

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.02.016

框架结构楼房定向爆破拆除后坐控制措施及应用*

王 威^{1,2,3}, 贾永胜^{1,2,3}, 韩传伟^{1,2,3}, 黄小武^{1,2,3}, 韩 宇^{1,2,3}, 伍 岳^{1,2,3}

(1. 江汉大学 湖北(武汉)爆炸与爆破技术研究院, 武汉 430056; 2. 爆破工程湖北省重点实验室, 武汉 430056;
3. 武汉爆破有限公司, 武汉 430056)

摘 要: 框架结构楼房在定向爆破拆除时容易产生后坐现象, 对后侧保护目标构成巨大威胁。结合城市复杂环境下框架结构楼房定向爆破拆除设计施工实践, 对控制框架结构楼房后坐的方法进行分析和探讨, 并采用 LS-DYNA 动力学有限元软件对方法的合理性进行数值仿真验算。实践结果表明: 采用抬高爆破切口至 2 层, 切口后排立柱不钻孔爆破的方案, 可以有效防止或减少框架结构楼体后坐现象, 爆破后楼体 1 层后部立柱均保持完好, 在 1 层和 2 层连接处折断, 1 层前部立柱受楼体塌落冲击作用折断, 楼体爆堆堆积高度与从 1 层爆破相比并无明显差异, 爆破效果良好, 并且前排底部立柱可以作为缓冲层大大消耗楼体塌落冲击的动能, 削弱触地振动效应, 减小塌落振动对周边环境的影响。

关键词: 框架结构楼房; 定向爆破; 后坐; 控制措施

中图分类号: TU746.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-487X(2021)02-0105-06

Control Measures and Application of Recoil in Directional Blasting Demolition of Framed Buildings

WANG Wei^{1,2,3}, JIA Yong-sheng^{1,2,3}, HAN Chuan-wei^{1,2,3}, HUANG Xiao-wu^{1,2,3}, HAN Yu^{1,2,3}, WU Yue^{1,2,3}

(1. Hubei(Wuhan)Explosions and Blasting Technology Institute of Jianghan University, Wuhan 430056, China; 2. Hubei Key Laboratory of Blasting Engineering, Wuhan 430056, China; 3. Wuhan Explosions and Blasting Corporation Limited, Wuhan 430056, China)

Abstract: The phenomenon of recoiling is easy to occur in the demolition of framed buildings by directional blasting, which poses a great threat to the protection target of the rear side protection. Combined with the design and construction practice of directional blasting demolition of frame structure buildings in complex urban environment, the method of controlling the recoiling of frame structure buildings is analyzed and discussed, and the rationality of the method is verified by numerical simulation with LS-DYNA dynamic finite element software. Practical results show that the scheme of raising the blasting incision to the second floor and not drilling and blasting the columns behind the incision can effectively prevent or reduce the recoil phenomenon of the frame structure building. After the blasting, the columns of the first floor and the rear side of the building are maintained and broke off at the junction of the first and second floors. The front column of the first floor was broken off by the impact of the collapse of the building. The height of the blasting pile of the building is not significantly different from that of the 1st floor blasting. The blasting effect is good, and the front bottom column can be used as a buffer layer to greatly consume the kinetic energy of the collapse impact of the building, weaken the vibration effect of the ground contact, and reduce the impact of the collapse vibration on the surrounding environment.

Key words: frame building; directional blasting; recoil; control measures

楼房采用定向爆破方式拆除时,在楼房主体结构向预定方向倒塌的同时,通常伴有局部构件(梁、柱、板、墙体)向相反方向倾倒或塌落的后坐现象^[1]。相对于砖混结构楼房,框架结构楼房在定向爆破拆除时更容易发生后坐现象。当楼房倒塌相反方向环境较好,后坐不会造成不良的后果,并且可以利用楼房的后坐,减少楼房在预定倒塌方向的堆积距离。当楼房倒塌相反方向有保护目标(建筑物、市政设施或地下设施等)距离较近时,则后坐将会对保护目标构成巨大威胁。

随着我国城市化进程的加快,多数的待拆除建筑(构)筑物都是在人口稠密、环境复杂的区域,一般情况下都不允许楼房在倒塌时有过多的后坐^[2]。通过借鉴机械方式拆除框架结构楼房实际操作经验,对控制框架结构楼房后坐的方法进行分析和探讨,结合武汉市洪山区华中科学生态城群楼爆破拆除项目设计施工实践,并利用数值模拟方法进行验证和对比,探究城市复杂环境条件下框架结构楼房爆破拆除后坐控制措施的方法和合理性,为城市复杂环境下框架结构楼房爆破拆除设计与施工提供新的思路。

