

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.03.010

高层框-剪结构建筑的定向爆破拆除^{*}

姚显春^① 姚 尧^{①②} 张 伟^② 姚 均^② 谢海香^①
①西安理工大学岩土工程研究所(陕西西安,710048)
②陕西四方平安爆破工程有限公司(陕西宝鸡,721000)

[摘 要] 在分析周边复杂环境的基础上,针对拟拆除的某13层框-剪结构楼房的特点,确定了单边定向坍塌方案,确定合理的爆破高度和倾倒角度。为了减小爆破的有害效应,在充分保证安全的前提下,对该大楼非承重结构墙体、构件以及承重的楼房电梯井、楼梯间剪力墙进行了部分预拆除。分别设计了柱、剪力墙和梁的爆破参数,并采用优化的爆破网路与安全防护措施,确保了爆破拆除顺利实施。爆破效果表明,预拆除减小了爆破作业工作量,降低了炸药用量,减小了爆破的有害效应,确定的相关参数与防护措施安全有效。

[关键词] 框-剪结构;拆除爆破;预拆除;定向爆破

[分类号] TU746.5

Directional Blasting Demolition of a High Rise Buiding with a Frame-shear Structure

YAO Xianchun^①, YAO Yao^{①②}, ZHANG wei^②, YAO Jun^②, XIE haixiang^①
①Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology (Shaanxi Xi'an, 710048)
②Shaanxi Sifang Ping'an Blasting Engineering Co., Ltd. (Shaanxi Baoji, 721000)

[ABSTRACT] On the basis of analyzing the surrounding complex environment, the unilateral directional collapse scheme was determined for the characteristics of a 13-story frame-sheared structure that was to be demolished, and a reasonable blasting height and dumping angle were determined. In order to reduce the harmful effects of blasting, the pre-treatment method was adopted, and under the premise of ensuring safety, the non-load-bearing structural wall and components of the building and the load-bearing elevator shaft and stairwell shear wall of the building were partially pre-prepared. Blasting parameters of the column, shear wall and beam were designed respectively, and the optimized blasting network and safety protection measures were adopted to ensure the smooth implementation of blasting demolition. Collapse outcome of the building indicated that the pre-disassembly reduces the workload of the blasting operation, reduces the amount of explosives and the harmful effects caused by the blasting operation. The relevant parameters and protective measures determined are safe and effective.

[KEYWORDS] frame-shear structure; demolition blasting; pre-dismantling; directional blasting

引言

建筑爆破的预拆除又称预处理,是保证爆破安全与被拆建(构)筑物顺利定向倒塌的重要环节^[1]。预拆除是在楼房倒塌爆破前,在保证楼房整体结构稳定的前提下,预先用人工、机械或爆破的方法,拆除或削弱楼房结构中的部分构件,例如门窗、非承重墙体、剪力墙、楼梯等,达到减小爆破工程量,从而减

少钻孔、减小药量、简化起爆网路的目的,并可降低爆破振动和有利于结构物顺利定向倒塌。在框-剪结构中,剪力墙具有承力作用。工程中,对剪力墙均“拆墙留角”,即将不含拐角暗柱部位的墙面预拆除掉,将留下的剪力墙角柱连有部分剪力墙墙体随同楼体一起爆破。工程实践表明^[2-9],合理选择预拆除方案,既减小了爆破作业工作量,降低了炸药用量,也可减小爆破作业带来的有害效应,达到了良好的爆破效果。

^{*} 收稿日期:2019-01-10
基金项目:陕西省教育厅基金(15JK1540)
第一作者:姚显春(1975 -),男,博士,讲师,主要从事岩体力学与工程数值仿真及工程爆破理论与实践的教学与研究工作。E-mail: yxc@xaut.edu.cn

构详见平面图 2。

1 工程概况

1.1 周边环境

拟拆除的大楼位于市区,紧邻经二路、红旗路及一号大院。周围主要建筑为:东侧 44 m 处一幢 18 层框架结构楼房,60 m 处为红旗路;西侧 12 m 处一挖深 14 m 的基坑;西南 67 m 处一幢 32 层框架结构楼房;南侧 4 m 处一号大院住宅区地下车库,52 m 处一幢 32 层框架结构楼房;北侧 64 m 处为经二路。此外,待拆除办公楼东侧、南侧、北侧地下均布置有城市供水、排水、通讯、电缆、天然气等多条市政管道。周边具体情况如图 1。

