



湘江土谷塘航电枢纽船闸设计优化及创新^{*}

王崇宇^{1,2}, 刘虎英^{1,2}

(1. 湖南省交通规划勘察设计院, 湖南 长沙 410008; 2. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410076)

摘要: 湘江土谷塘航电枢纽是湘江干流航道规划 (2007 年) 的最后一个梯级, 也是湖南内河水运发展规划 (2011 年) 中的重点工程。因此, 它的建设对湘江干流航道乃至整个湖南内河水运体系的发展都是至关重要的。分析土谷塘船闸的布置方案、工程特点, 总结船闸设计过程中的创新点及优化设计成果: 1) 为达到施工导流方案优化的条件, 设计了桩柱插板式隔水墙、兼顾围堰作用的闸室墙; 2) 为兼顾远期二线船闸对一线船闸进行优化设计, 采用了底部透空式主导航墙、双向靠船墩结构; 3) 为提高船闸区的景观性, 对闸首结构进行了优化, 在上闸首内布置了管线竖井廊道, 并调整了下闸首启闭机房布置, 降低下闸首顶高程。

关键词: 航电枢纽; 工程设计; 创新; 船闸; 土谷塘

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0115-05

Design optimization and innovation for shiplock of Xiangjiang Tugutang navigation-power junction

WANG Chong-yu^{1,2}, LIU Hu-ying^{1,2}

(1. Hunan Provincial Communications Planning Survey & Design Institute, Changsha 410008, China;

2. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: Xiangjiang Tugutang navigation-power junction is the last cascade of Xiangjiang River Main Stream Waterway Planning (2007), and an important project of Hunan Water Transport Development Plan (2011) as well. So, its construction is very important for the development of Hunan inland waterway. This paper not only analyzes the general layout and engineering characteristics of Tugutang shiplock, but also summarizes the innovation and optimization for the shiplock design: 1) in order to optimize the conditions of construction diversion, the pile-column-inserted plate water diversion wall and the chamber wall with the cofferdam function are used; 2) the optimization design considering the second-line shiplock requirement by optimizing the first-line shiplock, the hollow-main navigation wall and the bidirectional pier structure are used; 3) for improving the landscape of shiplock area, the structure design of lock head is optimized, including arrangement of pipeline corridor in the up-lock head, adjustment of the arrangement of the hoist room in the low-lock, and decrease of the top elevation of the low-lock head.

Keywords: navigation-power junction; engineering design; innovation; ship lock; Tugutang

按照《湘江干流航道发展规划》^[1] (2007 年), 衡阳以下航道规划为 II 级, 衡阳以上航道规划为 III 级。随着长沙综合枢纽、湘江 2 000 吨级航道

一期工程的实施, 株洲以下至城陵矶将全部建成 2 000 吨级航道, 而在衡阳以上的湘江河段, 已先后建成了潇湘电站、近尾洲枢纽、浯溪枢纽和

收稿日期: 2014-04-18

^{*}基金项目: 湖南省交通厅科技进步与创新项目 (201243)

作者简介: 王崇宇 (1983—), 男, 博士研究生, 工程师, 注册土木工程师 (港口与航道工程), 从事航电枢纽设计及科研工作。

湘祁枢纽，但近尾洲和大源渡枢纽之间航道尚未能衔接。因此，建设土谷塘航电枢纽可以将湘江 1 000 吨级航道向衡阳以上延伸，促进湘江中、上游地区的经济发展。

另外，根据《湖南内河水运发展规划》^[2] (2011 年)，湖南将建成以长江为依托，以洞庭湖为中心，以“一纵五横”航道为骨干的现代化内河水运体系。“一纵”即为湘江，位于土谷塘下游的大源渡枢纽、株洲枢纽即将开工建设 2 000 吨级二线船闸，位于土谷塘上游的 4 个梯级均规划扩建 1 000 吨级二线船闸，湘江源头规划拟建设湘桂运河以沟通长江、珠江两大水系。

由上可知，土谷塘枢纽是湘江干流开发的最后一个梯级，其建设对湘江干流航道乃至整个湖

南水运体系的发展都至关重要^[3]。

湘江土谷塘航电枢纽工程坝址位于湘江衡阳市上游 39 km 的衡南县云集镇，是一个以航运为主、航电结合，兼顾交通、灌溉、供水和 水产养殖等功能的水资源综合利用工程。通航建筑物为年通过能力 1 500 万 t 的 1 000 吨级船闸 1 座，闸室有效尺度 180 m×23 m×4.0 m（长×宽×门槛水深），靠右岸预留二线船闸位置。

