



贵州清水江城景水电站通航水流条件 优化试验研究

杨宇, 李艳富, 韩昌海, 谭高文

(南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,
通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏南京 210029)

摘要: 城景水电站是利用三板溪水库回水的长期消落水头而兴建的水电站, 可有效地改善上游河道的航运水流条件。设计船闸布置于泄洪闸中间, 枢纽泄洪方式对上下游引航道及口门区水流条件影响大; 下游引航道口门区位于弯道凸岸, 通航水流条件复杂难以满足通航安全要求。针对以上问题, 通过 1:80 比尺的整体枢纽模型, 研究下游不利通航水流条件的成因。通过降低通航标准、设置导流墩、疏浚凸岸岸线、优化枢纽调度, 使引航道及口门区通航水流条件满足通航规范要求, 为枢纽通航设计提供了可靠依据。

关键词: 城景枢纽; 弯道凸岸; 引航道; 口门区; 通航水流条件

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)12-0126-06

Experimental study on navigation flow condition of Chengjing hydro-power station in Guizhou Qingshui river

YANG Yu, LI Yan-fu, HAN Chang-hai, TAN Gao-wen

(Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Key Laboratory of Navigation Structure Construction Technology, Ministry of Transport, PRC, Nanjing 210029, China)

Abstract: Built on the tail of Sanbanxi reservoir, Chengjing hydro-power plant generates electricity with the water head of Sanbanxi hydro-fluctuating, which can improve the flow condition of upstream as a result. The navigation lock is built among sluice gates. The flow condition of the approaching entrance area is significantly influenced by the operation scheme of the sluice. The downstream approaching entrance area locates at the convex of bank, and the flow condition is complex and cannot meet the demand of navigating safety. Focusing on the above questions, we probe into the causes of adverse flow regime with a scale 1:80 physical model. Taking measures including decreasing navigable standards, setting diversion piers, excavating the convex bank and optimizing the junction's operating, we achieve the goal that the flow regime of the approach channel and the entrance area meet the demand of codes concerning the navigable flow. It provides a reliable basis for the hydro-power construction.

Keywords: Chengjing junction; convex bank; approach channel; approaching entrance area; navigable flow

多弯河道开发航电枢纽工程的难点之一是保
证引航道口门区及连接段的通航水流条件满足规

范要求。在弯道或入汇水流影响下, 口门区出现
斜流或不稳定流影响通航安全。基于现行规范^[1],

收稿日期: 2016-09-19

作者简介: 杨宇 (1976—), 男, 博士, 高级工程师, 从事生态水力学、通航水力学、工程水力学以及环境水力学等研究工作。

具有山区河流特点的曲线引航道布置形式被广泛研究并应用^[2],同时导流墩、导航墙开孔、丁潜坝等措施有效地改善了通航水流条件^[3-7]。城景水电站是利用三板溪水库回水的长期消落水头而兴建的水电站,水库回水有16.74 km,改善了本河段的航运条件。枢纽泄水闸坝和通航建筑物集中布置于多弯河段连接处,下游引航道口门区处于凸岸侧并同时受到泄水闸泄水影响,口门区水流条件难以达到通航规范要求。需要研究论证泄洪闸运行对下游引航道通航的影响,以及提出弯道凸岸引航道布置方案,使得城景枢纽的船闸通航能力满足设计要求。

1 工程概况

城景枢纽是利用三板溪水库尾水长期消落水头兴建的水电站。水库回水16.74 km,改善了上游16.74 km的航运条件,提高了当地的航运能力。工程采用闸坝厂房联体布置,厂房段同时具有挡水功能。整个工程自左至右依次布置为:左岸非溢流坝段、发电厂房、排污闸段、左侧泄水闸坝段、船闸、右侧泄水闸坝段(图1)。船闸布置于泄水闸孔中间。为了保证引航道内水流条件满足通航要求,通航时右侧泄水闸孔关闭,仅开启船闸左侧泄水闸孔泄洪,因此船闸布置方案相当于岸边布置。

