

河渠水面线推求方向的可行性研究

刘曾美¹, 吴俊校², 陈 明²

(1. 华南理工大学 水利水电工程系, 广东 广州 510640; 2. 广东省水利水电建设管理中心, 广东 广州 510600)

摘要: 河渠水面线的推求, 首先必须确定推求方向, 因为虽然从理论上可从上游或下游断面开始递推, 但实际上都可能遇到无法推求的情况. 构建的规则河渠水面线推求方向可行性分析方法, 首先分析水面线计算式上、下断面能量函数曲线的特性, 研究计算河段长度、河道底坡对其的影响; 然后探讨上、下断面的能量函数曲线相对位置关系, 从而探究无法推求的原因及求解的规律性, 并以实例进行分析. 研究表明, 由下游向上游推求等截面缓坡、临界坡河段及收缩河段, 或由上游向下游推求等截面陡坡、临界坡河道及扩散河段, 总能找到可行解或通过缩短计算河段长度找到可行解; 而由上游往下游推求等截面缓坡河段、收缩河段, 或由下游向上游推求等截面陡坡河段、扩散河段时, 则存在无解区域, 且无解区域发生在临界流态的某一邻域内, 邻域左右半径不一定相等; 此外, 河段长度愈长, 坡度愈陡, 邻域半径愈大.

关 键 词: 水面线; 推求方向; 可行性; 能量函数曲线

中图分类号: TV133

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)01-0076-08

在防洪减灾体系中, 水面线是江河堤防设计的重要依据, 它直接关系到堤防的规模与防洪安全. 虽然理论上可从计算流段上游或下游断面开始递推^[1-2], 但实际上无论是从上游往下游递推还是从下游往上游递推, 都可能遇到计算不收敛、无法推求的情况, 尤其是在山区河渠水面线的推求过程中. 因此迫切需要弄清原因并找到解决途径. 张建民^[3]、任苇^[4]、吴建平^[5]等研究了由下游向上游推求的迭代算法; 万五一等^[6]在试算中改变步长来提高试算法的计算效率; 金菊良等^[7]提出了用加速遗传算法来解决传统算法计算误差累积的问题; 黄佑生^[8]、张强^[9]等均提出了新的由上游往下游推求的试算迭代模型. 但这些算法不可能完全解决水面线计算中不收敛、无法推求的问题, 因为有时无法推求的情况是客观存在的, 并不能单纯依靠好的算法来解决. 只有先确定了推求方向, 然后再选择好的算法才能真正解决问题. 本文从理论上探讨水面线推求无法实现的根本原因, 探究能求解的规律, 并以实例进行分析.

1 水面线计算式的上、下断面能量函数曲线规律

在防洪减灾的河道堤防整治设计中, 需推求河道水位的沿程变化, 以满足工程设计要求, 故工程上可直接应用恒定总流能量方程来推求洪峰所在微小时段内的水位沿程变化, 亦即水面线. 通常将需进行水面线计算的河段, 分成若干个计算河段, 然后从下游到上游(或从上游到下游)对这些计算河段逐段进行求解, 从而得到水面曲线沿程情况^[1-2]. 对每个计算河段, 水面线的计算式可整理为:

$$z_u + (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_u^2} - \frac{\Delta SQ^2}{2K_u^2} = z_d + (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_d^2} + \frac{\Delta x Q^2}{2K_d^2} \quad (1)$$

收稿日期: 2009-12-18

基金项目: 广东省防洪减灾研究项目

作者简介: 刘曾美(1970-), 女, 湖北石首人, 讲师, 博士研究生, 主要从事水文水资源和水文水利计算研究.

E-mail: liuzm@scut.edu.cn

$$\begin{cases} E_u = E_u(z_u) = z_u + (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_u^2} - \frac{\Delta s Q^2}{2K_u^2}, \\ E_d = E_d(z_d) = z_d + (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_d^2} + \frac{\Delta s Q^2}{2K_d^2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: z_u 与 z_d , A_u 与 A_d , K_u 与 K_d 分别为计算流段上、下游断面的水位、过水面积和流量模数; Δs 为计算河段长度; α 为动能修正系数; ζ 为局部水头损失; Q 为过水流量; E_u 和 E_d 分别为上、下游断面能量函数。

