



微弯河段航电枢纽引航道口门区凸岸布置

韩昌海, 杨宇, 李艳富, 李茜希

(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: 弯曲河段上航电枢纽通航建筑物通常面临河谷狭窄、河道多弯、弯道过渡段短等问题。广西邕宁水利枢纽位于全国水运主通道之一的西江黄金水道上, 设计通航标准为 I 级。该枢纽船闸引航道口门区布置受凸岸以及直线段较短制约, 难度较大。针对坝址河段的特点和枢纽设计通航要求, 研究了枢纽整体运行水力特性, 优化了坝址位置; 同时结合曲线进闸、直线出闸引航道尺度优化和隔流堤堤头透水体型优化, 使得上下游引航道口门区的水流条件均能满足 20 a 一遇以下通航流量要求, 达到了设计目标, 解决了该枢纽的整体通航布置问题。

关键词: 微弯河段; 邕宁枢纽; 通航布置; 口门区; 通航条件

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0121-05

Layout of navigable channel of navigation-power junction on the convex bank with slightly bended river section

HAN Chang-hai, YANG Yu, LI Yan-fu, LI Qian-xi

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

Abstract: Navigation structures of navigation-power junction on the bended river usually face the problems of narrow river, multi-bend and short transition section. Yongning hydro-junction, located in Guangxi, is a station of the West River golden waterway with the pass capacity of class I. The dam site lies in the slightly bended river channel with a short straight waterway route, thus the navigation layout is rather difficult. According to the characteristics of the waterway of the dam site and the design navigation requirements, we study the overall hydraulic characteristics under operation and optimize the location of the dam based on the overall physical model. Meanwhile, combining with the channel scale optimization for a curving line into the gate and a straight line out of the gate and the shape optimization for the head of permeable separation levee, we achieve the goal that the flow conditions of upper and lower approach entrance satisfies the navigation flow requirements for less than 20 years' return period, and solve the problems of the junction's overall navigation layout.

Keywords: slightly curved reach; Yongning junction; navigation arrangement; entrance area; navigation condition

随着我国内河航道的纵深发展, 越来越多的航电枢纽布置于弯曲河道上。通航建筑物面临河谷狭窄、河道多弯、弯道过渡段短等问题。广西邕宁水利枢纽处于全国水运主通道之一的西江黄

金水道上, 以航运和改善城市水环境为主, 兼顾发挥水力发电及其它水资源利用效益, 通航设计标准为 I 级。邕宁水利枢纽大东瓜坝址处于弯道过渡段较短的微弯河段, 通航建筑物布置存在困

收稿日期: 2014-03-18

作者简介: 韩昌海(1965—), 男, 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。

难,主要是上游引航道口门区位于弯道凸岸,河道主流与航线夹角过大,口门区水流难以满足通航要求,同时因河道直线段较短,不足以布置现行规范^[1]要求的直线形式或曲线形式引航道。近年来,关于微弯河段航电枢纽及引航道布置的研究也较多,通过水工模型试验研究了枢纽所在弯曲河段的特有问題,主要成果在3方面:一是采用适宜的引航道布置形式以减小弯道主流与航道中心线夹角^[2-8],二是适当调整引航道直线段结构布置与船队进出闸的行驶方式和航线以解决河道直线段短等问題^[9-10],三是采用多种改善措施及必要的辅助措施改善口门区通航水流条件^[11]。本文结合邕宁水利枢纽大东瓜坝址所在河段特点及问題,提出了引航道导航段和调顺段合并布置,船队曲线进闸、直线出闸的布置思路,有效地改善了枢纽上下游引航道口门区的水流条件,满足安全通航要求。该工程的布置经验可供类似工程参考。

1 总体布置及存在问題

邕宁水利枢纽大东瓜坝址位于郁江干流南宁段邕江下游青秀区长塘镇东遥村附近,上距南宁市邕江一桥 53.5 km,距老口梯级 93.8 km,下距西津水电站 112 km。坝址以上流域面积为 76 794 km²,坝址多年平均流量 124.5 万 m³/s;多年平均径流量 393 亿 m³,正常蓄水位相应库容 3.50 亿 m³。邕宁水利枢纽工程是郁江干流综合利用规划中的第 8 个梯级。

枢纽总体布置见图 1。坝顶总长度为 679.50 m,坝顶高程为 79.60 m;沿坝轴线从右至左依次布置右岸接头混凝土重力坝、右岸电站厂房、泄洪闸坝、左岸阶地船闸、左岸连接土坝及跨铁路桥等。工程距离铁路仅 100 m 左右。溢流闸坝段全长 348 m,共设 15 孔泄水闸孔,孔口净宽 20 m。电站设计安装 5 台贯流式机组,电站总装机容量 70 MW。

