



电站不同下泄流量下游锚泊区停泊条件分析*

吴波, 安建峰, 刘精凯

(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: 电站泄洪、发电时下泄水流沿通航建筑物引航道导航墙进入主河道后过流断面骤增, 水流脱壁后发生斜向流动, 在引航道口门区形成回流。若枢纽下游航道锚泊区距口门区较近, 则一定条件下回流将对锚泊区内船舶停泊条件带来不利影响。以景洪水电站为例, 采用实船试验的方法, 研究电站不同泄流量下升船机下游锚泊区水流条件的变化情况及相应的船舶待机停泊条件, 得出不同下泄流量下船舶系缆力特性以及船舶合理的待机停靠位置。

关键词: 水力式升船机; 系缆力; 调峰; 非恒定流; 实船试验

中图分类号: TV 73; U 653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)12-0198-06

Analysis of anchored conditions on downstream anchoring region based on different discharge flow in hydropower station

WU Bo, AN Jian-feng, LIU Jing-kai

(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: The downstream mooring area of Jinghong hydropower station is close to the downstream approach channel entrance gate. The discharge and power generation of the power station will adversely affect the berthing conditions of the downstream standby ships. We take the method of trail voyage testing to study the downstream mooring area of the anchor parking conditions in the Jinghong hydropower station under different discharge volume. The characteristics of the mooring force and the reasonable standby position of ships are obtained under the different discharge volume.

Keywords: hydraulic ship lift; mooring force; peaking; unsteady flow; trail voyage testing

景洪水电站升船机下游锚泊区起始于下游引航道口门附近, 总长约 250 m, 其平面布置见图 1 和图 2。与其他工程锚泊区不同的是, 景洪电站下游锚泊区靠近升船机下游引航道口门区。电站下泄水流流过下游引航道导航墙尾墩后水域宽度陡增, 水流脱壁后产生斜向流动^[1-2]。受此斜向剪切作用影响, 引航道口门区形成范围较大的回流。在一定条件下, 回流边界将进入甚至超过锚泊区范围, 进而影响锚泊区内船舶待机停泊^[3-5]。因此, 分析枢纽泄流水力要素与锚泊区水流特性的

内在联系, 研究电站非恒定流条件下待机船舶泊稳性能, 尤其是系缆力变化过程是十分必要的^[6-7]。

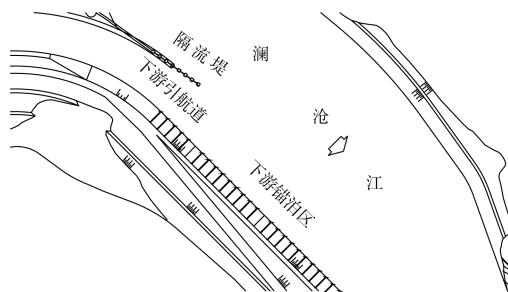


图1 下游锚泊区平面布置

收稿日期: 2016-09-16

*基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0402004)

作者简介: 吴波 (1991—), 男, 硕士, 从事通航水力学方面的研究。

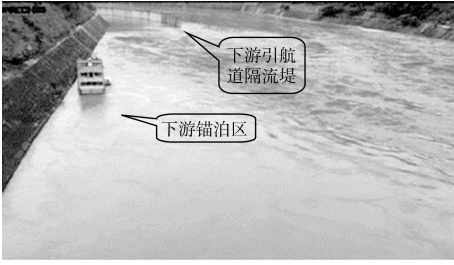


图 2 下游锚泊区

1 下游锚泊区流态观测分析

1.1 流场基本结构

对于景洪升船机下游引航道而言, 根据恒定渐变流连续方程和伯努利方程, 电站下泄水流流过下游引航道导航墙尾墩之前, 在摩擦阻力作用下, 总水头和测压管水头沿程降低, 但是流速水头基本不变(断面面积沿程变化很小); 在水流流过导航墙尾墩之后, 过水断面突然加宽, 此时有:

$$\frac{\partial u}{\partial x} < 0 \quad (1)$$

式中: u 为断面平均流速 (m/s)。根据基本方程有:

$$\frac{\partial H}{\partial x} > 0 \quad (2)$$

式中: H 为断面测压管水头 (m)。

因此, 在水流流过导航墙尾墩之后, 压力沿程增加, 形成逆压梯度, 导致边界层分离, 水体脱壁, 在口门区形成漩涡和大范围回流。回流、漩涡及摩擦作用将迅速消耗水体能量, 使得水流在流过尾墩一段距离后断面压力再次沿程减小, 水流在其处再次附着于岸坡。最终形成如图 3 所示的流场基本结构。

