

90° 支流入汇区域时均流速分布特征试验研究

刘同宦^{1,2}, 郭 炜¹, 詹 磊¹

(1. 长江科学院河流研究所, 湖北 武汉 430010; 2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 通过多组次水槽试验, 应用声速多普勒测速仪研究入汇角为 90° 时, 不同汇流比水流条件下支流入汇区域及其附近的水面比降变化和时均流速分布特征。试验表明, 入汇口上游的干支流水面坡降取决于干支流相互顶托影响, 而入汇口处及其下游合流掺混区水面坡降随干流流量增大而增大, 随汇流比增大而有所减小。不同位置垂线时均流速分布主要受主支汇流比和水流流态的双重影响, 随着汇流比的增大, 入汇口上游断面时均流速逐渐减小, 而入汇口下游断面产生了明显的高、低流速带, 形成回流分离区。

关键词: 入汇; 汇流比; 掺混; 时均流速; 分布特征; 试验研究

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2009)04-0485-05

支流入汇区域水流运动受入汇模式、入汇角度及其主流量比、水流雷诺数和弗劳德数及流体的物理特性等因素影响, 显得极其复杂。对支流入汇区域的水流结构研究可以追溯到 20 世纪 40 年代。Taylor^[1]于 1944 年首次对矩形断面明渠水流入汇问题进行研究, 采用汇流角为 45° 的矩形、等宽平底支流斜接于主流的入汇方式, 维持水流为缓流, 研究 45° 和 135° 入汇时的水深变化。随后 Webber 和 Grwated^[2]把实验范围扩展到汇流角 30°、60° 和 90°。20 世纪 80 年代以来, 人们开始考虑大小不等的支流入汇问题。Joy 和 Townsend^[3]研究了入汇角为 90° 时的水流流动结构、剪切力分布及能量损失系数, 而 Amamurthy 等^[4]研究了汇流角为 90° 的不同主、支流流量比及主流形态大小对能量损失系数、支流到主流的动量传递与汇流区几何形态等的影响。近年来, 不少研究者曾利用天然河道交汇处的监测资料, 并通过能量方程、动量方程及势流理论等途径对支流入汇区域流动特征进行过探索和研究, 但由于受到试验与观测手段的限制, 对支流入汇区域真实的水流结构缺乏系统研究^[5-9]。本文通过多组次水槽试验, 应用声速多普勒测速仪 (Micro ADV), 研究入汇角为 90° 时, 不同汇流比水流条件下支流入汇区域及其附近的时均流速分布特征。

1 试验概况

试验设备由流量调节系统、水流循环系统、量测及其辅助设备组成。槽首设置阀门及静水沉池, 在水槽上安置测量支架, 以测量水流特征要素, 下游水位由可调尾门控制。水深由测针量测得到, 流速采用声速多普勒测速仪测量。试验水槽及测速断面和垂线布置见图 1。

试验采用的坐标系见图 1, x 轴正向为主流水流方向; y 轴正向为入汇口指向对侧; z 轴竖直向上; 对应的流速分别为 u 、 v 、 w 。主流、支流及入汇口下游流量分别为 Q_m 、 Q_b 和 Q_t , $Q_t = Q_m + Q_b$ 。由于主、支流流量过程的差异是影响入汇段水力特征的主要因素之一, 为此, 定义汇流比 $q^* = Q_b / Q_t$, 即支流流量与主流量和的比值来描述主支流流量过程的差异。具体试验参数见表 1。

收稿日期: 2008-06-20

基金项目: 长江科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目 (YWF0710/HL03)

