

(23) 107-110

第28卷 第3期
2000年6月西北农业大学学报
Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalisVol. 28 No. 3
Jun. 2000

[文章编号] 1000-2782(2000)03-0107-04

抛物线形喉口式量水槽的简化流量公式

吕宏兴¹, 朱凤书¹, 董 鹏² ✓

S277.9

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100;

2 石头河水库管理局, 陕西 眉县 722305)

[摘 要] 用于U形渠道量水的抛物线形喉口式量水槽原流量公式为隐函数形式, 针对其使用不便的现状, 通过理论分析推导出了显函数形式的量水槽流量公式, 计算结果与原流量公式比较相对误差值 $<0.5\%$ 。

[关键词] U形渠道; 量水槽; 流量公式; 抛物线形喉口式; 灌溉
[中图分类号] S274.2 [文献标识码] A

U形渠道水力条件优越^[1], 且有占地少、工程量小、防渗效果好、耐冻胀等优点, 已得到广泛应用。随着灌区价格收费体系的不断完善, 解决好U形渠道量水技术中存在的问题尤为必要。传统的巴歇尔量水槽, 用于U形渠道量水时, 由于边墙收缩与U形渠道不匹配, 流态紊乱, 水尺附近水面波动大, 堰前水位难以准确读数, 流量测量精度很低; 用于输沙渠道时, 则因淤积严重而无法使用。“U形渠道抛物线形喉口式量水槽”^[2]正是针对上述生产实际问题而研制的, 经过近十多年来在陕西、甘肃等省的部分灌区推广应用, 证明该量水槽可用于各类标准的或侧墙直线段外倾的非标准U形渠道量水, 且测流精度较高(误差 $<3\%$), 用于输沙渠道时亦有不淤积的特点。但因量水槽原流量公式为隐函数形式, 需迭代计算求出流量, 手算因过于复杂而难以实现; 计算机编制的水位流量查算表需一堰一表, 量水槽规格较多时查用亦不方便, 影响了该量水槽的使用效果。本文以解决上述问题为目的, 推导出了以显函数表示的流量公式, 从而使流量可直接计算得出, 计算过程大为简化, 便于灌区生产单位使用。

1 量水槽及流量公式

抛物线形喉口式量水槽是从量水建筑物不淤积、壅水少、工程量小且方便实用的要求出发, 针对U形渠道的量水问题而研制的^[2]。其测流原理是使量水槽抛物线形喉口断面形成收缩, 产生临界流, 从而在槽前构成稳定的水位流量关系。量水槽的基本结构如图1所示, 由抛物线形喉口断面及上下游渐变段组成, 喉口断面底部与渠底齐平, 为无底坎型。量水槽原流量公式为^[3]:

$$Q = (C_d C_v h^2) / \sqrt{P} \quad (1)$$

式中, Q 为流量(m^3/s); C_d 为流量系数($\text{m}^{0.5}/\text{s}$); C_v 为水尺断面处比能 H_0 与水深 h 之比

[收稿日期] 1999-07-05

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59979023)

[作者简介] 吕宏兴(1955—), 男, 副教授, 博士。

的平方,即 $H_0^2 = C_d h^2$; h 为量水槽水尺读数,即水尺断面处的水深; P 为喉口断面抛物线形状系数(m^{-1}),即喉口断面曲线方程为 $y = Px^2$,见图 1 所示,其中 C_d 的计算公式为:

$$C_d = 1.96 P^{0.011} \epsilon^{-0.13} \quad (2)$$

C_v 的计算公式为:

$$C_v = \left(1 + \frac{\alpha_0 C_d^2 C_v^2 h^3}{2gPA^2} \right)^2 \quad (3)$$

抛物线形状系数 P 的计算公式为:

$$P = \frac{16H^3}{9\epsilon^2 A_0^2} \quad (4)$$

式(2)、(4)中, ϵ 为喉口收缩比,表示与渠顶同高的量水槽喉口断面面积 $A_t(m^2)$ 与渠道全断面面积 $A_0(m^2)$ 之比,且喉口面积以 $A_t = \frac{4}{3}H\sqrt{\frac{H}{P}}$ 计算;式(3)中 α_0 为动能修正系数; A 为水尺处相应于水深 h 的过水断面面积(m^2), H 为渠深(m)。

