

复式断面河道“Y”型交汇河口水流水力特性

吴迪¹ 郭维东² 刘卓也³

(1. 辽宁工程技术大学力学与工程科学系 辽宁 阜新 123000;
2. 沈阳农业大学水利学院 辽宁 沈阳 110161; 3. 辽宁省河务局 辽宁 沈阳 110003)

摘要 :通过制作交汇角为 90° 的复式断面河道“Y”型交汇河口模型,利用三维声学多普勒流速仪(ADV)和测针获取流速及水位数据,对支流河口处的水流流态包括水面形态、水流流速和水流分区进行分析。结果表明复式断面河道交汇口处流场具有很强的紊动特性,其中分离区问题是航道整治和有关部门应重视的部位。

关键词 :复式断面;交汇河口;三维水力特性;声学多普勒流速仪

中图分类号 :TV131 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2007)03-0021-03

Hydraulic characteristics of water flow at “Y”-shaped junction of river channel with compound cross-section // WU Di¹, GUO Wei-dong², LIU Zhuo-ye³ (1. Department of Mechanics and Engineering Sciences, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China; 3. Liaoning Provincial Bureau of River Affairs, Shenyang 110003, China)

Abstract : By modeling of “Y”-shaped junction of the compound river channel with an intersection angle 90° , the flow velocity and water level at the junction were obtained by use of the acoustic Doppler velocimeter (ADV) and point gauges. The analysis of the flow pattern at the junction, including the surface form, flow velocity, and subareas of water flow, shows that the flow field at the junction is of powerful turbulence properties, and that the problem of flow separation zone should be paid much more attention by channel regulation administration and relative environment departments.

Key words : compound cross-section; channel junction; three-dimensional hydraulic characteristic; ADV

在平原河流上,具有滩地和深槽的复式河道是广泛存在的自然现象。复式断面河道的水流问题较为复杂,属于三维问题。中小水时,水流主要集中在主槽内流动,而发生洪水时,水位超过滩面,形成漫滩水流,主槽较快流动与滩地较慢流动相互作用,形成大量的动量交换。漫滩水流问题的研究不仅具有理论价值,而且具有实用价值,是河流动力学的重要问题之一^[1-2]。

交汇河口大致可分为两类:支流斜接干流型,“Y”交汇型^[3]。“Y”型交汇河口的交汇角较大,干、支流顶托作用增强,水流在汇口处发生强烈的紊流掺混,水流能量损失很大,流速急剧降低,引起泥沙淤积,长期发展就会形成江心洲。尤其是具有滩地的“Y”型交汇河口,水流情况更加复杂,分流作用更加明显。本文针对国内外对复式断面“Y”型交汇河口水力特性研究少,而这类交汇河口却又普遍存在的事实,在前人对“Y”型河口研究的基础上,对复式断面“Y”型交汇河口水力特性进行较深入系统的分

析,旨在为这类交汇河口的科学研究、工程设计及其他特性研究提供参考。

1 试验模型的设计和网格布置

本模型采用平底有机玻璃水槽制作,上游干、支流长度各为 1.2 m,宽度分别为 0.4 m、0.3 m;下游河段长度为 3 m,宽度为 0.45 m;干、支流汇流角(几何轴线夹角)为 90° 。滩地顺河槽方向布置,直至下游。干、支流进口段各设稳流栅 2 道,以使汇流口上游来水平稳,出口段设有尾门以便于调节水位。试验采用的坐标原点(0,0)取在汇流口上游槽顶部, x 轴指向水流下游,流速为 u ; y 轴为水槽槽宽方向,流速为 v ; z 轴铅垂朝下,流速为 w 。共取 26 个过水断面(见图 1,从左至右测流断面为 1~26 断面,其中 1~5 断面间距为 50 mm,5~17 断面间距为 25 mm,17~21 断面间距为 50 mm,21~23 断面间距为 100 mm,23~26 断面间距为 200 mm)。每个断面上取 8 条测速垂线,每条垂线上选取 9 个网格点,1 个断面 80 个

