



长江南京以下12.5 m深水航道一期工程白茆沙水道工程局部冲刷试验研究——Ⅱ：模型试验*

刘 猛，戚定满，张宏伟

(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)

摘要：采用局部正态模型对长江南京以下12.5 m深水航道一期工程白茆沙水道工程进行了局部冲刷试验研究，试验结果表明：1) 白茆沙水道工程S1丁坝、S2丁坝、S3丁坝以及南侧围堤堤头等附近易产生较严重的局部冲刷，应重点防护；2) 优化方案不仅防护效果好，而且护排布置合理，能同时满足工程安全和节约投资的需求。

关键词：长江南京以下12.5 m深水航道；白茆沙水道工程；局部冲刷；局部正态模型

中图分类号：TV 148

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2013)02-0005-06

Model study on local scour in Baimaosha channel project of the first phase of Yangtze River deep water channel project from Nanjing: Ⅱ. Model test

LIU Meng, QI Ding-man, ZHANG Hong-wei

(Shanghai Estuarine and Coastal Research Center Key Laboratory of Estuarine & Coastal Engineering Ministry of Transport, Shanghai Estuarine and Coastal Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: Local scour in Baimaosha channel project of the first phase of the Yangtze River deep water channel project from Nanjing areis studied by local normal model. The results show that: 1) S1 groyne, S2 groyne, S3 groyne and the head of south polder dike, etc. are positions prone to appear significant local scour in Baimaosha channel project, and thus need to focus on protection; 2) Optimization scheme is not only effective to prevent local scour, but also scientific and rational in layout design of flexible mattress, thus can meet the needs of engineering safety and conservation investment.

Key words: the Yangtze River deep water channel project from Nanjing; Baimaosha channel project; local scour; local normal model

长江南京以下12.5 m深水航道一期工程白茆沙水道工程规模庞大，区域地质表层多为粉细沙，抗冲刷能力差，护排是堤坝安全的关键，且工程费用中护排部分所占比例大，科学确定护排布置对白茆沙水道工程安全和投资意义重大，因此有必要开展白茆沙水道工程局部冲刷试验。

在《长江南京以下12.5 m深水航道一期工程白茆沙水道工程局部冲刷研究Ⅰ：模型设计》^[1]基

础上，进一步开展了白茆沙水道工程局部冲刷试验，主要研究内容有：1) 通过开展无护排方案试验，确定白茆沙水道工程易冲部位及冲刷形态，为分析、评价各护排布置方案防护效果及优化护排布置方案提供依据。2) 通过对护排布置初步设计方案防护效果和无护排方案试验成果的综合分析，提出护排布置优化设计方案，并对其防护效果进行分析和评价。

收稿日期：2012-07-13

*基金项目：国家自然科学基金重点资助项目（50939003）

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

1 试验方案

白茆沙水道工程平面布置较为复杂,由围堤、丁坝及潜堤等组成,工程各部位名称见图1。

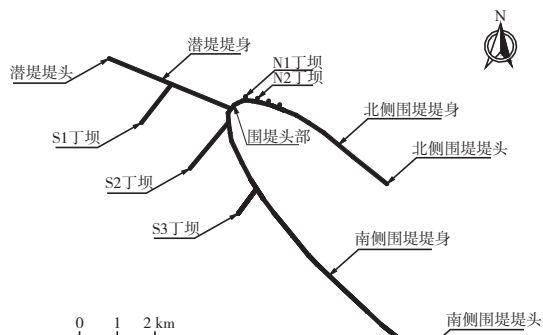


图1 工程各部位名称

白茆沙水道工程共开展了4组局部冲刷方案试验,其中1组为无护排方案试验,其余3组均为有护排方案试验,分别为白茆沙水道工程护排布置初步设计方案、初步优化方案和优化方案,各护排方案布置情况见图2。初步设计方案是根据经验公式计算的护排宽度(变化范围)的较大取值并结合工程经验初步确定,初步优化方案是根据初步设计方案及无护排方案试验结果对经验公式计算的护排宽度取值进行调整后的护排方案,优化方案是在初步优化方案基础上根据各方案试验结果综合确定。在护排方案优化过程中,护排宽度调整主要综合考虑以下4点:

