

流量计直管段长度不够时的对策

谢林 国网上海市电力公司电力科学研究院（上海，200437）

殷家云 中石化上海工程有限公司（上海，200120）

纪波峰 纪纲 上海同欣自动化仪表有限公司（上海，200070）

提 要： 现在人们在应用的流量计大约有一百种。在这些工作原理与结构不同的、种类繁多的流量计中，除了容积式流量计、科里奥利质量流量计等极个别流量计之外，都对流量计前后直管段有特定的要求。各种不同类型的流量计所要求的直管段长度也差异悬殊。

直管段长度不够时引起流量测量不确定度增大的原因是，流体流过弯管或阀门时，速度分布产生畸变，导致实际流量系数与出厂标定时流量系数不一致。

在各种处理方法中，管线绕道法简单易行。与用户商量降低精确度指标，在一般监测和过程控制中经常采用。将流量传感器在管道上的安装方位选择在最有利的位罝，效果非常显著。加装流动调整器和选用直管段长度要求低的流量计，这一方法也常采用。对影响值进行评估的方法更准确，但花费较大。

关键词： 流量计 充分发展的管流 直管段 让步法 绕道法 流动调整器 影响评估法

The countermeasure for less straight pipe of flowmeter

Xielin Electric Power Research Institute SMETC, Shanghai, 200437, China

Yinjiayun Shanghai engineering Co., Ltd., SINOPEC, Shanghai, 200120, China

Jibofeng Jigang Shanghai Tontion Automation Instrumentation Co., Ltd, Shanghai, 200070, China

Abstract: There're about 100 type of flowmeter in use. In these wide range of flowmeter which works in different principle, there're specific need for the straight pipe requirements, exclude volumetric flowmeter and Coriolis mass flowmeter. Different flowmeter need different straight pipe length. Less straight pipe results in more uncertainty of measurement, while fluid passes elbow or valve, velocity distribution distorts, so that the actual Discharge coefficient is diffent from the calibration data. In variety of countermeasures, detour is a easy way. We could lower the accuracy in process control and normal monitor as well. It's also useful that chose a good position to install flowmeter, or install a flow regulator. Evaluate the impact of less straight pipe is more accurate but more expensive.

Key words: flow meter well developed flow straight pipe concession Detour
flow regulator impact assessment

1. 概述

流量计是一种对安装品质存在严重依赖的仪表。一台品质一流的流量计，如果安装不合理，往往引起很大误差。

在流量仪表的安装中，常常困扰设计师和现场施工人员的一个棘手问题是直管段长度不够，下面将就这一问题展开讨论。

现在，人们在应用的流量计大约有一百种，

在这些工作原理或结构不同，种类繁多的流量计中，除了容积式流量计、科里奥利质量流量计等极个别种类流量计之外^{[1][2]}，都对流量计前后直管段有特定的要求。这是因为这些流量计的流量系数是在充分发展的管流条件下标定得到的，在现场应用这些流量计时，也只有在充分发展的管流条件下，应用这些流量系数才能保证测量精确度。

所谓充分发展的管流，就是具有充分发展的速度分布的管流。在流动过程中，沿流向从一个横截面到另一个横截面不发生变化的速度分布，称为充分发展的速度分布，它通常是在足够长的直管段末端才能形成。

管道设计不当会造成流体的扰动，引发速度分布变形和漩涡，前者来自阀门或弯头，漩涡多来自两个以上不同平面的弯头，只有在流量计前后留有足够长的直管段或安装特制的整

流器才能克服这些影响。

2. 直管段长度不够对测量结果的影响

不同类型的流量计对直管段长度要求也不同，这是因为流量计的原理和结构不相同的缘故。

表 1 列出几种常用流量计对上游直管段的要求^{[3][4][5][6]}。

表 1 前直管段长度的一般要求 (90°弯, 无流动调整器)

流量计种类	前直管段长度 (管道内径的倍数)	后直管段长度 (管道内径的倍数)
容积式流量计	0	0
科里奥利质量流量计	0	0
电磁流量计	5	3
线性孔板流量计	6	3
涡轮流量计	20	5
涡街流量计	20	5
超声流量计	20	5
标准孔板流量计	6~44 (与直径比 β 有关)	2~4 (与直径比 β 有关)
标准喷嘴流量计	10~46 (与直径比 β 有关)	4~8 (与直径比 β 有关)

