

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.014

L型砖混结构楼房异向倾倒爆破拆除*

伍岳^{1,2}, 贾永胜^{1,2}, 黄小武^{1,2}, 陈德志^{1,2}, 刘昌邦^{1,2}, 王威^{1,2}

(1. 江汉大学 省部共建精细爆破国家重点实验室, 武汉 430056;

2. 武汉爆破有限公司, 武汉 430056)

摘要: 针对人工预切割分栋爆破拆除“L”型结构楼房常出现的危险性高、工期长等问题, 结合某7层“L”型砖混结构楼房爆破拆除工程, 设计了一种“异向倾倒一次性整体爆破拆除”方案; 并采用 ANSYS/LS-DYNA 动力学有限元软件对该方案的可行性进行数值仿真验算, 通过分析顶部节点的运动时程曲线和楼房整体失稳倒塌过程, 揭示了楼房主要构件的破坏失效机理, 并预测了爆破效果。结果表明: 通过将楼房分成三个区域进行爆破切口和起爆网路设计, 提高转角楼体“类梯形”爆破切口高度, 使得楼房在转角处被自动分割成两部分, 北侧楼体向北定向倾倒、南侧楼体向西定向倾倒, 触地充分解体。楼房实际爆破切口的形成和闭合、结构倒塌过程、塌落范围与形态等与数值模拟结果基本一致, 实际爆破效果良好, 倒塌解体时间历程约7 s, 倾倒反方向无后坐现象, 爆堆整体高度约8.9 m, 转角处爆堆向东塌散约2.1 m, 结合数值模拟结果给出的加强防护措施等建议, 有效控制了爆破有害效应, 确保了东侧保护目标的安全。

关键词: 砖混结构楼房; 爆破拆除; 数值模拟; 爆破效果

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0108-08

Blasting Demolition of L-shaped Brick-concrete Structure Building in Different Collapses Directions

WU Yue^{1,2}, JIA Yong-sheng^{1,2}, HUANG Xiao-wu^{1,2}, CHEN De-zhi^{1,2}, LIU Chang-bang^{1,2}, WANG Wei^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Precision Blasting, Jianghan University, Wuhan 430056, China;

2. Wuhan Explosions & Blasting Co., Ltd., Wuhan 430056, China)

Abstract: Aiming at the problems of high risk and long construction period in demolishing a L-shaped building by manual pre-cutting and separate blasting, a one-time overall blasting demolition scheme with different collapse directions was designed for a 7-story L-shaped brick-concrete structure building. ANSYS / LS-DYNA dynamic finite element software was used to carry out numerical simulation for checking on the feasibility of the scheme. The failure mechanism of the main components of the building was revealed by analyzing the motion time-history curve of the top nodal points and the whole building's collapse process, and the blasting effect was predicted. By dividing the building into three areas, designing the blasting incisions and the initiation network, and raising the height of the approximately trapezoidal blasting cut, the building was automatically divided into two parts at the corner. The north side of the building collapsed northward, and the south side of the building toppled westward, which made the building fully disintegrated upon touching the ground. The formation and closure of the actual blasting cut, the collapse process of the structure, the collapse range and shape of the building were basically consistent with the numerical simulation results, which means a good actual blasting effect. The time of collapse and disintegration was about 7 s. There was no

收稿日期: 2022-07-31

作者简介: 伍岳(1995-), 男, 硕士, 主要从事工程爆破研究与实践工作, (E-mail) 179191947@qq.com。

通讯作者: 贾永胜(1970-), 男, 教授、工学博士, 主要从事工程爆破研究与实践工作, (E-mail) jason03566@163.com。

基金项目: 湖北省自然科学基金重点项目(创新群体2020CFA043); 湖北省重点研发计划项目(2020BCA084)

recoil phenomenon in the reverse direction of collapse. The overall height of the blasting pile was about 8.9 m, and the blasting pile at the corner collapsed to the east about 2.1 m. Combined with the numerical simulation results, the suggestions of protection measures were presented to control the harmful effects of blasting and ensure the safety of the east protection target.

