

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2025.20241894

三分叉河道汉口分流特性研究

杨 杰¹, 王心宇¹, 李书芳^{1,2,3}, 师 帅¹

(1. 河北工程大学水利水电学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北省智慧水利重点实验室, 河北 邯郸 056038;
3. 河北省水利水电虚拟仿真实验教学中心, 河北 邯郸 056038)

摘要: 为满足支叉河道泄洪和灌溉需求, 掌握三分叉河道水流分流特性有重要实际意义。基于数值模拟和物理模型试验, 对不同分叉角度下三分叉汉口的水位变化、流速分布和流量分配特性进行研究。结果表明, 对于三分叉河道, 分叉角度越大, 支叉流速越小, 变角度一侧的支叉分流量逐渐减小, 固定角度一侧的支叉分流量和主叉分流量逐渐增大; 基于量纲分析, 得出考虑各叉进口弗劳德数的三分叉河道分流比计算式。经验证, 计算式对三分叉河道支叉分流比的预测精度较好。

关键词: 三分叉河道; 分流特性; 水流结构; 数值模拟

中图分类号: TV131 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2025)09-0060-05

1 引言

分叉河道是一种常见的河流平面形态, 对于天然河道, 冲击河流在水流泥沙作用下, 形成树枝状的多分叉河流, 分叉河道各叉分流比的大小和变化将直接决定分叉河道各支叉的兴衰, 影响航道变迁, 防洪布局等。在人工河道工程中, 为满足防洪、航运、引水及排水等需求, 常通过开挖形成多处分叉结构。合理设计分水渠分流角度和分水渠的结构尺寸对于调节控制分水流量至关重要^[1-2], 掌握分叉河道分流特性有重要工程参考意义。目前, 关于分叉河道的研究主要集中在对二分叉河道的研究。现有研究表明, 影响汉口处水沙分配的因素主要包括汉道的坡度、分叉角的角度、分叉河道的弯曲程度, 以及河床形态、糙率等^[3-5]。分叉河道的几何特性, 尤其是分叉角度, 对分叉口水流结构影响显著。分叉角度不同导致汉口附近的流速分布、水位变动及涡量大小也存在较大差异, 进而影响汉口冲淤特性和水流分配^[6]。小分叉角是增加分叉河道流量、减少分叉河道含沙量和降低分叉尖端冲刷深度的最佳方案^[7]。汉口分流使得流线发生弯曲, 易在汉口区域形成涡旋、二次流等复杂水力现象, 导致泥沙冲

刷和淤积, 进而影响河道稳定性和生态功能^[8]。为满足分洪或引水需求, 往往需在二分叉河道(渠道)的基础上开挖新的分洪渠或引水渠, 使二分叉变为三分叉形式。尽管三分叉河道水流特性与二分叉有一定相似之处, 但因三分叉河道分叉形式的多样性和复杂性, 在分洪、引水及泥沙运输等相关计算方面与二分叉存在一定差异, 二分叉河道的研究成果不能直接应用于三分叉河道的计算。目前, 关于三分叉河道的研究尚不多见, 本研究基于数值模拟和物理模型试验, 开展三分叉河道水流特性和分流特性研究, 以期为类似工程的设计、维护提供参考。

2 方案设计

三分叉河道概化模型示意图见图1。模型主河道长5.00 m, 宽0.30 m, 左右支叉长度均为2.00 m, 宽0.15 m。共设计10个研究方案, 其中数值模拟方案5个, 固定主河道来流量 $Q=8.5$ L/s, 右支叉分叉角 $\beta=30^\circ$ 不变, 改变左支叉分叉角度 $\gamma=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 。模型试验方案5个, 固定左右支叉角度分别为 $\gamma=\beta=30^\circ$ 不变, 改变来流流量 $Q=4.5, 5.5, 7.0, 8.5, 10.0$ L/s。方案见表1。数值模拟采用CFD软件进行模拟, 模

收稿日期: 2024-10-09, 修回日期: 2024-11-14

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3209402)

作者简介: 杨杰(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为防洪及河道治理, E-mail: 2694339973@qq.com

