

# U 形渠道抛物线形移动式量水堰板研究

朱风书, 马孝义, 朱晓群, 刘海军

(西北农林科技大学)

**摘要:** 该文提出了 U 形渠道抛物线形移动式量水堰板, 研究量水堰板的壅水高度、临界淹没度、喉口水深与流量关系与渠道断面、比降和喉口收缩比的关系, 给出了喉口收缩比范围和流量系数计算公式, 分析了其测流误差。研究表明: U 形渠道抛物线形移动式量水堰板, 量水精度较高, 结构简单, 造价低, 使用方便, 可用于各种小 U 形灌溉渠道的移动式测流。

**关键词:** U 形渠道; 抛物线; 移动式; 量水堰; 流量系数

**中图分类号:** TV 698

**文献标识码:** A

**文章编号:** 100226819(2002)0220036205

国内外对 U 形渠道的测流问题进行了许多研究, 提出 U 形渠道抛物线形无喉段量水槽、直壁槽式量水槽、圆底形喉道量水槽<sup>[1,3-5]</sup>等多种量水槽, 并广泛应用。但对灌区大量存在的小型 U 形渠道, 由于其断面尺寸小, 过水时间短, 没有必要修建固定式量水槽。研究并推广结构简单、量水精度高、使用方便、造价低廉的移动式量水装置, 应是最佳选择。移动式量水装置测流时间短, 也不会造成渠道长时间壅水和泥沙淤积。U 形渠道抛物线形移动式量水堰板是在 U 形渠道平底抛物线形无喉段量水槽基

础上提出的。本文对其量水性能和流量计算公式进行试验研究, 试图为小 U 型渠道提供一种新的测流装置。

## 1 抛物线形量水堰板的构造

量水堰板是由塑料板制成抛物线形喉口, 并在上部留横档以维持强度, 将其放置在 U 形渠道中专门刻制的横槽中, 堰板喉口底端与渠底齐平, 不必改变渠底坡度, 如图 1 所示。量水堰板抛物线形喉口断面方程为

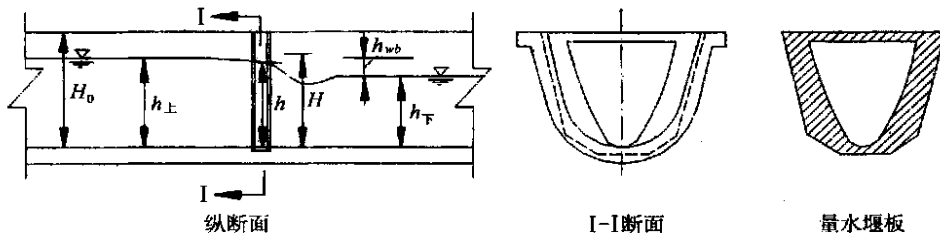


图 1 抛物线形移动式量水堰板的构造及在渠道量水中的应用

Fig 1 Structure of mobile parabolic thin plate flow measuring weir for U shape channel and its application in channel flow measurement

$$y = Px^2 \quad (1)$$

式中  $x, y$ ——以渠底为原点的纵横坐标, m;  
 $P$ ——抛物线形喉口断面形状系数,  $m^{-1}$

$$P = (16H_0^3 \delta) / (9EA_0 \delta) \quad (2)$$

式中  $H_0$ ——U 形渠道的衬砌深度, m;  $A_0$ ——U 形渠道衬砌断面面积,  $m^2$ ;  $E$ ——断面收缩比, 其值为喉口断面面积与  $A_0$  的比值。

## 2 自由流流量计算公式

在已知  $y = Px^2$  时, 通过喉口的流量可用下式表达

$$Q = \sqrt{2g} C_d H^2 \delta \sqrt{P} \quad (3)$$

式中  $g$ ——重力加速度,  $g = 9181 \text{ m} \delta s^2$ ;  $C_d$ ——流量系数, 无量纲;  $H$ ——喉口的总水头, m。

