

# 一种新型智能流量积算仪

A new kind of intelligent flow totalizer

常勤信 (山东飞龙仪表有限公司, 山东 龙口 265718)

[摘要] 如何提高流量测量显示仪表的运算精度,本文介绍了一种新型的流量积算仪,在数学运算模型、流量数据保护、使用简单方面,提供了一种全新的展示。

[关键词] 新型; 精度; 数据保护; 简单

**Abstract:** How to improve the operational precision of flow measurement instrument? This article introduces a new kind of flow totalizer, which displays the new features regarding mathematical calculation model, flow data protection and simple usage.

**Keywords:** new type; precision; data protection; simplicity

目前国内的流量显示仪表存在着运算模型简单、运算精度不高,不能对数据完全保护,以及不易掌握的组态方法等问题,下面介绍的新型智能流量积算仪(FLC-2800)对这些问题有了创新性解决方法。

一、增加了可提高运算精度的各类数学模型,并根据市场实际情况及不同的需求,设计了三种算法可选择使用:

高级算法,适用于流量测量精度要求较高的场合和用户。

普通算法,适用于流量测量一般要求的场合和用户。

简易算法,适用于过程监测和内部结算的场合。

## 高级算法

- 1) 对常规干气体采用温度、压力、压缩系数三参数补偿。
- 2) 对常规湿气体采用含湿度计算的温度、压力、压缩系数三参数补偿。
- 3) 对天然气采用摩尔组成计算压缩因子(GB/T17747.2-1999 国家标准)。
- 4) 对煤气采用 GB/T 18215.1—2000 国家标准算法。
- 5) 对天然气执行 SY/T6143-2004 标准孔板专用式, GB/T17747.2-1999 算法。
- 6) 对天然气参照 SY/T6143-2004 标准 V 锥专用式, GB/T17747.2-1999 算法。
- 7) 对蒸汽采用 IFC 1967 公式计算密度。
- 8) 标准孔板、V 形锥测量气体、蒸汽时,对可膨胀性系数  $\epsilon$  进行动态补偿。
- 9) 脉冲式流量计系数非线性多段修正补偿。

## 普通算法

- 1) 对水采用温度补偿(查表法)。
- 2) 对其它液体采用温度补偿(一次或二次式)。

- 3) 对其它各类气体采用温度、压力补偿。
- 4) 对煤气（无组分法）温度、压力补偿。
- 5) 对天然气（无组分法）温度、压力补偿。
- 6) 对饱和蒸汽压力补偿。
- 7) 对饱和蒸汽温度补偿。

#### 简易补偿算法

- 1) 对水、各类液体采用设定密度补偿。
- 2) 对其它各类气体采用设定密度补偿。
- 3) 对煤气、天然气采用设定密度补偿。
- 4) 对蒸汽采用设定密度补偿。

#### 二、新增的算法是如何提高测量精度的

- 1) 增加了气体压缩系数补偿运算

首先我们应明确气体压缩系数对补偿运算的精度是有影响的，平时有人所说的可以忽略不计，是指在压力很低时才可以忽略，理由分析如下。干气体密度的计算，准确的应该用式（1）式来求取：

$$\rho_i = \rho_n \frac{P_i \cdot T_n \cdot Z_n}{P_n \cdot T_i \cdot Z_i} \quad \text{----- (1)}$$

- 式中  $\rho_i$  —— 工作状态下气体的密度， $\text{kg/m}^3$ 。  
 $P_i$  —— 工作状态压力（绝压），MPa 或 kPa。  
 $P_n$  —— 标准大气压力。  
 $T_n$  —— 标准状态热力学温度，K。  
 $T_i$  —— 工作状态热力学温度，K。  
 $\rho_n$  —— 标准状态下气体的密度， $\text{kg/m}^3$ 。  
 $Z_n$  —— 标准状态下气体的压缩系数。  
 $Z_i$  —— 工作状态气下气体的压缩系数。

国内绝大多数显示仪生产厂家，鉴于工况压缩系数计算较为复杂，将压缩系数  $Z_n$ 、 $Z_i$  都化简为 1.0 处理，即不对压缩系数进行补偿运算，这样做是会带来误差的，特别是随压力的增加误差会加大。经计算有无压缩系数补偿运算对流量测量的影响对比如下。