通讯作者: 李书芳(1981-), 女, 博士、副教授, 研究方向为水力学及河流动力学, E-mail: shuili_1981@126.com

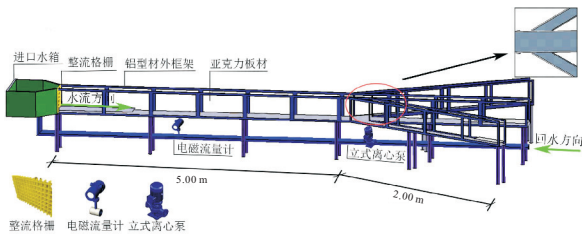


图 1 三分汊河道物理模型

Fig. 1 Physical model of three-branch river

表 1 研究方案

Tab. 1 Research programme

研究方法	方 案	来流量 $Q/(L \cdot s^{-1})$	左支汊角 度 $\gamma/(^\circ)$	右支汊角 度 $\beta/(^\circ)$	不对称 度 α
数值模拟	1	8.5	15	30	-0.5
	2	8.5	30	30	0
	3	8.5	45	30	0.33
	4	8.5	60	30	0.5
	5	8.5	75	30	0.6
模型试验	6	4.5	30	30	0
	7	5.5	30	30	0
	8	7.0	30	30	0
	9	8.5	30	30	0
	10	10.0	30	30	0

型试验在河北工程大学水利馆进行。为量化河道分汊形式并区分左支汊不同分汊角度,采用不对称度 α 来表示各方案, α 计算式^[3]为:

$$\alpha = (\gamma - \beta) / \max(\gamma, \beta) \quad (1)$$

式中, α 为不对称度; γ 、 β 分别为左、右支汊分汊角度; $\max(\gamma, \beta)$ 为左右支汊角度最大值。

3 数值模拟方法

3.1 控制方程

采用基于有限体积的 CFD 软件进行数值模拟,控制方程采用 N-S 方程,简化后的矩形河道分汊口处的水流状态为湍流,因此选用 RNG κ - ϵ 模型,自由液面采用 VOF 方法进行处理。

连续性方程为:

$$\frac{\partial(uA_x)}{\partial x} + \frac{\partial(vA_y)}{\partial y} + \frac{\partial(wA_z)}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

动量方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \quad (5)$$

式中, u 、 v 、 w 分别为流体在 x 、 y 、 z 三个方向上的速度分量; A_x 、 A_y 、 A_z 分别为 x 、 y 、 z 三个方向上可流动流体的面积分数; V_F 为可流动流体的体积分; ρ 为流体密度; p 为流体上的压强; G_x 、 G_y 、 G_z 分别为 x 、 y 、 z 三个方向上的重力加速度; f_x 、 f_y 、 f_z 分别为 x 、 y 、 z 三个方向上的粘滞加速度。

3.2 RNG κ - ϵ 方程

控制方程包括湍动能 κ 方程和湍动能耗散率 ϵ 方程。湍动能 κ 方程为:

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\kappa u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right] + G_\kappa + \rho\epsilon \quad (6)$$

湍动能耗散率 ϵ 方程:

$$\frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\sigma_\epsilon (\mu + \mu_t) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\epsilon}^* \epsilon}{\kappa} G_\kappa - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{\kappa} \quad (7)$$

$$G_\kappa = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (8)$$

$$C_{1\epsilon}^* = C_{1\epsilon} - \frac{\eta(1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta\eta^3} \quad (9)$$

其中 $\mu_t = \rho C_\mu \kappa^2 / \epsilon$, $C_\mu = 0.085$

式中, u_i 、 u_j 均为流场的速度分量; μ 为湍动黏滞系数; σ_κ 、 σ_ϵ 分别为湍动能和湍动能耗散率所对应的普朗特数,取 1.39; $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 均为经验系数,分别取 1.42、1.68; η 为无量纲参数; η_0 、 β 分别取 4.377、0.012。

