

苏州河河口水闸水上安全防撞设施设计

饶建江 胡涛勇 任 涛 陈文伟

(中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 浙江 杭州 310014)

摘要 苏州河河口水闸为水下类闸门,孔口巨大,无法承受船只的直接撞击,为保障水闸及该水域的通航安全,设计了水上安全防撞设施,由图像监控系统、交通信号系统、广播系统、投光系统以及拦阻索系统组成,其中拦阻索系统为水上安全防撞设施设计的核心。文章详细介绍了拦阻索及拦阻索支承系统的设计方案。

关键词 防撞设施 拦阻索 苏州河河口水闸

中图分类号 TV66 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2007)S1-0079-03

上海市苏州河河口水闸位于苏州河与黄浦江的交汇处的重要水域地段,船舶通航密集,水情比较复杂,而且受黄浦江潮汐影响,加上本区域在每年的 3~5 月雾霾日期相对集中,多年平均雾霾日数约为 20~30 d/a。另外,由于该工程水闸为水下类闸门,孔口巨大,闸门门叶设计采用了竖向悬臂结构,不考虑闸门承受船只对其的直接撞击,一旦发生船只撞门事件,其后果将十分严重。因此,为保障水闸及该水域的通航安全,设计单位对水上安全防撞设施进行了专题研究,提出了“以管理为主,水上拦阻为辅,确保安全第一”的水上安全防撞设施的基本设计原则,要求加强水上运行管理,特别是做好水上船舶的通航计划、水域划分和航道管理等等,同时,结合工程的具体情况,在确保水闸闸门和船只及人员的安全的前提下,做到方案布置合理,使用方便,动作可靠,经济可行。

1 布置与组成

水上安全防撞设施主要由图像监控系统、交通信号系统、广播系统、投光系统以及拦阻索系统等 5 个子系统组成。

图像监控系统共设置外场摄像机 6 套,各布置在南北岸的防汛墙上。在中控室可监视水闸附近的水域和黄浦江及苏州河上的往来船只情况,及时发现问题。来自黄浦江方向的船舶是水闸防撞监控的重点,所以,监控该方向的外场摄像机采用白天为彩色、夜晚转为双色的夜视摄像机,以便更有效地实施

监视。摄像机的图像信号采用点对点传输方式。传输介质为单模光缆。每台按 2 芯配纤,一芯使用,一芯备用。

广播系统共设置 3 套广播喇叭,分别设在南北岸的防汛墙上,可对黄浦江上下游两个方向及苏州河内河方向的船舶喊话。在大雾等能见度很低的气候条件下,广播系统是唯—能用来向外界报警的设施。

交通信号系统共设置警示灯 2 套,各布置在南北 2 个浮箱上,2 套 LED 显示屏分别设在南北岸的防汛墙上,用于指挥来往船只通行或停航。上游信号灯设置在外白渡桥中墩处上游侧和乍浦路桥上游侧;下游信号灯设置在外白渡桥中墩处下游侧。所有信号灯均由中控室的集控台控制。中控室内设有外场信号运行状态显示屏,外场信号状态均能在屏上反映出来。

来自苏州河上游方向的船舶以灯光信号指挥为主,辅以广播喇叭报警喊话。对于由黄浦江进入苏州河的船舶,因黄浦江江面宽阔,水上交通繁忙,情况较为复杂,为此,在苏州河河口南北岸的防汛墙上(外)各设置了 1 套 LED 显示设备。该显示屏分别面向黄浦江上游和下游,每块 LED 显示屏的尺寸为 1.6 m×4.8 m,72×144 点阵布置。LED 显示屏可以中、英文文字直接显示及刷新交通指令,以及发布其他重要信息。位于中控室的值守人员通过对计算机系统的画面操作,实现对外场显示指令的内容更新。每次更新指令或其他内容的信息,计算机系统都会自动打印更新的内容和更新时间,作为设备运

行的记录。LED 显示屏内装有感光元件,通过检测环境的亮度,自动调节屏面显示亮度,从而取得最佳视觉效果。该显示屏还具有远控和手动故障检测及故障关闭功能。

本工程在南北闸墩顶部设置了 4 套投光灯,在夜间,当闸门关闭时,需将灯光投射至闸门上,以警示过往船只;另外,在拦阻索两侧浮箱上也分别设置了 2 套投光灯,在夜间,当拦阻索处于张拉拦阻时,需将灯光投射至拦阻索上,以警示过往船只。投光灯由中控室控制,并在显示屏上反映其状态。

水上安全防撞设施的核心是设置在闸门下游的拦阻索装置。根据苏州河河口地区航道的特性,该拦阻索装置仅设置在水闸的黄浦江侧。内河侧则通过人为管理控制船只运行,不考虑设置拦阻索装置。

2 操作功能设计

水上安全设施的运行方式由计算机进行自动控制,其主要运行工况及操作步骤为:

