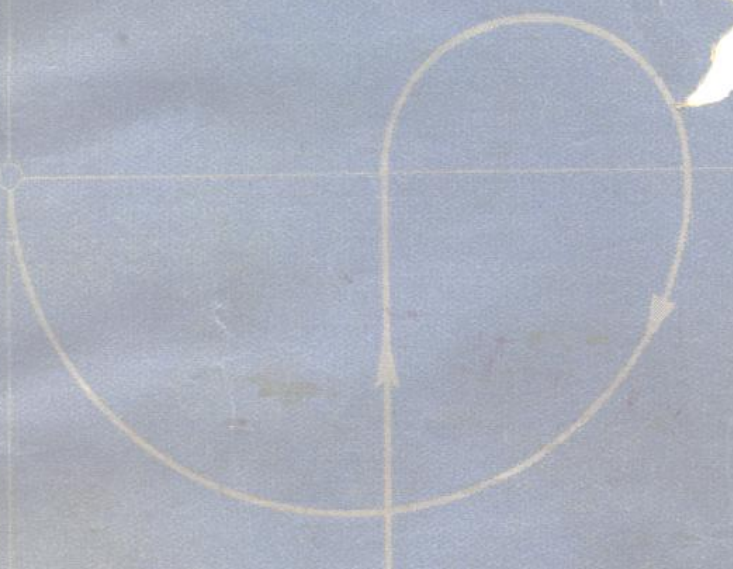


自动化丛书



液体、气体和蒸汽流量的测量

〔苏联〕B. И. 莫纳霍夫著 孙淮清译

上海科学技术出版社

73.86
463

自动化丛书

21

液体、气体和蒸汽流量的测量

〔苏联〕B. M. 莫纳霍夫 著

孙淮清 译 汪时雍 校

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是《自动化丛书》之一。丛书内容包括自动学及远动学的理論,自动装置、元件和仪器的結構及应用等。丛书选题主要取自苏联及其他国家的有关資料,也包括国内編写的专题論著。本丛书由“自动化丛书編輯委员会”主編。

本书叙述在工业中常用的液体、气体和蒸汽流量測量方法的系統知識,以及有关仪表的作用原理和理論基础,并介紹它們的安装和运行規則的知識。书中列举了对变压降式流量計作基本檢查計算所必須的資料。对工业上尚未广泛应用的流量測量方法也有所叙述。

本书供各工业部門从事生产过程自动化工作,但尚未具檢測技术专业知識的工程技术人员作参考。

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТИ ГАЗА И ПАРА

В. И. Монахов

Госэнергоиздат • 1962

自动化丛书(24)

液体、气体和蒸汽流量的測量

孙淮清 譯 汪时雍 校

自动化丛书編輯委员会主編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/32 印張 4 26/32 排版字数 105,000

1963年12月第1版 1963年12月第1次印刷 印数 1—6,200

統一书号 15119.1757 定价(十二) 0.56 元

目 录

第 1 章 流量测量仪表的分类	1
1. 流量测量仪表	1
2. 总量测量仪表	2
第 2 章 变压降式流量计	4
3. 一般原理和定义	4
4. 流量方程式的推导	5
5. 流量方程式中各值的特性	9
6. 流量实用公式	20
7. 标准节流装置的计算方法	23
8. 标准节流装置	32
9. 差压流量计	36
10. 差压流量计示值远传装置	43
11. 差压流量计的积算装置	48
12. 流量测量的特殊情况	52
13. 变压降式流量计的安装规则	58
第 3 章 绕流式流量计	65
14. 转子流量计	65
15. 活塞式和浮塞式流量计	67
16. 流体动力式流量计	71
第 4 章 感受件作连续运动的流量计	74
17. 涡轮流量计	74
18. 动管件式流量计	77
第 5 章 电测流量计	80
19. 电磁流量计	80
20. 电离式流量计	85
第 6 章 量热式流量计	88
21. 热风速计	88

