

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.04.001

王晓刚, 王小东, 宣国祥, 等. 五里亭船闸下游引航道综合整治[J]. 水利水运工程学报, 2017(4): 1-7. (WANG Xiaogang, WANG Xiaodong, XUAN Guoxiang, et al. Comprehensive regulation of navigation conditions of lower approach channel of Wuliting navigation lock[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(4): 1-7. (in Chinese))

## 五里亭船闸下游引航道综合整治

王晓刚, 王小东, 宣国祥, 鄢俊

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 以五里亭船闸下游引航道整治措施为例,建立了二维水流数学模型,对岸嘴开挖、隔流墙设置、疏浚、航线调整等措施进行研究,详细阐述了典型引航道水流条件的逐步优选过程,提出了五里亭船闸下游引航道推荐整治方案。通过对方案的逐步优选,得出:①引航道整治措施优选是多约束条件下的渐进过程,除论证通航可行性外应兼顾发电、行洪可行性,孤立分析通航整治措施可能给出极不合理的工程建议,而这在许多通航论证中常被忽视;②对于具体工程,引航道隔流墙的长度理论上存在最优值;③淹没式长隔流导航墙可满足掩护引航道水流条件的要求,同时不妨碍电站出力和河道泄洪,是通航水流条件较差船闸引航道整治的有效措施。

**关键词:** 整治措施;通航条件;引航道;水动力模型

**中图分类号:** U641.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2017)04-0001-07

船闸是内河航道网的关键节点,船闸引航道口门区是主河道动水与引航道静水的交界区域,主河道内动水水体和引航道内静水水体相互作用时,水流流线发生弯曲,形成斜向二次流,是改善引航道水流条件需要解决的主要问题。随着我国内河航运需求的不断增长,一些老旧船闸的升级改造成为内河航运的重要议题。老旧船闸的引航道多为全开敞式,有些甚至还处在河道弯段,水流条件较差(如本文的五里亭船闸下游引航道处于河道弯段,且水深很浅),这种情况下,要提高该类枢纽通航标准,提升余地及可采用的措施均非常有限。针对此类船闸,研究有效改善船闸引航道水流条件的措施具有重要意义。对于引航道水流条件,国内外学者已研究了多种有效的改善措施,如顺直或扩宽岸线<sup>[1-2]</sup>、调整导流堤长短<sup>[3-5]</sup>、改变堤头形式、设置开孔式导堤以及浮式导流堤等<sup>[6-8]</sup>,这些措施已在很多工程中得到应用。但由于老旧船闸工程的复杂性和改善条件的局限性,研究恶劣条件下通航水流条件改善措施,对于提升老旧船闸通过能力具有重要意义。

五里亭水利枢纽位于浙江省丽水市青田县境内,处于瓯江干流丽水段,坝址地处瓯江干流中段五里亭村口下游附近的大溪上,距丽水市区约29 km,距青田县城约45 km。五里亭枢纽以发电为主、结合改善航运条件等综合利用。已建五里亭船闸的上、下游引航道长度及宽度均不能满足四级船闸标准,本次设计改建后的船闸下游引航道尺度为350.0 m×50.0 m×3.0 m(原下游引航道宽度约23 m),改建后的五里亭船闸通航水位分别为:上游最高通航水位36.5 m,上游最低通航水位36.0 m,下游最高通航水位28.0 m,下游最低通航水位27.5 m。在工程初步设计阶段,由于所涉方案众多,利用数学模型进行枢纽选址、引航道布置研究具有很大优势,也是通行做法<sup>[9-10]</sup>。本文以五里亭船闸改造工程下游引航道综合整治为例,阐述发电、行洪与通航多约束条件下引航道水流条件改善优选思路,并提出了一种应用前景广泛的淹没式隔流导航墙型式。

**收稿日期:** 2016-07-23

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51409173);交通运输部科技项目“西江航电枢纽利用船闸通闸泄水进行引航道清淤的技术研究”(20113287461680)

