

上海中环中心高层群楼拆除爆破振动测试分析

刘文广¹, 苏波²

¹上海消防技术工程有限公司, 上海

²广西新港湾工程有限公司, 广西 防城港

Email: xfblasting@126.com, 269341835@qq.com

收稿日期: 2021年6月30日; 录用日期: 2021年7月14日; 发布日期: 2021年7月29日

摘要

通过对上海中环中心高层群楼拆除爆破振动测试, 分析了拆除爆破产生的地震波频谱特性、加速度时程曲线和振动速度时程曲线, 分析得到: 爆破振动速度峰值和加速度峰值均小于安全阈值, 总体随着爆心距的增加而减小; 振动信号主频均在5~8 Hz之间, 与建(构)筑物固有频率范围0~12 Hz非常接近, 易引起共振产生破坏效应, 因此必须采取有效的减震防护措施。

关键词

拆除爆破, 爆破振动, 塌落振动, 主频

Test and Analysis of Blasting Vibration for High Buildings Demolition in Shanghai Central Center

Wenguang Liu¹, Bo Su²

¹Shanghai Fire Technology Engineering Co., Ltd., Shanghai

²Guangxi New Harbour Engineering Company Limited, Fangchenggang Guangxi

Email: xfblasting@126.com, 269341835@qq.com

Received: Jun. 30th, 2021; accepted: Jul. 14th, 2021; published: Jul. 29th, 2021

Abstract

Based on the demolition blasting vibration test of high-rise buildings in Shanghai Central Center, the frequency spectrum characteristics of seismic wave, time history curve of acceleration and time history curve of vibration velocity generated by demolition blasting are analyzed. The results

文章引用: 刘文广, 苏波. 上海中环中心高层群楼拆除爆破振动测试分析[J]. 土木工程, 2021, 10(7): 695-703.

DOI: 10.12677/hjce.2021.107079

show that the peak value of blasting vibration velocity and acceleration are both less than the safety threshold, and generally decrease with the increase of the distance from the blast center. The main frequency of the vibration signals is between 5~8 Hz, which is very close to the natural frequency range of 0~12 Hz of the building (structure). Therefore, it is easy to cause resonance and damage effects. Therefore, effective damping and protection measures must be taken.

Keywords

Demolition Blasting, Blasting Vibration, Collapse Vibration, Frequency

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城市建设发展和需求,一方面越来越多结构更为复杂的城市建筑物不能满足新的使用功能要求而需要拆除,另一方面,拆除对象周围一般都密集分布着众多需严格保护的重要目标。拆除对象结构和拆除环境的日趋多样化、复杂化,以及环境保护和现代化城市功能转换,对拆除技术提出了更严峻的挑战[1]-[6]。在建(构)筑物拆除爆破过程中,爆破振动与塌落振动是存在的两个最大负面效应,季杉等[7]通过现场试验探讨了爆破振动与塌落触地振动特点及传播规律,徐长琦、钟明寿、陆亮等分析城市高层建(构)筑物爆破拆除时爆破振动和塌落振动的特征及对周边建筑物的影响[8]-[14]。从上述已有研究可以看出,虽然目前针对坍塌触地振动已有大量研究,但是针对城市中心多栋超高层建筑塌落振动信号的特征研究较少。

本文通过对上海市中心城区四栋分别为 T1、T2 两栋框架核心筒结构、T3 框架结构和全剪力墙结构等超高层大楼多切口多向一次性爆破拆除的实践,对现场爆破振动的测试数据进行测试与分析,主要对振动速度峰值、主振频率、频谱特性进行对比分析。

2. 工程概况

上海中环中心建配龙及兴力达 B 区塔楼爆破拆除工程位于上海市普陀区,如图 1 所示。其中建配龙项目包括 T1、T2、T3 三塔楼为框剪结构,兴力达 B 区包括一栋公寓式办公楼,为全剪力墙结构。其中 T1、T2 分别均为 25 层,高度 106.2 m; T3 为 20 层,高度 91.4 m; 公寓楼为 31 层,高度 96.05 m。爆区东侧:真北路中环高架,距离待爆 T2、T3 楼最小距离 63 m。西侧:中环百联购物综合体,距离待爆公寓楼 29 m。南侧:110 kv 变电站,负责供应区政府、上海市疾控中心用电,距离待爆 T3 楼 22 m, T3 楼距离麦德龙商场 60 m。北侧:G2 沪宁高架,与 T1 楼 110 m。该工程爆破规模大且难度高,周边环境非常复杂,需要确保周边各种设施的安全。

