



基于最大通航流量的新安江旅游航道 设计最高通航水位确定方法*

胡飞¹, 范红霞², 许慧², 程旻¹, 沈保根¹

(1. 安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽合肥 230011; 2. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210024)

摘要: 新安江旅游航道所在河道滩险流急、水位变幅大, 给航道关键设计参数的设计最高通航水位确定带来困难。针对这一问题, 依据实测资料建立包含多枢纽的长河段水动力数学模型, 依据船舶安全通航的水流条件, 确定航道最大通航流量; 以新安江水库常年回水末端深渡为界, 以上为屯溪站来流量 600 m³/s、对应流量保证率 3.33%, 以下为屯溪站 3 a 一遇流量。综合考虑枢纽联合调度, 通过数学模型计算, 分段给出沿程设计最高通航水位; 湖边枢纽坝下—柘林枢纽坝上—柘林枢纽坝下—妹滩枢纽坝上—妹滩枢纽坝下—深渡及航道末端分别为 117.6、116.4、111.3、108.4、105.1、108.55 m。深渡以上和以下航道年有效通航保证率分别为 91.67% (高、低水位分别损失 3.33% 和 5.00%) 和 95% (仅因低水位损失 5%)。

关键词: 新安江; 旅游航道; 梯级渠化; 设计最高通航水位; 最大通航流量; 数学模型

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0153-09

Determination method of design highest navigable water level of Xin'an River tourist channel based on maximum navigable discharge

HU Fei¹, FAN Hongxia², XU Hui², CHENG Yang¹, SHEN Baogen¹

(1. Anhui Traffic Survey and Design Institute Co., Ltd., Hefei 230011, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: The Xin'an River tourist channel is located in a river with rapids and fast currents, and significant water level variations, posing difficulties in determining the highest navigable water level as a key design parameter for the channel. To address this problem, a hydrodynamic mathematical model of a long river section with multiple hydro projects is established on the basis of measured data. According to the flow conditions for safe navigation of ships, the maximum navigable discharge of the channel is first determined: bounded by the deep channel at the perennial backwater end of the Xin'an River Reservoir, the upper part corresponds to an incoming discharge of 600 m³/s at Tunxi Station, with a corresponding flow assurance rate of 3.33%, and the lower part corresponds to a 3-year return period discharge at Tunxi Station. Considering the joint operation of hydro projects, the maximum navigable water levels along the route are calculated through a mathematical model and provided in sections: from the downstream of the Hubian hub dam to the upstream of the Zhelin hub dam, from the upstream of the Zhelin hub dam to the downstream, from the downstream of the Zhelin hub dam to the upstream of the Meitan hub dam, and from the upstream of the Meitan hub dam to the downstream, respectively, are 117.6, 116.4, 111.3, 108.4, 105.1, 108.55 m. The annual effective navigation assurance rates for the channels above and below the deep channel are 91.67% (with 3.33% and 5% losses at high and low water levels, respectively) and 95% (with only a 5% loss due to low water levels).

Keywords: Xin'an River; tourist channel; stepwise canalization; design highest navigable water level; maximum navigable discharge; mathematical model

收稿日期: 2025-07-14 录用日期: 2025-08-13

*基金项目: 安徽省地方标准制修订计划项目(2025-2-49)

作者简介: 胡飞(1985—), 男, 正高级工程师, 从事水运工程设计、咨询和研究工作。

设计通航水位是航道工程重要参数，其中最高通航水位直接影响航道通航时间和通航建筑物结构设计，关系航道工程投资和运行管理。河流开发建设中常采用梯级枢纽对河道进行渠化，改善通航条件并实现水资源综合利用。目前货运航道设计通航水位按 GB 50139—2014《内河通航标准》^[1]和 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[2]执行，设计最高通航水位多采用 5~20 a 一遇洪水水位。

随着航道等级提升、枢纽选址受限和船闸规模扩大，在上述频率洪水对应流量下，船闸引航道及口门区通航水流条件经常难以满足规范要求，尤其在山区性河道常通过最大通航流量管制保障通航安全。姜兴良等^[3]根据株洲二线船闸处于丘陵地区，洪水具有暴涨暴落特点，提出将设计最高通航水位重现期从 20 a 降低至 10 a；浦阳江受径潮流共同作用，朱军政等^[4]通过建立浦阳江航道水流数学模型，提出采用 2 a 一遇洪水位作为设计最高通航水位；徐红^[5]建议采用通航保证率法确定山区河流船闸设计最高通航水位；肖钦等^[6-7]、王伟等^[8]认为在洪水历时时间短、制约条件多的河流建设航运枢纽，可按最大通航流量确定设计最高通航水位，并优化导航墙、隔流墙、靠船墩设计。可见，山区航道采用最大通航流量后，给设计最高通航水位确定造成困扰，以往成果主要集中在局部河段及枢纽上下游，对受枢纽调节影响的长距离渠化山区性航道则鲜有研究。