1) 护排方案实施后,工程附近的局部冲刷不能引起工程的滑移失稳。

2) 护排方案实施后,局部冲刷的极限冲刷深度不宜过大,较深的局部冲刷易诱发护排的损毁^[2],现场若不能及时发现并修补,局部冲刷将迅速向工程附近发展,进而引起工程的滑移失稳,此外护排损毁后修补难度大且费用高。

3) 对于工程附近地形坡度较大的区域(如南侧围堤堤头),应加强防护,防止工程实施后高滩冲刷后退,进而危及工程的稳定。

4) 本文研究的白茆沙水道工程为一期工程,较深的局部冲刷以及工程附近的高滩冲刷后退均不利于后期工程的进一步实施,如对堤、坝等加高或延长等。

与初步设计方案相比,初步优化方案 and 优

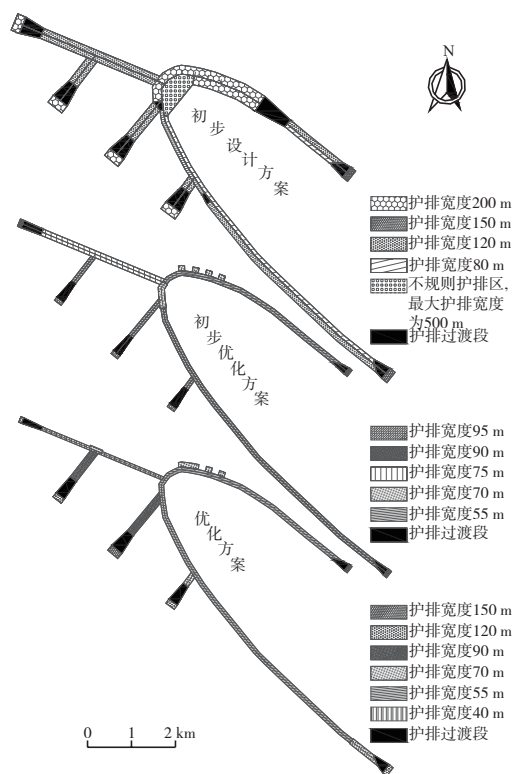


图2 各护排方案布置

化方案护排范围总面积均显著减少,分别减少约52.7%和50.9%。与初步优化方案相比,优化方案护排布置变化主要表现为以下4点:

1) S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝护排布置不完全一致,S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝坝身护排宽度分别为90 m, 90 m和70 m; S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝坝头护排宽度分别为120 m, 150 m和120 m。

2) 潜堤护排宽度大幅度减小,潜堤堤身除近S1丁坝北侧局部范围护排宽度由75 m减至70 m外,其余部分护排宽度由75 m减至40 m,潜堤堤头护排宽度由90 m减至70 m。

