

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.03.002

淮河入流对长江水流的影响分析

谢 瑞,洪大林,陈长英

(南京水利科学研究院河流海岸研究所,江苏 南京 210029)

摘要 通过模型试验,研究长江不同流量遭遇淮河不同流量时长江沿程水位和局部流场的变化。多组水文条件下模型试验结果的分析表明:淮河入流造成长江水域局部水位壅高较多,对长江行洪不利;入流口以上流速减小会加剧洪水期泥沙的落淤,特别会影响三益桥航道的畅通;入流口以下流速增大,近岸流速的增大对长江护岸工程不利。模型试验结果可为扬中河段进口段的河床演变分析以及三益桥航道浅滩成因分析等提供参考依据。

关键词 淮河入流 长江 水流影响分析 模型试验

中图分类号 :TV134⁺.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)03-0008-04

Effect of inflow from Huaihe River on the Yangtze River//XIE Rui, HONG Da-lin, CHEN Chang-ying (*River Harbor Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract : A study is performed on the effect of inflow from the Huaihe River on the water level along the river and local flow field of the Yangtze River. Based on groups of hydrological model tests, it is demonstrated that the inflow from the Huaihe River will cause the water level to increase in some reaches of the Yangtze River, which will adversely affect flood discharge, and the decrease of flow velocity above the confluence will intensify sediment deposition during the flood period, and the increase of flow velocity below the confluence will be unfavorable to the Yangtze River bank protection project. The model test results provide some references for the analysis of river-bed evolution at the inlet of the Yangtze River and the formation of shallow beach at the Sanyiqiao channel.

Key words : inflow from Huaihe River ; the Yangtze River ; analysis of flow influence ; model test

淮河入江口位于长江扬中河段嘶马弯道上游三江营,处于落成洲的左汊,从河势的平面形态来看几乎与长江正交(图 1)。淮河的水量直接汇入长江,由于和主流的夹角较大,水流的汇合顶托必然引起汇合口及上游河道水位壅高、局部区域流速减缓,由

于水量的增加下游河道流速增大、水位抬高,一定范围内影响较大。通过模型试验,研究长江不同流量遭遇淮河不同流量时长江沿程水位、局部流场的变化,可以充分认识到淮河入流对长江水流的影响,为扬中河段进口段的河床演变分析、嘶马弯道顶冲点

