

炼化企业气体计量
技术交流和研讨会论文

双量程差压流量计 在蒸汽计量中的成功应用

中石化股份天津分公司
二〇一〇年十月

双量程差压式流量计在蒸汽计量中的成功应用

中石化股份天津分公司计量中心 高文清

摘 要 本文针对天津分公司实际情况,分析了蒸汽计量网络检测率低的主要原因及解决办法,详细描述了双量程差压式流量计的结构原理及在蒸汽计量中的应用效果和使用注意事项,从而有效的提高蒸汽计量准确性。

关键词 双量程 蒸汽 计量 应用

能源计量检测数据是企业能源量化管理、实现成本核算的基础,是科学有效的能源管理体系的重要保证。加强能源计量工作,是企业可持续发展的重要物质基础,其中蒸汽是能源的重要组成部分之一,准确计量各种状态下的蒸汽量值是我们计量工作中着重解决的问题。

1 问题的提出

天津分公司有一套 1.0MPa 蒸汽管网系统,主管线是两条 DN600 的碳钢管,带有 31 条分支,用于公司各作业部及居民生活区的生产、生活用蒸汽。主管线计量表是传统的差压式标准孔板流量计,大口径分支计量表类型与主线表相同,小口径分支计量表选用涡街流量计。冬季管网检测率在 97%左右,夏季在 75%左右,造成夏季管网检测率低的主要原因如下:

1.1 由于居民生活区采用蒸汽供暖,因此冬夏季蒸汽总量相差较大,夏季每月一般在 3 万吨左右,冬季在 11 万吨左右,导致总管计量表在大管径小流量条件下计量不准,甚至计量不上。

1.2 供芳烃部的分支蒸汽总管口径是 DN500,分别供大芳烃和 PTA 两套装置用蒸汽,由于 PTA 装置可以自产部分蒸汽,因此蒸汽用量变化比较大,经常出现从 2t/h 到 90t/h 变化不等的现象,造成小流量条件下计量不准,甚至计量不上。

分析小流量条件下计量不准的主要原因是由于引压管线较长,很容易引入几到十几毫米水柱的差压信号传递失真,这点传递失真的数值,对于高量程段来说,引起的误差可忽略不计,而对于低量程段来说,引起的误差非常大,因为流量很小的时候,节流装置送出的差压也可能总共只有几毫米水柱。例如,满量程差压为 100kPa 的差压式流量计,在流量为 3%FS 时,节流装置送出的差压只有 9mm H₂O。

针对第一种情况,解决问题的办法可以采用“冬夏季”运行方式,即:在不改变节流件和取压装置的情况下,冬季用大量程差压变送器,夏季用量小的时候更换小量程差压变送器。这种解决办法会有一定效果,但由于引压管比较长,在小流量情况下,容易产生差压信号传递失真导致计量不准,且开始更换变送器的时间不好掌握,维护操作比较麻烦。也可以采用量程范围比较大的涡街流量计,但大口径涡街表性价比高,拆装检时的工作量很大。经过多方调研,我们认为选用双量程差压式流量计(节流件为标准喷嘴)可以彻底解决蒸汽管网中存在的大管径且流量变化范围比较大的蒸汽计量问题,提高计量检测率。

2 双量程差压式流量计的结构和工作原理

所谓“双量程差压式流量计”就是在传统的“差压式流量计”引压管上再增加一个低量程差压变送器,用于准确测量小差压信号,增大流量计的有效测量范围。其工作原理不变,其技术含量主要体现在低流速情况

下避免产生差压信号传递失真及二次仪表的技术开发，特别是软件功能的开发，使得影响流量计测量精度和量程比的相关计算参数（如流出系数 C 、流束可膨胀系数 ϵ 、介质密度等）能够实现实时计算，提高流量计的性能。

差压式流量计的结构组成包括节流装置、信号管路、差压变送器及二次仪表。常用的标准节流件有标准孔板和标准喷嘴。常用的标准取压装置有角接取压装置和法兰取压装置。其中角接取压适用于孔板和喷嘴，而法兰取压仅用于孔板。