3) N1丁坝和N2丁坝之间空隙布满护排。

4) 南侧围堤近堤头1 km范围内护排宽度由55 m增加至70 m,南侧围堤堤头护排宽度由90 m增加至120 m,围堤头部护排宽度减至55 m。

可见,虽然优化方案和初步优化方案护排范围总面积较为接近,但护排布置发生明显调整。

2 无护排方案试验

开展无护排方案试验,主要是为了研究白茆沙水道工程易冲部位及冲刷形态,为分析、评价

各护排布置方案防护效果及优化护排布置方案提供依据。在试验水力条件作用下^[1],典型部位冲刷形态见图3~6。

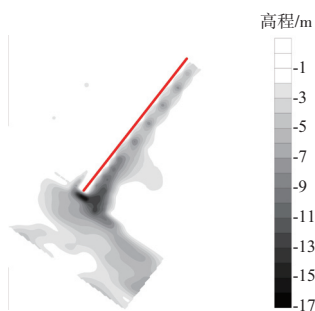


图3 S1丁坝冲刷情况

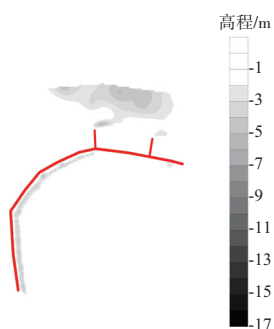


图4 围堤头部冲刷情况

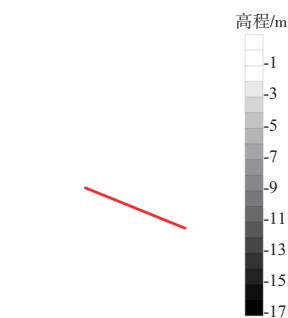


图5 潜堤堤头冲刷情况

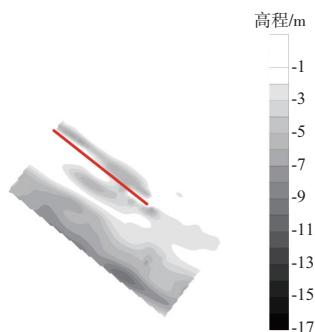


图6 南侧围堤堤头冲刷情况

1) S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝沿坝身附近均产生一条明显的冲刷沟,宽度约100~200 m,最大

冲刷深度分别为10 m, 15.8 m和8.3 m; S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝坝头均产生一个明显的椭圆形冲刷坑,冲刷坑面积分别约为3万 m² (宽150 m×长250 m), 7万 m² (宽200 m×长400 m)和2万 m² (宽100 m×长250 m), 最大冲刷深度分别约为16.2 m, 23.5 m和15.0 m。

2) 围堤头部内侧出现一条宽约50 m, 沿程最大冲刷深度约为5.5 m的冲刷沟; N1丁坝和N2丁坝坝头分别出现一个冲刷坑, 最大冲刷深度分别为6.0 m和4.0 m, N3丁坝和N4丁坝坝头未有明显局部冲刷情况出现; 围堤头部北侧200 m以外出现大范围整体冲刷(整体冲刷位置与实际较为符合^[3-4], 但冲刷幅度较实际情况偏大, 这是由局部冲刷试验采用极端水力条件原因所造成的, 故本文在涉及到整体冲刷时仅分析其位置)。

3) 潜堤堤头未出现明显的冲刷坑或冲刷沟; 潜堤堤身靠近S1丁坝坝根北侧出现一个冲刷坑, 其最大冲刷深度约为5.0 m, 最深点距潜堤轴线约为50 m, 潜堤堤身其余部分未出现明显局部冲刷情况。

4) 南侧围堤堤头及附近堤身的南、北侧均有较大冲刷情况出现, 围堤北侧产生一条沿堤的冲刷沟, 宽度约50~80 m, 最大冲刷深度为6.8 m; 从堤头沿堤身南侧往上游产生一个长约600 m, 宽约100 m的长条形冲刷坑, 堤头处最大冲刷深度为7.2 m, 堤身处最大冲刷深度6.1 m; 此外堤头南侧150 m以外产生大范围整体冲刷。

5) 北侧围堤堤头未出现明显的局部冲刷情况, 堤头北侧200 m以外产生大范围整体冲刷。

6) 南、北侧围堤堤身内侧均产生一条宽40~50 m, 最大冲刷深度约为4.0 m的冲刷沟; 围堤外侧未出现明显局部冲刷情况。

从以上分析可见, 相比之下, S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝以及南侧围堤堤头等附近易于产生较大局部冲刷, 应重点防护。

