

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.02.014

复杂环境下 L 型楼房的定向对叠爆破控制技术*

张建平 王俊生 张龙飞 张建春 张福光
内蒙古宏大爆破工程有限责任公司(内蒙古包头,014010)

[摘 要] 为了解决环境复杂、倾倒地狭窄条件下 L 型楼房的定向爆破技术和安全问题,将楼房分割为 3 个横截面均为矩形的独立单元,采用了中部单元向外倾倒、两侧单元定向对叠向内倾倒的爆破方案。利用定向切口承重柱的装药量择向分配的偏炸技术和延时起爆技术,在相应的复合防护体系和减振措施(隔振沟)配合下,成功实施了 L 型楼房的定向倾倒,确保了爆破周围建筑物和设施的安全。该设计方法和参数可为同类工程提供参考。

[关键词] 定向爆破;L 型楼房;对叠爆破

[分类号] TU746.5

Directionally Piled Blasting and Controlling of an L-Shaped Building in Complex Surroundings

ZHANG Jianping, WANG Junsheng, ZHANG Longfei, ZHANG Jianchun, ZHANG Fuguang
Hongda Blasting Engineering Co., Ltd., Inner Mongolia (Inner Mongolia Baotou, 014010)

[ABSTRACT] In dealing with the directional blasting technique and safety problems of an L-shaped building at a confined location with complex surroundings, a blasting design was proposed that the building would be divided into three units such that the middle part would be collapsing in the lateral direction while the two sides of the building would collapse toward each other and pile upon the middle. The safety of surrounding buildings and infrastructures has been guaranteed by inclined blasting with charged explosives towards the safe side of the pillars and by ignition delaying techniques that reduce the magnitude of the instantaneous explosion, furthermore with the co-corporation of the corresponding near and remote protected package and measures of decreased earth-quake's energy. The results could be referenced by similar blast engineering projects.

[KEYWORDS] directional blasting; L-shaped building; folding blasting

型的楼房的定向对叠爆破控制技术。

引言

在我国的城市改造和建设中,楼房的定向爆破拆除技术已渐成熟^[1-4],特别是对一些高耸楼房爆破拆除更显示出突出的优越性。对于一些高度较低、高宽比小的楼房,一般都采取机械拆除方法。但是,在环境复杂、场地狭小的情况下,对于一些强度高、整体性好的钢筋混凝土结构的楼房,机械拆除受到作业场地和空间的限制而无从下手,而人工拆除工期长、工人劳动强度大,又存在较长时间的扰民和环境污染。在这些特殊的情况下,采取控制爆破仍然是一种高效、经济和绿色环保的拆除方法。本文中,介绍了在复杂环境、狭窄场地条件下一栋截面为 L

1 工程概况

1.1 楼房结构

待拆除的包头名流大楼位于包头市昆区乌兰道与市委广场路东南角。该建筑建于 2007 年,为钢筋混凝土框架剪力墙结构。横截面形状呈 L 型。楼房东部主体为 7 层,3 排钢筋混凝土承重柱,其横截面尺寸为:外柱 700 mm × 700 mm,内柱 650 mm × 650 mm。西部 9 层,4 排钢筋混凝土承重柱,其截面尺寸为 750 mm × 750 mm。地面一层层高 4.2 m,二层层高 3.6 m;三层及以上层高 3.4 m,地下室高度 4.5 m。楼房的 L 型截面的长边长 56.5 m,宽 18.3

* 收稿日期:2016-03-18
作者简介:张建平(1960 -),男,博士,高级工程师,主要从事拆除和土岩爆破技术的设计和研究。E-mail:zhangjianping60@hotmail.com

m; L型截面的短边长30.3 m,宽21.5 m。在楼房的南、北侧及西侧都有外伸挑梁,西侧高33.0 m,东侧高28.5 m,建筑面积13 000 m²。

1.2 周围环境

拆除的楼房周围环境复杂。北侧距乌兰道15.0 m,距对面的居民楼及学校30.0 m;西侧距市府东巷6.0 m,距南北方向架空通讯线4.0 m,距市政府办公楼27.0 m;东侧和东南侧4.5 m 为新建的大厦混凝土基础,东侧130 m 也是居民楼,大楼南侧距施工开挖基坑28.5 m。大楼的周围环境见图1。