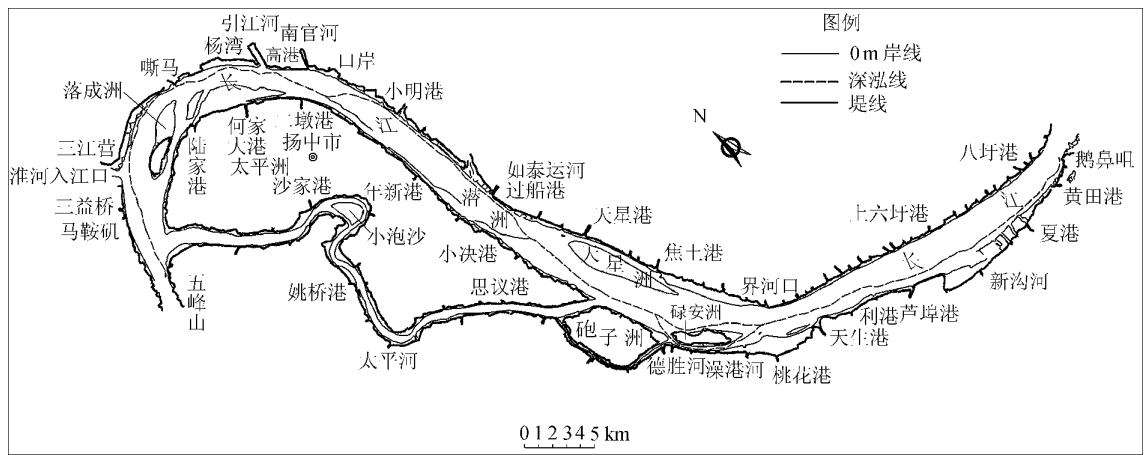


图 1 长江扬中河段河势

下移以及三益桥航道浅滩成因分析等提供参考。

1 模型简介

南京水利科学研究院受江苏省水利勘测设计研究院有限公司委托,为扬中河段二期整治承担了物理模型试验研究。模型试验的任务和目标是在河床演变规律研究的基础上,将原体实测资料与模型试验资料相结合,分析研究本河段水流泥沙运动特征,初步确定河道的整治工程方案^[1-2]。模型上边界为大港水道的马鞍矶,下边界为江阴水道的鹅鼻咀,模拟范围包括太平洲左右两汊和落成洲、砲子洲、禄安洲,以及淮河入江水道,干流总长 85 km,支汊总长约 68 km,见图 1。模型平面比尺 $\lambda_L = 650$,垂直比尺 $\lambda_H = 150$,流速比尺 $\lambda_v = 12.25$,糙率比尺 $\lambda_n = 1.11$,流量比尺 $\lambda_Q = 1\,194\,126$ 。

模型经过枯季大、中、小潮(2005 年 3 月)和洪季大潮(2005 年 8 月)2 次水文测验资料的验证,验证内容包括:①模型进口流速分布及分流比;②沿程 10 个水位站的潮位过程;③沿程各断面流速过程。

枯季验证资料包括:①2003 年 6 月 9 日实测五峰山断面流量及太平洲右汊分流比,落成洲左、右汊分流比;②2005 年 3 月 11 日 14 时至 12 日 18 时实测大潮潮位过程,2005 年 3 月 7 日 10 时至 8 日 14 时实测中潮潮位过程,2005 年 3 月 4 日 18 时至 5 日 22 时实测小潮潮位过程;③与各潮位过程相应的永安洲北、永安洲南和八桥断面的流速过程。

洪季验证资料包括:①2005 年 8 月 22 日实测五峰山、太平洲左汊进口,太平洲右汊进口及落成洲左、右汊断面流速分布及分流比;②2005 年 8 月 20~21 日实测大潮潮位过程;③永安洲北、永安洲南、杨湾、九圩港断面流速过程以及嘶马、杨湾、小泡沙 3 个定点大潮垂线流速过程。

结果表明,模型汊道分流、潮位过程、流速流向及涨落潮历时与天然状态下的基本相似,符合 JTJ/T 233—98《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》要求,表明模型水流运动基本反映了天然水流的运动情况,模型与实体是相似的,可以在本模型基础上进行各工程方案试验研究。

2 试验水文条件

考虑实际可能发生的洪、中、枯流量,长江流量分别采用多年平均流量($28\,700\text{ m}^3/\text{s}$)、造床流量($45\,000\text{ m}^3/\text{s}$)、多年平均洪峰流量($62\,000\text{ m}^3/\text{s}$)、百年一遇洪峰流量($85\,400\text{ m}^3/\text{s}$),淮河流量分别采用不同泄洪流量和设计最大流量,试验研究流量组合如表 1 所示。试验采用恒定流的方法,水位采用相应

流量下的平均潮位,当长江流量为 $28\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $45\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,模型尾门控制水位为实测潮型平均潮位,当长江流量为 $62\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $85\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 时,模型尾门控制水位为平均潮位。

表 1 试验水文条件 m^3/s

长江流量	淮河流量	长江流量	淮河流量
28 700	2 000	62 000	5 000
28 700	5 000	62 000	8 000
28 700	8 000	62 000	12 000
45 000	2 000	85 400	5 000
45 000	5 000	85 400	8 000
45 000	8 000	85 400	12 000
45 000	12 000	85 400	15 000

