SL

中华人民共和国水利行业标准

P　　SL 24—91

# 堰槽测流规范

# Flow Measurement by weirs and Flumes

1991—12—31 发布　　1992—03—01 实施

中华人民共和国水利部　发布

中华人民共和国水利行业标准

# 堰槽测流规范

# SL 24—91

主编单位：水利部水文司
批准部门：水利部
实施日期：1992 年 3 月 1 日

中华人民共和国水利部

## 关于发布《堰槽测流规范》SL 24—91 的通知

水文［1991］9 号

各省、自治区、直辖市水利（水电）厅（局），各流域机构，部属勘测设计院：

根据原水利电力部 1986 年标准制修订计划，由安徽省水文总站主编的《堰槽测流规范》，经审定，批准为水利行业标准并予以发布。该规范的名称与编号为《堰槽测流规范》SL 24—91，自 1993 年 3 月 1 日起实施。

该规范由水利部水文司负责解释，请各单位在实施中注意总结经验，发现问题及时函告主编单位并报告水文司。

本《规范》由水利电力出版社出版发行。

1991 年 12 月 31 日

# 目录

第一章 总则……(4)
第二章 堰槽设置与水头测量……(4)
第一节 堰槽设计……(4)
第二节 安装养护……(5)
第三节 水头测量……(5)
第三章 薄壁堰……(6)
第一节 一般规定……(6)
第二节 三角形（V形）薄壁堰……(6)
第三节 矩形薄壁堰……(9)
第四节 梯形薄壁堰……(10)
第四章 宽顶堰……(11)
第一节 一般规定……(11)
第二节 圆缘矩形宽顶堰……(11)
第三节 锐缘矩形宽顶堰……(13)
第四节 V形宽顶堰……(15)
第五章 三角形剖面堰和平坦V形堰……(17)
第一节 三角形剖面堰……(17)
第二节 平坦V形堰……(22)
第六章 长喉道槽……(27)
第一节 一般规定……(27)
第二节 矩形长喉道槽……(27)
第三节 梯形长喉道槽……(30)
第七章 短喉道槽……(33)
第一节 巴歇尔槽……(33)
第二节 孙奈利槽……(37)
第八章 末端深度法……(38)
第一节 一般规定……(38)
第二节 末端水深测量……(38)
第三节 流量计算……(38)
第九章 单次流量不确定度的估算……(41)
第一节 不确定度的估算方法……(41)
第二节 各项误差分量的不确定度估算……(42)
第三节 单次流量总不确定度的估算……(43)
附录一 计量单位和符号……(45)
附录二 各类堰槽的基本性能和适用条件……(46)
附加说明……(48)

# 第一章 总 则

**第 1.0.1 条** 为了在中小河流或人工河渠上用堰槽施测流量，特制定本规范。

**第 1.0.2 条** 本规范规定的各类堰槽适用于基本水文站、实验站和灌排渠道的流量测验。

**第 1.0.3 条** 本规范对各类堰槽的结构和安装做了明确规定。严格按规定建造的堰槽，可按给定的公式计算流量，其流量系数一般不需要进行检定。当发现在结构和安装方面与规范规定有偏离，应在现场用体积法或流速仪法等精确测定流量，并与按公式计算的流量进行校验。

**第 1.0.4 条** 按本规范规定安装的堰槽，应进行竣工测量，经验收合格后，方可使用。

**第 1.0.5 条** 本规范除采用国家标准 GBJ95—86 中给出的有关名词和符号外，还采用附录一中的名词和符号。

# 第二章 堰槽设置与水头测量

## 第一节 堰槽设计

**第 2.1.1 条** 堰槽设计前，应对河段的自然特征和水文、水力条件进行详细了解和实地勘测，以便进行建堰的可行性研究和堰槽型式的选择。勘测完毕必须编写勘测报告。

**第 2.1.2 条** 所选择的堰(槽)型要能满足兴建堰槽的主要目的，其技术性能要符合河段的水文水力特性。当河段条件不能全部满足测流要求时，可进行人工改造。各类堰槽的基本性能和适用条件见附录二。

**第 2.1.3 条** 应尽可能选用单一堰型来满足整个测流变幅的设计要求。当堰槽应用条件受到限制时，可采用复合堰，组合堰或并列堰的形式进行低水衔接。

**第 2.1.4 条** 行近河槽应有足够长度的顺直段，保证产生正常的流速分布，水流必须呈缓流状态，弗汝德数（$Fr$）不应大于 0.5。要求满足下列规定：

一、行近河槽水头观测断面以上的顺直长度不应小于最大水面宽的 5 倍。当上游入口以上是弯道或有支流汇入时，河槽的顺直段还应适当延长。当用导流板或导流墙时，其导流板(墙)与堰顶的距离不应小于设计最大水头的 10 倍。

二、当行近河槽上游坡度较陡有可能发生水跃时，水跃至堰顶的距离不应小于设计最大水头的 30 倍。

三、行近河槽上游进口收缩段，应对称于河槽中心线建成弧形翼墙，翼墙的曲率半径不宜小于 $2H_{max}$。翼墙下游的切点与水头测量断面的距离不宜小于 $H_{max}$。

四、在有悬移质输移的河流上建堰，要采取有效的防沙和清淤措施。在有漂浮物的河流上建堰，应在行近河槽以上建造拦污栅。

**第 2.1.5 条** 堰槽下游的扩散段，除另有具体要求者外，可采用扩散比不小于 1∶3～1∶4(垂直于流向与平行于流向的长度比)的渐变扩散形式。在保证自由出流的条件下，下游扩散段也可在允许范围内截短。

**第 2.1.6 条** 在有充分水头可利用的河槽上建堰，宜设计成在整个测流变幅内都处于自由流状态下运用的水力条件。在可利用水头有限的情况下，可允许在低水头运用时呈淹没状态。这时必须根据下游河槽的水位流量关系和所要求的测流幅度来确定适合的堰顶高和非淹没限。

## 第二节 安装养护

**第 2.2.1 条** 堰槽中心线应与河渠轴线完全重合，两边呈对称布置。垂直流向的堰板应竖直，迎水壁面应光滑平整。各部分装置应准确牢固，且不致因水流和温度的变化而腐蚀变形。

**第 2.2.2 条** 应做好基础处理，保证安装质量，不致因各种原因发生倾覆、滑动、断裂、沉陷和漏水的情况。为防止可能发生的下游冲刷，可建造消能池。消能池以下的河床和岸边，宜用块石护砌。

**第 2.2.3 条** 堰顶或喉道应经常保持良好的表面光洁度，其距堰顶或喉道上下游各 1/2 $H_{max}$ 距离以内应平整光滑。现场浇筑的堰槽，其堰顶或喉道应采用优质水泥抹面，或用优质不腐蚀材料整饰表面。

薄壁堰的堰口宜用工厂加工的整体金属构件，或用不锈钢、低炭钢或铸铁加工的堰板，嵌于混凝土中。薄壁堰的堰顶表面光洁度应相当于滚轧金属板或刨平、砂磨并涂漆的木板的光洁度。

**第 2.2.4 条** 堰槽安装后要进行竣工测量，经验收合格后方可使用。各部位尺寸的允许偏差应符合下列规定：

一、堰顶或喉道宽的允许偏差为该宽度的 0.2%，且最大绝对值不大于 0.01m。

二、堰顶或喉道的水平表面允许倾斜偏差为堰顶或喉道水平长度的 0.1%的坡度。

三、堰顶或喉道长度的允许偏差为该长度的 1%。

四、控制断面为三角形或梯形的横向坡度允许偏差为该坡度的 0.1%～0.2%。

五、堰的上下游纵向坡度的允许偏差为该纵向坡度的 1%。

六、堰高的允许偏差为设计堰高的 1%，且最大绝对值不应大于 0.02m。

**第 2.2.5 条** 堰槽在使用期间应注意养护，防止损坏，要有有效的防淤、防腐、防冻和防裂措施。要经常检查校测防止变形，保持各部位尺寸的准确和表面良好的光洁度。当发生槽底淤积或堰顶上粘贴有漂浮物时，应及时清洗。

**第 2.2.6 条** 有关堰槽的勘测报告、设计任务书、工程质量检查验收报告，水头测量的仪器设备，水准测量成果以及管理操作规程等应妥善保存，建立档案以备查考。

## 第三节 水头测量

**第 2.3.1 条** 水头测量应在各类标准堰槽所规定的断面位置上进行。上下游水头观测，宜设置在堰槽的同一岸。

**第 2.3.2 条** 水头测量应尽可能采用自记设备，当水头变幅小于 0.5m 或要求记测至 1mm 的小型堰槽，也可采用针(钩)形水位计。只有在观测精度要求不高的特殊情况下，方可设立直立式或其它形式的水尺进行人工测记。

**第 2.3.3 条** 采用浮子式自记水位计时，除执行国家标准《水位观测》的有关规定外，应特别注意：

一、连通管的进水口应与行近河槽正交平接，管口下边缘与槽底齐平。连通管宜水平埋设，接头处要严防渗漏，管的内壁应光滑平整并做防护处理。

二、连通管的进水口，一般应设适合的多孔管帽，以减弱水流扰动和防止泥沙输入，但又要不致由此产生水流滞后现象。

三、静水井口缘应超出最大设计水头 0.3m，井底应低于进水管下边缘 0.3m。

四、井口大小应与观测仪器和清淤要求相适应。浮筒和平衡锤与井壁的距离不应小于 75mm，

二者也应保持适当的间隔。

**第 2.3.4 条** 应在堰槽附近的适当位置设立基本水准点，用来测定水头零点的高程。水准点高程可以假定，也可以从国家统一的水准基面接测。

**第 2.3.5 条** 水头零点高程必须精确测定，使不致产生水头计算上的系统误差。控制断面为三角形的顶点高程和水平堰顶或槽底高程要采用不同方法在不同部位上多次测量取其平均值确定。为避免表面张力和水面起伏度的影响，任何堰槽均不得用静止水面间接推求水头零点高程。

**第 2.3.6 条** 自记设备应随时检查是否运转正常。更换自记纸时，应同时与校核水尺进行比测，同时比测的水位差不得大于 10mm。因测井内外水体密度差引起的水位差超过 10mm 时也要进行滞后改正。上下游水头观测的自记钟应严格对准，不得产生计时差，以确切反映瞬时上下游水位差。

**第 2.3.7 条** 在检查自记记录或人工观测水头的同时，必须注意测记水流流态，有无横比降、回流、漩涡、河槽冲淤及泥沙和漂浮物等情况。

# 第三章 薄壁堰

## 第一节 一般规定

**第 3.1.1 条** 薄壁堰的堰板顶部厚度规定为 1～2mm，堰顶向下游的倾斜面与堰顶的夹角不小于 45°，见图 3.1.1。堰口宜用耐腐蚀的金属制作，或涂上一层如油、蜡或树脂之类的保护层，以保持平整光滑。小型薄壁堰可用整块钢板加工后在现场安装，大型薄壁堰须在现场安装混凝土基座，然后将加工好的堰板镶嵌在混凝土中。

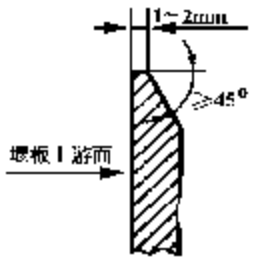


图3.1.1 堰口两侧详图

**第 3.1.2 条** 水流通过薄壁堰，应形成清晰的水舌从堰顶射出。对无侧收缩的矩形薄壁堰，可在堰顶下游两侧各开一通气孔，保证水舌通气良好。水流不宜挟带泥沙碎石和漂浮物。下游尾水位至少要低于堰顶 0.1m。设计水头超过 0.5～1.0m 时，需对下游河床进行砌护。

**第 3.1.3 条** 薄壁堰的水头测量断面设置在堰顶上游 3～5 倍最大水头处。当堰顶宽（$b$）与行近河槽宽（$B$）之比$\frac{b}{B}\geqslant 0.5$时，行近河槽的长度至少应为槽宽的 10 倍；当$\frac{b}{B}<0.5$时，可适当缩短。

## 第二节 三角形（V 形）薄壁堰

**第 3.2.1 条** 三角形薄壁堰的堰体如图 3.2.1 所示。堰口的垂直平分线与河槽两岸等距。堰口表面是平面，与堰板的上游面相交呈锐缘。堰板必须平整坚固，且垂直于岸墙底。堰口附近应加工到相当于辗平的金属板的光滑表面。

**第 3.2.2 条** 当行近河槽宽度（$B$）与最大溢流水舌的顶部宽（$b_{max}$）之比$\frac{B}{b_{max}}<3$，或者当最大水头（$h_{max}$）与堰顶高（$P$）之比$\frac{h_{max}}{P}>1$时，要求行近河槽必须光滑顺直且呈矩形。

**第 3.2.3 条** 本规范规定的三角形薄壁堰限于在$\frac{(B-b)}{2h}>2$或$\frac{b}{B}<0.3$时的完全侧收缩条件下使用。式中的 $h$ 为实测水头。

**第 3.2.4 条** 堰口角在$\frac{\pi}{9}\sim\frac{5\pi}{9}(20°\sim100°)$之间的流量公式为

$$Q=C_D\frac{8}{15}\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}\sqrt{2g}\,h_e^{5/2} \tag{3.2.4}$$

式中 $C_D$——流量系数；

$h_e$——有效水头，$h_e=h+K_h$，m；

$K_h$——考虑粘滞力和表面张力综合影响的校正值，m。

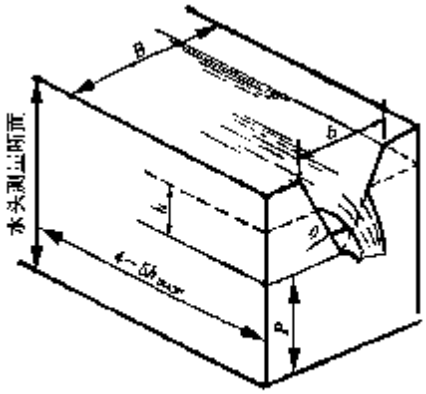



图3.2.1 三角形薄壁堰图

一、关于 $C_D$ 和 $K_h$ 的计算：

当 θ=90°时，可由图 3.2.4—1 查出 $C_D$ 值。当$\frac{h}{P}$和$\frac{P}{B}$值在图示范围内时，$K_h$ 为 0.00085m 的一个定值。

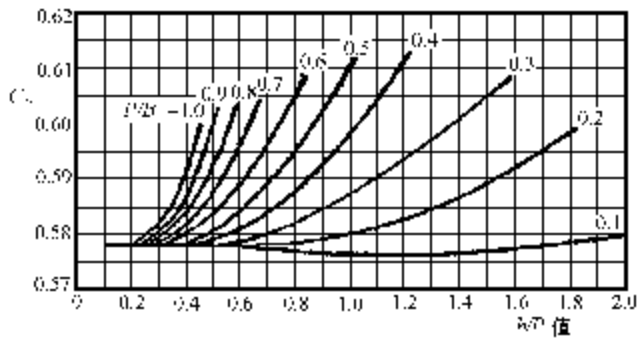



图3.2.4-1 流量系数$C_D$($\theta$=90°)图

当 $\theta\neq90°$ 时，$C_D$ 和 $K_h$ 值可根据 $\theta$ 直接从图 3.2.4—2 和图 3.2.4—3 查得。

二、公式的应用限制为：

1. 当 $\theta=90°$ 时，$\frac{h}{P}$和$\frac{P}{B}$限制在如图 3.2.4—1 表示的范围内应用。对于 $\theta$ 的其它值，$\frac{P}{B}$不大于 0.35，$\frac{h}{P}$在 0.10～1.5 之间。

2．$h$＞0.06m。

3．$P$＞0.09m。

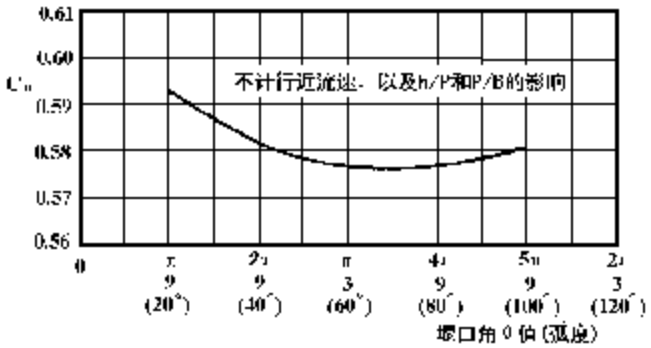



图3.2.4-2 流量系数$C_D$值与堰口角θ关系图

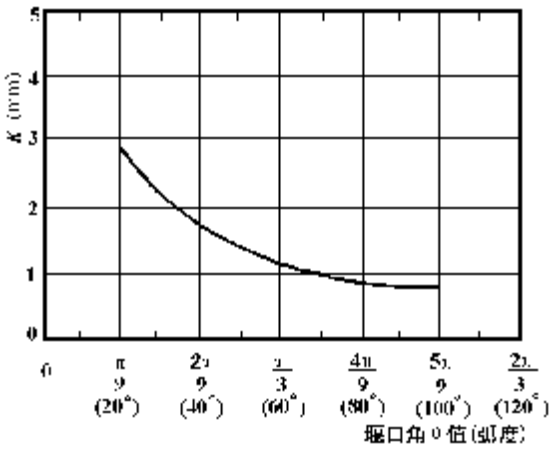



图3.2.4-3 K_θ值与堰口角θ关系图

表 3.2.5　3 种特殊堰口角的流量系数（$C_D$）表

| 水头 $h$(m) | （$C_D$） | | |
|---|---|---|---|
| | tg $\theta/2$=1 | tg $\theta/2$=0.5 | tg $\theta/2$=0.25 |
| 0.060 | 0.06032 | 0.6114 | 0.6417 |
| 0.065 | 0.6012 | 0.6098 | 0.6383 |
| 0.070 | 0.5994 | 0.6084 | 0.6352 |
| 0.075 | 0.5978 | 0.6071 | 0.6324 |
| 0.080 | 0.5964 | 0.6060 | 0.6298 |
| 0.085 | 0.5950 | 0.6050 | 0.6276 |
| 0.090 | 0.5937 | 0.6040 | 0.6256 |
| 0.100 | 0.5917 | 0.6021 | 0.6219 |
| 0.110 | 0.5898 | 0.6005 | 0.6187 |
| 0.120 | 0.5885 | 0.5989 | 0.6162 |
| 0.130 | 0.5876 | 0.5976 | 0.6139 |
| 0.140 | 0.5868 | 0.5964 | 0.6119 |
| 0.150 | 0.5861 | 0.5955 | 0.6102 |
| 0.170 | 0.5853 | 0.5938 | 0.6070 |

续表

| 水头 $h$(m) | ($C_D$) | | |
|---|---|---|---|
| | tg $\theta/2=1$ | tg $\theta/2=0.5$ | tg $\theta/2=0.25$ |
| 0.200 | 0.5849 | 0.5918 | 0.6037 |
| 0.250 | 0.5846 | 0.5898 | 0.6002 |
| 0.330 | 0.5850 | 0.5880 | 0.5968 |
| 0.381 | 0.5855 | 0.5872 | 0.5948 |

**第 3.2.5 条** 3 种有特殊几何关系的堰口角$\left\{\text{tg}\frac{\theta}{2}=1,\text{tg}\frac{\theta}{2}=0.5\text{ 和 tg}\frac{\theta}{2}=0.25\right\}$的流量计算公式(完全侧收缩)为

$$Q=C_D\frac{8}{15}\text{tg}\frac{\theta}{2}\sqrt{2g}\,h^{5/3} \tag{3.2.5}$$

式中,流量系数($C_D$)见表 3.2.5。表中 $C_D$ 值可以内插。

式(3.2.5)限制在$\frac{h}{P}<0.4,\frac{h}{B}<0.2,P>0.45\text{m},B>1.0\text{m}$和 $h$ 在 0.06～0.38m 的条件下应用。