点, 总共 2 080 个测点, 测点布置及模型尺寸如图 1 所示。

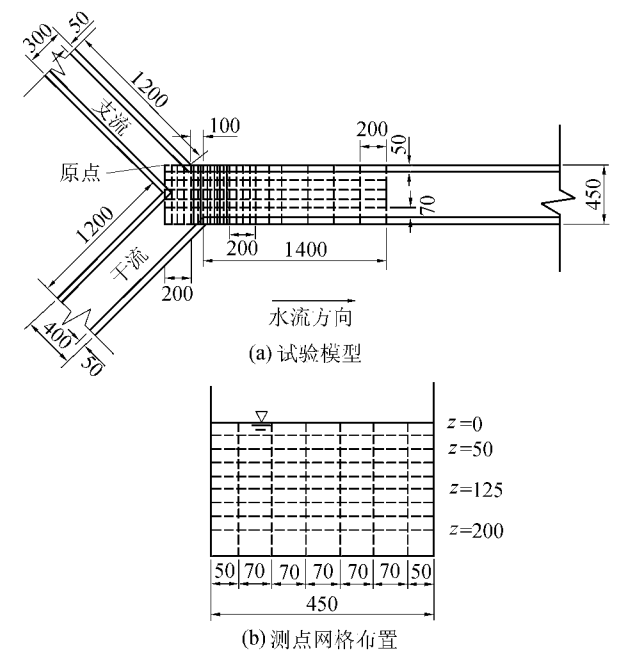


图 1 模型尺寸及测点网格布置示意图(单位:mm)

本试验作为一项基础研究, 重点分析汇流口及下游的三维流速特性。由于变态模型试验不能保证有关物理量在铅直方向的分布相似, 变态模型的流速场和动力场不相似, 故本试验采用正态模型。

取上游干流流量 $Q_{干} = 30 \text{ L/s}$, 支流流量 $Q_{支} = 18 \text{ L/s}$, 故汇流比 $R_Q = Q_{支}/Q_{干} = 0.6$, 交汇角 $\alpha = 90^\circ$ 。过水断面宽度 b 及水深 h 设计如下: $Q = bhw$, $Re = \frac{vR}{\nu}$, $Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$, 见表 1。经计算得模型雷诺数 $Re > 1000$, 可保证模型水流为紊流^[3]。

表 1 模型水力要素计算结果

河 段	$Q/(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	b/m	h/m	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	Re	Fr
上游干流	30	0.40	0.25	0.30	2 778	0.19
上游支流	18	0.30	0.25	0.24	1 875	0.15
下游干流	48	0.45	0.25	0.43	4 211	0.27

2 流速测量仪器

本试验中流速测量采用美国 Sontek 水文仪器公司生产的声学多普勒流速仪(简称 ADV), 它能直接测量三维流速, 具有对水流干扰小、测量精度高、无需率定、操作简便、流速资料后处理功能强等优点。

ADV 主要由量测探头、信号调理器及信号处理 3 个部分组成。量测探头由 3 个 10 MHz 的接收探头和 1 个发射探头组成, 3 个接收探头分布在发射探头轴线的周围, 它们之间的夹角为 120° 。接收探头与采样体的连线与发射探头轴线之间的夹角为 30° 。采样体位于探头下方 5 cm 或 10 cm, 这样可以基本上消除探

头对水流的干扰。信号调理器由检测微弱反射信号的模拟电路组成。数字信号处理由 1 个单独的电路板完成, 主要针对输出频率为 25 Hz 的实时三维流速测量值的计算。流速测量精度为 $\pm 0.25 \text{ cm/s}$ 。

3 试验结果分析

3.1 滩地内自由水面形态

采用尾门调节水流的水位, 水流水面线情况如图 2 所示(以计算水深 h 进行无量纲化)。从图中可以看出在正式交汇前, 水面出现了中间低两面高的形态。交汇后主流方向上, 汇流口处水位提高 0.02 左右, 过汇流口水位平稳跌落。在汇流口干流侧水面偏低, 而在汇流口支流侧则出现了水面涌高的现象, 支流侧平均比干流侧高 0.03。这是由于干流对支流顶托作用造成的。

