

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.02.018

## 主裙楼一体结构纵向倒塌拆除爆破技术\*

郭华杰<sup>1,2</sup>, 邓志勇<sup>3</sup>, 马驰<sup>2</sup>, 钟红学<sup>3</sup>

(1. 中国铁道科学研究院 研究生部, 北京 100081; 2. 铁科院(深圳)研究设计院有限公司, 深圳 518057;

3. 深圳市和利爆破技术工程有限公司, 深圳 518034)

**摘要:** 在楼房爆破拆除中, 针对包含裙楼(长宽比1)、办公楼(长宽比2.9)、两栋住宅楼(长宽比1.4)的复杂钢筋混凝土结构楼房按要求纵向倒塌的情况, 采用底部裙楼排间立柱爆破分步延时间隔的方式使长宽比较大的办公楼在重力作用下从中部剪切分为两部分, 楼体重心较易移出楼体外侧, 同时通过高速摄像机研究结构破坏时间、过程并证明此方法的可行性。当排间立柱采用半秒延时导爆管雷管时, 末排柱子与邻排柱子的合理延时间隔时间为200~300 ms左右, 并应对切口最高处对应末排柱子的位置进行爆破弱化, 以提高倒塌的可靠性。实际爆破中发现由于裙楼爆破后重心高度的上移有必要提高先爆楼体爆破切口的高度, 且采用平切口的形式。针对地下室空气喷出造成的飞石提出解决措施, 为今后类似爆破工程提供思路。

**关键词:** 楼房爆破拆除; 预拆除; 平切口; 铰接支撑点; 切口高度

中图分类号: TU746.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2021)02-0118-10

## Demolition Blasting Technology for Longitudinal Collapse of Integral Structure of Main and Annex Building

GUO Hua-jie<sup>1,2</sup>, DENG Zhi-yong<sup>3</sup>, MA Chi<sup>2</sup>, ZHONG Hong-xue<sup>3</sup>

(1. Postgraduate Department, Chinese Academy of Railway Science Beijing, Beijing 100081, China;

2. Research Institute of Railway Technology (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518057, China;

3. Shenzhen Heli Blasting Technology Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518034, China)

**Abstract:** A complex reinforced concrete structure building including an annex building (length-to-width ratio = 1), an office building (length-to-width ratio = 2.9) and two residential buildings (length-to-width ratio = 1.4) were required to collapse longitudinally by demolition blasting. The office building with large length and width was sheared into two parts step by step from the middle part under the action of gravity by means of delayed blasting between the rows of columns in the annex building. In this case, the center of gravity of the building was easier to move out of the outside of the building. At the same time, high-speed cameras were used to study the failure time and process of the structure and prove the feasibility of this method. When half-second delay detonators were used for the columns, the reasonable delay time between the last row of columns and the adjacent row of columns was about 200~300 ms. The highest point of the incision corresponds to the position of the last row of columns should be weakened by blasting to improve the reliability of collapse. In actual blasting, it was found that it's necessary to increase the height of the blasting cut of the first exploded building due to the upward shift of the height of the center of gravity after the annex building blasting, and the form of flat cut was adopted. The countermeasures for flying rocks caused by air ejection in the basement were proposed to provide reference for similar blasting projects in the future.

**Key words:** blasting demolition; pre-demolition; flat cut; hinged support point; cut height

随着社会的发展和城市建筑的更替,爆破拆除建筑物的规模逐渐从小型化向高层、超高层且建筑结构复杂化发展,大多拆除工程都是以横向倒塌为主<sup>[1-6]</sup>,如王小波所做的35 m高框架楼房单向折叠爆破拆除中主楼长宽比约2.4且沿楼房横向方向倒塌<sup>[1]</sup>,许建刚研究了高51 m,长宽比约5.3的全剪力墙结构高楼沿横向方向倒塌的爆破拆除技术<sup>[2]</sup>,此外王洪刚进行了以逐跨纵向倒塌爆破拆除的研究<sup>[7]</sup>,但其爆破切口设在九层楼体内,加大了预拆除及爆破工作量,刘昌邦进行了楼体爆破拆除纵向逐跨倒塌,空中解体的研究<sup>[8]</sup>,但楼体结构相对本工程较简单。当待拆楼房爆破拆除环境不理想且需要沿楼房纵向方向倒塌时,所考虑的因素和技术要求相对横向倒塌时要复杂,很容易出现炸而不倒的情况。本文通过深圳市对高大建筑物做短边方向纵向倒塌爆破拆除的案例,总结了实践经验,为以后国内外类似工程提供了参考。

## 1 工程概况

百旺大厦位于深圳市南山区西丽街道办事处白芒村内,沙河西路东侧。大厦东侧为待拆房屋和拆除后空地,东侧110 m为白芒村村民房屋;南侧为待拆地下室基础;西侧20 m为沙河西路,西侧69 m为地铁在建工地;北侧紧邻小区道路,北侧31 m为百旺研发大厦(见图1)。百旺大厦分办公楼、住宅楼和裙楼三部分:西边为办公楼15层,高度52.8 m;东边为住宅楼19层,高度65.6 m;裙楼4层,宽48 m,长49 m,高度17.6 m(见图2),待拆楼房截面结构如图3。

