

· 施工 ·



单滩大方量条件下深水钻爆施工方法

易 琛

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 莲沱航道整治炸礁工程位于两坝间莲沱河段, 其主要目的是将炸礁区从平坡调整为纵向阶梯状倒坡, 起到扩大急流区过水面积从而降低流速和减小比降、平顺岸线并增加岸边水深、调整河床断面形态从而改善不良水流形态的作用。然而, 炸礁工程中 LT₇ 炸礁区工程量极大, 单滩整治爆破工程量目前居内河航道整治工程首位。通过对深水钻爆施工下的施工布置、施工分层方法以及施工船舶设备选型的研究, 确定了该区域不同分区的施工方法。航道整治实际效果表明, 航道水流条件得以明显改善, 证明采取的施工方法合理有效。研究成果为莲沱段航道炸礁工程实施提供理论依据, 也可为后期其他滩段整治提供借鉴。

关键词: 航道整治; 深水钻爆; 炸礁工程; 梯级枢纽; 通航效率

中图分类号: U615

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)05-0215-05

Deep water drilling and blasting construction method under condition of large volumeof single beach

YI Chen

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443000, China)

Abstract: Liantuo Channel regulation and reef blasting project is located in Liantuo River section between two dams, the main purpose of which is to adjust the reef blasting area from flat slope to longitudinal ladder slope, to expand the water flow area of the rapids thereby reducing the velocity and slope, level the shoreline, increase the depth of the shore, and adjust the river bed section shape to improve the bad flow pattern. However, the work amount of LT₇ reef blasting area in the reef blasting is very large, and the work amount of single beach regulation blasting currently ranks first in the inland waterway regulation projects. This paper studies the construction layout, construction layering method and construction ship equipment selection under the deep water drilling and blasting construction, and determines the construction methods of different zones in this area. The actual effect of channel regulation shows that the channel flow condition has been improved obviously, which proves that the construction method adopted is reasonable and effective. The research results can provide a theoretical basis for the implementation of the reef blasting project in Liantuo section, and can also provide a reference for the subsequent regulation of other beach sections.

Keywords: channel regulation; deep water drilling and blasting; reef blasting project; cascade hub; navigation efficiency

1 工程概况

莲沱航道整治炸礁工程位于两坝间莲沱河段, 该河段位于湖北省宜昌市夷陵区, 处于三峡枢纽

和葛洲坝枢纽之间的中上段, 上起下岸溪(长江上游航道里程 36.3 km)^[1], 下至茶园(长江上游航道里程 29.8 km), 全长约 6.5 km。该工程通过水

收稿日期: 2023-09-17

作者简介: 易琛 (1993—), 男, 工程师, 从事船闸运行维护管理和设备技术研究。

下钻爆切除岸边高边坡填入莲沱弯道深沱内，以起到扩大急流区过水面积从而降低流速和减小比降、平顺岸线并增加岸边水深、调整河床断面形态从而改善不良水流形态的作用。整治目的为改

善莲沱段通航水流条件、提高限制通航流量，并改善莲沱段泡漩、回流等碍航副流流态，提高通航安全性。该工程分为 LT₁~LT₇ 共 7 个礁区，总工程量 75.2 万 m³，平面布置见图 1。

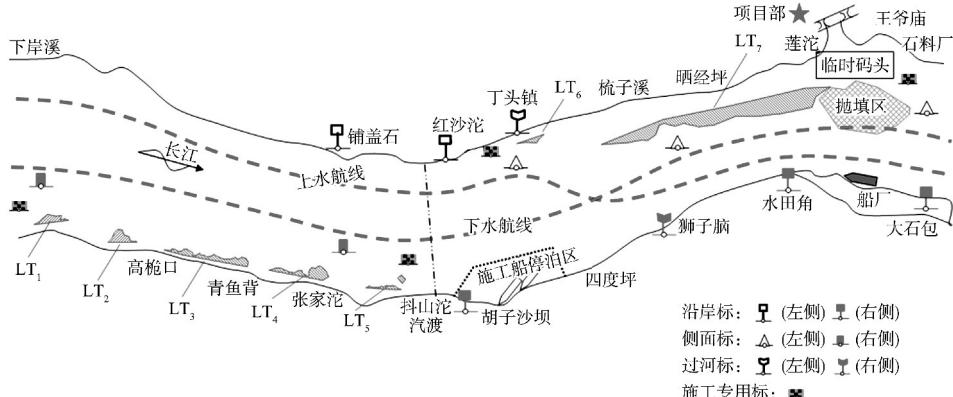


图 1 施工平面布置

工程主要施工难点：LT₇ 炸礁区工程量为 69.1 m³，单滩整治爆破工程量目前居内河航道整治工程首位，远远超过其他整治工程。单滩整治工程量大且集中，对施工展布及施工方法提出很高要求；施工水深达到 38 m，对工程施工的影响非常大，如严重降低钻孔成孔率及钻孔精度、降低炸药的爆炸效果、大幅增加各项工作的辅助时间、清渣时挖泥船下斗周期变长且抓力变弱等。因此，采取措施提高水下钻爆施工效果势在必行。

