

平交口门区水动力特征试验研究

陆银军¹, 假冬冬², 万乾山¹, 张幸农²

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要:平原河网地区河道纵横交错,平交口门区(“+”型交汇区)水流受交汇河道共同影响,水动力特征复杂。以新沟河三山港—武进港与京杭运河平交口门区为例,对其水动力特征进行了试验研究,并探讨了不同边界条件下的变化规律。受三山港吸流影响,京杭运河来流流至三山港口门时水流明显左偏并进入三山港,出现一定范围的横流区;受武进港出流顶托作用,位于武进港出口上游的运河右侧出现一较大范围的回流区,其范围随着武进港出流流速的减小而减小。河道边界对交口门区水动力特征存在明显影响,流速较大一侧边界条件的改变对水动力特征的影响最明显。在类似平交口门区,需改变流速分布时,可优先考虑调整流速较大侧边界。

关键词:平原河网;平交口门;水流特征;横向流速;试验研究

中图分类号: TV147

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)03-0032-05

平原河网地区河道纵横交错,平交口门(“+”型交汇区)是常见的一种河道交汇模式,水流相互顶托会在交汇口及其上、下游产生复杂的流动现象。平原地区河道往往具有通航功能,两岸工农业发达,因此,研究其水动力特征,具有重要意义。

对于干支流交汇区(“Y”型交汇区)水流特性的研究已取得不少成果。J. L. Best 等^[1]在不同入汇角条件下,探讨了交汇区下游回流分离区的形态和范围。詹磊等^[2]提出了包含水深比及回流长度的局部水头损失系数计算公式,并采用试验结果进行了验证。王协康等通过水槽试验,观测分析了入汇角为30°时支流斜接主流入汇型河道的水流结构^[3],提出了基于主流向流速的等值线法定义分离区,并采用流线法和等值线法对试验资料进行了比较分析^[4]。刘盛等^[5]采用数值模拟方法,分析了不同交汇角、流量比和动量比对交汇区水动力学特性的影响。徐孝平等^[6]对直角交汇河段流场特性进行了细致分析。敖大光等^[7]对西、北江交汇区的航道整治方案进行了试验研究。对于由两河道纵横交错形成的交汇口门区(“+”型交汇区)来说,其水流受两交汇河道上下游的共同影响,流态较复杂,多以数值模拟分析为主。文献[8]对河道交汇区的层流及紊流特征进行了数值模拟分析,茅泽育等^[9]对明渠交汇口水流及污染物输移进行了数值计算。

本文以新沟河三山港—武进港与京杭运河平交口门区为例,对其水动力特征进行试验研究,并探讨不同边界条件下的水流特征变化规律。

1 模型设计及试验方法

新沟河延伸拓浚工程是太湖流域防洪规划确定的必要新增工程措施,新沟河三山港—武进港在常州戚墅堰区与京杭运河平交。本次模型试验^[10]的模拟范围包括:①京杭运河:运河平交口门处及其上下游总计约1 km 范围;②武进港连接段:运河平交口门处往南350 m左右的范围;③三山港连接段:运河平交口门处往北350 m左右的范围。具体平面布置如图1所示。

收稿日期: 2013-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51109140, 51109112)

作者简介: 陆银军(1972-),男,江苏兴化人,高级工程师,主要从事水工设计。通信作者:假冬冬(E-mail: ddjia@nhri.cn)

为准确反映新沟河三山港—武进港与运河平交口门附近复杂水流特征,采用大比尺的正态模型,根据如下定床河工模型相似理论,确定模型各项比尺^[10]:水平比尺 λ_l 与垂直比尺 λ_h 均为50,流速比尺 $\lambda_v=7.07$,流量比尺 $\lambda_Q=17\ 678$,糙率比尺 $\lambda_n=1.92$ 。模型总长约20 m,宽约15 m。

