

U形渠道量水槽的筛选研究

马孝义, 王文娥, 于国丰, 徐秋宁
(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要: U形渠道抛物线形无喉段量水槽、直壁式量水槽、圆底形量水槽具有与U形渠道自然衔接, 不抬高底坎, 过泥沙能力较强, 工程量较小, 量水精度较高的优点, 是U形渠道量水的优化选择, 对这3种量水槽在不同尺寸、底坡和糙率条件下的U形渠道的适应性、壅水高度、工程量及其量水精度等技术性能进行系统分析, 表明抛物线形无喉段量水槽的适用面广、工程量小、壅水高度较低, 量水精度与其它两种量水槽的量水精度相当, 是一种高性能的多泥沙U形渠道量水装置。

关键词: U形渠道; 量水槽; 适应性; 筛选

中图分类号: S 274

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)02-0072-06

Comparative Study on U-shaped Channel Flow Measurement Weir

MA Xiao-yi, WANG Wen-e, YU Guo-feng, XU Qiu-ning

(Water Conservancy and Architectural Engineering College, Northwest Sci-tech University
of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: The applicability, backwater height, cement volume, flow measuring precision of vertical wall, parabolic thin-plate, circle weir for U-shaped channel flow measurement are analyzed. The results point out that the parabolic thin-plate weir has some advantages, such as extensive applicability, small backwater height, low cement volume, high measure precision for small U-shaped channel flow measurement.

Key words: U-shaped channel; flow measurement weir; applicability; comparative study

节水农业的发展和水利制度的改革, 迫切需要结构简单、精度高的渠道流量测量装置。U型渠道已成为灌区中小型渠道主流衬砌方式, 因此研究与其配套的流量测量设施已成为灌溉排水科技的一个重要问题。过去国内外对渠道量水技术进行了大量的研究, 取得了丰硕的成果, 其主要的量水方法有流速法测流、分流式测流、量水堰、量水孔、量水槽、配套自计量水仪器等6大类方法。目前, 流速法测流如流速断面法、示踪法、浓度法等方法计算繁烦, 费时多, 难以满足灌溉量水要求; 分流式测流如农用分流计, 虽然结构较为简单, 测流直观, 壅水高度较小, 但由于水表易淤积, 不利于多泥沙渠道应用; 量水堰如薄壁堰、宽顶堰、简易量水槛、平坦V形堰, 一般要抬高底坎, 易造成淤积; 量水孔如测流孔板、喷嘴

等则要求有压出流且孔口较小, 易引起泥沙、浮冰、杂草等的壅积或堵塞; 各种用于渠道量水的仪器设备, 虽然易用, 但其技术较为复杂、价格昂贵, 在田间野外也不便保护, 难以大面积应用; 而各种量水槽则是通过缩窄断面使其实现临界流来测流的, 它不需要抬高底坎, 壅水高度小, 不易淤积, 量水精度较高, 适合多泥沙灌溉渠道应用。

在利用量水槽测流的研究方面, 国外Parshall (1920) 提出了巴歇尔量水槽, Skogerboe等(1972) 提出矩形无喉段量水槽, 它们已用于梯形和矩形渠道¹⁾。但由于其临界淹没度较小(0.6~0.8), 在缓坡渠道上多产生淹没出流, 测量精度较差。特别是这些量水槽只适用于梯形或矩形断面, 在U形渠道上直接应用时, 由于与渠槽不匹配造成水面波动过大, 无

