

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.05.012

大型构筑物拆除爆破振动与塌落触地振动分析^{*}

林 飞

中煤科工集团淮北爆破技术研究院有限公司(安徽淮北,235000)

[摘 要] 对某两连体石灰窑的拆除爆破振动进行了监测,采集了石灰窑爆破及塌落产生的振动数据。石灰窑拆除塌落触地振动的场地常数 K 为 0.132,衰减指数 α 为 1.489,得出石灰窑塌落触地振动经验公式。爆破振动最大振动速度为 3.287 cm/s,主频主要集中在 6.104 ~ 28.076 Hz;塌落触地振动最大振动速度为 7.322 cm/s,主频主要集中在 2.441 ~ 6.714 Hz。塌落触地振动速度比爆破振动速度大,主频更接近建筑物的固有频率,因此,在大型构筑物倒塌方向应采取缓冲措施。这些资料可为石灰窑、烟囱及楼房等大型建筑物的爆破拆除设计及对周围环境的影响评估提供参考。

[关键词] 石灰窑;爆破拆除;爆破振动;塌落触地振动;振动测试;大型构筑物

[分类号] TU746.5

Analysis of Blasting Vibration and Collapse Ground-touching Vibration in Demolition of Large Structures

LIN Fei

Huaibei Blasting Technology and Engineering Institute Co., Ltd., CCTEG (Anhui Huaibei, 235000)

[ABSTRACT] Demolition blasting vibration of a two-piece lime kiln was monitored, and the vibration data generated by blasting and lime kiln collapse were collected. The site constant K of the limestone kiln's collapse and ground vibration is 0.132, and the attenuation index α is 1.489. Empirical formula of the lime kiln collapse grounding vibration was obtained. The maximum vibration velocity of blasting vibration is 3.287 cm/s, and the main frequency is mainly concentrated at 6.104-28.076 Hz. The maximum vibration velocity of collapse grounding vibration is 7.322 cm/s, and the main frequency is mainly concentrated at 2.441-6.714 Hz. Collapse ground-touching vibration speed is greater than that of blasting vibration, and the main frequency is closer to the natural frequency of the building. Therefore, buffer measures should be taken in the collapse direction of large structures. The study can provide reference for the blasting demolition design of large buildings such as lime kiln, chimney and buildings and the impact assessment of the surrounding environment.

[KEYWORDS] lime kiln; blasting demolition; blasting vibration; collapse ground-touching vibration; vibration test; large structures

引言

爆破工程中产生地震波的方式主要有两种:一种是由炸药自身爆炸产生的爆破地震波;另一种是由爆炸物破碎后塌落触地产生的地震波^[1]。随着国民经济建设的发展,大型构筑物的爆破拆除工程越来越多,对于爆破振动和塌落触地振动的研究逐渐成为了爆破从业人员关注的重点。徐长琦^[2]以某二十层高楼和某十二层高楼为研究对象,结合两

个工程爆破实例对地面振动进行了实时监测,并根据监测数据对爆破振动和塌落触地振动两方面进行了对比。季杉等^[3]采用单柱爆破试验研究爆炸引起的振动特点及其传播规律,利用单跨梁体爆破试验研究爆炸物塌落触地引起的振动特点及其传播规律。许名标^[4]指出,高耸构筑物爆破拆除触地振动对周围的影响不容忽视。

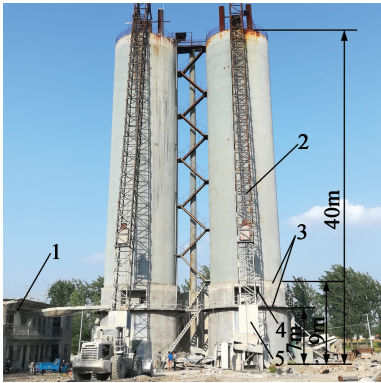
结合近年来爆破拆除工程的相关成果,爆破振动与塌落触地振动方面的研究在总体上尚不充分,而爆破振动与塌落触地振动的规律对构筑物爆破拆

^{*} 收稿日期:2019-01-04
第一作者:林飞(1989-),男,工程师,研究方向为露天矿山与煤矿井下爆破的理论与技术。E-mail:357028615@qq.com

除工程的精细化设计与施工至关重要^[5]。

1 工程概况

由于环保要求,安徽省某石灰窑厂的两座连体石灰窑需进行爆破拆除。两座石灰窑相距 3 m,南北方向由角钢楼梯、窑空气净化管道焊接相连。两座石灰窑结构相同,窑体高为 40 m,直径 8 m,石灰窑 9 m 高以上部分为 10 mm 厚钢板外壳,内部为耐火砖结构;下部为 9 m 高的砖混结构,内部支撑柱为钢筋混凝土结构,重约 1 500 t,属于大型构筑物,如图 1 所示。



