

FC 6000 型仪表的检查与校验

郑加范 (上海五钢(集团)有限公司 200940)
冯宏生 (上海同欣自动化仪表有限公司 200070)

摘要 本文简述 FC 6000 型流量演算器的输入输出关系,并介绍了现场检查和实验室校验的方法。

关键词:流量演算器 校验

1 引言

FC 6000 型仪表是一种功能丰富,精度高,通用性强的流量演算器,它能与各种流量传感器、变送器配合,测量各种流体的流量。同一台演算器,其流量输入信号可以是频率信号,也可以是模拟信号。对于模拟输入信号,既可以是电流信号,也可以是电压信号,既可以是 4~20 mA,也可以是 0~10mA。良好的兼容性,为用户的选型、使用和备表带来了方便。

流量测量方法的多样性和影响流量测量精度的多种因素,注定了流量二次表的复杂性,FC 6000 型仪表能对影响测量精度的多种因素进行补偿,如流体的温度压力补偿,压缩系数补偿,湿度补偿;对流量传感器流量系数的非线性进行补偿;对差压式流量计中的可膨胀性系数进行补偿;还能对湿气体的干部分进行计算等。由于自变量较多,不同类型的变送器,不同种类的流体,其输入输出关系表达式也不相同,所以在现场维修检查和在实验室对二次表进行校验、检定时,须搞清楚各变量之间的关系,下面根据仪表特性和现场维修中的具体情况介绍几个实用方法,但愿对读者有所启发和帮助。

2 面板显示数据之间的关系

仪表面板显示的主数据和副数据,不仅包括几个输入的自变量和最终运算结果,而且有主要的运算中间结果,如果怀疑最终运算结果不正常,则可逐一检查各有关中间结果和自变量,结合自己的经验,进行分析和判断。

下面列出了演算器的主要关系式,方框中的数字为副数据编号^[1]。各符号的定义如 2.8 所列。

2.1 差压式流量计总关系式

$$FLOW = Q_f \cdot K \cdot K_\varepsilon \cdot K_\alpha = FS \sqrt{AI1(\%)} \cdot K \cdot K_\varepsilon \cdot K_\alpha \quad (1)$$

03 06 09 08 15 第一通道输入信

2.2 模拟输出的旋涡流量计总关系式

$$FLOW = Q_f \cdot K \cdot K_\alpha = FS \cdot AI1 \cdot K \cdot K_\alpha \quad (2)$$

03 06 08 15 第一通道输入信号

2.3 脉冲输出的旋涡流量计总关系式

$$FLOW = \frac{1}{K_\alpha} \cdot K \cdot Q_f = f / K_t \cdot R_t \cdot K \cdot \frac{1}{K_\alpha} \quad (3)$$

08 06 03 输入频率 16

2.4 密度修正系数关系式

流体温度、压力、压缩系数等因素对流量示值的影响,主要是通过流体密度起作用的,所以K的实质是流体密度修正系数。

2.4.1 蒸汽流量

① 差压式流量计:

$$K = \sqrt{\frac{\rho_f}{\rho_d}} \quad (4)$$

06
37
38

② 旋涡流量计（模入）：

$$K = \rho_f / \rho_d \quad (5)$$

06
37
38

③ 旋涡流量计（fi）：

$$K = \rho_f \quad (6)$$

06
37

2.4.2 一般气体

① 差压式流量计：

$$K = \left(\frac{P_f \cdot T_d \cdot Z_d}{P_d \cdot T_f \cdot Z_f} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

05
30
42
06
26
04
41

② 旋涡流量计（模入）：

$$K = \frac{P_f \cdot T_d \cdot Z_d}{P_d \cdot T_f \cdot Z_f} \quad (8)$$

05
30
42
06
26
04
41

③ 旋涡流量计（fi）：

$$K = \frac{P_f \cdot T_n \cdot Z_n}{P_n \cdot T_f \cdot Z_f} \quad (9)$$

05
31
43
06
27
04
41

2.4.3 一般湿气体干部分

① 差压式流量计：

$$K = \frac{(p_f - \phi_f \cdot P_{fs\max}) \cdot T_d \cdot Z_d \sqrt{\rho_d}}{(p_d - \phi_d \cdot P_{ds\max}) \cdot T_f \cdot Z_f \sqrt{\rho_f}} \quad (10)$$

05
30
42
06
26
33
04
41

② 旋涡流量计（模入）：

$$K = \frac{(p_f - \phi_f \cdot P_{fs\max})}{(p_d - \phi_d \cdot P_{ds\max})} \cdot \frac{T_d}{T_f} \cdot \frac{Z_d}{Z_f} \quad (11)$$