¹⁾ 收稿日期: 2001-09-25

基金项目: 国家科技产业示范工程项目(99-021-01-02); 国家自然科学基金项目(49871040)。

作者简介: 马孝义, 男, (1965-), 陕西凤翔人, 教授, 博士, 主要从事农业水土工程方面的研究。

法保证测流精度, 不得不在测流槽的上、下游另加一段很长的梯形或矩形渠道以使水流与 U 形渠道平稳过渡, 这样既不经济, 也增加了施工难度, 限制了其应用。正是为克服上述缺陷, 我国学者对适合于 U 形渠道的量水技术进行了大量研究, 先后提出 U 形渠道抛物线形无喉段量水槽、直壁式量水槽、圆底形量水槽^[2~4]等多种量水槽, 它们具有与 U 形渠道自然衔接, 不抬高底坎, 过泥沙能力较强, 工程量较小, 量水精度较高的优点, 是 U 形渠道量水的优化选择, 并已制定了相应的技术标准^[4]。但是过去对上述量水槽的研究大多都是基于个别渠道的实验室或田间野外测流的精度分析, 缺乏对不同种类的量水槽的适应性、测流精度、工程量、施工难度进行系统性综合比较, 本文正是通过对不同尺寸和渠道底坡、糙率等条件下 3 种量水槽上述性能的系统分析, 探讨多泥沙 U 形渠道的最佳量水形式。

1 U 形渠道和量水槽的结构及设计参数确定

1.1 U 形渠道的结构

U 形渠道的结构见图 1。它的上部为一垂直或向外倾斜的直线段, 下部为半圆形结构^[5], 外倾角一

般在 0~20 之间, 渠道的深宽比 H/B 变化较大, 一般大型渠道在 0.65~0.8 之间, 而对小型渠道在 1 左右。U 形渠道的衬砌超高 a_1 和渠堤超高 a 随渠道大小和流量而变, 对一般中小型渠道: a_1 为 0.1~0.2 m, a 为 0.2~0.4 m。根据陕西省关中灌区的调查, 我国北方地区渠灌区的斗分渠的典型尺寸见表 1, 下文将以此作为研究对象。U 形渠道的过水断面面积 A 可用式(1) 计算。

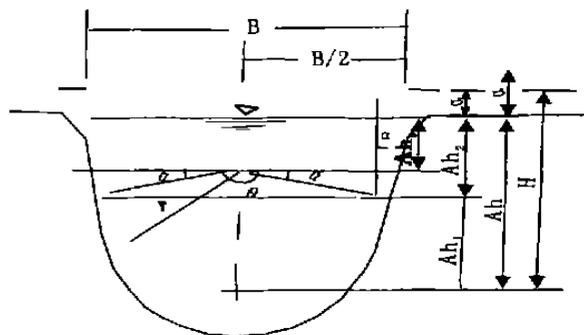


图 1 U 形渠道的结构

$$A = \frac{r^2}{2} [\pi(1 - \frac{\alpha}{90}) - \sin 2\alpha] + (H - T) [2r \cos \alpha + (H - T) \tan \alpha] \quad (1)$$

式中各项的含义见图 1, T 值按式(3) 计算:

$$T = r(1 - \sin \alpha) \quad (2)$$

表 1 我国北方地区渠灌区的斗分渠的典型尺寸

序号	渠槽型号	直径/m	渠高/m	衬砌超高/m	适用渠道	常见渠道底坡
1	H40D30	0.30	0.40	0.10	分渠	1/300~1/1000
2	H50D40	0.40	0.50	0.10	分渠、斗渠	1/500~1/1000
3	H60D60	0.60	0.60	0.15	斗渠	1/500~1/1000
4	H70D70	0.70	0.70	0.20	斗渠	1/750~1/1500
5	H80D80	0.80	0.80	0.20	斗渠	1/750~1/1500

* 据各地区土质等条件的不同, 表中渠道均有 0°、8°、15° 三种外倾角

1.2 U 形渠道的设计流量和最小流量

U 形渠道的设计流量 $Q_{设}$ 可在设计水位 $h_{设}$ 时按式(3) 计算, 设计水位为渠道衬砌高度 H 减去衬砌超高, $h_{设} = H - a_1$ 考虑到渠道灌水方式变化, 最小流量定为设计流量的 30%。

$$Q_{设} = (1/n)AR^{0.667}i^{0.5} \quad (3)$$

$$Q_{最小} = 0.3Q_{设} \quad (4)$$

式中: A 、 R 分别为设计水位 $h_{设}$ 时渠道过水面积和湿周, i ——渠道底坡; n ——渠道糙率, 由于施工方法和养护水平的不同在研究过程中主要考虑以下几种情况的糙率。

