

环形孔板流量计的特点和应用

Features and Application of the Annular Orifice Flowmeter

林福成 沈新建 翟小金 邵朋诚

(开封仪表有限公司,河南 开封 475002)

摘要:以环形孔板为流量检测件的新型仪表——环形孔板流量计,已经在冶金、石化、采油、化工、电力等行业得到了成功应用。将环形孔板流量计与标准孔板流量计、V形锥流量计进行性能比较,介绍了环形孔板流量计在典型环境中的应用,说明了环形孔板的原理和特点,最后从理论和实践两个方面证明了环形孔板流量计良好的测量性能。

关键词:节流装置 环形孔板 测流板 V形锥 流出系数 流量测量

中图分类号: TH814

文献标志码: A

Abstract: The new type of annular orifice plate has been successfully applied in metallurgy, petrochemical, oil, chemical, electric power and other industries. The characteristics of annular orifice flowmeter are compared with the one of standard orifice and V-cone flowmeter, and the application of annular orifice plate in typical environment is introduced thus the principle and features of annular orifice are illustrated, and the good measurement performance of annular orifice are verified theoretically and practically.

Keywords: Throttling device Annular orifice plate Flow board V-cone Efflux coefficient Flow measurement

0 引言

节流装置是利用测量管内流通面积的改变使流动的流体产生静压力差的一类流量仪表^[1]。尽管流量仪表的种类有近百种,但节流装置依然是用量最大的仪表种类之一。

本文介绍的环形孔板节流装置是对美国1939年一项发明的创新性改进(主要是对取压方式进行了改进),此发明已分别于1992年、1998年两次在本质上被进行了改进,均取得了国家实用新型专利。近年来,环形孔板在高炉煤气、焦炉煤气、混合煤气、转炉煤气、水煤气、半水煤气、天然气、循环冷却水、工业废水、过热蒸汽、热空气、伴生气和烟气等介质的流量测量中获得了成功应用,在解决防堵塞、防堆积、耐高温防变形、耐腐蚀等方面优势明显^[2]。

1 工作原理

标准孔板的最小流通截面是孔板中心的圆孔,流体通过时因流通面积的突然减小而加速,流体绕过孔板入口边缘时产生的边界层是圆柱形。环形孔板的最小流通截面是测流板的外缘和管内壁形成的圆环,流体通过时因流通面积的突然减小而加速,流

体绕过测流板入口边缘时产生的边界层也是圆柱形,与标准孔板对流体产生阻力的机理是相近的。因此,孔板或测流板对流体造成的阻力系数是也相近的,这就使两者有可能具有相近的流出系数^[3-4]。

环形孔板与标准孔板的区别是:标准孔板的最小流通面是与管轴线同轴的圆,环形孔板的最小流通面是与管轴线同轴的圆环,从流场的对称性考虑,两者都优于圆缺孔板和偏心孔板;另一方面,环形孔板把中间流速高、靠近管壁处流速低的流动模式强制变成了测流板附近的“靠近管壁处流速高、中间流速低”的流动模式,相当于流场的二次分配,进入环形孔板的上游流场如果因上游局部阻力件的干扰产生了畸变(即不再轴对称),在二次分配时就会因“均化”的趋势恢复成轴对称,就像没有受到局部阻力的干扰似的^[5]。

节流装置的原理是依据伯努利方程和流体连续性方程^[5-6]。经过单位换算,环形孔板的基本方程式为:

$$q_m = 0.12643 \frac{C\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon D^2 \sqrt{\Delta P \times \rho_1} \quad (1)$$

式中: q_m 为流体的质量流量,kg/h; C 为流出系数,经过流量或抽样标定、几何尺寸检查即可得知; ε 为可膨胀性系数,对于液体 $\varepsilon=1$; $\beta=d_b/D$ 为直径比,其中, d_b 为工作条件下节流件最小截面处的等效流通直径,mm; D 为工作条件下仪表测量管的内径,mm;