测流时, 仅知喉口水深  $h$ , 式(3)可用下式代替, 即

$$Q = \sqrt{2g} C_d C_v h^2 \delta \sqrt{P} \quad (4)$$

式中  $C_v$ ——流速影响系数, 其值为

$$C_v = (H / \delta h)^2 \quad (5)$$

收稿日期: 200120210 修订日期: 2002201210  
基金项目: 国家自然科学基金项目(49871040); 国家重大科技产业示范工程项目(992021201202)  
作者简介: 朱风书(1929- ), 男, 教授, 陕西杨凌 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 712100

按文献[3]推导,  $C_v$  为涉及多个因素的隐函数, 需迭代计算

$$C_v = \left[ 1 + \frac{\Delta C_v^2 C_v^2 h^3}{A^2 P} \right]^2 \quad (6)$$

式中  $A_v$ ——流速修正系数, 取 1108;  $h$ ——喉口水深, m;  $A$ ——喉口水深为  $h$  时喉口过水断面的面积,  $m^2$ , 其值为

$$A = (4\delta_3) h \sqrt{h\delta P} \quad (7)$$

用式(4)计算流量, 需迭代计算出  $C_v$  值, 使用不便。文献[6]提供的简化法计算流量, 不需试算, 便于使用。经推导, 流量计算公式为

$$Q = C_1 \cdot \frac{A^2}{h} \left[ 1 - \sqrt{1 - C_2 \cdot \frac{h^3}{A^2}} \right] \quad (8)$$

式中  $C_1, C_2$ ——系数

$$C_1 = \frac{\sqrt{gP}}{21828\Delta C_d} \quad C_2 = \frac{8\Delta C_d^2}{P} \quad (9)$$

### 3 试验装置与方法

试验在西北农林科技大学水利与建筑工程学院水力学实验室和节水灌溉试验站进行。水槽为

D20H30型U形槽, 中心角152°; 渠长20m, 试验中水槽坡降在1ö200~1ö4000之间变化, 堰板喉口收缩比E值分别取0135、0145、0155、0165, 并依据渠道断面和收缩比确定抛物线形喉口尺寸, 采用闸阀控制流量, 用标准三角堰测流。野外试验同上类似, 在坡度为1ö1000、中心角152°的D30H40型U形渠道上进行, 喉口收缩比0135~0180。

### 4 试验结果与分析

#### 4.1 壅水高度

壅水高度为堰板通过设计流量时上游水深和渠道下游水深的差值, 对两种渠道在不同比降和喉口收缩比下的壅水高度见表1。

由表1可以看出: 量水堰板的壅水高度随渠道比降的减少而减小, 随喉口收缩比的增大而减小, 随流量和孔口水深增大而增大, 可按下式近似估算

$$h_{wb} = E^{1.125} P^{0.1063} i^{0.1809}, \quad R = 0.1866 \quad (10)$$

在收缩比E=0170~0180时出现负值, 即下游淹没, 该E值不可用, 为限制壅水高度过大, 不超过10cm, 喉口收缩比应控制在0145~0165。

表1 量水堰板在不同渠道断面、比降及喉口收缩比下的壅水高度

Table 1 Height difference between up stream water and back water of flow measuring weir at different types of U shape channel, channel slope and area ratio of flow measuring weir throat to U shape channel

渠道断面	收缩比	$P \delta m^{-1}$	比降 $i$						cm
			1ö200	1ö400	1ö650	1ö1000	1ö1440	1ö2000	
D20H30	0135	871405		15					210
	0145	521875		918				217	
	015	351395		811			415		
	0165	251342	1012		611				
D30H40	0135	561392				13145			
	0140	431175				11137			
	0145	341113				9158			
	0150	271632				7167			
	0155	221836				5128			
	0160	191189				3173			
	0165	16135				2196			
	0170	141098				ö			
0175	121281				ö				
0180	101794				ö				