**第 3.2.6 条** 当堰口角 θ=90°时,也可用下列经验公式计算流量:

$$Q=1.343h^{2.47} \tag{3.2.6}$$

上式限制在 $B>5h,\frac{h}{P}<0.5$ 和 $h=0.06\sim0.65\text{ m}$ 的条件下应用。

## 第三节 矩形薄壁堰

**第 3.3.1 条** 矩形薄壁堰的标准堰型如图 3.3.1 所示、矩形缺口与槽轴中心线对称,堰板与河底边墙垂直,堰顶和缺口两侧应光滑平整,相当于轧制的薄金属板的表面,宜用耐锈蚀的金属制作。

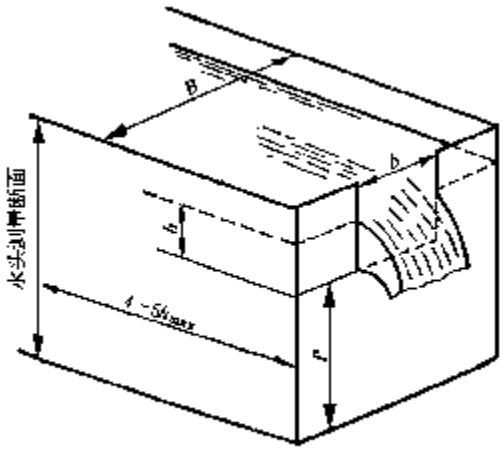



图 3.3.1 矩形堰口薄壁堰图

**第 3.3.2 条** 适用于任何 $\frac{b}{B}$ 值的流量计算公式为

$$Q=C_D\frac{2}{3}\sqrt{2g}b_eh_e^{3/2} \tag{3.3.2}$$

式中　$b_e$——有效宽度，$b_e = b + K_b$；

$h_e$——有效水头，$h_e = h + K_h$。

其中，$K_b$ 和 $K_h$ 分别为考虑粘滞力和表面张力影响对 $b$ 和 $h$ 的改正值。

$K_b$ 从图 3.3.2 查得，$K_h$ 一般可取为 0.001m 的常值。

对不同 $\frac{b}{B}$ 值的流量系数($C_D$)值，可按表 3.3.2 所列公式求得。对于 $\frac{b}{B}$ 的中间值可内插确定。

式(3.3.2)限制在 $\frac{h}{P} < 2.5$、$h > 0.03$m、$b > 0.15$m 和 $P > 0.10$m 的条件下应用。

**第 3.3.3 条**　仅适用于无侧收缩堰 $\left(\frac{b}{B} = 1.0\right)$ 的流量计算公式为

$$Q = C_D \frac{2}{3}\sqrt{2g}\, b h_e^{3/2} \tag{3.3.3}$$

式中　$C_D = 0.602 + 0.083\frac{h}{P}$；

$h_e = h + 0.0012$。

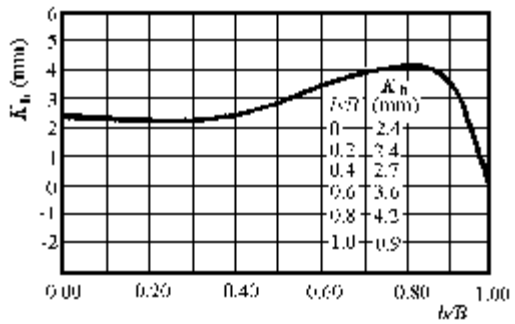



图3.3.2 $K_h$ 与 $b/B$ 关系图

表 3.3.2　矩形薄壁堰流量系数表

| $b/B$ | $C_D$ | $b/B$ | $C_D$ |
|---|---|---|---|
| 1.0 | $0.602 + 0.075\,h/P$ | 0.6 | $0.593 + 0.018\,h/P$ |
| 0.9 | $0.598 + 0.064\,h/P$ | 0.4 | $0.591 + 0.0058\,h/P$ |
| 0.8 | $0.596 + 0.045\,h/P$ | 0.2 | $0.589 - 0.0018\,h/P$ |
| 0.7 | $0.594 + 0.030\,h/P$ | 0.0 | $0.587 - 0.0023\,h/P$ |

式(3.3.3)限制在 $\frac{h}{P} < 1.0$、$b > 0.3$m、$P > 0.10$m 和 h 在 0.03～0.75m 的条件下应用。

**第 3.3.4 条**　凡符合规定标准建造的矩形薄壁堰，流量系数的不确定度(95%的置信水平)，当 $\frac{h}{P}$ 小于 1.0 时，不大于 1.5%；当 $\frac{h}{P}$ 在 1.0 至 1.5 之间时，不大于 2.0%；当 $\frac{h}{P}$ 在 1.5 至 2.5 之间时，不大于 3.0%。

## 第四节　梯形薄壁堰

**第 3.4.1 条**　本规范规定的有侧收缩的梯形薄壁堰，其断面边坡特定为 1(垂直)：2.5(水平)。堰体的各部位几何尺寸关系见表 3.4.1，符号代表意义见图 3.4.1。

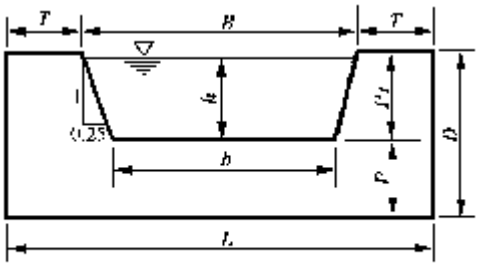



图3.4.1 梯形薄壁堰几何尺寸关系图

表 3.4.1 梯形薄壁堰各项几何尺寸关系表 （单位：m）

| $b$ | $B$ | $h_{max}$ | $P_t$ | $T$ | $P$ | $D$ | $L$ | 施测流量范围 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $b+\frac{P_t}{2}$ | $\frac{1}{3}b$ | $\frac{1}{3}b+0.05$ | $\frac{1}{3}b$ | | $P+P_t$ | $B+2T$ | $10^{-3}(m^3/s)$ |
| 0.25 | 0.316 | 0.083 | 0.133 | 0.083 | 0.083 | 0.216 | 0.482 | 2～12 |
| 0.50 | 0.608 | 0.166 | 0.216 | 0.166 | 0.166 | 0.382 | 0.940 | 10～63 |
| 0.75 | 0.900 | 0.250 | 0.300 | 0.250 | 0.250 | 0.550 | 1.400 | 30～178 |
| 1.00 | 1.191 | 0.333 | 0.383 | 0.333 | 0.333 | 0.716 | 1.857 | 61～365 |
| 1.25 | 1.483 | 0.416 | 0.466 | 0.416 | 0.416 | 0.882 | 2.315 | 102～640 |
| 1.50 | 1.775 | 0.500 | 0.550 | 0.500 | 0.500 | 1.050 | 2.775 | 165～1009 |

注 $D$、$L$未包括安装尺寸。安装尺寸可按实际需要，增加 0.05～0.08 m。

**第 3.4.2 条** 梯形薄壁堰的自由流流量计算公式为

$$Q = C_D b h^{3/2} \tag{3.4.2}$$

流量系数（$C_D$）采用 1.86 的常值。

式(3.4.2)限制在 0.25m≤ $b$ ≤1.5m，0.083m≤ $h$ ≤0.50 和 0.083m≤ $P$ ≤0.5m 的范围内应用。

# 第四章 宽顶堰

## 第一节 一般规定

**第 4.1.1 条** 宽顶堰的应用范围除有特别规定者外，其实测水头（$h$）与沿水流方向的水平堰顶长度（$L$）之比$\left(\frac{h}{L}\right)$，应在 0.1 与 0.4 之间。

**第 4.1.2 条** 宽顶堰的上下游水头测量断面，应设置在距堰顶上下游 3～4$H_{max}$ 处。有关行近河槽、堰体及下游河槽的安装要求，应符合第二章的有关规定。

## 第二节 圆缘矩形宽顶堰

**第 4.2.1 条** 无侧收缩的圆缘矩形宽顶堰，其堰顶上游进口和下游出口均为圆缘。前缘进口处的圆半径不应小于 0.2$H_{max}$。堰顶水平长度不应小于 1.75$H_{max}$，且堰顶长与前缘半径之和，也不应小于 2.25$H_{max}$。下游堰面既可做成竖直面，也可做成斜面。堰体的结构安装形式见图 4.2.1。

**第 4.2.2 条** 圆缘矩形宽顶堰的流量计算公式为

$$Q=\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\sqrt{g}C_DC_Vbh^{3/2} \qquad (4.2.2-1)$$

对于具有良好光滑表面(水泥抹面)的建筑物，流量系数（$C_D$）可用下式计算：

$$C_D=\left(1-0.006\frac{L}{b}\right)\left(1-0.003\frac{L}{h}\right)^{3/2} \qquad (4.4.2-2)$$

行近流速系数（$C_V$）可从图 4.2.2 中直接查算。其中，$A$ 是矩形行近河槽过水断面面积，即 $A=(P+h)b$。

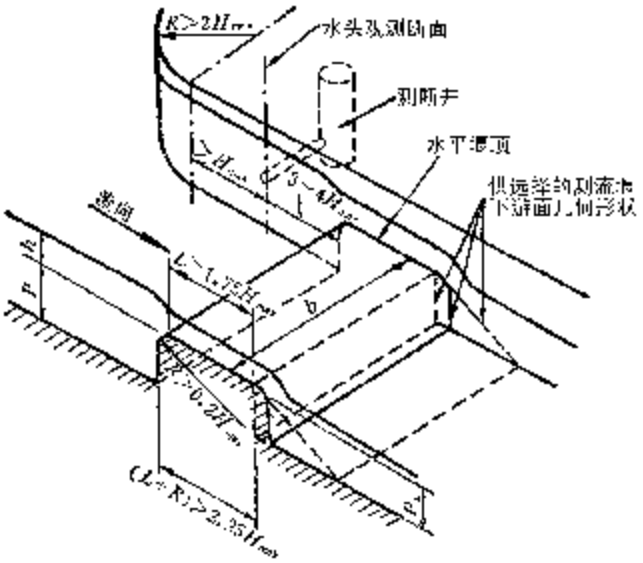



图4.2.1 圆缘矩形宽顶堰布置图

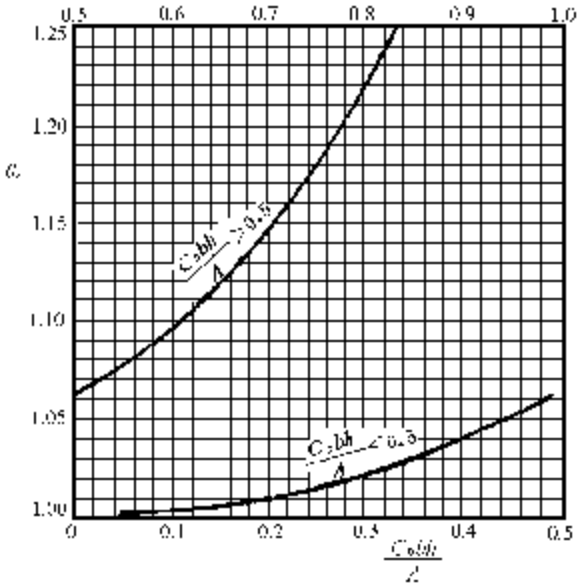



图4.2.2 行近流速系数$C_V$查算图

**第 4.2.3 条** 圆缘矩形宽顶堰仅适用于自由流。自由流可按以下条件判别：

一、$\frac{h}{P_L}<0.5$ 且 $\frac{h_L}{h}<0.63$；

二、$\frac{h}{P_L}=0.5$ 且 $\frac{h_L}{h}<0.75$；

三、$\frac{h}{P_L}>0.5$ 且 $\frac{h_L}{h}<0.80$；

上述 $P_L$ 是下游河底高程以上的堰顶高。$h_L$ 为实测下游水头。

**第 4.2.4 条** 圆缘矩形宽顶堰限制在以下条件使用：

一、$h$ 既不能小于 $0.06m$，也不能小于 $0.03L$；

二、$\frac{h}{P}\leqslant 1.5$；

三、$\frac{h}{L}\leqslant 0.57$；

四、堰高 $P\geqslant 0.15$m，堰宽（$b$）既不能小于 0.30m，也不能小于 $h_{max}$ 或 $0.2L$。

**第 4.2.5 条** 当施工质量完全符合标准要求时，流量系数 $C_D$（或 $C_VC_D$）的不确定度可由下式求得

$$X_{C_D}=\pm 2(21-20C_D)\% \qquad (4.2.5)$$

## 第三节 锐缘矩形宽顶堰

**第 4.3.1 条** 无侧收缩的锐缘矩形宽顶堰的堰顶上游进口为直角，其结构安装形式见图 4.3.1。水平堰顶和上下端垂直面应光滑平整。

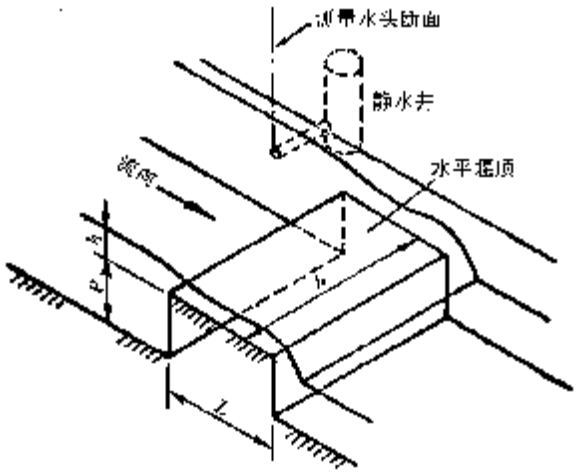



图4.3.1 锐缘矩形宽顶堰布置图

**第 4.3.2 条** 锐缘矩形宽顶堰的流量计算公式为

$$Q=\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}C\sqrt{g}\,bh^{3/2} \qquad (4.3.2)$$

式中 $C$——流速、流量组合系数，由表 4.3.2 查取。

表 4.3.2 流速、流量组合系数 $C$ 值表

| h/P \ h/L | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.1 | 0.850 | 0.850 | 0.850 | 0.861 | 0.870 | 0.885 | 0.893 | 0.925 | 0.948 | 0.971 | 0.993 | 1.016 | 1.035 | 1.062 | 1.085 | 1.106 | 1.130 | 1.148 |
| 0.2 | 0.855 | 0.855 | 0.855 | 0.864 | 0.874 | 0.888 | 0.907 | 0.930 | 0.954 | 0.977 | 1.001 | 1.026 | 1.050 | 1.074 | 1.096 | 1.120 | 1.142 | 1.159 |
| 0.3 | 0.864 | 0.864 | 0.864 | 0.868 | 0.879 | 0.894 | 0.913 | 0.936 | 0.961 | 0.986 | 1.011 | 1.037 | 1.061 | 1.085 | 1.110 | 1.132 | 1.152 | 1.169 |
| 0.4 | 0.873 | 0.873 | 0.873 | 0.874 | 0.885 | 0.901 | 0.920 | 0.945 | 0.969 | 0.995 | 1.021 | 1.047 | 1.072 | 1.097 | 1.122 | 1.144 | 1.163 | 1.180 |
| 0.5 | 0.882 | 0.882 | 0.882 | 0.883 | 0.894 | 0.908 | 0.929 | 0.959 | 0.978 | 1.005 | 1.022 | 1.057 | 1.083 | 1.109 | 1.133 | 1.154 | 1.173 | 1.188 |
| 0.6 | 0.892 | 0.892 | 0.892 | 0.894 | 0.904 | 0.920 | 0.941 | 0.964 | 0.990 | 1.016 | 1.043 | 1.067 | 1.094 | 1.120 | 1.143 | 1.164 | 1.182 | 1.196 |
| 0.7 | 0.901 | 0.901 | 0.901 | 0.906 | 0.916 | 0.930 | 0.952 | 0.975 | 1.000 | 1.026 | 1.052 | 1.077 | 1.104 | 1.129 | 1.152 | 1.171 | 1.188 | 1.203 |
| 0.8 | 0.911 | 0.911 | 0.912 | 0.916 | 0.926 | 0.942 | 0.962 | 0.985 | 1.010 | 1.036 | 1.062 | 1.086 | 1.112 | 1.136 | 1.158 | 1.176 | 1.194 | 1.209 |
| 0.9 | 0.921 | 0.921 | 0.922 | 0.928 | 0.935 | 0.952 | 0.972 | 0.996 | 1.021 | 1.046 | 1.072 | 1.096 | 1.120 | 1.143 | 1.163 | 1.181 | 1.199 | 1.214 |
| 1.0 | 0.929 | 0.929 | 0.931 | 0.936 | 0.946 | 0.962 | 0.982 | 1.006 | 1.031 | 1.056 | 1.081 | 1.106 | 1.128 | 1.150 | 1.169 | 1.187 | 1.204 | 1.220 |
| 1.1 | 0.935 | 0.937 | 0.940 | 0.946 | 0.956 | 0.972 | 0.993 | 1.017 | 1.042 | 1.066 | 1.092 | 1.116 | 1.138 | 1.159 | 1.177 | 1.195 | 1.212 | 1.228 |
| 1.2 | 0.941 | 0.944 | 0.949 | 0.956 | 0.966 | 0.982 | 1.004 | 1.028 | 1.053 | 1.077 | 1.103 | 1.126 | 1.148 | 1.168 | 1.186 | 1.204 | 1.222 | 1.237 |
| 1.3 | 0.946 | 0.951 | 0.957 | 0.966 | 0.977 | 0.993 | 1.016 | 1.040 | 1.063 | 1.089 | 1.114 | 1.136 | 1.158 | 1.178 | 1.196 | 1.214 | 1.232 | 1.250 |
| 1.4 | 0.953 | 0.959 | 0.967 | 0.975 | 0.986 | 1.005 | 1.028 | 1.050 | 1.075 | 1.101 | 1.124 | 1.147 | 1.168 | 1.187 | 1.206 | 1.224 | 1.244 | 1.266 |
| 1.5 | 0.961 | 0.988 | 0.975 | 0.984 | 0.997 | 1.018 | 1.040 | 1.061 | 1.086 | 1.111 | 1.134 | 1.156 | 1.176 | 1.196 | 1.215 | 1.235 | 1.258 | 1.277 |
| 1.6 | 0.972 | 0.978 | 0.985 | 0.994 | 1.010 | 1.030 | 1.050 | 1.073 | 1.096 | 1.119 | 1.142 | 1.164 | 1.184 | 1.204 | 1.224 | 1.245 | 1.268 | 1.289 |

注 应用范围限制在粗线框内的数值。

表中给出的 $C$ 值，既适用于 $0.1<\frac{h}{L}<0.4$ 的条件，也适用于 $0.4<\frac{h}{L}<1.6$ 的范围。系数($C$)的不确定度约为 $\pm 3.0\%$。

**第 4．3．3 条** 锐缘矩形宽顶限于在自由出流状态下应用。根据 $\frac{h}{L}$ 和 $\frac{h_L}{h}$ 值，可由图 4.3.3 判别自由出流和淹没出流的界限。

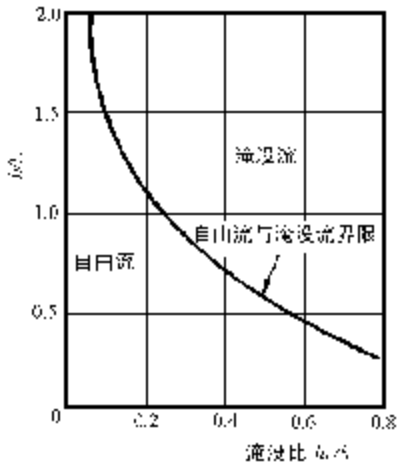



图4.3.3 锐缘矩形宽顶堰自由流与淹没流界限图

**第 4．3．4 条** 锐缘矩形宽顶堰限制在 $h\geqslant 0.06\text{m}$，$b\geqslant 0.30\text{m}$，$P\geqslant 0.15\text{m}$ 和 $\frac{h}{P}<1.6$ 的条件下应用。

## 第四节 V形宽顶堰

**第4．4．1条** V形宽顶堰适用于落差较小的河渠。既适用于自由流，也适用于淹没流。堰体布置见图4．4．1。

**第4．4．2条** 堰体尺寸的选择和有关技术要求，应符合下列规定：

一、堰体上游拐角处要修圆。其圆半径（$R$）可在$0.2h_{max}$～$0.4h_{max}$之间选择。

二、为使堰顶流线近似水平，堰顶长度（$L$）既不应小于1．0m，也不应小于$2h_{max}$。

三、在满足最小过水流量所需精度的要求下，堰顶角（θ）可在90°～150°之间选择。

四、当V形堰口与竖直边墙相接而形成“已满流”时，则堰口与边墙连结处的上游拐角也要修圆。其圆半径在0．1～0．2 $L$之间。

**第4．4．3条** “未满流”的流量计算公式为

$$Q=\left(\frac{4}{5}\right)^{5/2}\sqrt{g/2}\ \mathrm{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)C_DC_V f h^{5/2} \qquad (4.4.3)$$

流量系数（$C_D$）可从图4.4.3－1中根据$\frac{h}{L}$和$\theta$值查取。

行近流速系数（$C_V$）按图4．4．3—2查得。

“未满流”允许在淹没出流情况下运用。非淹没限$\left(\frac{h_L}{h}\right)$采用0.80，淹没系数（$f$）可根据$\frac{h_L}{h}$从表4．4．3查得。

