



高良涧双线并列船闸下游引航道水流特性研究

尤薇, 曲红玲

(江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏南京 211100)

摘要: 高良涧扩容船闸和二线船闸并列布置, 且共用引航道, 下游较短范围内引航道与苏北灌溉总渠交汇, 其下游引航道水流条件受双线船闸相互泄水及苏北灌溉总渠泄流的影响变得十分复杂。采用二维水流数学模型计算和分析的手段, 进行高良涧船闸各种典型水位组合及运行方式下的下游引航道水流条件的研究, 针对存在的水力学问题, 结合高良涧船闸的特点, 提出便捷有效的工程措施——格栅式分隔堤, 研究成果可供工程设计和运行管理参考。

关键词: 高良涧; 双线船闸; 引航道; 水力学

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0156-04

Flow characteristics of Gaoliangjian double-parallel-lane lock's lower approach channel

YOU Wei, QU Hong-ling

(Jiangsu Provincial Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210005, China)

Abstract: Gaoliangjian lock is composed of the expansion shiplock and the second-line shiplock, which is a type. The double lock shares the lower approach channel and conflues with the North Jiangsu Irrigation Canal at a short distance. The flow conditions in the under approach channel are quite complicated due to the emptying courses of the double lock and the North Jiangsu Irrigation Canal. The flow characteristics under different combinations of typical water levels and operation modes are studied by numerical simulation. Considering the lock features, the currently most convenient and effective structural measure, separation levee, is proposed. The results can be used for the lock design and management.

Key words: Gaoliangjian; double lock; approach channel; hydraulics

天然河道兴建水利、水电及航电枢纽工程后, 为了保证通航, 常设置船闸等通航建筑物。船闸在灌泄水时, 在引航道内产生非恒定流, 引起水面波动和流速、流态变化, 不仅会影响船舶安全过闸, 也可能对船闸自身运行和安全造成不利影响。

同时, 随着船闸规模的扩大, 双线或多线船闸运行水力学问题越显突出。国内外的研究及实践经验表明^[1]: 对于双线或多线船闸并列布置形式, 如果布置和运行控制不当, 容易导致相关安全问题。例如: 葛洲坝2[#]和3[#]船闸共用的三江引航道, 发生过由于泄水长波运动而引起的船舶擦底事故; 江苏京杭运河泗阳船闸共用下游引航道的

双线并列船闸, 一线船闸泄水时下游引航道内的非恒定流在另一线船闸下闸首人字门处产生了较大的反向水头, 导致反向推力过大而使入字门启闭构件损坏; 刘老涧三线船闸工程完工通航后, 由于下游航道断面较小, 二、三线船闸同时泄水时会在一线船闸引航道下闸首人字门处产生较大的反向水头, 自2010年以来, 共发生10余次人字门安全销断裂的事故, 船闸不得不停航检修, 严重影响了船闸的航运及社会效益^[2]。因此, 通过数学模型计算、分析双线船闸或多线船闸相互泄水时引航道及口门区的水流流态及流速分布, 研究引航道内产生回流及对闸门运行和安全的可能影

收稿日期: 2013-01-10

作者简介: 尤薇(1983—), 女, 硕士, 工程师, 从事河流及港口海岸工程模拟研究。

响, 确保船闸安全、快捷运行, 具有实际的应用价值、经济效益和社会效益。

1 工程概况

高良涧船闸是淮河出海航道江苏境内的第一座船闸, 位于淮河下游江苏省洪泽县境内, 是联结淮河、洪泽湖、苏北灌溉总渠、苏北大运河航道的综合枢纽, 是安徽两淮煤矿及河南平顶山煤矿的煤炭资源、矿建材经苏北灌溉总渠, 过淮安船闸接京杭运河, 循京杭运河南下进入长江, 运向经济发达的苏、浙、沪的重要水运通道的咽喉(图1)。