**作者简介:** 王晓刚(1980—),男,江苏常熟人,教授级高级工程师,博士,主要从事工程水力学研究。

E-mail: xgwang@nhri.cn

## 1 二维水流数学模型

### 1.1 数学模型建立

针对五里亭枢纽所在河道形状及水流特征,选用沿水深平均的平面二维水流数学模型,基本方程为:

$$\text{水流连续方程:} \quad \partial Z / \partial t + \partial u H / \partial x + \partial v H / \partial y = q \quad (1)$$

水流动量方程:

$$\frac{\partial u H}{\partial t} + \frac{\partial u u H}{\partial x} + \frac{\partial u v H}{\partial y} = -g H \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_1 H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_1 H \frac{\partial u}{\partial y} \right) - g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2} + f v H + q u^* \quad (2)$$

$$\frac{\partial v H}{\partial t} + \frac{\partial u v H}{\partial x} + \frac{\partial v v H}{\partial y} = -g H \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_1 H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_1 H \frac{\partial v}{\partial y} \right) - g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2} - f u H + q v^* \quad (3)$$

式中: $H, Z$ 分别为水深和水位(m); $u, v$ 分别为 $x, y$ 向的流速(m/s); $u^*, v^*$ 分别为源(汇)输入(出)河道时 $x, y$ 向流速(m/s); $q$ 为源汇单位面积流量( $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ),源时 $q$ 取正,汇时 $q$ 取负; $\rho$ 为水体密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $\nu_1$ 为紊动扩散系数( $\text{m}^2/\text{s}$ ); $c$ 为谢才系数; $f = 2\omega \sin\phi$ 为柯氏力系数, $\omega$ 为地球自转角速度, $\phi$ 为计算水域所在地理纬度。

初始条件形式可采用: $z(x, y, 0) = z_0(x, y), u(x, y, 0) = u_0(x, y), v(x, y, 0) = v_0(x, y)$ 。 $z_0(x, y)$ 为 $(x, y)$ 处初始水位; $u_0(x, y), v_0(x, y)$ 为 $(x, y)$ 处沿 $x, y$ 方向初始流速。

边界条件:上游采用流量边界条件,下游采用水位边界条件。固定边界采用可滑动边界条件,对于两岸边滩,则按动边界处理。工程隔流导航墙有非淹没式和淹没式两种。对于非淹没式导航墙,将导航墙与外边界连接,作外边界处理;对于淹没式导航墙,常规水深平均的平面二维数学模型难以处理,这里将其处理成地形,并通过地形突变处网格局部加密方式处理。

五里亭枢纽下游通航水流条件计算范围取坝下约2.0 km的河道区域,计算网格采用三角形单元网格,计算区域网格数为15 852个,见图1。根据浙江省水利水电勘测设计院2001年10月编制的《浙江省丽水市五里亭水利枢纽工程(水电站)初步设计》报告(报批稿),计算区域河段的河道糙率系数为0.027 5~0.032 5。数学模型计算时的紊动黏性系数取 $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

为了便于对五里亭枢纽下游引航道、口门区及航道流速以及水面波动等水流特性进行分析,在下游航道和引航道布置了9个流速测点(1#,2#在引航道内,3#在口门区,4#~9#在主航道内),9个水位测点,见图2。

