

# 内藏孔板和小孔板流量计的应用研究

路超, 陈志成 江苏福瑞康泰药业有限公司 (江苏宿迁 223800)

王增根 江苏阿尔法药业有限公司 (江苏宿迁 223800)

纪波峰 上海同欣自动化仪表有限公司 (上海 200070)

**摘要:** 内藏孔板流量计、小孔板流量计是标准孔板流量计往微小流量方向的延伸。具有结构简单, 维修方便, 可靠性高, 使用寿命长, 性能稳定, 抗干扰能力强, 耐振性好, 耐腐蚀问题容易解决, 压力损失小, 变更量程方便等特点。在制药等精细化工行业、化工小试装置以及轻工行业的添加剂计量中, 得到广泛应用。但这种流量计属非标差压式流量计, 不能像标准差压流量计那样由执行标准来保证准确度, 文中介绍用逐台实流标定的方法保证准确度。多点标定得到的误差, 可用折线法在流量二次表或 DCS 中予以校正, 从而使准确度得到提高。由于流量微小, 可借助工艺管道上的切断阀、放空阀或仪表专业预先设置的校验口实现流量示值的现场校准或比对, 从而判断流量计是否准确。文中还阐述了设计选型时应注意选用合适的结构, 大量应用实例表明, 这一方法在技术上是成熟的, 应用是成功的。

**关键词:** 内藏孔板流量计 小孔板流量计 精细化工 添加剂 实流标定 误差校正 现场验证

Application Research for built-in orifice plate and small orifice plate flowmeter

Lu Chao Jiangsu PFRI Pharmaceutical Co., Ltd.(Suqian 223800)

Chen Zhicheng Jiangsu PFRI Pharmaceutical Co., Ltd.(Suqian 223800)

Wang Zenggen Jiangsu Alpha Pharmaceutical Co.,Ltd. (Suqian 223800)

Ji Bofeng Shanghai Tontion Automation Instrumentation Co., Ltd.(Shanghai 200070)

Abstracts: The built-in orifice flowmeter and small orifice flowmeter are the extension of the standard orifice flowmeter to the small flow. It has the characteristics of simple structure, convenient maintenance, high reliability, long service life, stable performance and strong anti-interference, good vibration resistance, easy to solve the problem of corrosion resistance, low pressure loss, easy to change the range, etc. It has been widely used in the measurement of additives in the pharmaceutical and other fine chemical industries, chemical pilot plants and light industry. This kind of flowmeter is a non-standard differential pressure flowmeter, the accuracy cannot be guaranteed by implementing standards like standard differential pressure flow meters, article introduces the method of real-flow calibration one by one to ensure accuracy. The error obtained by multi-point calibration can be corrected in the flow secondary meter or DCS with the broken line method, so as to improve the accuracy. Due to the small flow rate, the on-site calibration or comparison of the flow rate indication can be achieved by means of the shut-off valve, vent valve on the process pipeline, or the calibration port preset, so as to determine whether the flowmeter is accurate. The article also states that the appropriate structure should be selected when designing and selecting. A large number of application examples show that this method is technically mature and the application is successful

Key Words: built-in orifice flowmeter small orifice flowmeter fine chemicals  
additive calibration error correction on-site verification

## 1. 引言

### 1.1 从一个实例谈起

某制药厂最近三年分五次购置了 49 套内藏孔板及小孔板流量计, 公称通径有 DN20、DN25、DN32 和 DN40, 被测流体分别为甲醇、甲苯、多组分水混合液、钠盐溶液、MTBE、油状物液体

等。满刻度流量最小的为 200kg/h，最大的为 4000kg/h，取代基建阶段安装的浮子式流量计和涡轮流量计。因为该厂使用的浮子流量计不仅示值调动厉害而且容易卡滞失准，影响使用。出现卡滞的浮子式流量计，用木槌敲击后，一般又能正常测量。而涡轮流量计在微小流量测量中，问题也较多，其一是涡轮流量计选型中，大多要做缩径处理，而高速旋转的小口径涡轮流量计，不仅容易坏，而且容易被纤维缠绕而停止旋转。其二是强腐蚀问题难以解决。