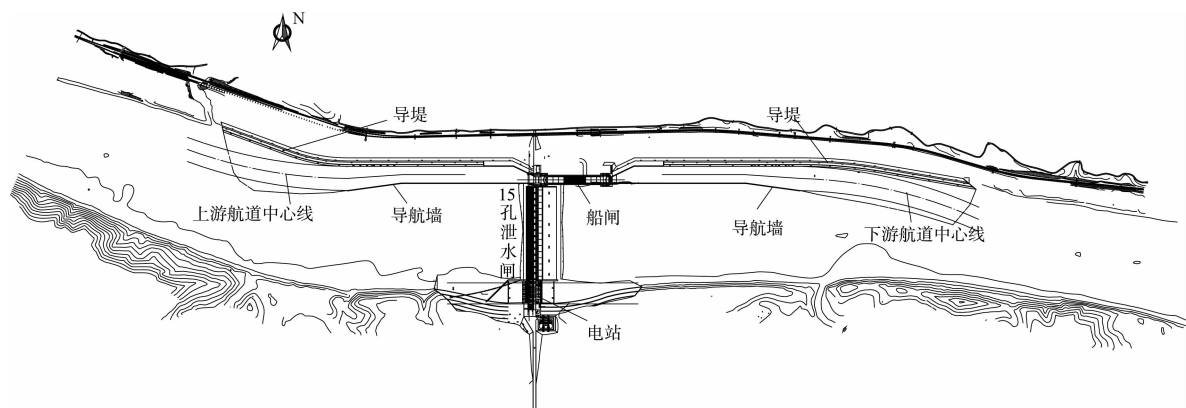


图 1 邕宁水利枢纽总体布置

船闸设计通航吨位为 3 000 吨级船舶,船形尺寸为 110 m × 16.2 m × 3.5 m (总长 × 型宽 × 满载吃水);通过最长船队为 2 × 2 000 吨级顶推驳船队,船形尺寸为 182 m × 16.2 m × 2.6 m (总长 × 型宽 × 满载吃水)。船闸有效尺度为 280 m × 34 m × 5.6 m (有效长度 × 有效宽度 × 门槛水深),设计水头为 8.5 m。加上上下闸首,船闸总长 370 m。设计通航流量为 20 a 一遇 16 200 m³/s。

枢纽布置主要存在以下问題:1)大东瓜坝址

处于微弯河段,河道直线段较短,坝址所处河段的直线段长度仅 1.9 km 左右,而设计船舶尺寸较大。若采用直线进闸、曲线出闸布置,船闸上下游引航道导航段、调顺段、停泊段应满足规范要求^[1](导航段 ≥ 1 倍最大设计船长,调顺段 ≥ 1.5 ~ 2.0 倍最大设计船长,停泊段 ≥ 1 倍最大设计船长),则上下游引航道直线段长度最小为 3.5 倍最大设计船长,即 637 m。加之船闸本身长度,则直线段长度占去 1 644 m,只有不足 300 m

的直线段作为上下游引航道制动段和口门区的布置, 直线段长度明显不足。2) 上游引航道口门区布置在左岸凸岸的位置, 水流流向和航线交角较大, 而且受左侧铁路线的限制, 不能进行较大规模岸边开挖以减小水流流向和航线交角。所以有必要对坝线位置作出合理调整。

2 引航道尺寸优化设计

在船闸等级和规模等总体布置确定的条件下, 要缩短引航道直线段长度, 需采用曲线进闸、直线出闸的方法, 将导航段 l_1 和调顺段 l_2 合二为一, 并使得该段总长度较小。

我国最早引进并采用这一概念和思想的船闸是 20 世纪 90 年代初设计的万年闸船闸, 该船闸设计船队为 $1 + 2 \times 2\,000$ t 顶推船队 (长度为 160.5 m), 设计具有导航与调顺功能导航墙, 与直线进闸、曲线出闸的布置相比, 引航道长度缩短了约 600 m, 因而也使过闸时间显著缩短; 同时由于引航道长度的缩短, 也减小了船闸的工程量,

随后这一布置形式在我国一些大型船闸平面布置应用, 包括正在设计和建设的排在世界内河船闸规模前列的西江长洲三线 and 四线船闸, 其平面尺度达 $340\text{ m} \times 34\text{ m}$ 。

