

水泵流量的测定方法

代替 GB 3214—82

Methods for measurement of capacity of pump

1 主题内容与适用范围

本标准规定了水泵流量测量方法。

本标准适用于离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵等水泵流量的测定。其他泵也可参照使用。

2 引用标准

GB 2624 流量测量 节流装置 第一部分：节流件为角接取压、法兰取压的标准孔板和角接取压的标准喷嘴

GB 3216 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵试验方法

JJG 198 涡轮流量变送器检定规程

3 量的名称、符号、定义及单位

本标准采用的量的名称、符号、定义及单位见表1～表3。

表1 量的名称、符号及单位

量的符号	量的名称	单位	
		名称	符号
d	节流件的开孔直径	米	m
D	管道内径	米	m
l	长度	米	m
B	堰槽宽度	米	m
b	堰口宽度	米	m
E	堰口高度	米	m
h	堰水头	米	m
y	两个管段之间错位	米	m

续表 1

量的符号	量的名称	单位	
		名称	符号
j	两个管段错位位置与取压孔或环室的距离	米	m
m	质量	千克	kg
V	液体的体积 (容积)	立方米	m^3
t	时间	秒	s
v	平均速度	米每秒	m/s
g	自由落体加速度	米每二次方秒	m/s^2
φ	角度	度	(°)
k	管道内壁的绝对平均粗糙度	米	m
δ	不确定度	视量值而定	
s	标准偏差	视量值而定	

表 2 量的名称、符号、定义及单位

量的符号	量的名称	定义 (或公式)	单位	
			名称	符号
q	质量流量	单位时间内通过液体的质量	千克每秒	kg/s
Q	体积流量	单位时间内通过液体的体积	立方米每秒	m^3/s
ρ	流体密度	单位体积的质量	千克每立方米	kg/m^3
Δp	差压	两个压力值的差值	帕斯卡	Pa
α	流量系数	$\alpha = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}} \text{ 或 } \alpha = \frac{q}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \cdot \rho}}$		

续表 2

量的符号	量的名称	定义 (或公式)	单 位	
			名称	符号
A_d	节流件开孔面积	$A_d = \frac{\pi}{4} d^2$	平方米	m^2
β	工作状态下节流件的直径比	$\beta = \frac{d}{D}$		
μ	(动力) 粘度	<p>由下式定义: $\tau = \mu \frac{u_0}{h}$</p> <p>u_0——平板在其自身的平面内作平行于某一固定平壁运动时的速度</p> <p>h——平板至固定平壁的距离。但此距离应足够小, 使平板与固定平壁间的流体流动是层流</p> <p>τ——平板运动过程中作用在平板单位面积上的流体摩擦力</p>	帕斯卡秒	$Pa \cdot s$
ν	运动粘度	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	二次方米每秒	m^2/s
Re	雷诺数	$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$		

表 3 符号与右下角码意义

符 号	意 义
0	原始数值或零点数值
1	节流件上游侧
2	节流件下游侧
e	有效的

4 标准孔板、标准喷嘴和标准文丘里喷嘴

4.1 标准孔板、标准喷嘴

使用孔板和喷嘴测定流量时,应采用符合GB 2624规定的标准孔板和标准喷嘴。

4.1.1 测量管的内表面应清洁,没有坑凹和沉积物,至少在节流件上游 $10D$ 和下游 $4D$ 的长度范围内不能结垢。

4.1.2 测量流体温度超出常温范围时,测量管段和法兰至少应在所要求的整个直管段上保温。

4.1.3 从节流件算起 $2D$ 以外,节流件与第一个上游阻力件或扰流件之间的管道可以由一个管段也可以由几个管段组成。

只要任何两个管段之间的错位 y 不超过 $0.3\% D$,流量系数就没有附加的不确定度。

如果任何两个管段之间的错位 y 超过 $0.3\% D$,但满足(1)式或(2)式关系则对流量系数的不确定度应算术相加 $\pm 0.2\%$ 的附加不确定度;若错位大于(1)式或(2)式给出的极限值,即为安装不符合本标准的要求。

$$\frac{Y}{D} \leq 0.002 \frac{\frac{j}{D} + 0.4}{0.1 + 2.3\beta^4} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{Y}{D} \leq 0.05 \dots\dots\dots (2)$$

下游直管段的管径至少在沿节流件上游端面 $2D$ 的长度上,与上游直管段的平均直径的差应在 $\pm 3\%$ 之内。

4.1.4 管道应设置排气孔,但在进行流量测量的过程中,不应有流体流经这些排气孔。排气孔不得设置在节流件附近,如果不得不设置在节流件附近时,则这些排气孔的直径应小于 $0.08D$,而且它们的位置距节流件同一侧的取压孔的直线距离应大于 $0.5D$ 。

4.1.5 节流件和取压环室的安装位置应满足下列要求:

a. 节流件应与管道中心线垂直,其偏差应在 $\pm 1.0^\circ$ 范围内;

b. 节流件应与管道同心。如果采用取压环,则应与取压环同心。开孔的中心线与上游和下游的管中心线之间的距离 e_x 应满足(3)式关系:

$$e_x \leq \frac{0.0005D}{0.1 + 2.3\beta^4} \dots\dots\dots (3)$$

若 e_x 为(4)式关系时,则应对流量系数 α 的不确定度算术相加 $\pm 0.3\%$ 的附加不确定度,若 e_x 为(5)式关系时,即为超出本标准;

$$\frac{0.0005D}{0.1 + 2.3\beta^4} < e_x \leq \frac{0.005D}{0.1 + 2.3\beta^4} \dots\dots\dots (4)$$

$$e_x > \frac{0.005D}{0.1 + 2.3\beta^4} \dots\dots\dots (5)$$

c. 当采用取压环时,应使取压环不突入管内。

4.1.6 夹紧方法和垫圈应满足下列要求:

a. 节流件安装在适当的位置后,应保持不动。当节流件固定在法兰之间时,应能自由热膨胀以避免弯曲和变形;

b. 使用垫圈时,垫圈应没有任何一点突入管内。当使用角接取压时,也不得挡住取压孔或取压槽。垫圈应尽可能薄,在任何情况下不得大于 $0.03D$;

c. 如在节流件和取压环之间使用垫圈时,垫圈不得突入环室内。

4.1.7 标准孔板流量系数的不确定度:假定 β 、 D 、 Re 和 k/D 为已知而且没有误差,则 α 值的相对不确定度见表4。

表 4

%

	角 接 取 压	法 兰 取 压
$\beta < 0.6$	0.6	
$0.6 < \beta < 0.8$	β	—
$0.6 < \beta < 0.75$	—	β

标准喷嘴流量系数的不确定度：假定 β 、 D 、 Re 和 k/D 为已知而且没有误差，则 α 值的相对不确定度：

当 $\beta < 0.6$ 时，为0.8%；

当 $\beta > 0.6$ 时，为 $(2\beta - 0.4)\%$ 。

4.1.8 管道条件和安装要求均应符合GB 2624第4章的规定。

流量的调节，建议用设置在节流件下游侧的阀门来进行。当需要用节流件上游侧阀门来调节流量时，可采用整流器。

4.1.8.1 整流器安装在节流件与上游侧调节阀门之间的直管段上。阀门与整流器进口之间的直管段长度至少应等于 $20D$ ，整流器出口和节流件之间的长度至少应等于 $22D$ 。而且只有当整流器的阻流小管周围有最小的间隙，使之没有能妨碍正确作用的旁通流时，整流器才是充分有效的。使用符合上述安装条件的整流器，不必加任何附加的不确定度。

4.1.8.2 整流器的标准形式分A、B、C三种，如图1所示。这类整流器都会造成压力损失，对A型整流器近似为 $5(\frac{1}{2}\rho v^2)$ ；B型近似为 $15(\frac{1}{2}\rho v^2)$ ；C型近似为 $5(\frac{1}{2}\rho v^2)$ 。

A型，Zanker式整流器。是由有规定尺寸圆孔的穿孔薄板及其后面由很多平板交叉形成的槽道（每一个孔有一个槽）所组成。图1中给出了主要尺寸，各种板应具有适当的强度，但不应有不必要的厚度。

B型，Sprenkle式整流器。是由三块穿孔金属板串连而成，相邻的两板之间的间距为一倍管径。最好在孔的上游面有倒角，而且每块板上开孔的总面积应该大于管横截面积的40%。板的厚度与孔径的比至少是1.0，孔的直径应小于管径的1/20。三块板应当用棒或螺栓连在一起，棒或螺栓应环绕管的内圆周分布，而且尽可能象孔直径那样小，并具有所需的强度。

C型，管束式整流器。是由很多固定在一起并且刚性地固定在管内的平行的管子所组成。重要的是要保证各个管子彼此平行，因而也与管轴平行。如这一要求不能满足，则整流器本身可能会对流动引起干扰。至少要有19根管子，其长度应大于或等于 $20d$ ，管子应连接在一起，并且使管束和管道相切。

