

太浦闸拆除重建工程规模分析

王重工¹, 郑春锋²

(1. 上海勘测设计研究院, 上海 200434; 2. 太湖流域管理局苏州管理局, 江苏 苏州 215011)

摘要: 太浦闸是环太湖大堤重要口门控制建筑物, 其工程任务为防洪、泄洪和向下游地区、上海市供水。运行四十多年, 鉴定太浦闸为三类闸, 必须进行除险加固, 进一步增加泄洪能力, 改善太湖流域水环境。经太浦闸规模计算方案, 针对闸下河道和闸上引河浚深对太浦闸过水影响分析论证, 规划河道规模下, 随着闸规模的扩大, 闸孔面积逐渐增加, 闸的过流能力也随之增加, 从与规划河道匹配和满足规划泄流以及经济性方面, 太浦闸规模为闸孔净宽 120 m、闸槛高程 -1.5 m 是最合适的。

关键词: 太浦河; 除险加固; 下泄流量; 闸槛高程; 闸的净宽

中图分类号: TV222 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 08-0024-06

Analysis of reconstruction scale in Taipu sluice project

WANG Chonggong¹, ZHENG Chunfeng²

(1. *Shanghai Surveying and Design Institute, Shanghai 200434, China;*

2. Suzhou Administration Bureau of Taihu Basin Administration Bureau, Suzhou 215011, Jiangsu)

Abstract: Taipu sluice is an important gate control building of dyke around the Taihu Lake, the tasks include flood control, flood release, water supply to Shanghai and other downstream area. After operating for more than 40 years, Taipu sluice is appraised as a third kind dangerous sluice. Reinforcement is required for increasing the capacity of flood discharge and improving the water environment in Taihu Lake Basin. The scale calculation scheme of Taipu sluice shows that: in planning river scale condition, with the expansion of the scale of the sluice, sluice hole area is gradually increasing, capacity of gate flow is increasing. Considering the situation of matching the river planning, satisfying the planning discharge and economic condition, sluice hole width of 120 m, sluice sill height of -1.5 m is the best scale.

Key words: Taipu River; reinforcement; releasing discharge; sluice sill height; gate width

0 引言

太浦闸兴建与 1958 年 11 月, 设计工况: 太湖水位 4.10 m (吴淞基准, 下同), 下泄流量 580 m³/s; 校核工况: 太湖水位 5.30 m, 下泄流量 864 m³/s。太浦闸位于江苏省吴江市境内的太浦河进口, 西距东太湖约 2 km, 北距苏州市约 50 km, 是环太湖大

堤重要口门控制建筑物, 也是太湖流域骨干泄洪河道太浦河的泄洪及输水建筑物。其工程任务为防洪、泄洪和向下游地区、上海市供水。

太浦闸的保护范围涉及到太湖流域的下游地区, 主要包括上海市、苏州市、嘉兴市等广大平原河网地区, 该地区是我国经济最发达的地区之一, 也是太湖流域经济实力最雄厚的地区。根据 1999

收稿日期: 2016-06-17

作者简介: 王重工 (1970-), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利规划, 移民的设计工作。

年的洪水实况,太浦闸从4月12日投入运行至9月30日,共运行133天,泄太湖洪水28.73亿 m^3 。^[1]

太浦闸作为太湖向下游地区供水的控制建筑物,其水资源配置作用极为重要。根据上海市饮用水的现状、需求和水源地情况,长江口水源地只能保证约30%的水源,黄浦江上游水源地需解决70%的水源。

根据2008年2月国务院批复的《太湖流域防洪规划》,太浦闸下泄流量需由原 $580\text{ m}^3/\text{s}$ 提高至 $784\text{ m}^3/\text{s}$;校核工况,下泄流量需由原 $864\text{ m}^3/\text{s}$ 提高至 $931\text{ m}^3/\text{s}$ 。2000年11月,太湖流域管理局组织了太浦闸工程安全鉴定工作,根据《水闸安全鉴定规定》对太浦闸进行安全鉴定,形成《太浦闸工程安全检测综合分析报告》。鉴定结论太浦闸为三类闸,必须尽快进行除险加固^[2]。

1 水力计算

计算模型采用由河海大学开发的太湖流域水量水质数学模型系统为工具。该模型经水利部及国家有关科技部门的鉴定认证,认为是太湖流域可推行使用的水量水质模型。计算由太湖流域管理局水利事业发展中心完成。

