

7栋框架剪力墙结构楼群爆破拆除

辛光明¹, 李 斌²

¹烟台大地爆破工程有限公司, 山东 烟台

²山东省济宁市公安局治安管理支队, 山东 济宁

收稿日期: 2026年9月16日; 录用日期: 2026年10月7日; 发布日期: 2026年10月21日

摘 要

为安全爆破拆除复杂环境下7栋框架剪力墙结构住宅楼群, 本文通过对建筑结构特性、周边保护目标和施工难点的分析, 提出数码电子雷管孔内延时起爆、一次性爆破拆除7栋框架剪力墙结构楼房的技术方案。针对待拆建筑距高压线最近仅18 m, 与架空管道最近距离仅20 m的复杂环境, 采取了近爆体覆盖与重点部位遮挡相结合的多介质多层次组合飞散物防护方法, 有效控制了爆破飞散物的运动方向和范围; 针对楼房栋数多和地下结构需同时爆破的特点, 通过多钻孔布设、分散装药优化等技术手段, 配置6560枚电子雷管及31台起爆器, 实现了7栋框架剪力墙结构楼群的多方向定向倒塌与精确延时起爆控制, 峰值爆破振动和塌落振动速度远远小于安全阈值, 达到了预期爆破效果, 可为同类集群住宅建筑的快速安全拆除提供技术参考。

关键词

拆除爆破, 框架剪力墙, 住宅楼群, 电子雷管, 爆破防护

Blasting Demolition of Seven Building Groups with Frame-Shear Wall Structure

Guangming Xin¹, Bin Li²

¹Yantai Dadi Blasting Engineering Co., Ltd., Yantai Shandong

²Public Security Administration Detachment, Jining Public Security Bureau, Shandong Province, Jining Shandong

Received: September 16, 2026; accepted: October 7, 2026; published: October 21, 2026

Abstract

To safely carry out the blasting demolition of seven clustered residential buildings with frame-shear wall structures in a complex environment, this paper analyzes the structural characteristics of the

buildings, surrounding protected targets and construction difficulties. A technical scheme is proposed for the one-time blasting demolition of the seven frame-shear wall buildings by adopting in-hole delay initiation with digital electronic detonators. Facing the complex surrounding conditions where the nearest distance from the buildings to high-voltage power lines is only 18 m and merely 20 m to overhead pipelines, a multi-medium and multi-layer combined protection method for blasting flying debris is adopted. This method integrates coverage protection near the blasting mass with shielding protection for key parts, which effectively controls the moving direction and scattering range of blasting flying debris. Considering the large number of buildings and the requirement for simultaneous blasting of underground structures, technical measures including multi-borehole layout and optimized decoupled charging are applied. With the deployment of 6560 electronic detonators and 31 initiators, the collaborative control of multi-directional directional collapse and precise delay initiation is realized for the seven frame-shear wall building cluster. The peak velocities of blasting vibration and collapse vibration are far lower than the safety thresholds. The demolition achieves the expected blasting effect and can provide a technical reference for the rapid and safe demolition of similar clustered residential buildings.

Keywords

Blasting Demolition, Frame-Shear Wall, Residential Building Group, Electronic Detonator, Blasting Protection

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国新型城镇化建设推进及旧城更新改造工程的需要,城市中大量年代久远、结构性能衰减或不符合规划要求的老旧住宅楼,将逐步进入拆除重建阶段[1]。爆破拆除技术凭借其作业效率高、施工周期短、综合成本低且对复杂结构适应性强的显著优势,已成为城市高层及集群建筑拆除的优选方案[2][3]。然而,城区住宅小区往往地处人口密集区,周边地下管网(给排水、燃气、通信等)纵横交错,地上邻近建筑、高压线路、工业设施等敏感目标分布密集,环境复杂[4][5]。这不仅对爆破拆除的精准控制技术提出严苛要求,更需重点解决爆破振动、飞石、空气冲击波等爆破负效应[6][7],成为制约城市集群建筑爆破拆除工程安全实施的关键瓶颈。

近年来,国内外学者围绕复杂环境下拆除爆破技术展开了大量创新实践[8]-[10]。通过爆破切口参数的优化、起爆网路的可靠设计、数码电子雷管精确延时起爆技术的应用等方式降低爆破振动的叠加效应,提出近体防护、隔离防护和重点部位防护相结合的复合防护技术,使对近距离敏感目标的飞石防护问题得到了有效解决。这些研究成果为复杂环境下集群建筑的爆破拆除提供了重要的技术支撑,但针对多栋框架剪力墙结构住宅楼群的一次性爆破拆除,如何协调多栋建筑的倒塌时序、控制多源振动叠加及近距离需要保护目标的综合防护,仍需进一步探索[11]。