1 船闸总体方案及创新点

1.1 船闸总体布置方案

根据枢纽总平面布置方案^[4-5]，船闸布置在河床右岸，船闸轴线与坝轴线垂直。船闸主要建筑物包括、闸首、闸室、导航墙、靠船墩、隔水墙等。图 1 为船闸总体布置。

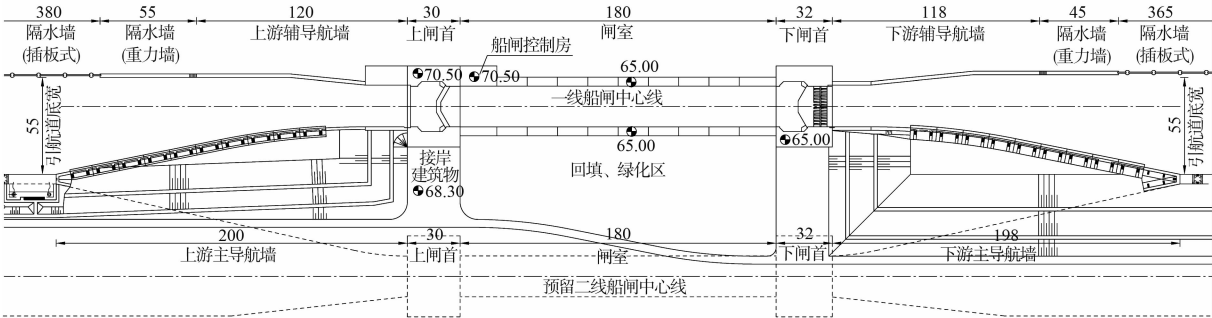


图 1 湘江土谷塘航电枢纽船闸总体布置

1.2 设计创新点

结合枢纽总体布置、工程特点、施工计划以及远期规划，船闸设计中所进行的创新和优化主要包括以下 3 个方面。

1) 根据枢纽施工导流方案，部分船闸建筑物需进行水上施工，另外，施工过程中船闸尚需形成小围堰，并利用部分临河主体建筑物兼做纵向围堰结构，为满足以上要求，对建筑物结构型均进行了创新和优化。

2) 根据湖南内河水运发展规划，远期本项目上游河段将进行湘江 1 000 吨级航道扩建和湘桂运河建设，结合区域经济发展规划，应预留土谷塘二线船闸建设条件。因此，本项目设计中不仅预留了二线船闸建设位置，并对一线船闸岸侧建筑

物进行了结构创新，以便适应远期二线船闸的修建^[6]，避免建筑物的拆除以及重复建设。

3) 本项目坝址位于衡南县城，建成后枢纽将成了县城沿江风光带的一部分，考虑到景观要求^[7]，在进行上、下闸首的设计时，充分优化结构布置，控制结构高程，使得在项目建成后船闸区达到沿江风光带的要求。

2 施工导流设计创新及结构优化

2.1 施工导流方案

本项目共包括 1 座船闸、17.5 孔泄水闸、电站机组等。共分三期导流，一期围右岸船闸与 7.5 孔泄水闸，二期单独围左岸厂房，一期围堰拆除前修建船闸小围堰，船闸通航后进行三期截流，围