Key words: brick-concrete structure building; blasting demolition; numerical simulation; blasting effect

为加快城市化建设步伐,越来越多的城区楼房因不符合城市发展要求而被拆除。目前,爆破拆除仍是城市复杂环境下建(构)筑物拆除的有效手段,而楼房结构形式多样,各种异型结构待拆楼房出现的频率逐渐增多^[1,2]。较之常规方形平面结构楼房,异形结构楼房拆除需综合考虑倾倒塌方式、倒塌范围和安全、经济效益等问题,施工难度加大,由此对控制爆破技术提出了更高要求。

异形结构楼房平面形状主要包括“L”型、“H”型、“Y”型、“凸”型、“凹”型等^[3-6],其中“L”型结构较为多见,国内有此类楼房的爆破拆除案例。杨元兵等采用预切割方式将某复杂环境下“L”型砖混结构双面楼分割为两个独立部分^[7],以5 s的楼间间隔实现楼房的定向爆破拆除。刘国军等在某“L”型框架楼房爆破拆除工程中^[8],采用前后上下各设两个爆破切口的设计方案,实现了楼房整体向南倾倒塌,但爆后楼房爆堆较高。张建平等将一栋“L”型框架结构楼房分割为3个独立单元^[9],采用定向切口承重柱的装药量择向分配的偏炸技术和延时起爆技术,对楼房各单元实施定向对叠倾倒塌爆破拆除。可见,在大多数“L”型结构楼房的爆破拆除实践中,设计者们会优先选择将楼房预切割成多个结构规则的楼体单元,分别对各楼体单元实施定向爆破拆除;而这种方法大大增加了预拆除工作量,且对于承载能力较弱的砖混结构楼房,不合理的预拆除会导致楼房失稳倒塌事故,增加了安全隐患。目前,数值模拟在楼房拆除工程中应用越来越多,如蒙云琪等利用 ANSYS/LS-DYNA 对铁四院前大楼多种爆破拆除方案进行了模拟分析和参数优化^[10],确定了最优方案。刘昌邦等通过动力学有限元数值模拟计算^[11],研究了框架结构楼房逐跨向内倒塌爆破拆除的技术要点。叶海旺等在某22层框架结构楼房爆破拆除工程中^[12],利用 ANSYS/LS-DYNA 对排间延期时间300 ms、500 ms和800 ms三种方案进行了模拟,确定了最佳延期时间。数值模拟具有可重复、成本低等优点,对于楼房拆除爆破方案的设计和实施具有特别的指导意义^[13]。

文章结合某7层“L”型砖混结构楼房爆破拆除工程,通过设置合理的爆破切口和起爆网路,采用异向定向倾倒塌方式,实现楼房一次性整体爆破拆除,以

达到减小预拆除工作量、降低爆堆高度的目标;并采用 ANSYS/LS-DYNA 有限元分析软件对该楼房倒塌过程进行仿真验算,分析楼房失稳倒塌机理,为类似工程提供参考。

1 工程概况

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,群楼包括原武汉光谷职业学院的教学楼和宿舍楼^[14]。该项目二期爆破拆除楼房中的B17楼(如图1所示)为一栋7层砖混结构楼房,横截面形状呈“L”型,长65.1 m、宽39.6 m、高23.1 m,设有2个楼梯,建筑面积为7536.99 m²;楼层层高3.3 m,楼板为预制空心板,板厚120 mm;墙体为240 mm砖墙,楼层走廊构造柱尺寸为250 mm×250 mm。楼房平面结构如图2所示。



图1 待拆除B17楼

Fig. 1 B17 building to be demolished

B17楼位于校园南侧,东侧距离待拆6层楼房6.4 m,距离临街门面板房25 m,距楚平路沿街地下排水管道、电缆线管、天然气管道的最近距离分别为55.8 m、58.2 m、65 m,距离南湖锦城小区95.7 m;西侧距待拆A32楼32.9 m;南侧为武汉学院运动场;北侧10 m处体育馆现已拆除完毕,32.7 m处的1层附属平房在爆破前拟采用机械拆除,距待拆B12楼最近距离51.9 m。爆区周边环境如图3所示。

2 爆破拆除方案设计

2.1 爆破方案选择

根据B17楼的周边环境和结构形式,考虑安

全、环保和工期要求等各种因素,有以下3种爆破拆除方案可供选择:(1)整体向南定向倾倒爆破拆除。南侧操场方向无保护对象,该方法可保证楼房北侧长边型楼体的拆除效果,但南侧短边型楼体必须设计较高的爆破切口,并进行充分的预拆除,才能达到较好的倒塌效果,且不能完全避免侧堆对东侧围墙及板房造成挤压破坏。(2)预切割后分向倾倒爆破拆除。采用人工、机械方式,从楼房转角处(D~E轴)房间的顶层至底层预先开一条切割缝,将楼房分割成两个相互独立的楼体,让北侧楼体向北倾倒,

南侧楼体向西倾倒;该方案可保证楼房的倒塌效果和东侧围墙及板房的安全,但缺点是人工切缝工作量大、工期长,危险性较高。(3)异向倾倒一次性爆破拆除。通过合理设计转角处的切口高度和起爆网路,使得楼房以转角为界,北部楼体向北倾倒,南部楼体向西倾倒;该方案预拆除工作量较小,爆后爆堆较低,可保证工期。综合比较上述三种拆除方案的优缺点,最终采用方案(3),实现楼房异向倾倒一次性爆破拆除,以改善爆破效果,控制爆破有害效应。总体倒塌方案如图4所示。

