

苏州河河口水闸工程综述

陈文伟¹ 汪云祥¹ 季永兴² 卢永金²

(1. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 浙江 杭州 310014 ; 2. 上海市水利工程设计研究院 , 上海 200063)

摘要 根据苏州河河口水闸所处地理位置的特殊性、水闸结构的复杂性 , 以及水闸施工期要求不断流、不断航、工期短等特点 , 对该水闸总体内容(工程概况、总体方案、主要构筑物与设备等) 进行阐述。介绍了该工程设计过程中采用的超常规的设计思路 , 如由底轴旋转直接驱动翻板闸门 , 场外制作、现场拼装的总体结构及施工方案 , 格构式 U 形地下连续墙基坑围护措施 , 水下设备 30 年免维修设计等。本工程解决了百余米重载超长轴的结构形式、节间连接、支承方式、两岸百余米间启闭设备的同步控制等技术难题。

关键词 苏州河河口水闸 ; 翻板闸门 ; 液压启闭机

中图分类号 : TV66 文献标识码 : A 文章编号 : 1006-7647(2007) S1-0001-04

1 工程概述

苏州河河口水闸位于上海市苏州河入黄浦江的河口 , 为外滩风貌保护区 , 水闸周边毗邻外白渡桥、俄罗斯领事馆、上海大厦、人民英雄纪念塔等历史著名建筑 , 是上海市苏州河综合整治二期工程的标志性项目。

1991 年上海市在苏州河河口外白渡桥与乍浦路桥之间已建有吴淞路闸桥 , 该闸按当时的 1 000 年一遇($P=0.1\%$) 潮位标准设计 , 闸上部建有连接苏州河南北两岸的交通大桥。但随着海平面上升、太湖流域及长江口工情水情变化以及上海城市的发展 , 闸桥设计时的 1 000 年一遇高潮位 5.87 m 已低于现在的 200 年一遇高潮位 , 无法满足黄浦江现行 1 000 年一遇高潮位 6.26 m 挡潮标准的要求 , 这将直接威胁到苏州河两岸数百万人民的生命和财产安全。另外 , 根据上海市苏州河景观总体规划方案及外滩源建设的需要 , 苏州河河口段将以恢复 20 世纪 50 年代风貌为主基调进行整治 , 现有闸桥难以与周边环境相协调。此外 , 现有闸桥仅有的单向挡水功能无法满足进一步改善苏州河水质和水环境的要求。因此 , 上海市政府决定拆除吴淞路闸桥 , 另建苏州河河口水闸 , 并要求河口水闸具有如下功能 : ①防御黄浦江苏州河口千年一遇的潮位 ; ②能双向挡水、灵活启闭 ; ③总体布置与周围环境相协调。同时要

求施工期苏州河不断流、不断航。

2 总体方案

根据上海市对苏州河河口水闸功能和施工的要求 , 以及闸址周边建筑物的情况、工程规模等确定工程总体方案为 : 闸址中心线距外白渡桥约 80 m , 闸孔净宽 100 m , 与河口同宽 , 闸底槛高程 - 1.50 m , 闸门顶高程 6.26 m ; 主体挡水结构采用底轴驱动式翻板闸门 , 闸门尺度 100 m × 9.76 m , 底轴直径 $\varnothing 2\,000$ mm ; 启闭设备为 2 × 2 × 6 300/4 000 kN—5 100 mm 液压启闭机。

水闸主要水工建筑物有 : 闸墩、基础钢管桩、闸底板、启闭机室、防渗钢板桩、上下游护坦等。除启闭机室、水闸底板支承墩及上下游护坦需现场施工外 , 其余均采用预制构件 , 在船坞内制造完毕后经黄浦江浮运至闸址现场沉放 , 因此 , 施工时河道不需要建筑围堰 , 保证了施工期间苏州河河道不断流、航道不断航 , 施工对河道的防汛能力及闸址周边环境的影响亦较小。

翻板闸门门叶由底轴直接驱动旋转 , 转角范围 0 ~ 90° , 全关时门叶呈铅直状 , 全开时门叶向黄浦江侧卧倒呈水平状。闸门上游设 1 道耐磨损高分子合成硬质材料底水封 , 闸室底板上设有 1 排冲淤孔 , 采用高压水泵进行冲淤。闸门底轴在净宽 100 m 的范围内共设 10 个支点 , 用以承受闸门的径向荷载 , 侧

