

灌区特设量水设备水量监测误差分析

吴彩丽¹, 黄 斌¹, 谢崇宝²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044; 2. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100083)

摘 要:特设量水设备在灌区水量监测中发挥着十分重要的作用, 其中量水堰槽在实际应用中使用最为广泛。在分析主要量水堰槽流量计算公式的基础上, 对其由于水位监测误差而导致的流量计算误差进行了分析, 以期在实际应用中对水位计的选型及精度控制起到一定的借鉴作用。

关键词:灌区; 特设量水设备; 量水; 流量误差

中图分类号: S274.4 **文献标识码:** A

0 引言

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 对有限水资源的需求与日俱增, 灌区量水工作正受到越来越多的重视, 对量水精度的要求也越来越高。在灌区量水实践中, 通过监测过流建筑物的上下游水位, 选定适当的流量系数及流量公式, 从而计算出流量的方法使用的相当普遍, 因此水位量测是最为基本的观测数据。对于正常设置的量水设备, 其量水误差主要来源于水位量测。本文主要对量水堰槽等特设量水设备由水位测量误差引起的流量计算误差进行分析, 以期根据不同的流量精度要求选取合适的水位测量装置。

1 常用的水位测量方法与设备

灌溉渠系特设量水堰有薄壁堰、宽顶堰、三角剖面堰、平坦V形堰等; 特设量水槽有长喉道量水槽、巴歇尔量水槽和无喉道量水槽等。这些特设的量水设备一般由行近渠槽、量水建筑物和下游段三部分组成, 通过量水建筑物主体段过水断面的科学收缩, 使其上下游形成一定的水位落差, 从而得到较为稳定的水位流量关系。从水力学上看, 量水槽是在宽顶堰基础上, 根据文丘里流量计的测流原理设计成的量水建筑物, 可以看成是一种无坎的宽顶堰。它只在宽度上侧向束窄, 对水流中的泥沙及漂浮物等下泄非常有利。量水槽一般具有水头损失小、不宜淤积、测流精度高等优点, 较量水堰更适合灌区渠道应用。水位的监测是利用特设量水设备进行流量计算的基础工作, 目前灌区中采用的水位传感器主要有浮子式传感器、压力式传感器和超声波传感器等。传感器与记录设备合起来就组成了自

记式水位计, 可以在运行过程中记录下各时刻水位的变化情况。浮子式水位传感器因其结构简单, 性能稳定, 工作可靠, 使用及维修方便而被广泛使用, 其分辨率一般不大于 1.0 cm; 压力式水位传感器采用扩散型硅压阻传感器作为敏感元件, 内含温度补偿功能, 测量精度高, 但对含泥沙大的水质, 测量精度易受到影响。其分辨率一般为 0.1、0.2、0.5、1.0 cm; 超声波水位传感器为非接触式水位传感装置, 不改变液体的流动状态, 不产生附加的水头损失。超声波水位计是一种较为理想的水位测量仪器, 但其价格昂贵, 且受气候、波浪等外界因素的影响存在一定的测量盲区, 其分辨率一般为 0.5、1.0 cm。上述这些水位传感器可与量水堰槽配合使用共同量水, 在具体工作中应根据测量的精度要求、经济承受能力、安装运行方便等多方面的因素, 来综合选择合适的水位计。

2 堰槽量水的计算公式

堰槽流量公式的实质都是流量与堰槽宽度及水头的某次方成正比。因此, 其一般形式可写为:

$$Q = CBH^n \quad (1)$$

式中: Q 为通过堰槽的流量, m^3/s ; C 为各种影响因素的综合流量系数; B 为堰槽过流断面宽度, m ; H 为水头, m 。

量水堰槽的共同特点是在自由出流条件下精度较高, 在淹没出流条件下, 测量精度急剧下降。在自由出流条件下明渠式堰槽的流量与上游水头的 n 次方 ($n > 1.5$) 成正比, 测流范围较大。对淹没类量水设施, 如有压暗涵、喷嘴等, 其水位流量关系与明渠堰槽的相似, 但它的过流量与上下游水位差的平方根成正比, 测流比率较小。上式是堰槽流量计算水力学通用公式,