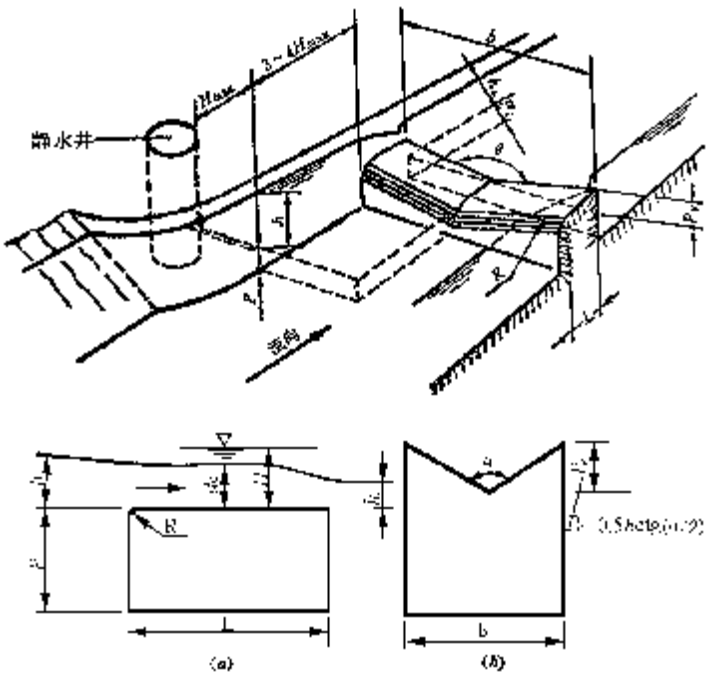



图4.4.1 V形宽顶堰堰体布置及水流条件图

(a)纵剖面图；(b)前视图

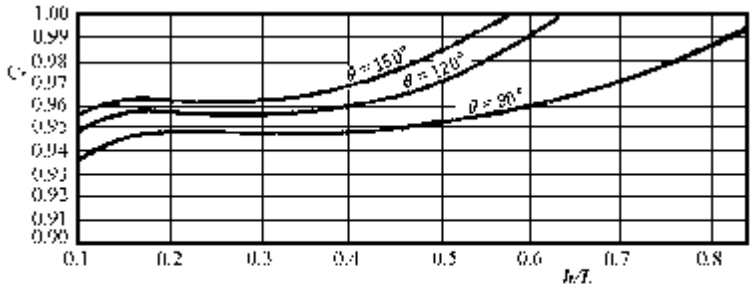



图 4.4.3-1 流速系数$C_v$与$h/L$和$\theta$关系图

表 4．4．3 V形宽顶堰淹没系数表

| $\frac{h_L}{h}$ | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.88 | 0.90 | 0.92 | 0.94 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f$ | 0．99 | 0．98 | 0．97 | 0．97 | 0．93 | 0．89 | 0．83 | 0．80 |

**第 4．4．4 条** “未满流”流量计算公式的应用限制为：

一、水头 $h$ 既不能小于 $0.05L$ 和$\left(\frac{0.25}{L}\right)^2$，也不能小于 0．06m；

二、水头 $h$ 的上限应符合$\frac{h}{L}\leqslant 0.45$ 和$\frac{H}{P_V}\leqslant 1.25$ 的要求；

三、$\frac{h}{P}$ 的最大值应在 1.5(大顶角)～3.0(小顶角)之间。

**第 4.4.5 条** “已满流”图 4.4.5－1 仅限于在自由出流条件下应用。自由流与淹没流的界限，可根据图 4.4.5－2 予以判别。

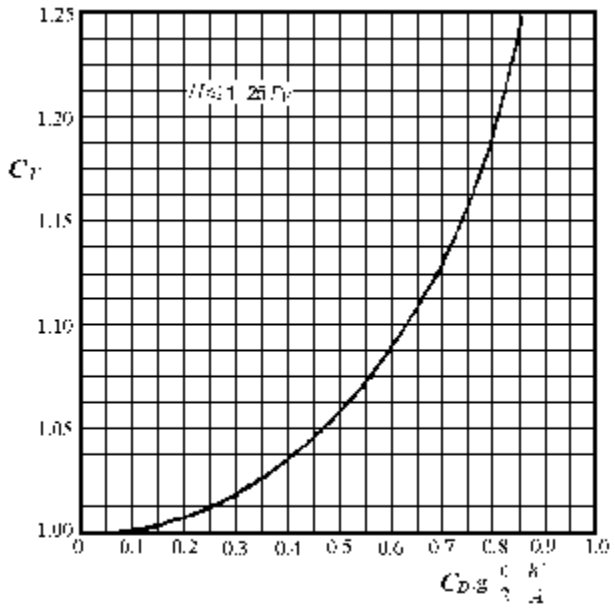



图4.4.3 V形宽顶堰行近流速系数$C_v$查算图

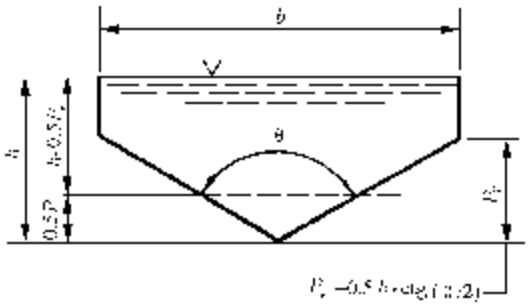


图4.4.5-1 V形宽顶堰“已满流”有关尺寸图

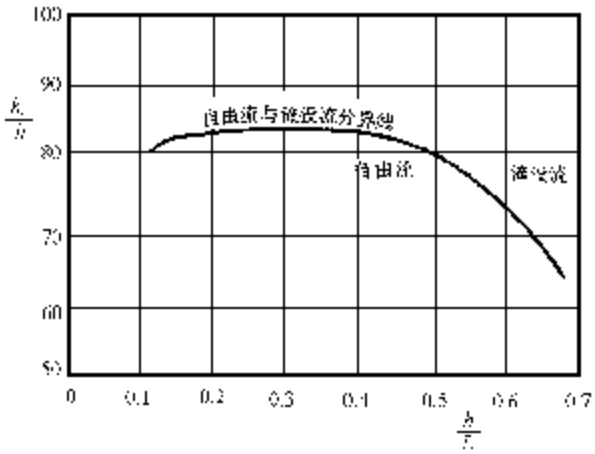



图4.4.5-2 V形宽顶堰的自由流与淹没流分界图

**第4.4.6条** “已满流”的流量计算公式为

$$Q=\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\sqrt{g}C_DC_Vb(h-0.5P_V)^{3/2} \tag{4.4.6}$$

式中，$C_D=\left(1-\frac{0.006L}{b}\right)\left(1-\frac{0.003L}{h}\right)^{3/2}$

行近流速系数($C_V$)可直接从图4.4.6查得。

**第4.4.7条** V形宽顶堰的流速、流量组合系数($C$)的随机不确定度 $X'_C$(或 $X'_{C_VC_D}$)约为±0.5%；系数不确定度 $X''_C$ 按下式计算：

$$X''_C=\pm\left(2.0+0.15\frac{L}{h}\right)\% \tag{4.4.7}$$

# 第五章 三角形剖面堰和平坦V形堰

## 第一节 三角形剖面堰

**第5.1.1条** 上下游坡分别为1:2和1:5的三角形剖面堰，其堰体平面和纵剖面结构见图

5．1．1—1。堰体安装除应符合第二章的有关规定外，还应符合下述要求：

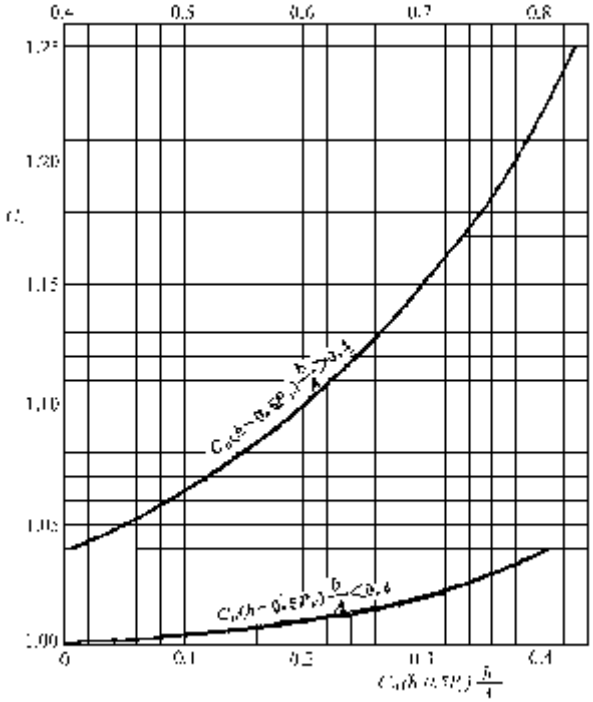


图4.4.6 行近流速系数$C_i$查算图

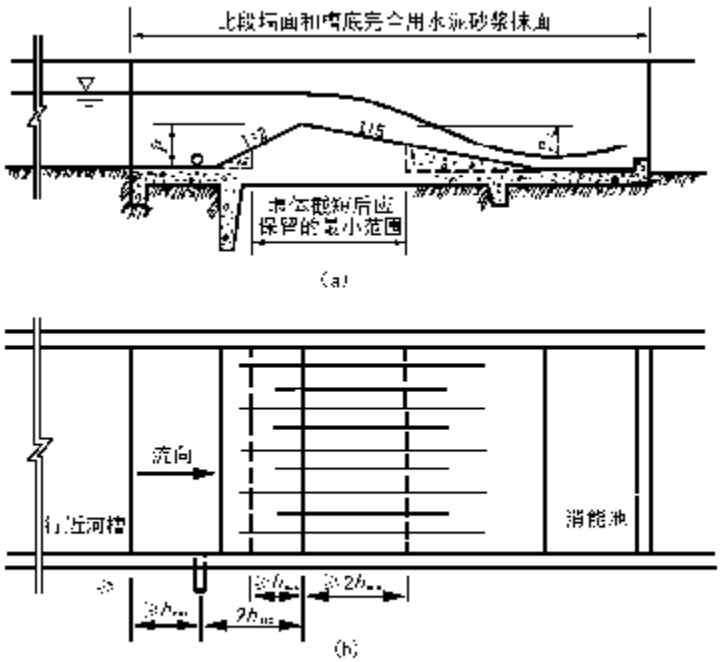



图5.1.1-1 三角形剖面堰图
(a)纵剖面；(b)平面

一、堰顶必须坚固、耐磨、形成光滑的棱。可用不锈蚀的金属板镶嵌，也可用混凝土浇筑，

再用水泥砂浆抹光。上下游坡面必须光滑平整。

二、上游水头观测断面设置在距堰顶 $2h_{max}$ 处。下游水头观测断面设置在距堰顶 20mm 的下游面上。

三、下游水头观测设备是与堰顶线平行设置的一排测压孔，如图 5．1．1—2 所示。测压孔的中心间距为 75mm，直径为 10mm。孔下面用一直径为 10mm 的导管与之连通引入岸边静水井中进行观测（见图 5．1．1—2）。测压孔一般设 5～10 个，以保证静水井内的水位没有大的滞后。当堰顶宽（$b$）小于 2．0m 时，测压孔可设在堰顶中心的一侧，但从测压孔中心线到边墙的最近距离应大于 1．0m。

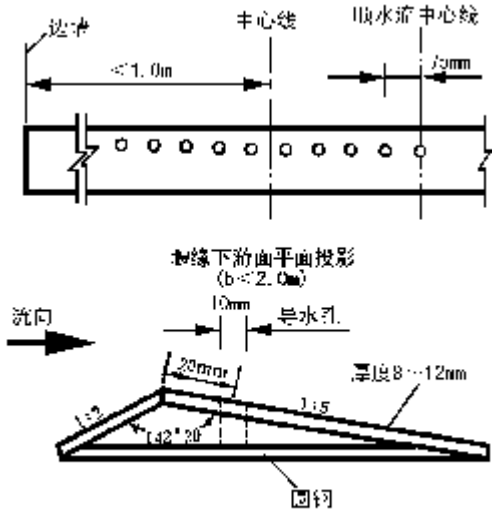



图5.1.1-2 堰顶导水管装置图

**第 5．1．2 条** 矩形河渠上建造的三角形剖面堰，当下游分离囊水头（$h_p$）与堰上游总有效水头（$H_e$）之比大于 0.24 时为淹没出流。梯形河渠上建造的三角形剖面堰，当下游分离囊水头（$h_p$）与上游总有效水头（$H_e$）之比大于 0.2 时为淹没出流。

**第 5．1．3 条** 矩形河槽中的三角形剖面堰的流量计算公式为

$$Q = C_D C_V \sqrt{g} f b h^{3/2} \qquad (5.1.3-1)$$

式中，

$$C_D = 0.633\left(1-\frac{0.0003}{h}\right)^{3/2} \qquad (5.1.3-2)$$

当 $h \geqslant 0.1$m 时，流量系数（$C_D$）可近似采用 0．633。当自由流时，行近流速系数（$C_V$）可由图 5．1．3—1 直接查得。其中 $A = b(h+P)$，$f = 1$。

当淹没流时，可从图 5．1．3—2 中查得行近流速系数（$C_V$）和淹没系数（$f$）的合并值（$C_V f$）。

**第 5．1．4 条** 梯形河槽中的三角形剖面堰的流量计算公式为

$$Q = C_D C_V C_S \sqrt{g} f b h^{3/2} \qquad (5.1.4-1)$$

式中 $C_s$——形状系数，$C_s = 1+\dfrac{4m_a h}{5b}$。

其中，$m_a$ 为梯形断面边坡系数[1(垂直)：$m_a$(水平)]。

当边坡系数（$m_a$）分别为 1.732（边坡角为 30°）和 0.577（边坡角为 60°）时，流量系数（$C_D$）可分别采用 0.605 和 0.615。

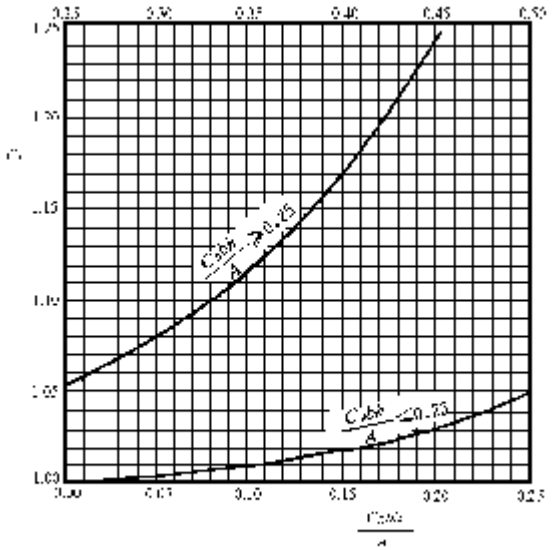


图5.1.3-1 三角形剖面堰行近流速系数$C_v$查算图

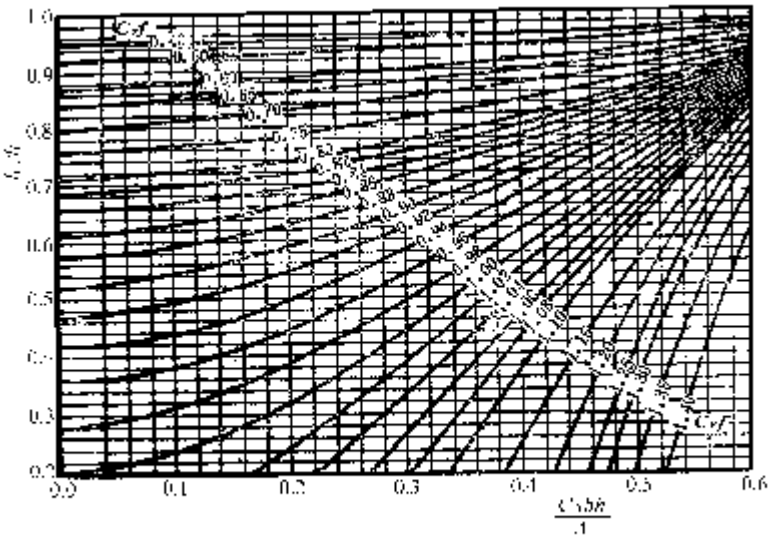


图 5.1.3 2 三角形剖面堰行近流速$C_v$和淹没系数f乘积$C_vf$查算图

$C_VC_S$的合并值可根据$\frac{C_Db_0h}{A}$和$\frac{m_ah}{b_0}$值从图 5.1.4 中查得。其中，$A$为上游观测水头处过水断面面积（$m^2$），应用下式计算：

$$A=(h+P)[B+m_a(h+P)] \qquad (5.1.4-2)$$

淹没系数（$f$）可根据$\frac{h_2}{H}$值从表 5.1.4 中查得。

表 5.1.4 梯形槽三角形剖面堰 $h_p/H$～$f$关系表

| $h_p/H$ | 0.16 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f$ | 1.000 | 0.990 | 0.980 | 0.970 | 0.960 | 0.950 | 0.935 | 0.916 |

| $h_p/H$ | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.93 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f$ | 0.896 | 0.872 | 0.852 | 0.822 | 0.790 | 0.740 | 0.685 | 0.570 | 0.500 |

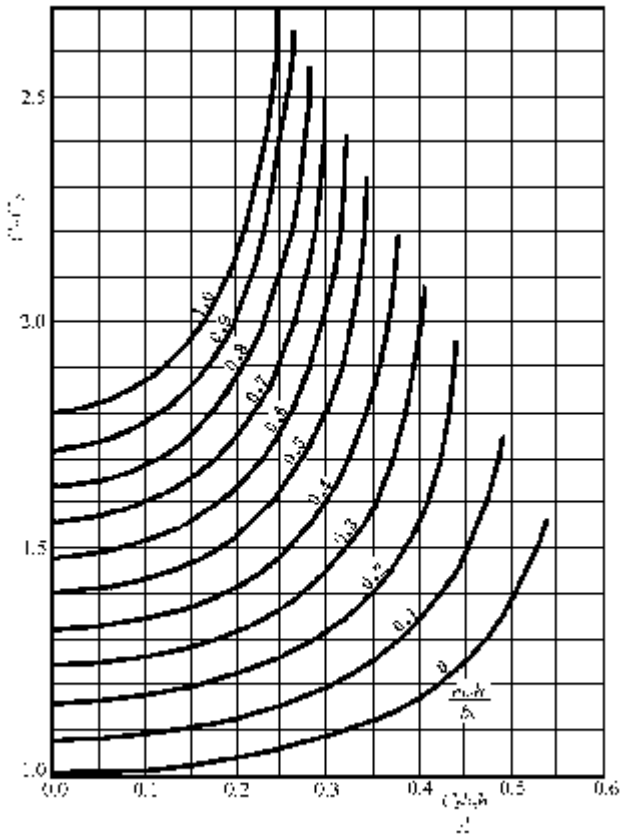



图5.1.4 梯形槽三角剖面堰$C_v C_s \cdots C_r b_u h/A$关系图

**第 5.1.5 条** 三角形剖面堰流量公式的应用限制条件是：

一、对于具有金属堰缘的堰顶，最小水头应不小于 0.03m。对于混凝土建造并用水泥砂浆抹面的堰顶，最小水头应不小于 0.06m。

二、$h/P \leqslant 3.5$，$b/h \geqslant 2.0$。

三、$P \geqslant 0.06$m，$b \geqslant 0.3$m。

**第 5.1.6 条** 矩形河渠中建造的三角形剖面堰，流量系数的随机不确定度（$X'_{C_D}$）取±0.5%。

系统不确定度（$X''_{C_D}$）可用下式估算：

$$X''_{C_D} = \pm\left(\frac{10\,C_V}{f} - 9\right) \tag{5.1.6}$$

梯形河渠中建造的三角形剖面堰的流量系数的随机不确定度（$X'_{C_D}$），当边坡系数（$m_a$）为 1.732(边坡角为 30°)时，取±0.5%；当边坡系数（$m_a$）为 0.577(边坡角为 60°)时，取±1.0%。系数