水流重力相似: $\lambda_v = \lambda_h^{1/2}$

水流阻力相似: $\lambda_n = \frac{1}{\lambda_v} \lambda_h^{7/6} / \lambda_l^{1/2}$

水流运动连续性相似条件: $\lambda_Q = \lambda_l \lambda_h \lambda_v$

试验过程中,采用先进的二维电磁流速仪对流速进行测量,该流速仪可准确量测纵、横两个方向的沿水深平均流速分量,测量位置为距河底 $0.6h$ (h 为水深)处。口门区99个流速测量点布置如图1所示。

平交口门区水流特征的试验工况中,口门处水位3.5 m,来流量为:武进港向运河排水 $60\text{ m}^3/\text{s}$,三山港从运河分泄流量 $80\text{ m}^3/\text{s}$,运河西侧来水量为 $184\text{ m}^3/\text{s}$,往东侧方向流量为 $164\text{ m}^3/\text{s}$ 。模型水深一般为5~12 cm,雷诺数约为9 600,弗劳德数约为0.11。

2 口门区水流特征

2.1 平交口门处流态

三山港—武进港与京杭运河平交口门处流态如图2所示。武进港—三山港水流对京杭运河形成横向流。受三山港吸流的影响,京杭运河来流流至三山港口门时水流明显左偏并进入三山港,出现一定范围的横流区。受武进港出流的顶托作用,位于武进港出口上游的运河右侧出现较大范围的缓流区(回流区)。

2.2 流速分布特征

依据流速、流向测量结果,绘制出平交口门处流场流线分布(见图3(a))。此外,两侧武进港、三山港水流对京杭运河形成横向流,而京杭运河具有通航功能,因此,掌握其横流分布特征极为重要,口门区京杭运河横流流速分布特征如图3(b)所示。

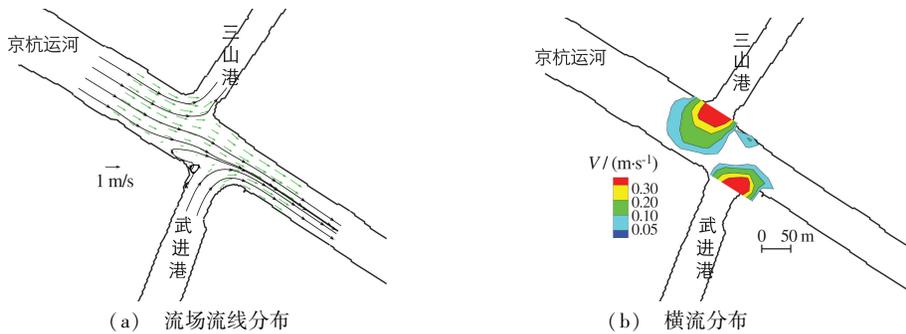


图3 平交口门处流场流线及横流分布

Fig. 3 Streamline and lateral velocity distribution along the conjunction region

由图3可见,口门区流速一般约 $0.50\sim 0.80\text{ m/s}$,受三山港吸流的影响,京杭运河来流流至三山港口门时水流明显左偏并进入三山港,出现一定范围的横流区,且存在超过 0.30 m/s 的强横流区,其距运河中心线的距离约26 m(图3(b)),最大横流值为 0.39 m/s 。受武进港出流的顶托作用,位于武进港出口上游的运河

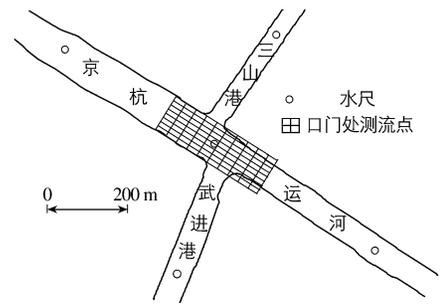


图1 模型布置

Fig. 1 Experimental configuration

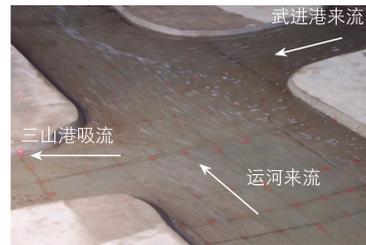


图2 平交口门处流态

Fig. 2 Flow pattern along the conjunction region

右侧也出现较大范围的缓流区(回流区),其流速值一般在 0.10 m/s 以内;武进港出口及靠下游侧受出流的影响,运河右侧同样出现横流区,超过 0.30 m/s 的强横流区距运河中心线的距离约 24 m (图3(b)),最大横流值为 0.37 m/s 。

