

控制爆破施工技术在水下基岩开挖中的应用

彭晓钢

(深圳市天健集团股份有限公司 广东 深圳 518034)

摘 要 结合深圳河水下基岩开挖控制爆破工程实例,介绍了水下控制爆破工程的爆破方案设计,爆破地震效应监测,水中爆炸冲击波监测,压缩空气气泡帷幕,减震孔排等爆破安全防护技术,以及在复杂环境条件下运用监测数据及时优化爆破参数,实现工程控制爆破信息化施工的实践。

关键词 水下控制爆破 水下基岩开挖 监测 安全防护 信息化

中图分类号 TD235.3 **文献标识码** B **文章编号** 1000-3746(2003)04-0055-04

1 工程及地质概况

在治理深圳河第二期第二阶段合同 B 皇岗码头段河道非污染土开挖施工中,发现深圳河北岸 CH3 + 500 ~ 900 约 400 m 长的区段内有大量基岩存在,按此区段河道防护设计,需将这部分基岩挖除。根据工程工期要求,通过对几种方案的技术、经济比较,我们决定采用水下控制爆破的施工方法。

爆区位于福田区渔农村深圳河中轴线以北(北岸),桩号为 CH3 + 500 ~ 900,长度约 400 m,需爆破的宽度一般为 36 m,局部达 50 m。要求爆破岩石深度 1.0 ~ 3.2 m 不等。结合皇岗大桥防护方案,皇岗大桥桥墩四周 15 m 范围不爆,总计爆破方量约为 2 万 m³。

爆区周围环境复杂,南侧为深圳河南岸防浪墙及香港边境铁丝网,距爆区约 100 m;北侧为已建成的锚锭式复合挡墙及防浪墙,堤上为一条边防巡逻道路,路北 25 ~ 35 m 为居民楼区;爆区西端为皇岗沙码头;东面为合同 B 二工区营区。爆区环境如图 1 所示。

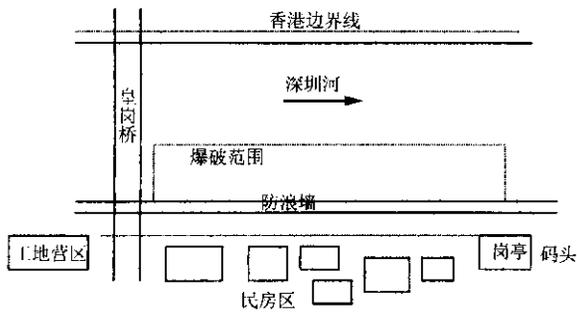


图 1 爆区环境示意图

据岩土工程勘察钻孔情况,各钻孔均见地下水,

爆破所遇岩石为强风化及微风化粗粒花岗岩,呈褐黄、褐红色,岩石表面裂隙发育,岩石硬度较大,钻进较困难,爆破性尚好。

深圳河本爆破区段是感潮区,受潮汐影响严重。爆破部位岩石顶面距涨潮最高水面 4 ~ 5 m,距落潮最低水面 1 ~ 2 m;河水流速较小,大多在 0.5 ~ 1.0 m/s;浪小,水面较平静。

2 爆破方案设计

2.1 水下控制爆破方案的选择

根据本工程的环境条件及爆破开挖深度,以采用 $\varnothing 60$ mm 乳化炸药的钻孔爆破法为优。

为降低爆破地震效应及控制水中冲击波的危害,采用微差起爆法及松动爆破,并调整爆破方向由西向东推进。在南北方向上(断面方向)将整个爆区分成 A、B、C 三区,先爆 A 区,再爆 B、C 区,C 区邻近岸边的 3 排炮眼最后爆破。各区之间超前 15 ~ 20 m,如图 2 所示。