3.3 网格无关性分析及边界条件

采用有限体积法生成正矩形网格进行网格划分。网格无关性验证表明单元格边长为 0.01 m 时断面 01 上平均流速实测值与模拟值的相对误差为 4.16%,当单元格边长为 0.008 m 时相对误差为 3.36%。两者相对误差较为接近,但后者网格数量与计算时间几乎翻倍,鉴于时间和计算资源有限,最终单元格边长选择为 0.01 m。在模型边界条件设置中,主河道进口边界设定为流量进口,主槽和支汊边壁设定为滑移固体边壁,自由水面与空气交界面设为 Symmetry 边界,出口边界为自由出流。

4 模型验证

4.1 验证断面

为验证数值模拟结果的准确性,在模型尺寸

和来流条件完全相同的条件下,对模拟方案 2 和试验方案 9 的结果进行对比。选择典型断面对流速和水深的数值模拟结果与物理模型试验结果进行对比验证。图 2 为主支叉河道对比断面及测点布置图,由于汉口附近水流流态复杂,验证断面选择主河道中部断面 03 和左支进口断面 05。主河道的断面自主河道左岸至右岸每间隔 0.06 m 等间距布置一个测点,断面 05 自左支叉左岸至右岸每间隔 0.03 m 布置一个测点。定义 w_0 为测线 I、V 之间的横向距离; l_1 为断面 01 至断面 04 的纵向距离。

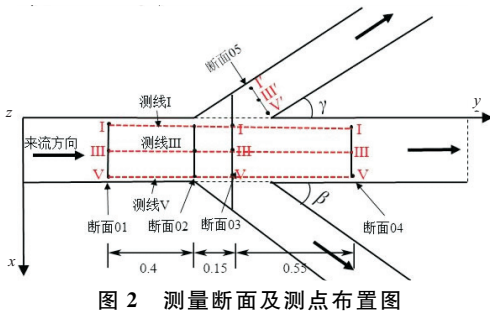


Fig. 2 Measuring section and measuring point layout

4.2 流速对比

流速是评估水流动力特性重要的参数。分析两断面各点位的流速模拟值与实测值的相对误差,以验证数值模拟结果的精准性。结果表明,各典型断面流速模拟值和试验值较为接近,流速最大相对误差为 10.3%,其余点位误差均小于 15%,证明利用 RNG κ - ϵ 模型对三分叉河道流速进行模拟的方法可行。

4.3 水深对比

进一步对比验证断面的水深模拟结果和实测结果,表 2 中列出两个断面六个典型测点的数值模拟结果与实测结果对比情况。测点水深数值模拟结果的最大相对误差为 -12.6%。说明所采用的数值模拟方法对三分叉河道的水深模拟结果可信度较高。

表 2 测点水深模拟结果与实测结果对比情况

Tab. 2 The comparison between the simulated results and the measured results

断面	测点	模拟值/cm	实测值/cm	相对误差/%
03	I	2.06	2.32	-11.20
	III	2.91	3.33	-12.60
	V	2.16	2.42	-10.70
05	I'	3.92	3.65	7.40
	III'	4.00	3.90	2.60
	V'	3.95	3.60	9.70

5 结果与讨论

5.1 主河道纵向及横向水面线分布

图 3 为主河道纵向水面线分布图。同一来流量下,不同分叉角度下的主河道纵向水面线变化规律呈现出一定相似性,具体而言,测线 I、III、V 纵向水面线分布均表现为在进入汉口附近时水面开始显著降低,在汉口中部断面 03 下游附近,水位降至最低,自 $l_1/B > 1.0$ 开始水位迅速回升,并逐渐趋于平稳。稳定后各工况的水位高度与不对称度成正比,不对称度越大,平稳后的水面越高。当一侧支叉角度发生变化时,靠近变支叉角度的一侧,最低水位受分叉角影响变化较为明显,左支分叉角较小时,即 $\gamma \leq 45^\circ$ 时,最低水位位置几乎不受分叉角变化影响,当左侧分叉角 $\gamma > 45^\circ$ 时,分叉角增大,最低水位增大,最低水位位置比小分叉角时向上游偏移。

