

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.03.018

180 m 烟囱分段爆破拆除振动监测与安全分析

刘翼, 谢守冬, 傅建秋

(宏大爆破有限公司, 长沙 410000)

摘要: 180 m 待拆烟囱处于狭窄范围内, 烟囱周围仅正东方向有最大倒塌空间 103 m, 且东侧边界上有南北走向的地下循环水管, 直径 3.2 m。经分析决定采用分段爆破, 分别在烟囱 ± 0.0 m 和 +90 m 开爆破切口, 分两次向东偏北 15° 定向爆破。为保证电厂内部运行机组及地下循环水管的安全, 爆破前分析了爆破振动和塌落振动对周围几处重要设施的影响, 重点分析了塌落振动对地下循环水管可能产生的挤压破坏, 振动分析结果表明无论是塌落振动还是爆破振动都在安全允许范围内。爆破过程中在重要设施附近安装传感器进行振动监测, 振动监测结果与振动分析相符。本次烟囱爆破拆除和振动安全分析实践表明, 在场地不够的情况下, 采用分段爆破技术拆除高烟囱是安全可靠的, 塌落振动对循环水管的挤压安全分析方法可行。

关键词: 钢筋混凝土烟囱; 分段爆破; 爆破振动; 振动监测

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)03-0103-06

Monitoring and Safety Analysis of Blasting Vibration for Blasting Demolition of 180 m Chimney in Sections

LIU Yi, XIE Shou-dong, FU Jian-qiu

(Hongda Blasting Engineering Group Co Ltd. Changsha 410000, China)

Abstract: A 180 m reinforced concrete chimney was in a narrow scope, around which there was only a maximum collapse space of 103 m in the east direction, and there was a south-north underground circulation pipe on the eastern boundary, with a diameter of 3.2 m. Segmented blasting was adopted after analysis, with blasting cuts of 0.0 m and +90 m in the chimney respectively. The chimney was blasted in the direction of 15° to the north by east two times. The safety evaluation of blasting vibration and collapse impact vibration on the several important facilities around the chimney were analyzed before the chimney was blasted, so as to protect the running unit of the power plant and the underground circulating water pipe. In this work, the possible extrusion failure of underground circulating water pipe caused by collapse impact vibration was analyzed. The analysis results show that both collapse impact vibrations and blasting vibrations were within the safe range. During the blasting process, sensors were installed near the important facilities for vibration monitoring, and the results of vibration monitoring were consistent with the vibration analysis. The practice of blasting demolition of chimney and vibration safety analysis showed that it was safe and reliable to demolish high chimneys by using segmented blasting technology when the space was not enough. The method of extrusion safety analysis of collapse impact vibrations on the circulating water pipe was feasible.

Key words: reinforced concrete chimney; segmented blasting; blasting vibration; vibration monitoring

1 工程概况

粤华发电厂#1~4 机组 180 m 烟囱需要拆除。烟囱底部直径约 21.6 m, 顶部直径 6.7 m, 50 m、

收稿日期: 2020-04-22

作者简介: 刘翼(1974-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 从事爆破工程设计与施工, (E-mail) 1711609199@qq.com。

70 m、174 m 标高处有信号平台。烟囱底部北面距离主厂房 48 m,东面距离地下循环水管 103 m,循环水管直径 3.2 m,循环水管距离新风二路 15 m;距离南

