

# 标准孔板流量计在燃气大流量计量中的独特优势

□ 中国测试技术研究院流量研究所气体流量实验室(610021) 雷 励

相对于欧美发达国家而言,我国的天然气计量事业起步较晚,有关天然气计量的一些基本知识,目前在城市燃气领域远未得到应有的重视和普及。即便是城市燃气行业从事计量工作的管理或技术人员,在燃气大流量计量的实践中,对所使用的不同流量计的原理类型、各自特点、使用条件等方面的了解并不十分深入,而对量值溯源、测量结果不确定度的评估等较为专业的概念及原理则知之甚少。很多燃气计量工作者对自己所经手的大流量计量装置,究竟选择配置哪种类型的流量计,主动参与的意识并不强烈,基本

受制于项目的设计者。也就是说,怎样才能做到让我们的计量结果“计得准”、“说得清”,还需广大燃气计量工作者共同努力。下面就我们在天然气计量实验研究和计量实践中的一些体会,谈谈个人的粗浅认识。

## 1 燃气大流量计量常用流量计的基本原理

目前,我国城市燃气大流量常用的流量计有:  
①标准孔板流量计②涡轮流量计③涡街(旋进旋涡)

总之,通过以上分析,可以看出,未来北京燃气行业会迎来大发展的黄金时期,燃气行业发展受政治、经济、社会文化和技术等因素的影响,燃气管网等基础设施也会快速发展,气源结构、燃气应用方式等也会呈现多样化。同时,对因气源不足、自然灾害、管网老化、城市发展等带来的安全隐患,应提前采取措施预防。

### 参考文献

- 1 北京市国民经济和社会发展第十二个五年规划. <http://www.bjpc.gov.cn/zt/shierwu/index.htm>
- 2 北京城市总体规划(2004年—2020年). [http://www.bjpc.gov.cn/fzgh\\_1/cszgh/200710/t195452.htm](http://www.bjpc.gov.cn/fzgh_1/cszgh/200710/t195452.htm)

3 “十二五”天然气消费量年预增25% 提价或将抑制需求[EB/OL]. <http://www.in-en.com/gas/html/gas-1000100039916527.html>

4 北京市“十二五”时期能源发展建设规划.北京市发展和改革委员会, 2011: 8

5 王卉彤,慕淑茹.北京市能源消费总量、结构与碳排放的趋势研究[J].城市发展研究, 2010; 17(9): 55-61

6 北京“一卡通”入园购买碳排放[EB/OL]. <http://news.yktworld.com/201102/201102100917187818.html>

7 [http://www.bjmac.gov.cn/pub/guanwei/A/A1/201009/t20100915\\_19604.html](http://www.bjmac.gov.cn/pub/guanwei/A/A1/201009/t20100915_19604.html)

8 [http://news.youth.cn/cj/201101/t20110115\\_1461219.htm](http://news.youth.cn/cj/201101/t20110115_1461219.htm)

9 <http://www.china5e.com/special/block.php?blockid=2059&specialid=402>

流量计④超声波流量计⑤罗茨（腰轮）流量计等。其中，第①项属于差压式流量计，其原理是燃气流量与其通过孔板的差压相关联；第②至④项属于速度式流量计，其原理是燃气流量与其通过流量计的速度相关联；第⑤项属于容积式流量计，相当于用量杯对通过流量计的燃气计量。

### 1.1 标准孔板流量计

当燃气通过管道内的节流件——标准孔板时，气流束将在此处形成局部收缩，导致流速加快，压力降低，因而，气流在孔板的两侧便形成了差压。在其他条件一定的情况下，燃气的流量越大，形成的差压也越大，而且，燃气的流量与这个差压的平方根成正比。因此，可根据差压的大小来确定燃气流量的大小。这种测量方法的理论基础，就是连续性方程（质量守恒）与伯努利方程（能量守恒）。

### 1.2 涡轮流量计

当燃气流经涡轮流量计时，推动流量计壳体中的涡轮旋转，燃气的流速与涡轮转速成正比。因此，在其他条件一定的情况下，通过检测涡轮的转速，便可求出燃气的流量值。

### 1.3 涡街（旋进旋涡）流量计

当燃气通过涡街流量计中设置的阻流件（旋涡发生体）时，阻流件两侧会交替地产生有规则的旋涡，这种旋涡叫卡门旋涡（有的译为卡曼涡街）。由于卡门旋涡的发生频率与被测流体的流速成线性关系，所以，在其他条件一定的情况下，通过检测卡门旋涡的发生频率，便可求出燃气的流量值。

