

弧形坡脚梯形渠道实用经济断面计算方法的改进

徐文秀

(山西水利职业技术学院, 山西 运城 044004)

摘要: 简单介绍了弧形坡脚梯形渠道实用经济断面的计算式和计算方法. 详细叙述了改进计算式的推导过程及计算方法. 对改进计算式的验证结果表明, 改进计算式的计算简单、可行.

关键词: 实用经济断面; 计算式; 改进; 弧形坡脚梯形渠道

中图分类号: TV314

文献标识码: B

文章编号: 1009-640X(2007)01-0070-04

Improvement of calculation method for practical and economical cross-section of the trapezoidal channel with an arc slope angle

XU Wen-xiu

(Shanxi Vocational College of Water Resources, Yuncheng 044004, China)

Abstract: The formulas and calculation method for the practical and economical cross-section of the trapezoidal channel with an arc slope angle are briefly presented. The derivation process of the formulas and calculation method is described in detail. Verification results of the improved formulas show that the formulas are simple and feasible.

Key words: practical and economical cross-section; calculation formulas; improvement; trapezoidal channel with an arc slope angle

新型的渠道断面形式——弧形坡脚梯形断面, 由于其过流条件、结构和受力分布均优于传统的梯形渠道断面. 因而, 近年来在较大流量的防渗渠道中广泛应用, 也是《渠道防渗工程技术规范》^[1] 推荐使用的渠道断面形式. 但是, 这种断面形式的实用经济断面计算式过于冗长^[2], 计算工作量大, 并需借助计算机软件才能完成设计. 有鉴于此, 笔者依据传统梯形渠道实用经济断面计算式的推导思路, 改进了计算式, 提出了弧形坡脚梯形渠道实用经济断面计算的新方法.

1 弧形坡脚梯形渠道原有的计算式和计算方法

1.1 水力最佳断面计算式

弧形坡脚梯形渠道断面见图 1. 水力最佳条件下弧形坡脚梯形渠道断面各水力要素的计算式^[2,3]为:

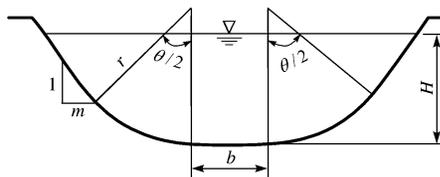


图 1 弧形坡脚梯形断面示意图

Fig. 1 Sketch of a trapezoidal channel with an arc slope angle

收稿日期: 2006-09-11

作者简介: 徐文秀(1968-), 女, 山西运城人, 讲师, 主要从事水力学教学及辅助软件的研发工作.

$$\left. \begin{aligned}
 H_0 &= 1.542 \left[\frac{nQ}{\sqrt{i} [(4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m]} \right]^{3/8} \\
 b_0 &= 2H_0 \left[(m' - m) + \left(\frac{\theta}{2} + 3m - 3m' \right) K_r + \left(2m' - 2m - \frac{\theta}{2} \right) K_r^2 \right] \\
 r_0 &= K_r H_0 \\
 A_0 &= \frac{1}{2} [(4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m] H_0^2 \\
 \chi_0 &= H_0 [(4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m]
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: H_0 为最佳断面水深(m); n 为渠道糙率; Q 为流量; i 为渠道纵坡降; $m' = \sqrt{1+m^2}$, 渠道边坡上部直线段的边坡系数 $m = \cot(\theta/2)$, $\theta/2$ 为渠底每边圆弧的圆心角(rad); $K_r = r/H$, r 和 H 分别为实用经济断面渠底圆弧半径和水深; b_0 为渠道最佳断面直线段底宽 m; r_0 为最佳断面渠底圆弧半径(m); A_0 为最佳断面面积(m²); χ_0 为最佳断面湿周(m).