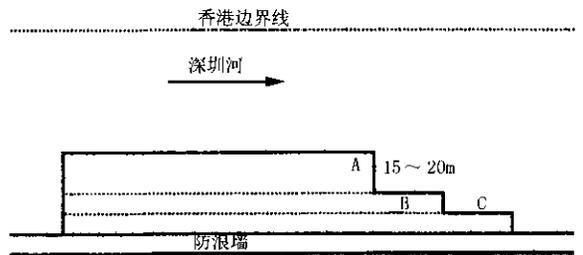


图 2 爆破分区图

由于爆破环境不利,需保护的目标较多,故必须采取多项防护措施,并通过爆破地震效应监测和水中冲击波监测进行信息化施工。

收稿日期 2002-06-13; 改回日期 2003-05-28

作者简介:彭晓钢(1972-),江西安福人,深圳市天健集团股份有限公司工程项目技术负责人、工程师,工程控制爆破专业,硕士,从事工程施工管理工作,广东省深圳市红荔西路市政大院 28 栋 104 信箱,13923812145,penxg@sohu.com。

综上所述,本工程采用的基本方案是:Ø60 mm 乳化炸药分区钻孔微差松动控制爆破,采用减震气泡帷幕和隔震孔排等多项防护措施,配合地震效应、水中冲击波监测的信息化施工方案。

为更有效地控制爆破危害,保护锚锭式复合挡墙及防浪墙的安全,靠近复合式挡墙 5~6 m 的范围,采用 Ø40 mm 浅眼微差松动控制爆破方案。

上述方案与其他方案相比,具有施工速度快、安全可靠、成型好的优点。

2.2 爆破参数选择

结合工程实际,选取垂直炮孔,呈排布设,相邻两排交错布置。爆破设计参数如表 1 所示。

表 1 爆破设计参数

项目	Ø80 mm 中深孔爆破	Ø40 mm 浅眼爆破	备注
炮孔直径 φ /mm	80	40	
药卷直径 D /mm	60	32	
炮孔深度 L /m	1.4~3.8	1.4~2.7	
爆破深度 H /m	1.0~3.2	1.0~1.3	随岩深不同而异
超深 Δh /m	0.4~0.6	0.3~0.4	随 H 不同而不同
孔间距 a /m	$(0.8 \sim 1.2)H$	0.8~1.0	
排间距 b /m	$(0.6 \sim 0.8)H$	0.6~0.7	
炸药单耗 K /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2.0~1.5	2.0~1.5	随岩石条件而异
炮孔装药量 Q /kg	$Q = kHab$	$Q = kHab$	

炮孔装药采用孔底起爆的连续装药结构,药包使用药卷密度 $> 1.25 \text{ g/cm}^3$ 的高密度乳化炸药,当购不到此种炸药时,药包应加配重装药,并用尼龙绳捆扎、吊放,吊放时可用竹炮棍协助下放。

2.3 爆破网络设计

本工程采用孔内微差混合起爆系统,在每个炮孔内装 2 发导爆管毫秒雷管,实现孔内微差,邻近 6~8 个炮孔引出的 12~16 根导爆管组成一簇,固定于露出水面的 PVC 管端部,每簇导爆管用 2 发瞬发电雷管引爆。各簇的电雷管串联,联接线固定在露出水面的 PVC 管顶,最后用绝缘导线作主线自爆区引至岸上,用强力电容式起爆器起爆,如图 3 所示。

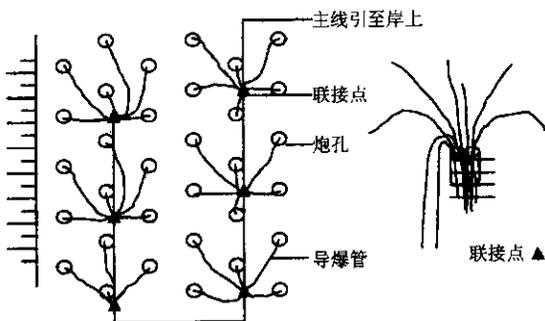


图 3 起爆网路图

注:图中线条均代表复线

选定段间时间间隔 $\geq 50 \text{ ms}$,以削弱爆破震动和水中冲击波的迭加。即选用 1、3、5、7、8……至 15 段导爆管毫秒雷管,或 2、4、6、7、8……至 15 段导爆管毫秒雷管。

