



增强长江口北槽航道内 水流冲刷能力的工程措施探讨*

刘猛¹, 朱亮², 李为华¹, 胡志锋¹

(1. 上海河口海岸科学研究中心, 河口海岸交通行业重点实验室, 上海 201201;

2. 南通航运职业技术学院, 江苏南通 226010)

摘要: 基于试验数据对增强长江口北槽航道内水流冲刷能力进行探讨, 结果表明: 试图仅通过实施丁坝工程来调整北槽中段地形使天然深泓与目前航道轴线位置吻合是行不通的; 若要达到较显著的冲刷效果, 新建丁坝宜布置在靠近主流的深水区, 此外在北槽中段北侧加密丁坝亦有显著作用; 若想进一步增强北槽中段航道内的水流冲刷能力, 宜综合采取新建丁坝工程和航道轴线调整的措施, 仅仅依靠加长丁坝, 很难较好地增强该段航道内的水流冲刷能力。

关键词: 长江口深水航道治理工程; 水流冲刷能力; 丁坝; 航道轴线调整

中图分类号: TV 148

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0100-06

Engineering measures to enhance flow erosion capability in north passage of the Yangtze estuary

LIU Meng¹, ZHU Liang², LI Wei-hua¹, HU Zhi-feng¹

(1. Key Laboratory of Estuarine & Coastal Engineering, Ministry of Transport, Shanghai Estuarine and

Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China; 2. Nantong Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: Based on the test data, the engineering measures to enhance the flow erosion capability in the north passage of the Yangtze estuary are discussed. The results shows that: 1) It is not feasible for attempting to adjust the topography in the middle region of the north passage to make natural thalweg location coincident with the current navigation channel axis by dike construction project only; 2) To achieve a more obvious erosion effect, the new dike should be arranged in the deep water near the mainstream, in addition, groyne encryption also plays a significant role in the north side of the north passage, middle region; 3) To further enhance the flow erosion capability in the north passage, the comprehensive measures of adjusting new groyne and navigation axis should be taken. It is difficult to better enhance the flow erosion capability in the north passage by extending groyne only.

Key words: the Yangtze estuary deepwater channel regulation project; flow erosion capability; dike; adjustment of waterway axis

长江口深水航道治理工程自1998年1月27日开工以来, 经历12年共3期工程的艰苦建设, 工程建设目标全面实现, 共建造导堤、丁坝等整治建筑物169.165 km (图1), 北槽主槽自然水深由不足7.0 m

(理论基面, 下同) 逐步加深至约9.0 m, 在疏浚维护条件下, 航道水深已达12.5 m, 但长江口12.5 m深水航道通航以来北槽内出现航道回淤量大且较为集中的情况, 给航道维护带来了巨大压力^[1]。

收稿日期: 2013-08-20

*基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301020); 上海市科学技术委员会科研计划项目(11231202300); 交通运输部科技项目(2011328A0670)

作者简介: 刘猛(1983—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事河口水沙运动及河口航道治理研究。

