

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.01.014

# 大跨距高楼房爆破拆除控制技术与倒塌形态分析\*

杨帆<sup>1</sup>,张新雨<sup>1</sup>,胡坤伦<sup>2</sup>,韩体飞<sup>2</sup>

(1.安徽江南爆破工程有限公司,宣城 242300;2.安徽理工大学,淮南 232001)

**摘要:** 以立柱间跨距8.0 m×8.6 m、高70 m楼房爆破拆除工程为例,为保证临近在建楼房的安全,对倒塌建筑物落地冲击振动进行理论计算分析,并运用双切口加速楼房空中解体、分区块延期等爆破拆除控制技术实施拆除工程。通过爆破振动测试仪进行实时监控,利用高清摄像分析其倒塌形态,验证拆除控制技术的安全有效性。通过分析高清摄像照片和振动监测数据表明:大跨距楼房势能转换快,易引发后坐;减振沟能明显减小塌落振动,但对爆破振动基本无影响;测点布置的楼层高度对爆破振动速度有一定放大效应,而对塌落振动基本无影响。

**关键词:** 大跨距楼房拆除;空中解体爆破;爆破振动;塌落振动;倒塌形态

**中图分类号:** TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2021)01-0087-06

## Blasting Demolition Control Technology and Collapse Shape Analysis of Long Span High Buildings

YANG Fan<sup>1</sup>, ZHANG Xin-yu<sup>1</sup>, HU Kun-lun<sup>2</sup>, HAN Ti-fei<sup>2</sup>

(1. Anhui JiangNan Blasting Engineering Co., Ltd., Xuancheng 242300, China;  
2. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** Taking a blasting demolition project of a 70 m building with a 8.0 m×8.6 m span between stand columns as an example, the impact vibration of the collapsed building on the ground was calculated and analyzed theoretically to ensure the safety of the buildings under construction. The blasting demolition control technologies including double incision accelerating the disintegration of the building in the air and block delay were used to carry out the demolition project. A blasting vibration tester was used for real-time monitoring, and the collapse shape was analyzed by a high-definition camera. The safety and effectiveness of the demolition control technology were then verified. The high-definition photos and vibration monitoring data showed that the potential energy conversion of the long-span building was fast, which could cause recoil easily. Although the damping ditch can significantly reduce the collapse vibration, it had no effects on the blasting vibration. While the floor height where measuring points were arranged had certain amplification effect on the blasting vibration velocity, it basically had no effect on the collapse vibration.

**Key words:** demolition of long span buildings; aerial disintegration blasting; blasting vibration; collapse vibration; collapse shape

### 1 工程概况

宣城市原“中国茶府”18#楼位于宣城市陵阳路东,北侧紧临阳德中路,已烂尾多年,阻碍了当地经济发展,必须拆除。

收稿日期:2020-10-24

作者简介:杨帆(1990-),安徽省枞阳县人,工程师,安徽理工大学硕士研究生毕业,主要从事爆炸技术的应用研究,(E-mail)754699061@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(51604009)

### 1.1 工程环境

待拆18#楼房爆破环境为:东距约110 m为“小区内景观河”,其间紧邻有待拆4层烂尾楼,以远距约150 m为在建楼房(中国茶府二期);南面到院内活动板房、临时食堂160 m,至粮台路约260 m;西面到在建高层楼房最近50 m,至陵阳路(距约400 m)

均为在建及已建楼房;北侧约8 m处有两个配电站,北侧约9 m处地下有由东向西布置的市政自来水管、光缆,北侧约10 m处为阳德中路,北侧马路对面距137 m为在建楼房,西北方向阳德中路斜对面为商住混合楼,直线距离约为150 m。爆破环境较为复杂。见图1。

