

文章编号:1672-058X(2011)06-0644-05

不同堰型流量计算公式的初步分析

邓洪福, 惠 源

(重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

摘 要:以标定的三角形薄壁堰作为测流控制条件,对矩形薄壁堰、WES 实用堰、圆角宽顶堰和直角宽顶堰进行了测流试验,分别采用相应的堰流公式进行了计算和比较;结果表明:不同堰型堰流公式计算值各有差异,同一堰型采用不同经验公式求得的流量亦有所差别;将不同经验公式得出的流量和标准流量进行了比较并分析偏离程度,据此初步得出了不同堰型流量计算的推荐公式。

关键词:堰流;水槽试验;流量计算;公式比较

中图分类号:U612.11

文献标志码:A

在渠道、水槽中常用溢流堰来量测水流流量,其中最常用的是薄壁堰。有些国家还使用由混凝土等圬工材料直接砌筑的宽顶堰、三角堰、截头三角堰等。薄壁量水堰是一种使用最早而且精度较高的测流设施。它具有制造简单、装设容易、造价较低等特点,广泛用于水力学、水工实验室及灌排渠道上。各种量水堰有自由溢流和淹没出流两种流态,但为了提高量测精度,应尽可能采用自由溢流。为了使测得的流量更加准确,学者们已经由试验得出大量经验公式^[1]。

虽然对不同堰型的经验公式的研究已较为成熟,考虑到不同堰型的经验公式种类繁多,不易挑选且各自求得的流量有所差异,则在某一流量区间内选取准确的堰型并采用精确度高的经验公式则尤为重要。王永昌在文献[2]中仅对于矩形薄壁堰流量经验公式的选取做出过相关研究,对于其他堰型的经验公式的选取并未做讨论。在此通过在较小流量下采用不同经验公式得出的流量和标准流量进行比较,并分析偏离程度,得出对于不同堰型流量计算的推荐公式。

1 模型设置及布置

利用概化水槽,在小流量下分别用矩形薄壁堰,直角宽顶堰,圆角宽顶堰和 WES 实用堰进行了流量测量,用底部三角堰测出的流量作为控制条件,通过读取三角堰水位测针筒的读数配合相应计算公式求得控制流量。记录在该流量下 4 种堰型的堰顶水头 h 、行进流速 v 等参数,带入经验公式即得各堰型测出的流量,用来和控制流量进行对比分析,从而得出推荐公式。

1.1 试验布置图

实验装置见图 1,实验装置通过改变堰型,可模拟常见的各种堰流现象及其下游水流衔接形式。包括宽顶堰流、实用堰流、底流消能、挑流消能、面流和消力戽消能等。此外,还可演示平板闸下出流、薄壁堰流。

1.2 参 数

测流控制的三角堰有关参数:堰顶相对高程 28.25 cm, $a = 15.42$, $b = 2.47$, 堰宽 $b = 10$ cm。

1.3 控制与测量系统

装置底部设有控水闸阀,打开装置开关,将闸阀调至某流量位置,通过读取三角堰水位测针筒的读数求

收稿日期:2011-03-02;修回日期:2011-04-20.

作者简介:邓洪福(1973-),男,重庆市人,助理工程师,从事水力学与河流动力学研究.

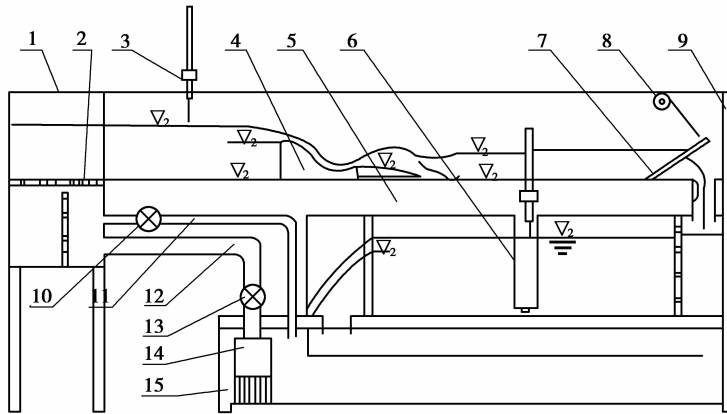


图1 试验布置示意图

- 1—有机玻璃实验水槽;2—稳水孔板;3—测针;4—实验堰;5—三角堰量水槽;
6—三角堰水位测针筒 7—多孔尾门;8—尾门升降轮;9—支架;10—旁通管微调阀门;
11—旁通管;12—供水管;13—供水流量调节阀;14—水泵;15—蓄水箱