3 试验结果及分析

3.1 潮位

沿程潮位站从上游向下游依次设置在五峰山、三益桥、嘶马、引江河、小明港、过船港、界河口,水位站分布在两岸,呈对口布置。试验中对河段左岸水位的观察从五峰山到过船港,对河段右岸水位的观察从五峰山到界河口,各级流量组合下的水面线变化见图 2~5。

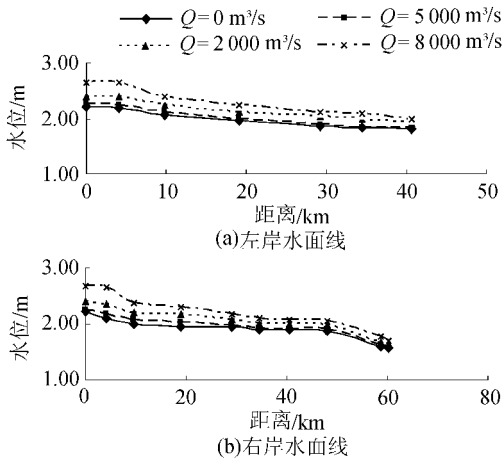
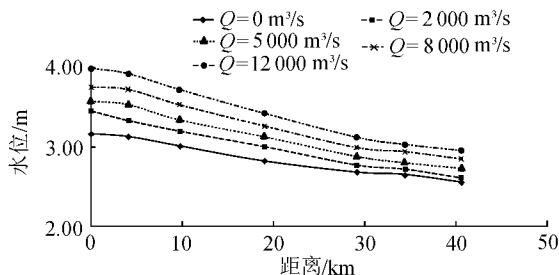


图 2 长江流量 $28\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 时淮河不同流量的水面线

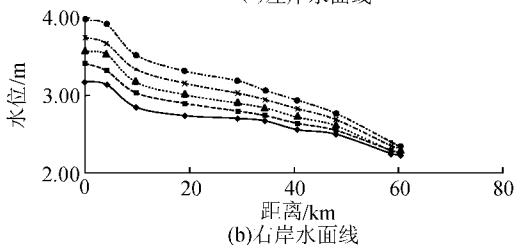
由图 2 可知,当长江流量为 $28\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 且遭遇淮河泄洪 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上时,随着淮河入流水量的增加,汇流对长江水位的影响逐渐增大,从布置的水位站来看,淮河来水 $2\,000\sim 8\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,最大水位壅高在汇流口上游,上游三益桥水位壅高最大为 $0.14\sim 0.52\text{ m}$,汇流口下游嘶马水位抬高 $0.05\sim 0.28\text{ m}$,沿程水位均有所抬高,距汇流口越远水位升高值越小。

由图 3 可知,当长江流量为 $45\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,水流集中走槽,当淮河来水较大时,汇流口上下游河道水位抬高明显。最大水位壅高也在汇流口上游,三益桥水位壅高 $0.20\sim 0.79\text{ m}$,三江营水位抬高 $0.19\sim 0.71\text{ m}$,当淮河来水量为 $12\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,水位壅高最大。