3. 起爆顺序及测点布置

3.1. 起爆网路设计

根据现场环境和安全要求,为了保证各楼之间的爆破不受影响,本工程采取四栋楼结成一个大的复合网络,一次性起爆,各楼采用不同激发段位的半秒导爆管雷管激发,从而控制各栋楼之间的延期时间,依次倒塌,起爆顺序如表 1,四栋楼的倒塌顺序如图 2 所示。沿大楼倾倒方向, T1、T2、T3 上切口各爆

区孔内起爆雷管自前至后分别使用 HS3、HS4、HS5、HS6 段别，下切口 1~5 层各爆区孔内起爆雷管使用 HS4、HS5、HS6、HS7 段别，上切口先于下切口 0.5 秒起爆；同一切口内各层自下而上采用 ms5 延期；每个墙柱孔外使用 2 发延期雷管簇联传爆。各爆区簇联延期雷管通过导线联接成复式起爆网路。

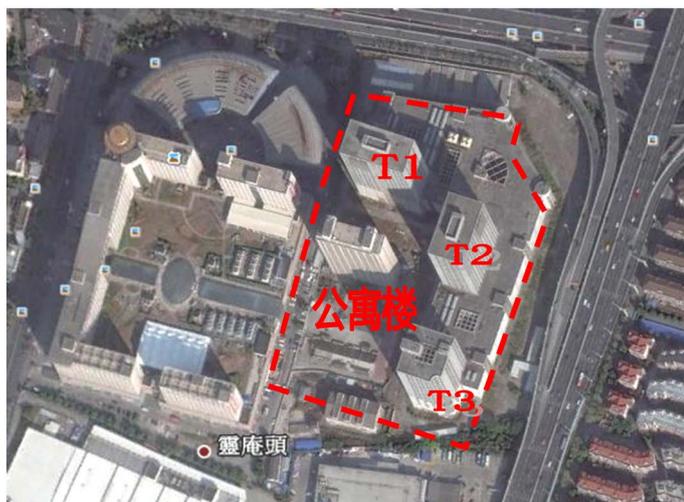


Figure 1. Satellite image of four buildings to be demolished
图 1. 待拆除四栋建筑卫星图

Table 1. Blasting time and initiation sequence table
表 1. 爆破时间及起爆顺序表

楼体号	击发雷管	爆破开始时间	爆破完成时间	落地时间
T1	MS1 (0 s)	1.0 S	4.0 s	8.6 S
公寓楼	HS3 (1 s)	2.0 S	5.5 s	9.9 S
T2	HS8 (3.6 s)	4.6 S	7.6 s	12.2 S
T3	HS9 (4.5 s)	5.5 S	10.0 s	14.3 S

