



航道急流弯滩整治工程施工方案^{*}

范怀斌^{1,2}, 李基锐^{1,2}, 覃峰³, 刁约⁴, 陆少锋^{1,2}, 覃才勇^{1,2}

(1. 广西新港湾工程有限公司, 广西南宁 530200; 2. 广西新港湾汪旭光院士工作站, 广西南宁 530200;
3. 广西交通职业技术学院, 广西南宁 530023; 4. 广西大学资源与环境学院, 广西南宁 530004)

摘要: 重要急流弯道航运通道不停航施工, 导致过往船舶多、水位变幅频繁、通视性差, 因此确保施工期间的通行安全一直是困扰施工单位的技术难题。针对广西郁江老口枢纽航道整治工程, 结合施工段下游深潭存在严重回流等自然地理特征和施工期间通航的交通运输条件, 采用分条分层相结合的方法进行爆破, 中深孔台阶为主、浅孔为辅。疏浚按先上游后下游的顺序进行, 结合水上清礁设计开挖边坡取值, 设计覆盖层及开挖边坡。航道设计底边线以内水域的开挖范围应满足设计要求, 开挖断面不应小于设计开挖断面, 设计底边线以内水域严禁出现浅点。陆上爆破与水上清渣施工结合, 避免全面展开施工作业和占用航道宽度, 减小对过往船舶的影响。

关键词: 航道整治; 爆破; 疏浚; 边坡; 施工方案

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)02-0129-05

Construction scheme of sharp channel bend regulation project

FAN Huai-bin^{1,2}, LI Ji-rui^{1,2}, QIN Feng³, DIAO Yue⁴, LU Shao-feng^{1,2}, QIN Cai-yong^{1,2}

(1. Guangxi New Harbour Engineering Co., Ltd., Nanning 530200, China;
2. Work Station of Academician WANG Xuguang, Guangxi New Harbour, Nanning 530200, China;
3. Guangxi Transport Vocational and Technical College, Nanning 530023, China;
4. College of Resources and Environment, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The non-stop construction at important sharp channel bends leads to many passing ships, frequent water level changes, and poor visibility. Therefore, ensuring traffic safety during construction has been a technical problem for the construction unit. For the waterway regulation project of Laokou Junction on the Guangxi Yujiang River, this study considers the natural geographical characteristics such as severe backflow in the downstream deep pool of the construction section and the traffic and transportation conditions during the construction period. It adopts the method of combining blasting in the strips and layers, with the medium- and deep-hole benches as the main and shallow holes as the auxiliary. Upstream dredging shall be before downstream dredging, and the design of the overburden layer and excavation slope shall take into account the excavation slope value designed for offshore reef cleaning. The excavation scope of the water area within the design bottom line of the channel shall meet the design requirements, and the excavation section shall not be less than the design excavation section. In addition, shallow spots are strictly prohibited in the water area within the design bottom line. The construction combination of land blasting and water slag removal can avoid comprehensive construction and the occupancy of the channel width and reduce the impact on passing ships.

Keywords: waterway regulation; blast; dredging; side slope; construction plan

收稿日期: 2022-05-27

*基金项目: 国家自然科学基金项目(51768016); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD20238084); 广西重点研发计划项目(桂科 AB20297050)

作者简介: 范怀斌(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程研究。

急流航道建设常面临险急浅弯等碍航问题^[1]，特别是急弯河段航道，不仅自然弯曲而且非常狭窄，限制了航行船舶过弯尺度、增加了船舶操作难度，国内学者就此问题进行了大量研究。曹民雄等^[2]分析了国内典型急流滩的情况，提出了整治方法；李顺超等^[3]总结了岷江下段航道典型滩险整治技术；王常红等^[4]研究了急弯河段通航水流条件与航道宽度的关系；颜志庆等^[5]研究了“S”形急弯河段的通航水流条件；江涛等^[6]编写了来宾—桂平 2 000 吨级航道工程初步设计报告；陈建等^[7]针对福建省湄洲湾航道三期炸礁施工中施工空间有限、通航管制、爆破地点距离近等因素，采取孔网布置和排间微差爆破技术，利用潮汐削减爆破带来的负面影响；谢玉杰等^[8]以嘉陵江中游龙爪湾为研究背景，研究了典型弯道型急流滩险碍航特性、整治参数和整治方案，得出改善龙爪湾滩通航条件并达到渠化后航道等级的较优整治方案。但是针对急流湾滩施工方案的研究还不够深入，如未充分考虑到不停航施工、深潭回流及保障施工期间通航安全等。