新安江干流沿线人文、自然景观独特，是黄山市旅游资源开发的重要依托，也是安徽省干线航道网重要组成，拟按 V 级标准进行整治，主要通行旅游船舶。旅游航道的建设经验不多，对其设计水位的确定暂时没有明确方法。该段航道为典型山区性河流，下段处于新安江水库变动回水区，全段水位受 4 座枢纽运行影响，设计最高通航水位确定非常困难。本文通过分析新安江干流河道水文条件和枢纽运行现状，建立含枢纽调节的长距离山区河道水动力数学模型，基于航道通航水流条件，确定最大通航流量，然后通过数学模型计算，分段给出合理的设计最高通航水位。山区旅游航道应以通航安全为首位，可通过最大通航流量推算旅游设计最高通航水位。因大流量停航损失的通航历时保证率在 5% 以内时，并不会影响航道通过能力。研究成果可为新安江航道设计与运行及山区旅游航道建设设计最高通航水位确定提供参考。

1 工程概况

1.1 新安江干流河道概况

新安江主源发源于黄山市休宁县，流向自西向东，至屯溪区纳入左岸支流横江后称新安江，至浙皖交界歙县街口注入新安江水库。新安江干流屯溪—街口段全长 85 km，为山区性河流，平面形态蜿蜒曲折，河宽狭窄，河坡比降大，平均约 5‰；自上而下已建湖边枢纽、妹滩枢纽，见图 1。

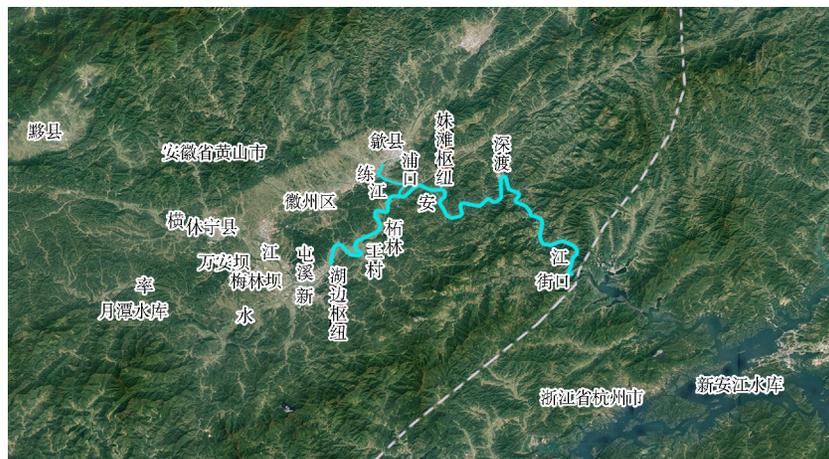


图 1 2022 年 4 月新安江干流屯溪三江口—歙县街口河道形势
Fig. 1 Riverway situation from Sanjiangkou of Tunxi to Jiekou of Shexian along main stream of Xin'an River in April 2022

1.2 已建枢纽概况

1.2.1 湖边枢纽

湖边枢纽位于屯溪三江口下游 7.5 km, 枢纽于 2011 年 4 月蓄水运行, 正常蓄水位 122.3 m。根据屯溪水文站预报洪峰流量调度湖边枢纽, 当流量在 350~500、500~1 000、1 000~1 600、1 600~2 500 和 2 500 m³/s 时, 湖边枢纽依次打开 1、2、3、4 和 5(全部)扇钢闸门全开泄洪。湖边枢纽建有升船机, 上闸首与泄水闸轴线位于同一直线上, 承船箱室布置在下游侧, 承船箱室长 35 m、宽 24.6 m(净宽 9.7 m)、底槛高程 112.0 m。上下游引航道为 V 级航道, 上游设计最高和最低通航水位分别为 123.0 和 117.0 m, 下游设计最高和最低通航水位分别为 118.0 和 115.0 m。

1.2.2 妹滩枢纽

妹滩枢纽位于屯溪三江口下游 38.6 km, 建于 20 世纪 90 年代, 正常蓄水位 108.0 m, 最高挡水位 108.4 m。原设计船闸上游最高和最低通航水位分别为 108.4 和 107.0 m, 下游设计最高和最低通航水位分别为 102.0 和 95.2 m。妹滩枢纽调度方案: 流量小于 204 m³/s 时, 闸门关闭, 控制闸上水位 108.0~108.4 m; 流量 204~2 040 m³/s 时, 逐渐打开 2 扇闸门, 闸上水位 108.4 m, 最大通航流量属于这个等级; 流量 2 040~6 035 m³/s 时, 逐渐打开全部闸门, 闸上水位 108.4 m; 流量大于 6 035 m³/s 后, 全开泄洪, 闸上水位大于 108.4 m。