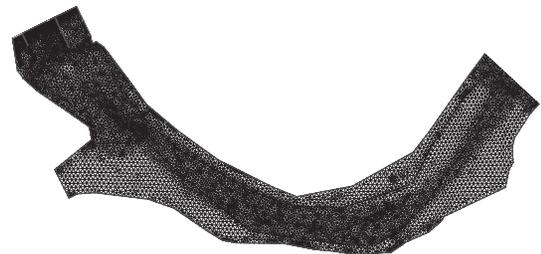


图1 五里亭枢纽下游计算区域及网格划分  
Fig. 1 Calculation grids for Wuliting hydro-junction

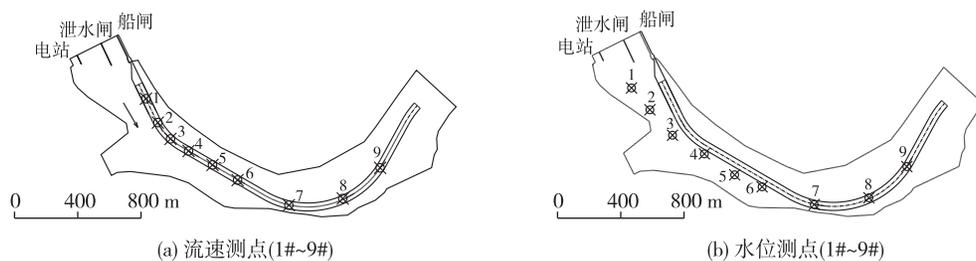


图2 流速、水位测点布置

Fig. 2 Layout of measuring points for water velocity and level

### 1.2 引航道流场存在问题及整治思路

五里亭枢纽泄洪时,若船闸下游引航道口门区纵向流速大于 $2.0 \text{ m/s}$ ,则船闸停止运行。因此,数值模

拟工况由小流量(1台机组发电)起算,依据大坝运行调度方式逐级增大流量,通过试算的方式,算至下游引航道、口门区流速达到或接近限制流速 2.0 m/s 为止,作为本工程限制工况。限于篇幅,这里仅给出与引航道水流条件相关的 4 组枢纽运行方式,见表 1。

表 1 枢纽运行方式

Tab. 1 Operation modes for hydro-junction

工况	编号	总流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	电站流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	泄洪闸流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	坝址水位/m	枢纽运行方式
1	DGK01	225.42	225.42	0	28.07	电站 1 台机组运行
2	DGK02	676.26	676.26	0	28.55 <sup>*1</sup>	电站 3 台机组运行
3	DGK04	1 980.00	676.26	1 303.74	30.26 <sup>*2</sup>	电站 3 台机组运行,10#和 12#泄洪闸泄洪
4	DGK05	7 670.00	0	7 670.00	35.12	电站停,泄洪闸全开

注: \*1 为发电死水位, \*2 为 5 年一遇洪水位,引用自《浙江省丽水市五里亭水利枢纽工程初步设计》报告,其余为正常蓄水位,根据水位流量关系插值计算所得。DGK02 工况考虑下游支流汇流流量为 100  $m^3/s$ , DGK05 工况考虑下游支流汇流流量为 300  $m^3/s$ (5 年一遇)。

经计算,在原引航道布置条件下,1 台机组发电工况时,引航道内(2#测点附近)流速已经超规范限制(DGK01 工况 2#测点横向流速为 0.46 m/s, DGK02 工况 2#测点横向流速超过 1.00 m/s)。DGK02 工况流场分布见图 3。从整体流速矢量图可见,电站处于河道弯段,下游口门位置右岸存在一凸出岸嘴,河道地形促使主流偏向口门区,对通航水流条件十分不利。从口门区细部流速矢量图可见,由于引航道为开敞式,引航道内及口门区存在明显回流,回流流速较大(大于 0.40 m/s),流态较差,为此需要提出针对性的引航道整治方案。

1.3 整治措施

五里亭引航道整治思路基于初步分析的引航道实际水流条件,整治目标是在尽可能小的工程量下,满足工程要求。考虑到本工程直接采用非工程措施已难以满足要求(一般优先采用非工程措施,减少工程量),因此,设定了 A1~A8 共 8 个工程整治方案,基本遵循工程量由少到多的顺序,探求合理化整治措施。具体方案为:①采取岸线整治措施(A1, A2, A4); ②设置直线隔流导航墙或结合疏浚,对应方案 A3 和 A5~A7; ③曲线淹没式隔流导航墙 A8(基于前述方案后的最终推荐方案),方案描述见表 2,整治措施见图 4。