本文以郁江老口急流航道整治工程为研究对象，分析了中深孔台阶爆破技术及水上清渣等关键施工技术，以期为类似工程整治提供参考。

1 工程概况

1.1 河流概况

老口库区—南宁航道按内河Ⅲ级标准建设，航道整治里程 157 km，其中老口枢纽库区航道 123 km(金鸡滩—老口)，老口—南宁邕江大桥航道 34 km。设计航道尺度为 2.4 m×60 m×480 m(水深×宽度×弯曲半径)，航道挖槽水深 2.7 m。

在现有Ⅵ航道航线的基础上，局部进行调顺和加大弯曲半径。在开阔的河段，航道沿中、枯水主流(或深泓线)布置；在弯曲河段，航道尽量靠凹岸，避开凸岸边滩；在过渡段浅滩，航道线与上下游深潭尽量平顺连接，保证航道适航性与稳定性。

1.2 工程地理位置

老口枢纽库区常年回水区小搁滩—烂碰滩段长

约 80 km，是金鸡滩—南宁航道整治工程中老口库区的部分河段。老口枢纽建成蓄水后，库区常年回水段因航线调顺需局部疏浚小搁滩、锦鱼沙、金钱沙、小林滩、能秀滩、牛皮滩、鹿滩、蠹鱼滩、烂碰滩等 9 个滩险。9 个滩险的航道整治总开挖工程净量 17.94 万 m³，其中陆上挖土净量 2.3 万 m³、陆上炸石净量 15.64 万 m³，陆上炸石主要集中在小搁滩和小林滩。

老口—南宁航道按内河Ⅲ级标准建设，通航 1 000 吨级单船及 2×1 000 吨级顶推船队。小搁滩位于老口库区常年回水区，上距金鸡滩枢纽大坝约 15.3 km、下距老口枢纽坝址约 107.7 km，滩长 500 m，河床底质主要为卵石和岩石，河床最宽处约 160 m。滩段河势呈 S 状，非常弯曲。两岸为基岩，受其制约河宽较窄，一般为 80~90 m。滩尾信号台下游靠右岸的深潭(8#抛泥区)较深，中洪水期该处存在严重回流和泡水。滩段上下船舶互不通视，需要靠信号台指挥单向通航。主要碍航特征是河道比较弯曲、航道弯曲半径不够。急流湾滩整治河段见图 1。

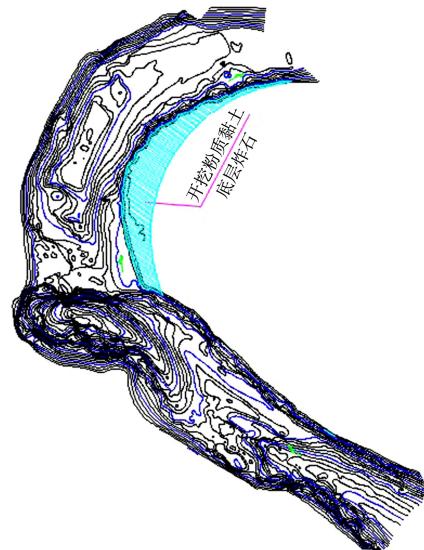


图 1 小搁滩河段

2 整治水位和整治线宽度

2.1 整治水位与整治流量

设计整治水位高于设计水位 0.9 m。整治流量根据水位 H 与流量 Q 关系曲线求出，右江和郁江的整治流量分别为 380 和 820 m³/s。根据右江多年

的实践和成功经验, 采用的整治水位为天然状况下设计水位加上 1.2 m, 此水位比百色水利枢纽、那吉航运枢纽建成调节流量后的设计水位高约 0.9 m, 与优良浅滩的边滩高度接近。