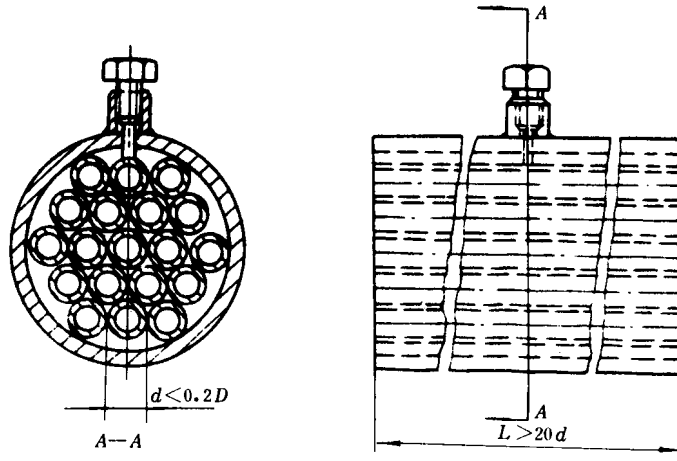
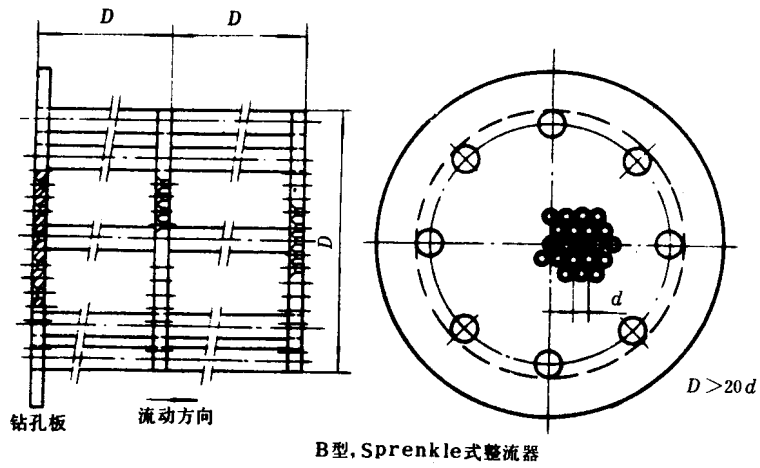
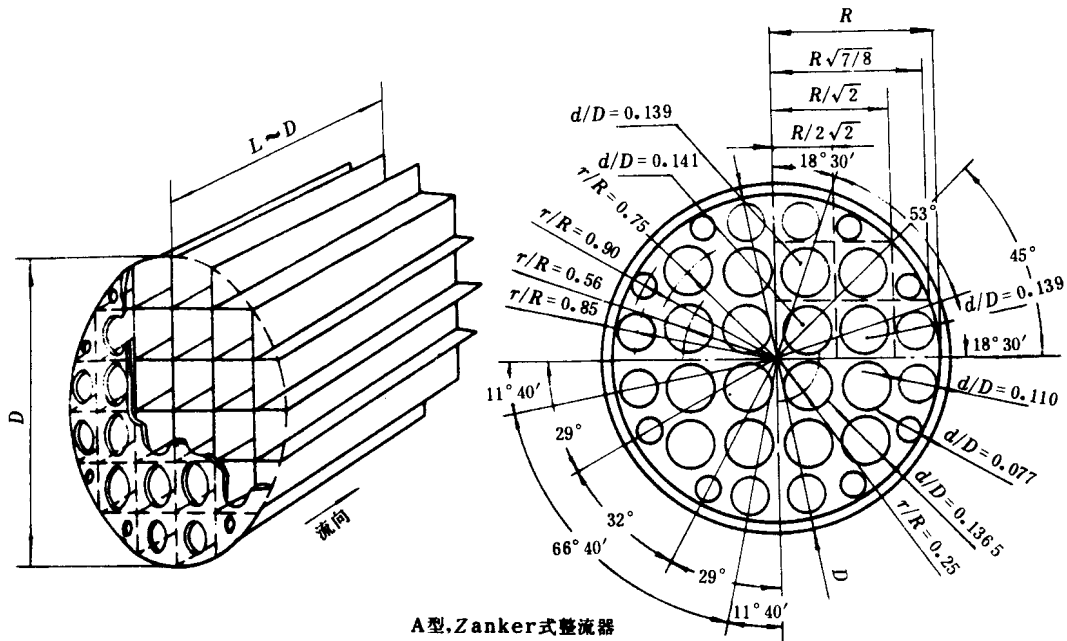


图 1 整流器

注: 为减少压力损失, 孔的入口可做成45°的斜面。

4.1.9 流量测量的不确定度的估算方法按本标准4.3条的规定进行。

4.2 标准文丘里喷嘴

标准文丘里喷嘴包括由两个圆弧曲面构成的入口喷嘴部分、圆筒形喉部及锥形扩散管三部分组成，如图2所示。

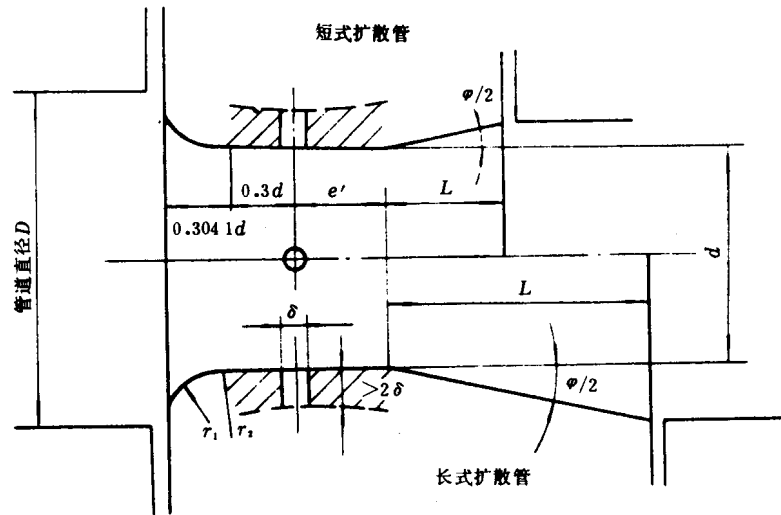


图2 带短式或长式扩散管的标准文丘里喷嘴

用于不同管径的标准文丘里喷嘴，其结构形式是几何相似的。

4.2.1 标准文丘里喷嘴的入口喷嘴部分的尺寸和技术要求应符合GB 2624标准中3.3.2条有关规定。

4.2.2 取压钻孔中心至锥形扩散管始端的圆筒形部分e'的长度为0.40~0.45d，这部分圆筒形和入口喷嘴的圆筒形喉部合起来决定了直径为d的圆筒形喉部的总长。这部分内表面加工要求应符合GB 2624标准中3.3.2条的规定。

4.2.3 锥形扩散管直接与圆筒形喉部连接，无需圆弧过渡，其扩散角φ最大可至30°。扩散管的长度实际上对流量系数没有影响，然而与扩散角联系在一起对剩余压力损失有影响。

4.2.4 取压方式仅采用角接取压法，其取压装置的结构形式和技术要求按GB 2624标准中2.4条的规定。

4.2.5 当管径D为0.065~0.500m、直径比β为0.32~0.77及雷诺数Re为1.5×10⁵~2×10⁶时，在光滑管道中的标准文丘里喷嘴的光管流量系数α列于表5，表中列出β⁴的数值与流量系数α的关系。

表5 流量系数α值

β^4	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
α	0.989 3	0.993 3	0.997 2	1.001 0	1.004 7	1.008 4	1.012 2	1.015 9	1.019 7	1.023 5	1.027 4	1.031 4
β^4	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24
α	1.035 4	1.039 5	1.043 7	1.047 9	1.052 3	1.056 7	1.061 2	1.065 9	1.070 6	1.075 4	1.080 4	1.085 4
β^4	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36
α	1.090 6	1.095 9	1.101 3	1.106 8	1.112 4	1.118 2	1.124 1	1.130 1	1.136 3	1.142 5	1.140 9	1.155 4

4.2.6 在流通部分的外表面上应刻有表示标准文丘里喷嘴安装方向的符号 (+、-)、制造编号、安装方向、管道内径 D 的设计尺寸值和圆筒形喉部直径 d 的实际尺寸值。

4.2.7 管道条件和安装要求应符合本标准4.1.8条的规定。

4.2.8 检验方法按GB 2624标准第5章的规定进行。

4.2.9 标准文丘里喷嘴流量系数的不确定度,当适用范围在4.2.5条的限值内时,假定 β 为已知而且没有误差,则流量系数 α 值的相对不确定度由式(6)计算:

$$\frac{\delta_{\alpha}}{\alpha} = \pm (1.2 + 1.5\beta^4)\% \dots\dots\dots (6)$$