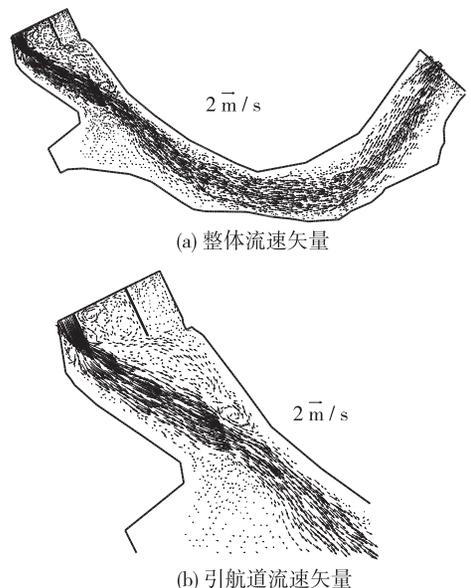


图 3 DGK02 工况流速矢量

Fig. 3 Velocity vector of DGK02 condition

表 2 五里亭引航道整治方案

Tab. 2 Regulation measures of approach channel for Wuliting navigation lock

方案	措施
A1	小开挖方案,岸嘴整治线 1
A2	大开挖方案,按照整治线 2 开挖岸嘴,坝下高程疏浚至 22 m 高程
A3	设置 300 m 隔流导航墙
A4	采用 A2 大开挖方案,设置 300 m 隔流导航墙,并采用 A2 疏浚方案
A5	设置 350 m 不透水隔流导航墙
A6	设置 400 m 不透水隔流导航墙
A7	设置 265 m 不透水曲线隔流导航墙,导航墙下游段向左岸顺势弯曲
A8	设置 400 m 半透水曲线隔流导航墙,导航墙下游段向左岸顺势弯曲,墙顶高程设置为 31.8 m(高水位时淹没)

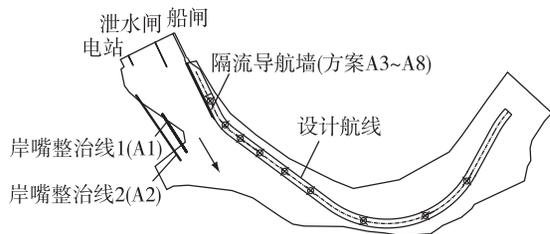


图 4 整治方案示意

Fig. 4 Schematic diagram of regulation measures

## 2 下游引航道整治措施研究

通过二维数值模拟,获得了不同整治方案下的流速矢量场、水位场。其中流速是本工程控制指标,因此,首先从流速进行分析。然后从流场的角度,进一步分析整治方案的优劣及可行性。

### 2.1 基于流速的整治措施初选

为方便对比,采用同一枢纽运行工况 DGK02 条件下(电站3台机组运行工况)对各个不同整治方案进行效果对比,初选可能的整治措施。各方案下测点纵向流速、横向流速见表3。表中黑体加粗的数据为超规范限定的数值(依据规范要求,引航道内纵向流速应小于0.50 m/s,横向流速应小于0.15 m/s,口门区纵向流速不大于2.00 m/s,横向流速不大于0.30 m/s,回流流速不大于0.40 m/s)。由表可见,对右岸凸嘴进行开挖、疏浚、过短的导航隔流墙或这些措施的组合均难以满足要求,仅方案A6(400 m直线隔流导航墙)和方案A8(曲线淹没式隔流导航墙)符合要求,即对于五里亭下游引航道,需要修建400 m长导航隔流墙才可把电站或泄水闸下泄水流隔开,不至于影响船闸运行。而过长的导航墙一方面不经济,另一方面,对发电与行洪显然也不利。基于数值模拟结果,400 m隔流墙是本工程理论推荐长度。

表3 各整治方案测点纵向流速和横向流速

Tab. 3 Longitudinal and transverse water velocities in different regulation measures (m/s)

