

# 复杂环境电梯试验塔定向控制爆破拆除技术

韩文红<sup>1</sup>, 顾云<sup>1</sup>, 刘迪<sup>1</sup>, 孙飞<sup>1</sup>, 李飞<sup>1</sup>, 陈顺禄<sup>2</sup>

(1.核工业南京建设集团有限公司,江苏南京211102;2.南京君缘科爆工程技术有限公司,江苏南京210007)

**摘要:**介绍了采用控制爆破技术拆除复杂环境下的钢筋混凝土电梯试验塔的设计及施工过程,对爆破效果进行了分析总结。针对剪力墙结构电梯井特点,对非承重结构剪力墙、柱梁以及部分承重剪力墙进行预拆除,确定合理的爆破高度、切口形式和倾角;采用合理半秒延期时间增加了结构物作用时间,保证了电梯试验塔按照设计失稳定向倾倒。对安全防护设计进行校核,爆破后未对周围环境和设施造成影响,达到了预期的爆破拆除效果。

**关键词:**电梯试验塔;控制爆破拆除;爆破参数;预处理;定向倾倒;复杂环境

**中图分类号:**TU746.5 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)11-0122-07

## Demolition of an elevator test tower by directional blasting in complex environment

HAN Wenhong<sup>1</sup>, GU Yun<sup>1</sup>, LIU Di<sup>1</sup>, SUN Fei<sup>1</sup>, LI Fei<sup>1</sup>, CHEN Shunlu<sup>2</sup>

(1.Nuclear Industry Nanjing Construction Group Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 211102, China;

2.Nanjing JYKB Engineering & Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210007, China)

**Abstract:** This article introduces the design and construction process of demolishing the reinforced concrete elevator test tower with directional controlled blasting technology in complex environment, analyzes and summarizes the blasting results. In view of the characteristics of the shear wall structure of the elevator shaft, pre-demolition of the non-load-bearing shear wall, the column beam and part of the load-bearing shear wall was carried out to determine the proper blasting height, the cut form and the tilting angle; a proper half-second delay time was adopted to increase the structure material action time to ensure that the elevator test tower lose stability and collapsed as designed. The safety protection design was checked, and the surrounding environment and facilities were not affected after blasting, and the expected blasting demolition effect was achieved.

**Key words:** elevator test tower; controlled demolition; blasting parameters; pretreatment; directional collapsing; complex environment

## 0 引言

随着国家城市规划、建设和改造进入快速发展的时期,拆除爆破因具备安全、高效、经济等优点,被广泛用于钢筋混凝土建(构)筑物拆除施工。但受到拆除项目周边环境不理想、结构设计复杂以及拆除爆破危害效应等因素的影响,在施工过程中某一环节稍有缺陷就会造成炸而不倒、未爆失稳等问题,方案设计缺乏系统性、准确性、科学性,为复杂

环境精细拆除爆破埋下安全隐患。本文基于工程实践对爆破方案进行科学论证,从设计参数计算、安全校核、安全防护等多个方面对复杂环境下电梯试验塔的定向拆除爆破进行研究,为类似工程爆破拆除提供参考。

## 1 工程概况

江苏通用电梯有限公司位于扬州广陵经济开

收稿日期:2021-02-04;修回日期:2021-05-10 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.11.018

作者简介:韩文红,女,汉族,1972年生,高级工程师,主要从事爆破设计和施工方面的研究工作,江苏省南京市江宁区殷富街458号, h\_wenhong126.com。

引用格式:韩文红,顾云,刘迪,等.复杂环境电梯试验塔定向控制爆破拆除技术[J].钻探工程,2021,48(11):122-128.

HAN Wenhong, GU Yun, LIU Di, et al. Demolition of an elevator test tower by directional blasting in complex environment[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):122-128.