4.3 流量测量的不确定度的估算

4.3.1 不确定度的定义

用标准孔板、标准喷嘴和标准文丘里喷嘴测量流量时的不确定度是估计实测值的95%落在真值的这一数值范围之内,即置信概率为95%。

流量测量的不确定度可用绝对项或相对项表示:

a. 对体积流量

$$\text{流量} = Q \pm \delta_Q \text{ 或 } \text{流量} = Q(1 \pm e);$$

b. 对质量流量

$$\text{流量} = q \pm \delta_q \text{ 或 } \text{流量} = q(1 \pm e)。$$

式中不确定度 δ_Q 、 δ_q 应与 Q 、 q 的量纲相同,当 $e = \frac{\delta_Q}{Q}$ 或 $e = \frac{\delta_q}{q}$ 时,则 e 为无量纲。

这样定义的流量不确定度等于统计学术语的标准偏差的两倍。标准偏差是由计算流量时所用的有关各量的不确定度合成得到的(假定这些不确定度是比较小的,许多彼此无关的量)。虽然对于一个单独的测量装置和一次测量所用的系数而言,这些不确定度中的某几个实际上可能是系统误差的结果(其中只有它们的最大绝对值的估计值是已知的),但是,如果把它们看作是符合拉普拉斯-高斯正态分布的偶然误差,也允许把它们合成。

4.3.2 不确定度的实用算法

流量的不确定度的实际计算公式如下:

$$\begin{aligned} \frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_{\alpha}}{\alpha} \right)^2 + 4 \left(\frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\delta_D}{D} \right)^2 + 4 \left(1 + \frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\delta_d}{d} \right)^2 \right. \\ \left. + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta_{\Delta p}}{\Delta p} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta_{\rho_1}}{\rho_1} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

式中: $\frac{\delta_{\alpha}}{\alpha}$ ——流量系数的不确定度,在本标准中4.1.7条和4.2.9条给出;

$\frac{\delta_D}{D}$ ——管道内径的不确定度,由GB 2624标准中4.3.2.1条所给的规定得出的最大值;

$\frac{\delta_d}{d}$ ——节流件开孔直径不确定度,由GB 2624标准中2.2.2.7条和3.3.2.5条所给的规定得出的最大值;

$\frac{\delta_{\Delta p}}{\Delta p}$ ——差压的不确定度,根据测量方法而定;

$\frac{\delta_{\rho_1}}{\rho_1}$ ——密度的不确定度,根据测量方法而定。

4.4 差压的测定

标准孔板、标准喷嘴和标准文丘里喷嘴的差压 Δp ,可用差压计来测量。 Δp 的测量不确定度 $(\frac{\delta \Delta p}{\Delta p})$

根据采用的差压计来确定,若采用液柱差压计应做到:

- a. 液柱差压计的玻璃管内径为6~12mm;
- b. 压力导管内和液柱差压计内的空气必须完全排出;
- c. 压力导管一般可用内径6~12mm的连接管,连接管可根据不同系统压力选用不锈钢管、紫铜管、胶管、透明塑料管等;
- d. 液柱差压计的差压 Δp 测量的不确定度应在 $\pm 1.0\%$ 以内。

4.5 标准孔板、标准喷嘴、标准文丘里喷嘴的标定

凡符合GB 2624和本标准规定制造的标准孔板、标准喷嘴和标准文丘里喷嘴,应定期进行尺寸检查或在具有高一级不确定度装置上进行标定(一般规定为一年)。

5 水堰

5.1 水堰的结构

水堰由堰板和堰槽构成。

5.1.1 堰板的结构如图3和图4所示(图4为装配式结构)。

5.1.1.1 堰口与内侧面成直角,唇厚为2mm。向外侧倒45°倾斜面,毛刺应清除干净。

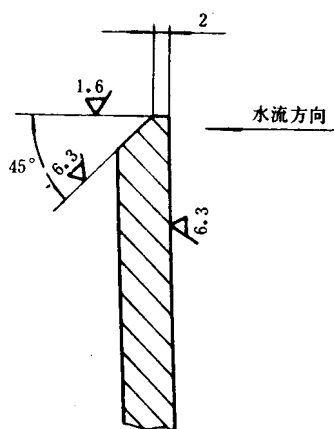


图3 堰板截面图

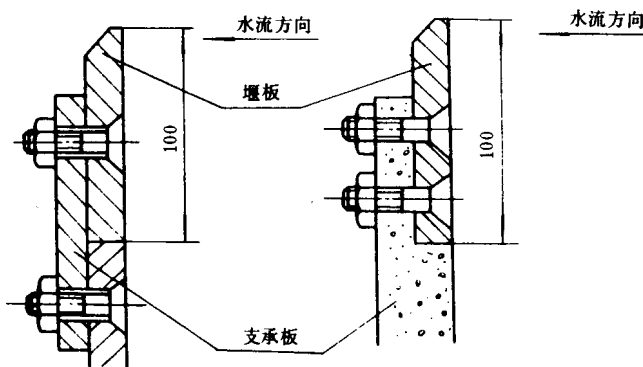


图4 装配式堰板截面图

5.1.1.2 堰口棱缘要修整成锐棱,不得呈圆形。堰板内侧面要平滑,特别是从上端至100mm的区域。

5.1.1.3 堰板应采用不锈和耐腐蚀的材料。

5.1.1.4 堰板安装时必须铅直。堰口应位于堰槽宽度的中央,与堰槽两侧壁成直角。

5.1.1.5 各种水堰的堰口如图5所示。直角三角堰的直角等分线应当铅直,直角允差为 $\pm 5'$ 。全宽堰和矩形堰的堰口下缘应保证水平,堰口的直角允差为 $\pm 5'$,堰口宽度允差为 $\pm 0.001b$ 。

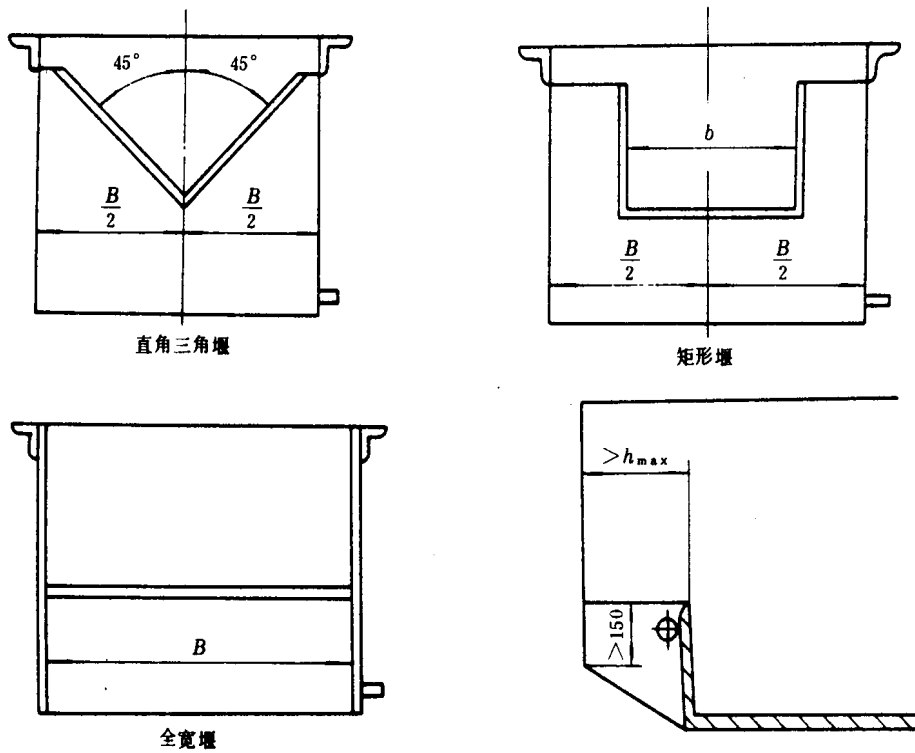


图 5 水堰的堰口

5.1.2 堰槽由导入部分、整流装置部分及整流部分构成。

5.1.2.1 堰槽（包括支承板）要坚固不易变形，可用钢板或者混凝土制成。

5.1.2.2 在堰槽上游应设置整流装置（4~5道整流栅板），以减少水面的波动，推荐的栅孔尺寸如图6所示。整流部分的宽度等于导入部分的宽度。

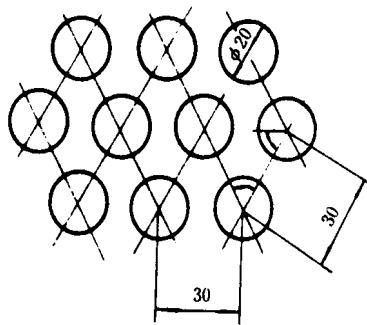


图 6 栅孔尺寸

5.1.2.3 堰槽的底面和两侧面应平坦，侧面和底面应垂直。

5.1.2.4 全宽堰槽的两侧面应向外延长，如图5所示。延长壁应和两侧面一样平坦，与堰口边缘垂直，直角允差±5'。延长壁上应设置通气孔，通气孔应靠近堰口并在水头的下面，以保证测量时水头内侧空气畅通，通气孔的面积：

