

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.01.013

复杂环境下框-筒结构楼房内向折叠 爆破拆除技术研究

费鸿禄¹, 张广贝¹, 何文斌², 钱起飞¹, 胡 刚¹

(1. 辽宁工程技术大学 爆破技术研究院, 阜新 123000; 2. 辽宁工大爆破工程有限责任公司, 阜新 123000)

摘 要: 通过对待拆框-筒结构楼房的周围环境和结构特性分析, 采用“内向折叠”的爆破拆除方案。利用 ABAQUS 有限元分析软件对预拆除后建筑结构的稳定性分析, 结合应力分布状况确定预处理方案。结果表明: 立柱受弯矩较为明显, 钢筋在最大拉应力作用下处于弹性工作状态; 框架结构内应力合理, 有向中心弯曲变形的趋势, 结构处于稳定状态。爆破方案选取较大炸高, 在 1、2、4、5 层布设爆破切口, 切口由上而下逐渐增大; 单层 20 根立柱根据位置设计不同爆破参数与延期时间, 采用 11 个段别半秒延期雷管形成的孔内延期与 3 个段别毫秒延期雷管形成的孔外延期相结合的爆破网路。为保证倒塌方向和控制触地振动, 个别位置立柱延期时间作出了调整, 结合有效安全防护和减振措施, 达到了设计预期爆破效果。

关键词: 框-筒结构楼房; 内向折叠; 爆破拆除; 预处理; 爆破网路

中图分类号: TU746.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2021)01-0080-07

Study on Inward Folding Blasting Demolition Technology of Frame Tube Structure Building in Complex Environment

FEI Hong-lu¹, ZHANG Guang-bei¹, HE Wen-bin², QIAN Qi-fei¹, HU Gang¹

(1. Blasting Technology Research Institute, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. Liaoning Gongda Blasting Engineering Co., Ltd., Fuxin 123000, China)

Abstract: According to the surrounding environment and structural characteristics of a frame tube structure building to be demolished, the blasting demolition scheme of “inward folding” was adopted. The finite element analysis software ABAQUS was used to analyze the stability of the pre-demolished building structure and determine the pretreatment scheme combined with the stress distribution. The results show that the moment applied to the column was obvious, and the reinforcement was in elastic working state under the maximum tensile stress; the internal stress of the frame structure was reasonable. Bending deformation presented a trend towards the center, and the structure was in a stable state. In the blasting scheme, high blasting point was selected. In addition, blasting cuts were arranged in layers 1, 2, 4 and 5, and the cuts were gradually increased from top to bottom. Various blasting parameters and delay times were set according to the positions of 20 single-layer columns, and the blasting network consisted of 11 half second delay detonators and 3 millisecond delay detonators. In order to ensure the collapse direction and control the ground vibrations, the delay times of columns at individual positions were adjusted. Combined with effective safety protection and vibration reduction measures, the blasting effect had met the design expectation. The study can be used as reference for similar projects.

Key words: frame tube structure building; inward folding; blasting demolition; pretreatment; blasting network

1 工程概况

待拆建筑物为沈阳市沈河区敬宾街的富丽华大酒店,主楼(含工艺装饰塔高度)高度144.29 m,共29层,建筑面积32 732 m²,该建筑物于90年代由于多种外界因素变为烂尾楼,应市政规划要求对其主楼部分进行爆破拆除。受场地限制与多种周围环境因素影响,将主楼分为两部分拆除作业:7~29层爆破协同机械作业降层拆除,1~6层一次性作业爆破拆除。本文为1~6层一次性爆破技术研究。

1.1 工程环境

待拆建筑物地处人口密集区,周围环境复杂,临近建筑物最近距离为39 m,为爆破作业带来了各种困难。其中北侧86 m为沈阳市沈医二院心理卫生医院,东北侧83 m处为中铁九局六公司大厦,西北侧92 m处为客车售票处,东侧39 m为别墅区及龙汉城市花园,南侧54 m处为沈阳市消防广场,西侧44 m敬宾街为城市主干道,车流量较大。主要爆破环境如图1所示。