对于不同类型的堰槽流量系数不尽相同,国内外学者对此做了大量的工作,经过试验提出了许多针对不同量水方法的测流公式^[1~4]。

3 流量误差分析

在灌区量水中,一般根据实际需求的不同,对量水水量误差都有一定的要求,这就要求水位测量的误差应控制在某个范围以内,以保证带入公式计算后引起的流量误差在允许范围内(本文中的流量误差均指的是相对误差)。为简化分析,本文重点对自由出流情况下各种主要堰槽的流量计算误差进行分析评价。

3.1 薄壁堰

薄壁堰根据其过水断面形状的不同可分为三角形薄壁堰、矩形薄壁堰和梯形薄壁堰。

3.1.1 三角形薄壁堰

流量计算公式为:

$$Q = 1.4H^{5/2} \quad (2)$$

适用于 $P \geq 2H, B \geq (3 \sim 4)H$; H 为堰顶水头, m ; P 为堰高, m , 一般情况下 0.03 m , 测流范围: $0.0008 \sim 0.258 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在 $Q < 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 有较高的精度。在三角形薄壁堰的适宜水位范围内, 不同水位变化值引起的水位与流量误差的关系曲线见图 1。

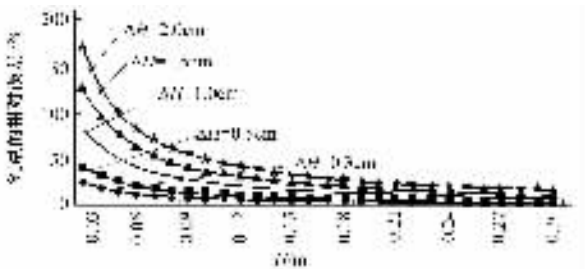


图 1 不同水位变化值引起的水位与流量误差的关系曲线

从图 1 中可以看出, 在 H 的取值范围内, 对于相同的水位变化值, 引起三角形薄壁堰的流量误差随水位的增大而迅速减小; 而对相同的水位值, 其水位误差越大则引起的流量误差也越大。

下面要分析的各类堰槽的水位与流量误差曲线的变化趋势都与三角形薄壁堰的相似, 为节省篇幅, 后面的堰槽流量误差分析图不再一一画出。

3.1.2 矩形薄壁堰

流量计算公式:

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3)$$

设计要求: $b \geq 0.15 \text{ m}$, 适用于 $H \geq 0.025 \text{ m}, \frac{H}{P} \leq 2, P \geq 0.$

3 m , 式中 m_0 为包含流速水头的流量系数, $m_0 = 0.403 + 0.053 \frac{H}{P} + \frac{0.0007}{H}$, 测流范围: $0.0008 \sim 77.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

由矩形薄壁堰的尺寸条件知: 当 $P = 0.3 \text{ m}$ 时, 取 $0.025 \text{ m} \leq H \leq 0.6 \text{ m}$; 当 $P = 1.0 \text{ m}$ 时, 取 $0.025 \text{ m} \leq H \leq 2.0 \text{ m}$ 。

3.1.3 梯形薄壁堰

流量计算公式为:

$$Q = 1.86BH^{3/2} \quad (4)$$

适用于 $0.25 \leq B \leq 1.5, P \geq \frac{B}{3}, \frac{B}{10} \leq H \leq \frac{B}{3}, \frac{\Delta H}{P} < 0.7$, 重要尺寸为堰高 P , ΔH 为上下游水位差。当来水流速大于 0.3 m/s 时, 流量系数采用 1.9 。测流范围: $0.0002 \sim 1.009 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

