

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.03.019

两栋紧邻的不同结构高楼同时爆破拆除

许建刚^{1,2}, 李翠林^{1,2}, 王中全^{1,2}, 郑德明³, 李超¹

(1. 山西壶化集团 爆破有限公司, 长治 047300; 2. 山西壶化集团股份有限公司, 长治 046000;
3. 安徽天明爆破工程有限公司, 滁州 621900)

摘要: 针对在城市复杂环境中, 一栋15层高51 m的全剪力墙结构高楼, 与另一栋高38 m宽25 m的3层大跨度训练楼, 两楼中间仅有一条5 cm宽的沉降缝, 紧邻的两栋不同结构的高楼同时进行爆破拆除, 采用了一种双“3切口”定向爆破拆除的方案。两栋紧挨的高楼作为一个爆破整体考虑, 通过在两栋楼房分别设置3个爆破切口, 选用合理的技术参数、施工方法和爆破危害控制措施, 采用数码电子雷管和导爆管雷管混合起爆网络, 最终实现了训练楼原地坍塌、主楼定向倾倒的爆破效果, 爆堆位置及高度、振动监测、飞石控制等均在安全范围内。

关键词: 复杂环境; 两栋紧邻; 不同结构; 爆破拆除

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)03-0109-06

Simultaneous Blasting Demolition of Two Adjacent Tall Buildings with Different Structures

XU Jian-gang^{1,2}, LI Cui-lin^{1,2}, WANG Zhong-quan^{1,2}, ZHENG De-ming³, LI Chao¹

(1. Shanxi Huhua Group Blasting Co Ltd, Changzhi 047300, China;
2. Shanxi Huhua Group Co Ltd, Changzhi 046000, China;
3. Anhui Tianming Blasting Co Ltd, Chuzhou 621900, China)

Abstract: In order to realize the simultaneous demolition of two adjacent tall buildings with different structures under complex urban environment, a double “three-notch” directional blasting demolition scheme is adopted. The main building is a 15-storey, 51-meter-high building with full shear wall structure, and the other one is a long-span training building with a height of 38 meters and a width of 25 meters. And there is only a 5 cm settlement joint between them. The two adjacent high-rise buildings are regarded as a whole in this blasting. By setting three blasting notches in each building, selecting reasonable technical parameters, construction methods and safety control measures, the vertical collapse of training building and directional collapse of main building are finally realized with the application of EDD and shock tube detonator mixed blast network. The location and height of muck-pile, vibration monitoring and flying stone are all controlled within the acceptable range.

Key words: complex environment; two buildings adjacent; different structures; Blasting demolition

1 工程概况

根据长治市城建工程要求, 需对长治市体育局

原办公楼15层高层建筑物及其附属设施进行拆除, 该建筑群由三个独立的建筑物构成, 由南至北分别是裙楼、主楼、训练楼, 拟拆除建筑物总建筑面积13 000余m²。

1.1 周围环境

拟拆除楼房位于长治市潞州区商业圈内, 紧邻

收稿日期: 2020-04-25

作者简介: 许建刚(1985-), 男, 工程师、工程硕士, 从事工程爆破技术管理与研究相关工作, (E-mail) huhuabaopo@163.com。

市区主要交通要道府后东街及英雄中路,南侧 13 m 为府后东街,南侧 60 m 为中宏时代高层住宅楼,西侧 120 m 为英雄中路,东侧 160 m 为中国人寿和中国人寿家属院,西侧 50 m 为英雄路派出所,西北方向 90 m 为长治宾馆,东侧 7 m 紧邻废弃居民楼,西侧 15 m 紧邻一座正在搬迁中的居民楼,正在营业中需加强保护,北侧 89 m 指挥部办公处,周围环境详细情况见图 1。

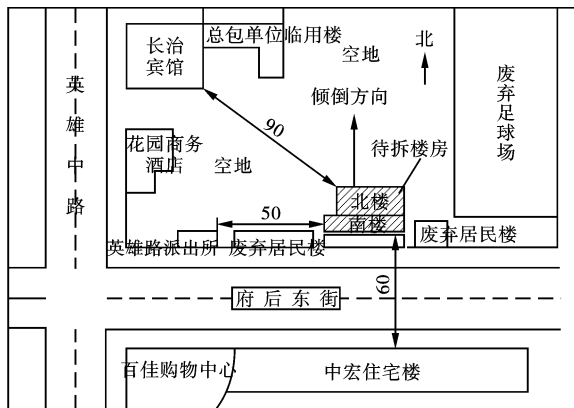


图 1 周围环境示意图(单位:m)

