

# 黄浦江河口建闸挡潮效果初步分析

崔 冬, 赵庚润, 卢永金

(上海市水利工程设计研究院, 上海 200061)

**摘要** 在探讨计算水情和水闸调度运行方案的基础上, 采用 3 种尺度的河网模型对黄浦江河口建闸的挡潮效果进行定量分析, 并研究了不同调度参数(起关潮位和关闸历时)对挡潮效果的影响。研究表明, 在遭遇千年一遇风暴潮时通过合理调度黄浦江河口闸门可将进潮量减少约 80%, 闸内干流段高潮位降低 1.7 ~ 2.4 m, 能有效提高上海市区的防汛能力。

**关键词** 河口水闸 河网模型 挡潮效果 黄浦江

**中图分类号** TV135.1

**文献标志码** A

**文章编号** 1006-7647(2012)01-0054-04

**Preliminary analysis of efficiency of construction of a tidal sluice in estuary of Huangpu River**//CUI Dong, ZHAO Geng-run, LU Yong-jin(Shanghai Water Engineering Design and Research Institute, Shanghai 200061, China)

**Abstract** By discussing hydrological conditions and operational schemes of sluices, the river net models at three kinds of scales are employed to quantitatively analyze the efficiency of construction of a tidal sluice in the estuary of Huangpu River. The effects of different operational parameters (tidal stage for closing and duration of closing sluice) on the efficiency of tidal operation are investigated. The results show that after the construction of the tidal sluice in the estuary of Huangpu River, about 80% of the inflowing flood volume can be reduced and the water level inside the sluice under the highest tidal stage may have a decrease of 1.7 ~ 2.4 m when the once-in-a-thousand-year storm surge occurs, and it can effectively raise the flood control capability in Shanghai Municipality.

**Key words** sluice in estuary; river net model; efficiency of tidal sluice; Huangpu River

黄浦江上接太湖, 下通长江口, 穿越上海市中心城区, 是区域行洪除涝的重要排水河道, 其两岸防汛墙是保障上海市区防汛安全的重要屏障。受全球气候变化、地面沉降及流域工情和水情变化等因素的影响, 当前黄浦江两岸防汛墙实际防御水平由原定的千年一遇降为约 200 年一遇<sup>[1]</sup>, 远低于国家要求的千年一遇设防标准, 急需采取有效措施以提高城市防汛能力。

风暴潮是上海地区防汛面临的重大问题<sup>[2]</sup>, 仅 20 世纪上海遭遇的特大和严重潮灾就有 10 次, 灾害损失严重。参照国外许多成功案例, 有关研究认为在黄浦江河口建闸挡风暴潮是彻底解决上海中心城区防汛保安问题的有效措施之一<sup>[3-4]</sup>, 而挡潮效果是进行河口建闸前期决策的重要依据, 展开相关研究非常必要, 但受流域来水、闸门运行等条件的限制, 河口闸的挡潮效果难以计算。

针对上述问题, 本文研究了挡潮效果的计算水情和水闸调度运行方案, 采用 3 种尺度的河网模型计算建闸前后闸内进潮量和闸内高潮位的变化, 对建

闸挡潮效果进行定量分析, 还研究了水闸不同起关潮位与关闸历时对挡潮效果的影响, 可为项目的前期决策提供重要技术支撑, 也可类似工程提供参考。

## 1 黄浦江自然条件及初拟水闸闸址方案

黄浦江是太湖流域最大的入江河流, 也是流域目前唯一敞口的通江河道。干流自米市渡至吴淞口长约 80 km(图 1), 水深河宽, 上、中段水深 7 ~ 10 m, 下段水深达 12 m, 河宽 400 ~ 500 m, 绝大部分河段已形成了与来水来沙相适应的相对稳定的河床。黄浦江水系为平原感潮河网, 潮汐属于非正规浅海半日潮。口门吴淞站平均高潮位为 3.24 m(上海吴淞基面, 下同), 历史最高潮位为 5.99 m(发生于“9711”号台风期间), 千年一遇设计高潮位为 6.60 m<sup>[5]</sup>。

黄浦江下游段岸线利用已经饱和, 前期经过多轮遴选, 初定了离河口 5.8 km 的长航锚地闸址方案(图 1), 但该方案存在拆迁量大、水流不够顺畅、闸下岸线过长等不利因素<sup>[6]</sup>。当前有关部门正在组织开展吴淞口闸址方案的相关研究, 该方案闸址位于

