

# 新沂河口分流比影响因素数值模拟

吕大为, 周亚军, 张孟颖, 夏 季

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127)

**摘要:**新沂河海口枢纽工程是新沂河洪水入海口门段的控制建筑物,通过开挖南、中、北深泓并分别建控制闸,形成3滩2泓联合行洪的总体布局。依据行洪监测资料,3个深泓的实际分流比与设计分流比发生较大变化,上游部分河段最高水位超过历史最高水位。为探究深泓分流比改变的原因,依据2019年8月行洪监测资料,开展新沂河口分流比影响因素数值模拟研究,得到结论:鱼嘴上游开挖方案可以一定程度上缓解南、北泓的行洪压力,但与中泓闸下引河开挖方案相比,其优先级较低。通过方案3可以看出,鱼嘴开挖对分流比的影响应建立于下游引河开挖的基础上。中泓闸下引河淤积是行洪能力不足的主要原因。

**关键词:**分流比;数值模拟;深泓开挖;新沂河口

**中图分类号:**TV671 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2020)07-0028-05

## Numerical simulation of the influencing factors of diversion ratio in Xinyi estuary

LV Dawei, ZHOU Yajun, ZHANG Mengying, XIA Ji

(Jiangsu Provincial Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Yangzhou 225127, China)

**Abstract:** The Xinyi River Haikou Junction Project is the control structure of the Xinyi River flood inlet gate section. By excavating the south, middle and north thalwegs and constructing control gates separately, the overall layout of the 3 floods and 2 thalwegs joint flooding was formed. According to the flood discharge monitoring data, the actual diversion ratio and the design diversion ratio of the three deep reaches changed greatly, and the highest water level in the upper reaches exceeded the highest history water level. In order to explore the reasons for the change in the diversion ratio, based on the flood monitoring data in August 2019, a numerical simulation study was conducted on the influencing factors of the diversion ratio of Xinyi estuary, and concluded that the upstream excavation scheme of Yuzui could relieve the flood discharge pressure of the south and north thalweg to a certain extent. However, compared with scheme of middle thalweg sluice diversion project, the priority was lower. It could be seen from scheme 3 that the influence of Yuzui excavation on diversion ratio was established on the basis of downstream diversion excavation. The siltation of the river leading to the middle thalweg sluice was the main reason for insufficient flood discharge capacity.

**Key words:** diversion ratio; numerical simulation; thalweg excavation; Xinyi estuary

新沂河海口枢纽工程是淮河流域沂沭泗水系沿线的重要水利工程之一,承担着排泄沂沭泗流域洪水以及分泄淮河洪水等任务。依据洪大林等<sup>[1]</sup>物理模型试验研究,在一期工程的基础上开挖中深

泓、扩建中深泓18孔闸,从而将海口闸的运行模式从泓滩联合行洪转变为泓道行洪。工程主要建筑物为3座深泓闸和2座浅滩橡胶坝,设计标准50年一遇,设计流量7 800 m<sup>3</sup>/s,南、中、北深泓闸设计流

收稿日期:2020-03-24

作者简介:吕大为(1986—),男,工程师,本科,主要从事水工建筑物结构设计研究工作。E-mail:39367856@qq.com

量分别为  $2\,425\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3\,348\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\,027\text{ m}^3/\text{s}$ 。

2019年8月,沂沭泗流域大部分地区普降大暴雨,局地特大暴雨,其中沂河临沂以上区间降水量为1974年以来最大降水量。本次强降雨导致沂沭泗地区发生了较大洪水,新沂河实测排洪最大流量达  $5\,480\text{ m}^3/\text{s}$ ,为建闸后历史最大泄洪量。后进入相对平稳阶段,过闸行洪流量维持在  $4\,500\text{ m}^3/\text{s}$  左右。

