

# 对 V 形锥流量计的再认识

Further Recognizing the V-cone Flowmeter

沈新建<sup>1</sup> 翟小金<sup>1</sup> 王高甫<sup>1</sup> 张彦敏<sup>2</sup> 邵朋斌<sup>1</sup>

(开封仪表有限公司<sup>1</sup>,河南 开封 475002;开封空分集团中环环保公司<sup>2</sup>,河南 开封 475002)

**摘要:**近年来,对 V 形锥流量计的宣传越来越多,但很多宣传不够科学。为了更好地认识 V 形锥流量计,以试验数据和原理探讨为依据,从安装所需的前后直管段长度、量程比、压力损失、适用领域等方面对其进行了理性、细致的分析,证实了该产品在生产应用中仍存在许多不足之处。为了更好地使用该仪表,需要统一结构形式,并且进行大量的科学试验,整理有效、科学的试验数据,确定各参数的计算方法,从而使该仪表发挥更好的应用价值。

**关键词:** V 形锥流量计 节流装置 量程比 压力损失 流出系数

**中图分类号:** TH814 **文献标志码:** A

**Abstract:** In recent years, propaganda for the V-cone flowmeters is spread increasingly, but some of its contents are not scientific enough. In order to properly understand the V-cone flowmeters, on the basis of practical data and principle investigation, rational and detailed analysis is conducted from various aspects, including the required lengths of straight pipe front and rear of instrument in installation, range ratio, pressure loss and applicable fields, etc. Thus it is verified that such product still features many shortcomings in productive applications. To better use such instrument, the structural patterns shall be unified, large number of scientific experiments shall be carried out, then to sort out effective and scientific experimental data, and to determine the calculation method for each parameter, thus to make the instrument exert better applicable values.

**Keywords:** V-cone flowmeter Throttle device Range ratio Pressure loss Discharge coefficient

## 0 引言

V 形锥流量计(又称内锥流量计、V 锥流量计等)是美国 McCROMETER 公司于 20 世纪 80 年代研制推向市场的。由于 V 形锥流量计独特的结构,决定了其具有优于孔板流量计的一些特点<sup>[1]</sup>,如压力损失较小、安装所需的前后直管段长度较短、测量信号稳定等<sup>[2]</sup>。但是由于 V 形锥流量计属于非标准节流装置,生产厂家的结构各不相同,现场经验及试验数据尚不够充分,它的性能尚未被完全掌握。作者结合工作中积累的经验、数据,对 V 形锥流量计的一些特点进行了分析,认为无论是使用单位,还是生产单位都应对 V 形锥流量计有一个理性认识。

## 1 工作原理

标准节流装置(如孔板、喷嘴等)的最小流通面是节流件中心的圆孔,流体通过时因流通面积的突然减小而加速,V 形锥流量计是在管道中心同轴安装一个

尖圆锥体(前锥体为 $<90^\circ$ 的锐角,后锥体为 $>90^\circ$ 的钝角)。其流通方式由标准节流装置的中心突然收缩式改为管壁收缩式,流体通过 V 形锥节流件时,进行了二次分配。流体的流动状态由原来的“管道中心流速高、管壁处流速低”逐渐调整为“靠近管壁处流速高、中间流速低”,从而具备流动调整器的效果。

V 形锥流量计结构如图 1 所示。

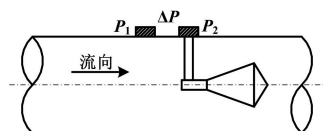


图 1 V 形锥流量计结构简图

Fig. 1 Simplified diagram of the structure of V-cone flowmeter

由图 1 可知,V 形锥流量计为“边壁收缩式”节流装置,正压取压孔开在测量管壁上,此处的流体还未通过节流件,负压取压孔开在锥体尾部。由于测量原理同样满足伯努利方程和流体流动连续性方程,所以 V 形锥流量计与标准节流装置的计算公式一样。其计算公式如下<sup>[3]</sup>:

$$q_m = 0.12643 \frac{C\beta_2}{\sqrt{1-\beta_4}} \varepsilon D^2 \sqrt{\Delta P \rho_1} \quad (1)$$