1.2.3 新安江电站

新安江水库位于建德市铜官峡谷, 是以发电为主, 兼有防洪等综合利用效益的大型水库, 正常蓄水位 108.0 m, 死水位 88.0 m, 防洪限制水位 106.5 m, 汛期消落水位 102.0 m。运营以来, 最高水位 108.39 m, 最低水位 80.9 m; 2001—2021 年平均水位 100.3 m, 低于设计正常蓄水位约 8 m。

1.3 新安江旅游航道建设方案

新安江干流屯溪—街口段航道规划为 V 级, 上游湖边枢纽以上段可通航 200 座游船; 湖边枢纽—深渡段, 原规划柘林枢纽未建、妹滩枢纽未建通航设施, 航道水深不足、存在多处碍航浅滩,

船舶无法通航; 深渡以下位于新安江库区段, 现状达 V 级航道, 但配套设施不齐全。

本文按 V 级标准自湖边枢纽坝下—街口整治航道总长 77.3 km, 新建柘林枢纽和续建妹滩船闸。设计船型近期为 20~200 客位中小型客船, 远期为 400 客位双体客船, 主航道标准尺度为 45 m×2.0 m×270 m(底宽×水深×最小弯曲半径)。

拟建柘林枢纽位于湖边枢纽下游约 12.5 km, 船闸布置于右岸, 正常蓄水位 116.0 m, 最高挡水位 116.4 m。调度运行与湖边枢纽同步, 当屯溪预报流量达 2 500 m³/s 即全开泄洪。柘林船闸和妹滩船闸闸室有效尺度 120 m×12 m×3.0 m(长×宽×门槛水深)。

2 实测资料与研究方法

2.1 实测水文资料

2.1.1 国家基本水文站数据

新安江干流屯溪—街口设有屯溪水文站、王村水位站和街口水文站, 支流练江设有渔梁水文站, 新安江水库设有新安江电站站, 基本水文站与资料收集情况见表 1。

表 1 基本水文站与资料收集情况

Tab. 1 Hydrological stations and data collection status

站名	数据名称	时段	水文站设立及使用年份
屯溪水文站	洪峰流量	1951—2020 年	
	逐日平均流量	1981—2020 年	设立于 1950 年
	逐日平均水位	1981—2020 年	
王村水位站	逐日平均水位	2017—2023 年	2017 年正式投入使用
街口水文站	逐日平均流量	2019—2023 年	设立于 2017 年,
	逐日平均水位	2017—2023 年	2019 年后测流
渔梁水文站	洪峰流量	1981—2021 年	设立于 1955 年
新安江电站站	逐日平均水位	2001—2021 年	-

注: 屯溪水文站、渔梁水文站、新安江电站站数据来源于《中华人民共和国水文年鉴》^[9], 王村水位站数据来源于黄山水文水资源局, 街口水文站数据来源于太湖流域管理局水文局(信息中心)。

2.1.2 洪水期现场水文测验

本文为配合模型试验研究, 于 2023 年 3 月

22 日—24 日在新安江干流开展了现场水文测验，布置 31 把水尺和 5 个声学多普勒流速剖面仪 (acoustic Doppler current profiler, ADCP) 测流断面，位置分布见图 2，观测要求满足水运行业测验

标准和规范。

水位观测的监测频次为每半小时一次，监测方式以自动监测为主、人工观测为辅。断面流速观测采用华微 4 号无人测船及 ADCP 仪器设备。

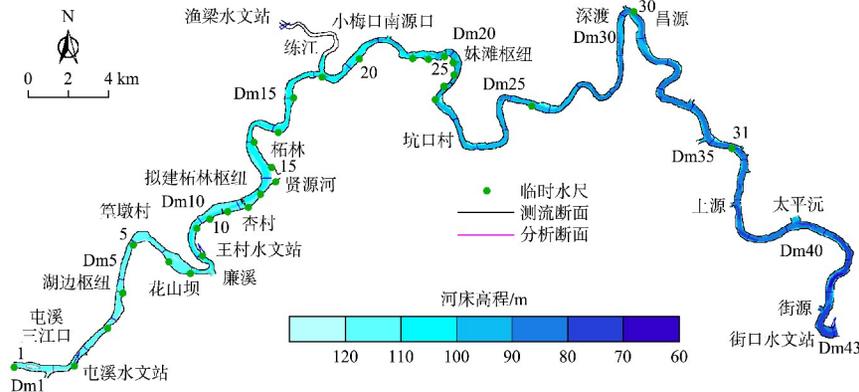


图 2 新安江干流屯溪—街口全河段数学模型范围及水文测验布置

Fig. 2 Mathematical model scope and hydrological measurement layout for entire river section from Tunxi to Jiekou on main stream of Xin'an River

