

## 2.7 GILFLO 流量计原理及其在蒸汽计量中的应用

于 阳 嘉兴市能源利用监测中心（浙江嘉兴 314001）

纪 纲 上海同欣自动化仪表有限公司（上海 200070）

徐华东 斯派莎克工程（中国）有限公司（上海 200233）

**摘 要：** GILFLO 是一种新型差压式流量计，范围度宽，测量精确度高，可测范围（1~100）%FS，精确度 $\pm 1\%$ ，尤其适合蒸汽计量使用。

**关键词：** GILFLO；流量计；蒸汽；流量测量；应用

### 2.7.1 概述

传统的孔板流量计最大的不足是在被测流量相对于满量程流量较小时，差压信号很小，这一缺点大大影响其范围度和测量精确度。英国斯派莎克（Spirax Sarco）公司在传统的孔板式差压流量计基础上，开发了可变面积可变压头孔板流量计，并命名为 GILFLO。1993 年进入中国市场后，由于其突出的优点，使得其在测量范围度要求大，测量精确度要求高，振动较明显等场合很受青睐。

### 2.7.2 GILFLO 流量计工作原理<sup>[1]</sup>

GILFLO 又称弹性加载可变面积可变压头孔板，曲面圆锥体在弹簧力的作用下来回移动，其流通面积随流量大小而自动变化，使输出信号（差压）与流量成线性关系，其结构如图 1 所示。

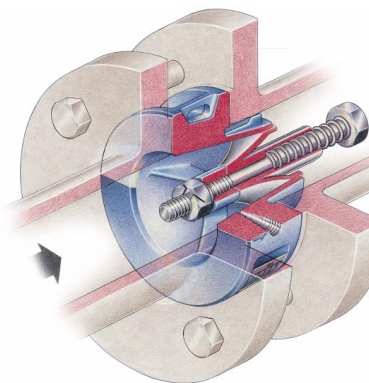


图 1 线性孔板（GILFLO 型节流装置）

在孔板流量计中，当流体流过开孔面积为  $A$  的孔板时，流量  $q$  与孔板前后产生的差压之间有如下关系：

$$q = K_1 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

式中： $q$  —— 流量； $K_1$  —— 常数； $A$  —— 孔板开孔面积； $\Delta p$  —— 差压。

在如图 1 所示的 GILFLO 流量计中，于孔板处插入一个纺锤形锥体，由差压引起的活塞—弹簧组件的压缩量（活塞的移动距离）为  $X$ ，则式（2）成立：

$$\Delta p = K_2 X \quad (2)$$

式中： $K_2$  —— 弹簧系数。

当活塞向前移动时，流通面积受活塞形状的影响而发生变化，其关系为：

$$A = K_3 \cdot \sqrt{X} \quad (3)$$

式中： $K_3$  —— 常数。

由式（2）和（3）得

$$A = K_3 \cdot \sqrt{\Delta p / K_2} \quad (4)$$

将式（4）代入式（1）得

$$\begin{aligned} q &= K_1 \cdot K_3 \cdot \sqrt{\Delta p / K_2} \cdot \sqrt{\Delta p} \\ &= K \cdot \Delta p \end{aligned} \quad (5)$$

式中  $K$  —— 常数（ $K = K_1 \cdot K_3 \cdot \sqrt{1/K_2}$ ）。

由式（5）可知，流量与差压成线性关系，所以取出差压信号即可得到流量。

## 2.7.3 GILFLO 流量计特点

### 1) 量程比宽

GILFLO 流量计的差压信号与流量成线性关系，可测范围为 1%FS～100%FS，因此，对于流量变化大的测量对象，一台流量计就可解决。能适应蒸汽、燃油测量的日夜及冬夏季负荷变化。

## 2) 精确度高

流量计出厂前逐台经过水标定，并进行多项补偿，因此测量精确度大大提高，精确度可达 $\pm 1\%$ 。

## 3) 直管段要求低

由于孔板的变面积设计，使其成为在高雷诺数条件下工作的测量机构，可在紧靠弯管、三通下游的部位进行测量（为了保证测量精确度，制造厂还是要求上游直管段 $\geq 6$  倍管径，下游直管段 $\geq 3$  倍管径）。