流量计上游引发流场畸变的管件 (或阻流件) 不同, 对直管段长度的要求也不同。表 2 列出标准孔板完整的直管段要求。

表 2 无流动调整器情况下孔板与管件之间所需的直管段^[7]

数值以管道内径 D 的倍数表示

直径比 B	孔板的上游 (入口) 侧														孔板下游 (出口) 侧													
	单个 90°弯头		同一平面上两个 90°弯头		同一平面上两个 90°弯头		互成垂直平面上两个 90°弯头		互成垂直平面上两个 90°弯头		带或不带延伸部分的单个 90°三通斜接 90°弯头		单个 45°弯头		同心渐缩管		同心渐扩管		全孔球阀		突然对称收缩		温度计插套或套管		管件 (2~11 栏) 和密度计套管			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
—	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f	A ^c	B ^f
0.20	6	3	10	5	10	5	19	18	34	17	3	5	7	5	5	5	6	5	12	6	30	15	5	3	4	2		
0.40	16	3	10	5	10	5	44	18	50	25	9	3	30	9	5	5	12	8	12	6	30	15	5	3	6	3		
0.50	22	9	18	10	22	10	44	18	75	34	19	9	30	18	8	5	20	9	12	6	30	15	5	3	6	3		
0.60	42	13	30	18	42	18	44	18	65 ^b	25	29	18	30	18	9	5	26	11	14	7	30	15	5	3	7	3.5		
0.67	44	20	44	18	44	20	44	20	60	18	36	18	44	18	12	6	28	14	18	9	30	15	5	3	7	3.5		
0.75	44	20	44	18	44	22	44	20	75	18	44	18	44	18	13	8	36	18	24	12	30	15	5	3	8	4		

注 1: 所需最短直管段是孔板上游或下游各种管件与孔板之间的直管段长度。直管段应从最近的 (或唯一的) 弯头或三通的弯曲部分的下游端测量起, 或者从渐缩管或渐扩管的弯曲或圆锥部分的下游端测量起。

注 2: 本表中直管段所依据的大多数弯头的曲率半径等于 1.5D。

a S 是上游弯头弯曲部分的下游端到下游弯头弯曲部分的上游端测得的两个弯头之间的间隔。

b 这不是一种好的上游安装, 如有可能宜使用流动调整器。

c 安装温度计插套或套管将不改变其他管件所需的最短上游直管段。

d 只要 A 栏和 B 栏的值分别增大到 20 和 10, 就看安装直径 0.03D~0.13D 的温度计插套或套管。但不推荐这种安装方式。

e 每种管件的 A 栏都给出了对应于“零附加不确定度”的直管段。

f 每种管件的 B 栏都给出了对应于“0.5%附加不确定度”的直管段。

g A 栏中的直管段给出零附加不确定度; 目前尚无较短直管段的数据可用于给出 B 栏的所需直管段。

h 如果 S < 2D, Re_D > 2 × 10⁶ 需要 95D。

这个表格中的数据是研究者根据一百多年对孔板流量计试验研究得到的数据，归纳总结得到的，因此既全面又可靠。

3. 直管段长度不够对测量结果的影响

直管段长度不够对流量测量结果的影响，这是一个十分复杂的问题。总的来说，直管段长度不够时流量测量不确定度相应增大，但是增大多少，以及由此引起的附加误差是正向还是负向，这要具体分析。到目前为止，只有个别类型的流量计有人做过为数不多的试验，得到一些零星的数据。

图 1 所示是日本富士公司提供的单声道外夹式超声流量计，上游直管段长度不够引起的附加误差曲线^[8]。从曲线形状分析，上游弯头应是在最不利的方位，如果上游弯头在有利的方位（弯头与声道在同一个平面），附加误差应当小得多。

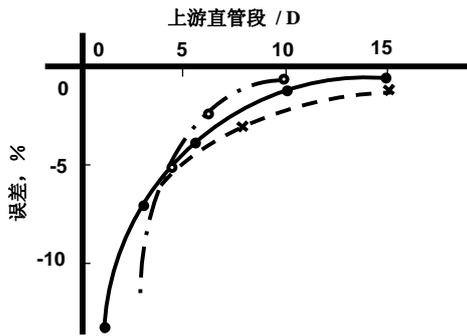


图 1 上游直管段长度不够的影响

图 2 所示是美国丹尼尔公司 (Daniel) 和诺娃公司 (NOVA) 所做的标准孔板流量计上游直管段长度不够引起的附加误差曲线^[9]，从图中的数据分析，被试差压装置应是环室取压，

