

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2021.05.010

中心城区超高层楼群多切口折叠爆破拆除^{*}

刘文广

上海消防技术工程有限公司(上海,200080)

[摘 要] 在超大城市中心城区密集空间内进行高层楼房的安全爆破一直是一个难题。在上海普陀中环商务区 4 栋百米高层楼房爆破拆除中,采用了大切口、多向折叠、一次起爆、分体塌落的爆破技术。对不同结构类型采用不同切口角度:核心筒结构 39°,框架结构 30°,全剪力墙公寓楼 36°。同时,设计楼间、切口间、层间和同层前、后采用不同的延时形式,爆破后大楼完全按照预定的方向安全塌落,坍塌距离为 16~42 m。30 m 处,110 kV 变电站爆破振速控制为 1 cm/s,实现了既要减振又需缩小倒塌影响范围的目的。周围建筑和地下管线均无损伤。

[关键词] 拆除爆破;超高层楼群;爆破切口;复杂环境;预拆除

[分类号] TU746.5

Folding Blasting Demolition with Multiple Cuts of Super High-Rise Buildings in Central Urban Area

LIU Wenguang

Shanghai Fire Technology Engineering Co., Ltd. (Shanghai, 200080)

[ABSTRACT] It is always a difficult problem to ensure the safe blasting of high-rise buildings in the dense space of the central urban area of a super large city. In the blasting demolition of four 100 m high-rise buildings in Putuo Core Business District of Shanghai, blasting technologies such as large cuts, multi-directional folding, one-time initiation and split collapse were adopted. Three types of cut angles were determined: core tube structure 39°, frame structure 30° and shear wall apartment building 36°. Different delay forms between buildings, cuts, story and front and back of the same storey were designed. The buildings collapse safely in the predetermined direction after blasting, and the collapse distance is 16-42 m. Blasting vibration of 110 kV substation at 30 m was controlled by 1 cm/s. The purpose of both shock absorption and reducing the scope of collapse was realized. Surrounding buildings and underground pipelines were not damaged.

[KEYWORDS] demolition blasting; super high-rise buildings; blasting cut; complex environment; preliminary demolition

引言

随着城市的发展,越来越多的城市建筑物因不能满足新的使用要求而需要拆除。当拆除对象位于中心城市核心城区时,周围都密集分布着众多需严格保护的重要目标,对爆破拆除技术提出了更严峻的挑战。

针对上述难题,依托上海市中环商务区 4 栋高层楼房爆破工程实践,提出了严苛条件下的爆破拆除设计方法,运用与之相适应的大切口设计技术及

爆破危害控制技术,解决了针对目标保护的安全风险防控难题。

1 工程概况和环境

待爆破拆除建筑楼群位于上海市中心城区沪宁高速—中环高架的西南夹角。如图 1 所示,4 栋高层分别命名为 T1 楼、T2 楼、T3 楼和公寓楼。其中,T1 楼、T2 楼均为地上 25 层,地下 2 层,高度 106.2 m,单栋面积 46 500 m²;T3 楼为 20 层,高度 91.4 m,面积 31 300 m²;公寓楼为 31 层,高度 96.1 m,面积

^{*} 收稿日期:2021-06-02

第一作者:刘文广(1969-),男,硕士,高级工程师,主要从事爆破工程的技术设计和施工管理。E-mail: xfblasting@126.com



图1 待爆破拆除的4栋超高层建筑

Fig.1 Four super high-rise buildings to be demolished by blasting

33 549 m²。共计面积约 157 849 m²。

1.1 周围环境

工程周边环境比较复杂,如图 2 所示。主要保护目标有:东侧的真北路中环高架,距离待爆 T2 楼、T3 楼最小距离 63 m;西侧的中环百联商业综合体,距离待爆公寓楼 29 m;南侧的 110 kV 变电站,负责供应区政府、上海市疾控中心用电,距离待爆 T3 楼 22 m,T3 楼距离麦德龙商场 60 m;北侧的 G2 沪宁高架,与 T1 楼距离 110 m。