分别对上、下游断面能量函数求导, 可得:

$$\frac{dE_u(z)}{dz} = E'_u(z) = 1 - (\alpha + \zeta) Fr^2 + \frac{\Delta s Q^2}{K^3} \frac{dK}{dz} = 1 - (\alpha + \zeta) Fr^2 + \frac{\Delta s Q^2}{K^2} \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dz} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dz} \right) \quad (3)$$

$$\frac{dE_d(z)}{dz} = E'_d(z) = 1 - (\alpha + \zeta) Fr^2 - \frac{\Delta s Q^2}{K^3} \frac{dK}{dz} = 1 - (\alpha + \zeta) Fr^2 - \frac{\Delta s Q^2}{K^2} \left(\frac{1}{A} \frac{dA}{dz} + \frac{2}{3R} \frac{dR}{dz} \right) \quad (4)$$

式中: R 为断面水力半径; A 为断面过水面积; Fr 为断面弗劳德数。

A, R 均随水位的上升而增大, 故 $\frac{dA}{dz} > 0$, $\frac{dR}{dz} > 0$, 则 $\frac{dK}{dz} > 0$ 。因此, $E_d = E_d(z)$ 存在极值点 z' (z' 值与参数 Δs 有关), 当 $z < z'$ 时, $E'_d(z) < 0$; 当 $z > z'$ 时, $E'_d(z) > 0$, 故 $E_d(z) - z$ 曲线是存在极小值且开口向上的上凹曲线; 当 $z \rightarrow z_0$ 时, $A \rightarrow 0, K \rightarrow 0$, 则 $E_d(z) \rightarrow +\infty$, 故 z 的左侧以 $z = z_0$ 为渐近线; 当 $z \rightarrow +\infty$ 时, $E_d(z) - z$ 曲线是以 45° 对角线为渐近线。 $E_d(z) - z$ 的图形如图 1(a) 所示。

当 $1 - (\alpha + \zeta) Fr^2 \geq 0$ 时, $E'_u(z) > 0$; 而当 $1 - (\alpha + \zeta) Fr^2 < 0$ 时, $E'_u(z)$ 的正负与参数 Δs 有关, 当 Δs 足够小时, 有可能 $E'_u(z) < 0$, 则 $E_u(z)$ 存在极值; 若 Δs 足够大, 则有 $E'_u(z) > 0$, 则 $E_u(z) - z$ 曲线恒单调递增。故 $E_u(z) - z$ 的曲线形状与参数 Δs 有关, 且右侧以 45° 对角线为渐近线 (如图 1(b))。

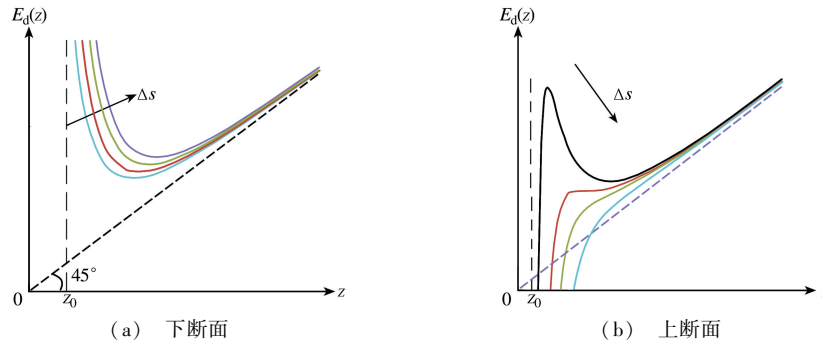


图1 上、下游断面能量函数曲线变化示意图

Fig. 1 The varying sketch maps of the energy functions of the upstream and downstream sections with Δs

对一确定的计算河段, 若下断面高程固定, 则底坡的变化体现在上断面的河底高程 z_{u0} 上, 若河段坡降变大, 则上断面河底高程由 z_{u0}^1 变为 z_{u0}^2 , 令 $z_{u0}^1 < z_{u0}^2$, 有

$$E_{u1}(z_u) = z_u + (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_{u1}^2} - \frac{\Delta s Q^2}{2K_{u1}^2}, \quad E_{u2}(z_u) = z_u + (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_{u2}^2} - \frac{\Delta s Q^2}{2K_{u2}^2}$$

式中: A_{u1}, K_{u1} 和 A_{u2}, K_{u2} 分别为上断面河底高程对应于 z_{u0}^1, z_{u0}^2 时的过水断面面积和流量模数。

$$\text{若令 } \varphi_1(z_u) = (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_{u1}^2} - \frac{\Delta s Q^2}{2K_{u1}^2}, \varphi_2(z_u) = (\alpha + \zeta) \frac{Q^2}{2gA_{u2}^2} - \frac{\Delta s Q^2}{2K_{u2}^2}, \text{ 则有 } \varphi_2(z_u) = \varphi_1[z_u - (z_{u0}^2 - z_{u0}^1)].$$