测点编号	各整治方案的流速							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
1	-0.29/0.04	-0.09/0.16	-0.09/0.16	-0.08/0.04	-0.05/0.01	-0.05/0.08	0.03/-0.03	0.01/0.01
2	<b>1.71/1.17</b>	<b>1.47/0.70</b>	<b>1.47/0.70</b>	<b>1.03/0.73</b>	<b>0.75/0.40</b>	-0.14/-0.05	<b>1.10/0.29</b>	0.05/0
3	<b>1.23/0.10</b>	<b>1.51/0.22</b>	<b>1.51/0.22</b>	<b>1.07/0.21</b>	<b>1.73/0.44</b>	<b>1.13/0.35</b>	<b>1.80/0.24</b>	0/-0.09
4	<b>1.42/-0.22</b>	<b>1.39/-0.05</b>	<b>1.39/-0.05</b>	<b>1.42/-0.11</b>	<b>1.63/0.09</b>	<b>2.06/0.23</b>	<b>2.06/0.12</b>	<b>2.16/0.81</b>
5	<b>1.48/-0.06</b>	<b>1.21/0.04</b>	<b>1.21/0.04</b>	<b>1.34/0.05</b>	<b>1.38/0.08</b>	<b>1.21/0.26</b>	<b>1.70/-0.02</b>	<b>1.72/0.10</b>
6	<b>1.26/0.12</b>	<b>1.03/0.08</b>	<b>1.03/0.08</b>	<b>1.11/0.10</b>	<b>1.14/0.09</b>	<b>0.97/0.09</b>	<b>1.44/0.11</b>	<b>1.43/0.09</b>
7	<b>0.78/-0.06</b>	<b>1.02/-0.08</b>	<b>1.02/-0.08</b>	<b>1.19/-0.07</b>	<b>1.15/-0.07</b>	<b>0.86/-0.05</b>	<b>1.32/0</b>	<b>1.29/-0.01</b>
8	<b>0.89/0.31</b>	<b>0.91/0.24</b>	<b>0.91/0.24</b>	<b>1.04/0.30</b>	<b>1.03/0.30</b>	<b>0.87/0.24</b>	<b>1.08/0.27</b>	<b>1.06/0.26</b>
9	<b>1.09/0.15</b>	<b>1.03/0.18</b>	<b>1.03/0.18</b>	<b>1.23/0.20</b>	<b>1.23/0.20</b>	<b>1.04/0.19</b>	<b>1.35/0.20</b>	<b>1.36/0.20</b>

注:“/”前为纵向流速,后为横向流速;字体加粗的数据点为流速超标测点。

### 2.2 基于流场特征的整治措施优选

考虑五里亭实际运行需求,有必要对初选的A6和A8方案进行进一步优选。另外,还需论证不同流量工况下这两个方案的可行性(是否影响发电出力或防洪)。方案A6和A8工况下,五里亭枢纽下游引航道流速矢量图见图5和6(方案A8淹没式导墙在数学模型中采用地形方式处理,所以矢量图中未显示导航墙轮廓)。