表 2 不同施工方法和养护水平的 U 形渠道的糙率

渠道衬砌方式	抹光的水泥沙浆抹面	金属模板浇筑的顺直渠道混凝土护面	预制混凝土渠槽	修整和养护都较差的混凝土护面
糙率 n	0.012	0.013	0.015	0.018

1.3 三种 U 形渠道量水槽的结构与设计参数

三种 U 形渠道量水槽都是临界水深槽, 它们均是在 U 形渠道上安装一个与 U 形渠底相平的收缩断面, 其面积被 U 形渠道断面小。在喉口上、下游增加进、出口渐变段, 其结构参数及其相互关系如图 2

和表 3 所示。其量水原理是在水流受量水槽侧向收缩作用, 在喉口附近发生临界流, 通过量水槽的流量不受下游水深的影响, 只与上游水深有关, 量水时, 只要测得上游水深, 便可求出通过量水槽的流量。其技术关键在于确定合理的收缩断面, 以保证在喉口

附近发生临界流并具有统一的测流公式。并推导和分析其流量公式见表 3:

2 三种量水槽适应性研究

适用的量水槽应满足以下三个条件: (1) 在通过最小流量和设计流量之间的任何流量时量水槽不出

现淹没出流。(2) 槽前水流的 $Fr < 0.5$, 以保证槽前水流平顺;(3) 量水槽的壅水高度小于允许壅水高度等。

在一般条件下, 允许壅水高度可为渠道的衬砌超高, 这样可不加高渠道衬砌, 不增加额外的工程量。按上述 3 个条件, 在 3 种量水槽各自给定的收缩

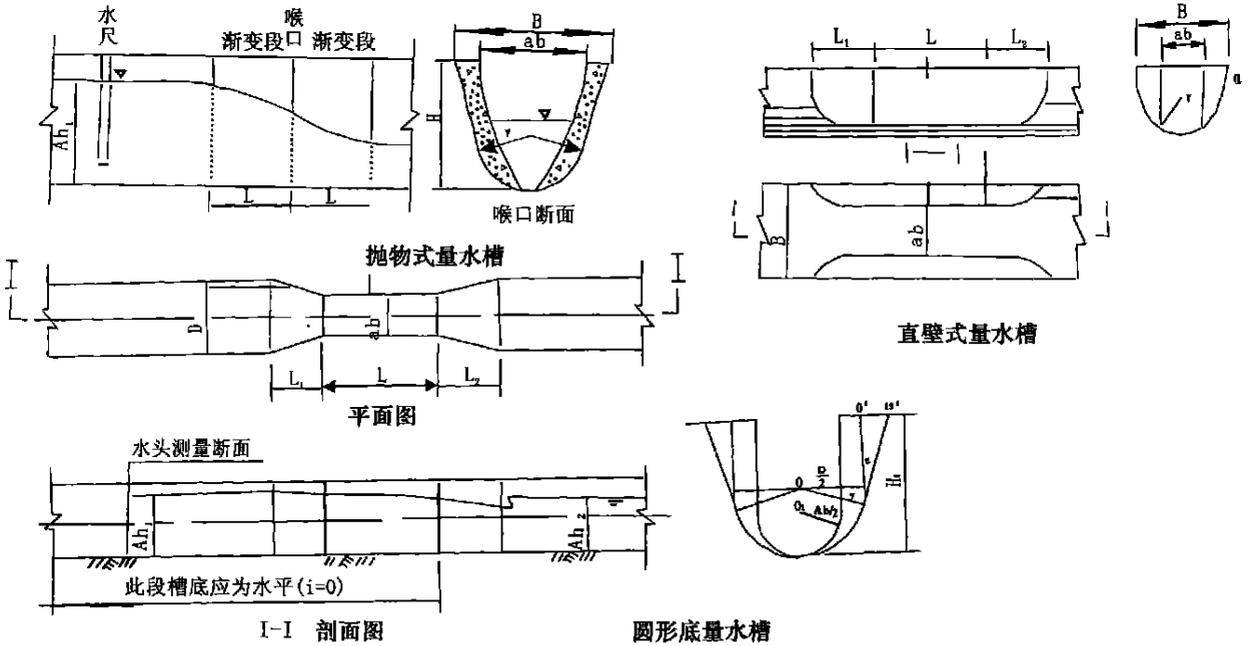


图 2 三种量水槽的结构示意图

表 3 三种量水槽的结构参数及流量计算公式

项 目	抛物线形量水槽	直壁式量水槽	圆底形量水槽
结 构 参 数	$\epsilon = A_p/A_0 = 0.3 \sim 0.75$ $P = 16h^3/9\epsilon^2 A^2$ $L_1 = L_2 = 3(B - b)$ $L_1 = L_2 = 0.3$ $A_p = \frac{4}{3}H \overline{\frac{H}{P}}$	$\epsilon = b/B_0 = 0.5 \sim 0.65$ $b = 0.1 \text{ m}$ $L = 1.25B \quad L_1 = L_2 = 0.7B_0$ $\frac{x^2}{(0.7B_0)^2} + \frac{y^2}{[(B_0 - b)/2]^2} = 1$	$\epsilon = b/D = 0.571 \sim 0.763$ $b = 0.1 \text{ m}$ $L = 2h_{\text{设}}$ $L_1 = 1.5(D - b)$ $L_2 = 3(D - b)$
