的距离应满足表 2 (直流段长度 - 作者注)的规定”,显然,节流件上游和下游均允许设置温度计插孔,只是不能对流体的流动状态带来较大的干扰。

笔者认为,如果流体为处于过热状态的气体或蒸汽,温度计插孔最好选在节流件下游。而若流体为处于饱和状态的蒸汽,而且又是根据测温结果去查密度表  $\rho = f(t)$ ,进而进行密度补偿,为了能使查表得到的密度恰巧为  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ ,温度计插孔从原理分析应选在正端取压口平面处 [按式(1)计算  $q_m$ ] 或负端取压口平面处 [按式(11)计算  $q_m$ ]。但这又因测温套管距节流件太近而对流动状态产生太大的干扰而变得不可行。因此,用来测量饱和蒸汽的差压式流量计,通过测量流体温度求取  $\rho_1$  或  $\rho_2$ ,由于实施中的困难,具体执行时,与理想情况总是有差距,这必定会带来一定误差。

## 5.2 旋涡流量计

旋涡流量计是利用流体流过障碍物时产生的稳定的旋涡,通过测量其旋涡产生频率,得到体积流量。

实验指出,流过旋涡发生体的流体不论是液体、气体还是蒸气,只要雷诺数  $Re$  在  $2 \times 10^4 \sim 7 \times 10^6$  范围内,就能得到稳定的流量系数<sup>[5]</sup>。

实验同时指出,旋涡产生的频率,反映了旋涡发生体处的流体平均流速,此流速与流通截面积的乘积即为体积流量,要将蒸汽的这种体积流量换算成质量流量,必不可少的是测量出旋涡发生体处的流体静压力。此处的流体由于流速较高,所以静压力比旋涡流量计上游管道内的流体压力低一些。由于多种原因,要将此处的静压力准确地测量,有一定困难,但在流量计下游一定距离的管道上开口测量到的静压如果能与发生体后面传感器处的静压相等或接近,则是一个可行的方法。横河公司要求,这个合适的距离为 3.5 ~ 7.5 倍管道内径<sup>[5]</sup>。E+H 公司要求,这个合适的距离为从流量传感器下游法蓝算起 3.5 倍管道内径<sup>[6]</sup>。

### 5.2.2 用上游压力代替下游压力引入的误差估算

例如有一台 YF 108 型旋涡流量计,用来测量过热水蒸汽流量,从流量二次表可读出

- a. 上游流体压力  $p_1 = 0.9 \text{ MPa}$  (表面值)
- b. 流体温度  $t_f = 250$
- c. 瞬时流量显示值  $F = 3.0 \text{ t/h}$

从温度、压力数据查表得到流体密度为  $\rho_1 = 4.3060 \text{ kg/m}^3$ ,进一步计算得到此时体积流量为  $696.7 \text{ m}^3/\text{h}$ ,从横河公司说明书中数据可计算得到管道中流体流速约位  $48.8 \text{ m/s}$ ,按说明书中提供的压力损失计算公式可得

$$\begin{aligned} p &= 1.1 v^2 \\ &= 0.0113 \text{ MPa} \end{aligned}$$

令流量计上游管道内的压力与 3.5 D ~ 7.5 D 处的压力之差与  $p$  相等,则下游压力即为  $p_1 - p$ ,据此查得下游流体密度  $\rho_2 = 4.2554 \text{ kg/m}^3$ ,根据质量流量与流体密度的关系,可计算由于压力测点位置选择不当引入的

误差为

$$m = \frac{1 - 2}{2} \\ = 1.19 \%$$

从上面的分析可清楚地看出，流速越高，由此引入的误差越大。

## 6 饱和蒸汽应采用何种补偿

### 6.1 查表法求取密度的一致性

饱和蒸汽采用温度补偿和压力补偿，在本质上是一样的。其原因在于饱和状态的蒸汽，其压力和温度之间呈单值函数关系，从蒸汽温度查出的密度同与此温度对应的压力查出的密度是一致的。因此，采用温度补偿和压力补偿在原理上都是可行的。

