

爆破挤淤水中冲击波对环境安全的影响评估与监测

梁向前, 谢定松, 陆遐龄

(中国水利水电科学研究院 岩土工程研究所, 北京 100044)

摘要: 马迹山港扩建工程围堤采用爆破挤淤法施工, 作业区周围环境复杂。为保证周围各构(建)筑物的安全和正常运行, 在分析爆破挤淤水中冲击波作用特性的基础上, 在施工初期进行了现场爆破模拟试验, 实测了水中冲击波测线和保护目标处的水击波压力值, 研究了水中冲击波的传播衰减规律, 给出了水中冲击波的经验计算公式, 并结合各构(建)筑物的结构特性, 提出了相应的安全控制标准。通过施工期的安全监测和工程控制, 确保了各被保护物的安全和正常运行。

关键词: 爆破挤淤; 水中冲击波; 压力特性; 安全评估; 安全监测

中图分类号: TV139.2

文献标识码: A

马迹山矿石中转港扩建工程的南围堤位于一期工程围堤堆料场以南的水下滩地上, 地形较平缓。泥面标高为-4~-6m, 其中南围堤东段约 200m 跨越深潭, 深潭泥面标高最深处达-15m, 采用爆破挤淤法施工, 在爆破挤淤作业区周围分布的构(建)筑物有后引桥、卸船码头、靠泊作业的散货船、商检楼等。尤为重要的是后引桥上的皮带运输机承担着矿石的卸船和装船工作, 必须保证其 24h 正常工作, 是工程的重点保护对象。为保证施工过程中产生的爆破地震波及水中冲击波不危及周边构建筑物安全, 对其进行了爆破振动和水中冲击波安全分析评价和现场监测。本文着重对爆破挤淤时水中冲击波的传播特性及安全监测进行分析。

1 爆破挤淤水中冲击波特性

由于水体的可压缩性小、传压性能好, 因此水下爆破将产生幅值较高的水中冲击波压力, 但其衰减较快, 压力作用时间极短, 通常为微秒级^[1,2]。水下爆破挤淤时, 因药包置于淤泥介质中, 炸药部分能量在淤泥中耗散, 与水下钻孔爆破、围堰拆除及水下岩坎爆破等有类似之处, 此时直接转化为水中冲击波的炸药能量有所减小, 因此, 爆炸时产生的水中冲击波峰值压力有较大的降低。

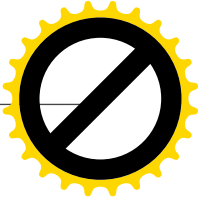
水下爆破挤淤时, 由于药包置于水底, 部分炸药能量将直接在基岩中产生较强的地震波并以较高的传播速度传播, 随距离增加而衰减的幅度较陆地爆破时慢。同时还受爆破地震波在水底界面处折射于水中产生的动水压力的影响。在中远区范围爆破地震波将先于水中冲击波抵达, 引起邻近建筑结构的冲击振动, 其传播速度受到爆炸条件、地形地质条件影响而有一定差别。

水下爆破冲击波压力与炸药爆炸威力、爆源深度、水域范围大小和深度有关^[3]。目前关于水中爆炸冲击波参数的计算主要采用库尔的经验公式^[1], 为

$$P_m = k \left[\frac{Q^{1/3}}{R} \right]^\alpha = 522.8 \left[\frac{Q^{1/3}}{R} \right]^{1.13} \tag{1}$$

式中: P_m 为水中冲击波的峰值压力, 10^5Pa ; Q 为水下爆破最大单响药量, kg ; R 为爆源至测点距离, m ; k 、 α 为与爆源性质和炸药品种有系数, 式中的系数值是通过装药密度为 1.52g/cm^3 的 TNT 炸药在深水爆炸试验得到的。

收稿日期: 2006-02-06
作者简介: 梁向前(1970—), 男, 山西襄汾人, 博士, 高级工程师, 主要从事岩土工程研究。E-mail: langxq@iwhr.com



