

# 分段求和法计算天然河道水面曲线

鞠福勇

(大连市普兰店区河道管理处, 辽宁 大连 116200)

**【摘要】** 人们对水情的观察,主要是研究水位的变化,因此天然河道水面曲线的计算便成为河道规划设计中的重要环节。本文以太阳河河段为例,采用分段求和法推求该河段的水面曲线。计算过程及相关理论可为类似工程计算提供参考。

**【关键词】** 天然河道;水面曲线;分段求和法;水力要素

中图分类号: TV131

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)05-0028-04

## Calculation of natural river water surface curve by subsection summation method

JU Fuyong

(Dalian Pulandian District River Management Office, Dalian 116200, China)

**Abstract:** People's observation of water regime aims at studying the change of water level. Therefore, calculation of water surface curve of natural rivers becomes an important link in river channel planning and design. In the paper, Taiyang River section is adopted as an example. Subsection summation method is adopted for calculating the water surface curve of the river section. The calculation process and related theory can provide reference for calculation in similar projects.

**Keywords:** natural river channel; water surface curve; subsection summation method; hydraulic elements

天然河道的过水断面一般极为不规则,粗糙系数、底坡沿流程都有变化,可视为非棱柱形明渠。在河道中修建桥梁、闸、坝等建筑物时,必然会遇到建筑物建成后所引起的有关水面曲线的一些问题,如:护岸设计高度、雍水淹没范围等。

在天然河道中,估算建筑物建成后新的水面曲线最大的困难在于天然河道中水力要素变化急剧,因而不得不采用某种平均值作为计算依据。人们对水情的观察,首先关注的是水位,因此研究河道水面曲线时,主要研究水位的变化,这样天然河道水面曲线的设计便自成系统。虽然它与人工渠道水面曲线的计算不同,但无本质区别。

天然河道水面曲线的计算方法很多,第一类是分段求和法,第二类是将不规则的天然河道人为地简化为具有平均底坡的棱柱形渠道,以此代替天然河道水面曲线的计算。第一类在工程中较为常用,故本文利用分段求和法计算天然河道水面曲线。

### 1 天然河道分段的原则

为了正确反映河道的实际情况,提高计算精度,对天然河道分段应遵循以下原则:

- a. 每个计算流段内,过水断面形状、尺寸、粗糙系数及底坡变化不要太大。
- b. 在一个计算流段内,上游、下游水位差不要太大。

大,平原河流一般  $\Delta z$  取 0.2 ~ 1.0m,山区河流一般  $\Delta z$  取 1.0 ~ 3.0m。

c. 计算流段内不要有支流汇入或流出。若有支流存在,必须把支流放在计算流段的起始端或末端,对汇入的支流一般放在流段的起始端,对流出的支流一般放在流段的末端。由于支流的汇入或流出,对流量要进行修正,正确估计流入量或流出量。

d. 平原河道流段可划分得长一些,山区河道流段要划分得短一些。

关于河道的局部水头损失,逐渐收缩的河段局部水头损失很小,一般忽略不计;对扩散的河段,水头损失系数  $\xi$  可取(-0.3 ~ -1.0),视扩散角的大小而定。因此河道非均匀流的局部水头损失表达为  $dh_f = \xi d\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ ,对于扩散河段,因为  $d\left(\frac{v^2}{2g}\right)$  为负值,必须使水头损失系数  $\xi$  为负值,才能保证局部水头损失是正值。

## 2 天然河道水面曲线的水力计算公式

### 2.1 明渠恒定非均匀渐变流的基本微分方程<sup>[1]</sup>

如图 1 所示,取明渠恒定非均匀渐变流中一微分段  $ds$ ,1—1 断面水深为  $h$ ,渠底高程为  $z_0$ ,断面平均流速为  $v$ ;2—2 断面水深为  $h + dh$ ,渠底高程为  $z_0 + dz_0$ ,断面平均流速为  $v + dv$ 。

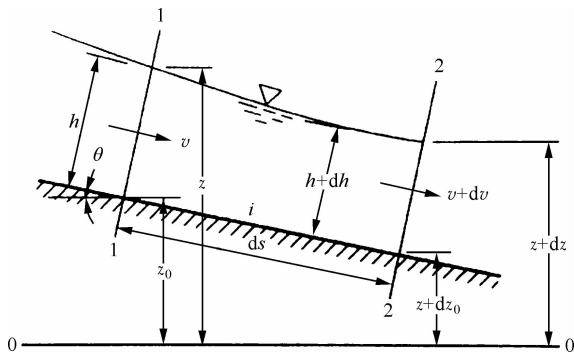


图1 非均匀渐变流

对此微分段 1—1 断面和 2—2 断面建立能量方程:

$$z_0 + h \cos \theta + \frac{\alpha_1 v^2}{2g} = (z_0 + dz_0) + (h + dh) \cos \theta + \frac{\alpha_2 (v + dv)^2}{2g} + dh_j + dh_f \quad (1)$$

$$\text{令 } \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \text{ 而 } \frac{\alpha (v + dv)^2}{2g} =$$

$$\frac{\alpha (v^2 + 2vdv + dv^2)}{2g} \approx \frac{\alpha (v^2 + 2vdv)}{2g} = \frac{\alpha v^2}{2g} + d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)。$$