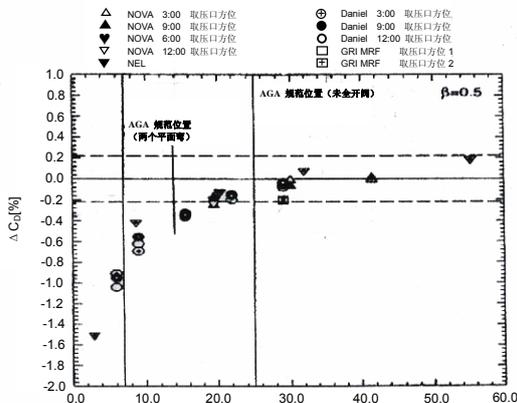


图 2 前直管段长度对孔板流出系数的影响
上游不同阻流件 (无流动调整器) 对 $\beta=0.5$ 的孔板流量计的影响

如果是 1 英寸法兰取压或径距取压，附加误差要大得多。

如果是径距取压，由于上游弯头与取压口之间相互位置的不同，会有三种不同的结果。

(1) 当取压口处于弯管的外圈时，流出系数趋小，引起正向附加误差，如图 3 所示。

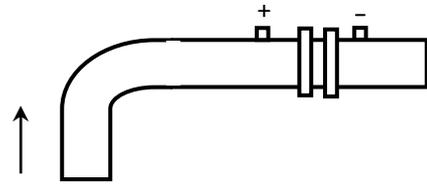


图 3 取压口处于外圈

(2) 当取压口处于弯管内圈时，流出系数趋大，引起负向附加误差，如图 4 所示。

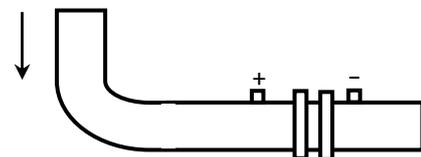


图 4 取压口处于内圈

(3) 当取压口处于与弯管所在的平面垂直时，流出系数的偏移应比前两种情况小得多。

因此，在确定取压口方位时，应考虑最有利的方案。

在上面的分析中，直管段长度不够引起的附加误差幅值还与节流件的直径比 β 有关，其中， β 较小时，相同的直管段倍数引起的附加误差要小一些。

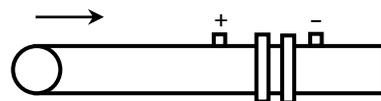


图 5 取压口与 90°弯垂直

4. 直管段长度不够时的处理

作为自控工程设计人员，在进行施工图设计时，总是要为流量计寻找一个理想的安装地点，其中就包括解决直管段长度问题。但是有时候现场场地太紧凑，实在找不到合适的地方去保证直管段长度。在既有的管道上增设流量计更是如此，因为在管道铺设时，根本就没人考虑留个安装流量计的位置，所以，保证直管段长度就成为经常面临的一个棘手问题。

根据各种具体情况，有下面几个方法可供选择。

(1) 管线绕道法

图 6 所示为广东某卷烟厂工业锅炉产汽流量涡街流量计安装俯视图。

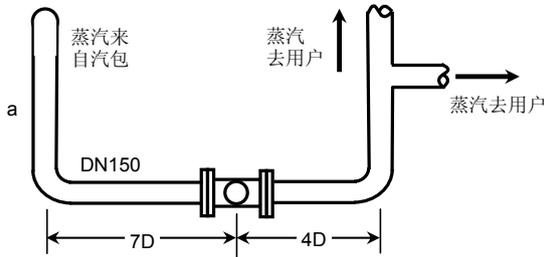


图 6 涡街流量计及前后直管段

锅炉上汽包主蒸汽管垂直升高后，经一个 90°弯头就在炉顶以水平方向铺设，由于既有的管道安装一台 DN150 的涡街流量计直管段长度不能满足要求，所以就须另找对策。

