

· 施 工 ·



微差爆破在港口工程中的应用

武政, 何军, 魏华

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 考虑到地质条件的复杂性和输油管等重要设施的存在, 水下炸礁作为港口建设和航道疏浚中的重要工作手段需确保工程的安全性。为了减少爆破产生的冲击波、震荡及爆破涌浪对周围环境的危害, 对地质条件进行充分分析, 并选取合适的爆破自由面以降低爆破振动的影响。在进行水下炸礁工作时, 开展试爆研究, 通过调整爆破参数如装药量和引爆时间, 达到最佳的效果; 通过设计最佳的装药结构, 提高爆破的稳定性和安全性。研究成果可为地质坚硬、水深较深、施工条件复杂以及需要确保施工区内重要建筑安全的水下炸礁工程提供技术参考。

关键词: 微差爆破; 水下炸礁; 港口航道; 爆破网路; 装药结构

中图分类号: U655; TV551.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0228-05

Application of millisecond blasting in port engineering

WU Zheng, HE Jun, WEI Hua

(CCCC Water Transportation Consultant Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Considering the complexity of geological conditions and the existence of important facilities such as oil pipelines, underwater reef blasting, as an important means of port construction and waterway dredging, needs to ensure the safety of the project. To reduce the harm of shock waves, vibrations, and blasting surges generated by blasting to the surrounding environment, this study conducts a thorough analysis of geological conditions and selects appropriate blasting free surfaces to reduce the impact of blasting vibration. When conducting underwater reef blasting work, trial blasting research is conducted to achieve the best effect by adjusting blasting parameters such as charge amount and detonation time, and the stability and safety of blasting can be improved by designing the optimal charging structure. The research results can provide technical references for underwater reef blasting projects with hard geology, deep water depth, complex construction conditions, and the need to ensure the safety of important buildings in the construction area.

Keywords: millisecond blasting; underwater reef blasting; port waterways; blasting network; charge structure

随着国家基建规模的扩大尤其是水运交通的大力发展、港口和航道的建设及扩能, 水下礁石爆破需求越来越多^[1]。在港口工程建设领域, 现代化施工的关键环节是爆破, 而其密切依赖于水下炸礁技术^[2-3]。因此, 采用合理、安全、经济的爆破方式成为水下炸礁的核心问题, 这是由于爆破会产生冲击波、震荡及爆破涌浪等次生灾害, 对爆破区建筑的安全造成威胁^[4-5]。

国内外诸多学者对水下礁石爆破进行了探讨。王忠康等^[6]利用礁石爆破船逐块操作, 实现了港口巷道水炸礁, 保护了航道中的水生生物。喻灿星等^[7]通过梳理工程项目的周边环境、水下礁石特性等情况细化了爆破孔网参数, 成功实现施怡滩水下炸礁, 降低爆破对周边民用建筑的负面影响。贺早亮等^[8]成功实现陆丰核电厂北导流堤工程的爆破, 通过数码电子雷管设置延时爆破, 并

收稿日期: 2023-12-08

作者简介: 武政 (1977—), 男, 高级工程师, 从事港航工程项目管理。

采用逐孔起爆网路。针对地质结构复杂、岩石组成多样且爆破区中存在油管等对安全需求极高的工程区的水下炸礁工程,前人所采用的水下炸礁技术不能很好地满足工程需要,且无法保障爆破区的重要设施安全,迫切需要结合实际工程评估炸礁技术,降低爆破地震波和冲击波对建筑物的影响,并提高岩石块度,实现更有效、经济、安全的爆破和岩石清除性能。

微差爆破通过钻孔,各个孔间前后延时起爆,时间间隔达到毫秒^[9]。其爆破相对安全,内部产生的地震波可均衡分布,能较好地控制爆破的地震效应^[10-12]。当装药量相等时,微差爆破技术可减振 1/3~2/3。采用前发药包为后发药包开创临空面,增强岩石的破碎效果,并降低多排孔一次爆破的堆积高度,有利于挖掘机作业。逐发或逐排依次爆破的方式减少了岩石夹制力,可节省炸药 20%。此外,该方法还能增大孔距,提高每米钻孔的炸落方量^[13-14]。因此,微差爆破能够有效解决施工中安全要求高、岩石破碎的大块程度高、地震效应大等问题。

结合广西钦州港炸礁工程的实践经验,探索多排深孔微差爆破技术在港口炸礁施工中的应用,以在地质坚硬、水深较深以及施工条件复杂的情况下,确保周边施工区重要建筑物的安全,旨在为水下炸礁工程提供有益的参考。

1 工程概况

拟建工程位于广西钦州港大榄坪作业区,南接大榄坪南作业区,其地理坐标为:21°42'0.41"N、108°38'6.99"E。大榄坪作业区位于金鼓江口东侧,地处钦州湾内,紧邻钦州保税港区的西北侧。

