

文章编号: 1006-4710(2012)02-0198-06

U形渠道临界水深、弗劳德数和水跃的研究

张志昌, 李若冰

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 提出了 U 形渠道临界水深、弗劳德数和水跃的计算方法。给出了 U 形渠道临界水深的迭代计算公式和弗劳德数的显式计算公式, 推导出了 U 形渠道的水跃方程, 与文献[7]的实测数据进行了对比分析, 验证了公式的可靠性。

关键词: U 形渠道; 临界水深; 弗劳德数; 水跃

中图分类号: TV135 **文献标志码:** A

Research on Critical Water Depth, Froude Number and Hydraulic Jump of U-Shaped Channel

ZHANG Zhichang, LI Ruobing

(Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: This paper presents the calculation method of the critical water depth, Froude number and hydraulic jump of U-shaped channel. An iterative calculation formula for the critical water depth is proposed, an explicit formula of Froude number is given as well. And at the same time, the equation about the hydraulic jump of U-shaped channel is deduced. The comparative analysis is made of the measured data cited in reference(7), whereby testifying the equation reliability.

Key words: U-shaped channel; critical water depth; Froude number; hydraulic jump

U形渠道是明渠灌溉、排水和反拱型消力塘应用的主要断面形式。目前对其水力特性的研究主要集中在正常水深和水力最佳断面上,关于临界水深、弗劳德数和水跃的研究较少。U形渠道的水跃是反拱型消力塘设计的重要问题,因此对水跃的研究有着重要的实际意义。

文献[1][2]提出了 U 形渠道正常水深和水力最佳断面的计算方法以及迭代公式;文献[3][4]采用数学拟合的方法研究了宽浅式(圆形上部梯形断面边坡系数 $m < 1$)和窄深式(边坡系数 $m > 1$)U形渠道正常水深的近似计算方法;文献[5]将 U 形渠道面积折算成一个近似的矩形和两个近似三角形,并对 1 000 余组数据进行相关分析,得出了 U 形渠道临界水深的近似计算方法;文献[6]提出了 U 形渠道正常水深和临界水深的显式计算,其处理方法与文献[5]相似,但系数仍然是经验的;文献[7]通过试验得出了下部为半圆,上部为矩形断面的水跃形态、水跃区的流速分布、水跃长度并给出了共轭水深计算公式。笔者曾针对该公式^[7]用自己的实验资料作过误差分析,一般误差在 5% 左右,最大误差会达到 10% 以上;文献[8]通过试验研究了底部为

圆形、上部为梯形的 U 形渠道的水跃方程、水跃长度和消能率的计算方法,但试验仅限于跃前水深在圆形断面内,跃后水深在梯形断面内的一种工况,没有给出 U 形渠道水跃计算的一般公式;文献[9]利用连续方程和雷诺方程,推导了圆形断面和 U 形渠道的水跃方程,结论是该方程与矩形和其他断面形状的共轭水深方程一致,由此证明在 U 形渠道中仍然可以使用水跃的一般方程;文献[10]也研究了一般 U 形渠道水跃共轭水深的计算方法,其结果仍然是文献[7]的公式,没有推导过程。关于 U 形渠道流速分布的研究,近年来文献[11][12]已有一些研究成果。

本研究探讨 U 形渠道的临界水深、弗劳德数和水跃的一般计算方法,这些计算公式的形式可能复杂一些,这是由 U 形渠道断面本身的性质决定的,但利用 Excel 计算工具进行试算或迭代求解方程已非常简单。本研究提出的 U 形渠道临界水深、弗劳德数和水跃的理论计算公式可供工程应用。

1 U形渠道临界水深公式的推导

U形渠道由下部的圆形和上部的梯形或矩形组成,如图 1 所示。

收稿日期: 2011-11-20

作者简介: 张志昌(1954-),男,陕西西安人,教授级高级工程师,研究方向为水工水力学。Email: zhangzc@xaut.edu.cn。

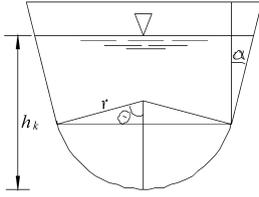


图1 U形渠道

Fig. 1 U-shaped channel

由图1中的几何关系可知,当临界水深 $h_k < r(1 - \cos \theta)$ 时,水深处于圆形断面内,可以按圆形断面计算临界水深。当临界水深 $h_k \geq r(1 - \cos \theta)$ 时,水面处于梯形或矩形断面内,就是所谓的U形渠道,则 θ 为一常数,渠道的水面宽度为 B_k ,过水断面面积为 A_k ,则:

$$A_k = r^2\theta + \frac{(h_k^2 + 2r^2 - 2rh_k)}{\tan\theta} + \frac{2r(h_k - r)}{\sin\theta} \quad (1)$$