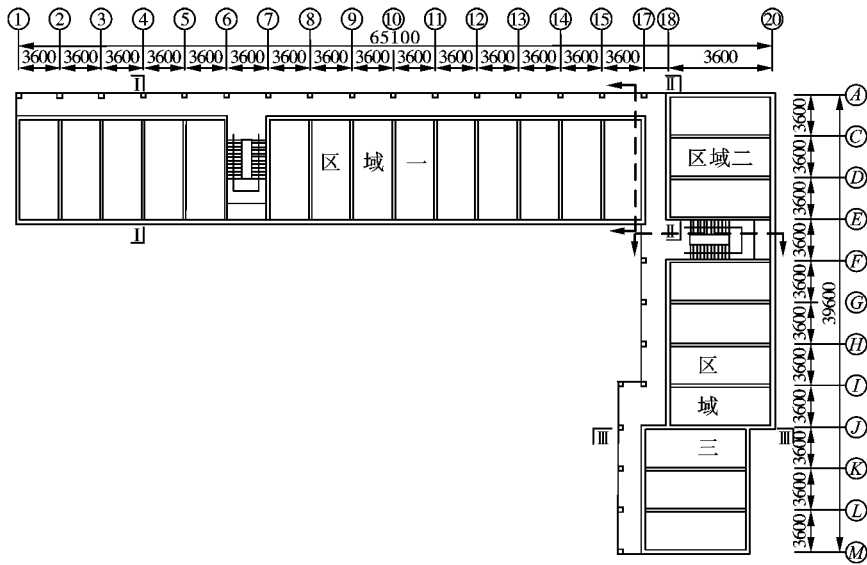


图2 B17楼平面结构示意图(单位:mm)

Fig. 2 Plane structure diagram of B17 building(unit:mm)

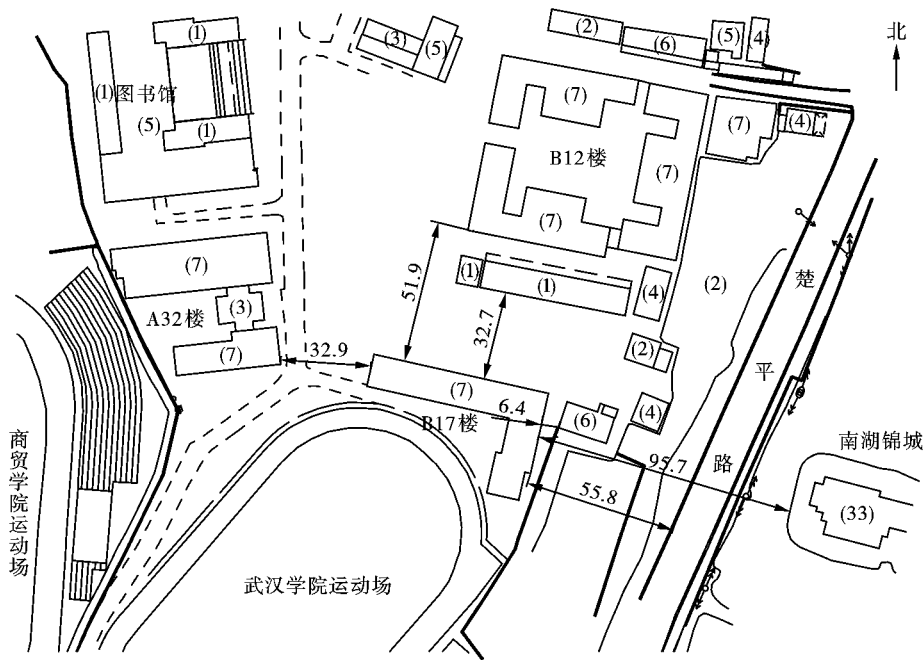


图3 周边环境示意图(单位:m)

Fig. 3 Map of the surrounding environment(unit:m)