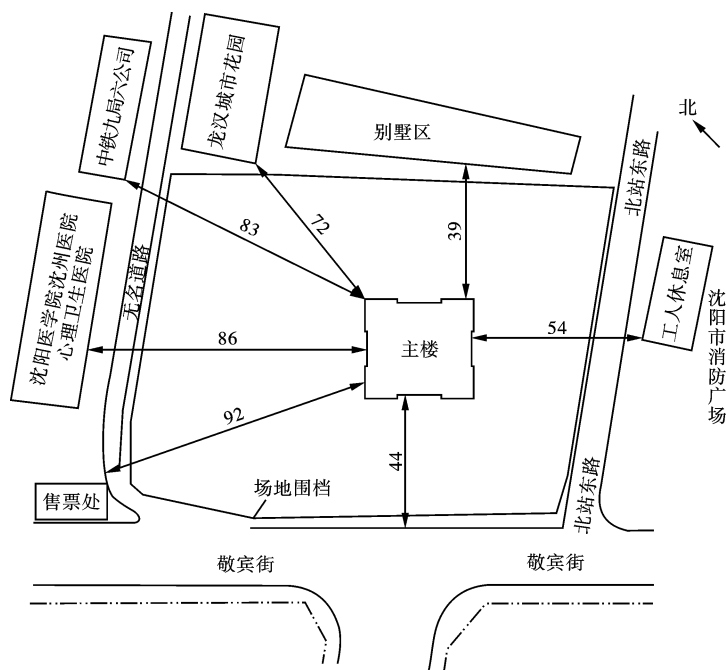


图1 爆破周围环境示意图(单位:m)

Fig. 1 Schematic diagram of surrounding environment of blasting(unit:m)

1.2 建筑物结构特点

7~29层降层拆除后,剩余待爆主楼部分二次加固结构繁多,强度高且稳定性强,一至五层钢筋混凝土立柱标号C60,梁C40;六层立柱C50,梁C30。楼高为29.55 m,南北长为35.8 m,东西宽为32.8 m。1楼层高为6 m,2-4楼层高为4.8 m,5楼层高为3.8 m,5、6层之间夹层为2.2 m的管道层,6层为3.15 m。主楼中每层有5排5列共22根立柱,分别对应图2中A~E排、I~V列,其中1~5层立柱的截面尺寸为1200 mm×1200 mm,6层立柱的

截面尺寸为1100 mm×1100 mm。主楼中心核心筒结构南北方向长15.7 m,东西方向宽9.1 m,内含2个楼梯间,4个电梯井。待爆楼体平面图及北侧立面图分别如图2、图3所示。

2 爆破方案设计

剩余待爆楼体高跨比较小,采用定向爆破法不易倒塌,且倒塌后触地冲击大,也不易达到良好的爆破解体效果;西侧临近别墅建有地下民用储藏室,该建筑各项指标标准较低;北侧心理卫生医院警戒工作与患者疏散作业难度较大,通过环境因素和方案比较选用内向折叠法。内向折叠法即自上而下对楼房每层的内承重构件予以充分破坏,结构在重力的作用下由中心开始向下垮落,并拉动外侧墙柱梁向中心移动,从而实现内向的折叠坍塌^[1,2]。

收稿日期:2020-10-11

作者简介:费鸿禄(1963-),男,山东省日照人,教授、博士生导师,辽宁工程技术大学爆破技术研究院院长,从事工程爆破和地下工程有关方面的科研与教学工作,(E-mail) feihonglu@163.com。

通讯作者:张广贝(1996-),男,河南省南乐人,硕士研究生,从事爆破工程方向研究,(E-mail) 381587500@qq.com。

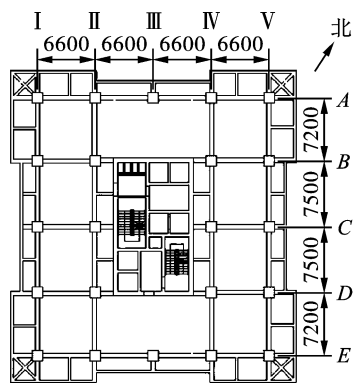


图 2 待爆楼体平面示意图(单位:mm)

Fig. 2 Plan of the building to be blasted(unit:mm)