对上式通分得:

$$A_k = \frac{r^2\theta\sin\theta}{\sin\theta} + \frac{(h_k^2 + 2r^2 - 2rh_k)\cos\theta}{\sin\theta} + \frac{2r(h_k - r)}{\sin\theta} \quad (2)$$

水面宽度为:

$$B_k = 2r\sin\theta + 2(h_k - r + r\cos\theta) \frac{\cos\theta}{\sin\theta} = \frac{2r + 2(h_k - r)\cos\theta}{\sin\theta} \quad (3)$$

$$\frac{A_k^3}{B_k} = [r^2\theta\sin\theta + (h_k^2 + 2r^2 - 2rh_k)\cos\theta + 2r(h_k - r)]^3 / \{ [2r + 2(h_k - r)\cos\theta] \sin^2\theta \} \quad (4)$$

已知临界水深的一般公式^[13]为:

$$\frac{\beta Q^2}{g} = \frac{A_k^3}{B_k} \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)得:

$$\frac{[r^2\theta\sin\theta + (h_k^2 + 2r^2 - 2rh_k)\cos\theta + 2r(h_k - r)]^3 / \{ [2r + 2(h_k - r)\cos\theta] \sin^2\theta \}}{\beta Q^2/g} = \quad (6)$$

式中, h_k 为临界水深, r 为U形渠道的半径, θ 为U形渠道的中心半角, Q 为流量, g 为重力加速度, β 为动能修正系数。

令 $h_k - r = \lambda$, $h_k = \lambda + r$, 代入式(6)得:

$$\frac{[r^2\theta\sin\theta + r^2\cos\theta + \lambda^2\cos\theta + 2r\lambda]^3}{2(r + \lambda\cos\theta)\sin^2\theta} = \frac{\beta Q^2}{g} \quad (7)$$

由上式得迭代公式为:

$$\lambda = \frac{[(2\alpha Q^2/g)(r + \lambda\cos\theta)\sin^2\theta]^{1/3}}{2r} - \frac{r^2(\theta\sin\theta + \cos\theta)}{2r} - \frac{\lambda^2\cos\theta}{2r} \quad (8)$$

当 $\theta = 90^\circ$ 时即渠道的上部为矩形,水面处于矩形断面内,则式(7)变为:

$$\frac{[\pi r^2/2 + 2r(h_k - r)]^3}{2r} = \frac{\beta Q^2}{g} \quad (9)$$

解得:

$$h_k = r - \frac{\pi}{4}r + \frac{1}{2r} \left(\frac{2r\beta Q^2}{g} \right)^{1/3} \quad (10)$$

当 θ 和半径 r 一定时,公式(8)的形式并不复杂,在迭代计算时 λ 的初值可设为0。由算例1可知,当迭代次数为5次时,即可得到迭代结果。

2 U形渠道的弗劳德数

已知弗劳德数的表达式为:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gA/B}} = \frac{Q}{A\sqrt{gA/B}} = \frac{Q}{\sqrt{gA^3/B}} \quad (11)$$

式中, A 为过水断面面积, B 为水面宽度。

将(4)式的脚标 k 去掉代入(11)式得:

$$Fr = \frac{Q}{\sqrt{g}} \times \{ [2r + 2(h - r)\cos\theta]^{1/2} \sin\theta \} / \{ [r^2\theta\sin\theta + (h^2 + 2r^2 - 2rh)\cos\theta + 2r(h - r)]^{3/2} \} \quad (12)$$

当 $\theta = 90^\circ$ 时,(12)式变为:

$$Fr = \frac{Q}{\sqrt{g}} \frac{(2r)^{1/2}}{[r^2\pi/2 + 2r(h - r)]^{3/2}} \quad (13)$$

