

节流式差压流量计为何仍有优势

王建忠（上海同欣自动控制工程技术有限公司，上海 200070）

纪纲（上海同欣自动化仪表有限公司，上海 200070）

提要 在系统分析涡街流量计所具有优点的基础上，具体阐述了涡街流量计的耐振性能等。同时也指出了它所存在的缺点，并相应地给出其新的改进，指出在选择合适的流量计时应扬其所长，避其所短。为流量计的选型提供了可靠的参考价值。

关键词 涡街流量计 差压流量计 耐振性 漏脉冲 脉动流

Abstract: On the basic of the analysis on the merits of vortex flowmeter, the performance of anti-vibration is described correctly. Meanwhile, the disadvantages of the flowmeter are also pointed out, and the relative improvement to these disadvantages is proposed. For selecting proper flowmeter, we should maximize favorable factors and minimize unfavorable ones. The paper is a good reference to select flowmeter.

Keywords: Vortex flowmeter D/P flowmeter Anti-vibration Missing pulse Pulsating flow

0 概述

涡街流量计在上世纪七十年代投入工业应用时，一度被称为数字孔板，意思是它有显著的优越性，将会象孔板流量计一样得到广泛应用。甚至有人断言，涡街流量计将全面取代孔板流量计。这是因为涡街流量计具有下列显著的优点：

安装维修方便，不象普通差压式流量计那样，较长的引压管线，易漏、易堵、易冻结。

输出与流量成正比的脉冲信号，然后用数字技术进行处理，可不损失精度。

不存在零点漂移问题。

合理确定口径，可得到较宽的测量范围度。^[1]

时至今日，三十多年时间过去了，虽然孔板流量计的部分市场被涡街流量计占领，但在实际应用中，很多地方还是使用孔板流量计（节流式差压流量计中最常用的一种）。不仅没有被淘汰，在某些场合，还占据相当优势。

下面对这一情况作粗略分析，以便读者在仪表设计选型时参考，扬长避短，发挥各自的优势，争取最大的经济效益。

1 高温高压低密度流体流量，用涡街流量计测量还有困难

由于涡街流量计工作原理的局限性，敏感元件和结构的局限性，对于被测流体的温度压力高于一定数值，流体密度小于一定数值，用涡街流量计来测量，现在还有困难。

高温流体

不同的厂商提供的不同品牌涡街流量计，所适用的流体温度上限一般为 400 ~ 450 。从现场实际情况来看，有的品牌只能短时期达到所承诺的温度上限。例如某欧洲品牌，一台新的涡街流量计在 400 的条件下能可靠使用半年，半年以后，输出就全无了。再换上一台全新的，还是只有半年的寿命。

高压流体

目前市场上的涡街流量计，其压力等级有 4MPa 和 6.4MPa 等多种，如果被测流体压力再高，人们还是喜欢用老一套的方法，差压式流量计。

低密度流体

涡街流量计用来测量气体和蒸汽流量时，最低可测流速要受到流体密度的制约。这是因为被测流体经旋涡发生体所产生的旋涡，作用在传感器探头上，相应产生个数相同的电脉冲，此电脉冲的幅值与旋涡对探头所产

生的推力大小有关，推力越大，脉冲幅值也越大，而此推力与流速的平方成正比，又同流体的密度成正比。当密度小到一定程度，流速又较低时，推力太小，以致脉冲幅值相应太小，导致被噪声所淹没，最后，脉冲不能被可靠地检出。但是，如果流速较高，推力仍可增大到足够大，以致脉冲幅值增大到足够大，最后仍能被可靠地检出。

有些被测流体如氢气、半水煤气等，密度都较小，有些低静压低流速测量对象，如城市煤气，管道内流速较低，又不能用局部缩径的方法提高流速，在设计选型时需十分小心。

当被测流体密度已知时，最小可测流量为多少，可以通过计算得到。有的制造商通过对自己的产品做试验，给出了不同口径产品的有用数据。例如图 1 (a) 所示的是横河公司 DN15、DN25、DN40、DN100 仪表的可测最低流速与密度的关系曲线；图 1 (b) 所示是横河公司 DN50、DN80、DN150、DN200、DN250、DN300 仪表的可测最低流速与密度的关系。