3 各护排方案防护效果分析与评价

为了方便论述, 直接将各护排方案试验成果进行对比分析, 既能对各护排方案防护效果较好地分析和评价, 也能突出优化方案护排布置的合

理性。

在试验水力条件作用下,各护排方案下典型部位冲刷形态见图7~10,各护排方案下工程各部

位冲刷情况见表1。根据各护排方案下工程各部位的冲刷情况的对比分析,可以对各护排方案的防护效果及护排布置合理性进行评价。

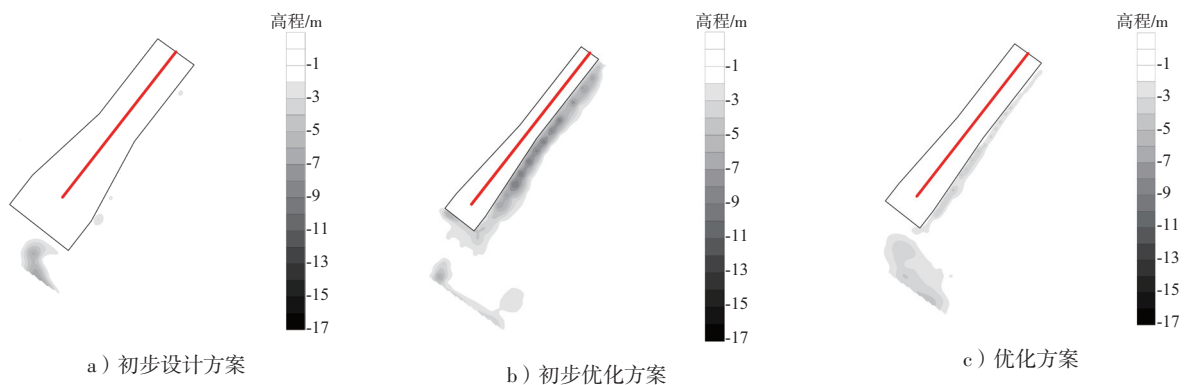


图7 S1丁坝冲刷情况

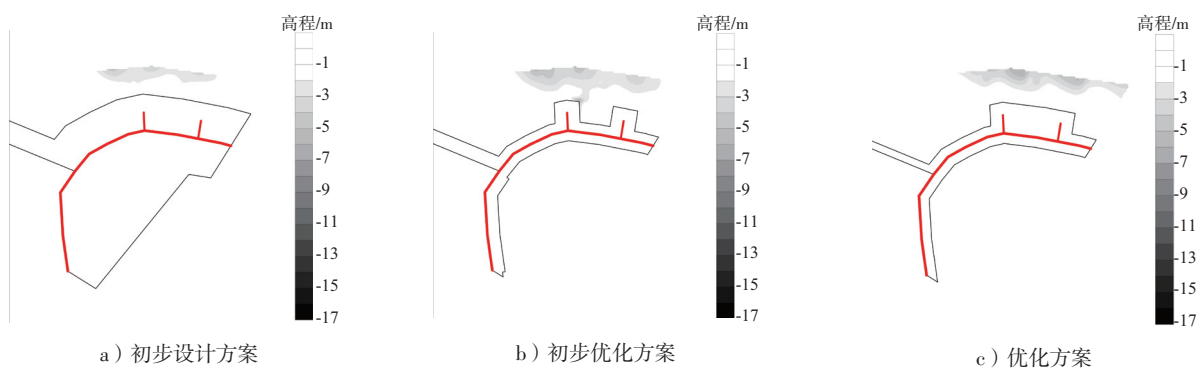


图8 围堤头部冲刷情况

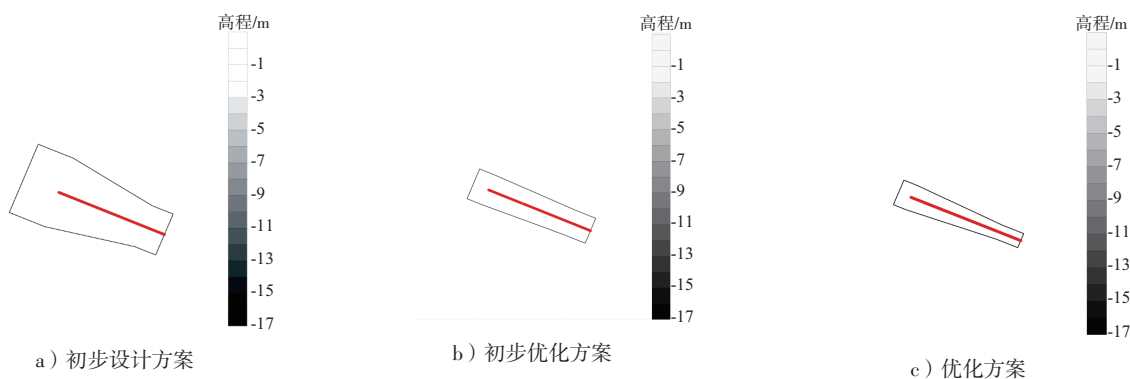


图9 潜堤堤头冲刷情况

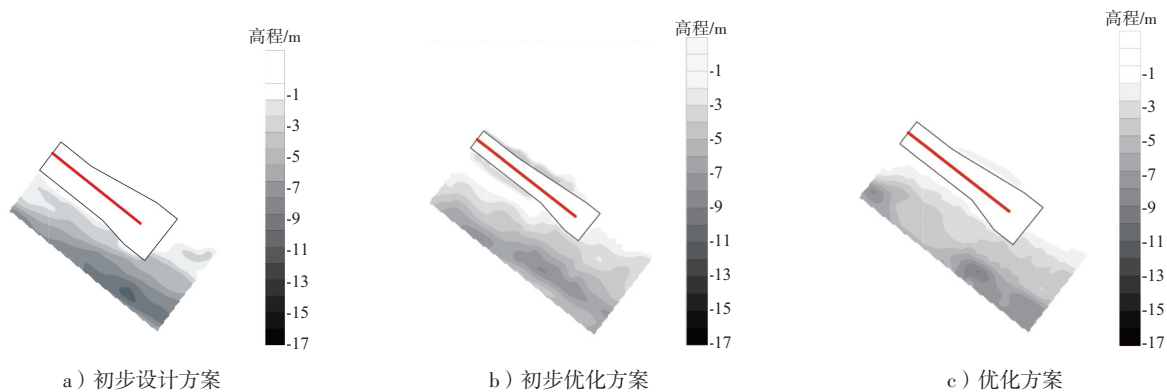


图10 南侧围堤堤头冲刷情况

表1 各护排方案下工程各部位冲刷情况

工程部位	初步设计方案	初步优化方案	优化方案
S1丁坝	1. 坝身排前最大冲刷深度约为3.0 m, 距坝轴线约为160 m; 2. 无护排方案试验中的坝头冲刷深坑消失, 排前无明显冲刷。	1. 坝身排前最大冲刷深度约为9.0 m, 距坝轴线约为80 m; 2. 坝头排前最大冲刷深度约为6.0 m, 距坝头约为100 m。	1. 坝身排前最大冲刷深度约为4.5 m, 距坝轴线约为120 m; 2. 坝头排前最大冲刷深度约为4.0 m, 距坝头约为150 m。
S2丁坝	1. 坝身排前最大冲刷深度约为4.8 m, 距坝轴线约为200 m; 2. 无护排方案试验中的坝头冲刷深坑消失, 排前无明显冲刷。	1. 坝身排前最大冲刷深度约为11.0 m, 距坝轴线约为90 m; 2. 坝头排前最大冲刷深度约为13.5 m, 距坝头约为160 m。	1. 坝身排前最大冲刷深度约为5.5 m, 距坝轴线约为150 m; 2. 坝头排前最大冲刷深度约为5.0 m, 距坝头约为170 m。
