

氢气与气态氨流量测量实例剖析

马璐文 山东新和成维生素有限公司 (山东潍坊 261108)
陈新亮, 陈勇 山东新和成药业有限公司 (山东潍坊 261108)
纪波峰, 纪纲 上海同欣自动化仪表有限公司 (上海 200070)

摘要: 1. 涡街流量计用来测量氢气之类的低密度流体时, 因推力小, 需做密度验算。
2. 液氨等高饱和蒸汽压介质, 在蒸发器得到热量后气化, 变成蒸气, 输送到下一道工序。如果环境温度低, 沿途损失热量, 会有部分蒸气冷凝成液体, 积在差压变送器高低压室及三阀组内, 影响正常测量。采用偏心孔板; 用球形阀代替针形三阀组; 并将差压变送器安装在差压装置上方, 就能彻底解决问题。

关键字: 涡街流量计 氢气 安全流速 密度验算 气氨冷凝 巴类流量计 伴热保温

The design and diagnosis cases of flow measurement system (Hydrogen and gaseous ammonia)

Ma Luwen Shandong Xinhecheng Vitamins Co., Ltd. (Weifang 261108)
Chen Yong, Chen Xinliang Shandong Xinhecheng Pharmaceutical Co., Ltd. (Weifang 261108)
Ji Bofeng, Ji Gang Shanghai Tontion automation Instrumentation Co., Ltd. (Shanghai 200070)

Abstract: 1. Vortex flowmeters are used to measure low-density fluids such as hydrogen, due to small thrust, need to do density verifying.
2. High saturated vapor pressure media such as ammonia, evaporator after the heat of gasification, into vapor, transported to the next process. If the ambient temperature is low, loss of heat along the way, some vapor will condenses into liquid, deposit in the differential pressure transmitter high and low pressure chamber and the three valve group, affecting measurement. To completely solve the problem, use eccentric orifice plate, use a spherical valve instead of a needle three valve group, and install the differential pressure transmitter above the differential pressure device.

Keywords: vortex flowmeter hydrogen safe flow rate density verifying air ammonia condensation bar-type flowmeter Heat insulation

1. 氢气流量测量系统的设计与诊断

1.1 用涡街流量计测量 H_2 流量须做密度验算

用涡街流量测量氢气流量而未获成功的例子, 人们已经听到不少。究其原因, 其根源在于氢气的物性。

人们已经熟知, 在用涡街流量计测量的流体中, 只要雷诺数 ≥ 20000 , 就能保证精确度。故在此数据的基础上计算, 如被测流体为常压下的温度为 0°C 的空气, 保证精确度的最低流速为 6m/s 。但是, 如果被测气体的分子量比空气小, 保证测量精确度的下限流速就只能大于 6m/s 。

这是因为在涡街流量计中, 用于探测旋涡个数的检测件在工作时, 是将旋涡产生的推力信号转换成电信号, 此电信号的幅值与流体密度 ρ 成正比, 同旋涡剥离频率 f 的平方成正比^{[1][2]}。也就是说, 流体密度越小, 产生的电信号幅值越小。太小的幅值将使信噪比减小, 同样 6m/s 的流速将无法测量, 必须将流速提高, f 增大, 才能恢复测量, 在被测气体密度已知的情况下, 保证精确度的最低流速为多少, 这要根据原理, 用公式来计算, 这项计算就是涡街流量计用于低密度气体测量时的密度验算过程。

例如山东某制药厂有一氢气流体测量对象, 技术条件如下:

被测介质：氢气；
 常用压力：1.5MPa G
 常用温度：常温；
 管道公称通径：DN125；
 最大流量：2000 Nm³/h；
 最小流量：400 Nm³/h。

由于氢气属易燃易爆物质，氢气在管道中流动有安全流速的规定。氢气管道设计规范规定，对于不锈钢管道，最高流速不能高于 25m/s^[3]。根据安全流速，涡街流量计最小只能选 DN50，这时，如果被测流体为空气，按照仪表制造厂的选型样本，保证精确度的最小流量为 233Nm³/h。但是由于氢的分子量只有空气的 1/14^[4]，在相同的温度压力条件下，氢气的密度只有空气的 1/14，因此，涡街流量传感器内信号检测件送出的电信号幅值，比测量空气时小得多，所以，测量氢气时，电信号幅值很小，不一定能使流量计正常测量。仪表制造厂规定，在遇到此类情况时，须做密度验算。