差压式流量计的工作原理是：如果在充满流体的管道中安装一个流通面积小于管道截面积的阻力件（节流件），则流体在管道中流动时，由于截面积突然减小，必将导致流速增加。根据能量守恒定律，结果必然导致静压能下降，因而，在节流件的上下游之间，产生了静压差 ΔP ，这个静压差的大小和流量有关，可以通过此静压差来求流量。

双量程差压式流量计外形结构如图 1 所示。与传统的差压式流量计相比，它增加了一个低量程差压变送器，同时优化了取压方式，避免了差压信号的传递失真，增大了测量范围。例如一台差压式流量计，0~100t/h 对应 0~100kPa，若增设一台 0~3kPa 低量程差压变送器（对应流量 0~17.3t/h），从引用误差的概念来计算，小流量时的差压测量准确度提高 33 倍，其保证准确度的测量范围是 3~100%。



图 1 典型的双量程差压式流量计外形结构

3 双量程差压流量计的准确度分析

双量程节流式差压流量计是差压式流量计的一种，其一般表达式为^[2]

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \epsilon_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \sqrt{2\Delta p \cdot \rho_1} \quad (1)$$

式中 q_m —— 质量流量，kg/s；

C —— 流出系数；

β —— 直径比， $\beta = d/D$ ；

D —— 管道内径，m；

- ε_1 —— 节流件正端取压口平面上的可膨胀性系数；
- d —— 工作条件下节流件的开孔直径，m；
- Δp —— 差压，Pa；
- ρ_1 —— 节流件正端取压口平面上的流体密度，kg/m³。

3.1 流出系数 C 的影响

流出系数 C 的定义是实际流量和理论流量的比值，在一定的安装条件和相同的雷诺数条件下，几何相似的节流装置 C 值是相同的。C 值由实验方法确定，可采用数理统计的回归分析法确定 C 的函数关系。典型标准孔板流出系数随雷诺数变化曲线如图 2 所示。

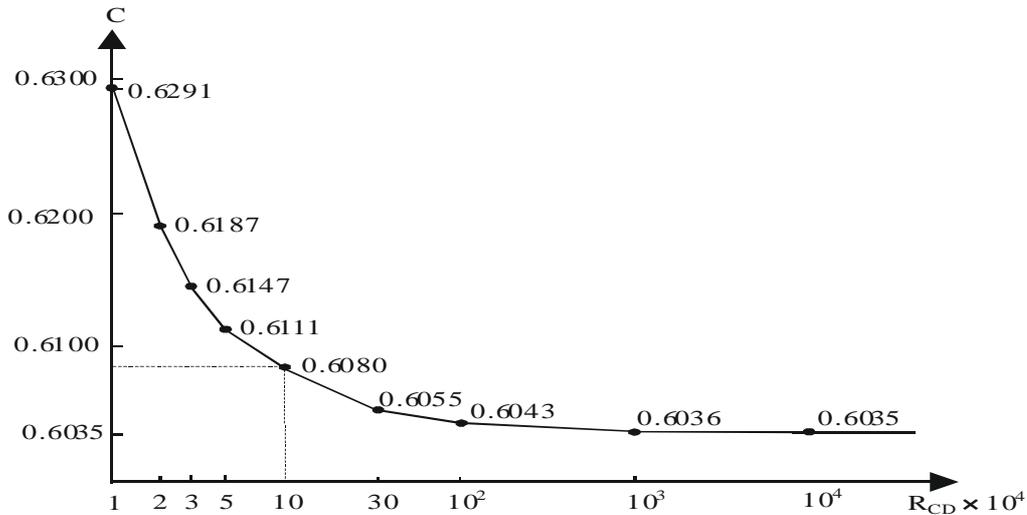


图 2 典型标准孔板流出系数随雷诺数变化曲线 (β = 0.6)

在图 2 中，随着雷诺数 Re_D 的减小，流出系数 C 逐渐增大。在双量程差压流量计的低量程段，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。对 C 进行实时计算或用折线进行补偿，能使低流量段精度得到提高。