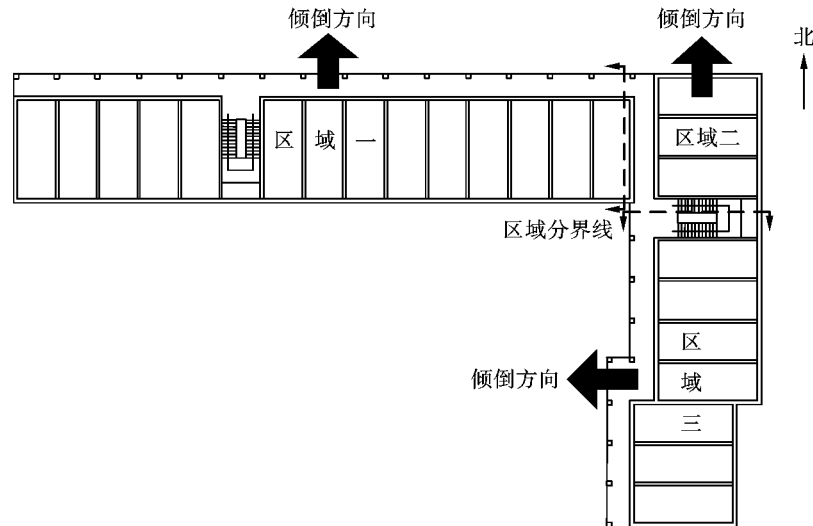


图 4 总体倒塌方案示意图
Fig. 4 Diagram of overall collapse scheme

2.2 爆破切口

为了保证 B17 楼按预定的两个方向倾倒且降低爆后爆堆高度,以转角走廊西侧墙体的和楼梯间为界,将楼房分为三个区域分别进行设计,区域划分见图 2。其中,区域一为楼房北侧长边部分楼体,设置三角形爆破切口,布置于 1~4 层,如图 5(a)所示,四楼仅爆破走廊构造柱,底层支撑区宽度为 2.5 m。区域二为楼房转角处楼体,设置“类梯形”切

口,布置于 1~4 层,如图 5(b)所示;特别说明,在 1~4 层楼梯北侧距房门 3 m 范围的墙体以及走廊对侧墙体上也划分了爆破切口,如图 5(d)所示,以此削弱楼房整体强度,确保区域二楼体顺利向北倾倒。区域三为楼房南侧短边部分楼体,爆破切口设置为三角形,布置于 1~4 层,如图 5(c)所示,底层支撑区宽度为 2.5 m。各楼层墙柱爆破切口高度见表 1。

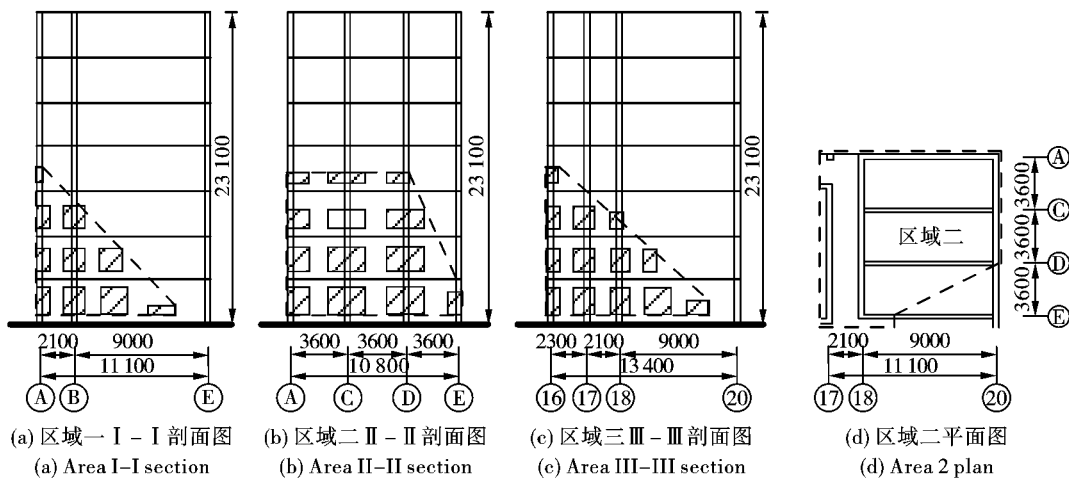


图 5 B17 楼爆破切口示意图(单位:mm)
Fig. 5 Blasting cut of building B17(unit:mm)

表 1 爆破切口高度(单位:m)
Table 1 Height of blasting cut(unit:m)

轴号	区域一			区域二				区域三			
	A	B	E	A	C	D	E	⑩	⑪	⑫	⑬
第四层	0.9	-	-	0.6	0.6	0.6	-	0.9	-	-	-
第三层	1.2	-	-	1.2	1.2	1.2	-	1.2	1.2	0.9	-
第二层	1.5	1.5	-	1.5	1.5	1.5	-	1.5	1.5	1.5	-
第一层	2.1	2.1	0.6	2.1	2.1	2.1	1.8	2.1	2.1	2.1	0.6