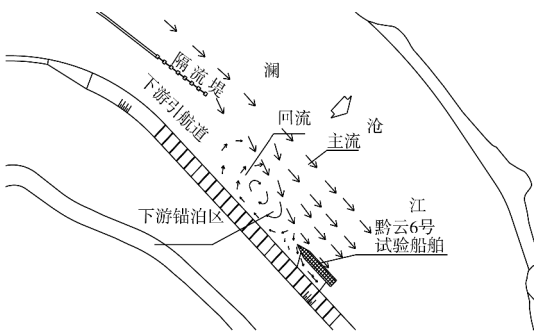


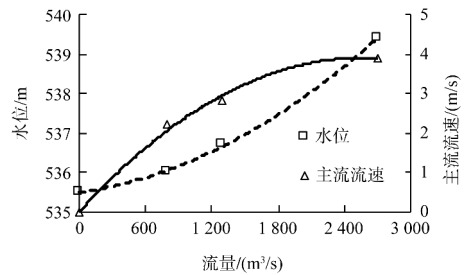
图 3 引航道口门区及锚泊区流场结构

当电站下泄流量较大时, 主流流速及动能也较大, 此时在阻力作用下水流在附着点较下泄流量较小的情况更远, 回流区纵向范围更大。但是, 当泄量较大时, 电站下游水位较高, 可能会降低主流流速, 进而使回流强度减弱、范围缩小。通常, 对天然河道而言, 流量对水流流速影响更敏感, 但也无法忽视水位影响, 因此, 口门区及锚泊区流态十分复杂, 难以通过理论进行解析, 需进行具体的模型试验和原型观测。

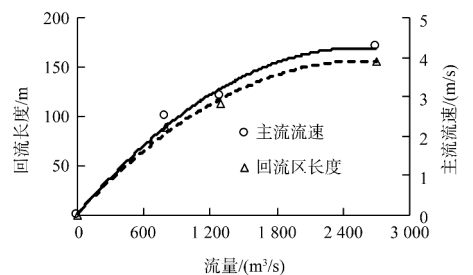
1.2 恒定流条件下的水流特性

根据上述分析, 通过布置于船首的高精度超声波流速仪 (ADV), 对景洪升船机下游引航道口门区、锚泊区水流特性进行了观测。河道主流流速采用 LSPIV 高精度超大面积表面流场测量系统量测。该系统基于传统 PIV 的大范围表面流场测量技术, 集成高性能工业相机、电动对焦和光圈控制, 在方便操作的同时, 得到高位深图像, 通过图像表面模态识别算法, 得到水体表面流速。

根据枢纽实际运行情况, 观测时枢纽下泄流量分别为 2 700、1 300 和 800 m³/s。观测得到的主流流速、回流长度及引航道下游水位关系见图 4。



a) 下游水位



b) 回流长度

图 4 不同泄流量下的主流流速、回流长度及下游水位关系

由图4a)可知,河道主流流速和下游水位均随泄流量增加而增加,但是在下泄流量量级较小时,河道主流流速随下泄流量增加的速度更快;而在下泄流量量级较大时,下游水位随泄量增加的速度更快,二者的临界流量约1500 m³/s,这主要是由河道特性决定的。

由图4b)可知,回流区长度随电站泄流量增加而逐渐增大,其增加的趋势与主流流速增加趋势基本相同,与前述分析的基本规律是一致的。其中,3个观测组次下,回流长度分别为170、120、100 m;主流流速分别为3.91、2.84、2.20 m/s。

上述3个下泄流量条件下,锚泊区流速测点位置分别距隔流堤头170、170、105 m。测点流速观测结果如图5所示。3个观测组次下,测点平均流速分别为0.22、0.66、-0.02 m/s;测点瞬时最大流速分别为0.68、1.18、0.33 m/s。