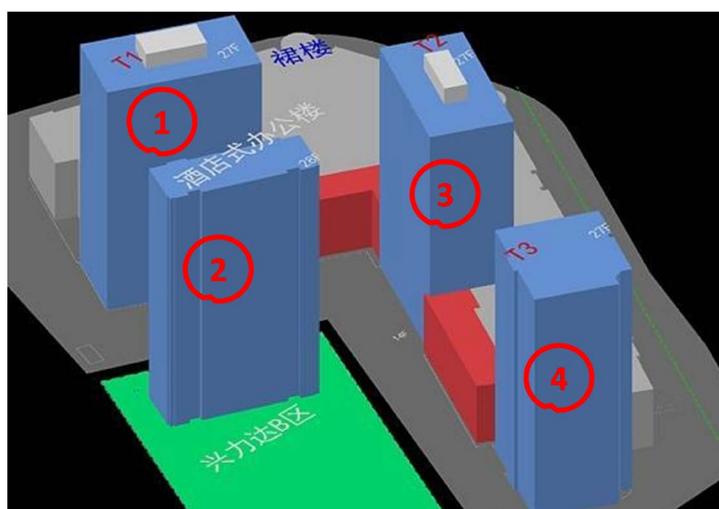


Figure 2. Schematic diagram of initiation network sequence
图 2. 起爆网路顺序示意图

沿大楼倾倒方向, 兴力达 B 区公寓楼上部切口各爆区孔内起爆雷管使用 HS3、HS4、HS5、HS6 段别, 中部切口使用 HS4、HS5、HS6、HS7, 底部切口各爆区孔内起爆雷管使用 HS6、HS7、HS8、HS9 段别。通过孔内延期, 上切口先于中切口 0.5 秒起爆, 中切口先于下切口 1.0 秒起爆; 每个墙柱孔外使用 2 发延期雷管簇联传爆。各爆区簇联延期雷管通过导线联接成复式起爆网路。

3.2. 测点布置

根据爆破周边环境及甲方要求, 将此次爆破振动监测的重要保护目标定为: 梅六小区、中环路高架桥桥墩、京沪高速高架桥桥墩、商场垃圾站、商场门口、商场垃圾场向西 50 米商场偏门。爆破期间, 在周围布置了 18 个测振点, 11 个选择速度为参量、7 个选择加速度为参量, 监测仪器采用 Blast-UM 爆破振动测试仪, 测点分布位置如下图 3 所示。测点 V1~V3 为曹安变电站 1 楼 10 KV 开关室, 距爆心 25 m。测点 V4 梅六小区岗亭处, 距爆心 128 m。测点 V6 为梅六小区周边变电箱位置处, 距爆心 145 m。测点 V8 为中环路高架桥桥墩位置处, 距爆心 75 m。测点 V9 中环路高架桥桥墩位置处, 距爆心 145 m。测点 V10 京沪高速高架桥桥墩位置处, 距爆心 125 m。测点 V11 商场垃圾站位置处, 距爆心 25 m。测点 V12 商场东出口处, 距爆心 35 m。测点 V13 商场垃圾场向西 50 米商场偏门, 距爆心 75 m。测点 A1~A7 位于曹安变电站 1 楼或 2 楼。



Figure 3. Schematic diagram of the placement of measuring points
图 3. 测点布置位置示意图

本次爆破振动速度和加速度检测方具有江苏省质量技术监督局颁发的检验检测机构资质认定证书, 检测方案和测点布置经过专家论证会通过。

4. 测试结果及其分析

4.1. 爆破过程分析及所测典型波形分析

整个爆破过程历时大于 15 s 左右, 按照 T1 楼、兴力达酒店式公寓楼、T2 楼、T3 楼依次起爆, 所测得的爆破振动波形分别由上述 4 栋建筑物的爆破振动及其塌落振动构成, 其典型波形如图 4~6 所示。由于仪器原因, 仪器在爆破振动达到仪器设置的阈值后采样 10 s, 可持续采样, 因此整个项目的爆破振动波形分成 2 个部分。由图 4~6 可以看出, 整个爆破振动持续约 15 s 左右, 这与爆破设计相符, 波形由频率较高的爆破振动以及建筑物倒塌后的塌落振动波形复合而成。爆破振动信号在 0~4 s 之间, 频率较高, 峰值速度较低; 建筑物倒塌后引起的塌落振动信号在 4~15 s 之间, 频率较低, 峰值振动速度大; 通过对测得的典型爆破振动波进行频谱分析, 爆破振动峰值位于频率较低的塌落振动区域, 峰值处的主频约 5~8 Hz (如图 7~9 所示)。

4.2. 峰值测试结果及主频分析

爆破过程中，所有测点测得爆破振动速度和加速度统计表如表 2 和表 3 所示。爆破振动主频 f 的范围是 0~10 Hz，各测点测得的质点振动速度范围是 0.59~1.71 cm/s，各测点的质点振动加速度范围是 0.034~0.085 g。测点 A2、测点 A6 位置处的爆破振动未达到爆破振动加速度传感器的触发值(0.015 g)。各测点测得的质点振动速度、加速度峰值都小于《爆破安全规程》GB6722-2014 中相应的质点振动速度最低限值，因此爆破未对保护目标安全产生影响，110 KV 变电站正常运行，附近麦德龙商场、百安居商场、民房、地下管线及周围其它设施均安然无恙，爆破减振效果完全达到预期。