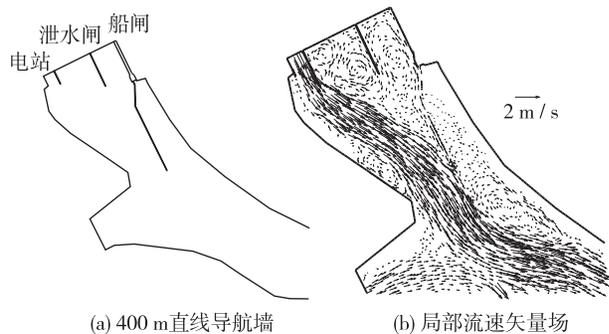


图5 DGK02 工况,方案A6引航道流场矢量  
Fig. 5 Velocity vector of A6, DGK02 condition

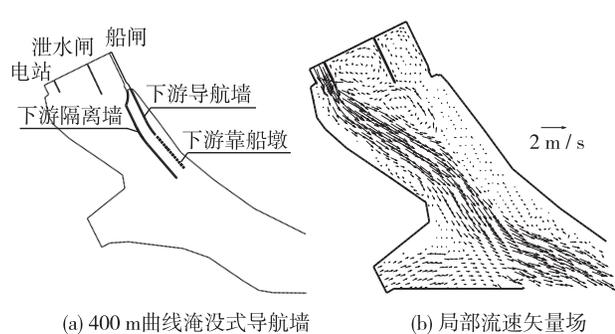


图6 DGK02 工况,方案A8引航道流场矢量  
Fig. 6 Velocity vector of A8, DGK02 condition

由图5和6可见,直线导航墙和曲线导航墙对口门区都能进行较好保护。相比而言,主流受直线导墙影响,主流动力轴线在口门附近向右岸偏转,对口门区的流场形成更好保护。而曲线导航墙由于向左岸顺势弯曲,主航道4#测点附近回流消失(见图6),但主航道横向流速偏大。可见两个方案各有利弊。

考虑到五里亭枢纽需要在不同的流量下运行,需要对其他流量条件下引航道水流条件进行分析。对DGK04工况数值模拟发现(各测点流速见表4,口门区流速见图7),设置400 m导流墙后,引航道流速(代表测点为1#,2#,3#测点)基本满足要求,但由于导航墙束窄河道的作用,下游主航道内局部流速偏大,直线导航墙影响下,5#测点流速较曲线导航墙大10%,见表4。曲线导航墙对主流影响相对较小,但4#测点横向流速偏大。

尽管各项流速指标已符合引航道水流条件要求,但考虑到下游主航道内局部测点流速较大,建议对该处原航线进行调整:4#~6#测点间航线向左岸平移约40 m,以避开主流流向偏转区。航线调整后主航道内各测点纵向、横向流速值明显下降(见表4)。

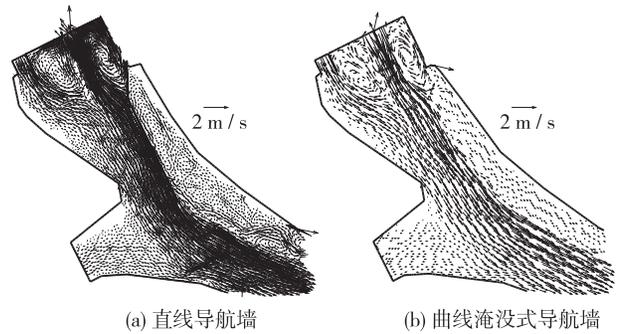


图7 隔流导航墙后引航道流速矢量图(A6和A8,DGK04工况)

Fig.7 Velocity vector of A6 and A8, DGK04 conditions

表4 设置400 m隔流导航墙DGK04工况测点流速

Tab.4 Water velocity with 400 m guild wall of DGK04 condition (m/s)

测点	直线导航墙		曲线淹没式导航墙		曲线淹没式导航墙+局部航线调整	
	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
1	-0.09	0.01	0.20	0.02	0.20	0.02
2	0.14	0.11	0.21	0.01	0.21	0.01
3	-0.37	-0.14	0.09	-0.02	0.09	-0.02
4	1.52	0.05	1.98	0.51	0.16	-0.01
5	3.22	0.31	2.92	0.13	0.69	0.04
6	2.91	0.90	2.47	0.40	1.72	0.34
7	1.67	-0.12	1.75	0.05	1.92	0.20
8	1.45	0.33	1.40	0.33	1.40	0.33
9	1.78	0.49	1.81	0.49	1.81	0.49

### 2.3 考虑发电、行洪的引航道整治措施优选

考虑到设置隔流导航墙可能对电站出力、枢纽泄洪产生影响,因此有必要对大流量时导墙对水位的影响进行评估,从而进一步选择合理的整治方案。为此比较了无隔流墙方案、直线非淹没式隔流墙和曲线淹没式隔流墙对坝下水位的影响(见图8)。