本文针对山东省烟台黄渤海新区复杂环境下7栋框架剪力墙结构住宅楼群的爆破拆除工程,在系统分析建筑物结构特性、周边待保护目标分布(待拆楼房与高压线最近距离仅18 m,与万华生产区架空管道最近距离仅20 m)及施工难点的基础上,设计并采用了数码电子雷管孔内延时起爆的一次性爆破拆除技术方案。针对近距离待保护的飞散物防护需求,采取了近爆破体包扎覆盖防护与悬挂材料保护性防护相结合的多介质多层次组合飞散物防护方法,有效控制了飞散物的运动方向和范围;针对多栋建筑同步爆

破及地下结构协同拆除可能引发的爆破振动超过周围建筑的安全阈值, 通过多钻孔、分散装药优化装药结构, 并配置 6560 枚电子雷管及 31 台起爆器, 实现了多方向定向倒塌与精确延时起爆的协同控制。工程实践表明, 该技术方案有效控制了爆堆范围与峰值振动速度, 实现爆破飞石的有效防护, 达到了预期爆破效果。本文研究成果可为同类多栋框架剪力墙结构住宅群的一次性快速、安全爆破拆除提供技术参考与工程借鉴。

2. 工程概况

待拆除的 7 栋住宅楼位于山东省烟台黄渤海新区大季家街道办事处 C-44 地块, 图 1 所示的 1#~7# 楼, 位于兰州大街以南、太原路以西、重庆大街以北, 该小区楼房为 2008 年建成的建筑。小区总占地面积约 31583 m², 地上 7 栋楼房的总建筑面积达 42278.46 m², 地下建筑面积约 10678 m²。单栋建筑高度为 36.7 m, 占地面积为 36.7 m × 12.4 m, 均采用框架剪力墙结构形式。



Figure 1. Buildings for blasting demolition and surroundings
图 1. 待爆破楼房

2.1. 周围环境

如图 2 所示, 爆区 1 号楼房西侧 43.8 米处为需保留停车棚、71 米处为钢材堆放区。北侧 6#楼 70 米处兰州大街、18 米处高压线、楼间距 35.6 米, 1 号楼西北方向 79 米处信号塔。南侧 150 米处重庆大街、63 米处万华办公楼。东侧 41 米处内部路、45 米处万华生产区架空管道, 4#楼离万华生产区架空管道最近点 20 米。小区内需要保留部分: 安保室及大门保留、停车棚 2 个保留、安保室两侧的两个树林保留、整个区域的所有一圈围墙保留、围墙附近一圈的所有监控保留。分别在兰州大街北侧、东侧厂房、万华办公楼、重庆大街南侧和信号塔位置布置 5 个爆破振动测点。

2.2. 结构特点

该建筑群均为东西走向的 V 型结构, 单栋建筑东西方向长度 46.4 m, 南北方向宽度 35.2 m, 楼房为地下 1 层、地上 11 层的框架剪力墙结构, 其建筑平面结构示意图如图 3 所示。单栋楼房东西方向立柱共 13 排, 南北方向立柱共 4 排, 楼梯间为 2 间, 电梯井为 2 个, 建筑的钢筋混凝土立柱的尺寸包括 500 mm × 500 mm、400 mm × 450 mm 及 400 mm × 400 mm 三种典型规格。