图1 高良涧船闸

高良涧一线船闸位于洪泽县城, 建于1953年, 规模为 $100\text{ m} \times 10\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ (闸室长 \times 口门宽 \times 槛上最小水深, 下同); 二线船闸1993年建成通航, 闸位布置在离一线船闸3 km的洪泽湖北大堤滩面上, 规模为 $230\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4.0\text{ m}$ 。一线船闸由于历史条件所限, 建设标准低、技术状况较差, 经过对一、二线船闸近8年来过闸量的统计资料分析, 一线船闸仅为总过闸量的8%左右, 目前高良涧船闸所承担的货运量主要由二线船闸完成。因高良涧船闸是淮河出海航道江苏境内的第一座船闸, 其船舶通过量大, 为解决船舶待闸堵塞现象, 拟新建扩容船闸, 建设规模采用 $230\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4.0\text{ m}$ 。二线船闸、扩容船闸并列布置, 两闸之间下游辅导航墙长度仅25 m。

2 研究方法及其研究工况

2.1 研究方法

采用丹麦DHI公司开发的MIKE21水动力软件

建立二维水流数学模型, 并采用其中的HD模块进行引航道及口门区的水流模拟, 该模块主要用于沿水深平均的二维水动力计算, 模拟由于各种作用力的作用而产生的水位及水流变化。在现有地形资料的基础上, 充分考虑到船闸泄水产生的水面波动的传播和减少模型边界的反射对波动的影响, 选取高良涧二线船闸和扩容船闸下闸首至下游航道约2 km的区域作为计算域, 并采用非结构化三角形网格, 计算区域概化地形及下游数学模型局部计算网格如图2、图3所示。

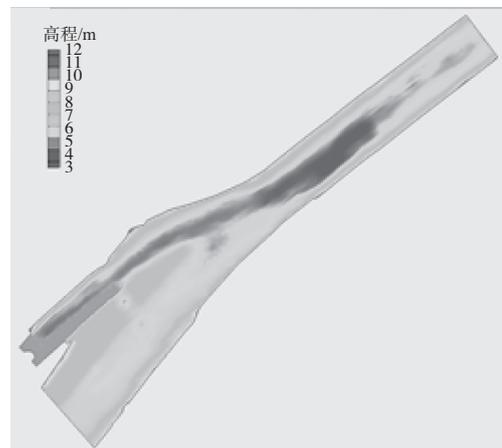


图2 数学模型概化地形图

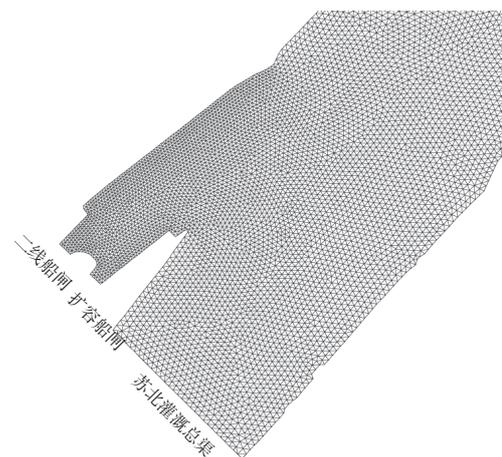


图3 数学模型局部计算网格

2.2 研究工况

由于高良涧船闸上下游水位组合的差异以及泄水时间的不同对闸下水位波动的大小均有影响, 因此, 选择3种上下游水位组合进行研究(表1)。

根据具体的计算水位及阀门开启方式组合, 共设计了27组下游引航道水流计算工况(表2)。

表1 阀门开启方式及计算水位组合

序号	阀门开启方式	阀门开启时间	上、下游水位/m	说明
X6	变频开启	400 s全开	14.83~8.83	设计水头1
X5	变频开启	406 s全开	13.33~8.33	设计水头2
X35	匀速开启	286 s全开	13.33~9.83	常水头

表2 船闸下游引航道水流计算工况

工况编号	上、下游水位/m	开始泄水时间/s		备注
		二线船闸	扩容船闸	
6X1		0	/	
6X2		/	0	
6X3		0	0	
6X4		0	100	
6X5	14.83~8.83	0	200	设计水头1
6X6		0	300	
6X7		100	0	
6X8		200	0	
6X9		300	0	
5X1		0	/	
5X2		/	0	
5X3		0	0	
5X4		0	100	
5X5	13.33~8.33	0	200	设计水头2
5X6		0	300	
5X7		100	0	
5X8		200	0	
5X9		300	0	
35X1		0	/	
35X2		/	0	
35X3		0	0	
35X4		0	100	
35X5	13.33~9.83	0	200	常水头
35X6		0	300	
35X7		100	0	
35X8		200	0	
35X9		300	0	