薄壁堰流量相对误差分析见表 1。从表 1 中可以看出, 三角形薄壁堰适用于测量小水头, 故水位误差对流量的影响非常大。在下限 0.03 m 处, 0.3 cm 的水位误差都会引起 25% 的流量误差, 即便是在上限 0.3 m 处, 水位测量相差 1 cm 引起的流量误差也达到了 8% 。矩形薄壁堰测量的适用水头比三角形的大, 且随堰高的增大而增大。对于不同堰高的矩形薄壁堰, 水位取值范围不同, 但在相同水位处由相同的 ΔH 引起的流量误差基本相等。大致上, 对 $\Delta H = 0.3 \text{ cm}$, 需 $H > 0.09 \text{ m}$ 才能造成的流量相对误差小于 5% ; 对 $\Delta H = 0.5 \text{ cm}$, 需 $H > 0.16 \text{ m}$; 对 $\Delta H = 1.0 \text{ cm}$, 需 $H > 0.32 \text{ m}$; 对 $\Delta H = 1.5 \text{ cm}$, 需 $H > 0.5 \text{ m}$; 而对于 $\Delta H = 2.0 \text{ cm}$, 需 $H > 0.65 \text{ m}$ 才行。梯形薄壁堰对于 $\Delta H = 0.3 \text{ cm}$, H 在取值范围内的任何一点处, 由水位测量引起的流量误差均不超过 5% ; 对 $\Delta H = 0.5 \text{ cm}$, 需 $H > 0.15 \text{ m}$; 对 $\Delta H = 1.0 \text{ m}$, 需 $H > 0.3 \text{ m}$; 对 $\Delta H = 1.5 \text{ cm}$, 需 $H > 0.45 \text{ m}$; 而对于 $\Delta H = 2.0 \text{ cm}$, 对取值范围内的所有水位值引起的流量误差均大于 5% 。

表 1 薄壁堰流量相对误差分析表

堰型	适宜水位上下限	流量相对误差 $\Delta Q/Q/\%$				
		$\Delta H = 0.3 \text{ cm}$	$\Delta H = 0.5 \text{ cm}$	$\Delta H = 1.0 \text{ cm}$	$\Delta H = 1.5 \text{ cm}$	$\Delta H = 2.0 \text{ cm}$
三角形薄壁堰	$H_{\text{上}} = 0.3 \text{ m}$	2.50	4.17	8.33	12.5	16.7
	$H_{\text{下}} = 0.03 \text{ m}$	25.0	41.7	83.30	125.0	167.0
矩形薄壁堰	$p = H_{\text{上}} = 0.6 \text{ m}$	0.853	1.42	2.84	4.26	5.68
	$0.3 \text{ m} H_{\text{下}} = 0.025 \text{ m}$	17.4	28.9	57.8	86.7	115.7
梯形薄壁堰	$p = H_{\text{上}} = 2.0 \text{ m}$	0.256	0.427	0.854	1.280	1.710
	$1.0 \text{ m} H_{\text{下}} = 0.025 \text{ m}$	17.3	28.8	57.5	86.3	115.1
梯形薄壁堰	$H_{\text{上}} = 0.55 \text{ m}$	0.818	1.360	2.730	4.090	5.450
	$H_{\text{下}} = 0.133 \text{ m}$	3.38	5.64	11.30	16.90	22.60

3.2 平顶堰

3.2.1 矩形平顶堰(无侧收缩自由出流时)

流量计算公式:

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (5)$$

适用于 $H \geq 0.06 \text{ m}, b \geq 0.3 \text{ m}, P \geq 0.15 \text{ m}, 0.15 \leq \frac{H}{P} \leq 1.5,$

m 为流量系数 $m = 0.32 + 0.01 \frac{3 - \frac{P}{H}}{0.46 + 0.785 \frac{P}{H}}$ (适用于 $0 \leq \frac{P}{H} \leq 3$), 当 $\frac{P}{H} > 3$ 时, 取 $m = 0.32$, 测流范围: $0.008 \sim 65 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2.2 圆头平顶堰(无侧收缩自由出流时)

