

控导浅层急流的潜没式三角翼体特性研究

孙东坡¹, 罗秋实², 严 军¹, 王二平¹, 宋永军¹

(1 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011; 2 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 宽浅陡槽水流试验研究表明, 浅层急流的阻力大、稳定性差。当陡槽($B/h < 40$, $h_k > 1.04$ m)末端水流呈“马鞍型”动量横向分布时, 水流具有较强的稳定性; 而当陡槽($B/h > 40$, $h_k < 1.04$ m)末端水流呈“椭圆型”动量横向分布时, 就缺乏抗干扰能力, 导致下游形成平面涡旋并挤压水跃。基于“介入式”方法, 提出了采用潜没式三角翼体来调控浅层急流。利用三角翼对两翼底层水流产生的扰动产生两翼优势流, 从而使水体能够抑制边界微小扰动的“多米诺骨牌”累加递增效应, 提高了水流整体稳定性, 改善了下游水流的衔接消能, 效果良好。在此基础上, 对三角翼体调控水流动量分布的机理进行了分析, 探讨了三角翼体型设计原则及量纲一体型因子 k 的确定方法。

关键词: 浅层急流; 动量模比系数; 骨牌效应; 潜没式三角翼体; 量纲一体型因子

中图分类号: TV653 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2007)04-0509-07

在流体输运的泄槽工程中, 有时受条件限制需要设计成宽浅陡槽, 运用时水深浅、流速大, 边壁糙率、水流掺气损失等各种影响相对增强, 致使这类浅层急流缺乏对外界干扰的遏制能力、泄流不稳定。陡槽末端会主流偏移, 消力池内水跃受漩涡挤压, 影响消能工作作用的正常发挥^[1]。一般陡槽小流量运用时, 也会出现类似问题。因此优化宽浅陡槽水力设计, 实现平稳泄流与消能充分稳定已成为在软基上修建泄槽(溢洪道)工程的技术关键。为了改善泄槽流态及下游消能条件, 有人提出在陡槽内设置分流墩或纵向导流墙^[2~4]等办法, 但这些针对一般陡槽的改善措施并不适用宽浅陡槽。因此, 针对宽浅陡槽泄流及消能试验研究与工程应用中发现的水流不稳定问题, 对浅层急流的特点及其控导措施进行试验与理论研究, 提出能改善陡槽水流状况的有效工程措施, 具有十分重要的理论意义与工程应用价值。

1 浅层急流的特点

1.1 水流动量分布特性

笔者通过水力模拟试验^[3]获取了不同流量及宽深比的陡槽水深及流速分布, 对224个实测数据进行统计分析, 表明陡槽宽深比不同时, 水流动量呈现两种不同特点的横向分布形态, 见图1。

在陡槽中, 流量较大且宽(B)深(h)比相对较小($B/h < 40$)时, 从横向看, 随着流量增大、宽深比减小, 水流动量不断向水槽两侧分散, 强化断面两翼动量而削弱中间动量; 从纵向看, 水流动量沿程从中轴线逐渐向两侧扩散, 近壁的两翼动量沿程被不断加强, 边壁处动量模比系数 K_i (断面上某测线处单宽动量 M_i /断面平均单宽动量 M_p)沿陡槽方向由0.70逐渐增大0.85。水流逐渐形成横向分布比较均

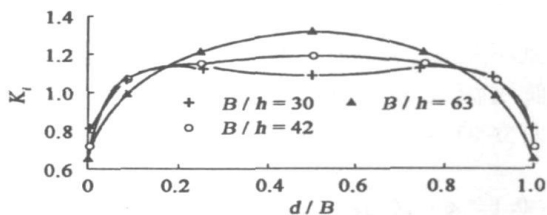


图1 两类不同的水流动量横向分布

Fig 1 Different transverse profile of flow momentum

收稿日期: 2006-03-27; 修订日期: 2006-08-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50509008); 华北水利水电学院青年基金资助项目(HSQJ2005017)