2.2 全河段水流数学模型

采用 2022 年 4 月 1:2 000 实测地形及已建枢纽设计资料建立新安江干流屯溪三江口—歙县街口全河段平面二维水流数学模型，根据沿线水文水文站实测资料和 2023 年现场全河段水面线及 5 个 ADCP 断面流速资料对模型进行率定与验证，测验期间屯溪站和练江流量分别为 305 和 51.3 m³/s，湖边枢纽和妹滩枢纽均为调控状态，现场水文测验布置见图 2，水面线和流速验证对比见表 2 和图 3，水位最大误差 ±0.04 m，流速最大误差在 ±0.05 m/s 以内，符合 JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》^[10]。

续表 2

水尺位置	水尺编号	实测值	计算值	差值
	10	111.86	111.83	-0.03
	11	111.25	111.22	-0.03
	12	110.85	110.90	0.05
	13	110.00	110.02	0.02
	14	109.71	109.68	-0.03
	15	109.52	109.54	0.02
	16	108.74	108.77	0.03
湖边枢纽—妹滩枢纽	17	107.93	107.97	0.04
	18	107.85	107.87	0.02
	19	107.79	107.77	-0.02
	20	107.78	107.76	-0.02
	21	107.77	107.74	-0.03
	22	107.75	107.74	-0.01
	23	107.74	107.74	0
	24	107.74	107.74	0
妹滩枢纽以下	25	99.50	99.50	0
	26	99.38	99.37	-0.01
	27	99.36	99.33	-0.03
	28	99.32	99.28	-0.04
	29	99.14	99.15	0.01
	30	99.08	99.08	0
	31	99.00	99.00	0
街口	98.91	98.91	0	

表 2 中小洪水水位验证

Tab. 2 Verification of medium and small flood levels m

水尺位置	水尺编号	实测值	计算值	差值
	1	122.52	122.56	0.04
湖边枢纽以上	2	122.40	122.38	-0.02
	3	122.30	122.33	0.03
	4	122.28	122.28	0
	5	115.13	115.17	0.04
湖边枢纽—妹滩枢纽	6	114.22	114.25	0.03
	7	112.70	112.71	0.01
	8	112.07	112.09	0.02
	9	111.93	111.94	0.01

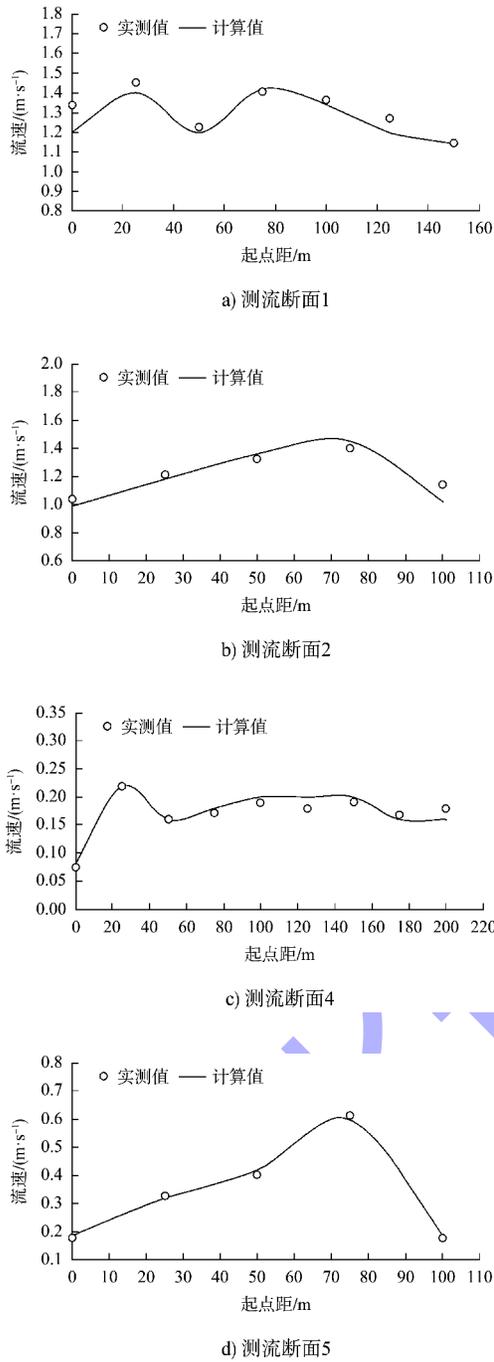


图3 中小洪水流速验证对比

Fig. 3 Comparison for verifying flow velocity of small and medium-sized floods

2.3 山区航道消滩水力指标计算方法

消滩水力指标一般是指某船舶在额定功率和额定载质量的工况下能自航上滩的最大滩口流速 v 和比降 J 的组合, 可采用经验分析法、半理论半经验法、实船试验法、船模试验法和数值船模法确定^[11-12]。本文采用半理论半经验法, 计算船舶