$$A > \frac{B h_{\max}}{140} \dots\dots\dots (8)$$

式中： h_{\max} ——最大堰水头，即水流的最高水面至堰口底点（直角三角堰）或堰口下边缘（矩形堰、全宽堰）的垂直距离，m。

5.1.2.5 导入部分的容量应尽可能大些，这部分的宽度和深度不应小于整流装置下游的宽度和深度，导水管应埋没在水中。

5.1.2.6 堰槽的长度如图7所示，尺寸列于表6。

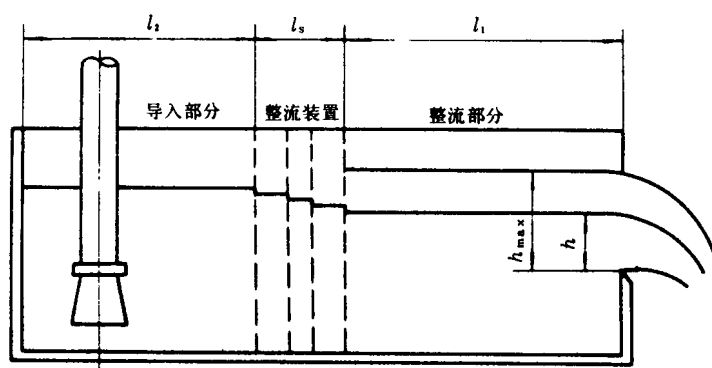


图7 堰槽长度

表6 堰槽长度尺寸

m

类别	l_1	l_s	l_2
直角三角堰	$> 20 h_{\max}$	约 $2h_{\max}$	$> (B + h_{\max})$
矩形堰	$> 10b$		$> (B + 2h_{\max})$
全宽堰	$> 10B$		$> (B + 3h_{\max})$

5.2 堰的水头测定装置

5.2.1 水头的测定装置如图8所示，在堰槽侧壁上设有小孔与另一小水桶相通，在桶内测量水位。桶和堰的连接管长应适当，以保证测量方便准确，管径10~30mm。

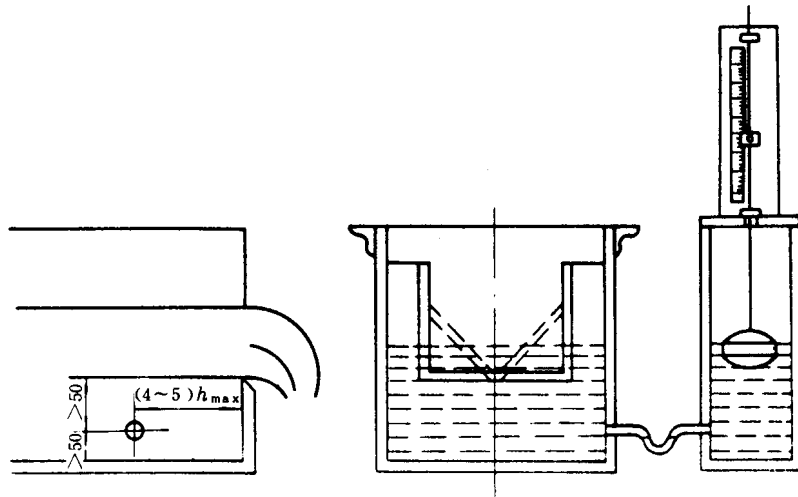


图 8 测定装置

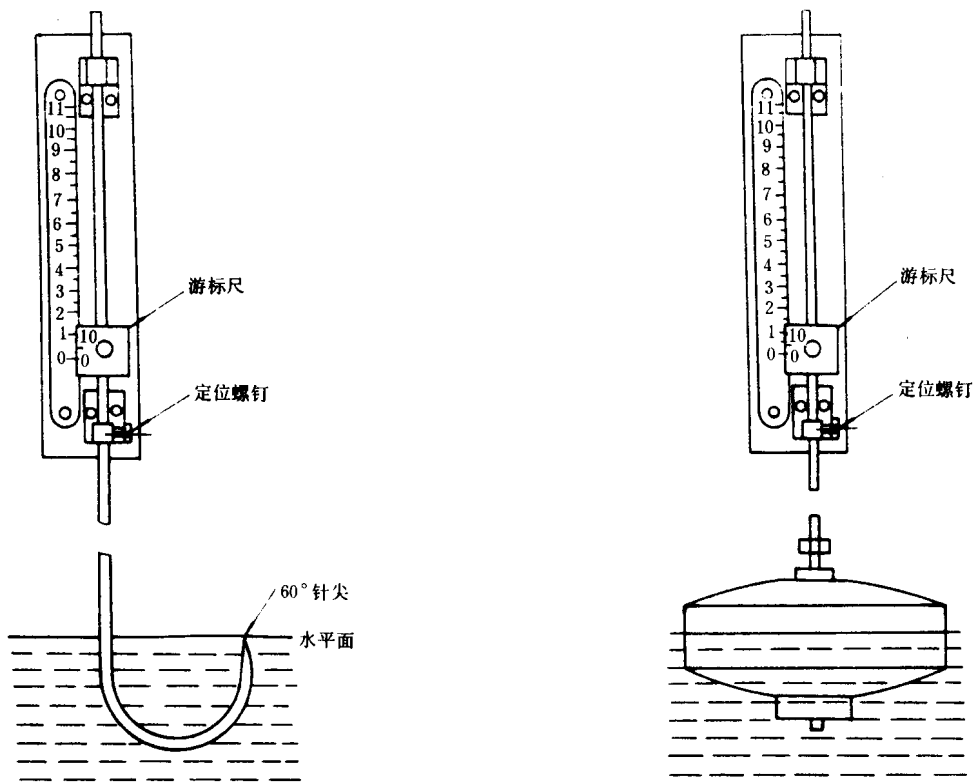
5.2.2 小孔的位置距堰口 $(4 \sim 5) h_{max}$ ，距堰口的下边缘及堰槽底面的尺寸不得小于50 mm，小孔不应有毛刺，小孔的轴心线应和堰槽壁垂直。

5.3 堰的水头测定方法

5.3.1 应当在越过堰口流下来的水流与堰板不附着的情况下进行测量。

5.3.2 水堰的堰口至堰口外水池水面的高度不得少于100 mm。

5.3.3 可以采用钩针水位计或浮筒水位计（如图9所示）来测量水位，但水位不稳定时不能使用钩针水位计。使用钩针水位计时，应将针先沉入水内再提上对准水平面，以消除表面张力的影响。除上述水位计外，也可采用水位测量精度不低于这两种水位计的其他水位计。



(a) 钩针水位计

(b) 浮筒水位计

图 9 水位计

5.3.4 水头测量的水位计零点的确定，其误差应在0.2mm以内。

5.3.4.1 矩形堰、全宽堰的确定方法（如图10所示）：

- a. 先将临时测量用的特制的带钩针的水位测量仪卡固在堰口上,并用水平仪找平,读出图中“ G ”数值;
- b. 将水放入堰槽中,并使水面低于堰口;
- c. 再将特制的带钩针的水位测量仪的钩针下降并浸入水中,然后将钩针慢慢提起使针尖和水面一平,如图10 (b)所示,并读出图中“ F ”数值,读数 G 、 F 数值之差 (“ $G - F$ ”)即是堰口至堰槽中水面之间的距离;
- d. 将预先安装在至堰口 ($4 \sim 5$) h_{\max} 的测量截面处或小水桶内的永久性的测量水头的水位计的钩针下降,使针尖和水面一平,并读出刻度数值。该读数值减去 “ $G - F$ ” 数值,得到的数值即是测量水头的永久性水位计的零点数值。

