

海工挤淤爆破对周围民房的振动影响分析*

张南 方向 范磊 杜锴

解放军理工大学工程兵工程学院(江苏南京,210007)

[摘要] 挤淤爆破施工中,为了防止爆破振动对周围民房建(构)筑物的危害,对现场进行了爆破振动监测,经统计,振动危害均在控制范围内。通过对监测数据的回归和小波包分析发现,段药量和爆破地震波的主传方向对爆破振动效应影响都较大,水介质对爆破地震波的传播能力明显强于岩石介质;爆破振动能量主要集中在低频频带,高频部分很少。

[关键词] 挤淤爆破 民房建筑 振动效应 回归 小波包分析

[分类号] TV221 TD235.39

引言

连云港田湾核电站现有两个发电机组正在运行,为了适应国家经济发展战略转型要求,对能源结构进行调整改革,计划在现有基础上扩建至8个发电机组。本文结合连云港田湾核电站5#、6#机组扩建工程(明渠取水堤)挤淤爆破工程实例,分析了影响挤淤爆破振动效应的因素,同时提出了相关降振的方法措施,可提供给相似的工程实例作参考。

1 挤淤爆破工程概况

田湾核电站坐落于江苏省连云港市港口高公岛附近,目前已有1#、2#两个机组正在运行,现扩建6个机组,其中5#、6#机组需建一明渠穿过隧道从海中取水,本文的挤淤爆破工程为5#、6#机组一取水明渠的南堤,总长720m;为了保证堤身的稳定,工程采用爆破方法对其夯实。原泥石混层面坡度相对较缓,标高为-0.46~-1.62m,落底标高-3.35~-7.26m。爆破工程周围多民房建(构)筑物,因此在满足工程进度的同时,必须严格保证周围建(构)筑物的安全。

1.1 挤淤爆破参数设计

挤淤爆破中,采用微差爆破技术以降低振动危害效应,选择非电毫秒延期雷管,起爆网络由导爆管连接,炸药选用2#岩石乳化炸药,设定雷管段别随具体的爆破方案而定。装药设计参数如表1所示。

1.2 振动监测仪器及设定

为准确监测挤淤爆破引起的振动效应,选择EXP3850—3爆破振动记录仪和891—II型拾振器(包括垂向、水平径向和切向3个方向)作为本次的振动监测系统。EXP3850—3爆破振动记录仪(成

表1 参数设计

类别	单孔药量 /kg	段药量 /kg	药包 个数	药包 间距 /m	布药 宽度 /m	药包 埋深 /m
堤头 爆填	30~35	120~150	16	3~4	42~54	12~13
堤侧 爆填	25	200	40	3	40	7~9

都中科测控公司生产)是用来记录、分析爆破地震信号的便携式地震仪,具有3个通道,可同时记录爆破振动信号的3个分量。891—II型传感器(中国地震局工程力学研究所研制)分4个档位,1档测量加速度,2~4档分别测量中速度、大速度和小速度,本次监测中选用第4档。所有使用的监测仪器和传感器在进入现场前均已经过国家计量单位的标定。

1.3 测点布置

在临近民房附近靠近爆源一侧设置了4个测点,测点与爆源的空间位置关系如图1。民房区位于堤的西侧和南侧,堤南侧(3号测点处)为土丘;爆源距测点最近距离约620m,图中测点从北至南依次为1、2、3、4号测点,1、3、4号测点与爆源之间为深

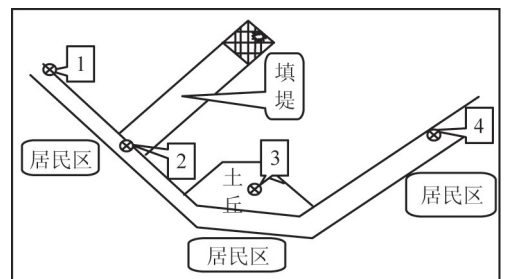


图1 空间位置示意图

* 收稿日期:2012-02-29

作者简介:张南(1989~),男,硕士,主要从事爆破振动监测与分析研究。E-mail:zhangnan0426zn@163.com

通讯作者:方向(1965~),男,教授,博导,主要从事智能地雷理论与技术研究。E-mail:racer911@163.com

度小于 1.5m 的海水,2 号测点与爆源间为岩石介质;网格部分为本文研究对象的爆填区域。

2 爆破振动监测数据分析

经专家分析论证,确定以质点振动速度和频率为控制物理量来评价监测爆破振动危害的影响程度。根据合同要求,本单位对 5#、6# 机组取水堤挤淤爆破工程的每个炮次进行了严格的监测,从爆破开工至今已监测了 150 个炮次,现挑选出 50 个炮次的的数据作为本文的研究对象。