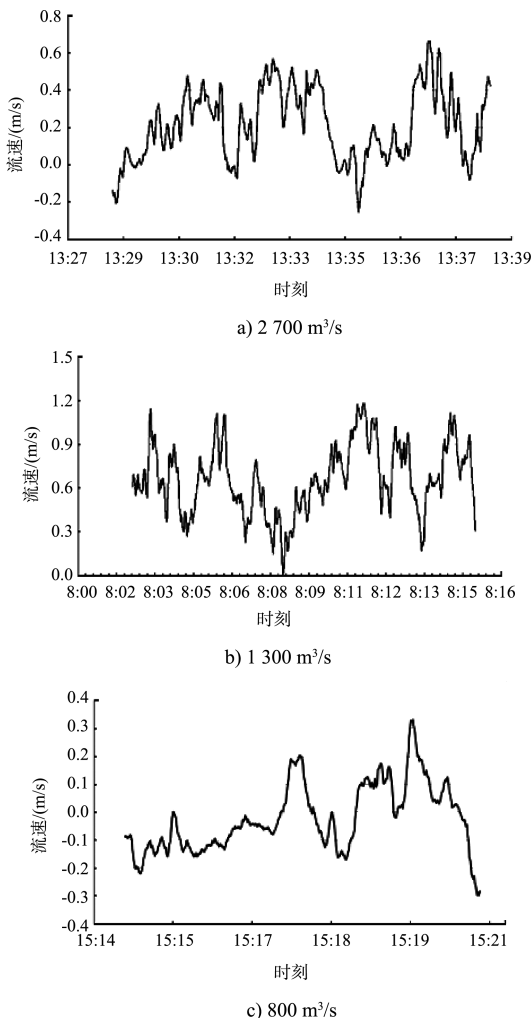


图5 不同泄流量时测点流速

由图5可知,受岸坡反射、涡量输运及水流湍动的影响,即使电站下泄流量稳定,测点流速仍有一定波动。其中,泄量为2700和800 m³/s时,测点流速波动幅度较泄量为1300 m³/s时更小,但是正负流速交替出现。这主要是因为泄流量为2700和800 m³/s时,测点位置位于回流区边界附近,水流流速梯度大,水体振荡明显,并受主流压迫及岸坡反射波影响显著。泄量为1300 m³/s时,测点位置位于回流区之外,水流流速大,紊动较强,流速变化幅度较大,但是均为正值。

以上观测成果表明,不同下泄流量条件下,锚泊区水流流速差别明显。下泄流量2700 m³/s时测点水流平均流速较1300 m³/s时更小,这主要是因为回流区范围随电站下泄流量增加而增大,下泄流量2700 m³/s时测点位置更靠近回流中心位置。

1.3 非恒定流条件下的水流特性

电站流量调节过程中,泄水波以长波形式向下游传播。下泄流量逐步增加时,回流区长度将随之增大,回流中心逐渐向下游移动,回流边界附近大流速梯度区域的范围亦有所增加;下泄流量逐步减小时,流场变化规律与之相反。图6为下泄流量由1300 m³/s降至800 m³/s过程中堤头下游约105 m处水流流速变化过程。在此流量范围内,测点位于回流区内部,流速在-0.78~0.28 m/s之间波动,并随下泄流量减小略有增大的趋势(图6中虚线框所示),与上述分析吻合。