流量计算公式:

$$Q = \sigma mb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (6)$$

适用于 $H \geq 0.06 \text{ m}, b \geq 0.3 \text{ m}, P \geq 0.15 \text{ m}, \frac{H}{P} \leq 1.5,$ 其中

流量系数 $m=0.36+0.01 \frac{3-\frac{P}{H}}{1.2+1.5 \frac{P}{H}}$ (适用于 $0 \leq \frac{P}{H} \leq 3$) 当

$\frac{P}{H}$ 时,取 $m=0.36$,测流范围: $0.008 \sim 82 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

平顶堰流相对误差分析见表 2。平顶堰水位流量误差的变化趋势与薄壁堰相同,但平顶堰的测量水头较薄壁堰大,所以平顶堰的流量误差普遍比薄壁堰小。与矩形薄壁堰一样,平顶堰不同的堰高水位上下限不同,但相同水位处相同的 ΔH 引起的流量误差大致相等。矩形平顶堰对 $\Delta H=0.3 \text{ cm}$,需 $H > 0.092 \text{ m}$ 才能使造成的流量相对误差小于 5%;对 $\Delta H=0.5 \text{ cm}$,需使 $H > 0.15 \text{ m}$;对 $\Delta H=1.0 \text{ cm}$,需使 $H > 0.3 \text{ m}$;对 $\Delta H=1.5 \text{ cm}$,需 $H > 0.45 \text{ m}$;而对于 $\Delta H=2.0 \text{ cm}$,需 $H > 0.6 \text{ m}$ 。圆头平顶堰与矩形平顶堰的流量误差数值大致相等。

表 2 平顶堰流量相对误差分析表

适宜水位上下限/m	流量相对误差 $\Delta Q/Q/\%$					
	$\Delta H=0.3 \text{ cm}$	$\Delta H=0.5 \text{ cm}$	$\Delta H=1.0 \text{ cm}$	$\Delta H=1.5 \text{ cm}$	$\Delta H=2.0 \text{ cm}$	
短形 平顶堰	$p=$ $H_{\pm}=0.3$	1.56	2.59	5.19	7.78	10.38
	0.2 m $H_{\mp}=0.06$	7.66	12.80	25.50	38.30	51.10
圆头 平顶堰	$p=$ $H_{\pm}=1.5$	0.293	0.488	0.975	1.460	1.950
	1.0 m $H_{\mp}=0.15$	3	5	10	15	20
圆头 平顶堰	$p=$ $H_{\pm}=0.225$	2.03	3.38	6.76	10.10	13.50
	0.15 m $H_{\mp}=0.06$	7.58	12.60	25.30	37.90	50.50
圆头 平顶堰	$p=$ $H_{\pm}=1.5$	0.304	0.507	1.010	1.520	2.030
	1.0 m $H_{\mp}=0.06$	7.5	12.5	25.0	37.5	50.0

3.3 量水槽

3.3.1 长喉道

流量计算公式:

$$Q_1 = A_c [2g(H-h_c)]^{0.5} \quad (7)$$

$$h_c = H - A_c/2B_c \quad (8)$$

$$Q = C_d Q_1 \quad (9)$$

式中: Q_1 为理想状况下的流量; Q 为实际流量, m^3/s ; h_c 为临界水深, m ; A_c 为临界过水断面面积, m^2 ; B_c 为临界水面宽度, m ; H 为堰上总水头, m ; C_d 为流量系数。

$C_d=0.93+0.10H/L$, 其中 $0.1 \leq H/L \leq 1.0$, 测流范围: $0.0024 \sim 1.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.3.2 巴歇尔槽(小型窄喉道)