(1) 数学模型

以产汇流模型计算得到的山丘区流量、圩内外净雨深,结合典型年实测潮位边界,在河网概化的基础上模拟水流运动。描述水流在棱柱形明渠中一维非恒定流动的基本方程组为圣维南(Saint Venant)方程组:

连续方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A_T}{\partial t} = q_L$$

动力方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = q_L$$

式中:

x 、 t —空间(m)和时间(s)变量;

A —过水面积(m^2), A_T 包括调蓄水面积;

Q —断面流量(m^3/s);

Z —水位(m);

α —动量修正系数;

K —流量模数;

q_L —单宽旁侧入流($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$),入流为正,出流为负;

v_x —入流沿水流方向的速度(m/s),若旁侧入流垂直于主流,则 $v_x = 0$ 。

模型采用四点隐式直接差分法离散求数值解。

太湖流域控制建筑物较多,控制建筑物工程主要包括水闸、船闸、涵洞、泵站等。在水流模拟中,不仅要正确地模拟这些控制建筑物的规模、位置,而且还要模拟这些工程措施的控制运行方式。

在河网概化中,每条河道两端均设有节点,河道与河道的联接均通过节点来实现。对于水闸、船闸、涵洞及泵站等控制建筑物上、下游亦设有节点,即每个控制建筑物均介于上、下节点之间。与河道不同之处主要在于:(1)两节点之间的距离忽略不计;(2)节点之间水位差与流量之间的关系取决于堰流公式及运行方式。

在闸门开启情况下,水力学过闸流量 Q 按宽顶堰公式计算:

$$\text{自由出流 } Q = mB\sqrt{2g}H_0^{3/2}$$

$$\text{淹没出流 } Q = \varphi BH_s \sqrt{2g(Z_u - Z_d)}$$

式中:

Q —过闸流量(m^3/s);

m —自由出流系数,一般取0.325~0.385之间;

φ —淹没出流系数,一般取1.0~1.18之间;

B —闸门开启总宽度(m);

Z_o —闸底高程(m);

Z_u —闸上游水位(m);

Z_d —闸下游水位(m)。

1.2 模型的率定

(1) 基础资料

模型采用2000年实测资料进行了率定,并采用1998年和1999年的实测资料进行了验证,计算成果与实测(或调查)结果基本吻合,基本上能反映太湖流域平原河网地区的水流特点。该模型系统曾应用于太湖流域防洪规划等流域重大规划的水利计算。

(2) 水边界条件^[3]

由于太浦河工程为流域性骨干工程,根据《若干意见》采用100年一遇设计洪水。根据《太湖流域防洪规划简要报告》,100年一遇的4种雨型分别为“54同倍比”、“91上游”、“91北部”和“99南部”。在不影响分析成果的前提下,太浦闸规模分

析所选择的设计洪水采用“91北部”和“99南部”2种雨型,以“99南部”计算成果为主。

考虑到太浦闸规模需与防御流域100年一遇洪水标准相衔接,除了《总体规划方案》所确定的十一项骨干工程外,计算工况中考虑增加了新孟河延伸拓浚;望虞河拓宽、吴淞江拓浚以及太浦河、南排、东西苕溪等后续工程、东茭嘴至太浦河闸上引河段疏浚工程、东太湖综合整治工程等工程。

太浦闸的泄洪须兼顾下游地区向太浦河排涝的需求;当太湖水位未超过3.8m时,太浦闸泄量以平望水位不超过3.5m为限,当太湖水位达到或超过3.8m,太浦闸泄量以平望水位不超过4.0m为限。太浦河两岸各闸向太浦河排涝,按相关地区的排涝需求及其与太浦河的水位关系调度进行相机调度。

2 规模论证

2.1 太浦河规划河道规模

太湖流域防洪规划安排太浦河后续工程项目包含有实施芦墟以西南岸口门控制工程、太浦闸以下至平望长约12.6km河道疏浚底高程至-3.00m、太浦河闸上引河段疏浚至底高程-2m,与东

太湖疏浚工程相衔接^[4]。

2.2 拟订太浦闸规模

太浦闸规模特别是闸槛高程,涉及两省一市的各方利益,非常敏感。一般情况下,节制闸闸槛高程宜与河(渠)底齐平,分洪闸在满足泄水条件下闸槛高程可比河底略高。太浦闸闸槛高程按照闸下河道现状和规划底高程初拟为-1.5m、-3.0m方案;或者根据闸上引河底高程,初拟为0.5m、0m、-1.0m、-1.5m、-3.0m方案。