流 量 公 式	$Q = \frac{C_d C_v h_1^2}{P} C_d = \frac{0.6261}{\epsilon^{0.15}} \overline{\frac{g P^{0.011}}{\epsilon^{0.15}}}$ $C_v = \left(1 + \frac{1.08 C_v^2 h^3}{2g P A^2}\right)^2$	$Q = 0.261 D^2 \overline{2g b (0.516 h_1/R + 0.0187)^{1.5476}}$	$Q = m b h_1^{\frac{3}{2}} \overline{2g}$ $m = (0.1889 + 0.2385\epsilon) \left(\frac{h_1}{D}\right)^{0.431\epsilon - 0.0589}$
$S_{\text{临}}$	0.88	0.83	$S_{\text{临}} = 0.7157 + 0.002\alpha + 0.155\epsilon$
Fr	< 0.5	< 0.5	< 0.5

* 表中各项含义见图 2, 其中 ϵ 为收缩比, 在三种量水槽中有不同的定义, 最大允许取值范围见表 3, D, r, A_0 分别为 U 形渠道直径、半径和衬砌断面面积, B_0 为渠深与直径之比为 0.82 渠深处的宽度, A_p 为抛物喉口的断面面积, $S_{\text{临}}$ 为临界淹没度, 其值为量水槽下游渠道水深与其上游水深之比, $S_{\text{临}} = h^2/h_1$, 对直壁式量水槽计算时, h_1 应用计入上游流速水头上游水尺总水头替换, Fr 为量水槽上游渠道水流的弗洛德数, $Fr =$

$Q/(A \sqrt{g A/W})$, A 为设计流量时渠道过水断面面积, W 为水面宽度。比范围内(见表 3), 对不同尺寸、底坡和糙率下 3 种量水槽适应性进行计算机模拟, 见表 4, 可以看出, 在不加高渠道衬砌的条件下, 各种量水槽适用范围都有一定限制, 抛物线形量水槽适应性显著优于其

它两种量水槽。灌区中存在着大量的陡底坡和缓底坡 U 形渠道, 要解决此类渠道的量水问题, 均需加高渠道衬砌高度, 但渠道加高衬砌高度又有很多限制条件, 如不能超过渠槽土堤部分的安全超高(一般

