

基于泄洪移民区域分汊河道泄流相互影响的模型试验研究

王毓莹

(河海大学 公共管理学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 基于政府的组织行为、政府的协调行为和政府的监督行为与行洪移民区域后期扶持的具体工作的研究, 治淮工程移民安置方案产生 31.2 亿元的投资。移民区域的大小与安全行洪区范围直接相关, 分汊河道行洪的最佳分流比决定了行洪的安全与否。为了探讨复杂并联泄洪河道中不同的闸门控制对泄流的影响, 论文结合淮河入江水道归江控制段模型试验, 对复杂分汊并联河道的分流比及其流态对河道的稳定等进行了分析研究。通过对所采集的水位流量资料进行理论分析, 按照不同的闸门开度组合, 结合水面流态, 系统分析入江水道中下段分汊并联河道在不同的流量下最优闸门开度组合及支汊分流比。单闸控制, 主汊河道闸门开度一定时, 分流比随着总泄流量增加而减小, 两支汊河道分流比基本相同, 且随总泄流量增加而增加。双闸控制, 主汊河道和支汊河道闸门组合调节时, 主汊分流比同单闸控制, 支汊分流比变化量来自主汊, 不影响其他支汊河道分流比。最优闸门开度为主汊单闸控制 2/3 开度, 最优分流比为 76%、12%、12%, 在此分流比下行洪, 将保持移民后期区域不扩大或缩小。

关键词: 分流比; 闸控; 模型试验; 分汊河道; 淮河入江水道; 移民后期扶持; 泄洪移民区

中图分类号: TV85; TV149.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0139-07

Model test study of discharge mutual influence of bifurcated river in flood discharge resettlement area

WANG Yuying

(School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The resettlement plan of the Huaihe River project resulted in an investment of 3.12 billion yuan RMB based on the organizational behavior, coordination behavior and the supervisory behavior of the government, as well as the study of the specific work supported by the post-resettlement area. The size of the resettlement area is directly related to the safety flood diversion area, and the optimal diversion ratio of the branch river determines the safety of the drawing off of floodwater. In order to study the influence of different sluice controls on the discharge in complex flood discharge, this paper analyzes the diversion ratio of the complicated branching and parallel river channel and the stability of the river channel in combination with the Huaihe River water diversion control section model test. Based on the theoretical analysis of the collected water level and flow data, the optimal sluice opening combination and branch branching of the lower reaches of the river channel are analyzed systematically at different flow rates ratio, according to the combination of different sluice opening and combined with the surface water flow. According to the combination of different sluice opening and the surface water flow, the paper analyzes the optimal sluice opening combination and branch diversion ratio of the lower reaches of the river channel under different flow rates based on the theoretical analysis of the collected water level and flow data. When the single sluice of the main branch opens in fixed degree, the diversion ratio decreases with the increase of the total discharge, and the diversion ratio of the two minor

branches is basically the same, and increases with the increase of the total discharge. When double sluice control, the main branch and minor branch sluices adjust together, the main branch diversion ratio with the single sluice control, minor branch diversion ratio change from the main branch, which does not affect the other minor branch river diversion ratio. Therefore, the best sluice opening is 2/3, and the best flow diversion ratios are 76%, 12% and 12%. This optimal diversion ratio will keep the immigration area constant.

Key words: flow diversion ratio; sluice control; model test; bifurcated river; Huaihe River to Yangtze River; the late support of immigrants; flood discharge area;

1 工程概况与试验任务

淮河入江水道是国家 172 项节水供水重大水利工程之一,对完善江苏省防洪减灾体系,保障区域经济社会发展意义十分显著。淮河入江水道整治工程是国务院确定的进一步治理淮河重点项目,基于政府的组织行为、政府的协调行为和政府的监督行为与行洪移民区域后期扶持的具体工作的研究,参照水库移民学、公共行政学、项目管理学等方向的理论指导,结合我国现阶段移民后期扶持工作的实际情况比较分析,依据政府行为在移民后期扶持中的作用和效果,运用政治学原理以及社会主义市场经济规律,结合治淮工程移民安置方案^[1]研究,工程投资 31.2 亿元。