2.3 预处理

为减少钻孔工作量,减小爆破器材使用量,并保证爆破效果,在不影响结构自身稳定性的条件下,将爆破切口范围内的承重墙体处理成孔洞,原则上预拆墙体长度不超过该墙体长度的1/3,且呈对称分布;将两个楼梯间的第1层楼梯全部拆除,2~4层楼梯弱化处理,即将上下楼梯第一踏步处的混凝土

破碎,但保留楼梯钢筋。

2.4 孔网参数

采用梅花形布孔方式,炮孔直径为 $\phi 40\text{ mm}$,炸药采用 $\phi 32\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 的2号岩石乳化炸药。楼房主要有构造柱和24 cm厚砖墙两种爆破结构,依据爆破前的现场试爆,确定最佳的炸药单耗,具体爆破参数如表2所示。

表2 爆破参数表
Table 2 Blasting parameters

结构尺寸	最小抵抗线 w/cm	孔距 a/cm	排距 b/cm	孔深 l/cm	单耗/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	单孔药量 q/g	布孔方式	装药结构
250 mm 构造柱	12.5	30	-	17	2222	50	单排布孔	连续装药
240 mm 砖墙	12	30	30	15	1389	30	梅花形布孔	连续装药
240 mm 拐角墙	-	30	-	19	-	50	单排布孔	连续装药

2.5 起爆网路

采用孔内高段位、孔外低段位非电导爆管雷管接力的分区延时起爆网路。孔内装填MS19段导爆管雷管,孔外用2发瞬发导爆管雷管捆扎接力,每

20发为1捆;楼层间同排立柱、墙体同时起爆,不设时差,前后排间采用310 ms延时。爆破网路分区如图6所示,起爆顺序为①→②→③→④→⑤→⑥→⑦,各分区延期时间见表3。

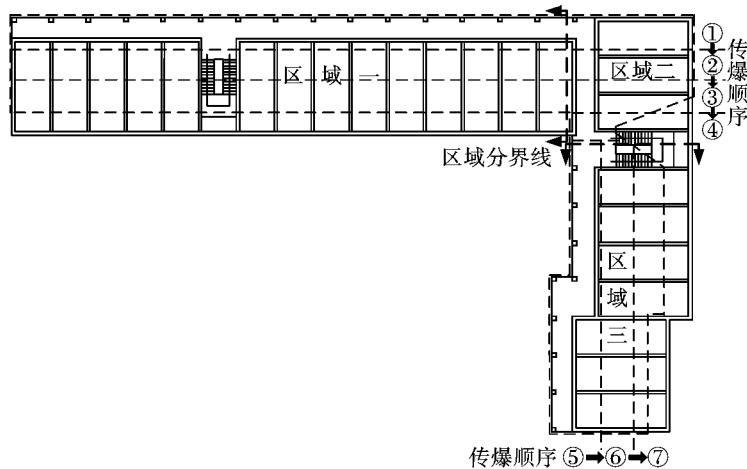


图6 起爆网路分区示意图

Fig. 6 Detonation network partition diagram

表3 起爆网路延期时间(单位:ms)

Table 3 Delay time of initiation network (unit: ms)

区号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
孔外	0	310	620	930	1240	1550	1860
孔内	1700	2010	2320	2630	2940	3250	3560

3 数值模拟分析

3.1 数值模型建立

为验证上述楼房爆破拆除设计方案的可行性,采用ANSYS/LS-DYNA大型有限元软件按照1:1的比例建立有限元模型,对该楼房在爆破切口形成后

的失稳倒塌运动过程进行仿真计算。建模采用整体式模型^[15],采用kg-m-s单位制,不考虑墙体构造柱、楼梯间、卫生间等狭小结构对楼房刚度的影响,对计算模型进行适当简化,以提高建模和计算效率。墙体及楼板均采用SOLID164单元,结构材料使用MAT_PLASTIC_KINEMATIC经典弹塑性模型,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,网格单元边长为12 cm,将整个楼房实体划分为1 787 886个单元,节点数为2 990 025。忽略切口墙体的爆炸过程,使用关键字MAT_ADD_EROSION来控制爆破切口墙体失效,其余主体结构的破

坏通过定义失效主应变(设置为 0.025)和抗拉强度等参数来控制。楼房构件材料的物理力学参数如表 4 所示,建好的楼房模型如图 7(a) 所示。

表 4 模型材料的物理力学参数

Table 4 Mechanical parameters of materials

名称	密度 $\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模 E / GPa	泊松比 μ	抗拉强度 / MPa	抗压强度 / MPa
墙体、楼板	2400	30	0.20	4.0	50
地面	2100	25	0.16	-	-

