

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.02.012

赣江尾闾多级分汊河道分流影响因素及联动响应分析

周苏芬¹, 黄志文¹, 唐立模², 许新发¹

(1. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029;
2. 河海大学水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 基于赣江尾闾综合整治模型, 分析不同试验条件和工程措施下多级分汊河道分流特点, 探讨多级分汊河道联动响应规律。试验结果表明: 上游来流量、分汊口地形、洲头位置、支流进水口门地形及各支流水面比降对分汊口分流特性将产生不同程度的影响; 改变影响某一分汊口分流特性的影响因素, 除对该分汊口分流比有影响之外, 相邻分汊口将会产生联动响应, 使得相邻分汊口的分流特点发生改变。

关键词: 赣江尾闾; 多级分汊; 分流比; 联动响应

中图分类号: TV85 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2019)02-0163-07

Analysis on influencing factors of flow diversion ratio and linkage response of multistage bifurcations in the Ganjiang River

ZHOU Sufen¹, HUANG Zhiwen¹, TANG Limo², XU Xinfu¹

(1. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;
2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China)

Abstract: This study analyzed the influence of different test conditions and engineering measures on the distribution characteristics of multistage bifurcations based on the tail physical model of the Ganjiang River, and discussed the linkage responding law of multistage bifurcations. The results indicate that the distribution characteristics is influenced by discharge, branch mouth topography, position of the island head, entrance topography of branch and water surface slope at varying degrees. In addition, when an influence factor in a bifurcation is changed, the water diversion ratio in neighboring bifurcations will change, as well as other bifurcations, which is the linkage responding phenomenon.

Key words: the tail of Ganjiang River; multistage bifurcations; flow diversion ratio; linkage response

分汊河道在冲积河道中是一种常见的河流形态, 在水流泥沙作用下, 形成了不同形态的分汊河道, 按其汊道数目可分为单级双汊河道、单级多汊河道及多级分汊河道(图 1)。分汊河道由于其边界不规则、地形条件复杂及水力因数难以确定等特点, 导致分汊河道水沙运动特性受诸多因素影响。描述分汊河道特性的参数众多, 其中最重要的是分汊河道的分流比和分沙比。影响分汊口分流分沙的因数主要有分流角、分汊口形状、分汊口水力要素、各汊道地形变化、来水来沙条件等。唐洪武等^[1]研究了切嘴工程对李家沙水道分流比的影响, 建立了工程前后分流比与动量因子间的函数关系。杜德军等^[2]等通过模型试验分析自然条件下分流比的变化规律, 以及人为部分封堵左汊或右汊后对分流比的影响。杨婷等^[3]利用长江口南北槽全潮水文

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0405306); 江西省水利科技项目(201820YBKT05)

作者简介: 周苏芬(1989—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: 512595913@qq.com

引用本文: 周苏芬, 黄志文, 唐立模, 等. 赣江尾闾多级分汊河道分流影响因素及联动响应分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(2): 163-169.

ZHOU Sufen, HUANG Zhiwen, TANG Limo, et al. Analysis on influencing factors of flow diversion ratio and linkage response of multistage bifurcations in the Ganjiang River[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(2): 163-169.

