

吴淞江瓜泾口枢纽规模论证分析

金美华, 吴心艺, 夏 熙, 朱 林

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215103)

摘要: 吴淞江瓜泾口枢纽作为太湖第三条行洪通道的重要节点工程, 同时承担着水资源及航运功能。分析采用太湖流域数学模型, 论证吴淞江整治工程任务可达性, 经综合分析工程行洪能力、征地拆迁和工程投资等, 提出扩建瓜泾口枢纽规模的建议。

关键词: 太湖流域; 规模论证; 数学模型; 行洪排水; 征地拆迁; 瓜泾口

中图分类号: TV212

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2022)08-0006-0007

Demonstration and analysis on the scale of Guajingkou Sluice Project of Wusong River

JIN Meihua, WU Xinyi, XIA Xi, ZHU Lin

(Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215103, China)

Abstract: As an important component of the third flood discharge channel of Wusong River, Guajingkou sluice project also undertakes the functions of water resources and shipping. The mathematical model of Taihu Lake basin is used to demonstrate the accessibility of Wusong River regulation project. After comprehensive analysis of the flood discharge capacity, land expropriation, demolition and project investment, proposals to expand the scale of Guajingkou sluice project are put forward.

Key words: Taihu Lake Basin; scale demonstration; mathematical model; flood discharge; land expropriation and demolition; Guajingkou sluice project

吴淞江(江苏段)整治工程是太湖流域综合治理骨干工程之一。根据《太湖流域防洪规划》^[1]《太湖流域综合规划》^[2]和《太湖流域水资源综合规划》^[3]等流域规划以及《太湖流域吴淞江工程总体方案报告》^[4]等相关要求, 工程主要任务为增加太湖洪水出路、提高流域防洪能力、增强阳澄淀泖区防洪排涝能力及改善生态、水资源、水环境和航运条件。

瓜泾口枢纽是吴淞江的重要节点工程, 现状由1座2 m×16 m双孔节制闸和1座12 m船闸组成, 闸底高程-0.5 m, 节制闸设计过流能力为96 m³/s。根据《太湖流域综合治理总体规划方案》^[5](以下简称《总体规划方案》)瓜泾口节制闸规模为净宽60 m、底高程-2.5 m。现状过流能力远不能达到规划要求, 因此需要对瓜泾口枢纽规模进行论证分析, 以

应对新形势下水情工情需要, 必要时扩建工程。

1 论证分析采用的技术手段

1.1 计算模型

为保证与《太湖流域吴淞江工程总体方案报告》一致, 瓜泾口枢纽采用太湖流域数学模型^[6]进行规划工程方案的计算分析, 采用四点隐式线性差分格式, 对圣维南方程组进行数值求解。

(1) 降雨径流模型

根据降雨、蒸发和下垫面情况针对流域不同分区的产水特点, 推算分区产水量及流域设计洪水过程。模型按水面、建设用地、水田和旱地4种下垫面类型分别进行产流计算, 对浙西山区采用新安江三水源模型进行产汇流计算, 平原区汇流计算又分为

收稿日期: 2022-07-08

作者简介: 金美华(1978—), 女, 工程师, 本科, 主要从事水利工程规划设计工作。E-mail: 773739199@qq.com

圩内与圩外2种情况分别进行,其中圩内汇流考虑排涝模数,而圩外使用汇流曲线,圩区产生的净雨需要依靠排涝动力排出,同时采用综合单位线法并考虑塘坝、水库的调蓄作用。

(2)河网水量模型

采用一维非恒定流动的基本方程组—圣维南方程组来模拟河网水流运动。以降雨径流模型计算得到的山区流量、圩内外净雨深结合典型年实测潮位边界,在平原河网和水利工程调度概化的基础上采用圣维南方程组模拟一维河网水流运动情况。

(3)河网、湖泊及主要建筑物模拟

根据太湖流域平原河网的特点,将流域内影响水流运动的因素分别以零维模型(湖、荡、圩等零维调蓄节点)、一维模型(一维河道)和联系要素(堰、闸、泵控制建筑物等)3类模型要素进行模拟,在天然河网、湖泊的基础上进行合并、概化。