修改稿收到日期:2012-12-24。

第一作者林福成(1958-),男,1986年毕业于河南理工大学自动化专业,获学士学位,工程师;主要从事流量仪表的研发工作。

ΔP 为从节流件上、下游取压口处测取的差压, kPa;
 ρ_1 为仪表安装处上游段工作条件下的流体密度,
 kg/m³。

由此可见,环形孔板的基本方程式与一般节流装置的基本方程式是相同的,所不同的是取压方式和流出系数。由于环形孔板不是标准孔板,故在样机试验时必须进行流体实流标定,在获得流出系数与产品结构的相互关系,并且取得足够多的数据以后,才有可能采取抽样标定。

2 产品的特点

环形孔板节流装置的特殊结构决定了它具有许多特点,这些特点不但有理论根据,而且已通过现场使用效果证明。其主要特点如下。

① 结构牢固、性能稳定、工作可靠,基本上是“免维护仪表”。

② 仪表本体是一段直测量管,内壁经过加工,精度高、安装误差(偏心、密封垫片伸入管道等)对仪表的测量几乎没有影响;节流件和测量管内壁都是形状简单的圆形,容易达到较高的尺寸精度、较严的形位公差,利用“干式标定”就能获得高精度,流出系数离散度小。因此,本仪表的实际使用精度比标准孔板高。

③ 流体进入仪表本体后经过测流板的突然阻挡,被强制再分配,并均化了流体进入时的畸变,通过环孔节流再加上“均压环”取压装置,使得进入差压变送器的测量值(差压)很少受上游局部阻力的影响。例如,在一个直角弯头的下游,有 3D 长度的前直管即可满足要求,在一个收缩接头的下游,有 0.5D 长度的前直管即可满足要求^[5-7]。

④ 环形孔板节流装置不但可以测量一般流体的流量,还可以测量含杂质的流体流量。因为本产品的检测件结构形式与标准孔板有本质不同,本产品最小流通面是紧贴管内壁的圆环,而标准孔板最小流通面是处于管中心的同心圆。流体中的杂质流速较低,一般是紧贴着管壁边流动,在标准孔板的附近,杂质流得更慢,很容易沉淀堆积,导致取压口堵塞,影响测量精度,即使是圆缺孔板或偏心孔板,也避免不了这种故障^[7-8]。然而对于环形孔板流量计,流体中的杂质会随着主流一起高速通过最小流通截面(环隙),不容易堆积在测流板附近,取压口远离滞流区,不容易堵塞,且采取了多个取压口(冗余设计)并联在均压环上,只有全部堵死才会失效,这就加大了检修周期。此外,在“防堵型环形孔板流量计”的均压环上与取压口正对

着的管壁处设有“堵头”或排污球阀,可定期旋开排污或用捅条疏通杂物。对含尘量更大的流体,可以选带隔离膜片的差压变送器,使堵塞的可能性更小。在测量焦炉煤气等含有黏附物的流体时,可以选带有“清污窗口”的防堵型流量计,定期打开窗口、彻底清理测流板附近的黏附物。

⑤ 本流量计的检测件——“测流板”的周边无约束,可以自由热膨胀,在高温流体中测流板尺寸的变化可以计算出来,能保持关键部位——测流板外沿的形状和尖锐度,因而流出系数不变。对于标准孔板,其周边受法兰的强力约束,高温下的膨胀量只有伸向板内孔边缘,本应是尖锐直角的入口边缘却变成了喇叭口,改变了流出系数,从而产生较大误差,由此可见,本产品适用于测量高温流体的流量。

⑥ 采用标准孔板测量过热蒸汽、饱和蒸汽的流量,停汽时形成的冷凝水会堆积在孔板的两侧,再次通汽时必须把这些冷凝水带走,否则可能引起水锤现象,还会产生测量误差。若采用本产品,就不可能产生这些问题。因此,本产品适用于测量水蒸汽的流量。