钦州港大榄坪港区大榄坪作业区 1#~3#泊位工程拟建 3 个 5 万吨级通用泊位,码头岸线总长 757 m,见图 1。炸礁施工内容包括:基槽、港池、掉头地炸礁。其中基槽底设计高程-15.6 m,设计炸礁工程量为 12.56 万 m³;停泊地设计底高程-15.0 m,设计炸礁工程量为 34.13 万 m³;掉头地设计底高程-12.8 m,设计炸礁工程量为 101.44 万 m³;设计总炸礁量为 148.13 万 m³。



图 1 工程周边已建、在建码头项目分布

施工周边东侧为钦州港保税港区办公大楼,西侧为钦州港电厂码头,南侧为大榄坪作业区北 3#泊位,北侧为过江燃油输送管道距离爆破中心分别为 936、443、15、507 m。施工爆破点上空无电线、电缆等保护物,施工爆破点地下无地下管线等保护物,爆破时为确保码头安全,采取减震安全措施。

2 地质条件

被爆体结构为强风化、中风化岩,岩石硬度属于中等-软岩的硬度范围。

1) 全风化泥质粉砂岩稍湿,硬塑,岩芯呈土柱状,遇水易软化,厚 1.50 m,层底高程 10.59 m。

2) 强风化泥质粉砂岩稍湿, 岩芯呈坚硬土柱状, 遇水易软化, 厚 0.50 ~ 2.40 m, 平均值为 1.19 m; 层底高程 -10.84 ~ -7.18 m, 平均值为 -9.09 m。

3) 中风化泥质粉砂岩裂隙发育, 岩芯破碎, 局部呈短柱状、长柱状, 敲击声清脆, 原岩结构清晰, 粉砂结构, 层状构造。层厚最大值为 5.80 m; 层顶高程为 -15.16 ~ -6.22 m。

根据地质勘探资料, 钦州港大榄坪 1[#]~3[#]泊位工程下伏基岩为白垩系泥质粉砂岩, 根据风化程度可分为全风化、强风化、中风化 3 层。炸礁厚度平均在 5.7 m 左右。

3 设计方案

3.1 设计原则

为确保爆破施工的安全, 提高爆破效率, 采用控制爆破方法。在距离被保护物较近的爆破区域, 采用孔内微差爆破方法, 以严格控制爆破振动、浪涌等效应, 减少对被保护物的危害。由于本研究对水下振动冲击波的严格控制要求, 因此选择水下钻孔爆破, 而不采用水下裸露药包爆破方法。水下钻孔爆破虽然需要使用大型设备进行施工, 且工艺较为复杂, 需要投入大量材料和人力资源, 但其施工效率较高, 且爆破效果优越。

3.2 钻孔方法

通过钻密集孔形成欲裂缝, 以降低爆破地震波对水下构造物的冲击, 从而达到最大的减震效果。炸礁船“新港湾 3 号”首先于爆破区域南侧周边钻密集孔, 随后进行密集孔包围区域的爆破, 其中密集孔钻孔于距离已建延长段 15 m 处。初始设定参数为梅花布孔 0.5 m 排距, 由于船体的构造, 总孔距定为 3.0 m, 相邻孔距定为 0.5 m, 每当船组平行移船 0.5 m 时, 则需 6 次完成不同机号间的均匀布孔。当钻孔进行到最后一排时(第 10 排)隔孔装药。

在第 10 排进行欲裂爆破时, 遵循药量从小到大的原则, 首先从一孔一爆过渡至多孔一爆。对比孔内不同分段起爆方案的效益, 最终确定 8 孔

分段起爆方案。

炸礁船在钻进过程中对已进行欲裂爆破的区域进行再次试钻, 结果为: 在 0.5 m 孔距的上部 0.4 m 覆盖层几乎无扰动; 3 m 的平均硬岩中, 只有底部以上 0.5 m 的岩区为松散, 从孔口到 -10.5 m 高程范围的岩区几乎无破坏, 成孔完好, 冲击器的响声均匀、响亮。因此初步判定底部装药量过少, 达不到整体欲裂破坏岩盘完整性及隔绝岩盘与延长段基础联系的目的。

3.3 爆破选择及装药结构

采用直径 90 mm 的药卷, 单卷质量 0.3 kg, 进行间断不耦合装药。药条从下到上由直径为 90 mm 的 2 个药包和直径为 90 mm 的 2 个沙袋构成。每节炸药用不同段别的雷管连接, 上部炸药用小段别, 底部炸药用大段别, 整个药条长 2 m, 可对平均深度 3.5 m 的欲裂孔进行欲裂。

