

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2026.02.022

高抗震核心筒结构楼房爆破拆除

徐洪艳,周文斌,张敬刚,杨帆,吴兵兵
(新疆雪峰爆破工程有限公司,乌鲁木齐 830000)

摘要: 在我国西北严寒且高地震烈度区域的某市中心地带,3栋既有建筑因存在重大安全隐患需拆除。这3栋楼房抗震等级高、结构坚固,给拆除工作带来较大挑战。为确保爆破拆除安全顺利进行,开展了严寒环境下工业电子类管组网起爆实验,充分验证了1万发工业电子雷管以及11台起爆器的起爆可靠性。基于上述实验结果、建筑物结构及周边环境特点,提出3号楼机械拆除,1、2号楼房一次性爆破拆除的总体方案。其中1号楼采用原地逐跨坍塌爆破方式,2号楼采用单向折叠倒塌爆破方式。爆破完成后,两栋楼房解体充分,拆除效果良好,达到了预期目标。工程实践表明:针对高抗震核心筒结构对楼房倒塌与解体过程的影响,通过在严寒环境下开展工业电子雷管组网起爆实验,并结合精准控制起爆延期时间与优化爆破切口等关键技术措施,可实现楼体严格按照设计预期完成倒塌与解体,从而最大限度保障周边建筑、道路及市政管网的安全。该方案为严寒环境下的高抗震核心筒结构拆除作业提供了高效安全的解决方案,并为类似拆除爆破工程施工提供了有益借鉴。

关键词: 拆除爆破;严寒环境;高抗震框架;核心筒结构;工业电子雷管

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2026)02-0210-10

Blasting Demolition of High-rise Buildings with Seismic-resistant Core Tube Structures

XU Hong-yan, ZHOU Wen-bin, ZHANG Jing-gang, YANG Fan, WU Bing-bing
(Xinjiang Xuefeng Blasting Engineering Co., LTD., Urumqi 830000, China)

Abstract: Three structurally robust, high-seismic-resistance buildings in the urban core of an extremely cold, seismically active region in northwest China required demolition due to serious safety concerns. To ensure successful controlled demolition operations, comprehensive field testing of electronic detonator initiation networks at subzero temperatures was conducted, validating the firing reliability of 10 000 industrial detonators and 11 initiation devices. Based on experimental findings, structural analysis, and environmental considerations, an integrated demolition plan was formulated. Building No. 3 was mechanically demolished, while Buildings No. 1 and No. 2 were concurrently demolished through controlled blasting, with Building No. 1 using a progressive span collapse blasting technique and Building No. 2 employing a unidirectional folding collapse methodology. The successful demolition resulted in the complete structural disintegration of both buildings, with outcomes exceeding performance expectations. Field implementation confirmed that for seismically reinforced core tube structures requiring controlled collapse, conducting sub-zero detonator network reliability tests, ensuring accurate delay timing, and optimizing cut design ensure precise demolition aligned with engineering specifications. The proposed method ensures optimal protection for surrounding structures, roads, and municipal pipelines while establishing an efficient and secure framework for demolishing seismically

收稿日期 (Date of reception): 2025-09-28

网络首发日期 (Published online): 2025-11-19

作者简介: 徐洪艳 (1983-), 男, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市, 硕士、高级工程师, 从事工程爆破研究, (E-mail) 1094128374@qq.com。

About the author: XU Hong-yan (1983-), male, born in Urumqi city, Xinjiang uygur autonomous region, master degree, senior engineer, engaged in engineering blasting research, (E-mail) 1094128374@qq.com.

reinforced core tube buildings in frigid environments, with potential applications for comparable demolition blasting projects.

Key words: demolition blasting; low-temperature environment; highly seismic-resistant frame; core tube structure; electronic detonator

在城市更新与工业升级改造过程中,大量的高层楼房、烟囱和桥梁等建(构)筑物需要拆除。拆除爆破的研究领域主要集中在:钢筋混凝土爆破破坏分析、结构失稳分析、拆除方法优化等^[1]。楼房在爆破拆除时,楼房主体结构向预定方向倒塌的同时,常伴有局部反向倾倒或塌落的后坐现象^[2]。为控制拆除爆破对周围环境的影响,国内外学者研发了多种拆除爆破方法:对于楼体较低建筑,常采用原地逐跨坍塌爆破方法、内爆技术^[3];对于高层或高耸建筑物,常采用单向或双向折叠爆破方法、空中解体爆破技术^[4]。在高层楼房拆除爆破案例中,李畅针对 150 m 的烟囱爆破^[5],通过设计起爆方式和爆破参数,实现定向倒塌。刘健修采用 ANSYS/LSDYNA 数值仿真软件模拟 18 层楼房的倒塌形态^[6],以数值模拟形式确定有效方法。于明亮采用理论推到方式确定最优参数^[7],实现定向爆破,达到爆破最优效果。赵盟乔使用 LS-DYNA 有限元软件^[8],采用分离式共节点模型,模拟 130 m 烟囱爆破工程,以确定最佳起爆方式。

两栋紧邻不同结构高楼同时爆破拆除的案例极为罕见,此类工程面临的技术挑战尤为显著^[9]。这种紧邻不同结构高楼的同时爆破拆除,面临着结构动力相互作用带来的复杂性。张焜琨采用现场模拟和现场测试技术^[10],拆除两座 210 m 的高烟囱。张雷采用定向控制爆破方法^[11],拆除复杂环境下的相邻两座烟囱。苗晓鹏基于多边界爆破理论拆除双自由面岩墙^[12],获得良好爆破效果。

国外学者对此也展开了研究,Jinshan Sun 采用数值模拟方式研究钢筋混凝土(RC)柱应力瞬变特征^[13],提出了一种应力瞬态概念模型。Abubakar? Sharafat 使用常规 D&B 作的地面振动监测数据来开发特定地点的振动衰减模型^[14],以便于评估爆破计划。Xiaowu Huang 结合高速摄影观测、压电陶瓷传感器、爆破振动监测仪等监测方法^[15],对 180 m 高烟囱的冲击过程进行了综合分析。