1.2 待拆楼群的结构特点

待爆破拆除对象结构特点如下:

1)T1 楼、T2 楼结构相同,为框架核心筒结构。长 58.3 m,8 排柱;宽 31.4 m,5 排柱。爆破部位的立柱截面分别为 1 200 mm×1 200 mm、1 100 mm×

1 100 mm、1 000 mm×1 000 mm、900 mm×900 mm 4 种规格。第 1 层层高 5.6 m,第 2 层至第 4 层层高 5.1 m,第 5 层层高 5.2 m,第 6 层及以上层高 3.6 m。电梯及楼梯核心筒布置于大楼平面中部,尺寸为 9.20 m×3.74 m。核心筒剪力墙有 0.30、0.35、0.40、0.50 m 等不同厚度。5 层及以下混凝土等级为 C55,6 层以上混凝土等级为 C40。

2)T3 建筑主体结构为框架结构。长 45.3 m,8 排柱;宽 38.8 m,7 排柱。爆破部位的立柱截面为 1 000 mm×1 000 mm、900 mm×900 mm、800 mm×800 mm、700 mm×700 mm;5 层以下混凝土等级为 C55,6 层及以上为 C40。

3)公寓楼为全剪力墙结构,层高 3.1 m。大楼东西方向 9 跨,长 57.84 m;南北方向 3 跨,宽 21.57 m。两个电梯及楼梯间布置于长边一侧,电梯及楼梯间尺寸为 7.20 m×7.52 m。剪力墙厚度为 200~240 mm 不等,混凝土等级为 C50,布筋(单位:mm):水平筋 $\varnothing 12@150$,竖向筋 $\varnothing 12@150$,墙体拉结筋 $\varnothing 8@450\times 450$ 。

1.3 拆除工程难点

1)4 栋高层包含框架核心筒结构、全框架结构、全剪力墙结构 3 种结构形式,要针对不同结构形式,选择合适的爆破方法。

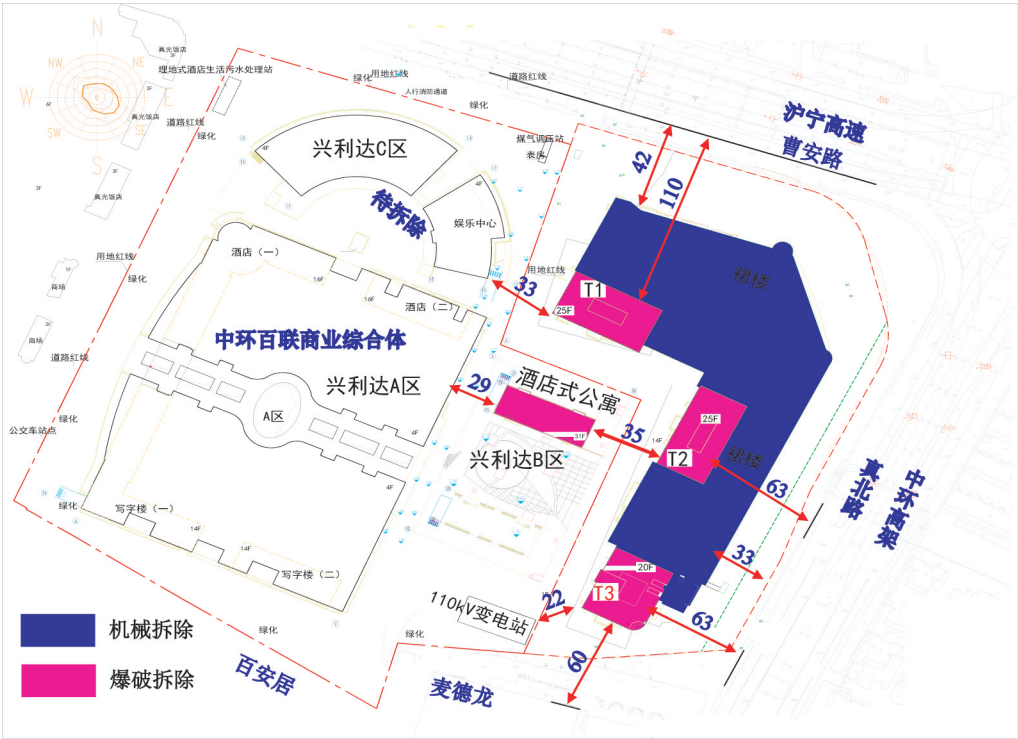


图2 爆破工程周边环境(单位:m)