水封为插拔式具自动补偿功能的双向止水装置,启闭设备布置在左、右两岸机房内。

由于翻板闸门具有良好的调节水位特性,正向挡水运行工况时,可以按季节由自动控制系统将苏州河水位维持在相对稳定的状态,同时,当上游有多余来水时可利用门顶溢流,使苏州河水呈缓慢的单向动态流;反向挡水运行工况的操作可根据当日潮汛、潮位预报,在外江水位超过翻板闸门门顶实时高程时根据苏州河是否需要蓄潮以抬高水位的情况确定闸门关闭的时间及是否关闭。

全部设备布置在水面或地面以下,故对原有景观、风貌不会产生负面影响。闸门水下部分按30年免维修设计,减轻了运行管理的工作量。闸门全开时门叶与河床底面齐平,对航运不产生任何影响。

3 主要建筑物与设备

3.1 水工建筑物

3.1.1 闸墩基础

闸墩基础结构为钢壳沉井式承台,下设桩基础,见图1^[1]。南岸边闸墩基础采用40根直径60cm的钢管桩,中闸墩基础为24根直径60cm的钢管桩,桩长约60m,钢管桩壁厚18mm。北岸边墩在施工基坑围护高喷注浆时发生土体变形,后经多方专家论证改为钢套管加钻孔灌注桩结构,桩径100cm,桩长同钢管桩,约60m。

沉井式承台为预制中空钢壳沉箱,浮运至现场后充填混凝土。闸边墩沉井尺寸为30m×16m×7m,由隔墙分隔成8个仓。中墩沉井18m×13m×4m(长×宽×高),由隔墙分隔成4个仓。钢壳沉井在船坞制造完毕后由黄浦江浮运至闸址现场,定位后搁置在砂岛上,然后在钢壳沉箱空腔内充填混凝土,同时在沉井顶部接高临时施工钢围堰。沉井沉放采用不排水方法施工,至设计标高后搁置在钢管桩顶。沉井封底采用水下不分散混凝土,封底混凝土厚2.0m。最后进行沉井底板施工,采用分仓排水

干施工方法,底板钢筋混凝土厚2.0m。

3.1.2 闸底板

苏州河河口水闸闸底板为单体钢筋混凝土预制沉箱,底板沉箱尺寸为99m×14m×6.35m(长×宽×高)。闸底板上下游两侧面外包钢板,板厚根据受力条件分别为10mm、16mm和18mm,纵向四角包角钢。安装到位后底板底标高-8.15m,底板顶标高-1.80m(上游侧,宽2.62m)、-3.75m(下游侧,宽11.38m)。沉箱由纵隔板与横隔板将闸底板分隔成245个独立的隔腔,其中-3.75m以上35个隔腔,-3.75m以下210个隔腔。纵隔板厚度为180~200mm,横隔板厚度除底轴支座位置为250mm,其余均为160mm。

闸底板在船坞内制作完成后,安装孔口部分的底轴和闸门,最后再浮运至现场沉放,搁置在闸墩沉井支座上。

3.1.3 水下防渗体

水下防渗体采用拉森钢板桩加定位钢管桩联合体,既作底板基槽开挖围护又作防渗。底板与钢板桩间用水下不分散混凝土充填,并注浆形成防渗帷幕。

3.1.4 防冲护坦

为防止闸门启闭对上下游河床基础的冲刷,必须对河床进行保护。保护层结构组成为先在河床开挖面铺土布,然后设30cm厚碎石及抛石,表面铺1层钢筋混凝土链板。

3.2 电气设备

3.2.1 电气主接线

河口水闸工程供电负荷属二级负荷,采用二回10kV电源供电方案。配电系统由10kV高压系统和0.4kV低压配电系统组成。两回10kV独立电缆进线引至高压配电室后,各自经10kV环网柜分别引至1号和2号配电变压器。变配电所设置2台10/0.4kV配电变压器,根据用电负荷统计结果,并考虑2台变压器互为备用。低压0.4kV侧采用单母线分段接线,2段母线间设分段开关。正常运行时