现有高抗震核心筒结构高层楼房拆除爆破案例较少,对于采用工业电子雷管同时起爆两栋楼房的案例更是鲜有研究。本文基于某严寒地区市中心 13 层与 8 层高抗震框架、核心筒结构危楼,通过分析楼房结构与受力特征,结合工业电子雷管可靠性

试验,设计了合理的爆破切口,顺利拆除了市中心的两栋危楼。

1 工程概况

根据《城市危险房屋管理规定》(建设部令[2004]第 4 号)^[16],为消除重大安全隐患,拟将位于某市繁华地段的 3 栋楼房进行拆除。其中,1 号楼房为 8 层框架结构,总建筑面积 12 420 m²,2 号楼房为 13 层高抗震核心筒结构,总建筑面积 13 713 m²,3 号楼为 3 层框架结构,总建筑面积 634.1 m²。根据工程要求,1 号楼房和 2 号楼房采用爆破方式进行拆除,3 号楼房采用机械方式进行拆除。

1.1 周边环境

1 号楼房位于 A 路和 B 街交叉口西南。楼房东侧紧邻 A 路,距离 A 路 10 m、距离地铁 1 号线行车隧道最近 11 m(地铁埋深 14 m),距离 C 商城大楼 50 m;大楼南侧与 3 号楼房(临时市场)贴建,距离 D 大厦 14 m;楼房西侧距 2 号楼房 13 m,距离 E 医院 71 m;楼房北侧为 B 街,距离 B 街最近为 12 m,距离 F 国际广场大楼最近 33 m。1 号楼房照片和周边环境情况如图 1 所示。1 号楼房和地铁 1 号线位置示意图如图 2 所示。



图 1 1 号楼房照片和周边环境情况位置图

Fig. 1 Photo of building No. 1 and its surrounding environment

2 号楼房位于 B 街与 G 巷交叉口东南。楼房东侧距 1 号楼 13 m;楼房南侧紧邻 7 层老旧住宅(机械拆除,山墙 2.2 m、面墙 16 m),距离 D 大厦 38 m;

距离 H 大酒店最近为 91 m;大楼西侧紧临 G 巷,距 E 医院 17 m;大楼北侧为 B 街,距离 B 街最近为

4 m,距离 F 国际广场大楼最近 36 m。2 号楼房照片和周边环境情况如图 3 所示。

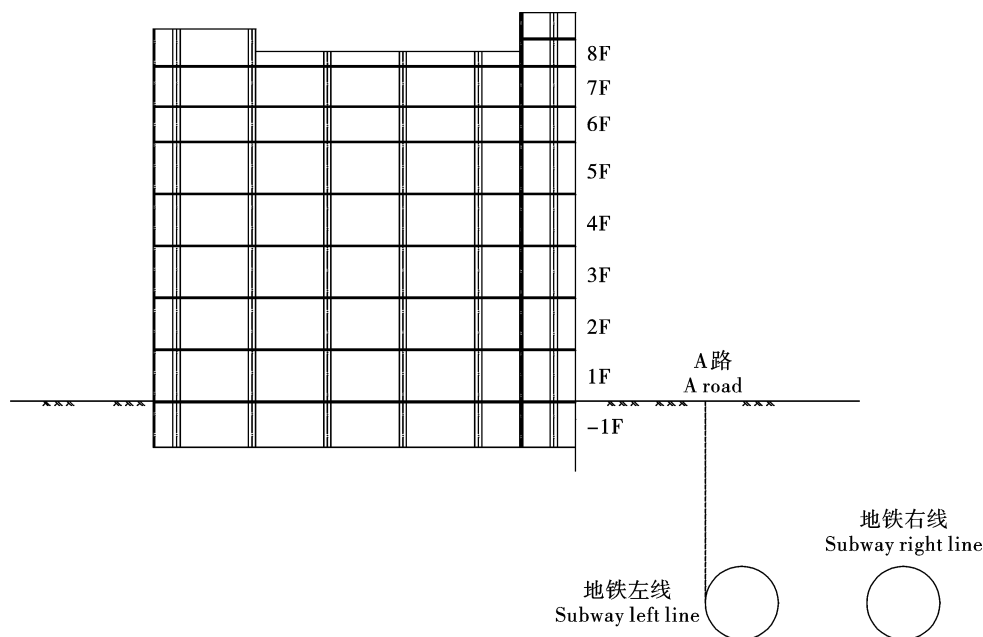


图 2 1 号楼房与地铁 1 号线最近处剖面示意图(单位:mm)

Fig. 2 Schematic diagram of building No. 1 and the nearest section of Metro Line 1 (unit:mm)



图 3 2 号楼房照片和周边环境情况位置图

Fig. 3 Photo of building No. 2 and its surrounding environment

3 号楼房位于 1 号楼房用地范围内,东侧为 A 路、南侧与 D 大厦贴建、西侧距 7 层住宅 17 m、北侧与 1 号楼贴建。3 号楼房照片和周边环境情况如图 4 所示。

本次拆除 3 栋楼房周边管线密布,沿 A 路、 B 街和 G 巷地下分部有大量电力、天然气、供水、排水、通信等市政设施及地下管线。1 号楼房距离 A 路通讯信息管线路灯电力管线最近为 8.0 m,距离天然气管线为 15.0 m,距离排水管最近为 19.0 m。1 号

楼房和 2 号楼房距离 B 街给水管线最近为 4.0 m,距离天然气管线为 7.0 m。爆破楼房周边管线情况如图 5 所示。



图 4 3 号楼房照片和周边环境情况

Fig. 4 Photo of building No. 3 and its surrounding environment

1.2 建筑结构

1 号楼房为框架结构,地下 1 层,地上 8 层,楼高 32.9 m。楼房沿南北方向长 48.5 m,共布设有 8 排立柱;沿东西方向宽 36.6 m,布设有 6 排立柱。楼房每层有 3 个楼梯间、2 个电梯井,总建筑面积 12 420 m²。