3 爆破有害效应监测

鉴于本爆破工程必然会产生一定的爆破有害效应,如爆破震动、水中冲击波、浪涌、少量的飞散碎岩块、水柱及噪声等,而且由于爆区周围环境复杂,需保护的目标较多,必须确保皇岗大桥、复合式挡墙、楼房等周围建、构筑物的安全,因此,在爆破过程中实施了水中冲击波和震动监测,以此评价爆破震动及水中冲击波对周围环境的影响,进行信息化爆破施工。

3.1 爆破震动监测

本爆破工程测震仪采用 TOPBOX 爆破震动记录仪,拾震器采用 CD-1 型磁电式速度传感器,爆破震动测试系统如图 4。

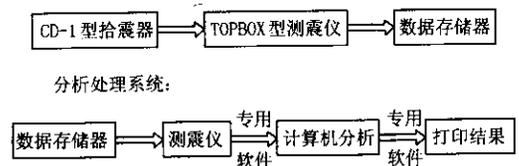


图 4 爆破震动测试系统框图

根据保护目标的不同,测试方法及测点布置也有所不同,需区别对待。

(1)对渔农村楼房的爆破震动监测。每次爆破进行时,根据距离爆破区域较近原则以及爆区附近楼房结构、质量等选择布放 3 个测点,每个测点测取垂直震动速度(安全评价标准以垂直震动速度比较),即在每个测点位置垂直安放拾震器,并用石膏固定。根据前期的多次测试结果,分析爆破震动的衰减规律,指导爆破用药量及爆破网路布置,确保楼房的质点震速符合安全标准。其中爆破震动的衰减规律一般按下式进行统计分析:

$$V = K(Q^{1/3}/R)^\alpha$$

式中: V ——测点震速, cm/s ; Q ——爆破单响最大药量, kg ; R ——爆源到测点的距离, m ; K 、 α ——拟合系数。

(2)对复合式挡墙爆破震动监测。每次爆破进行时,在距爆源较近的墙顶和墙身(贴近水面)布置 2 个测点,2 个拾震器分别垂直墙顶、墙身安放,根据测试结果调整爆破施工,确保复合式挡墙安全。

(3)对皇岗大桥的爆破震动监测。当爆源距桥

墩较远 ($R \geq 50 \text{ m}$) 时, 根据爆破震速衰减规律及设计爆破最大单响药量, 可以确保桥墩下的质点垂直震动速度 $V \leq 5 \text{ cm/s}$, 此时可不予监测; 当 $R < 50 \text{ m}$ 时, 在桥墩下布点监测。测试时, 拾震器在桥墩下垂直安放。

3.2 冲击波超压监测

无论采用何种水下爆破均会产生水中冲击波。根据理论分析和实测资料, 在无限水介质中进行水中点源爆炸, 水中冲击波超压可按经典的 P. 库尔公式计算:

$$\Delta P = 53.3(Q^{1/3}/R)^{1.13} \quad (\text{MPa})$$

实践表明, 在有限深度水域中进行的相同装药量的水下工程爆破, 水中点源爆破产生的冲击波强度最大, 水下裸露爆破次之, 水下钻孔爆破最小。特别是后者, 其冲击波超压与水深、流速、流向、钻孔布置方式、爆破参数、堵塞、起爆方式密切相关。

本工程采用的水中冲击波超压测试系统由 BJ-1000 型压电晶体式传感器、低噪声屏蔽电缆、KST 电荷放大器、SR50 磁带记录器、AD 采样变换器等元件和仪器组成, 将记录、采样获取的数据采用专用软件使用笔记本电脑分析计算和演示。测试系统组成如图 5。