面南干四路围墙 31 m,围墙南面为全厂油区;西南面距离全厂微波楼控制室最近距离 4 m,西面 62 m 为保留的冲凉房。待拆烟囱周围平面图如图 1 所示。

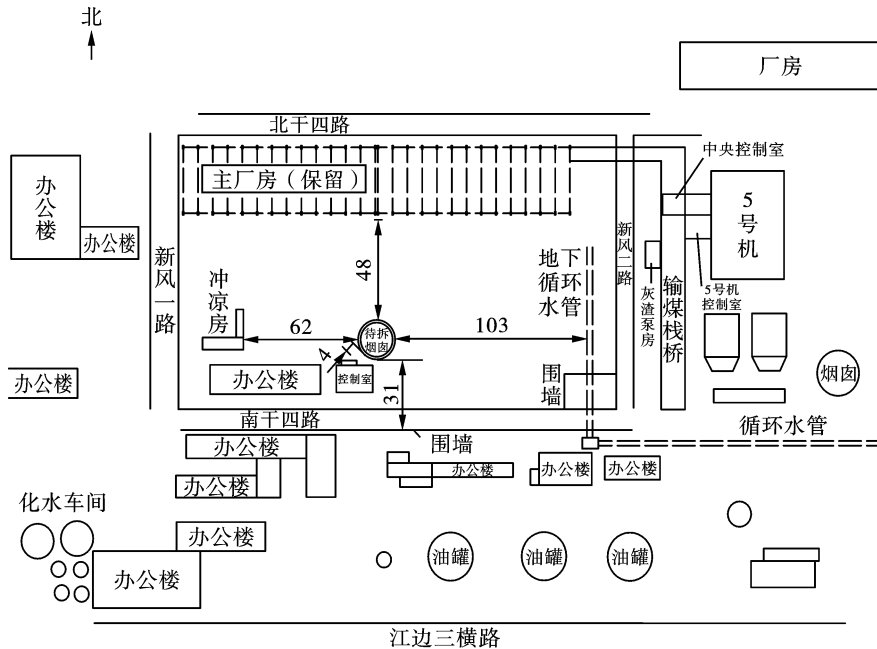


图 1 待拆烟囱周围环境示意图(单位:m)

Fig. 1 Schematic diagram of surrounding environment about the chimney (unit:m)

2 烟囱爆破拆除方案

鉴于烟囱周边环境复杂,倒塌场地狭小,需要将烟囱控制在有效的倒塌范围内,180 m 烟囱不能采用在根部爆破的一次倒塌方法,而应采用分次爆破方案。分次爆破方案,即在烟囱 ± 0.0 m 和 +90 m 分别开爆破切口,上部切口爆破完后,将上段烟囱碎渣清理完毕后,过一段时间再实施下部爆破。

在爆破过程中,电厂运行机组及地下循环水管等周围设备设施是重点保护对象,必需做好爆破振动、烟囱倒地的塌落振动对它们危害的安全分析,并采取有效的防范措施。

3 振动安全分析

3.1 爆破振动与塌落振动的比较

建(构)筑物爆破拆除过程中,产生的地面振动主要有两种:一是被拆建(构)筑物构件中药包爆破所产生的爆破振动;二是由于建(构)筑物塌落解体构件对地面撞击造成的塌落振动。爆破振动大小与炸药多少正相关,随传播距离的增加而衰减。塌落振动大小与下落构件的质量和质心高度正相关,随传播距离的增加而衰减。振动监测实践和研究表

明^[1,2],绝大多数建(构)筑物爆破拆除,爆破振动和塌落振动都会同时发生,只是由于具体建(构)筑物结构不同,测点与爆破点和触地点的距离不同,两者大小主次会有区别,有的两者甚至相差很大,如烟囱等高耸构筑物的爆破拆除,塌落振动远大于爆破振动,但如果测点与爆破点和触地点的距离相差很大,也有可能爆破振动大于塌落振动,因此,在同一次爆破中,爆破振动和塌落振动的大小比较要具体测点具体分析。下面以烟囱中心为距离起点,分析爆破振动和塌落振动对烟囱周围几处重要建筑(构)物及设备设施的振动影响。

3.2 爆破振动核算

根据《爆破安全规程》(GB6722—2014)中爆破对保护对象位置质点振动速度公式为^[3]

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

式中: Q 为炸药量齐发爆破为总药量,延时爆破为最大一段药量,因烟囱下部切口爆破时装药大于上部切口爆破装药,取下部切口装药 94.5 kg 为最大装药量; v 为保护对象所在地质点振动安全允许速度 cm/s; k 、 α 为与爆破点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数,拆除爆破取经

