

流量计超上限运行的严重影响及处理方法

纪波峰、曾令先 上海同欣自动化仪表有限公司（上海 200070）

摘要：流量计常常碰到超上限运行的问题，轻则导致流量示值偏低，重则将发生体冲断。引发的原因有：特殊的工艺流程、仪表品质差而不允许较高的流速以及设计时估计不足，有些流量计是模拟量输出，超上限容易判断，但有些是脉冲输出，是否超上限不容易作出判断，因此应区别不同的情况细心分析。

关键词：涡街流量计 超上限 漏脉冲 发生体折断 音速 限流喷嘴

1 特殊的流程引发超上限流量

1.1 间歇运行系统（浴室蒸汽流量计差压超上限）

很多工厂都有浴室，用蒸汽加热洗澡水，而用孔板流量计对耗汽量进行计量。规定时间一到，浴室管理员就将蒸汽阀门开足，对浴室屋顶的水箱进行加热。此时往往会发现，流量显示表所显示的蒸汽质量流量并未超过满量程，但二次表上的故障诊断信息已显示差压超上限。

为什么阀门一开，差压就超上限？原因是蒸汽对水箱中的水进行加热的流程比较特殊。蒸汽经控制阀直送水箱，只需克服水箱中的水位的阻力，所以流速很高。

为什么差压输出已达满度而质量流量未达满度？原因是控制阀后的蒸汽近似于放空，所以压力跌得很低，这是设计孔板时没有预料到的。

质量流量未超上限的另一个因素是差压超上限后，差压变送器输出电流被限幅（一般被限定在 21.6mA），如果无限幅作用，说不定质量流量也超上限。

处理方法是重新确定常用压力，重新设计孔板。也可保留原有孔板，而换上量程更高的差压变送器。

1.2 流速很高但涡街流量计只指示很小流量

江苏一家热电公司，所属区域有一家热水店买该热网的蒸汽生产开水，然后用槽车运送到洗浴中心等热用户。

该蒸汽计量点及相关管道如图 1 所示。其中涡街流量计采用横河公司的 DY080 型，并在 FC6000 流量演算器中完成温度压力补偿。

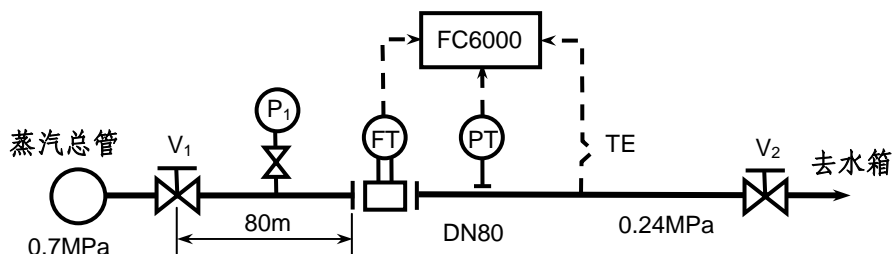


图 1 热水店用户计量系统图

热水店业主摸索了每生产 1 吨开水所耗蒸汽量同加热时蒸汽瞬时流量的关系。发现将阀门 V_2 开足，单耗最低，这时 1 吨汽可烧 30 吨开水。为此，效益可大增。

热电公司的管理人员去现场巡查时发现，蒸汽总管内压力为 0.7MPa，而流量计出口处压力在

0.22~0.26 MPa 之间变化，温度为 260℃，此时的蒸汽流量显示值为 1.5t/h，而且涡街流量计处有啸叫声，显然流过涡街流量计的蒸汽流速非常高，又听说开水店的蒸汽单耗如此先进，初步判断这套流量计严重偏低。

热电公司处理这件事先从流量计出口端压力偏低入手，于是在流量计上游的 DN80 管道旁又增设了一路 DN65 的管道，两根管道并联使用，以降低管道上的压力损失。但运行结果，效果不显著，只是流量计前面和后面的压力略有升高，计量值偏低的情况并无改观。

热电公司为此事向笔者咨询。

笔者先从流量计前后压力计算流过涡街流量计的平均流速。因为流体流过涡街流量计时，流量计前后压差同流速之间有这样的关系^{[1][2]}：

$$\Delta p = 1.1 \times 10^{-6} \rho v^2 \quad (1)$$

式中：Δp —— 压力损失，MPa；
ρ —— 流体密度，kg/m³；
v —— 流速，m/s。

流量计出口处压力以 0.24 MPa 计，在温度为 260℃时，蒸汽密度为 ρ=1.4 kg/m³，蒸汽总管压力为 0.7MPa，扣除沿途压力损失，到流量计上游约为 P₁=0.5MPa，然后计算压损

$$\Delta p = 0.5 - 0.24 = 0.26 \text{ MPa}$$

代入式 (2) 得

$$v = \left(\frac{\Delta p}{1.1 \times 10^{-6} \cdot \rho} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$\approx 410 \text{ m/s}$$