发区海沃路22号,场地内建有一座电梯试验塔。目前公司已停产,根据当地政府要求,电梯试验塔予以整体拆除。试验塔主体高度99.9 m,另顶部构架物高约20 m(已人工拆除),为确保拆除施工安全,经论证后拟采取定向控制爆破技术拆除<sup>[1-3]</sup>。

1.1 周边环境

待拆除电梯试验塔东侧距离安达康泰科技材料

有限公司最近73 m,距离南刘路170 m,距离江苏恒春有限公司134 m;南侧距离海沃路70 m,距离10 kV龙庄线82 m,距离扬州供水有限公司106 m;西侧距离10 kV袁巷119线162 m,距离通信铁塔166 m;北侧距离扬州大力电力厂房、奥林运动器材公司91 m,距离扬州市华建设检测中心152 m,距离银焰路210 m。以上重点保护目标如图1所示。

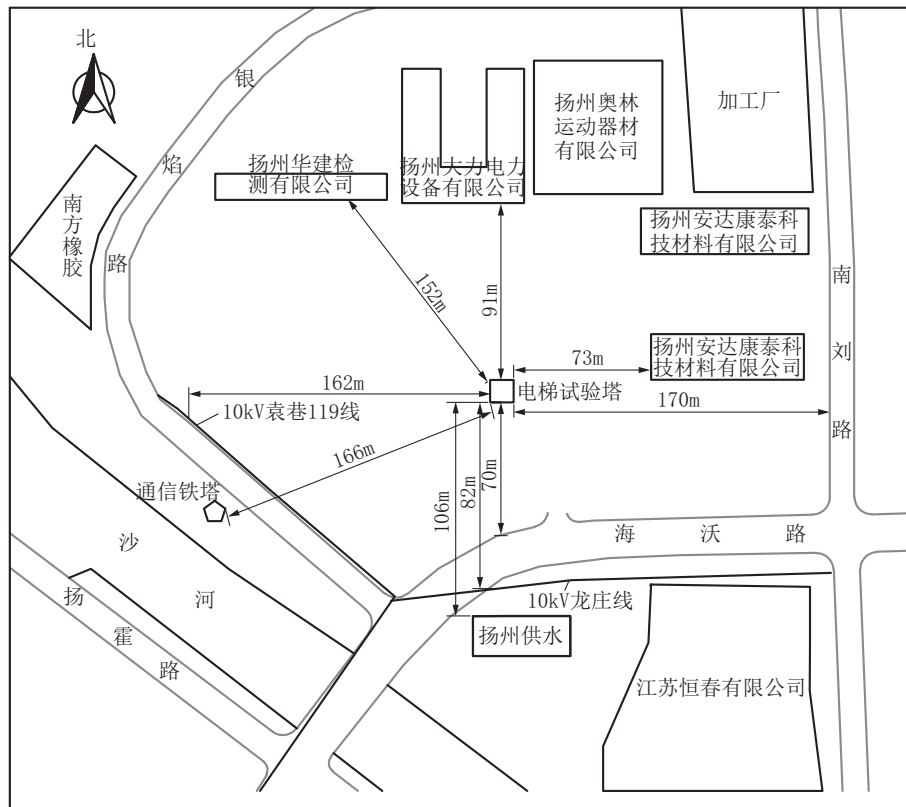


图1 爆破环境

Fig.1 Blasting surroundings

1.2 结构特点

待拆电梯试验塔主体高度99.9 m,截面总体尺寸为10.2 m×10.2 m,四面非对称矩形剪力墙结构,地上有27层。第27层上部为屋面及塔顶塔架,混凝土强度等级C30,建筑面积3282.48 m<sup>2</sup>,占地面积

106.3 m<sup>2</sup>,电梯试验塔质量约3500 t。剪力墙配筋参数见表1。

2 技术难点

(1)该电梯试验塔属于非对称截面矩形、剪力墙

表1 剪力墙墙身配筋情况

Table 1 Rebar arrangement of the shear wall

编号	标高/m	墙厚/mm	水平分布筋/mm	垂直分布筋/mm	拉筋/mm	备注
1	基础顶面~21.25	300	Ø10@150	Ø10@150	Ø6@450	双排钢筋
2	21.25~85.85	250	Ø10@200	Ø10@200	Ø6@600	双排钢筋
	85.85~102.55	250	Ø12@150	Ø12@150	Ø6@600	双排钢筋

结构的高耸建筑物,结构长径比大,内部结构复杂,预先拆除作业难度高。

(2)电梯试验塔主体高度99.9 m,需合理开设爆破切口;同时要充分考虑倒塌结构对地面的冲击力引起振动会对周边厂区、高压线路等保护目标造成影响。

(3)待拆电梯塔周边邻近厂房密集、距离近,环境较复杂,爆破飞散物控制难度大,稍有疏忽,容易酿成事故。

(4)机械预拆除作业及待爆墙体防护作业均涉及高空作业,同时电梯井内部作业空间受限,作业难度大、危险系数高,高空作业的安全保障措施复杂、繁琐。

### 3 爆破方案

#### 3.1 方案论证

待拆除的结构可选用的方案有原地坍塌和定向倾倒2种方法。受到结构高度限制,原地坍塌产生的爆堆较高,机械破碎清运时,极有可能产生二次坍塌,从而危及到施工人员安全。因此原地坍塌方法风险极大,对拆除结构不适用。