⑦ 对高压流体,电力行业为确保可靠性常采用直接焊接方式,本产品的高压型适合这种场合,工作可靠,而且成本比标准孔板低。

⑧ 对于腐蚀性流体,不但要求检测件材质耐腐蚀,而且还要求防堵(因为流体中常有杂质)。若采用标准孔板或圆缺孔板,除了容易堵塞取压口以外,耐高压问题也无法解决(因为通常采用塑料制作法兰和环室,不耐高压)。若采用防腐型环形孔板流量计,可在法兰与测量管内壁内衬塑料或者搪瓷,既耐腐又耐压,可以测量较高压力下腐蚀流体的流量。

⑨ 对于易结晶、易粘附的流体,需要在仪表检测件附近采取措施以防止温度的降低而引起的结晶或粘附。对此,可采用夹套型环形孔板流量计,夹套可内通蒸汽或采取电伴热措施。若采用标准孔板,则不容易采取这些措施。

⑩ 对于高温流体,如热风,为了减少流程管道的热扩散损失,常常在管内壁衬耐热保温层,或在流量计本身内衬隔热材料。如果采用标准孔板,则结构设计难度大、成本较高;如果采用环形孔板流量计,则较容易实现。

3 环形孔板和 V 形锥流量计的比较

比较环形孔板和 V 形锥这两种流量计的结构,两者具有以下相同点和不同点。

① 两者都属于“环形通道”型,都具有自清洁功能和流束自动调整功能,因此都可以使用在现场直管段长度不足、流体中含有杂质的场合^[9]。

② 两者都是基于流体伯努利方程理论,因此流量都与差压信号的平方根成正比,也就是说流量量程的大小与差压变送器的量程有关。如果采用带数字通信功能的差压变送器,都可以达到大于 10 倍量程比^[10]。

③ 两者都带一段测量短管,可以和现场流程管道用法兰连接或直接对焊,安装误差(内径不等造成的凸台或者偏心、密封垫圈突入管内)对测量精度的影响小。

④ V 形锥流量计和环形孔板流量计在开孔比(β)相同的情况下,前者差压信号小因而压力损失小、能耗小,更适合测大流量液体介质或气体介质,而后者更适合测小流量气体介质或液体介质。

⑤ V 形锥流量计的检测元件是锥体,锥角的大小、锥体最大截面处的轴向长度以及下游取压口的位置等参数直接影响流量计的流出系数^[3],目前各个厂家尚未统一,仍按“逐台实流标定”的原则。有的生产厂家没有标定设备或者不愿意花标定费,而采用估算的流出系数,但这样无法确定实际精度^[11]。

⑥ 环形孔板节流装置具有标准孔板节流装置的结构特征,即几何形状简单,容易精确复制、实现几何相似,在流动的最小截面处,流体和阻流之间的边界层尺寸很小,因此流体受到的阻力在达到稳定的紊流状态以后,与流体的雷诺数基本无关^[5]。边界层与阻流体(标准孔板的板片或环形孔板的测流板)之间的分离点是固定的,因此在很宽的雷诺数变化区间内的流出系数是稳定的。原理上,环形孔板与标准孔板都具有很宽的测量范围,这些相似点预示着环形孔板有可能和标准孔板那样被标准化,成为又一种“量大面广”的仪表。但在没有“标准化”之前,采用抽样标定的办法,同样可以使流量计达到 1 级精度(如果单台标定,同样可以达到 0.5 级),既能满足大多数用户的要求,又能大大降低成本。

⑦ V 形锥流量计下游取压口的位置一般在锥体的尾部,这里是杂质聚集区,杂质很容易进入下游取压管内部。由于下游取压管较长且有拐角,不易清理,所以 V 形锥流量计并不适用于脏污流体。而环形孔板节流装置的取压口开在管壁上,不易堵塞,即使堵塞也容易清理。大量实践证明,对 1939 年初级阶段环形孔板进行实质性改进后的环形孔板能够在脏污流体中可靠工作。