根据2019年8月行洪监测资料,实际分流比与设计分流比发生较大变化,中泓行洪能力严重不足,新沂河沭阳段沭阳闸(下游)、沭新闸(上游)、沭阳等站点水位均超过了历史最高水位。在多次行洪后,分流鱼嘴、闸上引河及闸下港道在水流作用下产生冲刷或淤积,现状断面与设计断面发生较大变化。分流比改变原因的探究是新沂河口下一步治理重要理论依据。

陈界仁等<sup>[2]</sup>依据分流比计算原理,结合实测资料,研究了断面过水面积和水力比降两个因素对分流比的影响;张玮等<sup>[3]</sup>利用一二维耦合潮流数学模型,计算了不同整治方案实施前后的汉道分流比,分析了工程对河段的影响;高敏等<sup>[4]</sup>分析了长江口北槽治理工程对其分流比改变的原因,及预测了分流比变化的未来趋势;董德化等<sup>[5]</sup>分析了“98·6”洪水时珠江三角洲局部河段洪水水位异常壅高的原因,阐述了河道分流比变化的影响,简介了珠江河口导航线规划制定过程;李义天等<sup>[6]</sup>依据多年实测资料,分析了三口分流比变化的原因,得到了影响三口分流最主要的因素是荆江河段水位变化以及三口分流洪道冲淤变化;杨胜发等<sup>[7]</sup>通过模型试验,讨论了过水断面面积、分流角及上游工程等因素对汉道分流比的影响。综上所述,对于多因素、复杂情况下的分流比变化原因研究较少。本文依据冲刷前后地形勘测资料及行洪实测资料,开展分流比影响因素的数值模拟研究。

## 1 计算模型及数值模拟

### 1.1 计算原理

本文基于 MIKE-21 水动力模型,建立了新沂河口平面二维水流数学模型。

二维洪水演进模型是在二维浅水动力学的计算方法的基础上构建的。MIKE-21 软件在模拟城市洪水二维漫流过程中可以真实地模拟出水面在道路、小区、绿地、河道等不同地形状况下漫流过程。模拟结果以数据、表格、图像、动画等形式输

出,内容包括:洪水水量的空间分布、淹没范围、淹没水深、淹没历时。

二维水动力学模型的控制方程如下所示:

连续方程:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gH \frac{\partial Z}{\partial x} + g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gH \frac{\partial Z}{\partial y} + g \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{1/3}} = 0 \quad (3)$$

式中: $H$  为水深; $B$  为地面高程; $Z$  为水位, $Z = H + B$ ; $M$ 、 $N$  分别为  $x$ 、 $y$  方向的单宽流量; $u$ 、 $v$  分别为  $x$ 、 $y$  方向上的流速分量; $n$  为糙率系数; $g$  为重力加速度; $q$  为源汇项。方程没有考虑科氏力和紊动项的影响。

### 1.2 数值模拟范围

依据河段具体情况,取  $138+000 \sim$  灌河边界为模型上下边界,两侧河堤为模型的左右边界,河道长度约  $8\text{ km}$ 。模型计算范围见图1。

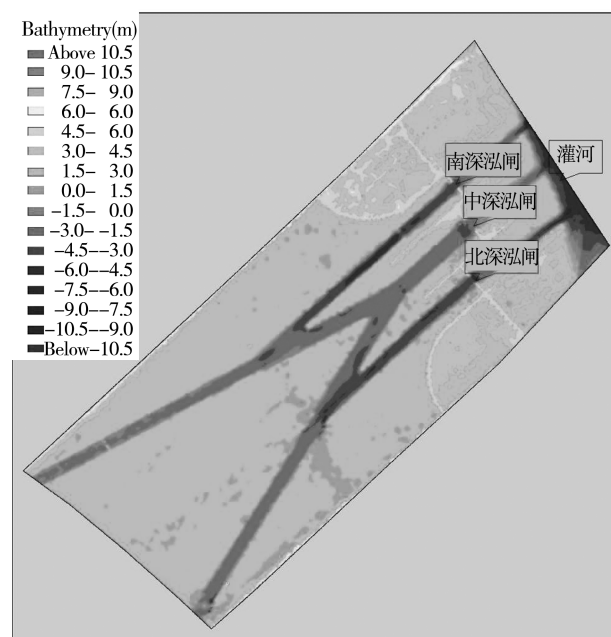


图1 模型计算范围图

### 1.3 边界条件

本次计算根据下游灌河潮汐水位特征值等资料,分析得出灌河概化的实际控制水位为:下游高水位  $4.00\text{ m}$ ;下游中水位  $0.88\text{ m}$ ;下游低水位  $-2.15\text{ m}$ 。

