

# 多汊河流航电枢纽航线规划及通航水流条件

韩昌海, 杨宇, 余之光

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 我国河流地貌丰富多样,分汊河流较多,渠化工程布置困难.多汊河流在进行河道通航渠化过程中,需要在枢纽布置、航线规划和通航水流条件等方面进行综合考虑.本研究以浙江衢江安仁铺航电枢纽为例,采用整体物理模型试验,研究多汊河流上航电枢纽的航线规划、航道整治及枢纽运行调度等关键技术难题.比较了枢纽上游多条航线的通航水流条件,给出了最佳航线和船舶航行安全条件;针对下游航道两岸过渡的特点,提出了下游航道优化布置方案和整治范围.结合枢纽合理运行调度,较好地解决了该枢纽的整体通航问题,可为类似工程提供借鉴.

**关键词:** 安仁铺枢纽; 航线规划; 口门区; 河道疏浚; 通航条件; 运行调度

**中图分类号:** U612      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-640X(2012)04-0039-05

多汊河流流态复杂,对多汊河流进行河道渠化,以增加通航里程或增加通航保证率较为困难.主要在于如何选择通航建筑物和通航航线,并针对枢纽特点,采取必要的特殊或综合措施才能满足通航水流条件,维护航道稳定.其研究方法主要是物理模型试验,如长洲水利枢纽<sup>[1]</sup>、大顶子山航电枢纽<sup>[2]</sup>、长沙综合枢纽<sup>[3]</sup>、株洲航电枢纽<sup>[4-5]</sup>等工程.这些枢纽在进行枢纽布置时各有各的特点,在遵循枢纽布置基本原则的基础上<sup>[6-7]</sup>,首先要考虑工程的选址优势<sup>[8]</sup>,进一步考虑航道与河道之间的关系<sup>[9]</sup>,最后还要考虑航道自身的水流条件<sup>[10-11]</sup>,根据工程所在河段具体特点予以研究解决.浙江衢江安仁铺航电枢纽同时受到坝址选择、布置型式和水流条件等因素的综合制约,其研究结果对类似工程具有借鉴意义.

钱塘江中上游衢江位于浙江省西部,是钱塘江和南源兰江的主流,河流全长 257.9 km,为浙江省内河航道的骨干航道之一.根据《长江三角洲地区高等级航道网规划》和《浙江省内河航运发展规划》,全线按 IV 级航道标准规划建设,通航 500 t 级船舶.安仁铺航电枢纽位于衢州市衢江新区下游,衢江区安仁铺村上游约 1.2 km 处,距上游塔底水利枢纽约 8 km.坝址以上集水面积 8 535 km<sup>2</sup>,多年平均径流量 96.32 亿 m<sup>3</sup>.工程以航运、发电为主,结合改善衢江区沿江两岸水环境,兼顾农田灌溉等综合开发.

## 1 工程布置及其特点

安仁铺航电枢纽布置见图 1.根据当地河道和土地利用情况,采取集中式“异岸布置”型式.自左至右依次为:船闸、主河道 21 孔泄水闸、江心洲、右侧浅槽段河道 14 孔泄水闸、电站厂房.主河道布置 21 孔深槽泄洪泄水闸和 14 孔浅滩泄水闸,每孔净宽均为 12 m,主河道泄水闸底板高程 47.0 m,浅槽段泄水闸底板高程 49.0 m,35 孔泄水闸总宽 525 m,江心洲宽 100 m.船闸布置在左岸,闸室有效长度 230 m,有效宽度 23 m,门槛水深 3.5 m,最大通航水头 7.0 m,最大通航流量  $Q=1\ 117\ \text{m}^3/\text{s}$ .河床式电站位于枢纽右岸,全长 83.6 m,电站最大发电流量  $Q=382\ \text{m}^3/\text{s}$ ,电站装机 4×4.25 MW.枢纽工程正常蓄水位为 53.5 m.船闸上游引航道为开敞式,即临河侧不设导航隔水墙,上游航道底高程 49.0 m.下游引航道设长度为 450 m 的导航隔水墙,下

收稿日期: 2012-02-15

作者简介: 韩昌海(1965-),男,安徽泗县人,教授级高级工程师,主要从事水力学及河流动力学研究工作.