1号楼房主要立柱截面类型为 $600\text{ mm}\times 600\text{ mm}$,填充墙墙体为 240 mm ,楼梯间和电梯井处有 200 mm

剪力墙。大楼楼板为现浇板,板厚 120 mm 。楼房结构平面图如图6所示,剖面图如图2所示。

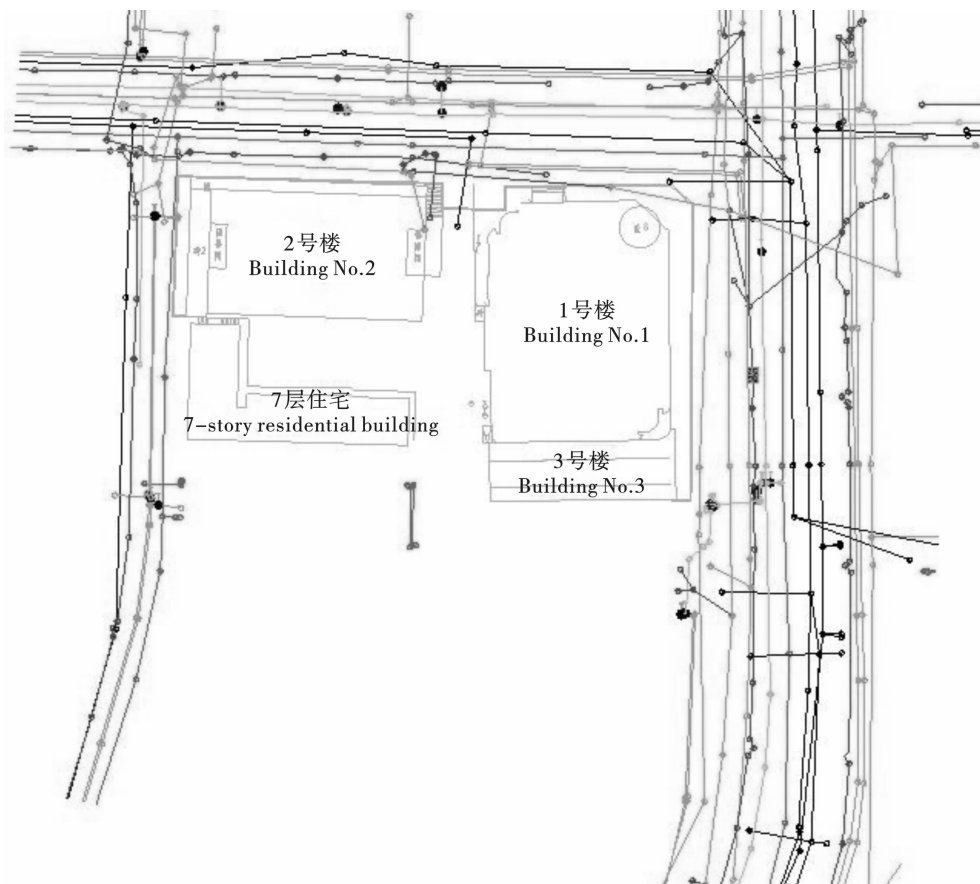


图5 爆破拆除楼房周边管线图

Fig. 5 Diagram of surrounding pipelines for building demolition by blasting

2号楼房为高抗震核心筒结构,梁、板、立柱及剪力墙配置强度高。地下2层,地上13层,高 50.14 m 。沿东西方向长 43.2 m 、沿南北方向宽 24.6 m 。楼房有3个楼梯间、2个电梯井,楼房总建筑面积 13713 m^2 。

2号楼房主要立柱截面类型为 $900\text{ mm}\times 900\text{ mm}$ 、 $800\text{ mm}\times 800\text{ mm}$ 和 $600\text{ mm}\times 600\text{ mm}$ 。中部电梯及楼梯部分设有剪力墙,剪力墙厚度为 200 mm ,填充墙为 240 mm 砖墙。大楼楼板为现浇板,板厚 120 mm 。楼体混凝土强度为C40。楼房结构平面图如图7所示,剖视图如图8所示。

2 难点分析

(1)施工地点为西北地区某市,且施工期间为冬季,严寒环境施工人员活动受限,地面落雪后湿滑,炸药雷管性能受低温影响,可靠性降低,填充材料低温下结冰后填充效果减弱,总体设计及施工难度剧增。

(2)2号楼房为高抗震核心筒结构,结构相对稳定,需合理控制楼房预处理的范围,保证楼房结构在预拆除过程中稳定的同时尽可能削弱核心筒结构强度。

(3)1号楼房紧邻轨道交通1号线行车区间,需要严格控制楼房倒塌过程中对后侧土体的挤压与冲击。

(4)待爆破楼房位于核心商圈,紧邻交通主干道、商业中心和住宅小区等,周边行人、车辆密集,爆区环境十分复杂,安全文明施工及环保要求高,施工组织协调难度大。

(5)待爆破楼房紧邻电力、通信、排水等多种市政管网,必须严格控制爆破振动、塌落振动、爆破飞石和爆破粉尘等各种有害效应。

3 爆破方案设计

3.1 总体爆破方案

根据楼房周边环境、结构特点及工期要求等条件,两栋楼房拟采用同网延时起爆技术一次完成爆破拆除,2号楼房先起爆,1号楼房晚于2号楼房 3.0 s 起爆。两栋楼房总体爆破方案如下:

(1)2号楼房总体爆破方案

根据楼房周边环境、结构特点等条件,2号楼房采取“向南单向折叠倒塌”的总体爆破方案。采用工业电子雷管起爆网路,下部爆破切口布置在1~5

层,上部爆破切口设置在7层、9~10层。排间和层间依次设置延时时差。

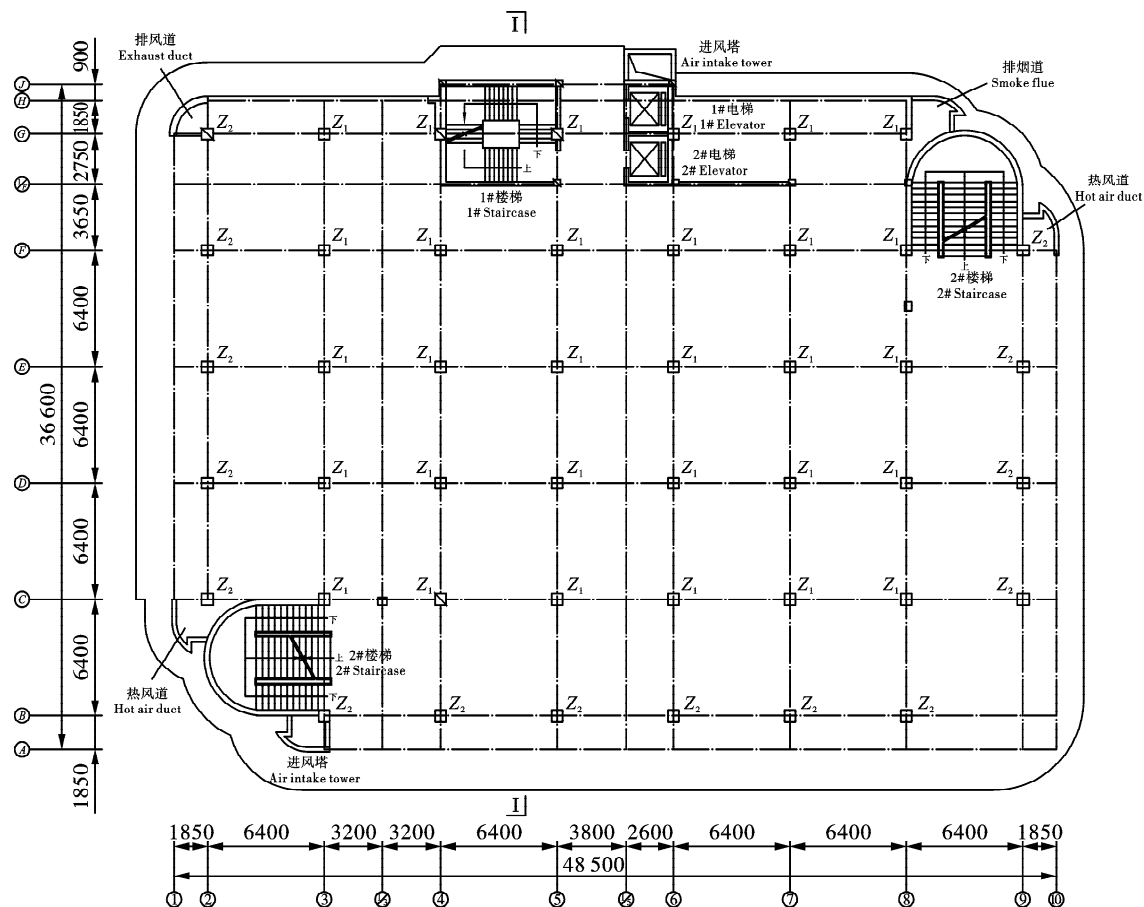


图 6 1 号楼房结构平面示意图(单位:mm)

Fig. 6 Planar diagram of the structure of building No. 1 (unit: mm)

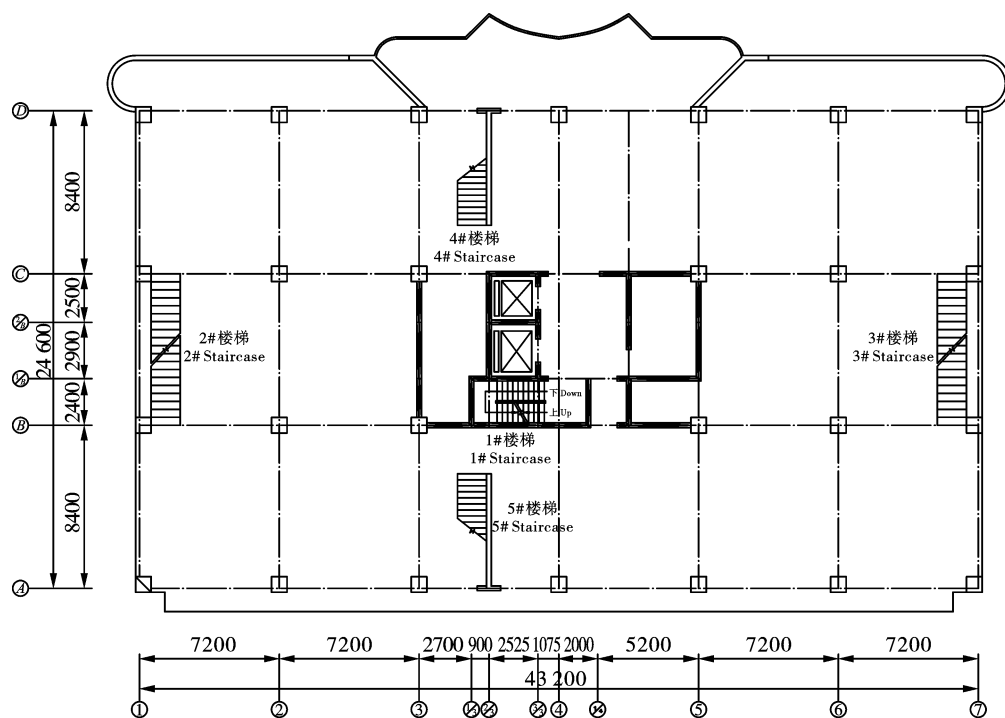


图 7 2 号楼结构平面示意图(单位:mm)

Fig. 7 Structure plan schematic diagram of building No.2(unit:mm)