05
30
42
06
26
33
04
41

③ 旋涡流量计 (fi) :

$$K = \frac{(p_f - \phi_f \cdot P_{fs\max})}{P_n} \cdot \frac{T_d}{T_f} \cdot \frac{Z_d}{Z_f} \quad (12)$$

05
30
42
06
27
04
41

2.4.4 液体

① 差压式流量计 :

$$K = [1 + a_1(T_f - T_d) \times 10^{-2} + a_2(T_f - T_d)^2 \times 10^{-6}]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

06
48
04
30
49

② 旋涡流量计 (模入) :

$$K = 1 + a_1(T_f - T_n) \times 10^{-2} + a_2(T_f - T_n)^2 \times 10^{-6} \quad (14)$$

06
48
04
31
49

③ 旋涡流量计 (fi) :

$$K = 1 + a_1(T_f - T_d) \times 10^{-2} + a_2(T_f - T_d)^2 \times 10^{-6} \quad (15)$$

06
48
04
30
49

2.5 K' 补偿的用途

① 将用质量流量表示的蒸汽流量，换算到用热量表示。

② 将用标准状态体积流量 (Nm³) 表示的一般气体流量、湿气体干部分流量、天然气流量以及液体流量，换算到质量流量。例如式 (15) 中的液体流量，如果菜单的第 14 条填入的是“060100”，进行 K 补偿后，得到的是标准状态体积流量；但若第 14 条填入的是“061100”，即要求得到质量流量，就必须进行 K' 补偿，即：

$$M = Q_f \cdot K \cdot \frac{1}{k_\alpha} \cdot K' = \frac{f}{K_t} \cdot R_l \cdot K \cdot \frac{1}{K_\alpha} \cdot \rho_n \quad (16)$$

03
06
08
07
16
32

此时 $K' = \rho_n$

式中 M 为面板上“FLOW”显示的内容。累积流量 SUM 也为质量流量。

2.6 K 是如何求得的

菜单的第 55 条到第 74 条存放着一幅 $K = f(Q_i)$ 的折线图，演算器定时用查表和线性内插的方法从 Q_i 求取 K，并用叠代方法保证精度，计算得到的当前 K 值，存放在 08 中。

2.7 K 是如何求得的

根据 ISO 5167 规定，在差压式流量计中，三种取压方式的可膨胀性系数均可采用下式计算。

$$\varepsilon_f = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \cdot \frac{\Delta P}{P_f} \cdot \frac{1}{\chi} \quad (17)$$

其中

$$\Delta P = \left(\frac{Q_f}{FS} \right)^2 \cdot \Delta P_{\max} \quad (18)$$

则

$$K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_d} = \frac{1}{\varepsilon_d} \left[1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \cdot \frac{\left(\frac{Q_f}{FS} \right)^2 \cdot \Delta P_{\max}}{P_f} \cdot \frac{1}{\chi} \right] \quad (19)$$

2.8 符号定义

式(1)~(19)中所用符号定义如下：

$\Delta FLOW$	——	瞬时流量（面板主数据）；
Q_f	——	未经补偿流量；
K	——	补偿系数（意义见文中说明）；
K_ε	——	可膨胀性系数补偿系数；
K_a	——	流量系数非线性补偿系数；
FS	——	满量程流量；
$AI1$ (%)	——	测定流量模拟输入信号，(0~100%)；
F	——	测定流量频率输入信号，Hz；
K_t	——	频率式流量计流量系数，P/L 或 P/m ³ ；
R_I	——	瞬时流量单位时间校正系数；
ρ_f	——	使用状态流体密度；
ρ_d	——	设计状态流体密度；
ρ_n	——	标准状态流体密度；
P_f	——	使用状态流体压力；
P_d	——	设计状态流体压力；
P_n	——	标准状态流体压力；
T_f	——	使用状态流体温度；
T_d	——	设计状态流体温度；
T_n	——	标准状态流体温度；
Z_f	——	使用状态气体压缩系数；
Z_d	——	设计状态气体压缩系数；
Z_n	——	标准状态气体压缩系数；
Φ_f	——	使用状态下的湿气体相对湿度，0~1；
Φ_d	——	设计状态下的湿气体相对湿度，0~1；
P_{fsmax}	——	使用状态下水蒸汽饱和分压；
P_{dsmax}	——	设计状态下水蒸汽饱和分压；
a_1	——	液体 1 次补偿系数；
a_2	——	液体 2 次补偿系数；
K'	——	第二补偿系数（意义见文中说明）；
ε_f	——	使用状态气体流束膨胀系数；

ϵ_d	——	设计状态气体流束膨胀系数;
β	——	节流件孔径与管径之比;
P_{max}	——	测定差压最大值 (FS 对应的差压);
χ	——	使用状态气体等熵指数

