

# 双向蒸汽流量的测量

叶非 (上海电力股份有限公司吴泾热电厂, 上海 200241)

叶海清 (杭州市质量技术监督检测院, 杭州 310019)

纪纲 (上海同欣自动化仪表有限公司, 上海 200070)

**摘 要 :** 双向蒸汽流量测量是一项特殊的流量测量课题。国家标准规定, 双向孔板不切斜角; 节流件两个端面均应符合国标中关于上游端面的规定; 节流件的两个直角边均应符合国标中关于上游边缘的规定。通常采用两台差压变送器分别测量正反向差压, 用一台压力变送器测量正向流正端取压口压力, 并根据关系式计算反向流正端口取压口压力, 几路信号送流量二次表判断流动方向和计算蒸汽质量流量。双向孔板流量计可按 JJG640 规程用几何法进行检定。另外, 要求不高的测量点, 也可用菱形截面阿牛巴均速管流量计测量。时差法超声流量计也具有双向流测量能力, 可用导波板降低外夹式换能器安装处的温度。用于温度不高于 400 的蒸汽双向流测量。

**关键词 :** 双向流 蒸汽流量 双向孔板 双量程 阿牛巴 声阻抗比

## Bi-directional Steam flow measurement

Ye fei(Shanghai Electric Power Co., Ltd Wujing Thermoelectric, Shanghai, 200241, China)

Ye haiqin(Hangzhou Institute of calibration and Testing for Quality and Technical Supervision, Hangzhou, 310019, China)

Jigang(Shanghai Tontion Automation Instrumentation Co., Ltd, Shanghai, 200070, China)

**Abstract :** Bi-directional stream flow measurement is a special subject of flow measurement. According to national standard, bevel is not cut in bi-directional orifice. Both end of throttle should meet national standard requirement of upstream end. Two right-angle border should be consistent with national standard requirement of upstream edge. Usually measure positive and negative differential pressure respectively using two differential pressure transmitter, one pressure transmitter measures pressure of positive pressure port for positive flow, and calculates pressure on the positive pressure port for negative flow according to formula. Several signals go to secondary flow meter, and judge flow direction; and then calculate stream mass flow. The bi-directional orifice flow meter could be calibrated by geometry policy according to JJG640. Besides, measurement point with low accuracy could be measured using diamond-shaped section Annubar. Transit time supersonic flow meter has capability to measure bi-directional flow, using guided-wave plate to lower temperature at the site of clamp-on transducer. To measure bi-directional stream flow which temperature below 400 .

**Key words :** bi-directional flow, stream flow, bi-directional orifice, two range, annubar, acoustic impedance ratio

## 1. 概述

有些生产装置, 在正常生产时, 可外供蒸汽, 但在某一段时间, 例如开车过程中, 需消耗蒸汽。两个独立核算的热网之间, 蒸汽有时从 A 网流向 B 网, 有时从 B 网流向 A 网。这就需要流量计具有双向流测量能力。

目前市场上能够买到的双向流量计, 有容积式流量计、涡轮流量计、电磁流量计、热式流量计、科里奥利质量流量计等多种, 但因蒸汽温度高, 无自润滑能力, 管道通径一般都比较比较大等原因, 使得这几种流量计无法适应。

下面介绍的几种双向流量计, 在测量蒸汽双向流量方面各具特色, 只要设计、制造、安装得当, 就能很好地完成测量任务。

## 2. 双向孔板流量计

用标准孔板流量计测量蒸汽流量,仪表工程师大多有丰富的经验,但是用标准孔板流量计测量双向蒸汽流量,大家可能知之不多。其实,在国家标准 GB/T 2624-2006 (相应的国际标准为 ISO5167:2003 (E)) 中,对双向孔板也做了详细的规定,只要按照标准设计、制造、安装、使用,就能获得标准所规定的准确度。

### 2.1 双向孔板流量计工作原理

与普通孔板流量计相比,双向孔板流量计具有下列特殊之处<sup>[1]: 4; [2]: 5~6</sup>。

#### (1) 双向孔板

孔板不切斜角;

两个端面均应符合国标中关于上游端面的规定;