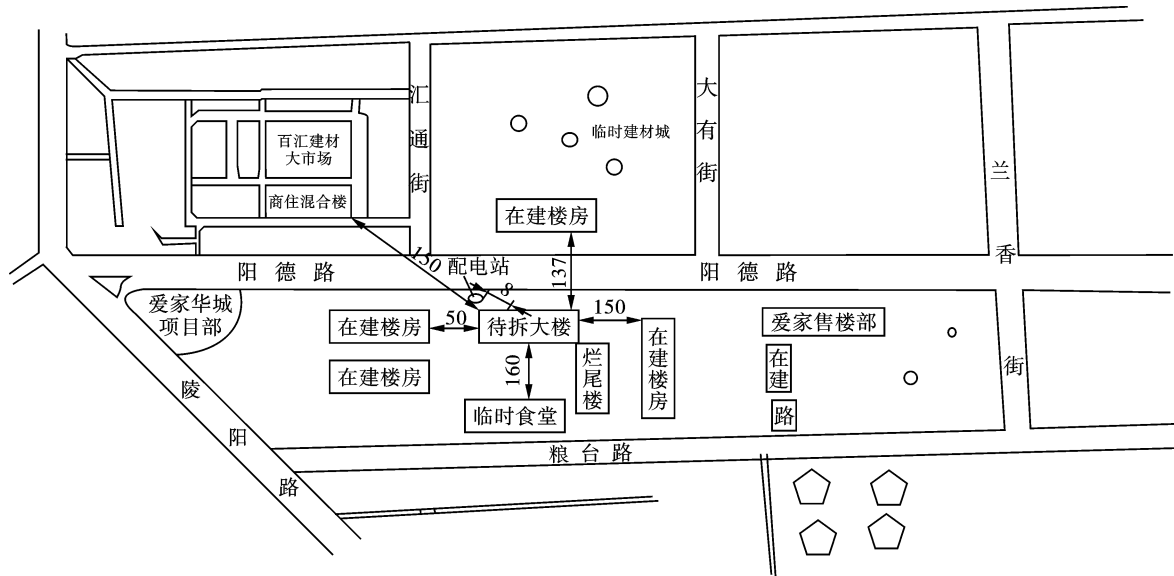


图1 周边环境图(单位:m)

Fig. 1 Surrounding environment(unit:m)

### 1.2 楼房结构

待拆楼房主楼为18层,裙楼4层。主楼平面结构为长方形,长 $\times$ 宽=48.0 m $\times$ 28.87 m。主楼为框剪结构,1楼层间高度为4.8 m,2~18楼层间高度均为3.5 m,高度为64.3 m,连同顶部框架主楼地面以上的总高度为70.3 m。本次爆破拆除的总建筑面积约为30 214.3 m<sup>2</sup>。

楼房内部布置有22根立柱,中间部位为框剪结构电梯井和楼梯间等。立柱间距:纵向7根立柱间距均为8.0 m,横向4根立柱间距均为8.6 m。立柱断面为正方形,断面规格1层为0.95 m $\times$ 0.95 m,2层递减为0.9 m $\times$ 0.9 m,3~6层均为0.85 m $\times$ 0.85 m,9层以上递减为0.8 m $\times$ 0.8 m。立柱的层间高度:第1层为4.8 m,梁下高度为4.0 m;第2层及以上各层的层间高度为3.5 m,梁下高度2.8 m。每层立柱间分布有纵向和横向的大梁,大梁断面规格为:第1层为:宽 $\times$ 高=0.4 m $\times$ 0.8 m,第2层及以上各层为:宽 $\times$ 高=0.4 m $\times$ 0.7 m。中心部分为框剪建筑结构,分布有电梯井、楼梯间和管线、通风井等;剪力墙厚度分别为0.36 m和0.25 m,分层总长度约为37.4 m和12.5 m。横向每两排立柱之间

为一个开间单元(铺面),1~3层每个开间单元都布置有楼梯间和卫生间。

### 1.3 工程特点、难点分析

本工程的特点难点有:

(1)待拆楼房为现浇钢筋混凝土框剪结构,宽度较大,高宽比仅为2.25,楼房重心偏移距离较大。

(2)北临阳德中路,车流及人流较多,且北侧8 m处有两个配电箱;东距新建高层楼房群最近仅50 m;爆破产生的飞石和楼房塌落产生的振动对周围建筑物有很大的安全风险。

(3)楼房的主要承重构件为立柱和局部的剪力墙,中心部位结构复杂,立柱排数少,排间跨度大,势能转换快,不易控制后坐。

## 2 爆破方案的选择与确定

### 2.1 爆破方案选择

根据18#楼情况,决定采用“向南定向折叠倒塌”的爆破方案<sup>[1-3]</sup>。

爆破方案的主要内容:

(1)1~5层布置第一个爆破切口,11~12层布置第二个爆破切口<sup>[4,5]</sup>。见图2。

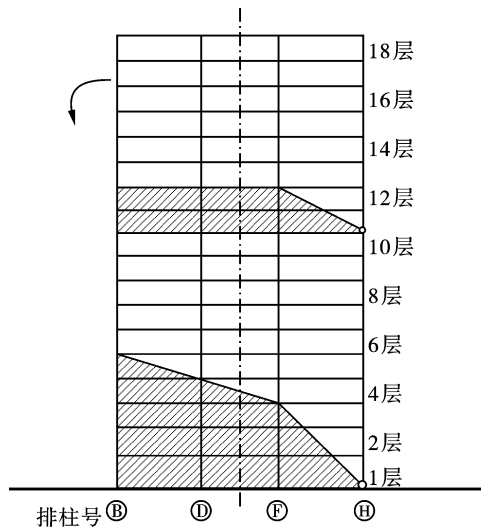


图2 爆破缺口布置示意图  
Fig. 2 Layout of blasting gap

(2)爆破缺口内的立柱全部钻孔爆破;爆破缺口内的每层电梯间和楼梯间采用爆破方式切割成条

状,每个侧面留3~4个约1.5 m宽的支撑墙体,其余部分的混凝土全部采用爆破和人工方式剔除;在楼房梁的交叉处布置5~6个炮孔,对梁体进行破坏,使倒塌更充分。施工中必须按照设计进行,确保施工安全和楼房的整体安全性。

(3)同时与倒塌方向平行的梁采用爆破的方式进行分段爆破,以便于楼房在倒塌过程中能够较好的折叠,使之空中解体,以减小塌落时的触地冲量,这样先期塌落到地面的楼板等建筑垃圾就成为后继塌落物的缓冲层,可进一步减小塌落震动,并最大限度的降低爆堆。

(4)采用草袋和竹笆对楼房立柱的东、西及北侧进行严密防护,11、12楼对东西及南侧进行严密防护,防止爆破飞石对售楼部、在建楼房和商场造成破坏<sup>[6-8]</sup>。

## 2.2 爆破参数设计

(1)爆破参数见表1、表2。

表1 楼房立柱和梁的爆破参数

Table 1 Blasting parameter of the building column and beam

截面尺寸/ (cm × cm)	最小抵抗线/ cm	孔距/ cm	排距/ cm	孔深/ cm	炸药单耗/ (kg · m <sup>-3</sup> )	单孔 装药量/g
95 × 95	30	30	40	75	3.0	550
90 × 90	30	30	40	70	3.0	500
85 × 85	30	30	40	65	3.0	450
80 × 80	30	30	40	60	3.0	400
80 × 40	20	30	—	57	3.0	260
70 × 40	20	30	—	45	3.0	220

表2 剪力墙及楼板爆破参数

Table 2 Blasting parameters of shear wall and floor

剪力墙厚度/ cm	最小抵抗线/ cm	孔距/ cm	排距/ cm	孔深/ cm	炸药单耗/ (kg · m <sup>-3</sup> )	单孔 装药量/g
36	15.0	30	25	26	3.5	130
25	12.5	25	20	17	3.5	70
40	10.0	35	—	30	3.5	120
15	7.5	20	20	10	2.0	20

(2)炮孔数及装药量统计

总炮孔数:3928个;总装药量:886.2 kg。

### 2.3 起爆网路及顺序

整栋楼房炮孔内全部采用孔内延期,从楼房南边第1排立柱用MS-5~9段,第2排立柱采用MS-7~12段,电梯间和楼梯间从南北轴线正中间分区,南半区采用MS-7~12段,第3排立柱、电梯间和楼梯间北半区采用HS-4段,最后一排立柱采用HS-6段,爆破

缺口以上的横梁切断采用与后排立柱相同段别的雷管。具体延期时间安排及网路连接见图3。

起爆网路为每根立柱炮孔采用“大把抓”捆绑2发MS-2段导爆管雷管连接一组簇联网路,同一楼层爆破切口内各组MS-2段导爆管雷管形成网格式闭合起爆网路,确保网路传爆的可靠性。然后各层之间,各切口之间在进行交叉连接,整体上形成立体交叉复式闭合回路。



后 3 区还未爆破,前两区塌落过快,其动能通过横梁和楼板拉动后排立柱从而使得后排立柱断裂。

(2)第二缺口与第一缺口延期时间过短,正常情况下是待第一缺口前排立柱起爆,整体楼房重心偏移后再起爆第二缺口,从而加快重心偏移,减小后坐和爆堆高度。但是 18#楼采用 MS-12 段(550 ms)毫秒导爆管雷管延期(购买的 HS-4 段雷管不够,故采用了 MS-12 段),比第一缺口第三根立柱(HS-4,1.5 s)快了近 1 s,同时由于跨度距离达到 8.6 m,使得前两区势能更快转化为塌落动能,从而拉断后排未爆立柱。