## 4) 耐振性好

在振动较大的恶劣场所，人们总是抱怨涡街流量计用不好，容易出现“无中生有”和示值偏高问题。GILFLO 流量计耐振性要比涡街流量计优越。

### 2.7.4 保证测量精确度的措施

典型的 GILFLO 承诺具有 $\pm 1\%$ 精确度，为了达到这一指标，采取了几项重要措施，其中：

#### 1) 逐台用水标定

从式（2）和（3）可知，只要线性孔板中的弹簧线性好，而且活塞被加工成理想形状，使得流通面积  $A$  与位移  $X$  的  $1/2$  次方成线性关系，就能使差压与流量之间的线性关系成立。由于活塞的曲面加工可能会存在偏差，为了提高精度，Spirax-sarco 公司采用了逐台标定的方法。逐台标定是以水为介质，不同口径均选择 14 个标定点，其中流量较小时，标定点排得较密，图 2 所示为一台 DN200 GILFLO 的标定曲线，（1 英寸水柱 = 249.0889Pa）。

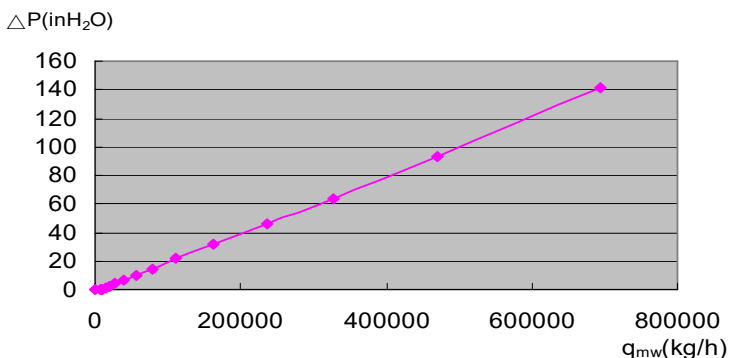


图 2 标定曲线

而利用标定数据对 GILFLO 流量计的非线性误差进行校正还需借助于流量二次表。具体做法是将标定数据写入二次表中的折线表，然后二次表根据输入的差压信号（电流值）用查表和线性内插的方法求得水流量值  $q_{mw}$ 。得到水流量值还不是最终目的，因为被测流体不一定是水，当被测流体为其他液体时，用式（6）进行密度校正。

$$q_m = q_{mw} \cdot \sqrt{\rho_f / \rho_w} \quad (6)$$

式中： $q_m$  —— 被测流体质量流量，kg/h； $q_{mw}$  —— 标定流体（水）流量，kg/h； $\rho_f$  —— 被测流体密度，kg/m<sup>3</sup>； $\rho_w$  —— 标定流体（水）密度，kg/m<sup>3</sup>。

## 2) 雷诺数校正

孔板流量计的流量系数同雷诺数之间有确定的函数关系<sup>[1]</sup>，当质量流量变化时，雷诺数成正比变化，因而引起流量系数的变化。在 GILFLO 型流量计中，采用较简单的经验公式（7）进行雷诺数校正。

$$k_{re} = (1 - n / q_{mw})^{-1} \quad (7)$$

式中： $k_{re}$  —— 雷诺数校正系数； $n$  —— 常数，kg/h。

但若计算结果大于  $m$  值时，则取  $k_{re} = m$ 。 $n$  和  $m$  数值同孔板的口径 DN 有关，已经固化在制造商提供的流量二次表内。

## 3) 温度影响及其校正

温度影响 GILFLO 流量计使之产生误差主要通过三条途径：

① 流体温度变化引起流体密度变化、从而导致差压与流量之间的关系变化。

② 流体温度变化引起管道内径、孔板开孔直径以及活塞几何尺寸的变化，温度升高，环隙面积增大，导致流量计示值有偏低趋势。

③ 流体温度变化，GILFLO 中的承载弹簧温度相应变化，引起式（2）中的弹性常数  $K_2$  发生变化。温度升高， $K_2$  减小，活塞位移  $x$  增大。