航行阻力和额定工况下有效推力, 当两者相等时获得消滩流速和滩面比降。

船舶有效推力 F_e 的公式为:

$$F_e = \frac{eP}{v_s} \quad (1)$$

其中:

$$v_s = u\alpha_v + v_{a,\min} \quad (2)$$

式中: e 为推进系数, 是实际推进船舶前进的功率与主机功率的比值; P 为主机功率, kW; v_s 为对水航速, m/s; α_v 为流速修正系数, 一般取 1.15~1.30, 本文取 1.20; $v_{a,\min}$ 为最小对岸航速, 一般取 0.3~0.5 m/s, 本文取 0.5 m/s。

船舶航行阻力 F 的公式为:

$$F = R_v + R_j \quad (3)$$

式中: R_v 为船舶航行的水流阻力, kN, 山区河流通常采用兹万科夫法计算; R_j 为船舶航行的坡降阻力, kN, 相当于船舶排水重力在航线方向的分力。

船舶航行水流阻力的公式为:

$$R_v = 0.001g(f_1 A_s v_s^{1.83} + \xi_1 \delta A_m v_s^{1.7+4Fr}) \quad (4)$$

其中:

$$A_s = L_w (C_1 T + \delta B) \quad (5)$$

$$\xi_1 = 17.7\delta^{2.5} / \{ [L_w / (6B)]^3 + 2 \} \quad (6)$$

$$A_m = \beta B T \quad (7)$$

$$Fr = v_s / \sqrt{gL_w} \quad (8)$$

式中: f_1 为机动船摩阻系数, 钢质船和木质船分别取 0.17 和 0.23; A_s 为船舶湿面积, m^2 ; L_w 为船舶水线长度, m; C_1 为系数, 机动船取 1.8; T 为吃水, m; B 为船宽, m; δ 为方形系数; ξ_1 为剩余阻力系数; A_m 为船舶浸水部分舢剖面面积, m^2 ; β 为船舶舢剖面面积系数; Fr 为船舶佛汝德数。

船舶航行的坡降阻力公式为:

$$R_j = \alpha_j \rho g S J \quad (9)$$

式中: α_j 为考虑船舶上滩时水面比降局部增大的修正系数, 一般取 1.1~1.2, 本文取 1.1; ρ 为水密度, t/m^3 ; S 为体积排水量, m^3 。

3 设计最高通航水位分段确定

3.1 3 a 一遇流量条件下船舶消滩水力指标分析

根据 GB 50139—2014《内河通航标准》，山区性河流 V 级航道设计最高通航水位洪水重现期可采用 3 a。根据收集的水位-流量资料，采用水文分析法^[13]得到屯溪水文站、拟建柘林枢纽、妹滩枢纽、深渡、街口水文站 3 a 一遇洪峰流量分别为 3 470、3 705、5 310、5 575、6 050 m³/s。

三级渠化方案实施后，3 a 一遇流量条件下，湖边、柘林和妹滩枢纽打开全部闸门运行，河道基本恢复天然状态。数学模型计算的航道内沿程最大流速和水位比降见图 4。可以看出，妹滩枢纽以下为新安江水库回水区，水面比降较缓，湖边枢纽下一王村段和柘林枢纽上游—妹滩枢纽间水面平均比降分别为 0.5‰和 0.4‰，最大比降出现在王村上游桂溪河口段，为 0.6‰；妹滩枢纽以上流速一般大于 2.5 m/s，王村、妹滩上游局部狭窄段达 4.2 m/s，妹滩枢纽下游在 2.0~2.5 m/s，深渡以下基本小于 1.5 m/s。

本文选用 300 吨级干散货船、黄山市新安江游船服务有限公司“新安江 5 号”(66 客位)、黄山

市新安江游船服务有限公司“新威 1 号”(110 客位)和“赣江明珠”(400 客位双体船)4 种船型，计算船舶消滩能力指标，船型参数和计算结果分别见表 3 和 4。各船舶按额定功率运行，当比降为 0.2‰~1.0‰时，各船舶能上滩的流速在 3.41~3.90 m/s，其中“新安江 5 号”游船上滩流速小于 3.5 m/s。3 a 一遇流量条件下，新安江航道规划航槽内王村、妹滩枢纽上游段两处急滩流速达 4.0 m/s，游船难以上滩；另有 20 km 长航段水流流速超 3.0 m/s。