- (1) 介质空气， $P=0.6\text{MPa}$   $t=30^\circ\text{C}$  大气压= $0.10133\text{ MPa}$  流量  $0\sim 6000\text{Nm}^3/\text{h}$   
 实际压缩系数： $Z_n=0.9996$   $Z_i=0.9971$ ，无压缩系数补偿时，流量的误差为： $-0.15\%$
- (2) 介质空气， $P=1.0\text{MPa}$  其它条件不变  $Z_n=0.9996$   $Z_i=0.9956$   
 无压缩系数补偿时，流量的误差为： $-0.22\%$ （误差随压力增加变大）
- (3) 介质氧气， $P=1.0\text{MPa}$  其它条件不变  $Z_n=0.9993$   $Z_i=0.99248$   
 无压缩系数补偿时，流量的误差为： $-0.38\%$
- (4) 介质氢气， $P=3.0\text{MPa}$  其它条件不变  $Z_n=1.0006$   $Z_i=1.01847$

无压缩系数补偿时，流量的误差为：-0.75%

如果显示仪给出的精度为0.2%，而忽略压缩系数的补偿运算就已经超差了，显示仪的精度指标只能是徒有虚名。而采用了压缩补偿运算，该项误差就可以消除。

### 2) 对湿气体应用含有介质湿度的运算模型

目前市场上绝大多数显示仪表，对于所有气体的补偿运算，不区分气体的干、湿状态，均采用上述(1)式进行补偿运算。

实际上对于含有一定水分的湿气体(例如湿煤气等)，其密度的计算与干气体计算是有严格区别的。湿气体的密度实际是由干、湿两部分组成，准确的计算应该用下式：

$$\rho_i = \rho_g(\text{干部分}) + \rho_s(\text{湿部分}) \quad \text{----- (2)}$$

将上式(2)展开，湿气体密度正确的运算式为：

$$\rho_{is} = \rho_{gn} \frac{P_i - \phi \cdot P_{s \max}}{P_n} \times \frac{T_n}{T_i} \times \frac{Z_n}{Z_i} + \phi \cdot \rho_{s \max} \quad \text{----- (2-1)}$$

式中  $\rho_{is}$  —— 工作状态下湿气体的密度， $\text{kg/m}^3$ 。

$\rho_{gn}$  —— 标准状态下湿气体干部分的密度， $\text{kg/m}^3$ 。

$\rho_{s \max}$  —— 工作状态饱和水蒸汽密度， $\text{kg/m}^3$ 。

$P_{s \max}$  —— 工作状态饱和水蒸汽压力，MPa 或 kPa。

$\phi_i$  —— 工作状态下湿气体的相对湿度，0~100%。

其它同上式。

如果将实际由干、湿两部分组成的湿气体，当作干气体进行补偿计算，必然会带来测量上的误差。例如，某高炉煤气流量测量，工作压力20kPa工作温度25℃，当地大气压力99kPa，介质相对湿度=100%。组分含量%： $\text{N}_2=58$ ， $\text{O}_2=1.5$ ， $\text{CH}_4=0.5$ ， $\text{CO}=25.5$ ， $\text{CO}_2=14.5$ 。

按照(2-1)式正确计算实际的密度应为  $1.4196\text{kg/m}^3$ ，按照(1)式不准确计算的密度为  $1.4347\text{kg/m}^3$ 。采用(1)式计算造成的误差为1.06%，运算不正确带来的误差已经远远大于显示仪标称的精度。

### 3) 对混合气体增加了组分法补偿运算

对于像煤气、天然气等由不同的单一介质组成的混合气体，其组分含量是求取密度的重要组成部分，因此要想准确得到混合气体的工作密度，应该采用组分法计算工作密度。例如湿煤气最好采用式

(3)先求出混合气体标准状态下干部分的密度 $\rho_{gn}$ ，然后再用(2-1)式才能计算出准确的工作密度。

$$\rho_{gn} = \sum_{i=1}^n X_i \cdot \rho_{in} \quad \text{----- (3)}$$

式中  $\rho_{gn}$  —— 湿煤气体标准状态下干部分的密度

$X_i$ ——湿煤气各组分的体积百分数，%。

$\rho_{in}$ ——湿煤气标准状态下各组分干部分的密度， $\text{kg/m}^3$ 。

例如：某焦炉煤气，工作压力 4.5kPa，工作温度 30 度，介质相对湿度=100%，当地大气压 98kPa。  
组分含量%：CO<sub>2</sub>=2.23、O<sub>2</sub>=0.6、CO=7.87、H<sub>2</sub>=59.72、CH<sub>4</sub>=27.28、N<sub>2</sub>=2.3。