2.1 质点振速峰值分析

1) 监测数据总体评估。由于施工现场周围的民房一般是砖房及非抗震性的砌块建筑物,所以取控制阈值为质点最大振速 $\geq 2\text{cm/s}^{[1-2]}$ 。经过对监测数据的统计,发现各监测点测得的最大质点振速峰值如表 2 所示。从表 2 可以清楚看出,挤淤爆破中,各测点区域的质点最大振速峰值均小于控制阈值,即爆破振动并未对周围民房产生破坏。

表 2 各监测点出现的质点最大振动速度峰值

cm · s ⁻¹				
控制标准	1 号测点	2 号测点	3 号测点	4 号测点
2	0.4651	0.3635	0.9733	0.9861

2) 影响参量的分析^[3]。以 3 号测点所测数据为例,根据单孔药量和段药量的不同将堤头爆破炮次分为 3 组,将相应监测结果对比分析,如表 3 所示。表 3 中根据对比分析可知,该测点处段药量对质点振速峰值的影响程度大于爆心距。另外,用同样的方法对其他测点监测值进行分析,发现同样的规律。由此可见,降低爆破整体规模、减小单孔药量、减小段药量,对降低监测区域爆破振动效应起主要作用。

表 3 堤头爆填时 3 号测点不同爆破参数对应的监测结果比较

分类	炮次	单孔药量 /kg	段药量 /kg	爆心距 /m	PPV* / (cm · s ⁻¹)
1	001 ~ 025	30.0	480.0	723.5 ~ 705.8	0.2048 ~ 0.3778
2	026 ~ 040	32.5	540.0	708.1 ~ 692.0	0.2784 ~ 0.6320
3	041 ~ 050	35.0	600.0	698.5 ~ 688.3	0.7102 ~ 0.9733

注: * PPV(peak particle velocities 的简写)指质点振速峰值,下同。

3) 不同测点区域质点振速峰值的对比分析。空间位置上,2 号和 4 号测点的爆心距相当,都在 700m 左右;测点与爆源之间介质不同,2 号测点与

爆源之间为岩石介质,4 号测点与爆源之间则以海水为主,选取这两个测点区域的监测数据进行对比。如表 4 所示。

表 4 2 号与 4 号测点的监测结果比较

测点	炮次	爆心距/m	PPV/(cm · s ⁻¹)
2 号	001 ~ 025	702.2 ~ 695.0	0.0912 ~ 0.2206
4 号	001 ~ 025	705.1 ~ 697.5	0.1903 ~ 0.3072
2 号	026 ~ 040	693.8 ~ 687.3	0.1835 ~ 0.3071
4 号	026 ~ 040	696.0 ~ 691.2	0.2701 ~ 0.4280
2 号	041 ~ 050	685.5 ~ 678.1	0.2532 ~ 0.3635
4 号	041 ~ 050	688.3 ~ 681.7	0.5905 ~ 0.9861

由表 4 可以看出,相同条件下,挤淤爆破对 4 号测点区域的振动影响大于 2 号测点区域。这说明相对于普通岩石介质来说,水介质对爆破地震波的传播更强。鉴于此结论,在类似的控制工程爆破振动影响时应该充分考虑地形结构、地质属性的因素。

4) 堤头爆填与堤侧爆填的对比分析。经过对所有测点监测数据精心挑选,取其中的 15(从前 25 炮中剔去 10 炮)个堤头爆填炮次,对 1 号测点和 3 号测点的监测数据分别进行回归,根据萨道夫斯基经验公式^[4]:

$$v = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha$$

式中: R 为爆心距, m; Q 为炸药量, 齐发爆破取总装药量, 微差爆破或秒差爆破取最大一段装药量, kg; K、α 为回归常数; v 是所测点因爆破引起地震振动速度, cm/s。

回归得到的衰减规律如下:

$$1 \text{ 号测点: } v = 391.5 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.623}$$

$$3 \text{ 号测点: } v = 355.3 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.537}$$

表 5 列出了堤头爆填和堤侧爆填的爆破参数和 1 号、3 号测点的部分监测结果。

把表 5 中堤侧爆填的数据代入相应的堤头爆填

表 5 侧向爆填和堤头爆填测试结果比较

爆破位置	炮次	段药量/kg	1 号测点		3 号测点	
			爆心距/m	PPV/(cm · s ⁻¹)	爆心距/m	PPV/(cm · s ⁻¹)
堤头	008	480	710.3	0.2591	718.8	0.3410
堤侧	002	560	715.0	0.6083	721.5	0.8552
堤头	015	480	699.5	0.2646	712.6	0.3492
堤侧	013	560	706.8	0.5635	717.3	0.7905