表 4 不同渠道条件下三种量水槽的适应性

渠道 型 号	外倾角 0° 底坡												渠 道 型 号	外倾角 8° 底坡																																																																																																																																							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)																																																																																																																												
糙率 0.012	直 壁 式	H40D30		*	+	+	+	+								*	*	+	+						直 壁 式	H40D30		*	*	+	+	+								*	*	+	+						糙率 0.012	圆 底 形	H40D30	*	*	+	+	+	+	*							*	+	+	+	+	*					圆 底 形	H40D30	*	+	+	+	+	+	*							*	+	+	+	+	*					抛物 线形	H40D30	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	抛物 线形	H40D30	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		H50D40	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+		+	H50D40	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+			+	H50D40	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+		+	H50D40	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+		+																																																
		H60D60	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	H60D60	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	H60D60	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+		+	+	+	H60D60	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+		+	+	+																																														
		H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+																																														
		H80D80			*	+	+	+	+	+							*	+	+	+	+							H80D80			*	+	+	+	+	+						*	+	+	+	+								H80D80	*	+	+	+	+	+	+	+	*					*	+	+	+	+	+	+		+	+	+	H80D80	*	+	+	+	+	+	+	+	*					*	+	+	+	+	+	+		+	+	+																																														
	糙率 0.015	直 壁 式	H40D30	*	+	+										*	+									直 壁 式	H40D30	*	+	+										*	+									糙率 0.015	圆 底 形	H40D30	+	+	+										+	+	+								圆 底 形	H40D30	+	+	+										+	+	+								抛物 线形	H40D30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	抛物 线形	H40D30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
			H50D40	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+		H50D40	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+			H50D40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		H50D40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																																																			
			H60D60	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+		+	H60D60	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	H60D60	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+		+	+	+	H60D60	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+		+	+	+	+																																														
			H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	H70D70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+																																														
		H80D80	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	H80D80	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	H80D80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	H80D80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																																																				

* 表中: 代号(1)表示底坡为 1/150, (2)表示 1/200, (3)表示 1/300, (4)表示 1/400, (5)表示 1/500, (6)表示 1/600, (7)表示 1/700, (8)表示 1/800, (9)表示 1/900, (10)表示 1/1000; (11)表示 1/1200, (12)表示 1/1500。+ 表示适用该条件下的渠道, * 表示量水槽允许壅水高度增加 5 cm 后, 扩大的适用渠道。

表 5 渠道和量水槽尺寸的施工误差及水头测量误差限

项目	渠道直径 D	量水槽宽度 b	水位零点 h ₀	水位观测 h ₁
测量方式	模板制作	人工现场浇注	精密控制	水尺读数
误差限/mm	5	5(1.5)*	2	8

* 表中对直壁式量水槽和圆底形量水槽, 由于一般要采用人工现场浇注混凝土的方式, 故其量水槽宽度采用 5 mm, 而对抛物线形量水槽, 由于其在室内制作三合板量水槽模板, 现场仅需按模板修筑渐变段扭面, 故其误差很小, 抛物线上口宽度制造误差限为 1.5 mm。

表 6 U 形渠道量水槽性能与其收缩比的关系(H 60D60 型渠, α = 80, n = 0.013, i = 1/500)

抛物线形					直 壁 式					圆 底 形						
ε	h _壅	v	δ _{Q设}	δ _{Q小}	ε	ε _面	h _壅	v	δ _{Q设}	δ _{Q小}	ε	ε _面	h _壅	v	δ _{Q设}	δ _{Q小}
0.57	14.56	45.84	1.88	3.32	0.59	0.406	14.74	409.82	2.30	3.09	0.58	0.603	14.96	171.47	1.59	3.07
0.59	13.49	41.31	1.92	3.38	0.60	0.409	13.93	405.10	2.28	3.11	0.59	0.613	14.62	167.28	1.59	3.09
0.61	12.46	39.29	1.96	3.44	0.61	0.412	13.14	400.48	2.25	3.13	0.60	0.623	14.29	163.10	1.59	3.10
0.63	11.47	37.28	2.00	3.49	0.62	0.414	12.40	395.98	2.25	3.14	0.61	0.632	13.97	158.94	1.59	3.11
0.65	10.51	35.27	2.04	3.55	0.63	0.417	11.68	391.59	2.22	3.18	0.62	0.642	13.65	154.80	1.59	3.13
0.67	9.58	33.25	2.07	3.61	0.64	0.419	10.99	387.31	2.21	3.18	0.63	0.651	13.34	150.68	1.60	3.14
0.69	8.68	31.24	2.11	3.68	0.65	0.422	10.31	383.14	2.19	3.22	0.64	0.661	13.04	146.57	1.60	3.15
0.71	7.81	29.22	2.16	3.74	0.66	0.424	9.66	379.08	2.18	3.21	0.65	0.670	12.74	142.48	1.60	3.16
0.73	6.96	27.21	2.20	3.79	0.67	0.426	9.03	375.12	2.16	3.26						