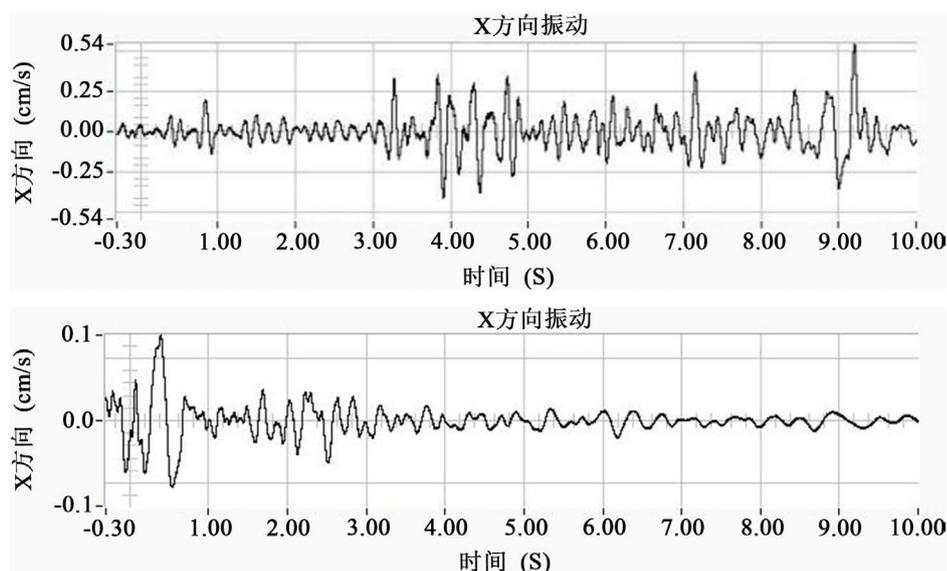


Figure 4. Typical blasting vibration waveform diagram (X direction)

图 4. 典型爆破振动波形图(X 方向)

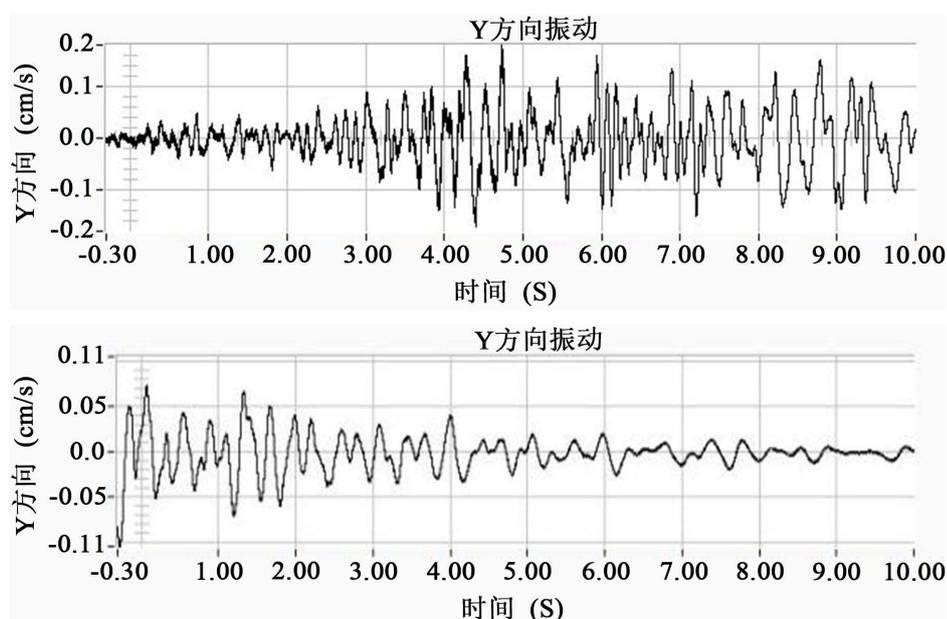


Figure 5. Typical blasting vibration waveform diagram (Y direction)

图 5. 典型爆破振动波形图(Y 方向)