2 施工布置

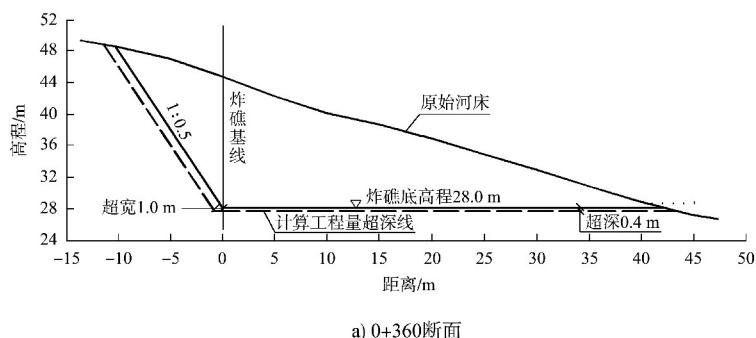
LT₇ 炸礁区长 1 050 m, 平均宽约 50 m, 从上游到下游方向依次分为 A、B、C 共 3 个区域, 设计底高程分别为 28、30、32 m, 呈倒阶梯形坡度, 正常施工水位为 65~66 m。

根据经验，水下钻爆施工如在干净、无覆盖层的岩面上钻爆，钻孔成孔率及爆破施工效果均高于有覆盖层的岩面，所以钻爆施工前一般要用挖泥船将岩面上的覆盖层进行清挖干净。而在覆盖层较薄、清挖工效不高时，直接在岩面上进行钻爆，反而综合效益更高。

莲沱炸礁工程施工布置主要从施工断面及地质情况、施工季节及水流情况、施工进展需要3方面进行综合考虑^[2]。

2.1 断面及地质情况

根据设计图纸及地勘资料确定前期施工布置的基本原则。莲沱炸礁工程 2 种典型断面如图 2 所示, 第 1 种典型断面特点是陡边坡形式, 主要分布在 A、B 区域; 第 2 种典型断面特点是缓边坡、爆破层厚, 主要分布在 C 区域。两断面面积分别为 468.09 和 1 567.78 m^2 。



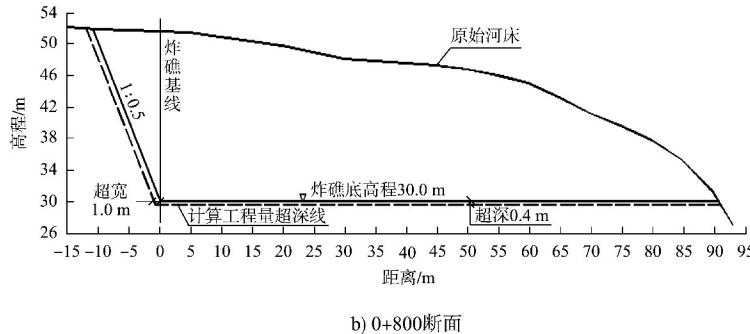


图2 莲沱炸礁工程2种典型断面

2.1.1 第1种典型断面施工布置

A、B区域为陡边坡断面形式，外侧靠近航道部分具备第1轮施工至设计底高程的条件，但是外侧区域清挖后会引起地形坡度更加陡峭从而加大清渣时的施工困难，因此在此类断面形式下必须按照由内至外的方法进行施工。

2.1.2 第2种典型断面施工布置

C区域自然坡度较缓，施工方法可由内至外，也可由外至内，在实际布置过程中应与相邻的B区布置相结合。如B区在施工外侧靠近航道部分区域，那么C区则应施工外侧靠近边坡部分区域，以避免施工船舶相互干扰，使船机利用率最大化。

2.1.3 结合施工地质资料的整体布置方法

通过分析可知，A区大部分分布有厚度最大为4.9m的砂夹卵石层，并有长约10cm厚的花岗岩岩芯，应先进行覆盖层开挖后再进行钻爆，否则会严重影响钻爆效果。B、C区可直接进行钻爆施工，最厚2.1m的砂层对钻孔影响不大。

根据地质资料确定的施工布置方法为A区先进行覆盖层开挖，B、C区同时进行钻爆，可确保平行施工，同时为下一轮的流水作业奠定基础。

2.2 施工季节及水流情况

主要考虑汛期对施工的影响，因单滩工作量大，LT_f，炸礁区施工需要经历2个汛期（每年7—9月），汛期前后施工区域水情变化和两坝间分道航行规则将影响施工。因此施工布置时需要提前进行分析，做好现场布置，以免现场平行作业衔接不畅而引起设备窝工^[3]。