Fig. 1 Diagram of surrounding environment (unit: m)

1.2 结构特点

本工程全部为地上建筑,自南向北依次是裙楼、主楼、训练楼,其中裙楼为钢筋混凝土框架结构,高度在 10 m 以下,拟采用机械拆除方式进行拆除;主楼为长治市体育局原办公使用,共 15 层,长度 51 m,宽度 9.6 m,总高度 51 m,主体为全剪力墙结构,拟采用爆破方法拆除主体楼房;训练楼为三层的体育训练馆,长度 48 m,宽度 25 m,总高度 38 m,最大层高为一层高 16 m,二层、三层为 11 m,主体为钢筋混凝土框架结构,顶板结构为球形网状钢架结构,顶板跨度大、结构不坚固,拟采用爆破方法拆除。见图 2。

1.3 本工程特点、难点分析

(1) 主楼结构为现浇钢筋混凝土全剪力墙结构,主体坚固,刚性大,预拆、钻孔、爆破工作量大,且倒塌后不易解体^[1]。

(2) 训练楼结构为大跨度场馆式结构,层高大、跨度大,三层楼顶顶板均为球形网状钢架结构,单层顶板厚度达 2.5 m,顶板垂直方向有一定抗压强度,水平方向抗拉强度较小。

(3) 拟拆楼房位于城市商贸中心,周边高层住宅小区人员多,城市道路车流量大,要求同时起爆两栋楼房,降低爆破警戒对周边单位、居民的影响,警戒工作难度大。

(4) 楼房拟倾倒方向背侧 13 m 为城市主干道、60 m 为高层住宅楼,对拆除爆破定向准确性、施工

精细度要求高。

(5) 周边环境复杂,对爆破振动、塌落振动、飞石防护等防护标准高,必须落实危害效应监测,不得损坏周边建(构)筑物、管线等。

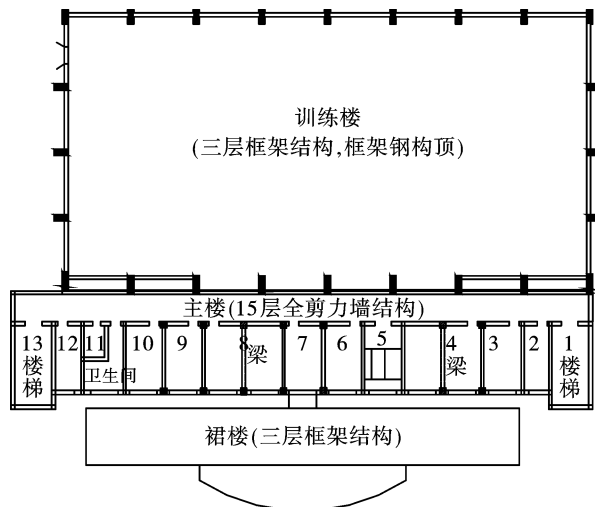


图 2 拟拆除楼房平面示意图

Fig. 2 Plane figure of building to be demolished

2 爆破方案

2.1 总体爆破方案

根据现场情况,主楼和训练楼选择爆破拆除,裙楼采用机械拆除^[2]。裙楼拆除在爆破拆除后进行,可降低爆破对紧邻道路和住宅区的影响。其中,主楼和训练楼仅有一条 5 cm 厚的沉降缝,两栋楼房结构差异大,同时爆破拆除施工应按一个主体两个部分进行设计,确定为双“3 切口”爆破方案。

双“3 切口”爆破方案就是两个楼房按一个主体进行设计,确定为定向倒塌方案,倒塌方向为正北方,设计爆破切口数量各 3 个。其中主楼为全剪力墙结构,总体质量大、结构坚固,需重点控制爆堆高度和塌落振动,设计 3 个切口,以降低楼房塌落振动和提高解体破碎度;训练楼层高大、跨度大、宽度大,对爆破切口高度要求高,设计 3 个切口,满足切口总高度的同时,降低施工难度,提高施工进度。