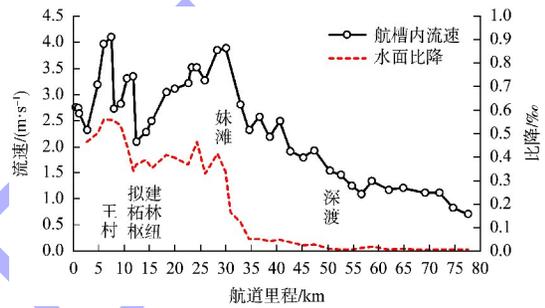


图 4 3 a 一遇洪水流量条件下规划航道内最大流速与水位比降

Fig. 4 Maximum flow velocity and water level gradient in planned channel under condition of a once-in-three-years flood discharge

表 3 各船舶参数

Tab. 3 Parameters of every ship

代表船型	船长/m	船宽/m	吃水/m	水线长/m	方形系数	舢剖面系数	功率/kW
300 吨级干散货船	46.2	7.6	1.75	44.0	0.76	0.973	510
“新安江 5 号”游船	18.8	4.5	0.95	19.3	0.62	0.973	140
“新威 1 号”游船	23.5	6.2	0.99	24.9	0.40	0.973	119
“赣江明珠”双体客船	45.0	10.6	1.50	46.5	0.55	0.973	350

表 4 消滩能力指标计算结果

Tab. 4 Calculation result of beach erosion capacity index

代表船型	水面比降/‰	消滩流速/(m·s ⁻¹)
300 吨级干散货船	1.0	3.72
	0.5	3.82
	0.2	3.86
“新安江 5 号”游船	1.0	3.41
	0.5	3.45
	0.2	3.50
“新威 1 号”游船	1.0	3.72
	0.5	3.85
	0.2	3.90
“赣江明珠”双体客船	1.0	3.75
	0.5	3.85
	0.2	3.90

注：参照文献 [11] 的研究成果，本文货船和游船推进系数 e 取 0.38。

3.2 新安江旅游航道最大通航流量确定

航道内流速小于 3.5 m/s 时，现有旅游船舶能上滩，对应屯溪站洪峰流量约 2 500 m³/s，为按消滩水力指标分析的航道最大通航流量。

新建的柘林船闸和妹滩船闸，根据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》规定，V 级船闸引航道制动段最大纵向和横向流速限值分别为 0.5 和 0.15 m/s，口门区及连接段航道最大纵向和横向流速限值分别为 1.5 和 0.25 m/s，回流流速不超过 0.4 m/s。计算分析 3 a 一遇流量下柘林船闸各通航水域特征流速，见图 5。柘林船闸上下游引航道口门区及连接段航道多处出现横流、回流超标现

象。可见在洪水期间, 水流湍急, 船舶难以安全进出船闸, 需要采取最大通航流量管制保障通航安全。



图 5 3 a 一遇流量下柘林船闸上下游流场
Fig. 5 Flow field of upstream and downstream of Zhelin ship lock under a 3-year return period flow

经计算, 在屯溪水文站来流量为 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 沿程考虑支流汇入和区间流量后, 柘林、妹滩船闸断面流量分别为 642 、 $978 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 两座船闸引航道及口门区水流条件均能满足规范要求。由此确定船闸最大通航流量为屯溪来流量 $600 \text{ m}^3/\text{s}$, 此时湖边枢纽坝下一深渡段规划航槽内纵向流速在 2.0 m/s 以内, 水面沿程比降约为 2‰ , 对照船舶消滩水力指标, 现有船舶能上滩, 且有一定富余。深渡以下位于新安江水库常年回水段, 在屯

溪 3 a 一遇流量下, 规划航槽内流速也在 2.0 m/s 以内, 水面比降微小, 也满足消滩水力指标, 该流量可作为深渡以下的最大通航流量。

依据 2012—2021 年实测资料, 绘制屯溪站流量综合历时曲线, 屯溪 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量下的保证率为 3.33% , 对应上限通航保证率为 96.67% 。V 级航道设计最低通航水位保证率为 95% , 因低水位不通航损失 5% 保证率, 再扣除因高水位不通航损失的 3.33% 保证率(约每年 12 d), 新安江旅游航道全年有效通航保证率为 91.67% , 并不会对旅游航道效益发挥产生影响。遇屯溪流量大于 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 深渡以下—新安江水库旅游航道可正常运行。