(3)该楼房为烂尾楼,且 4 层以上和 4 层以下结构不一样,图纸上标注 5-8 楼柱钢筋直径为 25 mm,但根据现场测量可知 1~3 楼柱平面钢筋直径 25 mm,4 楼处柱平面钢筋直径 20 mm。故可知 4 楼以上立柱配筋率降低,导致 4 楼与 5 楼结合处较低楼层连接薄弱。再由与前两区动能过大,导致在该处拉断。见图 5。

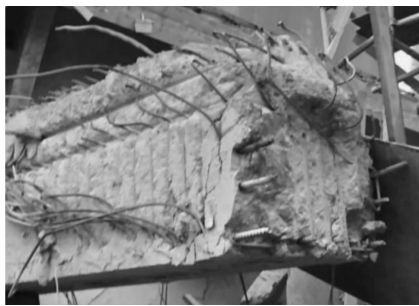


图 5 4 楼立柱顶部

Fig. 5 Top of the 4th floor column

### 2.5.3 爆破监测结果

现场共布置 4 台拓普 8016 测振仪、2 台拓普

6016 测振仪,5 台仪器采集到有效数据。见图 6 所示可知,检测到的信号主要为低频信号(塌落振动信号),仅有 N2 处通道 3 检测到高频信号(爆破振动信号)。检测到最大振动速度 0.563 cm/s,远低于《爆破安全规程》(GB 6722—2014)规定的一般民用建筑物地面质点的安全振动速度 1.5~2.0 cm/s ( $f \leq 10$  Hz)。周边建筑物处于安全状态。见表 3。

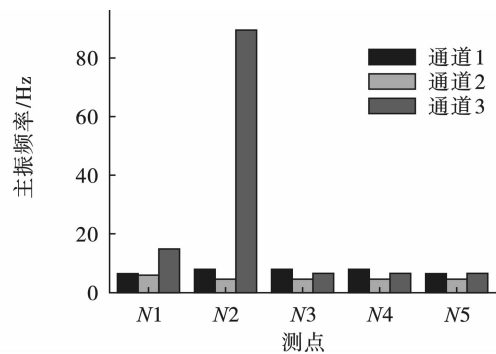


图 6 各测点主振频率对比图

Fig. 6 Comparison diagram of main vibration frequency of each measuring point

由于采用了定向倾倒空中解体的爆破方式,且减振土堤和预先拆除的 20#楼房对 18#层楼房起到缓冲作用,所以结构塌落所造成的触地振动较小。因此,结构触地振动对周边保护对象的影响小。

$N_1$  测点布置在待拆楼房东侧 56.9 m,东侧没有布置减振沟;其他 5 个测点布置在待拆楼房西侧,待拆楼房西侧距楼房 5 m 处,挖一条由北向南深 4 m、长 80 m 减振沟; $N_3$ 、 $N_4$  和  $N_5$  测点布置在东侧在建楼房的 1 层、4 层和 7 层,离地面高度分别为 0 m、9 m、18 m,三个测点距离待拆楼房距离 89.1 m。

表 3 振动监测数据

Table 3 Vibration monitoring data

测点	距爆源 距离/m	爆破振动						塌落振动					
		通道 1		通道 2		通道 3		通道 1		通道 2		通道 3	
		振幅/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	主振 频率/ Hz	振幅/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	主振 频率/ Hz	振幅/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	主振 频率/ Hz	振幅/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	主振 频率/ Hz	振幅/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	主振 频率/ Hz	振幅/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	主振 频率/ Hz
$N_1$ 东	56.9	0.289	6.409	0.223	6.104	0.244	14.954	0.315	6.409	0.176	6.104	0.205	14.954
$N_2$ 西	69.1	0.138	7.935	0.173	4.578	0.563	89.417	0.078	7.935	0.080	4.578	0.109	89.417
$N_3$	89.1	0.153	7.935	-0.141	4.883	0.134	6.714	0.131	7.935	0.099	4.883	0.079	6.714
$N_4$	89.1 (高 9)	0.248	8.545	0.266	4.883	0.251	6.714	0.129	8.545	0.090	4.883	0.136	6.714
$N_5$	89.1 (高 18)	0.161	6.714	0.220	4.883	0.290	6.714	0.083	6.714	0.108	4.883	0.090	6.714
$N_6$	109.1	失真											