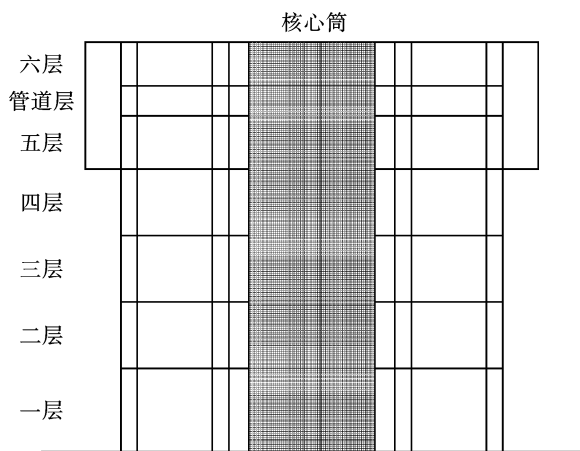


图 3 待爆楼体北侧立面示意图

Fig. 3 North elevation of the building to be blasted

2.1 预处理

对于框-筒结构的建筑物,核心筒自成一体,重量大,整体性较好^[3],如不预处理爆后不会充分解体,影响爆堆高度,还会产生相当大的触地振动。因此将楼房的一至三层的核心筒结构、隔断墙以及楼板进行机械拆除处理并清运腾空,为楼房倒塌提供空间。

结合工程实例,利用 ABAQUS 数值模拟软件对初步预处理后的建筑结构稳定性进行分析,根据剪力墙分布情况,选取楼房配重较大的东半侧部分建立数值模拟模型。梁板结构的应力分布特征如图 4(a)所示,数据表明剪力墙与框架的联系梁处较多出现应力集中,最为集中受力的部位在 6 层剪力墙开口上方的短梁梁端处;框架结构中各梁存在的内力适中,梁系所有截面中,最大拉应力 45 MPa,钢筋处于弹性工作状态;板上无明显应力,刚度连续性良好;立柱受弯矩较为明显,整体应力最大位置为 C 排 IV 列立柱中心高度为 14.5 m 处,拉应力达到 83.52 MPa。框架结构以向中心方向的平面弯曲变形为主,结构整体位移如图 4(d)所示,整体挠度 3

层与 6 层保持一致,具有内(核心筒)沉外(框架梁柱体系)升的变形趋势,为楼房结构内向折叠倒塌方向奠定基础。

综上所述,初步预拆除结构呈稳定状态,且配重方向合理。结合数值模拟数据及工程经验对各楼层制定具体预处理方案^[4]:(1)由于楼板无明显应力,为降低楼板对楼体的支撑作用和挤压作用,只保留 3、6 层顶板,其余不影响作业的楼板部分全部清除。(2)3 层与 6 层顶板预处理方案如图 5(a)所示,在 I - II、IV - V 列立柱之间的楼板处人工破碎混凝土形成 60 cm 的倒塌挤压缓冲带。(3)6 层核心筒的中心位置剔出一条南北方向宽为 2 m 的贯穿裂缝带(只破碎混凝土,保留钢筋),并与 3 层 4 m 裂缝带相衔接,使之整体呈现出梯形形状,处理后效果如图 6 所示。(4)4 层至管道层预处理方案如图 5(b)(c)(d)所示,其中 5 层与管道层的剪力墙与框架的联系梁处应力最为集中,在施工过程中要实时观察。(5)由于待爆楼体的镜面对称性,采用人工或机械预处理 III 列的两根立柱,保留与外墙衔接的短梁部分起到高处防护作用。(6)根据以往工程经验,应使用风镐将核心筒内楼梯“拦腰斩断”,将混凝土破碎露出钢筋;对于保留楼层的楼板采用“十字型”切割缝;核心筒东西两侧的剪力墙打圆弧形预留洞做弱化处理。见图 5。

2.2 爆破切口

针对预处理后的建筑物,采用“化整为零”原则,分为 1-3 东、1-3 西、4-6 东、4-6 西共 4 个爆破区域,选择在 1、2、4、5 层的承重结构进行钻眼爆破作业。每个区域 2 个爆破切口,共 8 个爆破切口实现区域性东西方向内收倒塌^[5,6]。