基于上述计算结果，笔者为热电公司提了三点建议：

- (1) 限制用户端的阀门 V₂ 的开度，将瞬时流量限制在 DN80 涡街流量计允许的上限流量值以下。
- (2) 将涡街流量计（连同温度压力测量元件）移至距总管较近的位置。
- (3) 将涡街流量计口径适当放大，使得 V₂ 开足时，流过涡街流量计的流速也不超过其允许的最高流速 80m/s。

首先第一个方法，如果能得以实现，既能保证计量准确度又不用增加开支。但是需方反对。因为瞬时流量减小就意味着开水店单耗升高。而且因为 V₂ 阀门属用户资产，阀门的开度供方无权约束，也没有违反双方已订的协议。

第二个方法是基于式 (3) 所示的关系。

$$v = \frac{q_m}{\rho_f \cdot A} \quad (3)$$

式中：v —— 流速，m/s；
q_m —— 质量流量，kg/s；
ρ_f —— （某一段）管道内蒸汽密度，kg/m³；
A —— 管道流通截面积，m²。

在管道内蒸汽高速流动的条件下，管道上的压损相应增大，流量计前移则流量计安装地点的蒸汽压力相应升高。压力的升高使得对应的蒸汽密度 ρ_f 增大，从而降低流过发生体的蒸汽流速。但若只移位不换大口径并不能解决根本问题。

关于流速高于 80m/s 后流量计偏低这个问题只见有过零星报道^[3]，未见有人做过专门研究。

横河公司的资料中给出了斯特罗哈尔数 S_t 与雷诺数的关系，如图 2 所示，但并未说到流速高于 80m/s 的上限流速后，误差的方向。

从涡街流量计现场实际运行情况，制造厂用“漏脉冲”现象解释，即流速高于上限流速后，涡街流量传感器输出的频率与流速成正比的关系就被破坏，而且流速越高，漏脉冲的现象越严重。

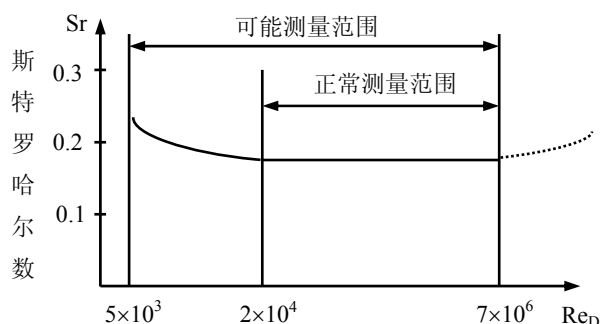


图2 斯特罗哈尔数与雷诺数的关系^[1]

在上面的实例中，按照温度压力参数和流速的数据计算，流过涡街流量计的流量应有 10.3 t/h，但仪表的显示值只有 1.5 t/h，只相当于实际流量的 1/7。显然被漏掉的脉冲不是少数，而是多数。

由于仪表通径换大后，流过流量计的流速降低，所以，流量计出口端压力也会显著升高，从而将流速降到 80m/s 以下。

热电公司采纳了第三个建议，将涡街流量计公称通径换成 DN150，并按规定配置 DN150 的前后直管段，从而实现正常测量。流量示值上升到 11 t/h^[3]。

2 用水标定的涡街流量计测蒸汽时不准的分析

上海浦东某热力公司增设一台锅炉的工程，因属政府投资项目，故公开招标。江苏某市的锅炉厂以最低价中标。该项目中共有 9 套涡街流量计，施工图中均为横河品牌的选型，但中标单位为了节省投资，采用了某个指标达不到中标要求的品牌产品。

锅炉投运初期，负荷较小，锅炉的产汽流量与进水流量基本相符。运行一年后锅炉负荷逐渐增大，生产部经理发现产汽流量比进水流量低得越来越严重，直至 24 小时总量偏低 16%（扣除排污后）。在做了各项检查校验均未查出原因所在的情况下，遂向笔者提出咨询。

笔者怀疑锅炉负荷增大后汽水不平衡是由产汽流量计偏低引起，遂建议生产部令总包（中标）单位将产汽流量用涡街流量传感器拆下送第三方检定。

先是放在水流量标准装置上检定，得到的流量系数与铭牌上标出的数值相符。这一点也不奇怪，因为用水检定时流速较低，最多也只有 6m/s 左右，这台流量计，设计院是按照横河品牌设计的，最高流速允许高达 80m/s。于是，笔者建议将该台仪表放在空气标准装置上检定，检定结果令人吃惊，在 60m/s 流速时，偏低还不止 16%，竟达到 -24%。从而使问题有了正确的答案^[4]。

（1）为什么流速低时准确而流速高时严重偏低

按照原理分析，在一定雷诺数范围内，涡街流量计输出频率不受流体物性（密度、粘度）和组成的影响，即仪表系数仅与涡街发生体的形状、尺寸有关，大多数国外知名品牌的涡街流量计，承诺流速达到（76~80）m/s 流速时仍能保证精确度。