算例1 某U形渠道已知 $r = 0.3$ m, $\theta = 75^\circ$, $Q = 0.5$ m³/s, 计算渠道的临界水深和弗劳德数。

解: 将 $r = 0.3$ m, $\theta = 75^\circ$, $Q = 0.5$ m³/s 代入式(8), 并取 $\beta = 1$ 得:

$$\lambda = 0.604031 (0.3 + \lambda\cos 75^\circ)^{1/3} - 0.228482 - 0.4313651\lambda^2$$

由上式迭代得 $\lambda = 0.181744$ 4m, 则:

$$h_k = \lambda + r = 0.191176 + 0.3 = 0.4817444$$
 m

$$[2r + 2(h - r)\cos\theta]^{1/2} \sin\theta = [2 \times 0.3 + 2 \times (0.4817444 - 0.3)\cos 75^\circ]^{1/2} \sin 75^\circ = 0.804726$$

$$r^2\theta\sin\theta = 0.3^2 \times \frac{75^\circ\pi}{180^\circ} \sin 75^\circ = 0.1137955$$

$$(h^2 + 2r^2 - 2rh)\cos\theta = (0.4817444^2 + 2 \times 0.3^2 - 2 \times 0.3 \times 0.4817444)\cos 75^\circ =$$

0.0318428

$$2r(h-r) = 2 \times 0.3 \times (0.4817444 - 0.3) =$$

0.10904664

$$[r^2\theta\sin\theta + (h^2 + 2r^2 - 2rh)\cos\theta + 2r(h-r)]^{3/2} =$$

$$(0.1137955 + 0.0318428 + 0.10904664)^{3/2} =$$

0.12853

$$Fr = \frac{Q}{\sqrt{g}} \times \{ [2r + 2(h-r)\cos\theta]^{1/2} \sin\theta \} /$$

$$\{ [r^2\theta\sin\theta + (h^2 + 2r^2 - 2rh)\cos\theta +$$

$$2r(h-r)]^{3/2} \} = \frac{0.5}{\sqrt{9.8}} \times \frac{0.804726}{0.12853} = 1.0$$

即,渠道的临界水深为 0.481 744 4 m,在临界水深时 U 形渠道的弗劳德数为 1.0。

3 U 形渠道的水跃

3.1 U 形渠道的水跃方程

棱柱体明渠的水跃方程为^[13]:

$$\frac{Q^2}{gA_1} + A_1h_{c1} = \frac{Q^2}{gA_2} + A_2h_{c2} \quad (14)$$

式中, A_1 为跃前断面的面积、 A_2 为跃后断面的面积、 h_{c1} 为跃前断面水流形心到水面的距离、 h_{c2} 为跃后断面水流形心到水面的距离。

3.1.1 下部为圆形上部为梯形的 U 形渠道水跃

下部为圆形,上部为梯形的 U 形渠道水跃见图 2,现分三种情况讨论。

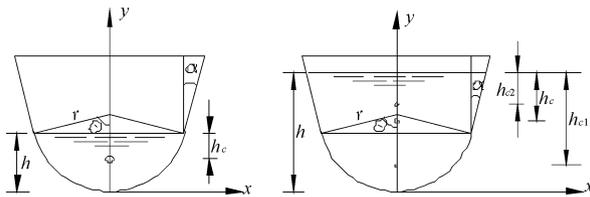


图 2 U 形渠道形心位置

Fig.2 Centroid position of U-shaped channel

1) 当渠道中的跃前断面和跃后断面水深均为 $h > r(1 - \sin\alpha)$ 时,跃前、跃后水深均处于上部梯形断面内,用 A' 和 A'' 分别表示弓形和梯形断面的面积,用 h_{c1} 和 h_{c2} 分别表示弓形和梯形断面形心到水面的距离,如图 2 所示。

则:

$$A' = r^2(\theta - \sin\theta\cos\theta)$$

$$A'' = (2r\cos\alpha + h\tan\alpha - r\tan\alpha + r\sin\alpha\tan\alpha)(h - r + r\sin\alpha)$$

$$h_{c1} = \frac{2r^3 \sin^3\theta}{3A_1} - r + h$$

$$h_{c2} = \frac{h - r + r\cos\theta}{6} \times$$

$$\frac{6r\sin\theta + 2\tan\alpha(h - r + r\cos\theta)}{2r\sin\theta + \tan\alpha(h - r + r\cos\theta)}$$