Fig.2 Surrounding environment of blasting project (unit:m)

2) 毗邻城市主干道:工程北侧是 G2 沪宁高速入城段,东侧临近上海中环快速路,两条道路均为高架道路,车流量大,对爆破振动控制要求高。

3) 工程四周涉及多个大型商业综合体:中环百联、麦德龙商场。其中,西侧临近中环百联商场玻璃幕墙仅仅 29 m,南侧距离麦德龙商场 60 m。

4) T3 楼后侧距离 110 kV 变电站 22 m,距离电缆隧道很近,爆破飞石和爆破振动需控制在允许范围内。

5) 4 栋楼一次性爆破,需合理确定大楼之间延期时间,公寓楼和 T2 楼的时间间隔尤其重要。延期时间过长,公寓楼落地后,气浪会冲击破坏 T2 楼切口正面的爆破网路,给 T2 楼顺利爆破带来隐患;延期时间过短,由于两栋楼距离 35 m,T2 楼有和公寓楼倒塌过程中相互撞击的风险,造成公寓楼西偏,影响其西侧中环百联商场的安全。

总体而言,工程周边环境复杂,车流、人流量密集,在此环境下,一次性爆破 4 栋密集高层,面积近 16 万 m²,难度极大。

2 爆破拆除总体方案

分析周边倒塌场地,基于周边复杂的目标保护和严苛的危害效应控制要求,决定采用多切口折叠延期逐层、逐跨分散塌落起爆技术和高层建筑物大切口、多切口倒塌爆破方法^[1-2],实现多幢超高层建筑爆破拆除稳定引爆。如图 3 所示,采用同向 2~3

个切口的爆破工艺,能使大楼在空中解体,切口闭合逐段折叠后再触地,上部触地构件折叠在下部楼体已触地的构件上,极大地降低了上部楼体倒塌的动能。切口闭合后,上部楼体重心落高小,能够有效地控制塌落振动^[3-6]。

3 爆破参数设计

3.1 爆破切口角度与立柱炸高

T1 楼、T2 楼采用同向双切口定向倒塌,切口位置在大楼 1~5 层和 13~15 层;T1 向北倾倒,T2 向西倾倒;底部爆破切口倾角 39°。T3 楼设计成 2 个爆破切口,位于大楼 1~5 层和 11~13 层,向北倾倒;爆破切口倾角 30°。

结合类似工程经验,大楼底部切口内立柱的爆高取 3.0 m;上部切口内立柱的爆高取 2.2 m。

公寓楼全剪力墙结构,采用同向三切口,向北倒塌于大楼北侧的 50 m 场地;切口位置分别在 1~5 层、13~15 层以及 21~23 层;爆破切口倾角 36°。

3.2 爆破参数

共使用岩石乳化炸药 7 416 kg,导爆管雷管 60 200 发,塑料导爆管 40 000 m。其中,T1 楼、T2 楼、T3 楼 3 栋大楼的爆破参数详见表 1 所示。公寓楼剪力墙厚度不同,爆破参数详见表 2。