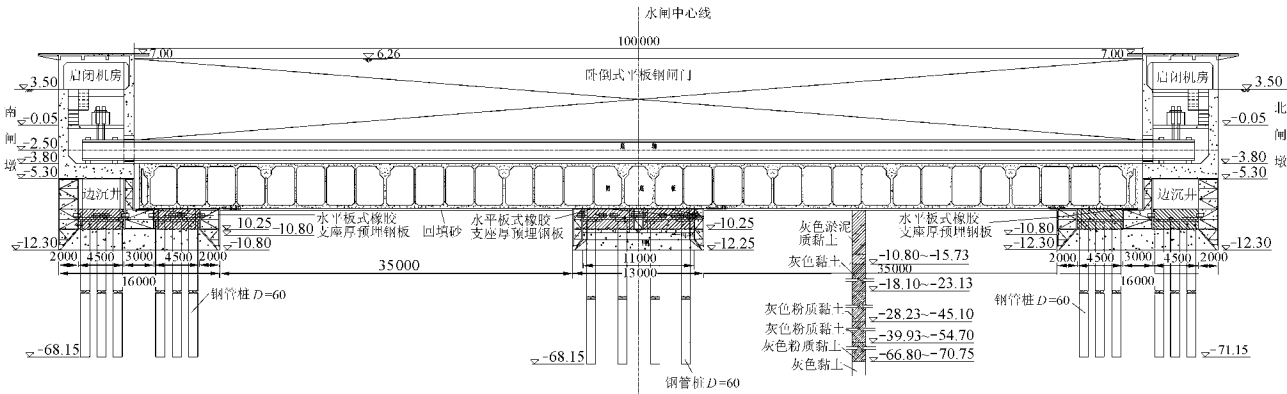


图1 苏州河河口水闸结构纵剖面图

分段开关断开,2 台配电变压器各自承担本段母线上所带负荷;当某回线路变压器组发生故障时,分段开关自动投入,由 1 台配电变压器承担整个水闸的全部负荷,以保证供电的可靠性。

3.2.2 自动化控制系统

河口水闸按少人值班方式设计,采用以计算机系统为基础的全站集中监控系统。计算机监控系统对闸站的主、辅设备进行监视、测量和控制,并实现与调度部门通信,完成调度部门对闸站的远动功能。系统包括集中控制、计算机监控、现地控制、二次接线、图像监视、通信、防雷击和过电压保护系统、火灾报警系统、观测系统等。

3.3 金属结构设备

3.3.1 结构布置

河口水闸的金属结构设备主要由门叶及驱动底轴、操作闸门的液压启闭机、闸底板冲淤系统、翻板闸门锁定系统、启闭机室的排水系统等组成。翻板闸门布置在两闸墩之间,液压启闭机布置在两岸闸墩的机房内,液压启闭机通过固定于底轴端部的拐臂驱动翻板闸门。考虑到翻板闸门的运行可靠性,在闸门全关位和闸门挡苏州河常水位两种工况时设置有锁定系统。

3.3.2 翻板闸门及底轴

翻板闸门在孔口净宽范围内由左、右两扇门叶组成,相对孔口中心线呈对称布置,孔口中心线处的连接结构采用对各向变位有一定适应能力的 Ω 形橡皮。每扇门叶沿宽度方向由 8 块单宽 5.9 m 的门叶结构和 1 块宽 2.56 m 的门叶结构用螺栓拼接而成,相邻的门叶结构之间设有纵向止水。门叶采用竖向悬臂梁受力结构。门叶与底轴间采用螺栓连接。底轴结构见图 2。

底轴作为门叶竖向悬臂梁的固端和闸门启闭驱动轴,是本水闸最重要的构件之一,底轴材料选用 Q345C,按扭转-弯曲受力条件设计。底轴沿全长共分 10 段,采用钢板分段卷制焊接结构,各段端面间采用铰制孔螺栓连接成整体。底轴在净宽 100 m 的范围内共设 10 个支点,用以承受径向荷载,支承轴

承采用耐磨自润滑球面轴承。

翻板闸门的上游设 1 道底水封,采用耐磨损高分子合成硬质材料,为延长使用寿命,补偿磨损量,压板上设有预压板弹簧。侧水封为插拔式的具有自动补偿功能的双向止水装置,不仅具有止水功能,而且在出现温变的情况下还具有自动调节功能。