曲线进闸、直线出闸的布置方式的关键是具有良好导航和调顺功能的导航建筑物形式, 万年闸船闸平面布置研究^[10]时, 在参考了荷兰 IR C Koman 研究成果的基础上遵循以下原则: 1) 在靠近闸首的位置, 进闸船舶的导航建筑物与船闸中心线的夹角尽可能小, 在离开闸首一定距离后, 这一夹角可适当放大, 但其正切值不宜大于 1:6; 2) 进闸船舶的导航建筑物在平面上的体形应是瘦长形, 即导航建筑物应有一定长度; 3) 出闸船舶的导航建筑物在平面上应使导航段迅速放宽; 4) 靠船段应尽可能靠近闸首, 导航段与靠船段之间的过渡段, 也应具有导航功能。

根据以上原则, 并参照现行《船闸总体设计规范》, 计算引航道底宽和直线段长度如下 (图 2)。

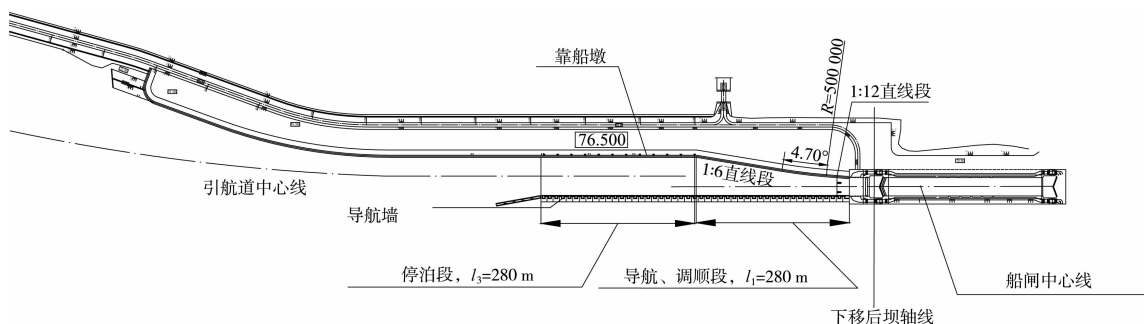


图 2 引航道优化设计方案

1) 引航道直线段设计底宽 B_0 。

$$B_0 = b_c + b_{c1} + \Delta b_1 + \Delta b_2 \quad (1)$$

式中: b_{c1} 为一侧等候过闸船舶、船队的总宽度 (m), 32.4 m; b_c 为设计最大船舶、船队的宽度 (m), 16.2 m; Δb_1 为船舶、船队间的富裕宽度 (m), $\Delta b_1 = b_c$; Δb_2 为船舶、船队间与岸间的富裕宽度 (m), $\Delta b_2 = 0.5b_c$ 。计算得 $B_0 = 72.9$ m。

引航道调顺导航墙侧边线与船闸中心线距离

为: $b_{c1} + b_c + 0.5b_c = 56.7$ m, 直线出闸侧边线与船闸中心线距离为闸室净宽的一半, 即 17.0 m, 引航道直线段设计底宽 B_0 实际取 73.70 m。

2) 引航道直线段长度 L 。

采用曲线进闸、直线出闸方式过闸, 其引航道直线段长度应大于等于导航段长度与停泊段长度之和。

1) 导航、调顺段长度 l_1 。

根据引航道设计底宽布置, 具有导航与调顺

功能的导航墙，由半径 $r = 500\text{ m}$ 的圆弧曲线和与之相切的正切值为 $1:6$ 的直线组成，设计船队（船）最大长度 $L_c = 182\text{ m}$ ，推求得导航调顺段长为 $l_1 = 280\text{ m}$ 。

2) 停泊段长度 l_3 。

根据过闸船型组合确定停泊段长度：3 000 吨级货船 + 2 000 吨级货船 + 2 000 吨级港澳线多用途集装箱船， $l_2 = 110\text{ m} + 10\text{ m} + 90\text{ m} + 10\text{ m} + 59\text{ m} = 279\text{ m}$ 。靠船墩布置间距 25 m 左右，共需布置 12 个，实际停泊段长度取 $l_2 = 280\text{ m}$ 。参考港口码头泊位长度计算方法，停泊段端部富裕长度取 20 m 。

3) 引航道直线段长度 L 。

曲线进闸、直线出闸过闸方式的引航道直线段长度应大于等于导航段长度与停泊段长度之和，

即：引航道直线段长度 $L \geq l_1 + l_3 = 280\text{ m} + 280\text{ m} = 560\text{ m}$ 。由此可见，采用曲线进闸、直线出闸，并将导航段 l_1 和调顺段 l_2 合二为一的方法，上下游引航道直线段长度可缩短 154 m 。