3 检查与校验

3.1 现场检查校验

在使用现场对流量测量系统进行维修检查, 一般可用仪器测量流量传感器、变送器送入流量二次表的流量信号, 然后根据满量程流量 FS (对于模拟流量信号) 或流量系数 K_t (对于频率流量信号) 计算未经补偿流量 Q_f , 即

$$Q_f = FS \cdot AI_1 (\%) \quad (\text{差压式流量计}) \quad (20)$$

$$Q_f = FS \cdot AI_1 (\%) \quad (\text{模拟输出旋涡流量计}) \quad (21)$$

$$Q_f = f_i / k_t \quad (\text{频率输出旋涡流量计}) \quad (22)$$

然后再按

$$FLOW = K \cdot Q_f \quad (23)$$

的公式计算二次表应有示值 FLOW。

下面举例说明。

为了使误差计算简单些, 在现场检查时, 一般先将流量系数修正和 ϵ 修正运算暂时取消, 使 $K_a=1$, $K_e=1$ 。检查校对完毕, 再予恢复。

例 1: 有一台差压式流量计, $FS=10000\text{Nm}^3/\text{h}$, 差压变送器送入二次表的信号为 3V ($1\sim 5\text{V}$ 信号制), 试计算未经补偿流量 Q_f

解: $V_i=3\text{V}$ 时

$$AI_1 = \frac{3-1}{5-1} = 0.5$$

$$Q_f = FS \cdot \sqrt{AI_1} = 10000 \cdot \sqrt{0.5} = 7071\text{Nm}^3/\text{h}$$

若从二次表的 06 窗口查得

$$K=1.05625$$

则

$$FLOW = K \cdot Q_f = 7469 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

例 2: 有一台旋涡流量计用来测量水蒸汽流量, 其 $K_t=1.3938 \text{ P/L}$, 从二次表 37 窗口查得水蒸汽密度 $\rho_f=3.624 \text{ kg/m}^3$, 现场测得变送器送入二次表的频率信号 $f_i=543.34 \text{ Hz}$, 计算体积流量 Q_f 及质量流量 FLOW。

$$Q_f = \frac{f_i \times 3600\text{s/h}}{K_t \times 1000\text{L/m}^3} = \frac{543.34\text{p/s} \times 3600\text{s/h}}{1.3938\text{p/L} \times 1000\text{L/m}^3} = 1403.37\text{m}^3/\text{h}$$

$$FLOW = Q_f \cdot \rho_f = 1403.37 \times 3.624 = 5085.8 \text{ kg/h}$$

3.2 仿真检查校验

在使用现场, 如果对 FC 6000 仪表运算结果的正确性有怀疑, 也可用仪表的仿真功能对仪表的数字运算处理部分进行检查。即用仪表自己发生的一个标准流量信号, 代替外部输入的测定流量信号, 然后观察运算处理结果

与输入的信号是否相等。操作方法如下。

① 将副数据第 14 项功能指定的“M”字位^[1]——运转 / 仿真选择指定为仿真，然后在副数据的第 76 项，用设定数据代替测定流量信号。对于组态为模拟流量信号 AI1 (%) 输入的情况下，设定 0.000~1.000 数据，就相当于送入了 0~100% 的流量信号。对于组态为频率流量信号 f 输入的情况下，第 76 项设定的数据即为频率信号，单位为 Hz。

② 温度、压力仿真信号的输入

当副数据第 13 项（功能指定）的第“I”字位指定温度、压力为手动设定时，仪表取副数据第 29 项（手动设定温度）和第 25 项（手动设定压力）设定数据代替外部输入的温度、压力信号参与运算，因此，这两个信号就相当于温度、压力仿真信号。

送入适当的温度、压力仿真信号，可以检验补偿系数 K 运算结果的准确性。

3.3 实验室校验

在实验室对流量二次表进行校验时，对于差压式流量计，必须计算各试验点在二次表上的应有示值；对于频率输出的旋涡流量计，必须计算各试验点应输入的频率值。

例 3：有一台差压式空气流量计，FS=10000 Nm³/h，由 FC 6000 进行温度压力补偿，其 T_d=40℃，P_d=40kPa（表面值），试计算 T_f=60℃，P_f=60kPa，流量试验点为 30% FS 时，应加入的电压信号 V_i 和应有的流量示值。

解：① 应有输入信号（令流量输入通道信号制为 1~5V），

$$V_i = 0.3^2 \times 4 + 1 = 1.36V$$

② 计算补偿系数 K（令 Z_f=1）从下式知，

$$K = \left(\frac{P_f}{P_d} \cdot \frac{T_d}{T_f} \cdot \frac{Z_d}{Z_f} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{60 + 101.325}{40 + 101.325} \cdot \frac{40 + 273.16}{60 + 273.16} \cdot \frac{1}{1} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.03585$$