不确定度($X''_{C_D}$)取±2．0%。

## 第二节 平坦V形堰

**第5．2．1条** 上下游纵坡分别为1:2和1:5的平坦V形堰的结构和各部尺寸见图5．2．1—1。其设计安装除符合第二章有关规定外，还应符合下述要求：

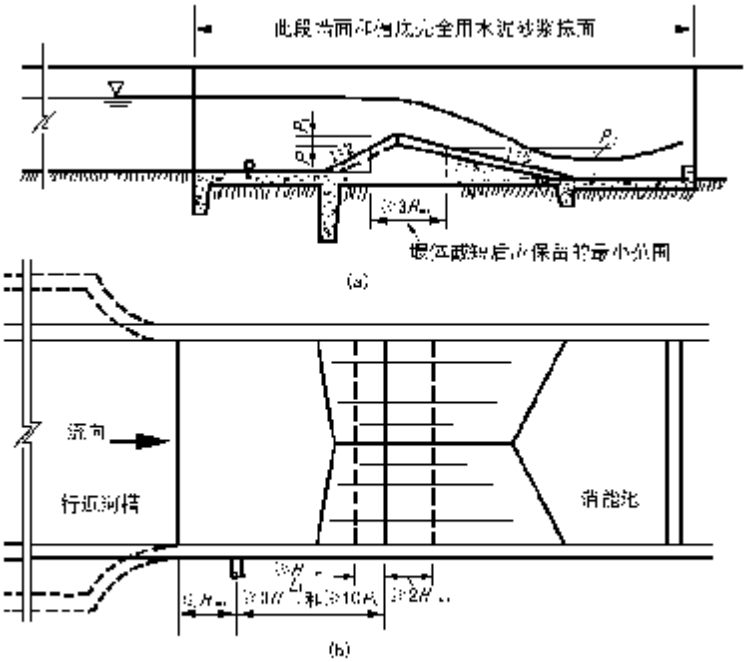



图5.2.1-1 平面V形堰图
(a)纵剖面；(b)平面

一、V形堰口的横向坡度限于1:10、1:20和1:40。

二、上游水头测量断面与堰顶距离($L_1$)应大于3倍上游最大水头，且应大于10$P_V$($P_V$为堰口高)。当受条件限制 $L_1 < 10P_V$，且$\frac{H}{P} > 1$时，应对有效流量系数，按表5.2.1进行修正。

**表5.2.1 有效流量系数 $C_{D_e}$ 修正表**

| $L_1$ | $H/P$ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| | 流量系数增加的百分数(%) | | |
| $8P_V$ | 0.0 | 0.3 | 0.6 |
| $6P_V$ | 0.0 | 0.6 | 0.9 |
| $4P_V$ | 0.0 | 0.8 | 1.2 |

三、当在淹没流条件下运用时，必须装配堰顶测压孔，以施测分离囊水头($h_p$)。测压孔设置在堰顶下游坡面20mm处，与堰顶平行排列，由10个孔径为10mm的圆孔组成。孔中心间距为50mm，见图5．2．1—2。为了便于维修，可将圆孔打在活动的金属盖板上，盖板将导水管严密覆盖，底部用直径80～120mm圆管引入岸边静水井中。

**第 5．2．2 条** 当下游有效分离囊水头（$h_{p_e}$）与上游有效实测水头（$h_e$）之比大于 0.4 时，为淹没出流。淹没比$\frac{h_{p_e}}{h_e}$的上限规定为 0.93。

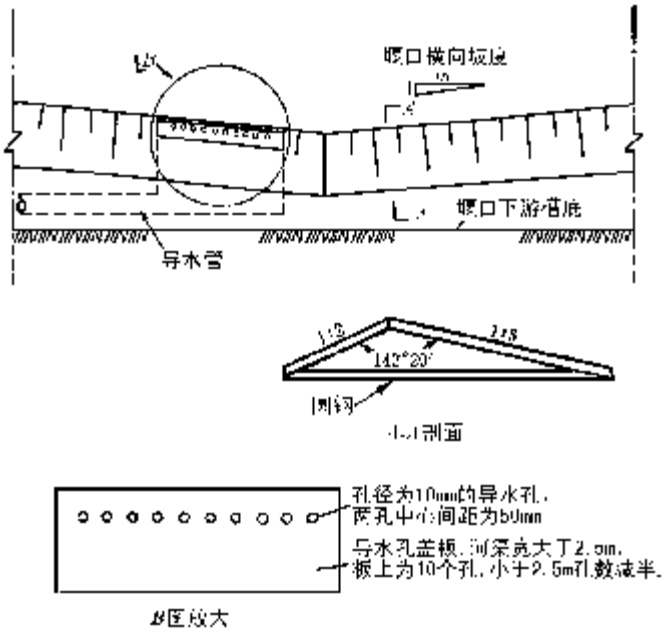



图5.2.1-2 堰顶导水管装置图

**第 5．2．3 条** 平坦 V 形堰，允许运用的最低水头为 0．03（金属光滑堰顶）～0．06m（光滑混凝土堰顶），其它应用限制条件见表 5．2．3。

**表 5．2．3 平坦 V 形堰的应用限制及流量系数表**

| 项目 | 堰的横向坡度（1/m） | | |
|---|---|---|---|
| | 1/40 或更小 | 1/20 | 1/10 |
| $H/P_V \leqslant 1.0$ | | | |
| 自由出流的有效流量系数 $C_{D_e}$ | 0.625 | 0.620 | 0.615 |
| 系数的系统不确定度 $X'_{C_D}$ | ±3.0% | ±3.2% | ±2.9% |
| 水头改正数 $K_h$（m） | 0．0004 | 0．0005 | 0．0008 |
| 应用限制 | $P_V/P \leqslant 2.5$<br>$P_V/P_L \leqslant 2.5$ | $P_V/P \leqslant 2.5$<br>$P_V/P_L \leqslant 2.5$ | $P_V/P \leqslant 2.5$<br>$P_V/P_L \leqslant 2.5$ |
| $H/P_V > 1.0$ | | | |
| 自由出流的有效流量系数 $C_{D_e}$ | 0.630 | 0.625 | 0.620 |
| 系数的系统不确定度 $X'_{C_D}$ | ±2.5% | ±2.8% | ±2.3% |
| 水头改正数 $K_h$（m） | 0．0004 | 0．0005 | 0．0008 |
| 应用限制 | $P_V/P \leqslant 2.5$<br>$P_V/P_L \leqslant 8.2$ | $P_V/P \leqslant 2.5$<br>$P_V/P_L \leqslant 8.2$ | $P_V/P \leqslant 2.5$<br>$P_V/P_L \leqslant 4.2$ |

注 在淹没条件下的 $C_{D_e}$ 分别为：0.631、0.629 和 0.620

**第 5．2．4 条** 矩形河渠中的平坦 V 形堰流量计算公式为

$$Q = 0.8 C_D C_V C_S \sqrt{g} f m h^{5/2} \qquad (5.2.4-1)$$

一、流量系数（$C_D$）可根据有效流量系数（$C_{D_e}$）求得，其关系为

$$C_D = C_{D_e}\left(1-\frac{K_h}{h}\right)^{5/2} \qquad (5.2.4-2)$$

有效流量系数（$C_{D_e}$）与水头改正数（$K_h$）由表 5.2.3 查得。当实测水头（$h$）大于 0.1m 时，$K_h$ 可忽略不计。

二、行近流速系数（$C_V$）的近似求解公式为

$$C_V = 1+\frac{1.25 Y_1}{1-2.5 Y_1} \qquad (5.2.4-3)$$

其中，$Y_1 = [(0.8 C_D C_S f m h^2)/ b(h+P)]^2$ (5.2.4－4)

三、形状系数（$C_S$）

当 $h \leqslant P_V$ 时，$C_S = 1.0$；

当 $h > P_V$ 时，$C_S = 1-\left(1-\frac{P_V}{h_e}\right)^{5/2}$ (5.2.4－5)

其中 $h_e$——上游有效水头（$h_e = h - K_h$），m；

$P_v$——V 形堰口高 $\left(P_V = \frac{b}{2m}\right)$，m。

四、淹没系数（$f$）按下式计算：

$$f = 1.078\left[0.909-\left(\frac{h_{P_e}}{H_e}\right)^{3/2}\right]^{0.183} \qquad (5.2.4-6)$$

其中 $h_{P_e}$——有效分离囊水头（$h_{P_e} = h_P - K_h$），m；

$H_e$——上游有效总水头，m。

当上游有效总水头未知时，可根据 $h_{P_e}/h_e$ 和 $Y_2$ 值从表 5.2.4 中直接查出 $f$ 值。

**表 5．2．4 矩形河槽中平坦 V 形堰淹没系数 $f$ 查算表**

| $h_{P_e}/h_e$ \ $Y_2$ | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.220 | 0.240 | 0.260 | 0.280 | 0.300 | 0.320 | 0.340 | 0.360 | 0.380 | 0.400 | 0.420 | 0.440 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.41 | 0.995 | 0.996 | 0.996 | 0.997 | 0.997 | 0.998 | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 0.42 | 0.993 | 0.993 | 0.993 | 0.994 | 0.994 | 0.995 | 0.995 | 0.996 | 0.996 | 0.997 | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 0.43 | 0.990 | 0.990 | 0.991 | 0.991 | 0.992 | 0.992 | 0.993 | 0.993 | 0.994 | 0.994 | 0.995 | 0.996 | 0.996 | 0.997 | 0.998 | 1.000 |
| 0.44 | 0.987 | 0.987 | 0.988 | 0.989 | 0.989 | 0.989 | 0.990 | 0.990 | 0.991 | 0.992 | 0.992 | 0.993 | 0.994 | 0.995 | 0.996 | 0.997 |
| 0.45 | 0.984 | 0.984 | 0.985 | 0.986 | 0.986 | 0.987 | 0.987 | 0.988 | 0.988 | 0.989 | 0.990 | 0.990 | 0.991 | 0.992 | 0.993 | 0.994 |
| 0.46 | 0.981 | 0.981 | 0.982 | 0.983 | 0.983 | 0.984 | 0.984 | 0.985 | 0.985 | 0.986 | 0.987 | 0.988 | 0.988 | 0.989 | 0.991 | 0.992 |
| 0.47 | 0.977 | 0.978 | 0.979 | 0.980 | 0.980 | 0.981 | 0.981 | 0.982 | 0.982 | 0.983 | 0.984 | 0.985 | 0.986 | 0.987 | 0.988 | 0.989 |
| 0.48 | 0.975 | 0.975 | 0.976 | 0.977 | 0.977 | 0.978 | 0.978 | 0.979 | 0.979 | 0.980 | 0.981 | 0.982 | 0.983 | 0.984 | 0.985 | 0.986 |
| 0.49 | 0.972 | 0.972 | 0.973 | 0.973 | 0.974 | 0.974 | 0.975 | 0.976 | 0.976 | 0.977 | 0.978 | 0.979 | 0.980 | 0.981 | 0.982 | 0.984 |
| 0.50 | 0.968 | 0.969 | 0.969 | 0.970 | 0.971 | 0.971 | 0.972 | 0.972 | 0.973 | 0.974 | 0.975 | 0.976 | 0.977 | 0.978 | 0.979 | 0.981 |
| 0.51 | 0.965 | 0.965 | 0.966 | 0.967 | 0.967 | 0.968 | 0.969 | 0.969 | 0.970 | 0.971 | 0.972 | 0.973 | 0.974 | 0.975 | 0.976 | 0.978 |
| 0.52 | 0.961 | 0.962 | 0.962 | 0.963 | 0.964 | 0.965 | 0.965 | 0.966 | 0.967 | 0.967 | 0.968 | 0.969 | 0.971 | 0.972 | 0.973 | 0.975 |
| 0.53 | 0.958 | 0.958 | 0.959 | 0.960 | 0.960 | 0.961 | 0.962 | 0.962 | 0.963 | 0.964 | 0.965 | 0.966 | 0.967 | 0.969 | 0.970 | 0.972 |
| 0.54 | 0.954 | 0.954 | 0.955 | 0.956 | 0.957 | 0.957 | 0.958 | 0.959 | 0.960 | 0.961 | 0.962 | 0.963 | 0.964 | 0.965 | 0.967 | 0.968 |
| 0.55 | 0.950 | 0.951 | 0.951 | 0.953 | 0.953 | 0.954 | 0.954 | 0.955 | 0.956 | 0.957 | 0.958 | 0.959 | 0.961 | 0.962 | 0.963 | 0.965 |
| 0.56 | 0.946 | 0.947 | 0.948 | 0.949 | 0.949 | 0.950 | 0.951 | 0.952 | 0.952 | 0.953 | 0.954 | 0.956 | 0.957 | 0.958 | 0.960 | 0.962 |
| 0.57 | 0.942 | 0.943 | 0.944 | 0.945 | 0.945 | 0.946 | 0.947 | 0.948 | 0.949 | 0.950 | 0.951 | 0.952 | 0.953 | 0.955 | 0.956 | 0.959 |
| 0.58 | 0.938 | 0.939 | 0.940 | 0.941 | 0.941 | 0.942 | 0.943 | 0.944 | 0.945 | 0.946 | 0.947 | 0.948 | 0.950 | 0.951 | 0.953 | 0.955 |
| 0.59 | 0.934 | 0.934 | 0.935 | 0.937 | 0.937 | 0.938 | 0.939 | 0.940 | 0.941 | 0.942 | 0.943 | 0.944 | 0.946 | 0.947 | 0.949 | 0.951 |
| 0.60 | 0.929 | 0.930 | 0.931 | 0.932 | 0.933 | 0.934 | 0.935 | 0.936 | 0.937 | 0.938 | 0.939 | 0.940 | 0.942 | 0.943 | 0.945 | 0.947 |

续表

| $h_d/h_e$ \ $Y_2$ | 0.050 | 0.100 | 0.150 | 0.200 | 0.220 | 0.240 | 0.260 | 0.280 | 0.300 | 0.320 | 0.340 | 0.360 | 0.380 | 0.400 | 0.420 | 0.440 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.61 | 0.925 | 0.926 | 0.927 | 0.928 | 0.929 | 0.929 | 0.930 | 0.931 | 0.932 | 0.934 | 0.935 | 0.936 | 0.938 | 0.939 | 0.941 | 0.943 |
| 0.62 | 0.920 | 0.921 | 0.922 | 0.923 | 0.924 | 0.925 | 0.926 | 0.927 | 0.928 | 0.929 | 0.931 | 0.932 | 0.934 | 0.935 | 0.937 | 0.939 |
| 0.63 | 0.916 | 0.916 | 0.917 | 0.919 | 0.920 | 0.920 | 0.921 | 0.922 | 0.923 | 0.925 | 0.926 | 0.928 | 0.929 | 0.931 | 0.933 | 0.935 |
| 0.64 | 0.911 | 0.911 | 0.912 | 0.914 | 0.915 | 0.916 | 0.917 | 0.918 | 0.919 | 0.920 | 0.922 | 0.923 | 0.925 | 0.927 | 0.929 | 0.931 |
| 0.65 | 0.905 | 0.906 | 0.907 | 0.909 | 0.910 | 0.911 | 0.912 | 0.913 | 0.914 | 0.915 | 0.917 | 0.918 | 0.920 | 0.922 | 0.924 | 0.927 |
| 0.66 | 0.900 | 0.901 | 0.902 | 0.904 | 0.905 | 0.906 | 0.907 | 0.908 | 0.909 | 0.910 | 0.912 | 0.914 | 0.915 | 0.917 | 0.920 | 0.922 |
| 0.67 | 0.895 | 0.895 | 0.897 | 0.898 | 0.899 | 0.900 | 0.901 | 0.903 | 0.904 | 0.905 | 0.907 | 0.909 | 0.911 | 0.913 | 0.915 | 0.917 |
| 0.68 | 0.889 | 0.890 | 0.891 | 0.893 | 0.894 | 0.895 | 0.896 | 0.897 | 0.899 | 0.900 | 0.902 | 0.903 | 0.905 | 0.909 | 0.910 | 0.912 |
| 0.69 | 0.883 | 0.884 | 0.889 | 0.887 | 0.888 | 0.889 | 0.890 | 0.892 | 0.893 | 0.895 | 0.896 | 0.898 | 0.900 | 0.902 | 0.905 | 0.907 |
| 0.70 | 0.877 | 0.878 | 0.879 | 0.881 | 0.882 | 0.883 | 0.885 | 0.886 | 0.887 | 0.889 | 0.891 | 0.893 | 0.895 | 0.897 | 0.899 | 0.902 |
| 0.71 | 0.871 | 0.872 | 0.873 | 0.875 | 0.876 | 0.877 | 0.878 | 0.880 | 0.881 | 0.883 | 0.885 | 0.887 | 0.889 | 0.891 | 0.894 | 0.897 |
| 0.72 | 0.864 | 0.865 | 0.867 | 0.869 | 0.870 | 0.871 | 0.872 | 0.874 | 0.875 | 0.877 | 0.879 | 0.881 | 0.883 | 0.886 | 0.888 | 0.891 |
| 0.73 | 0.857 | 0.858 | 0.860 | 0.862 | 0.863 | 0.864 | 0.866 | 0.867 | 0.869 | 0.871 | 0.873 | 0.875 | 0.877 | 0.880 | 0.882 | 0.885 |
| 0.74 | 0.850 | 0.851 | 0.853 | 0.855 | 0.856 | 0.857 | 0.859 | 0.860 | 0.862 | 0.864 | 0.866 | 0.868 | 0.871 | 0.873 | 0.876 | 0.879 |
| 0.75 | 0.843 | 0.844 | 0.845 | 0.848 | 0.849 | 0.850 | 0.852 | 0.853 | 0.855 | 0.857 | 0.859 | 0.861 | 0.864 | 0.867 | 0.870 | 0.873 |
| 0.76 | 0.835 | 0.836 | 0.837 | 0.840 | 0.841 | 0.843 | 0.844 | 0.846 | 0.848 | 0.850 | 0.852 | 0.854 | 0.857 | 0.860 | 0.863 | 0.866 |
| 0.77 | 0.826 | 0.827 | 0.829 | 0.832 | 0.833 | 0.835 | 0.836 | 0.838 | 0.840 | 0.842 | 0.844 | 0.847 | 0.849 | 0.852 | 0.856 | 0.859 |
| 0.78 | 0.818 | 0.819 | 0.821 | 0.823 | 0.825 | 0.826 | 0.828 | 0.830 | 0.832 | 0.834 | 0.836 | 0.839 | 0.842 | 0.845 | 0.848 | 0.852 |
| 0.79 | 0.808 | 0.810 | 0.812 | 0.814 | 0.816 | 0.817 | 0.819 | 0.821 | 0.823 | 0.825 | 0.828 | 0.831 | 0.834 | 0.837 | 0.840 | 0.844 |
| 0.80 | 0.799 | 0.800 | 0.802 | 0.805 | 0.806 | 0.808 | 0.810 | 0.812 | 0.814 | 0.816 | 0.819 | 0.822 | 0.825 | 0.828 | 0.832 | 0.836 |
| 0.81 | 0.788 | 0.789 | 0.792 | 0.795 | 0.796 | 0.798 | 0.800 | 0.802 | 0.804 | 0.807 | 0.810 | 0.813 | 0.816 | 0.819 | 0.823 | 0.827 |
| 0.82 | 0.777 | 0.778 | 0.781 | 0.784 | 0.786 | 0.788 | 0.790 | 0.792 | 0.794 | 0.797 | 0.800 | 0.803 | 0.806 | 0.810 | 0.814 | 0.818 |
| 0.83 | 0.765 | 0.766 | 0.769 | 0.772 | 0.774 | 0.776 | 0.778 | 0.781 | 0.783 | 0.786 | 0.789 | 0.792 | 0.796 | 0.799 | 0.804 | 0.808 |
| 0.84 | 0.752 | 0.754 | 0.756 | 0.760 | 0.762 | 0.764 | 0.765 | 0.768 | 0.771 | 0.774 | 0.777 | 0.781 | 0.784 | 0.788 | 0.793 | 0.797 |
| 0.85 | 0.738 | 0.739 | 0.742 | 0.746 | 0.748 | 0.750 | 0.753 | 0.755 | 0.758 | 0.761 | 0.765 | 0.768 | 0.772 | 0.776 | 0.781 | 0.786 |
| 0.86 | 0.722 | 0.724 | 0.727 | 0.731 | 0.733 | 0.736 | 0.738 | 0.741 | 0.744 | 0.747 | 0.751 | 0.755 | 0.759 | 0.763 | 0.768 | 0.773 |
| 0.87 | 0.705 | 0.707 | 0.710 | 0.715 | 0.717 | 0.719 | 0.722 | 0.725 | 0.728 | 0.732 | 0.736 | 0.740 | 0.744 | 0.749 | 0.754 | 0.760 |
| 0.88 | 0.685 | 0.687 | 0.691 | 0.696 | 0.698 | 0.701 | 0.704 | 0.707 | 0.711 | 0.714 | 0.719 | 0.723 | 0.728 | 0.733 | 0.738 | 0.745 |
| 0.89 | 0.662 | 0.665 | 0.669 | 0.674 | 0.677 | 0.680 | 0.683 | 0.687 | 0.690 | 0.695 | 0.699 | 0.704 | 0.709 | 0.715 | 0.721 | 0.727 |
| 0.90 | 0.635 | 0.638 | 0.642 | 0.649 | 0.652 | 0.655 | 0.659 | 0.662 | 0.657 | 0.671 | 0.676 | 0.682 | 0.688 | 0.694 | 0.700 | 0.708 |
| 0.91 | 0.602 | 0.605 | 0.610 | 0.617 | 0.620 | 0.624 | 0.628 | 0.633 | 0.638 | 0.643 | 0.649 | 0.655 | 0.662 | 0.669 | 0.676 | 0.684 |
| 0.92 | 0.556 | 0.560 | 0.566 | 0.575 | 0.579 | 0.584 | 0.589 | 0.595 | 0.600 | 0.607 | 0.614 | 0.621 | 0.629 | 0.637 | 0.646 | 0.655 |
| 0.93 | 0.483 | 0.488 | 0.497 | 0.510 | 0.516 | 0.522 | 0.529 | 0.537 | 0.545 | 0.553 | 0.563 | 0.572 | 0.582 | 0.593 | 0.604 | 0.615 |