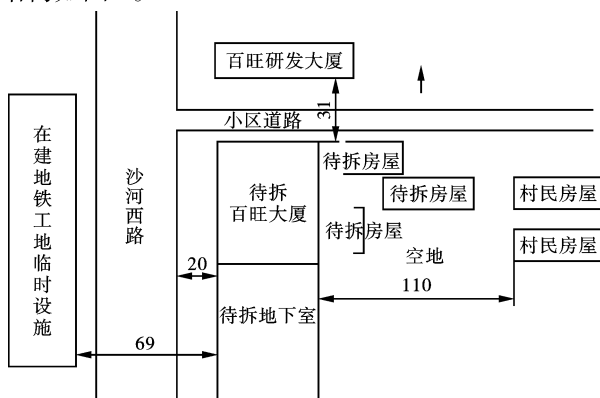


图1 待拆楼房周围环境(单位:m)

Fig. 1 Environment around building to be demolished(unit:m)

收稿日期:2021-01-12

作者简介:郭华杰(1985-),山西省交口县人,工程师、博士研究生,从事岩土与爆破工程研究,(E-mail) guohuajie.765@163.com;765990023@qq.com。

基金项目:中国铁道科学研究院集团有限公司基金(2018YJ168)



图2 待拆楼房

Fig. 2 The building to be demolished

## 2 爆破拆除方案

### 2.1 工程特点及难点

被拆建筑物裙楼和塔楼的形式为直落式,无裙边,地面上四层裙楼为一个整体,结构平面图及梁布置图如图3,主梁宽30 cm,间距8~9 m,南北向落在柱子上,次梁宽15 cm,间距4~9 m,东西向落在主梁上,裙楼之上西侧建有长49 m、宽17 m、高52.8 m的办公楼,裙楼之上东侧建有两栋长21 m、宽18 m、高65.6 m的北住宅楼和南住宅楼,由于两栋住宅楼之间有一宽7 m、长7.2 m通道将其连接成为一个整体,所以住宅楼也可以近似看做一个长49 m、宽18 m的楼房结构,裙楼之上办公楼和住宅楼之间无结构物。裙楼中柱子排布不均匀,如何合理设置柱子间的爆破延时和爆破切口高度,使靠北边的建筑物和靠南边的建筑物顺利倒塌的同时在空中相撞解体,之后再落到地面上,从而最大程度的减小塌落振动,减小对周边建筑物的影响,故延期雷管的选用和柱子间的延时间隔时间的设置及爆破切口高度的确定成为难点。又楼房倒塌方向为纵向倒塌(倒塌方向与楼房断面的短边平行),办公楼和住宅楼的重心高度和切口高度需要单独验算,两栋楼纵向倒塌时,倒塌跨度为49 m,倒塌方向宽度只有17~18 m,长宽比为2.7~2.9,爆破高度不够时重心难以移出楼房外侧,比横向倒塌要困难多,如何在不进行人工预拆除的情况下,使办公楼在倒塌过程中一分为二,并使其重心顺利移出楼体外。电梯间及楼梯间剪力墙基本分布在楼房南北两侧,纵向倾倒时分布在两侧的剪力墙中间与框架结构连为一体,先倒塌的剪力墙因与框架结构和梁的拉扯作用,可能在落地后阻挡后倒塌部分的剪力墙,影响整个楼房的倒塌<sup>[9]</sup>。

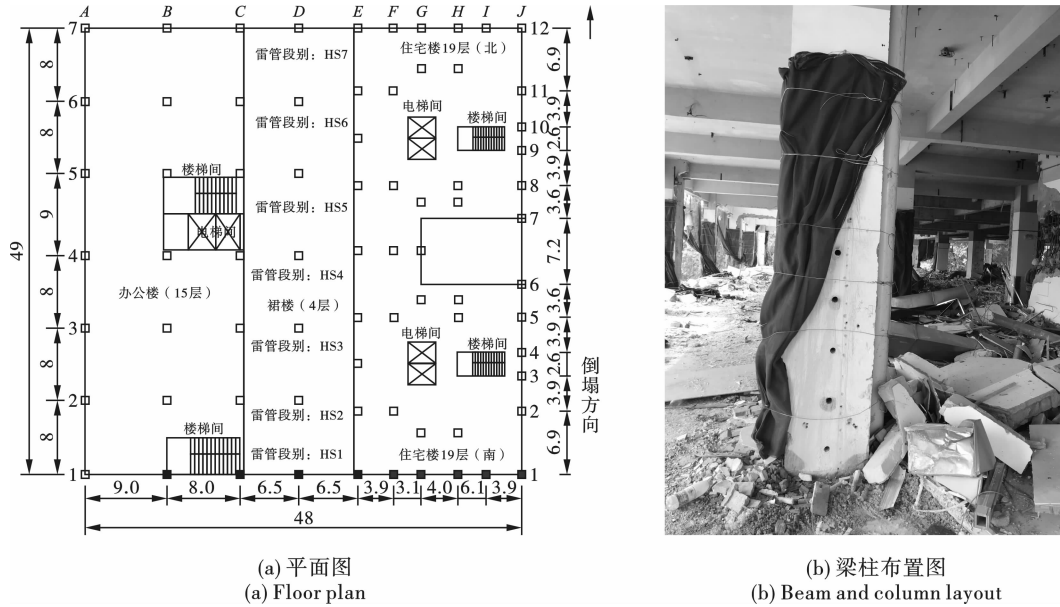


图3 待拆楼房结构平面图及梁布置图(单位:m)  
Fig. 3 Floor plan and beam layout of the building to be demolished(unit:m)

2.2 预拆除及切口布置

大厦如果选择向东定向倒塌,对北侧建筑物影响范围较大,需要对北侧建筑物进行必要的安全保护。大厦选择向南定向倒塌,其楼体结构北侧一层最后一排立柱底部仅做弱爆破处理,并且做为整栋楼向南倒塌的支撑点。北侧一排立柱仅底部1 m 范围有炮孔,并按弱爆破设计,基本不会产生飞石,有利于道路以北的建筑物安全,但爆破切口范围内预拆除量、钻爆、防护工程量等相对大些,技术难度要大,大厦选择向南方向定向倒塌是合理的。