作者简介: 孙东坡(1952-), 男, 河南开封人, 教授, 硕士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: PSDP@etang.com

匀的“马鞍型”动量分布,这种分布态势有利于稳定水流,具有较强的抗干扰性。

在陡槽中,流量较小且宽深比相对较大($B/h > 40$)时,从横向看,随着流量的减小,宽深比的增大,两侧边墙摩阻影响相对加大,水流动量则不断向水槽中轴线处集中;从纵向看,两翼水流动量沿程逐渐削弱,边壁动量模比系数 K_i 沿陡槽方向由 0.72 逐渐减小至 0.55。水流中轴线动量不断被集中、相对增强,在陡槽末端形成“椭圆型”的动量分布。这种动量分布态势使水流处于亚稳定状态,对外界干扰抵抗能力很差。

不同底坡($i = 1/7 \sim 1/10$)的陡槽试验观测与数据分析表明^[5,6],水流动量的纵、横向分布特点与控制界限与上述研究成果基本是一致的。

设断面上测点距边壁的相对位置为 $\eta = z/(B/2)$,取动量模比系数 K_i 为其对应函数,对陡槽水流动量实测数据进行了拟合分析。当 B/h 相对较小($B/h < 40$)、单宽流量相对较大(原型: $h_k > 1.04 \text{ m}$, $q > 3.4 \text{ m}^2/\text{s}$)、陡槽末端水流比较稳定时,如选取基函数为 $\eta^{0.5}$ 、 η 、 $\eta^{1.5}$,得到“马鞍型”动量横向分布函数:

$$K_i(\eta) = \alpha_1 \eta^{0.5} + \alpha_2 \eta + \alpha_3 \eta^{1.5} \quad (1)$$

式中 $\alpha_1 = 4.57$; $\alpha_2 = -6.29$; $\alpha_3 = 2.74$ 。

当 B/h 相对较大($B/h > 40$)、单宽流量相对较小(原型: $h_k < 1.04 \text{ m}$, $0.50 < q < 3.4 \text{ m}^2/\text{s}$)、陡槽末端水流不稳定时,拟合分析得“椭圆型”的动量横向分布函数:

$$K_i^2 = \beta_1 (\eta - 1)^2 + \beta_2 \quad (2)$$

式中 β 为与单宽流量相关的水力参数: $\beta_1 = 0.07q - 1.247$, $\beta_2 = 1.428 - 0.037q$ 。

1.2 下游水流衔接特点

在浅层急流试验中发现^[6],当陡槽宽深比 $B/h \geq 40$ 、边壁动量横向分布系数小于 0.75 时,宽浅陡槽末端水流非常容易受上游侧墙与底部边界微小干扰的影响。上游干扰会使陡槽末端形成随机性折冲水流,在消力池中形成大面积立轴旋涡,挤压主流使水跃偏移。由于水跃得不到充分发展,便严重影响消能效果,还使下游出现较大水面波动,实际流态见图 2。



图 2 不稳定水跃平面

Fig. 2 Plan sketch of unstable water jump

分析认为陡槽末端这种水流不稳定现象的出现与跃首断面水流动量横向分布的态势及陡槽边界条件的影响密切相关。一方面,边界干扰会使边壁附近的高速水流产生一系列干扰波,向下游传播和反射;由于浅层急流对干扰缺乏反馈抑止作用,这些随机性微小干扰就会“愈演愈烈”,形成累加递增,最终导致陡槽末端跃首断面动量横向分布失去均衡,使水跃偏移,这

是水流不稳定的外因。另一方面,大宽深比时浅层急流动量横向分布具有中间大、两边小的“椭圆型”分布特点,使水流处于“重心不稳的”亚平衡状态。这种不稳定水流进入消力池中极易形成折冲水流,并通过摩擦形成平面立轴旋涡,出现水跃与回流共存、互争消能空间的不利局面,这是水流不稳定的内因^[6]。

