

· 航道及通航建筑物 ·



富春江船闸扩建改造工程施工导流 及围堰方案论证

李浙江, 张公略, 孙国洪

(浙江省交通规划设计研究院, 浙江 杭州 310006)

摘要: 富春江船闸扩建改造工程是国内首个在现有运行的枢纽下游紧接原船闸扩建一座高等级、大尺度船闸的工程。由于枢纽库区容量小, 无法结合船闸施工进行泄洪调节, 且施工围堰距离枢纽泄洪闸较近, 需要占用河道一定宽度, 将对枢纽泄洪和防洪产生一定影响, 泄洪产生的强大水流冲击也将对围堰和基坑的安全造成较大威胁, 因此, 需要对施工导流和围堰方案进行重点研究。通过对3种不同围堰布置和结构形式的综合比较, 推荐采用土石过水围堰方案。该方案施工难度小, 工程投资适中, 能够满足防洪和工程施工的要求。

关键词: 船闸; 改扩建; 施工导流; 围堰; 枯水期; 泄洪闸; 防洪; 水位雍高; 顶冲段; 结构断面

中图分类号: U 641.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0115-06

On construction diversion and cofferdam scheme of ship lock reconstruction project on Fuchunjiang river

LI Zhe-jiang, ZHANG Gong-lue, SUN Guo-hong

(Zhejiang Provincial Planning, Design & Research Institute of Communications, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Ship lock reconstruction project on the Fuchunjiang River is the first project of high-grade and large-scale ship lock renovated from the old lock on the lower course of the existing and running power station hub. Because the hub reservoir's capacity is small, we can't adjust the flood dispatching in combination of the lock construction. Besides, the cofferdam is close to the hub sluice, so the construction will occupy a certain part (in width) of the river, and thus have an impact on the flood discharge and flood control and the strong impact of the flood discharge will threaten the cofferdam and foundation pit, so we need to focus on the research of construction diversion and cofferdam scheme. Based on the comparison of 3 different cofferdam layouts and structural types, we recommend to adopt the overflow earth and rock cofferdam style, which is characterized with easy construction and moderate investment, and can meet the requirements of flood control and construction.

Keywords: ship lock; reconstruction; construction diversion; cofferdam; low water period; sluice; flood control; water level elevation; segment of water impact; structure section

1 工程概况

富春江船闸位于钱塘江中下游浙江省桐庐县境内, 富春江电站枢纽的右岸, 距下游杭州市约110 km。枢纽电站及船闸建于20世纪60年代, 原船闸设计标准为100 t单级双向船闸。随着货运量需求的增长, 原有船闸已经成为航运的“瓶

颈”。为了加快钱塘江中上游的航运开发, 船闸的扩建改造工程历经10年的前期研究和勘察设计, 已于2012年底开工建设。

扩建后的船闸建设规模及建设方案为: 保留原有船闸, 经加固改造后作为上游通航渠道, 紧接其下游新建一座标准IV级船闸(300 m × 23 m ×

收稿日期: 2014-03-07

作者简介: 李浙江(1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程设计研究工作。

4.0 m), 兼顾 1 000 吨级船舶过闸, 工程内容包括上、下闸首、闸室和上、下游引航道; 为了满足行洪、发电、过闸调度等要求, 建设节制分水闸、河道切滩疏浚、上、下游锚泊区(远方调度站)等工程。

本船闸扩建改造工程是国内第一座在现有运行的枢纽下游^[2]紧接原船闸扩建一座高等级、大尺度的船闸工程, 而现有的枢纽电站为华东电网重要的电源, 除了其防洪功能外, 还起着电网的黑启动功能, 因此, 船闸改扩建改造工程具有受限条件多、施工强度高、施工难度大的特点, 如何减小施工围堰对防洪和发电的影响, 同时保证大坝泄洪时的围堰度汛安全将是本工程需要进行重点研究的内容。