由图 4 可知,当长江流量为 $62\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,水流

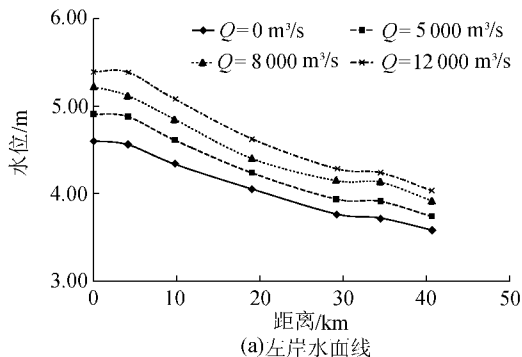


(a)左岸水面线

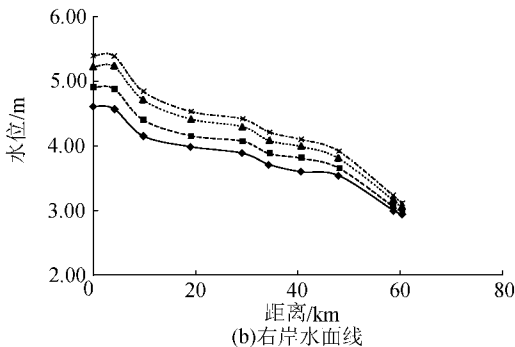


(b)右岸水面线

图3 长江流量 45 000 m³/s 时淮河不同流量的水面线



(a)左岸水面线

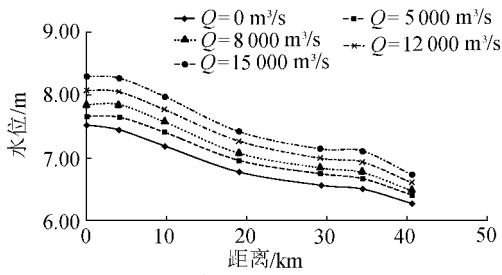


(b)右岸水面线

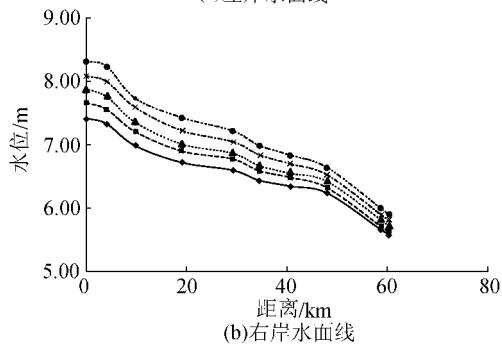
图4 长江流量 62 000 m³/s 时淮河不同流量的水面线

上滩,滩地过流量相对变大。此时若淮河来水量较小(如 2 000 m³/s 以下)时,对长江水位的影响很小,但当淮河来流为大流量时影响较大。当淮河来水 5 000 ~ 12 000 m³/s 时,最大水位壅高在汇流口上游,汇流口上游三益桥水位壅高 0.22 ~ 0.80 m,汇流口下游嘶马水位抬高 0.27 ~ 0.74 m,汇流量越大水位壅高越大。

由图 5 可知,当长江流量为 85 400 m³/s 时,长江水位较高,若遭遇淮河来水达到设计流量时,长江水位壅高最大。当淮河来水 5 000 ~ 15 000 m³/s 时,最大水位壅高在汇流口口门,汇流口上下游水位壅高相差较小,上游三益桥水位壅高 0.20 ~ 0.82 m,汇流



(a)左岸水面线



(b)右岸水面线

图5 长江流量 85 400 m³/s 时淮河不同流量的水面线
口下游嘶马水位抬高 0.21 ~ 0.78 m,汇流量越大水位壅高越大。

扬中河段上段是进口段和嘶马弯道段,河道左右岸水位不等,产生横比降。落成洲的上段顺直微弯,长江中水以下右岸水位略高于左岸,洪水时基本没有横比降。淮河汇流后横比降减小。当淮河来流量为 12 000 m³/s 时,左岸水位比右岸高 0.02 ~ 0.05 m。落成洲的中下段基本和嘶马弯道段相连,属于弯道,左岸水位明显高于右岸,始终存在横比降,长江流量越大,横比降越大;反之则小。当淮河来水 15 000 m³/s 时,左岸水位比右岸高 0.03 ~ 0.24 m。

3.2 流速

流速测量断面及测点布置见图 6。淮河的汇流对太平洲夹江的分流有影响,影响程度随着汇流量的增大而增大,当淮河来水量不变时,随着长江流量的增大,其影响程度逐渐减小。不同试验组次中,夹江进口流速变幅在 0.01 ~ 0.16 m/s 之间。当长江流量为多年平均流量 28 700 m³/s、淮河泄洪 8 000 m³/s 时,水位壅高后夹江进口流速增幅最大,其中 1-1 测点(表示 1 号测流断面上的测点 1,下同)流速增大 0.16 m/s,对太平洲夹江进口流场影响最大。