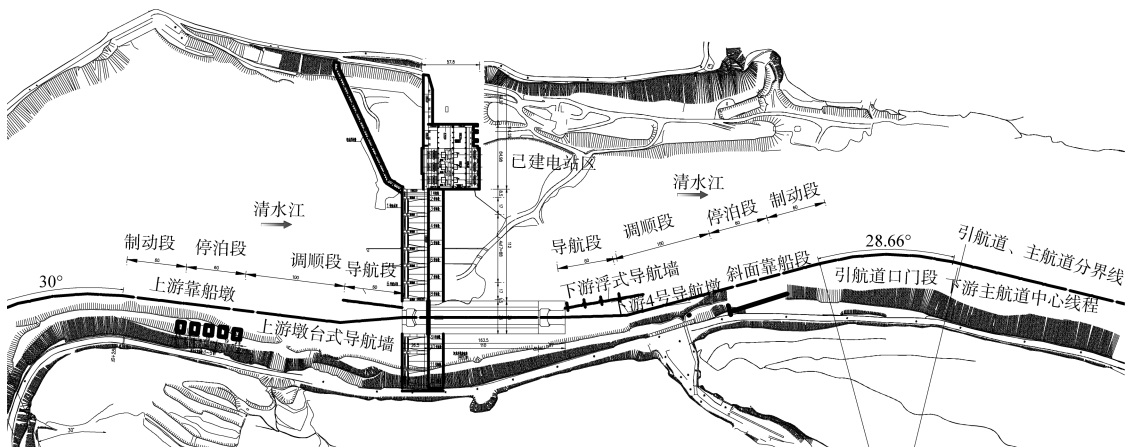


图1 城景枢纽总体布置

依据《船闸总体设计规范》,V级航道船闸上下游引航道口门区的流速应满足如下条件:1)口门区水流条件控制指标:纵向流速 ≤ 1.5 m/s,横向流速 ≤ 0.25 m/s,回流流速 ≤ 0.4 m/s;2)引航道导航和调顺段内宜为静水区,制动段和停泊段的水面最大流速纵向不应大于0.5 m/s,横向不应大于0.15 m/s。

2 模型设计

模型依据重力相似准则设计,几何比尺为1:80。试验模拟范围为上游制动段以上100 m,下游制动段以下300 m。上下游保留足够的流态过渡段以保证上下游口门区流速分布的相似性。模型上游安

装量水堰控制枢纽流量。采用标准测针读取上下游水位,精度为0.1 mm,误差为 ± 0.05 mm。采用光电式旋桨流速仪测量流速,起动流速为1 cm/s,精度为0.01 cm/s,误差为 ± 0.01 cm/s。

3 上游引航道通航试验

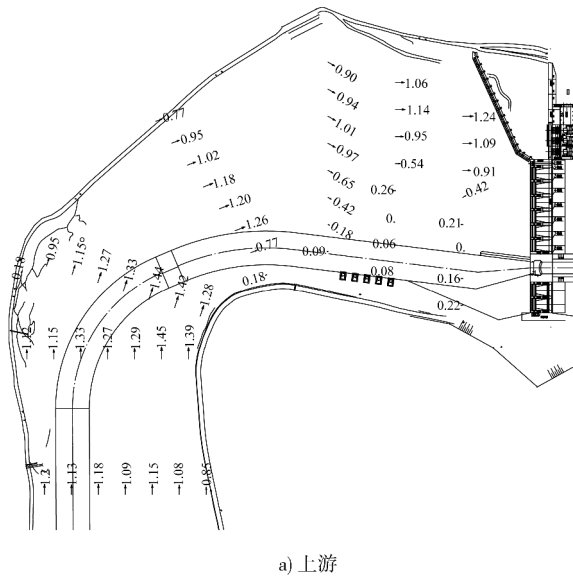
上游引航道处于较为宽阔的库区,采用半开敞形式,直线段长度为280 m,上游引航道导航墙长为60 m。相关研究^[8]表明类似船闸布置方案可使船舶尽早地转向驶入宽广的水域。

