

3051SMV 多参数变送器在天然气流量测量中的应用

王国永¹ 阳浩国² 董永亨³

(1. 艾默生过程控制有限公司, 西安 710065; 2. 艾默生过程控制有限公司, 上海 201206; 3. 西安理工大学, 西安 710048)

摘要 介绍了 3051SMV 多参数变送器和差压节流装置在测量天然气中的应用。对传统差压变送器测量差压流量时不补偿或部分补偿进行了计量误差分析, 并对两者之间的特点进行了对比。分析了 3051SMV 实现高精度流量测量的基本原理, 介绍了 3051SMV 多参数变送器开放、兼容、强大的应用能力, 在天然气及湿天然气测量中的优势和发展机遇。

关键词 天然气 3051SMV 多参数变送器 全补偿 高精度测量 流量计量

中图分类号 TH862 **文献标识码** B **文章编号** 1000-3932(2013)03-0412-04

仪器仪表在工业领域和许多科技领域中, 是信息获取、传输及处理的重要手段, 是保证产品质量、提高劳动生产率、实现生产过程自动化的重要工具。当前仪器仪表技术向着计算机化、网络化、智能化、微型化和多功能化的方向发展。3051SMV 多参数变送器采用高性能微处理器和多个传感器, 在仪表自身应用软件的支持下可实现差压测量、温度检测、压力检测、补偿运算、瞬时流量计量及累积流量计量等诸多功能。它有效地提高了测量精度, 实现了一表多用, 对天然气这种高价值的气体, 提高了贸易交接中的利润。

1 差压流量计的测量原理和系统组成

在 20 世纪初, 孔板流量计应用于天然气流量测量, 经过一个世纪的发展, 它已成为全世界最主要的天然气流量计。孔板流量计测量技术具有历史悠久、应用范围广、结构简单、使用寿命长及价格低廉等特点^[1]。在国际上, 孔板流量计被权威机构认可, 如 1495 型孔板流量计已被美国天然气协会 (AGA) 与美国石油学会 (API) 批准用于贸易交接 (监管交接) 的应用场合。正是由于上述原因, 在今后相当长一个时期内, 孔板流量计仍是天然气计量的主要仪表。

充满管道的流体流经节流件时, 流体受节流件的影响, 靠近管壁的流体向中心加速, 平均流速逐渐升高, 流束将在节流件后形成局部收缩, 因而流速增加, 静压力降低, 由于流体的惯性使得流束经孔口后有射流现象。于是在节流件前后形成了

压差。在测量条件相同的情况下, 流体流量越大, 产生的压差越大, 这样可依据差压来衡量流量的大小。流体通过节流装置 (以孔板为例) 的流动情况如图 1 所示。

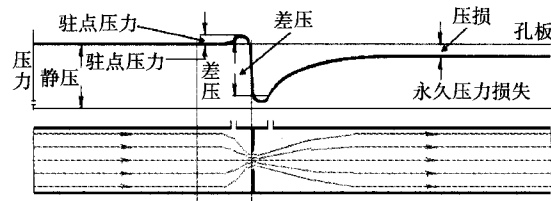


图1 孔板附近的流速和压力分布

这种测量方法是以流体连续性方程 (质量守恒定律) 和伯努力方程 (能量守恒定律) 为理论基础的, 流量方程如下:

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

式中 C ——流出系数;
 d ——工作条件下节流件的孔径, m;
 q_m ——流体的质量流量, kg/s;
 β ——直径比, $\beta = d/D$;
 Δp ——差压, Pa;
 ε ——可膨胀性系数;
 ρ ——流体密度, kg/m³。

传统的差压流量计需要由节流装置、引压管线、差压变送器和流量积算仪组成一个流量测量

系统,工程上常用近似算法进行流量计算,这是一种不补偿的运算方法。对于气体流量的测量,由于密度会受温度、压力的变化影响较大,所以测量误差较大。后来发展到测量差压的同时还配置压力变送器、温度变送器进行部分密度修正,但 k 系数仍然被假设为一个常量,这也是目前被广泛应用的测量计算方式,这仍然是传统差压意义上的部分补偿计算方式。