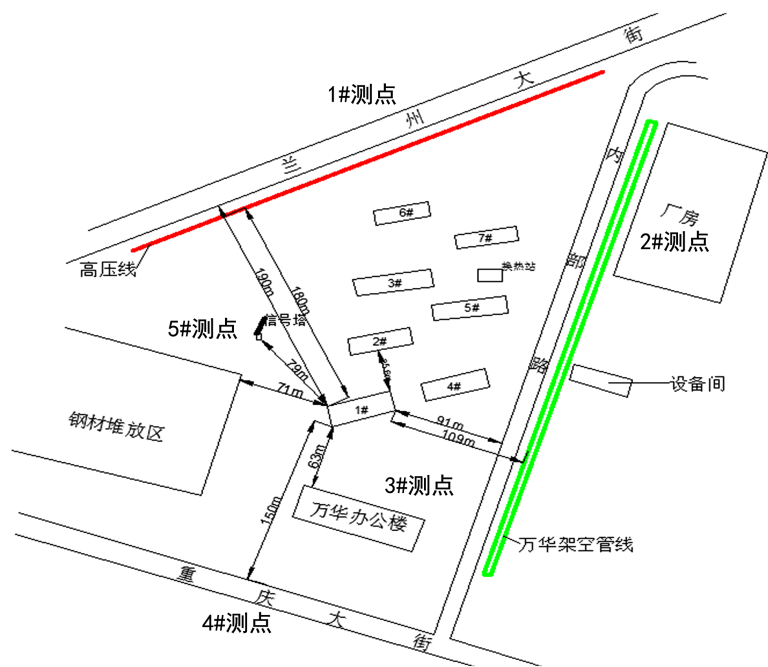


Figure 2. Schematic diagram of blasting surroundings
图 2. 爆破周边环境示意图

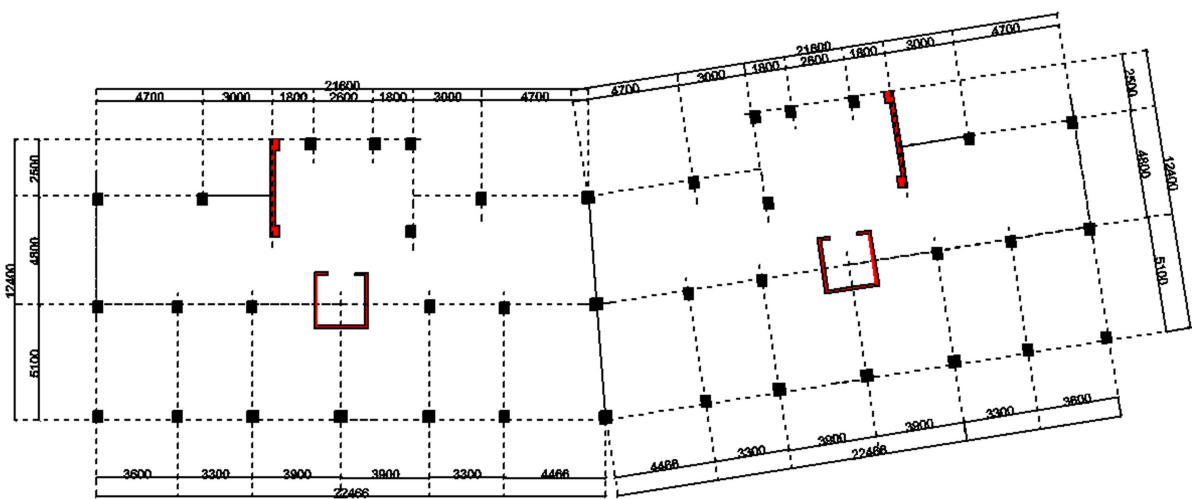


Figure 3. Schematic diagram of building plan structure
图 3. 楼房平面结构示意图

3. 难点分析

楼房倾倒方向及角度确定必须精准，各楼房交替倒塌，延时准确，角度稍有偏差，倾倒方向就有可能威胁周边建筑物。主要难点有：

(1) 倒塌方向精准控制难度大。7 栋建筑需实现交替倒塌，延时精度要求极高，若倒塌角度出现微小偏差，可能导致倾倒方向偏移，进而威胁周边保留建筑及设施安全。爆破需在确保楼房结构解体充分、便于后续清运的同时，同时还需严格控制爆破过程中产生的震动、飞石和冲击波等有害影响，并采取有效的安全防护措施。

- (2) 周边爆破环境复杂。根据现场实际勘察可知，待拆建筑南侧距离万华办公楼仅 63 m，需重点保护外围围墙等设施。框架剪力墙结构整体稳定性强，增加了定向倒塌控制难度，且周边需要重点保护目标分布密集，对爆破有害效应的控制标准更为严苛。
- (3) 地下结构协同拆除要求高。1 号楼南侧地下车库需与主体建筑同步爆破，1 号楼与 2 号楼交错倒塌后，需通过重力作用使楼体沉入地下室，降低楼房交错倒塌后的堆积高度，便于后续对其进行破碎施工。
- (4) 爆破网路与器材要求严格。因待拆建筑高度较高，为确保倾倒方向精准，需严格控制起爆顺序及最大单段起爆药量，导致爆破网路连接复杂。城市控制爆破工程对雷管、炸药等爆破器材的性能稳定性及爆破网路的可靠性提出了极高要求，需确保作业全过程安全可控。

4. 爆破方案设计

4.1. 总体爆破方案

基于待爆破拆除建筑群的结构特性、周边环境及施工工期要求，采用定向倒塌爆破拆除，以及数码电子雷管孔内延时起爆技术，实现 7 栋建筑群的一次性爆破拆除的技术方案。根据现场施工条件，确定所有建筑均向北定向倒塌，倒塌顺序依次为：2#楼、5#楼、1#楼、3#楼、4#楼、6#楼、7#楼。

4.2. 爆破切口设计

爆破切口采用梯形加三角形的复合形状设计(见图 4)，其中建筑北侧 B 立柱构成梯形短边，长约 6 m，南侧 D 立柱构成梯形长边，长边高度为 8.7 m。经过计算，为确保楼房建筑按预定方向定向倒塌，设计的爆破切口角度为 31.6°，主楼短轴方向宽度为 12.4 m。