3.3 爆前预处理

在保证大楼结构绝对稳定的前提下,为了减少钻孔数量、降低爆破强度、保证大楼充分解体和顺利

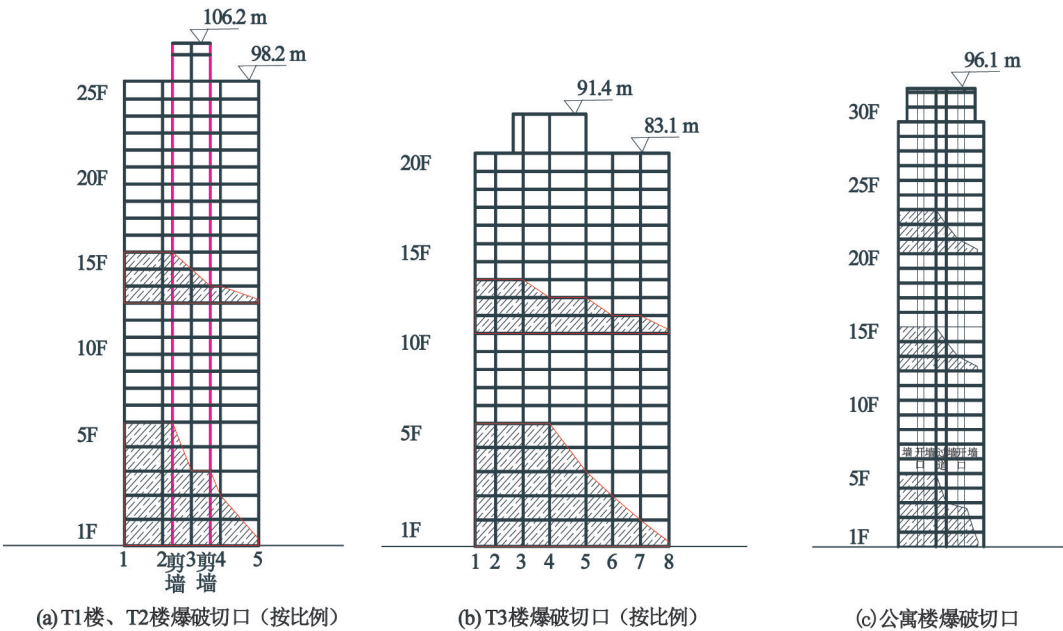


图 3 4 栋楼立面及爆破切口布置

Fig. 3 Elevation and blasting cuts layout of four buildings

表 1 T1 楼、T2 楼、T3 楼爆破参数

Tab. 1 Blasting parameters of T1, T2 and T3

爆破部位		截面/ cm × cm	厚度/ cm	最小抵 抗线/cm	孔距/ cm	排距/ cm	孔深/ cm	单耗/ (g · m ⁻³)	单孔药量/ g	孔数/ 个
T1 楼、T2 楼 1 ~ 5 层	立柱	120 × 120		25	100	22 ~ 24	95	1 667	600	140
	立柱	110 × 110		22	100	22	85	1 818	550	980
	立柱	100 × 100		25	100	25	75	1 414	450	308
	剪力墙		50	25	40	30	35	2 500	150	962
T1 楼、T2 楼 13 ~ 15 层	立柱	100 × 100		25	80	25	80	1 500	400	54
	立柱	90 × 90		30	80	30	70	1 389	450	252
	立柱	80 × 80		25	80	30	60	1 367	350	96
	剪力墙		40	20	40	30	25	2 083	100	390
T1 楼、T2 楼合计										3 182
T3 楼 1 ~ 5 层	立柱	80 × 80		20	100	20	60	1 719	350	1210
	立柱	90 × 90		25	100	20	70	1 746	450	429
	立柱	70 × 70		25	100	20	50	1 224	300	56
	剪力墙		50	15	40	30	35	2 500	150	30
T3 楼 13 ~ 15 层	立柱	80 × 80		20	80	20	55	1 367	300	210
	立柱	70 × 70		25	80	20	45	1 190	200	406
	后立柱	70 × 70		25	80	20	45	1 190	200	12
	剪力墙		40	15	40	30	25	2 083	100	12
T3 楼合计										2 365