式中  $dh_f$ ——沿程水头损失;

$dh_j$ ——局部水头损失。

$$dh_j = \xi d\left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

因为  $z_0 - ids = z_0 + dz_0$ , 则  $dz_0 = -ids$ , 式(1)可写为:

$$-ids + dh \cos \theta + (\alpha + \xi) d\left(\frac{v^2}{2g}\right) + dh_f = 0 \quad (2)$$

由图 1 可知,水流中某点水位  $z$ ,可表示为  $z = z_0 + h \cos \theta$ ,因而  $dz = dz_0 + \cos \theta \cdot dh$ ,又因为  $z_0 - ids = z_0 + dz_0$ ,即  $dz_0 = -ids$ ,所以:

$$\cos \theta dh = dz + ids \quad (3)$$

将式(3)代入式(2),并除以  $ds$  得:

$$-\frac{dz}{ds} = (\alpha + \xi) \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g}\right) + \frac{dh_f}{ds} \quad (4)$$

上式即用水位沿流程变化来表示的非均匀渐变流基本微分方程。

### 2.2 天然河道水面曲线分段计算的基本公式<sup>[2]</sup>

天然河道水面曲线水力计算,首先把河道划分为若干个计算流段,用水位变化来代替水深变化进行计算,如图 2 所示。

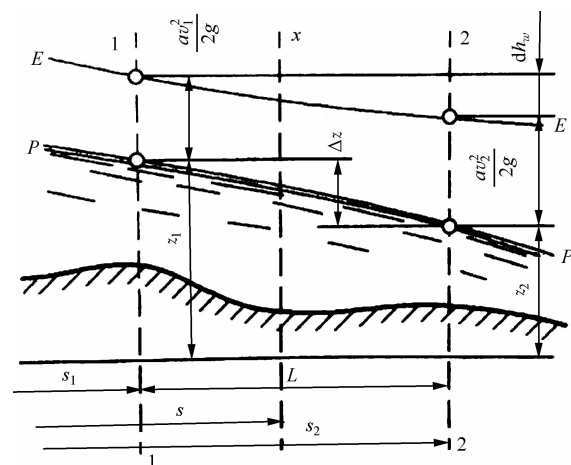


图2 天然河道渐变流

将计算流段局部水头损失系数  $\xi$  用其平均值  $\bar{\xi}$  表示,式(4)可改写为:

$$-\frac{dz}{ds} = (\alpha + \bar{\xi}) \frac{d}{ds} \left( \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{dh_f}{ds} \quad (5)$$

式(5)为天然河道恒定非均匀渐变流的微分方程。将式(5)改写为有限差分式为:

$$-\Delta z = (\alpha + \bar{\xi}) \Delta \left( \frac{v^2}{2g} \right) + \Delta h_f \quad (6)$$

式中  $-\Delta z = z_u - z_d$ ,  $z_u$  为上游断面水位,  $z_d$  为下游断面水位, 式(6)可写为:

$$z_u - z_d = (\alpha + \bar{\xi}) \left( \frac{v_d^2 - v_u^2}{2g} \right) + \bar{J} \Delta s \quad (7)$$

将式(7)写成上游、下游两个断面的函数式, 得:

$$z_u + (\alpha + \bar{\xi}) \frac{v_u^2}{2g} = z_d + (\alpha + \bar{\xi}) \frac{v_d^2}{2g} + \frac{Q^2}{K^2} \Delta s \quad (8)$$

或写成:

$$\begin{aligned} z_u + (\alpha + \bar{\xi}) \frac{Q^2}{2gA_u^2} - \frac{\Delta s}{2} \frac{Q^2}{K^2} \\ = z_d + (\alpha + \bar{\xi}) \frac{Q^2}{2gA_d^2} + \frac{\Delta s}{2} \frac{Q^2}{K^2} \end{aligned} \quad (9)$$

即  $f(z_u) = \phi(z_d)$

式中  $\bar{J}$ ——计算流段内平均水力坡度,  $\bar{J} = \frac{Q^2}{K^2}$ ;