E-mail: chhan@nhri.cn

游航道底高程 43.0 m. 上下游引航道底宽均为 60.0 m, 航道底宽均为 50.0 m.

安仁铺枢纽布置特点是枢纽布置在分汊河段. 其上游河道分为左、中、右三汊, 主流位于中间主汊道上, 由此倾向于将上游航道规划在中间主汊道上. 原设计上游航线为中间和右侧 2 条航线, 其中中间航线为正常运行线, 而右侧航线是通向右岸樟潭港区航线(见图 1). 该布置方案主要问题在于: (1) 规划上游 2 条航线与上游引航道连接区间与水流交角均较大, 通航水流条件不易满足规范要求. 当仅有电站发电时, 库区流速比较小, 对船只航行安全威胁不大, 但当泄水闸泄水时, 库区流速对船只航行安全存在一定的隐患. (2) 下游主流在引航道口门区偏于河道左侧, 因此船闸布置在左岸, 可使下游引航道和河道主槽平顺连接. 但在下游引航道口门区以下, 河道主槽从左岸转向右岸, 口门区航线与枢纽下泄水流交角较大, 易造成较大的横向流速, 因此如何使下游引航道口门区通航水流条件满足要求也是一个极为困难的问题.

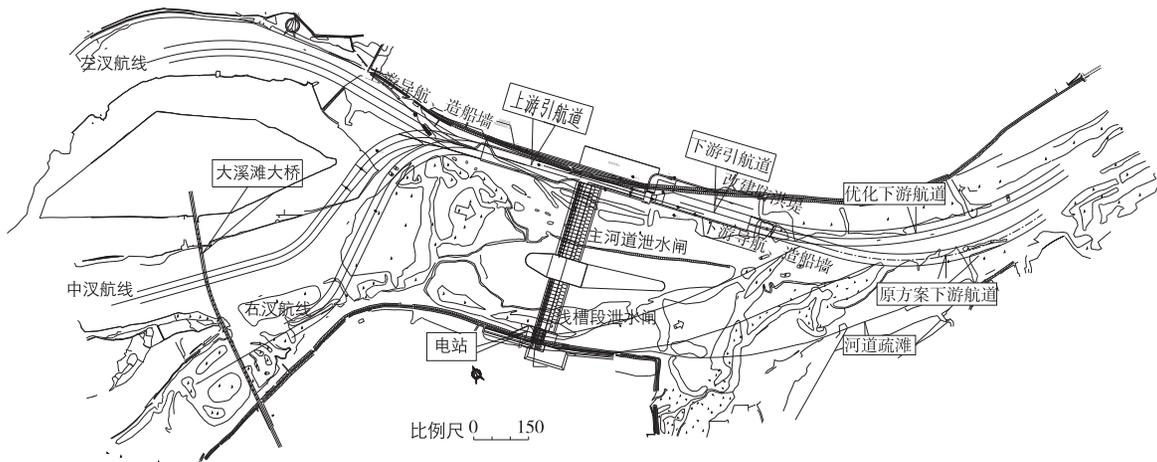


图 1 安仁铺枢纽总体布置

Fig. 1 General layout of the Anrenfu hydroproject

在枢纽布置方案论证阶段, 曾将船闸布置在右岸, 电站布置在左岸. 船闸右岸布置上游引航道可以较小的交角与中汊主河道连接, 同时也方便船舶通向右岸樟潭港. 但由于下游右岸有支流汇入等原因, 否定了船闸右岸布置方案.