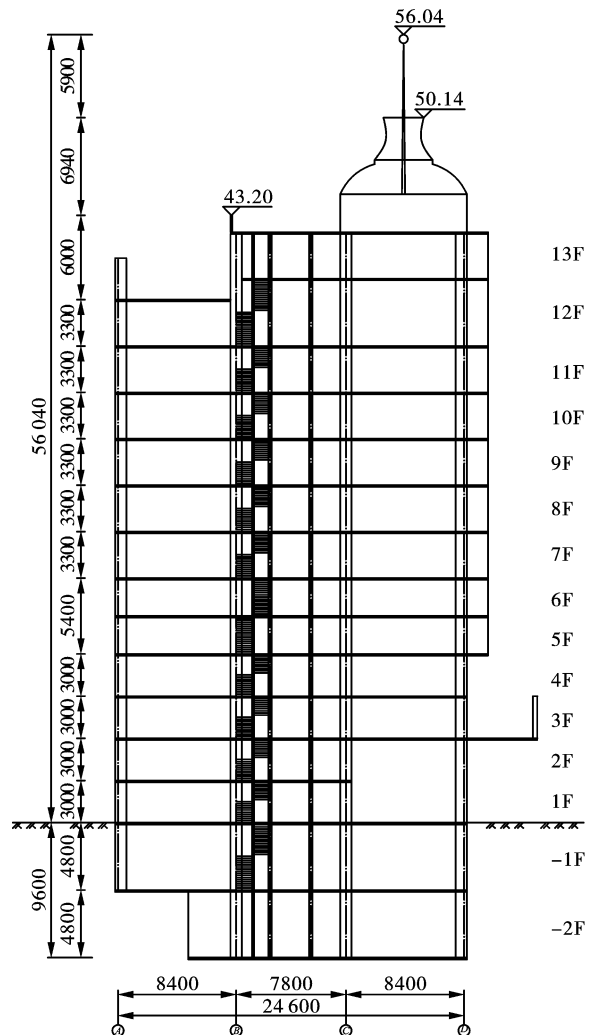


图 8 2 号楼房 I - I 剖面示意图(单位:mm)
Fig. 8 Section I-I of building No. 2(unit:mm)

(2)1 号楼房总体爆破方案

根据楼房周边环境、结构特点等条件,1 号楼房采取“向西逐垮坍塌”的总体爆破方案。采用工业电子雷管起爆网路,爆破切口布置在 1~5 层。排间和层间依次设置延时时差。见图 9。

3.2 爆破切口设计

1 号楼房:爆破切口设置在 1~5 层,切口设计见图 10,切口区域剪力墙破坏高度见表 1。

2 号楼房:下部爆破切口布置在 1~5 层,上部爆破切口设置在 7 层、9~10 层。切口设计见图 11,切口区域剪力墙破坏高度见表 2。

3.3 预处理方案

(1)填充墙

1 号楼房:拆除 1~5 层的全部内墙和南侧、西侧外墙。

2 号楼房:拆除 1~10 层的全部内墙和 1~4 层外墙。

(2)剪力墙

1 号楼房:拆除 1~4 层的西侧、南侧楼梯间、电梯间以及通风井处全部剪力墙。

2 号楼房:1~10 层核心筒处剪力墙采取“化墙为柱”的方式进行处理。1~3 层电梯井及楼梯间处剪力墙全部拆除。11~12 层剪力墙弱化处理,即剥离外层混凝土露出外层竖向钢筋并切断。

(3)楼梯

楼梯采用拆除或弱化方式进行处理。弱化处理即破碎上下楼梯第一踏步处混凝土,破碎宽度不小于 30 cm,但保留钢筋。

表 1 1 号楼房爆破切口炸高(单位:m)

Table 1 Blast height of the cutting opening for the demolition of building No. 1(unit:m)							
楼层 Floor	轴号 Axis						
	A	B	C	D	E	F	G
4~5 层	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.6	-
3 层	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.6	-
2 层	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	0.6	-
1 层	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	1.5	0.6

表 2 2 号楼房爆破切口炸高(单位:m)
Table 2 Blast height of the cutting opening for the demolition of building No. 2(unit:m)

楼层 Floor	轴号 Axis			
	A	B	C	D
7~10 层	1.2	1.2	-	-
4~5 层	1.2	1.2	-	-
3 层	1.5	1.5	-	-
2 层	1.8	1.8	1.8	-
1 层	1.8	1.8	1.8	0.6