③ 计算 Q_f 和 FLOW 从式（20）得

$$Q_f = FS \cdot \sqrt{AI1(\%)} = 3000 \text{ Nm}^3 / h$$

从式（23）得

$$FLOW = KQ_f = 1.03585 \times 3000 = 3108 \text{ Nm}^3 / h$$

即向被校表送入 1.36V 流量信号时，应显示 3108Nm³/h 流量。

例 4：有一台频率输出旋涡流量计，用来测量蒸汽流量，其 K_t=1.3938 P/L，FS = 8000kg/h，试计算压力为 0.8MPa（表面值）的饱和蒸汽，满量程应送入的频率数。

解：① 求补偿系数 K

由压力查饱和水蒸气密度表得 P_f=0.8 MPa 时，

$$\rho_f = 4.662 \text{ Kg} / m^3 \quad (\text{即 } K = 4.662)$$

② 求满量程体积流量

$$Q_f = FS / K = 1716m^3 / h$$

③计算满量程对应的频率

从式(22)得

$$f_i = \frac{K_t \times 1000L / m^3}{3600s / h} \cdot Q_f = \frac{1.3938P / L \cdot 1000L / m^3}{3600s / h} \cdot 1716m^3 / h = 664.38P / s$$

用数字式频率仪向被校表送入 664.38Hz 频率信号，被校表就应显示 8000kg/h 流量。

3.4 校验接线

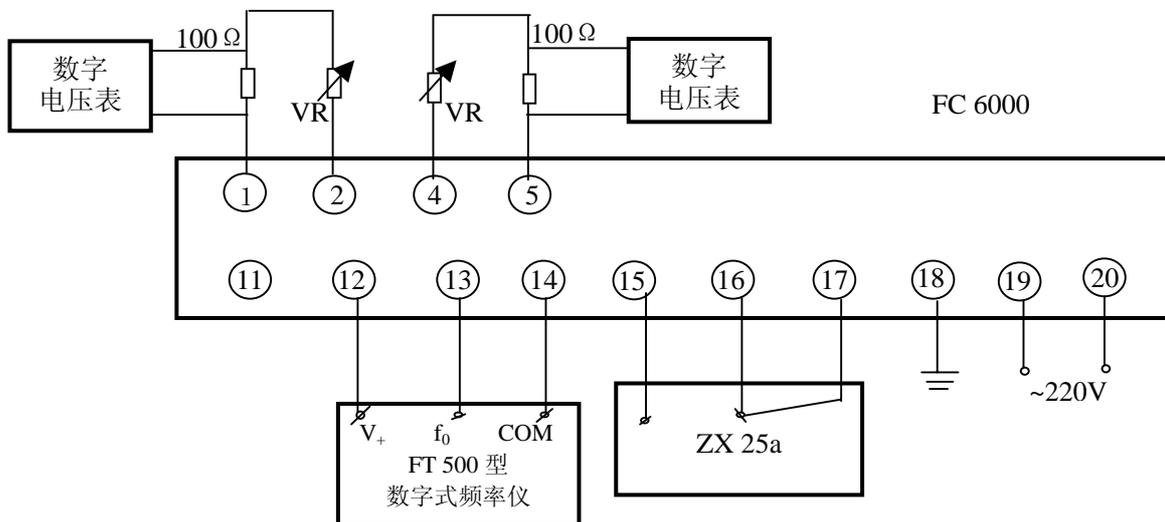
FC 6000 在实验室校验时，输入信号的规格不同，接线方法也不同。如果被校表输入模拟信号为电流，则此电流信号可以由电流源提供，也可由 FC 6000 自带的稳压源串入可变电阻来提供。

下图所示的校验接线图，被校表模拟流量输入信号和压力输入信号为电流，而且此电流由被校表自己发生，而电流的测量，由标准电阻（0.01%精度）配数字电压表方法完成。

在用频率仪向被校表送频率信号时，信号幅值应引起注意，因为 FC 6000 基型产品，其频率输入信号高电平须大于 3V，而有许多数字式频率仪，输出频率信号幅值远低于该值，所以在上图中，FT 500 的外接电源口“V+”，与被校表的+12V 电源相连，从而使 FT 500 送出的频率信号幅值得以提高。如果实际使用的数字式频率仪，输出频率信号幅值已足够，就只需接两根线。

参考文献

- 1 上海同欣自动化仪表有限公司 FC 6000 型通用流量演算器操作说明书
- 2 纪纲. 流量测量仪表应用技巧. 北京:化学工业出版社, 281



FC 6000 型仪表校验接线图