工况一 闸门处于挡水工况或水位低于 1.6 m 时。

状态 拦阻索应处于拦阻位置,所有警示灯、信号灯、LED 警示牌均发出禁航信号或告示。此时,拦阻索拉出水面,其中,上拦阻索高出水面约 30 ~ 50 cm,下拦阻索浮在水面上可拦阻失控或误入的船只。当电视监控系统(船舶探测系统)发现有船只误入或有误入倾向时,则立刻通过广播系统对其喊话,令其停船或转向,如船只失控或已停机不及,则将被拦阻索拦阻,拦阻索由液压马达倒拖制动,其拉力为恒定 100 kN,船只在拦阻索的拦阻下将减速航行直至停止。

工况二 允许通航。

状态 闸门应处于完全开启位,在确认闸门完全开启后 3 min,将拦阻索释放,使之下沉,至下沉到位,再将所有警示灯、信号灯、LED 警示牌的信号或告示转为允许通航状态的信号或告示。

工况三 从允许通航转为闸门关闭工况。

状态 工况转换过程。必须先通过电视监控系统(船舶探测系统)观察黄浦江侧及苏州河河面上是否有船只进出,确认无船舶时,将所有警示灯、信号灯、LED 警示牌的信号或告示转为禁航状态的信号或告示。确认所有信号正确后,将拦阻索张紧,并露出水面至规定高度,从而达到拦阻的目的。在拦阻索张紧到位 3 min 后开始关闭闸门。

所有监视和控制操作均在中控室内完成。

3 拦阻索系统设计

水上安全防撞设施的图像监控系统、交通信号

系统、广播系统、投光系统就技术水平而言均属于常规系统设计,本文不作详细的介绍,拦阻索系统作为该设施的核心,对河口水闸巨大闸门运行安全承担水上安全防护在国内尚属首次,以下就此进行详细介绍。

3.1 拦阻索

3.1.1 船型

苏州河为Ⅵ级航道,目前,在苏州河或经黄浦江进入苏州河的船只大多为铁壳驳船或水泥船,吨位一般在 100 t 左右,航行速度最大可以达到 12 km/h,船舶满载时吃水深度小于 2.0 m,满载时船舷离水面距离为 20 ~ 40 cm(左右),部分船舶为尖头船。该情况基本与国家规定的对Ⅵ级航道船只要求一致,故本拦阻索装置的设计拦阻能力以满足国家规定的Ⅵ级航道适航船只为准。

3.1.2 拦阻距离的计算

钢丝绳的长度 $L = 100$ m(设船舶撞击点在中点),钢丝绳的恒张力 $F = 100$ kN,船舶质量 $m = 150$ t,撞击时的船速取 $v = 5.0$ m/s(考虑适当安全裕度),设船舶被拦阻后的行程为 X ,则

$$\int_0^X 2F \times \frac{x}{\sqrt{x^2 + 50^2}} dx = \frac{1}{2} mv^2 x \quad \in [0, X]$$

可计算得 $X = 32.022$ m,即船只在停机后以 5.0 m/s 的速度撞击,受到拦阻索的拦阻后冲出的距离大约为 32.0 m(本计算未考虑船只在水中阻力的作用和风浪以及潮流的作用),显然,整个拦阻过程是受力不断叠加的过程,从小到大,船只最大的受力也不会超过 70 kN,拦阻索和船舶均不会遭到大的破坏。

3.1.3 拦阻索的形式

如何保证拦阻索准确拦住船头(即确定拦阻索离水面的高度)是拦阻索设计的一大难点,一般情况下,拦阻索呈自然悬链线状态,两端高,中央低,中间的拦阻效果会受到一定影响。为此,设计除了适当加大拦阻索上的张力外,还适当抬高两端出绳的高度,同时在拦阻索两端适当配置重物,使拦阻索中央与两端的高度不至于太悬殊。

100 t 级船舶正常满载吃水深度在 1.3 ~ 1.5 m 之间,满载时中部船舷离水面为 20 ~ 40 cm,但这类船舶的船首一般比船中约高出 30 cm,所以这时船首高度应在水面上 50 ~ 70 cm 之间。船舷的上缘均设有高度约 20 cm 左右的护舷。为了增加拦阻的可靠性,设计采用了上下双索。上索近于悬链线,中央离水面的高度取 70 cm 左右,下索保持与水面平,下索套有长串红白相间的浮子,在投光灯下起到非常醒目的警示作用,同时还兼有一定的消波作用。上、下索端部用三角眼板连接,而浮箱上的钢丝绳则拉在

眼板的另一侧,在该三角眼板的下部则挂配重球,以使上下索平衡,另外,上下索间还用无挡锚链连接,拦阻索中间锚链较短,两端则锚链较长。苏州河通航时,上、下拦阻索一并沉入水底,需要呈防撞状态时再张紧,达到“拉得起,放得下”的要求,显然,上下索的粗细、浮子的比重、配重的大小等每个细节对于拦阻索的设计都是至关重要的。

3.1.4 拦阻索的主要技术参数

采用2根型号6W(19)-20-157Q(不锈钢)右交的钢丝绳,恒张力100 kN,直径20 mm,绳长0~100 m(不含卷筒上的储备钢丝绳),水位升降条件0~7 m,浮子密度 $1.05 \sim 1.1 \text{ kg/dm}^3$,拦船冲程小于50 m。