2.3 不同河道边界条件下口门区水流特征的变化规律

河道边界对口门区水动力特征有着明显影响,通过试验研究探讨不同边界条件下口门区水流特征的变化规律,重点是京杭运河横流分布的变化特征。试验过程中,共设置2种河道边界条件(见图4)。边界条件的区别主要在武进港口门区:边界一是武进港口门西侧(即京杭运河上游侧)口门边界扩大,如图4(a)所示;边界二是武进港口门东侧(即京杭运河下游侧)口门边界扩大,如图4(b)所示。

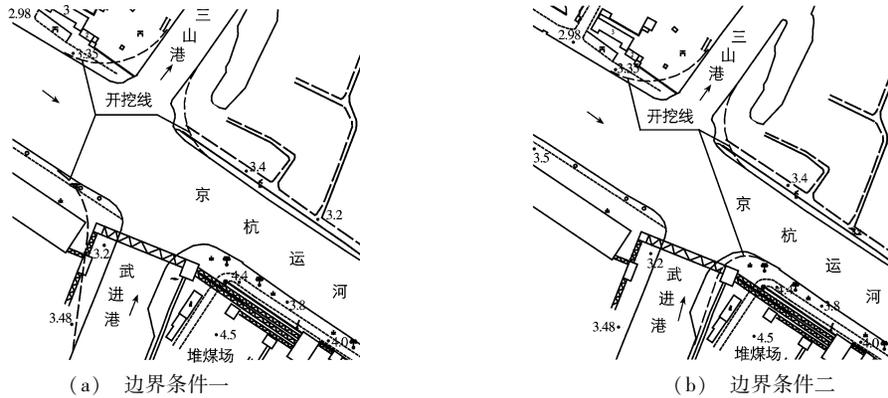


图4 口门边界扩大条件

Fig. 4 Boundary conditions of the conjunction region

2种不同口门扩大边界条件下,三山港—武进港与京杭运河平交口门处流场流线分布如图5所示。由图可见,2种边界条件下口门区主流流速值基本一致,数值在 $0.50\sim 0.80\text{ m/s}$;边界条件一时,位于缓流区(回流区)的武进港口门西侧边界扩大,武进港出流的有效过流面积并未增大,此时,该区的回流区范围有所增大(图5(a));边界条件二时,流速较大的武进港口门东侧边界扩大,其出流的有效过流面积增大,此时,武进港出流流速减小,其对上游的顶托作用减弱,因此上游侧的回流区范围有所减小(图5(b))。

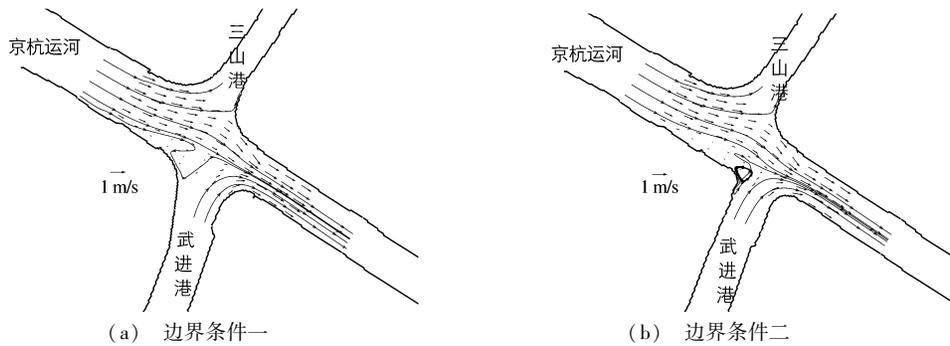


图5 不同边界条件下平交口门处流场流线分布

Fig. 5 Streamline distribution along the conjunction region with different boundary conditions

