



## 长江中游典型河段整治关键参数的应用研究\*

王建军, 张明进

(交通运输部天津水运工程科学研究院 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

**摘要:** 利用数值模拟手段, 针对长江中游藕池口河段、牯牛沙河段典型碍航浅滩, 将三峡水利枢纽运用后新的航道整治参数确定方法应用到具体河段航道整治工程中, 对航道整治关键参数进行实践检验, 为相关研究提供应用基础。数学模型计算结果表明: 在此种整治参数下, 经过典型水文过程后可达到规划的航道尺度, 整治工程达到了预期的整治效果, 新的航道整治参数理论成果适用于目前三峡水利枢纽运用后长江中游浅滩的航道整治。

**关键词:** 数值模拟; 长江中游航道; 整治参数

中图分类号: U 617.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0109-06

### Application of regulation parameters of typical river in the middle reach of the Yangtze River

WANG Jian-jun, ZHANG Ming-jin

(Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications, Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** Using numerical simulation method, aiming at the Ouchikou reach and Guniusha reach in the middle reach of the Yangtze River which are typical navigation-obstructing shoals, the new method to determine waterway regulation parameters is applied to the specific section in waterway regulation construction after the Three Gorge Project reservoir using, practicing and testing the key parameters of waterway regulation, providing applied basis for relevant researches. The calculation results from the mathematical model show that under such regulation parameters, through typical hydrological processes the designed channel dimensions and the expected effect of regulation can be achieved. The results of the waterway regulation parameter theory results apply to the shoals regulation in the middle reach of the Yangtze River after utilization of the Three Gorges reservoir.

**Key words:** numerical simulation; channels in the middle reach of the Yangtze River; regulation parameters

三峡工程蓄水运用后, 长江中游河段由于枢纽调节, 来水来沙情况发生了很大的变化<sup>[1-2]</sup>, 局部河段的河势产生不同程度的调整, 使航道出现新的碍航问题。因此, 开展长江中游航道整治参数关键技术研究非常必要。航道整治关键参数(如整治水位和整治线宽度等)的确定, 决定了航道水深标准的控制基面、冲刷强度和冲刷历时及整治效果, 是解决浅滩整治工程中关键技术难题的核心。随着三峡工程蓄水运用, 处于坝下

的长江中游河道将发生长时间长距离的冲刷, 浅滩特性将出现较大变化, 原定整治参数已不能适用三峡枢纽工程蓄水运用后中游河床强烈冲刷情况, 如何确定整治参数是关系到长江中游诸多浅滩治理工程能否顺利开展的前提, 因而开展长江中游航道整治参数关键技术研究是十分必要和紧迫的。

本文针对长江中游藕池口河段、牯牛沙河段典型碍航浅滩, 通过数值模拟手段, 将新的航道

收稿日期: 2013-03-27

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(51209112); 西部交通建设科技项目(201132822430, 20113282241760)

作者简介: 王建军(1980—), 男, 助理研究员, 主要从事航道工程科研工作。

整治参数确定方法应用到具体河段航道整治工程中，对航道整治关键参数进行实践检验，为相关研究提供应用基础。

### 1 整治参数的确定<sup>[3]</sup>

#### 1) 整治参数。

整治参数由3个基本要素所构成，即整治水位、整治线宽度及整治线型。其中整治水位确定整治建筑物高度，决定了整治后浅滩河床冲刷历时；整治线宽度确定河宽缩窄率，决定了整治后浅滩河床冲刷强度；整治线型则决定了枯水河床的线形走向。为使浅滩河床冲刷达到一定的程度，如果整治线宽度数值小，浅滩河床冲刷强度大，冲刷历时则可缩短，整治水位也就可以降低；反过来，整治线宽度数值大，浅滩河床冲刷强度小，冲刷历时就需加长，整治水位则需要增高。因而，3个要素可以有多种组合，不同的组合就使得浅滩在退水期的冲刷过程不同，但可造成相同的浅滩河床冲刷结果。

