

超宽量程气体流量测量方案的讨论

北京博思达新世纪测控技术有限公司 赵海升 王京安

北京 100029

[摘 要] 节流装置在工业生产流量测量中占据主要的地位，但传统节流装置量程比较窄，一般为 3: 1，在石化、石油、化工、冶金等行业的通用气体（如氧气、氮气、空气等）流量测量中限制了其应用。本文分析了节流装置量程窄的原因，并提出了采用现代计算机软件技术，实现节流装置测量气体流量量程比达到 20: 1 的实用方案。

[关键词] 节流装置 超宽量程 流出系数 流量计算机

1 前言

目前流量测量主要采用的还是标准节流装置这一传统的测量手段，但是常规的孔板流量计在流量测量方面还有很多不足，主要体现在测量范围小、压损大，现场安装、维护复杂、检定周期短等方面。尤其是测量范围小的缺点，在流量变化大的情况下计量误差大大增加，使供气企业受到经济损失。目前，通过现代技术手段，可以很好地解决这些问题，下面分析节流装置量程窄的原因，并提出了一套采用现代计算机软件技术，实现节流装置 10: 1 宽量程以及 20: 1 以上的超宽量程流量测量的实用方案。

2 节流装置宽量程问题

我们都知道，虽然引起孔板流量计误差因素很多，诸如直管段条件、安装条件等都可通过设计与施工予以保证。一般仪表的准确度都是用测量范围内相对误差表示。因此当测量值越接近满度值，其准确度越高。但实际的流量范围往往无法准确确定，在流量变化大的情况下，使流量计长时间工作在测量范围以外，这样就造成了很大的测量误差。对节流件流出系数 C、可膨胀性系数 ϵ 等中间参数的实时计算是解决宽量程的关键。

节流式流量计流量计算公式为：

$$q_v = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}} \quad \text{式(1)}$$

式中： q_v ——体积流量 m^3/s

C——流出系数

ϵ ——可膨胀性系数

d——节流件开孔直径，m

D——管道内径，m

β ——直径比，($\beta = d/D$)

ρ_1 ——被测流体密度， kg/m^3

Δp ——差压，Pa

其中：按 GB/T2624-2006 标准孔板流出系数 C 的计算式为：

$$C = 0.5961 + 0.0261\beta^2 - 0.216\beta^8 + 0.000521 \left(\frac{10^6 \beta}{\text{Re}_D} \right)^{0.7} + (0.0188 + 0.0063A)\beta^{3.5} \left(\frac{10^6}{\text{Re}_D} \right)^{0.3} \\ + (0.043 + 0.080e^{-10L_1} - 0.123e^{-7L_1}) (1 - 0.11A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0.031(M_2' - 0.8M_2'^{1.1})\beta^{1.3} \quad \text{式(2)}$$

式中： Re_D ——雷诺数

流束可膨胀系数 ϵ 的计算式为：

$$\varepsilon = 1 - (0.351 + 0.256\beta^4 + 0.93\beta^8) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/\kappa} \right] \quad \text{式 (3)}$$

式中： κ ：等熵指数

$p_1 p_2$ ：分别节流件前后的压力，Pa

传统的节流式流量计是将流出系数 C 和可膨胀性系数 ε 视为定值 (C 和 ε 由专门的节流装置设计计算软件计算得到)，置入现场的流量积算仪。图 1 是一台孔板流出系数曲线。