又因: $E_{u2}(z_u) = z_u + \varphi_2(z_u)$, $E_{u1}[z_u - (z_{u0}^2 - z_{u0}^1)] = z_u - (z_{u0}^2 - z_{u0}^1) + \varphi_1[z_u - (z_{u0}^2 - z_{u0}^1)]$
故可推得:

$$E_{u2}(z_u) = E_{u1}[z_u - (z_{u0}^2 - z_{u0}^1)] + (z_{u0}^2 - z_{u0}^1) \quad (5)$$

式(5)表明,底坡较大、河底高程为 z_{u0}^2 的 $E_{u2}=E_{u2}(z_u)$ 图形,可由底坡为 z_{u0}^1 ($z_{u0}^1 < z_{u0}^2$) 的 $E_{u1}=E_{u1}(z_u)$ 图形向右、再向上各平移 $(z_{u0}^2 - z_{u0}^1)$ 个单位后得到。

若上断面高程固定,则底坡的变化体现在下断面的河底高程 z_{d0} 上,若河段坡降变小,则下断面河底高程由 z_{d0}^1 变为 z_{d0}^2 ,则 $z_{d0}^1 < z_{d0}^2$ 。如上述推导过程可得:

$$E_{d1}(z_d) = E_{d2}[z_d + (z_{d0}^2 - z_{d0}^1)] - (z_{d0}^2 - z_{d0}^1) \quad (6)$$

同样,底坡较大的河底高程 z_{d0}^1 的 $E_{d1}=E_{d1}(z_d)$ 图形相当于把底坡为 z_{d0}^2 ($E_{d0}^1 < E_{d0}^2$) 的 $E_{d2}=E_{d2}(z_d)$ 图形先向左、再向下各平移 $(z_{d0}^2 - z_{d0}^1)$ 个单位。

因此,对一确定的计算河段,底坡变化时,无论固定哪个断面,最终得到的上、下断面的能量函数图形的相对位置关系是不变的。

2 上、下断面能量函数曲线相对位置关系

要研究由上游向下游推求和由下游向上游推求的解的可行性情况,首先必须探究上断面能量函数曲线 $E_u(z_u) - z_u$ 与下断面能量函数曲线 $E_d(z_d) - z_d$ 的相对位置关系。

对于棱柱体河道,局部水头损失 $\zeta=0$ 。若河道底坡为临界坡,则由文献[1]结合图1不难得出,随着计算河段长度 Δs 的增大,上、下断面的能量函数曲线相对位置关系依次出现图2中(a),(b),(c)三种情况;根据底坡对上下断面能量函数曲线的影响,若河道底坡变小为缓坡,则分别变为图2中(a₁),(b₁),(c₁);若河道底坡变大为陡坡,则分别变为图2中(a₂),(b₂),(c₂)。