楼体待爆立柱为 C60 混凝土,32 根 $\phi 25$ mm 竖向钢筋,加密网格箍筋直径为 $\phi 12$ mm,上下间距为 10 cm,钢筋混凝土立柱强度较高,因此设计炸高要略大于理论炸高。立柱破坏高度计算公式如下^[7,8]

$$H = K(B + H_{\min}) \quad (1)$$

式中: H 为立柱破坏高度, m; K 为经验系数, $K = 1.5 \sim 2.0$; B 为立柱截面的长边长, m; $H_{\min}$ 为立柱的最小破坏高度, $H_{\min} = (30 \sim 50)d$, d 为钢筋直径, cm。

根据理论计算并结合施工经验,并对(1)式计算做出适当调整;4、5 层 I、V 列立柱炸高取 1.5 m; 5 层 II、IV 列立柱炸高取 2 m; 4 层 II、IV 列立柱炸高取 3 m。1、2 层 I、V 列排立柱炸高取 2 m; 2 层 II、IV 列立柱炸高取 3 m; 1 层 II、IV 列立柱炸高取 4.5 m。爆破切口示意图如图 6 所示。

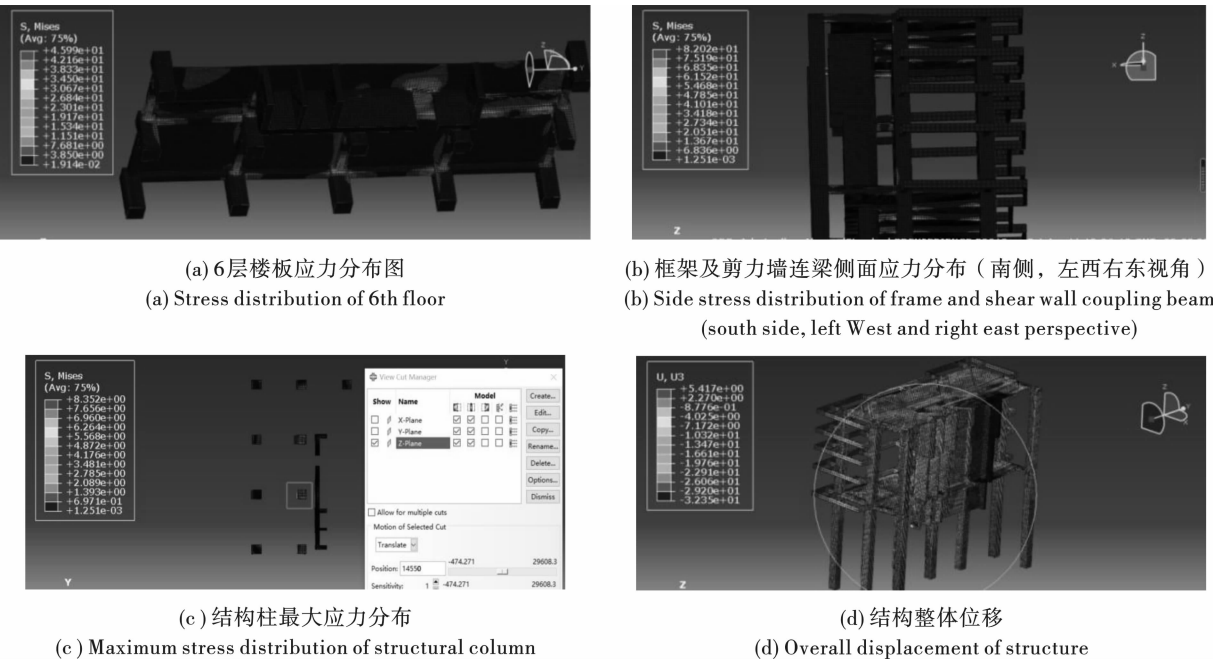


图 4 初步预处理建筑结构有限元分析
Fig. 4 Finite element analysis of preliminary pretreatment building structure

