



长江口深水航道三期工程 北槽演变特征及航道回淤部分原因分析*

刘高峰, 郭文华

(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 对长江口深水航道三期2004—2007年工程期间的北槽河势演变进行了分析总结。分析表明北槽总体上呈现了拦门沙区域的“洪淤枯冲”规律, 而且北槽上段北滩地一直淤积, W3附近南滩地一直发生淤涨, 导致滩地坡度较大, 且航道南侧滩槽水深比和航道回淤量非线性负相关性非常强。W3附近南滩一直淤积、滩槽水深比小、滩地坡度大、8 m线宽度最小等因素是使近底高含沙水体易进入航道导致北槽中段回淤量大的部分原因。

关键词: 长江口; 北槽; 河势演变; 航道回淤

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0124-06

Evolution characteristics of north passage and back-silting in navigation channel during the third phase improvement project of deep-water channel

LIU Gao-feng, GUO Wen-hua

(Shanghai Estuarine & Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: The evolution of the river regime in the north passage after the construction of the second phase of the Yangtze River deepwater navigation channel project from 2004 to 2007 is analyzed. The results show that the principle of “deposit in flood season while erosion in dry season” applies generally to the mouth bar zone of the north passage. Besides, the north beach of the upstream of the north passage deposits all the time. Deposition also happens on the south beach near W3, which leads to a high slope of the shoal. In addition, the nonlinear negative correlation effect between the depth ratio of the south shoal channel and the channel siltation volume is significantly strong. Several reasons can be concluded to explain the high siltation volume in the navigation channel, such as the continuous deposition at the W3 south beach, small depth ratio of the shoal channel, high slope of the beach and the fact that the width of the 8m-depth line is the smallest.

Key words: Yangtze River estuary; the north passage; river regime evolution; siltation in navigation channel

长江口深水航道治理工程二期工程整治建筑物于2004年11月完成。在整治建筑的作用下, 北槽流场发生了较大变化, 北槽河床相应地发生了大幅度调整。2006年9月长江口深水航道治理工程三期工程开工, 三期工程主要以疏浚为主。根据模型预报, 正常气候条件下三期工程中航道年

回淤量约3 000万 m^3 ^[1], 但是三期工程在建设中发现航道回淤量比预测结果偏大, 2005和2006年实际北槽深水航道全槽回淤量分别为3 555万 m^3 和4 150万 m^3 。特别是上航道出现了回淤分布集中的现象, 且主要集中在W2-W3区段, 造成W2-W3区段回淤量巨大, 给10 m水深航道维护和12.5 m水深

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50939003); 交通运输部科技项目(2011328A0670)

作者简介: 刘高峰(1976—), 男, 博士, 副研究员, 从事河口海岸、港口航道工程研究。

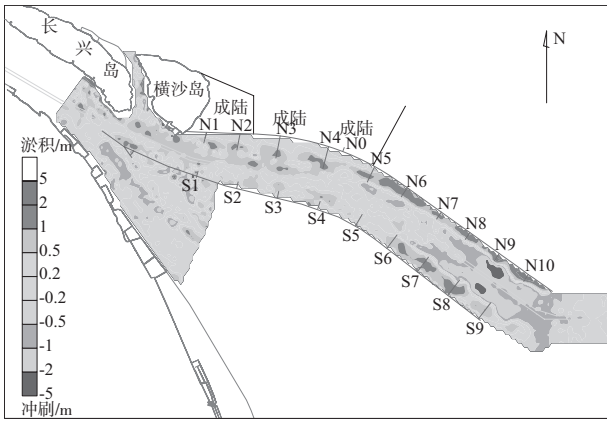
的增加带来了一定的困难^[2]。

北槽航道回淤量受含沙量、流速大小、流向和航道夹角、滩槽高差大小等等因素的影响^[3], 而北槽河势变化又和这些因素密切相关。本文拟对 2004 年 11 月—2007 年 11 月北槽地形进行分析, 分析总结北槽的近期演变特征和航道回淤的部分原因。