2 施工导流

2.1 导流标准

新建船闸主体建筑物为 2 级, 导航靠船墙等建筑为 3 级, 施工围堰的使用年限大于 1.5 a, 根据规范, 导流建筑物的级别选择为 4 级, 考虑到本工程围堰失事后, 将对主体工程的工期造成较大影响, 经济效益损失较大, 设计标准取规范中的上限。为了满足汛期的防洪要求, 主围堰标准采用非汛期(10月至次年4月)10 a 一遇洪水标准, 流量为 $7\ 110\ \text{m}^3/\text{s}$, 汛期围堰和基坑过流。

2.2 导流方案

新建船闸建筑物全部位于大坝下游右侧河道,

船闸的下游河道被唐家洲分隔为左右两条支流, 主河道位于左侧, 洪水期唐家洲将被淹没, 汛期需要左右河道联合泄洪度汛。由于本工程船闸工程量较大(混凝土总量约 $40\ \text{万}\ \text{m}^3$), 一个枯水期内无法完成船闸下游导航墙及节制闸, 形成船闸闸室边墙挡水及下游节制闸参与分流条件, 同时施工围堰将占用 1/4 的河道总宽, 为满足洪水期右侧河道能参与联合泄洪要求。船闸施工导流方案宜选择枯水期围堰施工、汛期过流方案。施工导流共分 4 个阶段^[1]:

第 1 阶段(第 1 年汛后 9 月至第 2 年汛前 3 月): 形成基坑枯水期围堰, 完成船闸纵向导流建筑物的施工; 基坑基础开挖并开始下游左侧主河道的切滩疏浚工作。

第 2 阶段(第 2 年汛期 4 月至 8 月): 围堰、基坑过水, 停止施工。

第 3 阶段(第 2 年汛后 9 月至第 3 年 3 月): 汛末开始恢复围堰, 由围堰挡水, 完成船闸下游导航靠船墙和节制分水闸, 到第 3 年汛前, 节制闸具备运行条件、完成下游河道疏浚和护岸工程、船闸上、下闸首和闸室左边墙施工至全年洪水位($P=10\%$)以上、下闸首检修门及排水廊道阀门安装完成, 具备全年挡水条件。

第 4 阶段(第 3 年 5 月至工程完工): 由闸首、闸室左边墙和下闸首检修门挡水, 完成船闸剩余土建及金属结构安装。拆除纵向及下游横向围堰, 汛期节制闸参与联合泄洪。