3.2 可膨胀性系数 ε 的影响

可膨胀性系数 ε 数是为了弥补可压缩流体（气体、蒸汽）在节流件的下游由于静压降低而出现流束膨胀，导致节流装置的输出（差压）- 输入（流量）关系之间存在的偏差。ε 值的大小与被测介质的等熵指数和节流件正、负端取压口流体静压力有关，可根据节流件型式不同（标准喷嘴或孔板）选择不同的计算公式或查表求得。

在双量程差压式流量计中，流体流量在广阔的范围变化，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 值的变化很可观，对其进行在线校正，意义比流出系数 C 的补偿更大。

3.3 差压 p 的影响

现在差压式流量计中所配用的差压变送器，大多已达到 0.065 级。不少人以为 0.065 级差压变送器就能获得 ±0.065% 的差压测量不确定度，测量精确度足够了。实际上，因为差压变送器的精确度等级是用

引用误差表示的,只有在满量程附近才能得到 $\pm 0.065\%$ 的不确定度,其余各点都达不到如此好的不确定度,而且测量值(MV)越低,不确定度越大。因此在小流量下,选用小量程差压变送器才能保证测量准确。

在提高差压变送器准确度并选用小量程差变的同时,确保传递到差压变送器的压力不失真,是测量准确的关键。对于在常温条件下以干气体形态存在的流体,一般不会出现差压信号的传递失真(管道堵塞和泄漏点存在泄漏的情况除外),而湿气体和蒸汽,最容易发生传递失真。引起差压信号传递失真的原因有很多:节流装置根部阀选型和安装不合理;两只冷凝罐高度的微小差异;引压管坡度不合理;引压管和差压变送器高低压室排气(被测流体为湿气体时,则为冷凝液)不彻底;引压管线较长时,正负引压管所处的环境存在差异,导致两根管内的液体(如蒸汽的凝结水)温度不一致等,都会引起差压变送器测量到的差压值与节流装置所产生的差压值不一致。设计、制造、安装和调试时,应特别留心。

3.4 密度 ρ 的影响

对于气体和蒸汽介质而言,介质密度随着实际工作温度、压力的变化而变化,因此用于交接用流量计量仪表必须采取密度补偿措施,即:把实际工作状态下的温度、压力仪表输出信号引入二次仪表中,二次仪表自动采用查表法或公式法计算出实际工作密度,参与流量计算。否则当设计温度压力与实际温度压力不一致时,将导致测出的流量不能真实反映其工作状态下的实际流量,计量的准确性将无从谈起。

4 双量程差压式流量计应用中的注意事项

双量程差压式流量计能够准确计量小流量的关键是在保证差压信号传递不失真的条件下,二次仪表应具有流出系数 C、流束可膨胀系数 ϵ 、介质密度的实时补偿的功能,根据实践经验,还要注意以下几个方面的要求:

4.1 要保证足够长的直管段,如果直管段无法保证,应考虑加装整流器。在选型时把现场条件、流体类型、工艺参数准确地提供给设计生产者。

4.2 安装前应对差压变送器进行实验室校准,在投用前应消除差压变送器的静压误差。当变送器安装到现场并通过三阀组使正负压室通入相同的实际使用压力(静压)得到的零位输出偏离实验室校准时的零位值,称为静压误差。静压误差在全量程范围内总是在起作用,虽然小信号切除功能能将这一矛盾掩盖掉,但是其影响客观上是存在的,尤其是在相对流量较小时,影响更可观,因此一定要进行现场调零,消除静压误差。特别注意的是:对于带有开平方功能或小信号切除功能的差压变送器,在检查静压误差时,一定要将小信号切除功能暂时取消,以观察真正的零位。

4.3 投用前应按照国家计量检定规程 JJG 1003-2005《流量积算器检定规程》的要求,对二次仪表进行实验室校准,包括高、低量程基本误差的检定,温度压力补偿功能的校验,流出系数补偿功能的校验,可膨胀性系数校正功能的校验。校验步骤参考生产厂家说明书。