2 水中冲击波压力对环境影响的安全评估

为了解当地条件下水中冲击波的传播衰减规律和水中冲击波压力对后引桥、卸船码头、货船的影响程度,并依据国家规程规范和相关工程经验,提出水中建筑物的水击波安全控制标准,在围堤施工的初期阶段,进行了现场爆破试验研究。

2.1 测试系统及测点布置 水击波压力监测在距围堤爆源位置近处布置了 2 个测点,在后引桥布置了 4 个测点,在卸船码头的迎爆面和货船泊位的迎爆侧共布置了 6 个测点。测点布置见图 1。

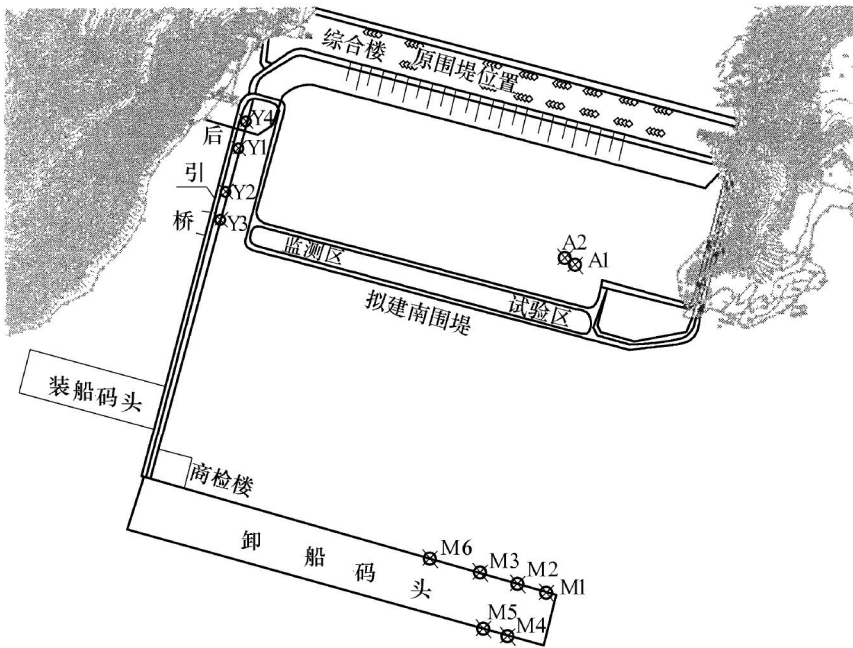


图 1 工程环境和测点布置

监测系统使用 CY-YD-202 型压电晶体水中压力计,配接 YE5853A 电荷放大器,频带为 1 ~ 100kHz,压力计的电信号通过 A/D 数据采集仪转变为数字量,输入到计算机,进行水击波传播全过程的监测。为保证现场观测数据的准确可靠,对所用的观测仪器进行了专门的系统整机标定。

2.2 观测结果分析

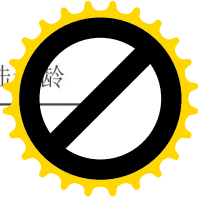
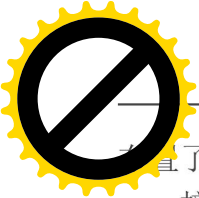
(1)后引桥水击波实测结果。在后引桥采用吊装入水的方法布置了 4 支水中压力计,测点深度为 2.5 ~ 3.0m,水中冲击波压力实测结果见表 1。

表 1 后引桥水中冲击波压力实测结果

试验测数	爆源位置	最大单响药量/kg	实测水中最大压力/Pa
1	爆破挤淤开始	150	$< 1.0 \times 10^4$
2	围堤 K0+878	150	$< 1.0 \times 10^4$
3	围堤 K0+874	300	1.0×10^4 (Y2 点)
4	围堤 K0+870	300	1.6×10^4 (Y3 点)
5	围堤 K0+842	300	1.6×10^4 (Y3 点)

施工初期,后引桥距爆破点约有 660 ~ 680m 的直线距离,距离较远,并且后引桥前的水深也较浅,退潮后有的测点处水深不足 2.0m,加上周围施工机械的影响,使后引桥处所受的水中冲击波压力很小。实测最大值出现在 Y2 和 Y3 点,仅有 1.6×10^4 Pa。分析认为,由于测点距爆破点较远,受水深条件影响和水面反射作用,水中冲击波在传至后引桥前被耗散,因此在施工初期,引桥桩基及桥面结构是安全的。