典型的传统差压流量计由节流装置、引压管线和差压变送器组成,如图2所示。

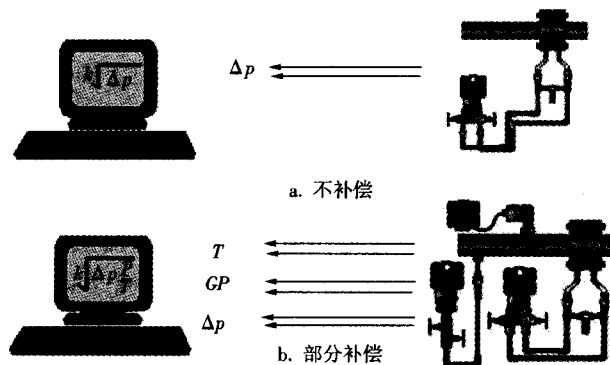


图2 传统的差压流量计组成,不补偿与部分补偿的对比

由于流量测量是个动态的过程,传统算法 $q_m = k \sqrt{\Delta p}$ 中对影响流量变化的 C 、 E 、 ε 、 d 、 ρ 都被近似为常量,全部合成到一个常量系数 k 值进行流量运算,殊不知管道中由于温度、压力、流量、密度的不断变化,流体的雷诺数 Re 及 β 等量也在动态地变化,从而影响了流出系数 C 、 E 、 ε 、 d 、 ρ 的变化,这些值应该是一个变量,这种被简化了的算法带来了较大的误差^[2]。

2 3051SMV 多参数变送器的主要原理

针对传统差压流量测量系统中存在的缺点和不足,Rosemount 研发的 3051SMV 多参数变送器,可以将节流装置(如 485、405、1195)和差压变送器设计成一体化安装的差压流量计(如 3051SFA、3051SFC、3051SFP),缩短了引压管线,减少了故障率,改善了动态特性,方便安装使用。在一体化直接安装的基础上,通过增加温度传感器、压力传感器,实现了差压、温度和压力信号的实时采集。对影响流量测量的流出系数 C 、气体膨胀系数 ε 、渐近速度系数 E 和流体操作密度 ρ 进行了全补偿运算,将影响精确测量的这些因素降低到最低程

度,形成了 3051SMV 多参数变送器的设计思想。

对式(1)进行推导,设 $\sqrt{1-\beta^4} = E$, $\pi/4$ 及 2 的平方根合成到系数 N 中,则式(1)可演变成图3的公式,对该公式进行全面的分析,将影响流量测量的因素分析出来。

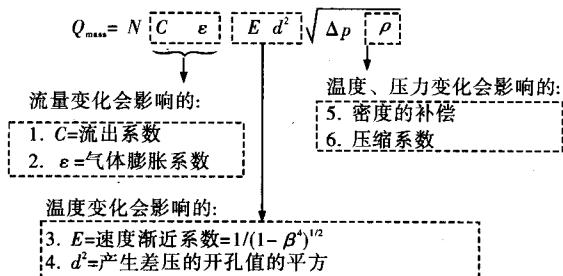


图3 式(1)演变后的公式

2.1 流量系数 α (流出系数 C) 的补偿

流量系数 α 是针对流体速度分布(雷诺数)的影响和节流孔板入口边缘的尖锐度、同心度、测量管段内壁的粗糙度以及取压口的位置对理论流量计算公式的修正系数而通过试验测定的^[3]。对于已经标准化的节流装置,由经验公式计算得出:

$$\alpha = C/(1-\beta^4)^{1/2} = CE \quad (2)$$

式中 C ——流出系数,实际流量与理论流量之比;

E ——渐近速度系数, $E = 1/(1-\beta^4)^{1/2}$ 。

流出系数 C 是管道雷诺数 Re 和直径比 β 的函数, C 随着 Re 的不同而不同,厂家在做选型计算时通常是按常用流量值计算的流出系数。当流量发生变化,特别是当流量降低,实际流量接近仪表最小精度流量时,流出系数会显著变化。 C 的变化特性如图4所示。

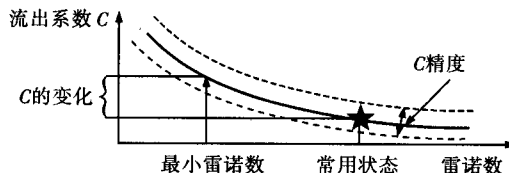


图4 流出系数随雷诺数变化特性图

由于 3051SMV 多参数变送器的流出系数 C 值采取实时补偿运算,使其附加误差减小到 0.01%,远远优于差压节流装置、差压变送器和流量显示仪组合的传统测量方式。在传统的差压流量测量中,要将 C 当作变量来处理,是极其困难的。为了使实际使用流量范围内的系数变化影响尽可能小,在规定的范围内,限制了流量计的使用

下限,因为流量越小, C 与常用流量系数偏差越大,当超出流量范围时,其精度便不能保证。在传统意义上讲,孔板流量计的量程比都在1:3~1:4附近^[2]。3051SMV多参数变送器使差压式流量仪表获得了一次性能的全面提升,它允许在更宽的雷诺数范围内逐点计算流出系数,相比传统差压类流量仪表,量程下限能向下扩展,可测范围内可以达到8:1~14:1。