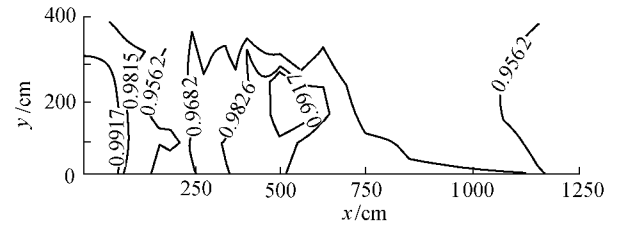


图 2 交汇口水位等值线(无量纲)

3.2 水流流速分布

从文献[4]中流速等值线切片图可以看出, 在交汇口处水流流速明显增大, 中下层水流流速较大, 而底层和水面附近的流速相对较小, 主流方向偏向支流侧。在滩地附近水流流速明显减小, 并有回流区出现。主流流线方向偏向支流一侧, 流速逐渐平缓。

理论上认为^[5], 水槽上游端入流流速在横向上分布均匀, 漫滩后分为两股水流, 流速有大有小, 若不存在滩槽的影响, 即假设滩槽交界面上的剪切应力为零, 则应是两股均匀的水流。由于滩槽之间水流的掺混和碰撞, 实现了动量交换, 形成了流速梯度很大的交界区, 改变了滩地和主槽流速横向分布的均匀性, 在滩槽交界区域附近, 流速分布复杂^[6]。从文献[4]中的纵向竖直切片流速等值线图可以看出: 主槽、滩地水流流速不同, 主槽流速大, 滩地流速小; 在交界区域较远处流速分布基本均匀, 说明交界区域较远处基本不受滩槽水流动量交换的影响。

3.3 分离区特性

在滩槽交界面附近形成复杂的次生流和螺旋流, 水流紊动强度大于主槽和滩地, 水流的紊动、次生流和螺旋流的存在使滩槽交界面附近的水体发生大量的动量交换, 这主要是黏性水流的作用。在复式断面“Y”型交汇河口, 汇流口干流侧出现分离区^[4,7], 在此处水流发生分离, 流速明显降低, 甚至

有回流出现。虽然在支流侧也出现了同样的问题,由于主流的动量较大,支流对干流虽有顶托作用,但效果不很明显,所以干流侧的分离区才是航道整治和有关环境部门应重视的重点区域。根据不同的深度分离区的边界是不规则的,由于分离区的存在,外部水流产生收缩现象,在两边靠近边壁处形成滞流区,尤其在干流侧形成折偏支流边壁的收缩区。收缩区流速很大,产生很强的水流冲击,又由于水流形态的改变,造成巨大的能量损失。水流通过分离区后,将要逐渐恢复为明渠流形态,主流较大的流量逐渐向支流侧转移,形成流线路图中所示的流动特征,而且上层边壁附近的扩散比下层缓慢。分离区内流动紊乱、流速较低,观察到回流现象见图3和图4。