注：“/”代表不泄水。

3 研究成果

根据数学模型计算结果分析可知，在闸门不同开启方式下：

1) 高良涧二线船闸和扩容船闸下游引航道口门区水域比较窄，但在下游较短范围内引航道与苏北灌溉总渠交汇，河道变宽，船闸泄水时的非恒定流在此产生的反射波不是很强。3种水位组合情况下，二线船闸和扩容船闸下闸首人字门处产生的最大水位波动为0.12 m，均出现在双线船

闸同时泄水时（图4），满足《船闸输水系统设计规范》^[3]（简称“规范”）中对反向水头不宜大于0.25 m的要求。

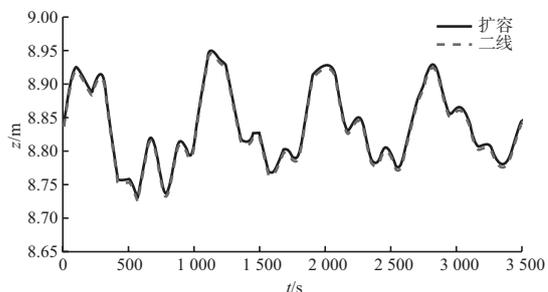


图4 6 m水头二线船闸、扩容船闸同时泄水下闸首水位波动

2) 3种水位组合情况下，下游引航道流速值均满足“规范”要求；引航道内大部分流态良好，主流基本沿船舶航行方向（图5）。但由于高良涧二线船闸、扩容船闸之间下游共用引航道，辅导航墙长度仅25 m，因此在两个船闸单独泄水时，均会在辅导航墙前端产生环流，影响辅导航墙前端引航道的流态。

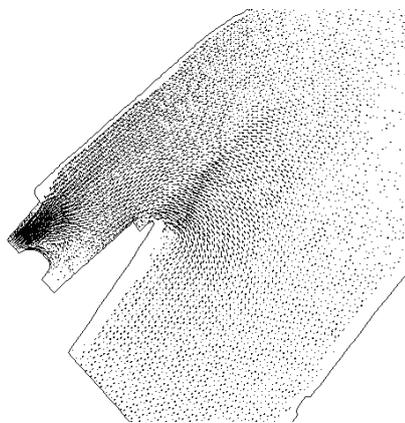


图5 6 m水头下游引航道流场

3) 3种水位组合情况下，高良涧船闸下游引航道、系船墩前沿最大横流均满足《船闸总体设计规范》^[4]要求；在两个船闸单独泄水时，均会在辅导航墙前端产生环流，辅导航墙前端最大横流达到0.3 m/s（表3）。

4 格栅式分隔堤改善效果

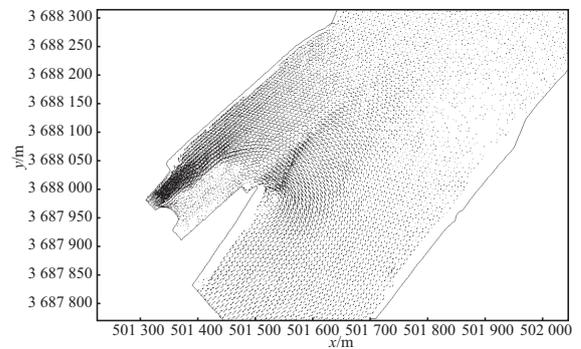
根据对船闸下游引航道流速及流态的分析，在两个船闸单独泄水时，均会在辅导航墙前端产生环流，影响辅导航墙前端引航道流态的平顺，不满足“规范”要求。为此，在将辅导航墙前端