3 枢纽整体通航条件试验

整体模型模拟坝轴线以上 2.0 km 和坝轴线以下 2.2 km 共 4.2 km 河段。原设计方案下，在最大通航流量 $16\ 200\text{ m}^3/\text{s}$ 下，枢纽运行水流流态和流场见图 3。引航道口门区处在左岸凸岸的位置，水流流向和航线交角较大，口门区航线上横向流速达到 0.7 m/s 以上，原布置方案仅能满足 2 a 一遇流量 $8\ 700\text{ m}^3/\text{s}$ 的通航要求。同时由于上游隔流堤头向河中扩展较大，在隔流堤外侧形成较大的回流区，在一定程度上影响了枢纽泄洪。

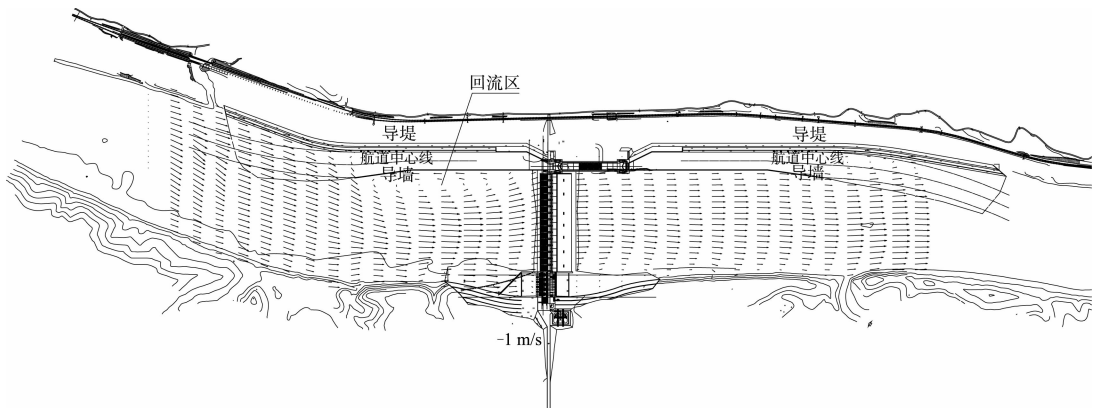


图 3 原布置方案最大通航流量枢纽水流流态和流场

为此，将坝轴线下游移动 250 m ，使上游引航道口门区避免设在最不利的位置。同时结合曲线进闸、直线出闸引航道尺度优化，为上游引航道口门区留有约 350 m 的直线段长度，使得在最大通航流量 $16\ 200\text{ m}^3/\text{s}$ 下，口门区最大横向流速仅为 0.36 m/s ，略大于规范要求。同时下游引航道口门区有 0.56 m/s 的回流。

最后，将上游引航道堤头增设 83 m 长的透水堤，同时将下游引航道堤头也改为 83 m 长的透水堤，如图 4 所示。分流墩体型调整为长度 6.5 m ，

间隔 2 m ，共计 10 个墩体。

试验结果表明，在最后优化方案下，在最大通航流量 20 a 一遇 $16\ 200\text{ m}^3/\text{s}$ 流量下，上游引航道口门区约 3.0 倍最大船长，即 350 m 范围内，最大纵向流速 1.55 m/s ，最大横向流速 0.25 m/s ，没有明显的回流现象；上游引航道口门区 350 m 范围内，最大纵向流速 1.26 m/s ，最大横向流速 0.16 m/s ，最大回流流速 0.21 m/s ，达到了设计目标。优化方案枢纽运行水流流态见图 5，可见整体流态良好，显著优于原方案。

