

· 通航枢纽 ·



分散式布置枢纽引航道口门区 水流条件优化措施*

杨宇¹, 余之光², 韩昌海¹, 谭高文¹

(1. 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; 2. 湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北武汉 430064)

摘要: 分散式布置的通航水利枢纽引航道口门区水流流态主要受到与其相衔接的河道形态影响。以广西邕宁水利枢纽工程可行性研究阶段布置方案为例, 对分散式布置枢纽上下游引航道口门区流态与主流的衔接关系和通航水流条件优化措施进行研究。通过在船闸口门区增设导流堤和合理开挖右岸滩地的方式解决邕宁枢纽上游引航道口门区回流较大的问题; 通过合理调整下游左岸岸边开挖线, 压缩下游回流区, 解决因下游引航道口门区主流流向与船闸中心线夹角较大而造成的回流严重问题。使得上下游引航道口门区均具有良好的通航条件。

关键词: 分散式布置; 通航水利枢纽; 口门区; 回流

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)12-0095-06

Flow condition improvement measures at entrance area of approach channel under by-pass layout form

YANG Yu¹, YU Zhi-guang², HAN Chang-hai¹, TAN Gao-wen¹

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Navigation Structure Construction Technology, Ministry of Transport, PRC, Nanjing 210029, China;
2. Hubei Provincial Water Resources and Hydropower Planning, Survey and Design Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: The flow pattern at the entrance area of the approach channel of navigation junction under the by-pass layout form is mainly influenced by the connecting river's morphology. Taking Guangxi Yongning hydraulic junction project layout scheme at feasibility study stage as a study case, we probe into the relationship between the flow pattern at the entrance area of the upper & lower approach channel of the junction under the by-pass layout form and the main stream, we also study the improvement measures for the navigation flow condition. Constructing the diversion dike at the lock's entrance area and excavating the right-bank shoal, we solve the problem of great backflow at the upper approach channel's entrance area of Yongning junction; Adjusting the lower-stream left-bank excavation line, we solve the problem of serious backflow due to the large angle between the main flow direction at the lower approach channel's entrance area and lock's central line, so that we can ensure favorable navigation condition at the entrance areas of both the upper and lower approach channels.

Keywords: by-pass layout; navigation junction; entrance area; backflow

收稿日期: 2016-09-19

*基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFC0402004, 2016YFC0401704); 水利部公益性行业专项 (201401063)

作者简介: 杨宇 (1976—), 男, 博士, 高级工程师, 从事生态水力学、通航水力学、工程水力学以及环境水力学等研究工作。

随着中西部水运建设的发展，越来越多的通航枢纽选择建设在山区或半山区弯曲河道上，若弯道的形态和长度合适，可利用凸岸台地开挖形成通航汉道，将枢纽和船闸分散布置。已经建成的枢纽包括湘江大源渡枢纽^[1]和郁江贵港枢纽^[2]。通航枢纽分散布置的主要优点是扬长避短：避开了枢纽处的弯道，而利用凸岸台地和上、下游的反向弯道，布置船闸和上、下游引航道^[3]。引航道口门区一般已远离枢纽上下游水流影响范围，但通常会受到上、下游弯道水流的影响，因此如何消除上下游弯道水流的影响是分散布置枢纽的

关键问题。本研究结合南宁邕宁水利枢纽在可研阶段进行的布置优化过程，阐述分散式布置水利枢纽引航道的水流条件优化^[4]。

1 工程概况及存在的问题

1.1 工程概况

南宁市邕宁枢纽工程是一个以城市水环境、航运为主，兼顾水力发电及其它的综合利用工程。主要建筑物包括：船闸、河中泄洪闸坝、岸边发电厂房、两岸接头坝及左岸连接防洪堤等。枢纽建设规模见表1。

表1 枢纽建设规模

航道等级	船闸主要尺寸/(m×m×m)	设计船型(队)	水头/m	代表船队尺寸/(m×m×m)	装机容量/MW	可研阶段最大通航流量/(m ³ /s)
Ⅲ级	190×23×3.5	2×500 t 船队	7.7	160.0×10.8×2.0	60	14 100