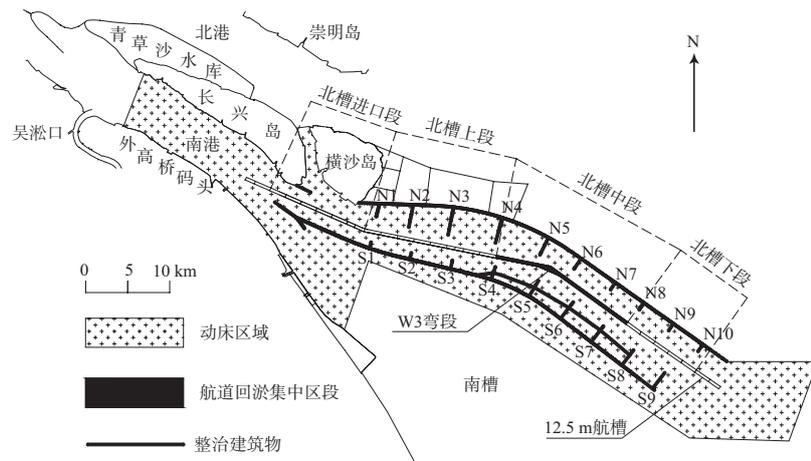


图1 工程平面位置

从宏观动力角度出发,入海河口的航道整治一般有两种方法:一种是增强航道内水流的冲刷能力,一般通过建设导堤、丁坝以及航道轴线调整等措施来实现^[2-3];另一种是消除或减少波浪的掀沙作用,一般通过兴建消浪、防浪建筑物来实现^[4]。刘猛^[5]对水流及波浪作用下的长江口拦门沙河段滩槽变化机制进行了分析,表明:在水流作用下,床面泥沙运动结果总体上是由流速大的低处向流速小的高处运动,滩槽变化趋势是槽冲刷、滩淤积;在波浪作用下,床面泥沙运动趋势总体上是由紊动强度大的高处向紊动强度小的低处运动,滩槽变化趋势是槽淤积、滩冲刷。可见对于航道整治来说,增强航道内水流的冲刷能力与消除或减少波浪的掀沙作用均有效果,通俗地说,对于实现航道整治目的来说,增强航道内水流的冲刷能力为“攻”;消除或减少波浪的掀沙作用为“守”,两者是相辅相成的,选择何种方式开展河口航道整治应根据每个河口的动力特征确定。

长江口北槽深水航道的治理采用了增强航道内水流冲刷能力的方法,本文顺应该思路依靠清水动床物理模型研究手段对通过延长、加密丁坝以及航道轴线调整等措施进一步增强长江口北槽航道内水流冲刷能力进行探讨,为长江口12.5 m深水航道减淤工作提供思路。

1 物理模型及试验方案

物理模型试验于2011年3月—7月在上海河口海岸科学研究中心长江口整体物理模型上开展,

该模型长期应用于长江口重大涉水工程相关的科研论证工作,对于北槽潮流动力场、河床演变等问题具有较高的模拟精度,模型水平比尺为1:1 000,垂直比尺为1:125。模型动床范围见图1,包括了整个北槽区域,折合原型面积约855 km²。

试验方案共有6组,其中1组方案为本底试验方案,无新建丁坝工程;其余5组试验方案均为有新建丁坝工程方案,分别为方案1、方案2、方案3、方案4和方案5,各方案新建丁坝尺寸见表1,新建丁坝具体布置分别见图2,所有新建丁坝堤头高程均为0.0 m,坝根高程与衔接处工程一致,中间平顺过渡。

2 试验结果分析

将北槽沿纵向分为4个区段(图1),分别为北槽进口段(ⅡN-D-A)、北槽上段(B-I)、北槽中段(J-Q)和北槽下段(R-V),其中北槽中段是北槽航道回淤最严重的区段,也是本文关注的重点区段。航道内水流冲刷能力的增强与减弱在清水动床模型上主要反映为河床的冲淤变化,冲刷越显著,表明水流冲刷能力越强。方案分别实施2 a(2011-02—2013-02)后的河床冲淤情况分别见图2。

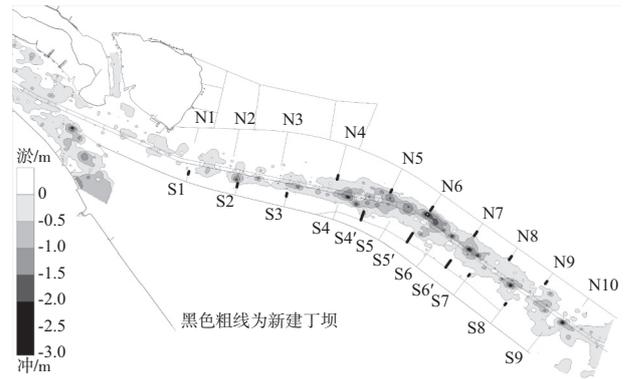
依据图2数据统计,各方案下北槽各区段净冲淤量统计见表2。

由上图、表数据可见:

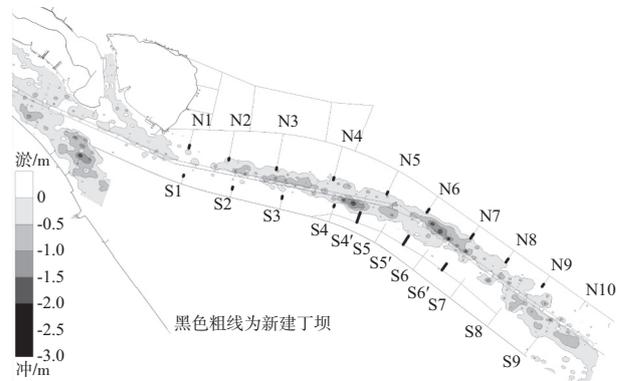
1) 无新建工程条件下,北槽河床仍继续调整,2 a后呈现3个特点:① 河床调整范围广,出