3.3 新安江旅游航道设计最高通航水位确定

3.3.1 妹滩枢纽以上

新安江航道屯溪水文站、柘林枢纽、妹滩枢纽最大通航流量分别为 600 、 642 、 $978 \text{ m}^3/\text{s}$, 中小流量下 3 座枢纽均为控泄状态。柘林枢纽、妹滩枢纽最高挡水位分别为 106.4 、 108.4 m , 采用数学模型计算沿程水位作为新安江航道关键节点工程最高通航水位: 1) 柘林枢纽上游采用枢纽最高挡水位 116.4 m 。2) 湖边枢纽—柘林枢纽段, 以往枢纽上游段设计最高通航水位与枢纽上游保持一致, 山区性河道渠化后仍有一定比降, 在最大通航流量下数学模型计算的关键节点设计最高通航水位见表 5, 至航道起点湖边枢纽坝下水位已达 117.6 m 。3) 柘林枢纽下游, 柘林枢纽—妹滩枢纽河床坡降较大, 采用妹滩枢纽上游设计最高通航水位 108.4 m 作为柘林枢纽下游设计最高通航水位不尽合理。数学模型计算的最大通航流量条件下坝下设计最高通航水位为 111.3 m 。4) 柘林枢纽—妹滩枢纽段节点工程水位按数学模型计算给定, 见表 5。5) 妹滩枢纽上游采用枢纽最高挡水位 108.4 m 。

表5 新安江旅游航道工程各控制节点设计最高通航水位
Tab.5 Designed highest navigable water level of each control node in Xin'an River tourist channel

类型	工程	航道里程	设计最高通航水位/m
已建	湖边枢纽坝下	K0+300	117.6
已建	花山大桥	K1+300	117.3
新建	篁墩码头	K2+700	117.0
已建	花山吊桥	K5+700	116.7
新建	花山服务区	K5+900	116.6
已建	王村老桥	K7+500	116.5
新建	改建王村大桥	K9+300	116.5
新建	烟村码头	K10+650	116.4
新建	杏村码头	K11+800	116.4
新建	柘林枢纽上游	K12+500	116.4
新建	柘林枢纽下游		111.3
已建	小南海大桥	K18+400	109.2
已建	雄村大桥	K20+100	109.0
新建	练江浦口码头	K22+700	108.6
新建	大梅口码头	K25+900	108.6
已建	南源口高速桥	K26+750	108.6
已建	南源口大桥	K27+000	108.6
新建	妹滩服务区	K30+050	108.4
续建	妹滩枢纽上游	K31+000	108.4
续建	妹滩枢纽下游		105.1
新建	深渡服务区	K50+350	108.55
新建	新溪口码头	K69+200	108.55

3.3.2 妹滩枢纽—深渡段

新安江水库和妹滩枢纽建设较早，基于原批复的108.0 m正常蓄水位，妹滩船闸原设计最高通航水位为102.0 m。2001—2021年实测资料显示，多年来新安江水库平均水位为100.3 m，低于设计正常蓄水位约8 m。本文采用综合历时曲线法，重新分析妹滩枢纽下游设计最高通航水位。

妹滩枢纽处于新安江水库回水区，妹滩船闸最大通航流量在1 000 m³/s以内，此区间内航道末端街口站水位变幅很大，且街口站2017年开始测验，资料年限较短，需要对水文数据进行延长。采用2011—2016年屯溪站与渔梁站流量之和代表街口流量，利用新安江电站水位相关至街口水位，将数据系列补充为2011—2021年，绘制中小流量水位综合历时曲线，得到街口站3.33%保证率水位105.1 m，作为妹滩坝下—深渡段设计最高通航

水位，较原设计102.0 m提高了3.1 m。

3.3.3 深渡以下

深渡以下为新安江水库回水段，在3 a一遇流量条件下，航道内流速基本在2.0 m/s以内，比降轻微，满足船舶消滩水力指标要求，经数学模型计算取为108.55 m。

综上所述，新安江旅游航道设计最高通航水位分段确定见图6。

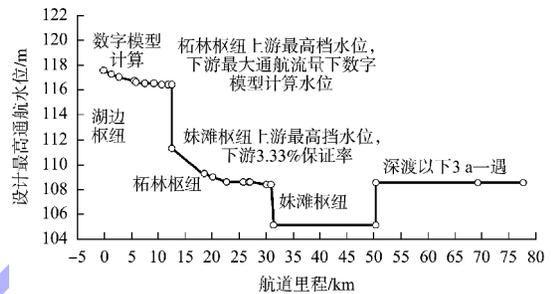


图6 新安江旅游航道设计最高通航水位分段确定
Fig.6 Determination of designed highest navigable water level insections of Xin'an River tourist channel