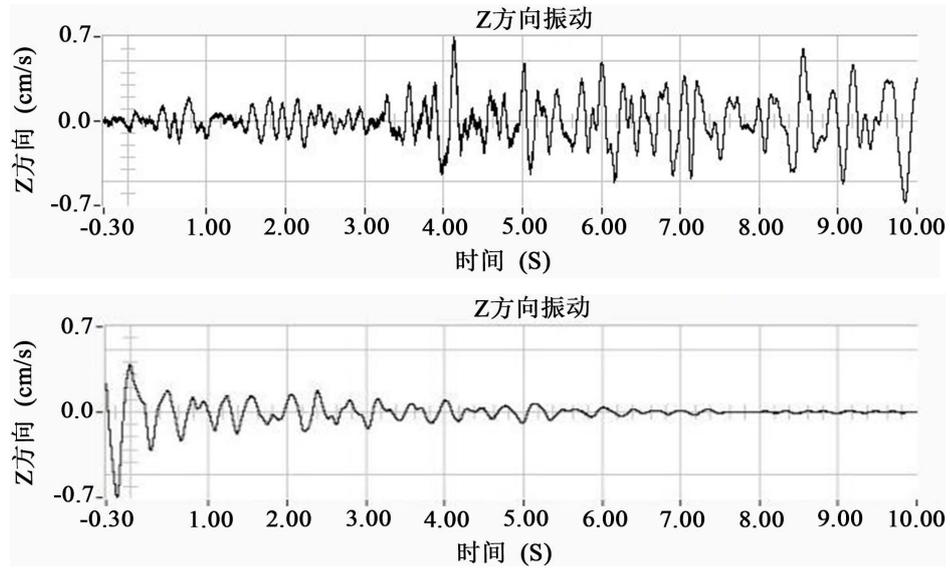


Figure 6. Typical blasting vibration waveform diagram (Z direction)

图 6. 典型爆破振动波形图(Z 方向)

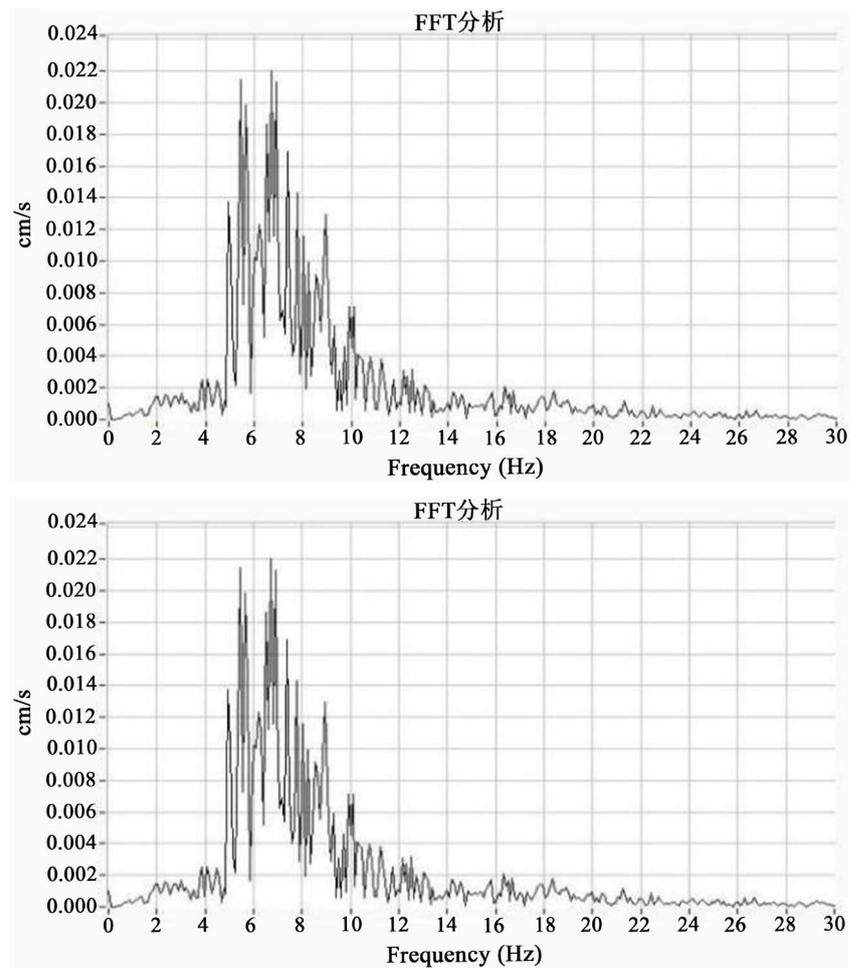


Figure 7. Typical blasting vibration spectrum diagram (X direction)