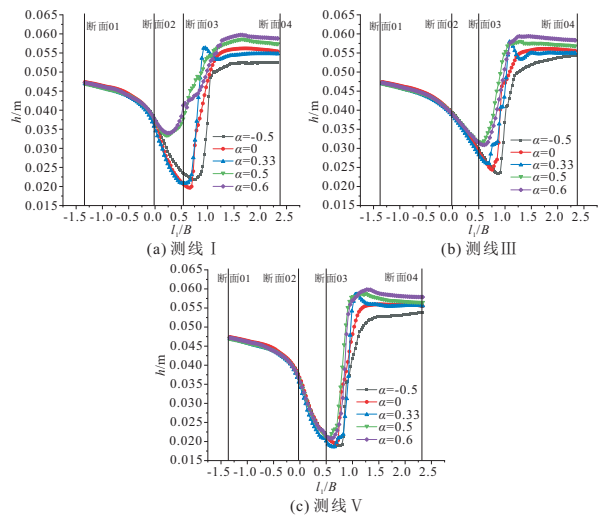


图 3 主河道纵向水面线分布

Fig. 3 Longitudinal distribution of the main river channel water surface lines

分析其原因为,水流在沿主河道向下游流动过程中,一部分水流向支叉发生分流,另一部分水流在惯性力作用下仍然沿主流方向流动,向支叉分流的流速大小取决于支叉角度和来流流速,分叉角度越大,支叉分流流速越小,相应的水位越高。

5.2 汉口流速分布特性

对于含沙河道,在低流速区容易造成泥沙淤积,高流速区易导致局部冲刷^[9]。掌握三分叉河道分叉口附近流速分布情况,可以初步预估在分叉口附近的分流情况、泥沙输移规律和对岸边的冲淤影响。

各工况三分叉口附近流速矢量图和流速云图见图 4。由图 4 可知,当左支叉角度 $\gamma = 15^\circ$ 时,右支叉进口断面出现一小范围高流速区,左支叉进口断面下游靠近左侧岸边存在一小的低流速区,随左支叉分叉角增大,左支叉低流速区逐渐沿侧壁

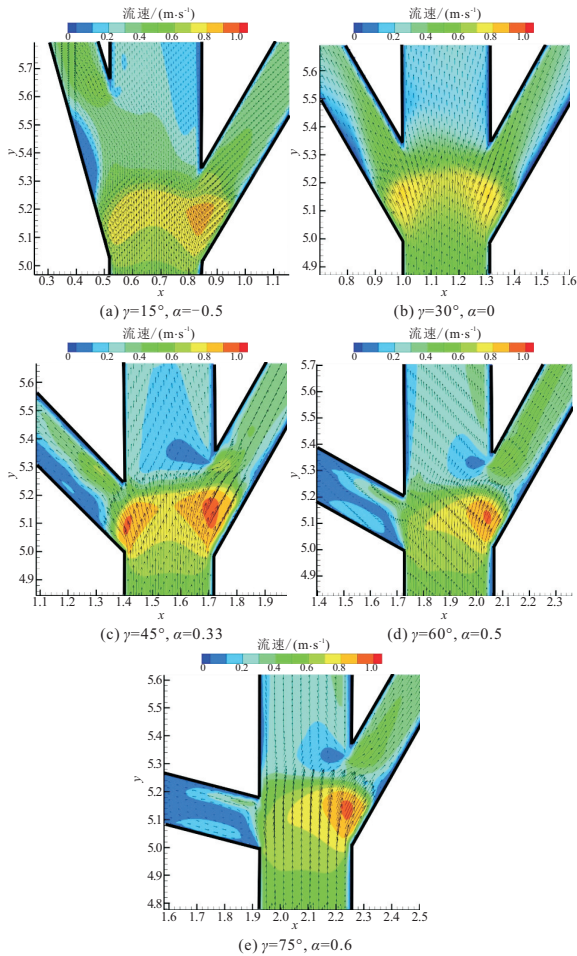


图 4 各工况下分汉口附近流速分布

Fig. 4 Flow velocity distribution near bifurcation under various operating conditions