验值,一般取 $k = 150$ 、 $\alpha = 1.6$; k' 为拆除爆破衰减参数,一般取 $k' = 0.20 \sim 1$,根据经验 k 取 0.25 ; R 为爆

破距离保护对象的最近距离 m 。

把各参数代入爆破振动公式计算可得出表 1。

表 1 爆破振动对周围建筑及设备设施的安全影响评价表

Table 1 The safety valuation table of the blasting vibration impact on the onstruction and equipments about the chimney

保护对象	新风一路 办公楼仪器	5 号机控制室 (测点 1)	中央控制室	循环水管 (测点 2)
距离/ m	125	174	180	110
爆破振速/ $(cm \cdot s^{-1})$	0.186	0.11	0.104	0.23
安全允许振速/ $(cm \cdot s^{-1})$	1.0	1.0	1.0	3.0
安全评价	安全	安全	安全	安全

3.3 塌落振动的验算

建筑物塌落倒地时对地面的冲击也会产生振动,建筑物塌落振动的计算公式为

$$v_i = k \cdot k_i \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{MgH/\sigma}}{R} \right)^\beta$$

式中: v_i 为振动速度, cm/s ; k_i 、 β 为与地质条件相关的衰减参数,一般取 $k_i = 3.37$ 、 $\beta = 1.66$; k 为与缓冲措施相关的衰减参数,一般取 $k = 0.20 \sim 1$,由于烟囱爆破时地面采用缓冲带,可以大大减少塌落

振动,根据经验 k 取 0.25 ; M 为建筑物质量,上部烟囱爆破时为 $1870 t$; H 为建筑物质心高度,上部烟囱爆破时为 $135 m$; 因上部切口爆破时质心高度和质量乘积大于下部切口爆破时质心高度和质量乘积,所以以上部烟囱爆破计算为主; σ 为介质的破坏强度,一般取 $10 MPa$; g 为重力加速度,一般取 $9.8 m/s^2$; R 为冲击地面中心到保护对象的最近距离, m 。

把各参数代入塌落振动公式计算可得出表 2。

表 2 塌落振动对周围建筑及设备设施的影响表

Table 2 The safety valuation table of the collapse vibration impact on the onstruction and equipments about the chimney

保护对象	新风一路 办公楼仪器	5 号机控制室 (测点 1)	中央 控制室	6 号机 控制室	循环水管 (测点 2)
距离/ m	200	95	102	257	257
塌落振速/ $(cm \cdot s^{-1})$	0.11	0.40	0.36	0.09	0.09
安全允许振速/ $(cm \cdot s^{-1})$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
安全评价	安全	安全	安全	安全	安全

4 振动对地下循环水管的影响分析

4.1 塌落振动的影响

目前循环水管安全允许振速和标准国家没有规定,尚属空白,根据参考文献和类似工程经验^[4-12],安全允许振速差别很大,有 $3 cm/s$ 、 $7 cm/s$ 、 $14 cm/s$ 几种,本工程为严格起见,按 $3 cm/s$ 控制。

根据塌落振动公式,以烟囱落地点距离循环水管 $20 m$ 为例,代入公式可得塌落振动为 $4.9 cm/s$ (地面振速)。由于地震波在土体内沿深度方向是逐渐衰减的,地表振动由于受表面波和反射稀疏波的影响要大一些,地层深度受土体约束作用质点振动则小一些,衰减规律一般呈负指数规律变化。按负指数曲线计算爆破地震波在深度方向的传播衰减公式为 $v = v_0 e^{-kh}$ 。式中: v 为深度方向振速, cm/s ; v_0 为地面振速, cm/s ; k 为衰减系数; H 为距地

