

基于 HART 总线的双量程差压流量计

张宝良 中石化股份天津分公司 (天津, 300271)

纪波峰 纪纲 上海同欣自动化仪表有限公司 (上海, 200070)

提 要 差压式流量计由于其自身固有的特点, 使得其量程比不够宽广。采用增设一台低量程差压变送器的方法能有效地扩大量程比。但仍沿用 4~20mA 模拟量传送信号, 由于要经过 D/A 和 A/D 两次转换, 将要损失 0.1%FS 的准确度, 改用数字信号传送后, 挽回了这一损失, 使流量信号处理成为无差运算。不仅提高了系统准确度, 减小零漂, 降低仪表功耗而且节约电缆投资, 节省工程开支。这一方法也同样适用于单量程差压流量计。

关键词: 差压流量计 智能差压变送器 双量程 不确定度 量程比 HART 总线

The dual range differential pressure (DP) flowmeter based on HART bus

Zhang Baoliang, SINOPEC tianjin branch (Tianjin 300271, China)

Ji bofeng Ji gang, Shanghai Tontion Automation Instrumentation Co., Ltd. (Shanghai 200070, China)

Abstract: The differential pressure (DP) flowmeters have a low turndown ratio because of its own feature. To increase its turndown ratio, a lower range DP transmitter is added. But is use 4-20mA analog signal, it should converts D/A and A/D, and will loses accuracy by 0.1%FS. After using digital signal, this loss is avoided, flow signal run in a no error operation. This method improves system accuracy, reduces zero drift, decreases power consumption, saves investment of project. This method is also available in single range differential pressure (DP) flowmeters.

Key words: differential pressure (DP) flowmeters; smart DP transmitter; dual range; uncertainty; turndown ratio; HART bus

1. 差压流量计低量程点测量不准的原因

差压式流量计虽然应用很广泛, 但存在一个固有缺陷即量程比不理想, 这是由差压式流量计的测量原理决定的。差压式流量计的工作原理可用简化公式 (1) 来描述^{[1][2][3]}。

$$q_m = k\sqrt{\Delta P} \quad (1)$$

式中: q_m —— 质量流量, kg/s;

ΔP —— 差压, Pa;

k —— 系数。

这一关系如果用曲线来描述则更为明了。

在图 1 所示的流量与差压的关系中, 在 $q_m=100\%FS$ 时, $\Delta P=100\%FS$; 在 $q_m=50\%FS$

时, $\Delta P=25\%FS$; 而在 $q_m=10\%FS$ 时, 差压只有差压上限的 1%。

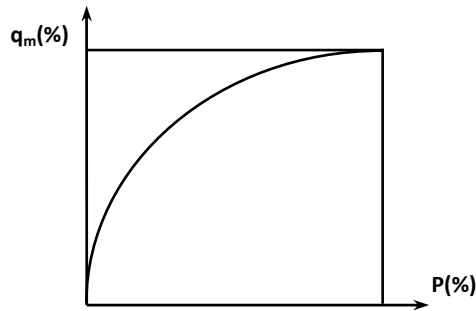


图 1 流量与差压的关系

现在的差压变送器准确度已经达到非常高的水平。0.065%准确度等级的差压变送器已在广泛使用，但并不是在各种情况下使用都很满意。

因为差压变送器的准确度等级是用引用误差表示的，将引用误差换算到示值误差就要除以测量值^[6]，例在 1%FS 测量点，

$$\begin{aligned} \text{示值误差} &= \text{引用误差} / \text{测量值} \\ &= \pm 0.065\% \text{FS} / 1\% \text{FS} \\ &= \pm 6.5\% \end{aligned}$$

而差压式流量计的系统不确定度是由六个因素合成的^{[7][8]}，仅差压测量一项最大误差已经有 $\pm 6.5\%$ 了，那还有什么准确度可言呢？

在双量程差压流量计中，根据需要配有两台差压变送器，在流量量程高段，高量程差压变送器输出有效；在量程低段，低量程差压变送器输出有效，从而提高量程低段的测量精度，扩大量程比^{[1][2]}。这一方法的效果不仅在理论上得到论证^[3]，而且在流量标准装置上进行实流检定中得到验证^[4]。

例如在用双量程差压流量计测量蒸汽流量时，取高量程差压变送器为 0~100kPa，取低量程差压变送器为 0~3kPa，从而将量程低段差压测量精度提高 33 倍，满足系统精度的需要。