表 2 公寓楼爆破参数

Tab. 2 Blasting parameters of the apartment building

爆破部位	剪力墙厚度/ cm	最小抵抗线/ cm	孔距/ cm	排距/ cm	孔深/ cm	单耗/ (g · m ⁻³)	单孔药量/ g	孔数/ 个
1 ~ 3 层剪力墙	24	12	30	25	16	7 389	133	8 220
	30	15	30	30	22	4 925	133	5 048
4 ~ 5 层剪力墙	24	12	30	25	16	5 556	100	3 648
	30	15	30	30	22	4 925	133	1 888
13 层剪力墙	24	12	30	25	16	5 556	100	2 419
	30	15	30	30	22	3 704	100	1 720
14 ~ 15 层剪力墙	24	12	30	25	16	3 722	67	2 824
	30	15	30	30	22	3 704	100	2 608
21 ~ 23 层剪力墙	24	12	30	25	16	2 778	50	5 243
	30	15	30	30	22	3 704	100	4 328
合计								37 946

倒塌,在经过强度校核和计算的前提下,对大楼的结构进行预处理^[7-9]。

1)对所有爆破切口范围内核心筒、电梯井剪力墙进行切割预处理,保留边角立柱。

2)采用微挖设备全部拆除爆破切口范围内相应楼层隔墙,以免形成支撑而影响楼体倾倒;隔墙拆除后,垃圾清理到房屋中央,留出爆破施工通道。

3)对切口范围的楼梯上、下全都破碎开口(保

留钢筋),既破坏其整体性,不至于影响楼体的倾倒,又能满足施工人员行走安全。

4)爆破前,在 4 栋主楼塌落位置和中环高架、沪宁高速入城段、中环百联商业综合体、110 kV 变电站 4 个方向之间挖一条宽 1 m、深 2.5 m 的减振沟,抽出积水。

5)在 4 栋楼倒塌位置地面平铺一层高 2 ~ 3 m 的减振垫层,垫层上方再铺设一层沙袋并盖上彩条

布,可有效降低爆破触地振动。

4 起爆网路设计

沿大楼倾倒方向,T1 楼、T2 楼、T3 楼上切口各爆区孔内起爆雷管自前至后分别使用 HS3、HS4、HS5、HS6 段别,下切口 1~5 层各爆区孔内起爆雷管分别使用 HS4、HS5、HS6、HS7 段别,上切口先于下切口 0.5 s 起爆;同一切口内各层自下而上采用 MS5 延期;每个墙柱孔外使用 2 发延期雷管簇联传爆。各爆区簇联延期雷管通过导线联接成复式起爆网路。

沿大楼倾倒方向,公寓楼上部切口各爆区孔内起爆雷管使用 HS3、HS4、HS5、HS6 段别,中部切口使用 HS4、HS5、HS6、HS7,底部切口各爆区孔内起爆雷管使用 HS6、HS7、HS8、HS9 段别。通过孔内延期,上切口先于中切口 0.5 s 起爆,中切口先于下切口 1.0 s 起爆;每个墙柱孔外使用 2 发延期雷管簇联传爆,各爆区簇联延期雷管通过导线联接成复式起爆网路。

根据现场环境和安全要求,为了保证各楼之间的爆破不受影响,采取 4 栋楼结成一个大的复合网路,一次性起爆;各楼采用不同段别的半秒导爆管雷管击发,从而控制各栋楼之间的延期时间,依次倒塌,起爆顺序见表 3。

表 3 起爆顺序及爆破时间

Tab.3 Initiation sequence and blasting time

楼体	雷管	爆破开始时间	爆破完成时间	落地时间
T1 楼	MS1	1.0	4.0	8.6
公寓楼	HS3	2.0	5.5	9.9
T2 楼	HS8	4.6	7.6	12.2
T3 楼	HS9	5.5	10.0	14.3

5 爆破危害控制

5.1 爆破振速控制

城镇拆除爆破质点峰值振速计算公式^[10]

$$v=K\cdot K'\cdot (\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R})^{\alpha}。$$
(1)