1.2 设计暴雨

为与《太湖流域吴淞江工程总体方案报告》一致,直接采用《太湖流域防洪规划》中确定的计算年

型及计算雨量,各分区最大30 d、60 d和90 d的50~100年一遇暴雨频率计算成果见表1。

依据典型暴雨选择原则即历史特大暴雨类型、时空分布特征的代表性、水文气象条件相似性和资料充分性,对流域性的典型暴雨进行分析,选择1954年、1991年和1999年最大90d降雨过程作为设计暴雨典型。

针对不同典型年降雨的时程分布及暴雨中心位置,在确定暴雨空间分布方案中,最大30 d、60 d、90 d降水量分别采用同倍比或流域与暴雨中心区同频率、其余区相应放大的方式确定了4种设计暴雨(“54实况”、“91上游”、“91北部”和“99南部”),分别计算50年一遇和100年一遇的设计雨量并推求相应的设计洪水。

根据4种雨型及流域各分区最大30 d、60 d和90 d的100年一遇设计暴雨过程,按时段雨量分区进行统计,太湖流域50年一遇、100年一遇设计暴雨面雨量成果见表2~3。

《太湖流域防洪规划》4种雨型中,基本反映了

表1 太湖流域及各水利分区暴雨频率计算成果

单位:mm

标准 区域		50年一遇			100年一遇		
		30 d	60 d	90 d	30 d	60 d	90 d
	湖西	559.2	762.2	960.0	614.6	829.7	1 040.0
	武澄锡虞	546.1	745.5	941.6	600.2	811.6	1 020.1
	阳澄淀泖	550.1	746.4	926.2	603.8	810.5	1 001.3
	太湖区	563.3	765.3	961.4	619.1	833.1	1 041.5
	杭嘉湖	534.4	741.9	938.7	586.0	805.1	1 013.2
	浙西	636.7	900.2	1 127.9	696.4	976.9	1 214.0
	浦东浦西	531.0	723.7	902.1	580.4	784.1	973.0
	全流域	515.0	727.7	909.1	560.6	786.3	975.1

表2 太湖流域50年一遇设计暴雨面雨量

单位:mm

时段		30 d				60 d				90 d			
区域	雨型	54同倍比	91上游	91北部	99南部	54同倍比	91上游	91北部	99南部	54同倍比	91上游	91北部	99南部
	湖西	393.5	559.2	548.7	514.8	606.1	762.2	746.2	718.3	874.5	960.0	943.3	833.3
	武澄锡虞	312.9	484.0	523.5	481.8	540.2	680.4	727.9	725.9	775.7	853.5	921.0	919.9
	阳澄淀泖	302.2	479.0	601.1	470.7	530.9	678.1	768.2	643.1	734.3	835.1	946.4	841.5
	太湖区	341.5	482.6	546.1	552.1	579.6	687.1	708.3	752.7	812.1	841.8	881.1	914.0
	杭嘉湖	379.8	491.7	447.7	504.8	683.3	705.3	667.4	705.9	985.2	887.9	820.1	902.7
	浙西	498.1	575.5	456.3	570.3	869.1	841.7	763.0	837.5	1 179.9	1 047.7	964.9	1 069.3
	浦东浦西	287.1	477.0	532.5	502.1	515.8	668.2	723.8	700.7	734.4	826.9	889.8	886.1
	全流域	351.6	514.8	514.8	514.8	627.9	727.7	727.7	727.7	890.5	908.1	908.1	908.1