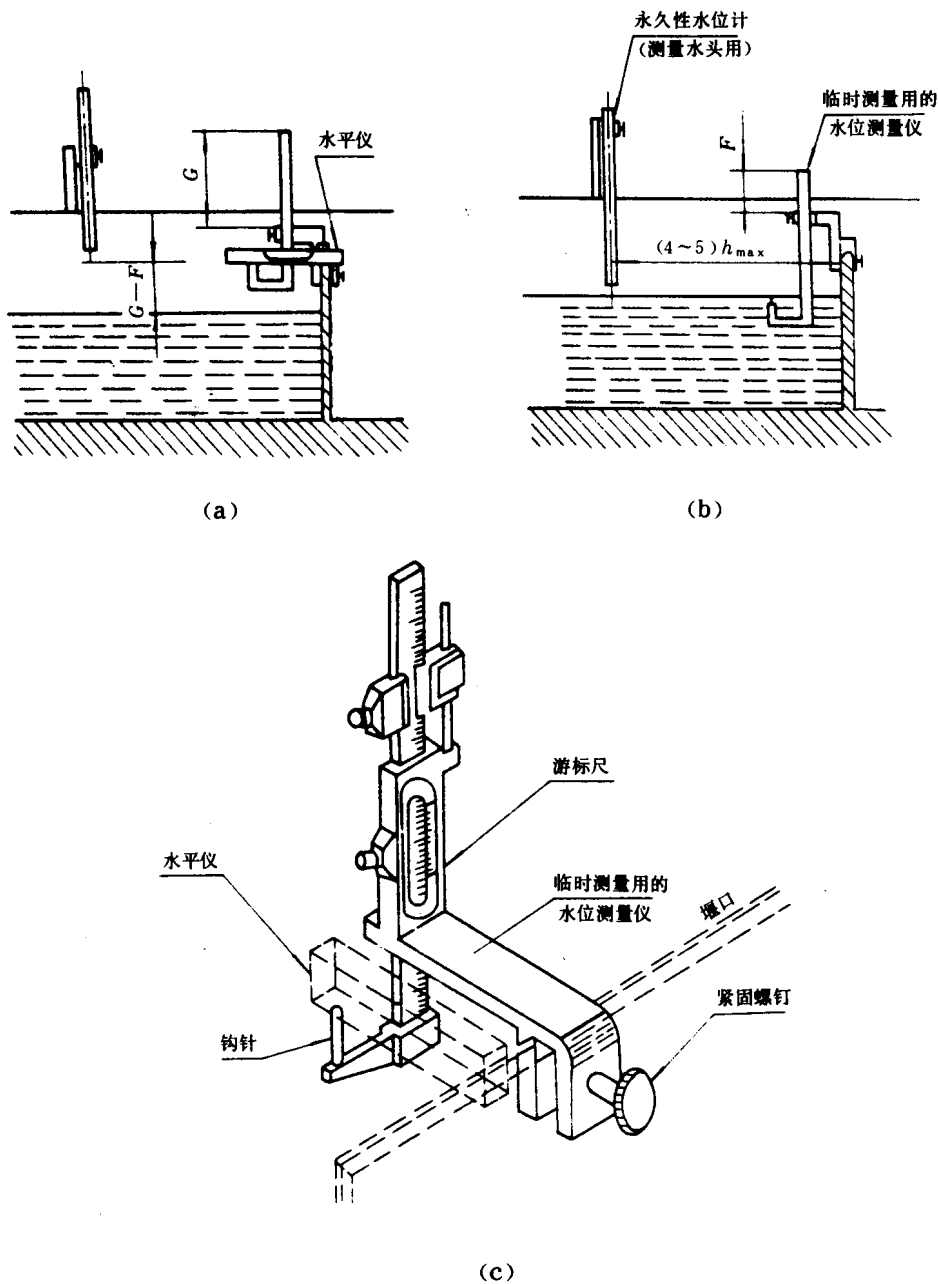


图 10 测量水头的水位计的零点确定示意图

5.3.4.2 直角三角堰的确定方法:

a. 在堰口上放置和堰槽长轴平行的特制的直径 D 的圆棒, 如图11所示, 并用水平仪找平;

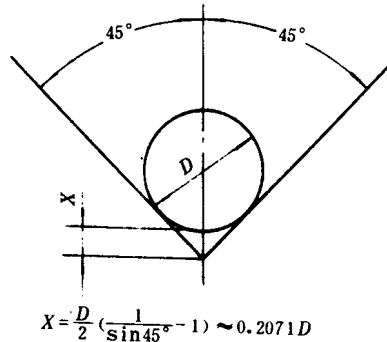


图 11

b. 将临时测量用的特制的带钩针的水位测量仪放置在圆棒上面, 钩针针尖和圆棒轴线切面的底线相接触, 然后按照矩形堰、全宽堰测量方法中的 b 、 c 、 d 进行。把永久性的水位计的读数值减去“ $G - F$ ”的数值, 再减去 $0.2071D$ 值, 得到的数值即是永久性水位计的零点值。

5.4 水堰测量流量的计算公式

5.4.1 直角三角堰如图12所示。

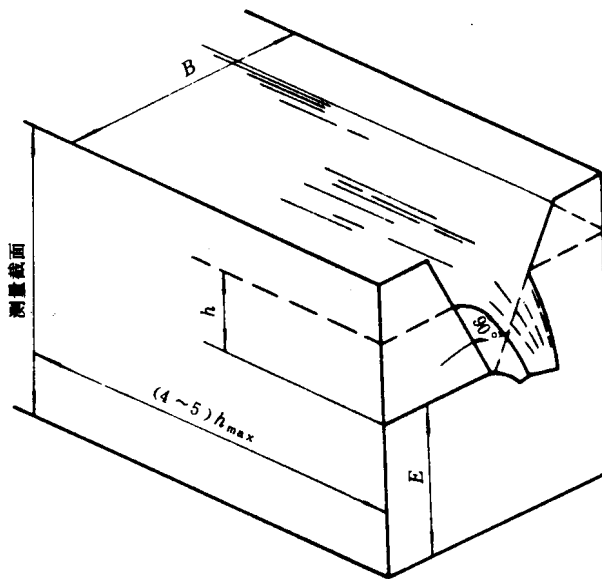


图 12 直角三角堰

流量的计算公式为:

$$Q = \alpha \cdot \frac{8}{15} \sqrt{2gh_e}^{5/2} \dots\dots\dots (9)$$

式中: α ——流量系数, 可查表7, 其不确定度 $\frac{\delta_\alpha}{\alpha} = \pm 1.0\%$;

h_e ——有效堰水头, m;

$$h_e = h + K_h \dots\dots\dots (10)$$

式中: h ——测量堰水头, m;

K_h ——补偿粘度和表面张力影响的修正值，对直角三角堰 $K_h = 0.00085m$ 。

表 7 流量系数 α

α h/E	E/B	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1		0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578
0.2		0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578
0.3		0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.579	0.579	0.580	0.582
0.4		0.578	0.578	0.578	0.578	0.578	0.580	0.582	0.584	0.586	0.590
0.5		0.578	0.578	0.578	0.579	0.579	0.584	0.587	0.592	0.600	0.606
0.6		0.578	0.578	0.579	0.581	0.584	0.589	0.595	0.605		
0.7		0.577	0.578	0.580	0.584	0.589	0.596	0.607			
0.8		0.577	0.578	0.582	0.588	0.595	0.605				
0.9		0.576	0.579	0.584	0.593	0.602					
1.0		0.576	0.580	0.587	0.598	0.610					
1.1		0.576	0.581	0.590	0.604						
1.2		0.576	0.583	0.594	0.611						
1.3		0.576	0.585	0.597							
1.4		0.576	0.587	0.601							
1.5		0.577	0.589	0.604							
1.6		0.577	0.592	0.609							
1.7		0.578	0.595								
1.8		0.578	0.598								
1.9		0.579									
2.0		0.580									

注：① 可用内插法计算表中的中间数值。

② E ——堰口高度，即堰口底点至堰槽底面的高度，m。

适用范围:

- a. $h/E \leq 0.4$;
- b. $h/B \leq 0.2$;
- c. $h = 0.05 \sim 0.38 \text{ m}$;
- d. $E \geq 0.45 \text{ m}$;
- e. $B \geq 1.0 \text{ m}$ 。

5.4.2 矩形堰和全宽堰 ($b/B = 1$) 如图13所示。

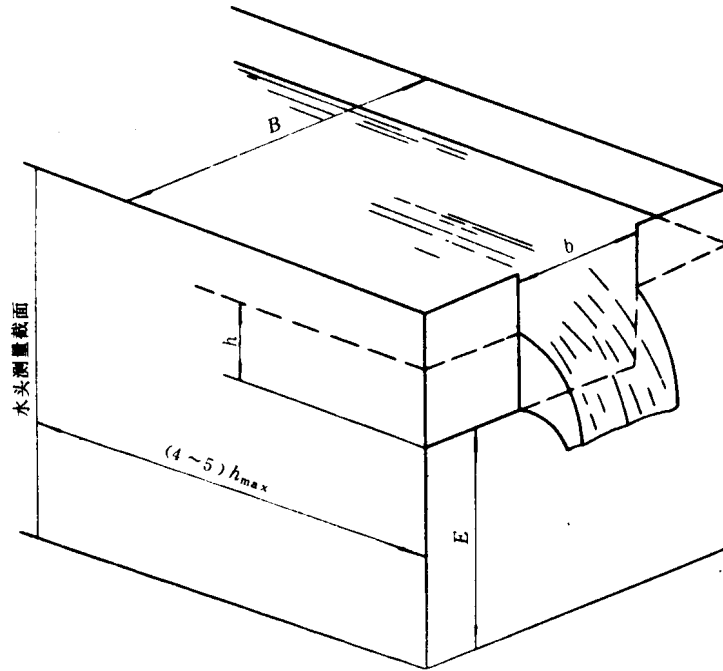


图 13 矩形堰、全宽堰 ($b/B = 1$)