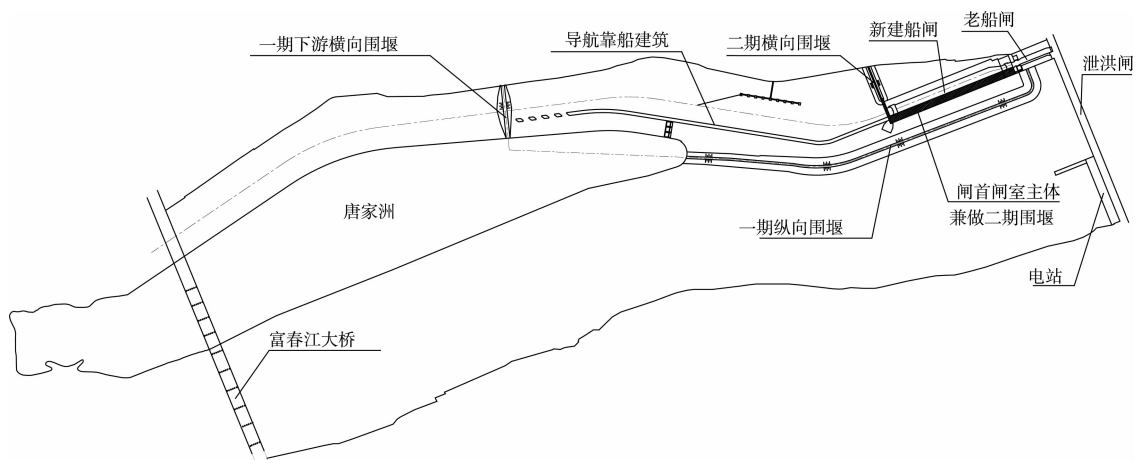


图 1 围堰平面布置

3 施工围堰布置及结构形式选择

3.1 围堰布置及结构形式方案

船闸施工围堰起点位于老船闸下闸首的左侧, 沿新建船闸河侧纵向布置, 下游接至唐家洲的上游洲头, 总长 860 m, 利用唐家洲作为围堰一部分, 在导流墩的下游设置横向围堰连接唐家洲和右岸, 形成船闸基坑。围堰和基坑占据了一定的河面宽度 120 m (总宽 450 m)^[2], 将对泄洪产生一定的影响。围堰的布置和结构形式需要综合考虑施工组织、施工难度、工程投资、防洪影响等因素。针对本工程的实际情况, 围堰的布置及结构形式考虑了 3 个方案进行比较。

1) 方案 1: 土石子围堰 + 碾压混凝土主围堰方案。

在第 1 年的汛后枯水期, 首先完成土石子围堰的施工, 在子围堰的围护下, 完成纵向碾压混凝土主围堰施工, 并开展船闸基坑开挖工作。在第 2 年的汛前拆除土石子围堰, 混凝土主围堰及基坑在汛期过流。第 2 年汛后枯水期, 由纵向混

凝土主围堰、唐家洲、下游横向围堰合围的二期基坑内, 完成下游节制分水闸、下游导航靠船墙、导流墩等工程, 船闸主体混凝土全线浇筑到 17.0 m 高程以上, 具备全年挡水条件, 并完成下闸首检修闸门的安装、下游河道的切滩、疏浚工程。第 2 年汛期, 节制分水闸投入使用, 利用船闸主体左侧边墙、下闸首检修闸门和下闸首右侧横向围堰挡水, 拆除纵向混凝土主围堰, 完成船闸的剩余施工工作。

2) 方案 2: 土石过水围堰 + 子堰方案。

主围堰采用土石围堰, 第 1 年汛后, 首先完成纵向土石围堰 (下部过流部分)、唐家洲防渗墙、下游横向围堰, 形成一期基坑, 并进行基坑开挖工作, 第 2 年汛前完成围堰过流保护施工, 第 2 年汛期围堰和基坑过流。第 2 年汛后, 在土石围堰顶部加设子堰, 高度满足枯水期 $P = 10\%$ 的挡水要求, 利用该围堰的围护, 进行余下的工程施工, 其施工组织及进度计划同方案 1 相同。