表3 太湖流域100年一遇设计暴雨面雨量												单位:mm	
时段		30 d				60 d				90 d			
雨型 区域	54同倍 比	91上游	91北部	99南部	54同倍 比	91上游	91北部	99南部	54同倍 比	91上游	91北部	99南部	
湖西	430.9	614.6	632.8	563.3	663.7	829.7	864.2	780.2	935.9	1 040.1	1 019.3	897.1	
武澄锡虞	342.7	524.7	642.5	527.2	591.5	730.0	842.0	788.5	818.7	912.5	995.3	990.3	
阳澄淀泖	330.9	519.3	651.5	511.2	581.3	729.5	840.8	693.2	804.0	892.8	1 013.1	902.6	
太湖区	374.0	525.6	590.1	599.6	634.7	743.7	771.8	811.3	888.1	903.8	943.3	980.3	
杭嘉湖	415.9	532.9	491.8	548.2	748.2	758.8	727.2	760.9	1 078.8	949.2	877.9	968.2	
浙西	545.4	627.2	501.5	619.4	951.7	911.2	831.5	902.8	1 292.0	1 126.2	1 033.0	1 146.9	
浦东浦西	314.4	517.0	574.5	545.3	564.8	718.9	715.1	755.3	803.6	884.1	952.5	950.4	
全流域	369.1	560.6	575.5	560.6	687.5	786.3	800.2	786.3	975.1	975.1	975.1	975.1	

流域性洪水的地区组成特点,不同组合雨型反映了流域暴雨时空分布的不利情况,其中1991年型和1999年型更为典型。“99南部”降雨中心基本保持了1999年实况降雨特性,暴雨中心位于与太湖排水密切相关的下游地区,对太湖防洪最不利,属暴雨时空分布最为不利情况。分析采用100年一遇“99南部”设计暴雨,满足《太湖流域防洪规划》确定的“99南部”设计暴雨条件下的吴淞江整治工程任务设计工况。

1.3 计算工况

吴淞江瓜泾口枢纽规模论证采用单因子分析,在《总体规划方案》确定的计算工况基础上,吴淞江整治工程以《总体规划方案》推荐的河道拓浚规模、两岸口门控制为基础。

1.4 边界条件

流域一维河网水动力模型的计算范围为整个太湖流域,模型北侧、东侧、南侧沿江(沿杭州湾)潮位及西侧山区径流入流分别为模型的计算边界。沿江(沿杭州湾)选取设计降雨典型年(1999年型),采用对应年型(1999年型)的实况潮位过程,将之换算成单位潮位过程,以镇江站为起点,沿流域边界量算各潮位站相对距离,用拉格朗日三点插值得各

河口整点潮位,再插值求得瞬时潮位,以其水位过程进行模拟。由降雨产汇流模型计算得到山区径流过程,以旁侧入流进行模拟。

1.5 建筑物调度运行办法

吴淞江瓜泾口枢纽按照太湖、陈墓水位分级调度,并与蕴西闸联合调度。当蕴西闸因嘉定水位高于3.46 m关闭挡洪时,瓜泾口枢纽相应关闭。具体调度原则见表4。当嘉定水位低于3.46 m时开闸,蕴西枢纽调度方案保证太湖洪水或上游地区洪涝水安全东出黄浦江。两岸口门控制建筑物当太湖非行洪期间敞开运行;太湖行洪期间,当支河侧水位高于吴淞江水位时闸门敞开,允许地区洪涝水排吴淞江;当吴淞江水位高于支河侧水位时关闸挡洪。

模型计算结果:遭遇“99南部”100年一遇设计暴雨时,造峰期内(6月7日—7月6日)瓜泾口承泄太湖洪水、及至苏沪边界水量应分别达到3.1亿m³、5.6亿m³。

2 模型计算结论及瓜泾口枢纽扩建必要性

通过太湖流域一维河网数学模型分析计算,遇

表4 瓜泾口枢纽防洪调度原则					单位:m
太湖水位(分成Ⅳ区)			陈墓水位	瓜泾口枢纽	
5月	6月	7—8月			
第Ⅲ、Ⅳ区	第Ⅲ区	第Ⅲ区	≤3.5	开闸	
	第Ⅳ区 $Z_{\text{太}} \leq 4.2$	第Ⅳ区 $Z_{\text{太}} \leq 4.5$	≤3.6	开闸	
	第Ⅳ区 $4.2 < Z_{\text{太}} \leq 4.7$	第Ⅳ区 $4.5 < Z_{\text{太}} \leq 4.7$	≤3.8	开闸	
	$Z_{\text{太}} > 4.7$	$Z_{\text{太}} > 4.7$	≤4.0	开闸	