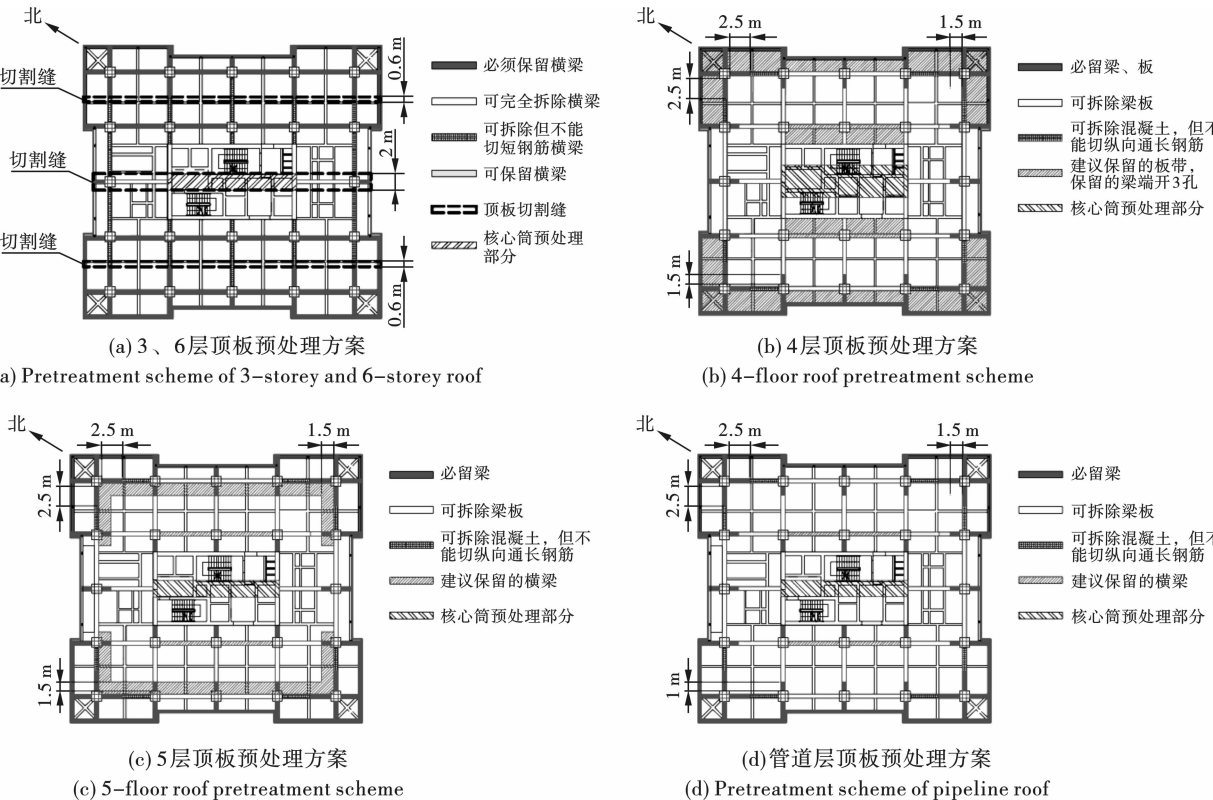


图 5 各层楼板预处理示意图
Fig. 5 Schematic diagram of floor pretreatment of each floor

2.3 爆破参数设计

每层待爆立柱 20 根,总数量 80 根,截面尺寸均为 1200 mm × 1200 mm,布置三排梅花型炮孔,排距取 300 mm,孔距 500 mm。选取不同的炸药单耗进行试爆,并根据试爆效果对于不同部位的钢筋混凝

土立柱选取炸药单耗从而确定单孔装药量。具体装药量及参数见表 1。

2.4 起爆顺序以及爆破网路

起爆顺序与爆破网路对爆破效果具有很大的影响,内向折叠爆破法等同于两次单向折叠爆破模式,

宜采用自上而下的起爆顺序^[9,10]。起爆网路采用孔内半秒延期非电导爆管雷管与孔外毫秒延期非电导爆管雷管两种雷管,待爆立柱孔内采用双发半秒延期非电导爆管雷管,孔外用毫秒延期雷管实现孔外延期,并用导爆管与四通连接从而形成复式闭合导爆网路。1~6层A排立柱爆破网路如图7所示,爆破网路以A排Ⅱ列立柱为起爆点,相邻排、列、楼层的立柱增加一个雷管段位, E排立柱爆破网路如图8所示。爆破网路立面及平面呈‘v’字型,有利于楼体在塌落过程中受到扭曲、拉压和剪切,解体更充分^[11-13]。为保证楼房倒塌方向,1~4层Ⅱ列立柱孔内延期雷管段位在原有爆破网路基础上减少一个段位,1层V列立柱孔内延期雷管段位在原有爆破网路基础上增加两个段位。4、5楼孔外延期采用MS-1段雷管,3楼孔外延期采用MS-3段雷管,1楼孔外