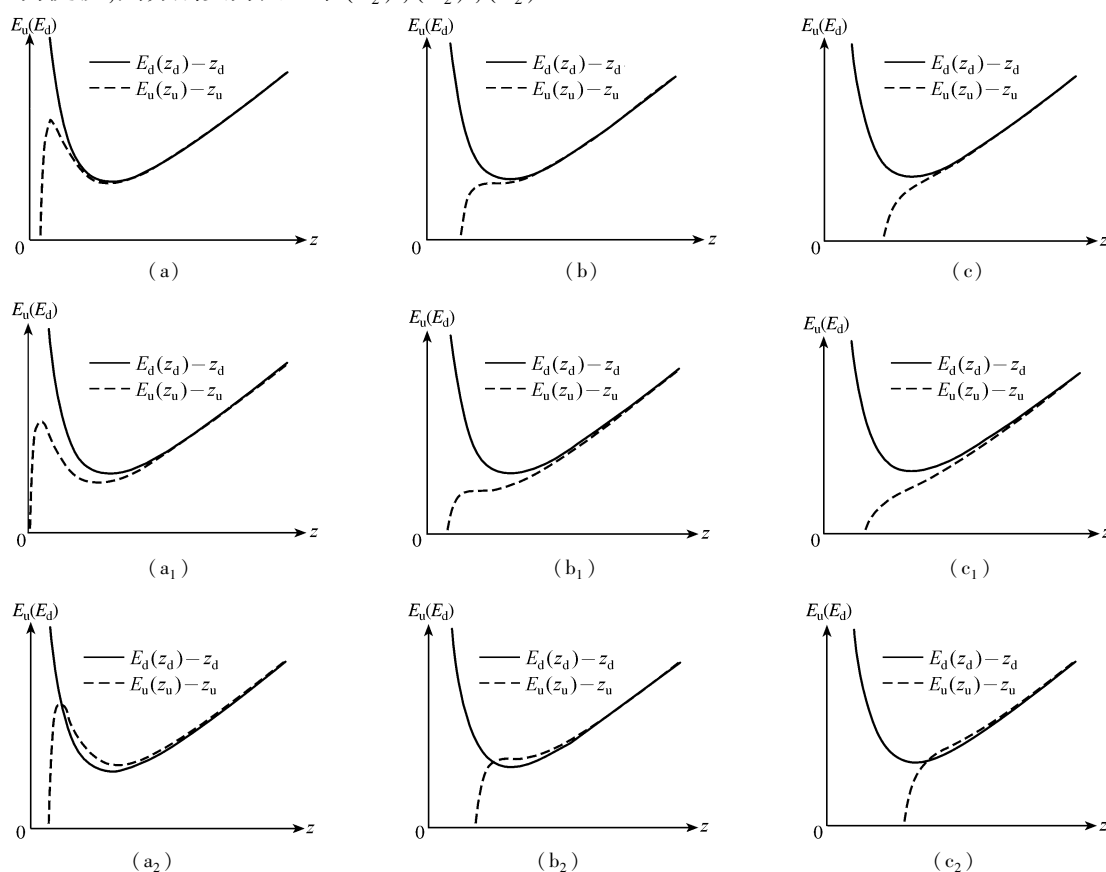


图2 上、下断面的能量函数曲线相对位置关系

Fig. 2 The sketch maps of relative position of energy functions of the upstream section and downstream section

对于收缩河段,若以下断面固定,则视其为上游河道逐渐拓宽.下断面能量函数因 $\zeta > 0$ 而变大,图形向上移;上游河道拓宽后,上断面能量函数既可能变大也可能变小,但上断面能量函数的变化幅度较下断面小,故下断面的能量函数曲线位置相对上移.因此,对于收缩河段一般出现类似图2中 (a_1) 、 (b_1) 、 (c_1) 三种情况,除非河道很陡.

对于扩散河段,若以上断面固定,则视其为下游河道逐渐拓宽.对扩散河道,必须使局部水头损失系数 $\zeta < 0$,才能保持局部水头损失为正值^[1].上断面能量函数因 $\zeta < 0$ 而变小,其图形向下移;下游河道拓宽后,下断面能量函数变小,且变小的幅度比上断面的大.因此,对于扩散河段一般出现图2中 (a_2) 、 (b_2) 、 (c_2) 三种情况,除非河段非常平缓,但对应各种情况的 Δs 值均比棱柱体河段的小些.

至于弯道水流,计算其纵向水面线时,可直接按无弯道(即令 $\zeta = 0$)情况下水面线计算式来计算,但河道的糙率系数应采用等价糙率系数 n_c ^[10].故有弯河段上、下断面的能量函数曲线相对位置关系与棱柱体河段的完全相同,只不过 $n_c > n$,由图1知,出现各种位置关系的 Δs 值不同.

因此,图2可包括任意计算河段的 $E_u(z_u) - z_u$ 与 $E_d(z_d) - z_d$ 的相对位置关系.

3 水面线计算可行性分析

计算水面线时,无论由上断面水位 z_u 推求下断面水位 z_d ,还是由下断面水位 z_d 推求上断面水位 z_u ,从理论上,均是由已知水位 z_u (或 z_d)唯一确定其断面的能量函数值 E_u (或 E_d),再由该能量函数值在另一能量函数曲线 $E_d(z_d) - z_d$ (或 $E_u(z_u) - z_u$)上求出与该能量函数值相应的水位 z_d (或 z_u).可能解的个数不仅与上、下断面的能量函数曲线的相对位置及起推水位有关,还与推求方向有关.

首先需要说明的是 $E_u(z_u) - z_u$ 曲线最左边几乎呈竖直线段部分(图2中(a)、 (a_1) 、 (a_2))的水流状态通常是高速水流,在河渠中产生的可能性较小,所以此处不予考虑.

3.1 由上游水位推求下游水位

当等截面(包括棱柱体和弯道,下同)河道坡度为陡坡、临界坡或河段扩散时,由 z_u 推求相应下游水位 z_d ,基本上都能设法求解.但当计算河段 Δs 取值偏大,可能会无解,此时可通过缩小计算河段长度 Δs 来求解(相应地由图(b)或 (b_2) 甚至(c)或 (c_2) 变为(a)或 (a_2)),且 Δs 越短,计算成果精度愈高.有1个解时,对应 $E_d(z_d) - z_d$ 曲线的极值点;有2个解时,则1个解对应于缓流状态,而另1个解对应于急流状态,可根据水面线计算式的应用条件和水面曲线的形状和特点作定性分析^[1],以确定唯一的可行解(可通过恰当的算法来求得可行解).