一般情况下,节制闸闸室总宽度与河道宽度的比值应该为0.75~0.85为宜,规划太浦闸节制闸的净宽应在120~136m。考虑到闸址处地形条件和太浦河现状等,初拟闸的净宽采用108m、116m、120m和132m方案。

针对闸下河道和闸上引河浚深对太浦闸过水影响,综合太浦闸规模以及闸上下游河道现状规划情况,计算方案拟定了14个闸孔与河道组合方案,计算方案1~方案5分析现状河道规模下,不同闸室宽及闸槛高程对过流能力的影响;计算方案6~方案14分析上下游河道疏浚情况下,不同闸室宽及闸槛高程对过流能力的影响。具体方案见表1。不同太浦闸规模孔口面积比较表见表2。

2.3 太浦闸规模论证分析

表1 太浦闸规模分析主要计算方案

计算方案	太浦闸规模		闸上引河底高程(m)	闸下河道底高程(m)
	闸室净宽(m)	闸槛高程(m)		
1	116	0.5	0	-1.5
2	108	0.0	0	-1.5
3	120	0.0	0	-1.5
4	120	-1.5	0	-1.5
5	120	-3.0	0	-1.5
6	108	0.0	-2	-3.0
7	108	-1.5	-2	-3.0
8	116	0.5	-2	-3.0
9	120	0.0	-2	-3.0
10	120	-1.5	-2	-3.0
11	120	-3.0	-2	-3.0
12	116	-1.5	-2	-3.0
13	132	-1.5	-2	-3.0
14	132	-1.0	-2	-3.0

注:(1)方案1为现状闸;(2)方案2为与现状闸过流能力基本相等的方案。

表 2 不同太浦闸规模孔口面积比较表

序号	太浦闸规模		不同水位下孔口面积 (m ²)					
	闸室净宽 (m)	闸槛高程 (m)	2.00 m	3.00 m	3.50 m	4.00 m	4.50 m	5.00 m
规模a	116	0.5	174	290	348	406	464	522
规模b	108	0.0	216	324	378	432	486	540
规模c	108	-1.5	378	486	540	594	648	702
规模d	120	0.0	240	360	420	480	540	600
规模e	120	-1.5	420	540	600	660	720	780
规模f	120	-3.0	600	720	780	840	900	960
规模g	132	0.0	264	396	462	528	594	660
规模h	132	-1.0	396	528	594	660	726	792
规模i	132	-1.5	462	594	660	726	792	858

太浦闸规模分析主要计算方案的部分计算成果比较见表 3、表 4。

通过上述计算, 不同水闸规模、不同河道规模的行洪能力分析如下:

(1) 现状河道条件下, 扩大太浦闸规模对提高太浦河泄流能力的影响。

对现状河道条件下, 扩大太浦闸规模对泄流

能力的影响进行比较。方案 1 与方案 3 相比, 即太浦闸孔口尺寸由闸孔总净宽 116 m、闸槛高程 0.5 m 增大到闸孔总净宽 120 m、闸槛高程 0.0 m, 闸上水位 4.5 m 时 (为方便比较, 各方案闸上水位均取 4.5 m, 以下同), 过水面积增大 16.4%, “99 南部”雨型, 太浦河流量由 760 m³/s 增加到 784 m³/s, 增幅仅为 3.2%, 造峰期出湖水量由 4.8 亿 m³ 增加

表 3 主要计算方案计算成果比较表 (100 年一遇 99 南部雨型)