作者简介: 刘同宦 (1981-), 男, 安徽岳西人, 博士研究生, 主要从事水力学及河流动力学研究。

E-mail: river.lth@163.com

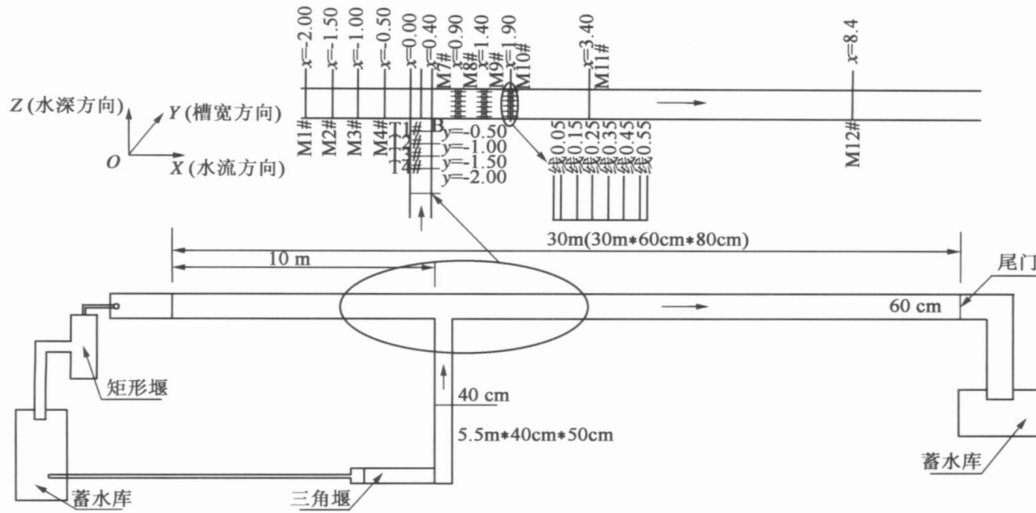


图1 试验水槽与测量断面布置示意图

Fig. 1 Scheme of experimental setup and locations of flow structure measurement

表1 支流入汇水流结构试验组次参数表

Table 1 Parameters of interaction between tributary and main river

组次	主流			支流			汇流比	
	B/m	底坡降 $J/10^{-3}$	$Q_m/(L \cdot s^{-1})$	b/m	底坡降 $i/10^{-3}$	$Q_n/(L \cdot s^{-1})$	$Q/(L \cdot s^{-1})$	$q^* = Q_n/Q_m$
1	0.60	1.0	81.6	0.40	1.0	14.4	96.0	0.15
2	0.60	1.0	72.0	0.40	1.0	24.0	96.0	0.25
3	0.60	1.0	62.4	0.40	1.0	33.6	96.0	0.35
4	0.60	1.0	55.7	0.40	1.0	40.3	96.0	0.42

2 试验结果分析

2.1 入汇口上游断面时均流速分布

试验表明，入汇口上游的干支流水面坡降取决于干支流相互顶托影响。 q^* 增大，即入汇流量占的百分比增大，支流顶托干流的程度随之增大，引起支流水面坡降增大、干流水面减小； q^* 减小，即入汇流量占的百分比减小，支流顶托干流的程度随之减小，引起干流水面坡降增大、支流水面坡降减小。但对入汇口处及其下游合流掺混区水面坡降随干流流量增大而增大，而随汇流比 q^* 增大有所减小。图2为不同汇流比时，入汇口上游断面不同位置的垂线时均流速值随相对水深的变化，其中线0.05是紧邻支流入汇对测，而线0.55是紧邻支流入汇侧，其余垂线依次间隔10 cm布置。入汇口上游时均流速从断面及垂线分布(M3#和M5#)来看，不同断面垂线受支流影响较为不同，前者各垂线的时均流速沿水深的分布步调很接近，大小也很接近，就整个断面而言，其时均流速值随汇流比增大而减小；而后者随着远离支流入汇侧距离增加，垂线流速逐步增加，就整个断面而言，其时均流速值随汇流比增大而减小。

2.2 入汇口门区时均流速分布

试验表明，在支流入汇区域由于主支水流相互顶托作用，在汇流区和集流区的一部分水域内主支流的水流急剧混掺，支流向主流方向挤压。图3为不同汇流比时，入汇口附近的M6#断面的时均流速值随相对水深的变化曲线图。在支流入汇区域，断面M6#，由于侧向来流的作用，支流向主流方向挤压，使得断面垂线流速随远离入汇一侧的距离增加，流速产生增大的趋势，其影响距离在垂线线0.05和线0.15最为明显，属于高流速区，如汇流比 $q^* = 0.25$ 时，垂线线0.15平均流速约达70 cm/s，而垂线线0.45约为55 cm/s，属于低流速区，就整个断面而言，其时均流速值随汇流比增大而减小。