剩余的泄水闸。图2、3为施工导流布置。

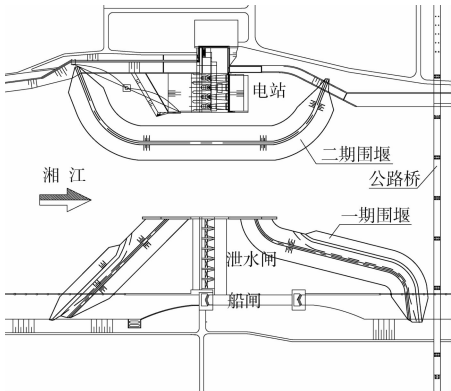


图2 一、二期施工导流布置

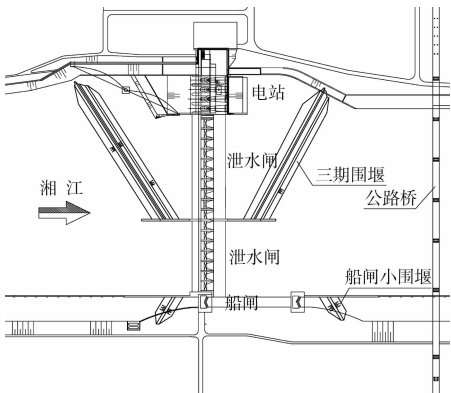


图3 船闸小围堰、三期施工导流布置

与船闸结构设计有关的方面主要体现在：

1) 一期围堰内仅包括船闸闸首、闸室、主辅导航墙等，其余的船闸建筑物须进行水上施工；

2) 二期电站围堰形成后，须拆除7.5孔泄水闸范围的一期横向围堰，此时船闸尚未完工，须修建船闸小围堰继续施工，并考虑船闸河侧建筑物须兼做纵向围堰。

2.2 桩柱插板式隔水墙

围堰外主要建筑物包括靠船墩、隔水墙、导流墩，均需采用水上施工的方案。其中靠船墩、导流墩采用一般的桩基承台基础，隔水墙需具备隔水功能，宜采用墩间插板式结构，本项目将隔水墩创新的设计为桩基础+柱体结构，图4为隔水墙结构图。

桩柱插板式隔水墙指基础采用桩基础，上部结构采用柱体、柱体之间插入隔水板的结构形式，桩基采用直径2.5 m的钻孔灌注桩，为简化受力

特点，柱体同样采用直径2.5 m的圆柱，柱间距采用15 m，圆柱上下游端预留安装槽，并插入厚0.6 m的预制隔水板，隔水板底与河床之间采用抛石封堵。

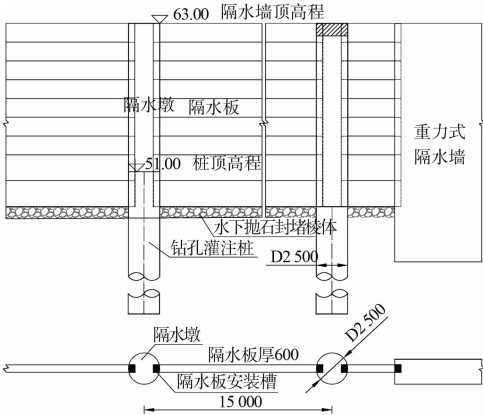


图4 桩柱插板式隔水墙

桩柱插板式隔水墙的优点主要如下：1) 采用深基础，便于水上施工；2) 采用大直径单桩基础，桩柱采用同尺寸设计，施工简便；3) 隔水板采用先预制、后吊装，施工速度快。

采用该方案需要注意的问题有：1) 预留安装槽施工必须精确，以便保证隔水板顺利安装；2) 结构受力计算时应考虑墙两侧的水位差影响。

2.3 闸室墙

根据施工导流方案，一期泄水闸完工后，其横向围堰将拆除，并形成船闸小围堰继续进行船闸工程施工，其中船闸小围堰仅修建横向土石围堰，并利用部分船闸主体结构兼做纵向围堰，主要包括闸首、河侧闸室墙、辅导航墙等，围堰挡水标准为流量8 000 m³/s、水位58.10 m。

根据以上布置、施工需要，岸侧与河侧闸室墙采用不同的结构形式，图5为闸室墙横断面图。

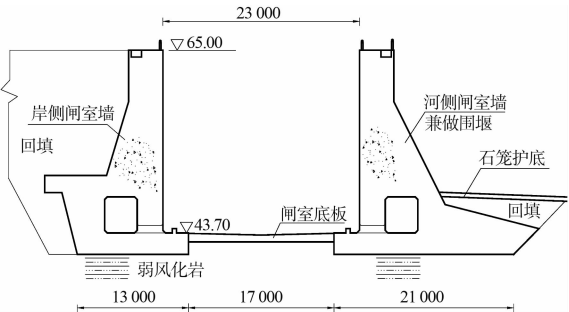


图5 闸室墙横断面

河侧闸室墙采用近似“L”型重力式结构，充分利用拖尾底板的自重及上部回填土重、竖向水压力，提高结构的整体抗滑稳定性，以满足施工期兼做围堰挡水工况的要求。

岸侧闸室墙采用带卸荷功能衡重式结构，结构底宽为 13 m，并在原设计衡重台位置增设卸荷板，便于降低墙后回填的土压力。

采用以上优化设计方案后，两侧闸室墙均能满足各种工况下的整体稳定性要求。

3 兼顾远期二线船闸的优化设计

3.1 底部透空式主导航墙

根据一、二线船闸的平面布置（图 1），一、二线船闸主导航墙呈“八”字形布置，主导航墙外侧为靠船段，结合国内已建多线船闸的运行经验，其中一线船闸灌泄水时，或将影响另一线船闸的引航道水流条件，甚至产生较大的反向水头对另一线船闸的人字门运行产生不利影响。