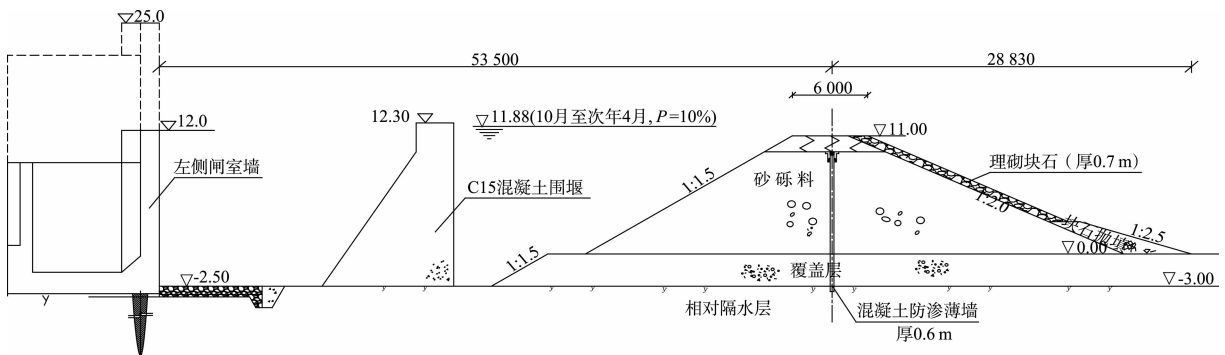


图 2 方案 1 纵向围堰断面

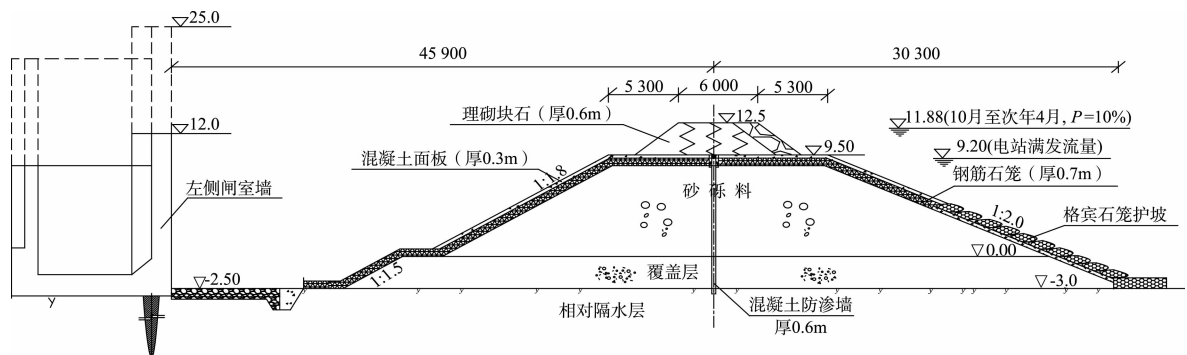


图 3 方案 2 纵向围堰断面

3) 方案3: 土石子围堰 + 闸室左边墙下部断面兼作主围堰方案。

主围堰利用主体结构左边墙下部断面。第1年汛后, 先形成一期纵向土石子围堰, 利用该围堰的围护, 在第2年汛前完成基坑开挖、主体工程(闸首和闸室)左边墙浇筑至非汛期挡水高程(12.0 m), 闸下0+356至闸下0+543段的导航墙施工, 然后拆除主体工程段的纵向土石子围堰, 第2年汛期过流。汛后, 利用船闸主体左边墙, 下游

已建导航墙、其余的纵向土石围堰、唐家洲、下游横向围堰合围的二期基坑内, 完成下游节制分水闸、下游剩余段导航墙、导流墩等工程, 船闸混凝土全线浇筑到17.0 m 高程以上, 完成下闸首检修闸门安装、下闸首右岸的横向土石围堰施工。第3年汛期, 利用已完成的闸室左边墙和、下闸首检修闸门和右岸的横向围堰挡水, 完成围堰内的剩余施工任务, 拆除二期的纵向和引航道下游横向土石围堰, 节制分水闸正常工作, 汛期参与泄洪分流。