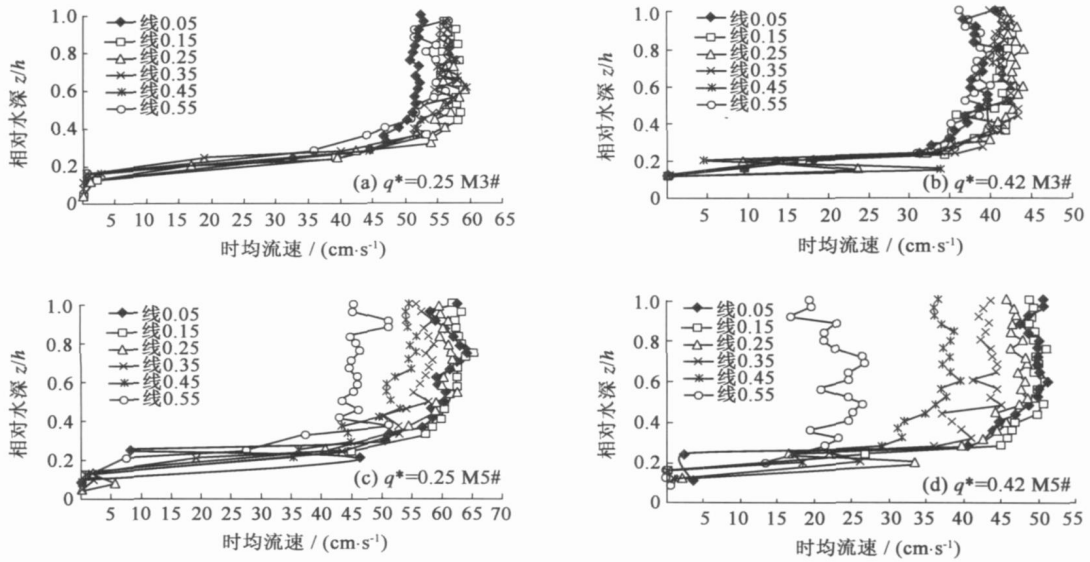


图 2 不同汇流比时入汇口上游断面时均流速分布

Fig. 2 Hourly means of velocity distribution of upstream sections of confluent in flume with different q^*

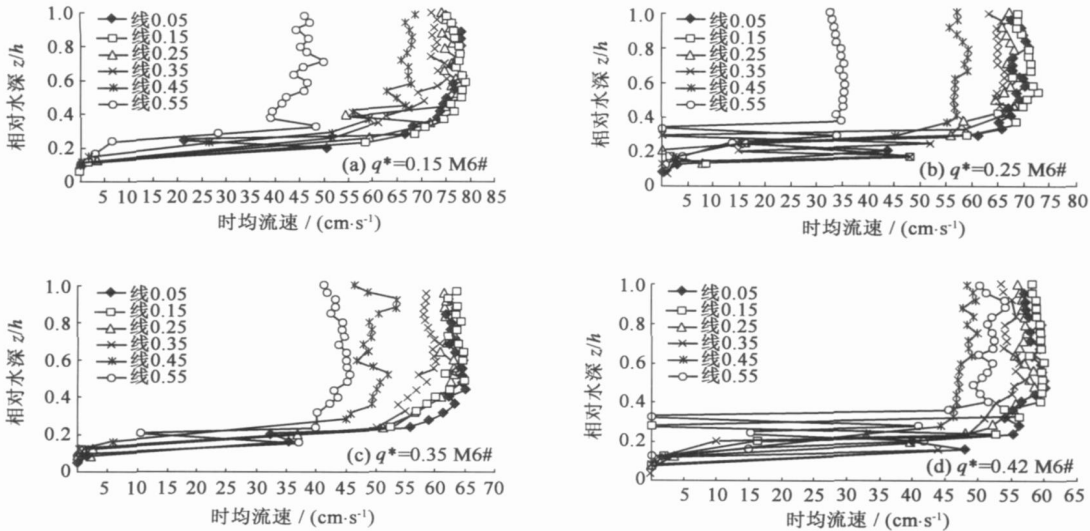


图 3 不同汇流比时支流入汇区域断面时均流速分布

Fig. 3 Hourly means of velocity distributions of confluent in flume with different q^*