#### 2) 整治线宽度的计算方法。

经过一系列公式推导，最终得到如下整治线宽度公式：

$$\frac{B_2}{B_1} = \eta^{\frac{3+c}{2+c}} \left(\frac{1}{K}\right)^{\frac{1}{2+c}} \left(\frac{K'_2}{K'_1}\right)^{\frac{1}{2+c}} \left(\frac{k_{12}}{k_{11}}\right)^{\frac{1}{2+c}} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{\frac{4c-1}{12(2+c)}} \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{\frac{43+14c}{12(2+c)}} \quad (1)$$

式中： $B_1, B_2$ 分别为整治前后的河道宽度； $d_1, d_2$ 分别为整治前后的床沙粒径； $H_1, H_2$ 为整治前后的水深； $\eta = Q_2/Q_1$ ； $Q_1, Q_2$ 分别为整治前后通过浅滩断面的流量； $\frac{1}{K}$ 为考虑枢纽下游河床下切过程中浅滩段与其他不同步的系数； $K'_1, K'_2$ 为考虑整治前后非恒定流过程与同时段相同径流量的恒定流过程的输沙率比值系数； $k_{11}, k_{12}, c$ 则分别为将沙莫夫公式转化为指数形式时的分段系数和指数。

经相关分析调整后，式(1)可简化为

$$\frac{B_2}{B_1} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{\frac{4}{3} + \frac{2}{15}P_1 + \frac{7}{30}P_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^P \quad (2)$$

式中： $P = \frac{4}{3} + \frac{2}{15}P_1 + \frac{7}{30}P_2$ ，是一个综合影响指数， $P_1, P_2$ 分别为由 $1/K$ 及 $d_1/d_2$ 转化为 $H_1/H_2$ 的指数形式时所得的值； $1/K$ 为枢纽下游河床下切过程中，出现浅滩下切较慢，深槽下切较快情况时，

为使浅滩与深槽同步下切，对浅滩河床束窄系数。指数 $P$ 由周天河段试验资料进行率定，得出 $P=1.875$ 。

### 2 数学模型的建立与验证

采用自适应边界较好的正交曲线网格分别建立了长江中游牯牛沙河段和藕池口河段平面二维水沙数学模型。数学模型采用拟合坐标系下平面二维 $k-\epsilon$ 紊流和悬移质泥沙运动控制方程组，方程组可表示成如下统一形式<sup>[4]</sup>：

$$\frac{\partial(h_2Hu\varphi)}{\partial\xi} + \frac{\partial(h_1Hv\varphi)}{\partial\eta} = \frac{\partial}{\partial\xi} \left( \Gamma_\varphi H \frac{h_2}{h_1} \frac{\partial\varphi}{\partial\xi} \right) + \frac{\partial}{\partial\eta} \left( \Gamma_\varphi H \frac{h_1}{h_2} \frac{\partial\varphi}{\partial\eta} \right) + S_\varphi \quad (3)$$

各方程主要差别体现在源项 $S_\varphi$ 上，源项是因变量的函数，可统一写为 $S_\varphi = S_p\varphi + S_c$ 。 $u, v$ 分别为 $\epsilon, \eta$ 方向流速分量； $h$ 为水位； $g$ 为重力加速度。

河床变形方程为：

$$\rho'_s \frac{\partial Z_b}{\partial t} = \sum_{i=1}^n a\omega_i (S_i - S'_i) \quad (4)$$

式中： $\rho'_s$ 为淤积物干密度，内河粗沙 $\rho'_s$ 取 $1.35 \text{ t/m}^3$ ； $Z_b$ 为河床高程。

采用最新实测资料对模型进行了水动力条件及河床冲淤验证<sup>[5-7]</sup>。验证结果表明：模型与原型枯水期、中水期和洪水期的水面线、断面流速分布、汉道分流比基本相似，冲淤量、冲淤部位与天然实测值均达到了较为理想的吻合程度。

