

# 河道开挖效果预测方法初步研究

杨国录<sup>1</sup>, 吴虹娟<sup>1</sup>, 余明辉<sup>1</sup>, 李纪泽<sup>1</sup>, 王昌慈<sup>2</sup>

(1. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072; 2. 黄河水利委员会黄河河口管理局, 山东 济南 250013)

摘要: 针对河道开挖后挖河效果预测的重要性, 初步提出了预测挖河效果的三个评判标准: 挖沙减淤比、复原率和稳定坡。引用黄河山东河段“挖河固堤工程”资料, 通过数学模型计算结果对挖河效果预测的三个评判标准进行了说明, 并展示使用三个评判因子分析挖河效果的有效性和应用潜力。

关键词: 河道; 挖沙减淤比; 复原率; 稳定坡; 挖河效果分析

中图分类号: TV 142 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2002)03-345-06

自然界中许多河道由于泥沙大量淤积, 给防洪护岸、港口码头、工农业用水及交通运输等造成许多不利影响, 为此, 必须对河道淤积部位进行挖河疏浚。那么, 河道开挖后是否使河道的景观综合发生变化, 是否减小了河道的淤积趋势或加大了河道的输水输沙能力, 必须对河道挖河疏浚后的挖河效果进行评判, 因此如何有效地预测和判断河道开挖后的挖河效果已成为人们迫切关心的内容。宏观上讲, 挖河效果分析应从工程目的、勘测设计、工程规模和工程经济评价甚至涉及到社会影响等诸多因素进行综合分析比较才能合理地说明挖河有无效果, 限于目前研究, 本文仅从工程目的和工程规模两部分因素并从泥沙角度分析河道的变化来考虑挖河效果问题, 初步提出了判断挖河效果的三个评判因子即挖沙减淤比、复原率和稳定坡。

## 1 预测挖河效果的三个评判因子

### 1.1 挖沙减淤比

所谓挖沙减淤比, 即相对同一基准面, 在相同水沙条件及河道边界条件下, 与不挖河相比, 挖河后研究河段的泥沙净增减量相对挖沙量的比例, 即相当于减少单位淤积量所需的挖沙量, 可表示为

$$\frac{G_1}{G_2 - G_3 + G_1} = \zeta \quad \text{或写为} \quad 1: \left[ \frac{G_2 - G_3}{G_1} \right] = \zeta \quad (1)$$

式中  $\zeta$  为挖沙减淤比;  $G_1$  为挖沙工程量;  $G_2$ 、 $G_3$  分别为挖河前后研究河段的冲淤量。对式(1)说明如下:

(1) 式(1)中将挖沙量也看成是减少淤积的一部分, 因此该式一定程度上既反映了减淤效

收稿日期: 2001-04-09; 修订日期: 2001-06-30

作者简介: 杨国录(1955-), 男, 广西昭平人, 武汉大学水利水电学院教授, 主要从事水力学及河流动力学的研究。

果, 又反映了挖河效果, 挖沙减淤比表示挖沙量与净增减淤量之比;

(2) 当  $G_2 > 0$ ,  $G_3 > 0$ , 且  $G_2 > G_3$ , 即不挖河时研究河段的淤积量大于挖河后的淤积量, 这种情况下挖河就产生减淤效果, 又此时必有  $G_2 - G_3 + G_1 > G_1 > 0$ , 故又有挖河效果;

(3) 当  $G_2 > 0$ ,  $G_3 > 0$ , 且  $G_2 < G_3$ , 即不挖河时研究河段淤积量小于挖河后淤积量, 此时就不产生减淤效果; 若  $G_2 - G_3 + G_1 > 0$ , 则只有挖河效果, 相反若  $G_2 - G_3 + G_1 < 0$ , 则既无减淤效果又无挖河效果。

(4) 当  $G_2 > 0$ ,  $G_3 < 0$ , 即不挖河时研究河段表现为淤积, 挖河后表现为冲刷, 此时就产生减淤效果, 且必有  $G_2 - G_3 + G_1 > 0$ , 则又有挖河效果;