## 2 上游航线规划及通航水流条件

上游河道中汊为主汊, 左、右汊为副汊. 三汊中间的两个滩地只有在较大洪水条件下才会漫滩过流, 此时流量已远远大于最大通航流量  $1\ 117\ \text{m}^3/\text{s}$ . 因此在通航条件下, 上游库区分成三汊水流是明确的. 在可研阶段, 考虑船舶正常行驶和右岸樟潭港区使用的要求, 枢纽上游规划了 2 条航线. 左侧航线为通向上游塔底枢纽的正常行驶航线, 右侧航线为通向樟潭港区航线.

通过模型试验, 根据流量大小, 上游通航水流条件如下:

(1) 在仅有电站运行情况下, 上游库区航道流速在  $0.25\ \text{m/s}$  以下, 无论哪条航线都能满足通航要求.

(2) 最大通航流量  $1\ 117\ \text{m}^3/\text{s}$ , 在不开启深槽左岸 7 孔泄水闸泄洪时, 上游引航道及引航道连接段, 最大流速不大于  $0.15\ \text{m/s}$ , 完全满足规范通航要求; 但若开启主河道左岸 7 孔泄水闸泄洪, 因上游采用开敞式引航道, 引航道调顺段和导航段内流速可达  $0.5\ \text{m/s}$  以上, 因此应避免在通航流量下开启主河道左岸 7 孔泄水闸泄洪. 但在主流航线上, 无论泄水闸如何调度运行, 开启左汊或是右汊泄水闸, 通向樟潭港区航道中心线附近最大横向流速都已达到  $0.50\ \text{m/s}$  以上, 通向上游梯级的航道中心线附近最大流速已达到  $0.33\ \text{m/s}$  (合流速  $0.66\ \text{m/s}$ ). 由于樟潭港区航线横向流速较大, 若船舶动力不足很容易被水流吸向泄水闸而造成事故, 因此航线要与枢纽保持足够的安全距离, 并设置禁航标志, 建立禁航区(见图 2).

(3) 适当降低通向樟潭港区的通航流量, 如流量控制在  $7\ 00\ \text{m}^3/\text{s}$  以下, 则通向樟潭港区航道的最大流

速可控制在 0.4 m/s 以下。

(4) 在最大通航流量下,左右汊的流速均较小,左汊流速不大于 0.2 m/s,

考虑上述因素,上游正常通航航线最终选择和上游引航道连接平顺的左汊航线. 并通过试验和计算分析,对左汊航道的稳定性作了研究,表明航道是稳定的. 为此,上游正常行驶航线规划为左汊航线,通向樟潭港区的航线需在适当降低通航流量下运用。

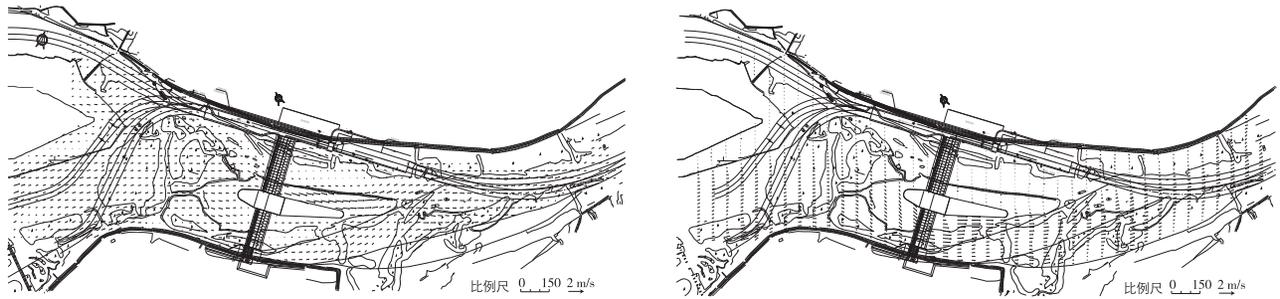


图2 最大通航流量枢纽运行流态

Fig. 2 The operation flow pattern of the hydroproject under the maximum navigable discharge