$$h_c = \frac{A'h_{c1} + A''h_{c2}}{A' + A''}$$

以上各式中, α 为梯形断面的外倾角, h_c 为断面形心到水面的距离。

设跃前跃后水深分别为 h'_c 和 h''_c ,相应的过水断面面积分别为 A_1 和 A_2 ,形心到水面的距离分别为 h'_{c1} 和 h''_{c1} ,则有:

$$A_1 = A'_1 + A''_1 \quad (15)$$

$$A_2 = A'_2 + A''_2 \quad (16)$$

$$h_{c1} = \frac{A'_1h'_{c1} + A''_1h''_{c1}}{A'_1 + A''_1} \quad (17)$$

$$h_{c2} = \frac{A'_2h'_{c2} + A''_2h''_{c2}}{A'_2 + A''_2} \quad (18)$$

式中, A'_1 和 A''_1 分别为跃前断面的弓形和梯形断面面积、 A'_2 和 A''_2 分别为跃后断面的弓形和梯形断面面积、 h'_{c1} 和 h''_{c1} 分别为跃前断面弓形形心和梯形断面形心到水面的距离、 h'_{c2} 和 h''_{c2} 分别为跃后断面弓形形心和梯形形心到水面的距离、 h_{c1} 为跃前断面形心到水面的距离、 h_{c2} 为跃后断面形心到水面的距离。

水跃方程为:

$$\frac{Q^2}{g(A'_1 + A''_1)} + (A'_1h'_{c1} + A''_1h''_{c1}) =$$

$$\frac{Q^2}{g(A'_2 + A''_2)} + (A'_2h'_{c2} + A''_2h''_{c2}) \quad (19)$$

2) 当跃前断面水深 $h < r(1 - \sin\alpha)$,跃后断面水深 $h > r(1 - \sin\alpha)$ 时,跃前断面水深处于弓形断面内,跃后水深处于梯形断面内(见图 3)。

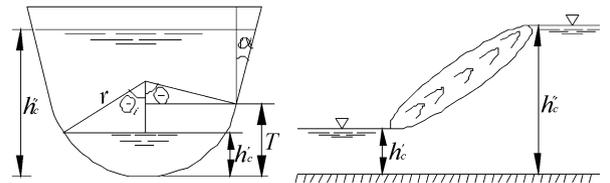


图 3 U 形渠道水跃

Fig.3 Hydraulic jump of U-shaped channel

由文献[8]知其水跃方程为:

$$\frac{Q^2}{gr^2(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i)} + \frac{2}{3}r^3\sin^3\theta_i -$$

$$r^3(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i)\cos\theta_i =$$

$$\frac{Q^2}{g} \{ r^2(\theta - \sin\theta\cos\theta) +$$

$$\psi[2r\cos\alpha + \psi\tan\alpha] \} + \frac{2}{3}r^3\sin^3\theta +$$

$$r^2(h''_c - r)(\theta - \sin\theta\cos\theta) +$$

$$\frac{1}{3}\psi^2[3r\sin\theta + \psi\tan\alpha] \quad (20)$$

式中, $\psi = h''_c + r\sin\alpha - r = h''_c + r\cos\theta - r$, $\theta_i = 2\arctan(\frac{2h'_c}{\sqrt{8rh'_c - 4h'^2_c}})$ 为随水深变化的弓形半中心角。

3) 当渠道中的跃前断面和跃后断面水深均为 $h < r(1 - \sin\alpha)$ 时为圆形断面的水跃计算,已有计算方法见文献[13]。

3.1.2 下部为圆形上部为矩形的U形渠道水跃

下部为圆形上部为矩形的U形渠道水跃见图4,分两种情况讨论。

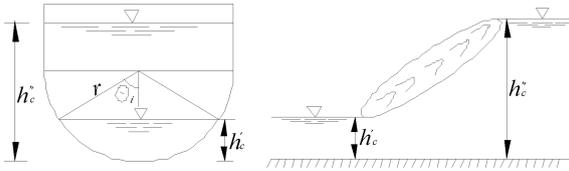


图4 下部为圆形上部为矩形的U形渠道水跃
Fig.4 Hydraulic jump of U-shaped channel that the lower part is round and the upper rectangular