对于被替换的上述两种流量计存在的问题，在差压流量计完全不存在，所以换上内藏孔板和小孔板流量计后，都能长周期稳定运行。

## 1.2 制药厂流量测量的特点

原料药制药厂生产流程大多属于精细化工过程，主要生产设备例如反应器、精馏塔等，尺寸都很小，管道细，管内流体流量小，由于生产过程这种固有的特点，也就使得这种生产流程中所配用的流量测量仪表具有许多特点，如果想解决所遇到的问题，就必须对这些特点进行研究。

- ① 流量普遍较小。液体流量有时只有每小时几十公斤。
- ② 连续生产过程对仪表的可靠性要求高。而对流量测量准确度的要求不像计量用途表计那么高。
- ③ 有些被测流体有极强的腐蚀性，所以在仪表制造和设计选型中，要与工艺专业多沟通。有些介质还存在易结晶、凝固问题，同样要采取措施。
- ④ 不允许有大的压力损失。
- ⑤ 大多数环境有防爆要求。

## 2. 仪表的结构与设计选型

内藏孔板、小孔板流量计是差压式流量计的一种，是基于柏努利方程和流体连续性方程而工作的<sup>[1]</sup>。国际标准和国家标准 GB/T2624-2006 给出了差压流量计的计算公式<sup>[2][3]</sup>，计算得到孔板开孔直径  $d$ ，流出系数  $C$  和可膨胀性系数  $\epsilon_1$ ，具体的计算由仪表制造厂利用专用软件在计算机上完成。由于计算得到的  $d$  一般都很小，加工过程中会有误差，计算公式也有一定的误差，只有采用实流标定的方法才能保证精度。如果不做实流标定，只能得到 5% 的流量测量准确度。

### 2.1 仪表的特点

- ① 结构简单，现场调试和维修方便。
- ② 可靠性高，使用寿命长。
- ③ 性能稳定，抗干扰能力强，耐振性好。
- ④ 耐腐蚀问题容易得到解决，孔板板片和差压变送器壳体、膜盒等均采用 Hc 材质，其余与腐蚀性介质接触的部分采用与管道相同的材质，一般就能解决问题。
- ⑤ 压力损失可以根据工艺要求设计计算。
- ⑥ 流量测量范围极其宽广。测量液体流量时，满刻度流量最小可达 10kg/h。而且变更量程方便。
- ⑦ 量程比较窄是它的一大缺点。对于单量程表，量程比一般只能做到 10: 1，但对过程控制来说，这一缺点并不是致命的，因为工艺专业对流量量程比的要求并不高。

### 2.2 仪表的结构

这种仪表属定型产品，其中内藏孔板流量计适合安装在水平管道上，小孔板可以安装在水平管道上，也可安装在垂直管道上。由于流体的类型不同，仪表的结构也不同，选型原则是流体为气体时，不让流体可能生成的冷凝液进入差压变送器的高低压室；流体为液体时，不让流体中可能析出的气体进入差压变送器的高低压室。这两条原则在仪表安装时也须注意。

#### ① 内藏孔板流量计的结构

所谓内藏孔板流量计就是差压装置与差压变送器合为一体，只适用于 DN15 和 DN20 管道。已

形成定型产品的结构如图 1 所示。

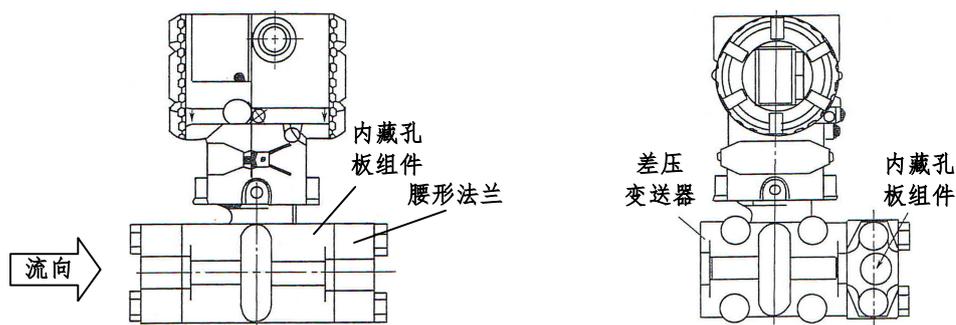


图 1 内藏孔板差压流量变送器

Fig.1 Built-in orifice plate differential pressure flow transmitter

流体流路示意图如图 2 所示<sup>[4]</sup>。

这种结构的一个显著的缺陷是孔板开孔直径的加工精度难以控制，因为从图 2 可看出，此开孔深藏在深孔之中。由于这个原因，在做实流标定时，往往会发现满刻度对应的差压值与设计计算结果相差较多。为了解决这个问题，将孔板开孔移到便于加工的地方，于是就诞生了小孔板差压装置。