1.2 大楼结构

该楼为框架-剪力结构,共 13 层,其中,地下 1 层,地上 12 层。地上、地下总高度 59 m,大楼南北结构对称,平面布置呈矩形,东西长度 56.70 m,南北宽度为 17.22 m。地上部分总建筑面积 11 000 m²。柱墙混凝土标号高,布筋密集,箍筋拉筋布置多,因此结构强度高。

立柱尺寸有:0.50 m×0.50 m、0.65 m×0.65 m、0.50 m×0.70 m、0.50 m×0.90 m 方形立柱,直径 0.8 m 圆形立柱,直径 0.6 m 圆形立柱。楼房结

2 爆破方案设计

2.1 拆除方案选择

大楼拆除爆破倒塌方式主要有原地坍塌、单侧定向倒塌、折叠倒塌^[10]3 种。考虑到本大楼北侧有较宽阔的场地,故决定采用爆破开出 1 个切口的单侧定向倒塌方案设计,倒塌方向为正北。但须严格控制爆破飞石对一号大院高层住宅楼及经二路沿街建筑的影响。

大楼正北方向的砖围墙,距离大楼 B 轴 62.4 m,围墙北侧(临经二路一侧)2 m 有 2 台变压器柜,不容损坏。围墙距离 62.4 m 与楼体高度 44.0 m (楼顶 8.4 m 高的钢筋混凝土屋檐已预拆除掉)之比为 1.42,已大于 1.2 倍的要求值,所以楼体倒塌不会损坏北侧围墙。

2.2 爆破切口设计

选择在楼体下部开 1 个爆破切口。国内有研究认为^[10-11],在爆破形成切口后,楼体重力作用线应移至切口边沿之外(图 3)。以切口爆破后,楼体重心能移至切口边沿以外,作为切口高度选定的条件,仍有参考价值。如图 3 所示,楼房底宽为 B,重心高