按(1)式求解流量时,要先由(3)式试算或迭代计算求出 C_v 后,才能计算出流量 Q 。

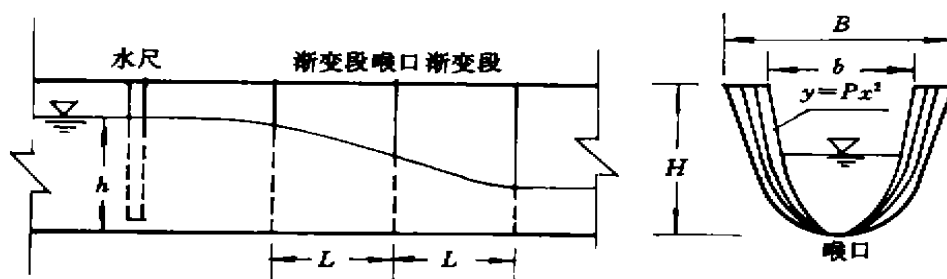


图 1 U 形渠道抛物线形喉口式量水槽示意图

2 流量公式的简化

上述 U 形渠道抛物线形喉口式量水槽流量公式,由于要迭代计算,不便生产中使用。就量水槽上游而言,由于堰前壅水,流速水头与水深之比为远小于 1 的量,设流速水头为 $h_v = \frac{\alpha_0 v^2}{2g} = \frac{\alpha_0 Q^2}{2gA^2}$,则由全水头 $H_0 = h + \frac{\alpha_0 v^2}{2g} = h + \frac{\alpha_0 Q^2}{2gA^2}$,可得 $\frac{H_0}{h} = 1 + \frac{h_v}{h}$,而 $C_v = \left(\frac{H_0}{h} \right)^2 = \left(1 + \frac{h_v}{h} \right)^2$,将平方项展开,并略去二次项 $\left(\frac{h_v}{h} \right)^2$,可得 C_v 的近似表达式为:

$$C_v = 1 + 2 \frac{h_v}{h} = 1 + 2 \frac{\alpha_0 Q^2}{2gA^2 h}$$

将 C_v 代入(1)式整理得:

$$Q^2 - \frac{gA^2 \sqrt{P}}{\alpha_0 C_d h} Q + \frac{gA^2 h}{\alpha_0} = 0$$

上式为关于流量 Q 的一元二次方程,求解该方程可得流量公式如下:

$$Q = \frac{g \sqrt{P}}{2\alpha_0 C_d} \cdot \frac{A^2}{h} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4\alpha_0 C_d^2}{gP} \cdot \frac{h^3}{A^2}} \right) \quad (5)$$

对已确定的量水槽,抛物线形状系数 P 及喉口收缩比 ϵ 为常数,重力加速度 $g = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$,动能修正系数 α_0 亦可视堰上游水流流速分布情况取为常数,本文中取 $\alpha_0 = 1.0$,取公式中前述各物理量组合的常数为:

$$C_1 = \frac{g \sqrt{P}}{2\alpha_0 C_d} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{4\alpha_0 C_d^2}{g P} \quad (7)$$

将 C_1, C_2 代入式(5),故流量公式可简化为:

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

对 U 形渠道^[3,4],如图 2 所示,过水断面面积计算根据水深的变化分别为:

当 $h \geq a$ ($a = r(1 - \cos \theta)$), 即 $\Delta h \geq 0$ 时

$$A = \frac{r^2}{2} \left[\pi \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right) - \sin 2\theta \right] + \Delta h (2 \cdot r \cdot \sin \theta + \Delta h \cdot \cot \theta) \quad (9)$$

当 $h < a$ 时

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{r^2}{2} \left[\pi \left(\frac{\beta}{90^\circ} \right) - \sin 2\beta \right] \\ \beta &= \arccos \left(1 - \frac{h}{r} \right) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

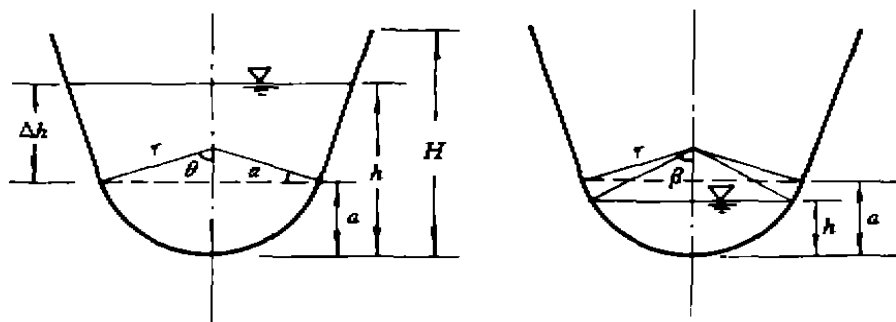


图2 量水槽水尺断面水深 $h \geq a$ 与 $h < a$ 示意图

式中符号如图 2 所示, a 为 U 形渠道底弧弓形高, β 为 $h < a$ 时水面以下底弧圆心角之半。量水槽在实际测流应用中很少出现 $h < a$ 的情况, 因此, (10) 式一般不常用。而在 $h \geq a$ 时, (9) 式右端除第二项中 $\Delta h = h - a$ 外, 其余项均为常数, 面积 A 只是水深 h 的函数。流量计算只需代入量水槽上游水尺处过水断面面积 A 与水深 h 即可求出。

