

# 弧底梯形明渠水力最佳断面设计

何文学<sup>1</sup>, 魏恩甲<sup>2</sup>, 李茶青<sup>1</sup>

(1. 浙江水利水电专科学校, 浙江 杭州 310016; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**通过数学推导, 建立了弧底梯形明渠水力最佳断面水深、过水断面面积、水力半径等所有几何要素与水力要素的计算公式, 并通过算例详细说明其水力计算方法, 为该类型渠道的断面设计提供了理论依据。

**关键词:**弧底梯形明渠; 水力最佳断面; 水力计算

**中图分类号:**TV133

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-7647(2002)01-0023-02

在北方地区, 冻胀是影响渠道耐久性并导致渠道最终破坏的主要原因之一。近年来, 弧底梯形断面以其良好的抗冻胀性能在砌石及混凝土等材料衬砌的防渗渠道中得到了广泛的应用。众所周知, 水力最佳断面并非就是工程最经济的断面, 而以水力最佳断面为基础提出的实用经济断面的设计方法在工程实际中却收到了良好的效果<sup>[1]</sup>。对于梯形水力最佳断面的水力计算, 一般的教科书<sup>[2]</sup>中均有分析推导, 而弧底梯形断面的介绍则相对较少。文献<sup>[3]</sup>虽然给出了弧底梯形断面及其水力最佳断面的断面尺寸计算公式, 但一则公式形式比较复杂, 二则并未给出弧底梯形水力最佳断面的正常水深直接计算公式, 应用上不很方便。本文则在数学推导的基础上, 给出了弧底梯形水力最佳断面尺寸及水深的简洁设计公式, 并以算例说明了具体的设计方法。

## 1 公式推导

弧底梯形断面如图1所示, 其过水断面面积  $A$ 、湿周  $P$  的计算公式如下:

$$A = \frac{1}{2} r^2 \left( \frac{\pi \alpha}{90} - \sin 2\alpha \right) + (b + m h_2) h_2 \quad (1)$$

$$P = \frac{\pi \alpha}{90} r + 2 h_2 \sqrt{1 + m^2} \quad (2)$$

其中:  $b_0$  为梯形断面的底宽;  $h$  为过水断面水深;  $m$  为边坡系数,  $m = \cot \alpha$ ;  $\alpha$  为半圆心角,  $\alpha = \arctan \frac{1}{m}$ ;  $r$  为圆弧半径,  $r = 0.5 b_0 \tan \frac{1}{\alpha}$ ;  $b$  为弧底弦长,  $b = 2 r \sin \alpha = 2 b_0 \cos^2 \frac{\alpha}{2}$ ;  $h_1$  为弧底水深,  $h_1 = 0.5 b_0 \sin \alpha$ ;  $h_2$  为直段水深,  $h_2 = h - h_1$ 。

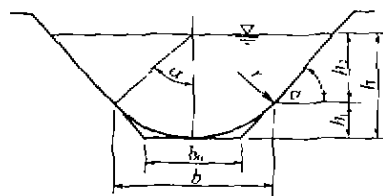


图1 弧底梯形明渠断面示意图

在渠道底坡、糙率一定的条件下, 流量与断面形状、尺寸有关。根据水力最佳断面的概念: 当  $A = \text{const}$ ,  $P = P_{\min}$  时,  $Q = Q_{\max}$ 。由极值的概念不难得到:  $\frac{dA}{dh} = 0$ ,  $\frac{dP}{dh} = 0$ ,  $\frac{d^2 P}{dh^2} > 0$ 。将式(1)和式(2)分别对水深  $h$  求一阶导数(注意在面积一定的条件下, 底宽  $b_0$  和水深  $h$  之间是隐函数关系), 联立消去  $\frac{db_0}{dh}$ , 并令  $\beta_0 = \frac{b_0}{h}$ , 即可得出弧底梯形明渠水力最佳断面的宽深比表达式:

$$\beta_{0m} = \frac{b_{0m}}{h_m} = 2 \tan \frac{\alpha}{2} = 2(\sqrt{1 + m^2} - m) \quad (3)$$

上式及下面各式中下标  $m$  均代表水力最佳断面。显然式(3)与梯形断面明渠水力最佳断面的结论在表达形式上是一致的。再由基本关系式换算可得到弧底梯形明渠水力最佳断面的弦长水深比、半径水深比及弧底水深表达式:

$$K_{bm} = \frac{b_m}{h_m} = 2 \sin \alpha = \frac{2}{\sqrt{1 + m^2}}$$

$$K_{rm} = \frac{r_m}{h_m} = 1$$

$$h_1 = \left( 1 - \frac{m}{\sqrt{1 + m^2}} \right) h_m$$

作者简介: 何文学(1946—), 男, 甘肃天水人, 副教授, 从事水力学教学和科学研究工作。

表1 不同公式水力最佳断面计算结果

| 设计公式         | 宽深比<br>$\beta_m$ | 最佳水深<br>$h_m/m$ | 弦长水深比<br>$K_{hm}$ | 半径水深比<br>$K_{rm}$ | 断面面积<br>$A_m/m^2$ | 水力半径<br>$R_m/m$ | 平均流速<br>$v/(m \cdot s^{-1})$ |
|--------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|
| 梯形明渠,文献[2]公式 | 0.702            | 2.717           |                   |                   | 14.406            | 1.359           | 0.694                        |
| 弧底梯形,本文公式    | 0.702            | 2.731           | 1.249             | 1.000             | 14.356            | 1.366           | 0.697                        |
| 弧底梯形,文献[3]公式 | 0.702            | 2.731           | 1.249             | 1.000             | 14.360            | 1.366           | 0.696                        |