考虑到结构的西侧方向位置空旷且属于厂区,延展长度满足定向倾倒要求,倒塌方向两侧近区无其他建筑物,确保倒塌造成的振动、飞散物不会对周边环境造成影响。

#### 3.2 预处理措施

为减小一次齐爆药量,降低爆破规模,提高爆破安全性,使电梯试验塔沿设计方向顺利倾倒和形成良好的破碎效果,在保证结构安全的前提下,进行以下预处理:

(1)办公楼搭接处预处理。爆破前应将电梯试验塔南部依附的5层办公楼使用机械拆除并清运干净,确保电梯塔爆后倒塌过程中不造成不利影响。

(2)剪力墙预处理。爆破前,在电梯试验塔结构可靠性验算的基础上,使用机械将第1层、第2层部分墙体破除清运出试验塔。第1、第2层电梯试验塔预处理如图2、图3所示,预留剪力墙用钻爆法拆除,保留结构区域不作处理。

(3)电梯间预处理。爆破前将第1、第2层电梯间机电安装设备及金属结构全部清除,可有效改善爆破效果。

(4)楼梯预处理。由于电梯试验塔倒塌方向为

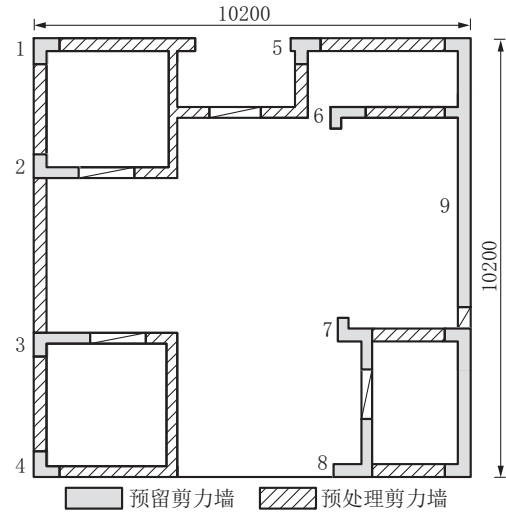


图2 第1层预处理

Fig.2 Pretreatment of the first floor

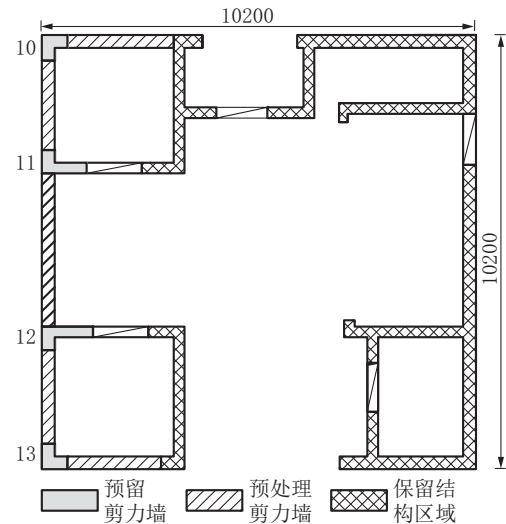


图3 第2层预处理

Fig.3 Pretreatment of the second floor

正西侧,楼梯间位于试验塔内部东侧,为避免爆破后因楼梯间自身刚度强而阻碍电梯试验塔顺利倒塌,爆破前需使用机械将第1层的楼梯全部破除并清运出试验塔。

(5)其他预处理。将电梯试验塔北侧圆弧形结构使用机械破除清运。

#### 3.3 爆破切口设计

##### 3.3.1 爆破切口

切口采用三角形,电梯试验塔向正西方向倒塌。爆破切口角度为 $40.46^\circ$ ,爆破切口高度为8.7 m(见图4)。

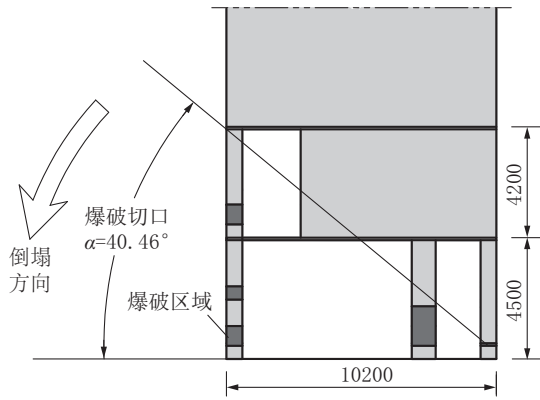


图4 爆破切口

Fig.4 Blasting cut

### 3.3.2 重心偏移距离校核

根据电梯试验塔的结构特征,爆破切口内的预留剪力墙失稳闭合后,电梯试验塔的重心必须偏移至上部结构外侧才能保证其倾倒可靠性。爆破切口的闭合角为:

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left( \frac{H_p}{B} \right) \quad (1)$$

式中: $\beta$ ——闭合角, ( $^\circ$ );  $H_p$ ——爆破切口的闭合高度, m;  $B$ ——电梯试验塔倒向长度, m。

第1、第2层需要进行爆破,取  $H_p=28$  m,  $B=10.2$  m,代入式(1)得闭合角  $\beta=40.46^\circ$ 。切口闭合后,重心偏移出上部结构外侧的距离为:

$$L = X - B \\ = [Z_c^2 + (B/2)^2]^{1/2} \cdot \cos(\text{tg}^{-1} \frac{Z_c}{B/2} - \beta) - B \quad (2)$$

式中: $L$ ——重心偏移距离, m;  $Z_c$ ——电梯井重心,取 50 m。

将电梯塔结构参数代入式(2)得: $L=26.12$  m。

通过计算可以看出,加上电梯试验塔倒塌产生的转动惯性,其重心确保能够移至塔体外侧。

### 3.3.3 支撑区失稳校核

电梯试验塔爆破切口形成后,下部支撑区混凝土具有的抗压强度,能承担上部结构的载荷,不能发生瞬时正截面压碎破坏,根据结构力学计算出支撑区域钢筋混凝土强度满足抗压要求<sup>[4-5]</sup>:

$$\begin{cases} \sigma \leq [\sigma] \\ \sigma = F/A \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\sigma$ ——支撑区混凝土实际抗压强度, Pa;  $[\sigma]$ ——支撑区混凝土极限抗压强度, Pa;  $F$ ——上部结构自重, N;  $A$ ——支撑区截面面积,  $\text{m}^2$ 。

电梯试验塔质量为 3500 t,第1层电梯塔预留截面面积为  $6.12 \text{ m}^2$ 。计算出支撑面积抗压强度为 5.6 MPa,小于 C30 混凝土极限抗压强度。由计算可知切口形成后预留部分能够支撑起电梯塔上部构件的重力,确保不会提前失稳。

## 3.4 爆破参数设计

### 3.4.1 炮孔参数设计

最小抵抗线  $W=B/2=150$  mm ( $B$ 为墙体厚度,预留剪力墙厚度均为 300 mm);由于墙体较薄,采用直列布孔形式,选取炮孔间距  $a=300$  mm;炮孔深度  $L=B'/2+\delta/2$  ( $\delta$ 为药包长度,  $B'$ 为立柱边长);原则要保持装药中心基本上在立柱的中心位置;为确保剪力墙爆破后,爆破位置的混凝土完全破碎并脱离钢筋笼,炸药单耗  $q=1.85\sim 2.14 \text{ kg/m}^3$ ;炮孔直径  $d=38$  mm。在图2与图3中对墙体进行了编号,总药量合计为 17.80 kg,各区域的爆破参数见表2。

### 3.4.2 起爆网络

根据预处理及装药设计情况,1~4号墙体选用 HS2 段半秒延期导爆管雷管,5~13号墙体选用 HS3 段半秒延期导爆管雷管<sup>[6]</sup>,网路连接采用“一把抓”,15~20发一束,接力雷管选用 MS3 段毫秒延期导爆管雷管连接。