$\bar{K}$ ——计算流段内平均流量模数,  $\bar{K} = \bar{A} \bar{C} \sqrt{R}$ ;

$\bar{\xi}$ ——计算流段内局部水头损失系数的平均值, 加脚注  $u, d$  分别表示流段上游、下游断面水力要素。

式(8)、式(9)即天然河道水面曲线分段计算的基本公式。

### 3 天然河道水面曲线的水力计算步骤

a. 首先划分流段, 若下游断面的水位  $z_d$  已知, 按式(9)计算出函数  $\phi(z_d)$  的值。(若上游断面水位  $z_u$  已知, 其方法相同。)

b. 假定几个上游断面水位  $z_u$ , 按式(9)计算出一系列  $f(z_u)$  函数值, 绘出  $z_u \sim f(z_u)$  关系曲线, 如图3所示, 在图中的横坐标上找出  $f(z_u) = \phi(z_d)$  点, 向上作垂线交曲线于 A 点, A 点的纵坐标值即所求的上游断面水位  $z_u$ 。

c. 以求得的此上游断面水位  $z_u$  作为下一个计算

流段下游水位  $z_d$ , 重复第二步骤, 依次计算上游断面水位, 最终得出河道的水面曲线。

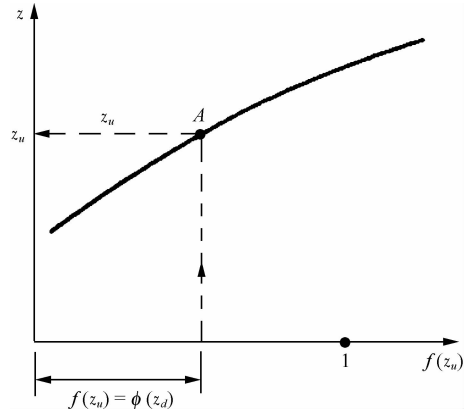


图3 天然河道水力计算图

## 4 工程实例

太阳河发源于辽宁省瓦房店市九龙街道后袁沟小红山, 河源海拔高程 214.90m, 于太阳升街道那屯村注入复州河。太阳河是复州河左岸一级支流, 干流全长 20.04km, 流域面积 64.25km<sup>2</sup>, 河道平均比降 5.05‰。

### 4.1 计算边界条件

太阳河全河段均采用 10 年一遇防洪标准进行计算。水面曲线推算的下边界采用复州河与太阳河交汇处位置 10 年一遇设计洪水位为起推水位, 根据《大连市复州河治理规划报告》2009 年, 查得起推断面为 0+000, 10 年一遇设计洪水位为 27.41m。

### 4.2 河道糙率

河道糙率取值参考《水力计算手册》<sup>[3]</sup> 中的河道糙率表, 并结合该次治理后河道的实际情况综合考虑确定。太阳河河槽水流平顺, 断面规整, 上下游河床糙率变化不明显, 经综合考虑后确定浆砌石防洪墙糙率取值 0.020, 河底糙率取值 0.025; 梯形放坡断面采用干砌石护砌, 河槽综合糙率取值 0.025。

### 4.3 水面曲线水力计算成果

已建挡水堰河段, 其设计洪水位由挡水堰控制。挡水堰河段采用堰流公式计算挡水堰堰上水头后, 使其水位与上下游河道水位平顺衔接, 衔接处采用局部修正<sup>[4]</sup>。