流量的计算公式为:

$$Q = \alpha \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot b_e \cdot h_e^{3/2} \dots\dots\dots (11)$$

式中: α ——流量系数, 用下列公式计算:

- $b/B = 1$ (全宽堰), $\alpha = 0.602 + 0.075 h/E$;
- $b/B = 0.9$ (矩形堰), $\alpha = 0.598 + 0.064 h/E$;
- $b/B = 0.8$ (矩形堰), $\alpha = 0.596 + 0.045 h/E$;
- $b/B = 0.7$ (矩形堰), $\alpha = 0.594 + 0.030 h/E$;
- $b/B = 0.6$ (矩形堰), $\alpha = 0.593 + 0.018 h/E$;
- $b/B = 0.5$ (矩形堰), $\alpha = 0.592 + 0.010 h/E$;
- $b/B = 0.4$ (矩形堰), $\alpha = 0.591 + 0.0058 h/E$;
- $b/B = 0.2$ (矩形堰), $\alpha = 0.589 - 0.0018 h/E$ 。

$$\alpha \text{ 的不确定度 } \frac{\delta \alpha}{\alpha} = \pm 1.5\%$$

h_e ——有效堰水头, m;

$$h_e = h + K_h \dots\dots\dots (12)$$

式中: h ——测量堰水头, m;

K_h ——补偿粘度和表面张力的影响的修正值, 对矩形堰、全宽堰 $K_h = 0.001$ m;

b_e ——堰口有效宽度, m;

$$b_e = b + K_b \dots\dots\dots (13)$$

式中: b ——测量堰口宽度, m;

K_b ——补偿粘度和表面张力的影响的修正值, 从表 8 中查得。

表 8 堰口宽度修正值

mm

b/B	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
K_b	2.4		2.5	2.7	3.2	3.6	4.1	4.2	3.2	-0.9

注: 用内插法计算表中的中间数值。

适用范围:

a. $h/E \leq 2.5$;

b. $h \geq 0.03$ m;

c. $b \geq 0.15$ m (矩形堰);

d. $E \geq 0.10$ m;

e. $\frac{B-b}{2} \geq 0.10$ m (矩形堰)。

5.5 水堰流量测量不确定度的估算

5.5.1 直角三角堰:

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_\alpha}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{\text{tg}\frac{\varphi}{2}}}{\text{tg}\frac{\varphi}{2}} \right)^2 + 2.5^2 \left(\frac{\delta_{h_e}}{h} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (14)$$

式中: δ_α ——流量系数的不确定度, $\frac{\delta_\alpha}{\alpha} = \pm 1.0\%$;

$\delta_{\text{tg}\frac{\varphi}{2}}$ ——堰口开口角引起的不确定度;

$$\frac{\delta_{\text{tg}\frac{\varphi}{2}}}{\text{tg}\frac{\varphi}{2}} = \pm 100 \left[\left(\frac{\delta_{h_t}}{h_t} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{b_t}}{b_t} \right)^2 \right]^{1/2} \% \dots\dots\dots (15)$$

式中: h_t ——三角堰底点到上口的高度;

b_t ——三角堰上口的宽度;

δ_{h_t} ——三角堰底点至上口的高度测量不确定度;

δ_{b_t} ——三角堰上口宽度测量的不确定度;

δ_{h_e} ——堰水头测量的不确定度;

$$\delta_{h_e} = \pm \left[\delta_h^2 + \delta_{h_u}^2 + \delta_{K_h}^2 + (2s\bar{h})^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (16)$$

$$\frac{\delta_{h_e}}{h} = \pm \frac{100 \left[\delta_h^2 + \delta_{h_u}^2 + \delta_{K_h}^2 + (2s\bar{h})^2 \right]^{1/2}}{h} \% \dots\dots\dots (17)$$

式中: δ_h ——堰水头实测不确定度;

δ_{h_u} ——零点实测不确定度;

δ_{K_h} ——补偿粘度和表面张力影响的水头测量修正值的不确定度；

$s_{\bar{h}}$ ——堰水头 n 次测量的标准偏差。

一般情况下，直角三角堰的流量测量不确定度 $\frac{\delta_Q}{Q} = \pm (1 \sim 2)\%$ 左右。

5.5.2 矩形堰、全宽堰：

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_a}{a} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{b_c}}{b} \right)^2 + 1.5^2 \left(\frac{\delta_{h_c}}{h} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (18)$$

式中： δ_a ——流量系数的不确定度， $\frac{\delta_a}{a} = 1.5\%$ ；

δ_{b_c} ——堰口宽度测量不确定度；

$$\delta_{b_c} = \pm \left[\delta_b^2 + \delta_{K_b}^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{\delta_{b_c}}{b} = \pm \frac{100 \left[\delta_b^2 + \delta_{K_b}^2 \right]^{1/2}}{b} \% \dots\dots\dots (20)$$

式中： δ_b ——堰口宽度实测不确定度；

δ_{K_b} ——补偿粘度和表面张力影响的堰口宽度测量修正值的不确定度；

δ_{h_c} ——堰水头测量的不确定度；

$$\delta_{h_c} = \pm \left[\delta_h^2 + \delta_{h_u}^2 + \delta_{K_h}^2 + (2s_{\bar{h}})^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{\delta_{h_c}}{h} = \pm \frac{100 \left[\delta_h^2 + \delta_{h_u}^2 + \delta_{K_h}^2 + (2s_{\bar{h}})^2 \right]^{1/2}}{h} \% \dots\dots\dots (22)$$

一般情况下，矩形堰和全宽堰流量测量不确定度 $\frac{\delta_Q}{Q} = \pm (1 \sim 4)\%$ 左右。

6 容器

用容器可以测定一段时间内的平均流量。方法是：在一定时间内，由一个容器（量筒）收集排出液体，然后用称重法或容积法计量液体容量被时间除。

6.1 仪器及装置

6.1.1 称重法：用容器、秤（或天平）、切换器、计时器等测量。容器应有足够大的容积，测定时液体不应溢出容器外面。秤的最大容量不得超过被测液体质量的5倍，秤的测量不确定度应在 $\pm 0.03\%$ 之内。

6.1.2 容积法：用量筒、切换器、计时器等测量。量筒应有足够大容积，在测定时液体不应溢出量筒外面。确定量筒高度时，应使量筒内有500 mm以上的水位，横截面应上下一致，充满液体以后，不应发生变形。量筒的测量不确定度应在 $\pm 0.3\%$ 之内。

如果使注入液体交替进入和排出量筒，量筒应能接通和脱开，借此来控制注入液体；如果量筒是连接在管道中间的，则借关闭和打开量筒的出口来控制流出液体。

6.2 测定方法

6.2.1 向容器（或量筒）内注入液体的动作和注完撤离的动作应尽量快，两次切换时间之差不得超过0.02s。

6.2.2 向容器（或量筒）内注入液体的时间应在30s以上，计时可采用时间计量仪器（如秒表、数字频率计等）。5~10次测量的标准偏差 $s_T = 0.35\%$ 。

6.2.3 测定时应记下液体的温度。

6.2.4 注入容器（或量筒）的液体含有气泡时，待消失后再进行测定。测定气泡不易消失的液体最好用称重法。

6.3 流量的计算公式

6.3.1 用称重法测定时：

$$Q = \frac{m}{\rho t} \dots\dots\dots (23)$$

式中：m——在t秒内注入容器内的液体质量，kg；

t——注入液体所需的时间，s。

6.3.2 用容积法测定时：

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (24)$$

式中：V——在t秒内注入量筒内的液体的体积，m³。

6.4 流量测量的不确定度的估算

6.4.1 称重法

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\delta_\rho}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\delta_t}{t} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (25)$$

式中：δ_m——质量测量的不确定度；

δ_ρ——密度测量的不确定度；

δ_t——时间测量的不确定度；

$$\delta_t = \pm \left[\delta_{t_c}^2 + \delta_{t_p}^2 + (2s_{\bar{t}})^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (26)$$

$$\frac{\delta_t}{t} = \pm \frac{100(\delta_{t_c}^2 + \delta_{t_p}^2 + (2s_{\bar{t}})^2)^{1/2}}{t} \% \dots\dots\dots (27)$$