1 框架结构楼房爆破后坐分析

框架结构楼房定向爆破时,通常前几排立柱爆破高度较大,后排立柱爆破高度较小(或不钻孔爆破)。在后排立柱爆破之前(或不钻孔爆破),前排立柱已爆破并形成缺口,可认为此时楼房后排立柱已经从超静定结构变为静定结构,倒塌方向前侧已形成大悬臂结构,后排立柱除承受巨大的上部重力外,还承受巨大的偏心弯矩作用。

框架结构楼房前几排立柱爆破后,若后排立柱未钻孔爆破,后排立柱在弯矩作用下,首先在梁柱结点下的薄弱处或梁的后端薄弱处断裂。楼房倾斜一定角度,或倒塌方向爆破切口闭合时,在水平分力的作用下后排立柱向后倒塌,第一层梁和楼板向后位移,发生后坐^[3]。如图1所示,为1栋9层框架结构楼房,长60.0 m,宽12.9 m,高29.3 m,三排立柱,该楼采用定向倾倒爆破方案,爆破切口设置在1~3层,后排立柱未钻孔爆破。该楼爆破后,后排立柱

向后倒塌,后坐距离约4.5 m。



图1 框架结构楼房爆破后坐实例

Fig. 1 Example of frame structure building blasting recoil

传统设计施工时,更倾向于对框架结构楼房后排立柱采取松动爆破方式,认为此时可使后排立柱形成铰支点转动,可有效的避免(或减少)后坐^[4,5]。但是,大量的工程案例显示,定向倾倒爆破时多数情况下不会在后排立柱松动爆破后形成铰支点转动,反而后坐现象都非常严重,容易造成意想不到的后果。某大厦11层框架结构楼房,长42.3 m,宽14.3 m,高40 m,平行于倾倒方向3排立柱,前-中-后排立柱间距分别为7.8 m和6.5 m。立柱截面尺寸为400 mm×600 mm,配筋24 ϕ 25,箍筋 ϕ 12@100。重点保护目标为楼房后侧地铁出入口,距离楼房8.1 m。该楼采用定向倾倒爆破方案,后排立柱钻2个25 cm孔,松动爆破法,目的形成塑性铰。爆破后,后坐严重,对地铁出入口造成挤压破坏。出于安全考虑,地铁运营单位封锁该出入口近1个月,修复后再行开放。费鸿禄对10层框架结构楼房纵向定向爆破拆除进行数值模拟^[6],显示该楼房后坐9.33 m,实际爆破后坐9.50 m。

分析原因,是由于前排立柱爆破后,短时间内楼体构件(梁、柱、板)与2楼以上后排立柱基本未脱离,可将后排立柱1楼部分考虑为偏心受压构件,此时后排立柱爆破作用进一步降低了其支撑强度,也降低了其抗弯强度。根据中国建筑科学院研究所提出的混凝土立方体抗剪强度 τ 与抗压强度 f_{cu} 关系, $\tau=0.3401f_{cu}^{0.6103}$,可见立方体抗剪强度 τ 远小于抗压强度 f_{cu} 。后排立柱松动爆破时,在爆破平面上,产生了巨大的剪切力,此时后排立柱不足以支撑楼体上部巨大的重量和弯矩作用,将快速发生剪切破坏,产生斜向下戳的运动趋势,在后排立柱下戳运动过程中,地表和土体提供阻力,但若楼体重量较大,下戳立柱碰不到新的刚体支撑,会一直下戳,直至2楼底板接触地面。

收稿日期:2021-04-12

作者简介:王威(1986-),男,工程师,主要从事爆破工程、采矿工程等方面研究与应用工作,(E-mail)434347099@qq.com。

通讯作者:贾永胜(1970-),男,教授,主要从事爆破工程等方面研究与应用工作,(E-mail)422103951@qq.com。

基金项目:建筑物爆破拆除钢筋混凝土破坏机制 2020CFA043-湖北省自然科学基金重点项目(创新群体)

2 控制后坐技术措施

目前高拆机在楼房拆除工程中应用已很普遍,通过分析数栋框架结构楼房的机械拆除,其拆除切口并未设置在楼房一层,而是从二楼开始有序破除承重结构,一楼作为预留的缓冲层。二楼后排立柱不作处理,前排个别部位破坏程度不同,最后在安全位置点破承重构件,使楼房安全倒塌,且不发生后坐。