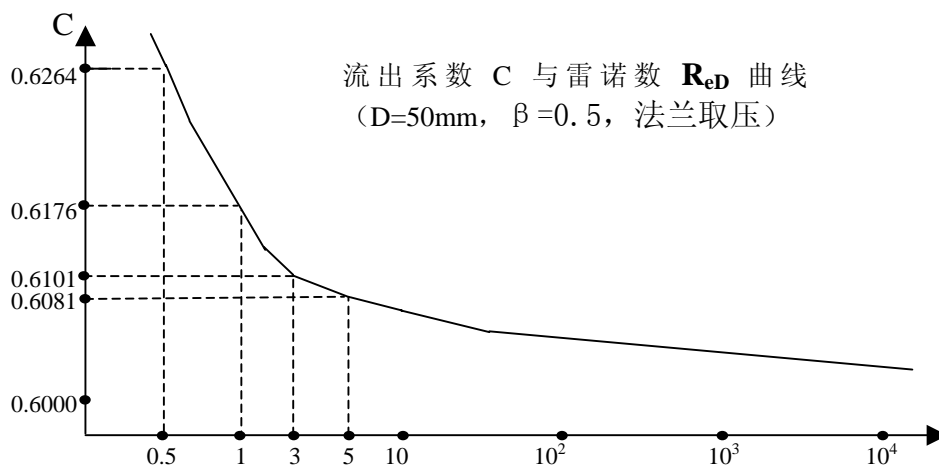


图 1

图 1 曲线表明：当 $R_{eD}=3 \times 10^4$ ， $C=0.6101$ ； $R_{eD}=1 \times 10^4$ ， $C=0.6176$ ；平均值 $\bar{C}=0.6139$ ，即 R_{eD} 在 $3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4$ 范围内 (3: 1) 其不确定度为 0.61%。

当 $R_{eD}=5 \times 10^4$ ， $C=0.6081$ ； $R_{eD}=5 \times 10^3$ ， $C=0.6264$ ；平均值 $\bar{C}=0.6173$ ，即 R_{eD} 在 $5 \times 10^4 \sim 5 \times 10^3$ 范围内 (10: 1) 其不确定度为 1.5%，远不能满足用于贸易结算的一级表对不确定度的要求。同样，可膨胀性系数 ε 在超测量范围情况下，所引起的测量不确定度更不容忽视，例如，一台角接取压孔板流量计 ($D=100\text{mm}$, $\beta=0.5$) 测量过热蒸汽 (压力=4Mpa, 温度=400℃)， R_{eD} 在 $28 \times 10^5 \sim 2.8 \times 10^5$ (介质流速: 52~5.2 米/秒) 范围内，可膨胀系数 ε 的不确定度为 3.0%！因此要实现宽量程，就必须对流出系数 C 和可膨胀性系数 ε 进行实时计算。

由式 (2) 可以看流出系数 C 的计算很复杂。相关标准给出了计算流出系数 C 的迭代方法，所以流量积算仪表必须具有高速、高精度的运算功能和比较大的存储空间，以完成这些复杂的中间参数的补偿运算。

智能化宽量程的差压变送器和补偿功能更为完善的流量计算机的问世，使我们能拥有宽量程的智能化节流式流量计成为可能。归纳起来它应具备这些条件：1. 智能化的宽量程差压变送器 (差压范围为 100: 1)。2. 流量计算机不仅可根据温度、压力等工况参数对工况流量进行修正，还可以实时计算流出系数 C 、可膨胀性系数 ε 等。3. 差压变送器与流量计算机之间数字通讯 (Hart 协议) 除能满足全量程差压信号传递的准确性，而且能够自动迁移测量范围。符合上述条件的宽量程智能化差压式流量计，在满足准确度同时，流量测量范围可真正达到 10: 1 (或更宽)，节流式流量计的这一飞跃是多项技术进步的成果，它改变着人们对节流式流量计的传统认识。

3 配有双差变的超宽量程节流式流量计

采用智能化宽量程的差压变送器虽然可以大大提高节流式流量计的量程比，但是由于目前的差压变送器的量程比只能达到 100: 1，与之成开方关系的流量就只能达到 10: 1 左右。因此，当流量变化范围超出 10: 1 仅仅使用一台差压变送器就无法满足使用需要了。给同一节流装置配备两台差压变送器可以使节流式流量计的量程比达到 20: 1 甚至更高。