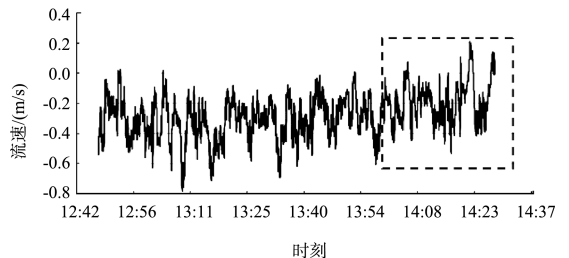


图6 船首位置水流流速

2 锚泊区停泊条件分析

锚泊区停泊条件的试验船平面尺度为50 m × 8 m,吃水1.7 m,排水量460 t(载货300 t)。在前述不同流量级下,对船舶停靠于锚泊区水流流

速测点处的首尾系缆力进行观测, 观测采用布置于船首和船尾缆绳上的拉力传感器, 并通过 INV 信号采集系统采集试验数据。

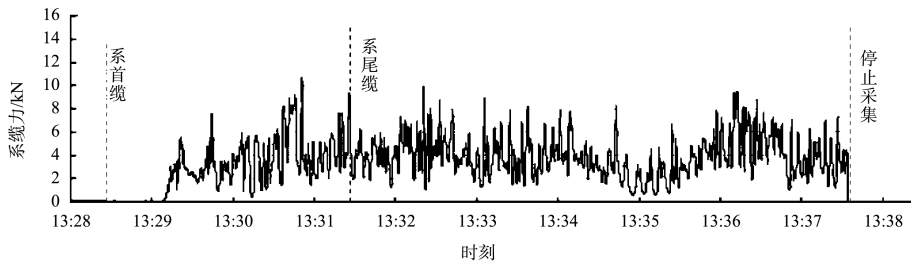
2.1 恒定流情况下的停泊条件

电站下泄流量 $2\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 船舶停靠位置距隔流堤头约 $170\ \text{m}$, 位于回流区边界上, 正常系缆。在前述分析的回流边界水流振荡作用下, 试验船首缆尾缆交替受力, 最大系缆力首尾之和约 $10.5\ \text{kN}$, 系缆力过程如图 7a) 和 7b) 所示。

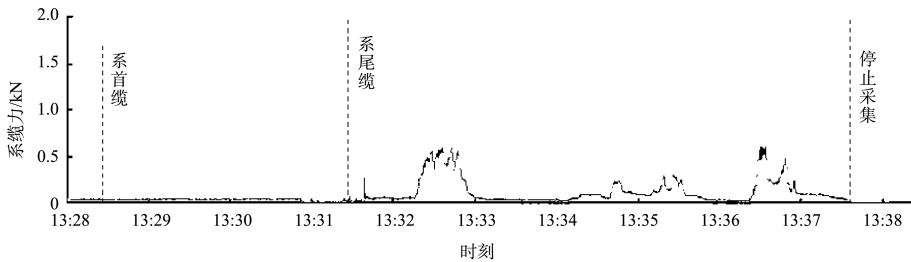
下泄流量 $1\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 船舶停靠位置距隔

流堤头约 $170\ \text{m}$, 位于回流区之外。船体受纵向动水荷载作用, 故系缆力实测结果表现为首缆拉力较大, 而尾缆基本处于自由状态, 系缆力过程如图 7c) 和 7d) 所示。

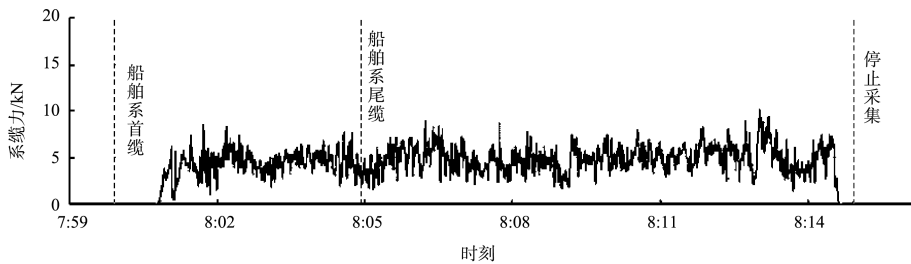
下泄流量 $800\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 回流下游边界距堤头约 $100\ \text{m}$, 船舶停靠位置距隔流堤头约 $105\ \text{m}$, 基本处于回流区下边界处。由于下泄流量相对较小, 泊位处水流流速最大仅 $0.33\ \text{m/s}$, 故系缆力整体较小, 受回流边界不稳定性影响, 系缆力出现振荡, 振荡周期约为 $4\ \text{min}$ 。此情况下系缆力变化过程如图 7e) 和 7f) 所示。



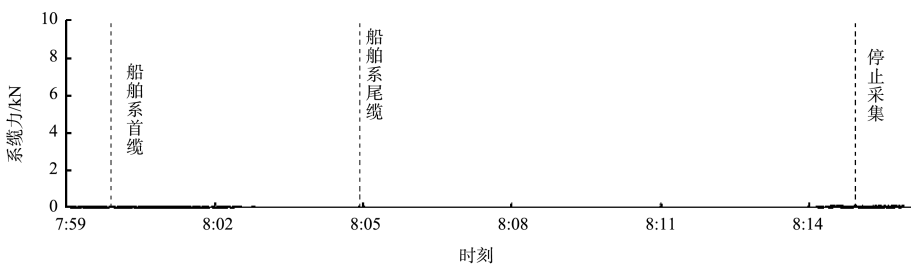
a) $2\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$ 船首