本次计算主要研究在高水位下深泓的过流能力,因此下游控制水位取 4.00 m。上游边界为 50 年一遇洪水  $7\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 。

#### 1.4 模型率定

依据 2019 年 8 月行洪监测资料对模型的分流比、水位进行验证,模型率定以糙率系数为基本率定参数。模型率定结果为:深泓糙率为 0.020,闸上滩地为 0.030,闸下滩地为 0.040。

## 2 结果分析

### 2.1 计算模型的验证

模型相关参数为:现状地形,上游流量  $5\,480\text{ m}^3/\text{s}$ ,下游水位 1.67 m。该工况与 2019 年 8 月行洪监测资料的上下边界条件一致,通过将计算结果与实测结果进行比较,从而验证模型的可靠性。计算结果见表 1。

表 1 率定工况分流比计算结果

位置	设计流量		计算结果	
	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %
北深泓	1671	30.49	1612	29.77
中深泓	1962	35.80	1927	35.59
南深泓	1847	33.70	1875	34.63

从表 1 可以看出,计算结果与实测结果差别较小,差别最大的北深泓流量计算结果与实测结果误差仅为 3.53%,考虑到实测数据也存在一定的误差,因此该数值模型能够在一定程度上模拟各深泓的过流情况。

### 2.2 现状地形下的计算结果

本次计算模型采用的地形可分为行洪前地形与行洪后地形,行洪前后模型内地形变化情况见图 2~3。

由图 2~3 可以看出,现状河道断面与设计河道断面出入较大。分流鱼嘴处偏向南、北泓方向河底高程较低,中泓方向河底高程较高。中深泓闸上引河河底高程较高,中深泓闸下泓道淤积也较严重。2019 年 8 月行洪冲刷后,3 条深泓闸下引河均有不同程度的冲刷,北泓河底冲刷最为显著,南泓河底冲刷程度稍弱,中泓下游河底高程变化也较大。模型其他位置高程在冲刷后变化很小。