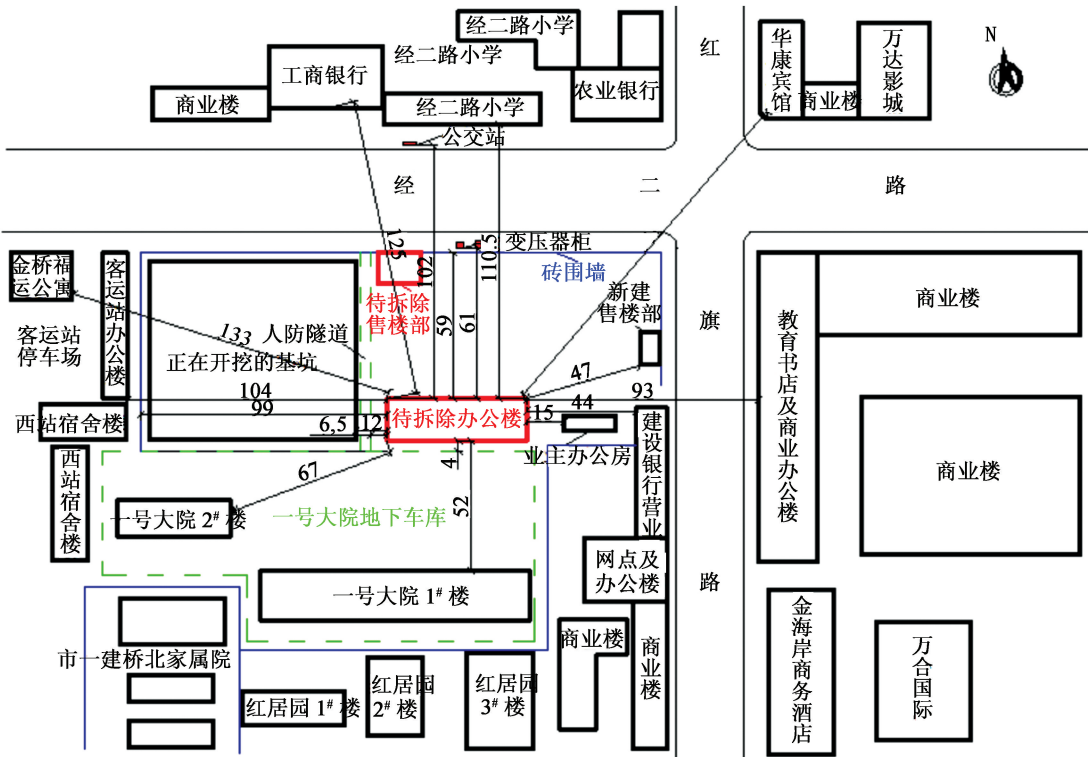


图 1 周围环境图(单位:m)
Fig. 1 Schematic diagram of surrounding environment

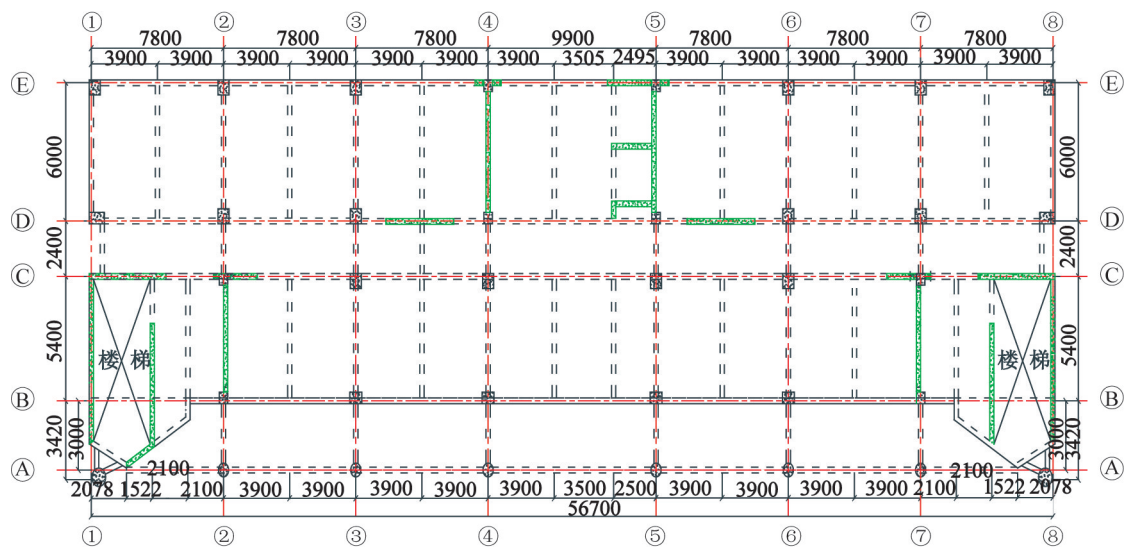


图2 楼房结构平面图(2、3层)(单位:mm)

Fig.2 Floor plan of the building structure (2, 3 floors)

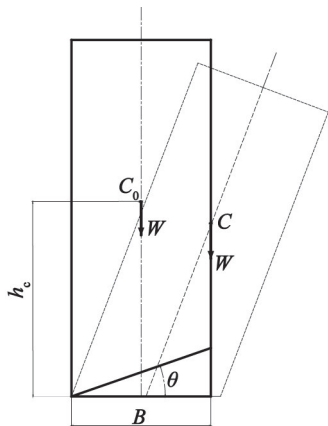


图3 爆破切口角度

Fig.3 Angle of the blasting cut

度为 h_e ,经过推导,得出楼房重心移至切口边线的临界角 θ_{ij} 与 h_e/B 的关系式为

$$\frac{h_e}{B} = \frac{\sin^2 \theta_{ij} + 2 \cos \theta_{ij} - 1}{\sin 2 \theta_{ij}} \quad (1)$$

现 $B=14.2\text{ m}$, $h_e=22\text{ m}$,代入式(1),经过试算,得出倒塌时切口临界角 $\theta_{ij}=20.1^\circ$,其相应的临界切口高度为5.2 m。