2.2 整治线宽度

整治线宽度参考相邻优良河段浅滩的边滩高度和历年右江整治的经验, 采用相关经验公式计算。根据 JTJ 312—2003《航道整治工程技术规范》, 整治线宽度采用水力学公式及优良河段的河相关系式计算:

$$B_2 = \frac{Qn}{H_2^{5/3} J^{1/2}} \quad (1)$$

表 1 航道整治主要工程量

岩土类别	疏浚卵石 11 级土	疏浚卵石 12 级土	疏浚淤泥 2 级土	一般水下炸礁 V~VII 级	控制爆破水下炸礁 V~VII 级	拆坝
工程量/m ³	134 335	225 800	36 229	179 382	35 646	1 200

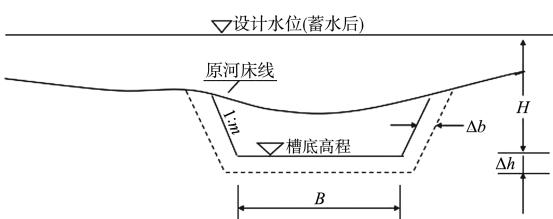
3 施工方案

3.1 施工平面布置

该项目主要工程量集中于小搁滩, 陆上爆破施工从中间凹槽同时向上、下游方向施工, 凹槽处修建一条临时道路由汽车将废渣运至施工区后方的临时弃渣区, 水上由挖泥船进行清渣。钻孔设备、运输设备在未钻爆松动的岩面上进行施工; 挖泥船水上开挖与陆上开挖严禁在同一断面进行施工, 防止陆上岩石滚落伤人或损坏机械。

3.1.1 陆上挖土工程

挖槽横断面采用梯形断面, 见图 2。其中 B 为标准挖槽设计宽度, $B=60$ m; H 为航道挖槽水深, $H=3.2$ m(航道水深 3.0 m+航道维护水深 0.2 m); Δb 为施工计算超宽值, $\Delta b=0.0$ m; Δh 为施工设计超深值, $\Delta h=0.3$ m; m 为航槽开挖边坡系数, $m=3$ (局部 $m=2$)。



注: 实线为挖槽设计断面, 虚线为工程量计算断面
(设计超挖线)。

图 2 挖槽横断面

$$\frac{B_2^{1/2}}{H_2} = \zeta \quad (2)$$

由上述两式可推导出:

$$B_2 = \frac{(Qn)^{6/11} \zeta^{10/11}}{J^{3/11}} \quad (3)$$

式中: B_2 为整治线宽度(m); Q 为整治流量(m³/s); n 为河段糙率; H 为整治水位时断面平均水深(m); J 为比降; ζ 为河相关系值, 优良河段取 6~8。

采用以上方法求得的整治线宽度分别为: 老口库尾段 $B=110\sim120$ m、老口—南宁段 $B=250$ m。航道整治主要工程量见表 1, 疏浚合计 39.636 4 万 m³、爆破合计 21.502 8 万 m³。

除按照设计航道尺度要求布置挖槽外, 为了改善流态和航行条件, 酌情切除局部突嘴或挖除航道边线外的浅点。纵断面设计挖槽纵坡根据挖槽后设计水位和航道水深确定, 整治后水面线比降即航道设计底高程纵坡值。

3.1.2 抛泥区的选址及土方调配处理

本工程将开挖土方抛于河中指定抛泥区, 起平顺河床及改善水流的作用。抛泥区抛泥后的顶面控制水深不小于现有航道维护水深。抛泥区布置在小搁滩下游靠右岸的深潭 7# 和 8# 抛泥区, 优先抛卸在 8# 抛泥区。其中 7.230 0 万 m³ 岩土运至 7# 抛泥区, 其余运至 8# 抛泥区, 抛泥区布置见图 3。陆上开挖岩土 15.053 5 万 m³, 其中 5 级黏土 1 321 m³、炸石 14.921 5 万 m³。



图 3 抛泥区布置

3.2 陆上钻孔爆破的施工方法

3.2.1 施工方法

根据现场勘测, 小搁滩最高点高程为 98.8 m, 边坡较低的地势与开挖设计底高程齐平, 为 71.8 m;