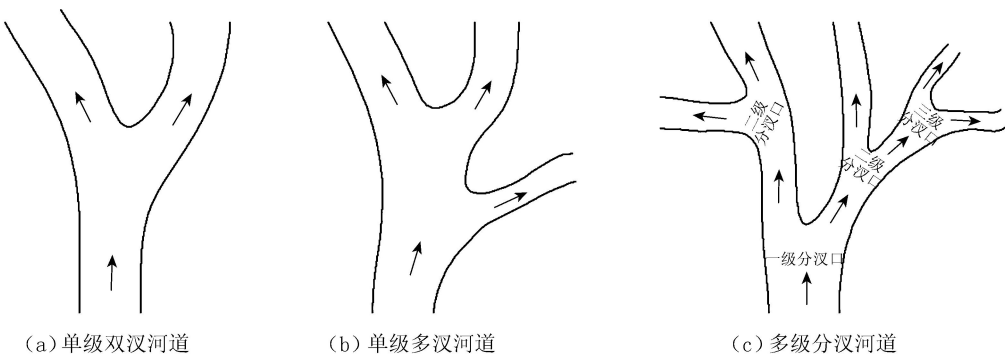


图1 不同类型分汉河道示意图

Fig.1 Sketch map of the bifurcated channel in different forms

泥沙测验数据分析南北槽分流、分沙特征。兰晓妮等^[4]对思贤滄水道分流比的影响因素进行详细研究,得出水位比、流量比与分流比的关系曲线。马腾飞^[5]利用二维水动力数学模型研究切咀、调整进口单宽流量、垫槽、改变出口边界水位等工程措施对东西支分流比的影响。徐锡荣等^[6]基于实测资料和二维数学模型研究了小黄洲演变对下游新济洲汉道段的影响,说明上游洲滩的演变将影响下游汉道的分流比。余文钧等^[7]利用实测资料分析了长江下游土桥分汉水道分流比的影响因素,认为流量过程变化是影响其分流比的主要因素。王金华等^[8]建立通州沙三维水沙数学模型对天然河段洪季和枯季水流条件的沿程分流、分沙比及滩槽过渡断面的水沙交换特征进行了分析。洪思远等^[9]通过分析历史及近年上游小黄洲汉道、下游新生洲汉道及新生洲洲头分流段的河床演变特征,揭示了上下2个汉道分流比变化及洲头冲淤、汉道兴衰的内在关联性,指出了洲头控制对汉道水动力变化及主汉演变的重要性。

赣江作为鄱阳湖水系的最大支流,其河道演变及水流特性一直受到高度关注。分流比是分汉河道特别关注的一个参数,分流比的大小和变化将直接决定分汉河道各支汉的兴衰,影响航道变迁,防洪布局等。李福田^[10]利用实测资料及模型试验,分析了赣江东西河分流比的变化规律,探讨了工程措施对东西河分流比的影响。陈界仁等^[11]利用赣江尾间实测资料分析了断面过水面积和水力比降对东西河分流比的影响。唐立模等^[12]通过实测资料分析了赣江东西河分流比与流量、水位、断面面积、比降等因素的关系,分析表明2003年以来,西河口门入流条件和汉道内下泄能力均比东河增加明显,导致了西河分流比在各级流量条件下均呈增大趋势。余雯等^[13]选用Delft3D建立了平面二维数学模型,对赣江南昌段工程整治后水位、断面流速分布、东西河分流比进行了模拟分析,结果表明在枯水和洪水条件下,工程整治对东西河分流比的调控作用不明显,东河疏浚工程有增大其过水能力的趋势。黄志文等^[14]通过实测资料及模型试验分析了赣江东西河分流比的变化规律。入湖尾间河道一般都呈现多级分汉的状态,分汉口的分流特性除受自身汉道口各种因素影响之外,相邻分汉口水力条件的改变也是影响因素之一,改变某一分汉口分流特性势必会影响该河段相邻分汉口水流条件。目前对赣江分汉河道分流特性的研究主要集中在东西河分流比变化,缺少对多级分汉口相互影响的研究。本文利用赣江尾间综合整治模型(图2),通过不同试验工况,分析多级分汉河道分流影响因素及联动响应规律,以为赣江尾间河道整治及发展提供技术依据。

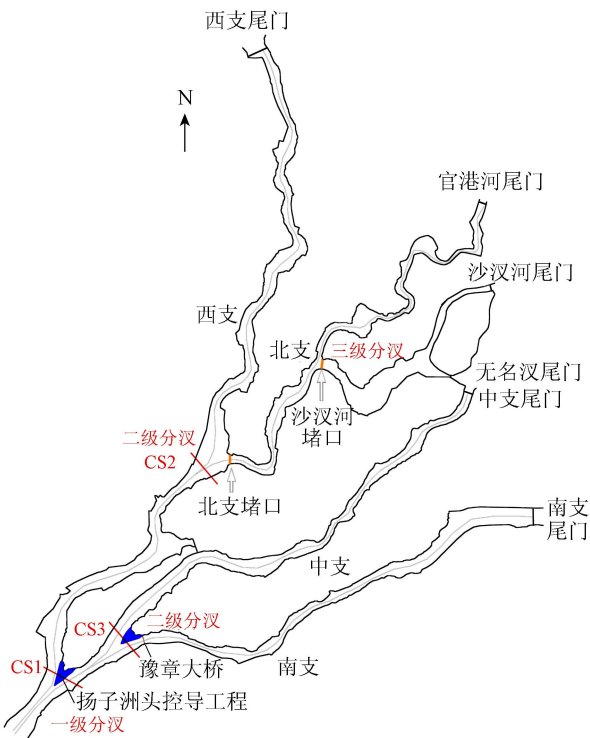


图2 赣江尾间综合整治模型示意图

Fig.2 Tail physical model of the Ganjiang River

1 模型介绍

赣江尾闾综合整治模型模拟范围:上起赣江外洲水文站,主支下至铁河口,北支下至官港河口,中支下至沙汊河口下游,南支下至三江口,全长约 54 km、宽度 36 km。采用 2013 年实测地形图制作,平面比尺为 1 : 300,垂直比 1 : 80,变率为 3.75,模型长度 180 m,宽度 125 m。利用洪中枯实测水面线资料对模型阻力相似进行验证,验证结果符合河工模型试验要求^[15-16]。利用已验证模型,研究流量、工程措施和水面比降对赣江尾闾河道分流的影响规律及各级分汊口的联动响应规律。