对各测点振动速度进行统计分析表明(如图7所示), $N_1$ 与其余测点比较发现,减振沟能减小塌落振动约40%,但对爆破振动基本无影响。比较 $N_3$ 、

$N_4$ 和 $N_5$ 测点,可以发现测点所在楼层高度对爆破振动速度有一定放大效应,而对塌落振动基本无影响。见图7。

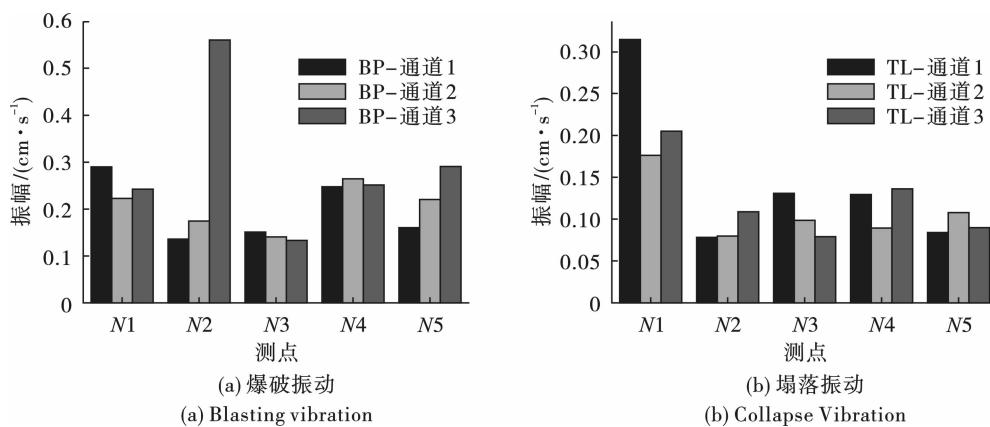


图7 各测点爆破振动与塌落振动振速对比图

Fig. 7 Comparison of blasting vibration and collapse vibration velocity of each measuring point

### 3 结论

(1)大跨距高楼,由于势能转换快,极易引发后坐,因此要合理设置各排间延期时间,控制倒塌形态,防止破坏周边需保护的建筑物。

(2)通过分区、分楼层延期爆破技术达到楼房空中解体,加垫减振土堤、利用先期拆除的楼房作缓冲,通过开挖减振沟等措施减小振动效果明显。通过理论计算和实际振动监测,本次大跨距楼房爆破拆除所引发的振动低于《爆破安全规程》中允许系数。减振沟能减小塌落振动约40%,但对爆破振动基本无影响;测点所在楼层高度对爆破振动速度有一定放大效应,而对塌落振动基本无影响。

#### 参考文献 (References)

[1] 顾毅成,史雅语,金骥良. 工程爆破安全[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2009.

[2] 谢先启. 拆除爆破数值模拟与应用[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2008.

[3] 孙金山,谢先启,贾永胜,等. 建(构)筑物拆除爆破塌落触地振动预测模型研究[J]. 工程爆破,2014,20(2):25-28.

[3] SUN Jin-shan, XIE Xian-qi, JIA Yong-sheng, et al. Forecast model of peak vibration velocity induced by the collapse of structure in demolition blasting projects[J]. Engineering blasting,2014,20(2):25-28. (in Chinese)

[4] 李毅,腾勇,胡坤伦,等. 超高楼群爆破振动控制

技术与检测[J]. 火工品,2019(2):46-49.

[4] LI Yi, TENG Yong, HU Kun-lun, et al. Blasting vibration control technology and detection of super high buildings [J]. Initiators & Pyrotechnics,2019(2):46-49. (in Chinese)

[5] 崔铁军,马云东. 超高层建筑爆破后非连续性倒塌模拟及爆炸模型研究[J]. 工业建筑,2016,46(5):92-97.

[5] CUI Tie-jun, MA Yun-dong. Study on simulation and explosion model of discontinuous collapse of super high-rise building after blasting [J]. Industrial building, 2016, 46(5):92-97. (in Chinese)

[6] 刘 璿,杨永强,姚颖康,等. 高层框剪结构爆破拆除振动监测及分析[J]. 地震工程与工程振动,2018,38(5):198-204.

[6] LIU Jin, YANG Yong-qiang, YAO Ying-kang, et al. Measurement and analysis of vibration caused by blasting demolition of high-rise RC building[J]. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2018, 38(5):198-204. (in Chinese)

[7] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2015.

[8] 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):14-17.

[8] HUANG Xiao-wu, XIE Xian-qi, JIA Yong-sheng, et al. Experimental study on failure process and flyrock of reinforced concrete columns induced by blasting [J]. Blasting,2020,37(1):14-17. (in Chinese)