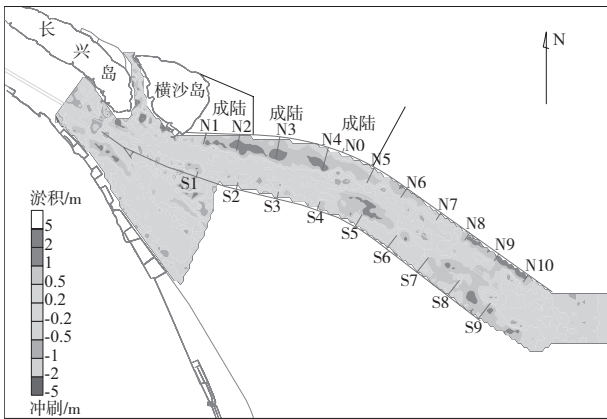
1 北槽地形演变

二期工程整治建筑物完成后的 3 年时间内, 北槽河床不断进行调整, 但是每年调整的幅度有差异。北槽河床调整的年际变化情况可以从 2004—2007 年北槽地形冲淤图中得到反映。图 1 是北槽地形冲淤情况。

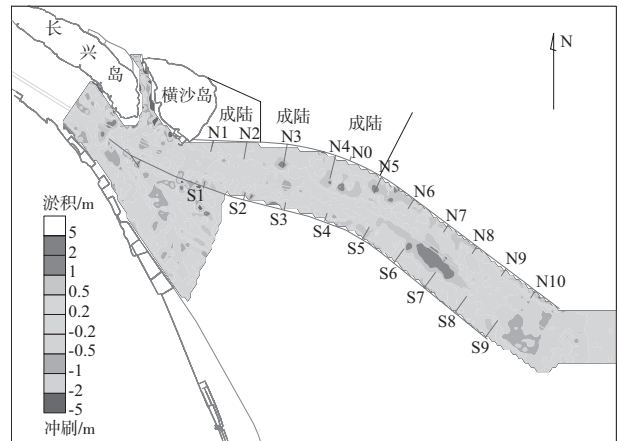
由图 1 a) 可知, 二期工程整治建筑物完成后的 2004 年 11 月—2005 年 11 月期间内, 北槽上段和下段 (以 W 3 为界划分) 发生剧烈河床调整, 主要表现为: 二期整治建筑物的实施增加了北槽上段



a) 2004 年 11 月—2005 年 11 月



b) 2005 年 11 月—2006 年 11 月



c) 2006 年 11 月—2007 年 11 月

图 1 北槽地形冲淤情况

的阻力, 从而造成北槽上段航道两侧滩地淤积, 且航道南北两侧滩地淤积的幅度基本接近, 淤积幅度约为 0.5~1.0 m。而北槽下段由于导堤和丁坝的束流作用导致动力增强, 北槽下段航道南北两侧滩地上发生较大幅度的冲淤, 且呈现靠近 W3 转角处冲刷较小而靠近 W4 附近的冲刷幅度较大的特点。

由图 1 b) 可知, 2005 年 11 月—2006 年 11 月期间, 北槽河床继续调整, 但是调整的幅度小于 2005 年。主要特点表现为北槽上段航道南侧地形基本平衡, 航道北侧滩地和坝田发生大幅度淤积。而 W3 转弯角附近航道南侧滩地发生大幅度淤积, 航道北侧滩地淤积稍弱。北槽下段中部发生一定的淤积, 而 W4 附近航道两侧滩地依然略有冲刷。

由图 1 c) 可知, 2006 年 11 月—2007 年 11 月期间河床基本平衡, 北槽上段航道南北两侧滩地冲淤平衡, 北侧坝田略有淤积。W3 转弯角附近航道南北两侧依然发生淤积, 淤积幅度约 0.5~1 m。北槽下段靠 W3 附近航道两侧滩地发生淤积, 最显著的是航道南侧滩地淤积幅度达 1~2 m。北槽下段靠 W4 附近航道两侧滩地依然略有冲刷。

2 北槽滩地冲淤变化

北槽航道两侧滩地的冲淤变化和北槽航道的冲淤存在一定的内在联系。为了把握航道两侧南北滩地的变化, 将北槽分为 3 段, S1-S4 区间为

上段, S4-S6区间为中段, S6-S9区间为下段。并且将滩地分为6个部分, 分别是北槽上段的南、北滩地(分别命名为AN, AS滩地), 北槽中段南、北滩地(BN, BS滩地), 北槽下段南、北滩地

(CN, CS滩地), 滩地具体位置和名称见图2。2004年11月—2007年11月期间北槽两侧南北滩地的冲淤量见表1。2004年11月—2007年11月期间北槽南、北滩地平均水深见表2。