将此理念借鉴到框架结构楼房定向爆破拆除中,为防止楼房后坐,可采用底部楼层不爆破,抬高爆破切口,切口后排立柱不爆破的方案。并将这一理念应用到华中科学生态城群楼爆破拆除实践中,

取得了成功。

3 应用实例

华中科学生态城项目群楼爆破拆除工程位于武汉市洪山区,群楼由原武汉光谷职业学院教学楼和宿舍楼组成。一期爆破拆除的四栋楼房为校园北区的两栋框架结构教学楼(A3楼、A13楼)和两栋砖混结构宿舍楼(A7楼、E1楼)。A3楼西侧距园林场路人行道1.0 m,距PR160中压天然气管道5.0 m,北侧距待拆除3层民房2.0 m。A13楼东侧距幼儿园31.7 m,北侧为幼儿园出入道路,距商贸学院7层学生宿舍9.8 m。环境图如图2所示。

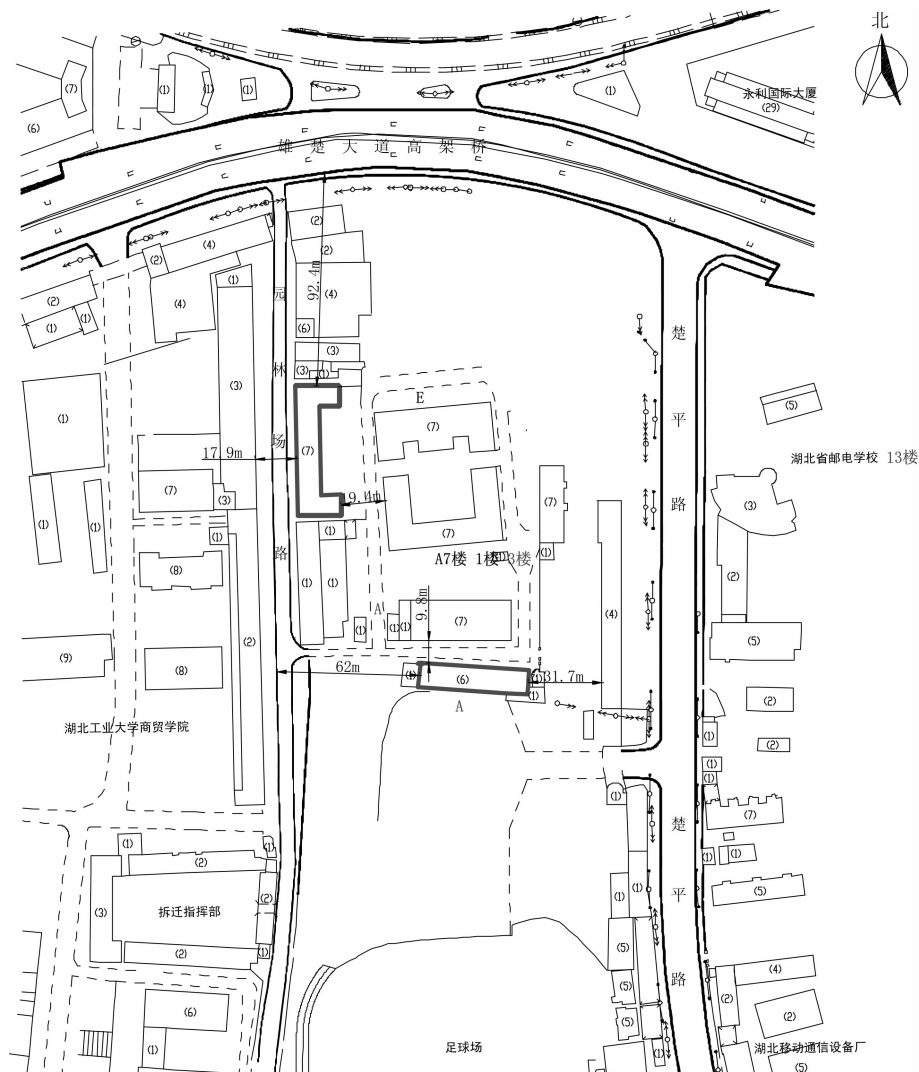


图2 爆破周围环境示意图(单位:m)

Fig. 2 Schematic diagram of surrounding environment of blasting(unit:m)