### 3 藕池口河段航道整治参数的应用

#### 3.1 河段概况及碍航特性

藕池口水道位于长江中游下荆江首端，地处湖北省石首市境内，介于天星洲水道和碾子湾水道之间，上起古长堤，下至北门口，全长约15 km，由上、下两个顺直段和一个弯道段组成，按其河床演变特性的不同以及各水道之间的相互影响，以文艺村为界分为上、下两段，上段称为藕池口段、下段称为碾子湾段，是长江中游重点碍航水道之一(图1)。

藕池口水道现阶段的主要碍航区域位于古长堤至倒口窑一带，即主流从右岸向左岸的过渡

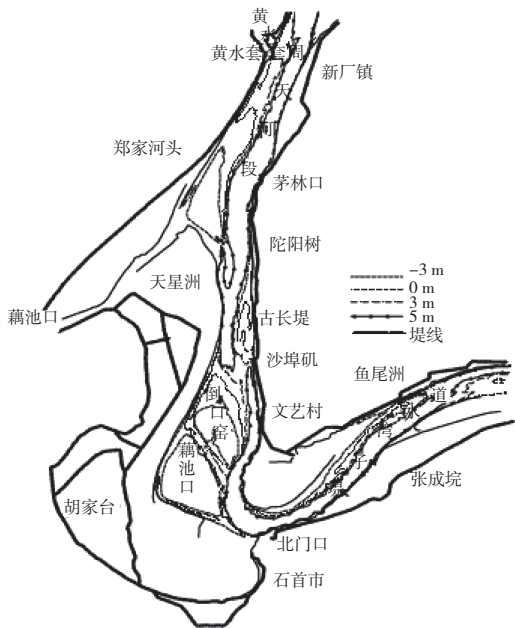


图1 藕池口水道河势

律, 当倒口窑心滩头部冲刷后退时, 过渡段展宽淤浅, 并且过渡段较长, 汛后退水期主流线摆动幅度较大, 冲刷能力不足, 形成浅滩碍航。

根据2003年交通运输部批复的《长江干线航道发展规划》(交规划发[2003]2号), 藕池口水道所在的河段(宜昌—城陵矶)按 I 级航道建设。2020年建设标准为3.2 m × 150 m × 1 000 m, 保证率98%, 通航由2 000 t驳船组成的6 000~1万吨级船队。