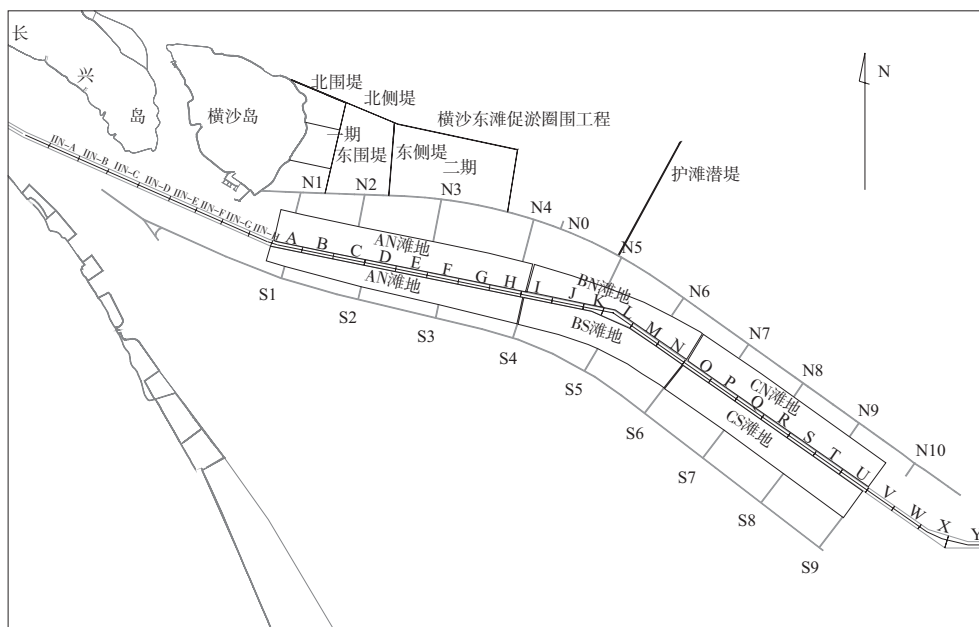


图2 北槽滩地位置和名称

表1 2004-11—2007-11北槽南、北滩地冲淤变化

万m³

时间	北槽上段		北槽中段		北槽下段	
	AN北滩	AS南滩	BN北滩	BS南滩	CN北滩	CS南滩
2004-11—2005-11	1 599.31	777.04	-348.44	300.42	-2 258.27	-2 443.69
2005-11—2006-11	264.24	-53.80	-203.21	1335.52	318.11	916.66
2006-11—2007-11	-446.24	-11.59	616.91	552.58	169.35	1 527.03

注: 正值表示淤积, 负值表示冲刷。

表2 2004-11—2007-11北槽南、北滩地平均水深

m

时间	北槽上段		北槽中段		北槽下段	
	AN北滩	AS南滩	BN北滩	BS南滩	CN北滩	CS南滩
2004-11	8.90	8.53	8.71	9.19	8.97	7.59
2005-11	8.32	8.15	8.93	9.03	9.91	8.58
2006-11	8.21	8.18	9.06	8.31	9.77	8.21
2007-11	8.37	8.18	8.67	8.01	9.70	7.59

由表1,2可知, 北槽各段滩地年际之间的变化特征如下:

1) 2004-11—2005-11期间: 北槽上段的AN北滩地和AS南滩地均发生淤积, 其中AN北滩地淤积达1 599万m³, 而南侧淤积幅度略小, 仅777万m³, 滩地平均水深也略有减小。北槽上段之所以淤积是因为二期工程导堤丁坝在北槽下段建成, 束窄北槽下段局部河宽, 增加了北槽上段的阻力, 导

致该区段水动力减弱, 产生淤积。

北槽中部的BN北滩地略有冲刷, 其平均水深也相应略有增加; 而BS南滩地略有淤积, 平均水深也减少0.17 m。

北槽下段CN北滩地和CS南滩地发生同等程度的冲刷, 冲刷幅度均达2 200万m³以上, 两侧滩地平均深度均增加了约1 m。这是由于北槽下段的二期工程导堤丁坝建成, 束窄北槽下段局部河宽,

导致北槽下段局部动力增强, 产生冲刷所致。

2) 2005-11—2006-11期间: 北槽上段AN北滩地继续略有淤积, 而AS南滩地略有冲刷, 冲淤的幅度较小, 滩地平均水深变化也很小, 可以认为基本达到一个平衡状态。北槽中段BN北滩地继续略有冲刷, 冲刷幅度减少。而BS南滩地继续淤积, 而且淤积的量大幅度增加, 达到1 335万 m^3 , 为上一年度的4倍, 滩地平均水深减小0.7 m。北槽下段CN北滩地和CS南滩地由上一年度大幅度冲刷转为略有淤积。