1 - 厂房;2 - 上料提升钢架;3 - 圈梁;
4 - 操作间;5 - 出料口。

图 1 石灰窑外观图

Fig. 1 Lime kiln appearance

石灰窑北面 4 m 为厂房,厂房北面 12 m 为待拆民房,距北侧 S202 省道 80 m,距西面乡道 56 m,距南面通信电缆 30 m,仅东侧为开阔场地,无任何建筑物。考虑到石灰窑落地后会有前冲惯性,故选择东侧为石灰窑倒塌方向,如图 2 所示。

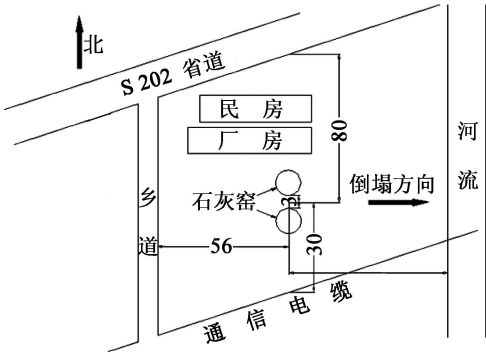


图 2 石灰窑爆破周边环境(单位:m)

Fig. 2 Surroundings of the lime kiln to be blasted

两座石灰窑同时定向倾倒爆破拆除。采用倒梯形爆破切口,切口长度 $L = 15.4\text{ m}$,切口角度为 220° 。定向窗布置分上、下两层,上层利用窑体南、

北两个操作间,下层定向窗采用机械开凿。共钻孔 230 个,最大钻孔深度为 1.6 m,孔内由前到后采用 1、2、3、4 段半秒导爆雷管入孔,孔外雷管采用 3 段毫秒导爆雷管传爆,最大单孔装药量为 1 kg,最大单段起爆药量为 16 kg^[6]。

2 爆破振动和塌落触地振动测试

2.1 测试系统及测点布置

在描述爆破振动强度的诸多参数中,地面质点振动速度是评测建筑物破坏对周边环境影响的最相关参数。GB6722—2014《爆破安全规程》也指出,地面质点峰值振动速度和主振频率是爆破振动安全允许标准的评定依据^[7]。

本次爆破振动监控使用四川拓普测控科技有限公司生产的 NUBOX-6016 爆破振动记录仪和计算机组成的监测系统,实行多通道数据采集、存储和分析。测试中采用 TP3V-三维速度传感器、低噪声屏蔽电缆。

根据爆区周围环境情况及石灰窑预定的倒塌区域综合分析,在爆破区域附近共选择了 6 个测点。其中,在爆区旁厂房布置 1 个振动传感器,北侧小路布设了 4 个振动传感器,在爆区西侧乡道布置 1 个振动传感器。从起爆至石灰窑完全落地时间很短,故石灰窑爆破振动和塌落触地振动数据均由同一个振动传感器进行监测。

石灰窑爆破振动 1#~6#测点与石灰窑底部中心(即爆心)的水平距离分别为 12.1、36.1、44.7、53.8、63.2 m 和 58.4 m,如图 3 所示。

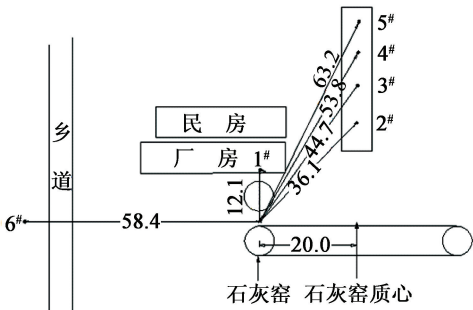


图 3 石灰窑爆破振动各测点布置图(单位:m)

Fig. 3 Lime kiln blasting vibration measurement points layout(unit:m)

石灰窑塌落触地振动 1#~6#测点与石灰窑塌落质心的水平距离分别为 23.4、30.0、40.0、50.0、60.0 m 和 78.4 m,其中,2#、3#、4#、5#测点沿石灰窑倒塌后质心正北方向呈径向排列。各测点布局如图 4 所示。

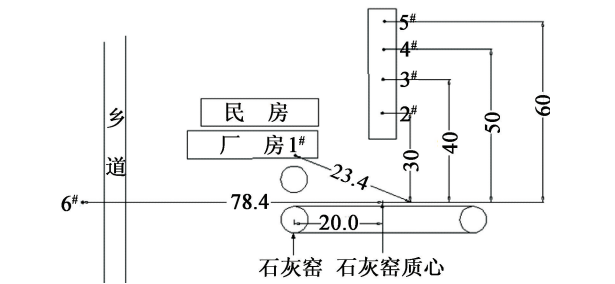


图4 石灰窑塌落触地振动各测点布置图(单位:m)