1.2 实用经济断面计算式

弧形坡脚梯形渠道实用经济断面的水力要素计算式^[2]为:

$$\left. \begin{aligned}
 K_b^2 + BK_b + C &= 0 \\
 H &= \frac{[(4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m] \alpha^{5/2}}{(2m - 2m' + \theta)K_r + 2m' + K_b} H_0 \\
 b &= K_b H \\
 r &= K_r H \\
 A &= \alpha A_0 \\
 \chi &= \alpha^{5/2} \chi_0
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中:

$$B = (2\theta + 4m - 4m')K_r + 4m' - 2\alpha^4 [(4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m]$$

$$C = [(\theta + 2m - 2m')K_r + 2m']^2 - \alpha^4 [(\theta + 4m - 4m')K_r^2 + 4(m' - m)K_r + 2m] \times [(4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m]$$

b, A 和 χ 分别为实用经济断面的直线段底宽、过水断面面积和湿周; 实用经济断面与水力最佳断面的面积之比 $\alpha = A/A_0$, 可根据实际情况选取.

1.3 实用经济断面计算方法及步骤

实用经济断面计算方法及步骤如下:

- ① 选定 m, K_r , 按(1)式计算水力最佳断面的 H_0, b_0, r_0, A_0 和 χ_0 等水力要素;
- ② 假设不同的 α 值, 依据 m, K_r 计算 B 及 C 值, 再由(2)式解出 K_b 值;
- ③ 按(2)式计算实用经济断面的 H, b, r, A , 和 χ 等水力要素.

2 改进的弧形坡脚梯形渠道计算式及计算方法

水力最佳断面的计算仍采用(1)式. 仅对实用经济断面的计算式和计算方法作改进.

2.1 计算式的改进

(1) H/H_0 的计算式 为方便公式推求, 现今:

$$M = (4m' - 4m - \theta)(K_r - 1)^2 + \theta + 2m;$$

$$N = \left(\frac{\theta}{2} + 2m - 2m' \right) K_r^2 + 2(m' - m)K_r + m;$$

$$P = 2 \left(\frac{\theta}{2} + m - m' \right) K_r + 2m'$$

弧形坡脚梯形渠道的面积、湿周及其最佳断面的相应计算式^[2]如下:

$$\left. \begin{aligned} A &= NH^2 + bH \\ \chi &= PH + b \\ A_0 &= \frac{1}{2}MH_0^2 \\ \chi_0 &= MH_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

由 $A = NH^2 + bH$, 得 $b = \frac{A}{H} - NH$; 由 $\alpha = A/A_0, \chi/\chi_0 = \alpha^{5/2}$, 可得

$$\alpha^{5/2} = \frac{PH + b}{MH_0} = \frac{PH + \frac{A}{H} - NH}{MH_0} = \frac{P + \frac{A}{A_0} \frac{A_0}{H^2} - N}{M \left(\frac{H_0}{H} \right)}$$

进一步整理, 得

$$\alpha^{5/2} \left(\frac{H_0}{H} \right) = \frac{P + \alpha \frac{1}{2} M \left(\frac{H_0}{H} \right)^2 - N}{M} = \frac{1}{2} \alpha \left(\frac{H_0}{H} \right)^2 + \frac{P - N}{M} \quad (4)$$

将 M 的计算式展开, 并将 P 及 N 的计算式合并整理后, 可得

$$M = 2(P - N)$$

则(4)式可写成 $2\alpha^{5/2} \left(\frac{H_0}{H} \right) = \alpha \left(\frac{H_0}{H} \right)^2 + 1$; 整理后, 得

$$\alpha \left(\frac{H_0}{H} \right)^2 - 2\alpha^{5/2} \left(\frac{H_0}{H} \right) + 1 = 0 \quad \text{或} \quad \left(\frac{H}{H_0} \right)^2 - 2\alpha^{5/2} \left(\frac{H}{H_0} \right) + \alpha = 0 \quad (5)$$

可见, (5)式与梯形实用经济断面的计算式完全相同^[4].

(2) K_b 的计算式

由 $b = \frac{A}{H} - NH$, 得

$$K_b = \frac{b}{H} = \frac{A}{H^2} - N = \frac{A}{A_0} \frac{A_0}{H^2} - N = \alpha \frac{1}{2} M \left(\frac{H_0}{H} \right)^2 - N$$

即

$$K_b = \frac{\alpha}{2 \left(H/H_0 \right)^2} M - N \quad (6)$$

可见, (6)式与梯形渠道实用经济断面的宽深比 β 的计算式形式相似^[4].