### ② 小孔板流量计的结构

小孔板流量计的结构其实与法兰取压标准孔板流量计相同，只是公称口径比 50mm 小一些。其典型结构如图 3 所示。

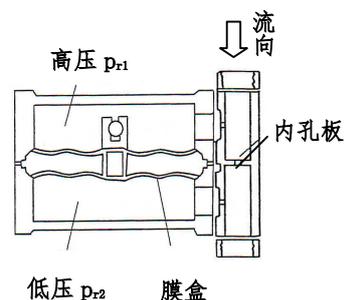


图 2 内藏孔板内部结构

Fig.2 Built-in orifice internal structure

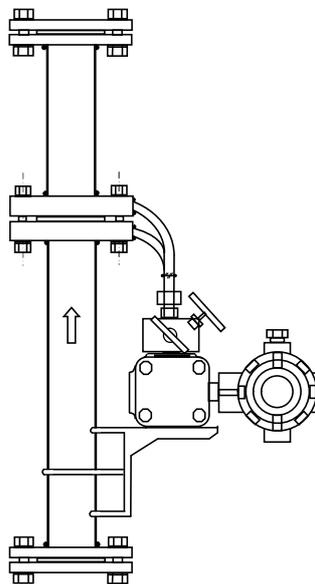


图 3 垂直管道小孔板流量计结构

Fig3. Vertical pipeline small orifice flowmeter structure

图 3 中的孔板按标准孔板的要求加工，孔板开孔直径得到精确控制，因此测量范围相同的多台小孔板流量计，具有很好的一致性。

图 3 中的三阀组，用途是流量计校零时便于操作，但在实际应用中，有时也被省掉了，这主要是下面的三个原因：

- a. 差压装置中的节流件、法兰、管件、导压管、阀门等，都要与强腐蚀介质接触，都要用特

殊材质制成，不仅价格高而且制造麻烦。省去根部阀和三阀组可减少很多麻烦。

b. 配置根部阀的目的之一是维修差压变送器方便些，但是现在市场上购置的优质变送器，可靠性非常高，并不需要经常维修。

c. 配置根部阀和三阀组的另一个目的是变送器校零，由于微小流量的特殊性，一般允许工艺管道上的阀门短时关闭，这时可对流量计零点进行调校，但需与工艺专业配合好，以免造成影响。无根部阀的仪表外形如图 4 所示。

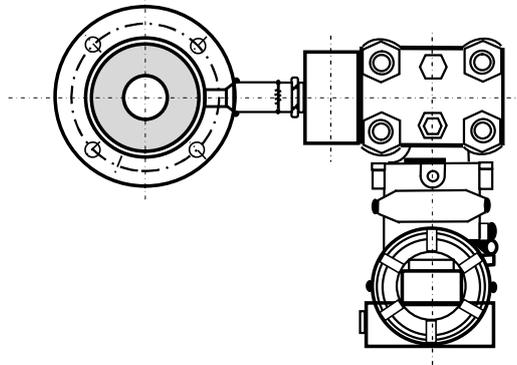


图 4 无根部阀的仪表外形

Fig.4 Instrument appearance without root valve

### ③ 压力变送器和温度传感器安装方法的改进

在测量气体流量时，一般需要配置压力变送器和温度传感器进行温度压力补偿。其中压力变送器通过特殊设计的管接头安装在差压变送器正压室的排气口上<sup>[5]</sup>。温度传感器选用铠装铂热电阻，用管外夹装的方法固定。从而避开管径太细，温度传感器安装困难的问题。安装方法如图 5 所示<sup>[6]</sup>。安装完毕用绝热材料保温。