双量程差压流量计的典型结构如图 2 所示。信号连接如图 3 所示。

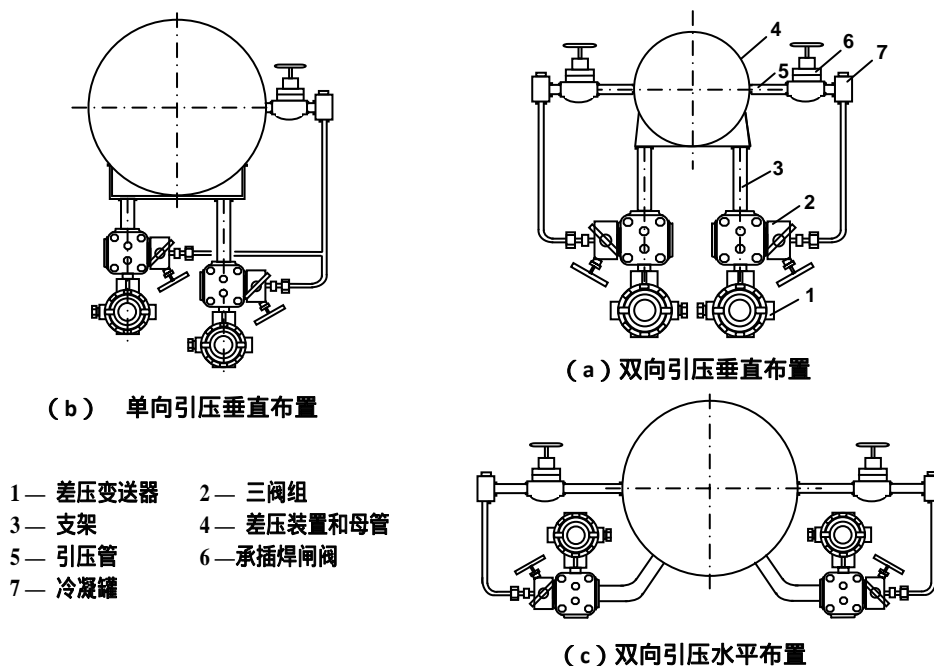


图 2 双量程差压流量计的典型结构

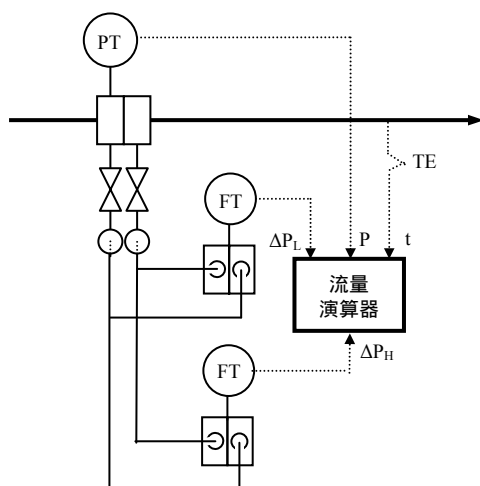


图3 用4~20mA信号传送信号的双量程差压流量计

2. 为什么用数字通讯的方法传送差压信号更合理

在流量测量系统中,人们习惯用4~20mA信号传送信号,这个已经使用了几十年的信号制大家未感到有什么不好,因为流量演算器和DCS的模拟信号输入通道大约有0.05%FS的精度,一般认为精度足够了。

自从现场总线变送器面世后,人们的认识产生了飞跃,认为用数字量传送这些信号更加好,更准确,还节省大量电缆及工程费用。这是模拟技术到数字技术飞跃的一个组成部分。在智能差压变送器等现场变送器中,信号的处理和显示都以数字量运算的方式进行,运算精度极高,但是为了最终以4~20mA的方式输出,必须将此数字量转换成4~20mA,即D/A转换。此信号送到流量演算器或DCS的AI通道,又必须再转换成数字信号才能进行进一步计算、处理,这一环节即A/D转换。这两次转换大约要损失0.1%FS的精度。相对流量比较大的时候,这0.1%FS的损失算不了什么,但在相对流量较小时,这0.1%FS的影响就非常之大。

例如在20%FS流量测量点,0.1%的引用误差换算到示值误差就变成2.5%,相应的差压测量不确定度为1.67%^{[7][8]},对差压式流量计的流量示值影响约为0.83%。如果相对流量更加小,则影响更可观。采用数字通信的方法传递这些信号后,流量演算器就变成了无差运算。

3. 基于HART总线流量测量系统的组成

基于HART总线的流量测量系统由智能差压变送器(一台或多台)、智能压力变送器、智能流量演算器、智能温度变送器(或温度传感器)等组成^{[11][12][13]},其系统图如图4所示。其中温度信号可选智能温度变送器挂在HART总线上,为了节省投资也可采用Pt100信号直接送入流量演算器。智能流量演算器中的24VDC电源经隔离电阻为每个智能变送器供电,每台变送器消耗4mA电流。流量演算器采用轮询的方式依次读取变送器中的数字输出信号,并运算处理。采集得到的数据和中间计算结果在原始数据画面中显示,如图5所示。图中的“流量输入信号(低)”意思是当前为低量程差压变送器输出差压信号有效。