表中，

$$Y_2 = (C_D C_S m h^2)/b(P+h) \qquad (5.2.4-7)$$

**第 5.2.5 条**　矩形河渠中平坦 $V$ 形堰自由出流流量计算的步骤如下：

一、由表 5.2.3 查出有效流量系数（$C_{P_e}$）和水头改正数（$K_h$），用式(5.2.4－2) 计算流量系数（$C_D$），由式(5.2..2.4－5) 计算形状系数（$C_S$），然后代入式(5.2.4－4) 计算参数 $Y_1$。

二、将 $Y_1$ 代入式(5.2.4－3) 计算行近流速系数（$C_V$）。

三、当 $Y_1 < 0.08$ 时，将 $C_D$、$C_S$ 及 $C_V$ 值直接代入式(5.2.4－1) 计算流量（$Q$）。

四、当 $Y_1 \geqslant 0.08$ 时，用 $H_e = C_V^{0.4} h_e$ 的关系求出有效总水头（$H_e$）的近似值，然后以 $\frac{H_e}{P_V}$ 代替 $\frac{h_e}{P_V}$，仍由式(5.2.4－5) 算出形状系数（$C_S$）值，将所求出的 $C_D$、$C_V$ 和 $C_S$ 值代入式(5.2.4－1) 计算流量（$Q$）。

**第 5.2.6 条**　矩形河槽中平坦 $V$ 形堰淹没出流流量计算方法的步骤如下：

一、查表5.2.3确定有效流量系数（$C_{D_e}$），并用式(5.2.4－2) 计算流量系数（$C_D$），然后计算比值 $\frac{h_e}{P_V}$，由式(5.2.4－5) 计算形状系数（$C_S$），再用式(5.2.4－7) 计算参数 $Y_2$。

二、当 $Y_2 \leqslant 0.44$ 时，查表5.2.4确定淹没系数（$f$），将其代入式(5.2.4－4) 计算参数 $Y_1$，再将 $Y_1$ 代入式(5.2.4－3) 计算行近流速系数（$C_V$）。最后，将各系数值代入式(5.2.4－1) 算出流量（$Q$）值。

三、当 $Y_2 > 0.44$，且比值 $\frac{h_{P_e}}{h_e} < 0.9$ 时，淹没系数($f$)可用下述方法计算：

1.当 $\frac{h_{P_e}}{h_e} < 0.55$ 时，$f = 1.00$；

当 $0.55 \leqslant \frac{h_{P_e}}{h_e} < 0.70$ 时，$f = 0.90$；

当 $0.70 \leqslant \frac{h_{P_e}}{h_e} < 0.85$ 时，$f = 0.80$；

当 $0.85 \leqslant \frac{h_{P_e}}{h_e} < 0.90$ 时，$f = 0.75$。

2.根据 $\frac{h_{P_e}}{h_e}$ 值初步确定$f$后，代入式(5.2.4—4)算出 $Y_1$，将 $Y_1$ 代入式(5.2.4—3)算出行近流速系数($C_V$)，再用 $H_e = C_V^{0.4} h_e$ 算出有效总水头($H_e$)近似值。

3.将 $H_e$ 代入式(5.2.4—6)即可算出 $f$。

4.将上述各系数值代入式(5.2.4—1)算出 $Q$ 值。

四、当比值 $\frac{h_{P_e}}{h_e} > 0.9$，且参数 $Y_2 > 0.44$ 时，需用总水头公式，用逐步逼近法计算流量($Q$)。

**第 5.2.7 条** 梯形槽中平坦 V 形堰(V 形堰口 $P_V$ 以上用梯形断面衔接)的流量计算公式为

$$Q = 0.8\sqrt{g} C_D C_S f m H^{5/2} \tag{5.2.7}$$

式中，$C_S = 1 - \left(1 - \frac{m_a}{m}\right)\left(1 - \frac{P_V}{H}\right)^{5/2}$；

$m_a$——梯形断面边坡系数[1(垂直)：$m_a$(水平)]。

式(5.2.7)需用逐步逼近法求解。

**第 5.2.8 条** 梯形河槽平坦 $V$ 形堰的流量系数($C_D$)，当 $m = 1:20$ 时，可按梯形断面的边坡系数和相对水头值从表 5.2.8—1 中直接查得。

当 $\frac{h_p}{H} > 0.29$ 时，为淹没流。不同 $\frac{h_p}{H}$ 值的淹没系数见表 5.2.8—2。

**表 5.2.8—1 梯形槽平坦 V 形堰流量系数 $C_D$ 查算表**

| $\frac{H}{P_V}\left(\frac{h}{P_V}\right)$ | 边坡系数($m_a$) | | |
|---|---|---|---|
| | 1.732(30°) | 1.0(45°) | 0.571(60°) |
| $\frac{H}{P_V} \leqslant 1.0$ | 0.580 | 0.585 | 0.590 |
| $1.0 < \frac{H}{P_V} \leqslant 2.0$ | 0.590 | 0.595 | 0.600 |
| $2.0 < \frac{H}{P_V} \leqslant 4.0$ | 0.605 | 0.610 | 0.615 |
| $4.0 < \frac{H}{P_V} \leqslant 6.0$ | 0.600 | 0.600 | 0.600 |

表 5.2.8－2 不同$\frac{h_p}{H}$值的淹没系数表

| $\frac{h_p}{H}$ | 0.25 | 0.29 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f$ | 1.000 | 0.990 | 0.987 | 0.976 | 0.965 | 0.954 | 0.938 | 0.921 |
| $\frac{h_p}{H}$ | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.93 |
| $f$ | 0.900 | 0.874 | 0.842 | 0.803 | 0.753 | 0.690 | 0.600 | 0.525 |

**第 5.2.9 条** 矩形河渠中建造的平坦 V 形堰，其流量系数的系统不确定度见表 5.2.3，随机不确定度可采用±0.5%，行近流速系数（$C_V$）和淹没系数（$f$）的随机不确定度均可忽略不计。其系统不确定变，分别按下式计算：

$$X'_{C_v}=\pm 6\frac{h^2}{b(P+h)}(\%) \qquad (5.2.9-1)$$

$$X'_f=\pm 5(1-f)[1+(X'_h)^2+(X'_{h_p})^2]^{1/2}(\%) \qquad (5.2.9-2)$$

形状系数（$C_S$）的随机不确定度和系统不确定度均可忽略不计。

梯形河渠中建造的平坦 $V$ 形堰，流量系统随机不确定度取±2.0%，系统不确定度取±1.0%，$C_VC_S$ 的系统不确定度可按式(5.2.9－1) 计算。

# 第六章 长喉道槽

## 第一节 一般规定

**第 6.1.1 条** 长喉道槽的收缩段要有足够的长度，以保证能产生平行水流。喉道收缩断面与行近河槽断面应有一个适当的比率，这个比率，对矩形槽不大于 0.7，对梯形槽不大于 0.5。

**第 6.1.2 条** 长喉道槽仅限于在自由流条件下应用，设计前必须确定下游河槽的水位流量关系，可参照河道特性用曼宁公式近似估算。

**第 6.1.3 条** 喉道段及喉道上下游各 0.5 $h_{max}$ 的范围内应保持良好的光洁度。各项安装尺寸的允许误差除应符合第二章的有关规定外，喉道内底的纵横坡度和斜面坡度的偏差不应超过该坡度平均值的±0.1%。进口和出口渐变段水平表面的偏差分别不超过喉道长度的±0.1%和±0.3%。其它竖直或倾斜表面的偏差，不应超过其平均值的±1.0%。

## 第二节 矩形长喉道槽

**第 6.2.1 条** 只有侧收缩（无底坎）和既有侧收缩又有底收缩的矩形长喉道槽，其结构安装形式见图 6.2.1—1。无底坎的测流槽宜修建在含沙量较大的河道上或排污渠道上。当河渠纵坡小于 2‰时，宜采用既有侧收缩又有底收缩的驼峰槽，见图 6.2.1—2。

**第 6.2.2 条** 矩形长喉道槽的喉道长度（$L$）应大于 2.5 $h_{max}$。喉道内底以上的上游总水头应为下游总水头的 1.25 倍。当尾水位足够低，能够保证在任何情况下都是自由出流时，可将出口渐变段截短，但截短后的上游总水头应保证至少为下游总水头的 1.33 倍。

**第 6.2.3 条** 当进口渐变段的边墙和底板采用曲线形时，边墙的曲率半径 $R_1 \geqslant 2(B-b)$，底板的曲率半径 $R_2 \geqslant 4P$（$P$ 为驼峰高或坎高）。

由进口渐变段入口至上游水头观测断面，并向上游延伸至少 2 倍最大水头范围的内底，均应保持水平，且不能高于喉道内底。

**第 6.2.4 条** 下游出口渐变段，通常可做成呈 1∶6[1(垂直水流方向)∶6(顺水流方向)]扩散的竖直边墙，两岸呈对称布置，其水平长度 $L_2 \geqslant 3(B-b)$。

当下游水头回升，能使淹没度大于 80% 时，应选择有底收缩的测流槽。当喉道底槛以上的设计下游水深与上游水深之比小于 0.5 时，下游可能发生水跃，这时需采用消能措施，以防冲刷。

**第 6.2.5 条** 用实测水头（$h$）计算流量的公式为

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}\sqrt{g}\, C_D C_V b h^{3/2} \qquad (6.2.5-1)$$

式中，

$$C_D = \left(1-\frac{0.006L}{b}\right)\left(1-\frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \qquad (6.2.5-2)$$

$C_V$ 从表 6.2.5 中查得。

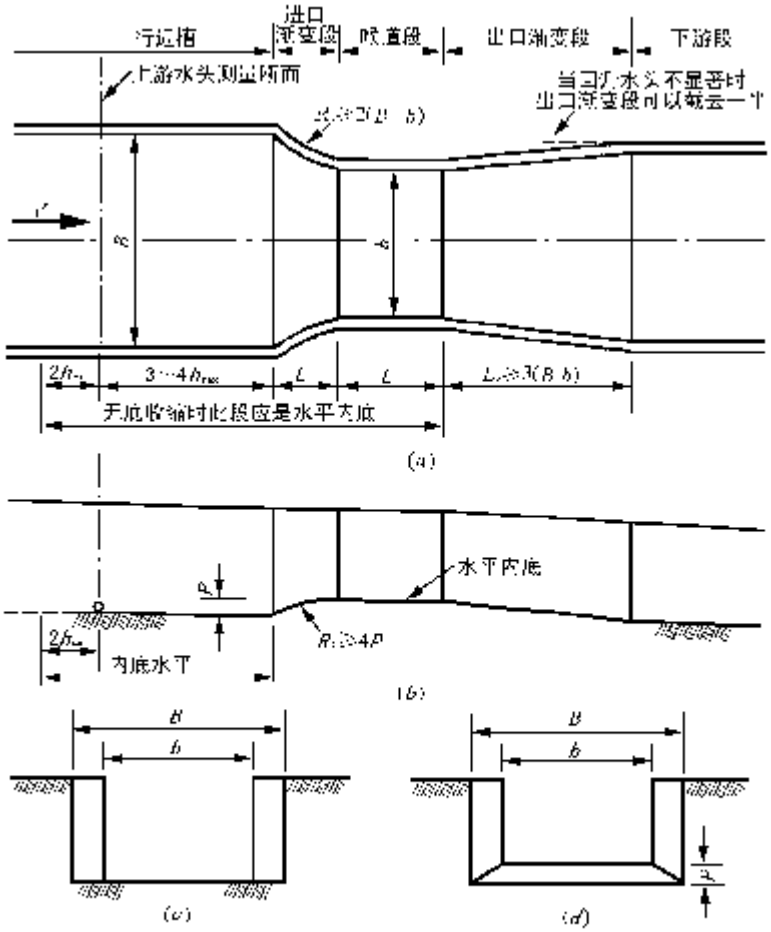



图6.2.1-1 矩形长喉道槽图

(a)平面图；(b)纵剖面图；(c)前视图(水平内底)；(d)前视图(具有底收缩)

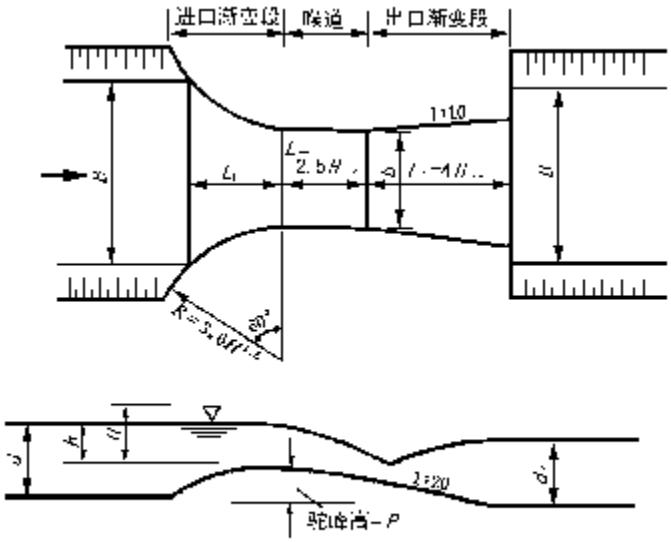



图6.2.1-2 矩形喉道驼峰槽图

表 6.2.5 矩形长喉道槽行近流速系数($C_V$)表

| $\frac{b}{B}$ | $\frac{h}{h+P}C_D$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 |
| 0.10 | 1.0022 | 1.0018 | 1.0014 | 1.0011 | 1.0008 | 1.0006 | 1.0004 | 1.0002 | 1.0001 |
| 0.15 | 1.0051 | 1.0041 | 1.0032 | 1.0025 | 1.0018 | 1.0013 | 1.0008 | 1.0005 | 1.0002 |
| 0.20 | 1.0091 | 1.0073 | 1.0058 | 1.0044 | 1.0032 | 1.0022 | 1.0014 | 1.0008 | 1.0004 |
| 0.25 | 1.0143 | 1.0115 | 1.0091 | 1.0069 | 1.0051 | 1.0035 | 1.0022 | 1.0013 | 1.0006 |
| 0.30 | 1.0209 | 1.0168 | 1.0132 | 1.0100 | 1.0073 | 1.0051 | 1.0032 | 1.0018 | 1.0008 |
| 0.35 | 1.0290 | 1.0232 | 1.0181 | 1.0137 | 1.0100 | 1.0069 | 1.0044 | 1.0025 | 1.0011 |
| 0.40 | 1.0386 | 1.0308 | 1.0240 | 1.0181 | 1.0132 | 1.0091 | 1.0058 | 1.0032 | 1.0014 |
| 0.45 | 1.0500 | 1.0397 | 1.0308 | 1.0232 | 1.0168 | 1.0115 | 1.0073 | 1.0041 | 1.0018 |
| 0.50 | 1.0635 | 1.0500 | 1.0386 | 1.0290 | 1.0209 | 1.0143 | 1.0091 | 1.0051 | 1.0022 |
| 0.55 | 1.0793 | 1.0620 | 1.0476 | 1.0357 | 1.0255 | 1.0175 | 1.0110 | 1.0061 | 1.0027 |
| 0.60 | 1.0980 | 1.0760 | 1.0579 | 1.0429 | 1.0308 | 1.0209 | 1.0132 | 1.0073 | 1.0032 |
| 0.65 | 1.1203 | 1.0921 | 1.0695 | 1.0513 | 1.0367 | 1.0248 | 1.0156 | 1.0086 | 1.0038 |
| 0.70 | 1.1465 | 1.1108 | 1.0829 | 1.0606 | 1.0429 | 1.0290 | 1.0181 | 1.0100 | 1.0044 |
| 0.75 | | 1.1327 | 1.0980 | 1.0711 | 1.0500 | 1.0336 | 1.0209 | 1.0115 | 1.0051 |
| 0.80 | | | 1.1153 | 1.0829 | 1.0579 | 1.0386 | 1.0240 | 1.0132 | 1.0058 |
| 0.85 | | | 1.1353 | 1.0960 | 1.0664 | 1.0441 | 1.0272 | 1.0149 | 1.0065 |
| 0.90 | | | | 1.1108 | 1.0760 | 1.0500 | 1.0308 | 1.0168 | 1.0073 |
| 0.95 | | | | 1.1275 | 1.0864 | 1.0564 | 1.0346 | 1.0188 | 1.0082 |
| 1.00 | | | | 1.1465 | 1.0980 | 1.0635 | 1.0386 | 1.0209 | 1.0091 |

注 表中有效数字仅供内插和分析用。

**第 6.2.6 条** 式(6.2.5—1)的应用限制条件为：

一、$h$ 既应大于 0.05m，也应大于 0.05L；

二、$b>0.10$m；

三、$\frac{h}{b}<3.0$；

四、$h<2.0$m；

五、$\frac{h}{L}<0.50(\frac{h_{max}}{L}$ 最大允许达到 0.67，但要增加 2% 的流量系数不确定度)。

**第 6.2.7 条** 流速、流量组合系数($C$)的不确定度，按下式计算：

$$X_C=\pm[1+20(C_V-C_D)](\%) \tag{6.2.7}$$

## 第三节 梯形长喉道槽

**第 6.3.1 条** 梯形长喉道槽的结构安装形式见图 6.3.1。喉道内底水平。进口渐变段的边坡可做成平面或曲面。采用平面时，边墙的收缩比不应大于 1:3。采用曲面时，水流应能保持良好的流线型，曲线终点应与喉道侧墙的平面相切。

**第 6.3.2 条** 非淹没限与出口渐变段边墙的扩散比有关，小于非淹没限的均属自由出流。不同扩散比的非淹没限见表 6.3.2。

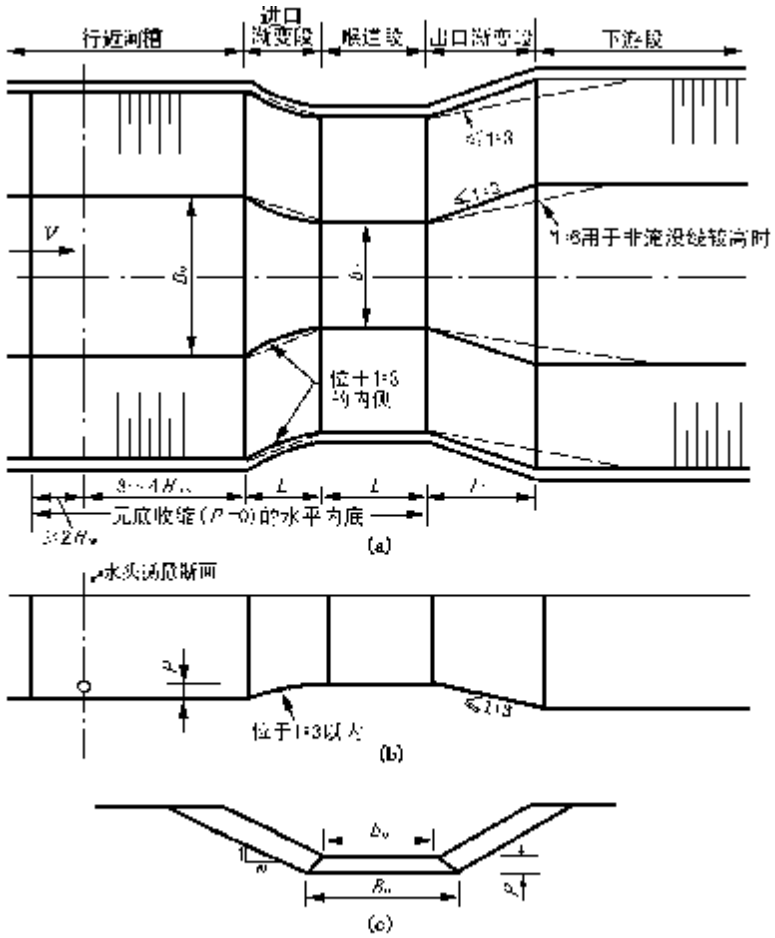



图6.3.1 梯形长喉道槽

(a)平面图；(b)从剖面图；(c)前视图

表 6.3.2 不同扩散比的非淹没限表

| 扩散比 | 非淹没限 $\frac{H_L}{H}\left(\frac{h_L}{h}\right)$ |
|---|---|
| 1∶20 | 0.90 |
| 1∶10 | 0.83 |
| 1∶6 | 0.80 |
| 1∶3 | 0.74 |