图 7. 典型爆破振动频谱图(X 方向)

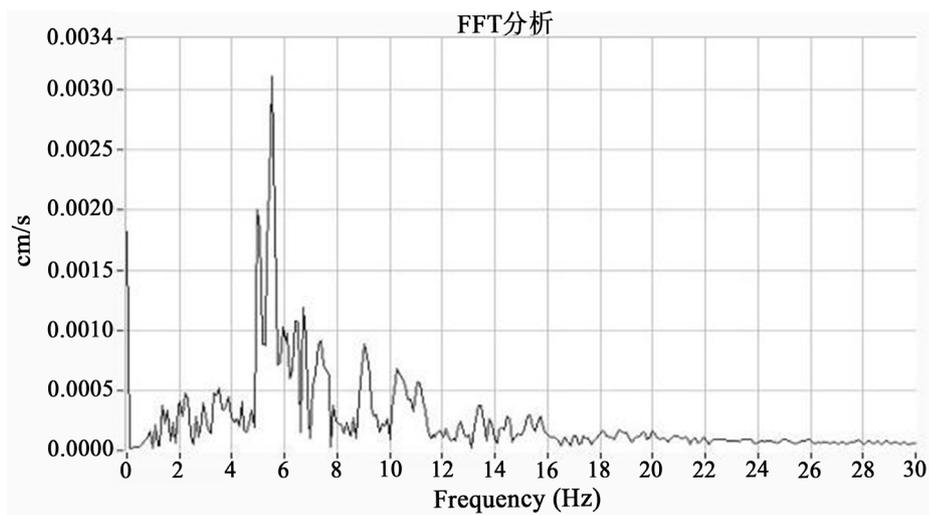
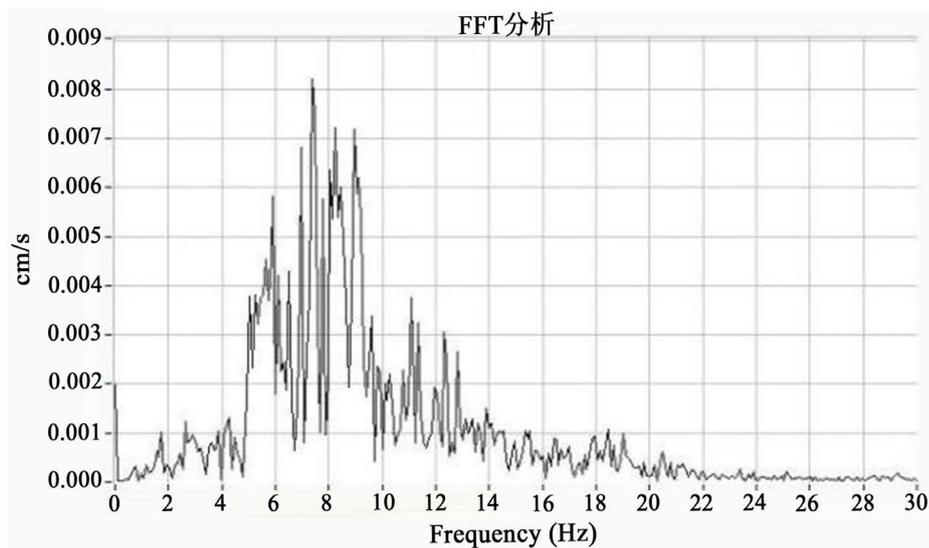
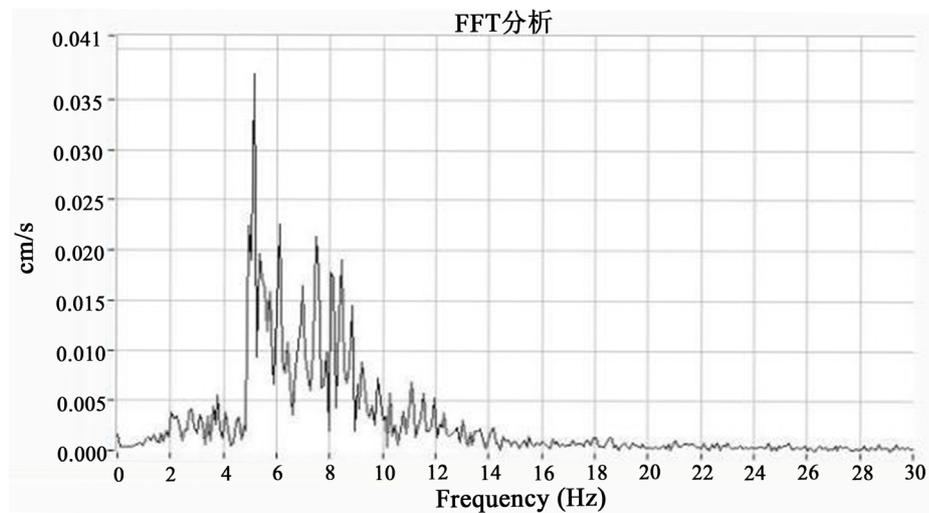