4.4 对于充灌隔离液(防冻液)的差压流量计,启动前(在打开孔板取压阀之前),必须先将平衡阀关闭,以防止隔离液冲走,冻坏仪表;停运时,必须首先关闭取压阀和三阀组的正负压阀,再打开平衡阀,使仪表处于平衡状态。另外还要确保正负两个隔离器中的隔离液液位高度相等,如果运行中由于隔离液泄漏或误开平衡阀,导致隔离液液位高度不等,则由于被测流体和隔离液的密度不同,实际测出的差压值将会产生误差。

4.5 流量计用于测量蒸气时，要考虑相变对测量的影响，相当多的蒸气是微过热蒸气或饱和蒸气，在输送过程中可能会有水凝结，成为两相流，在目前两相流测量还未解决的情况下，要确保单相流就必须在流量计前直管段前附近加装疏水器，并确保疏水器工作正常。

4.6 要注意绝对压力和表压力的正确使用。蒸汽密度表中的压力以绝对压力表示，工程上习惯使用表压力，二者之差为当地全年平均大气压，一般压力变送器或普通压力表显示的都是表压力。如果设计计算时取绝对压力，二次表组态时输入了表压力，将会造成很大误差。

5 双量程差压式流量计在蒸汽测量中的应用效果

天津分公司的蒸汽计量网络是由热电部生产蒸汽分别送给公司其它各部使用。各部入口的蒸汽计量仪表维护及数据管理由计量中心集中管理。综合上述分析，我们在 2008 年公司装置大修期间将两条总管计量表和供芳烃部分表全部改成了“双量程差压式流量计”，同时强化了数据管理，充分利用信息化技术，用计算机实现介质流量、温度、压力、密度等历史数据的实时监控显示，发现问题及时处理，以便减少计量损失。

改造前后 2007 年和 2009 年每月同期的蒸汽计量数据比对情况见表 1，比对趋势见图 3。

表 1 每年同期 1.0MPa 蒸汽计量数据汇总

时 间	总量 (万吨)	检测率 (%)	时 间	总量 (万吨)	检测率 (%)
2007 年 11 月	9.72	95.63	2009 年 11 月	10.31	97.11
2007 年 12 月	12.92	96.42	2009 年 12 月	11.14	98.78
2007 年 1 月	13.52	96.91	2009 年 1 月	12.29	97.87
2007 年 2 月	10.58	97.36	2009 年 2 月	11.53	98.60
2007 年 3 月	9.79	95.24	2009 年 3 月	9.03	96.78
5 个月平均值	11.31	96.31		10.86	97.83
2007 年 6 月	2.46	74.56	2009 年 6 月	3.33	94.53
2007 年 7 月	2.73	75.92	2009 年 7 月	3.58	93.28
2007 年 8 月	2.42	76.35	2009 年 8 月	4.01	94.94
2007 年 9 月	2.51	75.87	2009 年 9 月	5.74	96.12
4 个月平均值	2.53	75.67		4.16	94.72

由表 1 和图 3 可以看出，在每年的夏季 6-9 月份，2007 年平均用量 2.5 万吨，平均检测率是 75.67%，在小流量下蒸汽的检测率很低，2009 年平均用量 4.2 万吨，平均检测率是 94.72%，改造前后蒸汽检测率提高了 19.05%；

在每年的冬季 11-3 月份每月用蒸汽量在 11 万吨左右，2007 年平均检测率是 96.31%，2009 年平均检测率是 97.83%，改造前后检测率变化不大。