式中: v 为保护对象位置振速,cm/s; K 为与地质、地形有关的系数; K' 为修正系数,0.25~1.00; α 为衰减指数; Q 为延时爆破最大单段药量,kg; R 为保护

目标到炸点中心的距离,m。

取 $K=32.1,K'=0.5,\alpha=1.54$ 。单区爆破最大一次起爆药量控制在 30 kg 以内。每轴 8 根立柱通过孔外延期再分成 2 次起爆;单根立柱药量 $1.1\times 1.1\times 3\times 1.5=5.445$ kg,一次控制最多 5 根立柱, $5.445\times 5=27.225$ kg;因此,起爆药量取 30 kg。

对照 GB6722—2014《爆破安全规程》中给出典型建构筑物的安全振速,保护目标计算爆破振速大部分小于国家标准(表 4),对高架路、商场是安全的;变电站设备安全振速为 0.5~0.9 cm/s,计算爆破振速大于此标准,爆破时拟采取停电措施。

表 4 计算保护目标的爆破振速

Tab.4 Calculated blasting vibration velocity of protection targets

距离最近的保护目标	R/m	$v/(cm\cdot s^{-1})$
东侧中环高架	63	0.16
南侧 110 kV 变电站	22	0.79
西侧百联商场	29	0.51
北侧曹安路沪宁高架	110	0.06

5.2 塌落振速计算

拆除爆破塌落振速参照经验公式计算^[11]:

$$v_t=K_t\cdot \left[\frac{(\frac{MgH}{\sigma})^{\frac{1}{3}}}{R}\right]^{\beta}。$$
(2)

式中: v_t 为塌落振速,cm/s; K_t 、 β 为衰减参数,通常取 $K_t=1.13,\beta=1.66$; M 为逐层塌落的最大质量,t; g 为重力加速度,9.8 m/s²; H 为构件的重心高度,m; R 为倒塌落地中心至保护建筑距离,m; σ 为地面介质破坏强度,一般取 $\sigma=10$ MPa。

根据大楼爆破经验分析,当采用多切口、上下楼层分割解体的爆破方案时,塌落振速公式中 M 就不是总质量,而是设计分段爆破第一时间着地的那部分质量;底部切口上方的楼体冲击地面瞬时的触地振动为最大^[12-13]。

计算重点保护建筑设施塌落振速见表 5。表 5 中,为无任何减振防护措施前提下的安全计算,实际爆破施工还要增加振动安全防护措施,如在大楼四周开挖减振沟、爆破倒塌区域设置减振垫层等。通过以往国内外爆破监测数据及多次高楼爆破工程实践^[14-15],采用可靠的减振措施能够有效降低振速。

5.3 爆破飞散物控制措施

为有效控制爆破飞散物,在合理确定爆破单耗、保证炮孔堵塞质量的同时,具体采用 3 层防护:

1)第 1 层,爆体直接防护。将旧地毯和 2 层竹笆

表 5 计算保护目标的塌落振速
Tab. 5 Calculated collapse vibration velocity of protection targets

保护目标	<i>R</i> /m	<i>M</i> /t	<i>H</i> /m	<i>v</i> /(cm·s ⁻¹)	距爆破大楼最短距离/m
东侧中环高架	96	3 587	68	0.55	63(距 T2 楼、T3 楼)
南侧 110 kV 变电站	67	3 587	68	1.00	22 (距 T3 楼)
西侧百联商场	58	3 587	84	1.42	29(距公寓楼)
北侧沪宁高架	87	3 587	78	0.70	110 (距 T1 楼)

由里及外依次用铁丝捆扎在爆破目标上,重点部位用 6 mm 细钢丝绳外侧加固,有效降低爆破飞散物初速度。

2)第 2 层,楼层防护。在每个楼层沿外墙四周,用竹笆和毛竹搭设一个防护体,阻挡这一层爆体产生的飞散物。

3)第 3 层,切口整体防护。在爆破切口顶部楼层悬挂由 2 层白色强力安全网加 1 层密目网组合形成的柔性防护毯,防护毯高度和切口同高,防护毯底部用绳索拉离建筑物一定距离,用以缓冲逃逸飞石。