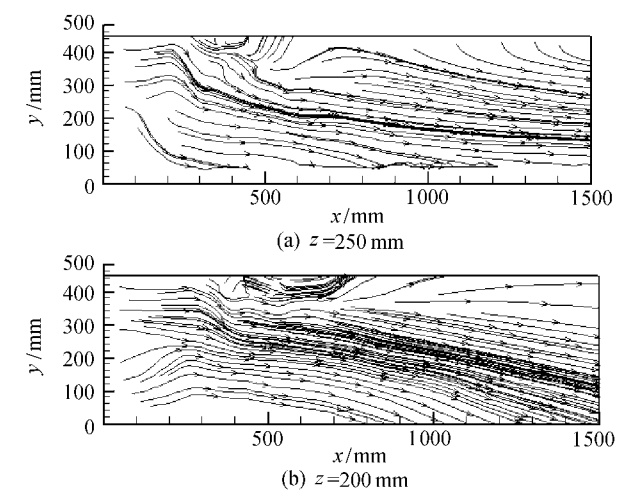


图3 水面流线切片

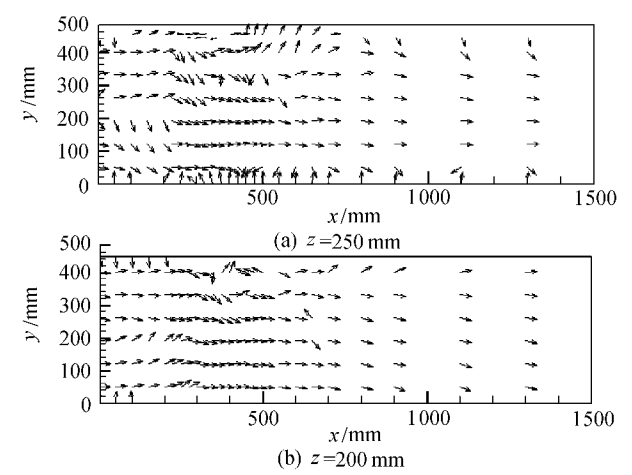


图4 水面流速矢量图

4 结 论

a. 水流交汇后,在交汇口处水流水位呈现中间低、两边高的形态,交汇口中心处水位与计算水深的比值约为0.96左右,与周围比值约为0.97~0.99,之后在主流线上平稳下落。滩地上水位出现干流侧水位低、支流侧水位高的现象。

b. 河流洪水漫滩以后,在滩槽交界面附近水深发生急剧变化,出现低流速值,水面形成大大小小的涡旋。这些涡旋集中地耗散了水流中大量的有效机械能,这些能量主要来自主槽一侧的水流。由于主槽内大量能量向滩槽交界面附近传递,使洪水漫滩以后主槽的过水能力大幅度降低。

c. 分离区出现在交汇口下游干流侧,并向水面下不断增大直至消失。分离区内出现回流现象,是航道整治和有关环境部门应重视的重点区域。

参考文献:

[1] 吉祖稳,胡春宏.漫滩水流水沙运动规律的研究[J].水利学报,1998(9):1-6.

[2] 张瑞瑾,谢鉴衡,王明甫,等.河流泥沙运动力学[M].北京:水利电力出版社,1989.

[3] 谢鉴衡.河流模拟[M].北京:水利电力出版社,1990:172-181.

[4] 吴迪.复式断面“Y”型交汇口水流水力特性[D].沈阳:沈阳农业大学,2006.

[5] 兰波.干支流交汇水面形态特征分析[J].重庆交通学院学报,1997,16(4):109-114.

[6] 庞炳东.复式断面河流洪水的水流特性[J].泥沙研究,1995(3):71-76.

[7] 郭维东,王晓刚,曹继文,等.“Y”型汇流口水流水力特性试验研究[J].水电能源科学,2005,23(3):53-56.

(收稿日期 2006-03-06 编辑 高建群)

· 简讯 ·

“水科学创新高级论坛”在南京举行

2007年4月9日由水利部科学技术委员会、中国水利学会、南京水利科学研究院、江苏省水利厅、河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室共同举办的“水科学创新高级论坛”在南京隆重举行。水利部汪恕诚部长作论坛主旨报告,水利部胡四一副部长、江苏省黄莉新副省长出席论坛并致辞,水利部总工程师刘宁主持开幕式,来自水利、水运、水电界10多位院士和数十位知名专家等参加论坛。本次论坛的主题是:贯彻落实《国家中长期科学和技术发展纲要(2006~2020)》,研讨交流新时期水利工作全局性和基础性的重大科学技术问题,加强水利科技自主创新,促进创新人才的培养和创新团队建设,破解水科学领域发展中的难题,推进产学研结合,更好地服务于国家经济社会发展。水利部汪恕诚部长作了《新时期水利科研工作》报告,进一步阐述了水利事业发展与科技创新的关系,指明了新时期水利科技创新的任务、方向和目标。中国工程院陈志恺院士、马洪琪院士以及交通部蒋千总工程师分别就相关领域内的热点问题和科技创新作了专题报告。

(本刊编辑部供稿)