2 分流比影响因素及联动响应分析

2.1 流量对分汊口分流的影响

随着来流量的变化,分汊口主流位置发生变化,从而影响分汊口的分流特性。由图 3 可知(图中 Q 为外洲水文站流量):CS1 断面主流位置随着流量的增大逐渐向右岸偏移;CS2 断面主流位置随着流量增大稍向右岸偏移,但基本保持稳定;CS3 左槽主流位置随着流量增大逐渐向右岸偏移,右槽主流位置基本稳定。

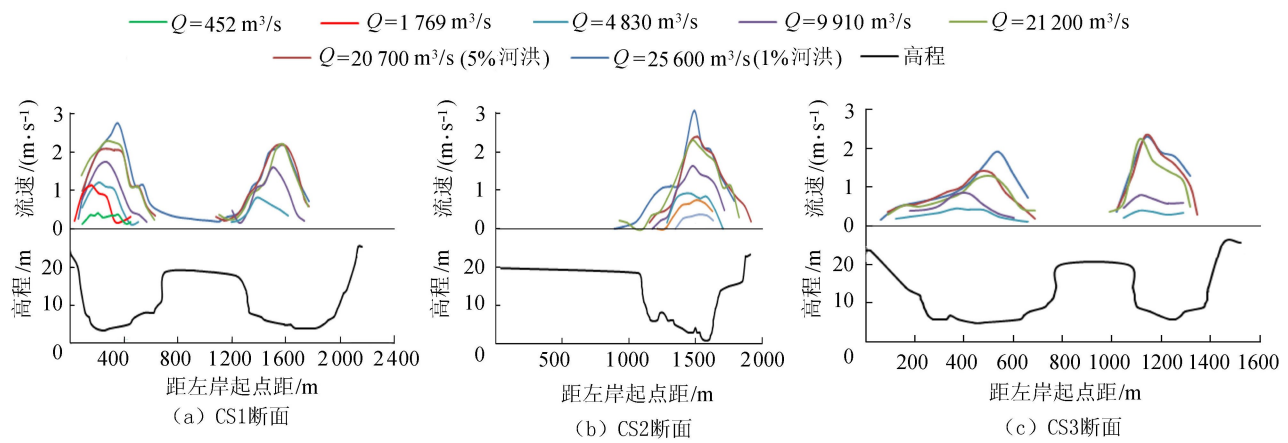


图 3 CS1 ~ CS3 断面流速分布
Fig.3 Velocity distribution of CS1, CS2, and CS3 sections

表 1 为不同流量下各支流分流比变化,定义分汊口相对分流比 $K_1 = Q_{\text{东河}}/Q_{\text{西河}}$ 、 $K_2 = Q_{\text{北支}}/Q_{\text{西支}}$ 、 $K_3 = Q_{\text{南支}}/Q_{\text{中支}}$, $Q_{\text{东河}}$ 、 $Q_{\text{西河}}$ 、 $Q_{\text{北支}}$ 、 $Q_{\text{西支}}$ 、 $Q_{\text{南支}}$ 、 $Q_{\text{中支}}$ 分别为各支汊分流量,相对分流比可以反映分汊口支流的主次地位。西河、西支分流比随着流量的增大而增大,东河、北支、中支、南支随着流量增大而减小。 K_1 随着流量的增大逐渐增大; K_2 随着流量的增大而增大,但增大幅度较小; K_3 随着流量增大先减小后增大。分析其原因:(a) K_1 随着流量增大而增大是由于 CS1 断面主流位置随着流量的增大而右移,使得东河分流量加大;当流量大于 $18\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时, $K_1 > 1$,东河逐渐占据主导地位。(b) K_2 变化幅度相对较小原因是 CS2 主流位置相对较稳定,西支、北支分流比例相对较稳定。(c)当流量为 $1\,796\text{ m}^3/\text{s}$ 时, K_3 较大的原因是东河分流量很小,