当等截面河道坡度为缓坡或河段为收缩河段时(对应于图2中 (a_1) 、 (b_1) 、 (c_1)),若由 z_u 来推求相应下游水位 z_d ,有无解区域(当 $E_u(z_u)$ 小于下断面能量函数极小值时,则无解).无解区域在临界流态的某一邻域内,邻域的左右半径不一定相等,且 Δs 愈大,坡度愈陡,无解区域愈大.

3.2 由下游水位推求上游水位

等截面河道坡度为缓坡、临界坡或河段为收缩河段时,由 z_d 推求相应下游水位 z_u 基本上都能设法求解.当计算河段 Δs 取值偏大,可能会有很多解(对应图3中(b)、 (b_1) 中 $E_u(z_u) - z_u$ 几乎水平段部分)或无解(图(b)或 (b_1) 、(c)或 (c_1) 中 $E_u(z_u) - z_u$ 上 E_u 小于 $E_d(z_d) - z_d$ 的极值区域),此时可通过缩小 Δs 来求解(相应地由图(b)或 (b_1) 、甚至(c)或 (c_1) 变为(a)或 (a_1)),同样 Δs 越短,计算成果精度愈高.

当等截面河道坡度为陡坡或河段为扩散河段(对应图2中 (a_2) 、 (b_2) 、 (c_2))时,由 z_d 来推求相应上游水位 z_u ,有无解区域(如图 (a_2) 中 $E_d(z_d)$ 小于 $E_u(z_u) - z_u$ 的极小值时,是无解的),该区域为临界流态的某一邻域,邻域的左右半径不一定相等,且 Δs 愈大,坡度愈陡,无解区域愈大.

4 实例分析探讨

4.1 顺直河段水面线

某城市有一宽 30 m 的矩形棱柱体排水河渠, $n=0.025$, 设计洪水流量为 $680 \text{ m}^3/\text{s}$. 经计算, 临界水深 $h_k=3.74 \text{ m}$, 临界底坡 $i_k=5.31\text{‰}$, 现取长为 Δs 的河段来分别探讨底坡为 3.5‰ 和 7.0‰ 两种坡降下(相应正常水深为 4.29 m 和 3.42 m)水面线计算求解的可行性.

4.1.1 缓坡($i=3.5\text{‰}$)下水面线的求解 缓坡河道宜采用由下游往上游推求, 为讨论方便, 不妨令下断面河底高程为 0.00 m , 相应断面编号为 $0+000$. Δs 分别取 $100, 200, 300 \text{ m}$ 时的上下断面能量函数曲线分别见图 3 中(a), (b), (c). 限于篇幅, 只给出 $\Delta s=100 \text{ m}$ 时的成果(见表 1).

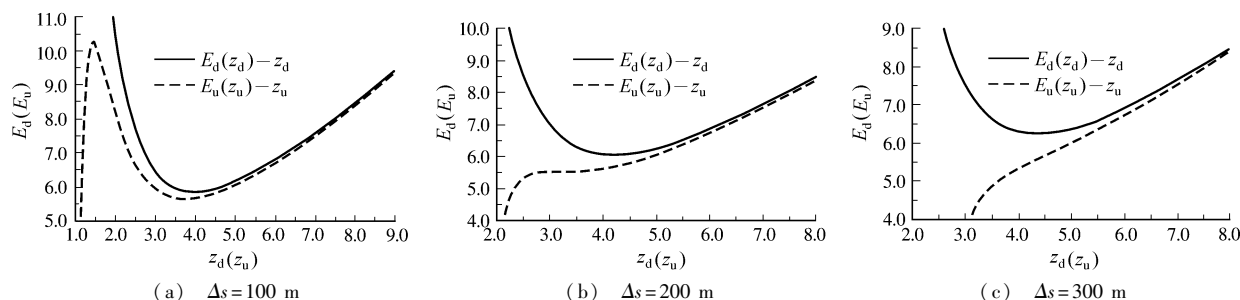


图 3 $i=3.5\text{‰}$ 时上、下断面的能量函数曲线

Fig. 3 The maps of relative position of energy functions of the upstream and downstream section in $i=3.5\text{‰}$

表 1 $i=3.5\text{‰}$, $\Delta s=100 \text{ m}$ 时的水面线计算

Tab. 1 The results of water level when i is 3.5‰ and Δs is 100 m

断 面	河底高程/m	各起推水位下的水面线/ m												
下断面(0+000)	0.00	2.02	2.25	2.50	2.80	3.10	3.40	3.70	4.00	4.30	4.60	4.90	5.20	>5.20
上断面(0+100)	0.35	1.45	1.86	2.15	2.45	2.71	2.94	3.08	4.56	4.65	4.82	5.06	5.32	有解

由图 3 可见, 若 $\Delta s=200 \text{ m}$, 当 $z_d < 4.25 \text{ m}$ 时, 则无法求到相应的 z_u ; 若 $\Delta s=300 \text{ m}$, 当 $z_d < 4.29 \text{ m}$ 时, 也无法求到相应的 z_u ; 但若取 $\Delta s=100 \text{ m}$ 来计算, 则可能有解, 计算成果见表 2.