原设计最大通航流量2 a一遇洪水2 960 m³/s。试验对不同的通航流量级别进行试验,按照设计工况进行泄水闸启闭调度,测量口门区流速分布。

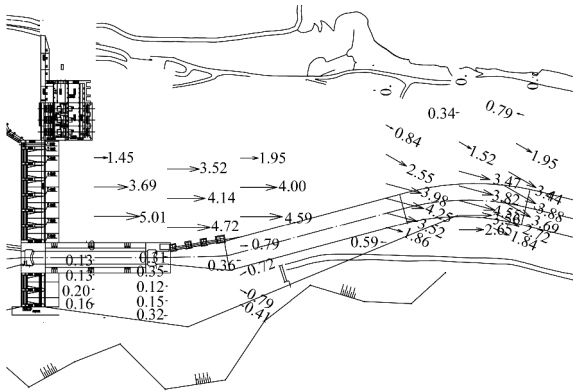
试验工况上游水位为正常蓄水位，流量为 2 960 m³/s时，船闸左侧 6 孔同步开启，船闸右侧两孔关闭。上游口门区流速分布(图 2a))显示，引航道内导航段和调顺段为静水区，水面基本无波动，停泊段内存在弱回流，最大回流流速 0.22 m/s，满足规范要求。因此，在设计泄水闸运行调度的前提下，上游引航道内水流条件能够满足通航要求。

安全。口门区水流条件复杂是山区河道航电枢纽引航道布置的常见问题，须采取合理措施以保证通航安全^[8]。

试验对下游引航道及口门区的水流流速特征进行了研究。试验工况选取电站满发流量 309、1 380 m³/s 和设计最大通航流量 2 a 一遇洪水 2 960 m³/s。由流速测量结果可知，下游引航道导航段内流速明显，流量为 309 m³/s 时为 0.34 m/s，流量为 2 960 m³/s 时为 0.72 m/s，不满足静水区要求。流量为 2 960 m³/s 时，停泊段及口门区的流速超过 4 m/s，横向流速超过 2.0 m，远远大于规范流速要求。当流量小于 1 380 m³/s 时，开启 5、6 号泄水闸，造成水流集中冲刷，同时由于右岸凸岸岸坡的影响，引航道内停泊段及口门区的流速均较大。原设计方案下游引航道不能够满足通航要求。原因在于，直线引航道口门区处于河流弯道起点，航道中心线与河道主流的夹角过大，因此造成口门区大范围内横向流速超标。应通过调整引航道航线或口门区位置来减小口门区内主流与航线的夹角，从而达到改善口门区水流条件的目的(图 2b))。



a) 上游



b) 下游

图 2 流量 2 960 m³/s 引航道口门区流速分布
(单位: m/s)

4 下游引航道通航试验

4.1 原设计方案

下游引航道布置于弯道凸岸，采用半开敞布置形式。引航道口门区位于近 150°弯道的起点部，航线与河道主流夹角较大，大面积斜流影响通航

4.2 优化方案 1

原设计方案存在 3 个问题：1) 口门区下游流速过大；2) 引航道导航段流速明显；3) 口门区横向流速严重。针对以上问题，优化方案 1 采取如下措施：1) 考虑降低最大通航流量；2) 去掉隔流墩，替换为直立式导航墙，以阻隔水流横向进入引航道，导航墙长度为 192 m，约为 3.5 倍的设计船长；3) 将河道右岸(凸岸)岸线向右开挖(图 3)。

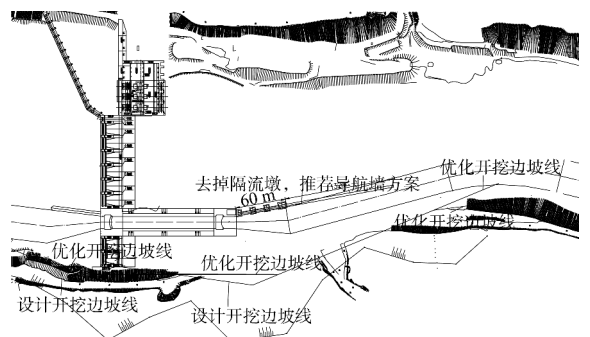


图 3 优化方案 1 与原设计方案对比

表 1 优化方案 1 流量 2 960 和 1 380 m³/s 口门区流速对比

流量/(m ³ /s)	距下闸首 距离/m	流速/(m/s)					
		航道左边线		航道中心线		航道右边线	
		横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向
2 960	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
	80	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
	160	0.00	0.05	0.00	0.20	0.00	0.35
	240	0.82	3.07	0.00	-0.28	0.00	-0.99
	320	1.00	4.35	0.67	2.89	0.00	-0.35
	400	0.14	4.01	0.14	4.13	0.00	0.04
1 380	240	1.19	4.43	0.00	-0.46	0.00	-1.69
	400	0.17	4.84	0.30	4.70	1.00	1.90
	480	0.00	5.20	0.00	4.25	0.50	2.00