式中：δ_{t_c}——切换时间的不确定度；

δ_{t_p}——计时器的不确定度；

s _{\bar{t}} ——计时的n次测量的标准偏差。

6.4.2 容积法

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\delta_t}{t} \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (28)$$

式中：δ_V——容积测量的不确定度。

7 涡轮流量计

涡轮流量计由涡轮流量传感器（以下简称传感器）与前置放大器显示仪表组成，用来测量液体在一定时间内的平均流量。

7.1 管道的安装

管道的安装见附录A（补充件）。

7.2 显示仪表的连接

7.2.1 传感器按附录A的要求安装在被测介质的流通管道上。根据具体使用要求所选用的显示仪表可装在传感器附近，亦可装在仪表控制室内。

7.2.2 传感器与显示仪表之间的连接传输电缆应采用屏蔽线，并有外覆盖塑料或耐油橡胶绝缘层。

7.2.3 传输电缆的屏蔽要仅在一点接地，推荐在显示仪表端屏蔽接地。

7.2.4 传输电缆线要尽可能采用一条完整（连续）的屏蔽电缆线。

7.2.5 尽可能将传输线装在金属导管内,但同一导管内不得有大功率传输的电缆(如:一根传输电缆输送的最大功率大于传感器信号电缆输送的最小功率的10倍时,不能安装在同一管内)。

7.2.6 外界磁场的变化会在传感器的检测器里感应出干扰信号,为避免干扰信号的产生可采用下列措施:

- a. 使检出装置的轴线与外界磁场的磁通方向相垂直;
- b. 用高导磁材料对传感器外界磁源进行屏蔽,使外界的干扰减少到最小。

7.3 测量流量的计算公式

$$Q = \frac{f}{\xi_0} \dots\dots\dots (29)$$

式中: Q ——体积流量, L/s;
 ξ_0 ——平均仪表常数, 次/L;
 f ——显示仪表的显示频率, 次/s。

7.4 流量不确定度的计算

$$\delta_Q = \pm (\delta_K^2 + \delta_0^2)^{1/2} \dots\dots\dots (30)$$

式中: δ_K ——涡轮流量计的不确定度;
 δ_0 ——标定装置的不确定度。

7.5 涡轮流量计的标定

涡轮流量计的标定应按JJG 198的规定。

8 其他流量仪表

凡符合GB 3216标准中对流量不确定度要求的其他类型的流量仪表都可使用,但需定期标定(一般一年标定一次),例如电磁流量计、超声波流量计等。

附录 A
涡轮流量传感器的安装
(补充件)

A1 现场条件

传感器安装的位置尽量避开温度高、机械振动大、磁场干扰强、腐蚀性能强的环境，选择易于维修的位置安装。

A2 管道的安装

A2.1 传感器应水平安装。

A2.2 传感器壳体上的流向标志方向与流体流动方向相一致。

A2.3 传感器的上游侧一般不少于 $20D$ 长度的直管段或按公式A1计算，下游侧应有不小于 $5D$ 长度的直管段。

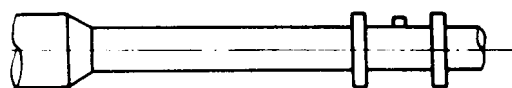
$$L = 0.35 \frac{K_s}{\lambda} D \dots\dots\dots (A1)$$

式中： L ——直管段长度，mm；

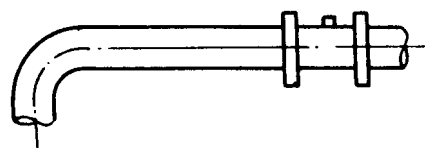
D ——传感器的内径，mm；

K_s ——旋涡速度比，由传感器上游侧管路情况决定，见图A1；

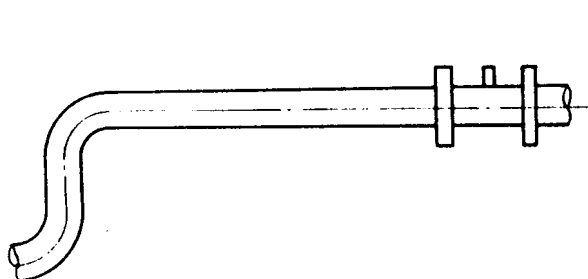
λ ——管道内摩擦系数，处于紊流状态 $\lambda = 0.0175$ 。



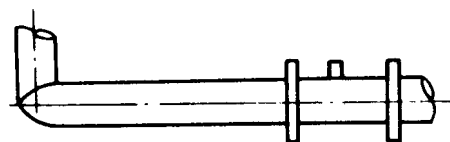
(a) 传感器前有同心渐缩管
 $K_s = 0.75$



(b) 传感器前有一个直角弯头
 $K_s = 1.0$

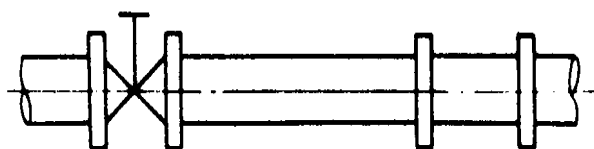


(c) 传感器前在同一平面内有两个直角弯头
 $K_s = 1.25$



(d) 传感器前在不同平面内有直角弯头
 $K_s = 1.0$

图 A1



(e) 传感器前有阀门

全开 $K_s=1$ ；半开 $K_s=2.5$

续图 A1

A2.4 传感器上下游直管段的内径与传感器的内径相差应在传感器内径的 $\pm 3\%$ 之内或不得超过5mm（两者取小者）。在传感器上游 $10D$ 长度内、下游 $2D$ 长度内管道内壁应清洁，无明显凹痕、积垢和起皮现象。

A2.5 传感器的上游应装有能除去流体中各种杂质的过滤器，过滤网的目数为20~60目。

A2.6 传感器的各类附件安装时，其中心线都应对准管道中心线，连接处的密封垫不得突入流体内。

A2.7 用传感器测量流量的整个管路的安排应能防止气体进入传感器，如在传感器上游直管段前安装消气器。

A2.8 测量易气化流体时，在传感器的下游应有必要的背压以防止出现两相状态。背压最小值推荐为最大流量时传感器压力损失的2倍，并加上最高工作温度下饱和蒸汽压力的1.25倍。

A2.9 传感器应采取不致引起过分变形和振动的方式安装，以尽量减少管道的膨胀和压缩对传感器的影响。

A2.10 在新的管道上安装传感器时，为避免管路中的杂质进入传感器，应对管道进行清洗，而后再安装传感器。

A2.11 需要测量流体的温度时，应在传感器下游 $5D$ 的长度外测量。

附录 B
设计水堰的参考尺寸
(参考件)