根据水情资料及汛期实际观测，三峡出库流量5月一般处于1.0万m³/s以下；6月会逐步增加至2.0万m³/s，甚至超过；7月进入汛期，三峡出库流量激增，每年均超过4.5万m³/s，直到9月初慢慢缓解，出库流量逐渐恢复至1.0万m³/s以下。

汛期前后LT_f，不同区域水情各有不同：A区自5月底至6月中旬水流逐渐变急，流态变乱，外侧靠近航道区域表面流速逐渐达到2.0~3.0m/s，内侧靠近边坡区域流速为1.0~1.5m/s；B区外侧靠近航道区域的流速略低于A区，但是外侧表面流速也超过2.0m/s，内侧靠近边坡区域受到下游溪沟水的影响，流速基本为0；C区受下游溪沟水的影响，在靠近航道的外侧区域的表面流速小于2.0m/s，内侧溪沟水回流的流速为0。

在施工布置时，根据施工区不同水情，确定5月安排A、B区的外侧进行钻爆，爆破完毕后6月进行该区域的清挖，否则6月该区域因表面流速加大无法进行钻爆，钻爆船集中布置C区将导致挖泥船无处布置；同时，6月C区水情较好，表面流速低，可安排进行钻爆。

汛后复工时，则按照相反的思路，C区已钻爆区域进行清渣开挖，而A、B区域进行下一轮钻爆。若表面流速超过1.0m/s，可先安排进行内侧靠近边坡处的钻爆工作^[4]。

2.3 施工进展需要

每年汛期停工前、春节后或者其他因素导致停工较长时间后，均进行多波束水下测量，根据

测量结果进行下一轮的施工布置。此过程一是检验上一阶段的施工布置是否合理，取得的成效如何；二是了解施工区域的水下地形现状，指导下一步布置工作。

布置原则：1) 因 LT₇ 区域工程量集中，施工场地狭窄，因此必须确保 A、B、C 区域可连续施工，始终有足够的工作面，不能发生某个区域已经大部分达标其他区域却还差得远的情况，这样将严重影响下一阶段的施工现场展布，无法进行平行作业从而影响施工进度。布置时应综合全面考虑，使现场的每一艘船在每一个阶段都有相应的工作位置，不同的区域进行平行作业，同一个区域内始终在进行钻爆和清渣的流水作业。2) 同一个区域内要避免形成高、陡边坡，影响清渣工效。挖泥船在无坡度的水下河床内进行清渣时工效最高，河床坡度越陡则工效越低，甚至形成倒斗现象，导致开挖困难。因此在进行施工布置时，应该避免此轮施工后形成陡边坡的现象，同时应对较陡的原始边坡进行合理的先行施工，提高下阶段的施工效率。

3 施工分层方法

水下钻爆施工在爆破层厚小于 10 m 且周围环境无限制性要求时，一般不分层施工，因为分层施工对原始岩石破碎扰动大，第 2 轮钻爆时成孔率和爆破效果均显著降低，清渣难度也变大。莲沱炸礁工程最大爆破层厚度超过 20 m，且周边环境复杂，对爆破时引起的水中冲击波及地震波要求非常严格，因此必须采取分层爆破施工，且分层方法需要根据实际情况结合单段最大允许装药量以及清渣效果具体分析。

因爆破漏斗的影响，在进行水下钻孔爆破时，为达到预期爆破效果，均考虑一定的施工超深。孔深较深时，施工超深经验数据为 2 m。因此分层施工时，有效爆破效果应减少 2 m，即 9 m 孔在装药、爆破后的有效爆破效果为 7 m。根据莲沱炸礁

工程初期实际开挖效果，9 m 钻孔分层爆破后，实际开挖效果 A 区为 3~5 m，C 区为 5~6 m。

根据经验数据及初期统计数据，确定自外侧靠近航道区域至内侧靠近边坡处依次分 1~4 层进行施工。分层厚度为 8 m，爆破厚度超过 8 m 则进行 2 轮施工，以此类推。

经过一个阶段的施工后，通过多波束测图分析得出分层施工的效果较好，开挖效果满足要求^[5]。

4 施工船舶设备选型

施工船舶采用抛锚定位方法，保证船与船之间存在足够的安全距离，每条船占用水域约 300 m，LT₇ 区域可布置 4 条施工船。为了确保平行、连续施工，现场布置 2 艘钻爆船和 2 艘挖泥船同时作业。