经过这 3 层防护遮挡,能将爆破飞散物控制在 30 m 之内。

6 爆破效果

该项目于 2020 年 4 月 20 日凌晨 0 : 30 爆破,4 栋大楼按爆破设计的方向和时间依次倒塌(图 4)。



图 4 爆破效果

Fig. 4 Blasting outcome

1)T1 楼和 T2 楼爆堆落地最远水平距离约 42 m,无后座。2.0 s 时,上切口开始闭合;3.0 s 时,下切口闭合;4.5 s 时,上、下切口间结构破坏,上切口以上结构触地;7.0 s 时,上切口以上结构前倾着地。T1 楼爆堆高度约 7 m,T2 楼有部分核心筒高度 15 m。

2)T3 楼爆堆落地最远水平距离只有 16 m,无后座。整个倒塌时间 9.0 s,可以明显分辨出逐跨塌落。爆堆高度约 9 m。

3)公寓楼 3 个切口,落地后分成 6 块,前面一块爆堆落地最远水平距离 40 m,后座 6 m。倒塌时间

共计 9.0 s。3.0 s 时,上切口闭合,上部结构明显下挫微倾;4.0 s 时,中切口闭合,大楼下降 10 m 高度;5.0 s 左右,加速下坠;9.0 s 时,完全着地。爆堆高度约 9 m。

4)爆破飞石和上部结构落地飞溅最大距离控制在 30 m 范围内。30 m 处中环百联大楼玻璃幕墙完好无损;110 kV 变电站正常运行;附近麦德龙商场、百安居商场、民房、地下管线及周围其他设施均安然无恙,爆破效果十分理想。

5)爆破期间进行了振动监测,监测仪器为 Blast-UM 爆破振动测试仪,布置了 10 个振动测点,其中 8 个点得出有效数据。此次是 4 栋楼一次性分段爆破,T1 楼、公寓楼、T2 楼、T3 楼依次起爆。因此,所测得的爆破振动数据是多个点的爆破振动以及多个建筑物倒塌后的塌落振动叠加而成,测量结果见表 6。

表 6 振速监测
Tab. 6 Monitored vibration velocity

测点编号	测点位置	与爆心距离/ m	振速峰值/ (cm·s ⁻¹)
1 [#]	曹安变电站 1 楼 10 kV 开关室	25	1.25
3 [#]	曹安变电站 2 楼 10 kV 1 [#] 电容器室	25	1.12
4 [#]	梅六小区岗亭处	128	0.82
5 [#]	梅六小区周边变 电箱位置处	145	0.70
6 [#]	中环路高架桥桥墩 位置处	75	0.59
7 [#]	中环路高架桥桥墩 位置处	145	1.06
8 [#]	商场垃圾站位置处	25	1.09
10 [#]	商场垃圾站向西 50 m 商场偏门	75	0.63

7 结论

1)采用大切口爆破拆除设计方法及 3 层立体安全防护技术,成功完成了复杂环境下不同结构类

型高层楼房建筑的爆破拆除,设计方法、环境复杂性及危害控制技术对未来类似工程有一定参考价值。

2)在通过试爆并合理选用爆破单耗的同时,综合利用爆体直接防护、楼层整体防护、爆破切口整体防护三重组合防护手段,有效地控制了爆破飞散物影响范围。爆破后,30 m 处的中环百联商业综合体幕墙没有损害,这种飞石防护手段是可靠的。

3)通过采取折叠爆破、分区延期起爆、减振垫层和减振沟等综合减振技术措施,4 栋大楼爆破振速控制在合理区间,保护了地下浅埋管线、110 kV 变电站、麦德龙商场、百安居商场的安全。