(2)卸船码头桩基和巨轮泊位处的水中冲击波实测结果。施工初期,挤淤爆破作业面距卸船码头较近,最近处约为 400m 左右,为此重点在卸船码头钢管桩和巨轮泊位处进行水中冲击波监测,在码头的最前端迎爆面的钢管桩前 M1 点处和相距 50m 的 M2 点,以及巨轮泊位处的 M5 点和船尾部 M4 点处共



布置了 4 支水中压力计,各测点的主要监测结果见表 2。

挤淤爆破单响药量为 300kg,距爆源约 410m 的钢管桩前承受的水中冲击波压力值最大为 $1.5 \times 10^5 \text{Pa}$,压力波脉宽为 1.0 ~ 1.6ms,作用主频为 500 ~ 312Hz,每次爆破总作用时间在 0.2s 以内。由于卸船码头为钢管桩基础,结构强度高,刚度大,而水击波作用时间又极短,因此钢管桩是安全的。巨轮泊位距爆源为 450m 和 520m(对应于 M4 和 M5 点),实测水中冲击波最大压力值为 $0.71 \times 10^5 \text{Pa}$,作用主频为 250 ~ 300Hz。在爆破挤淤施工时,货轮仍正常工作,未受到挤淤爆破的影响,船舶也是安全的。

2.3 水击波传播衰减规律 为了研究在马迹山地形地质条件下爆破挤淤产生的水中冲击波对周围建筑物的影响,除对重点结构部位实行定点监测外,还沿卸船码头向迎爆方向进行布点,进行挤淤爆破时水中冲击波的衰减规律测试,而近距离的测点仍利用测线上的近区点来布点监测,这样全测线距爆源 150 ~ 520m。对监测数据综合回归分析后,可得出围堤挤淤爆破施工时的水中冲击波传播衰减规律。

目前水下工程爆破安全监控中,一般以水中冲击波的峰值压力做为安全控制指标。马迹山港爆破挤淤水中冲击波衰减采用的库尔经验公式为

$$\Delta P = k \left[\frac{Q^{1/b}}{R} \right]^a = 195 \left[\frac{Q^{1/b}}{R} \right]^{1.31}, \text{相关系数 } R^2 = 0.97. \quad (2)$$

式中: ΔP 为挤淤爆破时产生的水中冲击波压力峰值, 10^5Pa ; Q 为挤淤爆破时最大单响炸药量, kg; R 为测点距爆源的距离, m; k 、 a 为经验计算公式的系数与指数,数值由实测数据回归分析得到。

水中冲击波传递波速为 1 520m/s。

从式(2)可看出,由于挤淤爆破时直接将药包放置于淤泥面,而水深一般为几米至十多米,所以属于浅水爆炸,自然爆炸时水面上出现水柱冲击的现象,这样就会减小水中冲击波的能量,使水中冲击波压力减小,随距离的衰减也会较快,所以经验计算式中系数 k 仅为深水爆炸时的 40%左右,而衰减系数 a 却增大至 1.31。因挤淤爆破时每次由导爆管连通多个药包,所以总作用时间稍有延长。另外因药包置于水底,使波形中均出现了反射波波形,但其压力值远小于首次压力值。

2.4 水中建筑物安全控制标准 通过爆破挤淤施工初期的现场试验结果,初步了解了水中冲击波的传播衰减规律和被保护对象的最大水击波压力值。按照国家爆破安全规程^[4]的相关规定,并参考其它工程的经验,如葛洲坝大江围堰拆除、三峡大江围堰拆除水域内爆破作业时提出的水击波安全控制标准,确定爆破挤淤水中冲击波的安全控制标准如表 3。