22. 热量計式流量計	90
第 7 章 超声波流量計	93
23. 相位式流量計	94
24. 頻率式流量計	94
第 8 章 其他流量測量方法	97
25. 風速計	97
26. 速度压头管	99
27. 分流式流量計	103
28. 开口流的流量測量	105
第 9 章 液体計量表	110
29. 計量表的主要特性	110
30. 速度式計量表	111
31. 容积式計量表	114
第 10 章 气体計量表	121
32. 旋轉式計量表	121
33. 閥式計量表	122
34. 轉筒式計量表	124
附 录	126
参考文献	147

第 1 章

流量测量仪表的分类

用于测量物质流量的仪表可以按不同的特征进行分类。应该认为能反映出测量所依据的仪表基本工作原理和进行过程的物理本质的分类法是适当的。从这个观点出发,采取了按工作原理的分类法。

分类中只包括本书所論及的各种一次仪表。

首先,应该分为流量测量仪表和总量测量仪表^①,或者称为流量计和计量表。

1. 流量测量仪表

测量物质流量,即在单位时间内流经管道的物量的仪表称为流量计。

流量计按测量方法可分为:

〔变压降式流量计〕 测量装在管道中节流装置上的压力降,以压力降作为沿管道流动的物量的尺度;

〔绕流式流量计〕 用装在流体中的仪表敏感元件(浮标、活塞、动压管等)感受沿管道流动的物质的动压头,因而敏感元件产生位移,以位移值作为流量的尺度;