由表 1 可以看出, 设置直立导航墙后导航段内全部为静水; 下游口门区纵向流速过大, 无法通过闸门调度等手段降低, 因此为了保证通航安全只能降低最大通航流量; 航道左边线仍有较大横向流速, 需要通过调整岸边开挖线和调整导航墙墩头的方式解决。以下的优化方案最大通航流量为 1 380 m³/s。经过多种调度方案对比, 左侧泄水闸 1、2、3、4 开启 1.2 m, 5、6 孔开启 2 m 时下游

水流最为平顺, 因此泄水闸调度工况依此设置。

4.3 优化方案 2~优化方案 4

优化方案 1 确定了最大通航流量和闸门调度方案, 两个管理性措施均不能很好地控制口门区横向流速。因此进一步优化主要针对 2 个问题: 从工程角度调整凸岸处的开挖边坡线位置和调整导航墙墩头的挑出角度, 使得下游引航道口门区范围的横向流速和回流流速减小(图 4)。

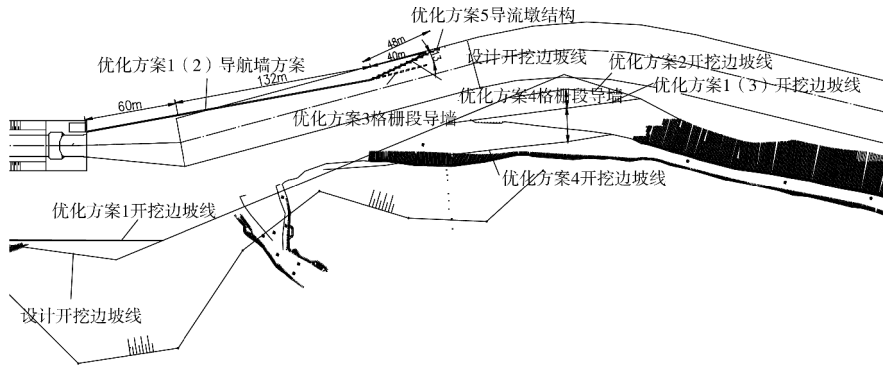


图 4 修改方案 2~4

从优化方案 2~4 的优化结果中可以看出, 下游口门区存在的主要问题是回流流速较大, 主流流速基本在临界范围, 但是由于河道本身较窄, 且主流在口门区处向右拐弯, 若压缩回流空间则使得主流流速进一步加大, 因此在下一步优化中不应压缩优化方案 4 提出的边坡线。只能通过调整导航墙墩头的透水特征, 使得主流向口门区内分配部分流量, 缓解口门区内的回流强度(图 5)。

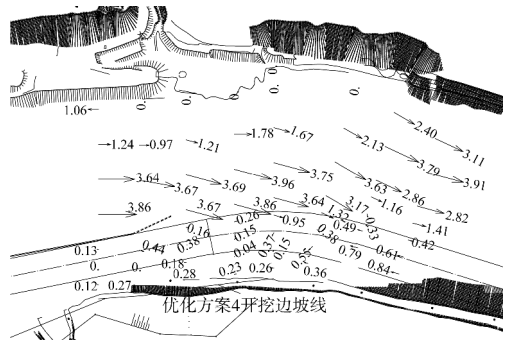


图 5 流量 1 380 m³/s 优化方案 2~4 获得的最优流速分布 (单位: m/s)

4.4 优化方案5和6

优化方案5根据优化方案4的思路,对导航墙末端的隔流墩导墙进行了优化。透水墩整体布置与直线型导航墙呈 13° ,总长50 m,共12个墩。每个墩的走向与坝轴线基本垂直,墩长3.2 m,宽0.8 m,各墩垂直间距为1.0 m(图6)。图7给出该方案引航道口门区的流速分布。由测量结果可见,口门区范围内的横向流速较小,最大值出现在引航道左边线0.20 m/s。回流流速显著降低,最大回流流速0.55 m/s,平均回流流速基本满足规范要求。