作为淮河下游洪泽湖的主要泄水通道淮河入江水道全长 157.2 km,通过淮安、扬州 2 市 10 县(市、区)地区,至三江营后汇入长江。淮河中上游 15.8 万 km² 汇水区间汇流进入洪泽湖,经过洪泽湖的调蓄之后,主要进入长江。其中高邮湖水位站由于距离下游归江闸较远,受长江潮位影响很小,另外高邮湖站以下区间汇水面积小,归江四闸流量可代表该段流量。高邮湖水位有逐步抬高的趋势,原本泄洪不畅的河道,行洪障碍仍然不断增加,阻力不断增大。主要障碍为树木、棚屋、鱼网、鱼簰、油井、桥梁等,特别是滩地开发鱼网、鱼簰等,遇水草、漂浮物,阻水较为严重。运盐河、金湾河、凤凰河、太平河、新河、壁虎河位于六闸以下组成入江水道归江段,近年来受江都抽水站和大运河排涝影响,运盐河行洪能力受到影响,随着南水北调工程运行,排涝能力增强,对运盐河行洪的影响进一步加大。

为了准确进行模型试验,验证资料为实测水位、实测流量,试验范围是从高邮湖经过并联河道,通过万福闸、金湾闸、太平闸等再汇流进入长江,即形成淮河入江水道中下段。

根据试验目的,在不同流量下对万福闸、太平闸

和金湾闸调节不同开度进行试验,试验工况见表 1。

2 相似准则

2.1 比尺的选择

综合考虑淮河入江水道模型试验采用定床河工模型^[2],模型试验考虑场地的实际面积、模型水深等因素,采用水平比尺为 $\lambda_l = 1\ 500$, 竖直接尺为 $\lambda_h = 50$, 则模型变态率为 $e = 30$, 因此:

流量比尺:

$$\lambda_Q = \lambda_l \lambda_h^{3/2} = 1500 \times 50^{3/2} = 530330$$

糙率比尺:

$$\lambda_n = \lambda_h^{2/3} / \lambda_l^{1/2} = \frac{50^{2/3}}{1500^{1/2}} = 0.35043$$

由于河工模型是自然河道的一种简化表达,在模型设计过程中,对于计算的理论糙率与试验所确定的糙率,不能够完全与自然河道的糙率相同,所以需要模型进行糙率简化处理^[3]。模型试验确定河道的方法是根据各水文站水位资料,通过几何比尺转化为模型试验水位,在各流量下,通过多种方式增加河道糙率^[4],使模型试验水位与实际情况相符。

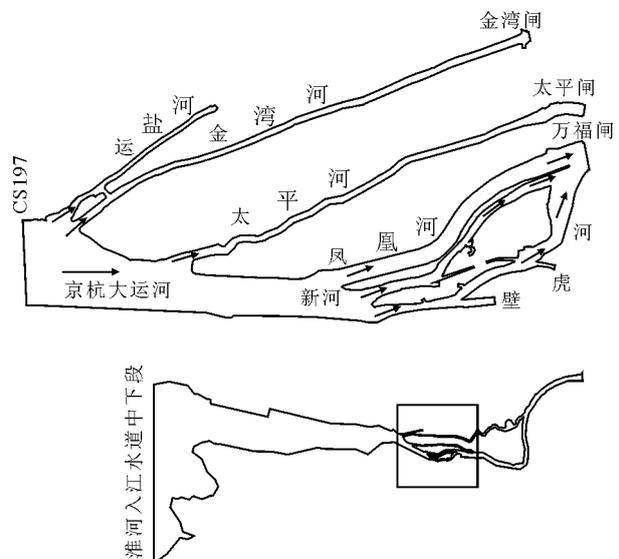


图 1 淮河入江水道分汊段位置图

表 1 模型试验工况

闸门控制情况	流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	闸门名称	闸门相对开度	工况数量
	12000			
闸门无控制	10000			3
	8000			
	6000	万福闸	1/3	
单闸门控制	4000	太平闸	2/3	18(3 × 3 × 2)
	2000	金湾闸		
	6000	万福闸	1/3	1/3
双闸门控制	4000	太平闸	1/3	2/3
	2000	金湾闸	2/3	1/3
				2/3