## 4 安全防护

### 4.1 振动校核与控制措施

#### 4.1.1 爆破振动校核

对于本次爆破拆除,按照国标确定的标准,取安全振动速度(质点垂直振速)  $V_c=2.5 \text{ cm/s}$ 。爆破地震波振动速度可根据《爆破安全规程》(GB 6722—2014)给出的质点垂直振速公式进行计算,考虑到此次爆破为内部装药多点分布的控制爆破,计算公式<sup>[7-9]</sup>为:

$$Q_{\max} = \left( \frac{V_c}{K \times K'} \right)^{3/\alpha} \times R^3 \quad (4)$$

式中: $Q_{\max}$ ——最大一段(次)起爆的炸药量, kg;  $V_c$ ——被保护目标的安全振动速度,  $\text{cm/s}$ ;  $K'$ ——毫秒延时控制爆破修正系数,取 0.5~0.8;  $R$ ——爆点中心至被保护目标的距离, m;  $K, \alpha$ ——与爆破地形、地质条件等有关的系数和地震波衰减指数,可根据经验确定。

电梯试验塔距离最近的保护目标约 73 m,最大允许一次齐爆药量为 381.11 kg,而本次爆破共需炸

表2 爆破参数

Table 2 Blasting parameters

墙 体 编 号	爆 破 高 度/ m	最 小 抵 抗 线/ mm	孔 距/ mm	孔 深/ mm	孔 数	单 孔 装 药 量/ kg	装 药 量/ kg	雷 管 数 量/ 发	炸 药 单 耗/ (kg· m <sup>-3</sup> )
1	2.4	150	300	800	8	0.15	1.20	24	2.14
				450	8	0.10	0.80	16	
2	2.4	150	300	800	8	0.15	1.20	24	2.14
				400	8	0.10	0.80	16	
3	2.4	150	300	800	8	0.15	1.20	24	1.92
				430	8	0.10	0.80	16	
4	2.4	150	300	800	8	0.15	1.20	24	2.14
				450	8	0.10	0.80	16	
5	1.5	150	300	750	6	0.15	0.90	18	1.85
				300	6	0.05	0.30	6	
6	1.5	150	300	500	6	0.10	0.60	12	1.96
				300	6	0.05	0.30	6	
7	1.5	150	300	800	6	0.15	0.90	18	1.92
				500	6	0.10	0.60	12	
8	1.5	150	300	800	6	0.15	0.90	18	2.08
				750	6	0.15	0.90	18	
9	0.6	150	300	300	8	0.05	0.40	8	1.85
10	1.2	150	300	800	4	0.15	0.60	12	2.14
				450	4	0.10	0.40	8	
11	1.2	150	300	800	4	0.15	0.60	12	2.14
				400	4	0.10	0.40	8	
12	1.2	150	300	800	4	0.15	0.60	12	1.92
				430	4	0.10	0.40	8	
13	1.2	150	300	800	4	0.15	0.60	12	2.14
				450	4	0.10	0.40	8	

药 17.80 kg, 其中 HS2 段起爆药量 8.00 kg, HS3 段起爆药量 9.80 kg (最大段齐爆药量), 远小于允许齐爆药量。

#### 4.1.2 塌落振动校核

根据量纲分析方法, 集中质量 (冲击或塌落) 作用于地面造成的塌落振动速度可用下式<sup>[10-11]</sup>确定:

$$v_t = 0.08 \left( \frac{\sqrt[3]{I}}{R} \right)^{1.67} \quad (5)$$

$$I = M(2gH)^{1/2} \quad (6)$$

式中:  $v_t$ ——塌落振动速度, cm/s;  $R$ ——观测点至撞击中心的距离, m;  $I$ ——塌落触地冲量, N·s;  $M$ ——下落构件的质量, t;  $H$ ——构件重心高度, m。

其中  $M=3500$  t,  $H=50$  m, 分析以上数据得出, 满足爆破规程塌落振动速度  $<2.5$  cm/s 的要求。

#### 4.1.3 振动控制措施

(1) 根据爆源中心至保护物的最小距离, 精确计算一次所允许起爆的最大单段装药量, 严格将爆破振动控制在安全振动速度以下;

(2) 设计中降低了电梯塔爆破切口位置;

(3) 在电梯试验塔倒塌落地中心线设置减振堤, 3 道减振堤分别设置在 50、70、90 m 处, 尺寸为长  $\times$  上口宽  $\times$  高 = 20 m  $\times$  1.5 m  $\times$  2 m;