#### 4.1.2 临界淹没度

临界淹没度是指下游水深变化不影响上游水深时下游水深最大值与上游水深的比值, 用  $S_{cr} = h_{下\delta} / h_{上}$  表示, 两种渠道临界淹没度见表2。

由表2可以看出: 在同一比降条件下, 随着收缩比E的增大, 临界淹没度增大, 而在同一收缩比下, 随着比降的增大, 临界淹没度增大。对抛物线形移动式量水堰板, 喉口收缩比在E=0145~0165之间变

化时, 淹没度  $S_{cr} = 0.157 \sim 0.195$ 。

表 2 不同渠道断面、比降和喉口收缩比下量水堰板的临界淹没度

Table 2 Critical submerged ratio of flow measuring flume at different types of U shape channel, channel slope and area ratio of flow measuring weir throat to U shape channel

渠道断面	E值	P 值 $\text{cm}^{-1}$	比降 $i$	$S_{cr}$
D20H30	0135	871405	1ö400	0165~ 0168
			1ö2 000	0157~ 0162
			1ö4 000	0156~ 0160
	0145	521875	1ö400	0172~ 0174
			1ö800	0166~ 0170
			1ö2 000	0160~ 0172
0155	351395	1ö500	0169~ 0172	
		1ö840	0169~ 0176	
		1ö1 440	0168~ 0173	
0165	251342	1ö200	0189~ 0195	
		1ö300	0182~ 0190	
		1ö650	0177~ 0185	
D30H40	0135	561392	1ö1 000	0154 ~ 0170
	0140	431175	1ö1 000	0158~ 0169
	0145	341113	1ö1 000	0157~ 0170
	0150	271632	1ö1 000	0161~ 0173
	0155	221836	1ö1 000	0164~ 0174
	0160	191189	1ö1 000	0162~ 0176
	0165	161350	1ö1 000	0166~ 0177
	0170	141098	1ö1 000	0167~ 0180
	0175	121281	1ö1 000	0168~ 0182
	0180	101794	1ö1 000	0169~ 0184

3. 由此看出: 其流量与喉口总水头呈幂函数关系, 相关系数接近于 1, 且其幂值稳定接近于 2, 不随渠道比降、断面和喉口收缩比的变化而变化, 仅其系数值随渠道断面和喉口收缩比而变, 符合式(3)。

表 3 量水堰板在不同渠道断面及喉口收缩比下喉口总水头与流量关系

Table 3 Total hydraulic head&discharge relations of weir with different types of U shape channel and area ratio of flow measuring weir throat to U shape channel

渠道断面	收缩比	经验公式	相关系数	渠道比降范围
D20H30	0135	$Q = 01020 3H^{11979.3}$	01999.9	1ö200~ 1ö4 000
	0145	$Q = 01026 9H^{11971.2}$	01999.6	1ö200~ 1ö2 000
	0155	$Q = 01032 5H^{11975.3}$	01999.8	1ö200~ 1ö1 440
	0165	$Q = 01038 1H^{11986.1}$	01999.8	1ö200~ 1ö1 000
D30H40	0135	$Q = 01022 4H^{21002.8}$	01999.9	1ö1 000
	0140	$Q = 01028 5H^{11976.2}$	01999.9	1ö1 000
	0145	$Q = 01030 2H^{11996.7}$	01999.9	1ö1 000
	0150	$Q = 01037 6H^{11965.3}$	01999.9	1ö1 000
	0155	$Q = 01042 1H^{11967.1}$	01999.9	1ö1 000
	0160	$Q = 01047 0H^{11963.7}$	01999.9	1ö1 000
	0165	$Q = 01049 5H^{11970.1}$	01999.9	1ö1 000
	0170	$Q = 01048 6H^{11995.0}$	01999.9	1ö1 000
	0175	$Q = 01052 6H^{11991.0}$	01999.9	1ö1 000
	0180	$Q = 01056 7H^{11992.6}$	01999.9	1ö1 000