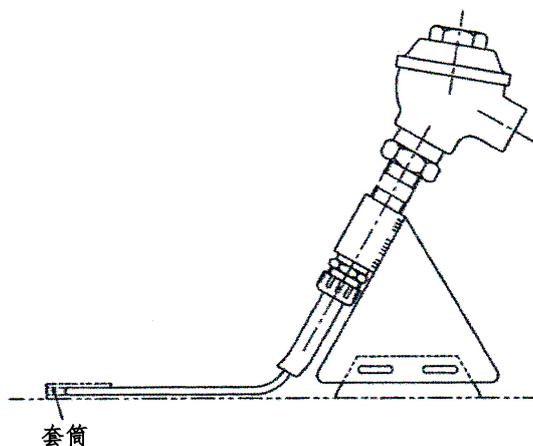


图 5 夹装式铠装铂热电阻的安装

Fig.5 Installation of clip-on armored platinum thermal resistance

## 2.3 设计选型中应考虑的问题

仪表工程师们对标准差压流量计大多是很熟悉的，其实内藏孔板、小孔板流量计是缩小版的差压流量计，用户需提供仪表使用条件和具体要求，包括

- ① 流体温度、压力、流量操作条件，含最大流量、常用流量、最小流量。
- ② 流体物性数据：含气体（液体）组成、密度、粘度等。
- ③ 管道规格、材质及与仪表的连接方式、法兰标准等。
- ④ 流体流动方向和允许压力损失。
- ⑤ 防爆、防冻、防凝固、防结晶、防腐蚀等要求。

⑥ 其他需要说明的事项。

### 3. 流量计的标定

GB/T 2624-2006 标准规定, 按此标准制造并检验合格的流量计, 只要几何检验合格就能保证准确度。但是内藏孔板流量计和小孔板流量计, 管道内径和孔板孔径都不符合上述标准, 因此必须经过实流标定, 才能保证准确度<sup>[7]</sup>。

#### ① 介质为液体的标定

按照 JJG 640-2006 检定规程的规定, 内藏孔板、小孔板流量计可用自来水标定。标定时水的流量和实际使用介质的流量用式 (1) 换算。

$$q_{mw} = \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_1}} \cdot q_m \quad (1)$$

式中:  $q_{mw}$  —— 水的质量流量, kg/h;

$\rho_w$  —— 水的密度,  $\rho_w = 998.29 \text{ kg/m}^3$ ;

$\rho_1$  —— 实际使用介质的密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$q_m$  —— 实际使用介质的流量, kg/h。

标定得到的各标定点误差, 可以绘制成误差曲线, 如图 6 所示。还可以用折线法将各点误差予以校正。典型校正曲线如图 7 所示。校正可以在流量二次表内完成<sup>[8]</sup>, 也可在 DCS 中完成。

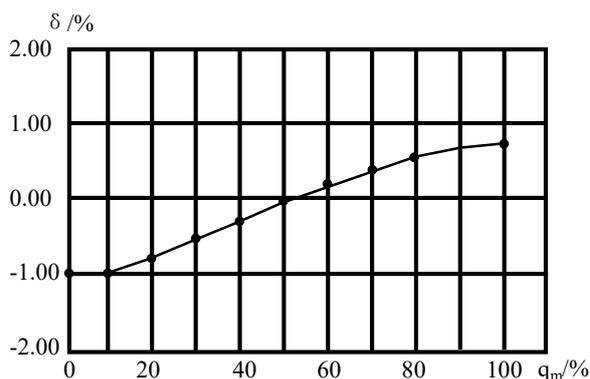


图 6 典型误差曲线  
Fig.6 Typical error curve

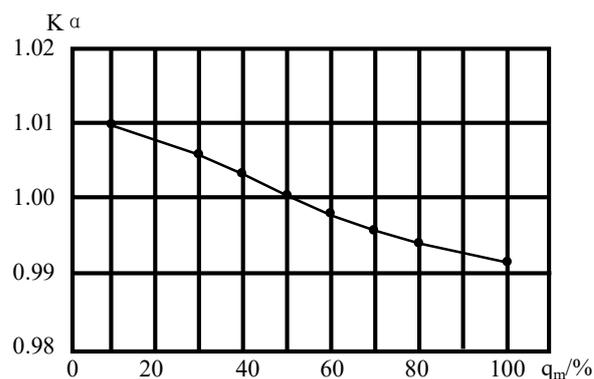


图 7 典型校正曲线  
Fig.7 Typical calibration curve

由于流量较小, 只要有水源和一台电子秤就能实现流量计的标定。

#### ② 介质为气体的标定

测量微小气体流量的内藏孔板、小孔板流量计, 可用空气标定, 然后用式 (2) 进行换算。

$$q_{mA} = \sqrt{\frac{\rho_{nA}}{\rho_n}} \cdot q_m \quad (2)$$

式中:  $q_{mA}$  —— 空气质量流量, kg/h;