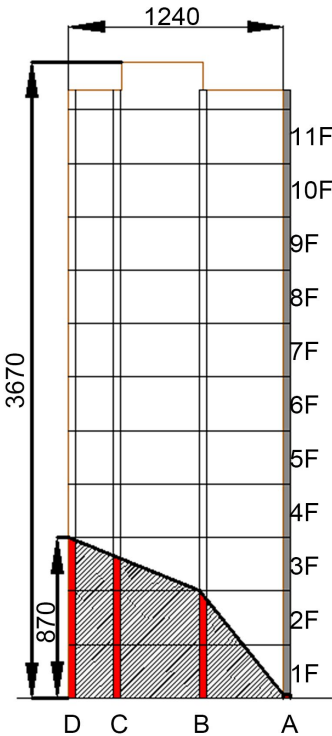


Figure 4. Schematic diagram of blasting cut
图 4. 爆破切口示意图

4.3. 预处理方案

- (1) 楼梯结构预处理：为保障建筑顺利倒塌及充分解体，对每层步行楼梯与休息平台连接处的一个台阶进行弱化处理，将爆破切口范围的每段楼梯打断 1~2 个台阶分为两段，破碎混凝土使得钢筋暴露，破坏爆破切口处楼梯结构的整体性，如图 5 所示。
- (2) 电梯井预处理：对 1~3 楼层的电梯井剪力墙进行破墙为柱处理，预留电梯井 4 个角东西向各 0.7 m 作为支撑柱，弱化电梯井剪力墙结构的强度和刚度，如图 6 所示。
- (3) 剪力墙预处理：在切口范围内的剪力墙预处理采用破墙为柱方式处理，只保留与剪力墙连接的支撑柱。其中倒塌方向 D-C 轴剪力墙预处理至 4 层。
- (4) 对切口范围内的填充墙进行拆除，对爆破切口内的消防管线、电梯轨道、设备线路管线等刚性管材进行切割，使切口内楼体结构强度降低。