表3 各种工况下船闸最大横流统计

计算工况	水头差/m	下游引航道处最大横流/ (m · s ⁻¹)		系船墩处最大横流/ (m · s ⁻¹)		辅导航墙前端最大横流/ (m · s ⁻¹)	
		二线	扩容	扩容	二线	扩容	
二线单独泄水		/	0.06	0.14	0.28	0.28	
扩容单独泄水	6	0.08	/	0.13	0.23	0.30	
二线、扩容同时泄水		/	/	0.15	0.13	0.18	
二线单独泄水		/	0.06	0.13	0.28	0.26	
扩容单独泄水	5	0.07	/	0.13	0.22	0.29	
二线、扩容同时泄水		/	/	0.14	0.16	0.21	
二线单独泄水		/	0.02	0.08	0.15	0.09	
扩容单独泄水	3.5	0.02	/	0.10	0.10	0.10	
二线、扩容同时泄水		/	/	0.13	0.02	0.02	

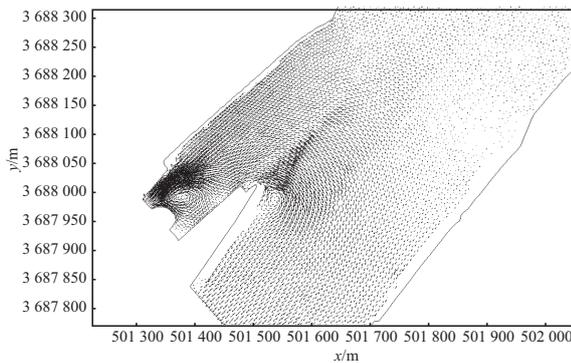
增设格栅式分隔堤, 并计算、分析6 m设计水头、二线船闸单独泄水情况下, 不同长度的格栅式分隔堤对环流的改善效果。无格栅式分隔堤及增设不同长度格栅式分隔堤下游引航道在最大泄水流量时刻的流场见图4。

由图6可见, 与无格栅式分隔堤相比, 增设格栅式分隔堤后二线船闸、扩容船闸下游引航道处流态均有平顺的趋势。增设55 m格栅式分隔堤后, 辅导航墙前端的环流有较为明显的减弱, 增设100 m格栅式分隔堤后, 辅导航墙前端的环流基本消失, 格栅式分隔堤对引航道内的水流具有一定的调顺效果。

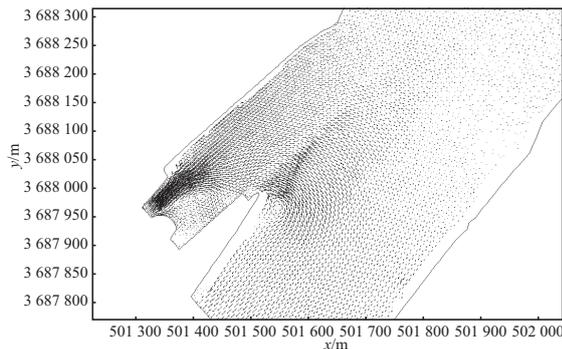


c) 100 m 格栅式分隔堤情况下流场

图6 6 m水头、二线船闸单独泄水工况下二线、扩容船闸下游引航道流场



a) 无格栅式分隔堤情况下流场



b) 55 m 格栅式分隔堤情况下流场

5 苏北灌溉总渠泄水影响

高良涧船闸下游较短范围内引航道与苏北灌溉总渠交汇, 同时扩容船闸靠船墩位于交汇处, 选取2003年7月12日(相当于百年一遇洪水)苏北灌溉总渠泄洪时的流量-水位实测数据作为控制边界(即船闸上下游水位14.38~10.88 m, 泄洪流量565 m³/s)进行苏北灌溉总渠泄水对回流及系船墩和辅导航墙前端横流的影响分析(表4)。由计算结果可知, 苏北灌溉总渠泄洪对船闸下游引航道非恒定流, 特别是对系船墩处横流有一定影响, 在百年一遇的极端工况下, 系船墩前沿最大横流超出“规范”限值。

6 结语

高良涧扩容船闸和二线船闸并列布置, 且共用引航道, 通过建立下游引航道整体二维水流数学模型, 全面研究高良涧船闸各种典型水位组

(下转第177页)