得该小流量。在实验过程中,始终保持该流量不变。此外,为使实验的所有出流均为非淹没出流,调节尾门开度,使其保持非淹没状态。

上游水位断面设在量测堰上水头距离堰前沿约3~5h位置处。开启进水阀,待水流稳定后用测针分别测定在圆角堰、直角宽顶堰、WES实用堰、矩形薄壁堰型下的堰上水头、收缩水深以及上游断面处水位。堰前断面的行进流速用旋桨式流速仪测出,连续测3次取平均值。

1.4 试验所用经验公式

对于不同的堰型,学者已总结出在不同情况下适用的经验公式,在小流量的情况下,对于矩形薄壁堰,直角宽顶堰,圆角宽顶堰和WES实用堰分别有以下几种公式。

(1) WES实用堰。WES堰一般采用以下公式计算:

$$Q = mb \sqrt{2gh_o^{1.5}} \quad (1)$$

式(1)中: $h_o = h + \frac{v_o^2}{2g}$ 。

(2) 直角宽顶堰。一般公式如下:

$$Q = mb \sqrt{2gh_o^{1.5}} \quad (2)$$

式(2)中: $h_o = h + \frac{v_o^2}{2g}$, $m = 0.32 + 0.01 \frac{3 - \frac{p}{h}}{0.46 + 0.75 \left(\frac{p}{h} \right)}$

$$Q = \sqrt{1.5K_{cr} - 1} \left(1 + \frac{p}{h} \right) b \sqrt{2gh^{1.5}} \quad (3)$$

式(3)中: $K_{cr} = \frac{2 \left(1 + \frac{p}{h} \right)^2}{3 \left(1 + \frac{p}{h} \right)^2 - \varphi_{cr}^2 k_{cr}^2}$, $\varphi_{cr} = 0.831 + 0.01 \frac{3 - \frac{p}{h}}{0.18 + 0.285 * \frac{p}{h}} \left(0 \leq \frac{p}{h} \leq 3 \right), 0.831 \left(\frac{p}{h} \geq 3 \right)$

(3) 圆角宽顶堰。一般公式如下:

$$Q = mb \sqrt{2gh_o^{1.5}} \quad (4)$$

式(4)中: $h_o = h + \frac{v_o^2}{2g}$, $m = 0.36 + 0.01 \frac{3 - \frac{p}{h}}{1.2 + 1.5 \frac{p}{h}}$

$$Q = \sqrt{1.5K_{cr} - 1} \left(1 + \frac{P}{h}\right) b \sqrt{2gh^{1.5} - b \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}} \quad (5)$$

$$\text{式(5)中: } K_{cr} = \frac{2\left(1 + \frac{P}{h}\right)^2}{3\left(1 + \frac{P}{h}\right)^2 - \varphi_{cr}^2 k_{cr}^2}, \varphi_{cr} = 0.935 + 0.01 \frac{3 - \frac{P}{h}}{0.46 + 0.55 \frac{P}{h}} \left(0 \leq \frac{P}{h} \leq 3\right), 0.935 \left(\frac{P}{h} \geq 3\right)$$

(4) 矩形薄壁堰。雷伯克公式如下:

$$Q = (1.782 + 0.24he/p)Lhe^{1.5} \quad (6)$$

式(6)中, Q 为流量(m^3/s), P 为堰高(m), L 为堰宽(m), $he = h + 0.001 1$, h 为堰上水头(m)。一般通用公式:

$$Q = m_o b \sqrt{2gh^{1.5}} \quad (7)$$

式(7)中, b 为堰宽(m), g 为重力加速度(m^2/s), m_o 为流量系数;而流量系数多采用巴赞(Bazin)经验公式计算, $m_o = (0.405 + 0.002 7/h)[1 + 0.55b/(h+p)]$,式(7)中, P 为上游堰高(m), $0.002 7/h$ 项反映表面张力的作用。

式(6)是对堰壁顶厚为 7 mm 的堰进行试验得出的。它与后人实验成果颇有出入。但在 $H = 0.1 \sim 0.6 \text{ m}$; $b = 0.2 \sim 2.0$ 及 $\frac{h}{p} < 2$ 时,误差仅 1%。对于 m_o ,另一具有更大适用范围和较高精度的公式: $m_o =$