**第 6.3.3 条** 梯形长喉道槽的底宽($b_0$)和边坡($m$)的确定有相当大的灵活性，设计时，应根据设计要求和拟建地点的天然水位流量关系进行比较后选定最适合的断面，以保证任何情况下均为自由流。

**第 6.3.4 条** 梯形长喉道槽的流量计算式为

$$Q=\left\{\frac{2}{3}\right\}^{3/2}\sqrt{g}C_DC_VC_Sb_0h^{3/2} \qquad (6.3.4-1)$$

式中：

一、流量系数($C_D$)。

$$C_D=\left\{1-0.006\eta\frac{L}{b_0}\right\}\left\{1-0.003\frac{L}{h}\right\}^{3/2} \qquad (6.3.4-2)$$

$\eta=\sqrt{1+m^2}-m$；

$b_0$——喉道底宽。

二、行近流速系数($C_V$)查图 6.3.4—1 确定。

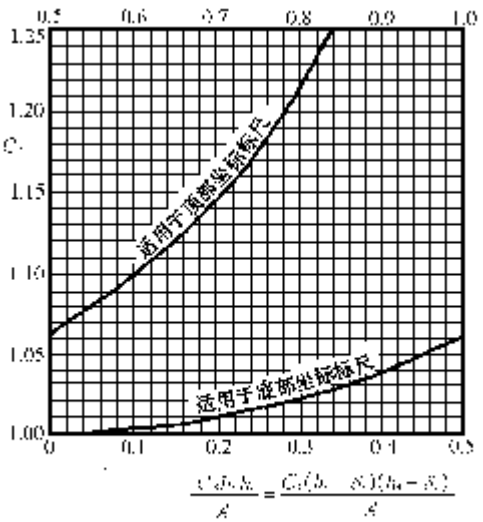



图6.3.4-1 梯形长喉道槽流速系数$C_V$查算图

水头观测断面处的过水面积 $A=(h+P)[B_0+m_a(h+P)]$。

图中，边界层位移厚度 $\delta_*=0.003L$。

式中 $m_a$——梯形断面的边坡系数(垂直为 1，水平为 $m_a$)；

$B_0$——行近河槽水头观测断面底宽。

三、形状系数($C_S$)从图 6.3.4—2 中查得。

图中，$H_{C_e}$ 为临界断面有效总水头，

$$H_{C_e} = H_C - \delta_*$$

$b_e$ 为喉道断面有效底宽，

$$b_e = b_0 - 2\delta_*$$

$mH_{C_e}$ 值可从下式计算得出：

$$\frac{mH_{C_e}}{b_e} = \left(\frac{mh_e}{b_e}\right) C_V^{2/3} \qquad (6.3.4-3)$$

**第 6.3.5 条** 流量按下列步骤列表计算。

一、将水头（$h$）、喉道边坡系数（$m$）、底宽（$b_0$）、长度（$L$）、坎高（$P$）和行近河槽水头观测处的边坡系数（$m_a$）及底宽（$B_e$）的数值列出。

二、计算水头观测处的过水断面面积（$A$）。

三、用式(6.3.4—2)计算流量系数（$C_D$）。

四、第一次逼近：

1.假定 $C_V = 1$，用式(6.3.4—3)计算比值 $mH_{C_e}/b_e$，从图 6.3.4—2 查出形状系数（$C_S$）的初始值（$C_{S1}$）。

2.假定 $h_e = h$、$b_e = b_0$，计算 $C_{S1} b_0 h/A$，查图 6.3.4—1 得 $C_1$ 的第一次近似值（$C_{V1}$）。

3.将 $C_D$、$C_{S1}$ 和 $C_{V1}$ 代入式(6.3.4—1)算出流量的初始值（$Q_1$）。

五、第二次逼近：

1.将 $C_{V1}$ 值代入式(6.3.4—3)算出比值 $mH_{C_e}/b_e$，查图 6.3.4—2 得 $C_{S2}$ 值。

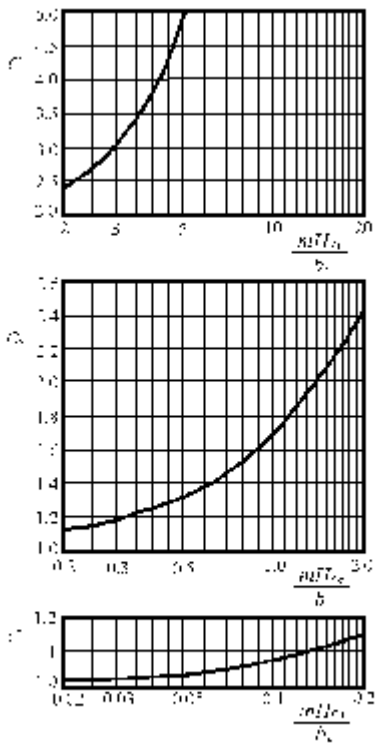


图6.3.4-2 梯形长喉道槽形状系数$C_s$查算图

2.计算 $C_{S2}h_eb_e/A$，查图 6.3.4－1 得行近流速系数的第二次近似值($C_{V2}$)。\；3.将 $C_{V2}$、$C_{S2}$ 和 $C_D$ 值代入式(6.3.4－1) 算得流量的第二次近似值($Q_2$)。

六、重复进行以上步骤，直至算得的流量与前次流量之差在允许误差范围内为止。

**第 6.3.6 条** 梯形长喉道槽流量计算公式的应用限制条件同矩形长喉道槽。流速、流量组合系数(C) 的不确定度($X_C$)，同样可按式(6.2.7) 估算。

# 第七章 短喉道槽

## 第一节 巴歇尔槽

**第 7.1.1 条** 巴歇尔槽的喉道断面为矩形。各部位的几何尺寸及符号的代表意义见图 7.1.1。

进口收缩段($L_1$)要求底面严格水平，两侧边墙与底面垂直且与轴线成1∶5的比值收缩。喉道段(L) 的两侧边墙互相平行，底坡向下游倾斜，坡度为 3∶8。出口扩散段($L_2$) 的两侧翼墙与底面垂直，且与槽轴线对称，扩散比为 1∶6。出口段底面向上游倾斜呈 1∶6 的逆坡。进口收缩段与行近河槽及出口扩散段与下游河槽相连接处，均应建垂直翼墙($L_3$ 和 $L_4$)，其夹角可做成 45°，也可做成半径为 $2h_{max}$ 的圆弧形。对喉道宽小于 0.5 $m$ 的测流槽，其翼墙也可与槽轴线成直角布置。

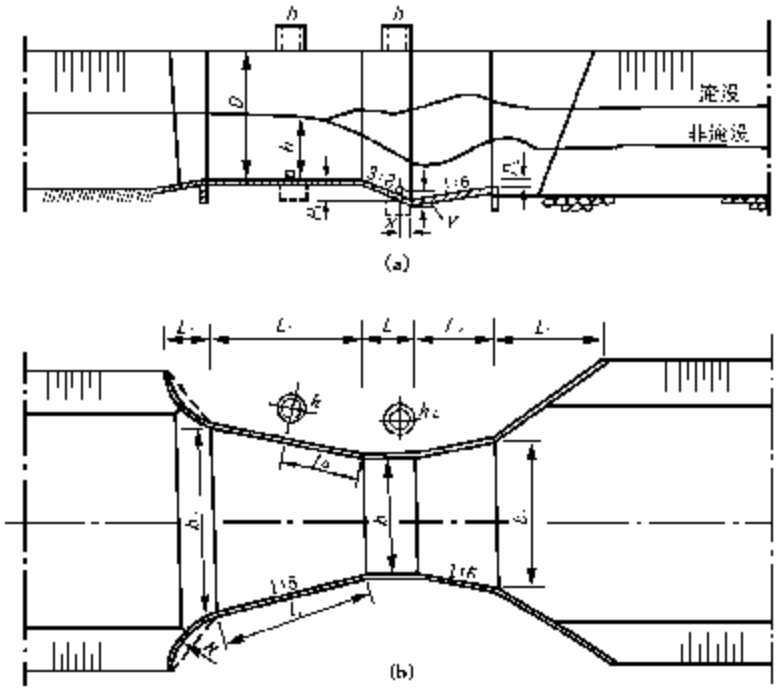



图 7.1.1 巴歇尔槽布置图
(a) 立面；(b) 平面

**第 7.1.2 条** 进口收缩段上游应有长度不小于 5 倍河宽的行近河槽，水流的弗汝德数(Fr) 一般不应超过 0.5。对测流精度要求不高的情况，也不应超过 0.7。

**第 7.1.3 条** 在有充分水头可以利用，能保证自由出流的情况下，可从堰顶处截短，不建喉道

和出口扩散段，但在进口的下游应有不小于0.2m的跌水，且应建消能装置。

**第7.1.4条** 巴歇尔槽各部位尺寸安装的允许偏差，除应符合第二章有关规定外，还应符合下列要求：

一、喉道底面纵横向平均坡度的允许偏差为±0.1%；

二、上游进口渐变段长度的偏差为喉道长度($L$)的±0.1%；

三、下游出口渐变段长度的偏差为喉道长度($L$)的±0.3%；

四、其它垂直和倾斜面上的平面或曲线偏差为±1%。

**第7.1.5条** 设计的喉道宽($b$)一般宜为行近河槽宽的$\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$。在有泥沙输移的情况下，槽底宜与进口收缩段齐平。如只允许在自由流状态下运行，可以适当增高进口段的底部高程。

**第7.1.6条** 巴歇尔槽包括21个标准系列槽，在设计安装时，不能随意改变给定的标准尺寸，也不能舍零取整。其各部位尺寸见表7.1.6－1和表7.1.6－2。

**第7.1.7条** 不同喉道宽(b)的标准槽和大型槽的自由流流量计算公式、水头应用范围和非淹没限等见表7.1.7－1和表7.1.7－2。

**表7.1.6—1 标准槽各部位尺寸表** （单位：m）

| 序号 | 喉宽 | | | | | 进口段 | | | | 出口段 | | | 翼墙高 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 喉道 $b$ | 喉长 $L$ | 下游进水管口位置坐标 $X$ | 下游进水管口位置坐标 $Y$ | 堰高 $P$ | 进口宽 $b_u$ | 进口长 $L_1$ | 翼墙斜长 $l_1$ | 测井至堰顶距离 $l_a$ | 出口宽 $b_L$ | 出口长 $L_2$ | 堰顶至逆坡顶高差 $P_L$ | $D$ |
| 1 | 0.152 | 0.305 | 0.05 | 0.075 | 0.115 | 0.40 | 0.610 | 0.620 | 0.415 | 0.39 | 0.61 | 0.08 | 0.60 |
| 2 | 0.25 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 0.78 | 1.325 | 1.350 | 0.900 | 0.55 | 0.92 | 0.08 | 0.80 |
| 3 | 0.30 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 0.84 | 1.350 | 1.380 | 0.920 | 0.60 | 0.92 | 0.08 | 0.95 |
| 4 | 0.45 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 1.02 | 1.425 | 1.450 | 0.967 | 0.75 | 0.92 | 0.08 | 0.95 |
| 5 | 0.60 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 1.20 | 1.500 | 1.530 | 1.020 | 0.90 | 0.92 | 0.08 | 0.95 |
| 6 | 0.75 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 1.38 | 1.575 | 1.610 | 1.074 | 1.05 | 0.92 | 0.08 | 0.95 |
| 7 | 0.90 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 1.56 | 1.650 | 1.680 | 1.121 | 1.20 | 0.92 | 0.08 | 0.95 |
| 8 | 1.00 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 1.68 | 1.705 | 1.730 | 1.161 | 1.30 | 0.92 | 0.08 | 1.00 |
| 9 | 1.20 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 1.92 | 1.800 | 1.840 | 1.227 | 1.50 | 0.92 | 0.08 | 1.00 |
| 10 | 1.50 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 2.28 | 1.950 | 1.993 | 1.329 | 1.80 | 0.92 | 0.08 | 1.00 |
| 11 | 1.80 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 2.64 | 2.100 | 2.140 | 1.427 | 2.10 | 0.92 | 0.08 | 1.00 |
| 12 | 2.10 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 3.00 | 2.250 | 2.300 | 1.534 | 2.40 | 0.92 | 0.08 | 1.00 |
| 13 | 2.40 | 0.60 | 0.05 | 0.075 | 0.23 | 3.36 | 2.400 | 2.453 | 1.636 | 2.70 | 0.92 | 0.08 | 1.00 |

**表7.1.6—2 大型槽各部位尺寸表** （单位：m）

| 序号 | 喉道 | | | | | 进口段 | | | 出口段 | | | 翼墙高 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $b$ | $L$ | $X$ | $Y$ | $P$ | $b_u$ | $L_1$ | $l_a$ | $b_L$ | $L_2$ | $P_L$ | $D$ |
| 14 | 3.05 | 0.91 | 0.305 | 0.23 | 0.343 | 4.76 | 4.27 | 1.83 | 3.66 | 1.83 | 0.152 | 1.22 |
| 15 | 3.66 | 0.91 | 0.305 | 0.23 | 0.343 | 5.61 | 4.88 | 2.03 | 4.47 | 2.44 | 0.152 | 1.52 |
| 16 | 4.57 | 1.22 | 0.305 | 0.23 | 0.457 | 7.62 | 7.62 | 2.34 | 5.59 | 3.05 | 0.029 | 1.83 |
| 17 | 6.10 | 1.83 | 0.305 | 0.23 | 0.686 | 9.14 | 7.62 | 2.84 | 7.32 | 3.66 | 0.305 | 2.13 |
| 18 | 7.62 | 1.83 | 0.305 | 0.23 | 0.686 | 10.67 | 7.62 | 3.45 | 8.94 | 3.96 | 0.305 | 2.13 |
| 19 | 9.14 | 1.83 | 0.305 | 0.23 | 0.686 | 12.31 | 7.93 | 3.86 | 10.57 | 4.27 | 0.305 | 2.13 |
| 20 | 12.19 | 1.83 | 0.305 | 0.23 | 0.686 | 15.48 | 8.23 | 4.88 | 13.82 | 4.88 | 0.305 | 2.13 |
| 21 | 15.24 | 1.83 | 0.305 | 0.23 | 0.686 | 18.53 | 8.23 | 5.89 | 17.27 | 6.10 | 0.305 | 2.13 |

表 7.1.7－1 标准巴歇尔槽自由流流量公式及适用范围表

| 序号 | 喉道宽 $b$ (m) | 自由流流量计算公式 $Q=Ch^{\beta}$ ($m^3/S$) | 水头范围 $h$ (m) | | 流量范围 $Q\times10^{-3}$ ($m^3/S$) | | 非淹没限 $h_L/h$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | |
| 1 | 0.152 | $0.381h^{1.58}$ | 0.03 | 0.45 | 1.5 | 100 | 0.7 |
| 2 | 0.25 | $0.56h^{1.513}$ | 0.03 | 0.60 | 3.0 | 250 | 0.7 |
| 3 | 0.30 | $0.679h^{1.521}$ | 0.03 | 0.75 | 3.5 | 400 | 0.7 |
| 4 | 0.45 | $1.039h^{1.537}$ | 0.03 | 0.75 | 4.5 | 630 | 0.7 |
| 5 | 0.60 | $1.403h^{1.548}$ | 0.05 | 0.75 | 12.5 | 850 | 0.7 |
| 6 | 0.75 | $1.772h^{1.557}$ | 0.06 | 0.75 | 25.0 | 1100 | 0.7 |
| 7 | 0.90 | $2.147h^{1.565}$ | 0.06 | 0.75 | 30.0 | 1250 | 0.7 |
| 8 | 1.00 | $2.397h^{1.569}$ | 0.06 | 0.80 | 30.0 | 1500 | 0.7 |
| 9 | 1.20 | $2.904h^{1.577}$ | 0.06 | 0.80 | 35.0 | 2000 | 0.7 |
| 10 | 1.50 | $3.668h^{1.586}$ | 0.06 | 0.80 | 45.0 | 2500 | 0.7 |
| 11 | 1.80 | $4.440h^{1.593}$ | 0.08 | 0.80 | 80.0 | 3000 | 0.7 |
| 12 | 2.10 | $5.222h^{1.599}$ | 0.08 | 0.80 | 95.0 | 3600 | 0.7 |
| 13 | 2.40 | $6.004h^{1.605}$ | 0.08 | 0.80 | 100.0 | 4000 | 0.7 |

表 7.1.7－2 大型巴歇尔槽自由流流量公式及适用范围表

| 序号 | 喉道宽 $b$ (m) | 自由流流量计算公式 $Q=C_1h^{1.6}$ ($m^3/S$) | 水头范围 $h$ (m) | | 流量范围 ($m^3/S$) | | 非淹没限 $h_L/h$ | 淹没流量修正系数 $K_Q$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 | | |
| 14 | 3.05 | $7.463h^{1.6}$ | 0.09 | 1.07 | 0.16 | 8.28 | 0.8 | 1.0 |
| 15 | 3.66 | $8.859h^{1.6}$ | 0.09 | 1.37 | 0.19 | 14.68 | 0.8 | 1.2 |
| 16 | 4.57 | $10.96h^{1.6}$ | 0.09 | 1.67 | 0.23 | 25.04 | 0.8 | 1.5 |
| 17 | 6.10 | $14.45h^{1.6}$ | 0.09 | 1.83 | 0.31 | 37.97 | 0.8 | 2.0 |
| 18 | 7.62 | $17.94h^{1.6}$ | 0.09 | 1.83 | 0.38 | 47.16 | 0.8 | 2.5 |
| 19 | 9.14 | $21.44h^{1.6}$ | 0.09 | 1.83 | 0.46 | 56.33 | 0.8 | 3.0 |
| 20 | 12.19 | $28.43h^{1.6}$ | 0.09 | 1.83 | 0.60 | 74.70 | 0.8 | 4.0 |
| 21 | 15.24 | $35.41h^{1.6}$ | 0.09 | 1.83 | 0.75 | 93.04 | 0.8 | 5.0 |

**第 7.1.8 条** 淹没流流量($Q_S$)的计算公式为

$$Q_S = Q - \Delta Q \qquad (7.1.8-1)$$

式中 $Q$——自由出流流量，按给定的公式计算；

$\Delta Q$——因淹没而减少的流量改正值。

对于标准巴歇尔槽，$\Delta Q$ 用下式计算：

$$\Delta Q = \left\{0.07\left[\frac{h}{\left[\left(\frac{1.8}{K}\right)^{1.8}-2.45\right]\times0.305}\right]^{4.57-3.14K}+0.007K\right\}b^{0.815} \qquad (7.1.8-2)$$

式中 $K$——淹没度，$K=\frac{h_L}{h}$。

对于淹没度($K$)小于 0.85 的标准槽，其自由流和淹没流也可用统一的下列公式计算：

$$Q(\text{或 } Q_S) = 6.25K\sqrt{1-K}\,bh^{1.57} \qquad (7.1.8-3)$$

当 $K\leqslant0.667$ 时，$K$ 值均以 0.667 代入上式计算，得自由出流流量($Q$)；当 $K>0.667$ 时，以实际的 $K$ 值代入上式即得淹没流量($Q_S$)。

对于大型槽，可根据$\frac{h_L}{h}$和上游实测水头（$h$），从图7.1.8上查得喉道宽度 $b=3.05$m 的改正流量（$\Delta Q_3$）后，再按大型槽的实际喉宽从表7.1.7－2相应栏内查出修正系数 $K_Q$，将 $\Delta Q_3$ 乘以 $K_Q$ 即得大型槽淹没流量改正值 $\Delta Q$。

