

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.01.012

# 复杂环境下3座塔形框架结构景观房的控制爆破拆除\*

杨仕教<sup>①</sup> 张文龙<sup>①②</sup> 郑建礼<sup>②</sup>

①南华大学核资源工程学院(湖南衡阳,421000)

②广东锡源爆破工程有限公司(广东惠州,516000)

[摘要] 对复杂环境下3座塔形框架结构景观房进行一次控制爆破拆除。鉴于塔形(六角形)框架结构高宽比小、稳定性高、倒塌难度大的特点,重点采取增加倒塌方向长轴上支撑立柱的爆破高度的方法,整体形成梯形爆破切口。通过确定爆破拆除方案和预拆除处理方案,选择合理的爆破参数和切口高度,采用可靠的防护措施,使它们沿着倒塌方向分段延时倒塌落地,降低了爆破振动,控制了飞石,爆破效果良好,达到了预期效果。

[关键词] 塔形框架结构;爆破拆除;爆破参数;安全防护

[分类号] TU746.5

## 1 工程概况

### 1.1 周边环境

某市中心广场因改建重修,需爆破拆除3座塔形结构景观房。景观房均为框架结构,高度为35 m左右,建筑面积共3 200多平方米。3座景观房的四周环境复杂:周围有防护围栏,距东面围栏最近约80 m,东面约60 m处有架空的通讯电缆,正东面150 m处有一个工厂;西面有约30~40 m的空地,空地以西是一片绿化地;距北边道路约25 m,北边约70 m处有住宅区;距南面围栏约23 m,南面80 m

处是商业区。爆破环境示意图见图1。

### 1.2 建筑结构

3座景观房分别位于广场东、北、南面,均为塔形结构建筑物。其中,南、北两座边侧景观房结构一致,正北面都有一楼梯,中间为天井结构,在沿南北倒塌方向上约15 m,共有7列承重立柱,每个混凝土立柱截面尺寸都是 $\varnothing 55$  cm,具体见图2所示。中间景观房正东面有一楼梯,中间也是天井结构,在沿东西倒塌方向上约17.3 m,共有5排承重立柱,每个立柱截面尺寸约为 $\varnothing 55$  cm,具体见图3所示。

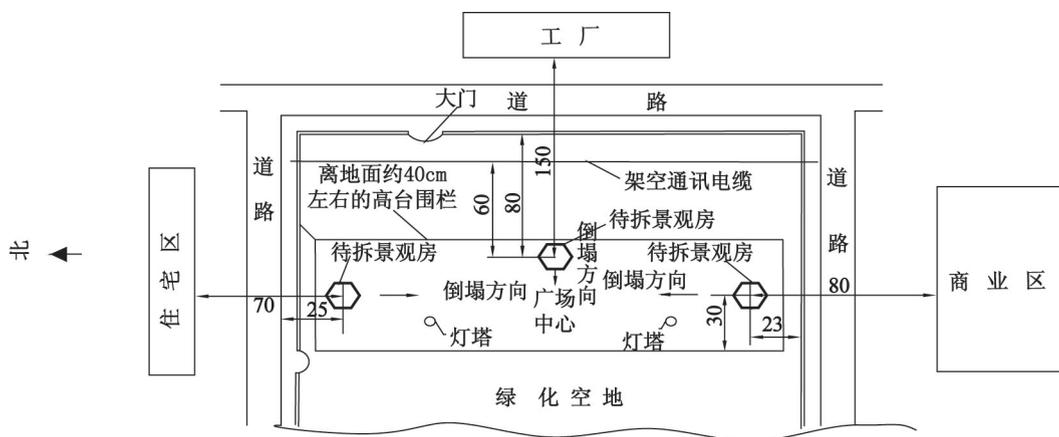


图1 3座塔形景观房建筑物周围环境图(单位:m)

Fig. 1 Around environment of three turriform landscape rooms (unit: m)