在进行爆破施工前, 炸礁船已在施工区对爆破参数进行试验, 确定了 1.50 m × 1.25 m 的排距和孔距、超深 1.0 m 及 25% 装药量的爆破参数。在此爆破参数下, 装药结构和爆破网路的连接尤为重要。后期炸礁船在施工过程中对此进行了周密的安排和布置。1) 爆破装药量严格按照 25% 控制。2) 药包加工要求。当单孔药量大于 1 节时进行孔内微差处理。为加强药包之间的间隔, 要求在底部 2 个药包之间增放 2 个沙袋。并且在药条顶端再加 1~2 个沙袋, 见图 2。



图 2 药柱加工

由于施工后期紧张, 为了保证施工质量与爆破振动的要求, 选取 1.25 m 孔距, 区域施工爆破网路的变动较大。

1) 距离码头 15~18 m 采用多孔孔内微差起爆,单段最大药量 0.67 kg 即 0.25 节,单孔最大药量 2.66 kg 即 1 节,总药量不大于 21.36 kg,每次起爆 8 个孔(采用 2 条电缆,每条电缆起爆 4 个孔,起爆药量不大于 10.67 kg),见图 3a)。

2) 距离码头 18~20 m 采用多孔孔内微差起爆,单段最大药量 1.33 kg 即 0.5 节,单孔最大药量 4.00 kg 即 1.5 节,总药量不大于 64 kg,每次起爆孔数 16 个孔(采用 2 条电缆,每条电缆起爆 8 孔,药量不大于 32 kg),见图 3b)。

3) 距离码头大于 20 m,单段最大药量 2.67 kg 即 1 节,单孔最大药量 4.00 kg 即 1.5 节。按 25% 装药量确定。

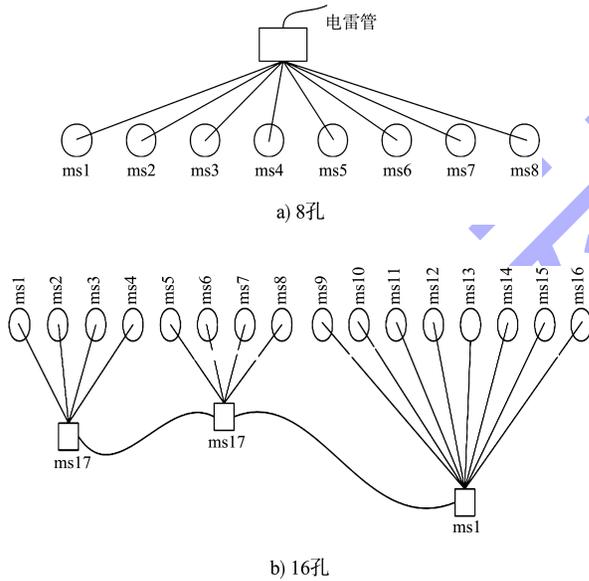


图3 起爆网络连接

3.4 爆破选择及装药结构

根据《爆破安全规程》的规定,爆破地震作用对建筑物影响的安全距离为:

$$R = \frac{K^\alpha}{v} Q^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中: R 为爆破地震安全距离, m ; Q 为延期爆破的最大单段炸药量, kg ; v 为安全振动速度, cm/s ; K 、 α 分别为与爆破点地形、地质条件有关的系数和衰减指数^[15], 系数 K 及 α 爆破振动安全允许标准的取值范围见表 1、2。

表1 系数 K 和衰减指数 α 值

岩石硬度	K	α
坚硬	50~150	1.3~1.5
中等	150~250	1.5~1.8
软	250~300	1.8~2.0

表2 爆破振动安全允许标准

保护对象类别	$v/(cm \cdot s^{-1})$		
	$f \leq 10$ Hz	$10 \text{ Hz} < f \leq 50$ Hz	$f > 50$ Hz
土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15~0.45	0.45~0.90	0.90~1.50
一般民用建筑物	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
工业和商业建筑物	2.5~3.5	3.5~4.5	4.2~5.0
一般古建筑与古迹	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.5
运行中的水电站及中心控制室设备	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9
水工隧洞	7~8	8~10	10~15
交通隧道	10~12	12~15	15~20
矿山巷道	15~18	18~25	20~30
永久性岩石高边坡	5~9	8~12	10~15
新浇大体 龄期初凝~3 d	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
积混凝土 龄期 3~7 d	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0
(C20) 龄期 7~28 d	7.0~8.0	8.0~10.0	10.0~12.0