2.3 入汇口下游断面时均流速分布

由于入汇口处流量急剧增加, 支流自表面插入主流底部, 而在入汇口下游主流右侧(靠近入汇口一侧)的水流自河底升向表面。这种流态与纵向正流结合在一起, 便会在入汇口下游主流右侧处形成回流分离区。由于分离区的存在, 外部水流产生收缩现象, 形成折偏向主流外侧边壁的收缩区, 最大断面平均流速出现在收缩区, 形成最大流速区。水流通过收缩区和分离区之后, 由于水流的掺混会在分离区末端附近发生水跃使水深加大, 再下层水面和流速分布逐渐恢复为典型的明渠形态。图 4 为不同汇流比时, 紧邻入汇口下游 M8 # 和 M9 # 断面的时均流速值随相对水深的变化。在紧邻汇口下游断面产生了明显的不同区域, 如高流速区和低流速区。在入汇下游近水面的分离区内, 水面呈现极不规则的扭曲面, 且低于同断面外部水面。当汇流比较小时, 支流对主

流顶托作用很小,入汇口下游断面流速分布特征基本上还保持明渠形态,只是入汇口一侧回流分离区内流速有所减小;当分流比越来越大时,该区域时均流速变化很大,高、低流速区的范围产生了变化。此外,在交汇区下游靠支流入汇侧的M1#和M2#高流速区,由于受到回流分离区的影响,在水深方向,底部流速较大,表面较小,但M2#掺混最为明显。再往下游的M3#高速区,在底部水深约2.5cm的位置产生了较小的流速。

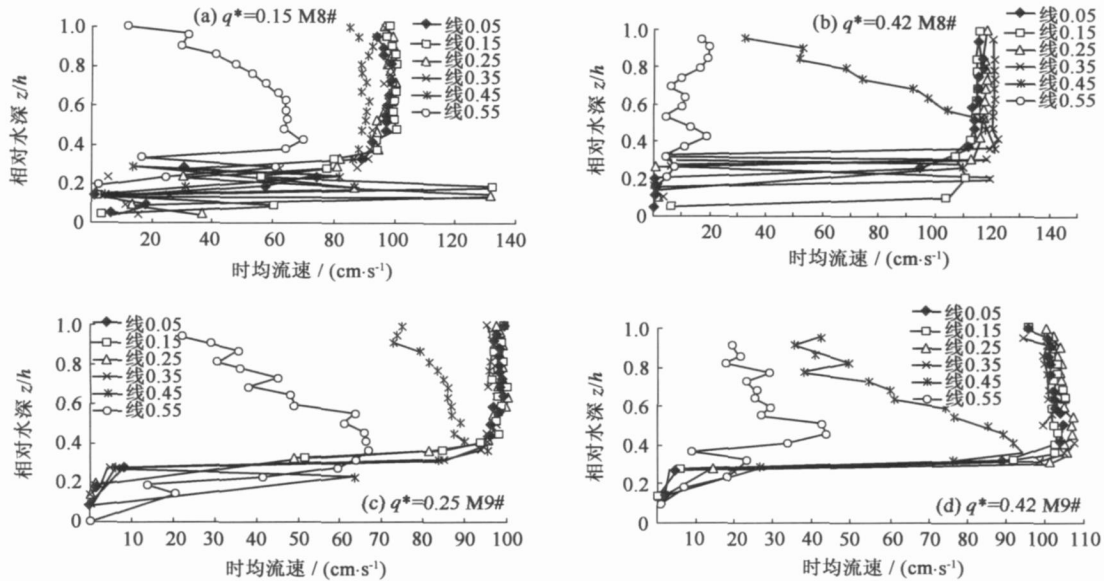


图4 不同汇流比时入汇口下游断面时均流速分布

Fig. 4 Hourly means of velocity distributions of downstream sections of confluent in flume with different q^*