为了避免二线船闸建成后出现以上情况，拟将主导航墙设计为底部透空式结构，以改善引航道水力学特性。图 6 为主导航墙结构。

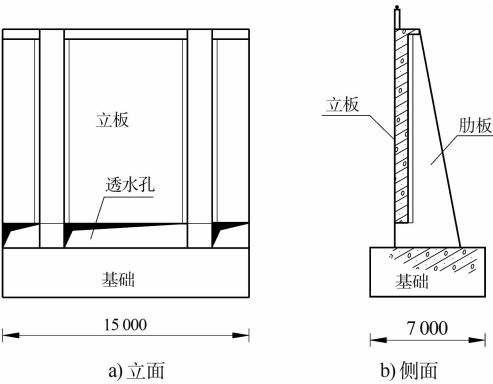


图 6 主导航墙结构

透空式主导航墙基础采用扩大基础，上部结构为扶壁式结构，墙面为面板结构，面板下部为透水孔，透水孔的范围根据引航道底高程及最低通航水位确定。该透水孔的主要作用为平衡两线船闸引航道水位，之所以在一线船闸建设中就采用这种结构形式，一是可节省现阶段混凝土工程量，二是可避免远期修建二线船闸的混凝土拆除项目。

3.2 双向靠船墩

靠船墩为围堰外建筑物，须进行水上施工，采用在桩基承台上浇筑墩身的结构形式。根据一、二线船闸平面布置，一、二线船闸靠船墩拟布置在同一位置。

为了避免重复建设以及二线船闸修建对一线船闸的不利影响，拟将一线船闸靠船墩设计为双向靠船墩，兼顾一、二线船闸同时靠船能力，但二线船闸侧仅预留系船柱安装槽。图 7 为双向靠船墩结构。

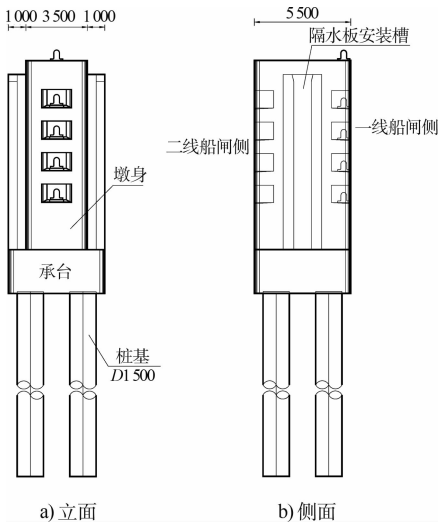


图 7 双向靠船墩结构

墩身平面尺寸顺水流向为 3.5 m，垂直水流向为 5.5 m，墩身上下游端均预留隔水板安装槽，以便修建二线船闸时安装隔水板，降低停泊段横向流速，使得靠船墩满足双向靠船要求。需要注意的是，结构计算须考虑两侧同时靠船时船舶撞击力、系缆力作用组合。

4 闸首结构设计优化

4.1 上闸首

根据船闸运行需要，闸首两侧均需布置启闭机房，而船闸控制中心宜只布置在一侧，以方便工作人员操作。因此，必须布置连接船闸两侧的管线通道，用于电气、监控、监测、消防等设施连通。常规的做法是沿跨船闸桥进行敷设，如跨船闸公路桥、人行桥等。

然而, 本项目考虑到枢纽运行安全的需要, 将跨湘江大桥布置在枢纽下游 500 m 处 (图 2), 船闸管线通道无法利用该桥进行敷设, 若另行修建跨船闸人行桥又将增加工程投资, 鉴于以上因素, 设计中采用了将跨船闸管线通道布置在上闸首内的方案。