3) 2006-11—2007-11期间: 北槽上段AN北滩地和AS南滩地略冲, 冲刷的幅度较小, 滩地平均水深变化也较小, 可以认为基本上还是处于一个平衡状态。北槽中段BN北滩地由前两年度的冲刷转为略有淤积, 淤积量为616万 m^3 , 而BS南滩地继续

发生淤积, 但是淤积量略少, 仅552万 m^3 , 滩地平均水深减小0.3 m。北槽下段CN北滩地和CS南滩地略有淤积, 状态继续上一年度的趋势。

由以上分析可以概括如下: 二期工程建成后, 北槽上段滩地第1 a洪季发生大幅度淤积, 2007年基本达到平衡。北槽中段的BS南滩地一直处于淤涨的趋势, 其平均水深一直减小, 说明W3南侧滩地一直处于淤积环境。I、J、K、L等单元回淤强度大可能与W3转角南侧滩地一直淤涨有内在联系。北槽下段第1 a河床发生大幅度的冲刷调整, 其后基本达到平衡状态。

3 北槽等深线变化

2004年11月—2007年11月北槽8 m等深线变化见图3。

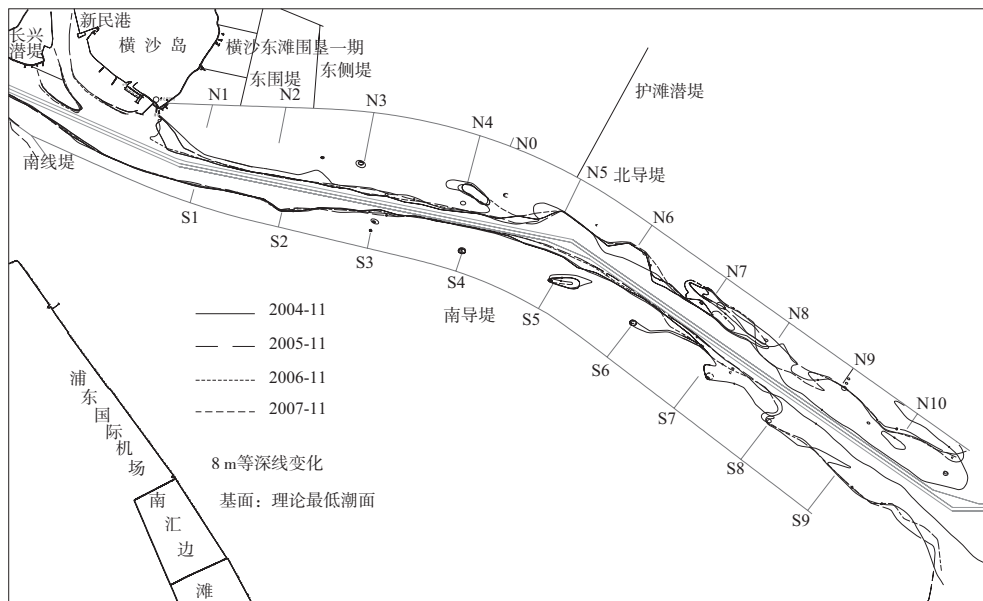


图3 2004年11月—2007年11月北槽8 m等深线变化

由图3可见, 北槽8 m等深线变化幅度较大, 主要表现: 1) 2005-11下段自S7以下8 m线大幅展宽, 2006-11和2007-11的S7-S8丁坝之间的南侧8 m等深线北移, 其他变化不大。2) 上段N1-N3丁坝范围北侧8 m线2005-11南压, 2005-2007变化不大。3) 中段S4-S6丁坝之间南侧8 m线有北压趋势, 2005-11—2006-11北移幅度最大, 2007年仍然有此趋势。总体上8 m等深线呈现上下两端8 m

线的宽度较大, 而S3-S5丁坝之间的8 m线宽度较小, 且南侧8 m线贴近航道。8 m线宽度较小段恰好与航道回淤严重段对应。

北槽10 m等深线除了进口段较宽以外, 北槽中下段均很窄, 2004年10 m线未全线贯通, 之后10 m线基本贯通全槽, 且很规则地沿着航道边线分布, 说明2005-11—2007-11的10 m深槽主要由疏浚得以维持。