流量计算公式: $H_b/H_a < 0.7$ 时,自由出流

$$Q = 0.372W(H_a/0.305)^{1.569W^{0.026}} \quad (10)$$

式中: H_a 为上游水尺读数, m ; H_b 为下游水尺读数, m ; W 为喉宽, m 。

国内常用的小型巴歇尔槽喉宽为 $0.25 \sim 3 \text{ m}$, 其测流范围为: $0.006 \sim 6.990 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.3.3 无喉槽

流量计算公式: 自由出流时: $Q=C_1 H^{n_1}$ (流态由淹没度 $S = h_H/H$ 与临界淹没度 S_i 的比较来判定), 自由流系数 $C_1 =$

$k_1 W^{1.025}$, 自由流指数 $n_1 = 1.5 + 0.27/L^{0.25}$, 自由流槽长系数 $k_1 = 2 + 1.25/L^{0.25}$, 其测流范围为: $0.004 \sim 6.368 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

量水槽流量相对误差分析见表 3。从表 3 中可以看出,对长喉槽来说,梯形槽的水头适用范围较大,但在相同水头和水位误差时,矩形槽比梯形槽的流量误差小。U 形长喉槽测流幅度较大,灵敏度高,可用于大水头也可用于小水头。对矩形槽: $\Delta H=0.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.15 \text{ m}$, 才能使引起的流量误差小于 5%; $\Delta H=0.3 \text{ cm}$ 时,取值范围内的水位值均符合; $\Delta H=1.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.3 \text{ m}$; $\Delta H=1.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.45 \text{ m}$; $\Delta H=2.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.6 \text{ m}$ 。对梯形槽: $b=0.1 \text{ m}$, $m=1.0$, $L=1.0 \text{ m}$ 情况下, $\Delta H=0.3 \text{ cm}$ 时,需使 $H > 0.12 \text{ m}$; $\Delta H=0.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.23 \text{ m}$; $\Delta H=1.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.46 \text{ m}$; $\Delta H=1.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.72 \text{ m}$; $\Delta H=2.0 \text{ cm}$ 时,取值范围内的水位值均不符合。 $b=1.0 \text{ m}$, $m=0.2$, $L=4.0 \text{ m}$ 情况下, $\Delta H=0.3 \text{ cm}$ 、 $\Delta H=0.5 \text{ cm}$ 和 $\Delta H=1.0 \text{ cm}$ 时,取值范围内的水位值均符合; $\Delta H=1.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.5 \text{ m}$; $\Delta H=2.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.65 \text{ m}$ 。U 形槽: $D=0.3 \text{ m}$, $L=0.6 \text{ m}$ 情况下, $\Delta H=0.3 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.123 \text{ m}$; $\Delta H=0.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.19 \text{ m}$; $\Delta H=1.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.35 \text{ m}$; $\Delta H=1.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.5 \text{ m}$; $\Delta H=2.0 \text{ cm}$ 时,取值范围内的水位值均不符合。 $D=1.0 \text{ m}$, $L=2.0 \text{ m}$ 情况下, $\Delta H=0.3 \text{ cm}$ 时,取值范围内的水位值都符合; $\Delta H=0.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.26 \text{ m}$; $\Delta H=1.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.43 \text{ m}$; $\Delta H=1.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.57 \text{ m}$; $\Delta H=2.0 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.72 \text{ m}$ 。