回归公式进行计算,发现堤侧爆填的回归值明显小于实测值,即同等药量条件下,堤侧爆填引起爆破振动强度高于堤头爆填;结合测点与爆源的位置关系,说明除了段药量对挤淤爆破振动效应有明显影响外,爆破地震波的主传方向(即垂直于炮孔中心连线方向)对振动效应也有较大影响。

2.2 频谱特征分析

对所取 50 个炮次质点振速峰值对应的主频进行统计分析,如图 2 所示。

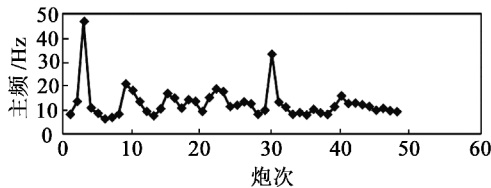


图2 各炮次振动主频的统计

由图 2 可见,各炮次测得的质点振速峰值对应的主频基本都小于 20 Hz,其中最大值为 47.8 Hz,最小值仅为 6.6 Hz。

据相关研究发现,振动主频对爆破振动效应具有不可忽视的作用,爆破振动频率的大小对结构物的破坏作用尤其重要^[5],因此挤淤爆破施工对周围民房建筑物的振动影响还应考虑频谱特征。以 046 炮次为例,该炮次时质点最大振速峰值在 4 号测点区域,对各测点振动监测信号采用小波包基 dB5 函数作小波包 7 层分解^[6-10],以 5 Hz 为带宽,分析其频带的能量分布规律。如表 6 所示为各测点区域不同频带能量所占比例。

表 6 各测点区域不同频带能量所占比例 %

频带范围 /Hz	1 号测点	2 号测点	3 号测点	4 号测点
0 ~ 5	3.26	1.13	0.82	5.57
5 ~ 10	45.52	36.02	18.35	62.08
10 ~ 15	11.80	35.69	46.71	16.35
15 ~ 20	28.45	18.76	11.93	10.21
20 ~ 25	2.08	0.75	12.05	0.73
25 ~ 30	6.85	2.06	7.62	3.29
30 ~ 35	0.81	1.91	2.17	1.37

表中可见,挤淤爆破引起各监测区域的爆破振动能量主要集中在低频频带,高频部分很少。较低层的民房建筑物受 4 ~ 12 Hz 的振动频率影响最为显著,而 5 ~ 20 Hz 的频率范围对单层住宅结构影响最大^[11]。施工现场周围民房建(构)筑物多为低层住宅,且根据对监测信号的分解得知约 80% 左右的

能量集中在 5 ~ 20 Hz 之间,因此建议在挤淤爆破施工中要严格控制段药量,并优化爆破设计方案,以减小挤淤爆破对周围建(构)筑振动的频率影响。

3 结论

通过对挤淤爆破工程中监测数据统计、数据回归分析以及信号的小波包分析得出:

1) 段药量对挤淤爆破振动效应的影响强于爆心距对其的影响,通过减小单孔药量,设计多段别起爆,用微差爆破方式能够有效降低振动危害。

2) 堤侧爆填振动强度大于堤头爆填,说明挤淤爆破中爆破地震波主传方向上(即垂直于炮孔中心连线方向)振动强度会明显增强。爆破工程实例中应尽量避免该方向正对被保护对象,这也为后续堤侧爆填参数设计的优化提供了理论依据。

3) 本工程中水介质对爆破振动的传播能力明显强于岩石介质,在设计爆破方案时要引起重视。

4) 挤淤爆破引起监测区域的爆破振动能量主要集中在低频频带,高频部分很少。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB6722-2003 爆破安全规程 [S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [2] 吴德伦,叶晓明. 工程爆破安全振动速度综合研究 [D]. 岩石力学与工程学报,1997(3):266-273.
- [3] 陆凡东. 防波堤爆破挤淤施工对在建核设施的振动影响分析 [D]. 南京:解放军理工大学工程兵工程学院,2010.
- [4] 张光州. 运用 MATLAB 对爆破振动数据的回归分析 [D]. 北京:北京科技大学,2005.
- [5] 娄建武. 工程爆破中的建筑物振动监测 [D]. 南京:解放军理工大学工程兵工程学院,2000.
- [6] 凌同华. 爆破振动信号不同频带的能量分布规律 [D]. 长沙:中南大学,2004.
- [7] 李夕兵. 爆破振动信号的小波分析与 HHT 变换 [D]. 长沙:中南大学,2005.
- [8] 宋光明,曾新吾,陈寿如. 基于小波包分析的爆破振动危害评价初探 [J]. 安全与环境学报,2002(4):23-26.
- [9] 李实,孔福利,徐全军,等. 强夯振动与爆破振动的信号特征对比分析 [J]. 爆破器材,2008,37(1):31-34.
- [10] 陶松全,罗朝盛,付显阳,等. 爆炸处理地基方法在渔港防波堤工程中的应用 [J]. 爆破器材,2003,32(1):28-32.
- [11] 叶海旺,房泽法,彭志刚. 爆破地震对结构的影响 [J]. 爆破,2000(1):17-20.