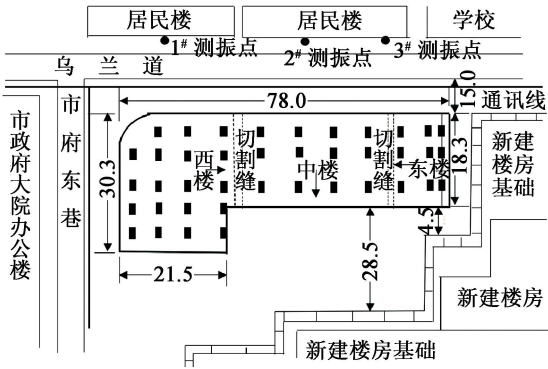


图1 楼房横截面及周围环境示意(单位:m)
Fig. 1 The building and its surroundings (unit:m)

2 技术难度和爆破方案

2.1 技术难度

按照周围场地情况,只有南侧宽度28.5 m,长度78.0 m的狭长带和楼房占地面积是爆破后楼房废渣的堆积范围,大楼只能向南倾倒。但是,楼房横截面为L型,西部宽度较大,高宽比1.1,整体倾倒的惯性矩大;而且,楼房东侧及东南侧4.5 m外的新建大楼的混凝土基础及部分主体已经建好,不允许受到此次爆破产生的振动扰动和楼房倾倒的直接冲击影响,所以很难实现楼房整体向南倾倒。另外,楼房的北侧是人口密集的居民区,必须严格控制爆破危害,确保周围居民楼和设施的安全。

2.2 定向爆破方案

为了确保周围设施的安全,保证楼房爆破解体充分,采取了分割单元楼方法。即采取人工风镐作业把整个楼房分割为西、中、东部3个横截面都为矩形的独立单元楼,不仅在有限的场地条件下,调整了楼房的倾倒方向,缩小和控制了废渣堆积范围,而且增大了分割后各部分的高宽比,使其定向倾覆力矩增大,保证楼房顺利倾倒。楼房的分割如图1、图2所示。人为分割后的西、中、东部的高宽比分别为

1.5、1.6、2.4。定向爆破方案确保合理的延时起爆控制下,实现中部先向南定向倾倒,腾出空间,西部向东、东部向西对叠定向爆破倾倒在中部的渣堆上。图1中,3个切割单元箭头所指的方向即为倒塌方向。此方案能保证楼房西侧的通讯线、东侧和南侧新建大楼的混凝土基础的安全,调整了定向切口的方向,使东、西部切口爆破碎块飞溅互为遮挡,有效控制了爆破碎块向东、西、北方向的飞溅。



图2 分割的L型楼房
Fig. 2 The division of L-shaped building

楼房中部向南定向倾倒,最大堆积范围按照楼房中部高度的2/3估计,为19 m;楼房东、西部对叠倾倒在渣堆上,预测的爆堆堆积范围为东、西方向80 m,南、北方向36 m。

3 定向爆破参数确定

3.1 定向切口位置

中部准确地向正南方向倾倒是保证西部和东部分别向正东和正西方向解体并对叠倾倒在废渣上的关键。为避免个别碎石的飞溅,尽可能降低中部的爆堆堆积高度,防止中部倾倒缓慢而影响到西、东部的定向倾倒或造成倾倒方向的偏离,按照中楼高切口、低布置的原则,切口从地面一层开始向上布置,形状为梯形。支撑区确定为最后一排柱。按照西、东部定向切口位置高于中部,并兼顾中部倾倒解体破碎效果和有效控制爆破切口碎块飞溅的原则,西、东部定向爆破切口都从地面二层开始向上布置,形状为梯形。由于西部的底部宽度大,选择后两排柱作为支撑区,宽度3.0 m,并且在爆破前割断支撑区最后排柱的竖筋,以降低其钢筋的抗拉应力,使倾倒铰支点前移,增大倾覆力矩,有利于楼房倾倒。东部选择后两排柱作为支撑区,宽度3.3 m,提高支撑力,防止东部后坐影响东侧基坑的新建混凝土。

3.2 定向切口高度和长度

定向切口形成的瞬间,切口以上的楼房相当于大悬臂梁在倾覆力矩作用下绕支撑区铰支点的弯曲倾倒,如果支撑力足够,铰支点一般在楼房切口的最

下层支撑柱和墙的上部。如果楼房的高宽比小,高度很大的定向切口才能使楼房的重心偏出定向切口一侧的外支点,这在工程中不现实。实际定向爆破的切口高度并不完全保证使楼房重心超过倾倒一侧的支点,而是当切口闭合后、楼房在其倾倒动能的惯性作用下,如果重心已经获得一定的速度,就可产生与速度方向一致的倾倒。此时,其速度的垂直分量因楼房切口闭合、楼房上部触地而消耗,而速度的水平分量会使楼房继续向前运动,若与此相应的动能足以使楼房重心升高,以致楼房重心的水平位移超过了楼房触地支点,楼房即可翻滚倾倒。假设楼房质量均匀,其重心在楼房结构的几何中心,根据楼房绕铰支点运动的能量守恒原理,确定的最小定向切口高度^[5-8]为:

$$h = \frac{D}{H} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{D}{H})^2}} \quad (1)$$