对于 DY 型涡街流量计，横河公司提出了验算公式^[5]，即当流体密度

$$\rho < 7.8 \text{ kg/m}^3$$

下限流速应

$$V_{\min} \geq \sqrt{\frac{31.3}{\rho_f}} \quad (1)$$

式中 V_{\min} —— 保证精确度的下限流速，m/s；
 ρ_f —— 工况条件下的气体密度，kg/m³。

对于 P=1.5MPa G，温度为 20℃ 的氢气，
 工况条件下的密度为^[6]

$$\begin{aligned} \rho_f &= \frac{P + 0.101325}{0.101325} \times 0.0838 \\ &= 1.3244 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

式中 ρ_f —— 工况条件下的气体密度，kg/m³；
 P —— 气体静压力，MPa G。

代入式 (1) 得 $V_{\min} \geq 4.86 \text{ m/s}$

对于测量管内径为 50mm 的涡街流量计来说，工况条件下最小流量为

$$\begin{aligned} q_{f\min} &= \frac{\pi}{4} D^2 V_{\min} \\ &= 34.35 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $q_{f\min}$ —— 工况条件下最小流量，m³/h；

D —— 管道内径，m；

V_{\min} —— 保证精确度的下限流速，m/s。

换算到标准状态则为 542.86 Nm³/h。

显然，比要求的下限流量大得多，不能采用。

1.2 关于各种流量计测量氢气流量的讨论

氢气流量测量中的流量计选型，是一件难度很高的工作。困难的原因有两个，一是流体密度太小，二是受安全流速的限制。在本例中，测量任务要求的量程比为 5 倍，涡街流量计已经不能胜任。

标准孔板流量计在氢气流量测量中，扮演着重要角色，但是因为节流件的节流作用，孔板开孔处的氢气流速比工艺管内的流速有显著提高，所以，差压装置的直径比 β ，要设计得大一些，满量程差压 ΔP_{\max} ，要设计得小一些，而且要进行安全流速计算，以确保安全。

上海益昌薄板有限公司，曾经采用浮子式流量计测量氢气流量，也获得成功^[6]。但与标准孔板流量计相似，浮子四周的环隙中，流速也被提升。此环隙中的流速虽然可以通过浮子的几何尺寸—外径，以及锥管的内径进行计算，但不象差压式流量计那样，能进行灵活的设计，所以，设计采用这种方法的并不多。

曾经有仪表公司宣传，说孔板流量计精确度太低，采用科氏力质量流量计测量氢气流量，可以提高测量精确度。但是，为了得到幅值足够大的科氏力，必须将测量管内径缩得很小，以致管内流速高达每秒二三百米，这比安全流速高几十倍，冒的风险十分巨大。流速高带来的另一个问题是流体对测量管的磨损。用了一段时间发现测量管被氢气磨穿了。淄博和镇海的石化厂都发生过科氏力质量流量计测量管被氢气磨穿的事件。幸亏及时发现，没有发生爆炸事故。一旦爆炸，需要承担责任的就不止一个人。这种做法当然是不对的。

2. 气态氨流量测量系统的设计与诊断

2.1 用巴类流量计测量气态氨流量不准

实例概况：山东某制药厂用巴类流量计测量气态氨流量，流量计安装在氨蒸发器出口管道上。流体常用温度：15℃，氨气管外夏季总是湿漉漉的，偶尔出现结霜现象。

2.2 分析

液氨经蒸发器蒸发变成气态氨，然后去下一道工序，这是很多化工流程中的常用方法^[7]。在气氨管道上增设流量计，既是控制的需要也是计量的需要。

在解决此类流量测量的方法中，常见的有巴类流量计、孔板流量计、涡街流量计、科氏力质量流量计等。不管采用何种流量计，碰到的都是相似的问题。

从现场描述中的管道状况可知，管道表面干燥、湿漉漉和结霜三种情况，反映的实际上是管内的气态氨的三种不同的形态。

(1) 环境温度高于 15℃的情况

首先，管道表面湿漉漉，意味着环境温度比管内流体温度高，这时，大气为管内流体提供热量。氨蒸发器出口如果不带过热器，则管内气氨处于饱和状态。由于管内流体温度比环境温度低，所以有从饱和状态变成过热状态的趋势。不管过热度为多少，只要是过热状态，工艺管道内的气氨就不会带液，在这样的状况下，巴类流量计的根部阀和三阀组内，一般不会积液，流量计能进行正常测量。