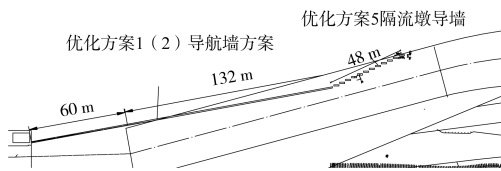


图6 隔流墩导墙布置形式

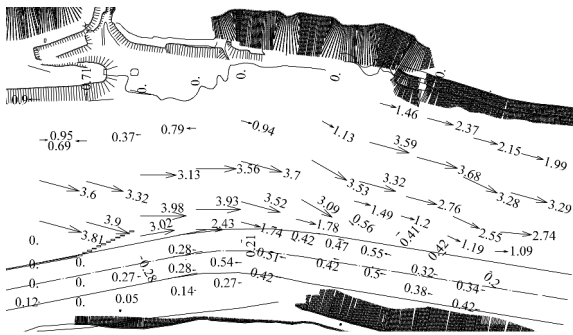


图7 流量 $1380\text{ m}^3/\text{s}$ 优化方案5流速分布(单位:m/s)

考虑到电站尾水渠疏浚不足,发电效率可能会受到影响,因此在优化方案6中建议对电站尾水渠进行疏浚。由于电站一侧处于岸坡相对平缓的左岸边滩,若加大疏浚,泄水闸泄水流态会有较大影响,尤其是主流应会向左岸偏移。优化方案5的导航墙末端的透水整流墩形式将不再满足新的上游来水条件。

对优化方案6电站下游尾水流出约125 m范围内的地形进行疏浚,疏浚高程至466 m。下游船闸导航墙为3.5倍船长(192 m),导航墙与船闸中心线夹角 12° ,引航道出口宽度为50 m,口门区

右岸边坡疏浚,与原设计方案相比,边坡底线向右岸推进30 m。优化方案6及流速分布见图8。经地形疏浚后,电站出口下游200 m范围内的回流区消失,使引航道口门区范围内的河段主流流速分布较为均匀,同时口门区范围内的回流区缩小,回流流速大幅度减小,基本满足通航要求(图8)。

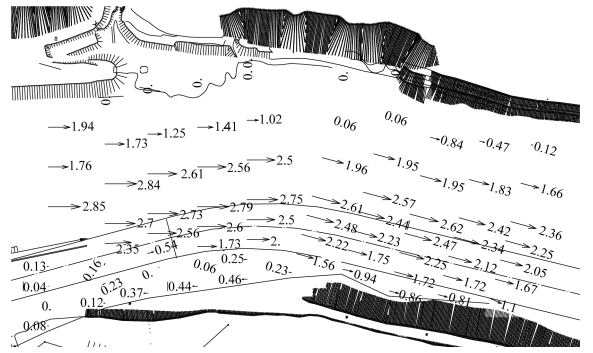


图8 流量 $1380\text{ m}^3/\text{s}$ 优化方案6及下游口门区流速分布(单位:m/s)

综上所述,为满足城景水电站安全通航的要求,建议降低设计最大通航流量为 $1380\text{ m}^3/\text{s}$ 。此外,通过合理疏浚凸岸岸线、优化导流墩等措施,使得下游引航道及口门区通航水流条件满足通航规范要求。

5 结语

1) 当下游引航道处于泄水闸泄流影响范围内时,引航道导航段导航墙应采用不透水形式,避免泄水闸泄流在导航段产生流速。

2) 当引航道口门区处于较窄的河道主流区域内时,由于口门区纵向流速较大,一般不能通过压缩岸线的方式压缩回流区,应保证下游有足够的河宽使得流速分布更加均匀。若主流过于集中,可以采取降低最高通航流量或者疏浚对岸的方式使得口门区纵向流速降低。

3) 在调度手段和疏浚手段仍不能获得较好的效果时,可在口门导航墙附近设置不同体型和角度的透水墩以解决口门区不利水流流态问题。

参考文献:

[1] JTJ 305—2001 船闸总体设计规范[S].

[2] 郑宝友,戈龙仔,周华兴.对《船闸总体设计规范》中引航道布置及尺度的讨论[J].水利水运工程学报, 2011(4): 44-48.

[3] 魏晶,宋根才,蒋峰.郁江老口枢纽船闸布置与通航水流条件分析[J].西部交通科技, 2012(8): 144-146.