(5) 当  $G_2 < 0$ ,  $G_3 > 0$ , 即不挖河时研究河段表现为冲刷, 挖河后表现为淤积, 此时将不产生减淤效果; 若  $G_2 - G_3 + G_1 > 0$ , 则只有挖河效果, 相反若  $G_2 - G_3 + G_1 < 0$ , 则既无减淤效果又无挖河效果。

## 1.2 复原率

若一河段因某一目的被开挖, 开挖后的新河在较短的时间内恢复成原河道, 这种开挖河段效果不好, 为此, 应考虑开挖河段的复原问题。所谓复原问题, 即在已有开挖状态下, 新河还原到老河的问题, 广义上讲是指冲淤河床形态以及河势的复原, 狭义上讲是指冲淤河床的复原。若分别从局部和整体考虑, 又分同位复原和异位复原: ①同位复原指开挖河段本身的复原, 主要考虑开挖河段向原河道方向的演变发展问题; ②异位复原指开挖河段以外的上下游河段的复原, 主要考虑未开挖河段受开挖河段影响后的未开挖河段朝着原河道方向的演变发展问题。复原率的大小表达式为

### (1) 复原年限及复原率

$$\frac{W_{\text{开挖量}}}{W_{\text{复原淤积量}}/N_{\text{复原年数}}} = \eta \quad (2)$$

式中  $\eta$  为复原年限, 即新河还原到老河所需的时间, 以年为单位, 由此可得复原率  $\xi$  为

$$\frac{W_{\text{开挖量}}}{\eta} / L_{\text{开挖河段长}} = \xi \quad (3)$$

即挖河后挖河段单位河长的年平均冲淤量。由式(2)、式(3)可以看出, 复原年限  $\eta$  越长, 复原率  $\xi$  越小, 挖河效果将越明显。

### (2) 复原幅值

$$\frac{Z_{\text{开挖前原始河床高程}} - Z_{\text{开挖后新河河床高程}}}{Z_{\text{开挖前原始河床高程}} - Z_{\text{开挖设计河床高程}}} \Bigg|_{\text{开挖河段}} = \phi \quad (4)$$

$$\frac{Z_{\text{开挖后新河河床高程}}}{Z_{\text{开挖前原始河床高程}}} \Bigg|_{\text{未开挖河段}} = \delta \quad (5)$$

式中  $\phi$  为同位复原幅值比;  $\delta$  为异位复原幅值比。

① 当  $\phi = 0$  时, 说明同位复原完整; 当  $\delta = 1$  时, 说明异位复原完整;

② 当  $\phi < 0$ ,  $\delta > 1$  时, 增幅, 说明挖河后新河普遍淤积; 相反, 当  $\phi > 1$ ,  $\delta < 1$  时, 减幅, 说明挖河后新河普遍冲刷;

③ 当  $\phi < 0$ ,  $\delta < 1$  时, 说明开挖河段过量淤积, 未开挖河段冲刷, 为同位堆积; 相反, 当  $\phi > 1$ ,  $\delta > 1$  时, 说明开挖河段冲刷, 未开挖河段过量淤积, 为异位堆积;

④当  $0 < \phi \leq 1$  时, 说明河床同位恢复, 并向原始河床发展; 相反, 当  $\phi > 1$  或  $\phi < 0$  时, 河床无同位复原可能。当新河不再复原时, 此时就需要提出新河稳定坡的概念。

### (3) 复原特性

复原特性可用复原特征值表示, 建议复原特征值用相同水平年下挖河与不挖河整个研究河段累计冲淤量的比值来反映, 即

$$\frac{W_{\text{挖河后累计冲淤量}}}{W_{\text{不挖河累计冲淤量}}} = \sigma \quad (6)$$

①式(6)反映挖河后新河与不挖河时老河的冲淤特性、冲淤强度的对比。当  $\sigma$  为正值时, 反映新河与老河的冲淤特性相同; 当  $\sigma$  为负值时, 反映新河的冲淤特性发生了变化。当  $\sigma = 1$  时, 说明新河与老河的冲淤强度相同; 当  $0 < \sigma < 1$  或  $\sigma > 1$  时, 说明新河的冲淤强度发生了改变;