修改稿收到日期:2013-11-15。

第一作者沈新建(1985-),男,2009年毕业于河南理工大学电气工程及其自动化专业,获学士学位,助理工程师;主要从事流量仪表的研发工作。

式中:  $q_m$  为流体的质量流量, kg/h;  $C$  为流出系数(经过实流标定可知);  $\varepsilon$  为可膨胀性系数(对液体  $\varepsilon=1$ );  $\beta=d_b/D$  为直径比, 其中  $d_b=\sqrt{D^2-d^2}$  为工作条件下节流件最小截面处的等效流通直径( $d$  为锥体外径, 外径), mm;  $D$  为工作条件下仪表测量管的内径, mm;  $\Delta P$  为从节流件上、下游取压口处测取的差压, kPa;  $\rho_1$  为仪表安装处上游侧工作条件下的流体密度, kg/m<sup>3</sup>。

## 2 对 V 形锥流量计特点的分析

V 形锥流量计具有调整流动状态的功能, 其压力损失小于孔板(试验也证实了这一点), 测量信号比较稳定, 量程比较宽, 安装所需的前后直管段较短。但通过近些年的现场应用发现, 对 V 形锥流量计优点的介绍有些言过其实, 我们应对这些优点进行理性分析。

### 2.1 安装所需的前后直管段长度

V 形锥流量计的节流件为锥形结构, 当流体通过节流件时, 节流件与管壁所形成的环形通道面积逐渐减小, 使流体流速加大、静压力降低。流体力学试验证明这种流型可以减小甚至消除漩涡, 相当于附加了一个流动调整器。因此, 它可以在直管段不够长的情况下, 较其他节流装置获得较高的准确度, 但所需的前后直管段仍要视具体情况而定, 且普遍超过“以偏概全”宣称的前  $0\sim 3D$ 、后  $0\sim 1D$ 。

印度德里工学院应用力学系学者曾以两台内径  $D=52$  mm、等效直径比  $\beta$  分别为 0.643 和 0.77 的 V 形锥流量计为例, 对该仪表与上游扰动阀门 V2 间相隔 3 种距离( $L$  为  $5D$ 、 $10D$ 、 $15D$ ) 和阀门 4 种开度下的扰流进行试验。试验介质为油和水, 流体来自离地 15 m 的溢流水槽。试验装置和试验数据如图 2 所示。

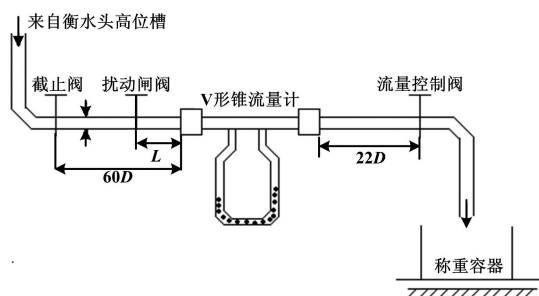


图 2 试验装置图

Fig. 2 The experimental device

通过试验可知, 当  $\beta=0.643$ 、 $L=5D$ 、阀开度在 25% 附近变化时, 受阀门影响, 流出系数最大, 变化约为 6%; 而当  $\beta=0.77$ 、 $L=5D$ 、阀开度大于 25% 时, 流出系数变化高达 8%; 当  $L=10D$  时, 流出系数最大变化也约有 1.7%<sup>[4]</sup>。所以这一试验论证了前置阀门开度

大于 25% 时, 各种开度下当要求较高测量准确度时,  $L=10D$  尚嫌不足, 而不是各种情况下前后直管段均为前  $0\sim 3D$ 、后  $0\sim 1D$ 。