4.1 钻爆船

拟投入 2 艘专业化钻爆船，船长 45 m、宽 17 m，船上分别配备 3、5 台一体化高风压潜孔钻机，能满足水深 40 m 以上的深水钻孔施工。B、C 区较宽，可进一步优化现场布置措施；在 C 区靠边坡一侧增加 1 艘小型钻爆船，错位布置 2 个钻爆船同时进行钻爆作业。小型钻爆船长 25 m、宽 13 m，配备 2 台一体化高风压潜孔钻机，机动灵活性较强。经过合理的错位布置，3 条钻爆船可以同时施工，从而增加平行施工时间约 2 个月。

4.2 挖泥船

初期投入 2 艘 8 m³ 抓斗挖泥船进行清渣作业，后期投入 1 艘 20 m³ 抓斗挖泥船进行试验性开挖。经过综合比较确定最优清渣设备选型，见表 1。根据开挖数据可知，20 m³ 挖泥船配 13 m³ 重斗时开挖效果最好，施工效率最高。因此 LT₇ 现场配置 1 艘 20 m³ 挖泥船和 1 艘 8 m³ 挖泥船进行清渣作业，20 m³ 挖泥船布置在方量集中、水深较深区域进行开挖，8 m³ 挖泥船布置在边坡处或清点处施工。

表1 清渣设备选型

船型/ m ³	尺寸 (长×宽)/(m×m)	总吨位/ t	主机功率/ kW	开挖 深度/m	斗容/ m ³	斗质量/ t	下斗 周期/s	月平均开挖驳数 (500 m ³ 泥驳)
8	47×17	1035	968	40	4	32	190	40
8	43×17	918	1544	45	6	52	160	45
20	68×23	1967	2200	50	13	102	160	110

5 结论

- 通过对 LT, A、B、C 共 3 处炸礁区域进行多方合理科学的研究论证, 确定对 A 区域在 5 月采取先挖再爆及由内向外、对 B 区域在 5 月采取直接钻爆及由内向外、对 C 区域在 6 月采取直接钻爆的施工步骤, 确保了施工安全, 节省了工期。
- 对 LT, 区域由外侧航道至内侧边坡段等距依次分 1~4 层进行施工, 缩短了工期, 节约了成本。
- 通过合理论证, 对 LT, 炸礁区域配备 3 艘钻爆船及 2 条挖泥船, 缩短了整个工期。
- 已完成 90% 炸礁工程量的航道整治实际效果表明航道水流条件得以明显改善, 证明施工方法合理有效。

(上接第 162 页)

3 结论

- 本文推荐采用的鱼道整体布置设计合理可行, 满足鱼道设计要求。
- 鱼道下游段池室水深受下游水位变化影响明显, 鱼道双进口设置可满足下游水位变化范围衔接过渡。为避免产生流速屏障, 当下游水位在 69.32 m 时, 进行鱼道进口由 1# 进口向 2# 进口的切换, 此时 2# 进口上游各级竖缝流速均满足鱼道设计流速要求。
- 鱼道进口主流流速较小时, 可采用进口段补水措施可提高流速满足诱鱼设计要求。

参考文献:

- [1] 罗琳, 刘慧芳. 株洲枢纽隔板式鱼道设计 [J]. 水运工程, 2019(3): 52-55.

参考文献:

- [1] 金镠, 黄咏烨. 河口整治技术在长江口深水航道治理工程中的若干新进展 [J]. 中国港湾建设, 2005(6): 11-16.
- [2] 杨振华, 王平义, 喻涛. 黄河上游双旋沟滩航道整治方案模型试验研究 [J]. 水道港口, 2014, 35(5): 517-521.
- [3] 林伟. 航道炸礁施工工艺及对通航安全和环境影响的控制措施 [J]. 江西建材, 2015(21): 144, 146.
- [4] 王雪蓉. 三峡—葛洲坝两坝间莲沱段航标配布适应性分析 [J]. 珠江水运, 2022(2): 97-99.
- [5] 曲红玲, 张冉, 马洪亮. 长江南京以下 12.5 m 深水航道治理工程落成洲河段整治效果 [J]. 水运工程, 2021(1): 150-155.

(本文编辑 王传瑜)

- [2] 中交水运规划设计院有限公司. 唐河省界—社旗航运工程(省界—马店段)初步设计(修编) [R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2021.
- [3] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 唐河省界—社旗航运工程(省界—马店段)水台子枢纽鱼道工程模型试验研究报告 [R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2021.
- [4] 水利部水利水电规划设计总院, 南京水利科学研究院. 水利水电工程鱼道设计导则: SL 609—2013 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [5] 陈明, 刘原, 段黎明, 等. 嘉陵江利泽航电枢纽工程鱼道进口水流条件数值模拟 [J]. 水运工程, 2022(12): 152-157, 163.
- [6] 汪亚超, 陈小虎, 张婷, 等. 鱼道进口布置方案研究 [J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4): 30-34.

(本文编辑 王璁)