1 号楼房:西侧楼梯 1~4 层全部拆除,东侧楼梯弱化处理至 4 层。

2 号楼房:西侧楼梯拆除至 7 层,核心筒处楼梯随剪力墙一同拆除至 10 层,东侧楼梯采取钻孔爆破的方式弱化。

(4)立柱

1 号楼房:6 层所有立柱进行弱化处理。立柱弱化处理即剥离立柱南侧、北侧及东侧外层混凝土,露出最外侧竖向钢筋并切断。

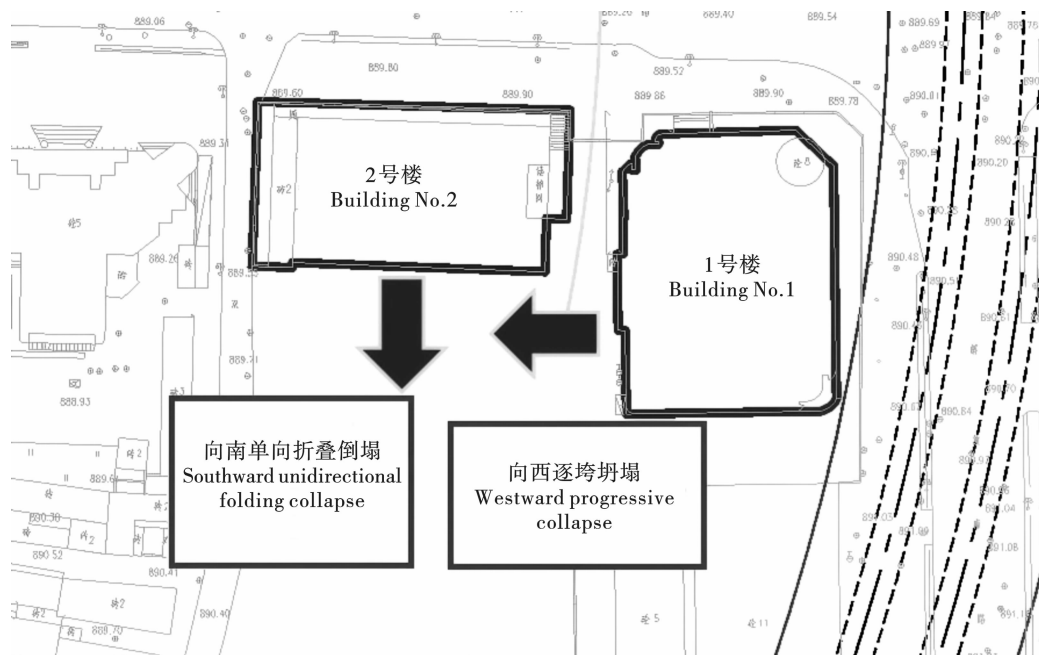


图 9 总体爆破方案示意图

Fig. 9 Overall blasting scheme

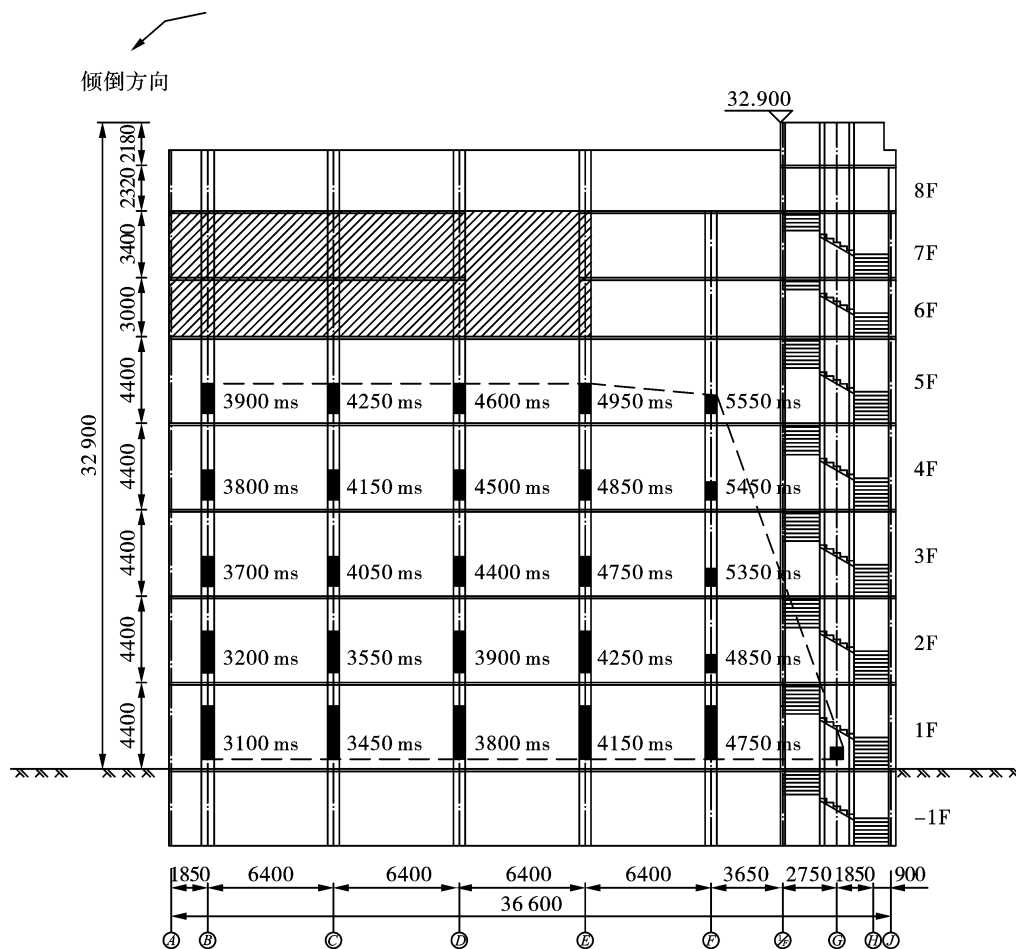


图 10 1 号楼爆破切口示意图(单位:mm)

Fig. 10 Schematic diagram of blasting cut in building No. 1 (unit:mm)