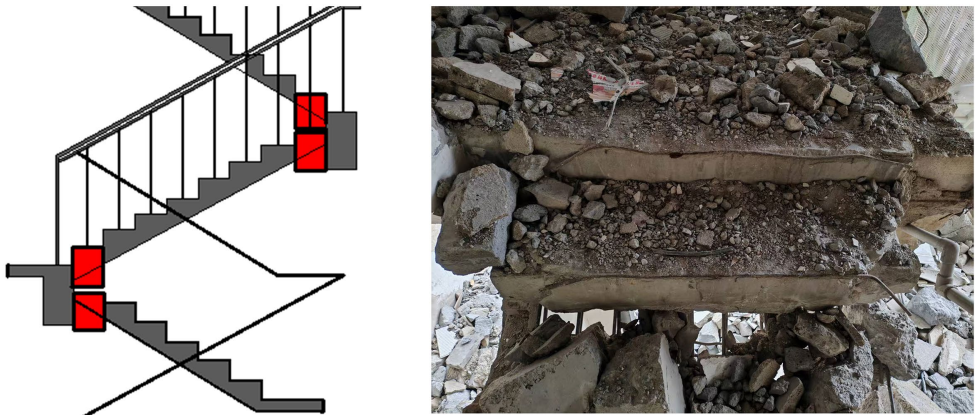


Figure 5. Schematic diagram of staircase pre-treatment
图 5. 楼梯预处理示意图

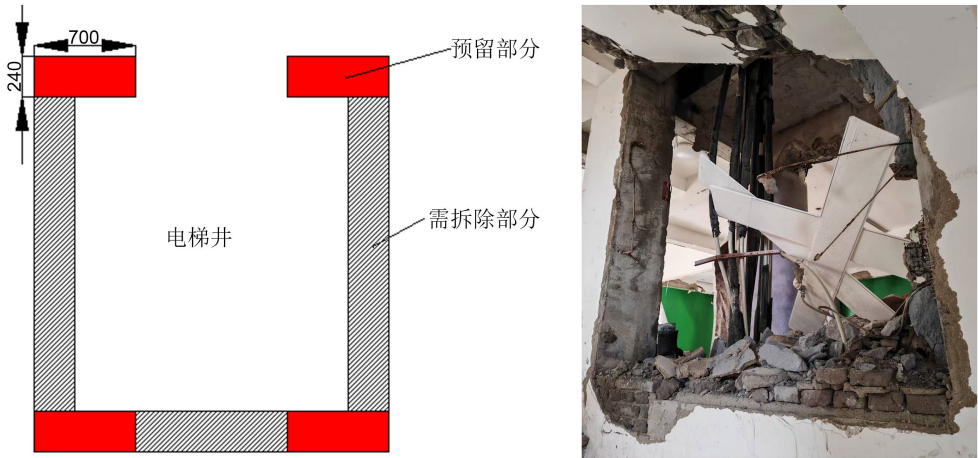


Figure 6. Schematic diagram of elevator shaft pre-treatment
图 6. 电梯井预处理示意图

4.4. 爆破参数设计

(1) 立柱爆破参数

经计算，承重立柱破坏高度确定为 2 m，采用 40 mm 孔径钻孔，选用 300 g/卷规格的乳化炸药。立

柱爆破参数如表 1 所示。立柱炮孔采用连续装药的结构，孔口用黄泥密实填塞，立柱爆破孔网参数详见表 1，立柱布孔和装药结构如图 7 所示。

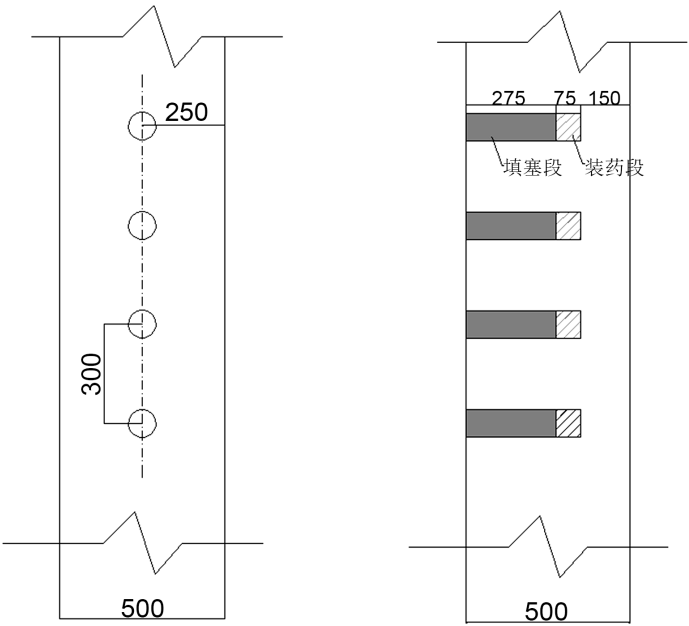


Figure 7. Hole layout and charging structure diagram of columns
图 7. 立柱布孔和装药结构图

Table 1. List of blasting hole network parameters of columns
表 1. 立柱爆破孔网参数表

轴线	立柱尺寸	立柱个数	每柱孔数	全楼孔数	单耗	单孔装药量	小计(kg)
一楼 A	0.5 × 0.5 m	13	1	13	1.2 kg/m ³	0.09 kg	1.17
一楼 B	0.4 × 0.5 m	10	6	60	1.2 kg/m ³	0.075 kg	4.5
	0.5 × 0.5 m	1	6	6	1.2 kg/m ³	0.09 kg	0.54
一楼 C	0.4 × 0.5 m	10	6	60	1.2 kg/m ³	0.075 kg	4.5
	0.5 × 0.5 m	1	6	6	1.2 kg/m ³	0.09 kg	0.54
一楼 D	0.4 × 0.5 m	8	6	48	1.2 kg/m ³	0.075 kg	3.6
二楼 C	0.4 × 0.5 m	10	6	60	1.2 kg/m ³	0.075 kg	4.5
	0.5 × 0.5 m	1	6	6	1.2 kg/m ³	0.09 kg	0.54
二楼 B	0.4 × 0.5 m	10	6	60	1.2 kg/m ³	0.075 kg	4.5
	0.5 × 0.5 m	1	6	6	1.2 kg/m ³	0.09 kg	0.54
二楼 D	0.4 × 0.5 m	8	6	48	1.2 kg/m ³	0.075 kg	3.6
三楼 C	0.4 × 0.5 m	10	3	30	1.2 kg/m ³	0.075 kg	2.25
	0.5 × 0.5 m	1	3	3	1.2 kg/m ³	0.09 kg	0.27
三楼 D	0.4 × 0.5 m	4	6	24	1.2 kg/m ³	0.075 kg	1.8
	0.4 × 0.4 m	4	6	24	1.2 kg/m ³	0.06 kg	1.44
合计		92		454			34.29

(2) 剪力墙爆破参数

电梯井剪力墙的每个角墙东西向保留 0.7 m 宽的立柱，平行于墙面钻孔。为简化施工流程，底部钻孔从距离地面 0.5 m 处开始布设，上部钻孔从距离楼板 0.6 m 处开始布设，以减少钻孔工作量及总装药量，剪力墙布孔和装药结构如图 8 所示。剪力墙采用不耦合间隔装药结构，孔口用黄泥密实堵塞，具体参数详见表 2。