“99南部”100年一遇设计暴雨时,造峰期内(6月7日至7月6日)瓜泾口承泄太湖洪水、及至苏沪边界水量应分别达到3.1亿m³、5.6亿m³。

当瓜泾口枢纽维持现状,即按照《太湖流域防洪规划》确定的瓜泾口闸防洪运用条件运行,遇流域“99南部”100年一遇洪水,判断吴淞江整治工程流域防洪任务的可达性。

由表5可见,现状规模下造峰期内吴淞江出湖、及至苏沪边界水量分别为1.7亿m³、5.4亿m³,行洪排水能力不足。此外,现状瓜泾口闸设计流量仅为96 m³/s,远达不到吴淞江整治工程设计流量(410 m³/s)要求,承泄太湖洪水能力不足。

瓜泾口枢纽是吴淞江的重要节点工程,作为太湖第三条行洪通道,与望亭立交枢纽、太浦河枢纽共同作为太湖泄洪的重要出口,以保障未来较长一段时间内的流域防洪安全。同时瓜泾口枢纽还承担着水资源及航运功能。为满足流域防洪任务,实现吴淞江整治工程任务要求,需扩建吴淞江瓜泾口枢纽。

3 瓜泾口枢纽规模论证

1.1 论证思路及方案设计

瓜泾口枢纽规模论证以分析河道拓浚规模、两岸口门控制方案为前提,根据吴淞江整治工程任务

表5 瓜泾口节制闸现状行洪排水能力计算成果
(“99南部”100年一遇洪水)

类别	造峰期水量/亿 m ³		太湖最高日均水位/m
	吴淞江出湖	至苏沪边界	
防洪规划任务要求	3.1	5.6	4.76
瓜泾口枢纽现状	1.7	5.4	4.77
差值	-1.4	-0.2	0.01

要求和瓜泾口枢纽功能,节制闸规模以满足流域防洪任务为前提,综合考虑工程行洪能力、征地拆迁及投资等因素,进行方案比选。

(1)布置原则

瓜泾口枢纽西侧为太湖,工程布置应避免占用太湖水域,尽可能不占或少占用生态红线范围;东侧为瓜泾港桥,船闸及引航道布置应考虑船舶进、出安全需要;工程总布置与闸下河道平顺衔接,并使连接段河道尽可能避让两岸重要企事业单位及重要设施,避免造成停工停产停运,引起巨大损失。枢纽闸下河道北岸为重点企业亨通集团,布置时应避免连接段河道侵占亨通集团厂区或主要生产车间;南岸为吴江城区污水处理厂,日处理能力达8.5万m³,一旦停止运行,对社会影响程度较大,连接段河道需紧沿污水处理厂北侧布置。

(2)闸址方案

闸址布置安排3个规模方案分别如下:《总体规划方案》初拟规模:节制闸净宽60 m、底高程-2.5 m,枢纽南岸新建挡墙墙身基本位于原枢纽挡墙位置(北移10 m),枢纽北侧在老瓜泾口枢纽基础上继续向北外扩。根据设计原则,枢纽于老闸位布置,对闸下约250 m连接段河道北岸岸坡结构调整

为混凝土“T”型地连墙。方案一:节制闸净宽48 m、底高程-3.0 m,在老瓜泾口枢纽闸位基础上向吴淞江侧平移35 m后进行布置,使导流墩外边缘与老枢纽导流墩外边缘齐平。方案二:节制闸净宽60 m、底高程-3.0 m,与“《总体规划方案》初拟规模”的节制闸净宽一致,均为60 m,即平面尺寸相同,仅底高程不同,为-3.0 m。