根据大厦结构条件,楼高15、19层,结构自重较大,可采用单向平切口分段顺序倒塌的方案<sup>[10]</sup>。办公楼爆破切口:西侧第1~5排立柱全部爆破至四层,第6排立柱爆破至3层、第7排立柱一层部分弱化处理做为最后的支撑铰点(见图4)。住宅楼爆破切口:东侧第1~9排立柱全部爆破至4层,第10排立柱爆破至3层,第11排立柱爆破至2层、第12排立柱一层部分弱化处理做为最后的支撑铰点(见图5)。

为确保大厦按设计方向倒塌,爆破切口范围内一层和二层的墙体、电梯间和楼梯间剪力墙已经机械、人工预拆除<sup>[11,12]</sup>,为提高可靠性,对住宅楼三层和四层除人工预拆除墙体外,电梯间和楼梯间剪力墙进行打孔装药爆破,如图6,剪力墙厚度均为25 cm,采取四角和中间打孔的方式,北侧住宅楼剪力墙孔内全部装HS6,南侧住宅楼剪力墙孔内全部装HS3。

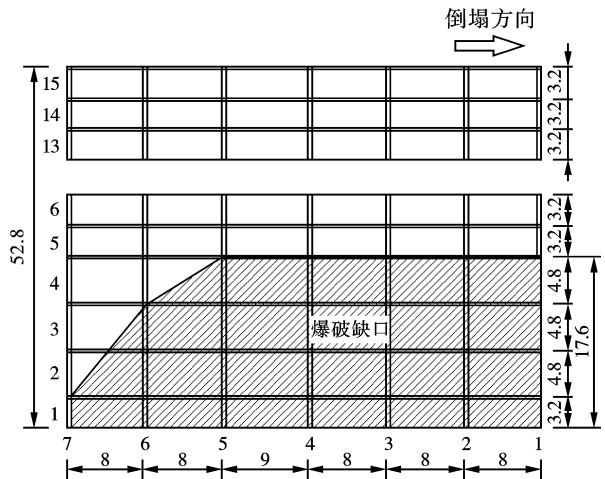


图4 剪力墙爆破部位平面示意图(单位:m)  
Fig. 4 Plane schematic diagram of shear wall blasting part(unit:m)

3 爆破参数设计

3.1 爆破切口高度

裙楼上的主体办公楼和住宅楼,重心高度分别为 $Z_c = 26.4\text{m}$ 和 $32.8\text{m}$ ,用作图法求纵向倒塌时的爆破切口高度。

南侧住宅楼和北侧住宅楼情况相同,假设二者无连接,现分析南侧住宅楼。裙楼前排柱子爆破后,将第4排和第5排柱子看做是南侧住宅楼的绞接支撑点,如图7,判断爆破后重心偏移出楼房外侧的条件是 $Y = X - L > 0$

$$X = AO' \cos\alpha, AO' = AO,$$

$$AO = \sqrt{Z_c^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}, \alpha = \frac{\pi}{2} - \phi - \beta,$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{L}{Z_c}, \beta = \tan^{-1} \left(\frac{h}{L}\right)$$

整理得

$$Y = X - L = AO' \cos \left[ \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{L}{Z_c} - \tan^{-1} \left(\frac{h}{L}\right) \right] - L \quad (1)$$

公式(1)成立的条件是  $\cos \left[ \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{L}{Z_c} - \tan^{-1} \left(\frac{h}{L}\right) \right] \leq 1$ , 即  $AO > L$ , 当不满足此条件时须对建筑物进行分割使其一分为二, 确保重心能够移出楼体外侧。

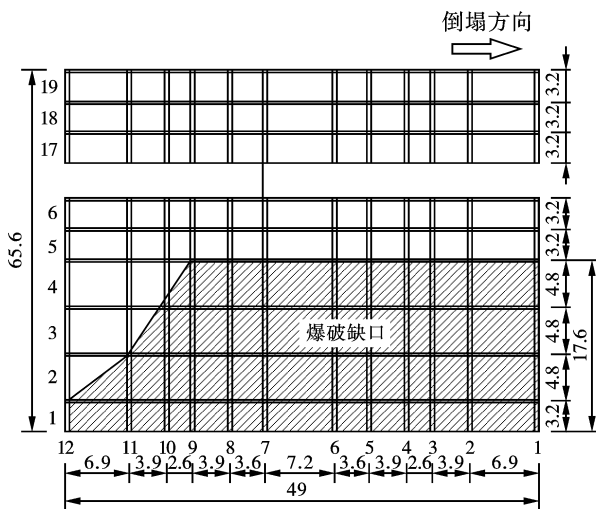


图 5 办公楼爆破切口(单位:m)

Fig. 5 Office building blasting gap (unit:m)

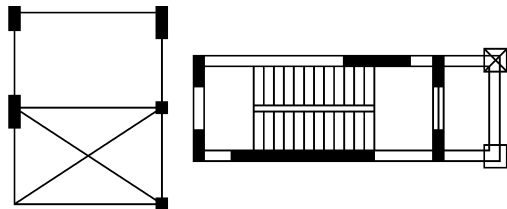


图 6 住宅楼爆破切口

Fig. 6 Residential building blasting gap

对住宅楼,  $Z_c = 32.8 \text{ m}$ ,  $L = 24.5 \text{ m}$ , 当  $Y = 0$  时, 数据代入得  $h = 10.9 \text{ m}$ 。