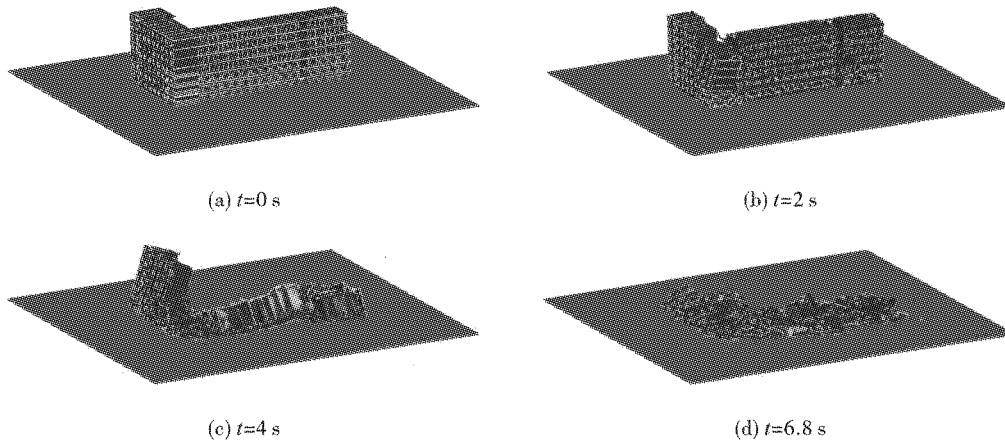


图 7 楼房倒塌过程模拟结果

Fig. 7 Simulation results of building collapse process

3.2 数值计算结果分析

数值模拟计算得出的楼房倒塌情况如图 7 所示,区域一和区域二楼体向北定向倾倒,区域三楼体向西定向倾倒。自楼房北侧前排墙、柱开始爆破到失稳、倒塌、触地,整个时间历程约 6.8 s。

分别在楼房区域一、区域二、区域三的楼顶中部选取 A(2936979 号)、B(2972380 号)、C(2971599 号)三个代表性节点,读取其竖向位移、竖向速度时程曲线,如图 8、图 9 所示,结合图 6 对楼房的倒塌过程进行分析。可以看出,0~0.93 s,北侧区域一和转角区域二楼体的爆破切口形成,上部楼体应力重分布,出现向北倾倒趋势,切口内楼板开始向下塌落,区域一楼梯间及转角走廊处的部分楼板开始竖向断裂;且在 0.8 s 时刻,区域二的 6~7 层楼梯间北侧梁柱结点受到较大的拉、剪组合力作用,而出现明显竖向裂纹;0.93 s 时刻,区域一和区域二楼体开始以支撑区为铰点向北倾倒,区域二楼梯间顶部竖向裂纹进一步扩大并贯通至低楼层,逐步将区域二与区域三楼体自动切割开来;2 s 时刻,区域三楼体的爆破切口形成,上部楼体开始向西定向倾倒。由于区域二的爆破切口更高,其楼体倾倒塌落速度快于区域一楼体的倾倒速度,最大速度超过 14 m/s,触地后迅速降为 0 m/s;区域 2 楼体在 3.8 s 时刻完

全坍塌触地,解体充分;随后,区域 1 和区域 3 楼体相继触地解体。另外,从图 8 中可以看出,节点 A 的下落速度在 3.2~3.6 s 之间出现有明显的波动区,其原因是该时间段区域一楼体爆破切口闭合,楼体下部结构开始触地压碎,地面对其下落有一定的缓冲作用,且由于区域一楼体的东西向长度较长,其缓冲作用持续时间较区域二(2.3~2.4 s)和区域三(3.7~3.8 s)更加明显。

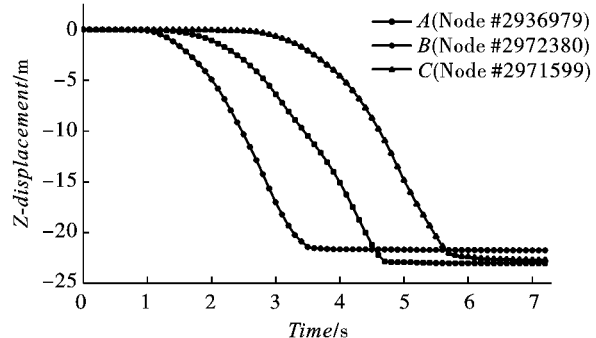


图 8 竖向位移时程曲线

Fig. 8 Vertical displacement and time curve

数值模拟计算结果表明,按照上述爆破设计方案可实现该楼房异向倾倒塌除,且楼房解体充分。楼房爆破后的爆堆高度约 8.55 m,楼房向北、向西前倾距离分别为 16.6 m 和 14.8 m,倒塌