1) 当跃前断面水深 $h < r$, 跃后断面水深 $h > r$ 时,跃前断面水深处于弓形断面内,跃后水深处于矩形断面内。跃前面积和形心的计算公式为(21)式和(22)式,跃后断面的过水断面面积为(23)式:

$$A_1 = r^2(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i) \quad (21)$$

$$h_{c1} = \frac{2r^3\sin^3\theta_i}{3A_1} - r\cos\theta_i \quad (22)$$

$$A_2 = \pi r^2/2 + 2r(h_2 - r) \quad (23)$$

设半圆面积为 A' , 矩形面积为 A'' , 半圆形心到水面的距离为 y'_c , 矩形形心到水面的距离为 y''_c , 则:

$$A' = \pi r^2/2$$

$$A'' = 2r(h_2 - r)$$

$$y'_c = \frac{2r^3}{3A'} + (h''_c - r)$$

$$\frac{2r^3}{3 \times \pi r^2/2} + (h''_c - r) = \frac{4r}{3\pi} + (h''_c - r)$$

$$y''_c = (h''_c - r)/2$$

跃后断面形心到水面的距离为:

$$h_{c2} = \frac{A'y'_c + A''y''_c}{A' + A''} =$$

$$\frac{\frac{\pi r^2}{2}[\frac{4r}{3\pi} + (h''_c - r)] + 2r(h''_c - r)\frac{(h''_c - r)}{2}}{\pi r^2/2 + 2r(h''_c - r)} = \frac{\frac{\pi r^2}{2}[\frac{4r}{3\pi} + (h''_c - r)] + r(h''_c - r)^2}{\pi r^2/2 + 2r(h''_c - r)} \quad (24)$$

将式(21)、(22)、(23)、(24)代入水跃方程式(14),得:

$$\frac{Q^2}{gr^2(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i)} + r^2(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i) \times (\frac{2r^3\sin^3\theta_i}{3r^2(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i)} - r\cos\theta_i) = \frac{Q^2}{g[\pi r^2/2 + 2r(h''_c - r)]} + \frac{\pi r^2}{2}[\frac{4r}{3\pi} + (h''_c - r)] + r(h''_c - r)2 \quad (25)$$

式中, $\theta_i = 2\arctan(\frac{2h'_c}{\sqrt{8rh'_c - 4h'^2_c}})$ 。

2) 当跃前跃后水深均处于矩形断面内时,仿照式(25)等号右边可直接写出水跃方程为:

$$\frac{Q^2}{g[\pi r^2/2 + 2r(h'_c - r)]} + \frac{\pi r^2}{2}[\frac{4r}{3\pi} + (h'_c - r)] + r(h'_c - r)^2 = \frac{Q^2}{g[\pi r^2/2 + 2r(h''_c - r)]} + \frac{\pi r^2}{2}[\frac{4r}{3\pi} + (h''_c - r)] + r(h''_c - r)^2 \quad (26)$$

在水跃的计算中一般已知跃前水深 h'_c 或跃后水深 h''_c 。计算时如果已知跃前水深 h'_c 处于梯形或矩形断面内,则跃后水深一定处于梯形或矩形断面内;如果跃前水深 h'_c 处于弓形断面内则需假定跃后水深处于梯形或矩形断面内,如果计算的跃后水深与假设相符,即为所求。若不相符,则跃后水深处于弓形断面内。此时需按文献[13]的方法计算跃后水深。

算例2 有一U形渠道,已知 $r = 0.22\text{ m}$, $\theta = 82^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $h'_c = 0.05\text{ m}$, $Q = 0.04\text{ m}^3/\text{s}$,求跃后水深 h''_c 。

解:求渠道切点到渠底的距离 T , 即:

$$T = r(1 - \cos\theta) = 0.22 \times (1 - \cos 82^\circ) = 0.1894\text{ m}$$

求跃前过水断面面积和形心到水面的距离,为:

$$\theta_i = 2\arctan(\frac{2h'_c}{\sqrt{8rh'_c - 4h'^2_c}}) = 2\arctan(\frac{2 \times 0.05}{\sqrt{8 \times 0.22 \times 0.05 - 4 \times 0.05^2}}) = 39.4^\circ$$

$$A_1 = r^2(\theta_i - \sin\theta_i\cos\theta_i) = 0.22^2 \times (\frac{39.4^\circ\pi}{180^\circ} - \sin 39.4^\circ\cos 39.4^\circ) = 9.544 \times 10^{-3}\text{ m}^2$$

$$h_{c1} = \frac{2r^3 \sin^3 \theta_i}{3A_1} - r \cos \theta_i = \frac{2 \times 0.22^3 \times \sin^3 39.4^\circ}{3 \times 9.544 \times 10^{-3}} - 0.22 \times \cos 39.4^\circ = 0.02021 \text{ m}$$