2.2 变态率分析

对于一般的河工模型而言,变态率控制在 6 ~ 10 以下,对于枢纽上游回水水面线有关的整体水流问题,变态率允许达到 20 左右,对于港口或河口模型而言,变态率也可以达到 30 ~ 80,溃坝洪水演进模型的变态率可以达到 100 及以上^[5]。

根据沙巴涅夫与岗恰洛夫的研究^[6],当宽深比 (B/H) 大于 10,水流属于二维水流,变态率 $e \leq 0.1(B/H)$ 。本试验淮河入江水道(中下段)大部分河段宽深比约为 400 以上,变率为 $e = 30 < 40$,符合模型试验要求。

根据南京水利科学研究院《水工模型实验》,其对模型变率的要求大致为: $e \leq (B/H)/(6 \sim 10) = 40 \sim 67$ 。

根据上述分析,模型采用与入江水道上段相同变率 $e = 30$ 可行。

2.3 模型雷诺数

在流量 2 000 m^3/s 的模型流量为:

$$Q_m = Q_p / \lambda_Q = \frac{2000}{530330} = 0.00377 \text{ m}^3/s;$$

选择 CS197 断面计算,原河道宽为 6 500 m,在 2 000 m^3/s 工况时河道平均水深为 2.2 m,则过流断面的面积为 $A_m = 1.33 \times 0.044 = 0.059 \text{ m}^2$;

计算流速的值:

$$v_m = Q_m / A_m = 0.064 \text{ m/s};$$

计算水力半径的值:

$$R_m = A_m / \chi_m = \frac{0.059}{1.33 + 0.044 \times 2} = 0.0416;$$

根据黏度系数资料,在 20℃ 情况下, $\nu = 0.0101 \times 10^{-4} \text{ m}^2/s$;

$$\text{计算得到模型雷诺数: } (R_e)_m = \frac{v_m R_m}{\nu} =$$

$$\frac{0.064 \times 0.0416}{0.0101 \times 10^{-4}} = 2636 > 1000, \text{ 紊动程度能够达到要求。}$$

3 模型试验方法及资料选用

3.1 试验方法

模型试验主要量测在无闸门控制试验工况下和有闸门控制试验工况下淮河入江水道(中下段)分汊并联河道的流速、水位、流态。结合国外的研究进行试验^[7-15]及分析^[16-19],在无闸门控制试验工况下以 12 000、10 000、8 000 m^3/s 的流量分别进行试验,在泄洪状态下闸门全开符合实际情况。有闸门控制试验工况又分为单闸控制和双闸控制,分别在流量为 6 000、4 000、2 000 m^3/s 的情况下进行试验,在较小流量下闸门处于组合启闭状态符合正常流通状态。闸门开度组合的数量过少具有偶然性,组合的数量过多造成不必要性,因此开度选择 1/3、2/3、1。

表 2 实际流量与试验流量对照表

实际流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	12000	10000	8000	6000	4000	2000
试验流量/ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	81.45	67.88	54.30	40.73	27.15	13.58

试验的水位控制点有:高邮湖、六闸、万福闸上、万福闸下、太平闸上、太平闸下、金湾闸上、金湾闸下、大八江、三江营。这些水位控制点在实际工程中均有对应的水文站,为了研究并联分汊河道的分流情况,还需要在各支汊河道上增设水位仪,增加实测数据量,便于数据的衔接和分析。

3.2 资料选用

试验水位流量资料来源于实际水文站测量历年资料,主要用于两个方面:一是淮河入江水道中下段入口处高邮湖水位,二是用于河道糙率的验证、控制。

2003 年的洪水是 1954 年以来淮河中下游地区发生的最大一次洪水,仅次于 2003 年的 1991 年、1990 年、1996 年、1998 年、2005 年及 2007 年 6 次洪水。取证日期分别为 2007 年 7 月 24 日、2005 年 8 月 12 日、1998 年 8 月 22 日、1996 年 7 月 23 日、1991 年 7 月 16 日、1990 年 7 月 26 日,取证三江营洪水流量为 4 066 ~ 9 810 m^3/s 。试验主要依据现有淮河入江水道(中下段)2003 年 7 月 12 日、1991 年 7 月 17 日、2007 年 7 月 24 日、2005 年 8 月 12 日、1996 年 7 月 23 日及 2015 年 6 月 26 日 - 7 月 14 日水位流量资料。