在石油天然气工程领域,天然气的流量及物性参数等会随开采年份不同、工况条件不同有很大差异。采用传统孔板流量计测量存在测量范围窄、测量精度低,需在工况变化时更换不同的孔板元件等缺点^[1]。近年来,随着微电子技术、计算机技术、新材料和新工艺的迅速发展,3051SMV多参数变送器已大大提高其性能及可靠性,其差压量程比可达到200:1。

2.2 3051SMV全补偿运算中温度压力的补偿

一般气体流量测量时的温度压力补偿,就是将传感器所检测到的流量数据,根据被测气体当时的工况温度、工况压力,通过一定的公式和方法得到具有计量结算意义的标准体积流量的过程,简称温压补偿^[4]。

对孔板流量计来说,密度是影响流量计特性的主要参数之一。由于差压式流量传感器的测量信号(差压值)与被测流量不成线性关系,其特点是测得的质量流量与密度有关系,体积流量也和密度有关系,而且密度和差压信号处于计算式中的同等位置上,而密度又是温度、压力的函数,现场压力、温度波动是不可避免的,由此引起的物性参数的变动是使用时产生附加误差的主要原因之一。由于天然气是可压缩流体,其密度受温度、压力的影响较大,为了保证精确度,需要采用温压补偿。

国外工程师通过实验得出结论,不进行温度、压力补偿,由于密度的变化对流量测量精度造成的影响会达到3.6%,如图5所示。

2.3 压缩系数 Z 的补偿

气体压缩系数也称压缩因子,是实际气体性质与理想气体性质偏差的修正值,通常用 Z 表示, $Z = PV/nRT$ 。 n 为气体的物质的量; R 为摩尔气体常数; P 为气体的绝对压力; V 为气体的体积; T 为热力学温度。 Z 偏离1越远,气体性质偏离理想气体性质越远。 Z 在实际气体状态方程中出现。凡在气体流量的计算中必然要考虑压缩系

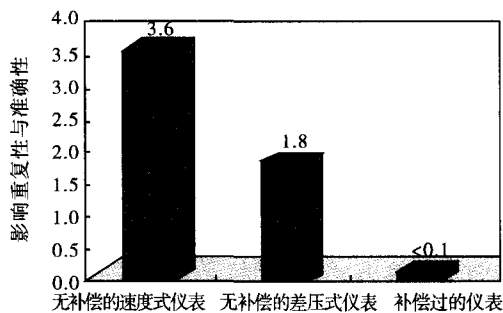


图5 密度变化对流量测量精度的影响

数。在计量天然气流量时由于要求计算准确度高,通常需要考虑压缩系数。

在3051SMV多参数变送器中,用户不需要做复杂的运算,只要提供天然气的组分,仪表根据传感器检测的过程压力和过程温度就可计算出天然气在不同流量测量点(操作压力、操作温度)上的压缩系数,并将其参与全补偿运算,保证了流量的高精度测量,在组态软件EA(Engineering Assistant™)中可以通过切换界面查看不同操作压力、操作温度时的操作密度和此时的压力系数值。

限于篇幅,只列出流出系数、温压补偿和压缩系数3个主要影响差压流量测量精度的补偿原理。3051SMV多参数变送器结合差压类一次元件,同时测量天然气的3种过程变量(差压、压力、温度),执行所有流量方程参数的“实时”计算,包括密度、粘度、速度、雷诺数、 β 比率、流量系数、渐进速度和气体膨胀系数,通过对25种不同的参数进行补偿而达到了比没有经过补偿的差压流量高达5倍的性能。

3 3051SMV多参数变送器配合差压类一次元件的应用

3051SMV多参数变送器几乎可以和国内外所有的差压类一次元件配合使用,包括平均皮托管、调整型孔板、标准孔板、文丘里、喷嘴及V锥等都被收集到一次元件组态的可选项目中。做SMV组态文件时只需要选中所对应的一次元件名称,输入管道内径和一次元件的相关几何尺寸即可。数据库中内置的算法会根据所选中的一次元件做相应的计算。这种开放的设计平台,不会局限于用户只能选用Rosemount自己的一次元件,还可以兼收并蓄整个行业的应用需求,将现有非补偿的体积 Δp 流量测量替换成压力和温度补偿的标准体积流量或质量流量。如天然气站原来

使用高级孔板阀测量天然气的流量,现在进行技术改造时,只需要增加一台 3051SMV,一个 Pt100 热电阻进行连接和组态后就可以实现天然气流量的高精度测量。

3051SMV 多参数变送器的组态软件 EA 中包括了超过 120 种介质的密度、粘度、压缩系数和其他的与介质相关的数值,涵盖了石油、化工、电力、食品及卫生等众多测量领域的介质名称。对天然气等多组分且组分变化的测量介质,可根据用户提供的天然气组分表进行自定义组态,组态后可根据天然气的组分、操作压力、操作温度,按其物理性质计算出天然气的操作密度、基准密度、操作状态下的压缩系数、基准条件下的压缩系数、粘度、等熵指数、分子量和单位体积的热值。