表深度(取正值), m 。根据试验实测数据,运用数理统计方法计算得出, $v(H)$ 沿深度方向的衰减系数为:铅垂方向 $k_{\perp} = 0.08 \sim 0.09$,水平方向 $k_{//} = 0.08 \sim 0.12$ 。将 $v_0 = 4.9$, $k = 0.09$, $H = 6$,代入公式 $v = v_0 e^{-kh}$ 。可得 $v = 2.84$,小于 $3.0 cm/s$,循环水管安全。

4.2 振动挤压的影响

烟囱头部触地后,烟囱冲击地面,冲击应力在回填土层内以不超过 45° 的最大应力角向下扩散,由于烟囱头部距离循环水管 $20 m$,因此上部回填土层应力不会直接传向循环水管;由于在回填土层下是淤泥质土,不承受剪切应力,但可传递压应力,因此淤泥质土在受到上部回填土传递来的应力后会向侧面水平挤压,最终可能挤压到循环水管,但在循环水管周围注浆后,凝结为整体,对循环水管起保护作用,循环水管不直接受挤压,因此可消除水平挤压力对循环水管的影响。如图 2 所示。

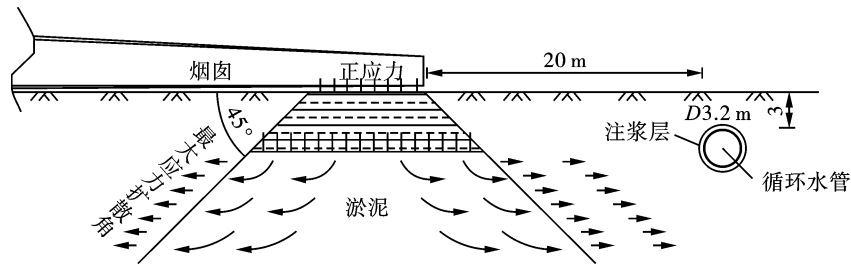


图2 烟囱冲击地面对循环水管的影响力学分析图

Fig. 2 The mechanical analysis diagram for chimney collapse to the ground impact on the circulating water pipe

5 振动监测

5.1 监测目的

爆破过程中,电厂运行机组及地下循环水管等周围设备设施是重点保护对象,通过振动监测对比爆破减震效果,为电厂运行机组及地下循环水管的

安全评价提供证据。

5.2 监测点布置

本次爆破共布置了2个监测点,监测点1布置在运行的5#机组建筑物朝烟囱一侧;监测点2布置在地下循环水管南端。

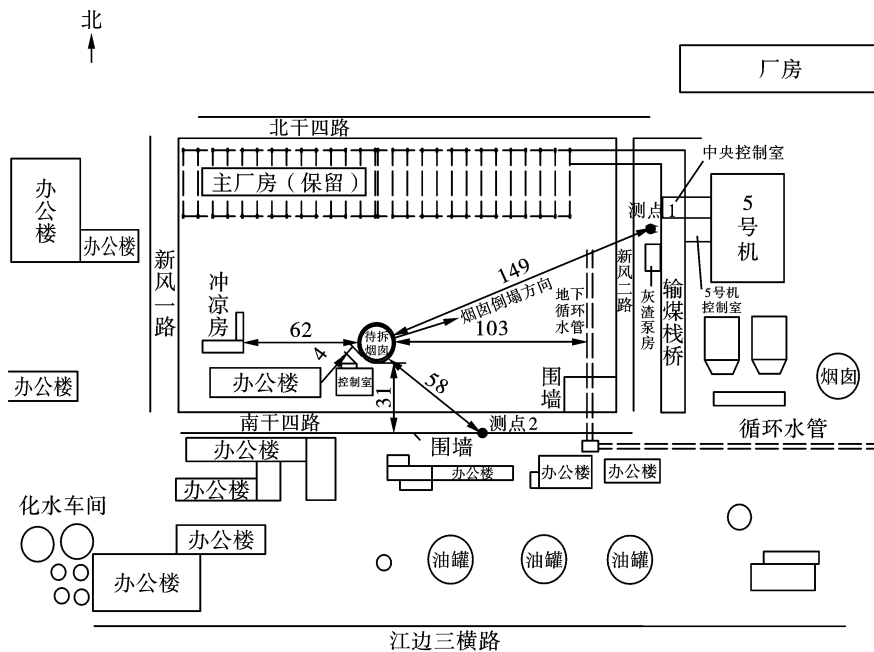


图3 振动监测测点布置图(单位:m)