表1 各方案新建丁坝尺寸统计

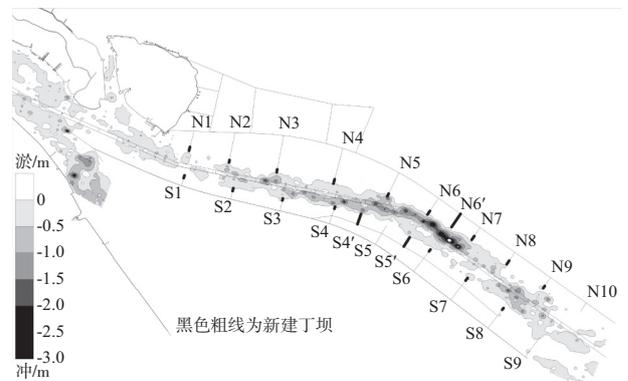
位置	丁坝	加长距离/m				
		方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
北侧	N0	0	0	0	540	0
	N1	0	320	400	0	0
	N2	0	200	250	0	0
	N3	0	220	300	0	0
	N4	425	250	450	0	400
	N5	300	260	300	200	300
	N6	450	380	430	475	450
	N6'	0	0	1 580	0	0
	N7	475	500	450	685	600
	N8	425	400	420	640	400
	N9	300	300	270	400	200
N10	0	0	0	0	0	
合计		2 375	2 830	4 850	4 340	2 350
南侧	SB	0	0	0	840	0
	SC	0	0	0	860	0
	S1	300	150	300	300	150
	S2	400	250	300	400	400
	S3	325	250	200	360	220
	S4	0	200	210	250	0
	S4'	900	1 037	1 080	1 140	0
	S5	0	0	0	150	0
	S5'	1 050	1 012	1 070	0	0
	S6	0	0	220	100	0
	S6'	850	774	0	0	0
S7	200	0	320	295	0	
S8	200	0	210	320	0	
S9	0	0	0	0	0	
合计		4 225	3 673	3 910	5 015	770



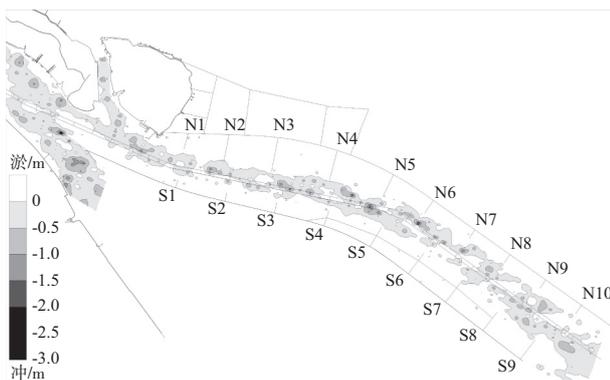
b) 方案1 (GLJ)



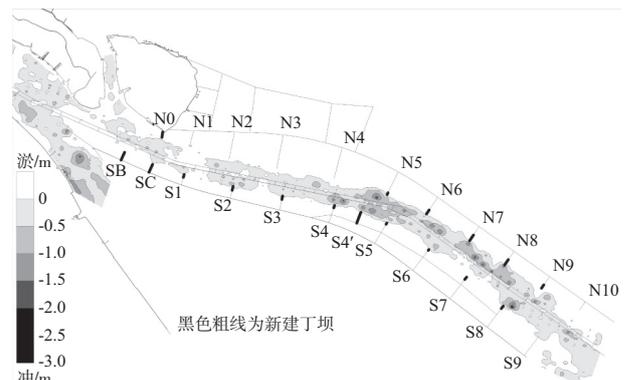
c) 方案2(HD)