### 3 下游航线规划及通航水流条件

由于下游引航道口门区以下,河道主槽从左岸转向右岸,因此下游航线必须顺应河道特性,从左岸过渡到右岸,这样口门区航线与枢纽下泄水流就产生较大交角,易造成较大的横向流速. 为此,在下游航线规划中,口门区航线应尽量向左岸布置,然后再过渡到右岸. 如图3所示,口门区航线下游调整后航道较原布置航道最大左移了约 60 m. 在原方案引航道和尾水渠布置条件下(见图1),电站最大发电流量 382 m<sup>3</sup>/s 时,下游引航道口门区最大横向流速达 0.44 m/s;而在最大通航流量  $Q=1\ 117\ \text{m}^3/\text{s}$  情况下,下游引航道口门区最大横向流速达 1.10 m/s,因此除采取口门区航线左移外,下游河道还需作较大范围的疏浚。

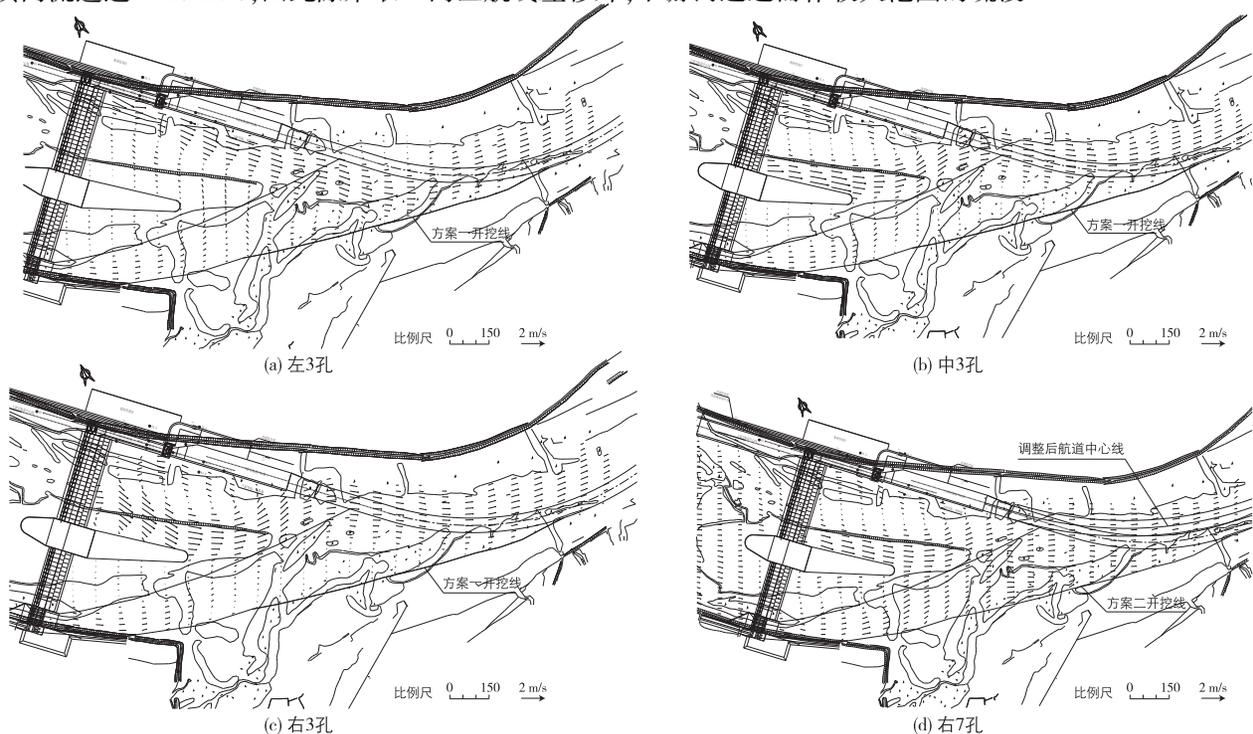


图3 开启主河道泄水闸下游水流流态

Fig. 3 Water flow regime downstream of the opened sluice on the main channel

经多次逐步扩大开挖,下游电站尾水渠和河道由原规划开挖线扩大到图1所示开挖线,扩大开挖最大宽度较原设计方案增大210 m,长度增加400 m.在电站发电流量 $382 \text{ m}^3/\text{s}$ 下,口门区航道横向流速较小,口门区300 m内最大横向流速不大于 $0.10 \text{ m/s}$ ,满足了IV级航道要求.在最大通航流量 $Q=1\,117 \text{ m}^3/\text{s}$ 情况下,开启主河道右10孔泄水闸运行,下游引航道口门区最大纵向流速 $1.01 \text{ m/s}$ ,最大横向流速 $0.30 \text{ m/s}$ ,口门区水流条件满足通航要求.

#### 4 泄水闸运行调度对通航水流的影响

安仁铺枢纽共布置35孔泄水闸,分为主河道21孔深槽泄洪泄水闸和14孔浅槽段泄水闸,泄水闸运行调度对上下游通航均有重大影响.当泄水闸开启主河道左侧7孔闸孔,由于上游为开敞式引航道,引航道调顺段和导航段内流速可达 $0.5 \text{ m/s}$ 以上,因此应避免在通航流量下开启主河道左岸7孔泄水闸泄洪.除此之外,泄水闸运行调度对上游通航影响不大.