2.1.1 切口设计

主楼设计 3 个切口^[3],分别在 1~3 层为第一切口,5~6 层为第二切口,8~9 层为第三切口;训练楼设计 3 个切口,分别在第一层的部分为第一切口,第二层的部分为第二切口,第三层的部分为第三切口。切口分部示意图见图 3。

钢筋混凝土立柱的爆炸高度可按工程爆破的经验公式计算

$$H = K(B + h)$$

式中: K 为爆高系数,一般取 $1.0 \sim 2.0$; B 为立柱倾倒方向截面边长; h 为钢筋失稳最小破坏高度, h 取 $12.5d$, d 为钢筋直径。

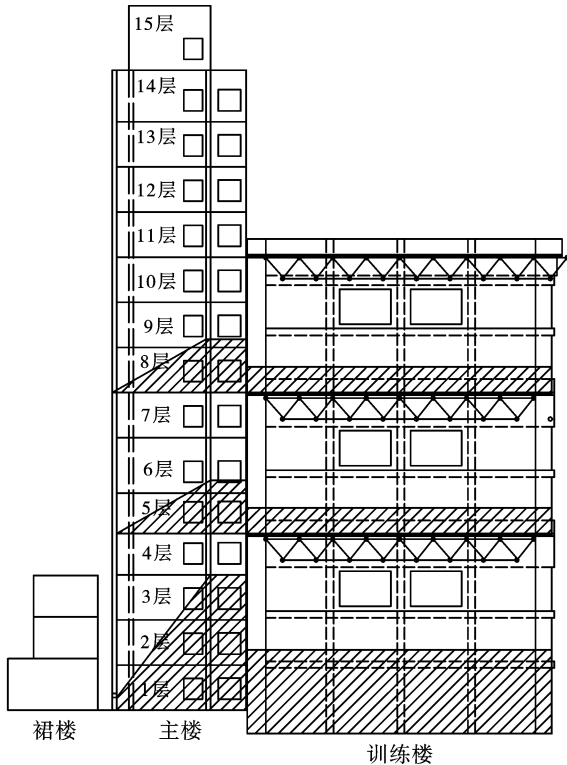


图 3 爆破切口分部示意图

Fig. 3 The notches distribution figure

根据上述经验公式计算

$H_{北} = 20.31 \text{ m}$, $H_{南} = 11.7 \text{ m}$ 。见表 1。

表 1 爆炸高度一览表

Table 1 Blasting height table

位置	训练楼		主楼	
	楼层范围	高度 /m	楼层范围	高度 /m
第一缺口	1 层	6.5	1 层	3.5
			2 层	3.5
			3 层	3.5
第二缺口	2 层	2.0	5 层	3.5
			6 层	0.9
第三缺口	3 层	2.0	8 层	3.5
			9 层	0.9
合计	—	10.5	—	19.3

训练楼的层高大,爆破施工难度高,总体质量小,选择较小的爆破切口,爆后不易形成触地完全解体,但主楼的总体质量大,倾倒后可形成较大的冲击力,可对训练楼造成二次冲击破坏,降低主楼的触地冲击力,增加训练楼的破碎块度,从而达到主楼降低触地振动,训练楼增加破碎度的有利目的。