如用上断面水位 z_u 来推求下断面水位 z_d , 若取 $\Delta s=100 \text{ m}$, 则当 $3.14 \text{ m} < z_u < 4.56 \text{ m}$ 时无解.

表 2 $\Delta s=100 \text{ m}$ 时的水面线计算成果

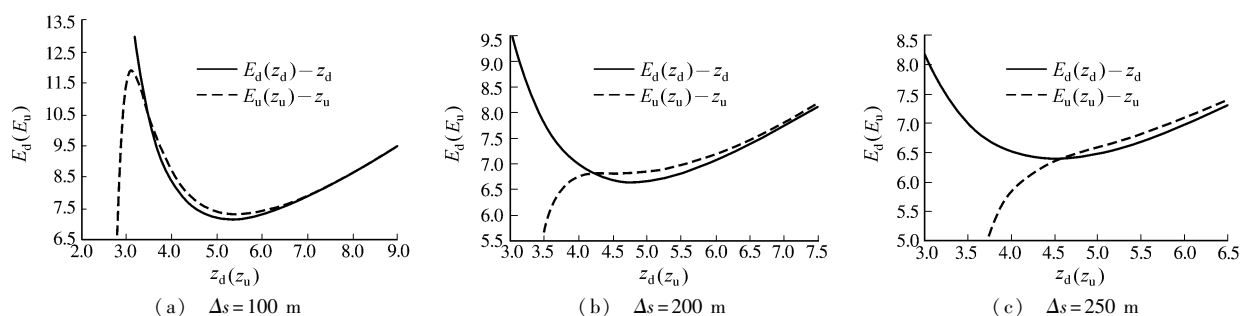
Tab. 2 The results of water level when Δs is 100 m

断 面	河底高程/ m	各起推水位下的水面线/ m					
0+000	0.00	2.80	3.10	3.40	3.70	4.00	
0+100	0.35	2.45	2.71	2.94	3.08	4.56	
0+200	0.70	2.01	2.34	2.59	2.73	4.95	
0+300	1.05				2.21	5.31	

4.1.2 陡坡($i=7.0\text{‰}$)下水面线的求解 陡坡河道宜采用由上游往下游推求, 为讨论方便, 不妨令上断面河底高程为 2.00 m . Δs 分别取 $100, 200, 250 \text{ m}$ 时, 上下断面能量函数曲线分别见图 4 中(a), (b), (c). 限于篇幅, 只给出 $\Delta s=100 \text{ m}$ 时各起推水位下的水面线成果(见表 3).

由图 4 可知, 若 $\Delta s=200 \text{ m}$, 当 $z_u < 3.84 \text{ m}$ 时, 则无法求到相应的 z_d ; 若 $\Delta s=250 \text{ m}$, 当 $z_u < 4.55 \text{ m}$ 时, 则无法求到相应的 z_d ; 但若取 $\Delta s=100 \text{ m}$ 或 50 m 来计算, 则有解.