延期采用MS-5段雷管。

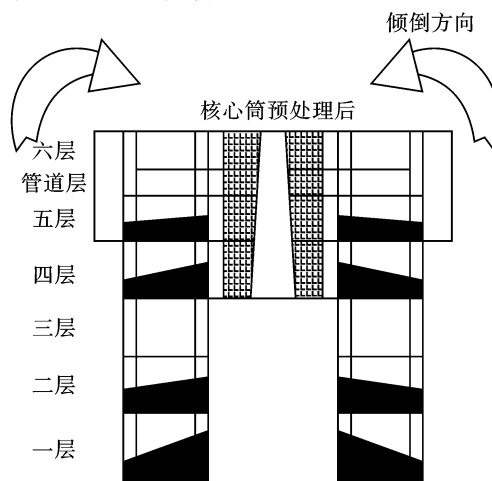


图6 爆破切口示意图

Fig. 6 Schematic diagram of blasting cut

表1 爆破参数表

Table 1 Blasting parameters

爆破部位	立柱 个数/根	爆破切口 高度/m	炮孔 数量/个	孔深/ mm	单耗/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	单孔 装药量/g
5层Ⅰ、Ⅴ列立柱	10	1.5	12	850	1.8	450
5层B、C、D排Ⅱ、Ⅳ列立柱	6	2.0	15	900	2.2	550
5层A、E排Ⅱ、Ⅳ列立柱	4	2.0	15	850	2.0	500
4层Ⅰ、Ⅴ列立柱	10	1.5	21	850	1.8	450
4层B、C、D排Ⅱ、Ⅳ列立柱	6	3.0	12	900	2.2	550
4层A、E排Ⅱ、Ⅳ列立柱	4	3.0	12	850	2.0	500
2层Ⅰ、Ⅴ列立柱	10	2.0	15	850	1.8	450
2层B、C、D排Ⅱ、Ⅳ列立柱	6	3.0	21	900	2.2	550
2层A、E排Ⅱ、Ⅳ列立柱	4	3.0	21	850	2.0	500
1层Ⅰ、Ⅴ列立柱	10	2.0	15	850	1.8	450
1层B、C、D排Ⅱ、Ⅳ列立柱	6	4.5	30	900	2.2	550
1层A、E排Ⅱ、Ⅳ列立柱	4	4.5	30	900	2.0	500