从上述比较中不难发现,这两种流量计都属于节流装置,各有利弊,应根据实际情况,合理挑选使用,两者适用的范围如下。

① V 形锥流量计压力损失较小,但是流出系数较大,同样流量时差压(即流量信号)较小,适用于大流量;环形孔板流量计正好相反,适用于小流量。

② V 形锥流量计的检测件是锥体,体积较大,脏污物易粘附在锥体上不易清理,而环形孔板的检测件是块薄板,脏污物粘附不多且易清理,更适合在脏污流体或混相流体(如伴生气、焦炉煤气、油品)中使用^[3]。

当前,流量仪表的技术交流平台对 V 形锥流量计关注较多,过多地强调了它的优点(如量程比大、精度高),在不适宜的场合(如脏污流体、黏稠液体)也推荐它,这会对 V 形锥流量计的推广产生负面影响。相反,对环形孔板流量计的推广宣传尚显不足。

4 典型应用场合及其注意事项

环形孔板流量计的典型应用场合及注意事项简要说明如下。

① 在焦炉煤气、半水煤气等脏污介质中的应用

这一类流体介质中含有粉尘、焦油、萘、硫化物、水等物质,使用热式流量计等插入式仪表常常发生介质沾污检测元件的情形^[11]。在仪表结构方面,环形孔板流量计采用均压环和多个取压口设计,在均压环上与取压口相对的地方,焊接一段与取压管相同内径的排污管并连接 1 个球阀,清污时打开球阀排污或者在停气时用捅条疏通,也可以在不停气时采用顶杆插入均压环清理取压管。

② 在油田伴生气等混相流体中的应用

伴生气常常含有一些油品在管道底部流动,以体积论其大小,可以忽略不计。如果采用标准孔板,它会堆积在孔板的上游侧,且越积越多,最终占据板片下部形成月牙形“堰塞湖”,从而导致孔板上游侧管道的有效流通面积减少,大大降低测量精度。如果采用环形孔板流量计,环隙流通面使油品随时流走、不会堆积,不影响测量精度。因此,环形孔板流量计非常适合油田伴生气的流量测量。

③ 在过热蒸汽、饱和蒸汽等介质中的应用

这一类流体介质常常会出现停汽现象,由于热量散失,一部分蒸汽变成冷凝水。当使用标准孔板时,由于板片边缘的阻挡(有的孔板上开有疏液孔,但由于孔太小、几乎不起作用),冷凝水积存在管道的底部,在恢复通汽时被蒸汽夹带着流过孔板,引起两相流而

导致不能准确计量,甚至有可能发生水锤现象,损坏管件。若使用环形孔板,冷凝水随时可以从环形孔板的边沿流走,不会堆积在孔板附近,因此也就不会产生计量误差。

环形孔板流量计在各类企业的蒸汽管路上都有应用,均满足用户需求。需要注意的是环形孔板应安装在垂直管道上,以保证流体是从下往上流动,差压变送器在现场调零时要考虑环形孔板两个取压口之间的距离产生的零点偏移。

④ 在天然气输送管路中的应用

这一类介质的压力较高,流量范围较宽。采用本仪表配备的 HART 协议智能差压变送器,流量量程可以达到 10:1,能够满足需要。

⑤ 在冷却循环水等脏污液体介质中的应用

工业过程中,往往要用循环水进行冷却,冷却水一般都较脏且可能含有铁锈,电磁流量计易受铁磁性物质的影响,读数不够稳定。

若使用文丘里管,仪表的体积太大,安装困难(循环水管道一般铺设在地下,仪表安装在地沟里,仪表体积过大会给施工和维修带来不便)。

若使用本仪表就不会产生此类问题,目前已有数百台环形孔板流量计在此介质中获得了成功应用。

⑥ 在高炉热风流量测量中的应用

炼铁高炉要送热风,热风炉离高炉一般比较近,且弯头较多。过去使用标准孔板,因直管段不够长而产生较大误差。本仪表因为有均压环和多个取压口,故使用 2D 长的前直管段即可。本仪表已经在百余座热风炉上安装使用,运行情况良好。