最简单而且有效的方法是和设备专业协商，将既有管道进行改装，例如将图 6 中的管段 a 改为 b、c、d，如图 7 所示。由于直管段加长了一段 d，从而满足直管段要求。

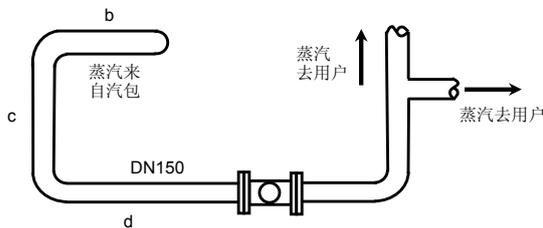


图 7 绕道后的配管

(2) 让步法

所谓让步法就是对某项指标作出让步。这个方法在产品质量管理中是普遍使用的。例如在化工生产中，从流程末端流出的产品达不到一级品指标，但能达到二级品指标，于是就作二级品入库销售，而不是将其报废。这样在经济上往往是合算的。

在流量计使用现场，如果动了很多脑筋，直管段长度仍然不够，流量测量结果也不是用于贸易结算，而是用于一般监测或过程控制，于是不妨尝试同工艺专业或仪表的用户讨论让步的问题。例如表 2 所列的直管段长度的标准中，A 一系列的数据是达到 0.5% 不确定度必须满

足的直管段长度。如果用户肯作出让步，将不确定度让步到 1%，则满足 B 一系列直管段长度即可。这样就使要求大大降低。

对于其他类型的流量计，也可参考该表格。

(3) 将流量传感器在管道上的安装方位选择在最有利的方位，在有直管段要求的各种类型流量计中，流量传感器在管道上的安装方位同测量结果的关系，有些不受上游弯头方向的影响，例如涡轮流量计和环室取压差压流量计，但大多数类型的流量计都对上游弯头方向很敏感，例如图 1 所示的外夹式单声道超声流量计 [10]，图 3、图 4、图 5 所示的差压流量计以及图 6 所示的涡街流量计。

以差压式流量计为例，图 8 所示为取压口位置示意。取压口的取向应考虑被测流体为液体时，防止气体进入导压管；被测流体为气体时，防止液滴或污物进入导压管。当测量管道为垂直时，取压口的位置在取压位置的平面上，方向可任意选择。有的人看了图 8 后就认为图中的 α 为 45°最合适，其实并没有这个规定。只要符合上面的原则， α 大一些或小一些都不要紧，这样一来，选择的范围就大了。

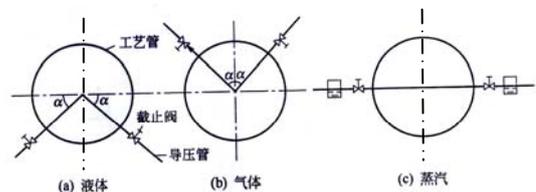


图 8 取压口位置安装示意图

例如测量气体流量，安装在水平管上的孔板，上游是一个垂直走向的 90°弯，如果取压位置按照常规方法选在水平管的上方，就是一个最不利的位置，如果取 $\alpha = 85^\circ$ ，就可使直管段不够长对测量的影响减到很小的程度。

在图 6 所示的涡街流量计实例中，业主单位没有选择管线绕道的方法，而且选择了将旋涡发生体旋转 90°，即将接线盒安装在水平管道的侧面，收到了很好的效果 [9]，经质量平衡验证和能量平衡验证，达到很高的精确度。

在图 9 中，为什么将旋涡发生体旋转 90°后直管段长度不够也不影响测量精确度呢？这是因为涡街流量计在出厂前都经过实流标定。由于流量标准装置的直管段都相当长，所以流

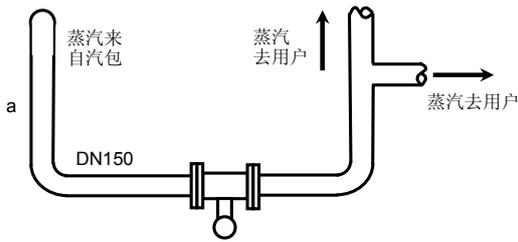


图 9 取压口位置安装示意图

量计前管道内流体的速度分布是对称的，也不存在旋涡。这样，圆形流通截面中流速最高点与轴心重合，一台涡街流量计的流量系数就是在这样的条件下标定出来的。

但在图 10 中，流体在管道内高速流动，由于流体的离心力作用，流场产生畸变，使最高流速这一点向图的下方偏移，这种偏移，使最高流速点不再对准旋涡发生体的中心，从而使流量计的旋涡剥离频率相对减低，引起仪表示值偏低。