2.1.2 预处理

(1) 剪力墙预处理

剪力墙的预处理主要在主楼,在保证楼房整体稳定性前提下,对爆破切口范围内的所有楼层的隔墙全部进行预处理^[4],处理范围如图 4。

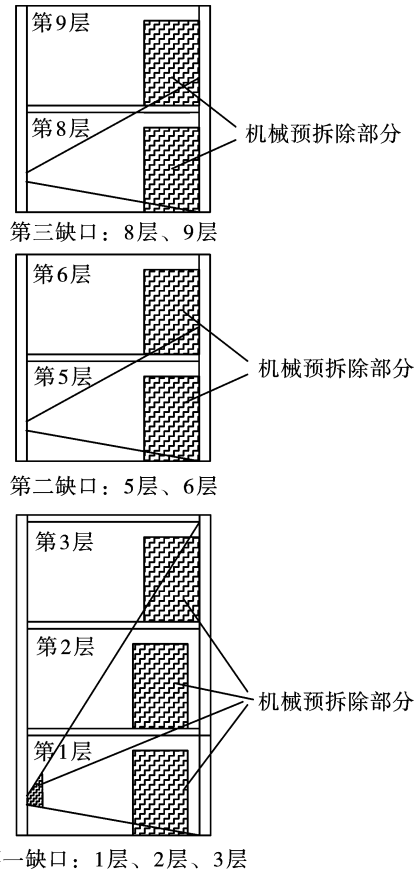


图 4 主楼预拆除处理范围示意图

Fig. 4 Figure of the area to be demolished on main building

(2) 对非承重墙进行预拆除

非承重墙全部集中在主楼的楼道北侧墙,非承重墙为砖结构,有横梁保护可全部进行预拆除。

(3) 主楼的楼梯、电梯井的预处理

对于在爆破切口范围内的楼梯、电梯井,其中楼梯的处理方法为^[5]:1~9层楼梯和楼梯横梁之间的混凝土破碎,露出 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 宽的钢筋网形成贯通缝。

电梯井的处理方法:在缺口范围中的电梯井全部将电梯井东西两面墙体完全预拆,将南侧电梯井墙面开挖一条 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 宽的贯通缝,电梯井北侧墙体布设炮孔,采用爆破方法进行处理。

(4) 管道、管线在楼层间的连接全部切割断开,主楼与裙楼连接采用人工拆除方式全部切断。

2.2 爆破参数

采用梅花形布孔方法^[6]。布孔参数和爆破参数见表 2。

表2 爆破参数汇总表
Table 2 Summary table of blasting parameters

爆破部位	截面/m	抵抗线/m	孔距/m	排距/m	最小抵抗线/m	孔深/m	单孔药量/g	单耗/(g·m ⁻³)
立柱	1.2×0.5	0.25	0.4	0.3	0.20	0.33	150	2500
立柱	0.5×0.5	0.25	0.5	0.3	0.25	0.33	200	2677
剪力墙	0.3 m厚	0.15	0.3	0.3	0.15	0.20	100	3704
剪力墙	0.2 m厚	0.10	0.2	0.2	0.10	0.12	50	6250

2.3 起爆网路

由于本次楼房拆除的剪力墙面积大,炮孔数量多,如果只使用电子雷管,会造成电子雷管数量庞大,对施工总进度影响大。综合考虑多种因素,本次爆破采用电子雷管和导爆管雷管混合起爆网路^[7],

电子雷管使用山西壶化生产的大圣电子雷管,最大延期时间 16 s,可满足楼房拆除对长延期时间的要求。其中,剪力墙炮孔密集,孔内使用导爆管雷管,孔外使用电子雷管组网;立柱的孔内使用电子雷管,直接组成电子雷管起爆网路。网路延期时间见图 5。