上述三条途径对流量示值的影响都可以进行校正，其中途径①，可由下文式（10）中的流体密度进行补偿。在线性孔板用来测量蒸汽流量时，流体温度作为自变量，参与查蒸汽密度表。从而可由二次表自动进行此项补偿。

上述途径②和③流量示值的影响关系较复杂，在 GILFLO 型流量计中，

采用式（8）所示的经验公式进行校正：

$$k_t = 1 + B(t - t_c) \quad (8)$$

式中： $k_t$ ——温度校正系数； $B$ ——系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ （取  $B = 0.000189^{\circ}\text{C}^{-1}$ ）； $t$ ——流体温度， $^{\circ}\text{C}$ ； $t_c$ ——标定时流体温度， $^{\circ}\text{C}$ （ $t_c$  常为  $20^{\circ}\text{C}$ ）。

此项校正也是在流量二次表中完成的，其中  $t$  为来自温度传感器（变送器）的流体温度信号。

#### 4) 可膨胀性校正

节流式差压流量计用来测量蒸汽、气体流量时，必须进行流体的可膨胀性校正，GILFLO 也不例外。依据 ISO 标准，在 GILFLO 型流量计中用经验公式（9）进行校正<sup>[2]</sup>：

$$k_\varepsilon = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \cdot \frac{\Delta p}{\kappa \cdot p_1} \quad (9)$$

式中： $k_\varepsilon$ ——可膨胀性系数； $\beta$ ——直径比（孔板开孔直径与管道内径之比，制造商常取 0.6325）； $\Delta p$ ——差压，Pa； $\kappa$ ——等熵指数； $p_1$ ——节流件正端取压口绝压，Pa。

可膨胀性校正也在流量二次表中完成，由二次表进行在线计算。

#### 5) 蒸汽质量流量的计算

用 GILFLO 型流量计测量蒸汽流量时，蒸汽质量流量在二次表中由式（10）计算得到：

$$q_{ms} = k_{re} \cdot k_\varepsilon \cdot k_t \cdot \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_w}} \cdot q_{mw} \quad (10)$$

式中： $q_{ms}$ ——蒸汽质量流量，kg/h； $k_{re}$ ——雷诺数校正系数； $k_\varepsilon$ ——可膨胀性系数； $k_t$ ——温度校正系数； $\rho_f$ ——被测流体工作状态密度， $\text{kg/m}^3$ ； $\rho_w$ ——标定流体（水）的密度， $\text{kg/m}^3$ ； $q_{mw}$ ——水的质量流量，kg/h。

在流量二次表中，先由差压输入信号查折线表得到  $q_{mw}$ ，再由蒸汽温度、压力值查蒸汽密度表得  $\rho_f$ ，然后与校正系数  $k_{re}$ 、 $k_\varepsilon$ 、 $k_t$  一起（ $\rho_w$  为设置数据）计算得到蒸汽质量流量  $q_{ms}$ 。