2 浅层急流控导措施的研究

2.1 控导浅层急流的“介入式”方法

既然陡槽下游水跃消能存在的问题,是由浅层急流缺乏强大的两翼遏制干扰发展引起的,那么稳定水流就要从调整水流动量的横向分配、强化过流断面两翼动量入手。通过分析及试验研究,作者提出采用“介入式”控导冲击波方法解决这一问题。其基本原理是:利用宽浅急流干扰波传播与反射的特点,对水流实施适度的整流控导措施,通过调整过流断面水流动量沿横向趋于相对均衡的“马鞍型”分布,来实现水流稳定与改善下游消能状况。“介入式”控导冲击波的技术措施,就是在宽浅陡槽中设置潜没式三角翼体,其体型见图 3。使

其介入宽浅急流运动, 利用冲击波的传播特点调控水流的横向特性, 进而获得消力池跃前断面动量分布的稳定态势, 最终实现陡槽段的平稳泄流和消力池内的充分消能。

2.2 “介入式”调控机理分析

为了达到构建“马鞍型”动量横向分布的目的, 在宽浅陡槽中轴线设置一个潜没式三角翼体, 通过翼体的分流作用强化水槽边壁动量, 同时为减小介入体对急流过大的扰动及空化影响, 故必须采取淹没潜体形式, 翼体前后、左右边缘均按高速水流规范要求设置相应坡度, 见图3。

在大宽深比水槽中设置三角翼体的试验表明, 浅层急流经过三角翼体时, 在陡槽侧壁产生干扰波 AB 和 CD (见图4)。当流量逐渐增大时, 干扰波 AB 不断下移, 两线间夹角 β 不断变小; 当流量增大到使 A 点达到 C 点, 干扰正波 AB 和干扰负波 CD 之间之间形成一个延伸到边墙的高流速水股, 有效地加强了边墙附近的水流动量。此时可以看到消力池内水跃区水滚对称、完整、稳定, 紊动混掺强烈, 消能充分, 池中原有的立轴漩涡全部消失, 流态恢复正常, 达到了设置潜没式三角翼体的目的, 见图5。在宽深比相对较大 ($B/h > 40$)、单宽流量相对较小 ($0 < q < 10 \text{ m}^2/\text{s}$) 的试验条件下, 设置的潜没式三角翼体明显强化了浅层急流两翼动量。由陡槽末端断面的实测资料进行拟合分析, 显示该处水流动量分布也可用式(1)表示, 为典型的“马鞍型”横向分布。拟合分析表明: 式中系数均与陡槽单宽流量 q 有关:

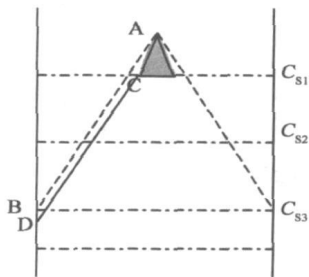


图4 干扰线

Fig 4 Disturbing line

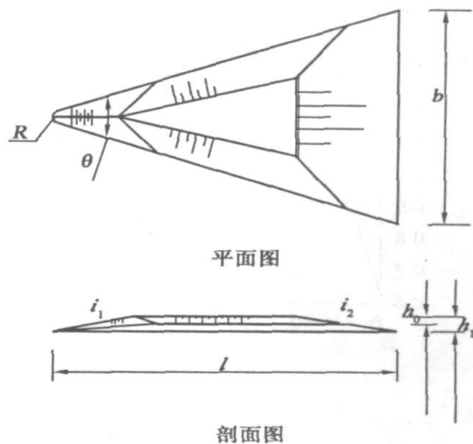


图3 三角翼体型

Fig. 3 Configuration of triangle wing

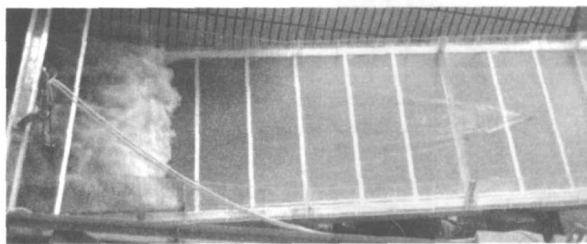


图5 三角翼体导流及下游消能效果

Fig. 5 Effect of control flowing and jump with the triangle wing

$$\alpha_1 = 0.2695q - 0.5778 \quad \alpha_2 = -1.0361q + 10.394 \quad \alpha_3 = 0.8225q - 9.3141 \quad (3)$$