模型边界条件均为上游流量为 50 年一遇洪水

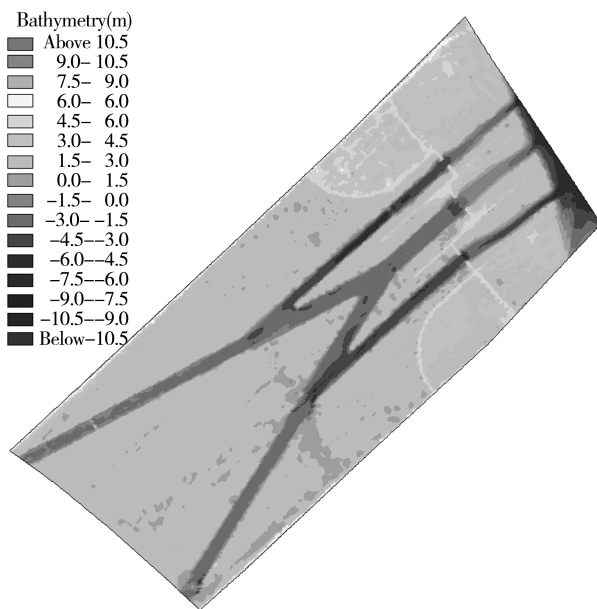


图 2 行洪前地形图

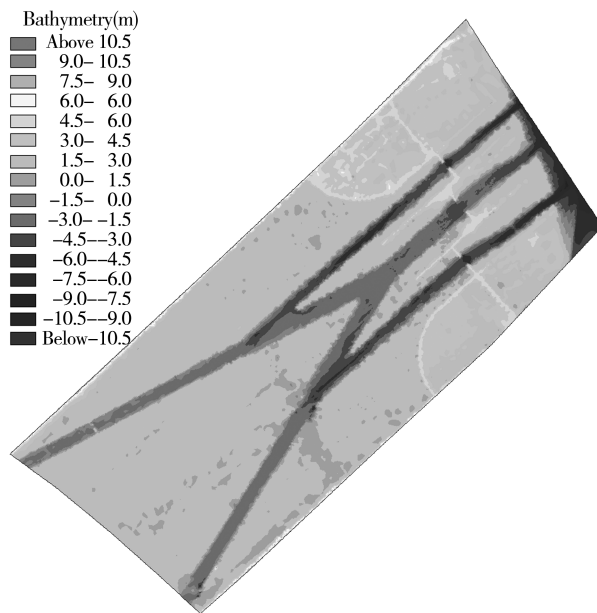


图 3 行洪后地形图

$7\,800\text{ m}^3/\text{s}$ ,下游潮位 4.00 m。该工况用于在现状地形、设计流量、下游高潮位的条件下,校核各深泓的分流比及控制断面的水位。冲刷前后分流比计算结果见表 2。

由表 2 可以看出现状分流比与设计分流比存在较大偏差,北深泓及南深泓流量均超过设计流量,中深泓过流能力与设计流量相比严重不足。冲刷后中深泓的分流比有所增加,南泓和北泓的分流比相应减少,中深泓的过流能力增强。但中泓分流比与设计分流比相比差距仍较大。冲刷前后,模型内各点水位情况见图 4、图 5。

表 2 冲刷前后分流比计算结果

位置	冲刷前		冲刷后		设计流量	
	流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/%	流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/%	流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/%
北深泓	2315	29.85	2229	28.62	2027	25.99
中深泓	2915	37.59	3076	39.49	3348	42.92
南深泓	2525	32.56	2484	31.89	2425	31.09