方案	太浦闸规模 (闸孔净宽, 闸槛高程m)	闸上闸下河道规模 (底高程m)	最高日均水位 (m)		太浦河出湖水量 (亿m ³)		太浦闸最大流量 (m ³ /s)
			太湖	平望	5.1-8.31	造峰期	
1	(116, 0.5)	(0, -1.5)	4.77	4.15	29.90	4.80	760
2	(108, 0.0)	(0, -1.5)	4.77	4.15	30.00	4.80	764
3	(120, 0.0)	(0, -1.5)	4.77	4.17	30.20	4.90	784
4	(120, -1.5)	(0, -1.5)	4.77	4.19	30.20	5.00	814
5	(120, -3.0)	(0, -1.5)	4.77	4.20	30.50	5.00	828
6	(108, 0.0)	(-2.0, -3.0)	4.76	4.19	32.80	5.50	880
7	(108, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.75	4.24	33.40	5.80	970
8	(116, 0.5)	(-2.0, -3.0)	4.76	4.19	32.60	5.50	873
9	(120, 0.0)	(-2.0, -3.0)	4.76	4.21	33.30	5.70	934
10	(120, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.75	4.25	33.60	5.90	985
11	(120, -3.0)	(-2.0, -3.0)	4.75	4.26	33.90	5.90	1010
12	(116, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.75	4.24	33.60	5.80	980
13	(132, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.75	4.25	33.90	5.90	997
14	(132, -1.0)	(-2.0, -3.0)	4.75	4.25	33.60	5.90	986

表4 主要计算方案计算成果比较表(100年一遇91北部雨型)

方案	太浦闸规模(闸孔净宽, 闸槛高程m)	闸上闸下河道规模(底高程m)	最高日均水位(m)		太浦河出湖水量(亿m ³)		太浦闸最大流量(m ³ /s)
			太湖	平望	5.1-8.31	造峰期	
1	(116, 0.5)	(0, -1.5)	4.62	3.99	32.20	13.20	628
2	(108, 0.0)	(0, -1.5)	4.62	3.99	32.30	13.20	635
3	(120, 0.0)	(0, -1.5)	4.62	3.99	32.30	13.20	646
4	(120, -1.5)	(0, -1.5)	4.61	3.99	32.30	13.20	657
5	(120, -3.0)	(0, -1.5)	4.61	3.99	32.30	13.20	667
6	(108, 0.0)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	35.10	14.80	713
7	(108, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	36.10	15.10	718
8	(116, 0.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	35.00	14.70	712
9	(120, 0.0)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	35.60	14.90	717
10	(120, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	36.30	15.10	725
11	(120, -3.0)	(-2.0, -3.0)	4.58	3.99	36.50	15.20	736
12	(116, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	36.20	15.10	723
13	(132, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	36.60	15.10	735
14	(132, -1.0)	(-2.0, -3.0)	4.59	3.99	36.30	15.10	727

4.9 亿 m³ 增幅仅为 2.1%; 方案 4 进一步降低闸槛高程至 -1.50 m, 与方案 3 比较, 过水面积增大 33.3%, 流量由 784 m³/s 增加到 814 m³/s, 增幅仅为 3.8%, 造峰期出湖水量由 4.9 亿 m³ 增加到 5.0 亿 m³, 增幅仅为 2.0% (如与现状规模方案 1 相比, 太浦闸最大泄量增加 7.1%, 造峰期太浦河出湖水量增加 4.2%); 方案 5 再进一步降低闸槛高程至 -3.0 m, 过水面积相应增大 23.1%, 流量由 814 m³/s 增加到 828 m³/s, 增幅仅为 1.7%, 造峰期出湖水量为 5.0 亿 m³, 不再增加。可见扩大太浦闸规模对泄流能力有一定的作用, 但影响不显著。

(2) 现状太浦闸规模与现状河道规模和规划河道规模的关系

其次分析现状太浦闸规模与现状河道及规划河道规模是否相适应。太浦闸现状过水面积是现状河道过水面积的 46.0% ~ 59.4%, 是规划河道过水面积的 37.8% ~ 42.6%, 太浦闸过水面积过小影响了太浦河过流能力的发挥。经计算, 从表 3 可见, “99 南部” 100 年一遇雨型, 现状河道情况下, 节制闸由现状规模扩大至闸孔口尺寸总净宽 120 m, 闸槛高程 -1.50 m, 太浦闸最大泄量从 760 m³/s 增加到 814 m³/s, 仅增加 7.1%, 造峰期太浦河出湖水量从 4.8 亿 m³ 增加 5.0 亿 m³, 仅增加 4.2%; 规

划河道情况下, 节制闸由现状规模扩大至闸孔口尺寸总净宽 120 m, 闸槛高程 -1.50 m, 太浦闸最大泄量增加 12.8%, 造峰期太浦河出湖水量增加 7.3%。可见现状水闸规模与现状河道及规划河道规模均不相适应。