向下游发展,当 γ 增至 75° 时,左支汉进口断面下游几乎全部变为低流速区;当左右支汉分汉角相等时,右支汉的右侧壁出现与左支汉左侧壁相似的低流速区,整个三分汉流速以主河道中轴线为对称轴呈对称分布,且在左、右支汉进口断面出现对称的高流速区,三分汉汉口附近流速矢量同样呈对称分布;当左支汉分汉角大于右支汉分汉角,左支汉进口断面的高流速区较右支汉明显减小;当 $\gamma > 60^\circ$,左支汉进口断面高流速区消失,右支汉进口断面的高流速区大小和范围趋于稳定。

图 5 为断面 03 流速等值线分布图。由图 5 可知,随着左支汉分汉角增大,左支汉流速逐渐减小,整个断面上左支汉所在区域为低流速区。这种流速分布情况会影响各汉流量分配。

5.3 汉口分流特性

汉口流速分布影响各支汉的流量分配,分析各工况下各汉流量分配情况。各汉分流比 η_i 为:

$$\eta_i = Q_i / Q \quad (10)$$

式中, η_i 为各汉分流比; Q_i 为各汉的分流流量,下角标 $i=1,2,3$ 分别代表左支汉、主汉和右支汉的

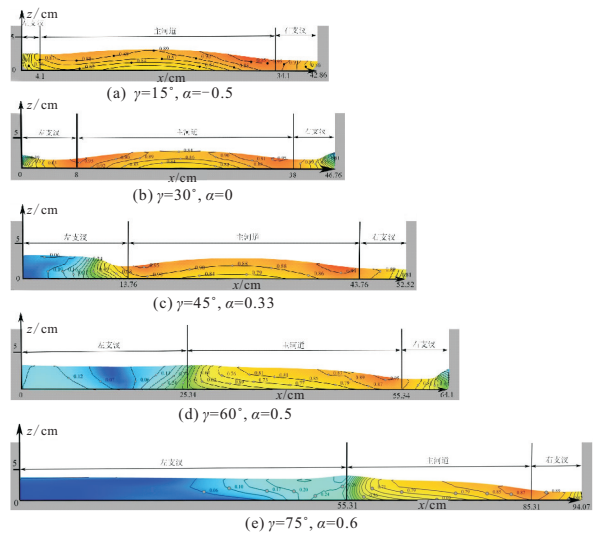


图 5 各工况下分汉口中部 03 断面流速等值线图

Fig. 5 Flow velocity contour map of section 03 in the middle of different bifurcation angles

物理量; Q 为主河道来流量。

表 3 为不同分汉角度下各汉分流比变化情况。由表 3 可知,随着 α 增大,右支汉和主汉分流比逐渐增大,左支汉分流比呈减小趋势;当 $\alpha < 0$ 时,左支汉分流比大于右支汉;当 $\alpha = 0$,两支汉的分流比几乎相等,主汉分流流量接近来流总流量的 $1/2$;当 $\alpha > 0$ 时,左支汉分流比开始小于右支汉分流比。由此可见,较小的分汉角度使得水流向支汉流动的偏转角度较小,从而减弱了水流惯性,水流更易于进入支汉。随着 α 的增大,水流进入左支汉的偏转角度增大,水流进入支汉的难度也相应增加。因此,三分汉河道可以通过调整分汉角度从而调节各支汉和主汉分流流量。

表 3 不同分汉角度及来流量下各汉分流比

Tab. 3 The branching ratio of each branch under different branching angle and incoming flow rate