翻板闸门可以灵活运行,允许门顶溢流,门顶设有破水器,以避免局部开启运行时因门顶溢流及启闭操作时造成门后负压。

闸门所有零部件及构件均在制造厂内制造,闸门闸孔部分的底轴、门叶、轴承总成、底止水需在水闸预制钢筋混凝土底板的预制场所内进行安装、调试,安装、调试完成后随底板一起浮运至水闸现场沉放就位。其余部分在水闸现场进行安装,采用临时钢围堰法施工。

3.3.3 启闭设备

翻板闸门采用四缸液压启闭机操作,每侧为双缸并联布置,分别布置在左右两岸机房内,各自设置独立的液压泵站和现地电控设备。液压缸采用中部转铰支承结构,活塞杆吊头与固定于底轴端部的拐臂直接相连接。泵组、油箱为一体式结构,阀组采用集成式结构,每侧设 3 套油泵电动机组,正常运行工况时为两用一备工作,当 1 套液压缸出现故障或检修时,启闭机采用单泵驱动单缸减速运行。启闭运行时设有闭环同步控制系统,以保证闸门同步运行,设计液压缸行程同步精度为 10 mm。液压启闭设备在布置设计和结构设计时已考虑了维修的条件以及维修条件下的运行问题。

3.3.4 冲淤装置

由于翻板闸门开启后平卧在河底,此处高程较低,易淤积,可能影响闸门的启闭,为此,在每边闸室中设置了冲淤水泵。为减小冲淤水泵的容量,闸底板分二次冲淤,在闸室中设置转换电动闸阀,闸底板上设有冲淤孔,在翻板闸门每次开启之前采用高压水泵进行一次冲淤。

4 专题研究与试验

苏州河河口水闸工程采用 1 扇单孔净宽 100 m

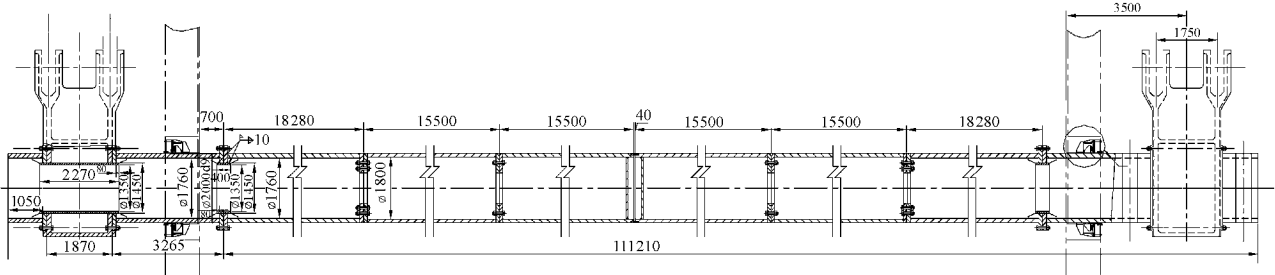


图 2 底轴结构总图

的翻板闸门作为挡水结构,防御 1 000 年一遇高潮位,在国内和国际尚属首例。翻板闸门的门叶采用竖向悬臂梁结构,由底轴旋转直接驱动。使闸门孔口的宽度不再受梁高的制约,致使单扇闸门的宽度达百米之巨。该门型的研究成果是对挡水闸门设计的一种突破。目前该门型已获国家实用新型专利(专利号 ZL 02 2 54314.7)。另外,苏州河河口水闸位于上海市苏州河河口、外滩风貌区,毗邻人民英雄纪念碑、外白渡桥、上海大厦和俄罗斯领事馆等重要历史保护建筑物,环境要求高,施工难度高、结构复杂,涉及专业多,而且施工期要求不断航、不断流,因此在设计过程中采用诸多开创性、超常规的设计思路,如场外制作、现场拼装的总体结构及施工方案、格构式 U 形地下连续墙基坑围护措施、水下设备 30 年免维修设计、100 余 m 重载超长轴的结构形式、节间连接、支承方式的设计、两岸 100 余 m 间启闭设备的同步控制等等。为此在设计过程中进行了多项技术专题研究和物理、数学模型试验。