采用组分含量（3）、（2-1）式计算得到准确的工作密度为 0.4047  $\text{kg/m}^3$ ，采用无组分并按照焦炉煤气通常提供的标准状态下密度 0.45  $\text{kg/m}^3$  用（1）式计算，得到工作密度为 0.4102  $\text{kg/m}^3$ ，带来的误差为 1.36%。

从上述实例计算证明，要想得到准确的结果，应该采用组分含量并按照正确的运算式计算煤气的工作密度。

#### 4) 对蒸汽采用“IFC1967 公式”动态补偿运算

蒸汽在输送过程中有时因工艺条件的变化会产生“相变”，所谓相变就是蒸汽状态发生了变化，“饱和”可能变为“过热”，“过热”可能变为“饱和”。蒸汽的相变导致密度发生改变，由于饱和蒸汽与过热蒸汽密度的差别，所以在进行补偿运算时，如果不采用相应的应对措施，将会对流量测量的准确性有较大的影响。

目前国内绝大多数显示仪表对蒸汽密度均采用“固定状态查表法方式”，因此当蒸汽的状态发生改变时，测量误差必然会产生。下面举例讲一下这种查表方式的缺点。

饱和蒸汽变为过热蒸汽举例：饱和蒸汽，温度补偿。现场实际温度 170℃，现场实际表压为 0.5MPa。由于采用的是温度查表法补偿，所以查表得到饱和蒸汽密度为 4.123 $\text{kg/m}^3$ ，但是从上述压力和温度看，该蒸汽已经变为“过热”状态，即在 0.5MPa、170℃下的过热蒸汽实际密度为 3.0706 $\text{kg/m}^3$ 。经计算，查表法温度补偿对测量带来的误差为 34.27%。

$$\delta = \frac{4.123 - 3.0706}{3.0706} = 34.27\%$$

上例如果采用压力补偿，查表 0.5MPa 的饱和蒸汽密度为 3.1698 $\text{kg/m}^3$ 。则查表法压力补偿对流量测量带来的误差为 3.23%。

$$\delta = \frac{3.1698 - 3.0706}{3.0706} = 3.23\%$$

从上述可以看出，对于饱和蒸汽采用单参数查表法补偿，当蒸汽发生相变时都会产生误差，只不过是采用压力补偿误差要小于温度补偿而已。

同理当蒸汽由过热状态变为饱和状态时，如果“脱离临界饱和”进入“过饱和状态”，同样也会产生误差，大家自己可以用实例计算来验证，这里就不再举例了。由于查表法不能自动识别蒸汽的“过热”与“饱和”状态，因此当蒸汽发生相变后对流量测量带来的误差有时是较大的。

而该智能流量积算仪，对蒸汽采用的是“IFC1967”公式动态计算，能自动识别蒸汽的过热和饱和状

态。当蒸汽处于饱和状态时，自动按照饱和状态计算；当蒸汽处于过热状态时，自动按照过热状态计算，因此得到的蒸汽密度是准确的，从而提高了流量测量的准确度，只是需要温度和压力两个参数。

#### 5) 对气体和蒸汽的“可膨胀性系数”进行动态补偿运算

差压式仪表比起其它流量仪表在测量气体或蒸汽时，多了个可膨胀性系数的制约。所谓可膨胀性系数是指，当气体或蒸汽流过节流件时，总会产生一定的压降，从而导致密度减小并引起流量系数发生变化，这个变化对测量会带来附加误差，而可膨胀性系数就是对流量系数变化的修正。在实际工作时它不是一个固定值，而是随流量大小而变化的。

生产厂家在设计节流件时，通常将可膨胀性系数固定在常用流量下的值，因此当流量在常用值时，可膨胀性系数对测量而精度是无影响的。而当流量偏离常用值后，固定不变的可膨胀性系数必定会对测量带来附加误差，请看下面的实例。

V 锥蒸汽流量计、DN200、表压 0.8MPa、流量 20t/h、差压 38.94kPa，不同的可膨胀性系数如下

可膨胀性系数  $\epsilon$  变化数据

流量 %	可膨胀性系数 $\epsilon$	
100	0.9762	
75	0.9869	常用量
50	0.9943	
25	0.9986	

从上述数据可以看出，当流量偏离设计值后，可膨胀性系数是变化的，这里以 25% 时为例，计算因可膨胀性系数的改变所带来的误差：

$$\delta_{\epsilon} = \frac{\epsilon_i - \epsilon_d}{\epsilon_d} = \frac{0.9986 - 0.9869}{0.9869} = 1.18\%$$

