

## 空间变量流侧槽式溢洪道水面曲线的迭代公式

季国文

(凌源市水利局 辽宁凌源 122500)

TV 651.12  
TV 13

**摘要** 本文研究空间变量流侧槽式溢洪道水面线迭代公式的推导,给出了迭代公式。使之由以往的试算、图解简化为迭代求解,具有收敛迅速、应用方便、计算精度高的特点,较现有各种算法具有显著的优越性。

**关键词** 水力学 空间变量流 侧槽式溢洪道 水面曲线 迭代公式

在侧槽式溢洪道水面曲线的计算中,各种计算方法的工作量都很大,经多次改进,根据动量方程及沿程变量流能量方程推导得到的计算公式计算结果与水工模型实验数据吻合较佳,精度满足工程设计要求。但不同计算方法的共同缺点是公式形式复杂,计算繁冗,往往要通过多次试算才能得到结果。为此,有关学者先后研究提出了一系列的改进计算方法,诸如李文雄法、江西省水利科学研究所豪斯公式基础上加以改进提出的“二点法”等。特别是黑龙江省牡丹江市水利局肖广源给出的“图解法”较以往的计算方法有了更为有效的改进。但是,根据该法进行计算,仍须绘制各断面的水位-流速关系曲线,成果精度取决于图解曲线的精度,而曲线精度的提高又导致工作量的增大。本文在前人研究结果的基础上提出了侧槽式溢洪道水面曲线的迭代求解公式。

## 1 迭代公式的推导

由侧槽的侧向入流特点及图1和图2有

$$Q_2 = Q_1 + \Delta Q \quad (1)$$

$$v_1 = v_2 - \Delta v \quad (2)$$

式中  $Q_1, Q_2, v_1, v_2$  分别为通过断面1-1, 2-2的流量和流速。

由图中几何及水力要素关系有

$$h_1 = h_2 + \Delta y - i \Delta x \quad (3)$$

式中  $h_1, h_2$  为断面1-1, 2-2对应的平均水深;  $\Delta y$  为断面1-1和2-2的水位差;  $i$  为侧槽底坡坡度,  $i = \sin \theta$ , 通常  $\theta$  角很小,  $\sin \theta \approx \tan \theta$ , 故常以两断面之间的水平距离来代替流程长度,可参见文[1, 2];  $\Delta x$  为断面1-1和2-2之间的距离。

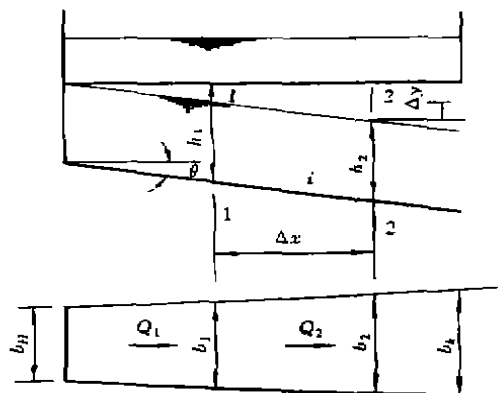


图1 侧槽1-1, 2-2断面间水流分析图

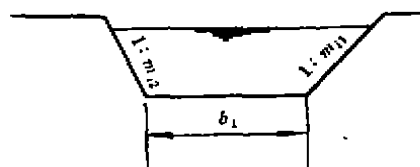


图2 梯形断面图

根据动量方程及沿程变量流方程有<sup>[3]</sup>

$$\Delta y = A \Delta V + B \quad (4)$$

其中

$$A = \frac{2b_2}{b_1 + b_2} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{V_2}{g} \quad (5)$$

$$B = \frac{2b_2}{b_1 + b_2} \cdot \frac{\Delta Q}{Q_2} \cdot \frac{V_2^2}{g} \quad (6)$$

式中  $b_1, b_2$  分别为断面 1-1、2-2 对应的底宽,  $g$  为重力加速度,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

注意到:对于梯形槽断面,其相应过水断面面积为

$$\omega = (b + mh)h$$

从而推得相应于第 1、第 2 断面流速分别为

$$v_1 = Q_1 / [(b_1 + mh_1)h_1] \quad (7)$$

$$v_2 = Q_2 / [(b_2 + mh_2)h_2] \quad (8)$$

式中  $m$  为平均边坡系数。

由以上各式联立求解并整理化简得到

$$h_1 = (ah_2^2 + \beta h_1 - \gamma)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