\* 收稿日期:2015-06-11

作者简介:杨仕教(1964~),男,教授,主要从事采矿工程研究。E-mail:649292197@qq.com

通信作者:郑建礼(1958~),男,高工,主要从事爆破设计与施工。E-mail:906782280@qq.com

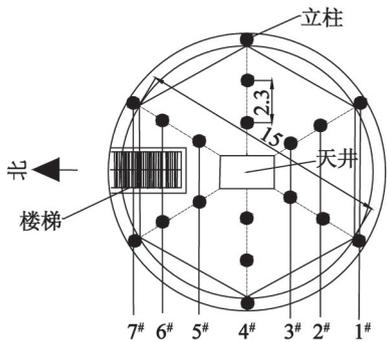


图 2 边侧景观房建筑物底层结构平面图(单位:m)

Fig. 2 Plan of bottom structure of the brink landscape rooms (unit: m)

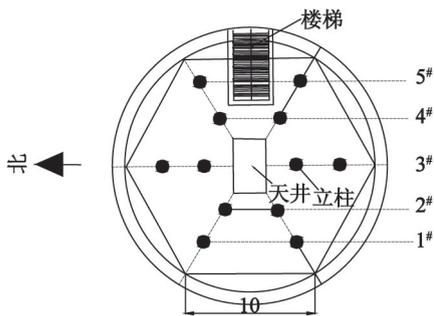


图 3 中间景观房建筑物底层结构平面图(单位:m)

Fig. 3 Plan of bottom structure of the middle landscape room (unit: m)

## 2 塔形(六角形)框架结构拆除爆破技术

### 2.1 爆破拆除方案

一般框架结构房屋的爆破拆除采取三角形爆破切口的定向倒塌形式,即沿着倒塌方向的支撑立柱依次形成不同的爆破高度,第一排倒塌立柱的爆破高度对整体倒塌起着关键性的作用。而塔形(六角形)结构建筑物高宽比小、稳定性高,拆除时不易形成倒塌倾覆力矩;由此,针对该结构特点(即中间立柱最多),爆破切口通常取最高位置。塔形框架结构采用梯形爆破切口,沿着倒塌方向支撑立柱上形成不同的爆破高度,最终形成定向倒塌。

### 2.2 技术难点

与房屋拆除不同的是,塔形结构拆除爆破中,尤其倒塌方向上长轴立柱的爆破高度对整体倒塌起着关键性作用。针对此特点,技术重点是根据长轴上支撑立柱的数量,相应增加长轴上支撑立柱的爆破高度,整体形成梯形爆破切口,使高宽比小的塔形结构形成可靠的倒塌倾覆力矩。

## 3 总体爆破拆除方案

### 3.1 技术方案

边侧和中间景观房的倒塌方向上短轴上支撑立

柱分布较少,每排只有 2 根。于是采取倒塌方向长轴上的支撑立柱和其前排倒塌支撑立柱爆破高度相同,其后排立柱爆破高度依次减少,最后一排两根立柱外侧竖向钢筋切断,不打孔布药,整体形成梯形爆破切口的定向倒塌方式。

图 2 中,边侧景观房 1#~4#轴炸 3 层,5#轴炸 2 层,6#轴炸 1 层,7#轴预切断外侧竖筋,不打孔装药;图 3 中,中间景观房 1#~3#轴炸 3 层,4#轴炸 1 层,5#轴预切断外侧竖筋,不打孔装药。由于周围环境的限制和对 3 座塔形结构楼梯和天井的位置综合分析,结合类似工程爆破经验<sup>[1]</sup>,为了保证四周建筑物、道路的安全及振动要求,拟采用 3 座景观房分段延时向较为宽敞的广场中心定向倾倒的一次爆破方式拆除,这样既降低了爆破振动,也减小了塌落振动影响。

### 3.2 安全防护

在爆破立柱部位用草帘、竹笆进行近体防护,将爆破产生的飞石控制在 30 m 范围之内,保证商业区、住宅区和道路不受飞石影响。倒塌方向的地面铺设缓冲土层土埂,防止倒塌落地时产生飞石,减少塌落时地面的冲击,有效降低塌落振动的速度,保护管道、电缆等设施的安全。