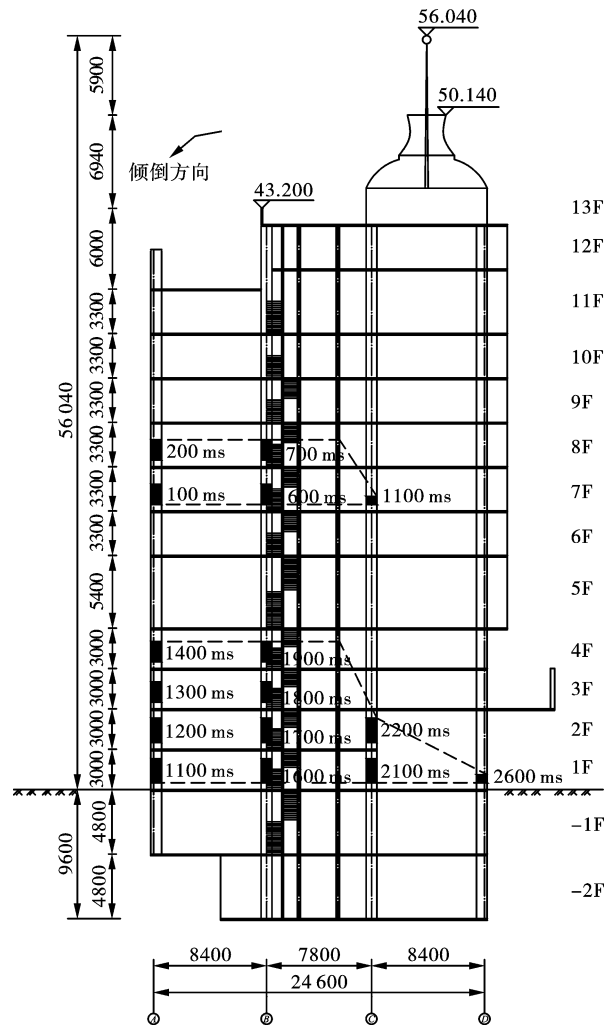


图 11 2 号楼爆破切口示意图

Fig. 11 The schematic diagram of blasting cut in building No. 2

2 号楼房:11~13 层所有立柱进行弱化处理。立柱弱化处理即剥离立柱、西侧及北侧外层混凝土,

露出最外侧竖向钢筋并切断。

3.4 爆破参数设计

本次爆破钻孔采用单排孔及梅花形布孔形式,炮孔直径为 40 mm,采用 32 mm×300 mm 的 2 号岩石乳化炸药进行爆破,连续装药。1 号楼临街立柱减少装药,单孔 100g。2 号楼 1 楼增加药量,对于 800×800 立柱:中间单孔 350 g,双孔 300 g;900×900 立柱:单孔 400 g,双孔 300 g。600×600 立柱:200 g。剪力墙:50 g。楼上药量逐渐减少。主要立柱及剪力墙爆破参数设计,如表 3 及表 4 所示。

3.5 起爆网路设计

待拆两栋楼房均采用工业电子雷管同网延时起爆网路^[17],2 号楼房先于 1 号楼房 3000 ms 起爆。2 号楼房下部切口先起爆,上部切口延迟下部切口 3000 ms 起爆。

为验证严寒环境下工业电子雷管电子元器件的耐寒性、信号传输的稳定性以及起爆器在低温下的可靠性,提前开展了 10 000 发工业电子雷管大规模组网起爆测试,测试使用 1 台主机起爆器连接 10 台分机起爆器,单台分起爆器带载 1000 发雷管,工业电子雷管精准响应,可靠起爆,为拆除施工提供了坚实保障。各排立柱起爆时间如图 10 和图 11 所示。

4 安全防护措施

(1) 塌落震动防护

1 号楼采用逐垮坍塌的爆破方案,减少一次塌落重量,降低塌落震动。2 号楼合理设置起爆延长时间,使楼梯在触地前充分解体;同时在倒塌范围内设置渣土垫层作为缓冲,降低塌落震动。

表 3 1 号楼房承载构件爆破参数表

Table 3 Building No.1 bearing member blasting parameter table

构件类型 Structural element	尺寸 Dimensions/ mm	最小抵抗 Minimum burden w/cm	孔径 Hole diameter D/mm	孔距 Hole spacing a/cm	孔深 Hole depth l/cm	单耗 Powder factor K/ (g·m ⁻³)	单孔药量 Charge per hole q/g	布孔方式 Hole layout pattern	装药结构 Charge structure
立柱 Column	600×600 (1F)	30	40	30	40	1852	200	单排布孔 Single row of holes	连续装药 Continuous charge
	600×600 (2~5F)	30	40	30	38	1389	150		
	600×600 (楼上临街) (Upper floors facing the street)	30	40	30	36	926	100		

表 4 2 号楼房承载构件爆破参数表

Table 4 Building No. 2 bearing member blasting parameter table

构件类型 Structural element	尺寸 Dimensions/ mm	最小抵抗 Minimum burden w/cm	孔径 Hole diameter D/mm	孔距 Hole spacing a/cm	孔深 Hole depth l/cm	单耗 Powder factor $K/$ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	单孔药量 Charge per hole q/g	布孔方式 Hole layout pattern	装药结构 Charge structure
立柱 Column	800 × 800	40	40	30	56	2473	350/300	梅花形布孔 Triangular pattern	连续装药 Continuous charge
	900 × 900	30	40	30	60	2057	400/350	梅花形布孔 Triangular pattern	
	600 × 600	30	40	30	40	1852	200	单排布孔 Single row of holes	
剪力墙 Shear wall	200	10	40	25	13	2400	40	梅花形布孔 Triangular pattern	

(2) 个别飞散物防护

个别飞散物防护采用“覆盖防护与近体防护相结合”的综合防护方案,具体措施如下:

①优化设计,严格控制药量,提高炸药能量利用率,使其主要用于破碎介质,最大程度减少个别飞散物。

②覆盖防护:爆破立柱从内到外包裹废弃输送带、竹跳板、棉被以及格栅网四层防护。

③近体防护:两栋楼 1 层临街、临被保护建筑方向采用堆渣方式防护;两栋楼爆破切口层非倒塌方向外墙内侧搭设竹排架,并悬挂 1 层棉被及 1 层防护网。两栋楼外立面整体挂 1 层防护网,2 号楼下部切口楼层外立面加挂 1 层防护网。

④保护目标直接防护:对 E 医院东侧、B 街北侧 F 国际广场大楼以及 D 大厦北侧、西侧墙面及窗户

等周边重点保护建筑物外立面挂 1 层防护网且防护网与建筑物不贴合,用作缓冲。3 号楼使用机械拆除 2/3,靠近 D 大厦一侧不拆除,留作防护使用。2 号楼北侧地表沿地下管廊铺设钢板防护。

5 爆破效果及结论

经过精心的设计、施工,楼房均按照预定方向倒塌,经相关方检查,爆破振动及飞石未对周边建筑物、地铁、市政管网及其他公共设施造成破坏。两栋楼房爆堆解体较充分,1 号楼顶部 3 ~ 5 m 电梯井剪力墙塌落后结构较完整,但总体满足机械破碎要求。2 号楼北侧楼体爆破后堆渣向后垮落,但整体结构未产生后坐现象。总体爆破效果良好,达成预期目标。爆破效果如图 12 所示。