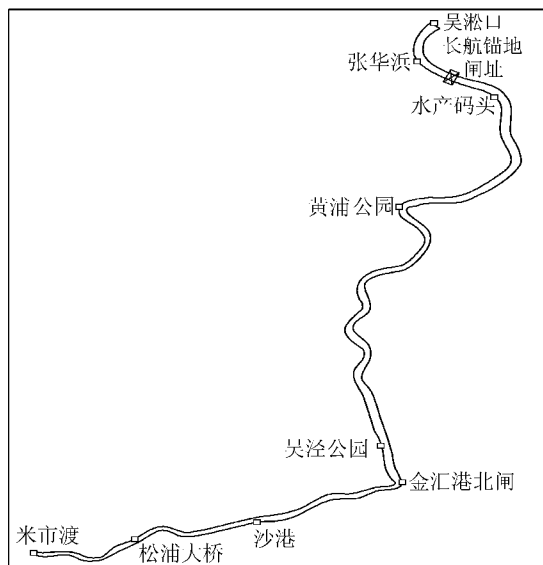


图1 黄浦江河网模型模拟范围

黄浦江入长江口口门,是最能发挥建闸挡潮效益的理想选址,但因吴淞口的重要地位及其对黄浦江河势的控制作用,该方案是否可行尚无定论。本文仅针对前期初定的长航锚地闸址方案展开相关研究,其中闸址断面江面宽度约为 550 m,河床形态呈“V”字形,深槽侧靠浦西,最低高程为 -12 m,初拟闸孔总净宽为 375 m,闸底高程为 -12 m<sup>[7]</sup>。

## 2 计算模型与计算条件

### 2.1 河网模型

一维数学模型是研究河网水动力问题的有效手段<sup>[8-10]</sup>,但由于水闸调度运行期间会将黄浦江的流态由往复流改变为向下的单向流,势必会对上游较大范围内的水流边界条件产生一定影响。为消除这种影响,需考虑建闸对流域来水的影响,因此应扩大模型范围,在上海市区乃至太湖流域范围展开相关研究,但大尺度河网模型在模拟局部问题时往往存在精度不高的缺点。

为考虑建闸对上游流域来水的影响并保证模型模拟局部问题时的精度,采用太湖流域河网模型<sup>[11]</sup>、上海市区河网模型<sup>[12]</sup>、黄浦江河网模型<sup>[13]</sup>等3种尺度的模型联合分析计算,其中太湖流域河网模型用来为上海市区河网模型提供建闸前后的水流边界条件,上海市区河网模型用来为黄浦江河网模型提供建闸前后的水流边界条件,黄浦江河网模型用来精细模拟研究方案。

黄浦江河网模型和太湖流域河网模型的模拟范围如图1、图2所示,限于篇幅,仅介绍黄浦江河网模型。由于黄浦江两岸支流均已采用泵闸控制,黄浦江河网模型模拟范围主要集中在上游米市渡至下游吴淞口之间的干流段。模型采用丹麦水力学研究

所(DHI)研发的 MIKE 11 一维模型中的水动力学模块(HD 模块)进行模拟计算,基本方程为一维非恒定流的圣维南方程组,解法为“追赶法”。该模型可以较为方便地设置水利枢纽控制结构物的各种调度规则,可以精确模拟水闸复杂的调度运行方式。模型采用 2002 年 10 月 6—10 日的实测水文资料对黄浦江主要测站的潮位过程、流量过程进行率定验证,率定验证成果符合相关规范要求<sup>[13]</sup>。



图2 太湖流域河网模型模拟范围

### 2.2 计算条件

除水闸闸址、闸孔规模外,研究挡潮效果的重要基础条件还包括计算水情、水闸调度运行条件等,这些基础条件的选取与设定直接影响挡潮效果的定量分析成果。

#### 2.2.1 计算水情

计算水情应根据水闸防洪(潮)标准进行选择。根据国家有关规定,上海市区防洪(潮)标准为千年一遇。根据 CJJ50—1992《城市防洪工程设计规范》规定,城市范围内的河道及沿岸土地利用必须服从行洪要求,各项工程建设及其防洪标准不得低于该城市的防洪标准。因此,水闸建成后的防御对象主要为千年一遇标准以内的风暴潮,选取黄浦江遭遇千年一遇风暴潮时的水情作为研究挡潮效果的计算水情,具有较好的代表性和较高的保证率。