序号	不对称度 α	来流量 Q	左支汉分流流量 Q_1	主汉分流流量 Q_2	右支汉分流流量 Q_3	左支汉分流比 $\eta_1/\%$	主汉分流比 $\eta_2/\%$	右支汉分流比 $\eta_3/\%$
1	-0.5	8.5	2.86	3.52	2.10	33.70	41.49	24.80
2	0	8.5	2.19	4.10	2.20	25.78	48.27	25.94
3	0.33	8.5	1.40	4.75	2.34	16.50	55.95	27.55
4	0.50	8.5	0.56	5.38	2.55	6.60	63.37	30.04
5	0.60	8.5	0.36	5.48	2.65	4.26	64.53	31.21
6	0	4.5	1.09	2.29	1.05	24.56	51.67	23.76
7	0	5.5	1.34	2.99	1.32	23.63	52.94	23.43
8	0	7.0	1.6	3.84	1.6	22.73	54.55	22.73
9	0	8.5	2.06	4.41	2.15	23.91	51.16	24.93
10	0	10.0	2.34	5.08	2.49	23.63	51.27	25.10

注:来流量、左支汉分流流量、主汉分流流量、右支汉分流流量单位均为 L/s 。

分析分流比与来流参数和汉口结构参数之间的影响关系。各汉分流比 η_i 与进口断面平均流速 V_i 、平均水深 h ,支汉宽度 b ,主河道宽度 B 、左、右支汉分汉角度 γ 和 β 、水流运动粘滞系数 ν 、

水体密度 ρ 以及重力加速度 g 有关:

$$\eta_i = f(V_i, h_i, b_i, B, g, \gamma, \beta, \rho, \nu) \quad (11)$$

对式(11)进行量纲分析并对无量纲参数进行组合,可得:

$$\eta_i = f\left(\frac{\rho v_i R_i}{\nu}, \frac{V_i}{\sqrt{gh_i}}, \frac{b_i}{B}, f(\beta), f(\gamma)\right) \quad (12)$$

其中 $f(\beta)$ 、 $f(\gamma)$ 分别为 β 、 γ 的无量纲函数,对式(12)进行改写:

$$\eta_i = f(Re_i, Fr_i, b_i/B, f(\beta), f(\gamma)) \quad (13)$$

在实际工程中所遇到的水流多为阻力平方区的湍流,该区沿程阻力系数与雷诺数 Re 无关,因此计算分流比时可以忽略雷诺数的影响。式(13)可进一步简化为:

$$\eta_i = f(Fr_i, b_i/B, f(\beta), f(\gamma)) \quad (14)$$

参考童朝锋^[2]的动量平衡公式形式,在其基础上增加各支汊弗劳德数 Fr_i 的影响,将分流比计算式优化为:

$$\eta_i = k_i Fr_i^{n_i} \frac{(b_i/B)^{n_2} (\chi_i)^{n_3}}{1 + (b_i/B)^{n_2} (\chi_i)^{n_3}} \quad (15)$$

式(15)中, χ_i 在 $i=1$ 时, $\chi_1 = \frac{\sin\beta}{\sin\gamma}$; χ_i 在 $i=$

3 时, $\chi_3 = \frac{\sin\gamma}{\sin\beta}$, n_i 、 k_i 、 c_i 均为未知参数。根据改变角度的数值模拟结果和改变来流量的物理试验结果,利用数据拟合软件拟合得出左右支汊的 n_i 、 k_i 值。得到左支汊和右支汊的分流比经验计算式为:

$$\eta_1 = 1.3 Fr_1 \frac{\left(\frac{b_1}{B}\right)^{3/4} \left(\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}\right)^{1/2}}{1 + \left(\frac{b_1}{B}\right)^{3/4} \left(\frac{\sin\beta}{\sin\gamma}\right)^{1/2}} \quad (R^2 = 0.954) \quad (16)$$

$$\eta_3 = 0.064 Fr_3^{0.193} \frac{\left(\frac{b_3}{B}\right)^{5.53} \left(\frac{\sin\gamma}{\sin\beta}\right)^{10.638}}{1 + \left(\frac{b_3}{B}\right)^{5.53} \left(\frac{\sin\gamma}{\sin\beta}\right)^{10.638}} \quad (R^2 = 0.942) \quad (17)$$

表 4、5 均为分流比计算结果和测量结果对比。结果表明,式(16)、(17)对改变分汊角度的左右支汊分流比计算误差均在 10% 以内,精度较好;分析计算结果与物理试验结果,可知式(16)、(17)对改变来流量的左右汊分流比计算误差均在 15% 之内,精度良好。