### 3.2 方案布置

1) 在倒口窑心滩上布置鱼骨坝(坝顶高程在航行基面以上3 m), 保持倒口窑心滩的完整, 同时有利于缩窄河宽, 增加左槽进口浅区流速。

2) 对左岸沙埠矶至夹河口岸线、鱼尾洲以下已护岸线; 右岸石首市以下岸线、南碾子湾边滩、寡妇夹以下岸线进行守护和已护岸线加固。

藕池口总体方案布置情况如图2所示。

段, 过渡段年内变化遵循“洪淤枯冲”的演变规律。

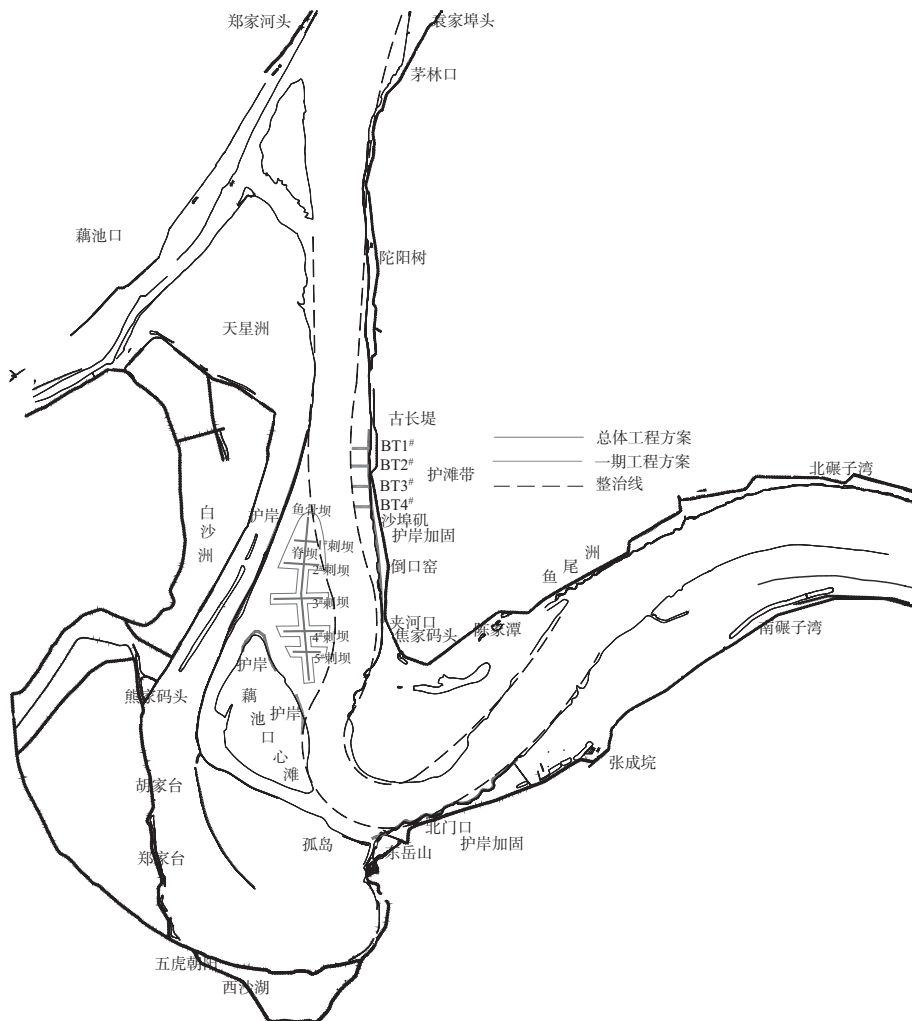


图2 藕池口河段总体方案布置

### 3.3 整治参数的确定

1) 设计水位: 现行的航行基面水位 (黄海高程24.52 m)。

2) 整治水位: 设计水位上3 m, 即黄海高程27.52 m。

3) 整治线宽度: 采用式 (2) 计算, 同时结合本河段具体特性, 最终确定藕池口河段的整治线宽度取800 m。

### 3.4 总体方案效果预测

1) 方案实施后, 倒口窑心滩左汊分流比有所增大。枯水期分流比变化较小, 倒口窑心滩左汊分流从98.61%增大到99.19%, 增大0.58%; 中水期倒口窑心滩左汊分流比从60.31%增大到60.68%, 增大0.37%。

2) 工程实施后, 倒口窑心滩头部得到守护, 坝头及坝间均略有淤积, 心滩头部左槽进口处沙埂冲刷, 右槽入口淤积, 出口处深槽得到冲刷, 左槽沿程冲刷, 左槽左侧沿岸淤积, 有利于沙埠矶至夹河口护岸带的守护。

3) 从2004年和2004—2006年两个不同水文条件下藕池口水道设计水位下水深分布可知 (图3): 总体方案实施后, 经历三峡运行后2004年水文条件过程, 藕池口水道航道尺度满足规划要求, 3.2 m等深线可以贯通; 经历2004—2006水文年后鱼骨坝坝头位置及坝身无进一步冲淤趋势, 左槽和右槽出口处冲刷力度有所加强, 且冲刷距离向上游延伸。