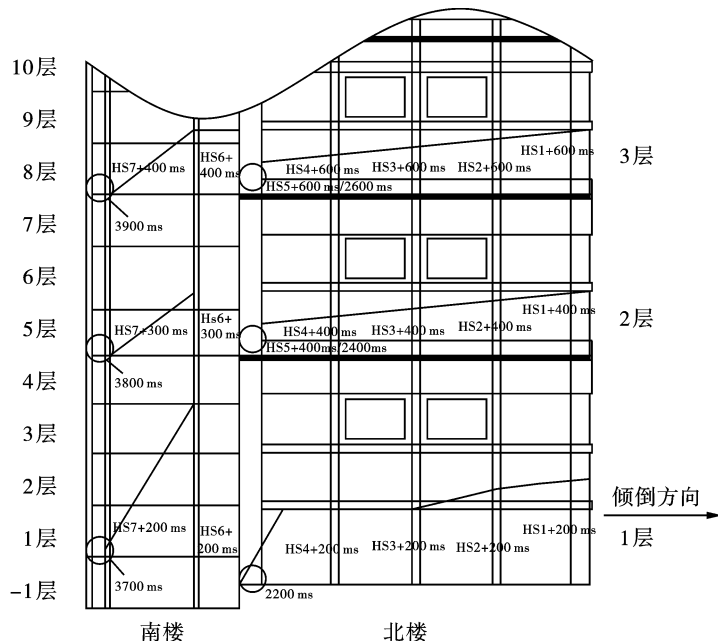


图5 网路延期时间图

Fig. 5 Delay time of blasting network

3 爆破安全校核与防护

3.1 振动校核

(1) 计算公式

爆破振动:保护对象所在地质点振动速度由下式计算

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

式中:Q为一次齐爆药量,控制在 25 kg 以内;R为保护目标到炸点中心的距离,m;v为质点垂直振动速度,cm/s;k'为为拆除爆破衰减系数,取 0.3;k为与爆破地质、地形有关的系数;依实际取 50;α为爆破地震波衰减指数,依实际取 1.6。

触地振动:根据倒塌过程分析,触地振动最大的部分为第一时间底部缺口上方的楼体冲击地面。

$$v = kk' \left[\left(\frac{MgH}{\sigma} \right)^{1/3} / R \right]^\beta$$

式中:v为塌落引起的地面振动速度,cm/s;M为下落构件的质量,底部缺口以上部分的质量约 12 000 t;g为重力加速度,m/s²;H为构件的重心高度,底部缺口以上部分重心的高度约 25 m;σ为地面介质的破坏强度,一般取 10 MPa;R为观测点至冲击地面中心的距离,m;k、β为衰减指数,k=3.37,β=1.66;K'为安全防护措施纠正系数,取值 0.5。

(2) 计算结果及分析

根据《爆破安全规程》(GB6722—2014)中振动安全允许标准,对于一般民用建筑物允许振动速度为 2.0~2.5 cm/s,工业和商业建筑物允许振动速度为 3.5~4.5 cm/s,因此爆破振动、塌落触地振动的

计算数值均小于规范允许振动安全允许标准,满足 要求。见表 3。

表 3 爆破振动、塌落触地振动计算结果一览表
Table 3 List of main impact of blasting and collapse vibration

序号	主要保护目标	爆破(爆炸中心)		塌落(冲击中心)	
		距离/m	振速/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	距离/m	振速/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	中宏时代住宅楼	60	0.12	100	0.86
2	长治宾馆	90	0.06	70	1.55
3	英雄路派出所	50	0.16	60	1.99

减振措施主要有在大楼倒塌位置与保护物之间,开挖减震沟、爆破倒塌区域设置减震垫层,以及训练楼倒塌之后形成的垫层,增强了对主楼的缓冲作用,从而大幅降低爆破塌落振动,通过以往国内外爆破监测数据及多次高楼爆破工程实践,采用可靠的减震措施能够将爆破振动降低 50% 以上。

3.2 安全防护

安全防护措施主要分为:近体防护和远体防护两种方式。

3.2.1 近体防护措施

在炮孔位置采用草帘进行包裹,外层使用铁丝网缠绕,使用铁丝捆绑。

近体防护措施应在楼体外侧的立柱、墙体区域进行重点防护,在保护物方向进行重点防护,确保爆破危害效应不会对周边环境造成破坏。

3.2.2 远体防护措施

(1) 裙楼作为主楼爆破时的南侧防护体,裙楼机械拆除应在主楼爆破拆除之后进行,有效阻碍南侧飞散物的飞散距离。

(2) 爆破主楼东西两侧、北侧的爆破缺口防护,立柱装药堵塞完毕后,由里向外分别用木板、草帘固定覆盖在立柱外侧面,然后用铁丝捆绑连接起来。

(3) 对楼房南侧爆破切口范围内的窗户,采用木板进行完全封盖保护,减少爆破振动和爆破飞石。

3.3 减震防护措施

为降低塌落振动、防止前冲和控制飞溅物,须在楼房倒塌方向上铺设缓冲土堤:

(1) 在训练楼的北侧 30 m 处有一条管道沟,爆破之前对管道沟进行开挖,发挥减震沟的作用。

(2) 在楼房北侧 30 m 范围内,布设 3 条堆积 1 m 厚、宽 2 m 的建筑垃圾带,发挥减振土堤的作用。

(3) 利用数码电子雷管,精确控制爆破延迟时间,减少一次起爆总药量,降低楼房主体触地的振动强度。

4 爆破效果与体会

4.1 爆破效果

2019 年 5 月 12 日上午 9:40 对大楼实施爆破,起爆后,两栋楼房依次向北侧发生倾倒,倒塌过程用

时 11 s,爆破后效果分下如下:

(1) 起爆后,训练楼主体按照 3 层结构依次完成原地垮塌,三层球形网状钢架结构叠加在一起,对主楼倒塌形成了良好的铺垫作用。

(2) 主楼爆破后,第一缺口首先形成倾覆力矩,但由于训练楼原地垮塌的高度较高,导致第一缺口没有完全形成主楼倾倒趋势,主楼首先产生较大的向下作用力,致使主楼整体后座严重,将裙楼挤压倒塌,后座距离为 5 ~ 6 m。第二缺口形成后,主楼形成向北侧倾倒的趋势,开始向北侧空地倾倒;第三缺口的形成,加速了楼房倒塌的速度,同时对全剪力墙结构、重量大的主楼,倒塌触地解体起到了一定积极作用。

(3) 训练楼原地倒塌,主体解体较完全;主楼由于主体结构的坚固性,致使在未爆破的楼体部分,触地后未发生解体,但由于主楼宽度只有 6.7 m,因此主楼倒塌后,爆渣的总高度不超过 10 m,可以满足机械破拆的要求。

(4) 爆破后,飞石控制在安全距离范围之内,没有对周边设施造成破坏,振动监测最大值为 0.48 cm/s ,远远小于预计的振动数值,符合安全要求。

4.2 体会

(1) 全剪力墙结构的建筑采用定向倒塌时,必须开设多个爆破缺口,可以有效降低爆破后的塌落振动,同时降低后续机械破碎的施工难度。

(2) 通过在主楼开设三个缺口,避免了主楼第一缺口因训练楼废渣堆积多高,形成的主楼爆而不倒的安全隐患。

(3) 两个不同结构的建筑物同时爆破拆除,通过技术措施顺利完成楼房倒塌,节约了爆破施工安全警戒的次数,大幅降低了政府相关部门的工作量,形成了良好的社会影响。

(4) 本次爆破采用的安全防护措施设计合理,效果显著,对本类型拆除爆破工程有一定的借鉴意义。

参考文献 (References)

- [1] 张超,张明,刘军,等. 影响框剪结构拆除爆破效果的要素分析[J]. 工程爆破,2018,24(1):32-42.

- [1] ZHANG Chao, ZHANG Ming, LIU Jun, et al. Analysis of factors influencing blasting effect of frame shear wall structure demolition [J]. *Engineering Blasting*, 2018, 24(1):32-42. (in Chinese)
- [2] 贾永胜, 黄小武, 王 威, 等. 复杂环境下框剪结构烂尾楼定向爆破拆除[J]. *爆破*, 2018, 35(3):92-97.
- [2] JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, WANG Wei, et al. Directional blasting demolition for unfinished building with shear wall structure in complicated environment[J]. *Blasting*, 2018, 35(3):92-97. (in Chinese)
- [3] 刘 昆. 两栋高层楼房重叠垮落爆破拆除[J]. *广东化*, 2014, 182(16):81-82.
- [3] LIU Kun. Control of blasting demolition of buildings overlapping caving technology of high-rise buildings[J]. *Guangdong Chemical*, 2014, 182(16):81-82. (in Chinese)
- [4] 张迎春, 王 琳, 刘振军, 等. 复杂环境下15层L形商务楼定向爆破拆除[J]. *工程爆破*, 2013, 19(1-2):70-73.
- [4] ZHANG Ying-chun, WANG Lin, LIU Zhen-jun, et al. 15-story of L-shaped business building demolition in complex environment[J]. *Engineering Blasting* 2013, 19(1-2):70-73. (in Chinese)
- [5] 游永锋. 复杂环境下框架-框剪结构厂房定向爆破拆除[J]. *爆破*, 2019, 36(1):104-108, 116.
- [5] YOU Yong-feng. Directional blasting demolition of frame-shear structure plant building in complicated environment [J]. *Blasting* 2019, 36(1):104-108, 116. (in Chinese)
- [6] 董保立, 张纪云, 王 晓, 等. 复杂环境下12层框剪结构楼房爆破拆除[J]. *工程爆破*, 2017, 23(2):58-61.
- [6] DONG Bao-li, ZHANG Ji-yun, WANG Xiao, et al. Blasting demolition of 12-story frame-shear structure building in complicated environment[J]. *Engineering Blasting*, 2017, 23(2):58-61. (in Chinese)
- [7] 刘 璉, 杨永强, 姚颖康, 等. 高层框剪结构爆破拆除振动监测及分析[J]. *地震工程与工程振动*, 2018, 38(5):198-205.
- [7] LIU Jin, YANG Yong-qiang, YAO Ying-kang, et al. Vibration monitoring and analysis of blasting demolition of high-rise frame shear structure building. [J] *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2018, 38(5):198-205. (in Chinese)