表 3 量水槽流量相对误差分析表

适宜水位上下限/m	流量相对误差 $\Delta Q/Q/\%$					
	$\Delta H=0.3 \text{ cm}$	$\Delta H=0.5 \text{ cm}$	$\Delta H=1.0 \text{ cm}$	$\Delta H=1.5 \text{ cm}$	$\Delta H=2.0 \text{ cm}$	
矩 形	$H_{\pm}=1.0$	0.479	0.799	1.6	2.4	3.2
	$H_{\mp}=0.1$	4.53	7.56	15.1	22.7	30.2
长 梯 形	$b=0.1 \text{ m}$, $H_{\pm}=1.0$	0.747	1.25	2.5	3.77	5.05
	$m=1.0$, $L=1.0 \text{ m}$ $H_{\mp}=0.1$	5.9	9.94	20.4	31.4	43.0
喉 道	$b=1.0 \text{ m}$, $H_{\pm}=4.0$	0.148	0.246	0.492	0.739	0.986
	$m=0.2$, $L=4.0 \text{ m}$ $H_{\mp}=0.4$	1.17	1.96	3.93	5.92	7.93
U 形	$D=0.3 \text{ m}$, $H_{\pm}=0.6$	0.843	1.41	2.82	4.24	5.67
	$L=0.6 \text{ m}$ $H_{\mp}=0.06$	16.7	28.3	58.9	91.7	126.5
巴 歇 尔	$D=1.0 \text{ m}$, $H_{\pm}=2.0$	0.253	0.421	0.843	1.26	1.69
	$L=2.0 \text{ m}$ $H_{\mp}=0.2$	4.92	8.25	16.7	25.4	34.3
无 喉 道	$H_{a\pm}=2.5$	0.188	0.313	0.625	0.938	1.25
	$H_{a\mp}=0.03$	15.6	26.1	52.1	78.2	104.2
无 喉 道	$L=0.9 \text{ m}$, $H_{\pm}=0.6$	0.889	1.48	2.96	4.44	5.92
	$W=0.2 \text{ m}$ $H_{\mp}=0.06$	8.89	14.8	29.6	44.4	59.2
无 喉 道	$L=3.6 \text{ m}$, $H_{\pm}=1.3$	0.391	0.652	1.3	1.96	2.61
	$W=2.0 \text{ m}$ $H_{\mp}=0.1$	5.09	8.48	16.96	25.44	33.9

巴歇尔槽下限水位较小,故此处(0.03 m)的流量误差较大。 $\Delta H=0.3 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.094 \text{ m}$, 才能使引起的流量误差小于 5%; $\Delta H=0.5 \text{ cm}$ 时,需 $H > 0.16 \text{ m}$; $\Delta H=1.0 \text{ cm}$ 时,需

$H > 0.3 \text{ m}$; $\Delta H = 1.5 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.43 \text{ m}$; $\Delta H = 2.0 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.6 \text{ m}$ 。无喉槽的水位适用范围较小, $L = 0.9 \text{ m}$, $W = 0.2 \text{ m}$ 情况下, $\Delta H = 0.3 \text{ cm}$ 时, 需满足 $H > 0.11 \text{ m}$, 才能使引起的流量误差小于 5%; $\Delta H = 0.5 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.18 \text{ m}$; $\Delta H = 1.0 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.35 \text{ m}$; $\Delta H = 1.5 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.52 \text{ m}$; $\Delta H = 2.0 \text{ cm}$ 时, 取值范围内的水位值均不能符合条件。 $L = 3.6 \text{ m}$, $W = 2.0 \text{ m}$ 情况下, $\Delta H = 1.5 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.1 \text{ m}$; $\Delta H = 0.5 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.168 \text{ m}$; $\Delta H = 1.0 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.335 \text{ m}$; $\Delta H = 1.5 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.5 \text{ m}$; $\Delta H = 2.0 \text{ cm}$ 时, 需 $H > 0.67 \text{ m}$ 才行。

4 结 语

灌区量水是有限水资源合理配置和实行按方收费的前提。为使灌区水资源得到高效合理的利用, 必须提高量水的精度, 且量水的准确与否直接影响着灌区的经济效益。目前, 灌区量水已作为灌区体制改革的一项重要工作提到日程上来, 但对于量水技术理论的研究还很不充分, 应加大理论研究的投入, 以期理论与实际相结合, 努力提高我国的灌区量水技术水平。

参考文献:

[1] 蔡 勇, 周明耀. 灌区量水使用技术指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
 [2] 吴持恭. 水力学(上册)[M]. 高等教育出版社, 1982.
 [3] 余常昭. 水力学(下册)[M]. 高等教育出版社, 1996.
 [4] 范家炎, 史伏初, 郑浩杰. 灌区量水设备[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
 [5] 郝树荣, 任瑞英, 郝树刚. 灌区量水技术的发展与展望[J]. 人民黄河, 2003, (11): 41-43.
 [6] 吉庆丰, 沈波, 李国安. 灌区量水设施研究开发进展[J]. 灌溉排水, 2001, (12): 69-72.