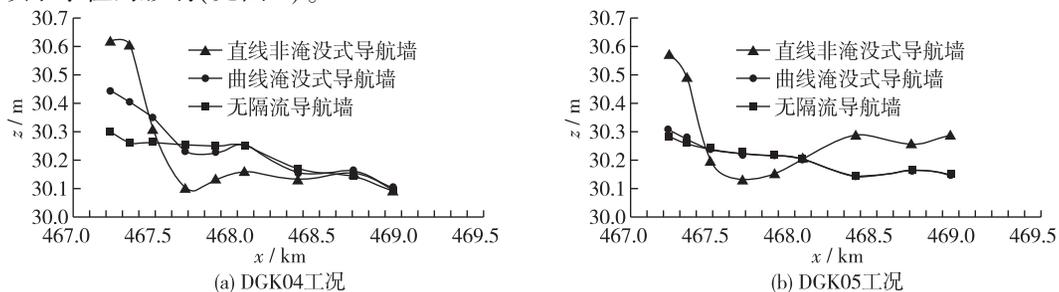


图8 隔流导航墙对水面线影响

Fig.8 Influence of guild walls on water surface profile

由图8可见,DGK04和DGK05工况下,直线非淹没导航墙对坝下水位影响很大。DGK04工况下,受到直线导航墙顶托,1#测点水位较无导航墙时高0.32 m,4#测点处则较无导航墙时水位跌落0.15 m,这对发电和通航均会产生不利影响。DGK05工况下,导航墙完全淹没在水下,淹没式曲线导航墙措施下的坝下过水断面较非淹没式有明显增大,导流墙仅对1#测点、2#测点处水位有局部壅高,1#测点水位壅高约0.11 m,3#测点以下(含3#测点)导航墙对水位影响基本消失。而采用直线非淹没式导流墙,坝下水位壅水超1 m,将对行洪产生严重不利影响。综合考虑,推荐A8整治方案,并将4#~6#测点航线向左岸平移约40 m,以避免主流流向偏转区。

### 3 结 语

以五里亭船闸下游引航道整治措施为例,建立了二维数学模型对岸嘴开挖、隔流墙设置、疏浚、航线调整等进行研究,详细阐述了典型老旧船闸通航水流条件的逐步改善优化过程,提出了五里亭船闸下游引航道推荐整治方案。通过对五里亭船闸下游引航道整治措施的逐步优选,得出如下结论:

(1)引航道整治必须因地制宜。所有整治措施必须依据其特征地形、地势及枢纽运行方式等因素针对性地提出。一些常规措施在特定条件下,效果并不明显(如本工程中坝下疏浚、岸嘴开挖)。

(2)引航道导航墙的建设对于引航道水流条件影响很大,通常隔流墙越长,对引航道水流掩护作用越好,可有效隔开电站或泄水闸下泄主流,以满足引航道内及口门区域水流条件,但过长的引航道隔流墙会束窄主流出流断面,影响电站出力或者泄洪,因此引航道隔流墙长度在理论上存在最优值。

(3)引航道整治工程优选是多约束条件下的优选过程。引航道整治通常以满足通航水流条件为目的,但整治措施的提出除了应满足通航规范明确要求的水流条件外,应兼顾主航道内流速、流态,同时兼顾对发电与行洪的影响,而这在许多通航论证中常被忽视,应给予重视。

(4)淹没式长隔流导航墙应用前景较好。在老旧船闸的扩建改造过程中,枢纽通过能力的提升改造受限条件较多,有时不得不采取长导航墙将河道主流与引航道水流彻底隔开,但将对河道行洪、发电产生不利影响,淹没式长隔流导航墙可满足掩护引航道水流条件的要求,同时也不妨碍电站出力和河道泄洪,是一种值得推荐的引航道水流条件改善措施。