对办公楼,  $Z_c = 26.4 \text{ m}$ ,  $L = 49 \text{ m}$ , 不满足上述条件, 故应预拆除将其一分为二, 使重心分布类似于单个住宅楼的情况, 但预拆除工作量大。如果采用常规的爆破方式使南侧办公楼先向南倒塌, 不能确定

办公楼断裂的位置及一分为二后整体性的形成, 故为减小预拆除工作量同时保证楼体顺利倒塌, 采用南侧办公楼先整体下坐<sup>[13]</sup>, 利用楼体重量大的特点使办公楼下坐的同时从中间剪断, 随后向南倒塌, 北侧楼房向南倒塌后二者有一部分在空中相撞解体, 最终重叠倾倒在了一起。由于四层裙楼为一个整体, 为减小切口内排间及柱间爆破影响, 减小整体联网的复杂性, 住宅楼也采用此方法进行爆破。

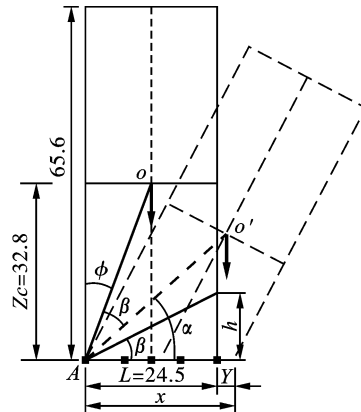


图 7 南侧住宅楼切口分析图(单位:m)

Fig. 7 Analysis of the cut of the residential building on the south side(unit:m)

当办公楼解体为两部分后,  $Z_c = 26.4 \text{ m}$ ,  $L = 24.5 \text{ m}$ , 由公式(1)得,  $h = 15.8 \text{ m}$  实践证明此方法是可行的。由于四层裙楼为一个整体, 为破坏其整体性, 提高倒塌可靠性, 故加大爆破切口高度到四层裙楼, 爆破切口采用大平切口形式, 切口高度  $H = 17.6 \text{ m}$ 。利用半秒差非电导爆管雷管延时起爆, 先起爆部分利用未起爆部分做支撑, 形成倒塌趋势, 达到爆破时楼体结构在重力作用下产生倾覆力矩失稳定向坍塌的目的, 同时求得住宅楼和办公楼的闭合角分别为  $41^\circ$  和  $52^\circ$ , 大于经验值  $25^\circ$ 。

### 3.2 立柱爆破高度

为确保钢筋混凝土结构爆破时顺利坍塌, 钢筋混凝土结构承重立柱的爆破破坏高度根据工程经验, 爆破切口立柱爆破高度不小于  $2.0 \text{ m}$ 。

### 3.3 炮孔直径及布置

选择炮孔直径  $\phi = 40 \text{ mm}$ 。炮孔布置如表 1。爆破切口内承重立柱爆破高度布置炮孔。除断面尺寸为  $90 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$  的柱子布置双排炮孔外, 其余柱子都是布置单排炮孔, 剪力墙长度  $\geq 80 \text{ cm}$  时沿横向按  $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$  的孔排距布置, 其余沿纵向按孔距  $25 \text{ cm}$  布置。立柱断面尺寸规格、炮孔深度、单耗及药量见表 1。炮孔图见图 8。

表 1 爆破参数表  
Table 1 Blastholes parameter table

楼层	柱子断面尺寸/cm	根数	孔深/cm	孔距 a/cm	排距 b/cm	孔数	单耗/(kg·m <sup>-3</sup> )	单孔药量/g	药量小计/kg
1 层	90×90	7	58	35	30	96	2.00	250	24.00
	80×80	5	58	35	0	55	1.12	250	13.75
	70×70	18	48	35	0	145	1.46	250	36.25
	60×60	36	40	35	0	232	1.59	200	46.40
	50×50	7	30	30	0	48	1.33	100	4.80
2 层	90×90	7	58	35	30	96	2.00	250	24.00
	80×80	5	58	35	0	55	1.12	250	13.75
	70×70	18	48	35	0	145	1.46	250	36.25
	60×60	36	40	35	0	232	1.59	200	46.40
	50×50	7	30	30	0	48	1.33	100	4.80
3 层	90×90	7	58	35	30	96	2.00	250	24.00
	80×80	5	58	35	0	55	1.12	250	13.75
	70×70	18	48	35	0	145	1.46	250	36.25
	60×60	36	40	35	0	232	1.59	200	46.4
	50×50	7	30	30	0	48	1.33	100	4.80
	25×25		18	25	0	12	3.20	50	0.60
	25×50		30	25	0	16	3.20	100	1.60
	25×60	剪力	35	25	0	4	2.70	100	0.40
	25×70	力	50	25	0	38	4.60	200	7.60
	25×80	墙	18	25	25	30	3.20	50	1.50
		55	25	0	5	4.00	200	1.00	
	25×1500		18	25	25	99	3.20	50	4.95
4 层	90×90	7	58	35	30	80	2.00	250	20.00
	80×80	5	58	35	0	44	1.12	250	11.00
	70×70	18	48	35	0	117	1.46	250	29.25
	60×60	36	40	35	0	208	1.59	200	41.60
	50×50	7	30	30	0	32	1.33	100	3.20
	25×25		18	25	0	23	3.20	50	1.15
	25×70	剪力	50	25	0	56	4.60	200	11.20
	25×80	墙	18	25	25	21	3.20	200	4.20
	25×1500		18	25	25	39	3.20	50	1.95
总计						2552			516.80