4.1.3 喉口总水头与流量关系

喉口总水头与流量关系如图 2, 经验公式见表

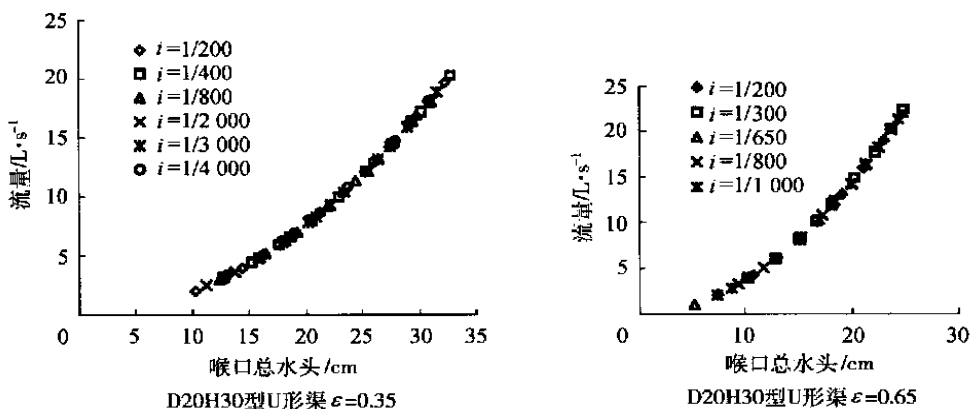


图 2 不同断面和喉口收缩比下的量水堰流量与喉口总水头的关系

Fig. 2 Depth&discharge relations of flow measuring weir at different types of U shape channel, channel slope and area ratio of flow measuring weir throat to U shape channel

414 流量系数  $C_d$  的变化规律

流量系数均值、标准差和相对误差见表 4。流量系数受渠道断面、收缩比和喉口水深的影响,其中收缩比影响最大。流量系数随收缩比的增大而增大,在同一收缩比不同断面下,随着抛物线系数  $P$  的增大而增大。在同一断面和收缩比下,随着流量  $Q$  和喉口水深的增大,流量系数  $C_d$  值减小,即呈反比关系,但其变幅相对较小较为稳定,见图 3。根据流量系数变化规律,构造无量纲数  $\epsilon \dot{O} P h$ , 建立其与流量系数的关系,见图 4 和式(11)。用该式估算  $C_d$  时的标准差为 01004 8,相对误差为 112%。

$$C_d = 01433 6(\epsilon \dot{O} P h)^{01027 7} \quad R = 01857 \quad (11)$$

由式(11)可以看出,流量系数具有明显的规律性,可以推定亦可用于其它类型的小型 U 形渠道上。

415 喉口总水头与喉口水深的关系

喉口总水头计算较烦,在  $E=0145\sim 0165$  范围内建立喉口总水头与喉口水深的经验公式

$$H = 1115h + 0166 \quad R = 01998 9 \quad (12)$$

表 4 不同渠道断面和喉口收缩比下的流量系数均值与标准差

Table 4 Mean and standard error of discharge coefficient at different types of U shape channel and area ratio of flow measuring weir throat to U shape channel

渠道断面	E值	$P$ 值 $\dot{O} m^{-1}$	流量系 数 $C_d$	标准差	相对误 差 $\delta\%$
D30H40	0135	561392	01384	01004	11058
	0140	431175	01391	01004	11154
	0145	341113	01394	01003	01859
	0150	271632	01399	01005	11471
	0155	221836	01409	01006	11712
	0160	191189	01410	01006	11689
	0165	161350	01412	01005	1137
	0170	141098	01406	01001	01334
	0175	121281	01410	01002	01605
D20H30	0180	101794	01411	01002	01494
	0135	871405	01401	01004	11007
	0145	521875	01405	01004	11081
	0155	351395	01410	01005	11309
	0165	251342	01416	01004	11042