总体方案工程实施后的泥沙模拟预测计算显示, 在此种整治参数下, 实施藕池口河段总体整治方案可以使该河段航道达到预期的整治效果。

## 4 牯牛沙河段航道整治参数的应用

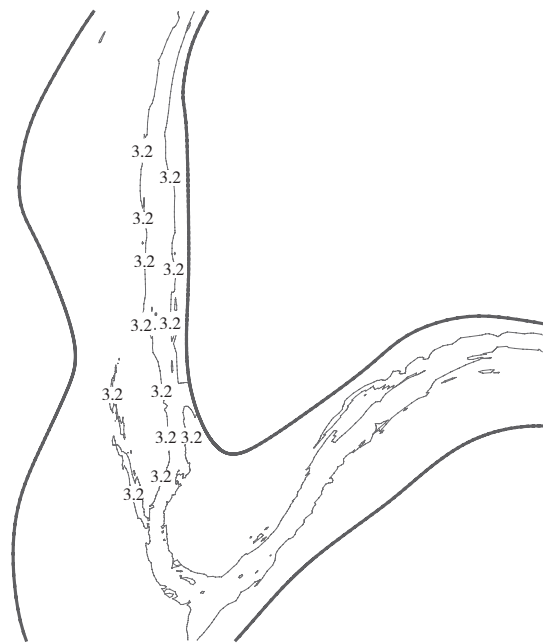
### 4.1 河段概况及碍航特性

长江中牯牛沙水道位于长江中游湖北省境内, 上起西塞山, 承接黄石水道, 下迄叶家湾, 连接蕲春水道, 全长15.5 km, 属于鹅颈形弯曲河道。

牯牛沙水道浅区主要位于西塞山至茅山港的过渡段内, 为矾头控制下的放宽段浅区, 一般中枯水期过渡段淤积形成局部沙埂、沙包, 影响通



a) 2004水文年后



b) 2004—2006系列年后

图3 典型水文过程后藕池口水道设计水位下水深分布 (单位: m)