其中

$$\alpha = (mk - b_1)/m \quad (10)$$

$$\beta = b_1 k / m \quad (11)$$

$$\gamma = AQ_1 / m \quad (12)$$

$$m = (m_{11} + m_{12})/2 \quad (13)$$

令  $k = Av_2 + B + h_2 - i\Delta x \quad (14)$

式中  $m_{11}, m_{12}$  为断面 1-1 两侧边坡对应的边坡系数,见图 2。

显而易见,对应于任一计算段,  $Q_2, v_2, Q_1, \Delta Q, b_1, b_2, i, \Delta x$  均为已知量,从而  $\alpha, \beta, \gamma$  亦皆为已知数,仅存一未知数  $h_1$ ,由式(9)可迭代求解,且极为简捷。值得指出的是,式(4)是文献[3]根据侧槽横断面形状为矩形的假定条件导出的关系式,其结果

可以推广到侧槽横断面形状为梯形的情形当中。但其引起的误差甚微,这已为文献[3]中表 1 和表 2 数据显示的结果所证实。

## 2 公式的运用

a. 若侧槽两侧边墙之边坡系数  $m_{11}, m_{12}$  不等,则  $m = \frac{1}{2}(m_{11} + m_{12})$ ,  $m$  的下标为待求水深对应的断面两侧墙边坡序号。

b. 由式(5)、(6)知,  $A, B$  均为已知量,故求得  $A, B$  代入式(14)即可求得常数  $k$ ,从而,常数  $\alpha, \beta, \gamma$  亦相应求得。

c. 迭代求解,将求得的  $\alpha, \beta, \gamma$  代入式(9)即得到求解迭代式;取初始值  $h_0 = h_2, h_2$  为下游断面已求得的水深。实践表明,一般只需迭代两三次即得到足够准确的结果。具体运算过程详见算例。

## 3 算 例<sup>[3]</sup>

某水库侧槽式溢洪道,泄流量为  $665 \text{ m}^3/\text{s}$ ,溢流堰顶高程  $363.2 \text{ m}$ ,堰长  $60 \text{ m}$ 。侧槽首端底宽  $6 \text{ m}$ ,槽底高程  $358.8 \text{ m}$ ,末端底宽  $16 \text{ m}$ ,槽底高程  $354.6 \text{ m}$ ,槽底比降  $i = 0.07$ ,侧槽断面为梯形,在溢洪堰一侧的边墙的边坡为  $1:1$ ,另一侧为  $1:0.5$ 。侧墙用混凝土衬砌。已知侧墙末端断面水深  $8.89 \text{ m}$ ,用本文迭代法推求水面曲线如下:

将侧槽划分为 6 个计算断面,按以上数据求得各计算断面有关数据,列入附表中。

现以  $0+045$  断面为例,说明具体步骤。已知,  $0+060$  断面:  $b_2 = 16.0 \text{ m}, h_2 = 8.89 \text{ m}, Q_2 = 665 \text{ m}^3/\text{s}, v_2 = 665 / [(16 + 0.75 \times 8.89) \times 8.89] = 3.3 (\text{m/s})$ ;  $0+045$  断面:

附表 某侧槽式溢洪道水面曲线计算表

| 计算断面  | 槽底宽<br>$b/\text{m}$ | 流 量<br>$Q/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | 槽底高程<br>$H_{\text{底}}/\text{m}$ | 流 速<br>$v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ | $K$    | $\alpha$ | $\beta$  | $\gamma$ | 平均水深<br>$h_i/\text{m}$ | 高程<br>$H_i/\text{m}$ |
|-------|---------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|--------|----------|----------|----------|------------------------|----------------------|
| 0+060 | 16.0                | 665.0                                     | 354.60                          | 3.3                                     |        |          |          |          | 8.89                   | 363.490              |
| 0+045 | 13.5                | 498.8                                     | 355.65                          | 3.0974                                  | 9.0452 | -8.9548  | 162.8136 | 182.2283 | 8.1965                 | 363.847              |
| 0+030 | 11.0                | 332.5                                     | 356.70                          | 2.6113                                  | 8.2241 | -6.4426  | 120.6201 | 102.8533 | 7.6184                 | 364.318              |
| 0+015 | 8.5                 | 166.3                                     | 357.75                          | 1.6963                                  | 7.3465 | -3.9868  | 83.2601  | 33.0383  | 7.0942                 | 364.844              |
| 0+002 | 6.3                 | 22.2                                      | 358.66                          | 0.3053                                  | 6.5113 | -1.8887  | 54.6950  | 0.7696   | 6.5051                 | 365.165              |
| 0+000 | 6.0                 | 0                                         | 358.80                          | 0                                       | 6.3751 | -1.6249  | 51.0000  | 0        | 6.3751                 | 365.175              |