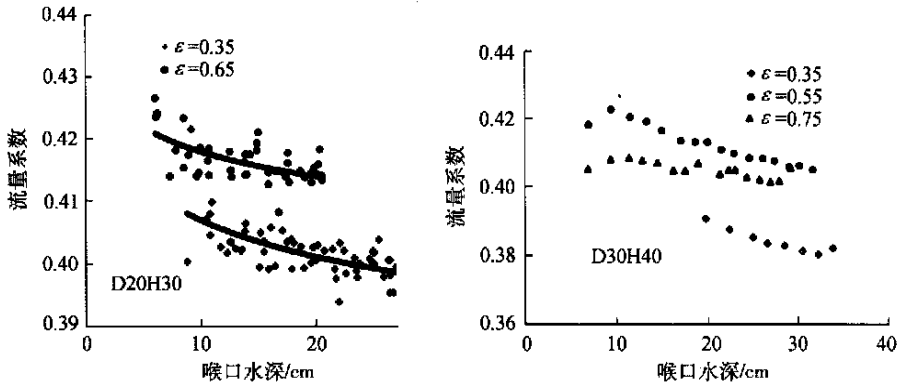


图 3 不同断面和喉口收缩比下的流量系数与喉口水深关系

Fig 3 Depth-discharge coefficient relations of flow measuring weir at different types of U shape channel and area ratio of flow measuring weir throat with U shape channel

416 流速系数  $C_v$  与水深的关系

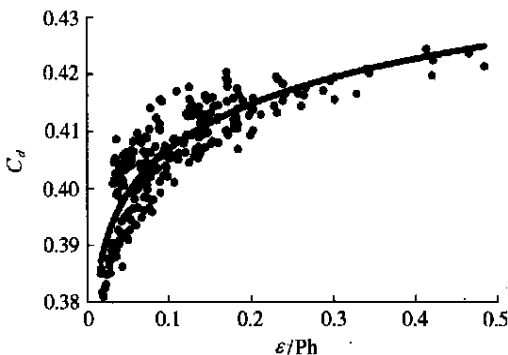


图 4 流量系数  $C_d$  与  $\epsilon \dot{O} P h$  关系图

Fig 4 Relationship between  $C_d$  and  $\epsilon \dot{O} P h$

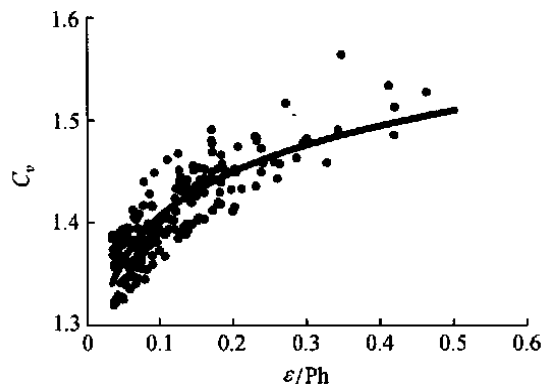


图 5 流速系数  $C_v$  与  $\epsilon \dot{O} P h$  关系图

Fig 5 Relationship between  $C_v$  and  $\epsilon \dot{O} P h$

流速系数  $C_v$  是一个无量纲系数, 试验发现: 其值随喉口收缩比  $E$  的增大而增大, 随水深  $h$  与抛物线形状系数的增大而减小。根据实测资料分析, 在  $E = 0.145 \sim 0.165$ ,  $C_v$  值可用式 (13) 表示, 该式估算  $C_v$  的标准差为 0.1002 219, 相对误差为 115.6%。

$$C_v = 11555 (E \cdot P \cdot h)^{0.1044} \quad R = 0.1841 \quad (13)$$

#### 4.1.7 测流精度分析

测流中误差是流量公式中诸因素误差的组合<sup>[2]</sup>, 根据流量公式 (4), 抛物线形量水堰板的测流误差可用式 (14) 表示

$$D_Q = \sqrt{D_d^2 + D_v^2 + (2D)^2 + (0.15D)^2} \quad (14)$$

式中  $D_Q$ ——流量相对百分误差,  $D_d$ 、 $D_v$ 、 $h$ ——为  $C_d$ 、 $C_v$ 、 $h$ 、 $P$  的相对百分误差。由式 (14) 计算在用式 (6) 估算  $C_v$  时量水堰板的测流总误差见表 5。