旋进旋涡流量计的阻流件（旋涡发生体）与通常的涡街流量计略有区别。当燃气进入流量计时，阻流件迫使流体旋转，产生旋涡流。当旋涡流下行至文丘利管又产生旋进，并在收缩段突然节流，进而使旋涡流加速，再进入扩散段。此时，因回流作用迫使流体进行旋进式二次旋转。由于旋涡流的旋转频率与介质流速成正比，所以，在其他条件一定的情况下，通过检测旋涡流的旋转频率，便可求出燃气的流量值。

### 1.4 超声波流量计

通常的超声波流量计，是基于声波在流体的正反向上具有不同传播时间这一原理来测量流体的流量值。我们知道，声波在距离相同、流向相反的流体中传播时，顺流方向的传播时间会减少，逆流方的传

播时间会增大。因此，当我们分别沿流体的顺流和逆流方向，以相同距离、相同时刻向同一点发送超声波时，这两束声波的到达时间就会有所不同，形成一定的时间差。在其他条件一定的情况下，这个时差愈大，则表明流体的流速愈快，流量值愈大；反之则流量愈小。

### 1.5 罗茨（腰轮）流量计

由于罗茨（腰轮）流量计的转子与壳体之间构成了一个封闭的腔体（计量腔），而转子又是一对互为共轭曲线的腰轮（即罗茨<Roots>）。当燃气通过流量计的计量腔时，推动转子旋转。转子每旋转一次，4倍于计量腔容积的燃气通过流量计。在其他条件一定的情况下，通过测量转子的旋转次数，便可求出燃气的流量值。

## 2 常用的燃气大流量流量计的使用要求及特性

选用的流量计精度愈高，并不等于得到的计量结果就愈准。用于燃气大流量的任何流量计都有其特定的使用要求，离开这些要求来配置和使用流量计，计量结果的准确性就会大打折扣。要想在燃气大流量计量中尽量做到“计得准”、“说得清”，首先就应该了解各种燃气大流量流量计使用要求及特性，并严格遵循这些要求来选择和使用流量计。否则，你使用的流量计就很难“计得准”，计量结果也很难“说得清”。在这里，我们只做个粗略的介绍，进一步的知识可通过查阅有关技术资料，或通过互联网搜索来深入了解。

### 2.1 标准孔板流量计

①流量计上游应加装过滤器；②上下游须一定长度的直管段，依据GB/T21446-2008确定（上游侧 $\geq 14D$ 、下游侧 $\geq 5D$ ，其中D为标准孔板流量计测量管即直管段内径）；③上游直管段的前端应加装流动调整器（整流器）；④允许计量误差范围内，同一只孔板的量程比目前已可达到9:1。⑤与之配套的差压计（或传感器）的量程必须做到100:1。也就是说，差压计（或传感器）的测量值不仅要做到在0kPa~100kPa的量程段不超差，而且在0kPa~20kPa的量程段也不超差，保证在0.2%及其以上精度。根据这些要求，在使用标准孔板流量计时，上下游直管段

长度便决定了需要较长的安装场地。为了防止差压、静压信号的失真，还须尽量缩短标准孔板与差压传感器之间的引压管线，杜绝因三阀组引起的计量误差（也就是说不要使用三阀组）。

## 2.2 涡轮流量计

①流量计上游应加装过滤器；②因涡轮流量计运转中不可避免的磨损问题，导致其难以长期保持校准特性，这就需要定期校验。即定期送有资质的检定机构对流量计进行实流标定，以确保其流出系数的准确可靠。对用于贸易结算量较大的计量点，最好配备现场校验设备，以便定期对流量计校准，确保其流出系数的准确性。③由于流量计的准确性受上游来流流速分布畸变和旋转流的影响较大，所以流量计的上下游也需一定长度的直管段，并依据GB/T18603-2001来确定（上游侧 $\geq 5D$ 、下游侧 $\geq 2D$ ，其中D为测量管内径或流量计口径）。④允差内的测量范围（量程比）可达30:1。⑤须安装旁通，以便对流量计进行检定维护时不影响供气。⑤有机械转动部件，应特别注意润滑和避免气体杂质对运动部件的损伤。