5 结束语

本文详细介绍了环形孔板流量计的测量原理及其特点,在结构及性能方面与标准孔板和 V 形锥流量计做了比较,并结合近些年来在现场的应用情况,介绍了该产品在典型环境中的应用。环形孔板在外形结构和取压口设置上都做了大量的技术改进,并在流体实验室做了大量的试验。试验证实了该结构具有压损小、差压信号强、测量精度高、耐脏污等特点,特别适合大口径、脏污流体的流量计量。

参考文献

- [1] 梁国伟,蔡武昌. 流量测量技术及仪表[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] Miller R W. 流量测量工程手册[M]. 孙延祚,译. 北京:机械工业出版社,1990.
- [3] 应启夏,赵学端. 流量检测方法与仪表[M]. 上海:上海交通大学出版社,1989.
- [4] 华绍曾,杨学宁. 实用流体阻力手册[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [5] 孙淮清,王建中. 流量测量节流装置设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [6] 川田裕郎,小宫勤一,山崎弘郎. 流量测量手册[M]. 罗秦,王玉,译. 北京:中国计量出版社,1982.
- [7] 孙延祚. 论流量计的合理选型[J]. 自动化仪表,2007(2):52-55.
- [8] 刘跃. 内锥流量计的探讨[J]. 自动化仪表,2004,25(3):38-42.
- [9] 戈尔谷,戈文燕. 大管道气体流量测量的探讨[J]. 世界仪表与自动化,2005(3):61-63.
- [10] 郭殿杰,陈福庆,郭延. 西气东输工程中的天然气计量技术[J]. 世界仪表与自动化,2002(2):46-48.
- [11] 蔡武昌. 供水业大管径流量仪表的应用[J]. 世界仪表与自动化,2005(3):49-52.

(上接第 76 页)

统的稳定性及可靠性;与单独采用芯片控制的充电器相比,本次设计的充电器使用微处理器来控制电路,既提高了控制精度,又改善了散热性能。

参考文献

- [1] 叶文,李芳,李家庆,等. 基于 HT46R24 的太阳能智能充电器研制[J]. 自动化仪表,2010,31(5):59-61.
- [2] 曾素琼. 基于 AT89C52 和 IW1692 的智能开关电源设计与研究[J]. 低压电器,2009(13):41-44.
- [3] 周祖德,徐超. 全 CMOS 三段式锂电池充电器设计[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(4):23-25.
- [4] 张凯,石俊杰. 基于 BOOST 结构下不连续导电模式的 PFC 电路[J]. 通信电源技术,2002,2(1):5-8.
- [5] Gallo C A,Correa P J A,De F L C,et al. Soft-switched PWM high-frequency with PFC converter using boost-flyback converter

interleaved [C]// Telecommunications Energy Conference, 2002: 356-360.

- [6] Rossetto L,Spiazzi G,Tenti P. Control techniques for power factor correction converters [EB/OL]. [1994-09-12]. <http://space.dianyuan.com/blog/u/51/1174286041.pdf>.
- [7] Chen Boyuan,Lai Yenshin. New digital-controlled technique for battery charger with constant current and voltage control without current feedback[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronic,2012,59(3): 1545-1553.
- [8] 范景林,蔡芃芃. 基于 ICE1CS02 的 PFC+PWM 电路设计[J]. 电子设计工程,2012,20(3):172-174.
- [9] 何占宁,夏东伟,刘玉朋. 光伏发电用推挽正激升压电源的研究[J]. 通信电源技术,2012,29(1):5-7.
- [10] 闫之峰,马晓军,魏曙光. 双管正激电路的 ZVT 技术研究[J]. 电力电子技术,2008,42(6):33-35.