航。该河段现行航道尺度的维护主要采用疏浚方式进行, 为改变该水道的碍航现状并实现该河段远期规划目标, 该河段急需实施一定的航道整治工程。

三峡枢纽蓄水运用, 对长江中游河道的来水来沙条件、河床变形等产生了重大的影响。牯牛沙河段碍航情况主要体现在水库汛后蓄水期, 由

于来流流量锐减、水位降落过快, 而洪水期来水来沙量较大, 航道内产生了大量淤积而来不及冲刷导致航道出浅碍航。图4为牯牛沙水道河势图。

#### 4.2 方案布置<sup>[7-8]</sup>

整治工程总体方案主要是在河道右岸建4条丁坝, 丁坝高程为航行基面上2 m。方案布置见图5。

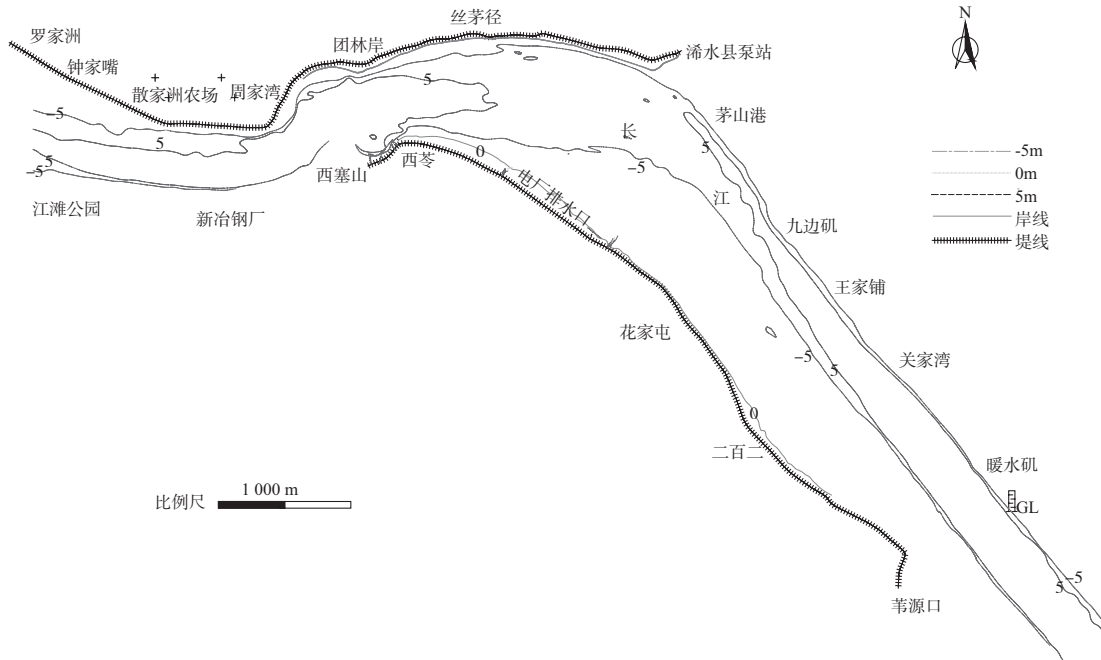


图4 牯牛沙水道河势

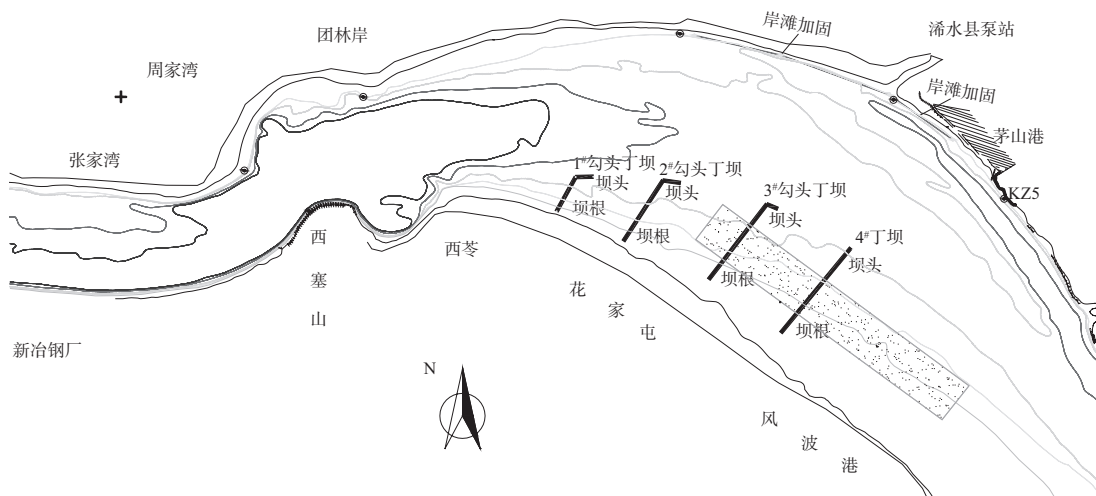


图5 牯牛沙水道总体方案布置

#### 4.3 整治参数的确定

- 1) 设计水位: 取6.95 m (黄海高程), 即现行的航行基准面 (茅山港处)。
- 2) 整治水位: 设计水位上2 m。
- 3) 整治线宽度: 采用式 (2) 计算, 同时结合本河段具体碍航特性, 最终确定整治线宽度取

1 200 m。

#### 4.4 整治总体方案效果预测

本河段航道整治总体方案效果预测采用的计算条件具体如下: 1) 1998年来水, 来沙量×35%水沙条件 (简称“1998调整年”); 2) 三峡运行后2004—2006年3 a水沙条件进行动床计算分析。

整体工程方案实施后,应用给定水文条件下的来水来沙过程预测结果显示(图6为牯牛沙河段工程后典型水文过程后设计水位下水深):