S3丁坝	1. 无护排方案试验中的较强冲刷沟消失, 排前无明显冲刷; 2. 无护排方案试验中的坝头冲刷深坑消失, 排前无明显冲刷。	1. 坝身排前最大冲刷深度约为5.8 m, 距坝轴线约为80 m; 1. 坝头排前最大冲刷深度约为4.0 m, 距坝头约为100 m。	1. 坝身排前最大冲刷深度约为3.5 m, 距坝轴线约为120 m; 2. 无护排方案试验中的坝头冲刷深坑消失, 排前无明显冲刷。
围堤头部	1. 无护排方案试验中的围堤头部内侧冲刷沟消失, 排前无明显冲刷; 2. 无护排方案试验中的N1丁坝和N2丁坝坝头冲刷坑消失, 排前无明显冲刷; 3. 围堤头部北侧200 m以外存在大范围整体冲刷。	1. 无护排方案试验中的围堤头部内侧冲刷沟基本消失, 排前无明显冲刷; 2. N1丁坝坝头排前存在一个冲刷坑, 最大冲刷深度约为6.0 m, 距坝头约为70 m; 3. 围堤头部北侧200 m以外存在大范围整体冲刷。	1. 无护排方案试验中的围堤头部内侧冲刷沟基本消失, 排前无明显冲刷; 2. 无护排方案试验中的N1丁坝和N2丁坝坝头冲刷坑消失, 排前无明显冲刷; 3. 围堤头部北侧200 m以外存在大范围整体冲刷。
潜堤	堤身与堤头排前无明显冲刷。	堤身与堤头排前无明显冲刷。	堤身与堤头排前无明显冲刷。
南侧围堤堤头	1. 无护排方案试验中的堤身北侧冲刷沟基本消失, 排前无明显冲刷; 2. 无护排方案试验中的堤头附近冲刷坑基本消失; 3. 堤头南侧150 m以外存在大范围整体冲刷。	1. 堤身北侧排前存在一条冲刷沟, 最大冲刷深度约为5.0 m, 距堤轴线约为60 m; 2. 堤身南侧排前最大冲刷深度约为4.0 m, 距堤轴线约为60 m; 3. 