

双量程差压式流量计实现宽量程高精度测量

于杰 (中国石化上海工程有限公司, 上海 200120)

摘要: 叙述双量程差压流量计的原理与实际应用, 分析提高量程低端差压测量精确度的重要性。说明具体应用中应注意流量系数非线性的在线补偿和可膨胀性系数的在线校正。

Abstract: Present the theory and application of double rang differential flow meter, and analyze the essentiality of low rang precision. Emphasize the importance of non-liner compensation of flow coefficient and online correction of expansion efficiency.

关键词: 差压式流量计 双量程 小流量 C 补偿 ε 校正

Key words: differential flow meter, double rang, micro-flow, compensation of C, correction of ε

1. 前言

流量计的量程比, 对于各种流量计都是指保证规定精确度的最大流量和最小流量之比, 差压式流量计如果不采取措施, 量程比只能达到 3:1~3.5:1 也就是说, 如果流量小于 30%FS 就很难保证该仪表选型样本所保证的仪表精确度。但现场实际需要的量程比却要大得多, 特别当该流量计又用于计量用途时更是如此。双量程差压式流量计从理论到实践很好地解决了这一个长期困扰的问题。

2. 原理

现在, 差压式流量计在流量测量中使用得仍然很普通。这是因为这种流量计具有稳定性佳, 耐振性好, 抗干扰能力强, 使用和检定方便等优点, 但其相对流量较小时, 测量精度低, 甚至进入小流量信号切除区, 使供方利益受损。

节流式差压流量计的一般表达式^[1]为:

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

式中: q_m ——质量流量, kg/s;

C——流出系数;

ε_1 ——可膨胀性系数;

β ——直径比, $\beta = d/D$;

d——工作条件下节流件开孔直径, m;

D——工作条件下管道内径, m;

Δp ——差压, Pa;

ρ_1 ——节流件正端取压口流体密度, kg/m³。

由上式可见, 流量为 C、 ε 、d、 Δp 、 ρ 、 β (D) 6 个参数的函数, 一台差压流量计制造完毕, d 和 β (D) 就已确定。而当统计量 C 和 ε 近似为常数, 并且令 ρ 也近似为常数, 就可得到以下关系式:

$$q_m = K \sqrt{\Delta P} \quad (2)$$

式中: q_m ——质量流量, kg/h;

ΔP ——差压, Pa。

这一关系式如果用图 1 表示, 则更为明了、形象。

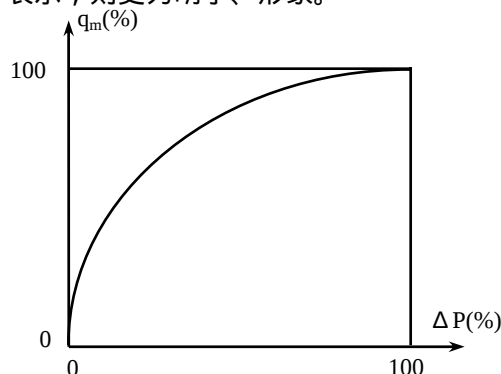


图 1 $q_m=f(\Delta P)$ 曲线

从公式和曲线可看出,在流量较大时,节流装置送出的差压信号幅值较大,所以可测量得较准,但流量较小时,节流装置送出的差压信号幅值很小,例如在 10%FS 流量时,差压信号只有满量程的 1%。差压式流量计测量如此小的流量,精度就较低。

解决这一问题的方法是用大小两杆秤,在流量大的时候用大秤,在流量小的时候用小秤。双量程差压式流量计就是根据这一原理设计的。所谓双量程差压流量计即指一个节流装置采用两台差压变送器。

使用双量程差压式流量计的差压装置可用标准孔板、多孔孔板(A+K 平衡流量计)等一个双量程节流一次元件,采用两台差压变送器。其中一台差压变送器测量上限较高,另一台差压变送器测量上限很小,一般只有 3kPa 或更小,两路信号同时送入智能化二次仪表,进行计算、判断和自动切换,得到流量值,从而将大流量和小流量都计算得很准。

3. 问题

要实现双量程差压流量测量还需解决以下问题:

3.1 雷诺数(ReD)补偿

由雷诺数的表达式可知^[2],管道内流动的流体的雷诺数与流体的流量成正比。

$$R_{eD} = \frac{4q_m}{\pi \mu D} \quad (3)$$

式中: R_{eD} —— 与 D 有关的雷诺数;

q_m —— 质量流量, kg/s;