### 参 考 文 献:

- [1] 陈永奎,王列,杨淳,等.三峡工程船闸上游引航道口门区斜流特性研究[J].长江科学院院报,1999,16(2):1-10. (CHEN Yongkui, WANG Lie, YANG Chun, et al. Investigation on oblique flow characteristics in upstream approach entrance region of TGP's lock[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1999, 16(2): 1-10. (in Chinese))
- [2] 刘本芹,宣国祥.通扬线运东船闸上下游引航道水流条件计算分析报告[R].南京:南京水利科学研究院,2011. (LIU Benqing, XUAN Guoxiang. Navigable flow condition of approach channel in Yundong ship lock at Tongyang[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [3] 刘玲.银盘水利枢纽通航建筑物引航道平面布置研究[D].重庆:重庆交通大学,2008. (LIU Ling. Study on layout of approach channel of navigation structures of the Yinpan hydro-junction[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2008. (in Chinese))
- [4] WOOLEY R T. Navigation conditions at lock and Dam 22, Mississippi River hydraulic model investigation[R]. DTIC Document, 1997.
- [5] 李金合,李君涛,郝媛媛.湘江长沙综合枢纽通航水流条件及改善措施研究[J].水道港口,2008,29(6):414-418. (LI Jinhe, LI Juntao, HAO Yuanyuan. Navigable flow condition and improving measures of Changsha comprehensive junction on Xiangjiang River[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2008, 29(6): 414-418. (in Chinese))
- [6] PATEV R C. Probabilistic barge impact analysis of the upper guide and guard walls at Marmet Locks and Dam[R]. DTIC Document, 2000.
- [7] 郑飞东.透空导流堤对引航道口门区通航水流条件影响研究[D].南京:南京水利科学研究院,2014. (ZHENG Feidong.

- A study of influences of permeable guide wall on navigation flow condition in entrance area of approach channel[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2014. (in Chinese))
- [8] STOCKSTILL R L, PARK H E, HITE J E JR. Design considerations for upper approaches to navigation locks[R]. Vicksburg MS: Engineer Research and Development Center Coastal and Hydraulics Lab, 2004.
- [9] STOCKSTILL R L. Modeling navigation conditions at lock approaches[R]. DTIC Document, 2001.
- [10] 陈辉, 刘志雄, 江耀祖. 引航道通航水流条件数值模拟[J]. 水利水运工程学报, 2012(4): 13-18. (CHEN Hui, LIU Zhixiong, JIANG Yaozu. Numerical simulation and analysis of navigation conditions in a shiplock approach channel[J]. Hydro-Science and Engineering, 2012(4): 13-18. (in Chinese))

## Comprehensive regulation of navigation conditions of lower approach channel of Wuliting navigation lock

WANG Xiaogang, WANG Xiaodong, XUAN Guoxiang, YAN Jun

(*State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

**Abstract:** Taking the lower approach channel of the Wuliting navigation lock as a case history. A two-dimensional hydrodynamic model is developed to study regulation measures, such as riverbank excavation, construction of the guild walls, dredging and adjustment of waterway regulation. The gradual optimization of water flow conditions of the typical approach channel is expounded in detail, and the recommended regulation schemes for the downstream approach channel of the Wuliting navigation lock are proposed based on the analyses above. Through the gradual optimization of the schemes, the main conclusions are as follows: ①The optimization process of the comprehensive channel regulations is a gradual process under multi constraints. Both the feasibilities of hydropower generation and flood propagation should be considered before the regulation measures of navigation are adopted, which is usually ignored; ②There should be an optimal length of the guild walls for certain approach channels; ③The construction of a long submerged guild wall is suggested, not only appropriate for the navigation conditions but also for the hydropower generation and flood carrying capacity. It is an effective measure to remedy the poor navigational flow in approach channels of the navigation locks.

**Key words:** regulation measures; navigation conditions; approach channel; hydrodynamic model