3.2 拦阻索的支承系统

为了更好地设计这套防撞设施,设计过程中曾对拦阻索的支承及操作方式进行了3个方案的比选。

3.2.1 方案一

拦阻索支承装置设置在水闸下游约100 m处。拦阻索支承装置由浮箱、锚链、锚桩等组成。浮箱采用钢结构浮箱,通过锚链与锚桩连接。锚桩深约30.0 m,桩径900 mm。拦阻索的液压驱动装置设在两边的浮箱内,每个浮箱的靠岸侧抛2根锚链,与河道成 45° 夹角。由于水位经常变化,浮箱将随水位自动升降,而拦阻索始终被张拉,从而控制浮箱的漂移量。

关于锚链的计算:

由于苏州河水深较浅,尤其在落潮时若采用拖地锚,则锚链会相当长,而给抛锚带来相当大的困难,因此,拟采用无拖地锚链。当链长 $l \leq \sqrt{\frac{2H_A h_1}{q_{wa}}}$ 时, l 即为无拖地锚链的长度。水平外力 $H_A = 100 \text{ kN}$,浮箱顶距水底的深度 $h_1 = 10.0 \text{ m}$,锚链在水中的单位重量 $q_{wa} = 9.69 \text{ kg/m}$,可计算得 $l \leq 143.7 \text{ m}$,故取单根锚链长度 $l = 50.0 \text{ m}$ 。

此时,锚链的最大的拉力为 $T_A = H_A \times \sqrt{1 + \left(\frac{h_1}{l} + \frac{q_{wa} l}{2H_A}\right)^2}$,将 $l = 50.0 \text{ m}$ 代入可计算得 $T_A = 102.5 \text{ kN}$ 。

锚链加在浮箱上的垂直荷载 $V_A = H_A \left(\frac{h_1}{l} + \frac{q_{wa} l}{2H_A}\right)$,可计算得 $V_A = 22.4 \text{ kN}$ 。

拦索支承装置的主要技术特性如下:

a. 两侧浮箱(2只):外形尺寸(长×宽×高)11.5 m×5.0 m×2.6 m,吃水深度1.5 m。

b. 锚链(4根):链径22 mm,拉力负荷(2级)0~100 kN,每根长度50.0 m,空气中单位质量11.1 kg/m。

c. 卷筒:直径0.5 m,长度1.12 m,钢丝绳最大伸长量50.0 m,拦阻时钢丝绳最大线速度0~48 m/min,

拦阻索正常收放速度7.22 m/min。

d. 液压马达:型号MRE2100P,电机功率5.5 kW,马达转数0.5~250 r/min,比扭矩0.333 N·m/kPa,恒张力100 kN,最大工作压力31.5 MPa。

e. 开式齿轮:传动比4.235,模数16,大齿轮齿数72,小齿轮齿数17。

3.2.2 方案二

拦阻索支承装置仍设置在水闸下游约100 m处。由浮箱、混凝土导向柱等组成。浮箱为一个等边的八角形钢结构,内部装有操作拦阻索的液压驱动装置,该浮箱在混凝土导向柱内可随水位的变化而自由升降,拦阻索始终被张拉,由于有了混凝土导向柱,从而保证了浮箱不会发生倾覆,但该导向柱始终受横向荷载作用。

该混凝土导向柱的顶高程为6.5 m,整个高度为9.00 m,其底部高程为-2.50 m。在其下部有个混凝土平台,该平台由8根桩径600 mm的钢管桩支撑,每根桩深25.0 m。为了提高水平的承载力,也可采用斜桩支撑。

a. 两侧浮箱:外形尺寸(长×宽×高)5.0 m×5.0 m×3.0 m,形状为等边八角形,吃水深度1.5 m。

b. 桩基:采用钢管桩,桩数为每侧8根,桩径0.6 m,钢管壁厚20 mm,桩长0~25.0 m。

液压马达、卷筒等同方案一。

3.2.3 方案三

拦阻索支承装置设置在水闸下游不到100 m处,由液压马达驱动的卷筒等组成。液压马达驱动的卷筒布置在河的两岸,不再在水上(中)设置浮箱和锚链等设施,拦阻索的升降将根据水位的变化而进行调整,当需要通航时则将拦阻索沉到水下。很明显该方案受到南北两岸的用地约束,且使原来和谐的外滩景观受到影响。

经过充分的方案比选和论证,方案一在可行性、可操作性、经济性和对环境的影响等方面都较方案二和方案三具有更多的优势,因此,最终采用方案一。

4 结 语

苏州河河口水闸水上安全防撞设施的设计,有效地解决了该水闸及该水域的水上设施及通航安全问题,为国内外一些重要水域地段、船舶通航密集、水情比较复杂等区域的大跨度水上建筑物或水上设施的安全防护问题提供了一种可借鉴的方法,它可以在对水上建筑物或水上设施进行安全防护的同时,确保被拦阻船只不受到损害。并且在需要时迅速恢复航道通航或实现船只进出。

(收稿日期:2007-01-15 编辑:熊水斌)