### 6.2 投资的差异

从节约投资和减少安装工作量的角度考虑，因为一支铂热电阻的价格只及压力变送器的几十分之一到几分之一，所以采用温度补偿较经济。

### 6.3 补偿精度的差异

采用温度补偿和压力补偿分别能得到多少补偿精度，不仅同温度传感器和压力变送器的准确度有关，而且同流量计类型、具体测量对象的工况和压力变送器的量程选择有关。

#### a. 测温误差对流量测量结果的影响

温度测量误差同流量测量结果的关系，对于过热蒸汽来说影响并不大，例如温度为 250 的过热蒸汽，测温误差为 1 ，在作温度补偿时引起流量测量结果误差约为 0.096 %R（差压式流量计）到 0.19 %R（旋涡流量计）。影响较大的是温度信号用于饱和蒸汽流量测量中的补偿，例如压力为 0.7 MPa 的饱和蒸汽，其平衡温度为 170.5 ，对应密度为 4.132 kg/m<sup>3</sup>，如果测温误差为 -1 ，并据此查饱和蒸汽密度表，则查得密度为 4.038 kg/m<sup>3</sup>，引起流量测量误差约为 -1.14 %R（差压式流量计）到 -2.27 %R（旋涡流量计）。

#### b. 温度传感器精度等级的考虑

测温误差同温度传感器的精度等级和被测温度数值有关，例如压力为 0.7 MPa 的饱和蒸汽，如果用 A 级铂热电阻测温<sup>[7]</sup>，其误差限为 ±0.49 ，如果用此测量结果查蒸汽密度表，以进行补偿，则此误差限引起的流量补偿误差约为 ±0.56 %R（差压式流量计）到 ±1.11 %R（旋涡流量计）。而若用 B 级铂热电阻测温，其误差限就增为 ±1.15 ，则此误差限引起的流量补偿误差就增为 ±1.31 %R（差压式流量计）到 ±2.61 %R（旋涡流量计）。显然，B 级铂热电阻用于此类用途可能引起的误差是可观的，一般不宜采用。

这里仅就不同精度等级的测温元件作相对比较。当然，这里所说的误差还仅为测温元件这一环节，至于流量测量系统的误差，还须计入流量二次表、流量传感器、流量变送器等的的影响。

#### c. 压力变送器精度等级、测压误差及其影响

压力测量误差同压力变送器的精度等级和量程有关，例如选用 0.2 级精度、0~1MPa 测量范围的压力变送器测量 0.7MPa 饱和蒸汽压力，其误差限为 ±2kPa。如果用此结果查蒸汽密度表，以进行补偿，则此误差限引起的流量补偿温度约为 ±0.13%R（差压式流量计）到 ±0.25%R（旋涡流量计）。显然，压力补偿能得到的补偿精度比温度补偿高。

### 6.4 具体实施时的困难



上面所述的两种补偿方法都是可行的这一观点,仅仅是从原理上所作的讨论,在具体实施时还会出现其他问题。

#### a. 安装困难

如前面 5.1.2 中所述,用来测量饱和蒸汽质量流量的差压式流量计,若选择温度补偿,常因测温套管距节流件太近而对流动状态造成干扰或根本就无法安装到理想部分而修改方案。

#### b. 由于相变而进入过热状态

对于干饱和蒸汽,以较高的流速流过旋涡流量计时,由于压损引起的绝热膨胀往往使蒸汽进入过热状态,这时仍旧将它看作饱和蒸汽,并根据蒸汽温度去查饱和蒸汽密度表,得到的数值明显偏高。

由于上述种种原因,使得在测量饱和蒸汽质量流量时,仅仅测量温度,并据此查密度表,进而计算质量流量,在实践中应用的并不多。

## 7 液柱高度的影响及其消除

在蒸汽计量系统中,由于流体容易被压缩,为了保证计量精度,一般引入流体压力补偿(饱和蒸汽)或流体温度压力补偿(过热蒸汽)。那么,流体压力就成为蒸汽计量中的重要变量。

### 7.1 引压管中液柱高度对压力测量的影响

在压力变送器安装现场,为了维修的方便,压力变送器安装地点与取压点往往不在同一高度,这样,引压管中的冷凝液就会对压力测量带来影响。下图所示为 4 种常见的情况。

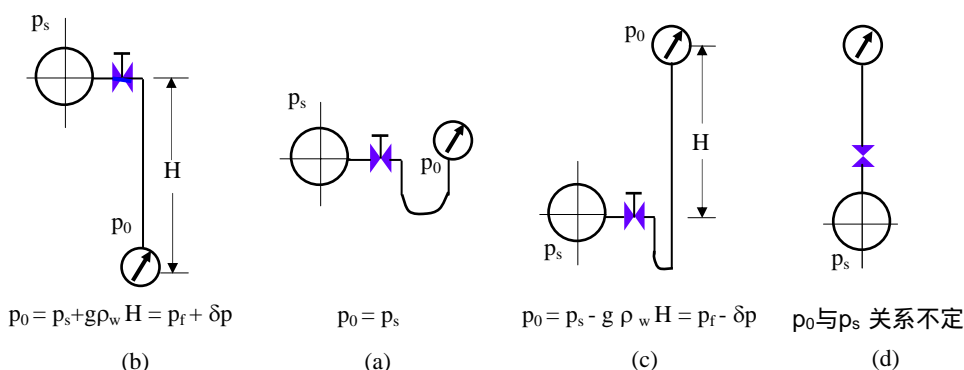


图 8 压力变送器和取压口的相互位置

其中,  $p_s$ —蒸汽压力;