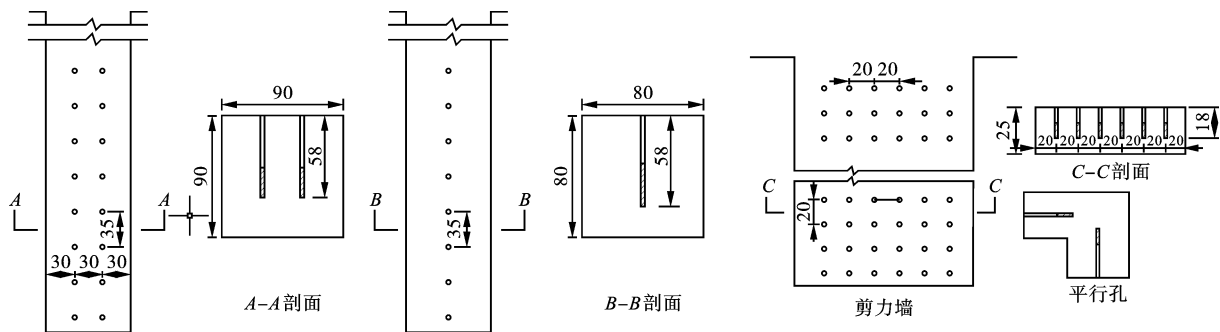


图 8 柱子及剪力墙炮孔布置图(单位:cm)

Fig. 8 Layout of pillars and shear walls(unit:cm)

药包装填到位后应用炮泥(堵塞材料)将炮孔封堵严密。堵塞时将炮泥卷装入炮孔内逐层捣实,确保堵塞密实。操作时将药包包裹在雷管聚能穴位置,确保药包爆炸。

### 4 起爆网路

为确保爆破安全,起爆网路全部采用非电起爆

网路,孔内全部采用非电半秒差导爆管雷管、孔外全部采用 1 段非电毫秒导爆管雷管,连接成复式交叉起爆网路<sup>[14]</sup>,按从南到北的要求顺序延时起爆。每簇非电导爆管雷管数量不超过 20 发。最后用两发 1 段非电导爆管雷管引爆主网络,如图 9 和表 2。

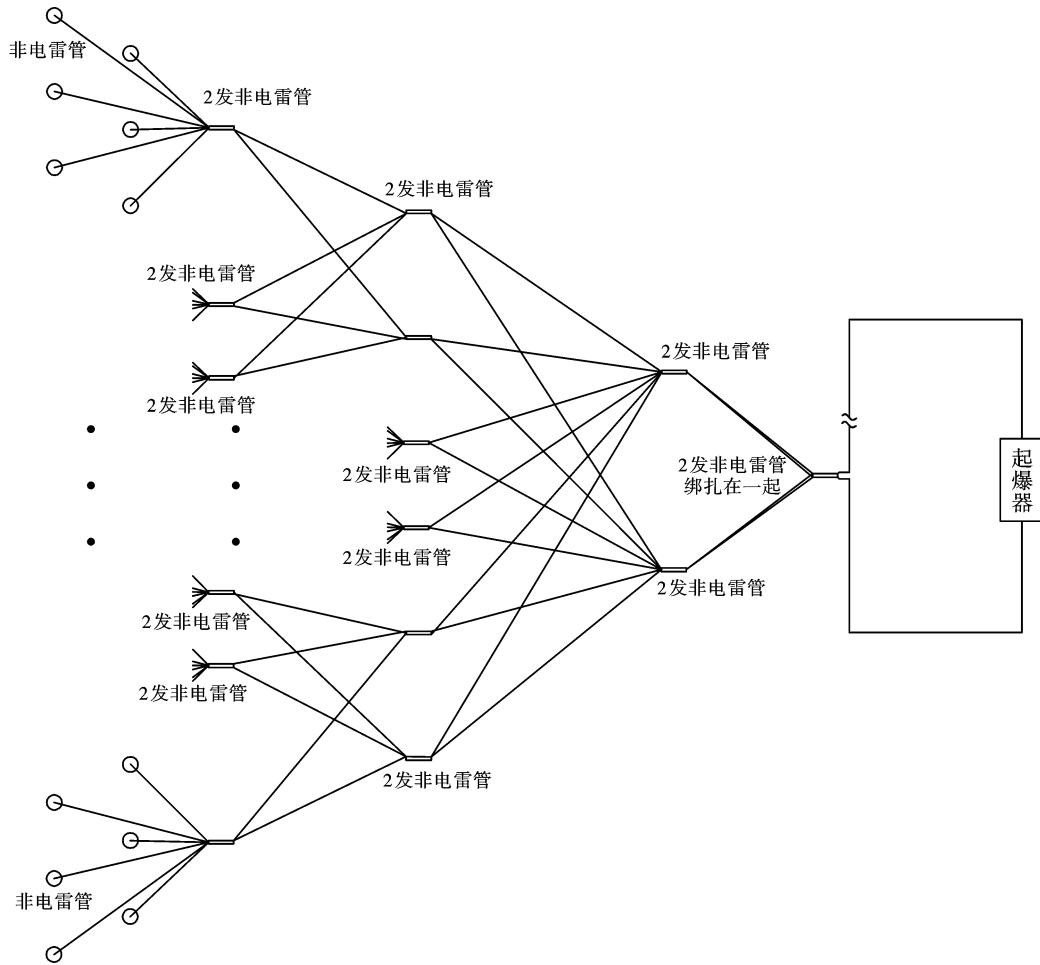


图 9 非电复式交叉起爆网路

Fig. 9 Non-electric multiple cross initiation network

表 2 雷管布置表

Table 2 Detonator layout table

柱子位置 (由南向北)/排	办公楼							住宅楼						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3、4、5、 6、剪力墙	7	8	9、10、11、 剪力墙	12
雷管段位	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6	HS7	HS1	HS2	HS3	HS4	HS5	HS6	HS7