## 4 预拆除措施

塔形景观房建筑物结构的完整性好,呈六角形结构,重心低、配筋多、强度大,为了确保可靠定向完全倒塌,爆破前必须做好以下预拆除工作。

1) 4 层以下各层圈梁及楼板。鉴于景观房高跨较小,为了完全倒塌,爆破前,立柱上钻孔后,用破碎锤先拆除 4 层以下各层倒塌方向的圈梁、井字梁及支撑立柱间的楼板和相关外墙,钢筋不需切断。

2) 预留支撑立柱的处理。由于待拆景观房的重心低,为了确保整体顺利倒塌,应切断与倒塌方向相反的最外侧两根支撑立柱底部外侧的竖筋,不需打孔装药。

3) 楼梯的预拆除。2 层以下的楼梯须利用破碎锤预先拆除,切断,防止对倒塌产生影响。

## 5 爆破参数设计

### 5.1 爆破部位

根据环境要求和塔形景观房的结构性质及特点,3 座景观房均采用梯形爆破切口形式,具体爆破部位详见图 4、图 5。

### 5.2 景观房各轴立柱的破坏高度<sup>[2]</sup>

立柱破坏高度由式(1)确定:

$$H = K(A + H_{\min}) \tag{1}$$

式中: $H$ 为承重立柱的破坏高度,m; $K$ 为经验系数,

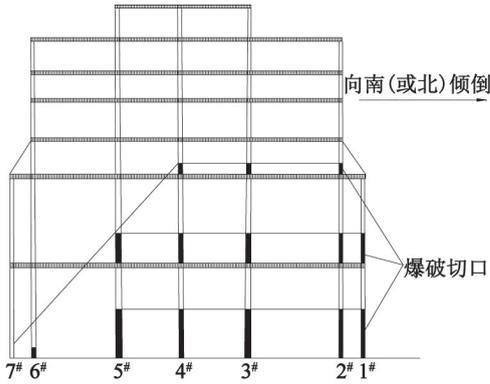


图4 边侧景观房立柱爆破切口示意图  
Fig.4 Blasting notch diagrammatic sketch of the brink landscape rooms

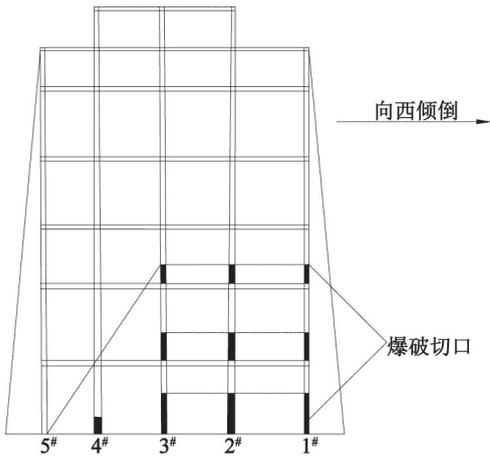


图5 中间景观房立柱爆破切口示意图  
Fig.5 Blasting notch diagrammatic sketch of the middle landscape room

一般取  $K = 1.5 \sim 2.0$ ;  $A$  为立柱断面最大边长,  $A = 0.55 \text{ m}$ ;  $H_{\min}$  是承重立柱的最小破坏高度,  $H_{\min} = (30 \sim 50)d$ ,  $d$  为钢筋直径  $20 \text{ mm}$ , 则  $H_{\min} = 1.02 \text{ m}$ 。

经式(1)计算,  $H = (1.5 \sim 2.0) \times (0.55 + 1.02) = 2.35 \sim 3.15 (\text{m})$ 。

选定切口爆破高度参数: 切口内 1 层取  $3.15 \text{ m}$ , 2 层取  $2.45 \text{ m}$ , 3 层取  $1.75 \text{ m}$ 。

立柱支撑外侧的主筋切断即可, 不需打孔装药。各轴各层立柱切口参数详见表 1、表 2。

表 1 边侧 2 座景观房各个轴立柱的爆破高度

Tab.1 Blasting height of two brink landscape rooms in every axis

m							
轴序号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
1 层	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	1.75	—
2 层	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	—	—
3 层	—	1.75	1.75	1.75	—	—	—