经过不同流量、不同宽深比的试验对比, 清晰地看出了设置的潜没式三角翼体对水流动量横向分布的调整作用, 见图6。这表明: “马鞍型”分布就是宽浅陡槽中稳定均衡水流的动量横向分布特征。

2.3 影响三角翼体调控效果的因素分析

根据干扰波生成及传播特点, 分析了不同流量、不同宽深比条件下影响三角翼体调控效果的因素, 主要是针对三角翼不同尺寸及安放位置进行了80多个组次试验, 寻求三角翼体合适的体型及安放位置。这里采用水流近边壁处的动量模比系数 K_1 和中间的动量模比系数 $K_{\text{中}}$ 的比值 M 来衡量三角翼体的分流能力, 采用水流断面动量分布的离差系数 C_v 来评价三角翼体的分流效果。理论与实测成果分析都表明, 三角翼体分流能力和分流效果主要取决于分流角 θ 、收缩比 λ 、潜没度 γ 和相对安置位置 x/B 。这里 θ 为三角翼体的顶角; λ 为三角翼体尾部断面处的过流宽度 $(B-b)$ 与陡槽宽 B 之比, b 为三角翼体尾部宽度; γ 为三角翼体厚度 h_1 (三角翼体边墙直立厚度加上缓坡斜面厚度的一半) 与水深 h 之比。采用选三角翼体末端的断面 C_{S_1} 和三角翼干扰

线达到边墙的断面 C_{S_3} 为特征断面。 x/B 中的 x 为三角翼体尾部距跃首的长度。通过对以上两个断面动量分布特征的对比分析, 得出四个影响因子各自的作用:

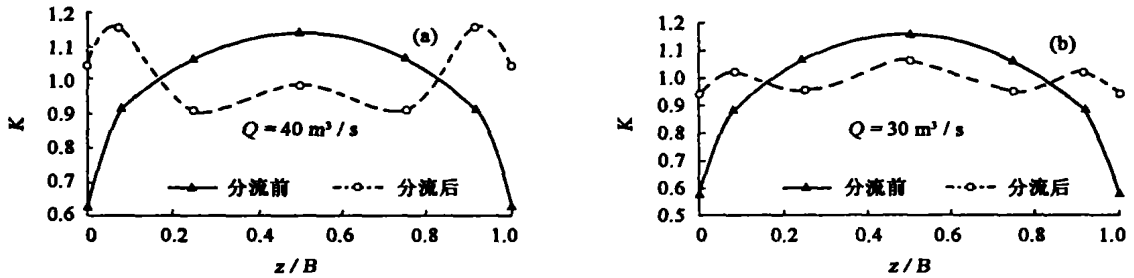


图 6 三角翼体分流前后动量分布对比

Fig. 6 Compare of momentum profiles a triangle wing

(1) 分流角 θ 为避免产生水流与三角翼体的分离现象, 分流角应满足使水流尽量平顺的绕过三角翼体。在试验中当分流角为 25° 、 30° 、 35° 时, 水流均比较平顺的绕过翼体, 未发生分离现象。从三角翼体分流能力对比图(图 7)上可以看出: 收缩比一定时, 分流角越小, 分流能力越强。从分流效果图(图 8)上可以看出: 当分流角 $\theta = 30^\circ$ 时, 断面 C_{S_3} 的 C_v 值最小, 动量分布最均衡。