Fig. 4 Layout of measuring points for collapse ground-touching vibration of lime kiln(unit:m)

2.2 实测数据

经对现场实测数据进行分析整理,剔除不合理数据,获得实测有效振动速度波形图6个。爆破振动实测数据如表1所示。表1中的爆心水平距是指石灰窑的爆心至各测点的水平距离。

表1 爆破振动实测数据

测点	爆心水平距/m	爆破振动	
		速度/(cm·s ⁻¹)	主频/Hz
1 [#]	12.1	3.287	16.479
2 [#]	36.1	0.105(舍)	6.104
3 [#]	44.7	1.717	8.545
4 [#]	53.8	0.275(舍)	13.428
5 [#]	63.2	1.068	28.076
6 [#]	58.4	0.218	9.766

石灰窑塌落触地振动实测数据如表2所示,由于石灰窑上部由厚钢板外壳包裹,落地后未发生解体,且上唇磕地现象不明显,故塌落测振距离采用石灰窑质心到测点的距离。表2中,振中距是指石灰窑质心落地点至各测点的距离。

表2 塌落触地振动实测数据

测点	振中距/m	塌落触地振动	
		速度/(cm·s ⁻¹)	主频/Hz
1 [#]	23.4	7.322	2.441
2 [#]	30.0	4.003	4.883
3 [#]	40.0	2.397	4.883
4 [#]	50.0	1.924	4.883
5 [#]	60.0	1.802	6.714
6 [#]	78.4	0.720	5.493

3 结果与分析

3.1 石灰窑塌落触地振动的衰减规律

对于石灰窑塌落触地振动,质点振速主要与石

灰窑触地冲量及距离相关。根据相似原理,通常采用中科院力学研究所周家汉教授提出的塌落触地振动经验公式^[8]:

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

(1)

式中: v 为石灰窑塌落触地引起测点处的质点峰值振动速度,cm/s; I 为石灰窑塌落触地冲量, $I=m(2gh)^{1/2}$,其中 m 是石灰窑质量,kg, h 是石灰窑重心高度,m, g 是重力加速度,9.8 m/s²; R 为测点至石灰窑质心落地点距离,m; K 、 α 为与石灰窑塌落方式相关参数和塌落触地振动衰减系数。

将表2中塌落触地振动速度、振中距和石灰窑塌落触地冲量按经验公式(1)进行回归分析,计算得出,石灰窑拆除塌落触地振动的场地常数 K 为0.132,衰减指数 α 为1.489。石灰窑塌落触地振动的相关系数 γ 大于0.9,说明数据规律性好,具有线性相关性。

由此得出石灰窑塌落触地振动的经验公式:

$$v=0.132\left(\frac{\sqrt[3]{I}}{R}\right)^{1.489}.$$

(2)

3.2 振动波形持续时间历程分析

由于从起爆至石灰窑完全落地时间很短,爆破振动和塌落触地振动波形均体现在一个波形图中,典型测点(5[#])的质点振动速度波形如图5所示。

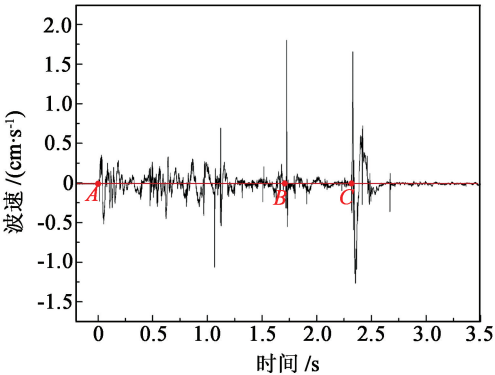


图5 5[#]测点振动波形图

Fig.5 Vibration waveform of Measuring Point 5[#]

通过5[#]测点的振动波形图可知,从开始起爆到两石灰窑完全塌落共持续了约2.7s。

两个石灰窑的爆破会产生3个主要的振动信号,第一个振动信号A是由炸药爆炸产生的,它会首先传达到测点振动传感器而收集到振动信号,由爆破产生的振动信号的特点是振动幅值小、频率较高^[9],爆破振动持续时间约1.7s;随着爆破过程的进行,两个石灰窑相继塌落,在1.706s时,距离厂房较近的石灰窑因为距离布置测点较近,从而产生