① 原书标题及正文中用 расход 和 количество 分别表示瞬时流量(流量)和累计流量,在譯文中分别简称流量和总量,统称流量。——校注

〔感受件作連續运动的流量計〕 仪表的敏感元件在流体的动力作用下发生回轉或摆动，以敏感元件的运动速度作为流量的尺度；

〔电測流量計〕 测量随着流量而改变的綫路的电气参数，这个綫路是由被测物质和仪表的敏感元件所組成，以某种被选取用于测量的电气参数的数值作为流量的尺度；

〔量热式流量計〕 测量加热元件散发至物流中的热量，以此作为流量的尺度；

〔超声波流量計〕 测量在被测物流中傳播着的超声波参数。

2. 总量測量仪表

測量物质总量，即在某段時間內（一小时、一昼夜等）沿管道流动的物质的总体积或总重量的仪表称为物质总量測量仪表（計量表）。

計量表有以下几种：

〔速度式計量表〕 累計某段時間內装在流体中仪表回轉件的轉数，而回轉件的轉速是和仪表装設地点物流的平均流速成正比的；

〔容积式計量表〕 累計在某段時間內由仪表計量室排出的物质体积；

〔重量式計量表〕 測量由于被测物质充填計量容器而使它失去平衡的物质的份量。

前面两种型式計量表应用最广，因此，本书不討論重量式計量表。

图1和图2列举了按照上述分类特征編制的流量計和計量表的一覽表。

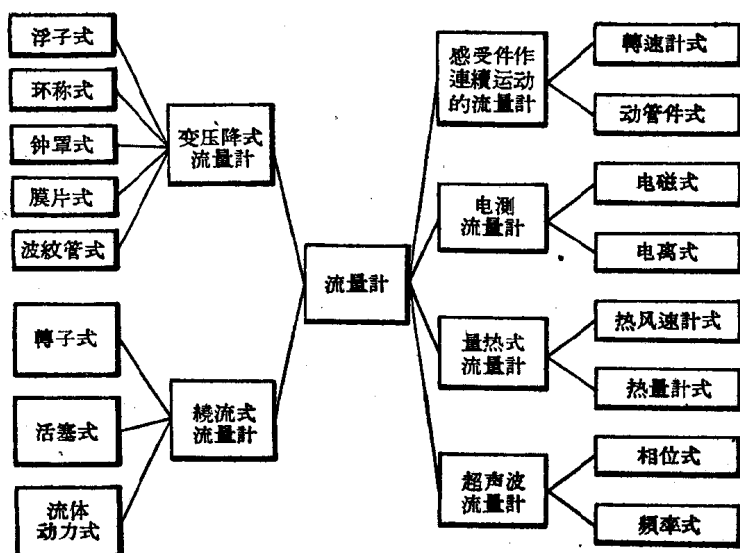


图1 液体、气体和蒸汽流量测量仪表分类图

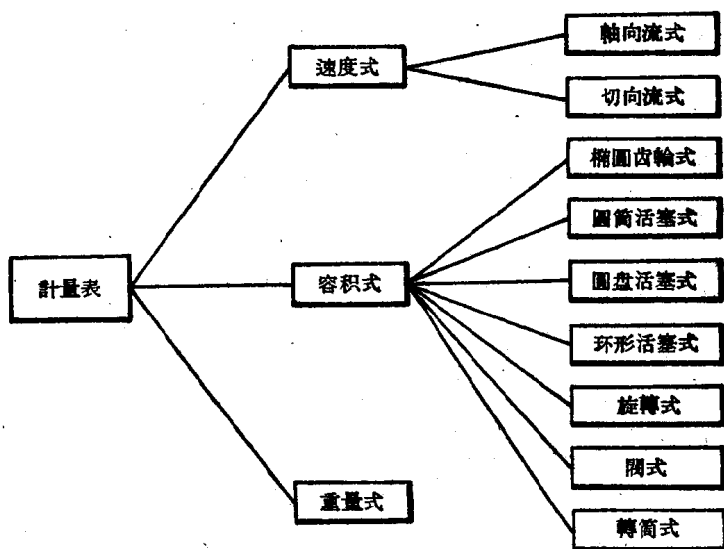


图2 液体和气体总量测量仪表分类图

第 2 章

变压降式流量计

3. 一般原理和定义

利用测量压力降原理（这种压力降是当液态或气态物质流过时，由装设在管道中的任何节流装置所产生的）的测量仪表称为变压降式流量计。

当液态或气态物质流过节流装置时，由于部分压力势能转变为动能，在收缩截面处流束的平均流速提高。因而节流装置后面流束的静压力要比前面小。这个压差（压力降）与流动物质的流量有关，并可作为流量的尺度。

由于这种测量方法有下列优点，所以无论在工业上，或在实验室的测量中都应用得很广泛。其优点如下：

- (1) 有较高的测量精度；
- (2) 方法简便通用；
- (3) 可以测量在各种温度和各种压力下的液体、蒸汽和气体的任何流量（有某些限制）；
- (4) 容易成批地制造仪表。

这种测量方法的缺点如下：

- (1) 流动能量有一些损失；
- (2) 在小流量、脉动流和含有异类杂质的物质流、以及流

动参数接近平衡状态等情况下,工业上的使用是比较困难的。

整套的流量计是由装在管道内的节流装置,带有辅助设备(隔离器或平衡器,关断阀件等)的连接(讯号)管路,以及压力降的测量仪表——差压计等所组成的。通常差压计带有把压力降转变为与之成比例的电量或气压值的转换器,它用来把测量值远传至二次仪表。

本章讨论的节流装置主要着重于标准节流装置(标准孔板、标准喷嘴、标准文丘利喷嘴和标准文丘利管),因这些标准节流装置在工业测量中应用广泛;对于其他类型的节流装置仅叙述它们的使用范围。

在应用上述流量测量方法时必须遵守以下测量条件:

- (1) 被测物质充满全部管道截面;
- (2) 流动实际上是定常的,亦即在同一地点的压力和流速只能缓慢地随时间而变;
- (3) 当物质流过节流装置后,物质的相态不应该改变,亦即液体不应蒸发,蒸汽仍然是过热的,溶解于液体中的气体不应析出。

如果胶状溶液的扩散度和物理性质与单相液体相差甚微,可以用这种方法测量胶状溶液的流量。

4. 流量方程式的推导

当物质流过装设着节流装置的管段时,沿流束的速度和压力的分布以及流束的特性示于图 3。

这里认为起始段的流动是定常的;截面 I ——未受节流装置扰动影响的流束截面;截面 II ——节流装置后面流束的最小截面;所装的节流装置是具有中心圆孔的薄孔板;流动物质是不可压缩的,亦即物质的重度不随压力而改变。