可见当流量偏离常用值减小到在 25% 时，可膨胀性系数的误差为 1.18%，因此会引起流量示值的负误差。由于该智能流量积算仪采用了动态计算可膨胀性系数，因此消除了该项误差对流量测量的影响。

### 三、仪表数据的彻底保护

对仪表数据进行彻底的安全保护，是很多用户所希望的。根据多年来在流量仪表使用中遇到的一些难题，以及贸易结算方面易引发的一些矛盾，该智能流量积算仪有针对性地开发了多项特定技术加以解决，其中一些是国内外首创的。

#### 1) 数据双层防护

一层防护：凭双密码进入设定。即供、收双方各有一个密码，都正确输入后才能进入设定状态。

二层防护：设定记录。不管以何种手段进入设定，只要更改任何参数，“设定记录”就记下改动的的时间和次数。这样当双方确定记录次数后，只要记录次数不是双方认可的，就可以确定有人修改了设定数据，并可查具体的修改时间和根据修改的内容判断是谁改动的。

## 2) 现场仪表停电、断路、故障判断记录

目前显示仪表的断电记录功能, 仅仅限于显示仪本身, 而当现场一次仪表出现断电(线)或故障时, 就无能为力了, 这就容易造成计量数据的丢失或引发贸易结算的矛盾。而该智能流量积算仪除了具有显示仪本身断电监测记录功能外, 独特设计了现场一次仪表监测记录功能。特点是该仪表内设有一个“设定记录”, 只要现场变送器停电(断线)、发生故障, 它都能及时发现和记录下来, 并发出报警信息, 并能准确区别判断现场仪表以下三种情况:

- (1) 间断工作的工艺流程, 流量正常为“零”时的非故障状态;
- (2) 因变送器停电、断线使流量为“零”时的故障状态;
- (3) 流量变送器发生故障使流量“不正常”(超上限或低于下限)时的故障状态。

只要上述(2)(3)项问题一出现, 仪表立即就能发现并发出提示信息和声音报警。其中变送器停电(断线)用“×”表示; 变送器低限故障用“L”表示; 变送器高限故障用“H”表示(恢复正常后均用√表示), 并有故障次数、发生、结束和累积时间的详细记载。这项独特的监测记录功能, 使得计量数据真正做到了公平公正。

## 3) 补偿仪表故障判断、自动补救

在流量测量系统中, 补偿仪表与流量仪表具有同样的重要的地位, 如果补偿压力或补偿温度发生故障不能得到及时处理, 即使流量信号正常, 也会导致运算的数据产生误差, 严重时误差会是很大的。

补偿仪表故障自动识别补救功能是: 一旦补偿仪表出现了故障, 该仪表能及时判断并自动切断发生故障仪表的数据, 而采用事先设定的数值进行工作, 同时发出报警信息提醒使用者尽快处理(预先设定的数据可根据常用值设置), 从而避免了虽然流量信号正常但因补偿仪表故障而带来的误差(故障消除后, 仪表自动恢复采集现场信号)。

## 四、其它

除了上述这些特点外, 该积算仪还具有小流量协议、分段计量、超计划协议等贸易结算、通讯联网等功能, 整个画面为液晶中文数字、曲线两种显示, 并具有历史数据数字、曲线查询等常规功能, 这里就不一一介绍了。

## 五、使用最简单

尽管该智能流量积算仪运算和保护功能极其强大, 使用起来却是非常简单。除了显示、查询全部为中文画面外, 参数设置也完全不同于其它显示仪表惯用的“功能码”、“数据项”----等。而是采用分层菜单、中文提示的“傻瓜式”人机界面, 可以说是一种拿过来就可以使用的“显示仪表”, 甚至不看说明书都可以进行参数的正确设置和修改。显示仪内置一百三十多个参数、七十一种补偿组合方式, 但当选定一种测量补偿模式后, 参数项只出现与之有关的项供用户输入数据, 其它无关项均不出现, 而且均是中文提示性显示, 从而使得组态输入数据变得简单明了。

作者：山东飞龙仪表有限公司 常勤信（总工程师）

地址：山东省龙口市高新技术产业园 4 号路

电话：0.535-8619054 8613478

传真：0535-8619598

邮编：265718

E-mail: feilong@feilong-china.com

[fl-feilong@163.com](mailto:fl-feilong@163.com)