* 表中: ε、ε_面分别为量水槽的收缩比及相应收缩比下量水槽喉口与 U 形渠的断面面积比, 对抛物线形量水槽, ε = ε_面, h_壅、v₁、δ_{Q设}、δ_{Q小}分别为量水槽的壅水高度(cm)、工程量(L)、设计流量与最小流量下的量水时的总测流精度(%)。

表 7 不同渠道条件下三种量水槽的工程量、壅水高度及量水精度, $n=0.013$

型号	外倾角	比降	面积收缩比			型号	外倾角	比降	工程量(J)		
			直壁式	圆底形	抛物线形				直壁式	圆底形	抛物线形
H40D30	0°	1/300	0.5~0.65	0.6~0.66	0.61~0.75	H40D30	0°	1/300	34.33	67.83	8.29
		1/500	0.5~0.65		0.48~0.65			1/500	20.39		11.6
		1/700			0.41~0.55			1/700			14.92
	8°	1/300	0.55~0.65	0.63~0.72	0.61~0.75		8°	1/300	38.37	73.50	8.99
		1/500	0.5~0.65	0.57~0.58	0.48~0.64			1/500	28.37	88.14	12.94
		1/700			0.4~0.55			1/700			16.18
15°	1/300	0.63~0.65	0.66~0.73	0.6~0.71	15°	1/300	47.47	84.41	11.3		
	1/500	0.54~0.65	0.57~0.63	0.47~0.63		1/500	38.18	94.94	14.4		
	1/700			0.4~0.54		1/700			17.92		
H60D60	0°	1/500	0.55~0.65	0.58~0.63	0.57~0.75	H60D60	0°	1/500	113.21	363.23	24.13
		1/700	0.5~0.51		0.49~0.66			1/700	166.79		32.81
		1/900			0.43~0.59			1/900			39.56
	8°	1/500	0.58~0.65	0.59~0.67	0.57~0.74		8°	1/500	142.48	375.12	26.18
		1/700	0.5~0.52	0.57	0.48~0.65			1/700	196.97	419.65	35.27
		1/900			0.43~0.58			1/900			42.99
15°	1/500	0.62~0.65	0.61~0.7	0.56~0.73	15°	1/500	179.67	395.32	28.54		
	1/700	0.5~0.53	0.57~0.59	0.48~0.64		1/700	234.75	443.75	41.5		
	1/900			0.42~0.57		1/900			63.59		
H80D80	0°	1/700	0.5~0.58	0.57	0.51~0.69	H80D80	0°	1/700	330.98	924.76	53.18
		1/900			0.46~0.61			1/900			65.19
		1/1200			0.39~0.54			1/1200			88.29
	8°	1/700	0.5~0.59	0.57~0.6	0.51~0.68		8°	1/700	396.51	960.23	57.32
		1/900			0.45~0.61			1/900			82.91
		1/1200			0.39~0.53			1/1200			137.62
15°	1/700	0.5~0.6	0.57~0.62	0.5~0.67	15°	1/700	479.51	1017.44	79.25		
	1/900			0.44~0.6		1/900			126.97		
	1/1200			0.38~0.52		1/1200			194.75		
型号	外倾角	比降	壅水高度/cm			型号	外倾角	比降	设计流量量水精度/%		
			直壁式	圆底形	抛物线形				直壁式	圆底形	抛物线形
H40D30	0°	1/300	12.43	6.79	5.53	H40D30	0°	1/300	2.52	4.05	3.41
		1/500	4.23		4.2			1/500	2.82		3.4
		1/700			4.37			1/700			3.32
	8°	1/300	12.43	5.70	5.25		8°	1/300	2.45	3.78	3.32
		1/500	5.86	6.72	4.22			1/500	2.73	4.48	3.32
		1/700			4.15			1/700			3.29
15°	1/300	14.51	6.82	6.24	15°	1/300	2.38	3.76	3.12		
	1/500	7.66	5.77	4.31		1/500	2.64	4.18	3.25		
	1/700			4.32		1/700			3.23		
H60D60	0°	1/500	11.70	10.77	6.6	H60D60	0°	1/500	1.62	2.23	2.27
		1/700	9.96		6.3			1/700	1.74		2.23
		1/900			14.79			1/900			2.2
	8°	1/500	12.74	9.03	14.5		8°	1/500	1.6	2.16	2.23
		1/700	10.62	10.57	14.86			1/700	1.72	2.38	2.2
		1/900			14.37			1/900			2.18
15°	1/500	14.06	8.31	14.72	15°	1/500	1.57	2.13	2.18		
	1/700	11.53	10.16	14.47		1/700	1.69	2.34	2.17		
	1/900			14.64		1/900			2.15		
H80D80	0°	1/700	12.49	15.12	8.39	H80D80	0°	1/700	1.28	1.84	1.67
		1/900			8.23			1/900			1.63
		1/1200			8.29			1/1200			1.63
	8°	1/700	13.42	13.27	8.29		8°	1/700	1.26	1.78	1.64
		1/900			8.2			1/900			1.65
		1/1200			8.35			1/1200			1.62
15°	1/700	14.68	12.85	8.26	15°	1/700	1.24	1.75	1.62		
	1/900			8.22		1/900			1.61		
	1/1200			8.46		1/1200			1.6		
型号	外倾角	比降	最小流量量水精度/%			型号	外倾角	比降	最小流量量水精度/%		
			直壁式	圆底形	抛物线形				直壁式	圆底形	抛物线形
H40D30	0°	1/300	4.67	5.33	5.56	H60D60	0°	1/500	3.22	3.18	3.8
		1/500	5.41		5.77			1/700	3.35		3.83
		1/700			5.74			1/900			3.83
	8°	1/300	4.47	5.29	5.63		8°	1/500	3.16	3.26	3.83
		1/500	5.19	5.6	5.79			1/700	3.31	3.3	3.84
		1/700			5.79			1/900			3.85
15°	1/300	4.29	5.18	5.5	15°	1/500	3.1	3.26	3.84		
	1/500	4.97	5.51	5.79		1/700	3.26	3.28	3.86		
	1/700			5.78		1/900			3.85		
H80D80	0°	1/900	2.52	2.44	2.86	H80D80	0°	1/900	2.52	2.44	2.86
		1/1200			2.87			1/1200			2.87
		1/700	2.49	2.46	2.88			1/700	2.49	2.46	2.88
	8°	1/900	2.48	2.48	2.88		8°	1/900	2.48	2.48	2.88
		1/1200			2.88			1/1200			2.88
		1/700	2.45	2.44	2.89			1/700	2.45	2.44	2.89
15°	1/900	2.89		2.89	15°	1/900	2.89		2.89		
	1/1200			2.87		1/1200			2.87		