(2) 收缩比 λ 收缩比反映了三角翼体对陡槽的横向干扰程度, 在满足分流能力强的前提下尽可能采用较小的 λ 值。从图 7 可以看出: 当分流角 θ 一定, 收缩比 $\lambda = 0.33$ 时, 三角翼体的分流能力最强。这是因为收缩比 λ 较小时, 三角翼体对水流收缩较小, 分流能力低; 但是收缩比 λ 过大时, 由于收缩过于强烈, 水流大部分从墩顶漫过, 所以分流能力也不高。从分流效果图 8 可以看出: 当收缩比 $\lambda = 0.33$ 时, 断面 C_{S_3} 的动量分布最均衡。

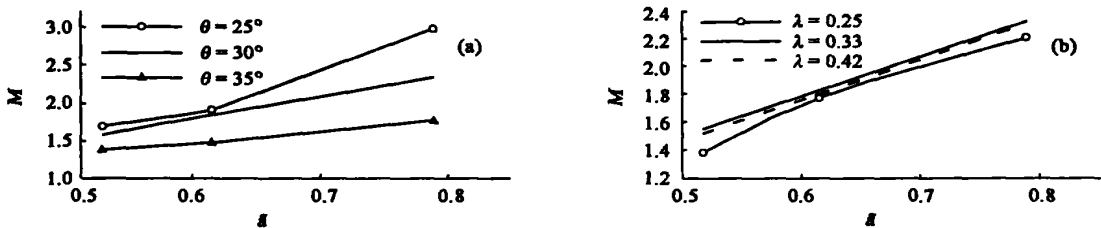


图 7 不同体型三角翼体分流能力对比

Fig. 7 Compare of division capacity with different triangle wing

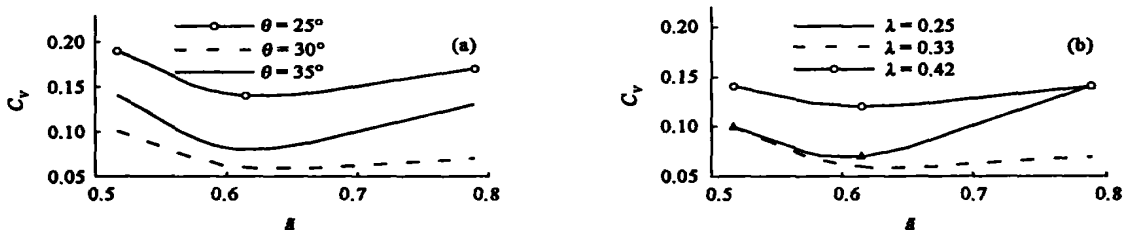


图 8 不同体型三角翼体分流效果

Fig. 8 Dividing effect with different triangle wing

(3) 潜没度 γ 三角翼体对陡槽水流垂向干扰程度可以用潜没度反映, 它既要满足底层分流、调整动量分布, 又要使上层水流保持连续。三角翼能根据流量的大小调整自己的分流能力, 同时三角翼体的分流能力与潜

没度成正变关系。图 7 可以看出：流量大时，陡槽下游水跃稳定性强，三角翼体的分流作用随之减弱；流量小时，陡槽下游水跃稳定性差，三角翼体分流作用自动增强。当潜没度 $\gamma = 0.61$ 时，断面 C_{S_3} 的动量分布最均衡，这从分流效果图 8 看得很清楚。三角翼体边缘设有缓坡斜面，即使三角翼体厚度与水深相同，水流照样漫顶；在 $250^\circ < \theta < 350^\circ$ ， $0.25 < \lambda < 0.42$ 范围内，试验表明，当 $\gamma > 2.5$ 时，三角翼体才会露出水面。

(4) 相对安放位置 x/B 分析沿水流方向不同断面的动量离差系数 C_V 可以看出：在 C_{S_3} 断面处，干扰线刚好传到边壁，这个断面两侧的动量得到了加强， C_{S_3} 断面的离差系数最小，动量分布最均衡（见表 1）。选择三角翼合适的安放位置就要满足使 C_{S_3} 断面与跃首断面重合，这样陡槽末端主流与相应下游水跃是对称稳定的，消力池内挤压水跃的折冲回流区就会消失。干扰波的传播特点决定了跃首断面位于 C_{S_3} 断面以上或以下，水跃都不能稳定。为了确定三角翼体的安放位置，对三角翼体末端产生的干扰线进行了分析研究，发现干扰线轨迹具有非常明显的线性关系：

$$Y = - KX + C$$

(4)