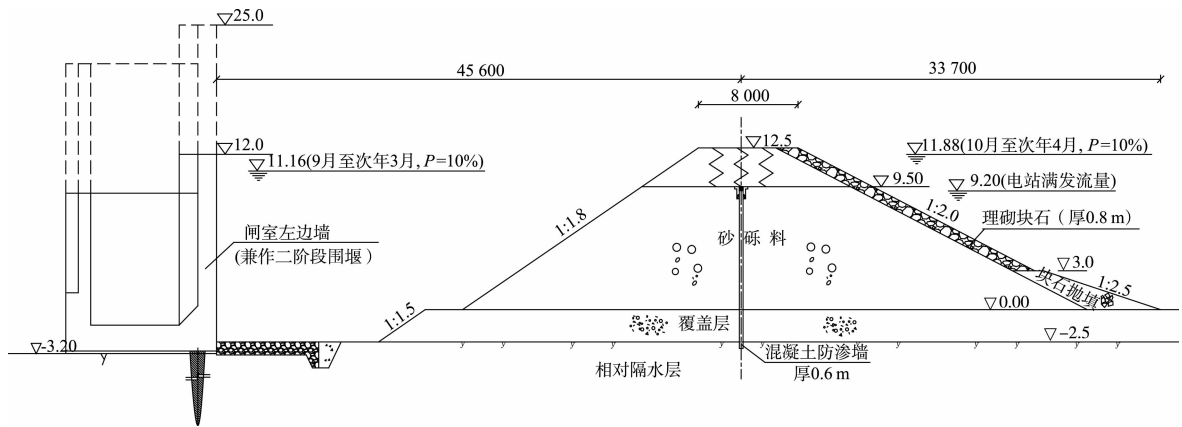


图4 方案3纵向围堰断面

3.2 围堰布置及结构方案比选

围堰布置及结构方案比选见表1。由表1可见, 方案1与方案3有部分相似之处, 主围堰结构都比较安全可靠, 方案3采用永久工程兼作主围堰的导流方案, 投资省, 并可避免混凝土围堰拆除方面

的困难, 与方案1相比, 有明显的优势。方案2与方案3比较, 方案3工程投资小, 但对工期要求很高, 第1个枯水期内必须完成土石子围堰、船闸主体工程基础开挖, 并将船闸左边墙混凝土临时挡水断面全线浇筑到12 m 高程以上, 工期上没有退路,

表1 围堰布置及结构形式方案比较^[1]

纵向围堰方案		主围堰结构形式	挡水标准及时段	主围堰顶高程/m	围堰工程投资/万元	优点	缺点
方案1	土石子围堰 + 碾压混凝土主围堰	碾压混凝土围堰	枯水期(9月至次年3月) P = 10% , Q = 7 110 m ³ /s	12.3	7 092	①混凝土主围堰抗冲刷能力强, 结构稳定, 安全可靠; ②围堰断面较小, 占用河道少, 对河道泄洪影响较小	①导流工程造价相对较高; ②围堰拆除难度大, 需要爆破, 对电厂安全运行有一定影响; ③前期的混凝土施工强度较高, 砂石、混凝土生产系统建设工期较紧
方案2	下部土石过水围堰 + 上部子堰方案	土石过水围堰, 顶部为自溃坝形式		12.5	6 653	①第一个枯水期的工期压力较轻; ②围堰拆除较方便; ③施工可操作性较强, 导流工程投资适中	①围堰抗冲能力相对较差, 须做好堰面的防冲保护工作; ②围堰的结构断面较大, 对河道泄洪有一定影响; ③工程后期的工期压力稍大
方案3	土石子围堰 + 船闸左导墙下部兼作主围堰	船闸左导墙临时断面		12.0	5 062	①方案一的所有优点; ②导流工程造价低; ③可有效削减第二个枯水期混凝土施工强度, 对工程的后期工期有利	①第一个枯水期的工期压力最大, 须保证在一个枯水期内完成船闸左边墙挡水断面施工, 是本方案的关键; ②前期的混凝土施工强度较高, 砂石、混凝土生产系统建设工期较紧

如果实施过程中遇到各种不可预见因素, 达不到预期的度汛面貌要求, 度汛风险过大。方案 2 可操作性较强, 施工强度均匀, 工期压力较轻, 工程开工后, 只要在第 1 个枯水期内能够完成围堰及防冲护面结构施工, 都可以实施, 但为了满足过流要求, 需做好堰面过流保护措施。综合比较 3 个方案的优缺点, 推荐采用方案 2, 即下部土石过流围堰加上上部子堰方案。

3.3 推荐围堰方案的防洪影响分析

船闸的施工共经历 3 个汛期: 第 1 个汛期为土石围堰及基坑过流, 船闸不施工; 第 2 个和第 3 个汛期围堰已拆除, 船闸主体浇至 17.0 m 高程以上, 具备挡全年 10 a 一遇洪水能力, 船闸可全年施工, 下游为导流、靠船墙挡水 (顶高程 11.5 m), 挡水高程和断面均小于船闸建成后的设计高程, 因此, 对防洪影响最大的为第 1 个汛期, 即第 2 年 4—8 月, 土石围堰和基坑过流阶段, 由于土石围堰断面较大, 连同基坑占据了约 1/4 的河面宽度。