## 2.3 旋进旋涡流量计

①流量计上游应加装过滤器；②因难以长期保持校准特性，需要定期校验。对于贸易结算量较大的计量点，最好配备现场校验设备，以便对其定期校准并保持其流出系数的准确性。③流量计的准确性同样受上游来流流速分布畸变和旋转流的影响，上下游也需保持一定长度的直管段，并依据SY/T6658-2006来确定（上游侧 $\geq 10D$ 、下游侧 $\geq 5D$ ，其中D为测量管内径或流量计口径）。④允差内的测量范围（量程比）为10:1。⑤须安装旁通，以便对流量计进行检定维护时不影响供气。

## 2.4 罗茨（腰轮）流量计

①流量计上游应加装过滤器；②因难以长期保持校准特性，需要定期校验。③流量计的准确性也受上游来流流速分布畸变和旋转流的影响，上下游也需一定长度的直管段，并依据GB/T18603-2001来确定（上游侧 $\geq 4D$ 、下游侧 $\geq 2D$ ，其中D为测量管内径或流量计口径）。④允差内的测量范围（量程比）为30:1。⑤须安装旁通，以便对流量计进行维护检定时不影响供气。⑤有机械转动部件，应特别注意润滑和避免气体杂质对运动部件的损伤。

## 2.5 超声波流量计

①流量计上游应加装过滤器；②因难以长期保持校准特性，需要定期校验。对于贸易结算量较大的计量点，最好配备现场校验设备，以便定期对流量计进行校准并保持其流出系数的准确性。③流量计的准确性也要受上游来流流速分布畸变和旋转流的影响，上下游照样需要一定长度的直管段，并依据GB/T18604-2001来确定（上游侧 $\geq 10D$ 、下游侧 $\geq 3D$ ，其中D为测量管内径或流量计口径）。④允差内的测量范围（量程比）为30:1。⑤须安装旁通，以便对流量计进行维护检定时不影响供气。

## 3 标准孔板流量计在燃气大流量计量中的独特优势

从上述流量计的使用要求及特性介绍可知，除标准孔板流量计外，其它所有的流量计都有安装旁通、通过定期校验来保持校准特性、或最好配备现场校验设备的要求。事实上，仅配备可靠的现场校验设备这一条就很难做到。至于定期校验，也是一件难以让人踏实的事情。为什么这样说呢？按理说，你计量什么气体，就应该用什么气体来对流量计进行标定，而且标定气体与计量气体的组份也应大体一致（即实流标定）。但事实上绝大多数的检定机构根本做不到这一点，只能用常压空气来代替天然气。对于气体压缩特性改变要影响流量计计量特性的流量计，例如涡轮流量计、超声流量计等，采用常压空气的计量参数代替天然气测量时的参数，在理论上是站不住脚的，在实践中也是说不清的。这样一来，除标准孔板流量计外，其它流量计的计量结果到底准不准，或者说计量结果的不确定度到底能达到多少，在计量现场就很难说得清楚。

### 3.1 标准孔板流量计所谓“标准化”的含义

我们知道，孔板流量计是差压式流量计的一种。那么在孔板流量计的前面加上“标准”二字又意味着什么呢？这里要从孔板流量计的标准化问题谈起。如前所述，世界上用于天然气流量测量的仪器仪表的种类很多，但研究最早、工作做得最细、试验数据最多、使用经验最丰富的是孔板流量计。经过欧美发达国家近百年的不断完善，国际标准化组织制定出了