参照国内工程经验,并结合本工程情况^[12-17],切口选在1~3楼,高度为 $4.8+4.8+3.4=13.0\text{ m}$,相应的切口角为 42.5° ,可保证楼体顺利倾倒。切口形状选用梯形(图4),只爆破切口范围内的前3排(B、C、D轴)立柱及横梁端点。立柱炸高即立柱上最低孔至最高孔的轴心距离,见表1。

2.3 预拆除

本大楼A轴为8根直径0.8 m或0.6 m的钢筋混凝土圆形立柱。此柱不承担大楼楼体载荷,只用

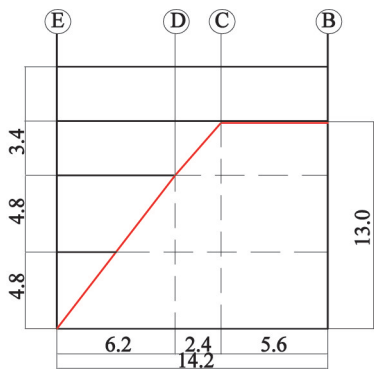


图4 楼房爆破切口位置分布(单位:m)

Fig.4 Location map of building blasting cut (unit: m)

表1 立柱炸高

Tab.1 Blasting height of columns m				
楼层	B 轴	C 轴	D 轴	E 轴
1	3.50	3.50	3.50	不爆
2	3.50	3.50	3.50	不爆
3	2.45	2.45	不爆	不爆

横梁(南北向)与B轴立柱相连接,增强大楼南北横向水平方向的承载能力。将此8根圆形柱用液压破碎锤预拆除掉,切除钢筋。圆柱与B轴立柱之间的横梁,在保证横梁不塌落掉块的原则下,可不拆除切口范围内的非承重砖墙,与大楼倒塌方向一致的南北向墙体,均于爆前全部预拆除掉;但大楼东西两侧山墙,其中,B轴与C轴间的剪力墙除预留角柱和预留1.0 m长的墙体外,其余均要预拆除掉;C轴、D轴、E轴间的砖墙,为防飞石,只拆掉顶部0.5 m高度,其余保留不拆。

与倒塌方向垂直的墙体,除南侧外墙保留不动外,只在每面墙上凿开一道宽 1.5 m 的缝即可,或全部拆除;D 轴③~④及⑤~⑥的两面平直剪力墙全部预拆除。拆除时,保留顶部与天花板相连的 0.6 m 高度的墙体不拆。电梯井剪力墙含暗角柱的拐角处,每个拐角边保留 0.8 m 长度(因为角柱配筋长度为 0.5 m 或 0.6 m),其余拆除掉;拆除部分底部达到地板,顶部留 0.6 m 不拆除;将 1~2 楼、2~3 楼、3~4 楼西楼梯每段断开两个踏步,保留钢筋,使其在楼房爆破倒塌时形成塑性铰;东楼梯在预处理后期将混凝土全部砸掉,只保留钢筋。

3 爆破参数设计

3.1 孔网参数设计

爆破一律用手风钻钻孔,孔径 40 mm;炸药品种选用 2#岩石乳化炸药,Ø32 mm 药卷。参照国内工程经验,炸药单耗 q 初选为:第 1 层 2 200 g/m³、第 2 层 2 000 g/m³、第 3 层 1 800 g/m³。爆破立柱的断面有 4 种尺寸:0.50 m×0.50 m、0.65 m×0.65 m、0.50 m×0.70 m、0.50 m×0.90 m。除了 0.65 m×0.65 m 立柱布置双排孔外,其他均为 1 排孔。单排炮孔最小抵抗线 $W=0.25$ m,孔距 $a=0.35$ m, $a/W=1.4$,炮孔依次在立柱轴线上左右 2 cm 位置布置;双排孔 $W=0.25$ m, $a=0.35$ m,排距 $b=0.15$ m,炮孔呈三角形布置。立柱炮孔及与剪力墙面垂直的炮孔均采用密实装药结构。横梁断面尺寸有: $B' \times H=0.3$ m×0.6 m、0.3 m×0.4 m 2 种,炸药单耗取 $q=800$ g/m³。梁的炮孔装药结构:药包放入装药段底部,药包与填塞段之间为空气层,不填炮泥。