坝址区河道弯曲呈不规则的反“S”形状，拦河坝轴线处于反“S”形河段的中段。如果枢纽建筑物采取集中布置，受河流地形条件限制，无论河道凸岸或凹岸均无足够长度的直线段布置船闸，难以满足船闸总体布置及通航水流条件的要求。

因此枢纽总体布置采用拦河坝与船闸分散布置方式。利用河流大拐弯、大迂回形成半岛状的独特地形，对河流左侧凸岸进行裁弯取直。枢纽总体平面布置见图1。

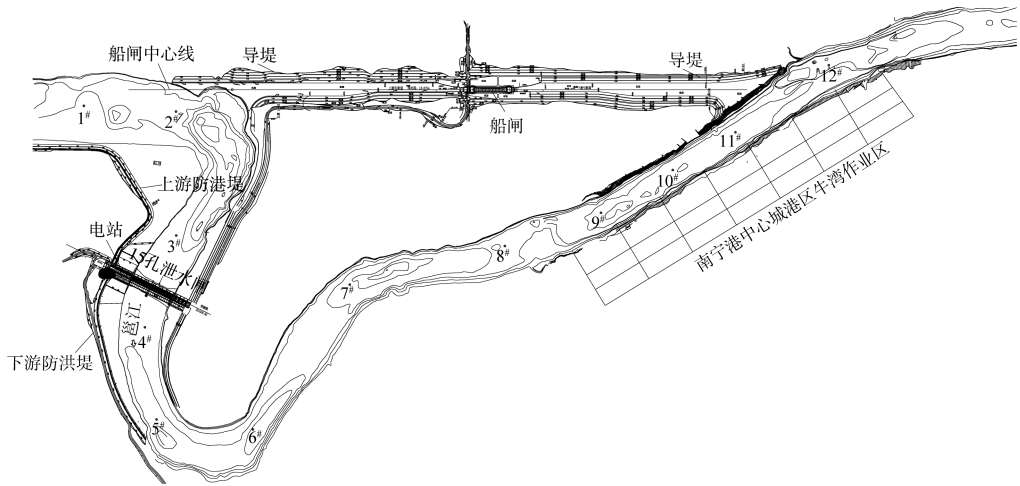


图1 邕宁枢纽总体平面布置

1.2 存在的问题

船闸上游口门区处于近70°弯道的顶弯处，在弯道环流的作用下，弯道右侧为凸向河心的台地，弯道左侧为深槽，上游引航道中心线与河道主流夹角较大，并且在与主河道衔接的口门区处存在类似“盲肠河”的大范围回流区，船舶进出口门

区困难。

下游引航道轴线与主河道之间有近35°的夹角，由于边界脱离的影响，在河道主流脱离右岸墩头后会在引航道口门区造成显著的回流区，对下游引航道入口影响明显。

邕宁枢纽预可研阶段设计为1 000吨级船闸，

可研阶段调整为 2 000 吨级, 并且在规划期间要预留二线船闸, 上下游口门区布置空间显得更加局促, 前期研究成果不能直接应用在新的方案中。因此有必要对枢纽上下游口门区布置形式进行重新优化, 以满足船舶的过坝通航要求。

2 上游口门区水流条件优化过程

2.1 初始布置方案

初始布置方案上游口门区回流超标的原因有两方面: 1) 受右岸台地开挖方案的影响, 初始布置方案为了行洪安全, 将弯道右侧地台开挖至高程 62 m, 导致洪水期河道主流走中偏右岸, 造成左侧弯道内形成大面积的缓流回流区; 2) 上游口门区处在弯道的顶弯处, 受静水顶托及弯道环流的影响, 弯道外侧动水与引航道口门区静水的相对紊动剪切作用强烈, 引起的回流强度较大。针对上游引航道口门区回流超标的问题, 工程中削弱回流的措施主要有两种: 1) 破坏回流形成的边界条件; 2) 引导部分来流压缩回流区, 改变回流区水流结构, 将回流区变为顺流区。图 2 和图 3 分别为初始布置方案上游口门区流场及流速分布情况。