**第7.1.9条** 按规定要求设置的标准槽和大型槽，流量系数（$C_D$）的不确定度约为±3%～±4%。

**第7.1.10条** 喉道宽为18m和23m的特大型槽，其各部位尺寸见表7.1.10—1，设计时可直接采用。

**表7.1.10—1 喉道宽为18m和23m大型槽各部尺寸表** （单位：m）

| 喉道 | | | | | 进口段 | | | | 出口段 | | | 翼墙高 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 喉宽 | 喉长 | 下游进水管位置坐标 | | 堰高 | 进口宽 | 进口长 | 翼墙斜长 | 测井至堰顶距离 | 出口宽 | 出口长 | 堰顶至斜坡顶高差 | |
| | | X | Y | | | | | | | | | D |
| $b$ | $L$ | | | $P$ | $b_u$ | $L_1$ | $l_1$ | $l_a$ | $b_L$ | $L_2$ | $P_L$ | |
| 18 | 2.0 | 0.31 | 0.23 | 0.75 | 22.08 | 10.2 | 6.93 | 10.4 | 20.4 | 7.2 | 0.31 | 2.4 |
| 23 | 2.5 | 0.31 | 0.23 | 0.94 | 22.08 | 12.7 | 8.63 | 12.95 | 26.06 | 9.2 | 0.31 | 2.8 |

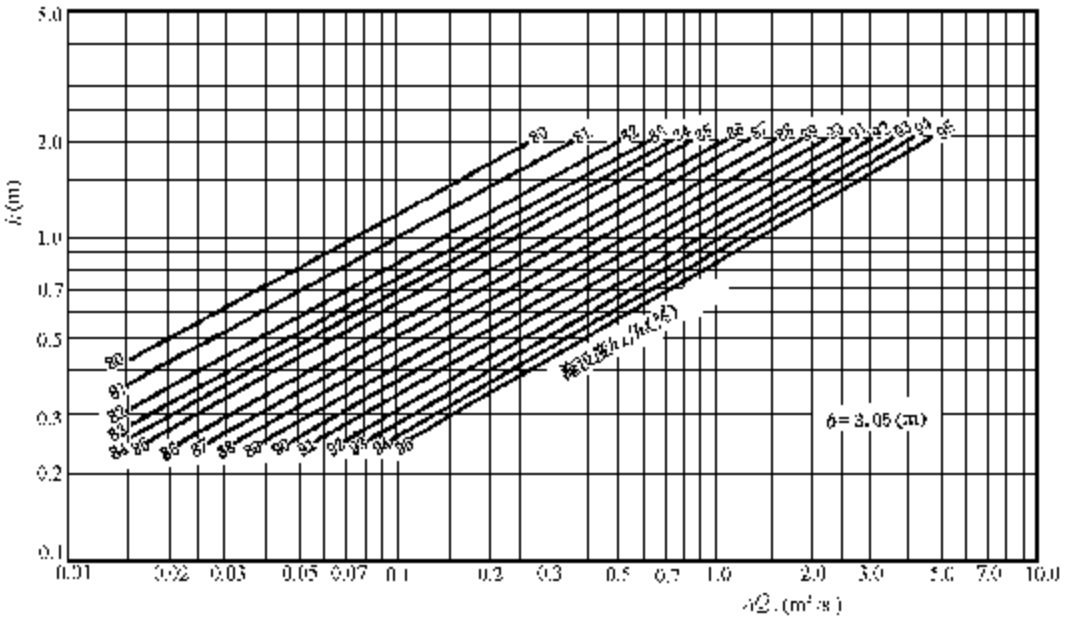



图7.1.8 巴歇尔大型槽不同淹没度的改正流量查算图

上表对两种特大型槽，在自由流和淹没流情况下均可应用，其流量公式和测流范围见表7.1.10—2。

**表7.1.10—2 喉道宽为18m和23m大型槽自由流流量公式及应用范围表**

| 喉道宽（m） | 流量公式 | 水头范围（m） | | 流量范围（$m^3/S$） | | 非淹没限 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | $h_L/h$ |
| 18 | $Q=42.106h^{1.6}$ | 0.20 | 1.828 | 3.21 | 109.8 | 0.65 |
| 23 | $Q=51.375h^{1.6}$ | 0.20 | 2.24 | 3.91 | 186.7 | 0.65 |

当$\frac{h_L}{h}>0.65$时按下式计算淹没出流流量($Q_S$)。

$$Q_S = C_f Q \qquad (7.1.10-1)$$

式中 $Q$——自由出流流量,$m^3/S$;

$C_f$——淹没系数。

$$C_f = 0.8\left[1-\left\{\frac{h_L/h-0.65}{0.35}\right\}^2\right]^{1/2}+0.2 \qquad (7.1.10-2)$$

## 第二节 孙奈利槽

**第 7.2.1 条** 孙奈利槽的槽身,仅由向下游收缩的矩形断面收缩段构成,其上下游进出口与槽轴线垂直布置,并与河流两岸的垂直翼墙连接,如图 7.2.1 所示。

进口收缩段的槽底为水平面,两侧垂直边墙的收缩角($\theta$)均为 11°,在收缩段的末端,槽底与下游河槽形成跌坎($P_L$)。当要求扩大自由出流的范围时,可使槽底适当高出上游河底($P$)。此时在下游出口段($L_3$)范围内,应对河床和两岸做必要的衬砌和防护。

槽轴线应与河槽流向一致,保证槽前水流为稳定均匀流。进口段的上游应有一段不小于 5 倍河宽的顺直行近河槽,弗汝德数($Fr$)不应超过 0.5。

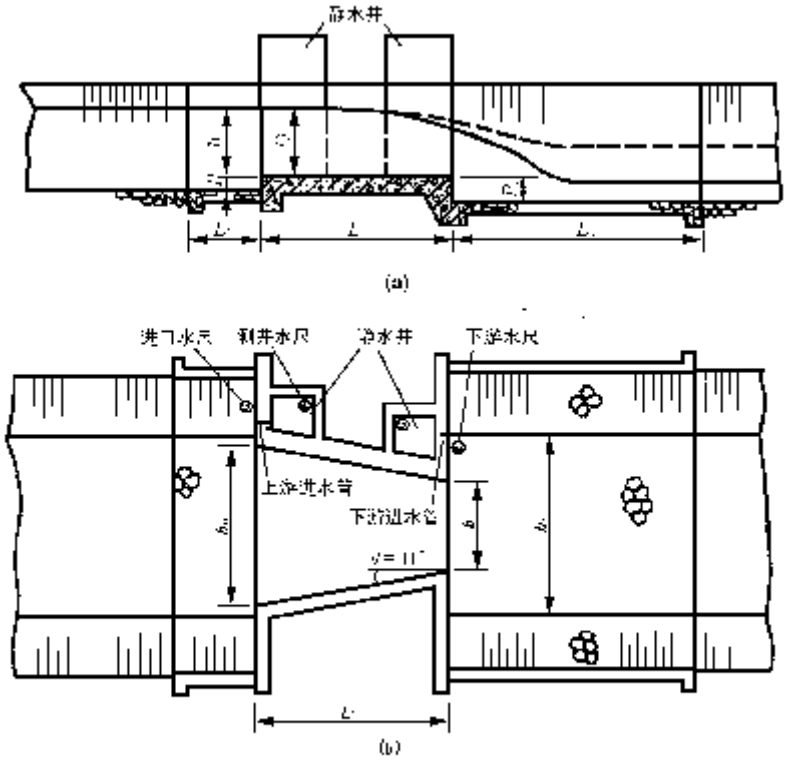



图7.2.1 孙奈利测流槽图
(a)立面;(b)平面

**第 7.2.2 条** 孙奈利槽各部位尺寸及适用范围见表 7.2.2。选用孙奈利槽时,应使河渠的平均宽度($\overline{B}$)大于 $1.4b_u$。

表 7.2.2 标准孙奈利槽尺寸和适用范围表 （单位：m）

| 序号 | 出口宽 $b$ | 槽长 $L_1$ | 进口宽 $b_u$ | 下游堰高 $P_L$ | 边墙高度 $D$ | 下游衬砌长度 $L_3$ | 水头范围(m) | | 自由出流流量($m^3/s$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 最 小 | 最 大 | 最 小 | 最 大 |
| 1 | 0.3 | 0.6 | 0.51 | 0.4 | 0.7 | 1.8 | 0.14 | 0.55 | 0.03 | 0.25 |
| 2 | 0.4 | 0.8 | 0.68 | 0.5 | 0.8 | 1.8 | 0.14 | 0.60 | 0.04 | 0.40 |
| 3 | 0.5 | 1.0 | 0.85 | 0.65 | 0.9 | 2.0 | 0.15 | 0.70 | 0.06 | 0.63 |
| 4 | 0.6 | 1.2 | 1.02 | 0.80 | 1.0 | 2.5 | 0.20 | 0.85 | 0.10 | 1.00 |
| 5 | 0.75 | 1.5 | 1.30 | 1.00 | 1.2 | 3.0 | 0.22 | 1.00 | 0.16 | 1.60 |
| 6 | 1.0 | 2.0 | 1.70 | 1.20 | 1.3 | 3.0 | 0.24 | 1.10 | 0.25 | 2.50 |

**第 7.2.3 条** 当 $h_L/h \leqslant 0.2$ 时为自由流，流量计算公式为

$$Q = C_D b\sqrt{2g}h^{3/2} \qquad (7.2.3-1)$$

流量系数（$C_D$）用下式计算：

$$C_D = 0.5 - \frac{0.109}{6.26h+1} \qquad (7.2.3-2)$$

**第 7.2.4 条** 按规定要求设置的孙奈利槽，流量系数的不确定度约为±3%～±4%。

# 第八章 末端深度法

## 第一节 一般规定

**第 8.1.1 条** 末端深度法适用于在渠底水平或平缓倾斜，渠底末端有跌坎，能形成自由射流的渠道上测流。

**第 8.1.2 条** 当从跌坎边缘向下游延伸的导流墙，其长度等于或大于最大末端水深的 6 倍时，射流水舌受两边侧墙限制，因而必须设置通气孔，以使水舌下部充分通气。

**第 8.1.3 条** 末端深度法是近似计算流量的方法，其单次流量的不确定度(95%置信水平)约为±5%～±10%。

## 第二节 末端水深测量

**第 8.2.1 条** 末端水深测量应在下述条件下进行：

一、跌坎上游的渠道应是顺直、均匀的断面，其顺直长度至少应等于最大流量时末端水深（$h_e$）的 20 倍；

二、渠底水平或其正比降不大于 1/2000；

三、渠道水流应呈缓流状态，断面流速分布正常；

四、边墙和渠底应用细水泥砂浆抹面，经常保持平整光滑。

**第 8.2.2 条** 末端水深的测量位置，规定在跌坎边缘的正中间，可用测针或其它感应灵敏的测量设备测量。水深测量位置上的微小误差可导致计算流量的较大误差。

## 第三节 流量计算

**第 8.3.1 条** 根据末端水深（$h_e$）与临界水深（$d_C$）之比存在单值关系的原理，本法直接用临界流公式计算流量。即：

$$\frac{Q^2}{g}=\frac{A_C^3}{B_C}=\frac{f_1(d_C)}{f_2(d_C)} \tag{8.3.1}$$

式中 $A_C$——临界断面的过水面积，$m^2$；

$B_C$——临界断面的水面宽，m。

**第 8.3.2 条** 矩形渠道的溢流形式见图 8.3.2，由于末端水深与临界水深之比 $\left\{\frac{h_e}{d_C}\right\}$ 接近一个常数，故可用末端水深替代临界水深计算流量。

$$Q=C_D\sqrt{g}\,bh_e^{3/2} \tag{8.3.2}$$

式中 $C_D$——流量系数；

$b$——渠道宽，m。

流量系数（$C_D$）取决于渠道比降和糙率。对于射流水舌受侧限的矩形水平渠道，$C=1.66$；对于不受侧限的矩形水平渠道，$C=1.69$。对倾斜渠道也可采用上述值，但精度稍差。

**第 8.3.3 条** 梯形渠道的溢流形式见图 8.3.3－1。其末端水深与临界水深之比（$h_e/d_C$）是 $mh_e/B_0$ 的函数，其中 $m$ 和 $B_0$ 分别为梯形断面的边坡（垂直 1：水平 m）和底宽，临界水深（$d_C$）值可根据已知的 $m$、$B_0$ 和 $h_e$ 值从图 8.3.3—2 中查得。得出临界水深（$d_C$）后，可直接按式(8.3.1)计算流量。

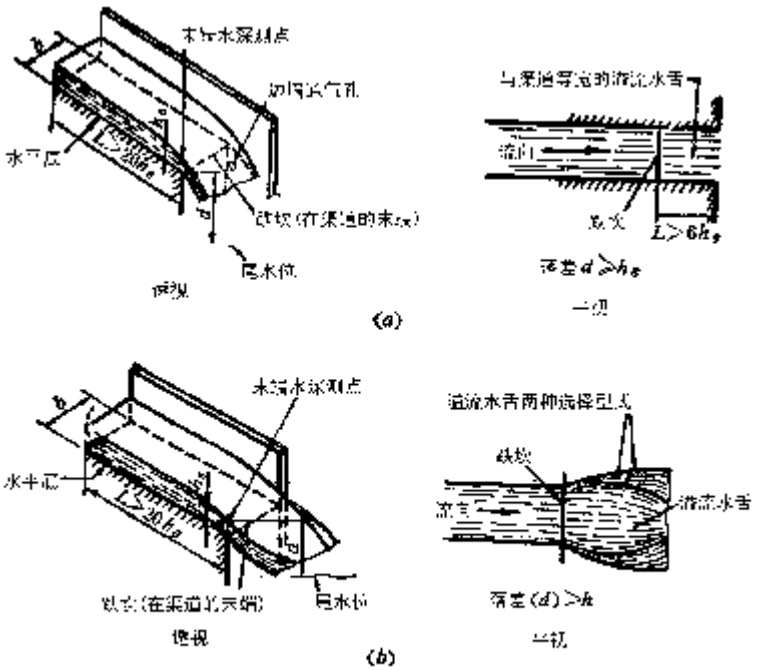



图8.3.2 矩形渠道溢流水舌图

(a)有侧限；(b)无侧限

**第 8.3.4 条** 梯形渠道的流量也可根据临界水深（$d_C$）由下式计算：

$$Q=\frac{\left(\frac{g}{2}\right)^{\frac{1}{2}}}{m^{3/2}}\left(\frac{B_0}{2}\right)^{5/2}\frac{\left[\frac{d_C^2}{\left(\frac{B_0}{2m}\right)^2}+\frac{2d_C}{\left(\frac{B_0}{2m}\right)}\right]^{3/2}}{\left[1+\frac{d_C}{\left(\frac{B_0}{2m}\right)}\right]^{1/2}} \tag{8.3.4}$$

用式(8.3.4)计算流量比较麻烦，可从图(8.3.4)中查读。

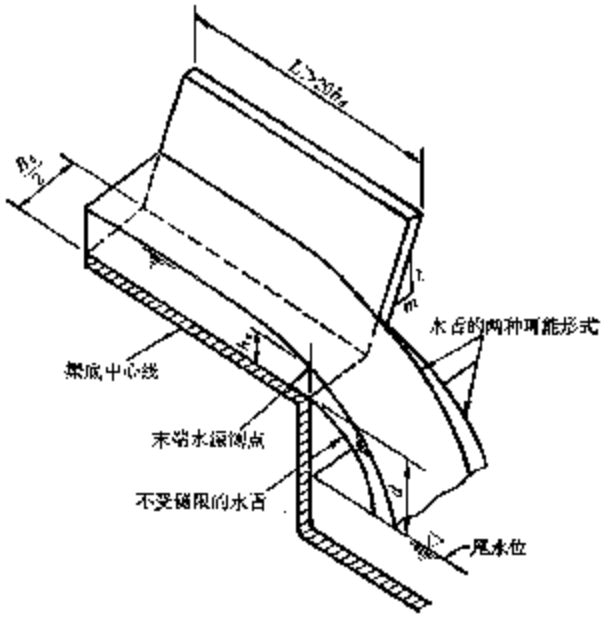



图 8.3.3-1 梯形渠道溢流水舌透视图

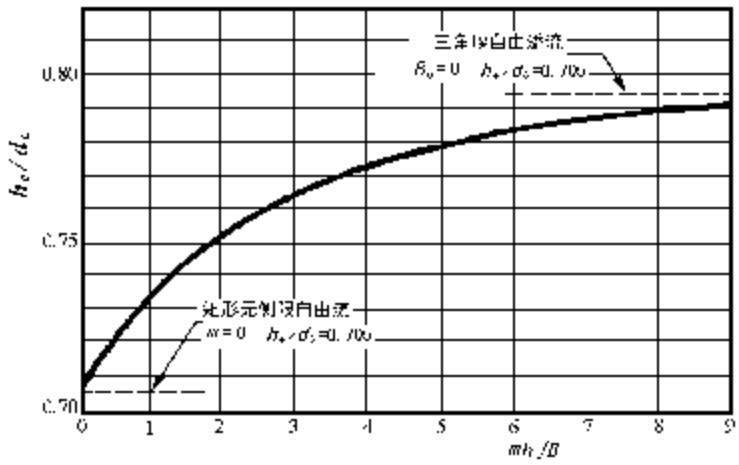



图8.3.3-2 梯形道末端深度($h_e$)与临界水深($d_c$)的比值查算图

**第 8.3.5 条** 末端深度法限制在下列条件下应用：

一、渠底到跌坎下游水面的垂直距离($d$)应等于或大于末端水深($h_e$)。

二、渠道宽度（$b$）应大于 0.3m。

三、梯形渠道上，比值 $\frac{mh_e}{B_0}$ 应为 0.5～7.0。

四、末端水深（$h_e$）对矩形渠道应大于 0.04m；对梯形渠道应大于 0.05m。

**第 8.3.6 条** 末端深度法单次流量的误差，来源于渠道尺寸（$b$、$B_0$ 和 $m$）方面的量测误差和末端水深（$h_e$）的观测误差，以及比值 $h_e/d_C$ 作为常值产生的误差。按规定要求建造的测流建筑物，比值 $h_e/d_C$ 可能有 ±5% 的最大系统不确定度。其它有关测量值的不确定度，应由使用者根据实际情况估算。

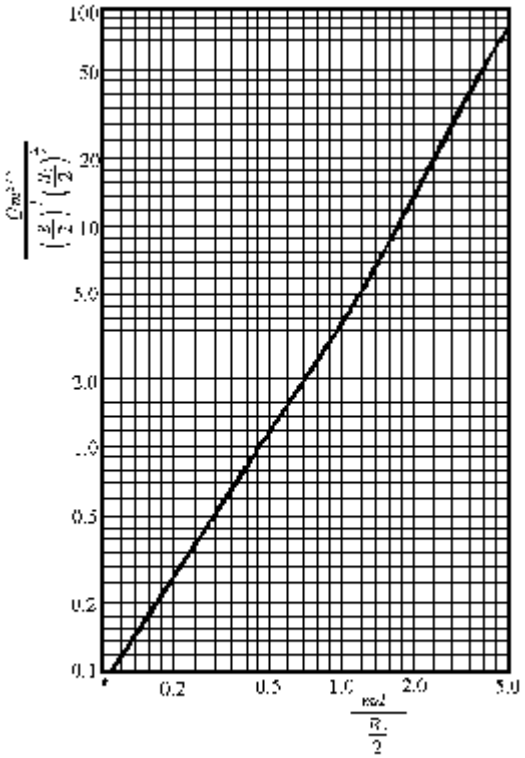



图8.3.4 梯形渠道流量与临界深度关系图

# 第九章 单次流量不确定度的估算

## 第一节 不确定度的估算方法

**第 9.1.1 条** 单次堰槽流量的不确定度，可用下列通用表达式进行分析：

$$Q = J\sqrt{g}\, C_V C_D C_S b h^{\beta} \tag{9.1.1}$$

式中，$J$ 为不带误差的数字常数，重力加速度（$g$）也可近似取为常数，其它有关几何尺寸和各项系数值均能产生误差。其中，由于测量值 $h$ 产生的随机误差，应由使用者根据仪器的测量精度和测量次数按统计原理估算。各项系数值大都属不定系统误差，由各标准堰槽予以规定。