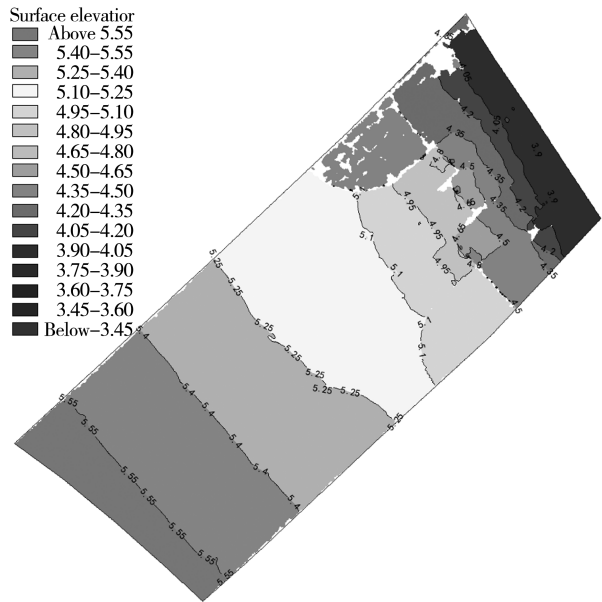


图 4 冲刷前模型内水位图

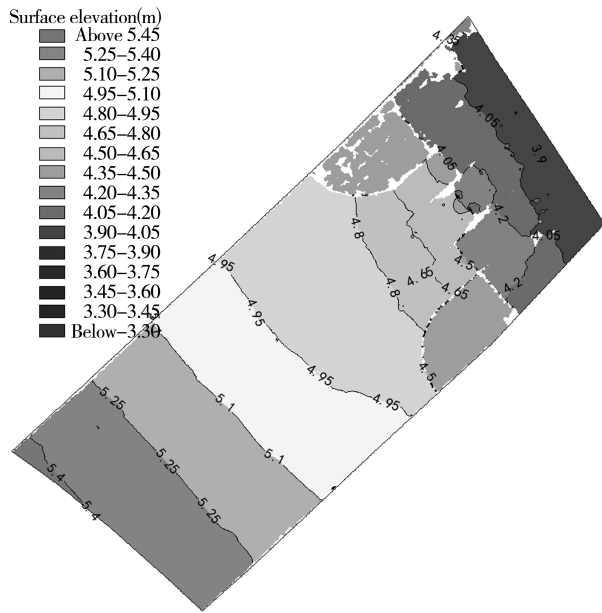


图 5 冲刷后模型内水位图

冲刷前控制断面 141 + 000 水位为 5.28 m, 不满足设计控制水位 5.12 m 要求。冲刷后控制断面 141 + 000 水位值为 4.99 m, 满足设计控制水位

5.12 m 要求。可以看出, 闸下引河的冲刷有效的降低了控制断面的水位。

2.3 模拟地形下的计算结果

为探究分流口、闸上下游引河河底高程对分流比的影响, 设定 3 个方案对比分析影响分流比的因素。

方案 1: 对南、北分流鱼嘴上游 200 m 至 3 个节制闸段开挖到 -5.0 m 高程, 即开挖鱼嘴处及闸上引河。上下游边界条件保持不变。开挖后模型内地形见图 6。

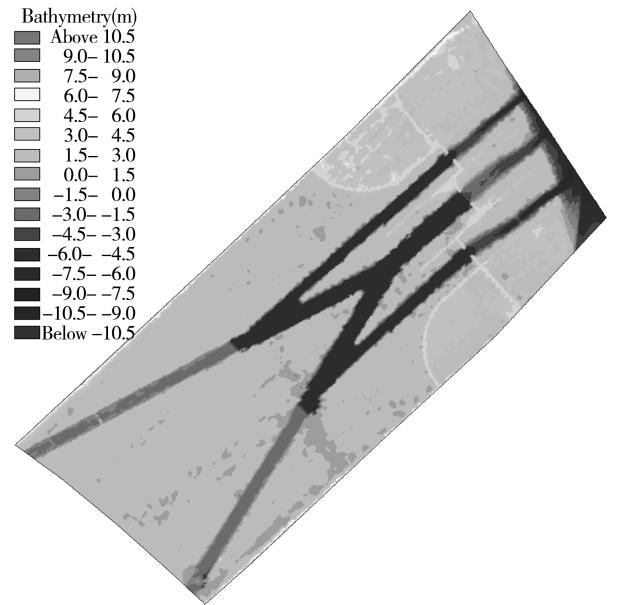


图 6 开挖方案 1 地形图

开挖后工况下各深泓分流比计算结果见表 3。

表 3 方案 1 分流比计算结果

位置	设计流量		计算结果	
	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %
北深泓	2027	25.99	2295	29.46
中深泓	3348	42.92	3112	39.95
南深泓	2425	31.09	2383	30.59

由表 3 可以看出,开挖后中深泓分流比增大,南泓与北泓分流比相应减少。与现状地形条件下分流比相比,变化较小,中深泓分流比仍不满足设计要求。结果表明分流鱼及闸上引河的开挖对分流比的改善影响程度较小。