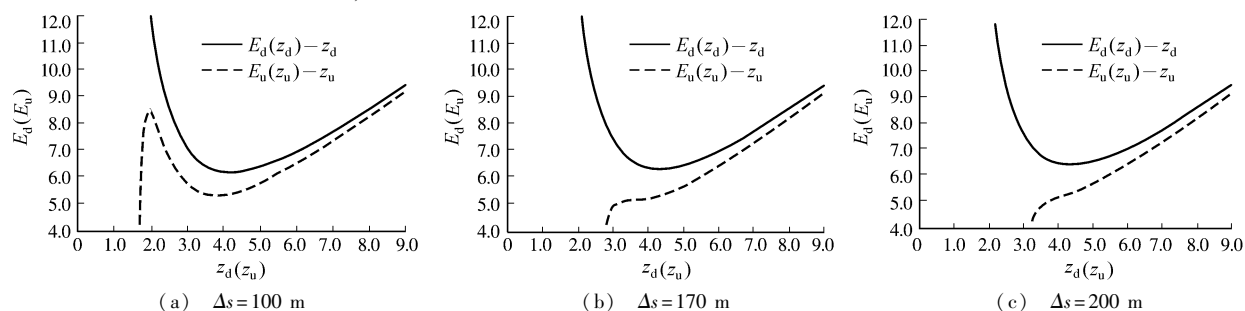
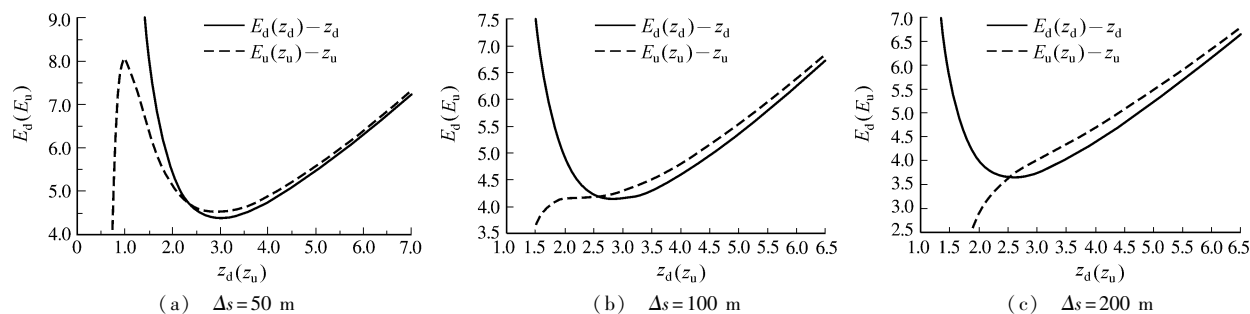
如用下断面水位 z_d 来推求上断面水位 z_u , 若取 $\Delta s=100 \text{ m}$, 则当 $4.72 \text{ m} < z_d < 6.06 \text{ m}$ 时无解.

图4 $i=7.0‰$ 时上、下断面的能量函数曲线Fig. 4 The maps of relative position of energy functions of the upstream and downstream section in $i=7.0‰$ 表3 $i=7‰, \Delta s=100\text{m}$ 时的水面线计算Tab. 3 The results of water level when i is $7‰$ and Δs is 100 m

断面位置	河底高程/m	各起推水位下的水面线/m											
上断面(0+000)	2.00	3.10	3.50	3.80	4.10	4.40	4.80	5.10	5.50	5.90	6.20	6.50	>6.50
下断面(0+100)	1.30	3.28	3.48	3.71	3.96	4.24	4.5	4.66	4.72	6.17	6.38	6.63	有解

4.2 收缩河段和扩散河段水面线解的探讨

若上面实例中,河道不是棱柱体河道,而是以角度 $\theta = \arctan 0.12$ 收缩或扩散,为节省篇幅,特只绘出 $i=10.0‰$ 的收缩河段和 $i=1.0‰$ 的扩散河段的上、下断面的能量函数曲线图(分别见图5和6),旨在说明收缩河段通常宜由下游往上游推求,而扩散河段通常宜由上游向下游推求。

图5 $i=10.0‰$ 的收缩河段的上、下断面的能量函数曲线Fig. 5 The maps of relative position of energy functions of the upstream and downstream section in $i=10.0‰$ 图6 $i=1.0‰$ 的扩散河段的上、下断面的能量函数曲线Fig. 6 The maps of relative position of energy functions of the upstream and downstream section in $i=1.0‰$

5 结 语

(1)对等截面缓坡河道、收缩河段,宜由下游向上游推求;而对等截面陡坡河道、扩散河段,宜由上游向下游推求.这样能够直接找到可行解或通过缩短计算河段长度找到可行解.

(2)对等截面缓坡河道、收缩河段,若由上游往下游推求,或对等截面陡坡河道、扩散河段,若由下游往上游推求,都存在无解区域,且无解区域发生在临界流态的某一邻域,邻域左右半径不一定相等;此外, Δs 愈长,坡度愈陡,邻域半径愈大.

(3)对等截面临界坡河段,由上游往下游推求或由下游往上游推求均可,若无解,同样可通过缩短计算河段长度找到可行解.

至于对不同河道,其适宜计算河段长度如何确定,即如何有效解决计算河段长度与有、无解的数学判断表达,尚待进一步深入研究.