传统的仪表测量单一过程变量,而 3051SMV 多参数变送器可同时测量用于计算天然气流量的所有过程变量。实现一个设备测量 4 个值(q_m 、 Δp 、 p 、 T),可以在仪表自带的液晶显示器上循环显示各个数值或通过 HART 协议在上位机上监控变量查看实时数据,也可配合 333 HART Tri-Loop 实现 Δp 、 p 、 T 3 个变量 4~20mA 的独立输出。

3051SMV 多参数变送器配合调整型孔板 1595 或 405C 实现湿天然气的流量测量。在开采过程中,天然气总是伴随着液态烃、游离水和压缩蒸汽产出的,这样产出的天然气称为湿天然气或多相天然气。孔板流量计适用于经过初步分离的外输湿天然气计量。实践表明,同心锐孔板测量湿天然气时,测量的压差总是比气相单独流过时的压差高,这是气体夹带液体通过流量计时,由气液界面的能量损失而引起的。调整型孔板 405C

或 1595 在一个板上开 4 个孔,可以尽量降低流体流通的高度,减少死角,流体较容易带走孔板前底部形成的积液,减少气液界面的能量损失,降低测量误差。调整型孔板测量湿天然气的应用在国外已经有所研究。调整型孔板配合 3051SMV,在 EA 软件中定义天然气的组分时根据天然气成份检测报告中的组分定义好水分的百分比,组态好后进行测量,能够达到较好的效果。

4 结束语

3051SMV 多参数变送器是基于差压流量技术优化与技术创新的研究。全补偿技术可以使计算过程更快捷、精准。可使得控制或计量过程中的流量优化配置很容易做到。

3051SMV 多参数变送器测量差压、静压和温度时,用户只需要提供天然气的组分、一次元件的类型、管道尺寸,就可计算出密度、速度、 β 值、气体膨胀系数、流量系数、渐进速度系数和雷诺数,可以让用户得到质量流量、标准体积流量、累积流量、差压、静压、温度和能量值。

参 考 文 献

- [1] 韩延坤,范彦平,管亚儒,新型智能孔板流量计在天然气测量中的应用[J]. 石油矿场机械,2004,33(2):71~72.
- [2] 王国永,一体化智能孔板流量计的探讨[J]. 自动化与仪器仪表,2008,(3):59~60,77.
- [3] 刘清林,气体流量计量的全补偿算法[J]. 燃气轮机技术,2002,15(3):37~43.
- [4] 任玉峰,差压式流量传感器测量一般气体流量时的温度压力补偿方法[J]. 工业仪表与自动化装置,2006,(6):56~58.

艾默生为阿拉斯加发电厂的 GE Frame 6B 燃气轮机更换控制系统

艾默生过程管理公司成功使用 Ovation 控制技术更换了 Nikiski 发电厂的 GE Frame 6B 燃气轮机原有控制系统。艾默生成为能够改造 Mark VI 控制系统的少数几家供应商之一。Nikiski 发电厂位于阿拉斯加安克雷奇的西南地区,属 Homer Electric Association(HEA)所有并由其运营。

该工程分为两期进行,此次控制系统更换项目属于第一期的一部分,该工程旨在将 40MW 单循环电厂转型为 60MW 联合循环电厂。该工程能够将发电能力提高 45%,并将燃料消耗的增幅保持在最低水平,从而使 HEA 在满足基奈半岛的电力需求的同时能够节省成本。在现有 HRSG 中实现管道燃烧功能可将发电量进一步提高 20MW,从而使发电总量达到 80MW,但是燃料消耗量也随之增加。

除更换 Mark VI 燃气轮机的控制系统之外,艾默生还将 GE EX2100 励磁系统集成到新的 Ovation 系统中,从而使 Ovation 系统可远程控制励磁系统的功能。艾默生还提供了仿真解决方案,可用于测试和验证控制逻辑,也可用于对操作员进行 Ovation 系统的使用培训。同时提供远程调度功能,帮助 HEA 提高运营灵活性和效率。

艾默生针对第一期工程的综合解决方案还包括其推出的 AMS Suite 预测维护软件以及 CSI 6500 Machinery Health 监测系统,前者有助于提高对智能现场设备的管理效率。通过提供有关预测、保护和性能监控方面的全面实时信息(这些信息实现了与 Ovation 控制系统的完全集成),CSI 6500 可以帮助 HEA 及时检测到汽轮机出现的问题,防止问题严重化。