**第 9.1.2 条** 不确定度用误差值占该量的百分数来表示。随机不确定度，按正态分布采用 95% 的置信水平，不定系统不确定度，也采用相应的置信水平。

单次流量的总不确定度($X_Q$)，由总随机不确定度($X'_Q$)和总系统不确定度($X''_Q$)用“方和根”法进行综合得出。即

$$X_Q = \pm\sqrt{(X'_Q)^2 + (X''_Q)^2} \tag{9.1.2}$$

当 $X'_Q$ 和 $X''_Q$ 系分别由若干独立分项的随机不确定度和不定系统不确定度所组成时，同样可分别按“方和根”法进行综合。

**第 9.1.3 条** 在稳定条件下，变量($Y$)的一组测量值的标准差($S_Y$)为

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \tag{9.1.3-1}$$

式中 $Y_i$——第 $i$ 次测量值($i = 1,2,3,\cdots,n$)；

$\bar{Y}$——$n$ 次测量的算术平均值；

$n$——测量次数。

算术平均值的标准差($S_{\bar{Y}}$)为

$$S_{\bar{Y}} = \frac{S_Y}{\sqrt{n}} \tag{9.1.3-2}$$

**第 9.1.4 条** 经多次量测得出的算术平均值，作为流量计算公式中的采用值。算术平均值的标准差用来计算该均值的不确定度。凡重复测量达 20 次以上时，该测量值均值的随机不确定度为 $2S_{\bar{Y}}$(置信水平为 95%)。当测量次数少于 20 次时，应按 $t$ 分布的置信系数进行计算。例如当 $n = 15$ 时，均值的随机不确定度为 $2.13S_{\bar{Y}}$；当 $n = 10$ 时，为 $2.23S_{\bar{Y}}$。

**第 9.1.5 条** 因条件限制只能取得单次观测值时，其误差分布可认为是矩形的。如使用者估计单次观测值的误差在 $\pm E$ 之间，则矩形分布的标准差为 $E/\sqrt{3}$。参照正态分布处理，当置信水平为 95% 时，其不确定度可取为 $\pm 2E/\sqrt{3}$ 或 $\pm 1.15E$，也可近似取 $\pm E$。

## 第二节 各项误差分量的不确定度估算

**第 9.2.1 条** 单次流量不确定度的各项来源可根据式(9.1.1)来识别：

一、堰顶(喉道)宽度($b$)，堰顶角($\theta$)或堰顶横向坡度($m$)等几何尺寸量测的不确定度。

二、实测水头($h$)测读的不确定度。

三、行近流速系数($C_V$)，流量系数($C_D$)和淹没系数($f$)等实验值的不确定度。

**第 9.2.2 条** 水平堰顶或(喉道)宽 $b$ 的不确定度取决于测量仪器可能达到的精度和量测次数，计算式为

$$X_{\bar{b}} = \pm\frac{E_{\bar{b}}}{\bar{b}}(\%) \tag{9.2.2-1}$$

式中 $X_{\bar{b}}$——平均堰顶或喉道宽($\bar{b}$)的不确定度，%；

$E_{\bar{b}}$——平均堰顶或喉道宽($\bar{b}$)的量测误差，m；

$\bar{b}$——多次测量的平均堰顶宽，m。

当在低水头运用需考虑表面张力和粘滞力影响来计算有效宽度($b_e$)时，则 $b_e$ 的不确定度($X_{b_e}$)为

$$X_{b_e} = \pm\sqrt{(X_b)^2 + (X_{K_b})^2} \tag{9.2.2-2}$$

式中，$b_e = b + K_b$，$K_b$ 为考虑表面张力和粘滞力综合影响的改正值。$K_b$ 的不确定度（$X_{K_b}$）用式 $X_{K_b} = \pm \frac{E_{K_b}}{b}(\%)$ 计算，这里的 $E_{K_b}$ 为 $K_b$ 的估算误差。

**第 9.2.3 条** 堰口角（$\theta$）的不确定度取决于所采用的测量方法。当堰口角是用不同部位堰口宽的二分之一（$b_i$）和相应的垂直高度（$h_i$）的商来确定时，则 $\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}$ 的确定度 $\left[X_{\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}}\right]$ 为

$$X_{\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}} = \pm\sqrt{(X_{h_i})^2 + (X_{b_i})^2} \tag{9.2.3}$$

式中，$X_{h_i}$ 和 $X_{b_i}$ 分别为 $h_i$ 和 $b_i$ 的不确定度，可用式 $X_{h_i} = \pm \frac{E_{h_i}}{h_i}(\%)$ 和 $X_{b_i} = \pm \frac{E_{b_i}}{b_i}(\%)$ 计算。

**第 9.2.4 条** 实测水头（$h$）的不确定度（$X_h$）取决于许多因素，其计算式为

$$X_h = \pm\sqrt{(X_{h_s})^2 + (X_{h_0})^2 + (X_{h_i})^2 + (X_{K_h})^2 + \cdots} \tag{9.2.4}$$

式中 $X_{h_s}$——水头读数产生的不确定度，%；

$X_{h_0}$——水头测量零点产生的不确定度，%；

$X_{h_i}$——仪器运行或水尺刻划产生的不确定度，%；

$X_{K_h}$——当应用有效水头时，考虑表面张力和粘滞力影响产生的不确定度，%。

**第 9.2.5 条** 行近流速系数（$C_V$）、流量系数（$C_D$）和淹没系数（$f$）的不确定度是单次流量总不确定度的主要来源。本规范给出的上述系数值的不确定度，适用于标准堰槽。当野外安装和运用条件不完全符合标准堰槽要求时，应增大其不确定度，其数值必须由使用者估算。

**第 9.2.6 条** 流量系数的不确定度与弗汝德数（$Fr$）有关，给出的各个标准堰槽的流量系数不确定度，只适用于 $Fr \leqslant 0.5$ 的条件。当 $Fr$ 在 0.5～0.6 之间时，应增加 ±2% 的不确定度。

## 第三节 单次流量总不确定度的估算

**第 9.3.1 条** 单次流量总不确定度按式(9.1.1) 可表达为

$$X_Q = \pm\sqrt{(X_{C_D})^2 + (X_{C_V})^2 + (X_{C_z})^2 + (X_f)^2 + (X_b)^2 + \beta^2 X_h^2} \tag{9.3.1}$$

如有必要区分且可以区分各个分项来源的随机不确定度和系统不确定度时，也可分别计算总随机不确定度（$X'_Q$）和总系统不确定度（$X''_Q$）。

**第 9.3.2 条** 堰口角为 $\theta$ 的三角形堰，其单次流量的总不确定度为

$$X_Q = \pm\sqrt{X_C^2 + \left[X_{\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}}\right]^2 + \left[\frac{5}{2}X_h\right]^2} \tag{9.3.2}$$

式中，水头（$h$）的方次取 $\frac{5}{2}$，当流量计算式用有效水头（$h_e$）表达时，$X_h$ 以 $X_{h_e}$ 代替。

**第 9.3.3 条** 矩形断面堰槽的单次流量总不确定度为

$$X_Q = \pm\sqrt{X_C^2 + X_b^2 + \left[\frac{3}{2}X_h\right]^2} \tag{9.3.3}$$

式中，水头（$h$）的方次取 3/2，如系数 $C$ 包括各项系数在内，可同样按“方和根”法计算。

**第 9.3.4 条** 梯形断面堰槽的单次流量总不确定度（$X_Q$）为

$$X_Q = \pm\sqrt{X_C^2 + \gamma^2 X_b^2 + \psi^2 X_m^2 + \beta^2 X_h^2} \tag{9.3.4}$$

式中 $\gamma$、$\psi$、$\beta$ 分别为梯形断面的堰顶（喉道底）宽（$b$），边坡（$m$）和实测水头（$h$）在流量计算式中的

方次，其数值与参数$\left(\frac{mh}{b}\right)$有关，见表 9.3.4。

**第 9.3.5 条** 对于一个给定的堰槽，$X_Q$ 随流量的变化而变化。为此，需根据不同流量级分别计算其不确定度。

**第 9.3.6 条** 单次堰槽流量的理论表达可写为

$$Q_T = Q(1 \pm X_Q) \qquad (9.3.6-1)$$

或

$$Q_T = Q \pm \Delta Q \qquad (9.3.6-2)$$

式中 $Q_T$——真实流量处于一定范围内的可能值(置信水平 95%)，$m^3/s$；

$Q$——按给定公式计算的流量，$m^3/s$。

表 9.3.4 不同$\frac{mh}{b}$值的 $\gamma$、$\psi$、$\beta$ 查读表

| $\frac{mh}{b}$ | $\gamma$ | $\psi$ | $\beta$ | $\frac{mh}{b}$ | $\gamma$ | $\psi$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.01 | 0.99 | 0.01 | 1.51 | 2.0 | 0.41 | 0.59 | 2.01 |
| 0.03 | 0.97 | 0.03 | 1.53 | 5.0 | 0.20 | 0.80 | 2.30 |
| 0.10 | 0.93 | 0.07 | 1.57 | 10.0 | 0.11 | 0.89 | 2.39 |
| 0.20 | 0.88 | 0.12 | 1.62 | 20.0 | 0.06 | 0.94 | 2.44 |
| 0.50 | 0.73 | 0.27 | 1.77 | 50.0 | 0.02 | 0.98 | 2.48 |
| 1.00 | 0.57 | 0.43 | 1.93 | 100.0 | 0.01 | 0.99 | 2.49 |

# 附录一　计量单位和符号

| 量的名称 | 符号 | 单位名称 | 计量单位 |
|---|---|---|---|
| 行近河槽断面面积 | $A$ | 平方米 | $m^2$ |
| 行近河槽水面宽 | $B$ | 米 | m |
| 堰顶(喉道)宽 | $b$ | 米 | m |
| 流速流量组合系数 | $C$ | | |
| 流量系数 | $C_D$ | | |
| 垂直距离 | $d$ | 米 | m |
| 临界水深 | $d_C$ | 米 | m |
| 误差 | $E$ | 米 | m |
| 随机误差 | $E'$ | 米 | m |
| 系统误差 | $E''$ | 米 | m |
| 弗汝德数 | $Fr$ | | |
| 淹没流折减系数 | $f$ | | |
| 重力加速度 | $g$ | 米每二次方秒 | $m/s^2$ |
| 堰(槽)上游总水头 | $H$ | 米 | m |
| 堰(槽)下游总水头 | $H_L$ | 米 | m |
| 实测上游水头 | $h$ | 米 | m |
| 有效实测上游水头 | $h_e$ | 米 | m |
| 实测末端水深 | $h_e$ | 米 | m |
| 实测下游水头 | $h_L$ | 米 | m |
| 分离囊(压力)水头 | $h_P$ | 米 | m |
| 实测上下游水头差 | $\Delta h$ | 米 | m |
| 堰槽流量通用公式中的数字常数 | $J$ | | |
| 粗糙高度 | $K_S$ | 米 | m |
| 淹没度 | $K$ | | |
| 淹没流量修正系数 | $K_Q$ | | |
| 行近河槽或堰顶(喉道)长度 | $L$ | 米 | m |
| V形堰口横向坡度 | $m$ | | |
| 梯形断面边坡系数 | $m_a$ | | |
| 一组测量的次数 | $n$ | | |
| 堰顶与上游河底高程差 | $P$ | 米 | m |
| 堰顶与下游河底高程差 | $P_L$ | 米 | m |
| V形堰口高度 | $P_V$ | 米 | m |
| 计算流量 | $Q$ | 立方米每秒 | $m^3/s$ |
| 真实流量 | $Q_T$ | 立方米每秒 | $m^3/s$ |
| 淹没流流量 | $Q_S$ | 立方米每秒 | $m^3/s$ |
| 淹没流改正值 | $\Delta Q$ | 立方米每秒 | $m^3/s$ |
| 圆弧曲率半径 | $R$ | 米 | m |
| 标准差 | $S$ | | |
| 断面平均流速 | $\bar{v}$ | 米每秒 | m/s |
| 不确定度(%) | $X$ | | |
| 流量总不确定度(%) | $X_Q$ | | |
| 动能改正系数 | $\alpha$ | | |
| 三角形(V形)堰口角 | $\theta$ | 度;弧度 | |
| 边界层位移厚度 | $\delta_*$ | 毫米 | mm |

# 附录二　各类堰槽的基本性能和适用条件

## (一)各类标准堰槽的基本性能

1.可利用的水头差

薄壁堰和末端深度法需要足够的水头差,以保证有完全通气的自由水舌;宽顶堰可用于较小的水头差,允许淹没条件下运用的堰槽可用于更小的水头差。

2.测流范围和应用范围

薄壁堰用于施测小流量,其中三角形薄壁堰用于施测更小的流量。宽顶堰、三角形剖面堰和测流槽用于施测大流量。对施测更大的流量使用梯形喉道测流槽比用其它堰槽好。平坦V形堰的测流幅度更大。

几种标准堰槽的测流范围及应用限制见附表:

附表　几种标准形式的堰槽测流范围及应用限制表

| 堰槽形式 | 尺寸 | | | | 流量幅度 $m^3/s$ | | 计算流量的不确定度范围(%) | 几何限制 | 非淹没限(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 堰高 $P$ (m) | 堰宽(或喉道宽) $b$ (m) | 边坡 | 堰长(或喉道长) $L$ (m) | 最大 | 最小 | | | |
| 三角形薄壁堰 | θ=90° | | | | 1.80 | 0.001 | 1～3 | H/P≤2 | 水舌下通气 |
| 矩形薄壁堰(全宽) | 0.2 | 1.0 | | | 0.67 | 0.005 | 1～4 | $H/P\leqslant 2$ | 水舌下通气 |
| | 1.0 | 1.0 | | | 7.70 | 0.005 | 1～4 | $H/P\leqslant 2$ | 水舌下通气 |
| 矩形薄壁堰(收缩) | 0.2 | 1.0 | | | 0.45 | 0.009 | 1～4 | $H/P\leqslant 2$ | 水舌下通气 |
| | 1.0 | 1.0 | | | 4.90 | 0.009 | 1～4 | $H/P\leqslant 2$ | 水舌下通气 |
| 锐缘矩形宽顶堰 | 0.2 | 1.0 | | 0.8 | 0.26 | 0.030 | 3～5 | $H/P\leqslant 1.5$ | 80 |
| | 1.0 | 1.0 | | 2.0 | 3.07 | 0.130 | 3～5 | $H/P\leqslant 1.5$ | 80 |
| 圆缘矩形宽顶堰 | 0.15 | 1.0 | | 0.6 | 0.18 | 0.030 | 3～5 | $H/P\leqslant 1.5$ | 66 |
| | 1.0 | 1.0 | | 5.0 | 3.13 | 0.100 | 3～5 | $H/P\leqslant 1.5$ | 66 |
| V型宽顶堰 | 0.3 | $\theta=90°$ | | 1.5 | 0.45 | 0.007 | 3～5 | $1.5<\frac{H}{P}<3.0$ | 80 |
| | 0.15 | $\theta=150°$ | | 1.5 | 1.68 | 0.010 | 3～5 | $1.5<\frac{H}{P}<3.0$ | 80 |
| 三角形剖面堰 | 0.2 | 1.0 | | | 1.17 | 0.010 | 2～5 | $H/P\leqslant 3.5$ | 70 |
| | 1.0 | 1.0 | | | 13.0 | 0.010 | 2～5 | $H/P\leqslant 3.5$ | 70 |
| 平坦V形堰 | 0.2 | 4 | 1∶10 | | 5.00 | 0.014 | 2～5 | $H/P\leqslant 2.5$ | 74 |
| | 1.0 | 80 | 1∶40 | | 630 | 0.055 | 2～5 | $H/P\leqslant 2.5$ | 74 |
| 矩形梯形长喉道槽 | 0.0 | 1.0 | | | 1.7 | 0.033 | 2～5 | $A_t/A_u\leqslant 0.7$ | 70 |
| | 0.0 | 1.0 | 5∶1 | | 41.0 | 0.270 | 2～5 | $A_t/A_u\leqslant 0.7$ | 70 |
| 巴歇尔量水槽(标准型) | | 0.152 | | 0.305 | 0.10 | $1.5\times10^{-3}$ | 2～5 | 特定 | 60 |
| | | 2.40 | | 0.60 | 4.00 | | 2～5 | 特定 | 70 |
| 巴歇尔量水槽(大型) | | 3.05 | | 0.91 | 8.28 | 0.16 | 3～5 | 特定 | 0.80 |
| | | 15.24 | | 1.83 | 93.04 | 0.75 | 3～5 | 特定 | 0.80 |
| 末端深度法 | | | | | | | 5～10 | $d\geqslant h_e$ | 水舌下通气 |

注　$H$—上游总水头;$P$—堰高;$A_t$—喉道断面面积;$A_u$—行近河槽断面面积;$h_e$—末端水深;$d$—槽底至下游水面的距离。

3.河槽形状和尺寸

矩形薄壁堰的尺寸相对于行近河槽的尺寸相差大时，行近河槽的形状对水流无显著影响。若相差不大，则行近河槽应是矩形断面，且其长度不应少于最大水头时溢流水舌宽的10倍。宽顶堰最好在矩形河槽中使用，但如有一段两倍最大水头长度的平坦光滑的行近河槽，使用在非矩形河槽上，也能取得很好的精度。如果行近河槽的水流条件是稳定均匀的，则测流槽可用于任何形状的行近河槽。

下游河槽的形状和尺寸，在自由出流条件下是无关重要的，只是在淹没出流时，必须在整个测流范围内与给定的非淹没限进行校核。

4.泥沙和漂浮物

有悬移质输移的河流上，应尽量避免使用薄壁堰，除非上游设置拦污栅。应特别避免在有漂浮物的河流上使用三角形薄壁堰。宽顶堰、三角形剖面堰和测流槽、可通过一定的漂浮物。

5.河槽坡度和水流条件

坡降小于$\frac{1}{1000}$或弗汝德数小于0.25的河流，适用于任何类型的堰槽。坡降在$\frac{1}{1000}$～$\frac{1}{500}$或弗汝德数在0.25～0.50之间的河流，测流槽的输沙能力比测流堰好。坡降大于1/250或弗汝德数在0.50～0.60之间的河流，若没有泥沙输移，还可考虑使用堰槽测流；若有泥沙输移且$Fr>0.6$时，如无特殊需要，不宜用堰槽测流。

6.运行和维护

测流槽的喉道上，不能有水草生长。若薄壁堰的堰缘受损或上游竖直壁面生长藻苔，可能导致较大的系数误差。堰槽如在冰点以下运用，对测流堰特别是薄壁堰比对测流槽的影响要小一些。

**(二)测流堰槽的适用条件**

1.薄壁堰的堰口加工要特别注意，它适合在有良好保养条件、能保证堰顶不致受损的环境下使用，大都用于需要高精度的实验室、径流实验小区、人工渠道以及抽水试验和工矿城市排污等。三角形薄壁堰特别适合于施测非常小的流量。三角形和矩形薄壁堰都可预制构件安装。

2.宽顶堰相对来说工程量大，但坚固耐用，宜用于能够定期清淤除草的矩形河槽上。圆缘宽顶堰的测流范围和淹没比都比较恰当，适合中小型河流。V形宽顶堰的测流幅度大，既适用于小河，也适用于落差小的人工渠道。

3.三角形剖面堰适用于水头损失小和测流精度要求高的天然河道。它有一个良好的非淹没限，测流范围大，坚固耐用，且可在挟沙河流上运行。这种堰型在相当大的水头和流量范围内，流量系数是一常数。从其测流精度看，也表明它是一个良好的测流建筑物。

4.平坦V形堰的测流幅度非常大，既能测低水，也能测高水，特别适用于暴涨暴落的山溪性河流。因为它不需要做补充的低水测流设施，所以当用水平堰顶施测低水流量达不到要求时，宜采用这种堰型。但因是三维堰，施工质量较难掌握。

5.长喉道槽可在含沙量较大的河流上应用，这种槽由于喉道长，相对来说不大经济，施工技术要求也高，且只能用于自由出流。梯形长喉道槽比矩形长喉道槽的测流幅度大而且精度高。矩形长喉道槽多用于排污工程上。

6.短喉道槽比长喉道槽的投资低，其中应用较广的巴歇尔槽有一定的排沙(悬移质)能力，且特别适用于没有足够水头可被利用的平原排水渠道，在淹没比小于95%时，都可以利用。孙奈利槽结构简单，可以做成预制构件安装，流量计算简便，有推广应用价值。

7.末端深度法适用于有较大落差可以利用的天然河道和人工渠道，方法简便，适应性强。但末

端水深的测验比较困难，测流精度较低。

## 附加说明

主 编 单 位：安徽省水文总站
参 编 单 位：水利部水文水利调度中心、河北省水文总站、湖南省水文总站
主要起草人：刘芳岑　朱宗法　姚志明　赵进升　徐国顺　谈经荣　刘天根
技 术 顾 问：陈玉璞