$\rho_{nA}$  —— 空气标准状态密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$\rho_n$  —— 实际使用气体标准状态密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$q_m$  —— 实际使用气体质量流量, kg/h。

### 4 流量计的现场校准

投入使用的流量计, 为确保测量准确, 需要对其进行校准或比对, 对于内藏孔板、小孔板流量计来说, 这一愿望是很容易实现的。因为流量较小, 排出管外的流体容易回收或处理, 而且标

准器也容易解决。

#### ① 介质为液体的校准

工艺管道的适当部位，总是串联有切断阀，将这类阀关闭一个，管道内的流体就停止流动，这时就可以检查流量计的零点是否正确。这种校零的方法不仅适用于液体，同样适用于气体。对于差压式流量计来说，差压为负值流量也显示零，这时可用手持终端或其他方法去差压变送器读取差压输出值，如果不为零则予以调整。

工艺管道上往往设置有放空阀，这是工艺专业的需要。在流量计的下游如果能找到这样的阀，就可从阀中放出液体并用容器收集后称重，然后与校准期间的累积流量增量比较并计算误差。

#### ② 介质为气体的校准

与液体流量计校准相比，气体流量计的校准要难得多。这是因为气体不能放容器称重，只能用准确度合适的气体流量计，对排出管道的气体进行计量。校准比对用流量计有皂膜流量计、旋转湿式气体流量计、浮子式流量计等。

#### ③ 校准注意事项

上述校准比对方法都要建立在安全基础上，对于易燃易爆和有毒有害、高温高压介质，不宜从管道中放出物料作现场比对。

## 5 结束语

① 内藏孔板、小孔板流量计是差压流量计往微小流量方向的延伸，弥补了标准差压流量计不能测量微小流量的不足。

② 内藏孔板、小孔板流量计，结构简单，维修方便，可靠性高，使用寿命长，性能稳定，抗干扰能力强，耐振性好，耐腐蚀问题容易解决，压力损失小，变更量程方便，可测流量范围极其宽广，量程比可达 10: 1。

考虑仪表投资的要求，对于腐蚀性的介质优先考虑板片的耐腐蚀性，节流装置法兰具有可更换性，可降低耐腐蚀性要求。

③ 内藏孔板、小孔板流量计，必须经过实流标定才能保证准确度。由于流量微小，标定用的设备容易解决。

④ 由于一体化的结构设计，使一个流量测量系统中所包含的各台仪表在制造厂完成组装并标定，从而使工程设计得以简化，系统精度得到保证。

⑤ 由于流量微小，可借助工艺管道上的阀门或仪表专业设置的校验口，在使用现场实现流量示值的校准、比对，从而判断流量计是否准确。校准的方法符合有关计量检定规程<sup>[9]</sup>。

经现场验证，测量粘度高达 12 mPa·s 的高粘度流体时，也能做到很准确。

部分仪表与尚未拆除的浮子流量计比对，其示值与经过密度换算的浮子流量计示值基本相符，得到工艺专业的好评。

⑥ 由于这种流量计的固有特点，使其在制药等精细化工行业、化工小试装置以及轻工行业的添加剂计量中，得到广泛使用。

## 参考文献

1. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧 第二版. 北京: 化学工业出版社. 2003.
2. GB/T 2624-2006 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量
3. ISO 5167:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section

conduits running full

4. 孙淮清, 王建中. 流量测量节流装置设计手册 第二版. 北京: 化学工业出版社. 2005
5. 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. 2012
6. 林洪俊, 邱学. 石油化工加氢反应器温度检测工程设计. 石油化工自动化, 2021, 57(4): 41~43, 48
7. JJG 640-2016 差压式流量计检定规程
8. 纪纲, 蔡武昌. 流量演算器. 自动化仪表. 2000, 21(9):20~25
9. JJG1030-2007 超声流量计计量检定规程

**本文源自《化工与医药工程》2022（1）**