开挖后各深泓过流能力增强,模型内水位整体下降,控制断面 141+000 水位值为 4.91 m,满足设计控制水位 5.12 m 要求。

方案 2:将中泓闸下引河开挖到 -5.0 m 高程,其他位置保持现状高程不变。上下游边界条件保持不变。开挖后模型内地形见图 7。

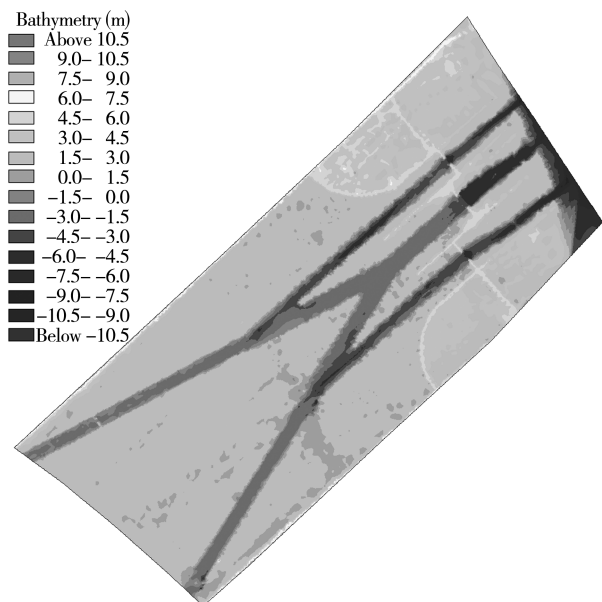


图 7 开挖方案 2 地形图

开挖后工况下各深泓分流比计算结果见表 4。

表 4 方案 2 分流比计算结果

位置	设计流量		计算结果	
	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %
北深泓	2027	25.99	2088	26.80
中深泓	3348	42.92	3370	43.26
南深泓	2425	31.09	2332	29.94

由表 4 可以看出,开挖后中深泓分流比显著增大,南泓与北泓分流比相应减少,中深泓过流能力满足设计要求。结果表明中泓闸下引河开挖对分流比的改善影响程度较大。

开挖后各中深泓过流能力增强,模型内水位整体下降,控制断面 141+000 水位值为 5.01 m,满足

设计控制水位 5.12 m 要求。

方案 3:将南、北分流鱼嘴上游 200 m 至 3 个节制闸段、中泓闸下引河段开挖到 -5.0 m 高程,其他位置保持现状高程不变,即综合采用方案 1、方案 2 的开挖方案。上下游边界条件保持不变。开挖后模型内地形见图 8。

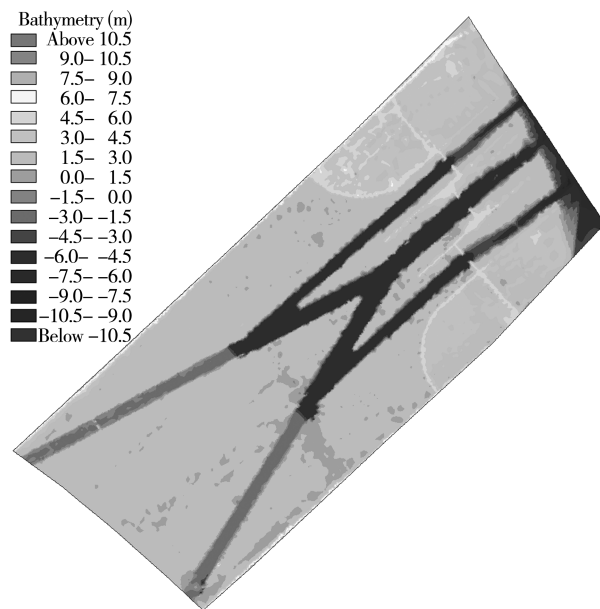


图 8 开挖方案 3 地形图

开挖后工况下各深泓分流比计算结果见表 5。

表 5 方案 3 分流比计算结果

位置	设计流量		计算结果	
	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %	流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	分流比/ %
北深泓	2027	25.99	2086	26.78
中深泓	3348	42.92	3534	45.37
南深泓	2425	31.09	2169	27.85

由表 5 可以看出,开挖后中深泓分流比显著增大,明显超过设计分流比,南泓与北泓分流比相应减少,中深泓流量的增量超过方案 1 与方案 2 中泓流量增加的代数和,可以认为中泓下游引河的开挖优先级大于鱼嘴的开挖,鱼嘴开挖对分流比的影响应建立于下游引河开挖的基础上。

开挖后各中深泓过流能力增强,各深泓分流比更加合理,模型内水位整体下降,控制断面 141+000 水位值为 4.78 m,满足设计控制水位 5.12 m 要求。

(下转第 47 页)