由此可知, 仪表前有  $10D$  以上长的直管段才有可能忽略局部阻力件对测量精度的影响。按照 GB 2624-2006 的要求, 当  $\beta>0.6$  时, 孔板需要长度  $>40D$  的前直管段, 即便允许 0.5% 附加误差时, 所需的前直管段也要  $>13D$ 。喷嘴所需的前直管段较孔板短, 但长度至少也要  $>18D$ , 与之相比, V 形锥流量计可以显著缩短直管段长度。另外, 选择合适的  $\beta$  值可以用较短的直管段长度克服阻流件对流出系数的影响。通过试验证明, 当 V 形锥流量计直径比  $\beta$  值选择 0.65 左右时, 维持流出系数不变所需的直管段长度最短。

无论在何种工作条件下, 所需的前后直管段分别为  $0\sim 3D$  和  $0\sim 1D$ , 甚至不需要前后直管段的宣传是不科学的, 安装前需预留足够长的前后直管段。

### 2.2 量程比和测量精度讨论

McCROMETER 公司在对 V 形锥流量计的宣传中宣称其测量范围为 10:1, 甚至更宽, 重复性 0.1%, 不确定度 0.5%, 并提供了几个口径的雷诺数与流出系数曲线图, 如图 3 所示。在保证流出系数不变(即保证线性度)的情况下, V 形锥流量计的测量范围并未达到 10:1, 除去小雷诺数的点超差, 剩下的也只有 4 倍的范围度。我公司在机械工业第十三计量测试中心站对 DN50、DN100 和 DN300 这 3 种口径 20 台 V 形锥流量计分别做了试验。试验曲线如图 3 所示。

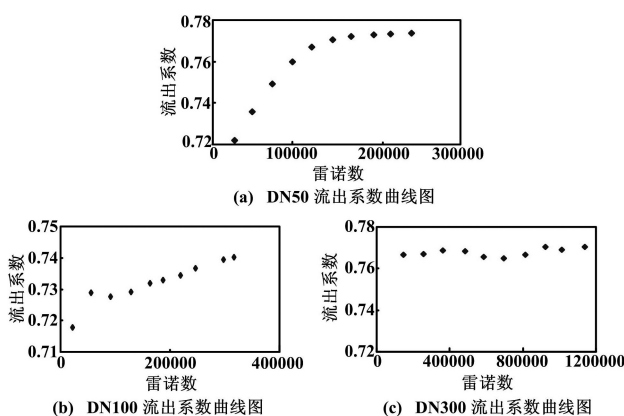


图 3 雷诺数与流出系数关系曲线图

Fig. 3 The relational curves of Reynold and Efflux coefficient

从图 3 可以得出以下结论。

① 3 种口径的流量计在量程比 10:1 的范围下, 均没有做到流出系数不确定度 0.5%。

② 流出系数是随着雷诺数变化的, 它们之间并不是简单的线性关系, 按照 JJG 640 差压式流量计检定

规程,在实流检定时只需计算出每个测量点流出系数的重复性,而不用计算整个测量范围内流出系数的线性度,流出系数的不确定度是采用测量范围内重复性最大的测量点来计算的。现场使用 V 形锥流量计时,如果只是简单地采用流量范围内流出系数的平均值来计量是不够科学的,必定会带来较大的测量误差。另外要想做到在 10:1 的测量范围内达到 0.5% 的测量精度,需要对流出系数进行分段线性化补偿,并且要配用高精度、适当量程的差压变送器。

③ V 形锥流量计不适用于 DN50 以下口径。因为口径越小,加工难度越大,不易保证加工精度;另外口径越小,流出系数的离散性越大,所以作者认为 V 形锥流量计的适用口径范围应为 DN100~600。在这个口径范围内,节流件易于保证加工精度,也便于做到实流检定,保证测量精度。

④ 节流装置的测量范围一般为(4~5):1,V 形锥流量计具有流动调整的功能,流体通过节流件时产生的漩涡小,流动较孔板稳定。尤其在测量小流量时,稳定性尤为突出,在流量上限相近的情况下,流量下限比孔板低。所以在保证测量上限不变的情况下,尽量降低流量测量下限,并且配用可变量程的高档智能差压变送器是可以提高测量范围度的。这也是宣称 V 形锥流量计量程比能达到 10:1 甚至更宽的原因。