剪力墙爆破孔均与墙面平行,一字形布排孔,孔长比墙长短 0.2 m;L 形 2 排孔;T 形 3 排孔,孔距 $a=0.25$ m,孔底距交汇点 5 cm。炮孔最小抵抗线 $W=0.125/0.15$ m。炸药单耗 $q=2\,000$ g/m³,与剪力墙面平行的炮孔为空气间隔装药结构。

3.2 起爆网路设计

采用同排齐爆、排间时差的方案,爆破分为 3 段,采用毫秒导爆管雷管,总历时 0.88 s。具体为:第一响位于 B 轴(包含 B 轴上的立柱、梁)范围内,导爆管雷管采用 MS1 段毫秒雷管(0 ms);第二响位于 C 轴,采用 MS10 段毫秒雷管(380 ms);第三响位于 D 轴,采用 MS15 段毫秒雷管(880 ms)。为了避免周边环境中的射频电流、感应电流、杂散电流对网路的干扰和影响,采用导爆管与四通环形复式交叉网路,见图 5。图 5 中,爆孔含立柱、梁、剪力墙中的

炮孔。A 为从炮孔引出的导爆管,不超过 25 根,爆联;B 为 2 发 MS1 段毫秒导爆管雷管捆联;C 为四通连接件;D 为导爆管环形线路;E 为第 1 层和第 2 层间的导爆管连接线路;F 为第 2 层与第 3 层间的导爆管连接线路;G 为瞬发电雷管 2 发并联。

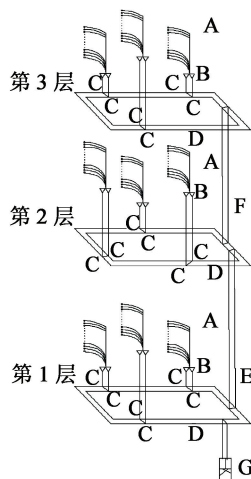


图 5 导爆管与四通环形复式交叉网路

Fig. 5 Ring compound cross network of detonators and four way pipes

4 安全防护措施

拆除爆破所产生的有害效应主要有振动、飞散物(简称飞石)、飞溅物、噪声、粉尘、空气冲击波及有害气体等。

4.1 飞石防护

对于飞石采用以下措施:覆盖防护、近体防护和保护性防护。在以往的楼房爆破拆除施工中,只对立柱进行防护,考虑该大楼配筋率高,混凝土强度大,使用了较大的爆破单耗,为了减小飞石危害,不仅对立柱、剪力墙进行了防护,也对爆破切口范围内的外墙进行了防护。从爆破后的效果看,此防护设计有效地阻隔了爆破飞石。

为了防止飞溅物,对大楼内的预拆除垃圾全部清理出楼,飞溅物隐患大大降低。

4.2 粉尘

爆破粉尘主要来源于几个方面:大楼各个角落原有的灰尘;预拆除时留下的碎渣;爆破时炸毁的墙柱粉末及楼体塌落地扬起的地面粉尘。在建筑物倒塌时所引起的压缩空气的作用下,上述 3 种类型的粉尘迅速喷向大气,造成粉尘污染。对于粉尘采取了清除尘源、爆炸水雾降尘和其他降尘措施,对粉尘危害进行了严格控制。预先采用清扫及洒水湿化的

方式,对大楼内外的粉尘源进行了处理,同时在倒塌方向的地面、土堤进行了浇水处理;爆破时大楼东侧安排了2辆消防车、大楼西侧安排了2套消防水枪进行喷洒降尘;爆破后及时清扫,减小爆破粉尘对环境及周边居民生产、生活的影响。

4.3 振动

高大建筑物在爆破拆除过程中,会引起3方面的地面质点振动:一是炸药在爆炸时引起的振动(爆破振动);二是建筑物在倾倒起始时后坐引起的振动(后坐振动);三是建筑物倒塌落地时引起的振动(塌落振动)。大量的工程实践表明,上述3种振动中,塌落振动引起的地面质点振动速度最大;其次是爆破振动;后坐振动最小(或无),只在特殊情况下考虑。为此,只考虑爆破振动与塌落振动^[12]。