(a) 2 号楼北侧爆破效果
(a) The blasting effect on the north side of building No. 2



(b) 2 号楼东南侧爆破效果
(b) The blasting effect on the southeast side of Building No. 2



(c) 1 号楼西南侧爆破效果
(c) The blasting effect on the southwest side of building No. 1

图 12 爆破效果图

Fig. 12 Blasting effect

本次严寒环境下高抗震核心筒结构楼房爆破拆除工程实践,可以总结得到以下结论:

(1)高抗震核心筒结构楼房的爆破拆除,需根据其结构特点,在保证楼房结构稳定的前提下,尽可

能充分地做好核心筒处剪力墙的预拆除工作,降低核心筒处结构强度,确保楼房按照爆破设计倒塌及破碎。

(2)为避免高抗震核心筒结构楼房的爆破拆除的后冲,将绞点前移上移,并合理设置起爆时间,在楼体塌落后起爆后排立柱炮孔,降低爆堆高度。此方案可有效抑制楼体因重力作用后冲,同时可避免绞点提高造成的后排结构未解体的情况。

(3)为应对此次施工的严寒环境,采取了向生产厂家定制施工所需的岩石乳化炸药及工业电子雷管的措施,确保了装药可靠起爆;采取了在填充材料中添加抗冻组分,边制作边填充的措施,确保填充效果良好;采取了及时清理施工场地积雪、结冰,配备防寒劳保用品等措施,确保了施工全程的安全高效。

(4)实施了严寒环境下工业电子雷管大规模组网实验,通过实验及工程实践验证了严寒环境下工业电子雷管起爆系统的安全性、稳定性及可靠性。为后续工业电子雷管在类似环境下的拆除爆破施工应用提供了可靠借鉴。

(5)就地取材,创新性的使用废旧输送胶带进行覆盖防护,该防护材料价格便宜,防护强度高,施工效率高,提升了防护效果,降低了飞石对周边建筑及设施的破坏。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [1] LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, WU Yue, et al. Demolition blasting of two frame structure buildings adjacent to subway[J]. Engineering Blasting, 2025, 31(3): 65-72. (in Chinese)
- [2] 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.
- [2] HE Pan, LIU Shi-bing, WU Xi-nan. Demolition blasting for high and large U-shaped structure dangerous buildings in a complex urban environment[J]. Engineering Blasting, 2025, 31(1): 59-67. (in Chinese)
- [3] 汪旭光,吴春平. 我国爆破行业发展成就、挑战与机遇[J]. 中国矿业,2024,33(12):1-9.
- [3] WANG Xu-guang, WU Chun-ping. Blasting industry in China: achievements, challenges and opportunities[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(12): 1-9. (in Chinese)
- [4] 贾永胜,孙金山,姚颖康,等. 我国拆除爆破研究进展与展望(1994—2024)[J]. 工程爆破,2024,30(5):45-60.
- [4] JIA Yong-sheng, SUN Jin-shan, YAO Ying-kang, et al. Research progress and prospect of demolition blasting in China (1994—2024)[J]. Engineering Blasting, 2024, 30(5): 45-60. (in Chinese)
- [5] 李畅,张英才,高帅杰. 两座150m高钢筋混凝土烟囱拆除爆破[J]. 价值工程,2024,43(17):113-115.
- [5] LI Chang, ZHANG Ying-cai, GAO Shuai-jie. Demolition blasting of two 150m high reinforced concrete chimneys[J]. Value Engineering, 2024, 43(17): 113-115. (in Chinese)
- [6] 刘健修,高朋飞,马国强,等. 18层框-筒结构楼房拆除爆破数值模拟分析[J]. 工程爆破,2024,30(3):74-81.
- [6] LIU Jian-xiu, GAO Peng-fei, MA Guo-qiang, et al. Demolition blasting and numerical simulation analysis of an 18-storey frame-barrel structure building[J]. Engineering Blasting, 2024, 30(3): 74-81. (in Chinese)
- [7] 于明亮,李越,刘伟,等. 狭长低矮城市建筑定向拆除爆破[J]. 工程爆破,2024,30(3):82-88.
- [7] YU Ming-liang, LI Yue, LIU Wei, et al. Directional demolition blasting of long, narrow and low urban buildings[J]. Engineering Blasting, 2024, 30(3): 82-88. (in Chinese)
- [8] 赵盟乔,陈磊,王猛,等. 复杂环境下爆破拆除130m多管式套筒烟囱的数值模拟研究[J]. 爆破,2024,41(4):128-135.
- [8] ZHAO Meng-qiao, CHEN Lei, WANG Meng, et al. Numerical simulation on blasting demolition of 130 m multi-tube sleeve chimney under complex environment[J]. Blasting, 2024, 41(4): 128-135. (in Chinese)
- [9] 封江东,王金绪,孙晓伟,等. 水下高耸薄墙爆破对紧邻钢管桩的动力影响[J]. 水利水电工程学报,2023(3):130-137.
- [9] FENG Jiang-dong, WANG Jin-xu, SUN Xiao-wei, et al. Influence of demolition blasting of underwater towering thin wall on dynamic characteristics of adjacent steel pipe pile[J]. Journal of Hydro-Science and Engineering, 2023(3): 130-137. (in Chinese)
- [10] 张焜琨,张耀良,夏云鹏,等. 两座210m高烟囱定向爆破拆除空中对碰技术研究[J]. 工程爆破,2024,30(1):96-103.
- [10] ZHANG Kun-kun, ZHANG Yao-liang, XIA Yun-peng, et al. Research on aerial collision technology for directional blasting removal of two 210 m high chimneys[J]. Engineering Blasting, 2024, 30(1): 96-103. (in Chinese)
- [11] 张雷,孟国良,蔡祖架. 相邻两座砖烟囱定向爆破拆除方案研究[J]. 工程技术研究,2023,8(14):8-10.
- [11] ZHANG Lei, MENG Guo-liang, CAI Zu-jia. Research on oriented blasting demolition scheme for two adjacent brick chimneys[J]. Engineering Technology Research, 2023, 8(14): 8-10. (in Chinese)