参 考 文 献

- [1] 钟元清,徐其敏,吴显军. 4 栋整浇全剪力墙结构高层住宅楼爆破拆除[J]. 爆破,2020,37(1):102-106.
ZHONG Y Q, XU Q M, WU X J. Blasting demolition of four high-rise residential buildings with full-cast and full-shear wall structures[J]. Blasting, 2020, 37(1):102-106.
- [2] 周家汉. 爆破拆除塌落振动速度计算公式的讨论[J]. 工程爆破, 2009,15(1):14, 40.
ZHOU J H. Discussion on calculation formula of collapsing vibration velocity caused by blasting demolition[J]. Engineering Blasting,2009, 15(1): 1-4,40.
- [3] 齐世福,夏裕帅,谢兴博,等. 复杂环境下高大楼房控制爆破技术[J]. 工程爆破,2015,21(1): 20-24,4.
QI S F, XIA Y S, XIE X B, et al. The controlled blasting technique for demolishing a high building in complicated surrounding[J]. Engineering Blasting, 2015, 21(1): 20-24, 4.
- [4] 刘士兵,贺攀,程赛珍. 单向三折叠拆除爆破技术在复杂环境下的应用[J]. 工程爆破,2019,25(5):57-62.
LIU S B, HE P, CHENG S Z. Application of unidirectional three fold demolition blasting technology in complex environment[J]. Engineering Blasting, 2019,25(5):57-62.
- [5] 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.
JIA Y S, XIE X Q, YAO Y K, et al. Discussed on key parameters of folding explosive demolition of high high-rise building[J]. Blasting, 2016,33(3):75-80, 131.
- [6] 辛振坤,泮红星,骆利锋,等. 18 层大厦双向三次折叠控制爆破技术[J]. 工程爆破,2015, 21(4): 33-36, 62.
XIN Z K, PAN H X, LUO L F, et al. The controlled blasting technology in bidirection-3-times-folding of 18-storey building[J]. Engineering Blasting,2015,21(4): 33-36, 62.
- [7] 李高峰,易克,李星,等. 18 层“高脚杯”形剪力墙结构楼房爆破拆除[J]. 工程爆破,2015, 21(3): 46-49.
LI G F, YI K, LI X, et al. Blasting demolition of 18-storey and goblet-shape building of shear wall structure[J]. Engineering Blasting, 2015, 21(3): 46-49.
- [8] 徐洋,谢全民,梅比,等. 远程测振系统在群楼拆除爆破振动监测中的应用[J]. 工程爆破,2019,25(6):80-84.
XU Y, XIE Q M, MEI B, et al. Application of remote vibration measurement system in monitoring the vibration of demolition blasting of group-buildings[J]. Engineering Blasting,2019,25(6):80-84.
- [9] 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.
ZHANG M, LIU J, JIA Y S, et al. Influence of cut pattern and delay time difference on effect of frame structure explosive demolition[J]. Blasting,2017,34(2):1-8.
- [10] 汪旭光,于亚伦. 拆除爆破理论与工程实例[M]. 北京:人民交通出版社,2008:103.
- [11] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2011: 692-694.
- [12] 郑建礼,姜宝金,胡光球,等. 全剪力墙结构楼房的定向爆破拆除[J]. 爆破器材,2018,47(3): 55-59.
ZHENG J L, JIANG B J, HU G Q, et al. Blasting demolition of a building with full shear wall structure[J]. Explosive Materials,2018,47(3): 55-59.
- [13] 易克,李高峰,张文杰,等. 异形全剪力墙结构危楼定向爆破拆除技术[J]. 工程爆破,2015,21(4): 29-32,53.
YI K, LI G F, ZHANG W J, et al. The directional blasting technology of special shear wall structure of dangerous buildings[J]. Engineering Blasting,2015,21(4): 29-32,53.
- [14] 吉建华,池恩安. 高层剪力墙结构楼房拆除爆破切口的设计[J]. 现代矿业, 2017(2): 206-208,211.
- [15] 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.
LIU C B, JIA Y S, HUANG X W, et al. Blasting demolition technology of longitudinal collapse and aerial disintegration for special-shaped[J]. Blasting,2019,36(3): 84-89.