4 结语

1) 本文依据实测河道地形及设计资料，建立新安江干流屯溪三江口—歙县街口包含多枢纽调节的长河段数学模型，通过现场实测水位、断面流速及基本水文站水位流量关系验证，表明所建模型能模拟新安江旅游航道水流动力特征。

2) 本文采用数学模型计算新安江旅游航道通航水流条件，提出深渡以上最大通航流量为屯溪水文站600 m³/s，对应流量保证率为3.33%，即上限通航保证率为96.67%；枯水通航保证率为95%，因此深渡以上航道年有效通航保证率为91.67%。

3) 妹滩枢纽下游处于新安江回水变动段，同流量水位变幅较大，绘制最大通航流量以内对应水位综合历史曲线，取上限通航保证率96.67%，得到妹滩枢纽坝下—深渡段设计最高通航水位为105.1 m，较原设计水位抬高3.1 m，更符合新安江水库现状调度下变动回水区实际情况，节约了工程投资。

参考文献:

- [1] 内河通航标准: GB 50139—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
Navigation standard of inland waterway: GB50139-2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [2] 船闸总体设计规范: J TJ 305—2001 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
Code for master design of shiplocks: J TJ 305-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [3] 姜兴良, 蔡翠苏, 张德茹. 株洲二线船闸设计最高通航水位的确定[J]. 水运工程, 2019(8): 148-150, 198.
JIANG X L, CAI C S, ZHANG D R. Determination of the designed highest navigable water level of Zhuzhou second-line ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2019(8): 148-150, 198.
- [4] 朱军政, 刘冰. 浦阳江航道设计最高通航水位计算分析[J]. 水运工程, 2022(6): 145-149.
ZHU J Z, LIU B. Calculation and analysis of designed highest navigable stage of Puyang River waterway [J]. Port & waterway engineering, 2022(6): 145-149.
- [5] 徐红. 山区河流船闸设计最高通航水位确定方法的探讨[J]. 中国水运, 2021, 21(10): 71-72.
XU H. Discussion on determination method of highest navigable water level for ship lock design in mountainous rivers [J]. China water transport, 2021, 21(10): 71-72.
- [6] 肖钦, 赵凯, 范红霞, 等. 复杂河道边界条件下新建船闸布置方案及运行方式[J]. 水运工程, 2023(9): 93-100.
XIAO Q, ZHAO K, FAN H X, et al. Layout and operation of new navigation lock under complicated river condition [J]. Port & waterway engineering, 2023 (9): 93-100.
- [7] 肖钦, 范红霞, 邓伟, 等. 赣江龙头山枢纽一线船闸通航水流条件及改善措施研究[J]. 水利水运工程学报, 2023(6): 213-220.
XIAO Q, FAN H X, DENG W, et al. Study on navigation flow conditions and improvement measures at Longtoushan Junction in the Ganjiang River [J]. Hydro-science and engineering, 2023(6): 213-220.
- [8] 王伟, 王建中, 杨志, 等. 引江济淮工程派河口船闸通航水流条件及改善措施[J]. 水运工程, 2021(3): 138-144.
WANG W, WANG J Z, YANG Z, et al. Navigation flow condition and improvement measures of the Paihekou ship lock in water diversion project from the Yangzi River to the Huaihe River [J]. Port & waterway engineering, 2021(3): 138-144.
- [9] 水利部. 中华人民共和国水文年鉴 [R]. 北京: 水利部, 2021.
Ministry of Water Resources. Hydrological yearbook of the People's Republic of China [R]. Beijing: Ministry of Water Resources, 2021.
- [10] 水运工程模拟试验技术规范: J TS/T 231—2021 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
Technical code of modelling test for port and waterway engineering: J TS/T 231-2021 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [11] 许光祥, 蒋孜伟, 王松宁, 等. 山区航道机动船消滩水力指标的无因次表达及计算[J]. 工程科学与技术, 2022, 54(5): 72-81.
XU G X, JIANG Z W, WANG S N, et al. Dimensionless expression and calculation of rapids abating hydraulic index for motor ship in mountainous waterway [J]. Advanced engineering sciences, 2022, 54(5): 72-81.
- [12] 许光祥, 王松宁, 王舒涛, 等. 非额定工况实船试验确定消滩水力指标的方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2023, 42(8): 1-8.
XU G X, WANG S N, WANG S T, et al. Method of determining hydraulic parameter of rapids abating by non-rated conditions full scale ship test [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (natural science), 2023, 42(8): 1-8.
- [13] 范红霞, 许慧. 新安江旅游航道水文分析报告 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2022.
FAN H X, XU H. Hydrological analysis report of Xin'an River tourism waterway [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2022.