表 2 中间景观房各个轴立柱爆破高度

Tab.2 Blasting height of the middle landscape room in every axis

m					
轴序号	1#	2#	3#	4#	5#
1 层	3.15	3.15	3.15	1.75	—
2 层	2.45	2.45	2.45	—	—
3 层	1.75	1.75	1.75	—	—

### 5.3 爆破孔网参数设计<sup>[3-6]</sup>

1) 最小抵抗线  $W$ : 一般取立柱断面最短边  $B$  的一半,  $W = B/2$ 。圆柱  $W = B/2 = 27.5 \text{ cm}$ 。

2) 孔距  $a$ : 拆除爆破  $a$  取  $(1.0 \sim 1.8)W$ , 施工过程中取  $a = 1.25W$ , 即  $a = 35 \text{ cm}$ 。

3) 孔深  $L$ : 取立柱最大边长  $A$  的  $2/3$ , 实际取值  $L = 37 \text{ cm}$ 。

4) 单孔药量: 根据体积公式  $Q = q \times V$ , 其中  $q$  是单耗, 取  $q = 1200 \text{ g/cm}^3$ ,  $V$  为单孔占的体积; 对于圆柱截面, 直径为  $55 \text{ cm}$ , 则单孔药量取  $100 \text{ g}$ 。

5) 堵塞长度  $L_b = (1.1 \sim 1.2)W$ 。

根据混凝土立柱的爆破参数, 各层混凝土立柱布孔数分别为 1 层 10 排孔、2 层 8 排孔、3 层 6 排孔。具体 3 座景观房爆破装药参数见表 3、表 4。

表 3 边侧 2 座景观房爆破参数

Tab.3 Blasting parameters of two brink landscape rooms

部位	炮眼个数	单耗/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	单孔装 药量/g	装药 量/g	段数/ ms	非电雷管 发数
1#轴	36	1200	100	3600	2	36
2#轴	48	1200	100	4800	5	48
3#轴	48	1200	100	4800	7	48
4#轴	144	1200	100	14400	9	144
5#轴	36	1200	100	3600	11	36
6#轴	12	1200	100	1200	13	12
合计	324	—	—	32400	—	324

表 4 中间景观房爆破参数

Tab.4 Blasting parameters of the middle landscape room

部位	炮眼个数	单耗/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	单孔装 药量/g	装药 量/g	段数/ ms	非电雷管 发数
1#轴	48	1200	100	4800	2	48
2#轴	48	1200	100	4800	5	48
3#轴	96	1200	100	9600	7	96
4#轴	12	1200	100	1200	9	12
合计	204	—	—	20400	—	204

## 6 起爆网路设计

### 6.1 起爆方式与网路连接

采用“大把抓”和四通连接的复式起爆网路。

每个炮孔内放入 1 发非电毫秒延期雷管(脚线长 5 m),将待爆同排柱内炮孔导爆管雷管就近捆扎成 1 束(不超过 20 根),每束捆绑 2 发非电毫秒一段雷管(脚线长 5 m),用四通连成非电闭合复式起爆网路,以保证每孔必响,3 座景观房之间采用 9 段延期雷管连接,保证分别延期倒塌落地。

### 6.2 各轴起爆时差的选择

各轴起爆时差的雷管段位选择见表 5。

表 5 各轴雷管段位及各段位延期时间

Fig. 5 Delay time of detonators in every axis

轴序	非电毫秒延期雷管段位	延期时间/ms
1 <sup>#</sup>	2	25
2 <sup>#</sup>	5	110
3 <sup>#</sup>	7	200
4 <sup>#</sup>	9	310
5 <sup>#</sup>	11	460
6 <sup>#</sup>	13	650

## 7 爆破安全防护措施

### 7.1 飞石的防护

1) 近体防护:在所有的装药炮孔的立柱部位用 6 层草帘包裹,其中第 1、2 层用干草帘,其余层用湿草帘,再用铁丝绑紧,这样可以控制飞石飞溅距离在 30 m 内。