(3)总体布置

《总体规划方案》初拟规模:节制闸采用整体钢筋混凝土坞式结构,闸孔尺寸12 m×5 m,配升卧式平板钢闸门。每孔1块底板,闸底板顺水流方向长20 m,底板顶面高程-2.50 m。闸墩太湖侧顶高程7.0 m、吴淞江侧顶高程6.0 m。节制闸太湖侧设有15 m长钢筋混凝土护底,外接35 m素混凝土护底;吴淞江侧设有15 m长消力池,消力池后接190 m素混凝土护底和5 m宽抛石防冲槽。船闸上、下闸首净宽均为12.0 m,采用钢筋混凝土坞式平底板结构,闸底板顶面高程为-2.50 m,均采用升卧式平板钢闸门。上、下闸首闸底板顺水流方向长度分别为20 m、15 m。闸室采用整体钢筋混凝土坞式结构,净宽为16 m,闸室总长135 m,共分9节,每节长15 m(首末2节净宽由16 m过渡至12 m),闸室底板顶面高程

为-2.50 m。节制闸和船闸间上下游侧均设置导流墩,采用钢筋混凝土结构,太湖侧长50.0 m,吴淞江侧长55 m,顶高程均为6.0 m。

方案一:节制闸采用整体钢筋混凝土坞式结构,单孔净宽16 m,共3孔,总净宽48 m,配升卧式平板钢闸门。每孔1块底板,闸底板顺水流方向长20 m,底板顶面高程-3.00 m。闸墩太湖侧顶高程7.0 m、吴淞江侧顶高程6.0 m。节制闸太湖侧设有15 m长钢筋混凝土护底,外接35 m素混凝土护底;吴淞江侧设有15 m长消力池,消力池后接190 m素混凝土护底和5 m宽抛石防冲槽。船闸除上、下闸首底板顶面高程为-3.00 m外,其余均与《总体规划方案》初拟规模一致。

方案二:本方案与《总体规划方案》初拟规模相比,各建筑物底板面高程由-2.50 m降低至-3.00 m,其他高程及平面尺寸与《总体规划方案》初拟规模一致。

3.2 方案比选

(1) 流域任务可达性

采用太湖流域一维河网数学模型,在拟定的计算工况下,瓜泾口节制闸分别采用批复的《总体规

划方案》初拟规模以及方案一、方案二时,造峰期吴淞江出湖、至苏沪边界水量分析成果见表6。在3种方案中,均能够满足流域防洪任务要求,遇流域“99南部”100年一遇降雨时承泄太湖出湖的最大流量即为设计流量410 m³/s。

(2) 节制闸过流能力

采用《总体规划方案》初拟规模时,承泄太湖洪峰流量(410 m³/s)时所需过闸落差约6 cm,分别采用方案一、方案二时,相应过闸落差分别为7 cm、5 cm。可见,采用规模“方案二”时,所需过闸落差最小。详见图1。

综合水利计算分析成果,采用上述不同规模方案均能满足流域防洪任务要求,对比太湖造峰期水位及节制闸泄流过程,不同规模方案之间基本没有差异;但从节制闸实时流量与过闸落差看,相同过闸落差情况下方案二泄流能力明显要大于方案一及《总体规划方案》初拟规模,相同泄流流量情况下方案二所需过闸落差也相对较小。见图2。

(3) 征地拆迁

《总体规划方案》初拟规模与“方案二”水工建筑物将占用部分建设用地,在太湖湿地国家级生

表6 瓜泾口节制闸不同规模方案下流域防洪任务可达性成果
(“99南部”100年一遇洪水)

项目	造峰期水量/亿 m ³		太湖最高日均水位/m
	吴淞江出湖	至苏沪边界	
防洪规划任务要求	3.10	5.60	4.76
《总体规划方案》初拟规模	3.20	5.60	4.75
方案一	3.20	5.60	4.75
方案二	3.20	5.60	4.75