### 5 安全防护

此次待拆建筑物北侧 31 m 为商业建筑物,10 m 为半地下商铺,西侧紧挨主干道,爆破环境复杂,安全要求高,安全防护重点是爆破飞石,粉尘和塌落振

动造成的危害。主要对立柱炮孔位置进行安全防护。根据工程经验,立柱炮孔位置采用多层密目安全网捆绑的包裹式防护;加强防护部位安全网可增加至 10~20 层。立柱防护结构示意图见图 10。对整个爆破切口用防晒网或密目网进行全部密封。同

时用楼内废旧门板绑在柱子被保护物一侧来加强防护。最后用黑色防尘网将裙楼全部遮挡,以起到防尘的目的。



图 10 立柱防护图及梁布置图  
Fig. 10 Column protection diagram

## 6 塌落振动校核

### 6.1 爆破振动

依据《爆破安全规程》(GB6722—2014),并结合工程经验,爆破振动按以下公式计算。

$$V = K' \cdot K'' \cdot K \cdot (Q^{1/3}/R)^\alpha \quad (2)$$

式中: $V$ 为爆破振动速度,cm/s; $Q$ 为同段最大药量,kg; $R$ 为保护建筑物距离,m; $K$ 、 $\alpha$ 为系数,取160、1.6; $K'$ 为高差系数,取0.4; $K''$ 为离散系数,取0.7。

设计HS-3段药量最大,最大段药量约100 kg,最大段药量中心距离保护物(房屋)按64 m计,求得: $V=0.67$  cm/s。通过计算该位置产生的爆破振动值小于《爆破安全规程》(GB6722—2014)的最小安全允许值2.5 cm/s,是安全的。

由上述计算本方案的药量控制符合安全要求。

### 6.2 塌落振动

在拆除爆破中对周围建筑物的影响主要是塌落振动,塌落振动可以根据以下经验公式进行预测<sup>[15,16]</sup>。

$$V = K_1 [(Gh/4.1 \times 10^5)^{1/3}/R]^\alpha \quad (3)$$

式中: $K_1$ 为类似工程实测数据整理分析给出式的衰减系数,取21.3; $\alpha$ 为意义与爆破振动计算公式一致; $G$ 为结构重量,kg; $h$ 为重心高度,m; $R$ 为冲击着地点距保护物的距离,m。

触地点距离最近建筑物距离在40 m以上,按40 m计。

大楼总重量估计为 $G$ (每平方米约1 t), $G \approx 22\,000 \times 1 = 22\,000$  t,最大触地振动构件质量按

3000 t计,重心落高 $h$ 取32.8 m,触地点距离保护物距离取40 m,计算得出塌落振动速度约为: $V=0.079$  cm/s。由于倒塌方向有待拆地下室基础及先倒塌楼房做缓冲垫层,可起到明显减震作用,故本次爆破未测到其塌落振动。

## 7 爆破效果分析

图11中将楼房北侧和南侧爆破变形过程进行合屏分析,500 ms时第2排柱子爆破,从图中可知在600 ms时南侧住宅楼开始变形,1000 ms时第3排柱子爆破,1200 ms时南侧住宅楼及南侧办公楼垂直向下坐,向南倾倒的趋势不明显,1500 ms时第4排柱子爆破,2000 ms时第5排柱子爆破的同时北侧住宅楼开始变形并向南倒塌,2200 ms时北侧第四层裙楼的柱子开始变形破坏,2500 ms时第6排柱子开始爆破,2600 ms时北侧住宅楼压到南侧住宅楼上并空中解体一直到5200 ms时解体完成,用时3200 ms,并迫使南侧住宅楼向南倾倒,办公室的倒塌过程和住宅楼类似。在楼房从开始爆破到完全倒地大概用时7400 ms。

在爆破初期南侧住宅楼和南侧办公楼按预期垂直向下坐,但向南倒塌的趋势不明显,北侧住宅楼和办公楼向南倒塌趋势明显,并压到南侧住宅楼和办公楼上,空中解体的同时迫使南侧楼体向南倒塌。分析应该是南侧楼房爆破切口高度不够,柱子排间延时时间长造成的,从上述爆破效果可看出北侧建筑物倒塌按预期完成且比较成功,北侧住宅楼从变形到末排柱子变形破坏的间隔时间是200 ms。南侧住宅楼在第2排柱子爆破后600 ms开始变形,但在800 ms时未向南倾倒,而是在1200 ms时向下坐,原因是南侧住宅楼第3、4、5、6排第4层柱子与顶梁及裙楼相接为整体,第1、2排和第3、4、5、6排柱子间延时间隔大,在住宅楼变形200 ms后未及时切断其连接,导致其在800 ms时未及时倾倒,由于重心还未移出楼房外侧时第三排柱子已爆破,造成南侧住宅楼下坐,故据北侧住宅楼倒塌过程分析第1、2排和第3、4、5、6排柱子间延时间隔应设为200~300 ms。

由于2000 ms时北侧楼房开始变形,并在2200 ms时从裙楼北侧第4层柱子开始破坏,故需在以后的爆破中增加对最末一排切口最高处对应的柱子的弱化,必要时打孔爆破,