式中: D 为楼房倾倒的铰支点至切口最外侧柱的水平距离,西、中、东部分别对应为 17.6、15.9、10.1 m; H 为楼房倾倒的铰支点以上的楼房高度,西、中、东部分别对应为 25.2、24.3、20.7 m。

根据式(1)计算,得最小切口高度分别为 9.8、6.5、4.4 m。实际确定的西、中、东部的爆破切口高度分别为 10.0、7.0、4.5 m。

定向切口长度为楼房倾倒一侧的底部宽度减去支撑区的宽度。西、中、东部分别为 16.1、13.4、8.4 m。爆破切口的布置及尺寸见图 3。

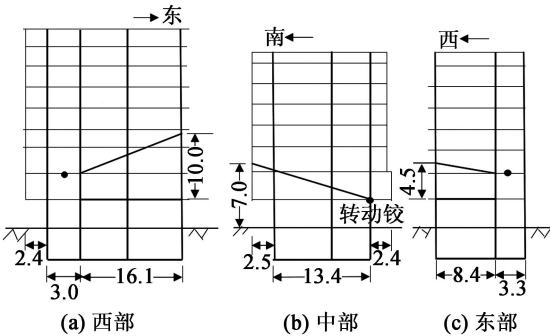


图 3 楼房定向切口示意(单位:m)

Fig.3 Directional blasting cut of the building(unit:m)

3.2.1 炮孔布置

立柱是楼房的主要承重构件,按照立柱的截面尺寸布置单排孔,并采取柱中心线两侧 0.1 m 交错布孔方式,使立柱的炸药能量分布均匀。为了减少墙体的钻孔工作量,爆破前对楼房定向切口内的钢筋混凝土剪力墙、电梯间和步梯采用液压破碎锤或人工预处理。对定向切口内的每一个梁柱节点布置

4 个钻孔,与切口立柱同时爆破,破坏楼房的整体性和梁柱的抗弯强度,提高楼房的解体效果。

3.2.2 孔网参数

楼房的中、东部各 3 排柱,外排柱(700 mm × 700 mm)的孔深 0.50 m,孔距 0.35 m;内排柱(650 mm × 650 mm)的孔深 0.45 m,孔距 0.35 m。楼房西部相同横断面的 4 排柱(750 mm × 750 mm)的孔深 0.55 m,孔距 0.40 m。所有梁柱节点(800 mm × 300 mm)的孔深为 0.55 m。

3.2.3 每孔装药量

考虑到北侧居民区的安全,采取了立柱装药量择向分配的偏炸技术。根据经验和试爆结果确定的炸药单耗 q 为 1 000 ~ 1 100 g/m³。

柱(750 mm × 750 mm),孔间距 0.40 m,计算单孔装药量 $Q = q \times 0.75 \times 0.75 \times 0.40 = 225 \sim 248$ g;

柱(700 mm × 700 mm),孔间距 0.35 m,计算单孔装药量 $Q = q \times 0.70 \times 0.70 \times 0.35 = 172 \sim 189$ g;

柱(650 mm × 650 mm),孔间距 0.35 m,计算单孔装药量 $Q = q \times 0.65 \times 0.65 \times 0.35 = 148 \sim 163$ g;

在复杂环境下爆破,采用装药量择向分配的偏炸技术主要考虑两个方面:

1)被爆破承重立柱与被保护对象之间的距离。即迎向居民区,柱中心线一侧的炮孔的炸药量适当减小,取计算单孔药量的下限,这样在有效爆破能量的同时减少飞石的飞散距离;而设计倾倒方向一侧,立柱的炮孔的炸药量适当增加,取计算单孔药量的上限,确保柱体的破碎和解体效果。

2)被爆承重立柱所处的高度位置。不同楼层高度不同,爆破后产生飞石的飞散范围就不同,高处的飞石飞散的距离较低层的飞石要远一些。因此,以计算单孔药量为基准,切口内的同层支撑柱装药量分配为:承重柱上部 2 孔减 20%,下部 3 孔加 20%,中部正常装药;切口内的不同层支撑柱药量分配时,以底层柱为基准值,每高一层减少 10%,同时增加防护强度。