将弧底梯形最佳宽深比关系式(3)代入式(1)和式(2)及明渠均匀流公式  $Q = \frac{A^{5/3} \sqrt{i}}{nP^{2/3}}$ , 可分别求得弧底梯形水力最佳断面的过水断面面积  $A_m$ , 湿周  $P_m$  及最佳水深  $h_m$  的简洁表达式:

$$h_m = 1.189 \left[ \frac{nQ}{\left( \frac{\pi\alpha}{180^\circ} + m \right) \sqrt{i}} \right]^{3/8} \quad (4)$$

$$A_m = \left( \frac{\pi\alpha}{180^\circ} + m \right) h_m^2 \quad (5)$$

$$P_m = 2 \left( \frac{\pi\alpha}{180^\circ} + m \right) h_m \quad (6)$$

由式(5)和式(6)显然可以看到:弧底梯形水力最佳断面的水力半径  $R_m = \frac{A_m}{P_m} = \frac{1}{2} h_m$ , 这一结论与梯形水力最佳断面是一致的, 这充分说明了弧底梯形断面与梯形断面之间的密切关系。梯形水力最佳断面往往是窄深式断面, 施工中深挖高填, 不能达到经济目的。在长期的工程实践中, 以水力最佳断面为基础提出了实用经济断面的设计理论<sup>[2]</sup>; 当某一过水断面面积  $A$  与水力最佳断面面积  $A_m$  之比  $\alpha$  等于 1.01 ~ 1.04 时, 相应的过水断面水深  $h = (0.822 \sim 0.683) h_m$ , 选择不同的比值  $\alpha$ , 就可得到不同的水深  $h$  和底宽  $b$ , 然后根据工程的具体条件选取一组适当的水深  $h$  和底宽  $b$  作为设计断面。而由弧底梯形水力最佳断面与梯形水力最佳断面之间的一致性, 不难得到这样的结论: 可以参考梯形实用经济断面来完成弧底梯形实用经济断面的设计<sup>[1]</sup>。

## 2 算 例

已知渠道设计流量  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ , 渠槽土质为轻壤土, 糙率  $n = 0.025$ , 边坡系数  $m = 1.25$ , 初定底坡  $i = 0.0002$ , 试分别按梯形水力最佳断面及弧底梯形水力最佳断面设计渠道。各公式计算结果见表 1。

从表 1 可见, 梯形水力最佳断面与弧底梯形水力最佳断面的计算结果相当接近, 在流量、底坡、糙率、边坡系数相同的条件下, 弧底梯形水力最佳断面的水深略大于梯形水力最佳断面的水深(相对增大 0.515%), 但过水断面面积却略小于梯形水力最佳断面的面积(相对减小 0.34%), 这充分说明了弧底梯形断面较梯形断面所具有的水力优越性。

## 3 结 语

本文通过数学推导建立的弧底梯形水力最佳断面的有关计算公式形式简单, 应用方便, 从表 1 不难看出: 本文公式计算结果与文献[3]附录三公式的计算结果完全一致, 从一个方面说明了文中所给公式的正确性; 同时还提出可以参考梯形明渠实用经济断面的设计方法来设计弧底梯形明渠实用经济断面。

## 参考文献:

- [1] 武汉水利电力学院水力学教研室. 水力计算手册[M]. 北京: 水利出版社, 1980. 94 ~ 99.
- [2] 吴持恭. 水力学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982. 249 ~ 251.
- [3] SL18-91, 渠道防渗工程技术规范[S].

(收稿日期: 2000-09-05 编辑: 马敏峰)

## · 简讯 ·

### 三峡工程建设取得重大阶段性成果

2001 年, 三峡工程主要项目共完成混凝土浇筑 402 万  $\text{m}^3$ , 金结机电埋件及安装 63 860 t, 帷幕灌浆 67 057 m, 接缝灌浆 170 405  $\text{m}^2$ , 固结灌浆 84 104 m, 土石方开挖 708 万  $\text{m}^3$ , 土石方填筑 409 万  $\text{m}^3$ , 混凝土防渗墙 5 159  $\text{m}^3$ . 混凝土浇筑连续 3 年突破世界纪录, 3 年时间完成 1 400 万  $\text{m}^3$ . 在三峡大坝、永久船闸、电站厂房等主要工程形象进度方面, 泄洪坝段上块平均已经浇筑到 156 m 高程; 导流底孔弧形工作门启闭机系统全部安装调试完成; 泄洪深孔工作门全部吊装就位; 三峡电站左岸厂房坝段、左岸非溢流坝段最高已到坝顶高程 185 m. 永久船闸闸首混凝土浇筑全部完成, 人字门已全部吊装就位, 反弧门埋件基本吊装完毕; 右岸茅坪防护大坝心墙及坝体填筑已达高程 148 m 以上. 2001 年, 三峡工程质量有了明显提高, 三峡工程全年共评定 15 248 个单元工程, 其中优良 12 192 个, 优良率为 79.96%, 与 2000 年相比, 伤亡事故显著下降, 安全生产形势明显好转。

2002 年是三峡工程进入全面攻坚的第二年, 是实现工程第二阶段目标最为关键的一年. 三峡工程金结机电埋件及安装仍处于高峰, 混凝土浇筑部位减少, 浇筑仓面较小, 浇筑难度更大. 同时, 在这一年里, 水轮发电机组本体安装将全面展开, 双线五级船闸将进行无水及有水调试, 二期围堰将破堰进水, 大坝开始挡水, 年底还将进行导流明渠截流, 工程建设和管理任务十分艰巨。

(本刊编辑部供稿)