堤头南侧150 m以外存在大范围整体冲刷。	1. 堤身北侧排前存在一条冲刷沟, 最大冲刷深度约为2.5 m, 距堤轴线约为80 m; 2. 无护排方案试验中的堤头附近冲刷坑基本消失; 3. 堤头南侧150 m以外存在大范围整体冲刷。
北侧围堤堤头	堤头北侧200 m以外存在大范围整体冲刷。	堤头北侧200 m以外存在大范围整体冲刷。	堤头北侧200 m以外存在大范围整体冲刷。
南北侧围堤堤身	1. 无护排方案试验中的堤身内侧冲刷沟基本消失, 排前无明显冲刷; 2. 堤身外侧排前无明显冲刷。	1. 无护排方案试验中的堤身内侧冲刷沟基本消失, 排前无明显冲刷。 2. 堤身外侧排前无明显冲刷。	1. 无护排方案试验中的堤身内侧冲刷沟基本消失, 排前无明显冲刷。 2. 堤身外侧排前无明显冲刷。

1) 防护效果评价。

对于无护排方案试验中工程附近出现的较强局部冲刷情况, 各护排布置方案实施后均能达到阻止或减弱工程附近出现较强的局部冲刷的目的, 相比而言, 初步设计方案和优化方案对局部冲刷的防护效果较好, 均能满足工程稳定要求, 初步优化方案仍存在局部区域冲刷较为严重的问题, 如S1丁坝和S2丁坝, 不能完全满足工程稳定要求。

2) 护排布置合理性评价。

①无护排方案试验表明, 南侧S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝属于易冲刷部位, 坝身和坝头附近

均出现较强局部冲刷, 但各丁坝冲刷情况有所差别, 因此在设计南侧3条丁坝护排时, 护排宽度不宜过小, 否则护排边缘会出现较强冲刷, 无法满足堤身稳定或护排自身稳定的要求。相比而言, 初步优化方案由于护排宽度过小, 排前冲刷较深, 防护效果较差, 初步设计方案和优化方案守护效果较好, 其中优化方案护排布置考虑了各丁坝局部冲刷情况的差异, 更加合理。