2) 远体防护:对景观房周围的建筑物、管道、电缆用废木板、胶带等遮盖防护,以防止个别飞石砸坏建筑物及设施。

### 7.2 爆破安全校核

#### 7.2.1 爆破地震效应

爆破振动的传播和衰减规律可采用以下修正公式<sup>[7]</sup>:

$$v = K'K \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (2)$$

式中:地质、地形参数  $K$ 、 $\alpha$  分别取  $K = 200$ ,  $\alpha = 1.75$ ;  $K'$  为城市控制爆破的折减系数,  $K' = 0.25 \sim 1.00$ ,距爆源中心近时,取大值,反之取小值,本工程取  $K' = 0.3$ ;  $Q$  为最大一段爆破药量,取  $Q = 15.6$  kg;  $R$  为距爆源中心最近距离,以住宅区居民楼为保护目标,取  $R = 70$  m。

经计算,  $v = 0.18$  cm/s。根据《爆破安全规程》<sup>[8]</sup>,本次爆破振动效应对周围的建筑物、设施等是安全的。

### 7.2.2 塌落振动校核

爆破构件冲击地面而引起的振动速度大小与被爆坍塌体的质量,重心高度和触地点地层的刚度有关,对于中大型建筑物来说,由于其质量大,重心相对高,塌落后的振动速度较大,因此必须对其进行安全校核。

根据周家汉提出的理论计算公式<sup>[9]</sup>:

$$v_1 = k_1 \cdot \left[ \frac{R}{\left( \frac{MgH}{\sigma} \right)^{1/3}} \right]^\beta \quad (3)$$

式中: $M$  为下落构件质量,取  $M = 3\ 800$  t;  $g$  为重力加速度,  $g = 9.8$  cm/s<sup>2</sup>;  $k_1$ 、 $\beta$  为相关参数,  $k_1 = 3.37$ ,  $\beta = -1.66$ ;  $H$  为构件重心高度,  $H = 15$  m;  $R$  为保护物至着地点距离,取  $R = 70$  m;  $\sigma$  为地面介质的破坏强度,一般取 10 MPa。

经计算,  $v_1 = 1.18$  cm/s,据《爆破安全规程》<sup>[8]</sup>,塌落振动不会对周围建筑物、设施等产生损伤。

### 7.3 空气冲击波

本次爆破是在立柱上多点分散装药,药量有限,孔口用炮泥堵塞严密,广场空间大,有利于冲击波和噪声的衰减和扩散,且采取了防护措施,因此爆破冲击波不会对周围建筑物和人员等造成危害。

## 8 爆破效果与结论

起爆后,3 座景观房均按照设计的方向和时间向广场中心分段延时依次倒塌落地,基本无后坐,爆堆均匀,飞石被控制在 30 m 范围之内,振动、空气冲击波和噪声均得到有效控制,对周围建筑物等未造成影响,电缆线也完好无损,工作正常,道路上基本无爆渣溢出,爆破取得圆满成功。由此可得:

1) 对于此类重心低、高宽比较小的塔形(六角形)建筑物,与矩形框架房屋拆除不同的是,要选取梯形切口形式,重点要根据长轴上支撑立柱的数量多的特点,选取其立柱上的爆破高度,这对这类建筑物的倒塌有着关键性作用。