式中 X 为以 C_{S_1} 断面为 0 点沿陡槽方向的距离； Y 为干扰线距陡槽边墙的距离。根据非棱柱体明渠急流冲击波理论^[4]，可以得到系数 K

$$K = \alpha \tan(\beta)$$

(5)

式中 β 值由分流角 θ 和 Fr 值决定； α 值与三角翼体的分流角 θ 、收缩比 λ 、潜没度 γ 都有关系。试验成果分析看出，当 $25^\circ < \theta < 35^\circ$ ， $0.25 < \lambda < 0.42$ 时， θ 和 λ 对 α 值的影响很小（变幅小于 0.05），从工程设计角度考虑可以忽略。这里只研究了潜没度 γ 对 α 的影响，见表 2。

表 2 潜没度对 α 的影响

Table 2 Effect of submerged rate on α						
γ	0	0.5~0.75	1.3~1.5	1.65~1.9	2~2.5	>2.5
α	0	0.4	0.55	0.63	0.75	1

考虑边界条件，在 C_{S_1} 断面： $X = 0$ 时， $Y = C = 0.5$ （ $B - b$ ），在 C_{S_3} 断面： $Y = 0$ 时， $X = x$ 。

此时可以由式(4)推出三角翼体的相对安放位置 x/B ：

$$\frac{x}{B} = \frac{1}{2} \frac{(1 - \lambda)}{\alpha \tan \beta}$$

(6)

式中 λ 为收缩比； α 的取值可以参考表 2； β 的取值可以参考高速水流参考书^[1,4]。

根据试验成果分析：三角翼体的安放位置在相对距离 $x/L = 0.4 \sim 0.6$ 处为宜， L 为陡槽长度。

2.4 三角翼体几何参数设计

(1) 减缓空蚀设计 为了减缓三角翼体可能遭到的空蚀破坏，三角翼体的顶角必须修圆，侧边墙采用直立面与缓坡斜面过渡，平面转折处均采用圆弧过渡；缓坡斜面坡率均必须满足抗空化空蚀的规范要求^[1]，迎水前坡 i_1 与后坡 i_2 分别宜采用 1:9.5 和 1:7.5，两侧缓坡斜面坡率也采用 1:5。由于迎水前坡 i_1 很缓，三角翼又为潜体，试验表明三角翼头部对水流干扰不大，前坡面压力比静压大；背水后坡面 i_2 也很缓，虽然压力较小但也没有出现负压，空蚀破坏的可能不大。三角翼体适用于流速 $v = 6 \sim 10$ m/s，应安放在边界层已充分发展，水流已充分掺气的区域。

(2) 几何参数与水力参数的最佳关系 三角翼体的几何参数对宽浅水流动量的控导效果有重要作用，它主要受分流角 α 、收缩比 λ 、三角翼体厚度 h_1 以及相对位置 x/L 这几个因素影响。为了便于三角翼体的水力设计，这里通过量纲分析组合一个反映三角翼综合几何特性的量纲一因子 k ：

$$k = \frac{\lambda \alpha}{L} \sin \alpha$$

(7)