利用上闸首的坞式实体混凝土结构, 从启闭机房内往下采用竖井, 至闸室底板范围后采用横跨闸室的廊道, 形成 U 型管线廊道 (图 8)。

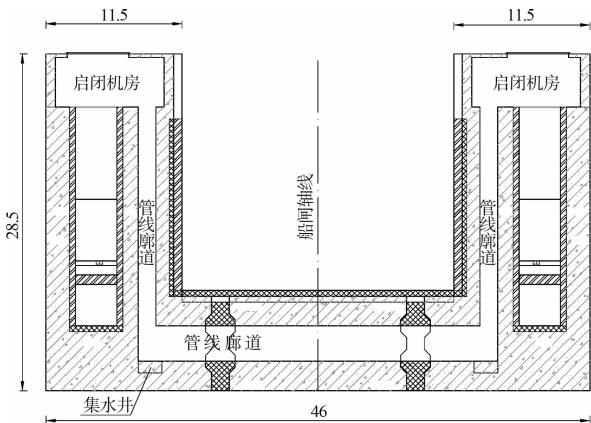


图 8 上闸首横断面

采用该方案后, 一是节约了修建跨船闸人行桥的工程费用, 二是保障了船闸区域视野的开阔, 大大增强了美观性。

4.2 下闸首

与上闸首同样, 下闸首也采用内置式启闭机房方案, 根据以往类似工程经验, 下闸首若采用内置式机房, 机房底高程主要由液压控制设备防洪水位确定, 往往导致下闸首顶高程远远高于闸室墙最低设计高程, 造成视觉的不协调, 若采用加高闸室墙顶高程的措施, 将大大增加闸室墙造价。

为解决以上问题, 土谷塘船闸下闸首启闭机房采用了分离式布置的方案, 将人字门启闭杆房与液压控制房独立布置, 中间设置混凝土墙, 连通管线采用防水套管连接, 同时, 将液压控制房的底高程降低为 61.00 m (最高通航水位 62.50 m), 采用下沉式方案, 液压控制房周围均布置为混凝土墙体, 液压房内设置排水管, 管端设置控制阀门, 低水位期用于液压房内排水, 高水位期关闭

阀门, 形成封闭式机房, 并启用积水强排措施 (图 9)。

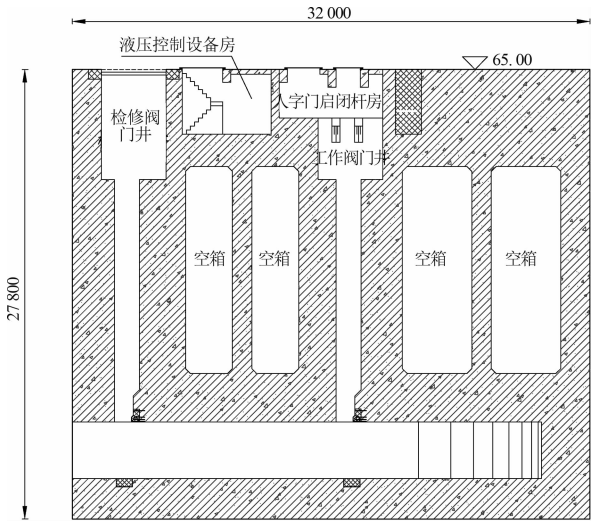


图 9 下闸首纵断面

采用该方案后, 下闸首顶高程由原设计的 67.50 m 降低为 65.00 m, 原设计闸室墙顶高程为 64.30 m, 考虑到船闸区域高程的整体协调, 将闸室墙高程增加至 65.00 m, 使下闸首与闸室墙高程一致, 避免了下闸首凸起形成的船闸区视觉障碍。

5 结语

1) 施工导流方案创新及结构优化, 采用桩柱插板式隔水墙结构、兼做挡水围堰的闸室墙等结构, 在不增加投资的前提下, 大大缩短了施工工期;

2) 兼顾远期二线船闸的创新设计, 提出了底部透空式导航墙结构和双向靠船墩结构, 充分考虑远期二线船闸修建的各种工况, 节约了二线船闸工程量, 并降低了其施工难度和不利影响;

3) 闸首结构进行了优化设计, 在上闸首采用了在混凝土结构内布置管线竖井廊道的方案, 下闸首启闭机房进行分离式布置, 降低了下闸首顶高程, 增强了船闸区的景观性。

以上创新及优化设计理念虽具有一定的项目独特性, 但也具有较强的通用性, 可为类似航电枢纽、船闸工程等的设计提供参考。