反方向均无后坐,区域二楼体倒塌方向右侧爆堆外溢距离为 1.6 m,不会对东侧待拆楼房造成挤压;但楼房在倒塌过程中,东侧有零星散落单元冲出,建议在楼房东侧爆破切口外加强防护,防止爆破飞石对东侧保护目标构成威胁。

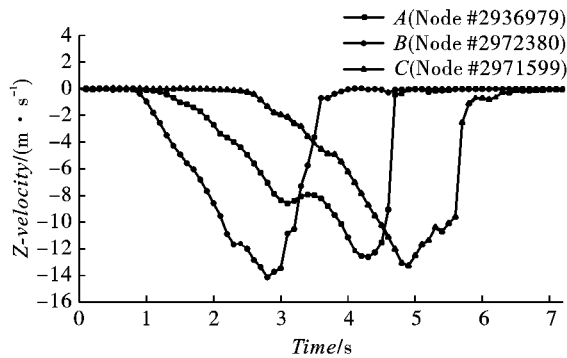


图9 竖向速度时程曲线

Fig. 9 Vertical velocity and time curve

4 实际爆破拆除效果

起爆后楼房按照设计要求倒塌,楼房在转角楼梯间处由上至下被自动割开成两部分,北侧楼体向北定向倾倒,南侧楼体向西定向倾倒。整个倒塌解体过程历时约 7 s,倾倒反方向基本无后坐现象。实际爆破效果如图 10 所示,楼房解体充分,爆堆整体高度约 8.9 m,转角处爆堆向东塌散约 2.1 m。楼房实际倒塌姿态、解体状况、爆堆形态与数值模拟计算结果基本一致,根据数值模拟结果对楼房东侧采取了加强防护措施,爆破飞石得到有效控制,保证了东侧建筑物、管线等保护目标的安全。



图10 实际爆破效果

Fig. 10 Actual blasting effect

5 结论

基于某 7 层“L”型砖混结构楼房,通过合理设计爆破切口和起爆网路,实现了楼房异向倾倒一次

性整体爆破拆除,并通过数值模拟分析了楼房失稳倒塌过程,得出以下结论:

(1)与人工预切割、分栋爆破拆除方法相比,异向倾倒一次性爆破拆除方法可大大减小预拆除工作量、减小风险、缩短工期,并保证爆破拆除效果。

(2)转角楼体类梯形爆破切口和分区延时起爆网路设计,是实现楼房异向倾倒的关键,使得楼房在复杂拉、剪组合作用下,自动分割成两部分而相继定向倒塌,充分解体、爆堆集中,降低了爆破振动效应。

(3)运用 ANSYS /LS-DYNA 有限元分析软件,可有效模拟砖混结构楼房异向倾倒爆破拆除失稳倒塌运动过程和爆破效果,反映出楼房主要构件的破坏失效机理,验证该技术方案的可行性,为实际爆破施工和安全防护提供理论参考。

参考文献 (References)

- [1] 温良全,文家贵.多栋异型砖混结构楼房的爆破拆除[J].爆破,2006,23(3):56-58.
- [1] WEN Liang-quan, WEN Jia-gui. The blasting demolition for several irregular brick concrete structure building[J]. Blasting, 2006, 23(3): 56-58. (in Chinese)
- [2] 谢先启,贾永胜,韩传伟,等.异形结构楼房纵向延时定向倾倒爆破技术[J].工程爆破,2010,16(4):58-60.
- [2] XIE Xian-qi, JIA Yong-sheng, HAN Chuan-wei, et al. Longitudinal delay and directional collapse blasting technique for special-shaped building [J]. Engineering Blasting, 2010, 16(4): 58-60. (in Chinese)
- [3] 王洪刚,韩传伟,王威,等.复杂环境下“H”形 8 层框架结构楼房同向爆破拆除[J].爆破,2017,34(4):120-124,136.
- [3] WANG Hong-gang, HAN Chuan-wei, WANG Wei, et al. Directional explosive demolition of “H” type eight-layer frame-structured reinforced concrete building [J]. Blasting, 2017, 34(4): 120-124, 136. (in Chinese)
- [4] 张建平,费鸿禄,曲广建,等.异型截面楼房定向爆破的关键技术和应用[J].爆破,2017,34(1):117-123.
- [4] ZHANG Jian-ping, FEI Hong-lu, QU Guang-jian, et al. Key technique and application of directional blasting of special-shaped building [J]. Blasting, 2017, 34(1): 117-123. (in Chinese)
- [5] 刘昌邦,贾永胜,黄小武,等.异形结构楼房纵向逐跨空中解体爆破拆除[J].爆破,2019,36(3):84-89.
- [5] LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, et al. Blasting demolition technology of longitudinal collapse and aerial disintegration for special-shaped building [J].