节流孔的两个边缘均应符合国标中关于上游边缘的规定;

孔板厚度应等于  $0.005\sim 0.02D$ , 其中  $D$  为管道内径。为了防止孔板变形,在结构上和其它相关方面必须采取相应措施。

单向孔板如图 1 所示,双向孔板如图 2 所示。

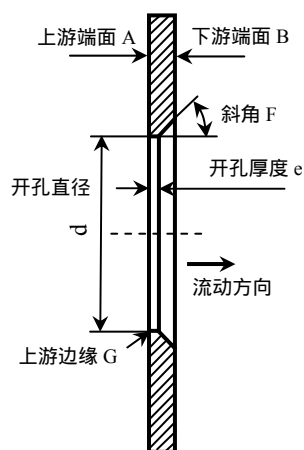


图 1 单向孔板  
Single directional orifice

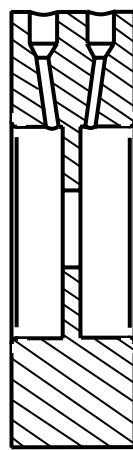


图 2 双向孔板  
bi-directional orifice

#### (2) 对直管段的要求

测量正向流时的后直管,在测量反向流时,变为前直管,因此,仪表的两个直管段,都应满足国家标准中前直管段的要求。

#### (3) 正端取压口压力 $P_1$ 的计算

仪表的节流件正端取压口压力  $P_1$ ,用压力变送器测量。该变送器安装在正向流的正端取压口。在流体反向流动时,该点压力变成了反向流的负端取压口,根据正端取压口压力、负端取压口压力和差压的定义知,

$$P_1' = P_1 + \Delta p'$$

式中:  $P_1'$  — 反向流正端取压口压力, Pa;

$P_1$  — 正向流正端取压口压力, Pa;

$\Delta p'$  — 反向流差压, Pa。

其实  $P_1'$  就是正向流的负端取压口压力,只因该点未安装压力变送器,所以,只能用间接的方法得到。

#### (4) 温度传感器的安装

按照国家标准，温度传感器的套管只能安装在节流件上游 20D 以外的管段上，由于制造厂提供的直管段长度有限，所以，当管径较大时，测温套管由用户自行安装在主管道上。而且套管管径要尽量小，插入深度在不影响测量准确度的前提下，要尽量浅一些。

双向孔板输出的正反向差压信号，通常采用两台差压变送器测量，流量为零时，两台差压变送器均输出 4mA，小信号切除值可按单向孔板流量计方法处理。两台变送器的差压上限，分别与正反向流量上限相对应。如图 3 所示。

为了节省投资，也可用一台差压变送器。将差压变送器零位设置在 12mA，则 12~20mA 代表正向流量，12~4mA 代表反向流量。

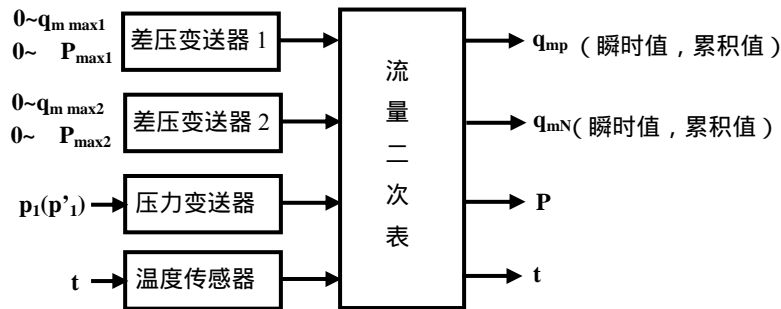


图 3 双向孔板流量计系统图  
Bi-directional orifice flow meter diagram

（5） 双向流的温压补偿

对于过热蒸汽和一般气体，流体流过节流件为等温过程，所以流体温度无变化。

对于饱和蒸汽，由于蒸汽中可能带有微量水滴，所以流体流过节流件后产生的压降，可能会使温度有一些降低，因此，饱和蒸汽推荐采用压力补偿，即根据节流件前蒸汽压力查蒸汽密度表。