(3) 太浦河疏浚至“规划河道规模”对太浦河泄洪能力的影响

太浦河疏浚后对泄流能力的影响进行比较。方案 4 太浦闸闸孔净宽 120 m、闸槛高程 -1.5 m 情况下, 太浦河河道由现状疏浚至方案 10 (闸规模同方案 4, 闸上、下河道分别疏浚至底高程 -2.0 m, -3.0 m), “99 南部” 雨型最大泄量由 814 m³/s 增加到 985 m³/s, 增幅达 21.0%, 出湖水量由 5.0 亿 m³ 增加到 5.9 亿 m³, 增幅达 18.0%。可见在太浦闸规模同为闸孔净宽 120 m、闸槛高程 -1.5 m 时, 太浦河疏浚至“规划河道规模”工况, 太浦闸的最大泄量和出湖水量均大于“现状河道规模”工况, 且有较大的增幅, 影响较为显著。

(4) 规划河道规模下, 随着闸规模的扩大, 闸孔面积逐渐增加, 对闸的过流能力的影响

对规划河道规模下, 闸规模的最佳尺寸进行分析, 从图 1~ 图 4 可见, 当闸规模扩大, 闸孔面积由 520 m² 增加到 930 m², 过闸流量由 880 m³/s 增

加到 $1010 \text{ m}^3/\text{s}$, 在过水面积 750 m^2 左右流量曲线走平。但增率(增加单位面积所增加的流量或水量)随过水面积的增加逐渐下降, 在过水面积 750 m^2 附近增率逐渐接近零。

闸孔净宽 $120 \sim 132 \text{ m}$, 闸槛高程 $-1 \sim -1.5 \text{ m}$ 过水面积为 $660 \sim 790 \text{ m}^2$ 是较佳的规模区域, 而方案 10 (闸净宽 120 m 、闸槛高程 -1.5 m) 和方案 14 (闸净宽 132 m 、闸槛高程 -1.0 m) 的过水面积分别为 720 m^2 和 726 m^2 , 是较合理的规模比选方案。