b) $2\ 700\ \text{m}^3/\text{s}$ 船尾



c) $1\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$ 船首



d) $1\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$ 船尾

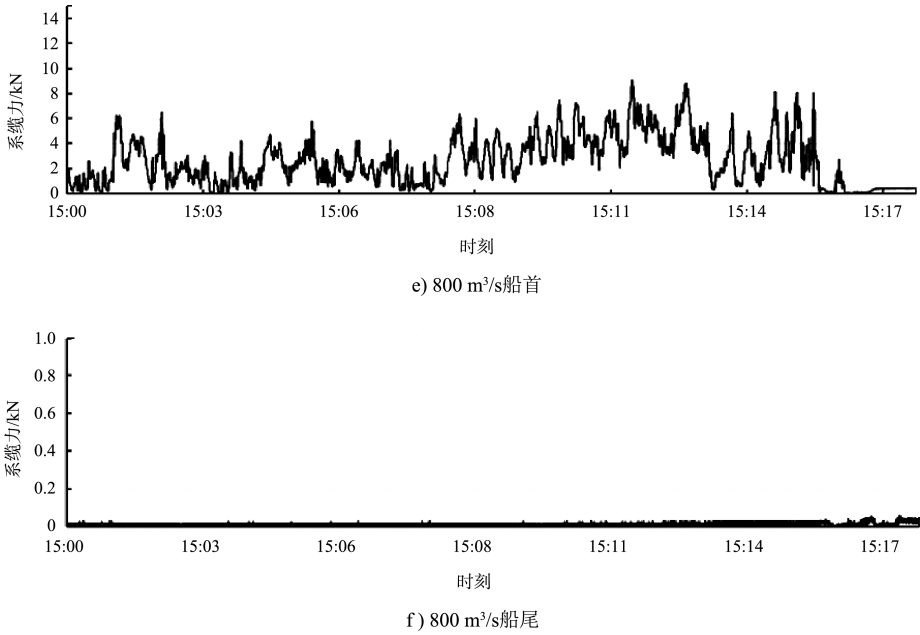


图 7 不同泄量下船舶在下游锚泊区系缆力过程线

2.2 非恒定流情况下的停泊条件

为研究电站流量调节过程中的锚泊区停泊条件变化规律,在电站下泄流量由 1 300 m³/s 降至 800 m³/s 过程中进行了船舶系缆力测量。船舶停

靠位置偏向上游,船首距隔流堤头约 105 m。由下游锚泊区流态分析可知,此情况下船舶停泊位置主要受回流作用。系缆力过程线见图 8。

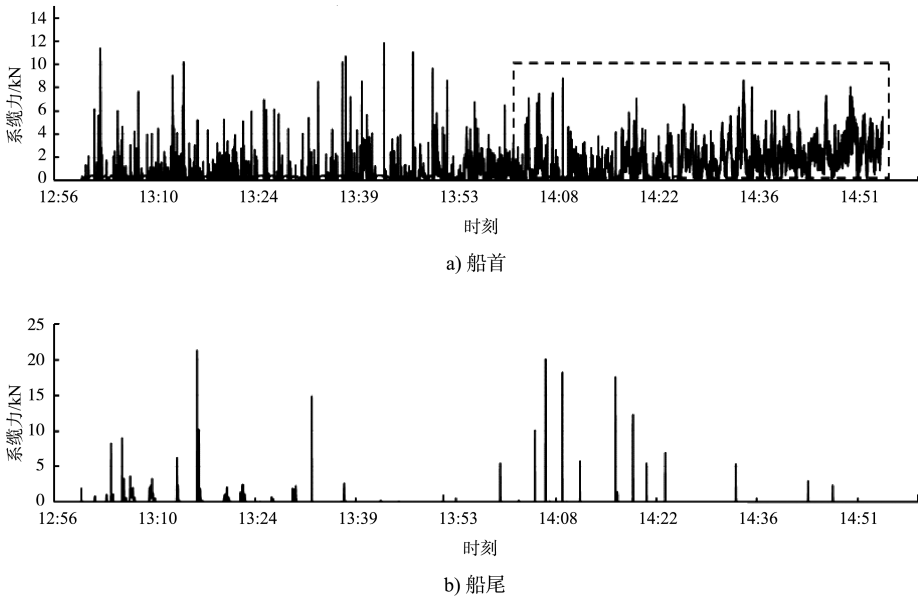


图 8 非恒定流下游锚泊区系缆力过程线

电站流量调节过程中,泄水波以长波形式向下游传播。下泄流量逐步减小时,回流区长度将随之减小,回流中心逐渐向上游移动,船舶停靠位置逐渐远离回流中心,该处水流纵向流速略有增加,船首系缆力也有相应的增大趋势(如图 8a)