(4) 在倒塌端部 100 m 处开挖一条尺寸为长  $\times$  上口宽  $\times$  深 = 20 m  $\times$  20 m  $\times$  2 m 的减振沟, 以便减轻电梯塔端部落地撞击振动和飞石的打击危害;

(5) 在倒塌中心线两侧分别开挖一条宽度 1 m、深度 2 m、长度 50 m 的减振沟, 以阻断和降低振动源向外辐射的能量;

(6) 爆破的安全半径以及人员观察点、起爆站和警戒人员所处的位置, 倒塌方向爆破安全距离取 200 m。

#### 4.2 飞石安全距离校核与防护措施

##### 4.2.1 飞石距离

待拆电梯试验塔周边有管道、建筑物、公路, 需防止爆破飞石造成破坏。爆破飞石距离可由经验公式<sup>[12-13]</sup>计算:

$$R = K_T KD \quad (7)$$

式中:  $K_T$ ——与爆破方式、填塞长度、地质和地形条件有关的系数, 结构物爆破一般取  $K_T=1.2\sim 1.5$ , 钢筋混凝土取大值;  $K$ ——炸药单耗, 取  $2.14$  kg/m<sup>3</sup>;  $D$ ——炮孔直径, 本次爆破  $D=38$  mm;  $R$ ——爆破飞石飞散距离, m。

计算得飞石最大飞散距离为 122 m。

##### 4.2.2 飞石的防护措施<sup>[14-19]</sup>

(1) 布孔前详细测试墙体尺寸, 确保实际最小抵抗线  $<$  设计值; 使最小抵抗线方向避开重点保护目标, 指向开阔区。

(2) 加强填塞质量, 严格控制单耗药量。

(3) 爆破时在墙体爆破部位用 2 层竹笆和 2 层密目网进行防护, 然后用铁丝网绑扎 3 层。

(4) 爆破时将警戒范围内的人员、机械全部清空, 确保爆破警戒范围内人员全部撤离;

(5) 爆破前倒塌范围内碎石块清理干净, 控制二次飞溅。



实际效果表明,本次爆破飞石防护措施非常到位,周边30 m内未见飞石造成危害效应。

## 5 爆破效果

如图5所示,起爆后,电梯试验塔按设计向正西方向倾倒,塌落状态精确平稳。因防冲堤、减振沟作用,振动影响微弱。落地混凝土不规则堆积,高度约7 m。因爆破参数设计合理,安全防护措施到位,没有碎块飞出,未对公路、厂房等造成影响,爆破达到预期施工效果。



图5 爆破效果

Fig.5 Blasting effect

## 6 结语

(1)认真研究和分析电梯试验塔的结构特点,对剪力墙、电梯间、楼梯进行机械预处理,精细设计方案,合理选择爆破参数,确保了倒塌方向的精准性。

(2)对于高耸电梯塔结构体,根据保留体截面支撑能力来设计切口尺寸,同时对重心偏移、支撑可靠性安全核算,在倒塌过程中保证结构重心偏移至结构体外侧,避免发生后坐或未爆坍塌。