一整套关于孔板流量计的设计、制造、安装和使用标准，并在世界上被广泛采纳和应用。也就是说，孔板流量计已经实现了标准化。我国参照相关国际标准并结合自身实际，在燃气计量领域也制定出了关于标准孔板流量计的国家标准——GB/T21446-2008《用标准孔板流量计测量天然气流量》。因此我们说，依照这些标准来设计、制造、安装和使用的孔板流量计就属于标准孔板流量计，否则就不能称之为标准孔板流量计。说到这里大家可能会有疑问，难道除标准孔板流量计以外的其他流量计的设计、制造、安装和使用就不遵循相应的法定标准吗？我们说，肯定是要遵循相关的法定标准的。那么大家又要问，标准孔板流量计和其他流量计都要遵循相应的法定标准，他们之间又有什么区别呢？在这里，我们要介绍一个有关计量仪表的基本概念——流出系数（有的场合又叫仪表系数），即天然气流经计量仪表的实际流量与理论流量之比。任何流量计在运行中得到的流量测量值（理论流量）与真实的流量值（实际流量）或多或少地都存在误差，我们在求取这个真实的流量值（实际流量）时，就要用代表其误差大小的仪表系数对流量测量值（理论流量）进行修正，从而使最终得到的测量结果更加切合实际，即更加可信。除标准孔板流量计以外的其他流量计，仪表的流出系数都要通过实流校准来修正确定，否则计量结果就根本不可信。而标准孔板流量计的流出系数则无须实流校准，只需依照规定的方法，就可估算出理论流量与真实流量之间的误差，进而较为可靠的确定出仪表的测量值（差压）与流量之间的数理关系。关于实流校准，这是一项说起来简单，但操作起来又很复杂的工作。因为不同的检定机构，尽管都经过了相关的认证，但因其技术条件、人员结构的差异，所以，同一台流量计在不同的检定机构得出的实流校准结果并不完全一致。关于这一点，中石油的燃气销售计量部门，经常在与用户就输差问题进行比对时发现，他们用一台一体化的标准孔板流量计与用户经实流校准后的其他流量计进行串联计量，两套流量计之间往往存在一定误差，并且有时候还存在较大误差。这时候你相信哪台表的计量结果呢？实事求是地说，只要标准孔板流量计在现场经检定合格，那就只好相信孔板流量计的计量结果了（注意，这里说的是现场检定而不是实流校准，也就是说

在计量现场就可确定标准孔板流量计到底准不准，合不合格。而不需象其他流量计那样，必须把它从流程上拆下来，送回检定机构去确认）。这里边的原因，就在于前面所说的，标准孔板流量计无须实流校准，就可确定流量计的测量值（差压）与流量的数理关系，其误差也可按标准进行估算。在所有流量计中，标准孔板流量计是唯一达到这个要求的流量计。这就是我们要介绍的标准孔板流量计所谓“标准化”的具体含义。说到这里，大家也许就会明白，在川渝地区，中石油、中石化的供气单位，在那些满足国标“GB/T21446-2008”规定条件的大流量计量点，为什么他们一般都要使用标准孔板流量计来计量。

### 3.2 标准孔板流量计的构成

用于天然气计量的标准孔板流量计由两部分组成。第一部分叫一次表（也叫一次装置），即标准孔板节流装置，由孔板阀和相配套的上下游直管段构成（为了提高计量精度，一般还在上游直管段之前加装流动调整器，及整流器）。其作用是按标准规定，正确地建立起差压、静压和气流温度这些计算流量必须的参数。简单的理解，一次表就是产生差压的装置。第二部分叫二次测量仪表，其作用是准确地测量一次表建立起来的差压、静压和气流温度这些参数，并根据这些参数，按照标准规定的计算公式，求出和显示天然气的真实流量。而一套完整的二次测量仪表，又主要由测量仪和积算仪两部分构成。在计算机和智能传感器技术尚未普及的年代，二次测量仪表主要由机械式的圆图记录仪（双波纹管差压计）和手动操作的求积仪组成。随着计算机技术和智能传感器测量技术开始用于天然气计量并逐步得以推广，机械式的圆图记录仪和手动操作的求积仪便逐步淡出该领域，天然气流量计算机系统得到大规模的应用，计量精度也大大提高。但是流量计算机系统采用单元组合仪表的工作方式（由变送器加数据采集器、流量积算显示仪<或计算机>组成），导致了安装复杂、布线繁琐、供电要求高、成本昂贵等问题，并使其应用范围受到限制。其中最为突出的矛盾是，差压变送器的量程问题导致标准孔板流量计的量程范围不能有效扩大；其次，必须以市电给系统供电，对燃气行业众多无人值守、亦无市电的调压计量点来说，则根本无法使用；第三，差压、压力等信号经过多次配电转换、A/D转