2.2 改进的实用经济断面计算方法

改进的弧形坡脚梯形渠道实用经济断面计算步骤如下:

- ① 计算水力最佳断面的各水力要素(同前);
- ② 假设不同的 α 值, 根据(5)式求出 H/H_0 , 从而得到实用经济断面水深 H ;
- ③ 计算 M, N 值, 根据(6)式计算 K_b , 进而得出实用经济断面的底宽 b ;
- ④ 按(2)式求出 r, A 和 χ .

3 改进计算式的验证

3.1 H/H_0 计算式的验证

根据相关计算软件的计算结果可知, 同一 α 值、不同的 K_r 和边坡系数 m , 弧形坡脚梯形渠道实用经济断面的 H/H_0 相同, 且数值与一般梯形渠道断面完全相同(见表1). 这说明弧形坡脚梯形渠道实用经济断面 H/H_0 仅与比值 α 有关, 而与 K_r 和 m 无关, 且 H/H_0 的计算式应与一般梯形渠道断面相同. 这一结论与本文中改进的 H/H_0 计算式所反映的规律是一致的. 说明本文中 H/H_0 计算式的推导方法和结论均正确.

表1 弧形坡脚梯形渠道实用经济断面 H/H_0 计算结果Tab.1 Calculation results of H/H_0 for the trapezoidal channel with an arc slope angle

α	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
H/H_0	0.823	0.761	0.717	0.683	0.654

3.2 K_b 计算式的验证

用改进的计算式计算得到的 H/H_0 及 K_b 见表2. 而以 $K_r=0.8, \alpha=1.01$ 为例, 由原有的计算式计算的 H/H_0 及 K_b 结果与表2 完全相同. 这表明两种计算式得到了相互验证.

表2 弧形坡脚梯形渠道实用经济断面 H/H_0 及 K_b 计算结果Tab.2 Calculation results of H/H_0 and K_b for the trapezoidal channel with an arc slope angle

K_r	α	m	M	N	H/H_0	K_b
0.8	1.01	0.50	3.225	1.406	0.823	1.000
		1.00	3.574	1.635		1.032
		1.25	3.852	1.794		1.080
		1.50	4.177	1.973		1.144
		1.75	4.539	2.167		1.220
		2.00	4.928	2.372		1.305

再以一般梯形渠道断面计算式验证. 弧形坡脚梯形渠道断面的 $K_r=0, \theta=0$ 时, 即为一般梯形渠道断面. 将 $K_r=0, \theta=0$ 代入 M 和 N 的计算式, 可得: $N=m, M=4m'-2m$. 再代入(6)式得

$$K_b = \frac{\alpha}{(H/H_0)^2} (2m' - m) - m \quad (7)$$

可见, (7)式与梯形渠道实用经济断面的宽深比 β 的计算式完全一致^[3]. 这也进一步验证了 K_b 计算式的正确性.

3.3 应用举例

新疆大泉沟引洪渠原设计流量为 $50 \text{ m}^3/\text{s}$, 加大后的流量为 $60 \text{ m}^3/\text{s}$. 采用混凝土网格加干砌卵石衬砌. 渠道设计成弧底梯形断面, 渠底圆弧半径 $r=4.0 \text{ m}$, 渠底每边圆弧的圆心角 $\theta/2=33.69^\circ (\theta=1.176 \text{ rad})$, 断面平底宽 $b=8 \text{ m}$, 边坡 $m=1:1.5$, 渠道纵坡 $i=1/917 \sim 1/365$, 水深 $H=1.98 \sim 2.56 \text{ m}$, 流速 $V=1.66 \sim 2.29 \text{ m/s}$.

采用改进的弧形坡脚梯形渠道的计算式和计算方法, 按流量 $Q=60 \text{ m}^3/\text{s}$, 底坡 $i=1/917$, 糙率 $n=0.03$, 取 $K_r=1.565, \alpha=1.058$, 对该渠道断面尺寸进行验算. 计算结果表明, 所计算的弧形坡脚梯形渠道的实用经济断面尺寸及流速, 与实际工程中所采用的数据基本一致.

参 考 文 献:

- [1] SL18-2004, 渠道防渗工程技术规范[S].
- [2] 荣丰涛. 弧形坡脚梯形渠道实用经济断面的计算[J]. 山西水利科技, 2004, (1): 4-6.
- [3] 荣丰涛. 梯形类渠道水力最佳断面统一公式的推求[J]. 山西水利科技, 2003, (4): 5-7.
- [4] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力计算手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1980. 95-97.