(3)在定向倒塌方向场地布置沙包减振堤和减振沟,可有效减小落地振动;用双层的密目网、竹笆防护覆盖爆破孔眼,可有效减少爆破飞石打击周边厂房。

(4)针对结构复杂的高耸建(构)筑物在受限空

间范围内拆除施工困难的问题,综合采用爆破拆除主体结构、机械破碎倒塌结构是一种有效的解决途径。

## 参考文献(References):

- [1] 谢先启. 拆除爆破技术的发展与展望[J]. 爆破, 2019, 36(2): 1-12.  
XIE Xianqi. Development situation and trend of demolition blasting technology[J]. Blasting, 2019, 36(2): 1-12.
- [2] 中国建筑科学研究院. 建筑拆除管理政策研究[R]. 北京: 中国建筑科学研究院, 2014.  
China Academy of Architectural Sciences. Researches on building demolition management policy[R]. Beijing: China Academy of Architectural Sciences, 2014.
- [3] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 326.  
YU Yalun. Theory and Technology of Engineering Blasting [M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2004: 326.
- [4] 夏方顺, 高文蛟, 雷振, 等. 复杂环境下高耸构筑物定向拆除研究[J]. 华北科技学院学报, 2019, 16(6): 41-47, 52.  
XIA Fangshun, GAO Wenjiao, LEI Zhen, et al. Research on directional demolition of towering structures in complex environment[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2019, 16(6): 41-47, 52.
- [5] 田水龙. 框架结构建筑物爆破后坐的动力学分析与数值模拟[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2018.  
TIAN Shuilong. Dynamic analysis of frame structure building blasting took and numerical simulation[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2018.
- [6] 范龙泉, 李小帅, 李杜一, 等. 毫秒微差爆破在高层楼房拆除中的应用与研究[J]. 爆破器材, 2018, 47(5): 54-58, 64.  
FAN Longquan, LI Xiaoshuai, LI Duyi, et al. Application and study of millisecond delay blasting technology in high-rise building demolition blasting [J]. Explosive Materials, 2018, 47(5): 54-58, 64.
- [7] 杨仕教, 张文龙, 郑建礼. 复杂环境下3座塔形框架结构景观房的控制爆破拆除[J]. 爆破器材, 2016, 45(1): 51-55.  
YANG Shijiao, ZHANG Wenlong, ZHENG Jianli. Controlled blasting demolition of three landscape rooms with turiform frame construction in complicated environment [J]. Explosive Materials, 2016, 45(1): 51-55.
- [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.  
DONG Baoli, ZHANG Jiyun, WANG Xiao, et al. Blasting demolition of a 12-storey frame shear structure building under complicated environment [J]. Engineering Blasting, 2017, 23(2): 58-61.
- [9] GB 6722—2014, 爆破安全规程[S].

- GB 6722—2014, Safety regulations for blasting[S].
- [10] 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, 40.  
ZHOU Jiahuan. Discussion on calculation formula of collapsing vibration velocity caused by blasting demolition[J]. Engineering Blasting, 2009, 15(1): 1-4, 40.
- [11] 林飞. 大型构筑物拆除爆破振动与塌落触地振动分析[J]. 爆破器材, 2019, 48(2): 61-64.  
LIN Fei. Analysis of blasting vibration and collapse ground touching vibration in demolition of large structures[J]. Explosive Materials, 2019, 48(2): 61-64.
- [12] 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.  
QI Shifu, XIA Yushuai, XIE Xingbo, et al. The controlled blasting technique for demolishing a high building in complicated surrounding[J]. Engineering Blasting, 2015, 21(1): 20-24.
- [13] 李振. 爆破个别飞散物的抛飞规律研究及控制防护[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.  
LI Zhen. The casting discipline study and controlling protection of blasting individual flying rock[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2009.
- [14] 黄小武, 谢先启, 贾永胜, 等. 钢筋混凝土立柱爆破破坏过程及个别飞散物试验研究[J]. 爆破, 2020, 37(1): 13-18.  
HUANG Xiaowu, XIE Xianqi, JIA Yongsheng, et al. Experimental study on failure process and flyrock of reinforced concrete columns induced by blasting[J]. Blasting, 2020, 37(1): 13-18.
- [15] 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 Jianli, JIANG Baojin, HU Guangqiu, et al. Blasting demolition of a building with full shear wall structure[J]. Explosive Materials, 2018, 47(3): 55-59.
- [16] 李本伟, 陈德志, 周应军, 等. 基于故障树分析法的拆除爆破飞散物事故风险分析[J]. 爆破, 2015, 32(2): 147-151.  
LI Benwei, CHEN Dezhi, ZHOU Yingjun, et al. Risk analysis of blasting flying-rock based on FTA[J]. Blasting, 2015, 32(2): 147-151.
- [17] 陈冲. 复杂环境下35m倒锥壳水塔定向爆破[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(9): 90-96.  
CHEN Chong. Directional blasting of a 35m high inverted cone shell water tower in complex environments[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(9): 90-96.
- [18] 郑文富, 张文龙, 陈少辉. 复杂环境下120m高烟囱定向爆破拆除[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(1): 89-92.  
ZHENG Wenfu, ZHANG Wenlong, CHEN Shaohui. Directional blasting demolition of a 120m chimney in complex environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(1): 89-92.
- [19] 徐鹏飞, 张英才, 贾海鹏, 等. 复杂环境下15层框架楼房控制爆破拆除[J]. 工程爆破, 2015, 21(5): 32-34.  
XU Pengfei, ZHANG Yingcai, JIA Haipeng, et al. Controlled blasting demolition of a 15-storey frame building in complicated environment[J]. Engineering Blasting, 2015, 21(5): 32-34.

(编辑 周红军)