$\frac{2}{3} \left(0.605 + \frac{0.001}{h + \frac{0.08h}{p}}\right)$,在 $he > 0.025$ 、 $b/p < 2$ 范围内适用。无收缩矩形薄壁堰经验公式如下:

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2ghe^{1.5}} b \quad (8)$$

式(8)中: $C_e = 0.602 + 0.083 \frac{h}{p}$, $he = h + 0.001 2 \text{ m}$,应用条件: $h/p \leq 1.00$; h 在 $0.03 \sim 0.75$; p 不小于 0.10 。

常用公式如下:

$$Q = m_o b \sqrt{2gh^{1.5}} \quad (9)$$

其中: $m_o = 0.403 + 0.053h/p + 0.000 7/h$

(5) 控制三角堰。公式如下:

$$Q = aH_0^b \quad (10)$$

式(10)中: $H_0 = h + \frac{v^2}{2g}$

2 实验结果分析

将控制流量的闸阀调到某位置并保持它不变,在水槽上分别安装矩形薄壁堰,直角宽顶堰,圆角宽顶堰和 WES 实用堰,安选定的断面对上游水位,水深,堰顶高程,行进流速进行测量,得出相应试验数据,并带入上述经验公式进行计算分析,得出实验流量,整理并汇和成表 1。

表 1 不同堰型的测流量结果与误差对比

堰型	WES 实用堰	直角宽顶堰		圆角宽顶堰		矩形薄壁堰			
公式代号	A1	B1	B2	C1	C2	D1	D2	D3	D4
流量/(L/s)	3.62	3.65	3.82	3.65	3.58	3.40	3.67	3.42	3.42
相对误差/%	0.37	0.46	5.14	0.46	1.47	6.42	1.00	5.87	5.87

* 以上相对误差均为测量值和标准值对比得到的误差。

组次 1 实验工况:将堰上水头 $0.092 4 \text{ m}$ 带入控制三角堰的公式,得到流量 3.63 L/s ,在此流量下进行试验。各个堰型利用不同的经验公式测出的流量均和控制流量有所差异,这是由测量误差,水头损失,读数

误差的造成的。通过经验公式求得流量和控制流量的对比并得到误差分析如下:

将不同堰型测出的流量绘制出流量柱状图。在控制流量为 3.63 L/s 条件下,找出 4 种堰型各自较优的经验公式,柱状图如图 2。

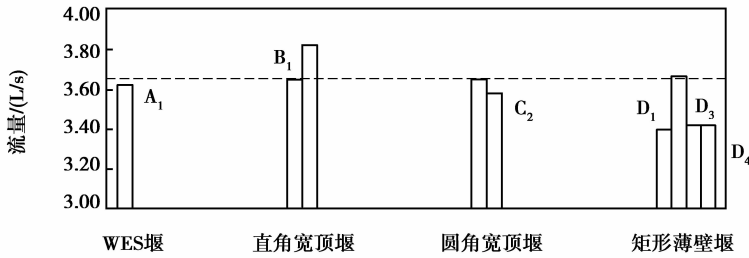


图 2 小流量下不同堰型的测流量结果柱状图

对于各个堰型均选取误差最小的经验公式最为在小流量下的推荐经验公式,对于 WES 堰,式(1)较为准确其误差为 0.37%,直角宽顶堰则为式(2)较为准确其误差为 0.46%。圆角宽顶堰则应采用式(3)来计算误差为 0.46%,矩形薄壁堰宜采用式(4),误差为 1.00%。

通过实验流量的标准控制流量的对比分析,在流量为 3.63 L/s 小流量情况下,推荐经验公式的选取结论见表 2。

表 2 堰型较优公式的选取

堰型	WES实用堰	直角宽顶堰	圆角宽顶堰	矩形薄壁堰
推荐公式	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)

组次 2 试验工况:为了避免偶然误差导致实验结果的差异,改变水槽底部的流量控制阀,减小流量,

在类似工况下再次进行试验。读取三角堰水位测针筒的读数并带入计算公式,测得的流量为 2.14 L/s。

在此控制流量下,按上述实验步骤选取上游断面,测量断面处的水位,水深,堰顶高程和断面行进流速,带入各个堰型的经验公式求出的流量。按照误差最小原则,将求出的流量和标准控制流量进行对比分析,并求出其相对误差,整理成表格如表 3:

表 3 小流量下不同堰型的测流量结果与误差对比

堰型	WES实用堰		直角宽顶堰		圆角宽顶堰		矩形薄壁堰		
公式代号	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)	式(5)	式(6)	式(7)	式(8)	式(9)
流量/(L/s)	2.18	2.13	2.08	2.14	2.20	2.02	2.12	2.02	2.01
相对误差/%	2.10	0.24	2.58	0.23	3.04	5.61	0.93	5.61	6.07

* 以上相对误差均为测量值和标准值对比得到的误差。

根据不同堰型测出的流量绘制出流量柱状图,在控制流量为 2.14 L/s 条件下,找出 4 种堰型各自较优流量的公式,流量柱状见图 3:

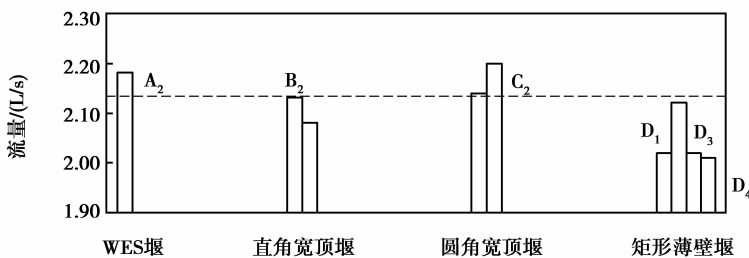


图 3 小流量下不同堰型的测流量结果柱状图

对于各个堰型均选取误差最小的经验公式最为在小流量下的推荐经验公式。

对于 WES 堰,式(1)较为准确其误差为 2.1%,直角宽顶堰则为式(2)较为准确其误差为 0.24%。圆角宽顶堰则应采用式(3)来计算误差为 0.23%,矩形薄壁堰宜采用式(4),误差为 0.93%。

通过实验流量和标准控制流量的对比分析,在流量为 2.14 L/s 小流量情况下,推荐经验公式的选取结论见表 4。

表 4 不同堰型的测流量结果与误差对比

堰型	WES 实用堰	直角宽顶堰	圆角宽顶堰	矩形薄壁堰
推荐公式	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)

综合两组实验得出的结论,在小流量下 4 种堰型的推荐经验公式选取的结论是一致的。可见在一般水槽试验小流量范围内,此结论均适用。

此经验公式的选取符合误差最小原则,选出的经验公式是同种堰型中误差最小的。但由于测出的流量组次不多,对于小流量的范围确定问题可能存在不准确。此外,在一定的小流量范围内,经验公式的选取可能不是一成不变的,想得到更为精准的结论,需要取更多的流量,用相同时的试验方法与步骤求出各堰型的不同经验公式的结果并和标准控制流量进行比较,得出推荐经验公式。

3 结 论

利用两组标定流量资料,分别采用 WES 实用堰、圆角宽顶堰、直角宽顶堰测量和矩形薄壁堰进行了流量测量,以检验不同堰型计算公式的精度;研究表明,对 WES 实用堰、圆角宽顶堰,直角宽顶堰测量和矩形薄壁堰建议分别采用式(1)、式(2)、式(3)及式(4)公式进行计算较为合理。

参考文献:

- [1] 李炜. 水力计算手册[J]. 2 版. 北京:水利水电出版社,2006
- [2] 王永昌. 薄壁堰流量计算式探讨[J]. 水利水电建设,2008(4):36-42
- [3] 赵彦晖,邱毅蒙,李粉娟. 带干扰的变破产下限多险种风险模型[J]. 重庆理工大学学报,2010,24(3):101-103
- [4] 张静,陈新岗,向险峰. 自动化技术在评审系统中的应用[J]. 四川兵工学报,2010(5):100-103

Analysis of Calculation Formula for Flow Rate of Different Kinds of Weirs

DENG Hong-fu, HUI Yuan

(School of River and Sea, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: By taking marked triangle thin weirs as control condition for calculating flow rate, the experiments on measuring flow rate were conducted on rectangle thin weirs, WES practical weirs, circle cape wide top weirs and right angle wide top weirs, the corresponding calculation formula were used to calculate and compare their flow rate among the weirs respectively. The results show that the calculated data are different for different sorts of weirs by the formula, that the flow rate calculated by different experiential formula for the same weir is different, and that recommended calculating formula are initially arrived at for the flow rate of different sorts of weirs by comparing and analyzing the deviated degree of calculated flow rate through different experiential formula with standard flow rate.

Key words: weir flow; sink experiment; flow calculation; comparison of formula

责任编辑:田 静

校 对:代小红