[4] 彭伟.弯曲河段船闸引航道通航水流条件及改善措施研究[D].长沙:长沙理工大学, 2010.

[5] 郝品正,李军,徐国兵.微弯分汊河段航电枢纽总体布置与通航条件优化试验研究[J].水运工程, 2004(11): 66-69.

[6] 张亮,卢启超.船闸引航道口门区通航水流条件改善措施的综述[J].科技信息, 2009(25): 387-388.

[7] 周华兴,郑宝友.船闸引航道口门区通航水流条件改善措施[J].水道港口, 2002(2): 81-86.

[8] 刘彦.山区河流渠化枢纽总体布置综合研究[R].成都:四川省交通厅内河勘察设计研究所, 2003.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 105 页)

5 结语

1) 峡江枢纽原布置方案下,船闸布置于凹岸,其上、下游引航道口门区分别处于“S”形上弯道凸岸下游和“S”形下弯道凹岸,引航道中心线与河道主流流向夹角较大,造成引航道口门区纵、横向流速偏大。推荐的上、下游引航道口门区及连接段布置有效地改善了枢纽通航水流条件,枢纽 5 a 一遇洪水及其以下各级通航流量下游引航道口门区及连接段水力指标均满足规范要求。

2) 推荐的上下游引航道布置方案下,5 a 一遇洪水以下各级通航流量,船舶均能顺利进出引航道口门区及连接段,随着流量的减小,操舵过程逐渐简单,漂角过程线趋于平缓,船舶操纵性逐渐改善。但在下游最低通航水位下,由于浅水效应作用,最大船队操控有一定难度。

3) 由于原模缩尺效应的影响,原型水力指标较模型将有所增加,建议枢纽建成运行后对船闸

输水特性及枢纽通航水流条件开展原型观测。

参考文献:

[1] 周淑芹,刘亚辉.船闸引航道口门区的水流条件问题的研究现状[J].中国水运, 2007(4): 14-15.

[2] 胡旭跃,李彪,徐立君.水利枢纽通航水流条件研究综述[J].水运工程, 2005(11): 59-64.

[3] JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S].

[4] JTJ 306—2001 船闸总体设计规范[S].

[5] 曹民雄,马爱兴,王秀红,等.内河航道横流对船舶航行的影响[J].交通运输工程学报, 2008, 8(1): 61-67.

[6] 周代鑫.水利枢纽船闸引航道口门区流态改善措施[J].人民珠江, 1997(5): 29-31.

[7] 陈桂馥,张晓明,王召兵.船闸导航建筑物透空形式对通航水流条件的影响[J].水运工程, 2004(9): 56-58.

[8] 孟祥玮,李金合,李焱,等.导航堤开孔对通航水流条件的影响[J].水道港口, 1998(2): 17-24.

[9] 李伟.透空隔流堤对船闸引航道口门区水流条件影响研究[D].长沙:长沙理工大学, 2007.

(本文编辑 王璁)

(上接第 125 页)

参考文献:

[1] 刘运化,王峰.衢江梯级枢纽渗漏影响分析及防渗加固方法[J].中国水运, 2008(12): 52-53.

[2] 段祥宝,杨超,丛日新,等.堤基渗透破坏的研究现状及其破坏过程的数值试验[J].水电能源科学, 2011, 29(5): 59-62.

[3] 谢罗峰,段祥宝.非稳定渗流作用下边坡稳定性试验研究[J].长江科学院院报, 2009, 26(10): 31-34.

[4] 毛昶熙.渗流计算分析与控制[M].2 版.北京:中国水利水电出版社, 2003.

[5] 唐杰文,童奇峰,林积大,等.某船闸大堤防渗效果分析[J].中国水运: 下半月刊, 2011, 11(2): 145-146.

[6] 王太固,唐晖,何良德.邵伯三线船闸空间渗流特性研究[J].交通科技, 2012(6): 13-16.

[7] 钱祖宾,沈建霞,乔婷.地基渗流对板桩码头剩余水压力的影响[J].水运工程, 2013(5): 157-161.

[8] 毛昶熙,段祥宝,吴良骥.砂砾土各级颗粒的管涌临界坡降研究[J].岩土力学, 2009, 30(12): 3 705-3 709.

(本文编辑 郭雪珍)