A3楼为7层框架结构,长56.6 m,宽18.7 m,高25.2 m,共4排立柱,主要立柱截面尺寸为400 mm×600 mm,楼房结构见图3所示。A13楼为

6层框架结构,长55.3 m,宽10.8 m,高24.5 m,主要立柱截面尺寸为400 mm×600 mm,楼房结构见图4所示。

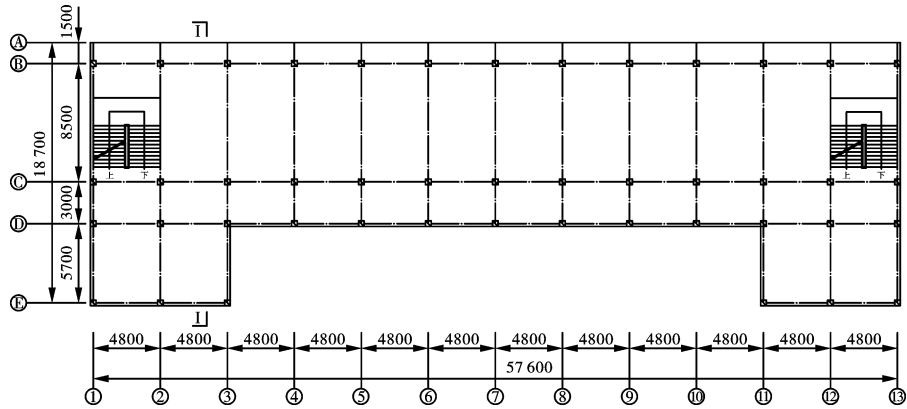


图3 A3楼结构示意图(单位:mm)

Fig. 3 Plan of the building A3 (unit:mm)

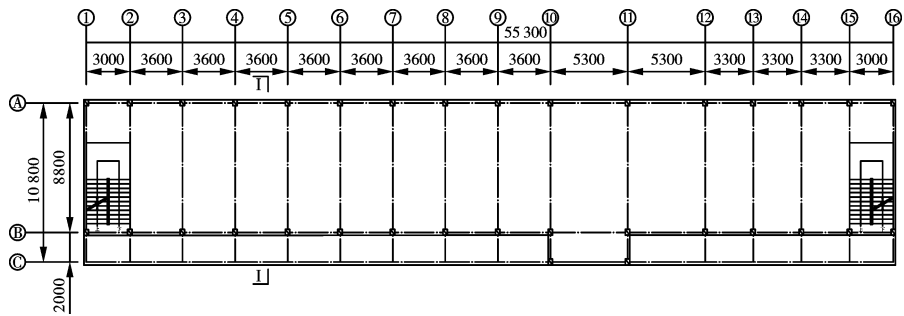


图4 A13楼结构示意图(单位:mm)

Fig. 4 Plan of the building A13 (unit:mm)

由于A3楼西侧为园林场路,A13楼北侧为幼儿园和商贸学院宿舍楼出入口,为了避免A3楼和A13楼楼体产生下坐,堵塞进出口通道。采取A3楼向东定向倒塌,A13楼向南定向倒塌的方案。A3楼的爆破切口布置在1~4层(1层后两排立柱未钻孔爆破),前后排延期时间为460ms。A13楼的爆破切口布置在2~3层^[7,8]。爆破切口示意图分别如图5、图6所示。

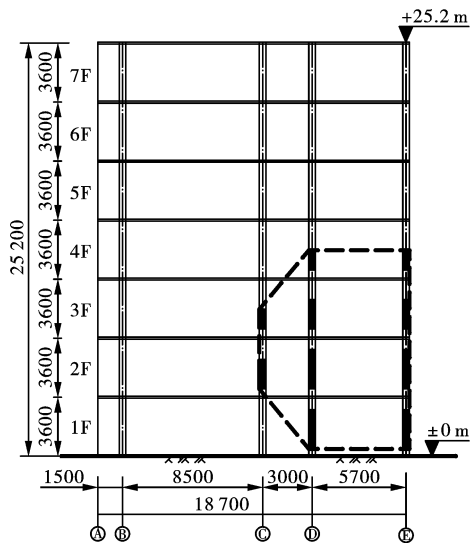


图5 A3楼爆破切口示意图(单位:mm)

Fig. 5 Blasting incision of building A3 (unit:mm)