### 2.7.5 安装和使用

GILFLO 型流量计的安装如图 3 所示。

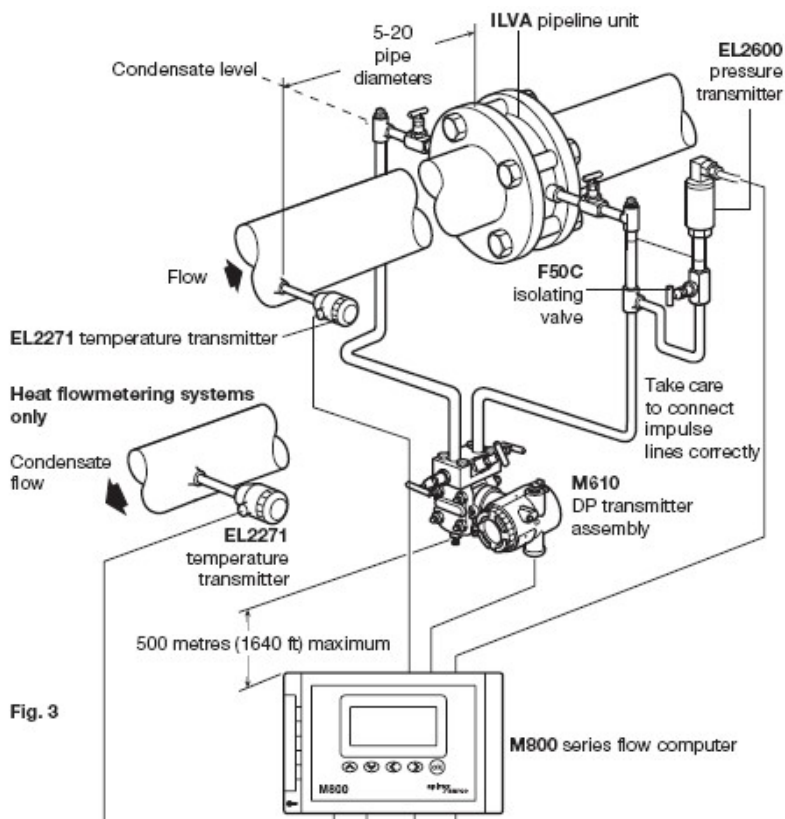


图 3 GILFLO 型流量计的安装

### ① 水平度要求

线性孔板应安装在水平管道上，其原因是线性孔板内部的纺锤形活塞及承载弹簧都有一定的重量，如果管道倾斜此重力势必引起输出差压信号的漂移。

② 引压管的引向如图 3 所示。如果线性孔板安装位置很高，考虑维修的方便，可以将差压变送器安装在维修人员便于接近的位置，但应按仪表安装规程保证引压管的坡度，确保引压管内充满冷凝水，以利差压信号的不失真传递。

③ 用 GILFLO 测量减温减压器前（或后）蒸汽流量时，安装部位应尽量远离减温减压器设备，因为减温减压器振动较大，更重要的是减温减

压过程引起的流动脉动容易引起流量示值升高<sup>[1]</sup>，远离脉动源可因脉动幅值的衰减而减小影响。但总的来说，相同的脉动条件对 GILFLO 的影响要比标准孔板小得多，这是因为 GILFLO 的变截面特性，使得流过节流部位的流速比标准孔板高。

## **2.7.6 流量二次表的国产化**

与 GILFLO 配用的流量二次表，原配产品为 M800 系列流量积算仪，国产化产品为 M841 型流量积算仪。流量积算仪国产化的目的主要是根据中国国情增加了用户需要的各项功能。

### **2.7.6.1 下限流量计费功能<sup>[3]</sup>**

任何流量计都有保证精确度的最小流量和可测量最小流量，如果流量进一步减小，将会出现精确度无法保证或小信号切除的情况，这对贸易计量来说是不公正的。

在流量积算仪中，分别设定“下限流量约定值”和“下限收费流量”。仪表运行后，如果实际流量小于“下限流量约定值”，即以“下限收费流量”取代实际流量进行积算。

### **2.7.6.2 停汽判断功能**

有些用户在休息天将蒸汽完全关闭，停止用汽，这时不能再按“下限收费流量”计费，方法是由仪表根据停汽后流体温度、压力参数的变化作出判断，判断结果一旦为“停汽”，即停止积算。

### **2.7.6.3 超计划耗用计费功能**

流量计如果超过设定范围运行，一般均导致计量值偏低。除此之外，在热网中如果超计划耗能，还将影响热网的供热品质。这不仅损害供方利益，而且损害其他用户利益。因此，热力公司一般同需方约定最大用能量，如果超过此量，一般约定加 1 倍或数倍收费。

智能流量积算仪可设定两个参数，分别是“最大耗用流量”和“超用费率”。仪表运行时，依次显示两个瞬时流量，一个是“实际流量”，另一个是“收费流量”。

### **2.7.6.4 掉电记录功能**

用于热能计量的表计在电源中断后，累积值虽能保持但不会继续增加。有时需方为了少付热费，就将仪表电源拉掉一段时间。流量积算仪的掉电记录功能可以将掉电事件一次不漏地记录下来。当主电源掉电时，仪