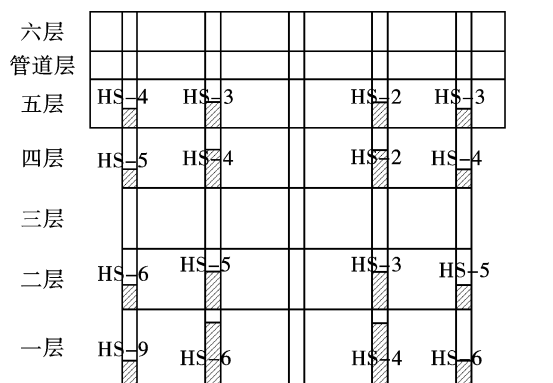


图7 A排立柱爆破网路立面示意图

Fig. 7 Vertical view of blasting network of row a column

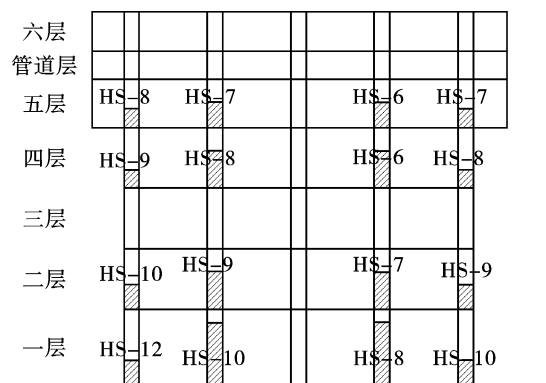


图8 E排立柱爆破网路立面示意图

Fig. 8 Vertical view of e-row column blasting network

3 安全防护

立柱截面尺寸较大,炮孔数量多,立柱的安全防护措施为作业的重中之重。覆裹9层草苫与2层铁丝网,最外层用菱形网格勾花网封裹。勾花网的整体性强,可以对爆炸产生的瞬时冲击力起到很大的减缓作用,有效地控制爆破飞石。内向折叠坍塌爆破碎石的平抛运动主要在楼房内部,且不易有二次飞溅现象产生,因此,对于外墙皮裸露部位及窗框同样采用两层加湿后的草苫搭配层铁丝网悬挂覆盖,加强外部飞石防护与降尘效应,并在每层楼板处采用钢丝绳斜拉固定。

减震沟:因地制宜,根据现场的特点在原楼房建筑的裙楼基础上开挖减震沟,其中东侧圆弧式裙楼保留做围挡。

4 爆破效果与总结

待拆主楼与2020年5月20日5时25分起爆,爆破效果如图9所示。大楼4~6层西侧结构率先塌落,拉动东侧结构,部分结构在扭转、剪切作用下空中解体,东西两侧楼体在倾覆力矩的作用下向中间倒塌。由图9(b)(c)可得东半区域的倾斜角度较大,所以爆堆具有向西侧的前冲趋势^[14],同理,受爆破网路延期时间的影响,也具有向北侧的前冲趋势。整个过程无任何爆破飞石产生,未对周边建筑物、设施等产生任何影响。经测量爆堆的南北长度为42.2 m,是原来的1.179倍;东西宽度为37.1 m,是原来的1.131倍;高度为13.1 m,是原来的0.443倍,爆破整体效果较好,与设计预期相符合。



图9 爆破效果

Fig. 9 Blasting effect

(1)内向折叠法爆破属于原地坍塌的一种特殊爆破方式,最大化预处理对倾倒方向无影响的配重结构和影响楼房破碎度的结构,布设多个由上而下逐渐增大的爆破切口,两侧结构在重力作用下向中间坍塌。这种爆破方式爆破飞石控制范围小,场地要求低,适用于工程环境比较复杂的情况。

(2)框-筒结构楼房的内向折叠法爆破拆除中预处理工作对爆破效果有较大影响,基于ABAQUS有限元分析软件对基本预处理后的建筑结构稳定性分析,结合数值模拟为制定具体预处理方案提供技术支持,为爆破倒塌方向奠定基础,最大程度优化楼房

破碎效果。

(3)起爆点位置影响两侧倒塌的倾斜角度,从而决定爆堆在东西方向的前冲趋势方向;爆破网路中延期时间递减的方向与爆堆在南北方向的前冲趋势方向一致。事实表明调整1层V列与1~4层II列立柱雷管延期段位取得了较为明显的成果。

参考文献 (References)

- [1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2011.
- [2] 史家培,程贵海,郑长青. 建筑物爆破拆除理论与实践