英文编辑:何 松

(上接第89页)

- [8] 欧阳建华, 李雷斌, 吴 亮, 等. 岩质凸形边坡体爆破质点振动监测与分析[J]. *爆破*, 2015, 32(1):54-56.
- [8] OUYANG Jian-hua, LI lei-bin, WU Liang, et al. Particle vibration monitoring and analysis of rock convex slope blasting[J]. *Blasting*, 2015, 32(1):54-56. (in Chinese)
- [9] 钟冬望, 吴 亮, 陈 浩. 爆炸荷载下岩质边坡动力特性试验及数值分析研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2010, 29(S1):2964-2971.
- [9] ZHONG Dong-wang, WU Liang, CHEN Hao. Experimental and numerical analysis of dynamic characteristics of rock slope under explosive load[J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2010, 29(S1):2964-2971. (in Chinese)
- [10] 江云星, 李 遥, 陈 斌. 混凝土边坡爆破振动效应研究[J]. *科技创业月刊*, 2014, 27(10):160-163.
- [10] JIANG Yun-xing, LI Yao, CHEN Bin. Study on blasting vibration effect of concrete slope[J]. *Science and Technology Entrepreneurship Monthly*, 2014, 27(10):160-163. (in Chinese)
- [11] 费鸿禄, 苑俊华. 基于爆破累积损伤的边坡稳定性变化研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2016, 35(S2):3868-3877.
- [11] FEI Hong-lu, YUAN Jun-hua. Study on slope stability change based on blasting cumulative damage[J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2016, 35(S2):3868-3877. (in Chinese)
- [12] 胡英国, 卢文波, 陈 明, 等. 不同开挖方式下岩石高边坡损伤演化过程比较[J]. *岩石力学与工程学报*, 2013, 32(6):1176-1184.
- [12] HU Ying-guo, LU Wen-bo, CHEN Ming, et al. Comparison of damage evolution process of high rock slope under different excavation methods[J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2013, 32(6):1176-1184. (in Chinese)
- [13] 楼晓明, 周文海, 简文彬, 等. 微差爆破振动波速度峰值位移分布特征的延时控制[J]. *爆炸与冲击*, 2016, 36(6):839-846.
- [13] LOU Xiao-ming, ZHOU Wen-hai, JIAN Wen-bin, et al. Time delay control of velocity peak displacement distribution characteristics of millisecond blasting vibration wave[J]. *Explosion and Shock*, 2016, 36(6):839-846. (in Chinese)
- [14] 陈鹏辉, 陈必港, 伍 恩. 爆炸荷载下露天矿高陡边坡动力响应分析[J]. *有色金属*, 2016, 68(2):64-68.
- [14] CHEN Peng-hui, CHEN bi-gang, WU En. Dynamic response analysis of high and steep slope of open pit under explosive load[J]. *Non Ferrous Metals*, 2016, 68(2):64-68. (in Chinese)
- [15] 陈振鸣, 满 轲, 武 旭, 等. 岩质高边坡爆破质点振动效应分析[J]. *科学技术与工程*, 2016, 16(28):12-16.
- [15] CHEN Zhen-ming, MAN Ke, WU Xu, et al. Analysis of particle vibration effect of high rock slope blasting[J]. *Science and Technology and Engineering*, 2016, 16(28):12-16. (in Chinese)

英文编辑:柯 波