汇流引起上游水域流速减缓,距口门越近,流速减缓越明显,汇流量越大,影响范围及程度越大。所有试验组次中,口门上游 1.2 ~ 2.9 km 范围内,边滩流速减小 0.01 ~ 0.41 m/s;主槽流速减小 0.03 ~ 0.37 m/s;右岸滩地流速减小 0 ~ 0.28 m/s。其中,当长江流量为 45 000 m³/s、淮河来水为 12 000 m³/s 时,流速减小最大,如图 6 所示 3-1 测点减小 0.41 m/s,3-2 测点减小 0.37 m/s,3-5 测点流速减小 0.28 m/s。

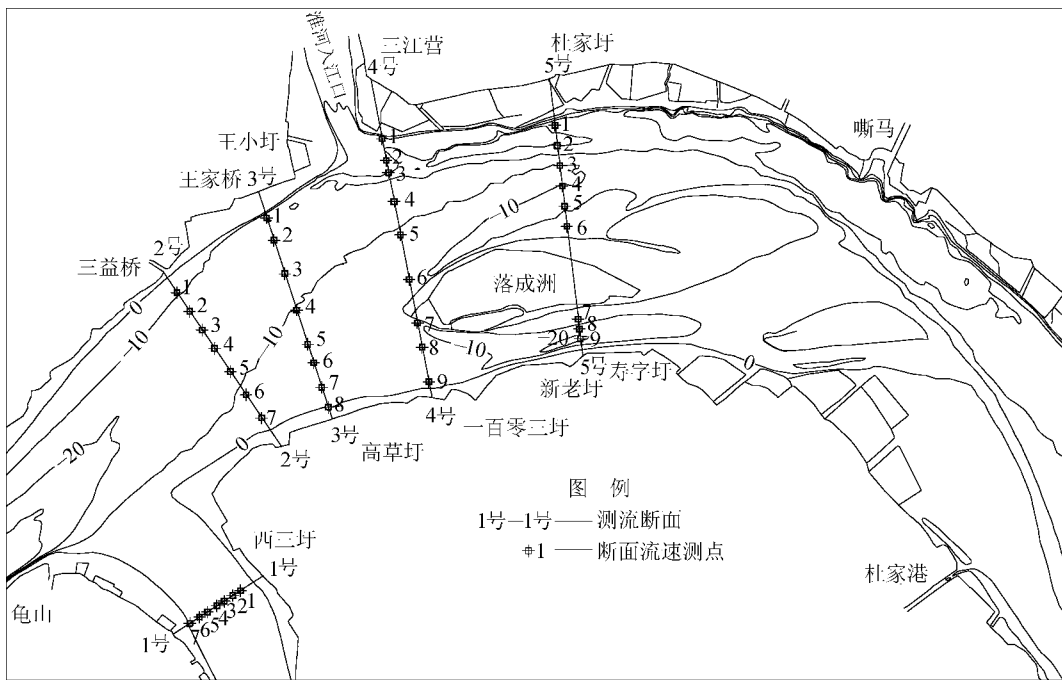


图 6 流速测量断面及测点布置

汇流口下游由于水量的增加,河道流速增大,并随着淮河汇流量的增大而增大。所有试验组次中,口门近岸流速增大 $0.22 \sim 0.86 \text{ m/s}$,主槽流速增大 $0.07 \sim 1.33 \text{ m/s}$,落成洲左汉滩地流速增大 $0 \sim 0.54 \text{ m/s}$ 。当长江流量为 $85\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 、淮河来水 $15\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,流速增加最大,近岸边滩 4-1 测点增大 0.86 m/s ,主槽 4-2 测点增大 1.33 m/s ,落成洲左汉滩地 5-6 测点流速增大 0.54 m/s 。当长江流量较小、淮河来水量较大时,口门下边缘距岸边局部区域产生回流,回流的强度和范围随着淮河来水量的增大而增大。当淮河来水量一定时,回流的强度和范围随着长江流量的增大而减小。各种流量组合水文条件下,当长江流量为 $62\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、淮河来水量为 $12\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,回流引起的流速最大减幅为 0.38 m/s ;当长江流量为 $85\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 、淮河来水量小于 $8\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时不产生回流。