由于千年一遇风暴潮水情并未发生过,需采用实际发生过的较大水情进行构造。以引发黄浦江吴淞口历史最高潮位的“9711”号台风期间水情为基础,对下游吴淞口“9711”号台风期间实测潮位过程进行同倍比放大,放大后的潮型高高潮位为千年一遇设计高潮位 6.60 m,最大潮差为 4.8 m。上游流域各边界仍采用“9711”号台风期间实况水位过程,区间降雨采用“9711”号台风期间实况降雨过程。模拟时段内黄浦江两翼地区按照防汛排涝安全要求实行统一调度,向黄浦江排水。

#### 2.2.2 水闸调度运行条件

水闸调度运行条件包括调度方式及起关潮位与后闭历时等。

##### a. 调度方式。黄浦江河口建闸实施挡潮调度

的目的是阻挡闸下高潮位的上溯,保证上游流域来水的及时排泄以及闸内的防汛安全。采用涨潮挡水、落潮泄水的调度方式可实现此目的。较为理想的调度方式为当闸址处水流方向朝上游时关闸挡潮,当落潮过程闸内外两侧水位齐平时开闸泄水。但由于水流运动的复杂性及闸门启闭操作的延时性,上述调度方式在实际操作过程中很难实现,尤其是涨潮过程闸门起关时刻较难把握。相对而言,涨至某一特定潮位时关闸挡潮较为现实。因此,为研究挡潮效果,初步拟定水闸的调度方式为:涨潮过程中涨至某一特定高潮位时关闸挡潮,落潮过程中当闸内外水位齐平时开闸泄水。需要说明的是,由于水闸规模大,水闸实际调度运行中可能不会如此频繁启闭,上述拟定的调度方式仍然较为理想。

b. 起关潮位。由于潮位上涨速度较快,过低的起关潮位可能导致闸内外过大的潮位差进而影响水闸结构安全,而潮位过高则影响挡潮效果,增加闸内防汛墙的防汛压力。拟根据建闸后闸内各站点的警戒水位设置水闸起关潮位,即水闸的起关潮位应保证关闸后闸内站点水位基本不超过警戒水位。根据黄浦公园 4.55 m 的警戒水位要求,认为水闸的起关潮位可初拟为 3.75 m 左右。

c. 后闭历时。后闭历时包括开闸历时与关闸历时(即完成一次开闸或关闸运行所需的时间),其中关闸历时的长短直接影响挡潮效果。关闸太快会产生激振波,太慢则影响水闸挡潮功能的发挥。国外大型挡潮闸关闸历时大多在 30 min 以上,如荷兰的马斯兰特闸、意大利的威尼斯泻湖闸关闸历时为 2.5 h,荷兰的东谢尔德闸关闸历时为 1 h,英国的泰晤士闸、俄罗斯的涅瓦河口闸关闸历时为 30 min。为研究挡潮效果,初步拟定黄浦江河口闸的关闸历时为 40 min。

### 3 计算结果分析

运用上述 3 种尺度的河网模型联合计算,采用初步拟定的计算水情及水闸调度运行条件,通过分析建闸前后闸址断面进潮量与闸内高潮位的变化,对黄浦江建闸挡潮效果进行定量研究,进一步分析水闸不同调度运行参数(起关潮位及关闸历时)对挡潮效果的影响。

#### 3.1 建闸前后闸址断面进潮量的变化

在计算水情下,建闸前后闸址处涨落潮流量过程曲线如图 3 所示(图中流量正值表示落潮流量,负值表示涨潮流量,下同),涨潮过程累积进潮量如图 4 所示。

由图 3 和图 4 可以看出:遭遇计算水情时,建闸前后一个涨潮过程内通过闸址断面的累积进潮量分

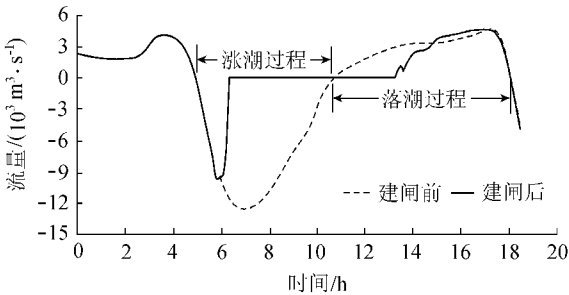


图 3 建闸前后闸址处流量过程曲线

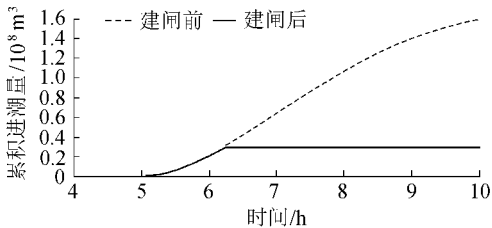


图 4 建闸前后闸址处累积进潮量

别为  $1.6 \times 10^8 \text{ m}^3$  与  $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,建闸后进潮量比建闸前减少了约 80%。因此,黄浦江河口建闸可大幅度减少风暴潮期间涨潮过程的进潮量,有效阻止高潮位的上溯。