采用二维水动力模型对枢纽下游河道流场变化进行计算分析, 坝下出流和河段影响以及下游河道防洪综合影响, 采用经验公式结合实测资料, 进行冲刷分析计算 (表 2)。洪水频率取 10%、5%、2%、1% 和 0.1% 几种工况。

表 2 施工围堰遭遇不同洪水水位壅高值成果^[3] m

位置	频率/%				
	10	5	2	1	0.1
溢洪道侧	0.36	0.36	0.32	0.26	0.32
厂房侧	0.15	0.12	0.07	-0.11	0.04
导航墙末端	0.29	0.23	0.18	-0.02	0.05

从表 2 可见, 由于围堰占据了河道较大宽度, 造成明显的水位壅高, 最远处至坝下 2 700 m 处, 水位壅高较明显区域包括坝下和下游施工围堰 (船闸导航墙末端)。随着洪水频率增加, 水位壅高值呈下降趋势, 由于遭遇 0.1% 洪水流量过大, 水位壅高值相比 1% 洪水有所增加。导航墙末端由于下游横向围堰的阻挡, 造成一定的水位壅高, 但水面比降明显。

根据下游防护村镇所在的防洪堤高程, 经复核, 在抬高后的水位下, 堤防能够满足安全要求, 但从大坝安全角度出发, 遇到 0.1% 校核洪水时, 需要拆除围堰, 增加过流面积。

为了尽可能减小施工对防洪的影响, 结合本工程的建设内容, 在第 2 年汛前, 应提前将唐家洲左侧河道疏浚至设计高程, 以增加河道的过流面积, 减小水位的壅高。

4 推荐方案围堰结构

本工程的施工围堰处在正在运行的枢纽下游, 国内尚无类似的工程实例, 围堰的结构设计相对复杂。根据综合比较, 推荐的纵向主围堰采用土石过水围堰。考虑到最上游靠近老船闸下闸首处的顶冲段围堰距离泄洪闸仅 60 m 左右, 对应 3 孔泄洪闸, 枢纽泄洪采用面流消能方式, 水流液态复杂、冲刷力大, 一旦泄洪, 强大的水流冲击力将对围堰的安全产生非常大的威胁。因此, 结合工程实际, 纵向围堰共分两种断面结构形式。

结构断面 1 (典型断面, 图 3): 下部过水围堰顶高程为 9.5 m, 上部子堰顶高程为 12.5 m, 子堰顶宽度为 6 m, 围堰总高 15 ~ 20 m, 迎水面坡比为 1:2.0, 背水面坡比为 1:1.8。靠近上游的堰体 (长 500 m) 防渗采用混凝土防渗墙, 墙厚 60 cm, 嵌岩 50 cm, 下游段 (长 360 m) 防渗采用高喷防渗墙结构。堰面采用 0.7 m 厚钢筋石笼, 面层浇 30 cm 厚混凝土面板保护, 外侧迎水面 5.0 m 高程以下采用膜袋混凝土加格宾石笼保护。上部子堰的两侧边坡坡比均为 1:1.5, 采用土工膜防渗, 迎水面设 60 cm 厚理砌块石护面。

结构断面 2 (上游顶冲段): 上游顶冲段 (断面 0 - 70 ~ 0 + 60) 过水围堰顶高程由 9.5 m 降低为 6.5 m, 以增加过流水深, 减小水流冲击力, 上部子堰顶高程仍为 12.5 m, 迎水面施工水位以下采用沉井加抛石护坡的特殊加强防冲结构, 5.0 m 以下采用模袋混凝土 + 格宾石笼防护, 5.0 m 以上高程采用钢筋石笼 + 混凝土面板防护结构。