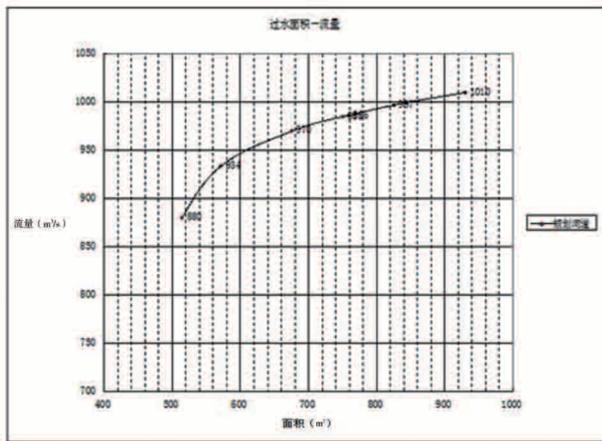


图 1 闸过水面积与流量关系图

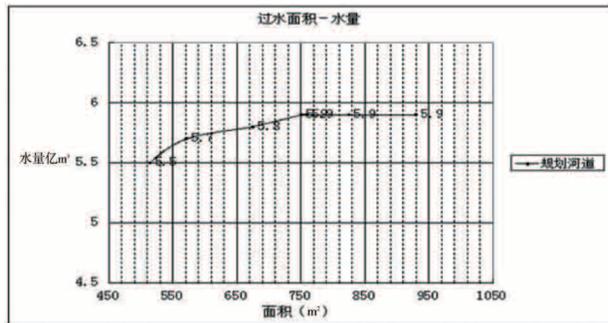


图 2 闸过水面积与水量关系图

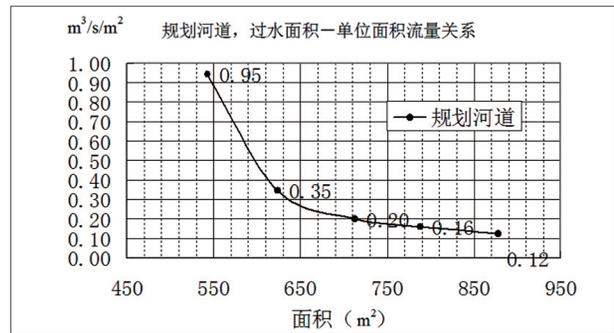


图 3 规划河道、过水面积与单位面积流量关系图

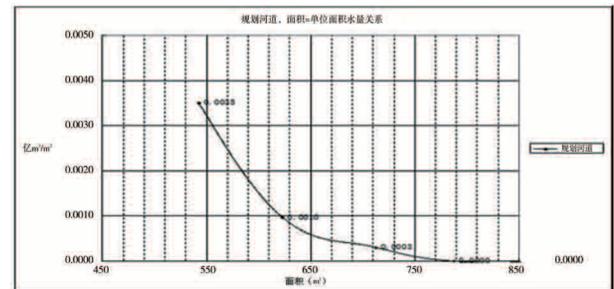


图 4 规划河道、过水面积与单位面积水量关系图

2.4 太浦闸的设计规模确定

方案 7、方案 9、方案 10 均可满足《太湖流域防洪规划》提出的承泄太湖百年一遇洪水要求, 见表 5。

(1) 方案 10 满足水闸设计规范要求, 闸门规模应与上下游河道规模相适应, 节制闸闸室总宽度与河道宽度的比值应为 $0.75 \sim 0.85$, 闸孔净宽 $120 \sim 132 \text{ m}$ 符合闸河比的要求。方案 10 闸门总净宽 120 m , 闸底板顶高程 -1.5 m , 从满足水闸设计规范要求以及闸槛高程与上下游河道底高程相适应来衡量, 推荐方案 10 是合适的。

(2) 方案 10 在满足《太湖流域防洪规划》提出的承泄太湖洪水任务的基础上, 在工程规模上

表 5 方案 7、方案 9、方案 10 造峰期出湖水量比较

100年一遇雨型	方案	太浦闸规模 (闸孔净宽, 闸槛高) (m)	闸上闸下河道规模底高程 (m)	太湖最高日均水位 (m)	太浦河造峰期出湖水量 (亿 m^3)	
					计算值	任务要求
99南部	7	(108, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.75	5.8	
	9	(120, 0.0)	(-2.0, -3.0)	4.76	5.7	5.7
	10	(120, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.75	5.9	
91北部	7	(108, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	15.1	
	9	(120, 0.0)	(-2.0, -3.0)	4.59	14.9	14.9
	10	(120, -1.5)	(-2.0, -3.0)	4.59	15.1	

(上接第 29 页)

留有一定余地。

综合考虑各方面的因素,工程方案 10,“99 南部”和“91 北部”雨型,太浦河造峰期出湖水量分别达到 5.9 亿 m^3 和 15.1 亿 m^3 ,比防洪规划要求的出湖水量 5.7 亿 m^3 和 14.9 亿 m^3 分别超出 3.5% 和 1.3%,可在一定程度上降低各方面潜在因素变化造成的流域防洪风险,并且可有效提高太湖洪水预泄能力和应对超标准洪水能力,推荐工程方案 10 是非常必要的。

(3) 方案 10 是极为经济的方案。通过工程投资比较,方案 10 与方案 9 相比,虽然方案 10 工程投资大于方案 9,相差仅 292 万元,但方案 10 通过降低太浦闸底板高程增加太湖外排能力,以极少的投资获取较大工程效益,且总投资约为 8300 多万元,本身投资不大,投资对于本工程不是主要的制约因素,因此方案 10 是极为经济的方案。

综上所述,推荐方案 10 从技术和经济以及在满足规划要求上是合适的,即闸孔净宽 120 m、闸槛高程 -1.5 m。

3 结论

太浦闸是太浦河的重要控制建筑物,下游防护对象为苏、浙、沪地区重要的城市,太浦闸在流域防洪及供水中的地位非常重要,从与规划河道匹配和满足规划泄流以及经济性方面,太浦闸规模为闸孔净宽 120 m、闸槛高程 -1.5 m 是合适的,因此太浦闸除险加固的规模最终规模为:闸孔净宽 120 m、闸槛高程 -1.5 m。

参考文献:

- [1] 水利部太湖流域管理局上海东南工程咨询有限公司.太湖流域规划后评价报告[R].上海:水利部太湖流域管理局上海东南工程咨询有限公司,2003.
- [2] 上海勘测设计研究院.太浦闸出险加固或拆除重建方案设计综合评价报告[R].上海:上海勘测设计研究院,2003.
- [3] 朱威,徐雪江.东太湖综合整治规划研究[R].2011.
- [4] 上海勘测设计研究院.太浦河后续工程项目建议书[R].上海:上海勘测设计研究院,2007.(责任编辑:王宏伟)