落成洲右汉由于淮河的来水流速有不同程度的增加。各种流量组合水文条件下,4-8 测点流速增幅 $0.01 \sim 0.25 \text{ m/s}$,5-8 测点流速增幅 $0.03 \sim 0.34 \text{ m/s}$ 。当长江流量为 $45\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、淮河来水量为 $12\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时流速增幅最大,各种流量组合水文条件下的断面测点流速变化见文献 [3-4]。

3.3 淮河入流影响分析

扬中河段的进口段由于太平洲、落成洲的分汉,水流分流较为复杂,再加上淮河行洪,分汉分流更为复杂。淮河入流口上、下断面的流量应符合以下关系:

$$Q_{\text{口下}} = Q_{\text{口上}} + Q_{\text{淮河}} \quad (1)$$

当长江流量一定时,即大通流量不变,随着淮河入流量的增大,入流口以下总流量增大、水位抬高、流速增大;入流口以上水位壅高、流速减小。由于长江下游的防洪设计流量已考虑了淮河的最大行洪设计流量,因此淮河的入流不会影响长江的堤防安全。

根据武汉水利电力学院的研究,可以用悬移质输沙率公式来近似地估计水流挟沙力^[5]:

$$S = k \left(\frac{U^3}{ghw} \right)^m \quad (2)$$

式中: U 为流速; h 为水深; w 为泥沙沉速; g 为重力加速度; k, m 为系数。

从式(2)可以看出,当 h 变化不大、泥沙颗粒直径和沉速一定时,水流的挟沙能力与流速有很大的正向变化关系。通过对入流口上 3 号断面和入流口下 5 号断面的平均流速计算,段面平均流速与淮河入流量的关系见图 7 和图 8。从图 7 和图 8 可以看出,入流口上断面平均流速与淮河入流量成反比,入流口下断面平均流速与淮河入流量成正比。因而,入流口以下,随着淮河入流的增加,水流的挟沙能力

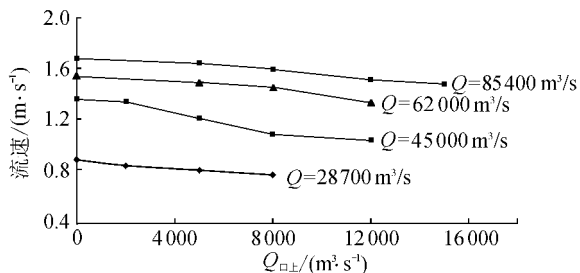


图 7 淮河入流口上 3 号断面平均流速与入流量的关系
(下转第 19 页)

也出现在 $H/z = 1$ 附近区域,说明在植物顶层附近水流内部的剪切力达到了最大值,植物顶层和上部水体之间存在强烈的剪切。雷诺应力从植物顶层区域开始向水槽底部逐渐减小,在 $H/z = 0.5$ 处雷诺应力已经很小,再往下的一段区域内雷诺应力变化较小。植物层从顶部开始向内部雷诺应力的迅速减小说明从顶部开始向下水流切变流速减小,这一改变极大地有利于泥沙细颗粒的沉积,是植物治沙力学的根本理论依据所在。

3 结 语

a. 本文采用现代量测技术,选用与原型植物形态相似的模型植物,试验研究了柔性沉水植物的明渠水流运动特性。结果表明:含植物水流流速沿垂线分布呈 S 形,分为 3 个区域:即植物内部区、过渡区和上部区。植物密度对过渡区内流速影响显著,在该区内植物密度越大则流速梯度也越大。水流的紊动强度和雷诺应力的垂线分布规律有相似之处,二者在植物顶层的位置达到最大值,说明在此区域内存在剧烈的能量交换和剪切作用,两种作用的剧烈程度都是在植物顶层上部区域随着水深的增加而递减,在植物内部区随着水深的增加而递增。植物的种植密度是影响水流紊动强度和雷诺应力的主要因素,其决定了水流紊动强度和雷诺应力的增加幅