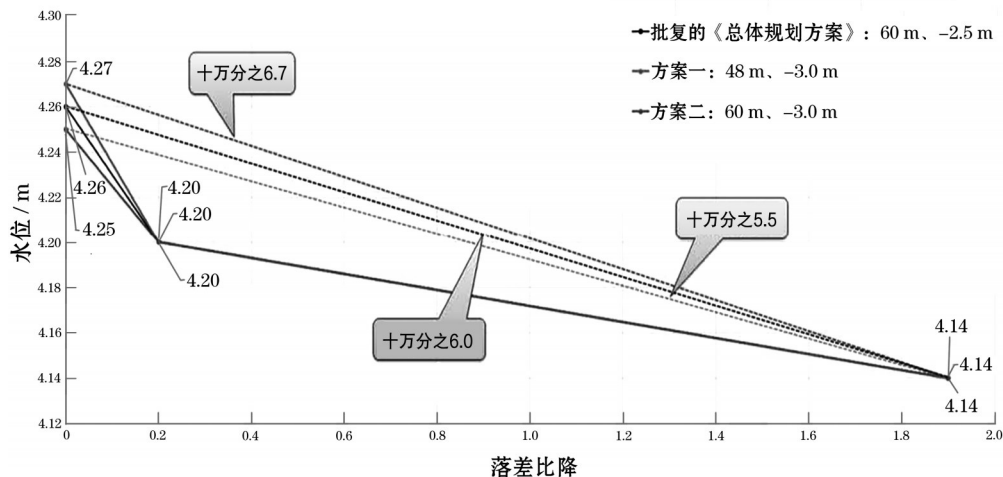


图1 瓜泾口节制闸不同规模方案下承泄太湖洪峰水面比降

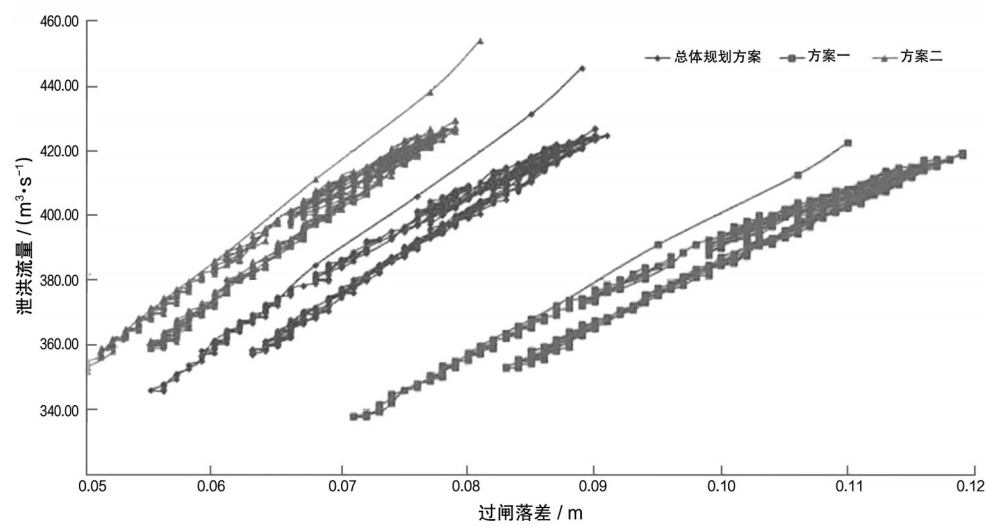


图2 太湖洪峰期瓜泾口枢纽节制闸不同规模情况下泄洪流量与过闸落差对比

态红线范围内,但工程建成后该区域仍为水面,不涉及征占用太湖水域或新增建设用地,因此不会对其主导生态功能产生不良影响,方案具备可行性。

征地拆迁影响范围主要由节制闸净宽规模决定,60 m节制闸方案因其规模扩大,在平面上将向北侧继续外扩,需占用部分亿光集团土地,但不涉及房屋建筑,仅增加永久征地约4 326 m²。见表7。

(4)工程投资

瓜泾口枢纽不同规模方案下,征地拆迁部分的投资基本相当,投资差别主要产生于工程建设部分。见表8。

(5)结论

根据以上4个方面即流域防洪任务可达性、节制闸过流能力、征地拆迁和工程投资的综合比选,吴淞江瓜泾口枢纽规模论证分析结果见表9。

表7 瓜泾口枢纽不同规模方案征地拆迁实物对比

项目	永久征地/m ²	企事业单位/家	征用面积/m ²
《总体规划方案》初拟规模	55 153	3	27 727
方案一	50 827	2	27 227
方案二	55 153	3	27 727