Fig. 3 Measuring points layout for vibration(unit:m)

5.3 监测结果

监测结果表明:运行机组附近测点1的最大垂直振动速度为0.75 cm/s,小于安全允许振速1 cm/s,地

下循环水管附近测点2最大垂直振动速度为0.91 cm/s,小于安全允许振速3 cm/s。见表3、表4和图4~图7。

表3 烟囱上部切口爆破时振动监测结果

Table 3 The monitoring results of vibration in the upper cut blasting

测点序号	测点位置	距离/m	最大值/(cm·s ⁻¹)	时刻/s	量程/(cm·m ⁻¹)	灵敏度/(v/m·s ⁻¹)
测点1	5号机控制室	149	0.18	5.58	37.04	27.0
测点2	循环水管旁	58	0.82	8.11	37.04	27.0

表4 烟囱下部切口爆破时振动监测结果

Table 4 The monitoring results of vibration in the lower cut blasting

测点序号	测点位置	距离/m	最大值/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	时刻/s	量程/($\text{cm} \cdot \text{m}^{-1}$)	灵敏度/($\text{v}/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
测点1	5号机控制室	149	0.75	7.56	37.04	27.0
测点2	循环水管旁	58	0.91	8.24	37.04	27.0

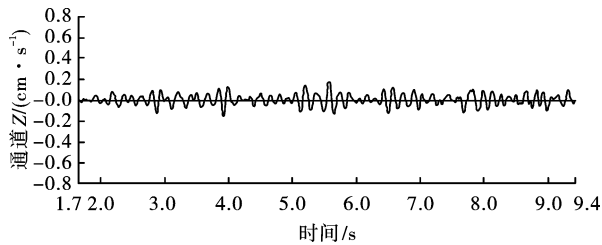


图4 测点1波形图(上切口爆破)

Fig. 4 Waveform of measured point No. 1 in the upper cut blasting

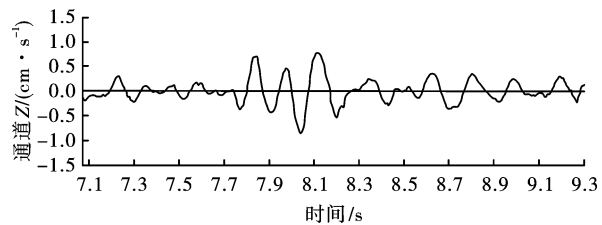


图5 测点2波形图(上切口爆破)

Fig. 5 Waveform of measured point No. 2 in the upper cut blasting

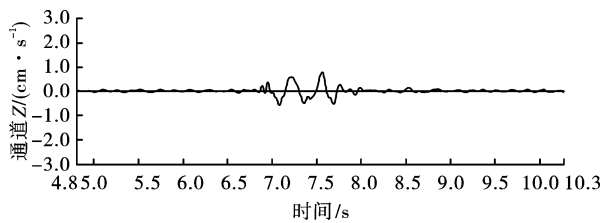


图6 测点1波形图(下切口爆破)

Fig. 6 Waveform of measured point No. 1 in the lower cut blasting

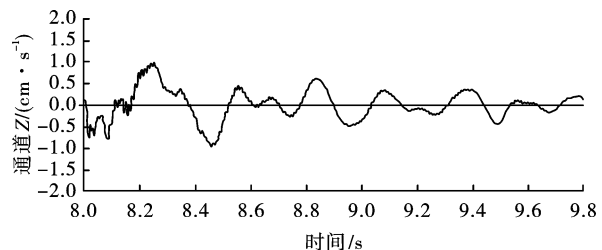


图7 测点2波形图(下切口爆破)