$p_0$ —变送器压力输入口处实际压力;

$H$  为高度差, m;

$g$  为重力加速度,  $m/s^2$ ;

$w$  为冷凝液密度,  $kg/m^3$ 。

在上图中,图(b)因变送器在取压点下方,如果引压管中充满冷凝液,则变送器示值偏高  $g_w H$ ,在  $H = 6m$ ,  $g$  以  $9.80665 m/s^2$  计,  $w$  以  $998.2 kg/m^3$  (假定液温为  $20^\circ C$ ) 计,对变送器的影响量为  $58.7 kPa$ 。图(C)因变送器在取压点上方,如果引压管充分排气,引压管中充满冷凝液,则对变送器的影响量为  $-g_w H$ 。而图(d)因引压管中冷凝液高度难以确定,所以变送器输出低多少也就难以确定,故不宜采用。

### 7.2 测压误差对流量示值的影响

测压误差如果不予校正,对流量测量系统精度一般都有影响(科里奥利质量流量计除外)。而影响程度不

仅同流体的常用工况有关，而且同流量计的类型有关。

以上面所举的例子为例，在流体常用压力等于 0.7 MPa( 表面值 )，常用温度等于 250 的工况条件下( 即为过热蒸汽 )，压力测量偏高 58.7 kPa，对于差压式流量计将引入 3.69 % R 的误差，对于旋涡流量计将引入 7.52 % R 的误差。

在流体的常用压力等于 0.7 MPa 的饱和蒸汽条件下，压力测量偏高 58.7 kPa，对于差压式流量计将引入 3.42 % R 的误差，对于旋涡流量计将引入 6.95 % R 的误差。

因此，引压管中液柱高度对压力测量影响必须予以校正。

### 7.3 液柱高度影响的校正

压力变送器引压管中冷凝液液柱高度对压力测量的影响通常可用两种方法校正，即在变送器中校正和在二次表中校正。

#### a. 在压力变送器中校正

这种校正方法的实质是对变送器的零点作迁移。在上面的例子中，如果变送器的测量范围为 0 ~ 1.0 MPa，零点作 -58.7 kPa 迁移后其测量范围就变为 -58.7 ~ 941.3 kPa。在现场操作中，就是用手持终端将测量范围设置为 -58.7 ~ 941.3 kPa。对于非智能型变送器，就是变送器压力输入口通大气的条件下，将输出迁移到 3.0608 mA。

这种方法仪表人员往往不喜欢使用，这是因为要对变送器零点作迁移，需要对设计文件和设备卡片作相应的修改，手续繁琐。而且，如果迁移量较大，对于非智能型变送器根本就无法实现，相比之下，在二次表中作校正就成为受欢迎的方法。

#### b. 在二次表中校正

这里说的二次表是广义的，不仅包括普通的二次表也包括 DCS、智能调节器等。但校正方法是相同的。以我所生产的 FC 6000 型智能流量演算器为例，对上面的情况作校正就是将菜单的第 23 条( 测量起始点 ) 写入 -58.7 kPa ( 或 -0.0587 MPa )，而将第 24 条( 测量满度 ) 写入 941.3 kPa ( 或 0.9413 MPa ) 即可，因此省力、省时又准确。

## 参考文献

1. GB/T 2624-93《流量测量节流装置用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量》.1993
2. 纪纲. 蒸汽相变对流量测量的影响(一). 医药工程设计, 2001(1): 37 ~ 39
3. 上海宝科自动化仪表研究所. FC 6000 型通用流量演算器操作说明书. 1998
4. 黄淑清、聂宜如、申先甲编. 热学教程. 高等教育出版社, 1985
5. 上海横河电机有限公司. YF 100 型旋涡流量计( E 型) 使用说明书. 1995
6. Endress + Hauser. Vortex Flow Measuring System prowitl 77
7. JB/T 8622-1997 工业铂热电阻技术条件及分度表. 1998

( 摘自《医药工程设计》2001 年 第 4 期 30-37 页 )