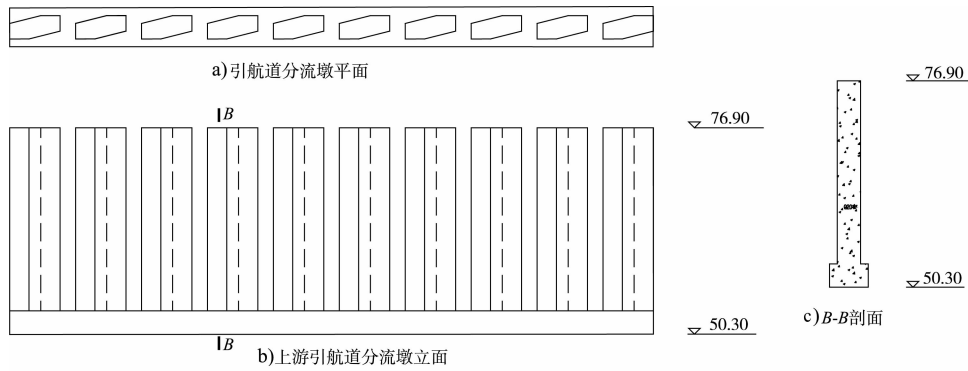


图 4 引航道堤头分流墩体型

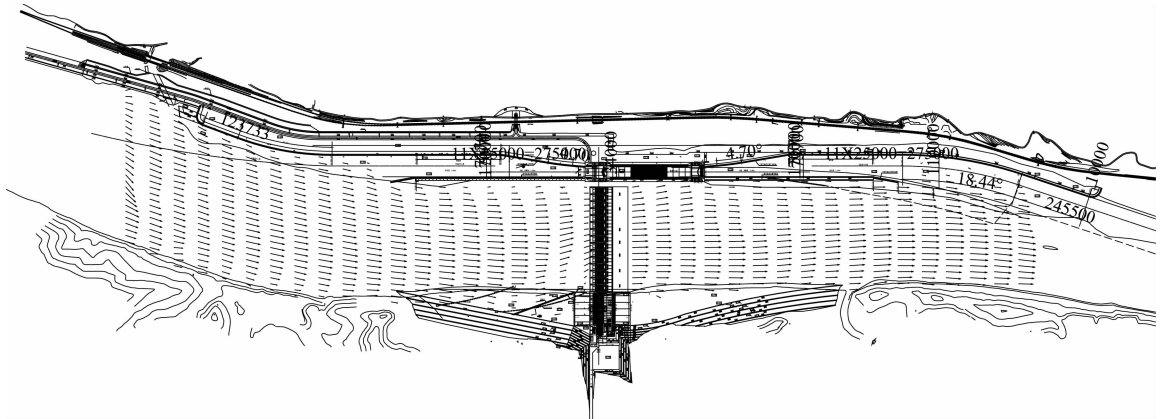


图 5 最大通航流量枢纽水流流态和流场

4 结语

1) 采用曲线进闸、直线出闸, 并将导航段和调顺段合二为一的方法, 可显著减小上下游引航道直线段长度, 给引航道口门区留有空间, 为改善口门区通航水流条件创造条件。

2) 当坝址处河道直线段长度不富裕时, 应对坝址位置予以优化调整, 合理设置上下游引航道口门区直线段长度, 以改善上下游引航道口门区水流条件。

3) 应避免将引航道口门区设在凸岸等岸边变化较大位置, 减小水流流向和航线交角较大, 使口门区水流条件易于达到通航要求。

4) 合理设置隔流堤堤头透水体型, 可显著改善口门区引航道通航水流条件。

综合调整优化后的大东瓜坝址方案, 能够满足泄洪和通航要求, 可作为工程科研阶段比选方案。

参考文献:

[1] JTJ 305—2001 船闸总体设计规范[S].
 [2] 卢文蕾. 船闸口门区与连接段为弯道时的通航条件[J].

水运工程, 2009(10): 107-111.
 [3] 黄伦超, 李伟, 肖政. 河岸形态对低水头枢纽船闸口门区水流条件影响研究[J]. 水运工程, 2006(11): 53-57.
 [4] 李焱, 郑宝友, 卢文蕾, 等. 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, 30(1): 42-48.
 [5] 彭伟, 郝品正. 湘江土谷塘航电枢纽平面布置优化研究[J]. 水道港口, 2010, 31(2): 115-119.
 [6] 叶雅思, 任启江. 弧线导航墙改善船闸引航道口门区水流状态试验[J]. 水运工程, 2011(7): 144-146.
 [7] 吴澎, 张珊, 罗少桢, 等. 航电枢纽工程选址与布置[J]. 水运工程, 2011(9): 185-188.
 [8] 吴福生, 宣国祥, 雷爱民. 桃花江航运枢纽整体水力学试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2011(4): 49-54.
 [9] 赵志舟, 徐红, 彭凯. 乌江银盘电站下游引航道布置及口门区通航条件研究[J]. 水运工程, 2008(3): 82-86.
 [10] 左金业. 京杭运河万年闸船闸和韩庄船闸设计[J]. 水运工程, 1996(10): 142-145.
 [11] 张亮, 卢启超. 船闸引航道口门区通航水流条件改善措施的综述[J]. 科技信息, 2009(25): 785-786.

(本文编辑 武亚庆)