#### 3.2 建闸前后闸内高潮位的变化

遭遇计算水情时,建闸前后闸址处上游侧潮位过程曲线如图 5 所示,黄浦江闸内河段沿程高潮位的分布情况如图 6 所示。

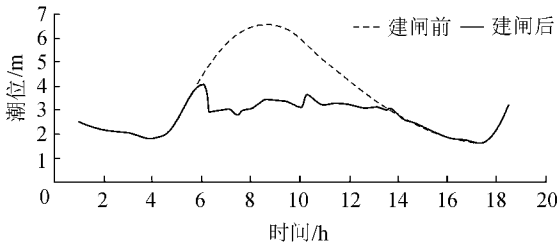


图 5 建闸前后闸址处上游侧潮位过程曲线

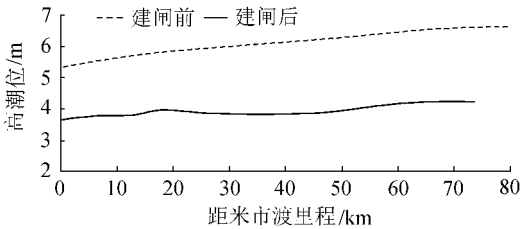


图 6 建闸前后黄浦江闸内河段沿程高潮位的分布

由图 5 和图 6 可以看出:遭遇计算水情时,建闸前闸址断面(距米市渡 73.5 km)最高潮位可达 6.6 m,而建闸后最高潮位降至 4.2 m,降幅达 2.4 m。建闸前黄浦江闸内河段高潮位在 5.3 ~ 6.6 m 之间,上游低下游高,外滩黄浦公园(距米市渡 54.8 km)处为 6.4 m,而建闸后通过闸门的调度,可将黄浦江闸内河段高潮位普遍控制在 3.6 ~ 4.2 m 之间,与建闸前相比闸内沿程高潮位有 1.7 ~ 2.4 m 的降幅,且自金

汇港北闸(距米市渡 25.5 km)至闸址段降幅均在 2 m 以上。因此,黄浦江河口建闸能有效降低风暴潮期间闸内河段的高潮,对减轻闸内防潮压力极为有利。

综上,若闸址选在长航锚地,闸孔总净宽 375 m,水闸按起关潮位 3.75 m、关闸历时 40 min 进行调度,则在遭遇千年一遇风暴潮水情时闸址内侧进潮量减少 80%,黄浦江闸内干流段高潮位普遍降低 1.7~2.4 m,挡潮效果明显,能有效提高上海市区防汛能力。

### 3.3 起关潮位的影响

起关潮位共研究了 3.00 m、3.75 m 和 4.50 m 这 3 组工况(关闸历时以 40 min 为例)。图 7 为不同起关潮位下建闸前后闸址处流量过程曲线。计算结果表明,3 组起关潮位下,闸址断面一个涨潮过程内累积进潮量分别为  $0.164 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $0.318 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $0.508 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,与建闸前相比分别降低了 90%, 80%, 68%。即 3 组起关潮位均能起到较好的挡潮效果,且水闸起关潮位越低,挡潮效果越好。

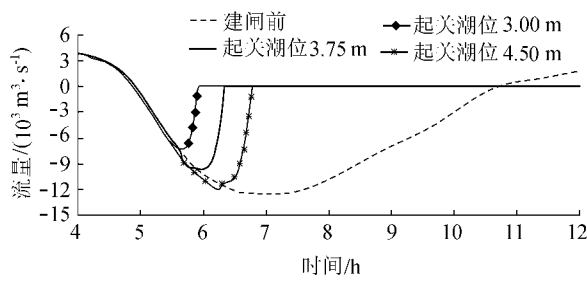


图 7 不同起关潮位下闸址处流量过程曲线

### 3.4 关闸历时的影响

关闸历时共研究了 20 min、40 min 和 60 min 这 3 组工况(起关潮位以 3.75 m 为例)。图 8 为不同关闸历时下建闸前后闸址处流量过程曲线。计算结果表明,3 组关闸历时下,闸址断面一个涨潮过程内累积进潮量分别为  $0.214 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $0.318 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $0.426 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,与建闸前相比分别降低了 87%, 80%, 73%。即 3 组关闸历时均能起到较好的挡潮效果,且关闸历时越短,挡潮效果越好。