参 考 文 献:

- [1] 吴持恭. 水力学:上册(3版)[M]. 北京:高等教育出版社,2003. (WU Chi-gong. Hydraulics: previous volume (3rd ed) [M]. Beijing: Higher Education Publisher, 2003. (in Chinese))
- [2] 杨永全, 汝树勋, 张道成, 等. 工程水力学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. (YANG Yong-quan, RU Shu-xun, ZHANG Dao-cheng, et al. Engineering hydraulics [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Publisher, 2005. (in Chinese))
- [3] 张建民, 王玉蓉, 许唯临, 等. 恒定渐变流水面线计算的一种迭代方法[J]. 水利学报, 2005, 36(4): 501-504. (ZHANG Jian-min, WANG Yu-rong, XU Wei-lin, et al. New iteration method for calculating water level of gradually varied steady flow [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(4): 501-504. (in Chinese))
- [4] 任苇, 郝秀运. 明渠水面线能量方程的牛顿迭代法求解[J]. 西北水资源与水工程, 2002, 13(4): 60-61. (REN Wei, HAO Xiu-yun. Calculation of water surface profile for open channel with Newton iteration [J]. Northwest Water Resources & Water Engineering, 2002, 13(4): 60-61. (in Chinese))
- [5] 吴建平, 吴泽宁. 明渠渐变缓流水面线计算的迭代法[J]. 河南科学, 2003, 21(2): 187-189. (WU Jian-ping, WU Ze-ning. The calculation of water-surface profile by means of alternate method [J]. Henan Science, 2003, 21(2): 187-189. (in Chinese))
- [6] 万五一, 江春波, 李玉柱. 变步长法在天然河道水面线计算中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(4): 647-649. (WAN Wu-yi, JIANG Chun-bo, LI Yu-zhu. Application of varies increment iteration to simulation of water-surface profile in natural channels [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(4): 647-649. (in Chinese))
- [7] 金菊良, 杨晓华, 金保明, 等. 计算天然河道水面曲线的新方法[J]. 水利学报, 2000(9): 25-28. (JIN Ju-liang, YANG Xiao-hua, JIN Bao-ming, et al. A new method for computation of flow surface profile in open channel [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(9): 25-28. (in Chinese))
- [8] 黄佑生, 顾令宇. 一种新的水面线计算方法[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(3): 31-33. (HUANG You-sheng, GU Lin-yu. A new method of water level calculation of rivers [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2003, 23(3): 31-33. (in Chinese))
- [9] 张强, 李怀恩, 郑仰奇, 等. 天然河道水面线计算敛散性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(2): 39-41. (ZHANG Qiang, LI Huai-en, ZHENG Yang-qi, et al. Astringency and divergency analysis of natural channel surface line calculation [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2005, 16(2): 39-41. (in Chinese))
- [10] 刘曾美, 吴俊校, 黄国如. 河渠弯道缓流水面曲线计算探讨[J]. 水利水运工程学报, 2008(2): 54-59. (LIU Zeng-mei, WU Jun-xiao, HUANG Guo-ru. Study on the computation of water surface curve of slow flow in curving canal and river [J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(2): 54-59. (in Chinese))
- [11] 吴持恭. 水力学:下册(3版)[M]. 北京:高等教育出版社,2003. (WU Chi-gong. Hydraulics: last volume (3rd ed) [M]. Beijing: Higher Education Publisher, 2003. (in Chinese))

Feasibility study on the computational direction of flow profile of river and channel

LIU Zeng-mei¹, WU Jun-xiao², CHEN ming²

(1. *Department of Water Conservancy and Hydropower Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China*; 2. *Guangdong Province Water Conservancy and Hydropower Engineering Center for Supervision in Construction, Guangzhou 510600, China*)

Abstract: The computational direction must be decided first in computation of water surface profile of river and channel. Theoretically, it can be obtained from either the upstream cross-section or the downstream cross-section of the calculated reach. However, in practice, when the calculation is carried out from either the upstream cross-section or the downstream cross-section, it may often be encountered that the results can not be reached. The method for analyzing the feasibility of computational direction of water surface profile for regular river and channel is established in this paper. First, it analyzes the characteristics of energy function curve of the upstream and downstream section in the formula of water level, and the influence exerted by the length of the calculated reach and the slope of river. Then the relative position of the energy function curves of the upstream and downstream section is researched. Consequently, the reason why the results can not be reached and the solution laws of water level calculation are researched. The research results show that: if the calculation of water surface curve is carried out from the downstream to the upstream of equal cross-section with a gentle or critical slope or the reach with the constricted cross-section, or is carried out from the upstream to the downstream for the river channel of equal cross-section with a steep or critical slope or the reach with the diffuse cross-section, it is possible to find out the feasible solution. If the calculation of water surface curve is carried out from the downstream to the upstream of equal cross-section with a steep slope or the reach with the diffuse cross-section, or is carried out from the upstream to the downstream for the river channel of equal cross-section with a gentle slope or the reach with the constricted cross-section, there is a non-solution region. Moreover, the non-solution region is around the critical flow, and the longer the length is or the more gentle the slope is, the larger the non-solution region is.

Key words: flow profile; computational direction; feasibility; energy function curve