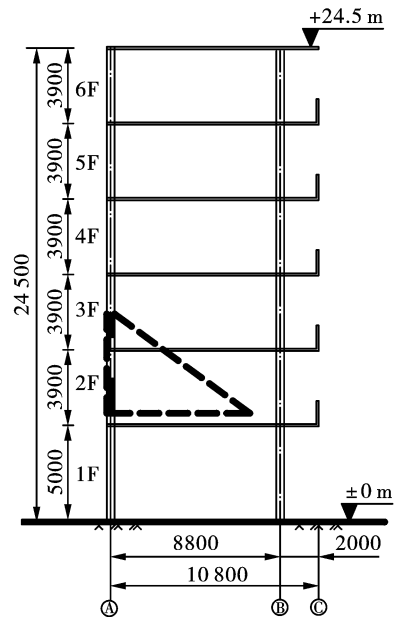


图6 A13楼爆破切口示意图(单位:mm)

Fig. 6 Blasting incision of building A13 (unit:mm)

4 数值模拟分析

为验证爆破参数的合理性及楼房后坐控制方法的可行性,采用ANSYS/LS-DYNA动力学有限元软件,对A3楼倒塌过程进行数值仿真验算^[9,10]。根据

上述案例中 A3 楼的实际结构参数,建立 7 层钢筋混凝土框架有限元模型,南北走向,3~7 楼保留非切口区域东西向填充墙体。采用整体式建模方法,不单独划分钢筋单元,以简化计算模型,提高运算效率。

选用的梁、柱、板、墙单元类型均为 SOLID164,钢筋混凝土计算模型选用塑形随动硬化材料模型(*MAT_PLASTIC_KINEMATIC),地面设置为刚体。采用 8 节点六面体单元对模型进行网格划分,单元尺寸为 30 cm,整个模型划分得到的单元数为 230518,节点数为 418467。各结构钢筋混凝土材料的物理力学参数如表 1 所示。

使用关键字 *MAT_ADD_EROSION 来控制楼房切口区域材料的失效,通过控制时间参数使各爆破按照设定的时刻依次失效。

数值模拟结果表明,A3 楼按照设计方向定向倾

倒,整个倒塌触地过程历时约 8 s,倒塌过程如图 7 所示。可以看出,切口内各排立柱按照设置的延时时间瞬间失效,在 1 s 时刻形成完整的爆破切口。在重力作用下,上部楼体在 2 层后立柱支撑下向前倾覆,2、3 楼后排梁柱在压、弯、剪组合力作用下最先发生破坏,在交接点处折断。4 s 时,前部楼体开始触地,1 楼未爆破部分作为缓冲层与上部楼体相互碰撞,增加了破碎效果。8 s 时刻,楼房倒塌完全。

表 1 材料的物理力学参数
Table 1 Mechanical parameters of materials

名称	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性 模量/ GPa	泊松比	抗拉 强度/ MPa	抗压 强度/ MPa
梁、柱、板	2700	40	0.22	4.0	50
墙	2450	32	0.20	4.0	50
地面	2400	25	0.16	-	-

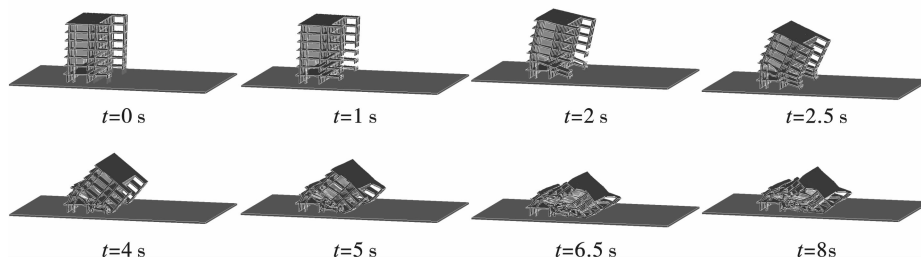


图 7 楼房模拟倒塌过程

Fig. 7 Building simulation collapse process

从图 8 可以看出,楼房倒塌未发生后坐现象,二楼及以上结构充分解体,楼房爆堆集中,爆堆高度 13.6 m,表明上述楼房爆破拆除后坐控制方法合理可行。



图 8 楼房模拟爆堆侧视图(单位:m)

Fig. 8 Side view of building blast-heap(unit:m)

损,A13 楼有部分的的小的构件散落在楼体后侧 3 m 范围内,但整体结构均未产生后坐现象,也验证了该方案对于减少楼体后坐是行之有效的。



图 9 A3 楼整体爆破效果

Fig. 9 Overall blasting effect of A3 building

5 爆破拆除实际效果

经过精心的设计、施工,楼房均按照预定方向定向倒塌,爆破没有对周边民房和天然气管道造成破坏。两栋框架结构楼房爆堆解体较充分,满足机械破碎要求。如图 9~图 12 所示,两栋楼房后侧 1 层立柱均保持完好,在 1 层和 2 层连接处折断,2 层以上向前倾覆,A3 楼后侧不到 1 m 处的院墙完好无