Fig. 7 Waveform of measured point No. 2 in the lower cut blasting

6 结论

180 m 烟囱处于狭窄范围内,最大倒塌方向只

有 103 m,不能采用一次倒塌的定向爆破方式,经多方案对比分析决定采用分段爆破,在烟囱 ± 0.0 m 和 $+90$ m 处分别设置爆破切口。烟囱爆破时为保证电厂内部运行机组及地下循环水管等重要设施的安全,对爆破振动进行了安全分析,特别是对附近的地下循环水管进行了振动挤压分析,并在重要设施周围布置了振动监测点,振动监测结果显示,实际振动速度小于安全允许值,保护对象是安全的。通过本次爆破实践和振动监测说明,在场地不够的情况下,采用分段爆破技术进行高烟囱拆除是安全可靠的,可以有效降低振动对周围建筑及设施的破坏风险,塌落振动对循环水管的挤压安全分析方法可行。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [1] 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. (in Chinese)
- [2] 钟明寿,龙源,谢全民,等. 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.
- [2] ZHONG Ming-shou, LONG Yuan, XIE Quan-ming, et al. Comparative analysis of collapse vibration and blasting vibration based on demolition blasting of Longhai building [J]. Engineering Blasting, 2009, 15(4):58-61. (in Chinese)
- [3] 国家安全生产监督管理总局. GB6722—2014 爆破安全规程[S]. 北京:中国标准出版社, 2015.
- [3] State Administration of Work Safety. GB 6722—2014 Safety regulations for blasting [S]. Beijing: China Standards Press, 2015. (in Chinese)
- [4] 梁向前,谢明利,冯启,等. 地下管线的爆破振动安全试验与监测[J]. 工程爆破, 2009, 15(4):66-68.
- [4] LIANG Xiang-qian, XIE Ming-li, FENG Qi, et al. Safety testing and monitoring of blasting vibration on underground pipeline [J]. Engineering Blasting, 2009, 15(4):66-68. (in Chinese)
- [5] 张志强. 在役管道近距离并行管沟的爆破施工技术[J]. 石油工程建设, 2011, 37(1):36-41.
- [5] ZHANG Zhi-qiang. Blasting construction technology of parallel pipe ditches in service pipeline [J]. Petroleum