Table 2. List of blasting hole network parameters of shear walls
表 2. 剪力墙爆破孔网参数表

楼层	位置	尺寸	个数	每柱孔数	单楼孔数	单耗	单孔装药量	小计
一楼	电梯井处 剪力墙	$0.7 \times 2.9 \times 0.24 \text{ m}$	8	7	56	1.6 kg/m^3	0.08 kg	4.48 kg
二楼	电梯井处 剪力墙	$0.7 \times 2.9 \times 0.24 \text{ m}$	8	7	56	1.6 kg/m^3	0.08 kg	4.48 kg
合计					112			8.96 kg

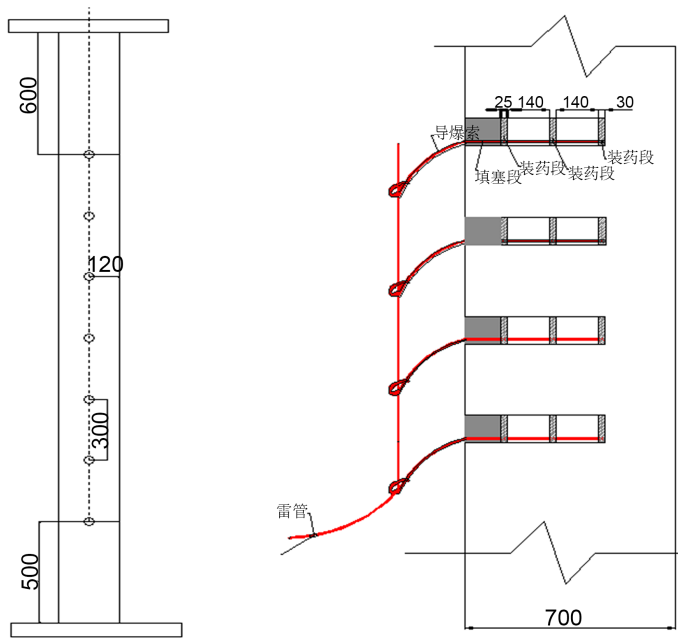


Figure 8. Hole layout and charging structure diagram of shear wall
图 8. 剪力墙布孔和装药结构图

4.5. 起爆网路设计

在整个小区拆除爆破中起爆顺序依次为：2#楼、5#楼、1#楼、3#楼、4#楼、6#楼、7#楼，在 2#楼起爆后，分别间隔 1.5 s 后起爆。

起爆网路采用数码电子雷管与其配套的线路作为传爆和起爆网路，单个炮孔使用 1 发数码电子雷管起爆炸药，按轴线 D-C-B-A 的顺序对每根立柱的全部雷管进行编号注册，并设定每排立柱的延期起爆时间。雷管用纯铜爆破专用线以并联方式连接，以 1#楼为例，具体延时设置如下(见图 9)：一层 D 轴立柱延时 3500 ms；一层 C 轴、二层 D 轴立柱及剪力墙延时 4000 ms；一层 B 轴立柱、二层 C 轴立柱、三层 D 轴立柱及剪力墙延时 4500 ms；一层 A 轴立柱、二层 B 轴立柱、三层 C 轴立柱延时 5000 ms，见表 3。

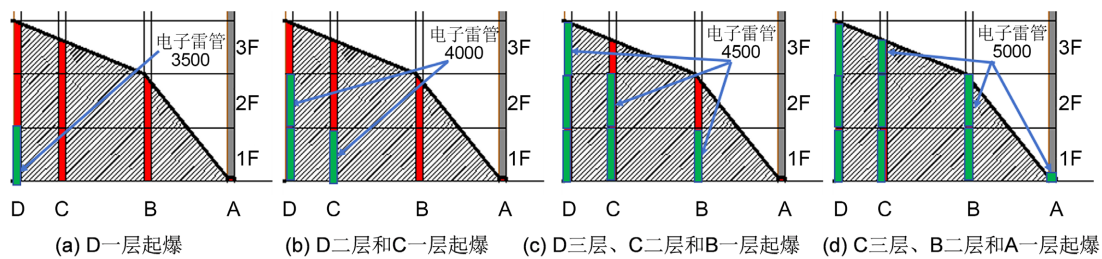


Figure 9. Detonation time for each column of building 1
图 9. 1#楼各立柱起爆时间

Table 3. Detonation time and interval for each column of building 1
表 3. 1#楼各立柱起爆时间和间隔