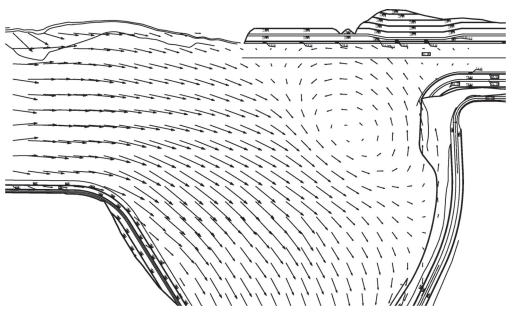


图 2 初始布置方案上游口门区流场

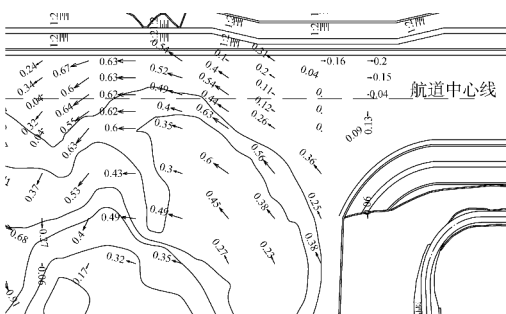


图 3 初始布置方案上游口门区流速分布 (单位: m/s)

2.2 增设右侧导流堤方案

通过增设合理长度和方向的导流堤来改善分散布置方案中上游口门区通航水流条件, 国内早已有典型的工程实例应用。郁江贵港枢纽通过在上游引航道靠河侧端部加设 250 m 与水流流向基本平行的导流堤, 减小水流与航线的夹角, 改善口门区水流条件 (图 4)。

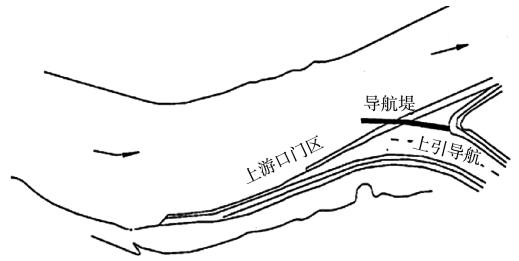


图 4 郁江贵港枢纽

在借鉴已有工程经验的基础上, 在邕宁枢纽船闸上游口门区右侧增设平行于引航道航线的导流堤, 将口门区位置从近 70° 弯道弯顶处, 往河道上游侧移动, 以破坏弯道回流的形成边界条件, 改善口门区水流流态。优化试验方案采取了 300 m 导流堤方案, 经优化后, 导流堤对上游口门区回流超标现象改善效果明显, 上游口门区回流强度明显减小, 回流中心区偏离口门区航道线, 当最大通航流量时, 上口门区最大回流流速仅为 0.32 m/s, 航道右边线 180 m 以外由原来的回流区变为顺流区 (图 5)。

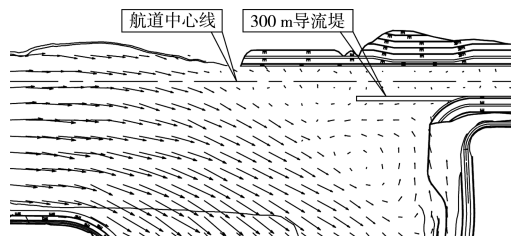


图 5 增设导流堤方案

为了节省导流堤的工程造价, 对导流堤的长度采取进一步优化。经反复试验, 将导流堤长度缩短为 200 m。从图 5 和表 2 可知, 采取 200 m 导流堤方案后, 回流区明显偏离航道中心线, 除上

游口门区航道右边线上个别点回流流速超出 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[5] 要求外, 其余点

回流流速均小于 0.4 m/s, 满足最大通航流量的通航要求。

表 2 增设 200 m 导流堤方案上游口门区纵向流速和回流流速

m/s

与口门 距离/m	Q=14 100 m ³ /s			Q=11 800 m ³ /s			Q=8 700 m ³ /s		
	航道左边线	航道中心线	航道右边线	航道左边线	航道中心线	航道右边线	航道左边线	航道中心线	航道右边线
0	0.16	0.16	-0.21	0.18	0.05	-0.19	0.27	0.00	-0.14
50	0.27	0.09	-0.12	0.26	0.06	-0.12	0.20	0.00	-0.00
100	0.39	-0.09	-0.22	0.26	-0.09	-0.17	0.27	0.04	-0.20
150	0.15	-0.27	-0.63	0.23	-0.19	-0.36	0.09	0.31	-0.44
200	0.16	-0.16	-0.25	-0.09	-0.27	-0.41	0.07	-0.19	-0.33
250	0.11	-0.05	0.10	-0.21	-0.37	-0.37	0.21	-0.32	-0.28
300	0.38	0.15	0.26	-0.20	-0.20	-0.27	0.11	-0.14	-0.19