②当挖河与不挖河时研究河段均为淤积时, 若  $\sigma > 1$ , 则挖河后淤积加重; 若  $\sigma < 1$  时, 挖河后淤积减小, 所以此时  $\sigma$  值越小, 挖河效果就越明显;

③当挖河与不挖河研究河段均为冲刷时, 若  $\sigma > 1$ , 则挖河后冲刷加重; 若  $\sigma < 1$ , 则挖河后冲刷减小, 所以此时  $\sigma$  值越大, 从疏通河道角度看挖河效果就越明显;

④当不挖河研究河段为淤积, 挖河后研究河段为冲刷时, 即  $\sigma < 0$ , 说明挖河后淤积减小, 产生了减淤效果, 反之亦然。

### 1.3 稳定坡

所谓稳定坡, 即指在多年来水来沙条件下河床逐渐趋于冲淤平衡状态时的河床坡度。当新河无复原可能时, 开挖后新河将会出现, 若存在稳定坡, 则开挖后新河将是相对稳定的, 否则新河将不稳定。在本文的研究工作中, 稳定坡则是通过数学模型的长系列数值模拟来确定的。

## 2 挖河效果分析

在提出预测河道开挖效果的三个因子后, 下面以黄河山东河段挖河固堤工程为例<sup>①</sup>, 进一步反映三个判别因子的有效性和可用性。

### 2.1 计算模型及依据

采用一维恒定平衡与不平衡输沙模式嵌套计算的非均匀沙数学模型《SUSBED-2》<sup>②</sup>, 该模型已广泛地应用于国内多条河流及水库的冲淤计算, 计算结果与实际吻合良好。这里针对黄河山东河段具体特点重新验证, 分别对挖河前和挖河后的验证结果绘于图1、图2。

从图中可以看出, 挖河前后利津-清6河段的累计冲淤总量与沿程冲淤分布计算值都与实测值吻合较好, 说明了所用模型的适应性和可行性。

### 2.2 计算方案

这里选择1986、1988、1993、1996、1998年为典型年, 分别计算典型年来水来沙条件下不同挖河长度、挖河宽度对挖河效果的影响, 为此确定了四个挖河方案(表1)。其中, 方案一为挖河工程已实施方案, 方案二~方案四为挖河工程可持续进行的研究方案。整个河段上, 利津

① 山东黄河河务局. 山东黄河挖河固堤启动工程原型观测试验研究报告, 1999.

② 武汉水利电力大学. 《SUSBED-1, 2》模型及计算机应用技术及应用, 1994.

— 朱家屋子- CS6- 清2- 清6 各断面间距分别为 35 350 m、10 890 m、12 610 m、18 680 m。

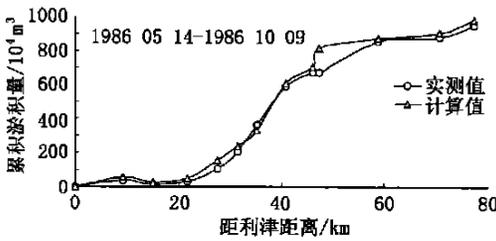


图1 1986年挖河前累计淤积量验证

Fig. 1 Test of deposition capacity before digging in 1986

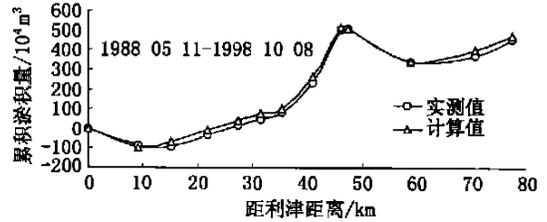


图2 1998年挖河后累计淤积量验证

Fig. 2 Test of deposition capacity after digging in 1998

表1 黄河山东河段挖河方案

Table 1 Projects of riverway digging

方案	挖河范围	挖河长度/km	挖河宽度/m	挖河深度/m	挖河工程量/万 m <sup>3</sup>
方案一	朱家屋子- CS6	11.0	200	2.5	548
方案二	朱家屋子- 清2	24.4	200	2.5	1220
方案三	朱家屋子- 清2	24.4	250	2.5	1525
方案四	朱家屋子- 清2	24.4	150	2.5	915