南侧住宅楼和办公楼下座后未按预期倾倒也与爆破切口高度有关。式(1)中未考虑楼房在柱子爆破后重心上移的情况及实际爆破后铰接支撑点上升

到实际切口最高处对应的最后一排柱子,而非一楼。假设建筑物在裙楼柱子爆破后立即变成上部剩余部分的重心,即住宅楼在裙楼柱子爆破后重心由

32.8 m 升高到 41.6 m,办公楼在裙楼柱子爆破后重心由 26.4 m 升高到 35.2 m,同时铰接支撑点也上升到四楼所对应的第 3、4、5、6 排柱子上。



图 11 爆破过程图

Fig. 11 Blasting process diagram

如图 12,裙楼爆破后重心上移到  $O_1$ ,铰接支撑点变为  $A'$ ,重心相对高度变为 24 m,代入式 1 中得  $h' = 19.5$  m,即需将前排爆破切口高度做到 37.1 m,新切口 闭合角为  $61^\circ$ ,为减小预拆除及打孔工作量,可在保证闭合角的前提下,采用平切口的方式,以确保南侧住宅楼的倒塌。对办公楼也采用此方法,且切口高度一致,以减小相互之间的影响,同时使南侧建筑物在下坐的同时向南倒塌。由于办公楼分为两部分后不满足式(1)的要求,所以在布置新切口时要加强对办公楼的预拆除。新爆破切口见图 13、图 14。

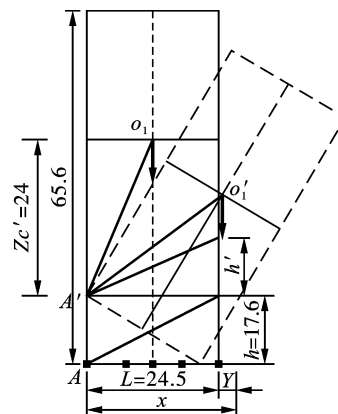


图 12 重心上移切口分析图(单位:m)

Fig. 12 Gravity incision analysis chart(unit:m)

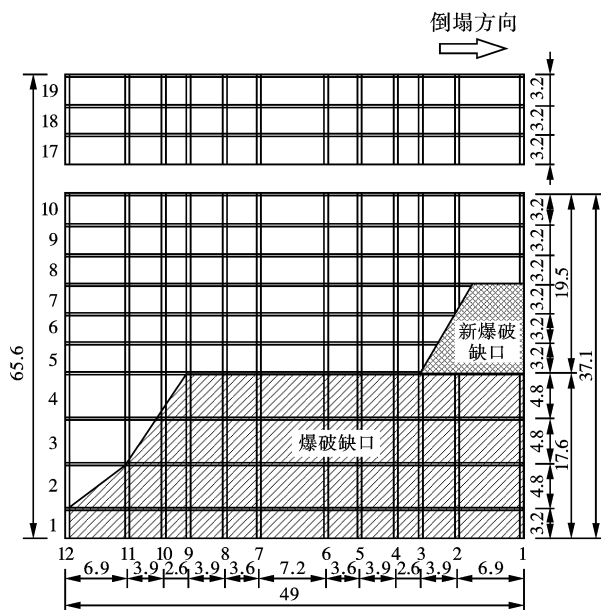


图 13 南侧住宅楼新爆破切口(单位:m)

Fig. 13 New blasting cut in residential building on the south side(unit:m)



图 14 爆堆效果图

Fig. 14 Renderings of blast heap

## 8 结论

(1) 在拆除爆破中应对倒塌的相反方向切口最高处对应的末排柱子进行弱化处理或布置一定数量的炮孔进行爆破,提高倒塌的可靠性。

(2) 当下部是裙楼的建筑物要求纵向倒塌时,其长宽比大于2,同时楼体重心不易移出楼体外侧时,为减少预拆除工程量,可采用毫秒延时间隔技术,爆破下部裙楼使一半楼体先向下坐,利用楼体自身重量大的特点使其从中间剪断,然后向既定方向倒塌,楼体被分解成两部分并在倒塌过程中在空中相撞解体,实践证明此方案是可行的。同时要必要考虑下部裙楼爆破后楼体重心上移,且铰接支撑点

上移到切口最高处对应的末排柱子上,需重新计算重心上移后切口高度,可采用平切口形式并与原有的切口叠加。孔内采用半秒延时导爆管雷管时,末排柱子与邻排柱子的合理延时间隔时间为200~300 ms左右。

(3) 建筑物倾倒时从北侧地下停车场入口处飞出的小块破碎体对北侧建筑物1~3层的外装饰玻璃破坏较大,原因是在建筑物倾倒的过程中由于体积急剧压缩,地下室空气来不及从两侧散逸,后从地下室北侧停车场入口处随小块破碎体一并喷出,造成对相邻建筑物的破坏。故在爆破拆除时需对地下室进行填充,或在倒塌方向对地下室进行开口,同时用沙袋封堵被保护侧的地下室入口,从而保证建筑物倒塌时空气从倒塌方向散出,从而提高被保护建筑物的安全性。