三角翼体的量纲一几何因子与其对断面动量调整效果以及水流条件有着互相制约的关系，研究表明，适宜

的量纲一几何因子 k 和最优的断面动量分配存在必然的联系。一定的水力条件总有一个最优的三角翼体量纲一几何因子 k 与之相匹配; 反之, 确定的三角翼体也应与一个最优的水力参数相对应。作者寻求三角翼体量纲一几何因子 k 与量纲一水流强度 ε 、陡槽宽深比 $\zeta(B/h)$ 以及三角翼体潜没度 γ 之间的最优配合关系, 借助试验数据分析及理论研究, 得到如下 3 个可用于水力设计的关系式:

$$\varepsilon_{\text{最优}} = 0.0135k^2 - 0.0047k + 0.0007 \quad (8)$$

$$\zeta_{\text{最优}} = 55.84k^2 - 198.12k + 91.683 \quad (9)$$

$$\gamma_{\text{最优}} = 9.9994k^2 - 0.3305k + 0.7715 \quad (10)$$

其中量纲一水流强度: $\varepsilon = (q^2/g^{1/3})/h$, 公式适用范围为: $Fr = 4 \sim 8$ 。对于一个确定的三角翼体, 通过上式可以得到相应的最优量纲一水流强度、陡槽宽深比以及水流潜没度; 反之, 通过既定潜没度、宽深比、流量等水力条件, 又可以通过上述公式确定适宜的三角翼体体型尺寸以及安放位置。三角翼体的体型设计要遵循上述水力设计原则, 使三角翼体的体型参数与水力特性满足最优匹配, 每一个三角翼体在自己的适用范围内, 才能实现预期的控导水流效果。目前三角翼控导措施已经在国内两个水利工程得到成功应用^[3, 7], 取得了很好的效果。

3 结 论

(1) 浅层急流紊动强烈, 边壁阻力影响相对突出。宽深比不同时具有两种形态的水流动量分布特征: 陡槽宽深比较大、流量较小($B/h > 40$, $h_k < 1.04$ m)时, 沿流程方向各断面水流动量的离差系数 C_V 逐渐变大, 在陡槽末端呈“椭圆型”动量横向分布, 这种分布态势使水流缺乏对外界干扰的遏制能力。陡槽流量较大、宽深比较小($B/h < 40$, $h_k > 1.04$ m)时, 在陡槽末端呈“马鞍型”动量横向分布, 这种分布态势使水流稳定、具有较强抗干扰性。

(2) 在浅层急流中, 如果陡槽末端断面水流两侧动量疲弱不能遏制干扰发展, 便会导致下游跃首断面水流横向失去均衡, 引发下游消力池中水跃与平面立轴旋涡共存、互争消能空间。作者认为浅层急流的稳定需要强大的两翼, 采用在陡槽内设置潜没式三角翼体, 调整跃前断面流速分布, 通过构建“马鞍型”动量横向分布, 实现了对末端水跃稳定及消能充分的控制。

(3) 潜没式三角翼体导流, 不像分流墩完全分离水流, 只是通过对两翼的底层水流产生扰动, 强化边壁水流动量, 从而使得产生两翼优势流的水体具有抵抗边界微小扰动引发的“多米诺骨牌”效应, 提高了水流整体稳定性, 从根本上解决了宽浅陡槽水流动量分散、不易控制、抗干扰反馈能力低等问题。

(4) 初步分析了影响潜没式三角翼体导流能力的主要因素分流角、收缩比、潜没度、相对安置位置以及体型设计原则, 同时提出了三角翼体几何参数与水力参数的最佳关系。三角翼体结构简单、效果明显, 在宽浅陡槽中是一种很有实用价值的工程控导措施。

致谢: 本课题得到黄河水利科学研究院王复兴教授的指导与帮助, 戴小琳也参与试验及资料分析, 在此谨致衷心感谢。

参考文献:

- [1] 陈椿庭. 水工水力学及水文论文集[C]. 北京: 水利电力出版社, 1993. 57- 69.
- [2] 阎晋垣. 掺气分流墩设施的研究[J]. 水利学报, 1988(12): 18- 23.
- [3] 孙东坡. 槐扒非常溢洪道水工模型试验研究报告[R]. 郑州: 华北水利水电学院, 2002. 10.
- [4] 吴持恭. 水力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 18- 23.
- [5] 李建中, 赵修荣. 泄水建筑物紊流边界层探讨[J]. 水利学报, 1985(8): 18- 23.
- [6] 孙东坡. 宽浅陡槽水流动量分布特性及影响分析[J]. 水科学进展, 2006, 17(5): 685- 692.
- [7] 河南省水利科学研究所. 白沙除险加固工程溢洪道模型试验[R]. 郑州: 河南省水利科学研究所, 2003.