1) 方案实施后,经历两种水文条件过程,牯牛沙水道航道尺度满足规划要求。

2) 工程在2004—2006年水文过程后的航道水深图显示,三峡水库运行后的来水来沙条件下,牯牛沙水道左侧有进一步冲刷的趋势。

3) “1998调整年”水文过程后计算结果显示,大洪水条件下,牯牛沙水道左侧有发生淤积、深槽向右过渡的趋势,但不会对通航水深产生大的影响。

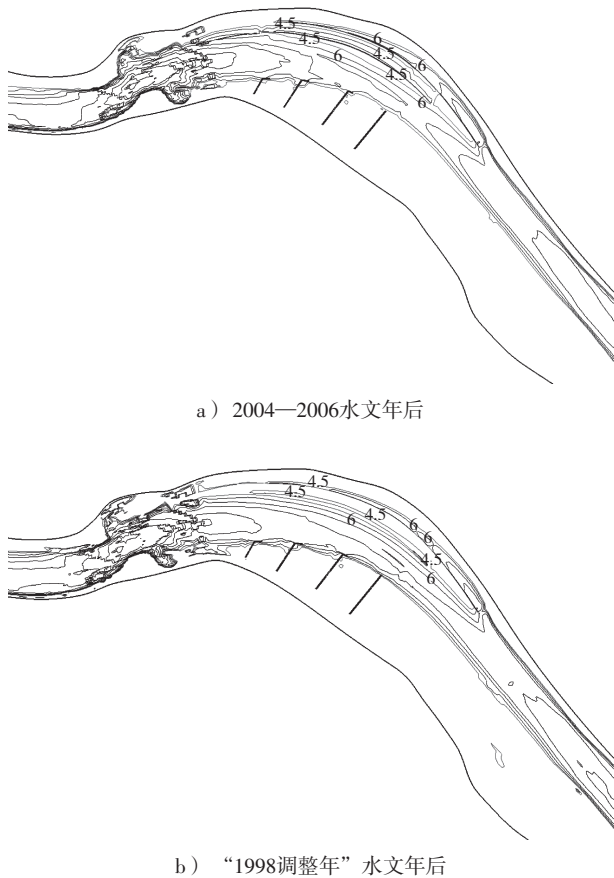


图6 总体方案在设计水位下水深(单位:m)

### 5 结论

1) 藕池口河段总体方案实施后,倒口窑心滩左槽和右槽出口浅区位置冲刷力度有所加强,且冲刷距离向上游延伸。经历三峡运行后2004水文年后,3.2 m等深线可以贯通,航道尺度可达到规划目标,整治工程可达到预期效果。

2) 牯牛沙河段总体方案实施后,经历“1998调整年”和2004—2006年两种水文条件过程,牯牛沙水道航道尺度满足规划要求。

3) 总体方案实施后的数学模型预测计算显示,在此种整治参数下,实施藕池口河段和牯牛沙河段整治工程总体方案经过典型水文过程后可以达到规划的航道尺度,整治工程可达到预期效果,新的航道整治参数理论成果适用于目前三峡水库运行后长江中游浅滩的航道整治。

### 参考文献:

- [1] 李旺生. 长江中下游航道整治技术问题的几点思考[J]. 水道港口, 2007(6): 418-424.
- [2] 陈晓云, 周冠伦, 刘怀汉. 长江中游航道整治技术研究[J]. 水道港口, 2006(3): 7-14.
- [3] 应强, 张幸农. 典型河段整治关键参数确定方法研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2009.
- [4] 张华庆. 河道及河口海岸水流泥沙数学模型研究与应用[D]. 南京: 河海大学, 1998.
- [5] 张明进, 王建军. 典型河段整治关键参数的应用研究[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2009.
- [6] 王建军. 长江中游典型长河段航道整治数值模拟计算平台的研究与应用报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2011.
- [7] 张明进, 张华庆. 长江中游牯牛沙水道航道整治工程数学模型研究[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2007.
- [8] 张明进. 浅谈数值模拟技术在长江中下游航道整治中的应用[J]. 水道港口, 2010(2): 102-106.

( 本文编辑 武亚庆 )