等式左端为:

$$\frac{Q^2}{gA_1} + A_1 h_{c1} = \frac{0.04^2}{9.8 \times 9.544 \times 10^{-3}} + 9.544 \times 10^{-3} \times 0.02021 = 0.0173$$

假定 U 形渠道中的跃后水深处于梯形断面内,则:

$$h''_c + r \sin \alpha - r = h''_c + r \cos \theta - r = \psi = h''_c + 0.22 \cos 82^\circ - 0.22 = h''_c - 0.1894$$

水跃方程为:

$$\frac{Q^2}{gr^2(\theta_i - \sin \theta_i \cos \theta_i)} + \frac{2}{3} r^3 \sin^3 \theta_i - r^3(\theta_i - \sin \theta_i \cos \theta_i) \cos \theta_i = \frac{Q^2}{g} \{ r^2(\theta - \sin \theta \cos \theta) + (h''_c - 0.1894) \times [2r \cos \alpha + (h''_c - 0.1894) \tan \alpha] \} + \frac{2}{3} r^3 \sin^3 \theta + r^2(h''_c - r)(\theta - \sin \theta \cos \theta) + \frac{1}{3}(h''_c - 0.1894)^2 [3r \sin \theta + (h''_c - 0.1894) \tan \alpha]$$

将 $\theta = 82^\circ$ 、 $\alpha = 8^\circ$ 、 $\theta_i = 39.4^\circ$ 、 $Q = 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $r = 0.22 \text{ m}$ 代入上式得:

$$0.0173 = 0.04685 h''_c{}^3 + 0.191273 h''_c{}^2 - 0.01483 h''_c + 6.167 \times 10^{-4}$$

求得: $h''_c = 0.322 \text{ m}$ 。

由于求得的 $h''_c > T = 0.1894 \text{ m}$, 所以假定水深在梯形断面内是正确的。

3.2 U 形渠道水跃方程的验证

图 5 是用本研究的公式计算的水跃共轭水深比(即, h''_c/h'_c)与跃前断面弗劳德数 Fr_c 的关系曲线,可以看出 h''_c/h'_c 与 Fr_c 为线性关系。

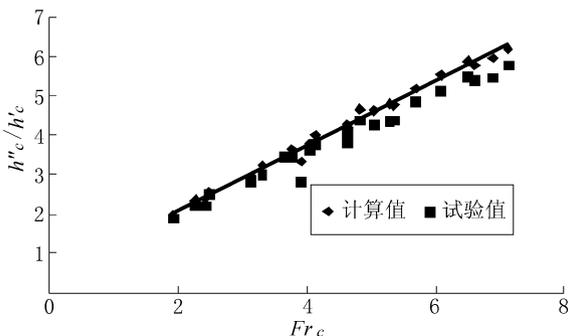


图 5 计算值与实测值比较

Fig. 5 Comparison between calculation and experiment

图 5 点绘了文献[7]的试验资料,文献[7]的试

验资料是在底部为半圆形,上部为矩形的 U 形渠道中得到的。由图 5 可以看出实测值略低于计算值。对于上部为梯形的 U 形渠道,文献[8]已做过试验研究,结果实测值比理论值偏低,这与文献[7]的结论基本一致。分析原因,主要是由于 U 形渠道的水跃已非简单的二元流态,而是复杂的三元流态,但计算值与实测值比较误差小于 8.5%,可以满足工程设计要求。

4 结论

研究了 U 形渠道的临界水深、弗劳德数以及水跃的理论计算方法,得出了相关的计算公式,给出了算例,其中水跃方程与文献[7]的实测数据进行了对比,其计算结果与实测结果基本一致,可以作为工程设计应用。

参考文献:

- [1] 张志昌,李银才,刘亚菲,等. U 形渠道水力最优断面的计算[J]. 陕西水力发电,2001,17(2):25-27.
Zhang zhichang, Li Yincui, Liu Yafei, et al. Calculation of optimal hydraulic cross section for U-shape canal[J]. Journal of Shaanxi Water Power,2001,17(2):25-27.
- [2] 吕宏兴,周维博,刘海军. U 形渠道的水力特性及水力计算[J]. 灌溉排水学报,2004,23(4):50-52.
Lü Hongxing, Zhou Weibo, Liu Haijun. Hydraulic characteristics and hydraulic calculation of U-shaped channel[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2004,23(4):50-52.
- [3] 李凤玲,文辉,欧军利,等. 宽浅式 U 形渠道正常水深的近似计算公式[J]. 人民长江,2008,38(8):170-171.
Li Fengling, Wen Hui, Ou Junli, et al. Approximate calculation formula of the normal water depth in the wide-shallow U-shaped channel[J]. Yangtze River,2008,38(8):170-171.
- [4] 李凤玲,文辉,黄寿生. 窄深式 U 形渠道正常水深的近似计算公式[J]. 人民黄河,2006,28(12):75-76.
Li Fengling, Wen Hui, Huang Shousheng. Approximate calculation formula of the normal water depth in the narrow-deep U-shaped channel[J]. Yellow River,2006,28(12):75-76.
- [5] 孙建,李宇. 圆形和 U 形渠道明渠临界水深直接计算公式[J]. 陕西水力发电,1996,12(3):38-41.
Sun Jian, Li Yu. Direct calculation formula of the critical depth in the circle and U-shaped open channel[J]. Journal of Shaanxi Water Power,1996,12(3):38-41.
- [6] 李凤玲,文辉,陈雄. U 形渠道水力计算的显式计算式[J]. 水利水电科技进展,2010,30(1):65-67.
Li Fengling, Wen Hui, Chen Xiong. Explicit formula of hydraulic calculation of U-shaped channel[J]. Advances

- in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30 (1):65-67.
- [7] Willi H H. Hydraulic jump in U-shaped channel[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1989, 115(5):667-675.
- [8] 张志昌,李郁侠,朱岳钢. U形渠道水跃的试验研究[J]. 西安理工大学学报,1998,14(4):377-381.
Zhang Zhichang, Li Yuxia, Zhu Yuegang. An experimental study of U shaped channel jump[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 1998, 14(4):377-381.
- [9] Bushra A, Afzal N. Hydraulic jump in circular and U-shaped channels [J]. Journal of Hydraulic Research, 2006, 44(4):567-576.
- [10] 张晓宏,武文平,徐天有. 一般U形渠道的水跃计算[J]. 西北纺织工学院学报,1997,11(4):372-374.
Zhang Xiaohong, Wu Wenping, Xu Youtian. Calculation of hydraulic jump in U-shaped channel [J]. Journal of Northwest Institute of Textile Science and Technology, 1997, 11(4):372-374.
- [11] 郝红科,雷新利,张玉玲. U形渠道断面流速分布规律试验研究[J]. 杨凌职业技术学院学报,2006,5(2):8-10.
Hao Hongke, Lei Xinli, Zhang Yuling. Research on the velocity of flow index distributed rule of U channel [J]. Journal of Yangling Vocational & Technical College, 2006, 5(2):8-10.
- [12] 雒天峰,吕宏兴,张春景,等. U形渠道横向流速分布规律及测流技术研究[J]. 中国农村水利水电,2007, 10:61-64.
Luo Tianfeng, Lü Hongxing, Zhang Chunjing, et al. Study on lateral velocity distribution and measurement technology of open channel with U-shaped cross-section [J]. China Rural Water and Hydropower, 2007, 10:61-64.
- [13] 张志昌. 水力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

(责任编辑 李虹燕)

简讯

依托西安理工大学建设的城市经济与管理研究中心通过验收

6月8日,陕西省教育厅组织有关专家对依托西安理工大学建设的陕西(高校)哲学社会科学重点研究基地——城市经济与管理研究中心进行了验收。专家组听取了研究中心建设、运行情况汇报,进行了质询和现场考察。一致认为,中心在建设期取得的科研成果得到了广泛应用,服务陕西,转化效果突出,社会效益显著,为地方经济建设做出了突出贡献。中心通过开展国内外交流、鼓励进修等方式,形成了整体素质好、业务能力强、团结协作的研究团队。并且依托单位为研究中心建设提供了有力的政策支持和建设经费保障,能够满足科学研究、技术服务和人才培养的要求。完成了建设目标任务,同意通过验收。

(摘自西安理工大学新闻网 2012-06-12)