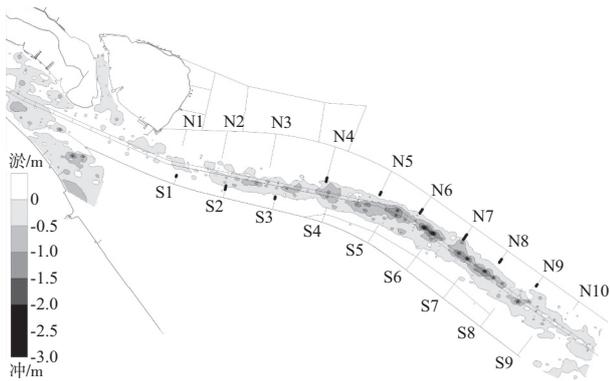
d) 方案3(ZX)



a) 本底方案



e) 方案4(NK)



f) 方案5(CJK-01)
图2 河床冲淤

表2 各方案下北槽各区段净冲淤量统计 $10^4 m^3$

方案	进口段	上段	中段	下段	合计
本底方案	27.4	-55.3	275.7	26.7	274.4
方案1	-418.7	147.2	2 142.5	370.9	2 241.9
方案2	-163.4	-64.6	1 415.3	318.8	1 506.1
方案3	-38.2	457.8	1 942.7	121.9	2 484.3
方案4	-397.7	240.8	1 511.3	571.0	1 925.4
方案5	-392.9	241.2	2 093.4	202.8	2 144.5

注: +为冲刷, -为淤积。

现了贯穿整个北槽的河床变化情况。② 南淤北冲, 河床整体微冲。航道以南至坝头连线内总体表现为淤积、航道以北至坝头连线内总体表现为冲刷, 但整个北槽(南、北坝头连线以内)基本上表现为继续微冲的态势, 净冲淤量为274万 m^3 。③ 较深冲刷区域靠近航槽, 除坝头冲刷坑外, 所有较深(冲刷幅度超过0.5 m)冲刷区域均靠近航槽分布。

2) 无新建工程条件下, 从分区域来看, 河床调整主要表现以下特点: ① 北槽中段(J-Q)冲刷带与天然深槽基本吻合, W3以上冲刷带较均匀地分布在航道两侧, W3以下冲刷带主要分布在航道以北。冲刷带不连续, 沿航槽冲刷宽度变化大, 部分区域出现淤积(如N-Q)。② W3以下南边滩整体微淤, 淤积区部分侵入航道。③ 北槽上段(B-I)出现较为明显的冲刷带, 其位置较航道轴线偏北, 航道以南淤积范围广、且淤积幅度较明显。④ 北槽下段(R-V)有明显的冲刷区域, 主要分布在航道以南, 航道以北淤涨范围较广, 北槽下

段整体表现为冲刷。⑤ 北槽进口段(II N-D-A)横沙小港以西淤涨明显; 横沙小港以东航道以南淤涨, 以北冲刷; 北槽进口段整体呈微淤状态。

3) 各工程方案实施2 a后, 河床调整主要表现以下特点: ① 北槽中段均出现了明显的冲刷带, 但冲刷带均较航槽有所北偏。② 从对W3以下南边滩整体淤涨态势的遏制作用来看, 方案5, 方案1及方案4均起到一定效果, 但作用均不显著。③ 北槽上段均出现了冲刷态势, 从对北槽上段河槽容积增加作用来看, 方案3, 方案5和方案4效果相对较好。④ 北槽下段亦均出现了冲刷态势, 从对北槽下段河槽容积增加作用来看, 方案5和方案4相对较好。⑤ 各方案实施后, 进口段均出现一定淤涨, 河槽容积均有减小, 从减缓河槽容积减小作用来看, 方案3与方案2效果相对较好, 方案5次之, 方案1和方案4效果稍差。

3 进一步增强航道水流冲刷能力的可能性分析

目前回淤最严重的北槽中段河床天然深泓(航道两侧-8.0 m等深线的中间线, 见图3)与航道轴线不尽一致, W3弯段以下天然深泓与航道轴线位置相比北偏约200~500 m, 各工程方案实施后, 北槽中段河床均出现了较为显著的冲刷, 但冲刷带依旧北偏, 南边滩目前的淤涨态势虽然可以得到一定遏制, 但效果不明显, 可见试图仅通过实施丁坝工程来调整北槽中段地形使天然深泓与目前航道轴线位置吻合是行不通的。若想进一步增强该段航道内的水流冲刷能力, 宜综合采取新建丁坝工程和航道轴线调整的措施, 即顺应河势, 通过实施合适的丁坝工程促使目前北槽中段天然深泓进一步加深, 然后调整航道轴线位置, 使其与天然深泓一致, 这样也可以减小航槽超挖深度(航槽超挖深度等于航槽位置的自然平衡水深与12.5 m深水航道内水深的差值), 减轻航道水深维护的压力。