立柱	延时时间/s		
	一层	二层	三层
D	3500	4000	4500
C	4000	4500	5000
B	4500	5000	/
A	5000	/	/

5. 安全校核及防护

5.1. 振动校核与防护

(1) 爆破振动估算

结合待拆楼房周围建筑的结构特点分析, 采用爆破振动速度计算公式进行校核, 根据《爆破安全规程》有关规定, 一般民用建筑爆破时, 为确保安全爆破振动速度的峰值应小于 2.0 cm/s。根据公式:

$$V = K_1 K (Q^{1/3} / R)^\alpha$$

式中: R 为爆破施工区至重点保护建筑物的距离(m), 取 63 m; K 为与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数, 文章计算时取 150; K_1 为修正系数, 根据拆除爆破类型为楼房, 文章计算时取 0.25; Q 为一次最大起爆药量, 根据设计方案, 最大段起爆药量为 10.44 kg; α 为地质有关衰减指数, 文章计算时取 1.5; 计算可估算得到质点振动速度 $v = 0.24$ cm/s。因此 $V = 0.24$ cm/s < 2.0 cm/s, 满足《爆破安全规程》中的有关规定。由于爆破周围还采取了减震沟等其他减振措施, 实际振动传播值将小于计算值, 不会对周边建筑物造成影响。

(2) 塌落振动估算

建筑物塌落振动效应的计算公式为:

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

式中: V_t 为塌落触地质点振动速度(cm/s); M 为塌落体质量(t), 因为无实测资料, 现场难以测算, 按 1.35 吨/平方米建筑面积估算, 取 5400 t; g 为重力加速度(9.8 m/s²); H 为塌落体重心高度(m), 文章计算时取 22.7 m; σ 为地面介质的破坏强度(MPa), 文章计算时取 100 MPa; R 为震中距, 塌落中心距重要保护物的最近距离 63 m; K_t 、 β 为倒塌建筑体塌落产生振动的衰减系数和衰减指数, 通常取 $K_t = 3.37 \sim 4.09$ 、衰减指数 $\beta = -1.66 \sim -1.80$, 建筑物如楼房结构的爆破拆除时衰减系数, 取 $K_t = 1.5$, $\beta = -1.66$ 。

上述变量代入公式计算得到： $V = 1 \text{ cm/s}$ ，同样远远小于《爆破安全规程》规定的 2.0 cm/s ，能够确保周围建筑物的结构安全。

考虑待拆楼房倒塌的特点，在其倒塌方向布置 2 道减震土埂，减震土埂规格为高 2 m，宽 1.5~2 m，长度 50 m，材料为松土或沙土。在小区 1#楼、4#楼、5#楼、6#、7#沿围墙挖减震沟，减震沟宽 1.5 米，深 2 米。以上减振措施能有效阻断爆破地震波，实现降低爆破振动和塌落振动危害的效果，确保周围建筑的安全。

5.2. 飞石防护

通过爆破安全验算，爆破振动和飞石均能达到安全要求，因此只进行正常防护即可达到要求。

(1) 加强爆破部位的主动防护

在爆破缺口范围内所有立柱绑扎 2 层土工布和 2 层钢丝网，用铁丝捆扎成为整体。防护长度大于爆破缺口长度，并在外围悬挂 6 针密目绿网 1 层，高度和长度均大于爆破缺口长度和高度，具体如图 10、图 11 所示。

(2) 被保护对象的重点部位防护

楼房东侧需要进行重点部位防护，需要对其面向爆破位置的部分进行主动防护，4#、5#、7#楼东侧搭设不小于 200 m 长 × 12 m 宽 × 10 m 高的防飞溅屏障，采用钢管架与竹条板组合防护结构。

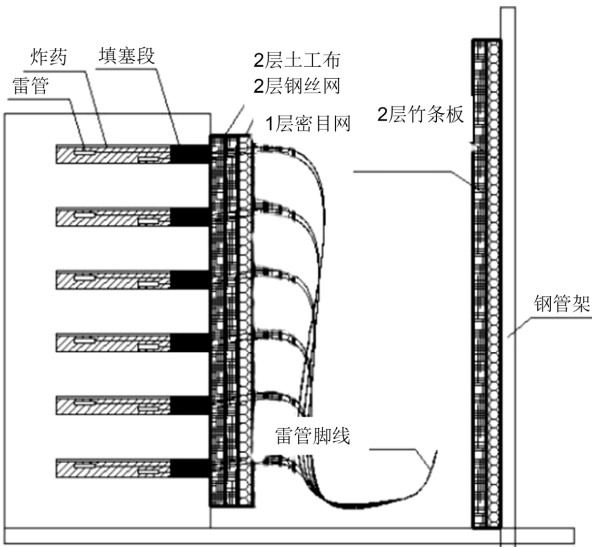


Figure 10. Protection structure for blasting parts
图 10. 爆破部位防护结构



Figure 11. Protection for blasting areas
图 11. 爆破部位防护

6. 爆破效果与讨论

(1) 本次爆破工程共钻孔 7000 余个, 消耗炸药 864 kg、电子雷管 6560 枚、起爆器 31 台。通过布设多个摄像点对爆破过程进行全程监测, 结果显示所有建筑均按预设方向, 以及依次按照 2#楼、5#楼、1#楼、3#楼、4#楼、6#楼、7#楼的顺利倒塌, 爆破效果达到设计要求, 爆破倒塌过程及效果如图 12 所示。