μ —— 流体的动力粘度, Pa·s;

D —— 管道内径, m。

所以,流体流量在广阔的范围内变化时,雷诺数也在较大的范围内变化。而差压式流量计的流出系数又是雷诺数的函数,因此需对流出系数进行在线补偿,才能保证全量程的测量精确度。

以 GB 2624-2006 中的表达式为例进行分析^[2]。

式(4)所示为标准孔板(角接取压)流出系数 C 表达式。

$$C = 0.5961 + 0.026\beta^2 - 0.216\beta^8 + 0.000521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D} \right) + (0.0188 + 0.0063A)\beta^{3.5} \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{0.3} \\ + (0.043 + 0.080e^{-10L_1} - 0.123e^{-7L_1}) (1 - 0.11A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0.031 (M_2' - 0.8M_2'^{1.1}) \beta^{1.3} \quad (4) \\ M_2' = \frac{2L_2'}{1 - \beta} \quad A = \frac{19000\beta}{Re_D}$$

式中: $L_1 (= l_1 / D)$ —— 孔板上游端面到上游取压口的距离除以管道直径得出的商;

$L_2' (= l_2' / D)$ —— 孔板下游端面到上游取压口的距离除以管道直径得出的商(L_2' 表示自孔板下游端面起的下游间距的参考符号,而 L_2 表示自孔板上游端面起的下游间距的参考符号)。

式(6)所示的关系如果用图表示,更加直观和形象^[3]。

在图 2 中,随着雷诺数 R_{eD} 的减小,流出系数 C 逐渐增大。在双量程差压流量计的量程低端,往往就处于曲线的迅速升高段,如果不进行补偿,必将导致流量示值明显偏低。

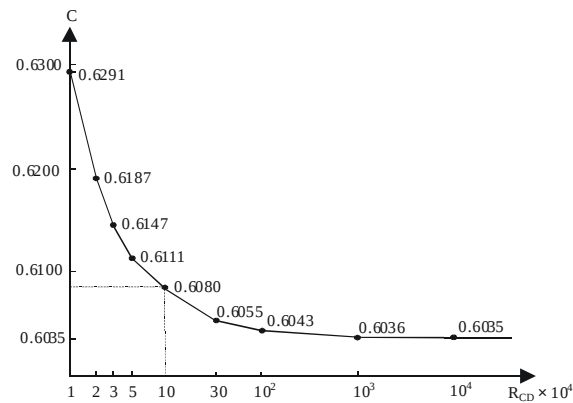


图 2 典型标准孔板流出系数随雷诺数变化曲线 ($\beta = 0.6$)

3.2 可膨胀性系数 (ε) 校正

可膨胀性系数的表达式仍以 GB2624-2006 为例。式 (5) 所示为标准孔板表达式。

$$\varepsilon = 1 - \left(0.351 + 0.256\beta^4 + 0.93\beta^8 \right) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/\kappa} \right] \quad (5)$$

式中： ε_1 —— 可膨胀性系数；

β —— 直径比；

P_2 —— 节流件负端取压口流体静压力，Pa (A)；

P_1 —— 节流件正端取压口流体静压力，Pa (A)；

κ —— 等熵指数。

在双量程差压式流量计中，流体流量在广阔的范围内变化，相应的差压信号变化幅度更大。例如流量变化 20 倍，相应的差压变化就达到 400 倍，这种变化引起 ε_1 值的变化很可观，对其进行在线校正，意义比 C 的补偿更大。

4 . 应用

据上海同欣自动化仪表公司（原上海宝科自动化仪表研究所）的 FDIId 型仪表针对以上问题做出两项改进：

其一：引入了雷诺数 (R_{eD}) 补偿。

其二：进行了可膨胀性系数 (ε) 校正。

从而在实际流量偏离常用流量时，能获得与常用流量时相当的系统精度。同时该仪表采用一体化结构，从而消除差压信号在长距离传递中所存在的失真。

同欣公司承诺，这种流量计用来测量蒸汽流量时，能达到下列指标：

- 量程比：30：1；
- 系统精确度： $\pm 1.5\%$ （蒸汽和气体）；
- 可测范围：1～100%；
- 保证精度范围：3～100%；
- 流体温度： ≤ 560 ；
- 流体压力： $\leq 6.4\text{MPa}$ ；
- 全量程温度、压力补偿。