目前北槽上段和北槽下段航道天然回淤量小, 航道水深维护压力轻, 各工程方案实施后, 北槽上段和北槽下段河床不仅未出现淤积态势, 反而出现了微冲的态势, 对航道维护有利。目前

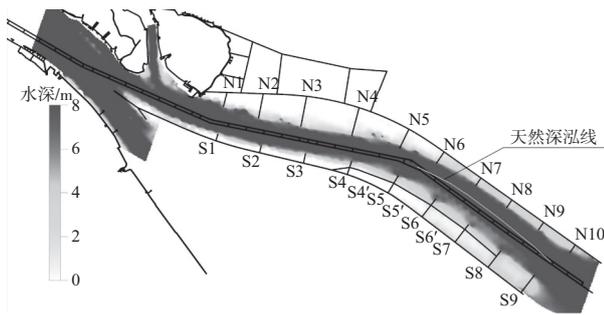


图3 2011年2月北槽天然水深分布

北槽进口段虽然回淤较为明显，但其回淤总量较北槽中段小得多，各工程方案实施后，北槽进口段均出现了微淤情况，但不利影响较弱。各工程方案实施后，未给北槽周边附近区域如南槽进口、南港主槽下段、横沙小港等河床变化带来明显不利影响。

试验结果表明，通过采取新建丁坝工程和局部航道轴线调整的综合措施，北槽进口段虽然出

现了微弱的不利影响，但目前回淤最严重的北槽中段航道水流冲刷能力得到了显著的增强，不仅有利于改善目前北槽航道回淤分布集中的现状，也有利于北槽航道回淤总量的减少。

4 进一步实施丁坝工程的平面优化布置分析

从前文分析可知，各工程方案实施后均有利有弊，但利显著大于弊，从目前深水航道所面临的实际情况出发，若进一步实施丁坝工程，怎样的平面布置较为合适呢？关键应该考察该方案实施后，目前回淤最为严重的北槽中段冲刷情况如何，“利”应该尽可能大。

为了更好地描述北槽中段冲刷情况，表3从深槽内0.5 m以上冲刷区域的纵向连续性、总覆盖长度、平均宽度以及冲刷带与北槽天然深泓（图3）位置吻合情况等指标来对比各方案实施效果。

表3 各方案北槽中段主槽冲刷形态指标统计

方案	冲刷幅度0.5 m以上的区域纵向总长度/km	冲刷幅度0.5 m以上的区域纵向平均宽度/km	冲刷幅度0.5 m以上的区域纵向连续性	冲刷带与天然深泓吻合情况	综合评价
1	15.4	0.94	较连续（86%）	一般	较好
2	8.9	0.61	不连续（50%）	一般	一般
3	13.9	0.81	较连续（78%）	好	较好
4	13.4	0.75	较连续（75%）	较好	一般
5	16.9	0.89	连续（94%）	好	好

注：连续性评价指标：连续指冲刷带长度占总统计长度90%以上；较连续指冲刷带长度占总统计长度的70%~90%；不连续指冲刷带长度占总统计长度70%以下。判断冲刷带与天然深泓吻合情况好坏，主要看两者位置是否一致，冲刷带能否集中、均匀地分布在深泓两侧，横向上不应太分散。

从北槽中段冲刷情况来看，各方案实施后，北槽中段均出现了顺应天然深槽走势的明显冲刷带，起到了预期的整治作用，但从天然深槽冲刷形态来看，方案5效果相对最好，方案1与方案3效果次之，方案2与方案4效果一般。

从各工程方案的工程量来看，方案5共加长丁坝3 120 m，远小于其它工程方案，但其工程效果最为显著。对比方案5与其它工程方案布置，可以得到以下几点结论：

- 1) 若要达到相对较为显著的冲刷效果，新建丁坝宜布置在靠近主流的深水区，如北槽上段的S1-S3丁坝，北槽中段的N4-N9丁坝。
- 2) 在北槽进口段南侧浅滩布置丁坝（SB与