(2) 采用的近体覆盖防护与重点部位防护相结合的技术方案, 有效控制了爆破飞散物的危害, 未对周围高压线、厂房等建筑造成损坏; 经现场勘察及振动监测数据验证, 爆破振动幅值较小, 未对周边建筑及设施造成损伤; 楼栋之间起爆的延期时间为 2 s, 确保了前一栋楼房倒塌触地充分解体后, 后续楼栋再起爆, 爆破切口角度设计合理, 确保产生了足够大的倾覆力矩, 使得楼房顺利倒塌, 爆堆最大高度仅 2.5 m, 建筑解体充分, 为后续清理作业创造了便利条件。

(3) 本楼群楼与楼之间倒塌距离为楼间距 35.6 m, 楼高为 36.7 m, 倒塌距离按照常规要求不够楼高的 1.2 倍, 设计时, 切口最大爆破高度为 8.7 m, 实际最外侧需要的倒塌距离为 $(36.7 - 8.7) \times 1.2 = 33.6$ m, 小于 35.6 m, 因此通过设计切口高度, 倒塌距离符合设计规范。在实际施工中, 如果倒塌距离不够, 还可以通过高位切口或者折叠爆破的设计方法, 确保顺利倒塌。



Figure 12. Blasting process and effect
图 12. 爆破过程和效果

7. 结论

(1) 采用数码电子精确延时起爆技术, 通过 7000 余个钻孔、6560 枚电子雷管及 864 kg 炸药的协同合理配置, 实现了 7 栋框架剪力墙结构住宅楼群的一次性安全爆破拆除, 为复杂环境下闹市区建筑群的高效爆破拆除提供了新思路。

(2) 针对复杂周边环境, 通过采取近爆破体包扎覆盖防护与悬挂材料保护性防护相结合的多介质多层次组合飞散物防护方法, 配合管线保护、交通疏导、秩序维护等专项工作组的协同作业, 有效控制了飞散物的运动方向和范围, 保障了邻近建筑物及公共设施的安全。

(3) 针对 V 形结构多栋建筑的拆除特点, 通过优化爆破切口高度、科学设计栋间及柱间起爆延期时间, 实现了倒塌方向与爆破堆积范围的精确控制, 可为同类复杂环境下集群建筑爆破拆除工程提供参考。

参考文献

- [1] 孙飞, 李飞, 顾云, 等. 复杂环境下椭圆形框剪楼房定向爆破技术[J]. 工程爆破, 2025, 31(5): 78-84.
- [2] 黄小武, 贾永胜, 孙金山, 等. 工业电子雷管在拆除爆破中的应用[J]. 工程爆破, 2024, 30(4): 86-91.
- [3] 贺攀, 刘士兵, 伍锡南. 城市复杂环境下高大 U 形结构危房拆除爆破[J]. 工程爆破, 2025, 31(1): 59-67.
- [4] 张小龙, 周巧霞, 楼旭东, 等. 复杂结构 9 层厂房定向拆除爆破技术[J]. 工程爆破, 2024, 30(3): 89-94.
- [5] 刘三军, 李跟, 汪高龙, 等. 复杂环境下高层医药大厦拆除爆破[J]. 工程爆破, 2024, 30(2): 125-131.
- [6] 刘桐, 等. 复杂环境下“双钢筒 + 桁架”异轴内置烟囱拆除爆破[J]. 工程爆破, 2025, 31(3): 73-81.
- [7] 贾永胜, 刘昌邦, 伍岳, 等. 房屋建筑物纵向逐跨坍塌爆破拆除关键技术探讨[J]. 爆破, 2022, 39(4): 10-16.
- [8] 刘昌邦, 贾永胜, 伍岳, 等. 邻近地铁 2 栋框架结构楼房拆除爆破[J]. 工程爆破, 2025, 31(3): 65-72.
- [9] 叶小军, 付艳怨, 李卫群, 等. 复杂环境下混合结构火损危楼精细拆除爆破[J]. 工程爆破, 2025, 31(1): 50-58.
- [10] 高文乐, 孙鸿, 寇玉明, 等. 切口高度与延期时差综合影响下框架-剪力墙结构爆破拆除效果研究[J]. 爆破, 2024, 41(3): 130-138+211.
- [11] 伍锡南, 聂群富, 夏多马. V 型起爆技术在复杂环境下房屋拆除爆破中的应用[J]. 工程爆破, 2024, 30(1): 104-109+118.