### 2.3 挖河效果分析

#### 2.3.1 挖沙减淤比

以1996典型年来水来沙条件为例，不挖河与四种挖河方案条件下利津- 清6河段冲淤量及沿程分配如表2。由表2可见，挖河河段以上利津- 朱家屋子河段在各方案挖河条件下比不挖河时明显冲得多；挖河河段在各方案挖河条件下均比不挖河时多淤，增加了回淤量，并不产生减淤效果，但扣除前期开挖量后还是有一定挖河效果的；利津- 清6包括挖河段在内的整个河段挖河后同时具有减淤效果和挖河效果。

表2 不同河段、不同方案挖沙减淤比的比较

Table 2 Ratio of reducing deposition of riverway digging

河段	不挖河冲淤量 / 万 m <sup>3</sup>	挖河							
		方案一		方案二		方案三		方案四	
		冲淤量 / 万 m <sup>3</sup>	减淤比	冲淤量 / 万 m <sup>3</sup>	减淤比	冲淤量 / 万 m <sup>3</sup>	减淤比	冲淤量 / 万 m <sup>3</sup>	减淤比
利津- 朱家屋子	- 27.4	- 299.1		- 442.4		- 381		- 599.9	
朱家屋子- CS6	154	254.1	1: 0.817	310.3		330.6		397.9	
朱家屋子- 清2	356.3	430		382.8	1: 0.97	532.3	1: 0.884	815.6	1: 0.498
朱家屋子- 清6	434.3	485		526.5		435.7		841.2	
利津- 清6(整个河段)	406.9	185.9	1: 1.354	84.1	1: 1.26	54.7	1: 1.231	241.3	1: 1.181

比较各方案，从淤积总量上看，方案三挖河条件下的淤积量最小；从减淤比来看，整个河段在各方案挖河条件下均产生了减淤效果和挖河效果，而方案一挖河条件下的挖沙减淤比 1: 1.354 为最小，减淤效果相对其它挖河方案要稍微明显一些。为确定较为可行的挖河方案还须通过其它标准进一步分析各挖河方案的挖河效果。

#### 2.3.2 复原率

表3为各种挖河方案下复原年限及复原率的比较。以1986、1988、1993、1996、1998年五

个典型年作为复原年数, 相应复原年数的淤积量即为复原淤积量。由表可见, 方案三挖河条件下的复原率最小为+ 8.0 万 m<sup>3</sup>/km·a, 所以该方案挖河条件下挖河效果最为明显。

表 3 不同挖河方案复原年限及复原率的比较

Table 3 Comparison about fixed number of year and speed of restoring

方 案	开挖量/万 m <sup>3</sup>	复原淤积量/万 m <sup>3</sup>	复原年限 T/a	复原率 S/(万 m <sup>3</sup> ·km <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )
方案一	623.71	+ 779	4.0	+ 14.2
方案二	1220	+ 1038	5.9	+ 8.5
方案三	1525	+ 979	7.8	+ 8.0
方案四	915	+ 1164	3.9	+ 9.5

表 4 与表 5 为各挖河方案与不挖河条件下利津- 清 6 河段冲淤量比值的比较, 分别比较各挖河方案冲刷和淤积情况下的  $\sigma$  的均值即  $\bar{\sigma}$ , 可以发现, 方案三挖河条件下淤积时的  $\bar{\sigma}$  值最小为 0.24, 冲刷时的  $\bar{\sigma}$  值最大为 1.47。所以得出, 方案三挖河条件下挖河效果较好。