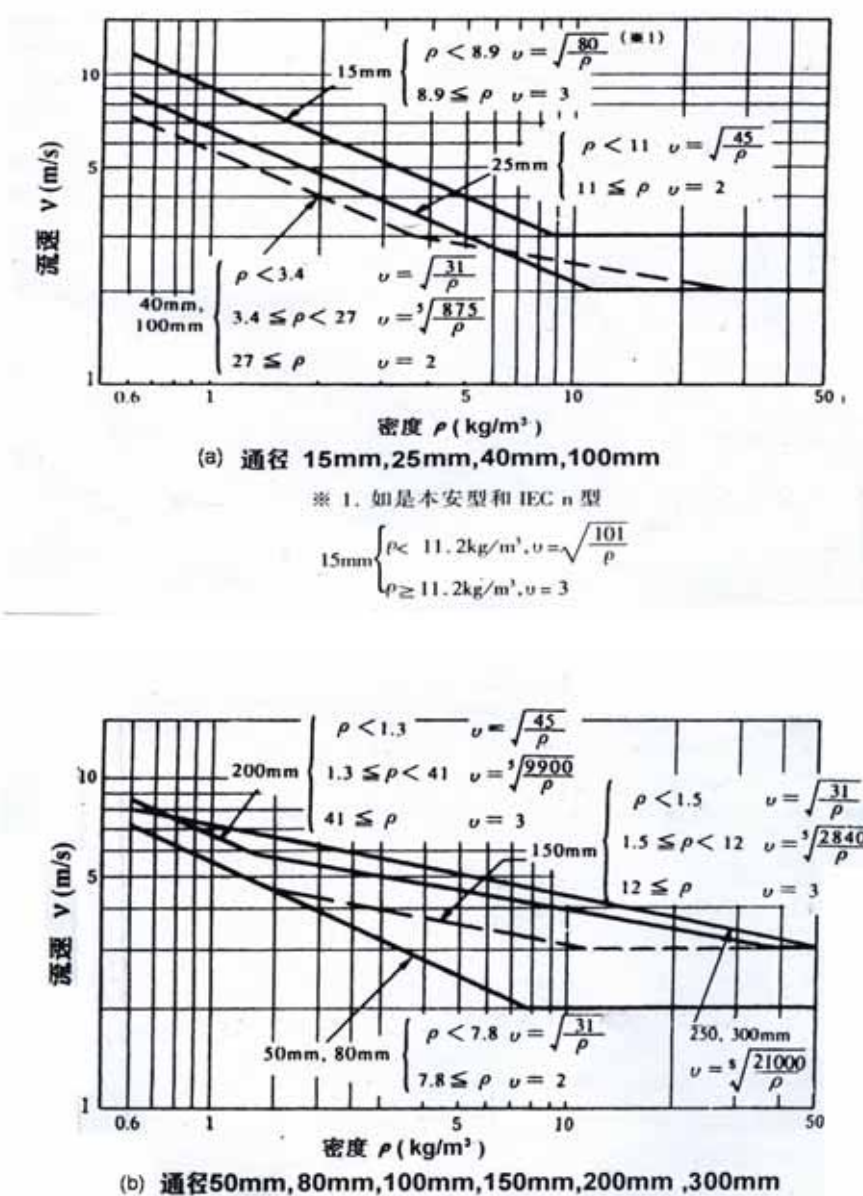


图 1 可测最低流速与流体密度及口径的关系

2 涡街流量计的可测最大 最小流量所覆盖的范围还欠宽广

目前市场上供应的涡街流量计，最小口径为 DN15。最大口径，国产产品有 DN600，但口径大了之后，分辨力较低，所以国外仪表公司一般只提供 DN300 及以下的产品。

相比之下，节流式差压流量计，从口径小的内孔板流量计到口径大到 1m 的标准节流式差压流量计，品种

规格一应俱全。^[2]

3 涡街流量计在振动较大的场所使用还有困难

安装流量计的管道或工业现场，难免有些振动，有些还较强烈，例如有些压缩机、鼓风机厂房内，不仅管道振得很厉害，甚至整个厂房连同厂房周围的道路都振得很厉害。

涡街流量计是一种流体振荡型仪表，其工作原理是流体流过旋涡发生体后，产生与流速成正比的旋涡，旋涡的个数被传感器检出，输出与旋涡个数相等的脉冲。

当管道或环境有振动时，这种振动也同样作用在传感器上，产生相应的电信号，当这种电信号的幅值大到一定的程度而高于分辨阈值后，也就混在旋涡产生的电信号里，经放大、整形而送到输出端，使输出频率偏高，而若实际流量为零，则表现为“无中生有”。

涡街流量计的耐振性与其本身品质有关，按不同原理制造的涡街流量计，其耐振性也不同，一般说来，用电容式传感器制造出来的涡街流量计要比用压电传感器生产出来的仪表耐振性优越。不同品牌的涡街流量计，甚至同一个品牌但口径不同、型号不同的产品，其耐振性也不同。