注: 负数代表回流; 航道左边线为航道中心线左 30 m 航线; 航道右边线为航道中心线右 30 m 航线; 优化右岸台地开挖形式。

为使下游电站进水平顺, 在原布置方案中对河道电站上游的台地进行大范围开挖。因开挖高程较低, 所以开挖代价较高。优化过程中考虑到右岸台地的不同开挖形式会对上游口门区流态造成影响, 故进行了 3 个开挖方案的比较。

上游口门区基本处在回流区, 最大通航流量时, 最大纵向流速不超过 0.2 m/s, 且上游口门区离坝轴线较远, 受泄水闸泄洪调度影响较小, 所以具备采取优化右岸开挖形式来引导部分主流压缩回流区的条件。在上述增设 200 m 导流堤的基础上, 利用 3 组右岸优化开挖方案, 分析台地开挖形式对口门区水流条件的影响。

从表 3 可看出, 在最大通航流量时, 随着右岸台地开挖量的减少, 口门区纵向流速明显增加, 部分回流区变为顺流区, 回流区面积得到压缩, 最大回流流速也逐渐减小, 其中优化开挖方案 1 最大回流流速最小, 仅为 0.21 m/s, 优化开挖方案 2 次之, 最大回流流速为 0.32 m/s, 优化开挖方案 3 回流流速最大, 为 0.36 m/s, 均满足规范要求。3 种开挖方案下, 其中优化开挖方案 1, 最大纵向流速最大, 仅为 0.44 m/s。优化开挖方案见图 6。

表 3 优化开挖方案上游口门区纵向流速和回流流速

优化开挖方案	航线	最大纵向流速/(m/s)	最大回流流速/(m/s)	回流区范围/m
1	航道左边线		0.04	300 外
	航道中心线	0.44	0.18	0~200
	航道右边线		0.21	0~250
2	航道左边线		0.23	300 外
	航道中心线	0.38	0.17	200~300
	航道右边线		0.32	0~250
3	航道左边线		0.24	200~300
	航道中心线	0.32	0.16	150~300
	航道右边线		0.36	0~300

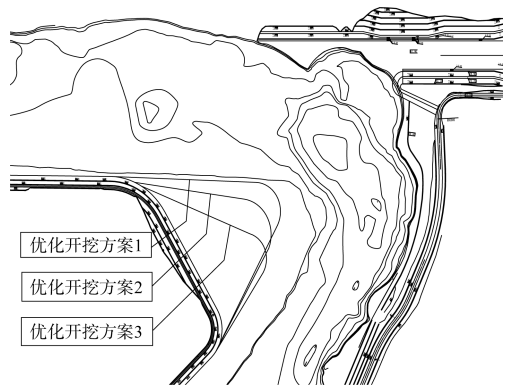


图 6 右岸台地优化开挖方案

综合以上 3 个开挖方案, 优化开挖后, 上游口门区回流面积明显压缩, 回流强度也有所减弱, 其中优化开挖方案 1 对压缩回流区效果最好, 其次是优化开挖方案 2 和优化开挖方案 3, 3 个开挖

方案都能满足最大通航流量下的通航要求。由于弯道水流的影响, 在电站上游将出现一个回流区, 优化开挖方案 1 和优化开挖方案 2 上游回流区离电站较远, 约 400 m 以外, 优化开挖方案 3 回流区距离电站较近(图 7), 因此优化开挖方案 1 和优化开挖方案 2 较优。