第二个振动信号 B , 在石灰窑塌落触地后, 波形很快趋于平缓, 振动持续时间约 0.4 s ; 在 2.329 s 时, 距离厂房较远的石灰窑塌落, 产生第三个振动信号 C 。石灰窑在塌落时由于重力的原因对地面产生较大的冲击力, 石灰窑塌落产生振动信号的特点是振动幅值大、频率较小, 所以在 B 点和 C 点波峰相对较高; 但根据距离测点越远信号越弱的原理, B 点的波峰比 C 点的波峰高是合乎规律的。

爆破振动持续时间比塌落触地振动持续时间长, 主要原因: 塌落触地振动是爆破窑体整体的单次振动, 而爆破振动由于采用微差爆破, 不同时间由炸药爆炸产生的地震波依次传向测点。

3.3 爆破振动及石灰窑塌落触地振动速度、主频对比

由表 1 知, 在 1[#]测点距石灰窑爆心水平距最近 12.1 m 处, 测得最大爆破振动速度为 3.287 cm/s , 爆破振动主频主要集中在 $6.104 \sim 28.076\text{ Hz}$; 由表 2 知, 在 1[#]测点距石灰窑塌落质心的振中距最近 23.4 m 处, 测得最大塌落触地振动速度为 7.322 cm/s , 塌落触地振动主频主要集中在 $2.441 \sim 6.714\text{ Hz}$ 。

对比得出, 塌落触地振动最大振速是爆破振动最大振速的两倍以上, 且主频都比爆破振动主频小, 具有一定的规律性, 主要集中在 7 Hz 以下; 由于建筑物的固有频率较低, 故塌落触地振动对于周边建筑物的安全危害更大。

4 结论

1) 石灰窑拆除塌落触地振动的场地常数 K 为 0.132 , 衰减指数 α 为 1.489 , 由此得出石灰窑塌落触地振动的经验公式 $v = 0.132(\sqrt[3]{I/R})^{1.489}$ 。

2) 最大爆破振动速度为 3.287 cm/s , 最大塌落触地振动速度为 7.322 cm/s 。爆破振动持续时间比塌落触地振动持续时间长, 塌落触地最大振动速度是爆破最大振动速度的两倍以上。

3) 石灰窑爆破振动主频主要集中在 $6.104 \sim 28.076\text{ Hz}$; 塌落触地振动主频主要集中在 $2.441 \sim 6.714\text{ Hz}$, 更接近建筑物的固有频率, 对于周边建筑物的安全危害更大。

4) 通过对比爆破振动和塌落触地振动, 距离石灰窑塌落振中距 23.4 m 处塌落触地振动速度达到了 7.322 cm/s , 对于周边建筑物的安全危害更大; 因此, 在高耸建筑物、石灰窑、烟囱等拆除爆破时应采取减振沟槽措施, 并在倒塌范围内布置缓冲垫层以

减小振动。

参 考 文 献

- [1] 谢春明. 基于爆炸载荷的框架结构建筑物拆除数值模拟研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
XIE C M. Numerical simulation study of frame structure buildings demolition based on blasting load[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016.
- [2] 徐长琦. 高层建筑爆破中爆破与塌落振动对比分析[J]. 广东建材, 2018(9): 64-67.
- [3] 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.
JI S, XIE W P, WANG L. Tests for ground vibration characteristics and propagation laws due to blasting and touchdown impact[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(11): 195-201.
- [4] 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.
XU M B. Experimental study on blasting demolition touchdown vibration of the towering structure[J]. Engineering Blasting, 2015, 21(2): 30-35.
- [5] 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]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.
HUANG X W. Study on the influence of subway segments structure under impact vibration induced by collapse of building in demolition blasting[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2015.
- [6] 叶晓华, 苏海军. 立式石灰窑定向爆破拆除[J]. 爆破, 2008, 25(3): 81-83.
YE X H, SU H J. Directional blasting demolition of vertical limekiln[J]. Blasting, 2008, 25(3): 81-83.
- [7] 王迪安. 79 m 高烟囱拆除爆破振动与塌落触地振动对比分析[J]. 工程爆破, 2006, 12(1): 86-89.
WANG D A. Comparison between blasting vibration and touchdown vibration in demolishing collapse of a 79 m high chimney[J]. Engineering Blasting, 2006, 12(1): 86-89.
- [8] 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.
ZHOU J H. Discussion on calculation formula of collapsing vibration velocity caused by blasting demolition[J]. Engineering Blasting, 2009, 15(1): 1-4, 40.
- [9] 刘铭. 爆破拆除建筑物塌落与触地振动响应分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
LIU M. Analysis of buildings collapsing by blasting demolition and touchdown vibration response[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014.