2种不同口门扩大边界条件下,三山港—武进港与京杭运河平交口门横流流速分布特征如图6所示。由图可见,因受三山港吸流的影响,京杭运河来流流至三山港口门时水流明显左偏并进入三山港,仍存在一定范围的横流区,但超过 0.30 m/s 的强横流区范围较边界未扩大前(图3(b))均明显减小,且基本位于京杭运河边,其距运河中心线的距离约 40 m ,最大横流值约 0.32 m/s 。武进港出口及靠下游侧受出流的影响,运河右侧同样出现横流区,2种边界条件下超过 0.30 m/s 的强横流区范围较边界未扩大前(图3(b))均有所

减小;边界条件一时,其距运河中心线的距离在 28 m 左右(图 6(a)),最大横流值在 0.33 m/s 左右;边界条件二时,横流减小效果较边界条件一时显著,超过 0.30 m/s 的强横流区范围基本位于京杭运河边,其距运河中心线的距离在 30 m 左右(图 6(b))。

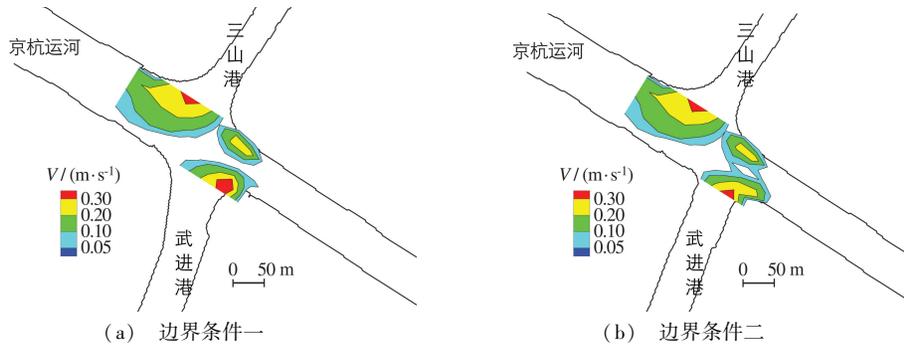


图 6 不同边界条件下平交口门处横流分布特征

Fig. 6 Lateral velocity distribution along the conjunction region with different boundary conditions

由不同边界条件下口门区水动力特征试验结果可看出,口门区河道边界扩大后,与边界未扩大前相比,京杭运河强横流(大于 0.30 m/s)范围均有所减小。边界条件一时,武进港口门西侧扩大区基本位于缓流区(回流区),因此武进港口门区的强横流范围虽有所减小,但效果并不明显;边界条件二时,在流速相对较大、横流相对较强的口门东侧(下游侧)实施口门边界扩大,此时,口门区强横流范围的减小效果明显。由此可见,流速较大一侧边界条件的改变,对水动力特征的影响明显。

3 结 语

以新沟河三山港—武进港与京杭运河平交口门区为例,对其水动力特征进行了试验研究,并探讨了不同边界条件下的水流特征变化规律。研究表明:

(1)受三山港吸流影响,京杭运河来流流至三山港口门时水流明显左偏并进入三山港,出现一定范围的横流区;受武进港出流顶托作用,位于武进港出口上游的运河右侧出现较大范围回流区,其范围随着武进港出流流速的减小而减小。

(2)河道边界对口门区水动力特征存在明显影响,流速较大一侧边界条件的改变,对水动力特征的影响最明显。在类似平交口门区,需改变流速分布时,可优先考虑调整流速较大侧边界。

参 考 文 献:

- [1] BEST J L, REID L. Separation zone at open-channel junctions[J]. J Hydr Engrg, ASCE, 1984, 110(11), 1588-1594.
- [2] 詹磊,董耀华,刘同宦. 干支流直角交汇区水流泥沙运动特性初步研究[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(8): 6-11. (ZHAN Lei, DONG Yao-hua, LIU Tong-huan. Preliminary study on natures of flow structure and sediment transport in right-angled conjunction of main and branch channels[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(8): 6-11. (in Chinese))
- [3] 王协康,王宪业,卢伟真,等. 明渠水流交汇区流动特征试验研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2006, 38(2): 1-5. (WANG Xie-kang, WANG Xian-ye, LU Wei-zhen, et al. Experimental study on flow structure at open channel confluences[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2006, 38(2): 1-5. (in Chinese))
- [4] 王协康,杨青远,卢伟真,等. 交汇水流分离区特征研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2008, 40(6): 1-6. (WANG Xie-kang, YANG Qing-yuan, LU Wei-zhen, et al. A study of characteristics of separation zone in confluence river[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2008, 40(6): 1-6. (in Chinese))
- [5] 刘盛赞,康鹏,李然,等. 水流交汇区的水动力学特性数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(4): 14-18. (LIU