表自动记下内部实时时钟所指的日期和时间，当主电源恢复供电时，仪表再一次记下实时时钟所指的日期和时间。

### 2.7.6.5 定时抄表功能

定时抄表功能，就是仪表在抄表员所指定的抄表时刻（在菜单中预先设置），读取流量累积值并存放在仪表的一个单元中。将全厂流量积算仪设置同一抄表时间，抄表人员巡回路线和时间的差异都不影响抄录结果，因此有利于分表和总表的平衡计算。

### 2.7.6.6 无纸记录功能

有许多流量测量系统都希望具备记录功能，记下重要数据和信息。在智能流量积算仪中加上一片海量存储器，在软件的支持下，使仪表具有无纸记录功能，从而可收到简单、可靠、价廉、存储的信息量大的效果。

## 2.7.7 GILFLO 蒸汽流量计实际应用情况

从 2006 年 7 月开始在嘉兴嘉爱斯热电有限公司的 13 家用户中采用了 DN50-200mm 口径的 GILFLO 流量计 21 台，其中 8 家印染企业原来采用标准孔板流量计，最小口径 250mm，最大 400mm，另外 5 家企业是新增用户，直接采用了 GILFLO 流量计。8 家印染企业是热网主要用户，蒸汽用量占整个供热量的 2/3，每小时用量达到 180-220 吨，在使用标准孔板流量计时，每天在两个交接班时段共计约 3 个小时流量明显减少，大部分时间，部分设备在运行，流量值小于标准孔板流量计的下限值，导致流量指示为零，造成蒸汽计量的损失。以下是 8 家用户的基本情况：

| 单位名称   | 口径<br>(mm) | 设计最大流量<br>(t/h) | 实际流量<br>( t/h) | 下限流量<br>(t/h) |
|--------|------------|-----------------|----------------|---------------|
| 欣悦天丝染整 | 400        | 50              | 35             | 4.33          |
| 锦丰印染   | 400        | 35              | 25             | 3.03          |
| 金宇达印染  | 350        | 30              | 23             | 2.60          |
| 天伦纳米印染 | 350        | 30              | 24             | 2.60          |
| 新永联染整  | 350        | 40              | 28             | 3.46          |
| 南洋印染   | 250        | 15              | 12             | 1.30          |
| 汇源染整   | 400        | 50              | 42             | 4.33          |
| 汇泉印染   | 250        | 12              | 8              | 1.04          |
| 合 计    |            | 262             | 197            | 22.69         |



每天按照 2 小时计算, 每天损失蒸汽 45.38 吨。按照蒸汽价格 130 元/吨计, 每天损失 5900 元。自更换了 15 台 DN200 口径的 GILFLO 流量计后, 由于下限计量范围明显下降, 交接班时的小流量计量明显得到改善, 每年可增收汽款达到了 160 多万元, 仪表的投资约 105 万元, 经济效益十分明显。通过 2006 年半年的实际运行, 仪表工作状态非常稳定、可靠。从 2007 年开始, 在与热用户签定供热协议时, 将 GILFLO 流量计作为双方贸易结算计量的标准配置。在处理大用户计量时采用了 DN200 口径双表并联运行的方式, 并留有进行再并联的接口, 确保最大流量满足用户的需要。在更新流量计的同时, 采用了 GPRS (或 CDMA) 远程通讯系统, 将二次仪表采集的数据及时地传送至供热管理部门, 使整个蒸汽计量系统得到了进一步的完善。

## 2.7.8 结束语

① GILFLO 是新一代孔板流量计, 测量范围度大, 测量精确度高, 在涡街流量计不能胜任的许多恶劣场所, 在普通孔板流量计不能胜任的要求高的场合, GILFLO 流量计均能显示其独特的优越性, 是在传统孔板差压式流量计基础上的飞跃。

② 国产化的智能流量积算仪, 结合中国实情增设的许多功能, 在热能贸易计量中, 有实际效果, 为维护热力公司的合法权益作出贡献。

### 参考文献:

- [1] 纪纲. 流量测量仪表应用技巧. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] GB/T 2624-2006 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.
- [3] 余小寅, 纪纲. 流量测量应用技术—热能贸易结算中的计量要求及表计功能(二). 医药工程设计, 2001(2): 33~36.

(本文源自《上海计量测试》2008 年第 2 期)