开孔区间对下游流态影响较大,如开启主河道左3孔、中3孔和右3孔下游流态如图3所示.开启左3孔水流流态较为平顺,水流和口门区航线夹角最小,口门区横向流速最小;而开启中间3孔或右3孔,水闸下游会产生回流区,而且水流主流与口门区航线夹角较大,产生较大的横向流速.但考虑开启左侧闸孔对上游通航不利,在开启其他区域闸孔时,只能开启较多的闸孔,以减小下游水流集中度,减小主流流速,达到改善口门区通航水流条件的目的.如在最大通航流量 $Q=1\,117 \text{ m}^3/\text{s}$ 情况下,开启主河道右7孔泄水闸运行,下游引航道口门区最大纵向流速 $1.34 \text{ m/s}$ ,最大横向流速 $0.41 \text{ m/s}$ ,因属个别点上超出规范要求,水流条件可基本满足通航要求;而开启主河道右10孔泄水闸运行下游引航道口门区水流条件可完全满足通航要求.

开启浅槽段中间5孔泄水闸,下游口门区基本形成一个弱回流区,回流流速小于 $0.4 \text{ m/s}$ ,也能够满足IV级航道通航水流条件.但因浅槽段闸孔不在河道的主槽上,不能满足主槽优先泄水的需要.

#### 5 结 语

多汊河流上枢纽布置、航线规划和通航水流条件是个复杂的问题.本文以浙江衢江安仁铺航电枢纽为例,研究了枢纽航线规划和通航水流条件,得出如下几点认识:

(1)应尽量创造条件采用与主流夹角较小的航线,如上游采取左汊航线,下游口门航线尽可能左移,使得引航道口门区水流条件易于满足通航要求.如因特殊原因航线与水流交角较大,需设置禁航标志,建立禁航区,并选择在较小流量下航行.

(2)泄水闸运行调度对通航影响较大.在枢纽布置确定的情况下,只有采取合理的运行调度方式,才能同时满足上下游通航水流条件.

(3)除综合考虑各方面因素外,河道疏浚往往是不可或缺的.本工程在原布置下游河道条件下,仅在电站单独运行条件下都满足不了通航要求,因此,必须采取必要的河道疏浚,才能满足通航水流条件.