2) 对于多排支撑立柱,爆破立柱的延期时间选取上很关键,实践证明本次爆破选取的延期时间是合理的,可为其他工程提供时间间隔的借鉴。

3) 采用分段延时倒塌落地的方式对 3 座建筑物同时进行爆破拆除,大大降低了爆破振动速度和塌落振动速度。

4) 本次爆破飞石控制在 30 m 内,说明爆破参数选择和防护方法是合理的。

### 参考文献

- [1] 刘福高,钟冬望,朱宽.复杂环境下 3 栋框架砖混结构楼房的控制爆破拆除[J].武汉科技大学学报,2014,

- 37(6):468-472.
- LIU F G, ZHONG D W, ZHU K. Controlled blasting demolition of three frame brick structure building in complex environment. [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2014, 37(6):468-472.
- [2] 邵鹏, 东兆星, 韩立军, 等. 控制爆破技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006:47-55.
- [3] 范磊, 沈蔚, 李欲春, 等. 复杂环境下两幢框架大楼定向爆破拆除[J]. 工程爆破, 2008, 14(1):60-62.
- FAN L, SHEN W, LI Y C, et al. Directional demolition of two frame structure building in complicated environment[J]. Engineering Blasting, 2008, 14(1):60-62.
- [4] 梁锐, 刘国军. 复杂环境下9层框架楼房切割定向爆破拆除[J]. 爆破, 2012, 29(2):80-83.
- LIANG R, LIU G J. Cutting directional demolition blasting of a 9-layer concrete building under complicated situation[J]. Blasting, 2012, 29(2):80-83.
- [5] 齐世福, 刘好全, 李宾利, 等. 框剪结构高楼纵向倾倒拆除爆破研究[J]. 爆破器材, 2014, 43(3):41-47.
- QI S F, LIU H Q, LI B L, et al. Blasting study on the lengthwise collapse of a tall building with a frame shear wall structure[J]. Explosive Materials, 2014, 43(3):41-47.
- [6] 汪旭光. 中国典型爆破工程与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [7] 冯家瑜. 城市控制爆破[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000:247-248.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 爆破安全规程:GB 6722—2003 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Safty regulations for blasting: GB 6722—2003 [S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
- [9] 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 J H. Discussion on calculation formula of collapsing vibration velocity caused by blasting demolition[J]. Engineering Blasting, 2009, 15(1):1-4, 40.

### Controlled Balsting Demolition of Three Landscape Rooms with Turriform Frame Construction in Complicated Environment

YANG Shijiao<sup>①</sup>, ZHANG Wenlong<sup>②</sup>, ZHENG Jianli<sup>②</sup>

<sup>①</sup>School of Nuclear Resources Engineering, University of South China (Hu'nan Hengyang, 421000)

<sup>②</sup>Guangdong Xiyuan Blasting Engineering Co., Ltd. (Guangdong Huizhou, 516000)

[ABSTRACT] A controlled blasting demolition of three landscape rooms with turriform frame construction in complicated environment was introduced. For the turriform (hexagonal) frame construction with high stability, the ratio of height to width is too small to collapse. It focused on the burst attitude of the frame on symmetric axis in collapse direction. Through blasting plan and the pre-treatment measures, the proper blasting parameters and cut heights were determined. By adopting safe protection measures, the three constructors collapsed in different directions and times, vibration was reduced, and the flying rocks were controlled. The blasting demolition achieves good and the desired results.

[KEY WORDS] turriform frame construct; blasting demolition; blasting parameters; safe protection

(上接第50页)

### Temperature Raising Analysis of Emulsion Explosive in Blast Holes at High Temperature

LIN Moujin<sup>②</sup>, ZHENG Bingxu<sup>①</sup>, LI Zhanjun<sup>①</sup>, CUI Xiaorong<sup>①</sup>, ZHOU Keping<sup>②</sup>, SHU Xuelai<sup>①</sup>

<sup>①</sup>Hongda Mining Co., Ltd. (Guangdong Guangzhou, 510623)

<sup>②</sup>School of Resources and Safety Engineering, Central South University (Hu'nan Changsha, 410083)

[ABSTRACT] In order to obtain the internal temperature distribution of the emulsion explosive in blast hole at high temperatures, the thermocouple temperature measurement technology was applied to measure the inner temperatures (different positions) of the emulsion explosive. The results show that the temperature of the emulsion explosive was lower than that of water and the internal temperature-history curve of the emulsion explosive can be better described by an exponential function. The change of temperature-history curve of outer emulsion explosive is in accordance with the change of temperature-history curve of water, and the inner temperature is relatively lower, which shows the outer of the emulsion explosives are affected by the environmental temperature. The inner temperature rise rate of emulsion explosive is relatively slow because of the water-in-oil structure and specific endothermic action of ammonium nitrate. It is advantageous for emulsion explosive under protection to be used in the fire area at high temperatures.

[KEY WORDS] open-pit mining; high-temperature blasting; emulsion explosive; refractory insulation material; temperature rising rate