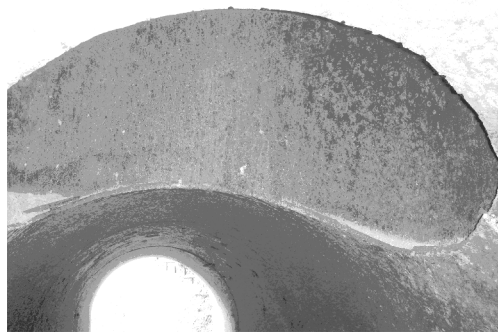


图 5 排风口与泄爆通道

作的便利性和自动化程度更高,操作更安全可靠;对爆炸产生的气体、烟尘进行更彻底的处理,使之排放达标,将是各种形态爆炸罐的发展方向。

5 结论

1)设计的爆炸罐经实际应用,可以连续重复、有效抵御 6kg TNT 当量爆炸冲击波及破片的破坏作用,收聚爆炸物破片,可有效保护人员、设施、环境的安全。

2)该爆炸罐实现了对场地条件要求的降低,减少了对天气条件的依赖。

3)通过附加的排风除尘系统,降低了爆炸产物对环境的污染。

Design and Application of Explosion Vessel for Destruction of Waste Ammunition

LUO Tongjie, WANG Baoling, NING Lingsheng

Disposal Center of He'nan North Hongyang Industries Group Co., Ltd. (He'nan Yunyang, 474678)

[ABSTRACT] On basis of the study on disposing the waste ammunition by explosion in the open air, this paper introduces the structure and functions of a kind of reinforced-concrete construction used for explosion and its relevant parts, and the detailed operating processes of the explosion. The conclusion of its application shows that the explosion vessel is design-reasonable, and can be continuously reused and be able to effectively resist the destructive action of the explosion shock and the fragments of 6 kg TNT equivalent. It takes 17 min to completed an operating cycle. At the same time, it also points out the development trend of the explosion vessels.

[KEY WORDS] destruction of the waste ammunition, explosion vessel, reinforced concrete structure

(上接第 37 页)

Analysis on Vibration Effect induced by Embankment Blasting Toe-Shooting on Buildings around the Monitoring Area

ZHANG Nan, FANG Xiang, FAN Lei, DU Kai

Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210007)

[ABSTRACT] In order to prevent surrounding buildings from the hazards of blasting vibration in the blasting toe-shooting, the on-site blasting vibration was monitored. Vibration hazards were within the control according to statistics. By means of regression of the monitoring data and analysis of the wavelet packet, it was found that both segment dose and chief propagation direction of blasting seismic wave have great influence on the blasting vibration. Propagation ability of water medium on blasting seismic wave was stronger than that of the rock medium. Meanwhile, the blasting vibration energy mainly concentrates on low frequency band, but presents insignificance on the higher frequency.

[KEY WORDS] blasting toe-shooting, buildings, vibration effect, regression, wavelet packet analysis

参 考 文 献

[1] 邱进芬,谢筑湘. 废旧炮弹销毁研究[J]. 工程爆破, 2004,10(1):82-86.

[2] 谷智国,杜润生,张怀智. 用车载式烧毁炉铸毁废雷管方法研究[J]. 爆破器材,2009,38(6):24-25.

[3] 宋华文,宋一中,高崎. 弹药处废点布局 and 处废能力设计研究[J]. 军械工程学院学报,1999,11(2):21-26.

[4] 王道全,吕国斌,郝斌,等. 利用抗爆小间销毁雷管的方法[J]. 工程爆破,2002,8(3):74-76,64.

[5] 宋桂飞,李成国. 废旧弹药封闭爆炸的破片质量分布[J]. 弹箭与制导学报,2008,28(1):128-130.

[6] 王泽波,郑志良. 爆炸及其防护[M]. 北京:兵器工业出版社,2008:268-279,514-515.

[7] 张守中. 爆炸基本原理[M]. 北京:国防工业出版社,1988:402.

[8] 北京工业学院八系编写组. 爆炸及其作用(下册)[M]. 北京:国防工业出版社,1978:287-289.

[9] 王泽山,张丽华,曹欣茂. 废弃火炸药的处理与再利用[M]. 北京:国防工业出版社,1999:232-233.

[10] 蒋仲安,金龙哲,陈立武,等. 掘进巷道粉尘控制技术的研究[J]. 中国安全科学学报,1999,9(1):11-15.

[11] 齐世福,田永良,王飞. 废旧弹药装运与销毁技术综述[J]. 爆破器材,2011,40(4):26-31.