(2) 环境温度低于 15℃的情况

当环境温度低于 15℃时，管内流体经管道表面散发热量，流体温度有下降趋势。本已处于饱和状态的气氨，在损失热量后，部分气氨冷凝，以微小液滴的形式，悬浮在气氨中，在管道中流动。这时，巴类流量计受到两个因素的影响。其一是气氨因有一部分冷凝变成液体，所以体积缩小，流速降低。所以流量示值减小。其二是巴类根部阀流路内^[8]、三阀组的各个通道内的气氨，也会有部分冷凝，影响差压信号的准确传送，导致流量计零点偏移。严重的时候，连差压变送器高低压室内都会积液氨。产生流量零点的严重漂移^[9]。

验证三阀组内和高低压室内是否积液的简单方法，是在差压变送器高低压室的排液口进行排液操作，如果排液后的流量示值与排液前有显著差异，则证明已经带液。

消除差压信号传输通道内积液的常用方法有两个，其一是在根部阀、三阀组及高低压室等已积液的部分进行伴热保温。其二是改用一体化湿气体流量测量系统，根除部分冷凝带来的问题，如图 1 所示。

在图 1 所示的湿气体流量计中，完全消除了积液现象：

- ① 采用偏心孔板，完全消除孔板前的积液现象^[10]。
- ② 用球阀代替三阀组中的针形阀，完全杜绝三阀组流道中的积液。
- ③ 将差压变送器置于差压装置上方，完全消除高低压室内积液。

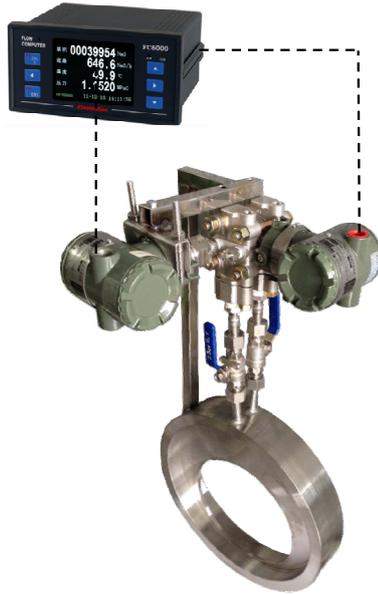


图1 一体化湿气体流量计外形（偏心孔板）

(3) 管道外表面结霜的分析

气氨管道外表面结霜的机会并不多。之所以会结霜是因为液氨在蒸发器内蒸发不完全，被气氨带到出口管道中继续蒸发，因而从管壁吸收很多热量，导致管道表面温度大幅度降低。

管道表面一旦结霜，将使各种型式的差压流量计流量示值严重偏低。如果采用的是涡街流量计，流量示值也严重偏低。以致在流量趋势图上出现一个向下的大缺口。

管道结霜不是仪表专业的问题，仪表专业是解决不了这个问题的。它是一个工艺问题，有效的解决方法是在蒸发器出口增设过热器，使得从蒸发器出口管带出的少量液氨，在过热器中继续蒸发 [6]。