- Sheng-yun, KANG Peng, LI Ran, et al. A numerical study on hydrodynamic characteristics of confluence flow[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2012, 32(4): 14-18. (in Chinese))
- [6] 徐孝平, 彭文启, 李炜. 直角交汇河段流场特性分析[J]. *水利学报*, 1993(2): 22-31. (XU Xiao-ping, PENG Wen-qi, LI Wei. Analysis of flow field at the junction of rectangle channel[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1993(2): 22-31. (in Chinese))
- [7] 敖大光, 曾志诚, 李波, 等. 西北江交汇区航道整治试验研究[J]. *中国工程科学*, 2002, 4(5): 67-70. (AO Da-guang, ZENG Zhi-cheng, LI Bo, et al. Experimental research on improvement of navigation channels in the confluence zone of the West and the North Rivers[J]. *Engineering Science*, 2002, 4(5): 67-70. (in Chinese))
- [8] SHIN J, YANG W J. Flow characteristics in two intersecting flow passages [J]. *Journal of Flow Visualization & Image Processing*, 1997(4): 41-49.
- [9] 茅泽育, 武蓉, 马吉明. 明渠交汇口水流及污染物输移数值计算[J]. *水利学报*, 2003(8): 43-48. (MAO Ze-yu, WU Rong, MA Ji-ming. Numerical simulation of flow field and pollutant transport at the junction of open channel[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2003(8): 43-48. (in Chinese))
- [10] 南京水利科学研究院. 新沟河延伸拓浚工程遥观南、北枢纽引河与运河平交口门整体模型试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2013. (Nanjing Hydraulic Research Institute. Experimental studies on flow patterns in the conjunction region of Xingou River and Beijing-Hangzhou Grand Canal[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2013. (in Chinese))

Experimental studies on hydrodynamic characteristics in level crossing entrance area of the river confluence

LU Yin-jun¹, JIA Dong-dong², WAN Qian-shan¹, ZHANG Xing-nong²

(1. *Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225127, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: Usually in the plain a river which has separated into a number of entwined channels called the plain river network areas, where the flow concentration region is a common occurrence. Hydrodynamic characteristics of flow structure in the level crossing entrance area (i. e. +-shaped river confluence) are very complex due to common impacts given by crossing river channels. In this study, model tests on the hydrodynamic characteristics of the flow structure have been carried out and the law of variation under different boundary conditions is investigated, taking the level crossing entrance, where the Sanshan port-Wujin port is located at the Xingou River across the Beijing-Hangzhou Grand Canal, as a study example. Affected by suction flow of the Sanshan port, the current obviously flows towards the left side and flows into the Sanshan port during the inflow from the Beijing-Hangzhou Grand Canal to the Sanshan port entrance area, which results in a transverse-current area with in a certain range; affected by the Wujin port outflow's backwater effect, the reverse current zone with a larger range appears along the right side of the Grand Canal located on the upstream outlet of the Wujin port, and the range of the reverse current zone decreases with the decrease of flow velocity from the Wujin port. The river channel boundaries have significant impacts upon the hydrodynamic characteristics of the entrance area and the change in the boundary conditions of the larger side where flow velocity is higher, which has the most obvious impacts upon the hydrodynamic characteristics. In the similar level crossing entrance area, regulation of the boundary conditions of the larger side where flow velocity is higher should taken into account when the velocity distribution is in need of change, especially for the boundary with larger flow velocity.

Key words: plain river network areas; level crossing entrance (river confluence); flow pattern; transverse velocity; experimental study