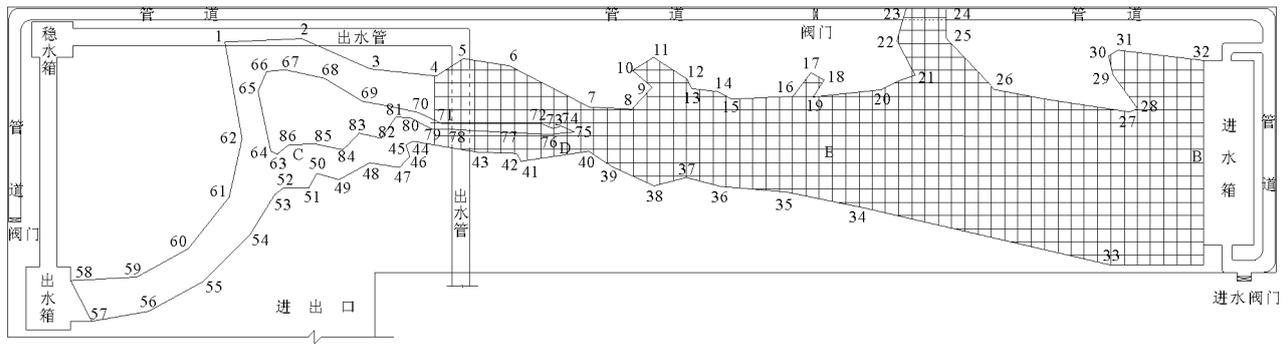


图2 模型试验水槽示意图(单位:cm)

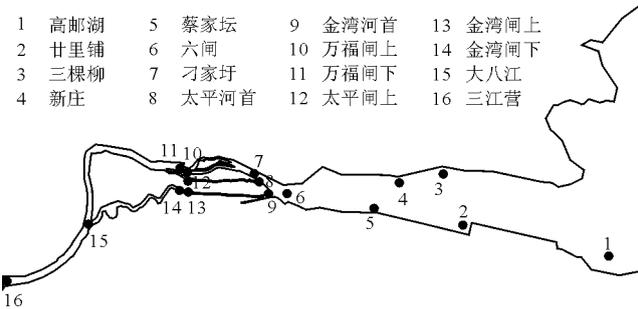


图3 水位测点分布图

表3 特征流量与试验的特征水位

序号	流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$	高邮湖水位/m	六闸水位/m	万福闸上水位/m	三江营水位/m
1	9102	9.08	7.67	6.01	4.36, 5.54, 4.38, 5.20
2	8051	8.81	7.18	4.91	3.97, 3.44
3	7619	8.60	6.95	4.56	3.15, 3.96
4	6912	8.43	6.94	5.64	4.57, 5.30, 4.48, 5.28
5	6728	8.59	6.83	5.49	5.12, 4.60, 4.88, 4.52
6	4025	7.39	5.19	4.04	3.11, 4.29, 3.20, 3.93

4 无闸门控制工况

闸门无控制工况是指在流量分别为 12 000、10 000、8 000 m^3/s 的情况下,将闸门全开进行试验,通过测得的断面流速及过流断面面积进行各工况下分流比的计算。在各个闸门开度及开度组合下,观察总结不同的闸门调节对分汊河道整体的影响。

图4~6表示总泄流量分别为 8 000、10 000、12 000 m^3/s ,分别在不同的下游水位下的分流比和流速。在流量一定时,不同的下游水位对各分汊河道的分流比影响不大,且主汊万福闸控制河段分流比远大于其他两条分汊河道的分流比。在下游水位一定情况下,主汊河道分流比随着流量的增加而减小,两个支汊河道分流比基本接近,随着流量的增加而增加。