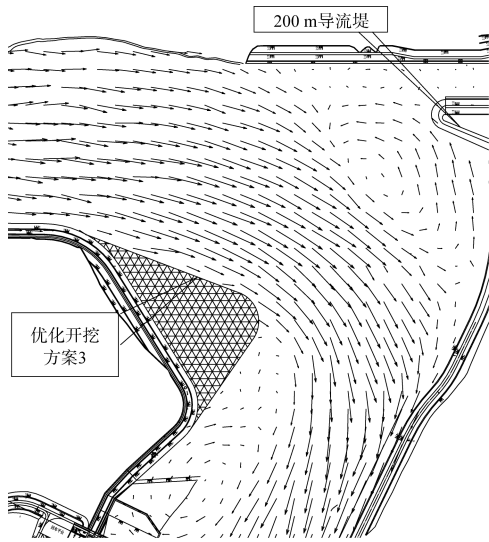


图 7 最大通航流量优化开挖方案 3 上游口门区附近流场

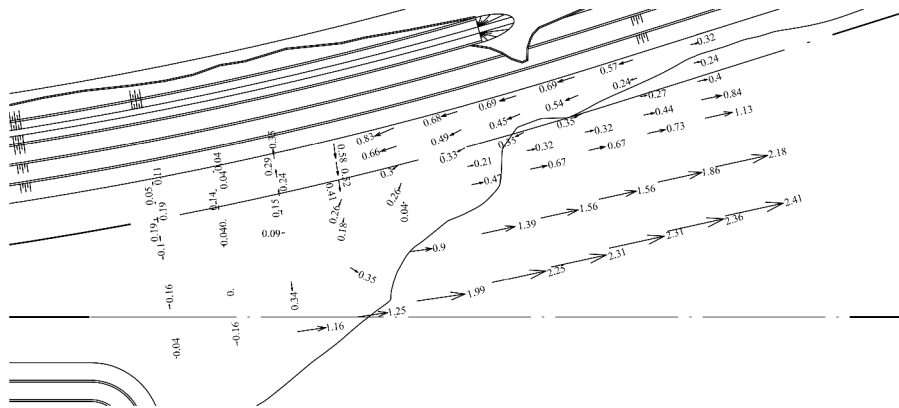


图 8 初始方案下游引航道口门区流速分布(单位: m/s)

在下游引航道口门区 400 m 范围内有较大面积的回流区, 左侧回流区流速自 150 m 位置下游开始大于 0.4 m/s, 最大回流流速达到 0.83 m/s, 个别点横向流速大于 0.3 m/s, 不满足通航要求。因此修改应进一步压缩左侧水域面积, 减小回流范围。

3.2 优化左岸岸坡底边线

下游口门区的优化思路为压缩下游引航道口门回流区, 减小左岸回流流速。研究依次设置了

3 下游口门区水流条件优化过程

3.1 初始布置方案

初始布置方案下游口门区回流超标的主要原因在于: 受右岸主流脱离边界的影响, 方案中右侧墩头属于牛湾半岛的一部分, 河道主流脱离了墩头后与下游引航道以大约 35° 角相交。主流高速流动的水体以剪切力方式带动左侧引航道口门区的静水, 使其形成显著的逆时针回流; 当引航道较窄时, 下游静水区较小, 其回流不明显(图 8)。当船闸调整为 2 000 吨级后, 下游口门区宽度明显增加, 受主流影响的水体面积加大, 为回流提供了空间条件。因此下游口门区的优化方案也可以从压缩回流空间、截断回流通路或者减小右侧墩头主流脱离处与岸边夹角 3 个角度设计优化方案。本工程中由于没有布置截断回流通路工程措施所需空间, 加之减小主流与岸边夹角工程量较大, 因此主要从压缩回流空间考虑优化方案。若布置方案发生变动压缩回流空间无法实施, 可以考虑利用隔离墩调整主流与岸边的夹角进一步优化。

3 个方案的岸坡底边线(图 9)。优化布置底边线一在下游回流出现的起始点处将左岸底边线向右侧移动, 考虑在压缩回流空间的同时部分阻碍下游回流通路, 但方案 1 并没有改善下游口门区的流速分布, 最大回流流速仍达到 0.76 m/s; 由于方案 1 基本未对回流较强区域进行压缩, 回流区域仍有较大空间, 因此方案 2 将回流流速较大区域的宽度缩窄以压缩回流空间, 引航道左岸岸坡优