例如某外国知名品牌在中国组装的产品，DN80 及 DN80 以下的涡街流量计，耐振性较好，能耐受 1g 振动，而大口径涡街流量计，耐振性就较差，DN ≥ 150 时，不用说管道振动，就是在（一体式仪表）放大器盒旁边用力拍手，仪表输出都会应声升高。

涡街流量计的耐振性同其安装位置也有关系，尽管仪表说明书中说，涡街流量计既可垂直安装也可水平安装，但在实践中发现，水平安装（即发生体处于水平位置）的仪表，耐振性明显降低。

涡街流量计在被测流体流速很低和零流量时，耐振性较差。这是因为旋涡对传感器的推力，同管道中流体流速的平方成正比。被测流体流速很低和零流量时，旋涡对传感器的推力小，产生的信号幅值低，因此信噪比也小，振动产生的信号较显著。

涡街流量计的耐振性同其所测介质的密度还有关。因为管道振动时，传感器随管道一起振动，在被测介质为液体时，由于包围在传感器周围的介质是液体，密度大，对传感器本身有良好的阻尼作用，所以，传感器受振所产生的电信号幅值小，而如果包围在传感器周围的介质是气体，则因阻尼较差，振动所产生的电信号幅值大。

人们为了改善涡街流量计的耐振性进行了长期的研究，采取了一些措施，例如采用双传感器法，频谱信号处理（SSP）技术等，都收到了一定效果。但在振动较强烈的场所，涡街流量计应用还有困难。相比之下，节流式差压流量计却要优越得多。

4 测量湿蒸汽时，节流式差压流量计具有较好的适应性

湿蒸汽从严格的意义上来说，是属两相流体，当湿度较小时，例如干度在 95% 以上时，对涡街流量计和差压式流量计影响均不大，即流量计能正常工作，只是测量误差稍大，但湿度大到一定程度，对各种流量计均有较大影响，但影响的程度却有显著差异。

人们在用涡街流量计测量湿蒸汽流量时，会出现一种“漏脉冲”现象，即在湿度不大，可以将蒸汽近似看作干蒸汽时，涡街流量计的输出脉冲，与流过发生体的流体体积（流速）成正比，而湿度大到一定程度，这种正比关系就不成立了，输出脉冲数比应有脉冲数明显减少，如果湿度进一步增大，甚至完全没有脉冲输出，这就是所谓的“漏脉冲”现象。

关于这种漏脉冲现象的机理，目前尚未见有资料作深入的分析，但这种现象是客观存在的。

应用节流式差压流量计来测量饱和蒸汽流量，有时也会碰到蒸汽带水的情况，当流量计安装在水平管道上时，管道底部会出现分层流动的水。仪表制造厂一般在孔板的下部开一个疏水孔，以防凝结水在节流件前面集聚，影响流通截面。在国家标准中，还给出了这种疏水孔所引入的误差计算和修正方法^[3]。对于安装在垂直管道上的节流式差压流量计，则无需开疏水孔，但由蒸汽带水所引起的误差是客观存在的。因此，这里所说的“具有较好的适应性”只是相对于涡街流量计而言。

5 轻微的流动脉动对差压式流量计无明显影响

流动脉动常见于工业管流，从现场仪表往往看不出流动脉动的存在，因而往往不被人们所注意。

流动脉动对大多数流量测量仪表都有影响，使之示值升高，但影响的程度有很大差别。

流动脉动作用在涡街流量计的传感器探头上，脉动的推力使之产生相应的脉冲输出，因而使涡街流量计示值出现大幅度的升高，有时甚至是成数倍的升高。^[4]

流动脉动影响涡街流量计的最常见的例子是安装在减压阀后面的涡街流量计，流量示值因脉动而大幅度升高。

一个热力公司要向为数众多的热用户供汽，其供汽的最高压力和最高温度主要受锅炉规格制约，而最低压力，却要受到用户的制约。即供汽压力值要求最高的用户决定了管网的最低压力。而对于另外一些用户，这一供汽压力又嫌太高，于是在蒸汽总管进入用户界区之后，增设一个减压站。

蒸汽减压站的减压（稳压）功能主要由一个蒸汽直接作用压力调节阀承担。这个调节阀两端压差大小不一，调节阀阀芯阀座的结构形式也有很大差异，在调节阀两端压差较大，而相对流量较小时，阀门开度很小，这时阀芯和阀座间的流体流速很高，于是在阀门出口处很容易产生旋涡。当阀门开度小于一定值（例如 5%）时，甚至出现阀芯不停地抖动，引起流动脉动。

流动脉动对差压式流量计的影响是通过三个途径，即 平方根误差； 惯性影响； 对流出系数的影响，三个因素共同作用，使节流式差压流量计的示值升高，其脉动附加不确定度的估算可查阅有关文献^[3]。但其影响程度要比涡街流量计轻得多。