表 1 分流比与流量关系
Table 1 Flow diversion ratios under different discharges

$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	分流比/%						相对分流比		
	干流		西河		东河		K_1	K_2	K_3
	西河	东河	西支	北支	中支	南支			
25 600	47.46	52.54	36.18	11.28	27.58	24.96	1.11	0.31	0.91
21 200	48.55	51.45	36.97	11.58	27.40	24.05	1.06	0.31	0.88
20 700	48.80	51.20	37.24	11.56	27.39	23.81	1.05	0.31	0.87
9 910	53.77	46.23	44.58	9.19	25.90	20.33	0.86	0.21	0.78
4 830	57.99	42.01	51.44	6.55	24.90	17.11	0.72	0.13	0.69
1 796	92.76	7.24	92.76	0.00	1.99	5.24	0.08	0.00	2.63
452	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

水流主要在深槽内流动,而 CS2 断面至 CS3 断面之间河道的深槽靠近右岸,导致南支分流量远大于中支分流量;随着流量增大,东河主流范围扩大,中支分流量逐渐增大,南支分流量减小, K_3 逐渐减小;当流量达到 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 左右时, K_3 随着流量增大而小幅度增大主要是 CS3 断面左槽主流位置稍向右岸偏移,增大了南支的分流量。此外,流量小于 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,相对分流比随流量变化比较明显是因为此时东西河分流点在裘家洲头附近;当流量大于或等于 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,裘家洲被水流淹没,分流点逐渐下移至扬子洲头^[10]。

2.2 多级分汊联动响应分析

尾闾河道一般都存在多级分汊现象,改变某一分汊口分流比必定会影响该河段相邻分汊口的水流条件。文中东河、西河为一级支流,东西河分汊为一级分汊;西支、北支、中支、南支为二级支流,西北支分汊和中南支分汊为二级分汊;沙汊河、官港河为三级支流,沙汊和官港分汊为三级分汊。分汊河道分流比特点除受流量影响外,分汊口洲头位置、断面地形、水面比降等也是影响分流的重要因素。通过改变扬子洲头位置(将扬子洲头分别向东河、西河偏移 5°)、封堵北支和沙汊河、豫章大桥处疏浚、调节支流水面比降等措施分别研究洲头位置、支汊封堵、支流进水口门地形及水面比降对分流的影响,探讨各工况条件下分汊口分流比联动响应规律。

2.2.1 洲头位置对分流比影响的联动响应特征

扬子洲头位于东西河一级分汊口,通过工程措施将扬子洲头分别向东河、西河偏移 5° ,探讨洲头位置对分流特性的影响效果,试验成果见表 2。扬子洲头向东、西偏移首先对一级分汊口的分流比产生影响。向东河偏移 5° ,西河分流比增大,东河分流比减小;向西河偏移 5° ,西河分流比减小,东河分流比增大。扬子洲头位置改变后除对东西河分流比有影响以外,西支、北支、中支、南支分流比都发生了不同程度的变化。图 4(a) 为由洲头位置改变引起的西河分流比改变对其他各支流分流比的影响,由图可知,西河分流比变化后,其余各级支流分流比产生了联动响应,西支分流比变化值与西河分流比变化值呈现正相关关系,北支、东河、中支、南支流分流比变化值都与西河分流比变化值呈负相关关系。

表 2 不同工况分流比

Table 2 Flow diversion ratios under different measures

$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	工程措施	分流比/%					
		干流		西河		东河	
		西河	东河	西支	北支	中支	南支
25 600 (1% 河洪)	工程前	47.46	52.54	36.18	11.28	27.58	24.96
	扬子洲头东偏 5°	+0.26	-0.26	+0.01	+0.25	-0.04	-0.22
	扬子洲头西偏 5°	-0.88	+0.88	-1.87	+0.99	+0.31	+0.57
	堵北支	-5.01	+5.01	+6.27	-11.28	+3.80	+1.21
	堵沙汊	-1.77	+1.77	+2.22	-3.99	+2.18	-0.41
	豫章大桥处疏浚	-0.97	+0.97	+0.13	-1.10	-0.31	+1.28
20 700 (5% 河洪)	工程前	48.80	51.20	37.24	11.56	27.39	23.81
	扬子洲头东偏 5°	+0.37	-0.37	+0.07	+0.30	-0.13	-0.24
	扬子洲头西偏 5°	-1.10	+1.10	-1.36	+0.26	+0.18	+0.92
	堵北支	-4.86	+4.86	+6.70	-11.56	+3.68	+1.18
	豫章大桥处疏浚	-0.89	+0.89	+0.15	-1.04	-0.74	+1.63
9 910	工程前	53.77	46.23	44.58	9.19	25.90	20.33
	扬子洲头东偏 5°	+0.83	-0.83	+0.52	+0.31	-0.13	-0.24
	扬子洲头西偏 5°	-0.41	+0.41	-1.42	+1.01	+0.01	+0.40
	豫章大桥处疏浚	-1.88	+1.88	-1.54	-0.34	-0.97	+2.85