表 3 水中冲击波压力安全控制标准

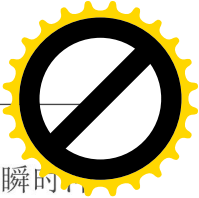
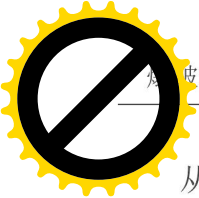
被保护对象	允许水击波压力 P_m
	$\times 10^5 \text{Pa}$
后引桥	≤ 2.0
卸船码头	≤ 2.0
货船	≤ 1.0

3 水击波压力对环境影响的安全监测

围堤爆破挤淤施工点距离后引桥较近,约为 120 ~ 200m,为保证后引桥、卸货船的安全和正常工作,对水中冲击波压力进行了安全监测。在距离爆源较近的后引桥桥侧、卸船码头迎爆面、卸货船泊位船侧、商检楼北边两角等位置水下不同深度处进行了水击波压力监测,监测结果见表 4,结果表明,各建筑物的最大水击波压力值均小于其安全控制标准。

表 4 水中冲击波压力监测结果(水下 4 ~ 5m 处)

测点位置	爆源情况	实测水击波压力 Pa
后引桥	总药量 288kg, 最大单响药量 72kg	1.20×10^5
卸船码头	总药量 288kg, 最大单响药量 72kg	0.40×10^5
货船泊位	总药量 216kg, 最大单响药量 54kg	0.27×10^5
商检楼	总药量 288kg, 最大单响药量 72kg	



从实测资料可知,后引桥和码头基频约为 6Hz,均处于较低频率范围,而水中冲击波作用属瞬时冲击,作用主频达 200~500Hz,高于结构基频数十倍,因此结构抵御水击波冲击的抗力是较强的。虽然船舶在泊位或卸货时处于较低频的摆动振荡中,对抵挡水击波冲击是不利的,但船舶停靠在码头的非迎爆面,水击波经过较为密集的钢管桩群的冲击反射作用后,衰减到船舶上的水压力值较小,同时,通过爆破规模和最大单响药量、段间延迟的控制,保证了卸货船的安全和正常作业。

4 结论

水下爆破挤淤施工利用炸药的爆炸能量达到泥石置换的目的,提高地基的承载力,同时,爆破过程中产生的水中冲击波和爆破地震振动也会对周围环境带来一定的安全影响。马迹山港围堤扩建工程的爆破挤淤施工过程中,通过对施工初期的现场试验观测,计算出当地地形条件下的水中冲击波传播衰减规律,和被保护对象处的水击波压力值。利用初期研究成果,提出被保护物的水击波安全控制标准,为爆破挤淤设计、施工提出了控制意见。对后引桥较近处的水击波压力监测发现,实测值均小于安全控制标准,工程施工能保证周围环境的安全。该爆破挤淤工程的水击波压力安全监测结果,有效地指导了工程的设计与施工,可供类似工程参考。

参 考 文 献:

- [1] 于亚伦.工程爆破理论与技术[M].北京:冶金工业出版社,2004.
- [2] 孟吉复,惠鸿斌.爆破测试技术[M].北京:冶金工业出版社,1992.
- [3] 北京工业学院八系《爆破及其作业》编写组.爆炸及其作用[M].北京:国防工业出版社,1979.
- [4] GB6722—2003,爆破安全规程[S].

Safety evaluation and monitoring of shock in water to surroundings due to squeezing soil by blasting

LIANG Xiang qian, XIE Ding song, LU Xia ling

(Dept. of Geotechnical Engineering, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract: The squeezing soil method by blasting was adopted in the construction of encircling embankment structure of Majishan Harbor. The surrounding was very complicated around the blasting area. In order to ensure the safety and normal operation of surrounding buildings and structures, the characteristics of shock in water due to squeezing soil by blasting had been analyzed, and a blasting simulation test at initial stages of blasting construction had been carried out. The pressure of measuring lines and protected buildings for shock in water was monitored. The propagation attenuation was obtained and an experimental calculation formula of shock in water was deduced. A safety control criterion for protecting buildings was put forward according to the structure characteristics of buildings and structures. By means of safety monitoring and controlling during construction period, all protected buildings were safe and operated normally.

Key words: squeezing soil by blasting; shock in water; pressure characteristic; safety evaluation; safety monitoring

(责任编辑:韩昆)