SC）并未给进口段带来明显冲刷。

3) 在W3以下南边滩加长丁坝或者加密丁坝，不仅对增加主槽水流冲刷能力作用不明显，而且对改善南边滩的淤积现状作用也不明显。

4) 从加密丁坝作用来看，在北槽中段北侧加密丁坝作用较为显著，如方案3的N6'丁坝。

5 进一步调整航道轴线必要性分析

从前文分析可以看出，各工程方案实施后，北槽中段河床均出现了较为显著的冲刷，但冲刷带依旧北偏，若想进一步增强该段航道内的水流冲刷能力，宜综合采取新建丁坝工程和航道轴线调整的措施，即顺应河势，通过实施合适的丁坝

工程促使目前北槽中段天然深泓进一步加深, 然后调整航道轴线位置, 使其与天然深泓一致, 否则仅仅依靠加长丁坝, 很难较好地增强该段航道内的水流冲刷能力。

6 结语

1) 各工程方案实施后, 北槽中段河床均出现了较为显著的冲刷, 但冲刷带依旧北偏, 南边滩目前的淤涨态势虽然可以得到一定遏制, 但效果不明显, 可见试图仅通过实施丁坝工程来调整北槽中段地形使天然深泓与目前航道轴线位置吻合是行不通的。

2) 从北槽中段冲刷情况来看, 各方案实施后, 北槽中段均出现了顺应天然深槽走势的明显冲刷带, 起到了预期的整治作用, 但从天然深槽冲刷形态来看, 方案5效果相对最好, 方案1与方案3效果次之, 方案2与方案4效果一般。

3) 若要达到较显著的冲刷效果, 新建丁坝宜布置在靠近主流的深水区; 在北槽进口段南侧布置丁坝并未给进口段带来明显冲刷; 在W3以下南边滩加长丁坝, 不仅对增加主槽水流冲刷能力作用不明显, 而且对改善南边滩的淤积现状作用也

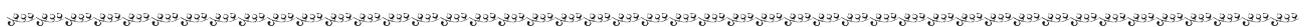
不明显; 从加密丁坝作用来看, 在北槽中段北侧加密丁坝作用较为显著, 如方案3的N6' 丁坝。

4) 若想进一步增强北槽中段航道内的水流冲刷能力, 宜综合采取新建丁坝工程和航道轴线调整的措施, 即顺应河势, 通过实施合适的丁坝工程促使目前北槽中段天然深泓进一步加深, 然后调整航道轴线位置, 使其与天然深泓一致, 否则仅仅依靠加长丁坝, 很难较好地增强该段航道内的水流冲刷能力。

参考文献:

- [1] 谈泽炜, 范期锦, 郑文燕, 等. 长江口北槽航道回淤原因分析[J]. 水运工程, 2011(1): 29-39.
- [2] 陈志昌, 乐嘉钻. 长江口深水航道整治原理[J]. 水利水运工程学报, 2005(1): 1-7.
- [3] 韩玉芳, 陈志昌. 丁坝群在调整宽浅河床地形中的作用[J]. 水利水运工程学报, 2004(2): 23-28.
- [4] 杨华. 黄骅港外航道泥沙问题的治理及其效果[J]. 水道港口, 2009, 30(4): 233-240.
- [5] 刘猛, 李为华. 长江口北槽深水航道回淤量变化宏观动力原因分析[J]. 水运工程, 2013(3): 129-139.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第86页)

- [13] 王珍珍, 徐群, 陈国平. 瓯江河口挟沙力公式研究[J]. 水运工程, 2010(5): 1-5.
- [14] 顾峰峰, 戚定满, 牟林, 等. 长江口悬沙挟沙力公式参数的率定与验证[J]. 泥沙研究, 2010(5): 1-6.
- [15] 左书华, 张宁川, 李蓓, 等. 洋山深水港海域悬沙浓度时空变化及其动力原因[J]. 华东师范大学学报: 自然科学

- 版, 2009(3): 72-82.
- [16] 韩其为, 何明民. 恢复饱和系数初步研究[J]. 泥沙研究, 1997(3): 32-40.
- [17] 曹祖德, 孔令双. 往复流作用下泥沙的悬浮与沉降过程[J]. 水道港口, 2005, 26(1): 6-11.

(本文编辑 武亚庆)