化方案2降低了引航道左侧回流流速。流量小于等于最大通航流量时，回流流速和横向流速基本满足规范要求。为了进一步减小引航道左侧的回流流速，在左岸岸坡优化方案2的基础上，进行局部缩窄优化，在桩号船1+660处将坡底开挖线向右移动了8 m。结果有效地减少了航道左边线和中心线的回流流速，流量为最大通航流量时，口门区流速满足通航水流条件要求（图10）。

由于船闸中心线与天然河道交角较大，下游引航道口门区与天然河道交汇处水域面积较大，

河道主流的向岸侧扩散时造成交汇处水域产生回流。回流流速较大的区域靠近左岸侧。减小回流流速的途径有2个：1) 减小交汇处水域面积；2) 减小船闸中心线与天然河道交角^[6]。由于船闸中心线角度受上游口门位置限制无法改变，所以只能通过调整引航道中心线角度和减小交汇处水域面积两方法来减小回流流速。口门区左岸有一个村庄，要求尽量减小左岸的开挖，因此试验通过调整左侧整治线的位置来减小交汇处水域面积和引航道中心线与主河道的夹角，最终得到优化方案。

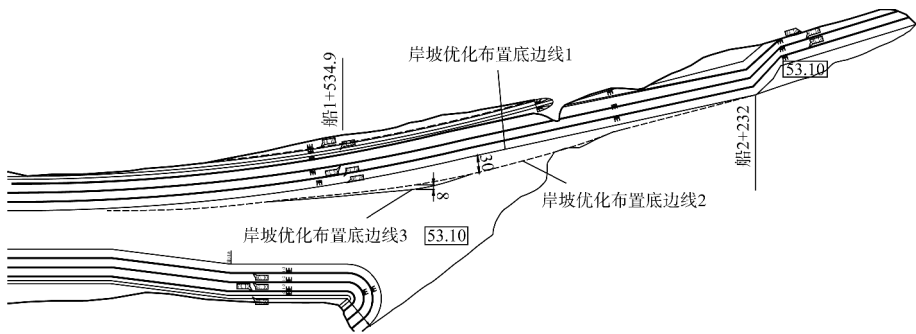


图9 岸坡底线优化方案调整

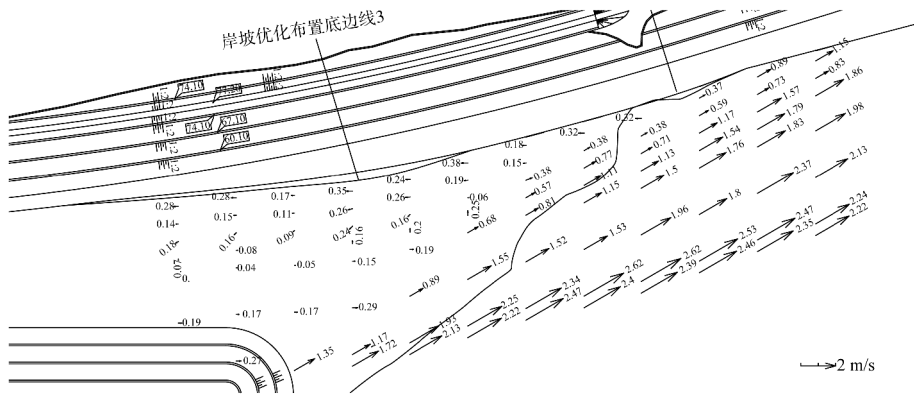


图10 推荐方案最大通航流量下游引航道口门区流速分布（单位：m/s）

4 结语

1) 对于处在弯道顶弯处的口门区，因其受静水顶托及弯道环流的影响，弯道外侧动水与引航道口门区静水的相对紊动剪切作用强烈，引起的回流强度较大，可通过增设导流堤的方式截断回流通路，消减回流效果明显。

2) 对于处于湾道处的口门区，也可以通过调整凸岸一侧的制导线走向，使主流压缩回流，进

一步消减回流区面积，消弱回流强度。

3) 船闸中心线布置受到地理条件限制，往往无法通过改变布置使得船闸中心线与河道主流的交角减小。加之口门区范围较大，造成回流较强。可通过调整岸线，挤压回流区面积，并通过关键控制点的岸线布置使得回流得到明显消除。