但全国产的一些品牌产品，并不做此承诺，有些根本就未放在气体流量标准装置上做过试验，于是由于品质不佳的原因，在流速高时存在严重的“漏脉冲”现象，导致流量系数线性度变差。流速越高，偏低越严重。

（2）启示

① 这个实例给人们以启示。即涡街流量计在流速低时能保证准确度，并不表明在流速高时也能保证准确度。这与技术水平有关。

② 某些品质欠佳的涡街流量计，用来测量液体流量时，准确度是可以的，因为流体流速低，但用来测量气体或蒸汽流量时，就需注意测量点的最高流速以及在此流速下，涡街流量计是否偏低。

总包单位最终将九台涡街流量传感器中用来测量蒸汽流量的三台，换成横河公司 DY 型涡街流量计，使问题得到解决。

3. 设计时估计不足引发的问题

流量计投运后，有时会发现实际流量比预计的大得多。

四川某化工厂买了 20 台北京知名品牌涡街流量计测量蒸汽流量，除了一台 DN40 仪表之外，都开得很好。

这台 DN40 涡街流量计投运后不久发生体就被冲掉。供应商认为，发生体被冲掉是因为流速过高，但是用户辩称流量计显示的流量并未超限。供应商为了避免冲突，而且损坏的只是一台小口径表，于是就无偿换了一台相同规格的新表，没几天又被冲掉。于是用户向笔者咨询。

发生体被打断或被冲掉的事件大多数品牌的涡街流量计都发生过。其中个别属品质问题，没有焊牢。但大多数是使用问题。

北京的这个品牌质量是好的，所以除了一台之外其余都开得很好。而被折断的一台，换新之后没几天又被折断，应属使用问题。

流体以很高的流速通过旋涡发生体时，在发生体背面产生强烈的旋涡，引发振动，对发生体造成强大的推力。该推力与流速的平方成正比，与流体的密度成正比。

当仪表用来测量蒸汽流量时，如果流量计进出口之间压差较大，流速很高，有的超过 200m/s，甚至接近声速。对于间歇使用的对象，更是危险。如果白天用汽，夜间停用，那末第二天上班开阀时，管道是冷的，阀后的压力接近大气压，流速很容易升得太高。此时上游管道内的水被蒸汽夹带，以很高的线速度冲撞在发生体上，就像子弹一样，导致发生体损坏。因此，冷管启动时应注意几点：

- ① 蒸汽进入流量计前应充分疏水；
- ② 热管过程应缓慢，切忌产生超流速；
- ③ 起动完毕应根据仪表前后压差计算最高流速，不要超过制造厂承诺的上限流速。因为超流速后，即使发生体没损坏，流量计也不准。

4. 漏脉冲的判断方法

漏脉冲现象是涡轮流量计、涡街流量计等脉冲输出类流量计中所特有的现象。此类流量计在正常测量的情况下，输出脉冲在时间坐标上的分布近似均匀，但是在某些情况下，脉冲却在某处少了一个（如图 3 所示），严重时竟少了很多脉冲。例如气体涡轮流量计涡轮缺叶，会引起漏脉冲，涡街流量计超流速运行和测量蒸汽流量时，蒸汽严重带水，也会引起漏脉冲。

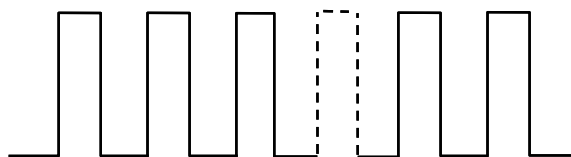


图 3 示波器记录到的波形

关于漏脉冲的机理，涡轮流量计缺叶引起漏脉冲，机理是清晰的，但是涡街流量计，超流速引起漏脉冲和严重带水引起漏脉冲的机理，还没看到有人做过深入的研究。而某台流量计当前是否存在漏脉冲，虽然从流量示值上很难作出判断，但是用示波器观察流量计的输出脉冲波形，却是一目了然，如图 3 所示^[4]。

6 结束语

- ① 特殊的工艺流程，必然导致流过流量计的流体速度超过允许值。将流量计口径放大，或在

控制阀处设置限流喷嘴，将流速降低，是有效的处理方法。

② 品质欠佳的涡街流量计，流速超过 40m/s 后就会产生“漏脉冲”现象，因此设计时，要搞清所选仪表的技术指标。

③ 在设计时，对最高流速和工况条件估计错误，常会引发流量计超流速运行。关小与流量计串联的控制阀，将流速降下来，如果流量示值不降反升，则表明流量计已处于“漏脉冲”状态，应将流量计通径换大。

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. 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
3. 钱汉成, 李强, 纪纲. 蒸汽流量测量误差三例. 自动化仪表, 2001,(4): 50~51, 54
4. 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. 2014

摘自《仪表世界》2018年2月号