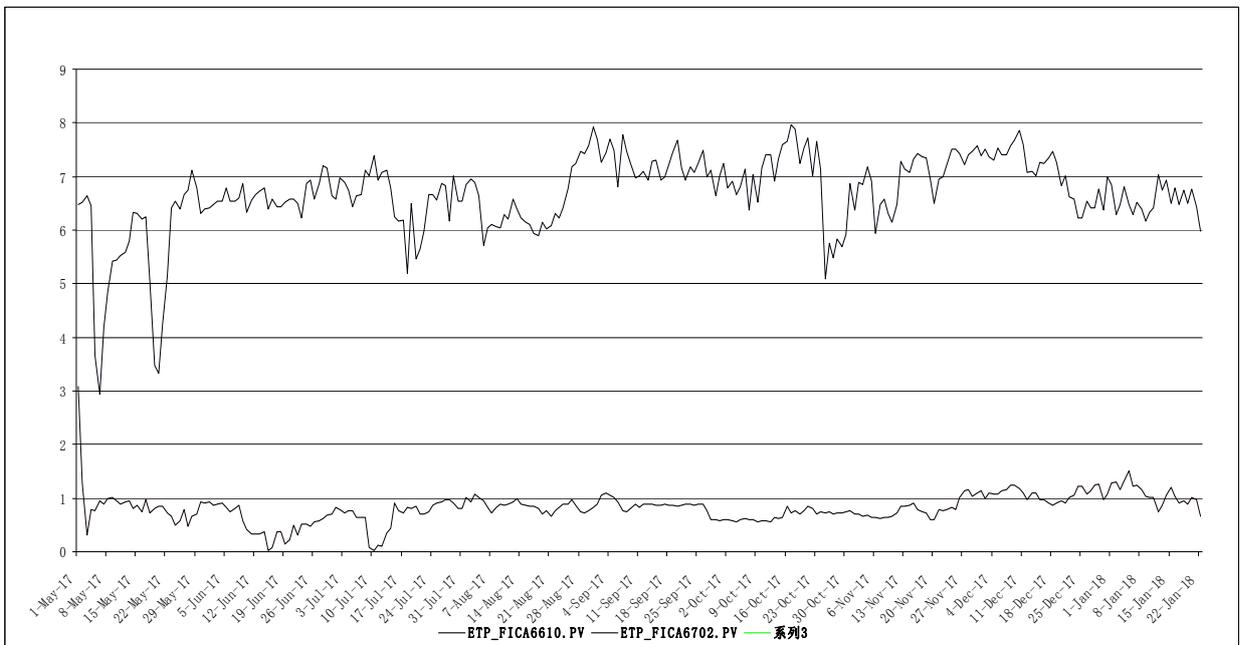


图2 气体带液后的流量趋势图 Fig 2 flow trend chart for gas with liquid

(4) 积液为什么对巴类流量计影响特别大

在气态氨之类介质的流量测量中，差压式流量计历来使用得比较多，但是孔板流量计尽管也存在三阀组内和高低压室内可能积液的问题，由于差压上限取得比较大，少量的积液引起的误差要小得多。后来用户听了巴类产品制造商节能效果的宣传，片面追求阻力小、压损小，选用了巴类流量计后，才发现巴类流量检测件输出的差压信号幅值太小，积液引起的误差很大，以致无法用好。

例如表压 40kPa，流速 15m/s 的气氨测量对象，由于氨的分子量只有空气的 59%，所以，在相同的温度、压力和流速的条件下，检测件输出的差压只有测量空气时的 59%，即约 80Pa (8mmH₂O)，这样，只要有一粒黄豆大小的液滴，就可将差压信号全部抵消，当然也可能是使差压增大一倍。而如果是孔板流量计，假定 15m/s 对应的差压是 8kPa，那么一个液滴对差压的影响就变为 1%，从而可能感觉不到。

(5) 液滴影响的普遍意义

与气氨流量测量相类似的测量对象，在流程工业中还有很多。例如，液态烃经蒸发器变成气相后，要求测量气相流量，就与气氨极为相似。

其实，还不仅仅高饱和蒸汽压介质的气相流量测量中有此问题，在用巴类流量计测量湿空气、湿煤气等潮湿气体流量时，也有类似情况，即差压变送器高低压室内、根部阀及三阀组通道内积液，在冬季甚至结成冰，影响测量。

3. 结束语

① 涡街流量计用来测量氢气流量时，上限流速要受到安全流速的制约。下限流速要受流体密度的制约，设计选型时应做密度验算。测量其他低分子量介质流量时，也应遵守安全规程并做密度验算。

② 液氨等高饱和蒸汽压介质，在蒸发器得到热量后气化变成气相，输送到下一道工序。如果环境温度低，输送过程中损失热量，会有部分气氨冷凝重新变为液体，积在差压变送器高低压室及三阀组内。采用伴热保温方法或弃用三阀组等方法。可避免积液，保证正常测量。

③ 采用巴类流量计测量湿空气、湿煤气之类的湿气体流量时，同样存在高低压室和三阀组内积液的问题，应采用伴热保温或其他方法解决之。

参考文献

1. 王池, 王自和, 张宝珠, 孙怀清. 流量测量技术全书. 北京: 化学工业出版社, 2012
2. 张学巍. 涡街流量计输入电路的设计. 自动化仪表, 1998,7(6)
3. GB50177-2005 氢气站设计规范
4. 王森, 纪纲. 仪表常用数据手册. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2006
5. 姜仲霞, 姜川涛, 刘桂芳. 涡街流量计. 北京: 中国石化出版社, 2006
6. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧. 第二版. 北京: 化工工业出版社, 2009
7. 汪镇安主编. 化工工艺设计手册. 第三版. 北京: 化学工业出版社, 2003.
8. 毛新业. 均速管流量计. 北京: 中国计量出版社. 1984.
9. 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
10. 孙淮清, 王建中. 流量测量节流装置设计手册. 第二版. 北京: 化学工业出版社. 2005

马璐文 (1979 —)，男，山东德州人，2015年毕业于潍坊学院自动化专业，现就职于山东新和成维生素有限公司，多年从事计量、仪表及自动化技术管理工作，任助理工程师。

摘自《化工与医药工程》2018.39 (03)