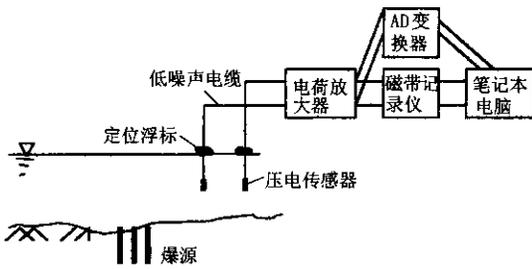


图 5 测试系统组成示意图

针对本工程水下爆破工点水域环境、爆破开挖设计参数和施工工艺的特点, 进行以下工作。

(1) 试爆时, 对水中冲击波传播规律进行了 3 次测试, 每次爆破布置一条测线, 按比拟距离的原则布放 5 个压电传感器, 进行水中冲击波传播规律测试, 分析计算出本工程水中冲击波超压:

$$\Delta P = K(Q^{1/3}/R)^\alpha \quad (\text{MPa})$$

式中: Q —— 爆破装药量, kg; R —— 测点至爆源的距离, m; K, α —— 分别为与水域条件和爆破方法有关的系数和衰减指数。

根据水中冲击波超压计算公式, 就能进行安全预报和指导后续爆破工程的施工和监测。

(2) 每次爆破施工时, 均需在复合式挡墙附近

布置水中冲击波超压测点, 对复合式挡墙进行冲击波超压安全监测。在距桥墩 50 m 范围内进行爆破作业时, 需对其安全进行监测。每次爆破布置一个测点, 而在距桥墩 50 m 范围以外进行爆破时, 爆破冲击波不会影响桥墩的安全, 不需对其进行监测。

4 爆破工程的信息化工

(1) 进行爆破震动、爆破水中冲击波的测试工作。测试工作从第一次试爆开始进行, 以现场实际测试数据指导爆破工作。需要监测的主要对象为: 防浪堤、岸上楼房及皇岗大桥。

(2) 在 A 区西端选取一块段进行试验爆破, 测定爆破震动及水中冲击波, 观察飞石、浪涌及爆破效果, 以进一步确定最佳爆破参数。

(3) 根据测试数据回归出一套大体的有关衰减指数与常数, 找出其传播规律, 从而为相应的计算提供依据, 同时, 结合爆破效果确定适宜的炸药单耗及其它爆破参数。

(4) 经大量监测, 可以回归出较为准确的有关常数, 据此指导爆破施工。例如: 震动常数 $K > 180$, 更为安全; $K < 180$, 则应以实测回归值来调整单段最大药量, 以使保护目标处的震动速度小于规范允许值, 保证其安全, 从而实现爆破工程的信息化工。

5 爆破安全防护技术措施

5.1 对爆破震动的安全技术措施

(1) 严格按设计进行装药, 不许多装, 单段最大药量, 按国标规定 3.0 cm/s 控制岸边楼房的震速, 按 1.5 cm/s 的震速控制复合式挡墙及皇岗大桥的震速。

不同距离 R 时单段最大药量如表 2。

表 2 单段最大药量

距离 R/m	单段最大药量 /kg	距离 R/m	单段最大药量 /kg
4	0.7	14	29.9
5	1.36	16	44.6
6	2.35	18	63.6
7	3.7	20	87.2
8	5.6	22	116.1
9	7.95	24	105.7
10	10.9	26	191.6
12	18.86	28	239.2

(2) 在复合式挡墙前方 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ 处及距皇岗大桥桥墩 $10 \sim 15 \text{ m}$ 处打 2 排密集减震孔, 孔径