6 结论

a. 对于三分汊河道,支汊分汊角度与流速及分流量呈负相关关系;即支汊角度增大,其对应的

表 4 变角度分流比计算值与模拟值对比

Tab. 4 Comparison of the calculated and simulated values of variable angle shunt ratio

支汊	不对称	模拟	计算值	相对误差
	度 α	值/%	/%	/%
左支汊(计算值、相对误差由式(16)计算)	-0.5	33.70	31.45	-6.68
	0	25.78	24.61	-4.23
	0.33	16.50	17.32	4.99
	0.5	6.60	6.21	-5.95
右支汊(计算值、相对误差由式(17)计算)	0.6	4.26	3.93	-8.62
	-0.5	24.80	24.38	-1.71
	0	25.94	24.50	-5.42
	0.33	27.55	27.10	-1.80
	0.5	30.04	29.46	-2.11
	0.6	31.21	29.86	-4.28

表 5 变流量分流比计算值与试验值对比

Tab. 5 Comparison between the calculated value and the test value of the variable flow shunt ratio

支汊	来流量		计算值	相对误差
	$Q/(L \cdot s^{-1})$	试验值/%		
		/%	/%	/%
左支汊(计算值、相对误差由式(16)计算)	4.5	24.56	21.91	-10.79
	5.5	23.63	22.39	-5.25
	7	22.73	24.49	7.74
	8.5	23.91	25.51	6.68
右支汊(计算值、相对误差由式(17)计算)	10	23.63	26.14	10.63
	4.5	23.76	24.50	3.10
	5.5	23.43	24.50	4.55
	7	22.73	24.50	-7.74
	8.5	24.93	24.50	-1.74
	10	25.10	24.50	-2.40

流速和分流量减小。

b. 随着不对称度增大,变角度的支汊分流量逐渐减小,相应的另一不变角度的支汊分流量则缓慢增大,主汊分流量逐渐增大。

c. 考虑支汊进口断面弗劳德数,结合量纲分析和既有研究成果,得出包含进口断面弗劳德数的分流比计算式,计算值和测量值相对误差较小。

参考文献:

[1] 冯镜洁, 李然, 王协康, 等. 河流交汇分离区特性研究[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 2009, 24(3): 320-325.

[2] 童朝锋. 分汊口水沙运动特征及三维水流数学模型应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.

[3] 王长金, 胡鹏, 李薇, 等. 河流分汊成因与演变机制研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(3): 112-120.

[4] 丁君松, 丘凤莲. 汉道分流分沙计算[J]. 泥沙研究, 1981, 6(1): 58-64, 57.

[5] DEV D, GHOSH T K, BARMAN B C, et al. Sharing of discharges at bifurcation of a channel[J]. ISH journal of hydraulic engineering, 2015, 21(1): 1-10.

[6] ALOMARI N K, YUSUF B, AHMAD MOHAMMAD T, et al. Experimental investigation of scour at a channel junctions of different diversion angles and bed width ratios[J]. Catena, 2018, 166: 10-20.

(下转第 77 页)

参考文献:

- [1] 周汉民, 崔旋, 张宇, 等. 细粒尾矿快速筑坝新技术及工程应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(2): 32-35, 2.
- [2] 陈俊生, 莫海鸿, 刘叔灼, 等. 土工模袋砂单轴抗压强度试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(增刊 1): 2930-2935.
- [3] 李巧燕, 王惠栋, 周汉民, 等. 模袋性能的试验研究与模袋法尾矿坝稳定性分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(18): 12-19.
- [4] 黄波, 李博文, 吴平, 等. 土工袋袋内土体强度与剪胀特性研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(11): 158-162.
- [5] 吴月龙, 唐彤芝, 徐波, 等. 模袋淤泥筑堤现场试验研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(9): 66-72.
- [6] 白福青, 刘斯宏, 王艳巧. 土工袋加固原理与极限强度的分析研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(增刊 1): 172-176.
- [7] MATSUOKA H, LIU S H, YAMAGUCHI K. Mechanical properties of soilbags and their application to earth reinforcement[C]//Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement. Fukuoka, Japan, 2001.
- [8] 蔡清, 程江涛, 于沉香. 细粒尾矿的定义及分类方法探讨[J]. 土工基础, 2014, 28(1): 91-93.
- [9] 刘斯宏, 汪易森. 土工袋技术及其应用前景[J]. 水利学报, 2007, 38(增刊 1): 644-648.
- [10] MATSUOKA H, LIU S. A new earth reinforcement method using soilbags[M]. Taylor and Francis; CRC Press, 2005.