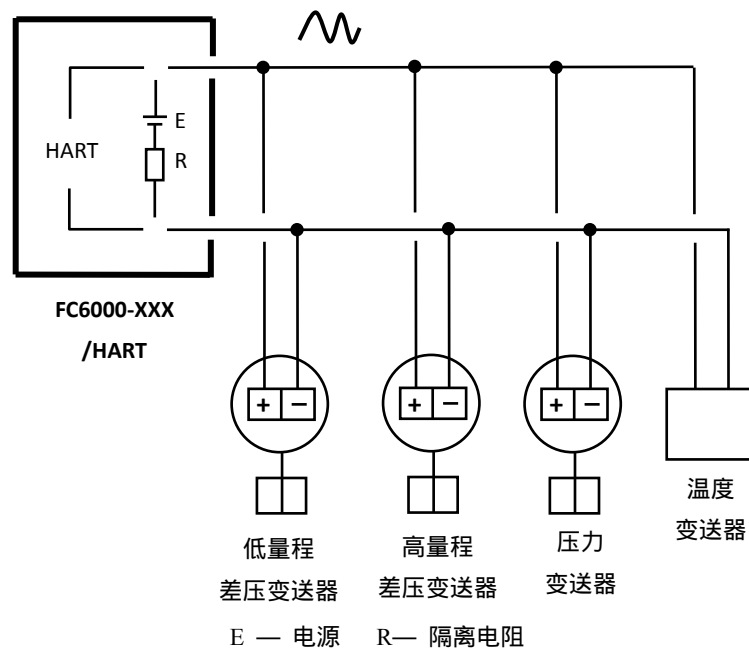


图 4 用数字通信方法传送信号的双量程差压流量计

图 4 中，差压变送器和压力变送器就是普通的智能差压变送器、压力变送器，所不同的是在投运前用手持终端将变送器中的通信站号从 0 修改为 1~15，一台上位机所挂的设备地址不能重复（一般是从 1 开始的连续自然数），使上位机能与多个智能变送器进行 HART 通讯。在流量演算器中设置好从低量程到中量程的差压切换点，以及从中量程到高量程（如果有）的差压切换点，信号投运后系统就能用数字通信的方法传送数字信号，并进行无差演算。

4. 单量程仪表的适用性

以上讨论都是针对双量程差压流量计展开的。当相对流量越小，这一方法的优越性越显著。

这一方法同样适用于单量程差压流量计，在测量点为流量满度的 30% 测量点，差压测量误差约可减小 1.1% MV，流量测量误差约可减小 0.55%。

5. 结束语

在双量程差压式流量计中，由于引入一台低量程差压变送器，从而将量程低段的差压测量精度大幅度提高，进而提高量程低段的流量测量精度，扩大量程比。

将智能差压变送器的输出信号用 4~20mA 信号传送到流量演算器或 DCS，由于在变送器中经 D/A 转换环节，在流量演算器中经 A/D 转换环节，总共要损失 0.1% FS 的精度，这对流量量程低段的影响特别巨大^{[12][13]}，改用数字量传送后，流量演算器做到 0 级运算，从而对提高全量程精度，尤其是提高流量量程低段的精度，扩大量程比，有显著效果。

采用 HART 总线的方法传送信号后，现场变送器可以挂在总线上，从而可以用一路电缆代替几路电路，显著节省了电缆支出（在防爆场所还有安全栅投资）和工程开支。

用 4~20mA 信号传送变送器到流量演算器的信号时，信号值的变化可以无限小，因此容

易接受外界干扰，稳定性较差，零点易漂移。而用数字信号传送中，信号的有效值只有 0 和 1，电平较高，抗干扰能力强。同时，信号电流恒定在 4mA，仪表功耗显著降低。

采用 HART 总线的方法传送呢差压、压力信号，组成的双量程（和单量程）差压流量计，已经获得广泛使用，既准确可靠又经济实惠。

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, 2009
2. 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, 2008:554~59.
3. 陈勇, 马璐文, 陈新亮, 叶海青, 纪纲, 纪波峰. 双量程孔板流量计不确定度及量程比. 石油化工自动化. 2013 年(5): 52~56
4. 魏峥, 谢林, 纪波峰, 陈杰, 纪纲. 双量程差压流量计不确定度和量程比的验证. 石油化工自动化. 2013 年(6): 54~57
5. 孙淮清, 王建中. 流量测量节流装置手册, 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2005: 4~5
6. 吴勤勤. 控制仪表及装置, 第四版. 北京: 化学工业出版社, 2012: 43~61
7. 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
8. ISO167.2: 2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full
9. GB/T 21446-2008 用标准孔板流量计测量天然气流量
10. 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦. 北京: 化学工业出版社, 2012: 37~39
11. 斯可克. HART 通讯协议简介, 炼油化工自动化, 1993, (3): 39~42
12. 缪学勤. 现场总线技术的最新发展. 自动化仪表, 2000, 21(6): 1~4
13. 何衍庆, 王慧锋, 俞旭波等. 现场总线仪表的选型设计[J]. 石油化工自动化, 2005(2): 4~7.

本文发表在《自动化仪表》2016 年第 8 期