80 mm,间距 0.5 m,孔深 3.5 m,以进一步阻隔爆破地震波,从而进一步保障复合式挡墙、岸边楼房及皇岗大桥的安全。

(3)根据爆破地震效应监测数据及时调整爆破参数,指导爆破施工。

5.2 对水中爆破冲击波及浪涌的安全技术措施

(1)严格按设计进行装药,不许多装。

(2)按计算,水中冲击波及浪涌对复合式挡墙及皇岗大桥的影响不大。为可靠起见,采用水中压缩空气气泡帷幕的防护措施。工程实践表明,该种安全技术措施的效果很好。

(3)及时利用水中冲击波监测结果,指导爆破施工。

5.3 对爆破飞石的防护

(1)严格按设计进行爆破施工,炸药不许多装,药包应沉至孔底,保证堵塞长度与堵塞质量。

(2)爆破时间尽可能选在有较深水(即涨潮)的情况下进行。

(3)复合式挡墙及桥墩四周搭设防飞石排架。

(上接第 37 页)

体通道截面面积一致性,避免过流通道时大时小,减少泥浆流动中的液力损失和卡阻现象;三是保证沿程管路的密封性,避免泥浆短路。在不得已使用正循环钻进的情况下,由于环状间隙大,泥浆上返流速低,则要加大泥浆密度和粘度,提高泥浆携带岩渣的能力。

4 滚刀钻头生产性试验

2001 年黑龙江有色工程总公司在滦河铁路特大桥进行桥基施工,所钻地层为硬质砂岩和凝灰岩,可钻性 8~9 级,研磨性强,共计 125 根桩,桩径分别为 1250 mm 和 1500 mm,孔深为 30~40 m,入岩 10~30 m,多数用我们研制的镶齿滚刀钻头钻进,其中 $\varnothing 1250$ mm 滚刀钻头 10 只, $\varnothing 1500$ mm 滚刀钻头 2 只,滚刀配件 100 把。用 GPS15 或 18 型钻机正循环钻进,历时 6 个月完成工作量 2000 余米,创出了可观的经济效益和社会效益。

排架为双层钢结构,上挂铁丝网与尼龙绳网,长度超出爆区 20 m,高度 5 m。

6 爆破效果

本次水下爆破工程爆破方量大,爆区周围环境复杂,需要保护的目标多,经过对爆破方案的分析、比较,我们选择了以 $\varnothing 60$ mm 乳化炸药分区钻孔微差松动控制爆破为主, $\varnothing 40$ mm 乳化炸药浅眼微差松动控制爆破为辅的综合方案。在施工过程中,根据爆破地震效应和水中冲击波监测结果,及时优化爆破参数,有效地将爆破地震效应和水中冲击波严格控制在设计允许的范围内,确保了保护目标的安全,实现了工程控制爆破的信息化施工。共爆破水下石方 15000 m^3 ,工期比机械凿岩方案提前 3 个月。

实践证明,在水下控制爆破工程施工中,采取压缩空气气泡帷幕和减震孔排等防护技术是非常有效的,可消减冲击波压力 30%~50%,降震 20%~60%,有力地保障了复合式挡墙、民用建筑、皇岗大桥、船只和人员的安全。

在试验过程中,滚刀寿命达 200~300 h,平均寿命 240 h 以上,由于采用正循环钻进,且钻机加压能力不强,实际钻压仅为 30~40 kN,钻进效率较低,为 15~25 cm/h,滚刀破坏形式主要是硬质合金及滚刀轮体过度磨损,多数滚刀轴承完好。滚刀寿命基本达到预计目标,获得施工单位和设计单位的好评。

5 结语

(1)随着钻孔施工技术的发展,要不断地提高和改进钻头的形式和结构。

(2)镶齿滚刀钻头应用于大口径嵌岩钻进施工是一种非常有效的破岩工具。

(3)进一步探索滚刀体材质及热处理工艺,在保证硬质合金齿镶嵌牢固的情况下,提高滚刀体表面硬度,以减少轮体磨损。

(4)拓展镶齿滚刀钻头的应用领域,研究开发镶齿滚刀扩底钻头及盾构用盘形滚刀。