Analyze of the properties of the submerged triangle wing for adjusting shallow supercritical flow^{*}

SUN Dong-po¹, LUO Qiu-shi², YAN Jun¹, WANG Er-ping¹, SONG Yong-jun¹

(1. North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China;

2. Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The flow experiment of wide, shallow and steepflume in the paper indicates that the resistance loss of shallow supercritical flow in the steep channel is more than that of the general open flow. The author analyzes the flow momentum distribution in wide and steep channel, and finds that when the ratio $B/h < 40$ and the discharge is larger ($h_k > 1.04$ m), the flow momentum lateral distribution at the end of steep channel presents a saddle profile which has stronger stability, but when the ratio $B/h > 40$ and the discharge is smaller ($h_k < 1.04$ m), the momentum lateral distribution presents a elliptical profile which has weak stability and can't restrain the boundary disturbance. Based on intervenient method, an new adjusting work is done through the submerged triangle wing. It can effectively restrain the progressive minor disturbance, named "Domino effect" and get satisfied effect. The author further discusses the controlling mechanism and the main factors, and obtains some designable principle and the dimensionless geometric factor k of submerged triangle wing for engineering.

Key words: shallow supercritical flow; momentum distribution coefficient; "Domino effect"; submerged triangle wing; dimensionless geometric factor

四川水库工程在抵御洪水中发挥拦蓄洪峰和错峰作用效益显著

四川省已有各类水库工程 6678 座, 其中大型水库 5 座, 中型 105 座, 小一型 1007 座, 小二型 5561 座。水库总库容 95 亿 m^3 , 防洪库容 23 亿 m^3 , 设计灌溉面积 75.4 万 hm^2 , 有效灌溉面积 54.8 万 hm^2 。这些水库工程多年来为抗御旱洪灾害, 促进全省工农业生产 and 国民经济健康持续发展起到了十分重要的作用。

今年进入汛期以来, 四川全省共发生 2 次大范围的降雨过程。6 月 15 日至 19 日 8 时, 全省大部分地区普降大到暴雨, 局部地方伴有大风冰雹。强暴雨过程造成达州、广安、南充、广元、绵阳、泸州、乐山等 10 市州洪涝灾害。7 月 2 日开始, 出现了今年入汛以来, 范围最广、强度最强的一次区域性暴雨天气过程, 其中有三个集中的强降雨时段: 7 月 2 日至 6 日, 强降雨集中在川东北地区; 7 月 9 日至 10 日, 强降雨主要集中在川南地区; 7 月 16 日开始至今, 强降雨集中在川中及川东。巴中、达州、广安、南充、内江、泸州、自贡等 15 市州先后普降暴雨、大暴雨和特大暴雨。大面积暴雨引发很大洪灾。由于降雨强度大、产流快, 致使许多水利工程特别是水库工程遭受了高强度、大面积、重复的暴雨袭击, 损毁十分严重, 属历史罕见。

虽然受到较大的灾害, 但全省的水库防汛工作在各级党政的领导下, 通过各级水行政主管部门及水库管理单位共同努力, 在遭受严重灾情的情况下, 除巴中市通江县有 2 座水库垮坝失事外, 其余水库安全度过洪期, 确保了水库工程安全。全省水库拦蓄洪量 16 亿 m^3 , 减免农田受灾 25 万 hm^2 , 减免受灾人口 800 万人, 减免城市进水 13 个, 减免经济损失 46 亿元。水库工程在调节洪峰流量、拦蓄洪量、保护下游人民生命财产安全等方面发挥了显著作用, 充分发挥了水库防洪减灾效益。

摘自《水利部网》

^{*} The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 50509008) .