3 结 论

通过多组次水槽试验,应用声速多普勒测速仪,研究了入汇角为 90° 时,支流入汇区域及其附近的时均流速分布特征。试验表明,入汇口上游的干支流水面坡降取决于干支流相互顶托影响。汇流比 q^* 增大,即入汇流量占的百分比增大,支流顶托干流的程度随之增大,引起支流水面坡降增大、干流水面减小; q^* 减小,即入汇流量占的百分比减小,支流顶托干流的程度随之减小,引起干流水面坡降增大、支流水面坡降减小。但对入汇口处及其下游合流掺混区水面坡降随干流流量增大而增大,而随汇流比 q^* 增大有所减小。支流入汇区域不同位置垂线时均流速分布主要受主支汇流比和水流流态的双重影响,随着汇流比的增大,入汇口上游断面时均流速逐渐减小,而入汇口下游断面产生了明显的高、低流速带,形成回流分离区。支流入汇区域真实的水流结构研究对河流工程、河网和航道设计等领域具有重要的应用价值,对河流动力学、河道演变学的发展具有一定贡献。

参考文献:

- [1] TAYLOR E H. Flow characteristics at rectangular open channel junction[J]. Trans ASCE, 1944, 109: 893-902.
- [2] WEBBER N B, GREATER C A. An investigation of flow behavior at the junction of rectangle channels[J]. Proc Inst Engrs, 1966, 34: 321-334.
- [3] BIRON P, ROYA G, BEST J L. Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels[J]. Geomorphology, 1993, 8: 115-129.
- [4] RAMAMURTHY A S, CARBALLADA L B, DUC M T. Combining open-channel flow at right angled junctions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1988, 114(12): 1449-1460.

- [5] 茅泽育, 赵升伟, 罗昇, 等. 明渠交汇口水流分离区研究[J]. 水科学进展, 2005(1), 16(1): 7-12. (MAO Ze-yu, ZHAO Sheng-wei, LUO Sheng, et al. Study on the separation zone in open channel junction[J]. Advances in water Science, 2005, 16(1): 7-12. (in Chinese))
- [6] 郭志学, 余斌, 曹叔尤, 等. 泥石流入汇主河情况下交汇口附近变化规律的试验研究[J]. 水利学报, 2004, 35(1): 33-37. (GUO Zhi-xue, YU Bin, CAO Shu-you, et al. FANG Duo. Experimental study on evolution of debris at the vicinity of confluence[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(1): 33-37. (in Chinese))
- [7] 茅泽育, 赵升伟, 张磊, 等. 明渠交汇口三维水力特性试验研究[J]. 水利学报, 2004, 35(2): 1-7. (MAO Ze-yu, ZHAO Sheng-wei, ZHANG Lei, et al. Experimental study on 3D flow characteristics at the confluence of open channels[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(2): 1-7. (in Chinese))
- [8] WU Rong, MAO Ze-yu. Numerical simulation of open-channel flow in 90-degree combining junction[J]. Tsinghua Science and Technology, 2003, 8(6): 713-718.
- [9] LARRY J W, MEMBER A, SCHUMATE E D. Experiments on flow at a 90° open channel junction[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001(5): 340-350.

Experimental study of the velocity profile at 90° open channel confluence

LIU Tong-huan^{1,2}, GUO Wei¹, ZHAN Lei¹

(1. Department of River, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;

2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract : Based on a large group of the flume experiments and the 3D Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), we research the variation of the surface slope and the distribution characteristics of the average velocity around the 90° junction zone with different discharge ratios. And the result shows that the jacking action of the main and the tributary flow has some effect on the surface slope of the upstream of the entrance; the surface slope of entrance and the mixing area of the confluence along the downstream increases with the rising of the discharge of the main stream, and decreases with the rising of the discharge ratio; the vertical distribution of the averaged velocity of different notes are doubly influenced by the discharge ratio and the flow pattern, to be exact, the average velocity of the upstream of the entrance decreases gradually with the increase of the discharge ratio, while the high and low velocity zone emerges obviously and the separation zone is formed along downstream of the entrance.

Key words : confluence; discharge ratio; mixing; velocity profile; distribution character; experimental study