4 北槽航道滩槽比变化

一般的河口或者海岸，经过长期的自动调整，河床基本处于动态平衡状态，航道开挖改变了这种动态平衡，必然导致航道的淤积，即所谓的“回淤”。

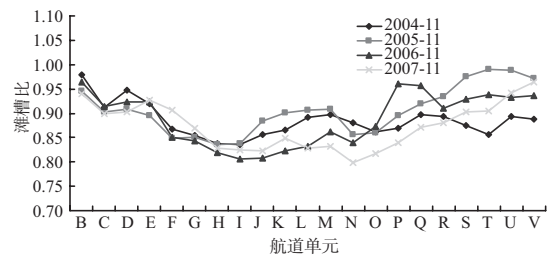
过去多个学者对于这种航道开挖后的“回淤”进行了许多回淤机理的研究，取得了比较统一的认识：开挖后航道回淤强度与泥沙浓度场、泥沙特性、流向和航道夹角、航道挖深等几个因子有关^[4]。通过大量的机理性试验研究，得到与回淤强度有关的几个关键参数，各个学者得到的定量表达式和相关参数均不一致，但都可以统一为如下形式：

$$p = \frac{t_0 s_1 \omega}{\rho_0 g} f\left(\frac{H_1}{H_2}, \theta\right) \quad (1)$$

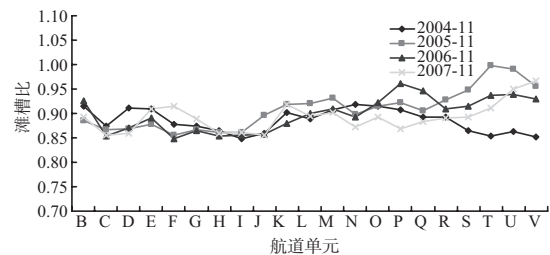
式中： p 为回淤量； t_0 为淤积时间； $\frac{p}{t_0}$ 则可表示回淤强度； ρ_0 为淤积物干密度； s_1 为航道附近含沙量； ω 为沉降速度； H_1, H_2 分别为航道边滩及航道挖槽维护水深， $\frac{H_1}{H_2}$ 表示滩槽水深比； θ 为水流与航道的夹角； $f\left(\frac{H_1}{H_2}, \theta\right)$ 表示以 $\frac{H_1}{H_2}$ 和 θ 为自变量的函数，各家的表达方式均不一样，但是大部分都含有参数 $1 - \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^n$ 和 θ ，说明回淤量和滩槽水深比

$\frac{H_1}{H_2}$ 成非线性关系，而且在其他条件不变的情况下回淤量随着滩槽水深比 $\frac{H_1}{H_2}$ 减小而增加，所以回淤量和滩槽水深比 $\frac{H_1}{H_2}$ 是非线性负相关关系。

按照航道挖槽维护水深10.5 m即 $H_2=10.5$ m，以航道边线的水深作为 H_1 来计算北槽B-V断面的滩槽水深比 $\frac{H_1}{H_2}$ 。2004年11月—2007年11月航道南侧和航道北侧滩槽水深比见图4。2005—2007年航道单元回淤量分布见图5。



a) 航道南侧



b) 航道北侧

图4 航道滩槽水深比

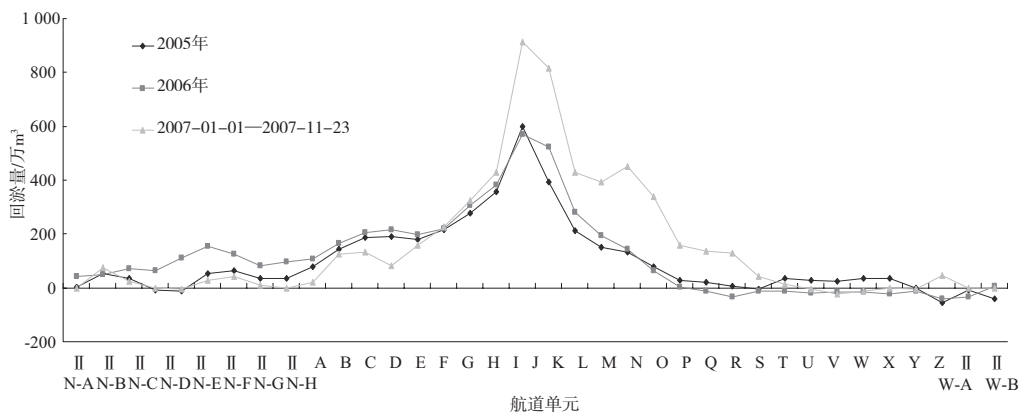


图5 航道单元回淤量分布

由图4 a)可知，北槽中部H-O单元的航道南侧滩槽水深比较小，而两端单元的航道南侧滩槽水深比较大，而2005—2007年航道回淤强度较大的也正是H-O单元。所以由图4 b)和图5对照可知，航道南侧滩槽水深比和航道单元回淤量分布