同欣公司将 DN50~DN500 范围内的差压式流量计放在流量标准装置上验证表明：

- 不进行雷诺数补偿和可膨胀性系数校正，量程比只能达到 3.5 : 1。
- 进行雷诺数补偿和可膨胀性系数校正的单量差压流量计，量程比能达到 10 : 1。
- 进行雷诺数补偿和可膨胀性系数校正的双量程差压流量计，量程比能达到 30 : 1。

根据同欣公司介绍，这种仪表已在天津石化、上海高桥石化、张家港恒通热电、张家港永兴热电、宁波热电、上海焦化、山东渤海实业等十四个单位投入正常运行。

图 3 所示图例是一台 FDI500 (DN500) 双量程流量计在某石化厂的实际运行曲线。数据采集历史曲线图中的 1、2、3、4 四根曲线，分别是蒸汽压力、蒸汽温度、蒸汽密度和蒸汽质量流量。其中，质量流量测量上限为 100t/h (对应差压 100kPa)，在读数线所对应的时刻，质量流量读数为 0.93t/h，这时，低量程差压变送器 (带开平方) 输出电流约为 4.86mA。从而将原本已进入小信号切除区域的流量予以可靠显示。

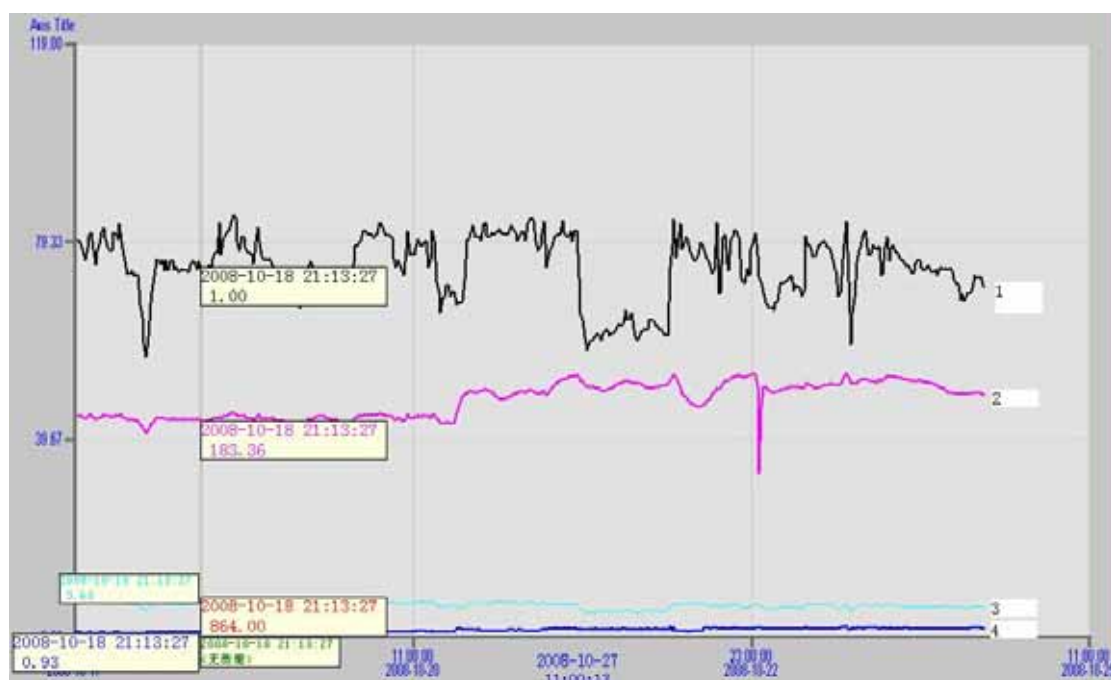


图 3

5. 小结

双量程差压流量计已应用于多个领域，并在实际应用中产生理想的效果。鉴于双量程差压流量计技术的不断发展与改进，经济准确地实现大量程比的测量已不是难事。

参考文献

1. ISO5167-2(2003E) Measurement of fluid by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full-part2: orifice Plates
2. GB 2624-2006 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量
3. 王建忠, 纪纲. 差压式流量计范围度问题的研究. 自动化仪表 2005(8): 4 ~ 6, 9
4. 国家质检总局计量司等组编. 2008 全国能源计量优秀论文集. 北京: 中国计量出版社, 2008: 554 ~ 559

作者简介：于杰（1982 - ），男，主要从事石油化工和化工过程控制及仪表设计工作。

（摘自《医药工程设计》2010 年第 2 期）