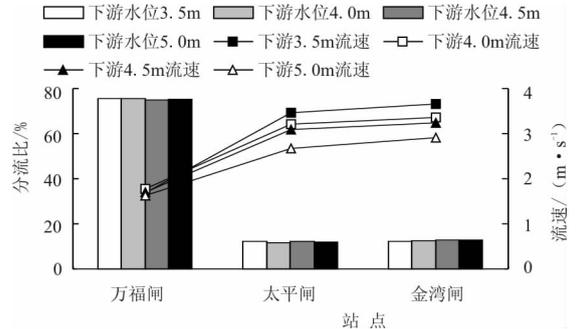


图4 流量 8 000 m^3/s 不同下游水位分流比和流速

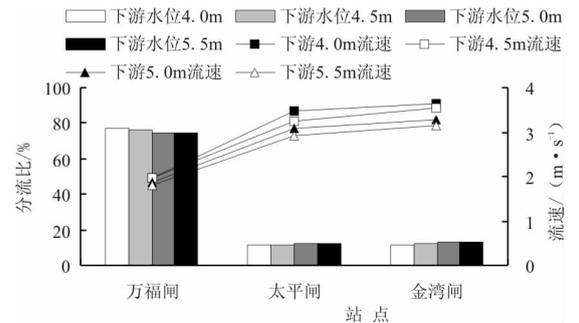


图5 流量 10 000 m^3/s 不同下游水位分流比和流速

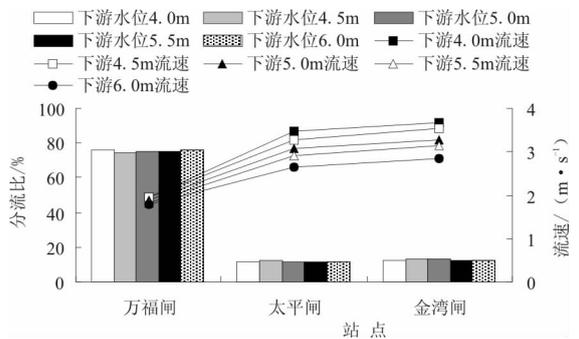


图6 流量 12 000 m^3/s 不同下游水位分流比和流速

淮河入江水道中下段分汊河道,由 3 座水闸控制,最大过流水闸为万福闸,在大流量泄流时,各闸门均处于全开状态泄流,主汊河道分流比在 75% 以上,万福闸作为主要泄洪闸,其主要作用是防汛,其分流比是太平闸和金湾闸泄流总和的 3~4 倍。随

着流量的增加,金湾闸的分流比在一定范围内增加,太平闸的分流比相对减小,总体表现为金湾闸分流比略大于太平闸的分流比。

在流量一定情况下,下游水位越低,各分汊河道流速越快,流速随着下游水位的减小而增加,主流流速变化幅度最小,太平河流速变化最大。在下游水位一定的情况下,各分汊河道流速随流量的增加而增加。

在不同流量下,主流的分流比随流量增加而减小,虽然变化量在 2% 的范围内,但随着流量的增加支汊河道的水位、流速及分流比同时增加,在高水位及高流速的情况下,对支汊的泄流会产生较大压力,可能会产生严重冲刷,甚至可能冲毁河道,对支汊两岸造成较大的安全隐患。

5 有闸门控制工况

小流量工况是指在流量分别为 6 000、4 000 及 2 000 m³/s 时,进行单闸门不同开度和双闸门不同开度组合下试验,通过测得断面流速及过流断面面积进行各工况下分流比的计算。在各个闸门开度及开度组合下,观察总结不同的闸门调节对分汊河道整体的影响。

5.1 单闸控制

图 7 ~ 9 分别表示流量为 2 000、4 000、6 000 m³/s 时,万福闸、太平闸、金湾闸单闸控制时的分流比柱状图,在大流量下万福闸不可以全关,否则会发生溃坝事故,只能选择在开度分别为 1/3 和 2/3 开度下试验。图 8 ~ 9 在 6 000、4 000 m³/s 通过万福闸的分流比分别达到 60%、76%,通过太平闸和金湾闸分流比近似相等,在两种开度下分别为 20%、12%;图 7 在小流量 2 000 m³/s 情况下,万福闸可进行全关试验,流量由太平闸和金湾闸均分,而在 1/3 和 2/3 开度下万福闸分流比分别为 70%、80%,高于在大流量情况下通过万福闸的分流比。即在万福闸单闸控制情况下,通过的流量越大,分流比越小。