6 结语

(1) 框架结构楼房定向倾倒爆破采取底层后排立柱弱爆破的方案,在实际爆破中基本上不会形成塑性铰和绕铰支点转动,楼体会产生后坐现象。

(2) 对于 10 层左右高宽比较大的框架结构楼

房,为防止或者减少楼体后坐,采用1层不爆破或者前部分爆破,在2层及以上布设爆破缺口,2层后排立柱不爆破的方案是可行的。对于15层以上上部重量较大的楼房,可以抬高爆破切口到2层以上。



图 10 A3 楼后侧效果图

Fig. 10 Back side blasting effect of A3 building



图 11 A13 楼整体爆破效果

Fig. 11 Overall blasting effect of A13 building



图 12 A13 楼后侧效果图

Fig. 12 Back side blasting effect of A13 building

(3)部分爆破工程技术人员认为:与爆破切口置于1层相比,抬高爆破切口会导致爆堆太高。但通过对比两栋楼房爆破效果,爆破后1层前部立柱受楼体塌落冲击作用折断破碎,楼体爆堆堆积高度与从1层爆破相比并无明显差异。

(4)底部未爆楼层可以作为缓冲层大大消耗楼体塌落冲击的动能,削弱触地振动效应,减小塌落振动对周边环境的影响。特别是在待爆楼房后侧临近

建(构)筑物和地下管线不允许整体后坐的情况下,采用此方法可以减少风险,即使砸落几个楼房构件或渣块,也不会对保护目标造成很大破坏。

(5)为了改善爆破效果,降低爆堆高度,减少楼体后坐,可以对爆破切口内沿爆破倒塌方向的梁进行钻孔爆破,使其前端着地时折断,减小地面支撑力对后排立柱的作用。

参考文献 (References)

- [1] 周俊珍,郑卓渊,徐仲坤,等.定向爆破框架结构楼房时后坐的产生原因及控制措施[J].采矿技术,2007(3):116-118.
- [1] ZHOU Jun-zhen,ZHENG Zhuo-yuan,XU Zhong-kun,et al. Causes and control measures of directional blasting frame structure building time recoil [J]. Mining Technology, 2007(3):116-118. (in Chinese)
- [2] 魏晓林,魏挺峰.爆破拆除高耸建筑下坐动力方程[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(10):1457-1461,1472.
- [2] WEI Xiao-lin,WEI Ting-feng. Dynamic equations for sitting down of high buildings demolished by blasting [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2009, 32(10): 1457-1461, 1472. (in Chinese)
- [3] 田水龙,张程娇,黄雄,等.8层框架结构楼房爆破拆除后坐数值模拟[J].工程爆破,2019,25(1):13-18.
- [3] TIAN Shui-long,ZHANG Cheng-jiao,HUANG Xiong, et al. Numerical simulation of backward collapse in blasting demolition of 8-storey frame building [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(1): 13-18. (in Chinese)
- [4] 范龙泉,李小帅,李杜一,等.毫秒微差爆破在高层楼房拆除中的应用与研究[J].爆破器材,2018,47(5):54-58,64.
- [4] FAN Long-quan,LI Xiao-shuai,LI Du-yi, et al. Application and study of millisecond delay blasting technology in high-rise building demolition blasting [J]. Explosive Materials, 2018, 47(5): 54-58, 64 (in Chinese)
- [5] 费鸿禄,刘志东,戴明颖.复杂环境下10层非对称框架结构楼房定向爆破拆除[J].爆破,2015,32(2):89-94.
- [5] FEI Hong-lu,LIU Zhi-dong,DAI Ming-ying. Directional explosive demolition of ten-storey dissymmetry building in complicated situation [J]. Blating, 2015, 32(2): 89-94. (in Chinese)
- [6] 费鸿禄,刘梦,张玉莹,等.10层框架结构楼房爆破拆除的数值模拟[J].工程爆破,2016,22(3):48-52.
- [6] FEI Hong-lu,LIU Meng,ZHANG Yu-ying. Numerical simulation of blasting demolition of 10-storey frame structure building [J]. Engineering Blasting, 2016, 22(3): 48-52. (in Chinese)