注:表中包含部分加大允许壅水高度 5 cm 条件下的量水槽。

在 0.1~0.20 m 之间), 否则将需增加土方工程量。同时加高渠槽衬砌高度的太多, 工程量也将大幅增加, 这对底坡较缓的渠道将更为显著, 对不少渠道还将影响渠首的进水或上游渠道的水流状态。为此在综合上述因素的基础上, 将渠道的允许壅水高度加大 5 cm 时, 不同量水槽的适应性见表 4。可以看出适当加高渠道衬砌高度, 放缓壅水高度限制, 可以增大量水槽适用范围, 各种量水槽适应性不同, 抛物线

形量水槽适应性显著优于其它两种量水槽。

3 三种量水槽的工程量、壅水高度及量水精度的比较

3.1 量水槽的壅水高度、量水精度和工程量计算方法

量水槽的工程量、壅水高度、量水精度是量水槽的重要性能和确定最佳量水槽形式的关键指标。其

中量水槽的壅水高度按通过设计流量时量水槽前水深与渠道下游水深的差值确定。量水槽的工程量按量水槽的几何尺寸计算确定。量水精度取决于流量系数和流量公式误差、施工误差和水深测量误差,但主要受后者控制。后者主要包括实际渠道和量水槽修建过程中的施工误差和量水槽而造成的量水误差。其中渠道修建过程中的施工误差主要为渠道半径误差,量水槽建设中的施工误差主要为量水堰槽宽度的误差,量水槽水深测量误差为量水槽的水尺零点误差和水深观测误差,它们主要取决于实际施工和水位观测控制方式。考虑到我国灌区的实际,渠道和量水槽尺寸的施工及水头测量误差限见表 5。