[7] 吕宏兴, 朱晓群. U形渠道抛物线型喉口式量水槽选型与设计[J]. 灌溉排水, 2001, (6): 55-57.
 [8] 朱风书, 马孝义. U形槽抛物线形移动式量水堰板研究[J]. 农业工程学报, 2002, (5): 36-40.
 [9] 臧立有, 信玉林, 高忠民. 灌区量水设备及其应用[J]. 黑龙江水专学报, 2002, 29(4): 115-117.
 [10] 王长德. 我国灌溉量水技术德应用[J]. 农村水利, 2005, (7): 26-29.
 [11] 洪 成, 吕宏兴, 张宽地, 等. U形渠道机翼形量水槽试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, (2): 63-65.
 [12] 刘焕芳, 宗全利, 李 强, 等. 灌区梯形量水堰测流改进研究[J]. 农业工程学报, 2005, (1): 57-60.
 [13] 吕宏兴, 朱风书, 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, 18(3): 30-34.
 [14] 周华兴, 郑宝友, 迟 杰, 等. 规范<薄壁矩形量水堰>的设计与应用[J]. 水道港口, 2003(3): 26-30.
 [15] 王 智, 朱风书, 刘晓明. 平底抛物线无喉段量水槽试验研究[J]. 水利学报, 1994, (7): 12-23.
 [16] 冯保清, 姜海波. 水位传感器在灌区的比选与应用[J]. 中国农村水利水电, 2005, (7): 104-107.
 [17] 吴景社, 朱风书, 康绍忠, 等. U形渠道示意量水设施及标准化研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, (4): 38-41.
 [18] 沈 波, 吉庆丰, 程吉林. 长喉道量水槽的设计新方法[J]. 灌排机械, 2003, 21(6): 23-26.
 [19] 陈建康, 沈 波. 长喉道量水槽的应用研究[J]. 灌溉排水, 2001, (12): 26-29.
 [20] 苏华英, 戴光清, 杨 庆, 等. 常用量水槽的计算理论与试验研究[J]. 东北水利水电, 2005, (4): 42-44.
 [21] 蔡 勇, 李同春, 吉庆丰, 等. 梯形渠道圆柱形量水槽的试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2005, (8): 63-66.

• 信 息 •

欢迎订阅《节水灌溉》杂志

《节水灌溉》是由中国国家灌排委员会、中国灌溉排水发展中心、武汉大学、国家节水灌溉北京工程技术研究中心共同主办的技术类期刊。是全国中文核心期刊, 中国科技论文统计源期刊, 省(部)优秀科技期刊, 入选“中国期刊方阵”。

栏目设置: 试验研究、工程技术、水利经济、工程管理、技术讲座、国外动态、设备与市场、简讯等。

读者对象: 从事节水灌溉行业的水利、农业、林业、机械及相关领域的技术人员、管理人员。

《节水灌溉》邮发代号 38-17, 双月刊, 6.00元/册, 全年定价 36元。双月 5 日出版, 全国各地邮局征订, 国内外公开发行。也可直接从编辑部订阅。

地 址: 武汉市珞珈山 武汉大学(二区)《节水灌溉》编辑部

电 话: (027) 68776133

电子信箱: jieshui@163.net

单位名称: 节水灌溉编辑部

账 号: 850283012610030659。

邮 编: 430072

传 真: (027) 68776133

联 系 人: 关良宝

开户银行: 建行武汉市东湖支行