4 流量计算机（或流量计算转换单元）

仅仅给同一节流装置配备两台差压变送器要想达到 20:1 的流量测量范围还是不够的，要实现节流装置的超宽量程流量测量还必须使用能对节流件的流出系数 C 、流束可膨胀系数 ϵ 、压缩系数 Z 等参数作为动态量进行实时逐点运算，并且能够自动在两个差压信号间进行无缝切换的流量二次仪表，例如流量计算机和具有类似功能的流量计算转换单元。

流量计算转换单元是一款全新概念网络化流量计量设备，采用 DIN35 标准导轨安装方式，可方便地实现在 DCS、PLC 系统中植入高精度流量计算环节。其通过对现场信号的采集，根据标准公式对节流式流量计的流出系数 C 、流束可膨胀系数 ϵ 、压缩系数 Z 等参数进行实时逐点运算以实现宽量程，所使用的流量计算软件已通过国家权威部门认证。除此以外，还具备多路 4-20mA 全隔离信号输出功能，包括补偿温度输出、补偿压力输出、补偿流量输出、继电器输出等。具有 RS232/485、以太网等通讯接口，可采用 MODBUS、TCP/IP 协议进行网络通讯。

将节流装置和两个智能差压变送器做成一体，两个差压变送器的信号与流量计算机（或流量计算转换单元）连接，流量计算机（或流量计算转换单元）可以根据设置自动在两个差压信号间进行无缝切换，同时完成节流件的流出系数 C 、流束可膨胀系数 ϵ 、压缩系数 Z 等参数的实时逐点运算，使整个系统的测量量程比可达 20:1。

当用户使用双差变流量计算机（或流量计算转换单元）时，只需要在参数中设置以下参数：

- (1) **差变切换** 有 **禁止** 和 **允许** 两个选项，当设为 **禁止** 时则不进行差变切换始终使用高量段（或低量段）差压变送器的输出，设为 **允许** 时则可以根据切换设定值进行实时切换。
- (2) **切换设定值 P_a** 高低量段差压变送器进行切换时的差压值。当高量段差压变送器输出值低于切换设定值时，切换到低量段差压变送器的输出进行流量计算；当低量段差压变送器输出值高于切换设定值时，切换到高量段差压变送器的输出进行流量计算。

5 节流元件的选择

节流元件有多种形式，最为人们所熟知的莫过于孔板了。但孔板有一个明显缺点是入口直角锐利度在流体冲刷下易发生钝化，在孔板连续使用 2—3 个月时，钝化引起流出系数偏度在 1—3%，个别严重的在 4% 以上。采用标准喷嘴可以很好地解决这一问题。喷嘴的入口为光滑曲面，不易磨损，它的流出系数非常稳定，所以 JJG640-94 规程规定 ISA1932 喷嘴的检定周期为 4 年（孔板检定周期是 1 年）。再者，喷嘴在相同流量和相同 β 值条件下，阻力损失比孔板小得多（仅为孔板的 50-60%），有利于减小能耗。

近年来，各种各样的非标准差压式流量计依其各自的特点，在流量测量方面进行了积极的探索。但是它们还缺少足够的应用实践，特别是由于它们不能像标准节流件一样，有成熟且通行的国际、国家标准支持，非标准节流件的流出系数、流束可膨胀性系数都必须通过实流标定获得（所谓实流标定一般是指在无标准明确规定的情况下，被测介质和实验介质应为同一介质）。否则，容易产生贸易计量纠纷。

6 结束语

目前，由标准节流装置和流量计算机构成的流量测量系统，将经典技术与现代计算机技术相结合，克服了传统节流式流量计量程小的主要缺点。实践表明该通过二次仪表的软件技术，对节流装置的特性参数采取实时动态真实计算可以大大提高节流式流量计的量程范围，采用双差压变送器的结构测量氮气流量可以达到 20:1 的超宽量程，使节流式流量计这一经典而传统的流量仪表得到更广泛的应用。

参考文献：

- (1) 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》
- (2) JJG1003-2005 《流量积算仪》