因此该滩开挖相当于山体爆破，爆破的最大厚度约 27 m，因此采用中深孔台阶为主、浅孔为辅进行分层爆破。结合水上清礁实际情况，陆上爆破采用分层爆破：第 1 层控制高程为 95.8 m，第 2 层控制高程为 87.8 m，第 3 层控制高程为 79.8 m，最后 1 层直至设计开挖高程 71.80 m。当老口枢纽蓄水到设计水位 75.0 m 时，仍可从第 3 层平台 79.8 m 进行陆上施工。断面分层爆破见图 4。

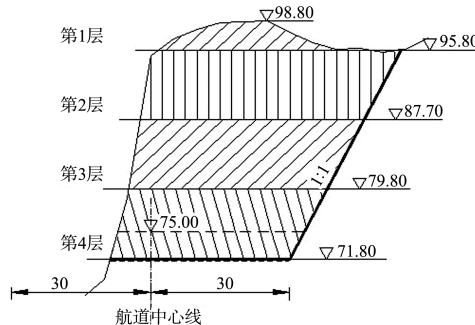


图 4 断面分层爆破 (单位: m)

3.2.2 施工工艺流程

测量放样后开始钻孔，当钻至预定深度后起升钻杆，将需要爆破的区域全部钻完，检查孔深后进行装药、堵塞和连线，并做好钻孔和装药记录。将导爆线连到安全的掩体内，发令通电起爆。至此，一炮次结束，清礁完成后测量该区域的高程，如需要补爆破，继续照此循环进行。陆上钻孔爆破工艺流程见图 5。

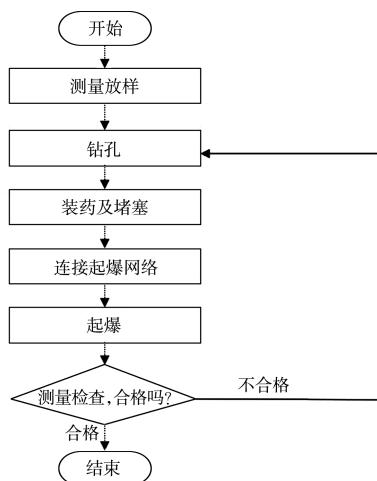


图 5 陆上钻孔爆破工艺

3.2.3 中深孔台阶爆破

1) 孔网直径 $d=70$ mm。

2) 超深 Δh 按孔径倍数确定，一般为 $8d \sim 12d$ 。因本次开挖要求对周围基岩影响小，取 $\Delta h=0.5$ m。

3) 结合现场的地质条件，参照类似工程施工经验及试爆效果（主要考虑爆破飞石的安全），确定炸药消耗量 $q=0.35$ kg/m³。

4) 堵塞长度 $h_0=2.5 \sim 3.5$ m（孔深不大时，取填塞长度 $h_0=2.5$ m）

5) 装药密度 ρ ，取炮孔实际装药密度 $\rho=0.85$ g/mL。

6) 装药系数 t ，一般取 0.7~0.8，本次取 $t=0.8$ ；

3.2.4 爆破参数及药量计算

1) 孔深 h ，每层爆破厚度控制在 8 m， $h=H+\Delta h=8.5$ m（按孔深 8 m 进行设计）^[9-10]。

2) 最小抵抗线 W ，按照孔径的倍数来确定，通常取 25~30 倍，现暂定为 2.5 m。

3) 排距 b 取 3.0 m，孔距 $a=b/0.866=3.5$ m。具体可根据施工中爆破块度要求则可对 a 、 b 进行调整，一般是在面积不变的情况下，取小排距大孔距。为确保岸边爆破后无大块石落入河中，导致反铲挖掘机无法开挖，临边 5~10 m（根据现场情况）范围内采用加密钻孔，即 $2 m \times 2.5 m$ ，落入河中的岩石最大块直径不超过 2 m，符合挖掘机开挖。

4) 单孔装药量。第 1 排孔装药量按公式 $Q=qawh$ 计算， $Q=24.5$ kg。第 2 排及以后排考虑到矿岩阻碍力作用增加 10%， $Q=27$ kg。