表8 瓜泾口枢纽不同规模方案工程投资对比

项目名称		《总体规划方案》初拟规模	方案一	方案二
I 工程部分		26 210	23 950	26 510
1	第一部份:建筑工程	17 190	15 630	17 380
2	第二部份:机电设备及安装工程	560	530	580
3	第三部份:金属结构设备及安装工程	1 190	1 050	1 200
4	第四部份:施工临时工程	2 250	2 140	2 280
5	第五部份:独立费	2 640	2 420	2 670
6	基本预备费	2 380	2 180	2 40
II 征地拆迁部分		5 650	5 535	5 650
1	永久征地、临时占地、拆迁及专项费用等	5 650	5 535	5 650
合计		31 860	29 485	32 160

表9 瓜泾口枢纽不同规模方案综合比选

序号	项目名称	《总体规划方案》初拟规模	方案一	方案二
一	流域防洪任务可达性	可达	可达	可达
二	节制闸过流能力	承泄太湖洪峰流量时相应过闸落差约6 cm	承泄太湖洪峰流量时相应过闸落差约7 cm	承泄太湖洪峰流量时相应过闸落差约5cm
三	征地拆迁	涉及亿光集团,但不涉及房屋建筑	不涉及亿光集团	涉及亿光集团,但不涉及房屋建筑
1	永久征地	55 153 m ²	50 827 m ²	55 153 m ²
2	企事业单位拆迁	2.77 万 m ²	2.72 万 m ²	2.77 万 m ²
四	工程投资	31 860 万元	29 485 万元,与《总体规划方案》初拟规模相比减少2375 万元	32160 万元,与《总体规划方案》初拟规模相比增加300 万元
五	推荐方案	推荐瓜泾口枢纽采用“方案二”,即“节制闸净宽60 m、底高程-3.0 m”		

首先在《总体规划方案》规划条件下,“方案一”和“方案二”均能满足流域防洪任务要求。其次节制闸60 m净宽方案不会对国家级生态红线的主导生态功能产生不良影响,方案具备可行性。再次,当行泄太湖洪水时,“方案二”所需过闸水头差最小,考虑到方案间的投资增量有限,且枢纽工程投资占吴淞江(江苏段)整治工程总投资比重较小,为加强太湖流域防洪安全保障能力,以更好应对太湖超标洪水,在满足《太湖流域防洪规划》确定的工程任务基础上,进一步为工程泄洪预留余地,推荐瓜泾口枢纽采用“方案二”。

4 结 语

瓜泾口枢纽规模维持现状将无法实现《太湖流域防洪规划》提出的吴淞江出湖3.1亿m³、至苏沪边界5.6亿m³的流域防洪任务要求,因此扩建瓜泾口枢纽是必要的。

论证采用太湖流域数学模型,考虑100年一遇“99南部”设计暴雨,进行单因子分析计算,经综合

比选,瓜泾口枢纽规模最终认定为节制闸净宽60 m、底高程-3.0 m,设计流量为410 m³/s,相应闸上(太湖侧)水位4.25 m,闸下(河道侧)水位4.20 m,船闸135 m×12 m×3 m为等外级船闸。

参考文献:

- [1] 水利部太湖流域管理局. 太湖流域防洪规划[R]. 上海:水利部太湖流域管理局,2008.
- [2] 水利部太湖流域管理局. 太湖流域综合规划[R]. 上海:水利部太湖流域管理局,2013.
- [3] 水利部太湖流域管理局. 太湖流域水资源综合规划[R]. 上海:水利部太湖流域管理局,2011.
- [4] 太湖流域管理局水利发展研究中心. 太湖流域吴淞江工程总体方案报告[R]. 上海:太湖流域管理局水利发展研究中心,2017.
- [5] 程文辉,王船海,朱琰. 太湖流域模型[M]. 南京:河海大学出版社,2006.
- [6] 水利部太湖流域管理局. 太湖流域防洪规划设计暴雨及产流计算[R]. 上海:水利部太湖流域管理局,2007.