表 5 测流误差估计

Table 5 Estimation of measured discharge errors of flow measuring weir

项目	相对误差 $\delta\%$	误差源
$D_v$	$\pm 0.11$	取决于迭代误差
$D$	$\pm 1.10$	平均水深取 20 cm, 读数精确到 0.12 cm
$D$	$\pm 0.11$	室内精细制作, 误差很小,
$D_d$	$\pm 11.20$	据式 (11) 计算

经计算: 在渠道正常运行, 即喉口水深为平均水深时, 堰板测流总误差为  $D_Q = 213\%$ ; 在最小水深  $h = 0.11$  m 时,  $D = \pm 2\%$ , 则总测流误差分别为 412%。若采用式 (13) 估算  $C_v$ , 则表 5 中的  $D_v$  取 11.65%, 由此计算平均水深和最小水深下的测流误差分别为 219% 和 415%。因此采用移动量水堰板对不同比降的两种渠道和高低水位, 采用不同流量计

算公式, 均有良好的精度, 满足灌排渠道测流要求 ( $\pm 5\%$ )。由于  $C_v$  估算方法不同, 为计算方便, 建议用式 (4)、(11) 及 (13) 或式 (8) 及 (11) 计算。

## 5 结 论

1) 针对小 U 型渠道特点提出适用于 U 形渠道的移动式抛物线形量水堰板, 分析了壅水高度、临界淹没度和流量系数的变化规律, 给出了喉口收缩比的变化范围, 研究得到在不同渠道断面和喉口收缩比下的流量系数变化规律。分析量水槽的测流误差, 一般为 213% ~ 219%, 最大误差小于 412% ~ 415%, 可以满足小 U 形灌排渠道测流要求。

2) 由于该量水堰板结构简单, 测流方便, 造价低, 利于泥沙及悬 (漂) 浮物通过, 其收缩比可根据渠道坡降有较大的选择范围, 是小型 U 形渠道的移动测流的较理想方法。

### [参 考 文 献]

[1] 陕西省水利水保厅. U 形渠道[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986

[2] 川田裕郎. 流量测量手册[M]. 罗湊等译. 北京: 计量出版社, 1982

[3] 王 智, 朱凤书, 刘晓明. 平底抛物线形无喉段量水槽试验研究[J]. 水利学报, 1994(7): 12~ 23

[4] 张志昌. U 形渠道测流[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1997.

[5] Herschy R W. Stream flow measurement[M]. Elsevier Applied Science Publishers, London U K. 1985

[6] 吕宏兴, 朱凤书, 马孝义等. U 形渠道平底抛物线形无喉段量水槽流量公式的改进[J]. 灌溉排水, 1999(3): 30~ 34

## Mobile Parabolic Thin-Plate Weir for U-Shape Channel Flow Measurement

Zhu Fengshu, Ma Xiaoyi, Zhu Xiaoqun, Liu Haijun

(Water Conservation and Architecture Engineering College, North West SciTech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** A new mobile parabolic thin-plate weir for U 2shape channel flow measurement was developed, the height difference between upstream water and backwater and critical submerged ratio is analyzed, the allowable sectional area ratio of flow measuring weir to the U 2shape channel is obtained, the formulae for calculating the discharge and the law of the discharge coefficient are put forward. The results reveal that the new mobile parabolic thin-plate weir with high measurement accuracy, simple structure, low cost and easy to use, can be used for small U 2shape channel flow measurement.

**Key words:** U 2shape channel; parabola; mobile; flow measuring weir; discharge coefficient