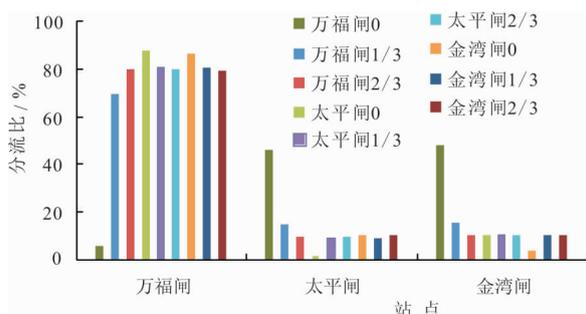


图 7 流量 2 000 m³/s 单闸控制分流比

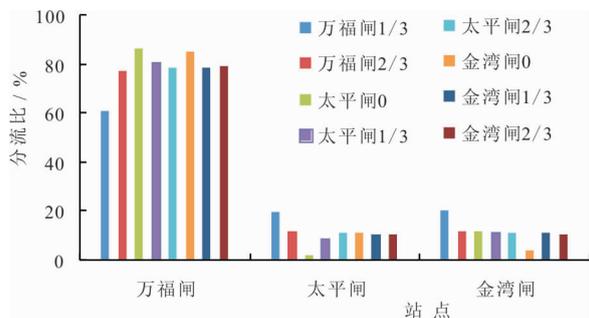


图 8 流量 4 000 m³/s 单闸控制分流比

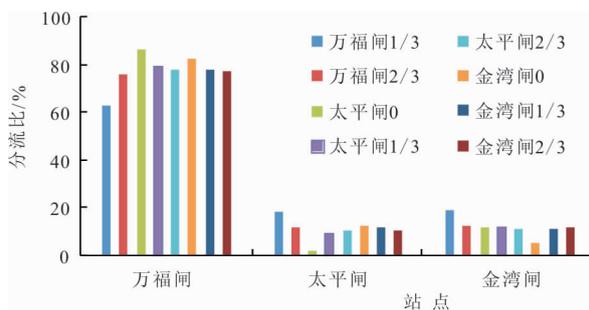


图 9 流量 6 000 m³/s 单闸控制分流比

图 7 ~ 9 太平闸和金湾闸分别单闸控制时对通过万福闸的分流比影响不明显,对通过自身水闸的分流比影响较明显,通过另外一座闸的分流比基本不变。

5.2 双闸控制

图 10 ~ 12 表示流量分别为 2 000、4 000、6 000 m³/s 时,万福闸、太平闸、金湾闸其中两座闸控制时的分流比柱状图,其中位于主汊河道的万福闸起着主要的控制分流比的作用,万福闸的开度直接影响河道分流比,而其他两座水闸的开度对分流比的影响太不明显。在流量 4 000、6 000 m³/s 下,万福闸的分流比随着流量增加而减小,1/3 和 2/3 开度下的分流比分别为 60%、76%,金湾闸的分流比略大于太平闸的分流比,即万福闸的开度越大,主流的分流比越大。在万福闸的开度一定的情况下,当太平闸开度增大时,其自身分流比有一定的增加,金湾闸的分流比保持不变,万福闸的分流比相应的减小,调节金湾闸时同理。在流量为 2 000 m³/s 的情况下,万福闸在 1/3 和 2/3 开度下的分流比分别为 69%、80%,高于在大流量下不同开度下万福闸的分流比。在相同开度下,分流比随着流量的增加而减小。

图 11 ~ 12 在太平闸和金湾闸不同的开度组合下,总体上各水闸分流比较为稳定,最大为 2% 的变化幅度,总体上分流比近似于全开状态,万福闸分流比为 78%,太平闸和金湾闸分流比均为 11%。具体

分析小幅度变化,当太平闸开度一定时,金湾闸的分流比随开度的增加而增加,其增加部分 4/5 来自于万福闸的分流比,1/5 来自于太平闸,且随着流量的增加金湾闸的分流比有稍微的减小,太平闸的分流比变化同理。