注:“+”和“-”分别为工程后相对于工程前增加或减小的分流比数值。

2.2.2 支汊封堵对分流影响的联动响应特征

北支封堵后,北支不再过流,使得西河过流能力降低,在 1% 河洪和 5% 河洪西河分流比分别减小了 5.01%、4.86%;原北支下泄流量主要通过西支下泄,西支分流比明显增大,分别增大了 6.27%、6.70%(表 2);由于东河分流比增大,中支、南支分流比同时增大;此外,封堵北支对分流影响随着流量增大而增大。沙汊河封堵对分流比及相对分流比的影响规律与北支封堵类似,但影响幅度相对较小。北支分流比减小后,各级支流分流比进行了联动响应,西河分流比相应减小,其余各级支流分流比都相应增大。

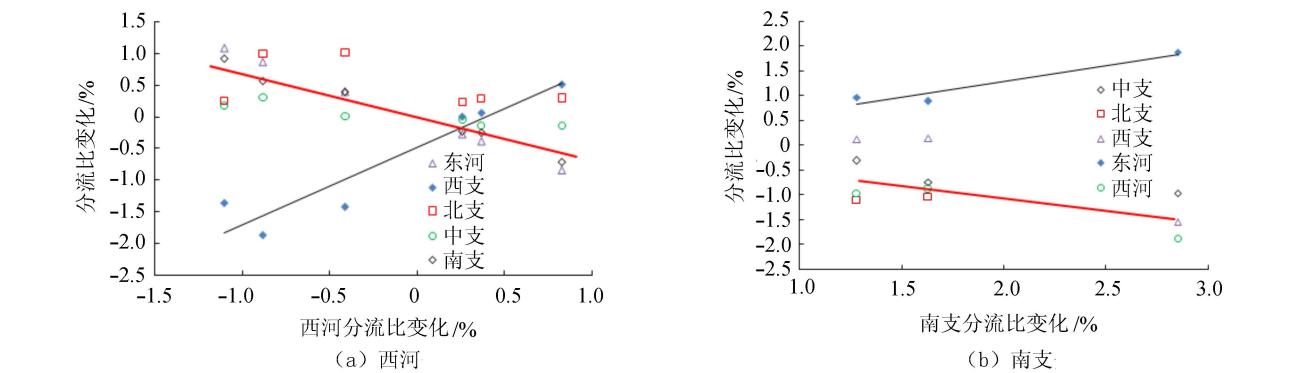


图 4 某支分流比对其余各支分流比的影响

Fig.4 Flow diversion ratios of other bifurcations affected by one bifurcation

2.2.3 分汊口地形对分流影响的联动响应特征

豫章大桥附近断面由于淤积造成该处地形较高,通过疏浚降低地形高程,从而增加南支的过流能力。疏浚后南支分流量增大,不同流量下相对于工程前分流比分别增加了 1.28%、1.63%、2.85%,相较工程前增加的幅度分别为 5.13%、6.85%、14.02%(表 2)。南支分流比变化对各支分流比影响如图 4(b) 所示,随着南支分流比逐渐增大,东河分流比逐渐增大,西河、中支、北支、西支分流比都逐渐减小。

2.2.4 水面比降对分流影响的联动响应特征

赣江尾闾河道为入湖河道,其水位、水面比降等水力特性在一定程度上受鄱阳湖水位变化影响,而水位和水面比降也是影响分流比特性的一个因子。模型试验通过调节尾门来改变支流水面比降,模拟不同鄱阳湖水位条件下赣江尾闾各级分汊口的分流特性,研究水面比降对分汊口分流特性的影响,试验工况如表 3 所示,分流比变化值见表 4。

表 3 试验工况

Table 3 Test conditions

工况	$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	入湖水位变化位置	水位变化/m
单支入湖	4830	西支	0、±0.2、±0.5、±1.0
水位变化	9910	中支	0、±0.2、±0.5、±1.0
	25600(1%河洪)	南支	0、0.2、0.5、1.0