如果蒸汽状态不能确定，有时为过热蒸汽，有时为饱和蒸汽，则应采用温压补偿压力优先方式<sup>[3]: 25~26</sup>。

（6） 双向流的流出系数补偿

在差压式流量计中，流出系数随雷诺数的变化而变化，因此，须按数学模型对此变化进行在线补偿才能保证系数精确度<sup>[4][5][6]: 554~559</sup>。

流量显示装置中，按照正向流孔板计算书设置的流出系数 C 补偿数据，同样适用于反向流。

（7） 双向流的可膨胀性系数补偿

反向流与正向流采用相同的公式计算可膨胀性系数  $\epsilon$ ，所以反向流  $\epsilon$  补偿与正向流相同。

（8） 流量演算器的功能

用于双向蒸汽流量测量的流量演算器，除了对差压信号进行处理，对流动方向做出判断之外，还需对正向瞬时流量、正向累积流量、反向瞬时流量、反向累积流量进行计算，并予以显示。

除此之外，还承担着流体温度压力补偿、流出系数自动补偿和可膨胀性系数自动补偿等任务。

2.2 双向孔板流量计的结构

双向孔板流量计需考虑流体流向从一个方向转换到另一个方向的过程中，有可能在小流量区间停留较长时间，因此，流量计必须有很小的切除值。这就要求仪表有很大的量程比。为了做到这一点，仪表的变送部分宜采用一体化结构，只有这样，孔板送出的差压信号才能不失真地传递到差压变送器。

图 4 所示是 FDI 双向流量计的结构<sup>[3]</sup>，仪表变送部分由节流件，前直管段，后直管段，夹持法兰、垫片、双头螺栓、支架、三阀组、差压变送器、压力变送器、引压管和温度传感器、切断阀、冷凝罐等组成。直管段末端自带配对法兰，压力高时为焊接坡口，以便与工艺管连接。其中节流件、三阀组、引压管和支架为不锈钢材质，

变送器和传感器的与流体接触部分为不锈钢或其他耐腐蚀材料，垫片采用金属缠绕石墨垫片。

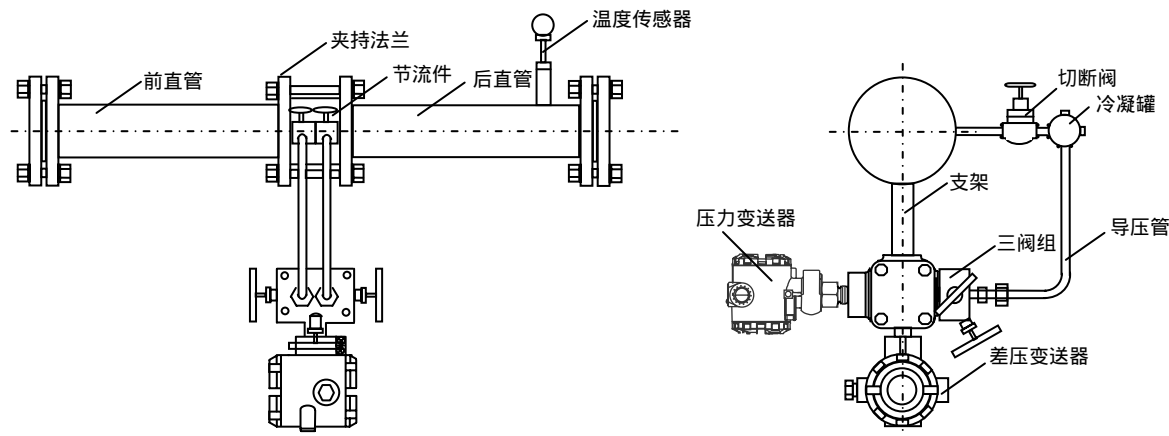


图 4 双向孔板流量计结构（单差压变送器）  
Bi-directional orifice flow meter structure (with one differential pressure transmitter)