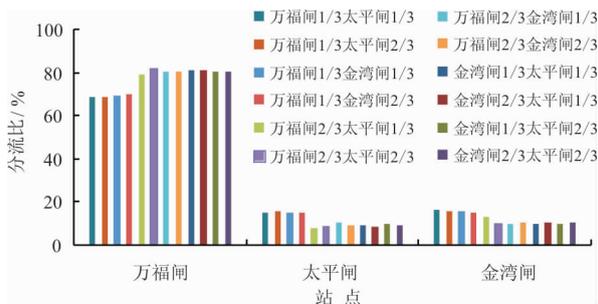


图 10 流量 2 000 m³/s 双闸控制分流比

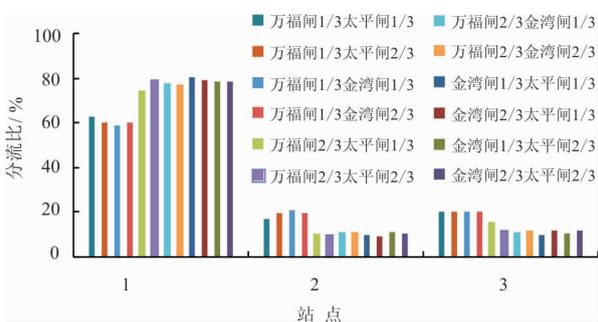


图 11 流量 4 000 m³/s 双闸控制分流比

通过图 7~9 与图 10~12,单闸控制与双闸控制的分流比柱状图比较可知,两种控制方式对于含主汉调节的分流比差别在于双闸控制的支汉分流比变化量,支汉通过调节产生的分流比变化量来自主汉河道。

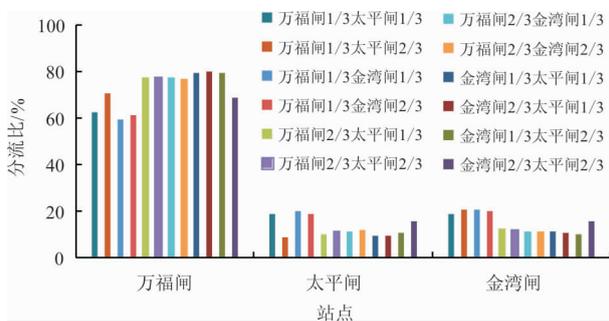


图 12 流量 6 000 m³/s 双闸控制分流比

在水量较为缺乏时,可将万福闸的闸门开度调小,保证淮河入江水道具有一定的水位,利于已建成的水产养殖及两岸的供水安全;当水量充沛时,应及时调高万福闸的闸门开度,防止支汉河道的产生严重冲刷,保证河道及两岸的财产安全。不适宜调节支汉河道的闸门开度,因为调节支汉河道对水流的

控制影响不大,且容易导致支汉的淤积或产生回流,不利于保持支汉河道的安全稳定。

6 结论与建议

根据试验数据和成果分析,得到以下结论和建议:

(1) 闸门无控制,总泄流量一定时,主汉河道水位高于支汉水位,支汉离主汉越远处水位越低,在不同下游水位下各分汉河道的分流比不变。总泄流量不同时,主汉河道分流比随着总泄流量增加而减小,两支汉河道分流比基本相同,随总泄流量增加而增加。

(2) 单闸控制,主汉河道闸门开度一定时,分流比随着总泄流量增加而减小,两支汉河道分流比基本相同,且随总泄流量增加而增加。支汉河道闸门开度调节影响本支汉河道分流比,分流比变化量来自主汉,不影响其他支汉河道分流比。

(3) 双闸控制,主汉河道和支汉河道闸门组合调节时,主汉分流比同单闸控制,支汉分流比变化量来自主汉,不影响其他支汉河道分流比。两个支汉河道闸门组合调节时,各自分流比变化量均来自主汉,两支汉分流比变化互不影响。

(4) 基于政府的组织行为、协调行为和监督行为与行洪移民区域后期扶持的工作研究表明:移民区域的大小与安全行洪区范围直接相关,分汉河道行洪的最佳分流比决定了行洪的安全与否。结合模型试验,最优闸门开度为主汉单闸控制 2/3 开度,最优分流比为 76%、12%、12%,在此分流比下行洪,将保持移民区域后期不扩大或缩小。