Study on Uniaxial Compressive Strength of Geotextile Tubes Filled with Fine-grained Tailings

LIU Xiao-wen, FAN Jing-hui, GUO Fei-yang

(School of Infrastructure Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: The stability of dam construction by tailings accumulation is closely related to the ultimate bearing capacity of geotextile used in dam construction. The fine tailings of Dayu Shilei Tungsten Mine in Ganzhou are used as the filling material. Through the uniaxial compressive strength test of the filling geotextile filled with fine tailings under different consolidation time and different filling degree, the variation law of the ultimate compressive strength of the geotextile and the failure mode of the geotextile and the strength reinforcement mechanism of the bag body are analyzed. The results show that when the geotextile reaches the ultimate compressive strength, the vertical strain is between 20% and 30%; The ultimate compressive strength of geotextile decreases with the increase of tailings filling degree (filling height), and increases with the increase of consolidation time. Under uniaxial compression, the failure position of the geotextile mainly occurs at the bottom of the intermediate geotextile, and the lower the filling degree, the greater the failure range is; The theoretical calculation value of the modified formula of ultimate compressive strength considering the influence of filling degree is compared with the experimental value of ultimate compressive strength, and the error between them is less than 4%. The conclusion can provide reference for similar fine-grained tailings geotextile dam construction.

Key words: fine-grained tailings; geotextiles; compressive strength; filling degree; consolidation time

(上接第 64 页)

- [7] AL-ZUBAIDY R A, HILO A N. Numerical investigation of flow behavior at the lateral intake using Computational Fluid Dynamics (CFD)[J]. Materials today: Proceedings, 2022, 56: 1914-1926.
- [8] ALOMARI N K, YUSUF B, AHMAD MOHAMMAD T, et al. Influence of diversion angle on water and sediment flow into diversion channel[J]. International journal of sediment research, 2020, 35(6): 600-608.
- [9] LIANG C F, ABBASI S, POURSHAHBAZ H, et al. Investigation of flow, erosion, and sedimentation pattern around varied groynes under different hydraulic and geometric conditions: A numerical study[J]. Water, 2019, 11(2): 235.

Study on Bifurcation Flow Distribution Characteristics of Three-Branch River Channel

YANG Jie¹, WANG Xin-yu¹, LI Shu-fang^{1,2,3}, SHI Shuai¹

(1. School of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

2. Key Laboratory of Intelligent Water Resources of Hebei Province, Handan 056038, China;

3. Hebei Water Resources and Hydropower Virtual Simulation Experiment Teaching Center, Handan 056038, China)

Abstract: In order to meet the flood discharge and irrigation requirements of tributary channels, it is of great practical significance to master the water flow diversion characteristics of the three-branch river channel. Based on numerical simulation and physical model experiments, the water level changes, velocity distribution, and flow allocation characteristics at the mouth of three tributaries river under different branching angles were studied. The results show that for a three-branch river channel, the larger the branching angle, the smaller the flow velocity in the tributary is, and the flow allocation in the variable angle side gradually decreases, while the flow allocation in the fixed angle side and the main branch gradually increases. Based on dimensional analysis, a three-branch river flow diversion ratio calculation formula was obtained considering the Froude number at each branch inlet. The formula was verified, and it was found that the prediction accuracy of the formula for the flow diversion ratio of the tributary channels in a three-branch river system was good.

Key words: three distributaries river channel; diversion characteristic; flow structure; numerical simulation