5) 每延米装药量。选用的 $\phi 70$ mm 乳化炸药每节 1.75 kg，长度为 35 cm，每延米装药量为 5 kg。

6) 装药长度校核。第 1 排装药长度 $L_1=4.9$ m，第 2 排及以后各排装药长度 $L_2=5.4$ m，施工断面见图 6。

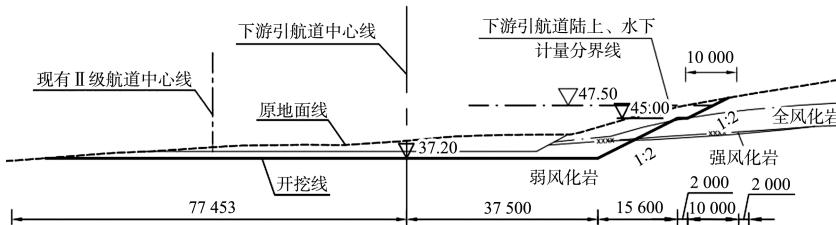


图6 施工断面 (高程: m; 尺寸: mm)

3.2.5 装药和堵塞

采取间隔装药方式, 采用黏土或石粉间隔及堵塞, 堵塞长度必须满足 L_2 要求, 装药结构见图 7。

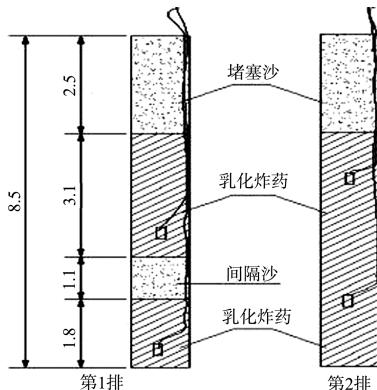


图7 装药结构 (单位: m)

3.2.6 起爆网络

采用防水铜壳工业电雷管作为击发元件, 非电导爆管雷管为传爆元件及起爆元件, 采用分段微差爆破以减小爆破地震波和水下冲击波, 排与排间根据实际情况采用 2~10 段其他毫秒延期雷管, 雷管在使用前必须进行检验和试验, 以确保起爆性能和安全。起爆网络见图 8。

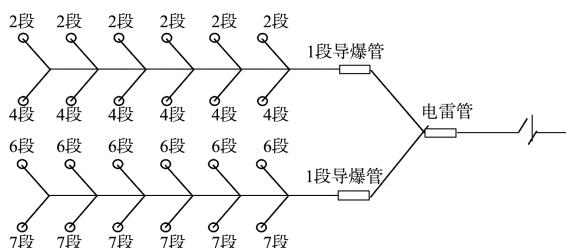


图8 起爆网络

3.2.7 警戒起爆

起爆前 30 min 开始进入警戒状态, 鸣笛 15 min, 300 m 范围内各通行路口, 实行临时禁止通行措施, 房屋内人员临时疏散。各要道人员通过对讲机向指挥人员汇报清理及禁行情况, 警戒到位确

认之后即进行起爆。起爆完毕, 经检查不存在盲炮、哑炮等现象后, 由指挥人员通过各要道人员予以解除警报。

3.3 清渣

3.3.1 施工工艺

部分陆上靠近河边石渣可用挖泥船直接装上泥驳, 运至指定地点倾倒; 其他陆上石渣先采用挖掘机或推土机推至河中, 由挖泥船开挖上驳, 运至指定地点倾倒。

3.3.2 施工方法

为控制施工质量, 挖泥船清渣或疏浚采用分条开挖的施工方法。分条宽度根据挖泥船实际挖宽能力确定。施工中, 根据每个疏浚或清渣区域的实际范围划定条数, 每两条之间保证有一定的重叠部分(1~2 m), 斗与斗之间亦要重叠, 以避免漏挖。挖泥船挖深由铲斗斗臂上的刻度控制。

在实际施工中, 若开挖层厚度大于 3 m, 还应进行分层开挖, 即采用分条分层相结合的方法进行。在施工过程中安排专人探水, 检验开挖效果。

3.3.3 弃渣

挖起的石渣装在泥驳内, 由泥驳运输到指定抛泥区进行抛卸, 并根据该区域的水深辅以测深仪监测抛渣情况, 避免局部堆积或出现超过设计高程的情况。

4 结语

1) 中深孔台阶爆破作业开挖面光滑平整, 可减少边坡清理及支护工作量, 有利于后期作业; 对岩体破坏影响小, 保持边坡的稳定; 减少了超欠挖, 节省工程成本, 缩短项目工期, 保障航运通道不停航施工。