Figure 8. Typical blasting vibration spectrum diagram (Y direction)
图 8. 典型爆破振动频谱图(Y 方向)



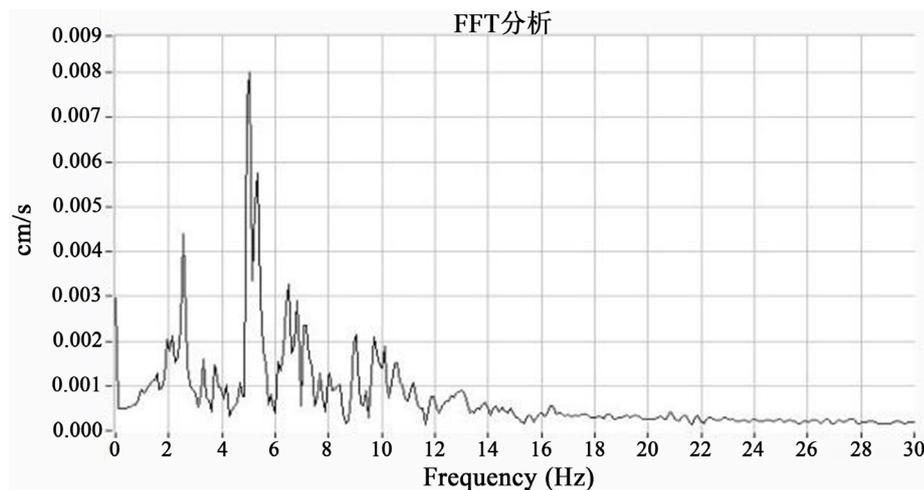


Figure 9. Typical blasting vibration spectrum diagram (Z direction)
图 9. 典型爆破振动频谱图(Z方向)

Table 2. Statistical table of blasting vibration velocity

表 2. 爆破振动速度统计表

测点编号	测点位置	峰值(cm/s)	主频(Hz)
测点 V1	曹安变电站 1 楼(距爆心 25 m)	1.25	5.8
测点 V2	曹安变电站 2 楼(距爆心 25 m)	1.71	5.1
测点 V3	梅六小区岗亭处(距爆心 128 m)	1.12	5.6
测点 V4	梅六小区变电箱(距爆心 145 m)	0.82	5.0
测点 V6	中环路高架桥桥墩(距爆心 75 m)	0.70	5.1
测点 V8	中环路高架桥桥墩(距爆心 145 m)	0.59	5.0
测点 V9	京沪高速高架桥桥墩(距爆心 125 m)	1.06	6.7
测点 V10	商场垃圾站(距爆心 25 m)	0.93	5.3
测点 V11	商场东出口处(距爆心 35 m)	1.09	5.4
测点 V12	商场偏门(距爆心 75 m)	1.29	7.3
测点 V13		0.63	6.1