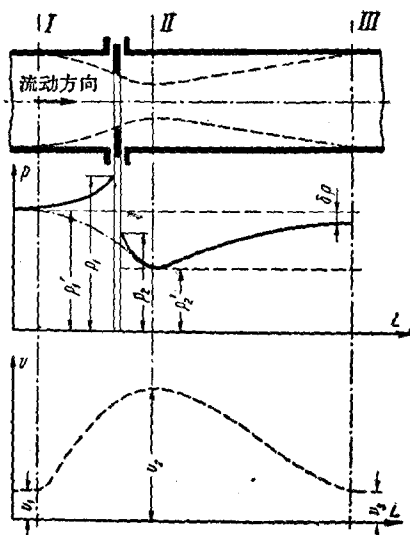


图3 在孔板附近的压力分布和流速分布

——管壁处的压力 - - - 流束中心的压力 - - - 平均流速

采用的符号如下:

p_1 ——在截面 I 上的绝对压力, 公斤力/米²;

p_2 ——在截面 II 上的绝对压力, 公斤力/米²;

v_1 ——在截面 I 上流束的平均流速, 米/秒;

v_2 ——在截面 II 上流束的平均流速, 米/秒;

F ——管道的横截面积, 米²;

f ——孔板的开孔面积, 米²;

F_2 ——在截面 II 上流束的面积, 米²;

$m = \frac{f}{F}$ ——孔板开孔面积和管道横截面积之比;

γ ——物质的重度, 公斤/米³;

g ——重力加速度, 米/秒²;

C_{v1} ——在截面 I 上流速分布不均匀的校正系数;

C_{v2} ——在截面 II 上流速分布不均匀的校正系数;

ξ ——在 $I-II$ 管段上的阻力系数;

$m_2 = \frac{F_2}{f}$ ——与节流装置类型有关的流束收缩系数;

Q ——体积流量, 米³/秒;

G ——重量流量, 公斤/秒。

为了推导出流量方程式, 将伯努利方程和流束連續性方程联立对 v_2 求解。

对于所叙述的这种情况, 理論上的伯努利方程写成

$$p'_1 + C_{v1} \frac{v_1^2}{2g} \gamma = p'_2 + C_{v2} \frac{v_2^2}{2g} \gamma + \xi \frac{v_2^2}{2g} \gamma \quad (1)$$

式中 $\xi \frac{v_2^2}{2g} \gamma$ ——在 $I-II$ 管段上流束的动能损失。

对于这种情况, 流束連續性方程写成

$$v_1 F = v_2 m_2 f \quad (2)$$

省略中間的代数运算, 解联立方程式(1)和(2), 可得

$$v_2 = \sqrt{\frac{1}{\xi + C_{v2} - C_{v1} m_2^2 m^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p'_1 - p'_2)} \quad (3)$$

严格地说, 所取的截面 I 和 II , 亦即 p'_1 和 p'_2 压力值, 只是对于某一定的 v_2 速度而言, 因此为了按式(3)計算流速, 必須在測量压力 p'_1 和 p'_2 时每次都确定出 I 和 II 截面的位置, 象本节开头所作的那样。实际上这两个压力的取压点常是严格固定的, 一般是直接在孔板两端面附近取出的。分別以 p_1 和 p_2 表示这两个压力, 并以 $\psi = \frac{p'_1 - p'_2}{p_1 - p_2}$ 表示在截面 I 和 II 上的压力降与測得的压力降的比值, 可得

$$v_2 = \sqrt{\frac{\psi}{\xi + C_{v2} - C_{v1} m_2^2 m^2}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p_2)} \quad (4)$$

現在,从流量方程式 $Q = m_2 f v_2$, 可得

$$Q = \sqrt{\frac{\psi m_2^2}{\xi + C_{v2} - C_{v1} m_2^2 m^2}} \cdot f \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p_2)} \quad (5)$$

引用符号

$$\alpha = \sqrt{\frac{\psi m_2^2}{\xi + C_{v2} - C_{v1} m_2^2 m^2}} \quad (6)$$

α 称为流量系数。

則

$$Q = \alpha f \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_1 - p_2)} \text{ 米}^3/\text{秒} \quad (7)$$