对于城市建筑物拆除爆破,质点振动速度采用修正的萨道夫斯基公式:

$$v = K'K(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R})^\alpha。$$
(2)

计算如表2。

表2 不同建筑物的爆破振动速度

Tab.2 Blasting vibration velocity of different buildings

保护对象名称	到爆源中心距离 R/m	爆破振动速度/(cm·s ⁻¹)	
		无修正	修正后(K'=0.3)
建设银行	72.35	0.46	0.14
教育书店	121.35	0.16	0.05
华康宾馆	179.35	0.08	0.02
南侧地下车库	12.61	15.18	4.55
一号大院1#住宅楼	60.61	0.66	0.20
一号大院2#住宅楼	93.35	0.28	0.08
农业银行	119.11	0.17	0.05
工商银行	133.61	0.14	0.04

对于爆破振动,通过计算得出楼房爆破引起周围建筑物的振速均远小于《爆破安全规程》^[18]和《中国地震烈度表》所规定的安全允许振速,所以建筑物是安全的。对于大楼南侧地下车库,为了保证不对地下车库造成爆破振动和塌落振动的影响,在楼房塌落范围内铺设虚土垫层(厚度大于1.0 m)和减振堤。

当前,国内外对于建筑物倒塌落地振动尚无一个完整而准确的理论计算公式,多为一些经验公式。主要有中科院力学所公式、中科院工程力学研究所公式、解放军理工大学公式:

$$v_t = K_t \left(\frac{\sqrt[3]{MgH}}{\frac{\sigma}{R}} \right)^\beta；$$
(3)

$$v_t = 0.08 \left(\frac{\sqrt[3]{I}}{R} \right)^{1.67}；$$
(4)

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

对于塌落振动,计算出距倒塌中心(在大楼南北向的轴线上,距离楼体北边沿24 m)不同距离处的塌落振动速度如表3。

表3 不同建筑物的塌落振动速度

Tab.3 Collapse vibration velocity of different buildings

保护对象名称	到落地中心距离/m	塌落振动速度/(cm·s ⁻¹)		
		中科院力学所公式	中科院工程力学研究所公式	解放军理工大学公式
建设银行	70.50	1.53	1.51	0.83
教育书店	119.50	0.61	0.63	0.34
华康宾馆	177.50	0.31	0.32	0.18
南侧地下车库	30.50	6.50	6.12	3.36
一号大院1#住宅楼	78.50	1.27	1.26	0.69
一号大院2#住宅楼	93.35	0.94	0.94	0.52
农业银行	84.00	1.13	1.13	0.67
工商银行	98.50	0.86	0.86	0.52

实测距离倒塌楼房15 m处地下车库区域爆破振动速度小于2 cm/s,达到预期效果,其余测点均小于1 cm/s。振速均远小于《爆破安全规程》和《中国地震烈度表》所规定的安全允许振速。

5 爆破效果及结论

大楼倒塌后,从B轴到爆堆顶端测量倒塌长度35 m,宽度65 m,爆堆高度12 m,爆堆集中,结构解体比较充分;爆堆顶端结构未有脱离主爆堆向前扑的现象;爆破飞抛物控制在警戒区域内;实测距离倒塌楼房15 m处地下车库区域爆破振动速度小于2 cm/s,达到预期效果。

1)由于多因素相互制约,复杂环境下的大楼拆除爆破是一项复杂的系统工程,不仅在于爆破方案与参数的有效,还需要与之相互协调的防护方案,确保在安全的前提下,实现爆破拆除。