Table 3. Statistical table of blasting vibration acceleration

表 3. 爆破振动加速度统计表

测点编号	测点位置	最大峰值(g)	主频(Hz)
测点 A1	曹安变电站 1 楼 2#主变压器室(距爆心最近距离为 25 m)	0.034	5.8
测点 A2	曹安变电站 1 楼 1#主变压器室(距爆心最近距离为 25 m)	未达触发阈值 0.015 g	
测点 A3	曹安变电站 1 楼 10 KV 开关室(距爆心最近距离为 25 m)	0.044	5.8
测点 A4	曹安变电站 1 楼 110 KV 开关室(距爆心最近距离为 25 m)	0.074	5.8
测点 A5	曹安变电站 2 楼控制室(距爆心最近距离为 25 m)	0.085	5.8
测点 A7	曹安变电站 2 楼控制室(距爆心最近距离为 25 m)	0.067	5.8
测点 A6	曹安变电站 2 楼 10 KV2#电容器室(距爆心最近距离为 25 m)	未达触发阈值 0.015 g	

5. 小结

通过对上海中环中心高层群楼拆除爆破振动测试, 分析了拆除爆破产生的地震波频谱特性、振动速度和加速度时程曲线图, 得出下列结论:

1) 通过采取折叠爆破、分区延期起爆时差、减振堤、减振沟等综合减振技术措施, 将建筑物倒塌触地振动大大降低, 振动速度和加速度峰值均小于安全阈值。有效保护了超近距离地下浅埋管线、110 kv 变电站、麦德龙商场和百安居商场等目标的安全。

2) 爆破塌落振动速度和加速度的主频均在 5~8 Hz 之间, 与高层楼房固有频率范围 0~12 Hz 非常接近, 易引起共振产生破坏效应, 因此必须采取有效的减震防护措施。

3) 爆破塌落振动峰值速度总体随着爆心距的增加, 振动速度峰值是减小的; 但是距爆心 145 m 的中环路高架桥桥墩位置处振动速度峰值为 1.06 cm/s, 比其它几个近距离测点反而大, 表明爆破地震波的衰减还与地形地质条件有关。

参考文献

- [1] 钟元清, 徐其敏, 吴显军. 4 栋整浇全剪力墙结构高层住宅楼爆破拆除[J]. 爆破, 2020, 37(1): 102-106.
- [2] 刘保龙, 李明祥, 王文超. 高层框架结构拆除爆破触地振动测试与特征分析[J]. 低温建筑技术, 2017, 39(10): 44-46.
- [3] 徐洋, 谢全民, 梅比, 贾永胜, 姚颖康. 远程测振系统在群楼拆除爆破振动监测中的应用[J]. 工程爆破, 2019, 25(6): 80-84.
- [4] 刘翼, 谢守冬, 傅建秋. 180 m 烟囱分段爆破拆除振动监测与安全分析[J]. 爆破, 2020, 37(3): 103-108.
- [5] 褚怀保, 叶红宇, 杨小林, 梁为民, 余永强. 基于损伤累积的爆破振动传播规律试验研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(2): 173-177.
- [6] 周家汉. 爆破拆除塌落振动速度计算公式的讨论[J]. 工程爆破, 2009, 15(1): 1-4+40.
- [7] 黄小武. 建(构)筑物爆破拆除塌落触地振动对地铁管片结构的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.
- [8] 季杉, 谢伟平, 王礼. 爆破振动与塌落触地振动特点及传播规律试验研究[J]. 振动与冲击, 2018, 37(11): 195-201.
- [9] 钟明寿, 龙源, 谢全民, 李兴华. 龙海大厦拆除爆破塌落振动与爆破振动的对比分析[J]. 工程爆破, 2009, 15(4): 58-61.
- [10] 林飞. 大型构筑物拆除爆破振动与塌落触地振动分析[J]. 爆破器材, 2019, 48(5): 61-64.
- [11] 许名标. 高耸构筑物爆破拆除触地振动试验研究[J]. 工程爆破, 2015, 21(2): 30-35.
- [12] 孙金山, 谢先启, 贾永胜, 王坤鹏, 罗启军, 韩传伟. 建(构)筑物拆除爆破塌落触地冲击荷载预测模型研究[J]. 爆破, 2014, 31(2): 14-17.
- [13] 刘铭. 爆破拆除建筑物塌落与触地振动响应分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [14] 路亮, 龙源, 谢全民, 张洋溢, 袁伟民. 高层楼房爆破塌落振动对周边目标影响的测试与分析[J]. 爆破器材, 2010, 39(2): 1-3.