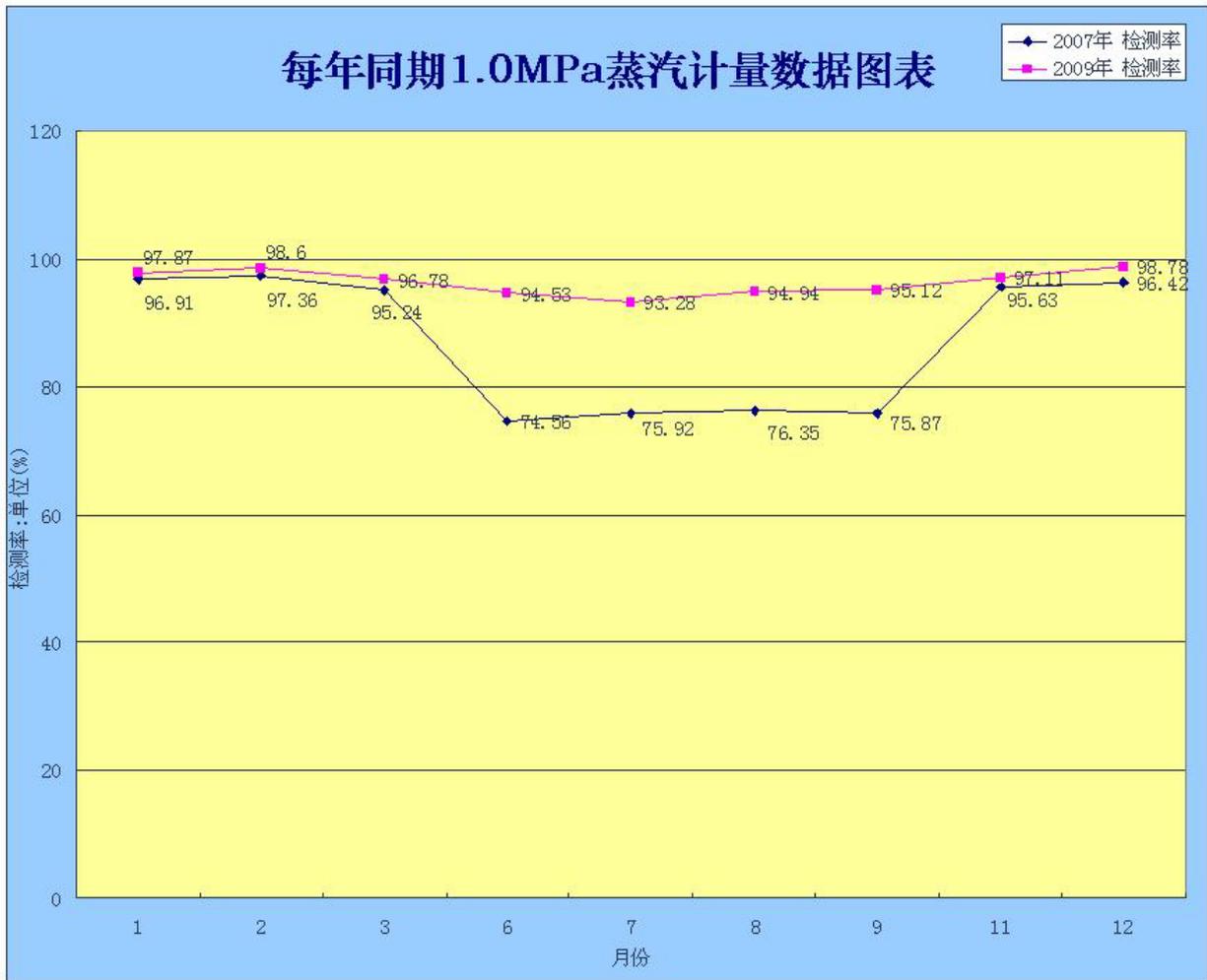


图3 每年同期 1.0MPa 蒸汽计量数据比对趋势

5 结束语

综上所述,智能化的双量程差压式流量计的二次仪表具有对可膨胀性系数 ϵ 、流量系数 α 及温度压力的实时补偿功能,他的取压装置设计结构合理,可以避免差压信号的传递失真,再配套使用高准确度的差压变送器,可以很好地解决大管径小流量计量不准的难题,在天津分公司 1.0MPa 蒸汽管网应用后取得了明显的经济效益和社会效益。

参考文献

1. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧 第二版. 北京: 化学工业出版社. 2003, 250 ~ 257
2. ISO5167-2(2003E) Measurement of fluid by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full-part2: orifice Plates
3. GB/T 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。