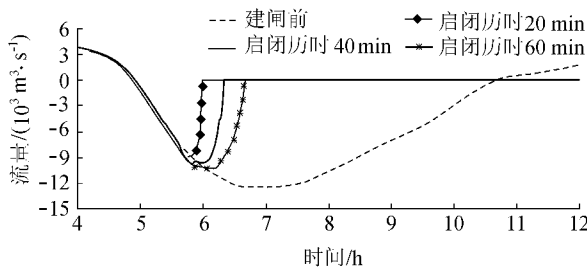


图 8 不同关闸历时下闸址处流量过程曲线

## 4 结 语

本文在前期已有成果所推荐的闸址和规模的基础上,初步拟定计算水情、水闸调度运行方案等重要

基础条件,采用太湖流域、上海区域和黄浦江干流 3 种尺度的河网模型联合分析计算,对黄浦江河口建闸的挡潮效果进行定量分析,并研究了不同调度参数对挡潮效果的影响。研究表明,若闸址选在长航锚地,闸孔总净宽 375 m,水闸按起关潮位 3.75 m、关闸历时 40 min 进行调度,则在遭遇千年一遇风暴潮水情时,闸址内侧进潮量减少 80%,黄浦江闸内干流段高潮位普遍降低 1.7~2.4 m,挡潮效果明显,能有效提高上海市区防汛能力。就水闸调度参数对挡潮效果的影响而言,水闸起关潮位越低,关闸历时越短,挡潮效果越好。

致谢 本研究得到了太湖流域管理局水利发展研究中心杨洪林教授级高级工程师、章杭惠高级工程师,上海市水务规划设计研究院徐贵泉教授级高级工程师、唐迎洲工程师的大力协助,在此致以衷心的感谢!

### 参考文献:

- [1] 卢永金.上海市防御台风战略对策探讨[J].城市道桥与防洪,2007(4):29-33.
- [2] 林荣,李国芳.黄浦江风暴潮位、区间降雨量和上游来水量遭遇分析[J].水文,2000,20(3):1-5.
- [3] 上海市防汛信息中心课题组.国内外沿海河口大城市防洪防潮标准及对策措施的调研[R].上海:上海市防汛信息中心,2000.
- [4] 陈美发.黄浦江河口建闸工程规划研究[J].水利水电科技进展,2001,21(5):12-13.
- [5] 黄浦江潮位分析课题组.黄浦江潮位分析(修编)[R].上海:上海市水文总站,2004.
- [6] 胡欣,徐贵泉,黄士力,等.黄浦江河口建闸工程选址研究报告[R].上海:上海市水务规划设计研究院,2005.
- [7] 卢永金,刘新成,崔冬,等.黄浦江河口挡潮闸的设防标准和闸孔规模研究[R].上海:上海市水利工程设计研究院,2011.
- [8] 崔冬,刘新成,潘丽红.一、二维耦合数学模型在水利枢纽通航水流条件研究中的应用[J].水利水电科技进展,2009,29(1):35-39.
- [9] 董传红,王保东.一维不恒定流河网数学模型研究与应用[J].水利水电技术,2005(4):18-20.
- [10] 苏飞,王士武,陈雪,等.平原河网一维水流计算模型在洪水期和枯水期的应用[J].中国农村水利水电,2008(1):34-36.
- [11] 杨洪林,章杭惠,李琛,等.黄浦江河口规划水闸泄洪能力研究[R].上海:太湖流域管理局水利发展研究中心,2010.
- [12] 徐贵泉,陈长太,唐迎洲,等.黄浦江河口规划闸内设防水位研究[R].上海:上海市水务规划设计研究院,2010.
- [13] 刘新成,崔冬,赵庚润,等.黄浦江河口挡潮闸一维、二维数模专题研究[R].上海:上海市水利工程设计研究院,2010.

(收稿日期:2011-06-10 编辑:骆超)