### 2.3 节能效果分析

V 形锥流量计的结构具有改善流动方向的作用,这种流动在流体力学试验中证明可以减小甚至消除漩涡<sup>[5]</sup>。其节流件没有锐利的缘口,与孔板类节流装置相比具有减小压损、节能的效果。但通过试验证实,其永久压力损失仅比孔板稍低,所以 V 形锥流量计并不是最理想的节能型差压式流量仪表<sup>[6]</sup>。

### 2.4 适用领域分析

与孔板类节流装置相比,V 形锥流量计为“边壁收缩式”结构。当测量脏物介质时,脏污不会堆积在节流件附近,但由于负压取压口开在锥体尾部,管线较长且有拐角,这里是脏污易积聚的区域,杂质很容易进入负压取压管内部造成堵塞。当测量蒸汽介质时,停气检修时管道底部会存有积水。恢复通气后,在压力的推动下,水的波动很容易导致管道的振动。流量较大时,管道振动剧烈甚至损坏节流件造成生产事故。当测量气体介质时,由于在锥体的下游产生的是高频低幅并成对称分布的小漩涡,信号噪声非常低。在低流量、低差压的情况下,V 形锥流量计仍能保证较高的测量精度和稳定性,因此特别适合于低密度、低流速气体的测量。

通过以上分析可知,V 形锥流量计适合对低流速液体介质、低密度、低流速气体介质和低流速的蒸汽流量计量,而不适宜于测量较为脏污的介质和高流速流体介质。

### 2.5 流出系数与可膨胀性系数研究

V 形锥流量计同样遵循伯努利方程和流体连续性方程,所以在测量不可压缩流体时,流出系数仍可按式(1)通过实流标定得到,因 V 形锥流量计为非标准节流装置。当测量可压缩流体时,一般采用雷诺数相等的原理,在气体实验室或水流量实验室标定出流出系数。由于各种测量介质的物性不同,采用与测量介质不同的介质进行实流标定时往往忽略了可膨胀性系数对流出系数的影响。McCROMETER 公司分别给出了 V 形锥流量计的可膨胀性系数  $\varepsilon$  和流出系数  $C$  的计算公式<sup>[7-8]</sup>:

$$\varepsilon = 1 - (0.649 + 0.696\beta^4) \frac{\Delta P}{k_p} \quad (2)$$

$$C = 1 - \left(1 - \frac{0.0254}{D+0.0254}\right)\beta + \left(2.5 - \frac{0.1638}{D+0.0635}\right)\beta^2 - \left(2.15 - \frac{0.2313}{D+0.1194}\right)\beta^3 \quad (3)$$

有研究者对一些技术资料进行分析后,又对式(3)进行了修正,添加了与雷诺数相关的修正项<sup>[8]</sup>,并给出了如下计算公式:

$$C = 1 - \left(1 - \frac{0.0254}{D+0.0254}\right)\beta + \left(2.5 - \frac{0.1638}{D+0.0635}\right)\beta^2 - \left(2.15 - \frac{0.2313}{D+0.1194}\right)\beta^3 - 0.00653\beta^{0.5} \left(\frac{10^6}{R_{d0}}\right)^{0.75} \quad (4)$$

## 3 结束语

本文从安装所需的前后直管段长度、量程比、压力损失和适用领域等方面,对厂家所宣传的 V 形锥流量计的优点做了理性、细致的分析,希望能够引起读者的注意,在选用 V 形锥流量计时一定要权衡其利弊,不要盲目使用<sup>[10]</sup>。

### 参考文献

- [1] 许晴雪. V 形锥流量计的原理及应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2007(5):55-57.
- [2] 孙延祚. 从节能降耗要求看推广应用 VNZ 流量计的必要性[J]. 石油化工自动化,2005(5):95-98.
- [3] 孙淮清,王建中. 流量测量节流装置设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005:3-5.
- [4] 国家技术监督局. JJG 640-1994 差压式流量计[S]. 1994-12-01:23-33.
- [5] 毛新业,孙淮清. 客观对待内锥流量计与节能降耗的关系[EB/OL]. [2013-08-16]. <http://www.china.flow.com.cn/>.

(下转第 94 页)