- Engineering Construction, 2011, 37(1):36-41. (in Chinese)
- [6] 郑爽英, 杨立中. 下穿隧道爆破地震作用下埋地输气管道的动力响应规律研究[J]. 爆破, 2015, 32(4):69-76.
- [6] ZHENG Shuang-ying, YANG Li-zhong. Dynamic response law of buried gas pipeline caused by blasting seismic waves of undercrossing tunneling [J]. Blasting, 2015, 32(4):69-76. (in Chinese)
- [7] 高 坛, 周传波, 蒋 楠, 等. 基坑开挖爆破下邻近管道振动速度安全阈值研究[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(6):2191-2195.
- [7] GAO Tan, ZHOU Chuan-bo, JIANG Nan, et al. Study on the vibration velocity threshold of the adjacent pipeline under the blasting excavation of the foundation pit [J]. Journal of Safety and Environment, 2017, 17(6):2191-2195. (in Chinese)
- [8] 钟冬望, 黄 雄, 司剑峰, 等. 爆破荷载作用下埋地钢管的动态响应实验研究[J]. 爆破, 2018, 35(2):19-25.
- [8] ZHONG Dong-wang, HUANG Xiong, SI Jian-feng, et al. Experimental study on dynamic response of buried pipeline under blasting loads [J]. Blasting, 2018, 35(2):19-25. (in Chinese)
- [9] 郝郁清, 程 康, 赵其达拉图, 等. 爆破地震波作用下燃气管道的安全距离研究[J]. 爆破, 2018, 35(2):137-142.
- [9] HAO Yu-qing, CHENG Kang, ZHAO Qidalatu, et al. Study on safety distance of gas pipeline under action of blasting seismic wave [J]. Blasting, 2018, 35(2):137-142. (in Chinese)
- [10] 王 敏, 龙 源, 钟明寿, 等. 爆破拆除塌落振动对浅埋金属管道动态响应的相似性研究[J]. 爆破, 2018, 35(3):147-153.
- [10] WANG Min, LONG Yuan, ZHONG Ming-shou, et al. Similarity study of dynamic response of shallow buried metal pipeline by building vibration in blasting demolition [J]. Blasting, 2018, 35(3):147-153. (in Chinese)
- [11] 张景华, 刘钟阳. 露天采矿爆破对中缅油气管道振动的影响试验[J]. 油气储运, 2018, 37(7):816-821.
- [11] ZHANG Jing-hua, LIU Zhong-yang. Experiment on the blasting vibration effects of open-pit mining on China-Myanmar oil and gas pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2018, 37(7):816-821. (in Chinese)
- [12] 夏宇馨, 蒋 楠, 周传波, 等. 下穿地铁隧道爆破振动作用下给水管道动力响应特性研究[J]. 爆破, 2019, 36(1):6-13.
- [12] XIA Yu-qing, JIANG Nan, ZHOU Chuan-bo, et al. Dynamic response characteristics of water supply pipeline under blasting vibration of underneath tunnel [J]. Blasting, 2019, 36(1):6-13. (in Chinese)

英文编辑: 袁必和

(上接第 67 页)

- [7] 王德宝, 马宏昊, 沈兆武, 等. 城市复杂环境下基坑爆破降振及振动监测[J]. 工程爆破, 2015, 21(1):47-51.
- [7] WANG De-bao, MA Hong-hao, SHEN Zhao-wu, et al. Blasting vibration damping and monitoring of foundation pit under urban complex environment [J]. Engineering Blasting, 2015, 21(1):47-51. (in Chinese)
- [8] 丁 凯, 方 向, 范 磊, 等. 减震沟对爆破地震波能量特性影响试验研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31(13):113-118.
- [8] DING Kai, FAN Xiang, FAN Lei, et al. Characteristics variation of blasting seismic wave energy affected by a damping ditch [J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(13):113-118. (in Chinese)
- [9] 何 理, 钟冬望, 王文波. 精确延时控制爆破试验及振动信号分析[J]. 爆破, 2015, 32(2):22-28.
- [9] HE Li, ZHONG Dong-wang, WANG Wen-bo. Controlled blasting test with precise delay time and analysis of blasting vibration signals [J]. Blasting, 2015, 32(2):22-28. (in Chinese)
- [10] 张 乐, 颜景龙, 李凤国, 等. 隆芯 1 号数码电子雷管在露天采矿中的应用[J]. 工程爆破, 2010, 16(4):73-76.
- [10] ZHANG Le, YAN Jing-long, LI Feng-guo, et al. Application of lux No. 1 digital electronic detonator in an open pit mine [J]. Engineering Blasting, 2010, 16(4):73-76. (in Chinese)
- [11] 汪旭光, 于亚伦, 刘殿中. 爆破安全规程实施手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [11] WANG Xu-guang, YU Ya-lun, LIU Dian-zhong. Manual of safety regulations for blasting [M]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese)
- [12] 唐 海, 李海波, 蒋鹏灿, 等. 地形地貌对爆破振动波传播的影响实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(9):1817-1823.
- [12] TANG Hai, LI Hai-bo, JIANG Peng-can, et al. Experimental study on effect of topography on propagation of blasting waves [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(9):1817-1823. (in Chinese)
- [13] GB6722—2014 爆破安全规程[S]. 北京: 中国质检出版社, 2015.
- [13] GB6722—2014 Safety regulations for blasting [S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2015. (in Chinese)

英文编辑: 袁必和