- [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [3] 杨国梁, 杨 军, 姜琳琳, 等. 框-筒结构建筑物的折叠爆破拆除[J]. 爆炸与冲击, 2009, 29(4): 380-384.
- [3] YANG Guo-liang, YANG Jun, JIANG Lin-lin, et al. Numerical simulations on fold blasting demolition of frame-tube structures[J]. Explosion and Shock Waves, 2009, 29(4): 380-384. (in Chinese)
- [4] 谢钱斌. 内部结构复杂的高层楼房拆除爆破[J]. 工程爆破, 2019, 25(5): 52-56, 62.
- [4] XIE Qian-bin. Demolition blasting of high-storey building with complex internal structure t[J]. Engineering Blasting, 2019, 25(5): 52-56, 62. (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 demolition blasting of frame-frameshear structure in complicated situation[J]. Blasting, 2019, 36(1): 104-108, 116. (in Chinese)
- [6] 钟元清, 徐其敏, 吴显军. 4 栋整栋浇全剪力墙结构高层住宅楼爆破拆除[J]. 爆破, 2020, 37(1): 102-106.
- [6] ZHONG Yuan-qing, XUN Qi-min, WU Xian-jun. Blasting demolition of four high-rise residential buildings with full-cast and full-shear wall structures[J]. Blasting, 2020, 37(1): 102-106. (in Chinese)
- [7] 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.
- [7] FEI Hong-lu, LIU Zhi-dong, DAI Ming-ying. Directional explosive demolition of ten-storey dissymmetry building in complicated situation[J]. Blasting, 2015, 32(2): 89-94. (in Chinese)
- [8] 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.
- [8] DONG Bao-li, ZHANG Ji-yun, WANG Xiao, et al. Blasting demolition of 12-storey frame shear structure building under complicated environment[J]. Engineering Blasting, 2017, 23(2): 58-61. (in Chinese)
- [9] 贾永胜, 谢先启, 姚颖康, 等. 高层建筑物折叠爆破拆除关键技术参数探讨[J]. 爆破, 2016, 33(3): 75-80, 131.
- [9] JIA Yong-sheng, XIE Xian-qi, YAO Yingkang, et al. Discussed on key parameters of folding explosive demolition of high high-rise building[J]. Blasting, 2016, 33(3): 75-80, 131. (in Chinese)
- [10] 武 哲, 黄寅生, 张耀良, 等. 90 m 高楼房折叠控制爆破[J]. 爆破, 2019, 36(2): 78-84.
- [10] WU Zhe, HUANG Yin-sheng, ZHANG Yao-liang, et al. Folding controlled blasting of 90 m tall building[J]. Blasting, 2019, 36(2): 78-84. (in Chinese)
- [11] 罗福友, 周浩仓, 陶 明, 等. 分块斜线起爆网路在楼房爆破拆除中的应用[J]. 工程爆破, 2018, 24(3): 32-38.
- [11] LUO Fu-you, ZHOU Hao-cang, TAO Ming, et al. Application of block oblique line firing circuit in bilding blasting demolition[J]. Engineering Blasting, 2018, 24(3): 32-38. (in Chinese)
- [12] 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.
- [12] 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)
- [13] 张 明, 刘 军, 贾永胜, 等. 切口方式与延期时差对框架结构爆破拆除效果的影响[J]. 爆破, 2017, 34(2): 1-8.
- [13] ZHANG Ming, LIU Jun, JIA Yong-sheng, et al. Influence of cut pattern and delay time difference on effect of frame structure explosive demolition[J]. Blasting, 2017, 34(2): 1-8. (in Chinese)
- [14] 言志信, 刘培林, 叶振辉. 框架剪力墙结构的定向爆破倒塌过程[J]. 爆炸与冲击, 2011, 31(6): 647-652.
- [14] YAN Zhi-xin, LIU Pei-lin, YE Zhen-hui. Directional blasting collapse process of frame shear wall structure[J]. Explosion and Shock Waves, 2011, 31(6): 647-652. (in Chinese)

英文编辑: 何 松

(上接第 27 页)

- [19] 张 乐, 卢文波, 周俊汝, 等. 爆破冲击荷载作用下中隔墩岩体的动力响应与局部破坏机制[J]. 岩土力学, 2014, 35(S2): 520-527.
- [19] ZHANG Le, LU Wen-bo, ZHOU Jun-ru, et al. Dynamic response and local failure mechanism of division pier under blasting impact load[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(S2): 520-527. (in Chinese)
- [20] SHARPE J A. The production of elastic waves by explosion pressures. I. Theory and empirical field observations[J]. Geophysics, 1942, 7(2): 144-154.
- [21] 杨建华, 姚 池, 卢文波, 等. 深埋隧洞钻爆开挖围岩振动频率特性研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(4): 1195-1202.
- [21] YANG Jian-hua, YAO Chi, LU Wen-bo, et al. Vibration frequency characteristics of surrounding rock of deep tunnel induced by borehole-blasting[J]. Rock and Soil Mechanics, 2017, 38(4): 1195-1202. (in Chinese)
- [22] YANG J, LU W, LI P, et al. Evaluation of rock vibration generated in blasting excavation of deep-buried tunnels[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2017(3): 1-16.

英文编辑: 陈东方