换，导致误差增大，难以保证更高的测量精度。近年来的技术进步，使二次测量仪表在流量计算机系统庞杂体系的基础上，实现了一体化和小型化。人们将传感器、积算器、显示器、键盘、电源、通信接口等部件集成在一起，摆脱了传统的由变送器加数据采集器、流量积算显示仪<或计算机>的复杂模式，进一步提高了标准孔板流量计的计量精度，拓宽了量程比，并再次扩大了标准孔板流量计在油气田和城市燃气领域的使用范围。

### 3.3 与其他流量计相比，标准孔板流量计的独特优势

由于标准孔板流量计“无须实流校准，就可确定流量计的测量值（差压）与流量的数理关系，其误差也可按标准进行估算”、这样一个其他流量计无法具备的特点，使得广大燃气单位的计量管理人员，无须第三方的介入，对计量结果到底准不准，就能做到心中有数（当然还应该依法对流量计周期检定，只不过它的检定在计量现场就能完成）。当上游供气单位使用的大流量计量仪表也是标准孔板流量计的时候（川渝地区绝大多数是如此），如遇较大输差，那么我们就有条件与供方讨论和查明形成输差的原因，然后进一步降低输差。输差的大小，直接关系到广大燃气单位的经济效益。所以，让自己的计量结果计得准，说得清，是我们计量管理人员的主要任务。而标准孔板流量计的优势之一就在于此。除此以外的其他流量计，当我们对计量结果感到质疑时，你在现场没有手段来确认流量计到底准不准。只有把它拆下来，送到检定机构去校准后才能做到心里踏实。但是，检定的条件与使用现场所处的条件是否吻合？假如二者存在较大差异，这个差异对计量结果的影响又是多大？这些问题怎样才说得清楚？如此等等，在有计量纠纷时，供需双方很难达成共识。但标准孔板流量计却无须这么纠结。如果你对它的计量结果感到怀疑，那么只需在现场的计量流程上，参照国标“GB/T21446-2008”，对它进行一次检查，如果一切合乎标准规定，计量结果就是值得信赖的。要是检查中发现了问题，按照标准马上予以纠正就行了。在计量实践中，常见的问题有：一是给流量计二次表输入的计量参数有误。这个问题很容易解决，把输错的参数改过来就行了。二是流量计二次表的计量准确度发生了变化，达不到规定精度了。这个问题也很好解决，在

现场用标准器把它校正回来就行了。三是一次表的物理形态在运行中偏离标准状态，如孔板因受到气流杂质的磨损，其几何尺寸发生了变化，再也达不到标准的要求了。这时候，更换一块符合标准要求的新孔板就行了。以上问题的解决，均可以在不停气、也不影响计量的状态下完成。而这也是标准孔板流量计另一个优势。

## 4 结语

标准孔板流量计应用于燃气大流量计量中，在适宜的流量范围内所获得的计量结果基本上可以做到“计得准”、“说得清”，对供需双方来说是值得信赖的流量计，当然，标准孔板流量计的使用需要严格遵循相关技术标准和管理规范，对日常维护人员有较高的专业技术要求，比方说要定期清洗标准孔板和导压管，定期调校差压仪表的零点漂移，定期采样分析燃气组分并置入到流量计算机，这也是为了使计量结果做到“计得准”、“说得清”所必须付出的工作量。

另外，标准孔板流量计也有它自身的弱点，比如它的一、二次表的构成仍显复杂，安装场地比其它的流量计要大一些，在燃气流量变化较大时，需要通过更换不同节流比的孔板才能满足要求，相对其他流量计而言可用流量范围仍不够宽。

### 工程信息

## 中石油天然气管线 山东昌乐支线工程开建

2012年6月18日，中石油天然气管线山东昌乐支线工程在宝通街北侧开工建设。工程总投资1.1亿元，由山东鲁鸿天然气管网投资有限公司投资建设，包括次高压管网16.2km、门站加气站等。整个工程完工后将达到年供天然气能力3.5亿m<sup>3</sup>的规模。

（本刊通讯员供稿）