显然, 公式(8)与原流量公式(1,3)相比可直接计算, 不需试算, 计算过程得以简化。

3 简化流量公式的计算精度

公式(8)的推导是将系数 C_d 中动能与势能之比的平方视为高阶小量而略去后的结果, 但其计算精度是完全能够满足灌区量水要求的。表 1 列出了 4 种规格抛物线形喉口式

量水槽水力学试验实测流量与原流量公式(1)和简化流量公式(8)计算结果的比较,表1中佛氏数 F_r 由水尺所在断面水力要素计算,而 $\frac{F_r^2}{2} = \frac{h_v}{h}$,因此,从表1中 F_r 的计算值可以看出,将二次项 $\left(\frac{h_v}{h}\right)^2$ 作为小量忽略,误差是很小的。经验算,公式(8)与(1)计算的相对差值 $<0.5\%$ 。

表1 量水槽实测流量、原公式与简化公式计算流量比较

$r=0.1\text{ m}, H=0.3\text{ m}, \alpha=9.5^\circ, \varepsilon=0.3$					$r=0.1\text{ m}, H=0.3\text{ m}, \alpha=9.5^\circ, \varepsilon=0.5$				
水深 h/cm	佛氏数 F_r	流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{s}^{-1})$			水深 h/cm	佛氏数 F_r	流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{s}^{-1})$		
		实测值	式(8)值	式(1)值			实测值	式(8)值	式(1)值
10	0.14	2.1	2.124 8	2.1	10	0.22	3.5	3.367 4	3.4
15	0.15	4.9	4.799 9	4.8	15	0.24	7.6	7.655 7	7.7
20	0.16	8.5	8.563 7	8.6	20	0.26	13.6	13.740 6	13.8
25	0.17	13.5	13.422 1	13.4	25	0.28	21.5	21.649 6	21.7
30	0.18	19.5	19.378 2	19.4	30	0.29	31.3	31.400 0	31.4
$r=0.15\text{ m}, H=0.4\text{ m}, \alpha=9.5^\circ, \varepsilon=0.65$					$r=0.3\text{ m}, H=0.6\text{ m}, \alpha=8.8^\circ, \varepsilon=0.65$				
水深 h/cm	佛氏数 F_r	流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{s}^{-1})$			水深 h/cm	佛氏数 F_r	流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{s}^{-1})$		
		实测值	式(8)值	式(1)值			实测值	式(8)值	式(1)值
10	0.27	5.3	5.374 3	5.4	10	0.26	7.9	8.023 3	8.0
15	0.29	12.1	12.227 9	12.2	15	0.27	18.0	18.132 5	18.2
20	0.31	22.0	22.015 6	22.1	20	0.28	32.0	32.400 4	32.5
25	0.33	34.5	34.830 5	34.9	25	0.30	51.0	50.928 1	51.0
30	0.36	50.0	50.750 0	51.0	30	0.31	74.0	73.845 1	74.0
35	0.37	69.5	69.837 7	70.2	35	0.32	100	101.258 1	101.5

注: r 为底弧半径, α 为外倾角。

[参考文献]

- [1] 吕宏兴,冯家涛.明渠水力最佳断面的比较[J].人民长江,1994,(11):42-45.
- [2] 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.
- [3] 陕西省水利水保厅. U形渠道[M].北京:水利电力出版社,1986.
- [4] 吕宏兴. U形渠道水力最佳断面及水力计算[J].西北水资源与工程,1991,(4):42-47.

Simplified discharge formula for flow measurement flume with parabolic throat in U-shaped channel

LU Hong-xing¹, ZHU Feng-shu¹, DONG Peng²

⁽¹⁾ College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

⁽²⁾ The Reservoir Management of Store-River, Meixian, Shaanxi 722305, China

Abstract: The original flow rate formula of parabolic throat flume used for U-shaped channel is implicit function and is not convenient for calculation in irrigation districts. An simplified formula is developed in this paper, with a difference between results calculated with the original formula and the new formula being less than 0.5%.

Key words: U-shaped canal; measuring flume; flow rate formula