由表 4 可知,西支尾门逐渐抬高使得西支水面比降逐渐减小,西支分流比逐渐减小,西河分流比减小,而东河、北支、中支、南支分流比逐渐增大。中支尾门逐渐抬高使得中支水面比降逐渐减小,中支分流比逐渐减小,东河分流比减小,而西河、西支、北支、南支分流比逐渐增大。南支尾门逐渐抬高使得南支水面比降逐渐减小,南支分流比逐渐减小,东河分流比减小,而西河、西支、北支、南支分流比逐渐增大。此外,随着流量减小,各工况下的各支流分流比增加或减少的数值增大,说明分流比对面比降改变的敏感性随着流量减小而加大。由图 5 可知,当西支分流比变化时,其余各级支流分流比都发生变化,西河与西支分流比变化呈正相关,北支、东河、中支、南支都与西支分流比变化负相关;当中支、南支分流比变化时,除东河分流比变化与其变化呈正相关,其余各级支流分流比变化都与其呈负相关关系。结合支汊封堵及豫章大桥疏浚后,各级支流分流比联动响应特征可发现:改变某二级支流分流比时,该二级支流所在一级支流分流比变化值与该二级支流分流比变化值呈正相关关系,其余各级支流与该二级支流分流比变化值呈负相关关系。

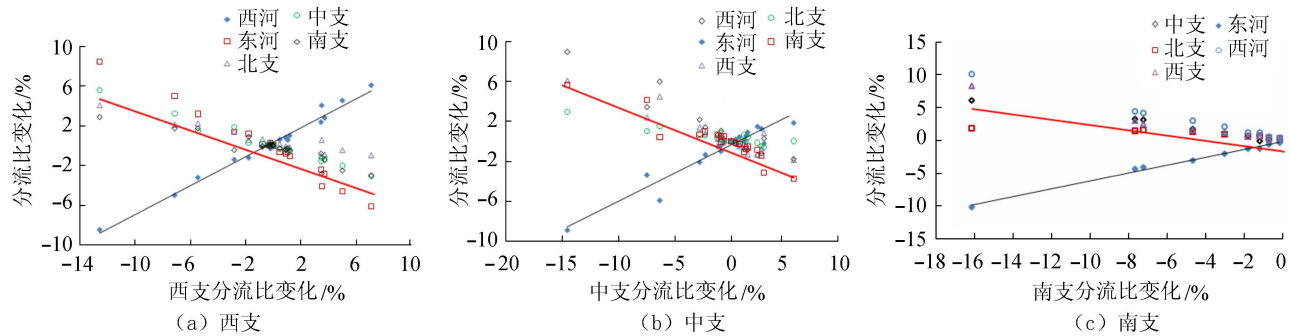


图 5 西支、中支、南支分流比对各支分流比影响

Fig.5 Flow diversion ratios affected by western, middle and southern bifurcations

表4 不同水面比降下分流比变化

Table 4 Change of flow diversion ratios at different water surface slopes

变化位置	变化值/m	分流比变化/%								
		西河			东河			西支		
		$Q=25\,600\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=9\,910\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=4\,830\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=25\,600\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=9\,910\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=4\,830\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=25\,600\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=9\,910\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=4\,830\text{ m}^3/\text{s}$
西支尾门	-1.0	0.59	2.39	6.11	-0.59	-2.39	-6.11	1.06	3.47	7.10
	-0.5	0.81	2.82	4.57	-0.81	-2.82	-4.57	0.91	3.73	5.02
	-0.2	0.63	1.04	4.08	-0.63	-1.04	-4.08	0.48	1.20	3.52
	0.2	-0.07	-0.12	-1.39	0.07	0.12	1.39	-0.21	-0.77	-2.82
	0.5	-0.04	-1.21	5.00	0.04	1.21	5.00	-0.33	-1.77	-7.12
	1.0	-0.26	-3.20	-8.47	0.26	3.20	8.47	-0.18	-5.45	-12.55
中支尾门	-1.0	-0.53	-1.24	-1.83	0.53	1.24	1.83	-0.51	-0.71	-1.85
	-0.5	-0.43	-1.46	0.24	0.43	1.46	-0.24	-0.47	-1.31	0.83
	-0.2	-0.18	-0.89	-0.03	0.18	0.89	0.03	0.10	-1.30	-0.63
	0.2	0.15	0.57	2.13	-0.15	-0.57	-2.13	0.26	0.23	1.39
	0.5	0.46	1.02	5.96	-0.46	-1.02	-5.96	0.23	0.19	4.45
	1.0	1.37	3.4	8.93	-1.37	-3.4	-8.93	0.78	2.38	6.03
南支尾门	0.2	0.39	1.27	3.00	-0.39	-1.27	-3.00	0.12	0.63	1.63
	0.5	0.61	2.06	4.40	-0.61	-2.06	-4.40	0.17	1.17	2.96
	1.0	1.19	4.12	10.09	-1.19	-4.12	-10.09	0.56	2.49	8.29