注: 爆破振动监测应同时测定质点振动相互垂直的 3 个分量, v 为 3 个分量中的最大值, 而振动频率 f 则为主振频率。

研究范围周边需采取措施进行保护的主要有电厂控制室、保税区办公大楼、码头结构及设施、燃油过江管道。根据实际调查情况和相关规范要求, 选定相关参数 $K=150$ 、 $\alpha=1.5$, 北 3# 泊位码头延长段爆破振动速度控制标准为 3.5 cm/s。

在与北 3# 泊位最近距离 15 m 处进行施工, 确保最大单段药量不超过 1.8 kg。同时, 结合其他保护物的安全保护距离, 确保最大单段药量不超过安全允许装药量。

研究区域设立试爆区, 通过试爆结果的分析, 对爆破网络和起爆药量进行调整和优化。与保护对象(北 3# 泊位)的爆破距离与最大单段允许药量之间的关系见表 3。

表3 爆破距离与最大单段允许药量关系

爆破距离/m	15	18	21	24
允许药量/kg	1.8	3.1	5.0	7.5

4 结论

1) 爆破自由面的选取对爆破振动的影响较大, 在起爆前需做好充分的地质分析。减震孔欲

裂成缝有利于提高减震效果。

2) 水下深孔爆破中采用微差爆破有助于减小岩石的大块度,使爆破碎块相对更为集中。该方法对后续的清渣施工具有积极影响,能够提高整体施工效率并降低炸药使用量。

3) 在施工地质和爆破参数不明确的前提下,需通过不断试验探索最佳施工方案,以获取施工实际需要的参数。

参考文献:

[1] 肖俊平,吴新强.复杂环境下水下炸礁安全技术研究[J].珠江水运,2020(16):27-28.

[2] 王俊杰.港口工程建设中的水下基槽炸礁施工技术[J].中国水运(下半月),2020,20(2):161-162.

[3] 马修兵.内河航道整治生态炸礁疏浚技术研究[J].中国水运(下半月),2019,19(8):152-153,165.

[4] 张建球,廖德华,唐梦君.航道扩建工程水下炸礁爆破振动安全性判据研究[J].水运工程,2021(7):130-134,225.

[5] 覃贤.浅谈内河航道水下炸礁工程的施工方法[J].中国水运(下半月),2013,13(5):123-124,141.

[6] 王忠康,杨仕教,王富林,等.港口航道水下炸礁工程实践[J].爆破,2016,33(2):123-127.

[7] 喻灿星,覃国杰,曾丽.内河航道水下炸礁钻孔爆破技术研究[J].工程爆破,2021,27(4):58-63.

[8] 贺早亮,刘建刚.数码电子雷管在水下炸礁中的应用[J].工程爆破,2017,23(6):77-81.

[9] 张利洪,范智杰.宽孔距深孔微差爆破网络技术三峡库区航道炸礁工程中的应用[J].中国水运(下半月),2009,9(4):14-15.

[10] 谢宗梅.微差爆破在水下炸礁工程中的应用[J].中国水运(下半月),2018,18(9):151-152.

[11] 颜纯辉.微差爆破技术在山区河流水下炸礁工程中的应用[J].中国水运(下半月),2015,15(10):297-298.

[12] 王磊.微差爆破技术在林齿礁炸礁工程中的应用[J].水运工程,2017(S2):36-39.

[13] 张利洪.岩石微差爆破网络技术及研究[D].重庆:重庆交通大学,2008.

[14] 李亚军.论高等级公路石方路基施工中的综合爆破方法[J].民营科技,2017(5):131.

[15] 刘荣馨.水下钻孔爆破技术在航道整治工程中的应用[J].广西水利水电,2022(4):74-79.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第227页)

参考文献:

[1] 王晓军.我国多式联运发展现状及对存现在问题的思考[J].中国储运,2023(11):138-139.

[2] 孙梅玉,李明高,高晴,等.空轨系统在铁路多式联运集疏运中的应用前景探讨[J].铁道货运,2023,41(12):19-25.

[3] 钱秋英,姚建飞.港口采用智慧空轨集疏运系统的经济性分析[J].上海船舶运输科学研究所学报,2022,45(5):42-45,65.

[4] 耿卫宁,张来祥,李波,等.青岛港前湾港区空轨应用探

讨[J].水运工程,2020(8):86-90.

[5] 殷健,李永翠,耿卫宁,等.智能空轨集疏运系统设计[J].水运工程,2021(8):74-79.

[6] 王向阳,熊凯,王业流,等.空轨集疏运系统运行控制技术[J].控制与信息技术,2023(3):109-114.

[7] 雷成健.基于车车通信的空轨全自动运行控制系统关键技术研究[J].现代工业经济和信化,2018,8(9):43-44.

[8] 刘黎明,解培金,王超.一种货运空轨远程监视与维护系统设计[J].中国科技信息,2020(5):102-103.

(本文编辑 王璁)