重量流量等于体积流量和重度的乘积,即

$$G = \alpha f \sqrt{2g\gamma (p_1 - p_2)} \text{ 公斤/秒} \quad (8)$$

在測量可壓縮性物质的流量时, 特別在大压力降的情况下, 不能忽略重度的变化。实际上完全可以认为物质流过节流装置是和周圍介质沒有热交换的过程, 即絕热的过程, 所以

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \quad (9)$$

式中, κ 为絕热指数。

对于可壓縮性物质, 伯努利方程和流束連續性方程可写为下式

$$p_1' + C_{v1} \frac{v_1^2}{2g} \gamma_1 = p_2' + C_{v2} \frac{v_2^2}{2g} \gamma_2 + \xi \frac{v_2^2}{2g} \gamma_2 \quad (10)$$

$$\gamma_1 v_1 F = \gamma_2 v_2 m_2 f \quad (11)$$

在联立解出这些方程式时考虑了式(9), 就可得壓縮性物质的流量方程式

$$Q = \alpha \epsilon f \sqrt{\frac{2g}{\gamma_1} (p_1 - p_2)} \text{ 米}^3/\text{秒} \quad (12)$$

$$G = \alpha \epsilon f \sqrt{2g\gamma_1 (p_1 - p_2)} \text{ 公斤/秒} \quad (13)$$

式中, ε 为被测物质的膨胀校正因数。

如果考虑到对于不可压缩性物质 $\varepsilon=1$, 则从式 (12) 和 (13) 可直接得出式 (7) 和 (8)。

所有以上的结论只当流束的流速低于声速时才是正确的。

5. 流量方程式中各值的特性

从上述方程式 (12) 和 (13) 可知, 为了要使重量流量或体积流量仅单值地决定于节流装置上的压力降, 必须使方程中的所有其他数值恒定。

f 和 g 数值在各种具体的流量测量条件下是恒定的, 现在来研究一下对其他数值 (α 、 ε 、 γ) 的要求, 这些数值如果恒定, 则上述流量测量方法所有必要的条件可得到理论上的保证。

流量系数 α

由式 (6) 可见, 流量系数实际上是不能用计算方法求出的, 其原因是液体、气体和蒸汽流过节流装置的过程很复杂。因此就用实验的方法来确定流量系数以代替理论计算的方法。流量系数与节流装置的几何形状及流过此装置时流束的物理性质有关。

显然, 事实上不可能对所有各种类型的流束和节流装置用实验方法确定其流量系数。这里应用了相似原理, 根据相似原理可知, 如果流束几何上相似, 则当雷诺数相等时, 其流量系数是相同的。

这一结论可使对某一流束的测量结果转用到另一流束去, 为此只要被测流束能保持实验时所遵守的条件, 换句话说

說,應該保持几何上和流体力学上的相似性。

限制流束的表面相似就使流束几何上相似。对于同一种节流装置, m 值相等并且节流装置的表面尺寸(通常它是以节流装置开孔直径来表示的)有相同的比值,就达到了几何上的相似性。

流束在流体力学上的相似条件是流束的无因次准则(雷诺数 Re) 相等,雷诺数是流束的惯性力对粘滞力的比值。

对于管道直径而言,雷诺数按下式计算

$$Re = \frac{v_{cp} D}{\nu} = \frac{v_{cp} D \rho}{\mu} \quad (14)$$

式中 v_{cp} ——管道截面上流束的平均流速,米/秒;

D ——管道直径,米;

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ——工作条件下被测物质的运动粘度,米²/秒;

μ ——工作条件下的动力粘度,公斤秒/米²;

ρ ——被测物质的密度,公斤秒²/米⁴。

液体、气体和蒸汽的运动粘度与温度及压力有关。

气体混合物的粘度,尤其是碳氢化合物含量高的时候,不服从混合法则。对于含有氧、氢、氮、二氧化碳、一氧化碳、甲烷、重碳氢化合物(或者只含其中的一部分)的可燃性气体,其气体混合物的运动粘度可以按下式计算(在 20°C 和 760 毫米水银柱时)

$$\nu_{20} = \frac{15.40 \cdot 10^{-4}}{100 + (CO_2 + C_m H_n) - 0.857 H_2} \text{ 米}^2/\text{秒} \quad (15)$$