变化位置	变化值/m	分流比变化/%								
		北支			中支			南支		
		$Q=25\,600\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=9\,910\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=4\,830\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=25\,600\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=9\,910\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=4\,830\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=25\,600\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=9\,910\text{ m}^3/\text{s}$	$Q=4\,830\text{ m}^3/\text{s}$
西支尾门	-1.0	-0.47	-1.07	-0.99	-0.30	-1.57	-3.07	-0.29	-0.82	-3.05
	-0.5	-0.10	-0.91	-0.45	-0.41	-1.37	-2.03	-0.40	-1.46	-2.55
	-0.2	0.15	-0.17	0.56	-0.33	-0.52	-1.21	-0.30	-0.52	-2.88
	0.2	0.14	0.65	1.43	0.16	0.17	1.85	-0.09	-0.05	-0.47
	0.5	0.29	0.56	2.13	0.02	0.32	3.25	0.02	0.88	1.74
	1.0	-0.08	2.25	4.08	0.14	1.46	5.56	0.13	1.74	2.90
中支尾门	-1.0	-0.02	-0.53	0.03	1.31	2.69	5.55	-0.78	-1.45	-3.74
	-0.5	0.04	-0.15	-0.59	0.74	2.34	2.92	-0.30	-0.88	-3.17
	-0.2	-0.28	0.41	0.60	0.40	1.47	1.16	-0.22	-0.58	-1.14
	0.2	-0.11	0.34	0.74	-0.64	-1.20	-2.81	0.49	0.63	0.67
	0.5	0.23	0.82	1.50	-0.95	-0.90	-6.36	0.49	-0.12	0.39
	1.0	0.58	1.01	2.90	-2.31	-7.50	-14.57	0.94	4.10	5.64
南支尾门	0.2	0.28	0.64	1.37	-0.22	-0.04	1.69	-0.17	-1.23	-4.69
	0.5	0.43	0.89	1.45	0.14	0.97	3.29	-0.75	-3.04	-7.70
	1.0	0.62	1.63	1.81	0.65	3.12	6.04	-1.84	-7.24	-16.14

注：“+”和“-”分别为尾门水位变化后相对于尾门水位不变增加或减小的分流比数值。

3 结 论

- a. 上游来流量、分汉口地形、分汉口洲头位置、支流进水口门地形及水面比降都会影响分汉口分流特点,改变这些因素会不同程度地影响分汉口的分流比。
- b. 主流位置随着流量的变化产生改变,从而影响分汉口分流特性;赣江尾闾河道中西河、西支分流比随着流量的增大而增大,东河、北支、中支、南支分流比随着流量增大而减小;除南支/中支外,东河/西河、北支/西支相对分流比随着流量的增大而基本增大。
- c. 某一分汉口分流影响因素变化,除对该分汉口分流比有影响之外,相邻分汉口将会产生联动响应,使得相邻分汉口的分流特点发生改变。改变一级支流西河分流比时,西支分流比的变化与西河分流比的变化呈正相关关系,其余各级支流与西河分流比变化呈负相关关系。而改变某二级支流分流比时,该二级支流所在一级支流分流比变化与该二级支流分流比变化呈正相关关系,其余各级支流与该二级支流分流比变化呈负相关关系。

参考文献:

[1] 唐洪武,肖洋,李福田,等. 李家沙水道切嘴工程对其分流比的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2003,31(2):128-131. (TANG Hongwu, XIAO Yang, LI Futian, et al. Effect of mouth-cutting project at Lijiasha on diversion ratio [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2003,31(2):128-131. (in Chinese))

[2] 杜德军,夏云峰,吴道文,等. 汉道分流比变化对安庆长江二桥影响试验研究[C]//佚名. 第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京:中国海洋出版社,2011:1313-1316.

[3] 杨婷,陶建峰,刘桂平,等. 整治工程后长江口南北槽的分流分沙季节特征[J]. 河海大学学报(自然科学版),2012,40(3):338-343. (YANG Ting, TAO Jianfeng, LIU Guiping, et al. Seasonal characteristics of flow suspended sediment diversion in south and north channels of Yangtze estuary after implementation of regulation project [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2012,40(3):338-343. (in Chinese))

[4] 兰晓妮,王峰. 广东省三水县市贤浔水道分流影响因素分析[J]. 吉林水利,2011(3):26-30. (LAN Xiaoni, WANG Feng. Analysis of the factors affecting diversion flow in Sanshui City, Guangdong Province [J]. Jilin Water Resources, 2011(3):26-30. (in Chinese))

[5] 马腾飞. 长河环航道整治对分流比影响及控制数值研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2013.