②无护排方案试验表明, 围堤内侧存在一条冲刷沟, 宽度较窄, 约为50 m, 因此在围堤护排设计时, 宽度无需取值过大, 当护排宽度超过50 m时, 围堤头部内侧冲刷沟将会基本消失。相比而

言, 优化方案护排宽取值较为合理, 沿程均为 55 m, 防护效果显著。

③无护排方案试验表明, 潜堤除靠近S1丁坝坝根北侧局部有较强的冲刷坑出现外, 其余部分均未出现明显冲刷, 因此在设计潜堤护排时, 在满足设计要求前提下应尽量减少其护排宽度。相比而言, 优化方案护排布置较为合理, 初步设计方案和初步优化方案护排布置较为保守。

④无护排方案试验表明: 南侧围堤堤头冲刷情况较为复杂, 除堤身附近出现宽度较窄、深度较深的冲刷沟(坑)外, 紧邻外侧冲刷坑又出现大范围整体冲刷, 因此在南侧围堤堤头护排设计时, 应充分考虑其冲刷特征, 护排作用不仅要抑制堤身附近冲刷沟出现, 而且要防止紧邻外侧冲刷坑的大范围整体冲刷区域未来向工程靠近, 确保堤身稳定。相比而言, 初步设计方案和优化方案守护效果较好。

⑤无护排方案试验表明, 北侧围堤堤头存在大范围整体冲刷, 虽未紧贴工程, 但随着河势的变化, 该整体冲刷区域存在向堤头发展的可能, 因此在北侧围堤堤头护排设计时, 护排作用不是阻止局部冲刷的出现, 而是让整体冲刷区域远离工程, 确保堤身稳定安全。相比而言, 初步优化方案和优化方案护排宽取90 m较为合理, 守护效果显著。

⑥无护排方案试验表明: 北侧N1丁坝和N2丁坝坝头均存在明显的冲刷坑, 其余丁坝无明显冲刷, 因此在北侧丁坝护排设计时, 应充分考虑各条丁坝的差别, 重点守护N1丁坝和N2丁坝。相比而言, 初步设计方案和优化方案守护效果较好, 优化方案充分考虑了各条丁坝局部冲刷情况的差异, 更加合理。

综上可见, 优化方案不仅防护效果好, 而且护排布置合理, 能同时满足工程安全和节约投资需求。

4 结论

1) S1丁坝、S2丁坝和S3丁坝以及南侧围堤堤头等附近易于产生较严重的局部冲刷, 应重点防护。

2) 各护排布置方案实施后均能达到阻止或减弱工程附近出现较强的局部冲刷的目的, 相比而言, 初步设计方案和优化方案对局部冲刷的防护效果较好, 均能满足工程稳定要求, 初步优化方案仍存在局部区域冲刷较为严重, 不能完全满足工程稳定要求。

3) 优化方案不仅防护效果好, 而且护排布置合理, 能同时满足工程安全和节约投资的需求。

致谢:本文所涉及的数值计算工作得到了顾峰峰研究员的鼎力支持, 同时郭文华、胡志峰和刘高峰研究员亦为相关物理模型试验工作提供了大量帮助, 在此一并谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 刘猛, 吴华林, 张宏伟, 等. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程白茆沙水道工程局部冲刷研究 I: 模型设计[J]. 水运工程, 2013(1):5-11.
- [2] 马爱兴, 曹民雄, 王秀红, 等. 长江中下游航道整治护滩带损毁机理分析及应对措施[J]. 水利水运工程学报, 2011(2): 32-38.
- [3] 上海河口海岸科学研究中心. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程白茆沙水道整治工程(施工图阶段)局部冲刷物理模型试验研究[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2012.
- [4] 上海河口海岸科学研究中心. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程初步设计物模试验研究报告[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2012.

(本文编辑 武亚庆)