图 5 所示为配有两台差压变送器的双向孔板流量计的结构。

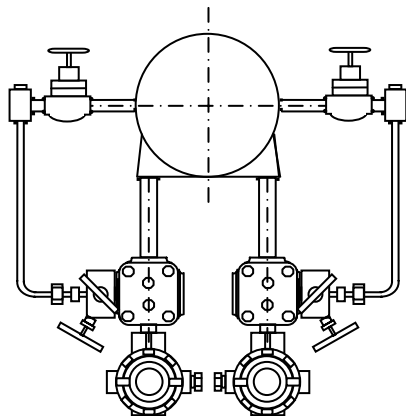


图 5 双向孔板流量计结构（双差压变送器）  
Bi-directional orifice flow meter structure (with two differential pressure transmitter)

2.3 双向孔板流量计的检定

用于贸易结算的双向孔板流量计，必须经技术监督机关授权机构强检合格才能使用。检定所依据的规程为 JJG 640-94。

(1) 几何检定法

按照 GB/T 2624 规定，标准节流装置可以采用几何检定法检定<sup>[7]</sup>，检定项目包括节流件开孔直径  $d_{20}$ 、厚度、锐缘、管道内径  $D_{20}$ 、端面粗糙度、平整度等。然后再对差压变送器、压力变送器、温度传感器和流量二次表进行检定。最后用误差合成法评估系统不确定度。

(2) 实流检定法

双向孔板流量计的各部分组装成一个整体后，就可放在流量标准装置上进行实流检定。检定点可按规程选定。在正向流量检定完毕，应将被检流量计进出口颠倒，对其反向流量的测量指标进行检定。只有正反向流量检定结果均合格，才算整套仪表合格。

2.4 双向孔板流量计的技术指标

节流装置不确定度  $E_C$ ：在  $0.2 < \beta < 0.6$  和  $Re_D \geq 5000$  时， $E_C$  为  $\pm 0.5\%$ <sup>[1]: 7~10; [2]: 10~13</sup>。

系统准确度： $\pm 1\%$ （液体）和  $\pm 1.5\%$ （蒸汽）。

可测范围： $(2 \sim 100)\%FS$ ，保证精度范围： $(10 \sim 100)\%FS$ （单量程结构）。

可测范围： $(1 \sim 100)\%FS$ ，保证精度范围： $(3 \sim 100)\%FS$ （双量程结构）<sup>[3]</sup>。

### 3. 菱形截面阿牛巴流量计

上述双向孔板流量计用来测量蒸汽流量时，准确度比较高，而且检定方便，受到热电、热力行业的欢迎。但是投资较高，而且永久性压损也较大。在不需强制检定的测量点，如果测量精确度要求也不高，则可用菱形截面阿牛巴流量计来测量蒸汽的双向流量。

阿牛巴流量计是径流速计中的一种，其检测杆的截面形状有圆形、T形、子弹头形和菱形等。其中，菱形截面检测杆，其迎流面和背流面开有相同的四个孔，每个孔测量蒸汽管道截面积的四分之一的平均流速，由于迎流面与背流面完全对称，所以就可用来测量双向流量<sup>[8]</sup>。

图 6 所示为菱形截面阿牛巴流量计用来测量双向蒸汽流量时的一次元件结构图。

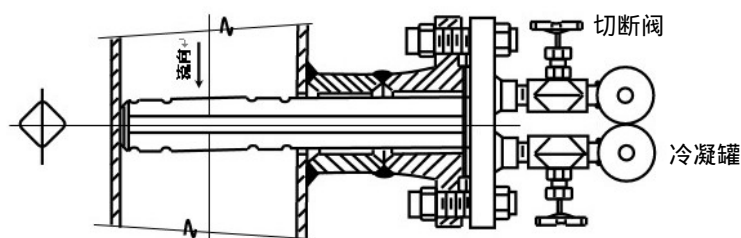


图 6 测量双向蒸汽流量的阿牛巴流量计（俯视图）

Annubar flow meter which measure bi-directional stream flow

差压变送器的零点设置等与双向孔板流量计相同。

阿牛巴流量计结构简单，价格便宜，永久性压力损失也小，但检定困难，所以，多用在过程测量与控制中。

JJG 640 规定，阿牛巴流量计只能采用流量系数法检定，即必须放在流量标准装置标定其流量系数。这样，就必须有一段内径与实际安装地点管道内径相同的测量管，才能实施检定，这就为检定造成了很大困难。