- Blasting, 2019, 36(3):84-89. (in Chinese)
- [6] 刘昌邦,贾永胜,黄小武,等. 砖混结构楼房逐段向内倾倒塌爆破拆除[J]. 爆破, 2021, 38(3):82-87.
- [6] LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, et al. Blasting demolition of brick-concrete structure building by piecewise and inward collapse [J]. Blasting, 2021, 38(3):82-87. (in Chinese)
- [7] 杨元兵,刘国军. “L”型砖混候车楼分体爆破拆除[J]. 爆破, 2007, 24(1):58-60.
- [7] YANG Yuan-bing, LIU Guo-jun. "L" type brick waiting room fission blasting demolition [J]. Blasting, 2007, 24(1):58-60. (in Chinese)
- [8] 刘国军,张海龙,赵清涛. 复杂环境下“L”型框架楼房定向爆破拆除[J]. 爆破, 2016, 33(1):93-95, 136.
- [8] LIU Guo-jun, ZHANG Hai-long, ZHAO Cun-qing. Explosive directional demolition of "L"-shaped frame building in complex environment [J]. Blasting, 2016, 33(1):93-95, 136. (in Chinese)
- [9] 张建平,王俊生,张龙飞. 复杂环境下L型楼房的定向对叠爆破控制技术[J]. 爆破器材, 2017, 46(2):60-64.
- [9] ZHANG Jian-ping, WANG Jun-sheng, ZHANG Long-fei, et al. Directionally piled blasting and controlling of an L-shaped building in complex surroundings [J]. Explosive Materials, 2017, 46(2):60-64. (in Chinese)
- [10] 蒙云琪,倪明亮,操鹏,等. 基于数值模拟的铁四院前大楼拆除爆破方案优化[J]. 爆破, 2018, 35(1):96-103, 160.
- [10] MENG Yun-qi, NI Ming-liang, CAO Peng, et al. Optimization of demolition blasting scheme of TieSiYuan former building based on numerical simulation [J]. Blasting, 2018, 35(1):96-103, 160. (in Chinese)
- [11] 刘昌邦,贾永胜,黄小武,等. 框架结构楼房逐跨向内倾倒塌爆破拆除[J]. 爆破, 2020, 37(4):81-88.
- [11] LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, et al. Span-by-span inward collapse blasting demolition of frame structure building [J]. Blasting, 2020, 37(4):81-88. (in Chinese)
- [12] 叶海旺,李庆,郑长青,等. 22层框架楼房定向爆破拆除倒塌过程分析[J]. 爆破, 2021, 38(2):111-117.
- [12] YE Hai-wang, LI Qing, ZHENG Chang-qing, et al. Analysis on collapse process of 22 storey frame building demolished by directional blasting [J]. Blasting, 2021, 38(2):111-117. (in Chinese)
- [13] MARIO B, SANTOS A P, GOICOLEA Jos M. Development of practical finite element models for collapse of reinforced concrete structures and experimental validation [J]. Shock and Vibration, 2017(8):263-271.
- [14] 王威,贾永胜,韩传伟,等. 框架结构楼房定向爆破拆除后坐控制措施及应用[J]. 爆破, 2021, 38(2):105-110, 117.
- [14] WANG Wei, JIA Yong-sheng, HAN Chuan-wei, et al. Control measures and application of recoil in directional blasting demolition of framed buildings [J]. Blasting, 2021, 38(2):105-110, 117. (in Chinese)
- [15] 杨军,杨国梁,张光雄,等. 建筑结构爆破拆除数值模拟[M]. 北京:科学出版社, 2012.

英文编辑:陈东方

《爆破》论文网络首发及著作权使用声明

《爆破》为使录用论文首发权及时获得确认,自2019年12月起与中国知网合作启动“网络首发”在线优先数字出版项目,即《中国学术期刊(网络版)》(简称CAJ-N),统一连续出版物号ISSN 2096-418、CN 11-6037/Z。

作者稿件经审稿录用后,将会以“录用定稿”模式第一时间上传至中国知网“网络首发”平台发布。每篇网络首发论文均可下载一份“中国知网学术期刊网络首发论文出版证书”,其效力等同于纸质出版论文。

为避免出现一稿多投的现象,凡已投《爆破》的稿件,在未确认录用或退稿前,请勿再投他刊!

《爆破》为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《中文科技期刊数据库》、“万方数据——数字化期刊群”、维普网和超星学术期刊“域出版”平台收录期刊。本刊已许可上述机构以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。