$b_1 = 13.5 \text{ m}$ ,  $Q_1 = \frac{665}{60} \times 45 = 498.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 从而,  $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 665.0 - 498.8 = 166.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $\Delta x = 60 - 45 = 15 \text{ m}$ ; 于是, 由式(5)、(6)、(10)、(11)、(12)、(14)有

$$A = \frac{2b_2}{b_1 + b_2} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{v_2}{g} \\ = \frac{2 \times 16}{16 + 13.5} \cdot \frac{498.8}{665} \cdot \frac{3.3}{9.8} \\ = 0.274$$

$$B = \frac{2 \times 16}{16 + 13.5} \cdot \frac{166.2}{665.0} \cdot \frac{3.3^2}{9.8} \\ = 0.3013$$

$$k = Av_2 + B + h_2 - i\Delta x \\ = 0.274 \times 3.3 + 0.3013 \\ + 8.89 - 0.07 \times 15 \\ = 9.0452$$

$$\alpha = (mk - b_1)/m \\ = (0.75 \times 9.0452 - 13.5)/0.75 \\ = -8.9548$$

$$\beta = b_1 k/m \\ = 13.5 \times 9.0452/0.75 \\ = 162.8136$$

$$\gamma = AQ_1/m \\ = 0.274 \times 498.8/0.75 \\ = 182.2283$$

由式(9)得相应的迭代方程

$$h_1 = (-8.9548h_1^2 + 162.8136h_1 \\ - 182.2283)^{1/3}$$

初设  $h_{10} = h_2 = 8.89 \text{ m}$ , 代入上式得  $h_{11} = 8.2301 \text{ m}$ , 将  $h_{11} = 8.2301 \text{ m}$  再次代入上式右端得  $h_{12} = 8.1991 \text{ m}$ , 再迭代一次得  $h_{13} = 8.1967 \text{ m}$ 。仿此, 可依次得到以下 4 个断面的数据(见附表), 进而求得该侧槽式溢洪道水面曲线。

## 4 结束语

a. 上文给出的迭代公式, 其迭代函数形式结构简洁, 应用方便, 收敛速度快, 按文中的步骤, 一般仅迭代三次, 即可达到足够的精

度。可根据设计精度的需要控制迭代次数。

b. 该迭代公式便于手算, 亦可编成简单的程序进行电算。

c. 此方法达到的精度是以往所有方法所不能达到的。按文献[3]中表 2 所列数据显示, 本文推算成果与水工模型数据最为接近。避免了常规的试算法、图解法所存在的计算工作量大、精度低的缺陷。

## 参考文献

- 1 清华大学水力学教研室编. 水力学. 修订版. 北京: 高等教育出版社, 1981
- 2 吴持恭主编. 水力学. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1982
- 3 肖广源. 侧槽式溢洪道水面曲线计算的图解法. 水利水电技术, 1983(7): 16~20

(收稿日期: 1995-12-14)

\*\*\*\*\*

· 简讯 ·

## 意大利最高的重力坝用 PVC 薄膜作防水材料

据英国《水力与筑坝》1995 年 11 月刊报导, 意大利最高的大坝 Alpe Gera 坝, 位于阿尔卑斯山中部海拔 2128 m 高处, 坝高 174 m, 坝顶长 528 m, 建于 1958~1964 年, 由意大利国营电力公司(ENEL)经营管理。建坝时采用 3 mm 厚钢护板作防水材料, 经多年实践证明, 钢护板不可避免地产生了损伤, 并出现了大量的洞眼, 有些洞眼直径超过 3 mm, 表面有砌石面护层的钢护板情况略好些, 但也发现有脱落和气泡, 因而也产生渗漏。ENEL 对严重损伤的钢护板进行了修补, 并对各种 PVC 薄膜性能进行了一系列的室内试验研究, 然后在 Alpe Gera 大坝的右坝肩的迎水面进行了大规模的试验, 将 PVC 薄膜安装在损伤严重的钢护板上。经过 5 年的试用, ENEL 认为 PVC 薄膜能满足防水要求, 因此, 1993~1994 年间在 Alpe Gera 坝挡水面的坝踵、坝肩和高程 2040.23 m 的泄水孔周围都安装了高密度的 PVC 土工织物。由于全部安装部位都在水下, 而且是在水库运行期间进行的, 因此所有的周边锚定区都应防水, 以确保在高程 1990.56 m, 甚至高程 2040.23 m 处, 以及坝肩和泄水孔周围的防水衬砌都不会产生渗漏。薄膜衬砌应始终沉于水下, 根据水库蓄水高程, 大部分的薄膜在绝大部分时间也应保留在水下, 以保证其使用寿命。在防水土工膜安装之前, 从钢护板溢出的渗流为 40~50 L/s, 而且呈增加的趋势, 安装防水土工膜之后, 渗漏已减少到 10 L/s, 并且大部分来自低于高程 2040.23 m 的钢衬板, 而用 PVC 土工织物覆盖的部分, 渗漏实际上已几乎不存在了。(熊莉芸 供稿)