利用分段求和法计算天然河道水面曲线水力特性

见下表。

天然河道水力计算特性表

位置	洪峰流量/ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	河道宽度/ m	水位/ m	河底高/ m	水深/ m	流速/ ( $\text{m}/\text{s}$ )
0+000	334.85	22.50	27.41	21.10	6.31	1.58
0+500	334.85	22.50	27.66	22.10	5.56	1.87
0+720	334.85	35.20	28.09	23.19	4.90	1.75
0+792	334.85	38.60	28.16	23.33	4.83	1.80
1+000	298.70	23.70	28.31	24.31	4.00	3.15
1+223	298.70	31.20	29.07	26.02	3.05	3.14
1+500	298.70	28.90	29.11	25.11	4.00	2.58
1+641	298.70	48.00	29.13	26.83	2.30	2.71
1+682	298.70	64.40	29.79	27.89	1.90	2.44
2+000	298.70	28.70	31.41	29.31	2.10	4.47
2+357	298.70	48.40	33.71	31.41	2.30	2.68
2+500	298.70	24.60	34.42	31.91	2.51	4.84
2+808	298.70	38.00	35.74	33.74	2.00	3.93
3+000	298.70	25.20	36.55	34.20	2.35	4.41
3+500	298.70	42.00	38.42	36.70	1.72	3.90
3+551	298.70	60.00	38.99	37.48	1.51	3.30
4+000	298.70	22.00	41.60	39.34	2.26	4.78
4+417	298.70	57.20	44.24	41.44	2.80	1.87
4+500	298.70	25.00	44.80	42.26	2.54	4.41
5+000	298.70	25.00	46.86	44.30	2.56	4.05
5+409	298.70	48.20	47.69	45.69	2.00	3.10
5+500	298.70	28.80	48.50	46.31	2.19	4.16
6+000	298.70	28.10	50.81	48.63	2.18	4.25
6+105	298.70	60.00	51.13	49.43	1.70	2.93
6+200	298.70	43.70	51.32	49.61	1.71	3.75
6+500	298.70	24.80	52.92	50.62	2.30	4.54
6+791	298.70	33.00	56.57	52.71	3.86	3.07
6+925	298.70	31.80	56.61	52.50	4.11	2.94
7+000	298.70	37.10	56.71	53.00	3.71	2.76
7+076	298.70	35.80	56.81	53.10	3.71	2.86
7+132	298.70	34.00	57.15	53.44	3.71	3.01
7+456	284.19	33.80	57.52	53.71	3.81	2.71
7+500	284.19	39.20	57.72	54.11	3.61	2.50
7+979	284.19	35.40	59.63	56.93	2.70	2.97
8+000	284.19	38.60	59.63	57.03	2.60	2.83
8+500	284.19	46.40	61.98	59.58	2.40	2.55
8+581	284.19	37.00	62.93	60.22	2.71	3.34
9+000	284.19	39.50	64.80	62.20	2.60	2.77
9+104	284.19	36.00	65.71	62.91	2.80	2.82
9+225	284.19	32.40	66.91	63.94	2.97	3.51
9+500	284.19	50.40	67.58	64.71	2.87	2.69
9+880	284.19	48.00	69.56	67.06	2.50	2.37
10+000	284.19	15.00	71.01	67.64	3.37	4.62
10+500	221.30	24.10	72.52	69.81	2.71	3.39
10+574	221.30	90.40	72.88	70.17	2.71	0.90

续表

位置	洪峰流量/ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	河道宽度/ m	水位/ m	河底高/ m	水深/ m	流速/ ( $\text{m}/\text{s}$ )
11+000	221.30	24.40	74.85	72.14	2.71	3.35
11+242	221.30	27.20	75.83	73.08	2.75	2.96
11+500	221.30	27.30	75.98	74.06	1.92	4.22
11+856	169.59	14.00	79.72	76.17	3.55	3.41
12+000	169.59	29.10	79.77	76.77	3.00	1.94
12+500	169.59	27.10	81.50	78.80	2.70	2.32
12+579	169.59	21.00	81.95	79.25	2.70	2.99
13+000	169.59	15.50	83.95	81.95	2.00	3.65
13+082	169.59	23.20	84.33	82.03	2.30	3.18
13+500	128.55	18.60	86.08	84.36	1.72	4.01
13+694	128.55	24.40	87.27	85.47	1.80	2.93
14+000	128.55	14.00	89.11	87.03	2.08	4.41
14+240	128.55	14.00	92.72	89.72	3.00	3.06
14+457	128.55	15.20	93.41	91.44	1.97	4.29
14+490	128.55	16.80	93.52	91.22	2.30	3.33
14+819	128.55	15.00	94.48	92.44	2.04	4.21
15+000	128.55	13.80	95.52	93.42	2.10	4.43
15+191	128.55	12.50	97.08	94.83	2.25	4.58
15+400	128.55	12.50	98.77	96.52	2.25	4.58
15+511	128.55	36.00	99.36	98.06	1.30	2.75

由表中计算结果可以看出,水位整体呈下降趋势,计算河道水深变化及水面曲线较为平顺,计算成果较为合理。

## 5 结 论

天然河道中水力要素变化急剧,因而不得不采用某种平均值作为计算依据。虽然天然河道与人工渠道水面曲线的计算不同,但无本质区别,均遵循水流的能量守恒定律。天然河道水面曲线计算常用的方法为分段求和法,要注意天然河道分段原则及步骤。对于河道中存在交叉建筑物的河段,要结合交叉建筑物的型式进行局部修正,以实现上下游水面曲线的平顺衔接。◆

## 参考文献

- [1] 高学平,张效先. 水力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2006.
- [2] 刘洋. 几种水面线推算方法的比较[J]. 人民黄河, 2011, 33(2): 51-53.
- [3] 李炜. 水力计算手册[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
- [4] 宿继成,曲少萍,胡湘. 天然河道水面线计算方法的改进[J]. 黑龙江水利科技, 2007, 35(1): 24-26.