参考文献:

- [1] 殷卫国,孔凡伟,邓勇,等. 邗江区治淮工程移民安置方案与初设对比分析[J]. 治淮, 2016(4): 52-53.
- [2] 奚斌,黄才安,周济人,等. 苇草对河道过流影响的河工模型试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(5): 50-54.
- [3] 张瑾. 植被对河道水力特性影响的研究[D]. 扬州:扬州大学, 2011: 18-19.
- [4] 宋为威,仲召伟,施晓欢. 河工模型人工加糙的方法研究[J]. 水资源开发与管理, 2015(1): 69-72.
- [5] 陈长植,郑双凌,马吉明. 变态模型对水流运动相似的影响[J]. 水利水电技术, 2007, 38(4): 35-37.
- [6] 李昌华,金德春. 河工模型试验[M]. 北京:人民交通出版社, 1981.
- [7] Zhou Jie, Cheng Zeng. 3-D hybrid LES-RANS model for

- simulation of open-channel T-diversion flows [J]. *Water Science and Engineering*, 2009, 2(3): 13 - 26.
- [8] Zhang Ting, Xu Weilin, Wu Chao. Effect of discharge ratio on flow characteristics in 90° equal-width open-channel junction[J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2009, 21(4): 541 - 549.
- [9] Li C W, Zeng Chaoliu. 3D Numerical modelling of flow divisions at open channel junctions with or without vegetation [J]. *Advances in Water Resources*, 2009, 32(1): 49 - 60.
- [10] Rivière N, G Travin, R J Perkins. Subcritical open channel flows in four branch intersections[J], *Water Resour. Res.*, 2011, 47(10): 599 - 609.
- [11] Kamal El Kadi Abderrezzak, Leszek Lewicki, André Paquier, et al. Division of critical flow at three-branch open-channel intersection[J]. *Journal of Hydraulic Research*, 2011, 49(2): 231 - 238.
- [12] Thomas R E, Parsons D R, Sandbach S D, et al. An experimental study of discharge partitioning and flow structure at symmetrical bifurcations [J]. *Earth Surface Process & Landforms*, 2011, 36(15): 2069 - 2082.
- [13] Minoos Sharifipour, Hossein Bonakdari, Amir Hossein Zaji, et al. Numerical investigation of flow field and flowmeter accuracy in open-channel junctions[J]. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 2015, 9(1): 280 - 290.
- [14] Frizzell C S, Khan A A, Werth D E. Numerical simulation of equal and opposing subcritical flow junctions[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 134(2): 267 - 273.
- [15] Emmanuel Mignota, André Paquiera, Nicolas Rivière. Experimental and numerical modeling of symmetrical four-branch supercritical[J]. *Journal of Hydraulic Research*, 2008, 46(6): 723 - 738.
- [16] Du Qian, Tang Hongwu, Yuan Saiyu, et al. Predicting flow rate and sediment in bifurcated river branches[J]. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 2015, 169(4): 156 - 167.
- [17] Choi Gye-Woon, Kim Young-Kyu, Kim Gee-Hyoung. The variation of channel bed by location of pier near 90° channel junction[J]. *Journal of Korea Water Resources Association*, 2004, 37(9): 781 - 787.
- [18] Jana Kaushik, Sengupta D, Rudra K. Correction of bifurcated river flow measurements from historical data: Paving the way for the Teesta water sharing treaty[J]. *The Annals of Applied Statistics*, 2016, 10(3): 1757 - 1775.
- [19] J Mohammadzadeh-Habili, M Heidarpour, A Haghbi. Comparison the hydraulic characteristics of finite crest length weir with quarter-circular crested weir [J]. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2016(52): 77 - 82.

喜 讯

《水资源与水工程学报》被中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, 简称 CSCD)收录为 2017 - 2018 年度来源期刊。2017 年又被中国科学评价中心(RCCE)、武汉大学图书馆和中国科教评价网联合完成的第五版《中国学术期刊评价报告(2017 - 2018)》评价为 A 类核心期刊。