### 4. 用超声波流量计测量双向蒸汽流量

超声波流量计具有双向流量测量能力，但是用超声波流量计测量蒸汽流量却有三方面的约束。

最高流速 35m/s。

介质温度 170 。

被测介质声阻抗与管壁声阻抗之比 3000。

其中，第一个约束条件并不难实现，因为对于流速可能达到 35m/s 以上的测量对象，可局部扩大管径。第二个约束条件就意味着这种方法只能测量压力低于 0.68MPa（G）以下的饱和蒸汽。但是，蒸汽压力太低又要受到第三个条件的约束，因为蒸汽压力降低后，其密度相应减小，这就使其声阻抗与管壁声阻抗比增大。

现在，制造商推出了一种可测高温介质流量的新技术，即经高温导波器可将常规探头耐温延伸到 400 ，其结构如图 7 所示<sup>[10]</sup>，但是，导波器又增大了声阻抗比，这就使人陷入两难境地。所以在考虑选用这一方法时，需向制造商详细咨询，以免花了钱用不好。

### 5. 结束语

双向蒸汽流量的测量是一项特殊的测量任务，可供选择的方法相当有限，应当谨慎从事。

在一般测量时，菱形截面阿牛巴流量计是个简单而经济的方法，但因差压信号很小，实施时应处处留心，

防止差压信号的传递失真。

由于阿牛巴流量计的检定要在流量标准装置上才能进行，所以，难度很高。

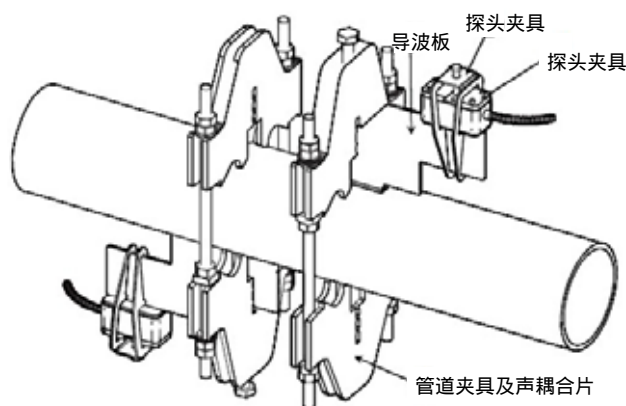


图7 导波板在管道上的安装

Installation of guided-wave plate on pipe

超声流量计用于双向蒸汽流量测量，从精确度来说，可达读数值的1%（体积流量），能够满足要求，但耐温等级、声阻抗比和流速限制是必须解决的问题。

双向孔板是双向蒸汽流量测量的成熟方法，能够适应的温度压力范围、管径和流速范围都很宽广，检定也方便，所以是蒸汽计量交接的实用方法。

#### 参考文献

1. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 2624-2006 用安装在圆形管道中的差压装置测量满管流体流量 第2部分: 孔板. 北京: 中国标准出版社, 2007
2. ISO Copyright office. ISO 5167:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Switzerland, 2003
3. 上海同欣自动化仪表有限公司. FDIIt 智能节流式双向流量计
4. 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
5. 王建忠, 纪纲. 节流式差压流量计为何仍有优势. 自动化仪表, 2006(7) 63~33
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) .4~6,9
7. 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, 554~559
8. 国家技术监督局批准. JJG 640-94 差压式流量计检定规程. 中华人民共和国国家计量检定规程汇编流量(三). 北京: 中国计量出版社, 119~196
9. 侯娟. 双向毕托管流量计特性分析. 仪表技术与传感器. 2003 年第5期: 53~54
10. FLEXIM 公司. WAVEINJECTOR 高温导波器

作者简介：叶非 1958 生，男，江苏泰兴人，工程师，从事火电厂热工检修工作。曾在《自动化仪表》刊物发表过数篇文章。

（摘自《石油化工自动化》2012 年第 2 期 56-59 页）