6 在低雷诺数测量条件下，差压流量计有较好的适应性

在被测流体粘度较高，例如比水大数倍的使用条件下，涡街流量计要慎用，因为涡街流量计保证测量精确度的最小雷诺数为 20000，而雷诺数低于 5000 时，就可能没有稳定的旋涡产生。

标准孔板流量计的最新国际标准 ISO5167:2003(E)，所提供的计算公式，在雷诺数大于等于 4000 后就能保证测量精确度^[5]，雷诺数小于 4000 后，测量精确度降低，但不会像流体振荡式流量计那样，因停止振荡而输出全无。

7 节流式差压流量计检定方便

用于贸易结算等用途的流量计，国家规定执行强制检定。对于业主单位来说，完成流量计的周期检定是一项重要的法定任务。于是，检定是否方便也成了仪表选型时要考虑的重要方面。

涡街流量计的检定，要放在流量标准装置上进行，不仅拆装、搬运、送检麻烦，而且为了检定要停用较长的时间。而节流式差压流量计由于规程规定可以用几何检定法进行检定，因此，可在现场找到合适的场所进行检定，既省时间又省检定成本。

8 流量计口径较大时，差压式流量计较便宜

节流式差压流量计的成本由节流装置、差压变送器及附属装置组成，当仪表口径增大时，只需节流装置放大，因此，成本上升不明显，由于此原因，在仪表口径较大时，尤其是在流体温度较高（ $t > 300$ ）时，节流式差压流量计的价格优势尤为明显。

9 节流式差压流量计变更测量范围较方便

流量计在安装完毕投入使用时，总会发现一定比例的仪表流量测量范围选得不合适，不是太小就是太大。尤其是在从未安装过流量计的管道上，提条件的人员生怕提得太小不够用，层层加码，往往将流量上限取得太高。仪表投入运行时才发现，实际流量比原来估计的流量小得多，对于选用涡街流量计的测量系统，甚至会发现流量传感器无脉冲输出。对于选用节流式差压流量计的设计中，流量示值有时只有满度值的 20~30%。作为预防措施，有经验的设计人员，往往将差压上限选在适中的数值，例如低压蒸汽，选差压上限为 40k~60kPa，这样，当开表后如果发现实际流量略微超过满量程或相对示值偏低，就可对差压上限进行重新计算，然后用手

持终端重新设置差压变送器的测量上限。而对于旋涡流量计，一旦发现口径选得不合适，只能用更换一次表的方法去解决。

要换一台口径与原设计不同的涡街流量计，对于一个使用大量仪表的老企业来说，或许不是一件困难的事，因为总有一些备表，而对于一个新企业、小企业或工程公司来说，就是一件困难的事。

10 节流式差压流量计的不足也在不断改进中得到弥补

节流式差压流量计的主要不足是范围度不够大，较长的引压管线导致安装麻烦，而且易漏、易堵、易冻结，易引起差压信号的传递失真。近些年的改进主要有：

差压变送器的精度等级得到大幅度提高，从早先的 1.5 级提高到后来的 0.5 级，再到现在的 0.1 级甚至 0.75 级。在相对流量低于 30% 时，节流装置送出的差压信号也能到精确测量，从而有利于流量测量范围度的扩大。

流量显示仪表的改进，不仅使显示仪表精确度得以提高，更重要的是：制约节流式差压流量计范围度扩大的流出系数非线性和可膨胀性系数影响得到补偿，从而使节流式差压流量计的系统精确度大大提高，范围度可扩大到 10：1。^[6]

对引压管线的改进体现在一体化节流式流量计上。在一体化节流式差压计中，引压管缩得很短，所以，改进前存在的易漏、易堵、易冻结，差压信号传递失真问题，安装工程量大等问题均得到解决。

新的计算公式，使一次元件测量不确定度进一步减小。这主要体现在新的国际标准 ISO5167:2003(E) 上。

参考文献

- 1 姜仲霞，姜川涛，刘桂芳. 涡街流量计. 北京：中国石化出版社，2006
- 2 蔡武昌，孙淮清，纪纲. 流量测量方法和仪表的选用. 北京：化学工业出版社，2001
- 3 GB/T2624-1993 流量测量节流装置用孔板、喷嘴、文丘里管测量充满圆管的流体流量
- 4 纪纲. 流量测量仪表应用技巧. 北京：化学工业出版社，2003
- 5 ISO5167:2003(E). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full.
- 6 王建忠，纪纲. 差压式流量计范围度问题研究. 自动化仪表，2005（8）

（摘自《自动化仪表》2006 年第 7 期 63-66 页）