(上接第 11 页)逐渐增大,水流进入嘶马弯道后泥沙不会淤积,河床处于微冲状态;入流口以上,随着淮河入流的增加,水流的挟沙能力逐渐减弱。水流进入落成洲上段时,泥沙会淤积,特别是淮河入流口上游三益桥附近,在洪水年淮河入流时流速减小幅度较大,泥沙大量落淤,影响航道畅通。这就是洪水年三益桥附近泥沙淤积严重的一个重要原因。

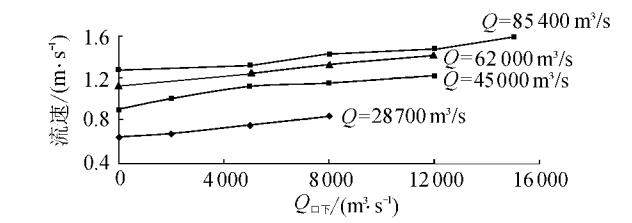


图 8 淮河入流口下 5 号断面平均流速与入流量的关系

4 结 语

a. 淮河入流引起河道水位升高,入流量越大水位抬高越大。当长江发生百年一遇洪水且遭遇淮河最大设计流量 $15\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,嘶马水位抬高 0.78 m 。
b. 淮河入流对长江流场有影响,当长江流量在造床流量以下、遭遇淮河较大来水时,淮河入流对长

度及其在植物区内部的分布形态。
b. 有植物区域水流的运动特性十分复杂,本文通过试验进行了水流流速分布、紊动强度和紊动切力的初步研究,其影响机理还有待积累更多精细测量资料进行深入的分析研究。

参考文献:

[1] KOUWEN N, UNNY T E, HILL H M. Flow retardance in vegetated channels [J]. Irrigation Drainage Division, ASCE, 1969, 95(2): 329-342.
[2] TEMPLE D M. Velocity distribution coefficients for grass lined channels [J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1986, 112(3): 193-205.
[3] GOURLAY M R. Discussion of 'flow resistance in vegetated channels' by KOUWEN N, EUNNY T, HILL M [J]. Irrig Drain Div Am Soc Civ Eng, 1970, 96(3): 351-357.
[4] WU Feng-cheng, SHEN Hue-wen, CHOU Yong-jian. Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(9): 934-942.
[5] 时钟, 李艳红. 含植物河流平均流速分布的实验研究 [J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(8): 1254-1260.
[6] CAROLLO F G, FERRO V, TERMINI D. Flow velocity measurements in vegetated channels [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 128(7): 664-673.

(收稿日期: 2007-05-08 编辑: 高建群)

江流场的影响最为严重。
c. 淮河入流减缓了三益桥边滩的流速, 长江发生大洪水时会加剧泥沙的落淤, 对航道的畅通不利。
d. 当长江发生大洪水时, 淮河的泄洪直接增大了嘶马弯道的过流量, 近岸流速会增大, 这对长江护岸工程不利。
e. 当长江流量较小、淮河泄洪较大时, 太平洲右汊的分流会增加, 和太平洲左汊相比而言, 淮河入流对太平洲右汊的影响较小。

参考文献:

[1] 李昌华, 金德春. 河工模型试验 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1981.
[2] 华东水利学院. 水力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1979.
[3] 洪大林, 谢瑞. 扬中河段整治开发物理模型试验研究 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2006.
[4] 张幸农. 长江下游口岸直水道航道整治工程定床物理模型试验研究 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2006.
[5] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.

(收稿日期: 2007-05-21 编辑: 骆超)