B1 设计水堰的参考尺寸见图B1和表B1。

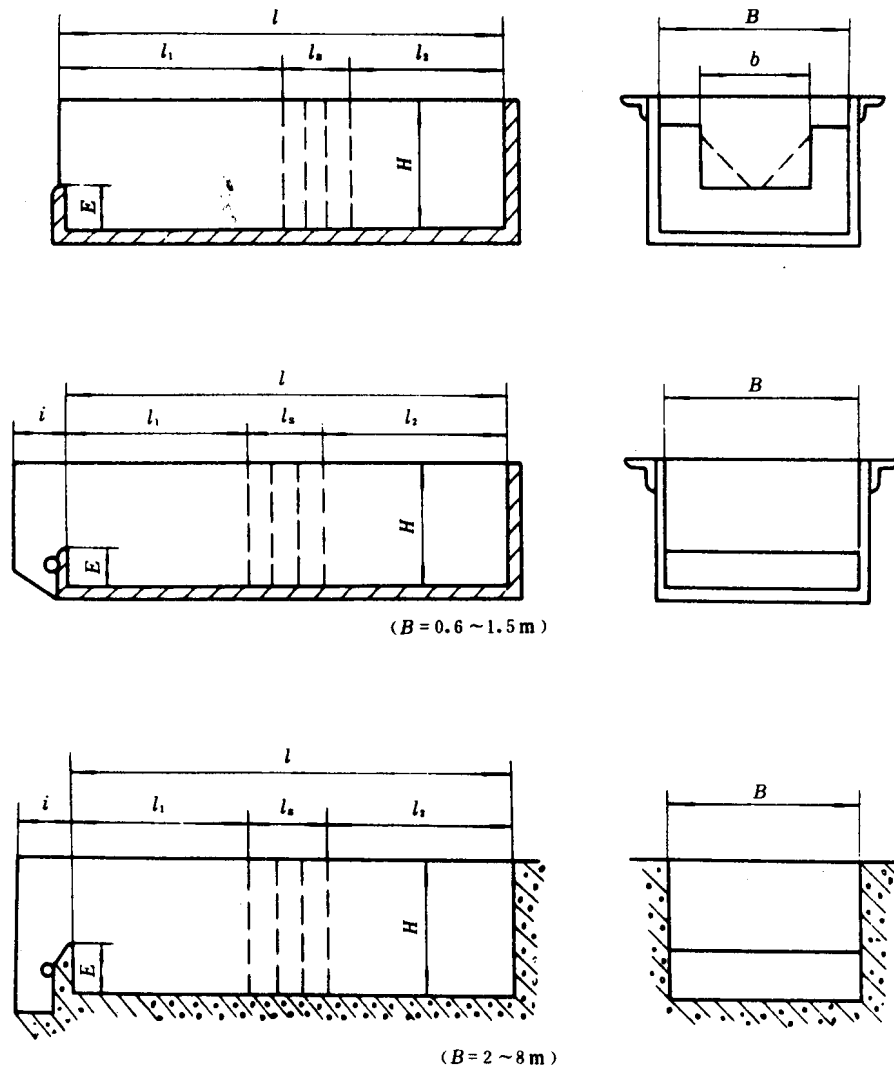


图 B1 水堰的主要尺寸

表 B1 设计水堰的参考尺寸

m

堰的形式	$B \times b$	h_{\max}	l_1	l_s	l_2	i	l	E	H
直角三角堰	1.00	0.36	> 7.20	0.72	> 1.38	—	5.96	0.45	1.02
矩形堰	0.9 × 0.36	0.27	> 3.60	0.54	> 1.44	—	5.58	0.20	0.60
	1.2 × 0.48	0.312	> 4.80	0.63	> 1.83	—	7.29	0.25	0.75
全宽堰	0.6	0.15	> 6.00	0.30	> 1.05	0.15	7.35	0.30	0.60
	0.9	0.225	> 9.00	0.45	> 1.60	0.23	> 11.05		0.75
	1.2	0.30	> 12.00	0.60	> 2.10	0.30	14.70		0.90
	1.5	0.375	> 15.00	0.75	> 2.65	0.38	18.40	0.40	1.05
	2.0	0.50	> 20.00	1.00	> 3.50	0.50	24.50	0.50	1.50
	3.0	0.75	> 30.00	1.50	> 5.25	0.75	36.75	0.75	2.00
	5.0	0.80	> 50.00	1.60	> 7.40	0.80	59.00	1.00	2.50
	8.0		> 80.00		> 10.40		> 92.00	1.50	3.00

附录 C
流量测量不确定度的估算实例
(参考件)

C1 标准孔板、标准喷嘴和标准文丘里喷嘴

例：用于水泵试验的标准喷嘴的体积流量的不确定度估算
计算公式：

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_\alpha}{\alpha} \right)^2 + 4 \left(\frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\delta_D}{D} \right)^2 + 4 \left(1 + \frac{\beta^4}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\delta_d}{d} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta_{\rho_1}}{\rho_1} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta_{\Delta p}}{\Delta p} \right)^2 \right]^{1/2}$$

已知： $\beta = 0.6$, $Re = 1 \times 10^5$

查得： $\alpha = 1.0290$

按标准规定： $\frac{\delta_D}{D} = \pm 0.3\%$, $\frac{\delta_d}{d} = \pm 0.05\%$, $\frac{\delta_\alpha}{\alpha} = \pm 0.8\%$

若用液柱差压计测量压差：则 $\frac{\delta_{\Delta p}}{\Delta p} = \pm 1.0\%$

假定密度测量的不确定 $\frac{\delta_{\rho_1}}{\rho_1} = \pm 0.5\%$,

$$\begin{aligned} \text{则 } \frac{\delta_Q}{Q} &= \pm \left[0.8^2 + 4 \left(\frac{0.6^4}{1.029} \right)^2 \cdot (0.3)^2 + 4 \left(1 + \frac{0.6^4}{1.029} \right)^2 \cdot (0.05)^2 + \frac{1}{4} 0.5^2 + \frac{1}{4} \cdot 1^2 \right]^{1/2} \% \\ &= \pm [0.64 + 0.0057 + 0.0127 + 0.0625 + 0.25]^{1/2} \% \\ &= 0.99\% \end{aligned}$$

C2 水堰

例 1：用直角三角堰测量流量的不确定度的估算
计算公式：

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_\alpha}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{\lg \frac{\varphi}{2}}}{\lg \frac{\varphi}{2}} \right)^2 + 2.5^2 \left(\frac{\delta_{h_c}}{h} \right)^2 \right]^{1/2}$$

若已知：

$$E = 0.30 \text{ m}, \quad h = 0.121 \text{ m},$$

$$\delta_h = \pm 0.10 \text{ mm}, \quad \delta_{h_0} = \pm 0.10 \text{ mm},$$

$$b_t = 0.44 \text{ m}, \quad \delta_{b_t} = \pm 0.50 \text{ mm},$$

$$h_t = 0.22 \text{ m}, \quad \delta_{h_t} = \pm 1.0 \text{ mm},$$

$$\delta_{K_h} = \pm 0.30 \text{ mm}, \quad \frac{\delta_\alpha}{\alpha} = \pm 1.0\%,$$

水头 15 次测量时标准偏差 $s_{\bar{h}} = 0.03 \text{ mm}$,

$$\text{则 } \frac{\delta_{\lg \frac{\varphi}{2}}}{\lg \frac{\varphi}{2}} = \pm 100 \left[\left(\frac{1.0}{220} \right)^2 + \left(\frac{0.5}{440} \right)^2 \right]^{1/2} \% = \pm 0.47\%$$

$$\frac{\delta_{h_c}}{h} = \pm \frac{100[0.10^2 + 0.10^2 + 0.30^2 + (2 \times 0.03)^2]^{1/2}}{121} \%$$

$$= \pm 0.28\%$$

$$\text{故 } \frac{\delta_Q}{Q} = \pm [1.0^2 + 0.47^2 + 6.25 \times 0.28^2]^{1/2} \% = \pm 1.31\%。$$

例2：用矩形堰或全宽堰测量流量的不确定度的估算
计算公式：

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_\alpha}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{b_c}}{b} \right)^2 + 1.5^2 \left(\frac{\delta_{h_c}}{h} \right)^2 \right]^{1/2}$$

若已知：

$$b = 0.30 \text{ m}, E = 0.20 \text{ m},$$

$$h = 0.08 \text{ m}, \delta_{K_h} = \pm 0.30 \text{ mm},$$

$$\delta_{K_b} = \pm 0.30 \text{ mm}, \delta_h = \pm 0.20 \text{ mm},$$

$$\delta_{h_0} = \pm 0.30 \text{ mm}, \delta_b = \pm 0.50 \text{ mm},$$

$$\text{水头10次测量时标准偏差 } s_T = 0.05 \text{ mm}, \frac{\delta_\alpha}{\alpha} = \pm 1.5\%,$$

$$\text{则 } \frac{\delta_{b_c}}{b} = \pm \frac{100(0.50^2 + 0.30^2)^{1/2}}{300} \% = \pm 0.19\%,$$

$$\frac{\delta_{h_c}}{h} = \pm \frac{100[0.20^2 + 0.30^2 + 0.30^2 + (2 \times 0.05)^2]^{1/2}}{80} \% = \pm 0.6\%,$$

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm (1.50^2 + 0.19^2 + 2.25 \times 0.6^2)^{1/2} \% = \pm 1.76\%。$$

C3 容器

例：以容积法测量流量的不确定度的估算
计算公式：

$$\frac{\delta_Q}{Q} = \pm \left[\left(\frac{\delta_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\delta_t}{t} \right)^2 \right]^{1/2}$$

若已知：

$$\frac{\delta_V}{V} = \pm 0.3\%, \delta_{t_c} = \pm 0.5 \text{ s}, \delta_{t_p} = \pm 0.1 \text{ s},$$

五次测量的时间分别为 X_i : 75.2、75、74.8、74.7、75.3s

$$\bar{X}_i = \left[\sum_{i=1}^n X_i \right] / n = \frac{75.2 + 75 + 74.8 + 74.7 + 75.3}{5} = 75,$$

$$\text{标准偏差 } s_{\bar{x}} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - X_i)^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

$$= \left(\frac{0.2^2 + 0.2^2 + 0.3^2 + 0.3^2}{4} \right)^{1/2} = 0.26,$$

$$\frac{\delta_t}{t} = \pm \frac{100[0.5^2 + 0.1^2 + (2 \times 0.26)^2]^{1/2}}{75} \% = \pm 0.97\%,$$

$$\text{故 } \frac{\delta_Q}{Q} = (0.3^2 + 0.97^2)^{1/2} \% = 1.02\%。$$

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由沈阳水泵研究所归口。

本标准由沈阳水泵研究所负责起草。

本标准主要起草人张淑芹。