2)采用预拆除处理,有效地降低了爆破作业的

钻孔、装药、防护等工作量,同时也降低了炸药量的消耗,降低了对邻近建筑物爆破振动的影响。

3)采用导爆管与四通环形复式交叉网路,有效提高了网路的准爆性,保证了拆除爆破的可靠性。

4)采用精细化施工,设计施工不仅对立柱、剪力墙进行了防护,也对爆破切口范围内的外墙进行了防护,有效地阻隔了爆破飞石。

参 考 文 献

- [1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2015.
- [2] 江云星,陶铁军. 预拆除对薄壁双曲型冷却塔爆破拆除的影响[J]. 工程爆破, 2018,24(1):57-62.
JIANG Y X,TAO T J. Influence of pre-demolition on blasting demolition of thin wall hyperbolic cooling tower[J]. Engineering Blasting, 2018,24(1):57-62.
- [3] 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.
- [4] 李本伟,陈德志,张萍,等. 180 m 高钢筋混凝土烟囱爆破拆除[J]. 爆破,2011,28(4):57-60,68.
LI B W,CHEN D Z,ZHANG P, et al. Demolition of a 180-meter-superheight reinforced concrete chimney by directional blasting [J]. Blasting, 2011,28(4):57-60,68.
- [5] 刘殿书,李胜林. 爆破工程[M]. 北京:科学出版社,2011.
LIU D S, LI S L. Blasting engineering [M]. Beijing: Science Press,2011.
- [6] 姚显春,姚尧,寄科祥,等. 城市复杂环境下 90m 钢筋砼烟囱的定向爆破拆除[J]. 爆破器材,2017,46(6):53-58.
YAO X C, YAO Y, JI K X, et al. Directional blasting demolition of a 90m-high steel-concrete chimney in urban complex environment[J]. Explosive Materials, 2017,46(6):53-58.
- [7] 葛勇,汪旭光,魏格平. 复杂环境下 11 层框架楼房拆除爆破[J]. 工程爆破,2014,20(3):13-15,49.
GE Y, WANG X G, WEI G P. Demolition blasting of a 11-storey frame building under complicated environment [J]. Engineering Blasting,2014,20(3):13-15,49.
- [8] 高文乐,张泽华,苏凯凯,等. 多截面承重立柱酒店定向拆除爆破[J]. 工程爆破,2018,24(2):59-65.
GAO W L,ZHANG Z H, SU K K, et al. Directional blasting demolition of hotel with multi-section bearing colum[J]. Engineering Blasting, 2018,24(2):59-65.
- [9] 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.
- [10] 汪旭光. 爆破手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.
WANG X G. Handbook of blasting [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010.
- [11] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2004.
- [12] 周应军,陈德志,李本伟,等. 复杂环境下 75 m 高冷却塔爆破拆除[J]. 爆破器材,2013,42(3):53-56.
ZHOU Y J,CHEN D Z, LI B W, et al. Blasting demolition of 75 m high cooling tower in complicated environment [J]. Explosive Materials,2013,42(3):53-56.
- [13] 夏卫国,袁平,武双章,等. 复杂环境下两座烟囱交叉定向爆破拆除[J]. 爆破器材,2015,44(1):50-54.
XIA W G, YUAN P, WU S Z,et al. Crossed directional blasting of two chimneys under complex surroundings [J]. Explosive Materials,2015,44(1):50-54.
- [14] 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.
- [15] 谢先启,贾永胜,刘昌邦. 复杂环境下 11 层框架结构楼房控制爆破拆除[J]. 爆破,2008,25(4):36-40.
XIE X Q, JIA Y S, LIU C B. Blasting demolition of a 11-storey frame structure building in harsh environment [J]. Blasting,2008,25(4):36-40.
- [16] 唐启超,龙源,谢兴博,等. 框架剪力墙筒状结构大厦爆破拆除[J]. 工程爆破,2014,20(4):15-18.
TANG Q C, LONG Y, XIE X B,et al. Blasting demolition of a tubbiness mansion of frame shear structure[J]. Engineering Blasting,2014,20(4):15-18.
- [17] 言志信,于焕小,朱辉. 框架结构爆破拆除过程研究[J]. 爆破,2012,29(4):19-22,27.
YAN Z X, YU H X, ZHU H. Resaerch on explosive delimoliting process of frame structure [J]. Blasting, 2012,29(4):19-22,27.
- [18] 国家安全生产监督管理局. 爆破安全规程:GB6722—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
State Administration of Work Safety. Safety regulations for blasting: GB6722—2014 [S]. Beijing: Standards Press of China,2014.