仪表示值偏低是因最高流速点对旋涡剥离频率的贡献被削弱，而较低流速点对旋涡剥离频率的贡献被加强，如图 10 所示。

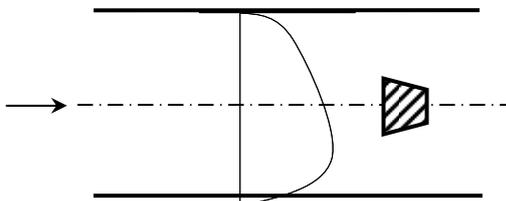


图 10 管道内的流场分布与发生体位置

而当旋涡发生体的方向被旋转 90°后，情况发生了变化，流场的畸变情况虽然无变化，但最高流速点对准了发生体的中心线。如图 11 所示。

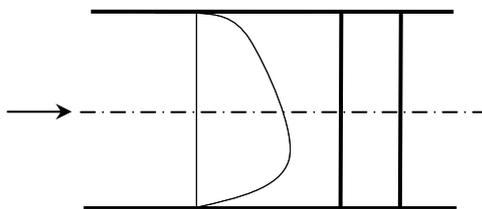


图 11 旋涡发生体处于水平位置

这个方法对安装在垂直管道上的电磁流量计、单声道超声流量计也完全适用，但对安装

在水平管道上的电磁流量计和单声道超声流量计就要作点修正才能应用，因为电磁流量计不允许将电极安装在水平管道的上方和下方，如果电极被布置在水平管道的水平直径方向是处于最不利的位置，则可将一对电极所组成的连线在圆周方向旋转 45°。单声道超声流量计如果一对换能器被布置在水平管道的水平直径方向是处于最不利的位置，则可将一对换能器之间的声道所组成的平面在圆周方向旋转 45°，这样处理虽然效果比不上旋转 90°，但比最不利的位置要好得多。

(4) 加装流动调整器

流动调整器可用于减少上游直管段长度。配合性实验表明，它可以用在任何上游管件的下游。

目前在 ISO 5167 正文中只列入两种流动调整器：19 根管束式流动调整器（1998）和 Zanker 流动调整板，他们在标准中列有适用的节流件和阻流件类型以及具体的安装位置等，详见 ISO5167.1-2003（E）标准。

(5) 选用直管段要求低的流量计

如第 1 节所述，各种不同类型的流量计对直管段长度的要求差异悬殊，如果原来所选的流量计直管段要求较长，而且动了很多脑筋也满足不了要求，当然改选直管段长度要求较低的型号，也是一条可走的路径。

(6) 对影响值进行评估

直管段长度不够时，流量计不确定度增大，其机理是因在直管段长度不够时，由于管道内的速度分布畸变，使得仪表的实际流量系数与出厂标定时的流量系数不一致。

如果按照现场实际的管件种类和直管段长度组装成一套带前后管段的流量计，放在流量标准装置上，标定出该台仪表的流量系数，然后配套使用，并使用此流量系数计算流量，也就完全排除了直管段长度不够对测量结果的影响。

这个方法在钻井平台等场地有限的场合，经常采用。

参考文献

1. 蔡武昌, 孙淮清, 纪纲. 流量测量方法和仪表的选用. 北京: 化学工业出版社, 2003:70
2. 肖素琴, 韩厚义. 质量流量计. 北京: 中国石化出版社, 1999:144
3. ISO5167:2003 (E) Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full
4. 姜仲霞, 姜川涛, 刘桂芳. 涡街流量计. 北京: 中国石化出版社, 2005:398
5. 杨有涛, 王子纲. 涡轮流量计. 北京: 中国质检出版社. 2011:29
6. 王池等. 流量测量技术全书. 上册. 北京: 化学工业出版社, 2012:617
7. 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
8. 强发红, 毛协柱. 时差超声波流量计的应用技术. 石油化工自动化.2001, (1): 60~62
9. 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, 2012:204.198
10. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧, 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2009:173~174.

本文发表在《石油化工自动化》2014年第5期