中虚线框所示)。

2.3 水流条件与停泊条件的响应关系

前述观测成果统计见表 1。表 1 中统计结果表明:对于回流区外边界附近的同一停泊位置,船舶停泊条件受电站下泄流量大小以及泊位距回流

边界的距离影响。在距离回流边界较近的范围内, 下泄流量越小, 船舶系缆力越大, 这主要是由于同一泊位下, 下泄流量越小, 回流区范围越小, 水流流速受主流影响越大, 但是这种情况下主流流速随下泄流量增加而增大, 故船舶系缆力表现

为抵抗纵向水动力荷载, 船首系缆力较大, 船尾系缆力较小, 且不同泄流量条件下差别不大。

当船舶停靠于回流区内时, 由于回流区内水流受多种因素影响扰动较大, 船体随水体晃动, 系缆力亦出现振荡, 且首尾交替受力。

表 1 船舶停泊条件特征值

工况	船舶停泊位置	最大系缆力/kN		船舶处平均流速/(m/s)	回流范围/m
		船首	船尾		
2 700 m ³ /s 泄量(正常停泊过程)	下游锚泊区(距隔流堤头约 170 m)	9.94	0.61	0.22	170
1 300 m ³ /s 泄量(正常停泊过程)	下游锚泊区(距隔流堤头约 170 m)	10.20	0.16	0.66	120
800~1 300 m ³ /s 非恒定流(正常停泊过程)	下游锚泊区(距隔流堤头约 105 m)	11.83	21.31	-0.02	100~120
800 m ³ /s 泄量(正常停泊过程)	下游锚泊区(距隔流堤头约 105 m)	9.08	0.09	-0.28	100

3 结语

1) 水电站下游锚泊区与引航道口门区距离较近时, 锚泊区停泊条件受枢纽下泄流量量级和口门区宽度影响。其中, 下泄流量量级决定了回流流速大小, 并和口门区宽度共同影响回流区范围。

2) 当船舶停靠于回流区内时, 船体随回流振荡而晃动, 系缆力亦出现振荡, 且首尾交替受力。

3) 船舶停靠于回流区边界附近时, 系缆力取决于回流区范围和泄流量大小, 而泄流量大小对回流范围影响显著, 故此情况下船舶停泊条件较为复杂, 有待于进一步深入分析研究。

都: 四川大学, 2004.

[2] 房丹, 刘亚辉. 电站日调节非恒定流对系缆力的影响研究[J]. 船舶工程, 2008(3): 68-72.

[3] 黄岳, 宣国祥, 徐进超, 等. 船舶进出闸室对系缆力的影响[J]. 水利水运工程学报, 2015(2): 50-54.

[4] 陈明, 梁应辰, 宣国祥, 等. 船闸输水过程闸室船舶系缆力数值模拟[J]. 船舶力学, 2015(1): 78-85.

[5] 孙鹏, 刘亚辉. 非恒定流下船舶系缆力分析研究[J]. 科技信息, 2007(18): 170.

[6] 汤本靖, 陈德春, 周益人, 等. 系泊船舶试验中风荷载的模拟[J]. 水运工程, 2013(12): 30-34.

[7] 周华兴, 刘清江, 郑宝友, 等. 船闸引航道船舶系缆力计算公式应用条件的探讨[J]. 水道港口, 2006, 27(5): 311-316.

(本文编辑 王璁)

参考文献:

[1] 刘丽娟. 电站非恒定流对下游航道影响的研究[D]. 成

· 消 息 ·

嘉兴港海盐港区多用途码头工程通过验收

11 月 30 日, 三航局承建的浙江省嘉兴港海盐港区 C 区 3 号和 4 号多用途码头工程通过竣工验收。

该工程距杭州湾跨海大桥 2.2 km, 建设内容为 1 万吨级多用途泊位 2 个、栈桥 1 座, 陆域道路堆场 17 万 m²、仓库房建 1.7 万 m², 核定年吞吐量 160 万 t。

http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201612/t20161206_86820.html (2016-12-06)