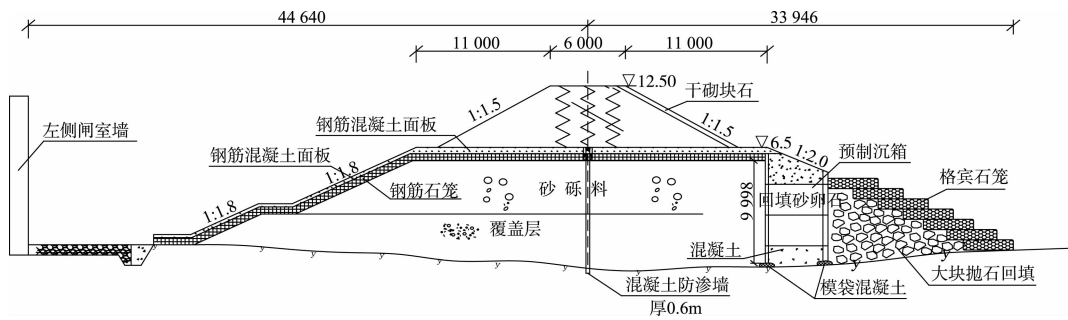


图5 围堰顶冲段断面

5 结语

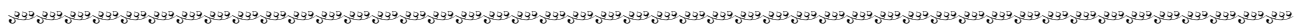
由于工程建设条件复杂，富春江船闸扩建改造工程的施工导流和围堰方案具有一定的特殊性。为了减小对防洪、大坝安全和电站发电的影响，同时具备一定的挡水条件以满足工程的干地施工要求，施工导流和围堰的设计十分重要。通过对3种不同围堰布置及结构形式方案的比较，综合工程投资、工程实施难度、可操作性、施工均衡性、结构可靠性、防洪影响等因素，推荐采用土石过水围堰，对上游端部的顶冲段采取过流断面顶高程降低措施并采用独特的沉箱防冲设计，对今后

类似工程的实施具有较好的参考和示范意义。

参考文献：

- [1] 金国强, 李浙江, 张公略, 等. 富春江船闸扩建改造工程施工图设计说明书[R]. 杭州: 浙江省交通规划设计研究院, 2012.
- [2] 楼伟中. 富春江船闸扩建改造工程围堰顶冲段沉箱设计验算与优化[J]. 中国水运, 2013(9): 51-53.
- [3] 黄靖, 杨娟, 沈小勤, 等. 富春江船闸扩建改造工程防洪影响评价报告[R]. 杭州: 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第110页)

表1 各种装卸线转换方式的优缺点

比较内容	设备复杂程度	运行效果	本体造价	转接塔及地基造价	节能方面 (运行成本)	对堆场利用的影响	各种转接点适用情况	衬板维修管理
分叉溜槽式	最简单	好	最低	最低	能耗最高	影响最大, 73 m	范围最广	不好
伸缩头式	最复杂	好	最高	最高	能耗最低	影响小, 57 m	垂直转运好	好
卸料车式	复杂	好	高	低	能耗低	影响最小, 38 m	垂直转运好	好
转运胶带式	简单	存在短皮带跑偏的问题	低	高	能耗高	影响大, 67 m	垂直转运好	好

3 结语

大型煤码头装卸线之间的转换方式牵扯到整体平面布局，影响到工程整体造价以及节能环保等各项指标，甚至还影响到平均装卸效率。综合考虑本体和相关设施造价、节能、场地利用和维修管理等方面的情况，上下游胶带顺向或倾斜转运时、下游转接胶带为2条时应采用分叉溜槽式；下游转接胶带为3条及以上且垂直转运时应首选卸料车方式；伸缩头方式和卸料车方式也有各自的优点，在某种情况下可根据使用地点、条

件、平面工艺安排等综合考虑确定。

参考文献：

- [1] 张媛, 王军, 张哲, 等. 带式输送机双侧犁式卸料器力学分析与结构优化[J]. 煤炭科学技术, 2013(6): 83-85.
- [2] 于追海, 王军, 郝妮妮, 等. 单侧犁式卸料器力学分析[J]. 煤矿机械, 2013(7): 117-118.
- [3] 李小英, 周文生. 带式输送机伸缩头装置与卸料车等移动卸料装置行走驱动功率的计算[J]. 矿山机械, 2010(12): 92-94.

(本文编辑 郭雪珍)