[6] 徐锡荣,钟凯,白金霞. 长江小黄龙洲演变对下游汉道分流特性的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2014,42(3):211-216. (XU Xirong, ZHONG Kai, BAI Jinxia. Influence of evolution of Xiaohuangzhou bifurcated reach on flow-dividing characteristics of downstream bifurcated reaches of Yangtze River [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2014, 42(3):211-216. (in Chinese))

[7] 余文钧,李义天,韩剑桥. 长江下游土桥分汊水道分流比的影响因素及发展趋势[J]. 水电能源科学,2015,33(5):69-72. (YU Wenjun, LI Yitian, HAN Jianqiao. Influencing factors of split ratio and development trend of Tuqiao braided channel in lower resches of Yangtze River [J]. Water Resources and Power, 2015,33(5):69-72. (in Chinese))

[8] 王金华,闻云呈,章卫胜. 不同水文条件下通州沙河段沿程分流分沙特征[J]. 水利水运工程学报,2017(3):1-7. (WANG Jinhua, WEN Yuncheng, ZHANG Weisheng. Water-sediment diversion ratio along Tongzhousha shoal reach under different hydrological conditions [J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(3):1-7. (in Chinese))

[9] 洪思远,王建中,范红霞,等. 长江下游新生洲洲头分流段演变特征及洲头守护措施[J]. 水利水运工程学报,2017(2):91-99. (HONG Siyuan, WANG Jianzhong, FAN Hongxia, et al. Evolution characteristics and protection measures for diversion section of Xinshengzhou shoal head in lower Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(2):91-99. (in Chinese))

[10] 李福田. 赣江下游多支汊河道整治工程对分流比的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),1990,18(5):85-92. (LI Futian. Effect of river regulating works downstream of Ganjiang River on braided discharge ratio [J]. Journal of Hohai University (Natural Science),1990,18(5):85-92. (in Chinese))

[11] 陈界仁,张婧,罗春,等. 赣江下游东西河分流比变化分析[J]. 人民长江,2010,41(6):40-42. (CHEN Jieren, ZHANG Jing, LUO Chun, et al. Analysis on diversion ratio for downstream of Ganjiang River [J]. Yangtze River, 2010,41(6):40-42. (in Chinese))

[12] 唐立模,肖洋,周洪都,等. 赣江东西河分流比影响因素研究[J]. 水利水运工程学报,2011(4):64-68. (TANG Limo, XIAO Yang, ZHOU Hongdu, et al. Research on the effect factors of flow diversion ratio in Ganjiang River [J]. Hydro-Science and Engineering,2011(4):64-68. (in Chinese))

[13] 余雯,陈界仁. 赣江南昌段东西河工程整治前后分流比变化研究[J]. 人民长江,2012,43(3):16-19. (YU Wen, CHEN Jieren. Research on diversion ratio of Nanchang reach of Ganjiang River after its regulation [J]. Yangtze River, 2012,43(3):16-19. (in Chinese))

[14] 黄志文,许新发,唐立模,等. 赣江入鄱阳湖尾闾东西河分流比变化规律分析[J]. 人民长江,2017,48(24):26-30. (HUANG Zhiwen, XU Xinfu, TANG Limo, et al. Analysis on variation of flow diversion ratio at tail-streams of Gangjiang River [J]. Yangtze River, 2017,48(24):26-30. (in Chinese))

[15] 周苏芬,邵仁建,陈斌,等. 赣江入鄱阳湖北支封堵对尾闾河网水流特性影响试验研究[J]. 水利与建筑工程学报,2017,15(4):79-84. (ZHOU Sufen, SHAO Renjian, CHEN Bin, et al. Impacts of the north branch plugging on flow characteristic in tail channel of Ganjiang River caused [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2017,15(4):79-84. (in Chinese))

[16] 欧阳千林,王婧,司武卫,等. 鄱阳湖入江水道冲淤变化特征[J]. 水资源保护,2018,34(6):60-64. (OUYANG Qianlin, WANG Jing, SI Wuwei, et al. Characteristics of scouring and deposit change in waterway of Poyang Lake to Yangtze River[J]. Water Resources Protection,2018,34(6):60-64. (in Chinese))