表 4 挖河与不挖河利津- 清 6 河段冲淤量比值的比较

Table 4 Comparison about ratio of deposition capacity of digging and non digging from Lijin to Qing 6

年 份	不挖河 冲淤量 /万 m <sup>3</sup>	挖 河							
		方案一		方案二		方案三		方案四	
		冲淤量/万 m <sup>3</sup>	$\sigma$						
1986	- 957.4	- 1235	1.29	- 1342	1.40	- 1406	1.47	- 1314	1.37
1999	1031	874	0.85	749.7	0.73	524	0.51	830.8	0.81
1993	485.3	291.3	0.60	182.2	0.38	46.3	0.10	236.6	0.49
1996	406.9	185.9	0.46	84.1	0.21	54.7	0.13	241.3	0.59
1999	693.3	474	0.68	294.6	0.42	144.1	0.21	407.6	0.59

表 5 不同挖河方案值的比较

Table 5 Comparison about ratio of  $\sigma$

$\bar{\sigma}$	方案一	方案二	方案三	方案四
冲刷	1.29	1.40	1.47	1.37
淤积	0.64	0.44	0.24	0.62

注: 上表中  $\bar{\sigma}$  表示  $\sigma$  的平均值。

通过对以上各种挖河方案下复原年限、复原率以及挖河与不挖河条件下利津- 清 6 河段冲淤量比值的比较, 可以得出: 方案三挖河条件下的挖河效果相对其它挖河方案要更明显。

### 2.3.3 稳定坡

由以上挖沙减淤比、复原率的比较已初步得出方案三的挖河效果较为明显, 为进一步定性说明该方案挖河条件下利津- 清 6 河段的稳定坡问题, 以 1986、1988、1993、1996、1998 年 5 个典型年为一个系列年, 当计算年份大于 5 年后, 水沙系列循环使用。

图 3 为不同水平年下利津- 清 6 河段沿程累计淤积量图。从时间上看, 前 20 年利津- 清 6 河段的淤积速度比较大, 且随着时间的增长逐渐减小; 20 年后利津- 清 6 河段的淤积速度较为均匀, 已达到淤积稳定状态,

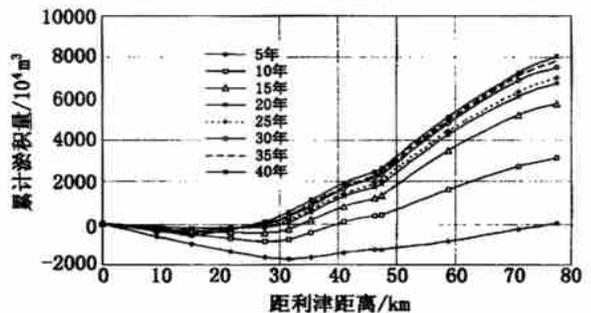


图 3 不同水平年下利津- 清 6 河段沿程累计淤积量  
Fig. 3 Accumulative deposition capacity of different years from Lijin to Qing 6

据此可算出新河稳定坡接近初始值。

### 3 结 语

本文提出的河道开挖效果预测方法和三个评判因子, 从模拟黄河山东河段的情况看, 方法是可行的, 可供类似问题的研究、设计作参考。

## Preliminary study on standard of riverway-digging effect forecasting

YANG Guo-lu<sup>1</sup>, WU Hong-juan<sup>1</sup>, YU Ming-hui<sup>1</sup>, LI Ji-ze<sup>1</sup>, WANG Chang-ci<sup>2</sup>

(1. School of Water Resource and Hydropower, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Yellow River Estuary Administration, YRCC, Jinan 250013, China)

**Abstract:** Three judgement standards of riverway-digging effect forecasting, ratio of reducing deposit, speed of restoring and steady gradient, are put forward directed to the importance of riverway-digging effect forecasting. They are explained according to a mathematical model result combined with Shandong reach of Yellow River. Validity and application potential of riverway-digging effect are analyzed by the three judgement standards.

**Key words:** riverway; ratio of reducing deposition; speed of restoring; steady gradient; riverway-digging effect