呈现非常好的对应关系，即航道南侧滩槽水深比较小的单元和航道回淤量较大的单元呈现良好的对应关系。从2004年11月—2007年11月，航道中部H-O单元的航道南侧滩槽水深比总体上呈现逐年减少的趋势，这也和H-O航道单元回淤量增加

有所对应。

5 结论

1) 三期工程期间, 2005—2006年河床发生大幅度调整, 2007年期间地形基本平衡, 但是局部地形仍然有变化。北槽总体上呈现了拦门沙区域的“洪淤枯冲”规律, 而且北槽上段北滩地一直淤积, W3附近南滩地一直发生淤涨, 2006年和2007年淤积强度较大, 而且滩地坡度较大, 这里一直淤涨恰好和疏浚困难段I,J,K,L等单元对应, 所以困难段淤积强度大极可能与W3附近南滩淤积有内在联系。

2) 总体上北槽8 m等深线在上下两端的宽度较大, 在S3-S5区段宽度较小, 且此段南侧8 m线贴近航道。8 m线较窄段与航道回淤严重段对应。

3) 航道中部H-O单元的航道南侧滩槽水深比和航道单元回淤量非线性负相关性强。

4) 疏浚困难段的平衡地形水深太浅, 需要通

过工程措施来调整。工程措施的主要作用是通过改变流场来调整困难段两侧滩地水深, 特别是增加W3航道段南侧滩地水深, 增加航道南侧滩槽水深比, 尽量使W3航道段南侧8 m和10 m线远离航道边线, 使得W3航道南侧平衡地形水深增加, 将会有利于深水航道减少回淤量。

参考文献:

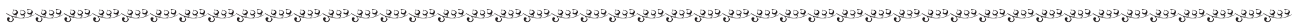
[1] 吴华林, 郭文华. 长江口深水航道整治工程航道回淤悬沙物理模型验证试验报告[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2004.

[2] 戚定满, 顾峰峰, 王远扬. 北槽W2-W3区段回淤原因分析初步研究成果[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2005.

[3] 金鏐, 谈泽炜, 李文正, 等. 长江口深水航道的回淤问题[J]. 中国港湾建设, 2003, 126(5): 1-7.

[4] 罗肇森. 河口航道开挖后的回淤计算[J]. 泥沙研究, 1987(2):13-20.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第110页)

3) 提出了简便易行且效果良好的模型边界的确定方法。

4) 阐述了模型整体变坡的必要性及方法。

5) 白茆沙水道工程局部正态物理模型较好地复演了目标的试验水力条件, 证明了该局部正态物理模型设计取得了成功。

参考文献:

[1] 方达宪, 王军. 丁坝坝头床沙起冲流速及局部最大冲深计算模式的探讨[J]. 泥沙研究, 1992(4): 77-84.

[2] Chiew Y M, Mellive B W. Local scour around bridge piers[J]. J of Hydraulic Research, 1987(1): 115-122.

[3] Raudkivi J, Robert Ettma. Clear-water scour at cylindrical

piers[J]. J of Hydraulic Engineering, 1983(3): 98-106.

[4] 詹义正, 潘军峰, 曹志芳, 等. 非淹没丁坝坝头冲刷深度的计算[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2002(4): 27-30.

[5] 高桂景. 丁坝水力特征及冲刷机理研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2006.

[6] 赵晓冬, 吴丽华, 陈志昌, 等. 河口整治工程建筑物局部冲刷试验研究[J]. 海洋工程, 2005(1): 47-52.

[7] JTJ/T 232—1998 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规范[S].

[8] 罗小峰. 长江口水流盐度数值模拟[D]. 南京: 南京水利科学研究院, 2005.

[9] 李家星, 赵振兴. 水力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2001.

(本文编辑 武亚庆)