(4) 复杂环境下大型爆破拆除中预拆除可提高建筑物重心位置,不仅能确保建筑物按设计倒塌,还能减少爆破总量,降低火工品使用量。

(5) 密目安全网能有效阻挡飞石,同时在保护侧用待拆建筑物内门板进行加强防护进一步提高了安全防护效果。但黑色防尘网效果不明显,爆后粉尘较多,须加强爆后降尘。

## 参考文献 (References)

- [1] 孙金山,蒙云琪,倪明亮,等. 紧邻地下结构拆除爆破工程的缓冲减振措施[J]. 工程爆破,2020,26(5):52-56.
- [1] SUN Jin-shan, MENG Yun-qi, NI Ming-liang, et al. Vibration reduction measures of demolition blasting project adjacent to adjacent to underground structures[J]. Engineering Blasting, 2020, 26(5): 52-56. (in Chinese)
- [2] 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.
- [2] ZHONG Yuan-qing, XU 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)
- [3] 武哲,黄寅生,张耀良,等. 90m高楼房折叠控制爆破[J]. 爆破,2019,36(2):78-84.
- [3] 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)
- [4] 姚宜春,姚尧,张伟,等. 高层框-剪结构建筑的定向爆破拆除[J]. 爆破器材,2019,48(3):49-54.
- [4] YAO Xian-chun, YAO Yao, ZHANG Wei, et al. Directional blasting demolition of a high rise building with a frame-shear structure[J]. Blasting Equipment, 2019, 48(3): 49-54. (in Chinese)

- [5] 王小波,李长山,谢国森,等. 十层框架结构楼房的单向折叠爆破拆除[J]. 爆破,2006(4):42-45.
- [5] WANG Xiao-bo, LI Chang-shan, XIE Guo-sen, et al. Uni-directional fold blasting demolition of a ten-story frame construction building[J]. Blasting, 2006(4):42-45. (in Chinese)
- [6] 许建刚,李翠林,王中全,等. 两栋紧邻的不同结构高楼同时爆破拆除[J]. 爆破,2020,37(3):109-114.
- [6] XU Jian-gang, LI Cui-lin, WANG Zhong-quan, et al. Simultaneous blasting demolition of two adjacent tall buildings with different structures[J]. Blasting, 2020, 37(3):109-114. (in Chinese)
- [7] 王洪刚,姚颖康,王 威,等. 复杂环境下楼房纵向逐跨坍塌爆破技术应用[J]. 爆破,2020,37(2):80-84.
- [7] WANG Hong-gang, YAO Ying-kang, WANG Wei, et al. Application of vertical span by span collapse explosive demolition technique in complex environment[J]. Blasting, 2020, 37(2):80-84. (in Chinese)
- [8] 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.
- [8] 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)
- [9] 齐世福,刘好全,李宾利,等. 框剪结构高楼纵向倾倒塌除爆破研究[J]. 爆破器材,2014,43(3):41-47.
- [9] QI Shi-fu, LIU Hao-quan, LI Bing-li, et. Research on longitudinal demolition blasting of frame-shear structure tall buildings [J]. Blasting Equipment, 2014, 43(3):41-47. (in Chinese)
- [10] 张 超,张 明,刘 军,等. 影响框剪结构拆除爆破效果的因素分析[J]. 工程爆破,2018,24(1):32-42.
- [10] ZHANG C, ZHANG M, LIU J, et al. Analysis on key factors associated with the effect of blasting demolition for frame-shear structures[J]. Engineering Blasting, 2018, 24(1):32-42. (in Chinese)
- [11] 李宪平,单宝来,汤月华,等. 11层框剪结构大厦控制爆破拆除[J]. 工程爆破,2002,8(4):36-42.
- [11] LI Xian-ping, SHAN Bao-lai, TANG Yue-hua, et al. Demolition of an 11-storeyed building with frame-shear wall structure by controlled blasting[J]. Engineering Blasting, 2002, 8(4):36-42. (in Chinese)
- [12] 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.
- [12] 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)
- [13] 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.
- [13] QI Shi-fu, XIA Yu-shuai, XIE Xing-bo, et al. The controlled blasting technique for demolishing a high building in complicated surrounding [J]. Engineering Blasting, 2015, 21(1):20-24. (in Chinese)
- [14] 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):1-4.
- [14] ZHOU Jia-han. Discussion on calculation formula of collapsing vibration velocity caused by blasting demolition [J]. Engineering Blasting, 2009, 15(1):1-4. (in Chinese)
- [15] 朱朝祥,崔允武,曲广建,等. 剪力墙结构高层楼房爆破拆除技术[J]. 工程爆破,2010,16(4):55-57.
- [15] ZHU Chao-pan, CUI Yun-wu, QU Guang-jian, et al. Blasting demolition technique of high building with shear wall structure[J]. Engineering Blasting, 2010, 16(4):55-57. (in Chinese)
- [16] WANG Yu-shi, LI Xiao-jun. Analysis of strong ground motion caused by blasting demolition of a 22-story building[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 226-228:1010-1014.

英文编辑:柯 波

## 科技论文写作小知识——影响因子

影响因子(Impact Factor, IF)是汤森路透(Thomson Reuters)出品的期刊引证报告(Journal Citation Reports, JCR)中的一项数据。即某期刊前两年发表的论文在该报告年份(JCR year)中被引用总次数除以该期刊在这两年内发表的论文总数。这是一个国际上通行的期刊评价指标。

影响因子现已成为国际上通用的期刊评价指标,它不仅是一种测度期刊有用性和显示度的指标,而且也是测度期刊的学术水平,乃至论文质量的重要指标。影响因子是一个相对统计量。

影响因子在发展的过程中形成了两个指标:复合影响因子和综合影响因子。

复合影响因子是以期刊综合统计源文献、博硕士学位论文统计源文献、会议论文统计源文献为复合统计源文献计算。

综合影响因子主要是指文、理科综合,是以科技类期刊及人文社会科学类期刊综合统计源文献计算。

这两者都是按被评价期刊前两年发表的可被引文献在统计年的被引用总次数与该期刊在前两年内发表的可被引文献总量之比。