式中 $CO_2 + C_m H_n$ ——混合物中二氧化碳和重碳氢化合物①的总含量,以体积百分数表示;

① 甲烷除外。——譯注

H_2 ——混合物中氢的含量，以体积百分数表示。

ν_{20} 也可以由图中求得(附录 1)。

对于这些气体混合物，温度在 -10° 到 $+40^\circ\text{C}$ 范围内，其运动粘度可根据下式确定

$$\nu_t = \nu_{20}[1 + 0.006(t - 20^\circ)]$$

液体的动力粘度与温度有关，而在高压下还与压力有关(附录 2)。

气体的动力粘度，当气体尚服从于理想气体定律时，仅与温度有关(附录 3)。

水蒸汽的动力粘度与温度及压力等有关(附录 4)。

以体积流量或重量流量表示的雷诺数可按下式计算

$$\text{Re} = 0.353 \frac{Q}{D\nu} \cong 0.036 \frac{Q\gamma}{D\mu} \quad (16)$$

$$\text{Re} = 0.353 \frac{G}{D\gamma\nu} \cong 0.036 \frac{G}{D\mu} \quad (17)$$

式中 Q 、 G ——物质流量，分别以 $\text{米}^3/\text{小时}$ ，标准 $\text{米}^3/\text{小时}$ ，公斤/小时表示；

D ——管道直径，毫米；

γ ——被测物质的重度，公斤/米³。

这样，对于同一个节流装置，以及对于几何相似的节流装置，流量系数只是雷诺数的函数。在小雷诺数时流量系数特别与雷诺数有关，这种影响随着雷诺数的增大而减少，最后，在足够大的雷诺数时(对于各种节流装置各不相同)流量系数不再改变，对于该节流装置为定值。这种关系在图 4 中反映了出来。

从流量系数不再与雷诺数有关时候起的最小雷诺数称为

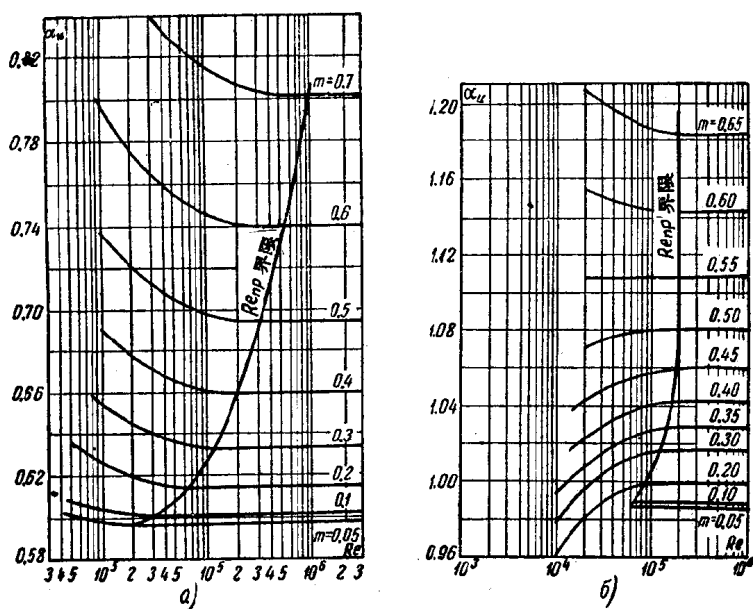


图4 原始流量系数与雷诺数的关系曲线

a—孔板①；b—喷嘴和文丘利喷嘴

极限雷诺数 Re_{np} 。对于某些节流装置，除最小极限雷诺数外，尚有最大极限雷诺数。

图5中所示的 Re_{np} 和 $Re_{np \max}$ 数值决定了各种类型节流装置的使用范围。

上述原理仅对具有极其光滑内表面的管道是正确的；对于孔板，保持开孔入口边缘尖锐也很重要，否则几何相似性的条件便被破坏了。这时流量系数应该引入管道粗糙度和孔板入口边缘不尖锐的校正。

当管道内表面光滑和孔板入口边缘尖锐时，流量系数在

① 孔板的雷诺数界限在苏联“27-54”规程中已有订正，较图示略向左移。

——译注