专题技术研究包括:①苏州河河口水闸门型及主体结构方案研究;②苏州河河口水闸变形控制技术研究;③苏州河河口水闸水动力学问题研究;④苏州河河口水闸狭小空间开敞式基坑围护方案研究;⑤苏州河河口水闸关键施工技术问题研究;⑥苏州河河口水闸翻板闸门及底轴结构形式研究;⑦苏州河河口水闸闸门结构振动及补排气措施研究;⑧苏州河河口水闸金属结构制造、安装问题研究;⑨苏州河河口水闸液压启闭机同步方案研究;⑩水下金属结构长效防腐问题研究;⑪苏州河河口水闸翻板闸门底轴支承结构及材料研究;⑫苏州河河口水闸工程施工质量验收标准应用研究。

物理、数学模型试验包括:《黄浦江与苏州河整体水流数学模型计算》(上海交通大学);《苏州河河口水闸整体物理模型试验》(河海大学);《苏州河河口水闸水工建筑物整体三维有限元结构分析》(同济大学地下建筑与工程系隧道及地下工程研究所);《苏州河河口水闸金属结构整体数学模型有限元计算》(南京水利科学研究院);《苏州河河口水闸整体三维有限元结构分析》(河海大学);《上海苏州河水闸翻板门结构模型试验研究》(浙江大学)。

5 结 语

苏州河河口水闸目前已完成工程初步验收,其中,闸底板于 2004 年 10 月沉放到位,闸门于 2005 年 4 月安装完毕,启闭机及附属设备于 2005 年 6 月完成安装和单机调试,液压启闭机于 2005 年 7 月进行

了联门后的带载调试试验,液压系统的闸门关闭、闸门开启、同步控制及纠偏、同步超差停机保护、单侧静态纠偏等各项功能以及运行过程的压力、速度等实测数据基本达到和满足设计要求,通过此次带载调试试验,使人们对苏州河河口水闸这样一座集挡潮、防汛、调水、调节水位、通航等多种功能于一体的超大型挡潮闸的运行水位组合、工况条件设定、运行操作方案有了更新、更全面的认识,而这些也正是设计、管理以及运行单位所面临的一项全新的课题。最终确定一个合理的运行水位组合、设定切实可行的运行工况条件和完善的运行操作方案,将是本工程下一阶段需要摸索和深入研究的重要问题。

随着近年来全球气候变暖,海平面不断上升以及各类灾难性气候的频发,给沿海城市和一些河口城市(特别是那些重要的、特大型城市)的城市防御体系带来了新的研究课题,如何使用有限的工程手段来保障城市的安全已成为当务之急。根据世界发达国家(荷兰、英国、德国等)的研究结果和已建工程的经验,在河口处设闸是一个行之有效的工程措施。目前我国已有多个城市和地区正在或即将开展这方面的工作。希望本工程的建设实践能够为同类工程的建设,尤其是对那些经济发达、人口稠密、景观要求较高的城市和地区,提供一个良好的工程参考实例。

参考文献:

- [1] 陈文伟,季永兴,等.苏州河河口水闸工程技施设计报告[R].杭州:中国水电顾问集团华东勘测设计研究院,2006.
- [2] 陈文伟,季永兴,等.苏州河河口水闸工程初步设计报告[R].杭州:中国水电顾问集团华东勘测设计研究院,2003.
- [3] 苏州河河口水闸工程初步设计评审报告[R].上海:上海市建设和管理委员会科学技术委员会,2003.
- [4] 苏州河河口水闸工程初步设计(工程技术部分)的批复(沪建建规[2003]799号)[R].上海:上海市建设和管理委员会科学技术委员会,2003.
- [5] 国家电力公司华东勘测设计研究院,上海市水利工程设计研究院.苏州河河口水闸工程工程可行性研究报告[R].杭州:中国水电顾问集团华东勘测设计研究院,2002.
- [6] 关于苏州河河口水闸工程可行性研究报告的批复(沪计城[2003]D41号)[R].上海:上海市建设和管理委员会科学技术委员会,2003.
- [7] 季永兴,卢永金,陈文伟,等.苏州河河口水闸工程设计特色[J].上海水务,2006(2):3-5.

(收稿日期:2007-01-15 编辑:高建群)