#### 参 考 文 献:

- [1] 巩宪春,梁汉寿.长洲水利枢纽工程通航水流条件试验研究[J].红水河,2008(5):70-74. (GONG Xian-chun, LIANG Han-shou. Study on test of navigation flow condition for Changzhou hydraulic complex[J]. Hongshui River, 2008(5): 70-74. (in Chinese))
- [2] 洪毅,王义安.大顶子山航电枢纽总体布置试验研究[J].水运工程,2008(5):88-91. (HONG Yi, WANG Yi-an. Experimental research on overall layout of Dadingzishan navigation-power junction[R]. Port & Waterway Engineering, 2008(5): 88-91. (in Chinese))
- [3] 李金合,李君涛,郝媛媛.湘江长沙综合枢纽通航水流条件及改善措施研究[J].水道港口,2008(6):414-418. (LI Jin-he, LI Jun-tao, HAO Yuan-yuan. Navigable flow condition and improving measures of Changsha comprehensive junction on Xiangjiang River[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2008(6): 414-418. (in Chinese))

- [4] 郝品正,李军,徐国兵.微弯分汊河段航电枢纽总体布置与通航条件优化试验研究[J].水运工程,2004(11):66-69. (HAO Pin-zheng, LI Jun, XU Guo-bing. General layout and experimental study on navigable condition optimization of navigation-power junction at slightly curved braided reach[J]. Port & Waterway Engineering, 2004(11): 66-69. (in Chinese))
- [5] 徐国兵. 株洲航电枢纽平面布置研究[J]. 水运工程, 2008(6): 108-111. (XU Guo-bing. Layout plan of Zhuzhou Navigation-Power Junction[J]. Port & Waterway Engineering, 2008(6): 108-111. (in Chinese))
- [6] JTJ 305-2001, 船闸总体设计规范[S]. (JTJ 305-2001, Code for master design of shiplocks[S]. (in Chinese))
- [7] JTS 182-1-2009, 渠化工程枢纽总体设计规范[S]. (JTS 182-1-2009, Design code for hydrojunction general layout of canalization works[S]. (in Chinese))
- [8] 吴澎,张珊,罗少桢. 航电枢纽工程选址与布置[J]. 水运工程, 2011(9): 185-188. (WU Peng, ZHANG Shan, LUO Shao-zhen. Site selection and layout of navigation-power junction[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(9): 185-188. (in Chinese))
- [9] 李焱,郑宝友. 引航道与河流主航道的夹角对通航条件影响试验[J]. 水道港口, 2009(1): 42-48. (LI Yan, ZHENG Bao-you. Test on navigation condition influenced by the angle between approach channel and main channel[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2009(1): 42-48. (in Chinese))
- [10] 吴锡荣,周严伟. 葛洲坝水利枢纽大江下游航道水流条件分析[J]. 水运工程, 2008(4): 88-91. (WU Xi-rong, ZHOU Yan-wei. An analysis of flow condition in channel downstream Dajiang River of Gezhouba Hydro-junction[J]. Port & Waterway Engineering, 2008(4): 88-91. (in Chinese))
- [11] 韩昌海,杨宇. 安仁铺枢纽整体模型试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究所,2009. (HAN Chang-hai, YANG Yu. Report of the integral hydraulic model test of Anrenfu[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))

## A study of the route planning and navigation flow condition of navigation-hydropower project at multi-branch river

HAN Chang-hai, YANG Yu, YU Zhi-guang

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Navigation Structures, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** It is difficult to canalize project on multi-branch rivers. The project layout, route planning and navigation flow conditions and other aspects need comprehensive consideration. Taking the Anrenfu navigation-hydropower project of the Qujiang River in Zhejiang Province for example and based on the overall physical model, the route planning, channel regulation, operation scheduling and other key technical problems of the project at a multi-branch river is studied. Comparing the flow conditions for a number of routes in the upstream, this paper gives the best route and ship navigation safety conditions; According to the characteristic of the channel transition of the bank on downstream channel, the optimal layout scheme and regulation range of downstream channel is proposed. By means of reasonable operation and scheduling, the whole navigation problem is perfectly solved.

**Key words:** Anrenfu Navigation-power junction; route planning; entrance area; river dredging; navigation condition; operation and scheduling