量水堰板的测流精度用相对百分误差的大小表示,测流中误差是上述诸因素误差的组合^[6],见式(5)。

$$\delta_Q = \sqrt{\delta_D^2 + \delta_b^2 + \delta_h^2 + \delta_{h_0}^2} \quad (5)$$

式中: δ_Q ——流量相对百分误差, δ_D 、 δ_b 、 δ_h 、 δ_{h_0} 分别为由于渠道直径、量水槽宽度、量水槽的水深测量和水尺零点测量误差而产生的量水误差。

考虑到上述误差计算十分复杂,对不同类型的渠槽在其通过设计流量和最小流量时采用表 3 中的公式将渠道直径、量水槽宽度、量水槽水深及其零点水位按其误差限变化时,计算其对应的各分项误差,然后再采用式(5)确定不同种类量水槽在其通过设计流量和最小流量的总测流误差值。

3.2 量水槽收缩比的确定

采用上文所述的分析方法,研究典型渠道尺寸、在特定底坡及糙率条件下 3 种量水槽在满足文 2 三个条件的收缩比下的工程量、壅水高度、通过设计流量和最小流量下量水精度,见表 6,可以看出:各种量水槽的工程量和壅水高度随量水槽的收缩比的增大而减小,最小流量时的量水精度均低于设计

流量时的量水精度,同一流量时量水精度随其量水断面收缩比的变化而变化,但没有趋势性的变化规律,且其变差不大。其它渠道尺寸、底坡及糙率条件下的规律也同上。综合上述分析,在满足基本的量水要求的条件下,应选择较小的量水槽收缩比,这样对量水精度影响不大,而量水槽修建的工程量和壅水高度较小。

3.3 三种量水槽的壅水高度、量水精度和工程量

研究 3 种量水槽在糙率 $n = 0.013$ 时,不同尺寸的渠道、底坡条件下,适用渠道在满足文 23 个条件时的最大量水槽断面收缩比下的工程量、壅水高度及通过设计流量和最小流量下的量水精度,见表 7,经研究对其它糙率时也同表 7 类似。可以得出:不同尺寸的渠道、底坡及糙率条件下,3 种量水槽的工程量不同,但均以抛物线形量水槽最小,直壁式量水槽次之,而以圆底形量水槽工程量最大。3 种量水槽的壅水高度,均以抛物线形量水槽最小,直壁式量水槽次之,圆底形量水槽的壅水高度最大,但 3 种量水槽的壅水高度差别不大。3 种量水槽的量水精度虽有一定差别,但差别较小,在设计流量时量水精度较高,一般在 1.2% ~ 3.5% 之间,最小流量时量水精度较低,一般以 2.5 ~ 6% 之间,基本上都能满足农业灌溉水量计量的要求。

4 结 论

3 种 U 形渠道量水槽中,以平底抛物线形量水槽的适用面广,工程量小,壅水高度也较低,3 种量水槽在设计流量时量水精度均小于最小流量时的量水精度,且在同一流量下的量水精度差别不大。因此在多泥沙 U 形渠道测流时,应优先选择平底抛物线量水槽。

参考文献:

- [1] Herschy, R W. Stream flow measurement[M]. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985.
- [2] 王智,朱风书,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.
- [3] 张志昌. U 形渠道测流[M]. 西安:西北工业大学出版社,1997.
- [4] 陕西省水利厅、陕西省技术质量监督局. 陕西省地方标准、U 形渠道量水槽[S]. 西安, 2000.
- [5] 陕西省水利水保厅编. U 形渠道[M]. 北京:水利电力出版社,1986 年 5 月.
- [6] 川田裕郎编. 流量测量手册[S]. 罗凑等译,北京计量出版社,1982 年 3 月.