(续表 5)

分析内容	规范条文规定	测站分析成果	符合性
关系线三种检验	4.7.1:进行符号检验、适线检验、偏离数值检验	每年关系线与综合线均通过符号、适线、偏离数值三种检验,定线合理	符合
定线精度	4.5.6:系统误差:不大于 2%,随机不确定度:允许 22%	$Th^{1.5}\Delta Z^{0.5} \sim W$ 综合线:系统误差 0.3%,随机不确定度 14.2%; $Q \sim Q_m$ 综合线:系统误差 0.3%,随机不确定度 11.4%	符合

案。停测年份实行检测,每年的检测不少于 3 次,测次宜分布于高、中、低各级水位,并采用较高精度的测验方案。

7 结 语

本文选用射阳河闸(闸上游)站 2003—2017 年连续 15 年(含丰、枯年型)实测流量及定线、推流等成果资料,在对测站历史定线成果进行合理修正的基础上,对该站水力因素与一潮排水量、一潮平均流量与一潮最大流量关系进行综合分析,依据新修订的《水文巡测规范》对该站流量实行间测的可行性进行逐条逐项分析。高、中、低水位级及实测流量的水位变幅控制率本文采用测站水量、流量关系

线的相关因素进行分析,尽可能做到切合测站实际,方法科学合理。

参考文献:

[1] 水利部水文局. SL195—2015 水文巡测规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.

[2] 杨崇勇, 操丕军. 康定(四)站流量间测分析[J]. 四川水利, 2019(3):86-88.

[3] 冯省波. 水文站流量停间测可行性浅析[J]. 海河水利, 2016(4):43-44.

[4] 郭建平, 唐晓春. 张家港闸水文站实施流量间测方案探讨[J]. 治淮, 2013(12):80.

[5] 王玲. 巢湖闸 2004—2013 年堰闸流量综合关系线分析[J]. 江淮水利科技, 2015(4):36-45.

(上接第 32 页)

3 结 论

(1) 在上游流量为 50 年一遇洪水  $7\,800\text{ m}^3/\text{s}$ , 下游潮位 4.00 m 的边界条件下,中深泓的实际分流比远低于设计分流比;北深泓及南深泓的实际分流比大于其设计分流比,实际流量也超过各自设计流量;上游控制断面 141+000 水位值为 5.28 m,不满足设计控制水位 5.12 m 要求。

(2) 在 2019 年 8 月洪水行洪结束后,闸下引河均有不同程度的冲刷。中深泓分流比有所增加,南深泓、北深泓分流比相应减少。但中深泓的实际分流比仍远低于设计分流比。上游控制断面 141+000 水位值为 4.99 m,满足设计控制水位 5.12 m 要求。

(3) 鱼嘴开挖方案可以一定程度上缓解南、北泓的行洪压力,但与中泓闸下引河开挖方案相比,其优先级较低。通过方案 3 可以看出,鱼嘴开挖对分流比的影响应建立于下游引河开挖的基础上。中泓闸下引河淤积是行洪能力不足的主要原因。

参考文献:

[1] 洪大林, 宦国胜, 谢瑞. 新沂河口二期建闸物理模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2009(3):74-81.

[2] 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, 47.

[3] 张玮, 倪兵, 陈乾阳. 长江澄通河段通州沙西水道整治工程对分流比影响研究[J]. 水道港口, 2013(1):45-50.

[4] 高敏, 范期锦, 谈泽炜, 等. 对长江口北槽分流比的分析研究[J]. 水运工程, 2009(5):87-91.

[5] 董德化, 何焯霞, 黄希敏, 等. 珠江三角洲局部水位壅高及河口治理的几个问题[J]. 人民珠江, 1999(5):17-19.

[6] 李义天, 郭小虎, 唐金武, 等. 三峡建库后荆江三口分流的变化[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009(1):26-36.

[7] 杨胜发. 上游工程对分汊河道分流比的影响[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 1999, 18(1):93-98.