根据爆破周围环境条件,采取装药量择向分配偏炸技术既满足了承重柱的充分破碎所需的炸药能量,又有效地控制了个别碎块的飞散方向和距离,可有效保证周围建筑物和设施的安全。

表 1 为爆破切口内不同位置和高度时立柱(700 mm × 700 mm)炮孔择向分配的装药量。

4 起爆网路设计

起爆网路的可靠性和延时时差的合理性是保证

表1 700 mm×700 mm 立柱炮孔择向分配的装药量

Tab.1 Explosives in holes of the 700 mm ×700 mm pillars arranged as charged positions

层数	位置	装药量/g		
		上部2孔	下部3孔	中部正常装药
一层	靠近居民区一侧	138	206	172
	设计倾倒一侧	151	227	189
二层	靠近居民区一侧	124	185	155
	设计倾倒一侧	136	204	170
三层	靠近居民区一侧	110	166	138
	设计倾倒一侧	121	181	151

楼房分割后的中部向外倾倒、东部和西部对叠定向爆破方案的关键。为了保证起爆网路的可靠性,采取了中部非电导爆管雷管毫秒孔内延时、西部和东部非电导爆管雷管半秒孔内延时技术,孔外采取了导爆管簇联复式交叉起爆网络技术^[9-10]。为了使中、西、东部倾倒过程中方向准确、互不干扰,起爆顺序为:中部的定向切口采取从外向里孔内2、4段非电毫秒导爆管雷管先起爆;西部和东部的定向切口都采取从外向里3、4段非电半秒导爆管雷管同时起爆,与中部的起爆延时时差为850 ms。

5 爆破安全

5.1 爆破地震波降振措施

爆破楼房北侧是密集的居民住宅楼,必须严格控制楼房爆破的地震波和触地振动强度可能产生的危害。为此,爆破前在楼房的北侧、东侧和西侧开挖了深度4.0 m、宽度不小于1.5 m的隔振沟。采用TC-4850USB型爆破测振仪对楼房北侧30 m的居民楼的地震波振动强度进行监测,测点布置见图1。

采用周家汉提出的建(构)筑物爆破拆除时的塌落触地振动主振波形的峰值速度计算公式^[11]计算2#测点的最大质点振速:

$$v_i = K_i \left[\frac{R}{\left(\frac{MgH}{\sigma} \right)^{\frac{1}{3}}} \right]^{\beta} \tag{2}$$

式中: v_i 为爆破拆除后建(构)筑物塌落触地引起的质点峰值振动速度; M 为建(构)筑物塌落体的质量,取中部大楼质量 $M=2\,000\text{ t}$; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; H 为塌落体重心所在的高度,中部大楼高约28 m,塌落体重心高度取14 m; σ 为建筑物爆破后解体混凝土构件的破坏强度,一般取10 MPa; R

为震中距,45 m; K_i 、 β 为塌落振动主振波形峰值振速的衰减系数和指数,没有减振措施的条件下,高耸构筑物(如烟囪)爆破拆除时,衰减系数 $K_i=3.37\sim4.09$ 、衰减指数 $\beta=-1.66$,建筑物(如框架结构楼房)的爆破拆除时,衰减系数 K_i 为烟囪 K_i 的 $1/3\sim1/2$,即 $K_i=1.1\sim2.1$ 。

计算可得,采取减振沟后,2#测点的最大质点振速为0.58~1.06 cm/s,符合《爆破安全规程》的要求。而实测值是:1#测点的爆破地震波最大质点振动速度0.97 cm/s,发生在起爆后0.21 s;2#测点的楼房触地最大质点速度0.76 cm/s,发生在起爆后1.68 s,最大主振频率8.00~30.65 Hz。将监测结果与理论计算值对比可知,所采取的延时爆破技术和减振沟降振措施非常有效,把地震波强度控制在了安全范围,保证了周围建筑物和设施的安全。

5.2 爆破碎块飞溅防护

由于西部和东部的爆破定向切口爆破时受到向南倾倒的中部遮挡,有效地阻挡了向东和向西的碎块飞溅,但是对其迎向居民区的北侧可能产生的碎块飞溅必须防护;中部定向切口向南是施工区,个别飞溅的碎块也必须防护。东、西部对叠倾倒在中楼渣堆有一定的缓冲,不会产生触地碎块的二次飞溅。对碎块飞溅的直接近体防护措施是对所有装药部位,特别是立柱,包裹了双层苇帘及铁丝网防护^[12]。间接远体防护措施分两部分:一是楼房装药部位的中部1~2层、西部2~4层及东部2~3层的所有门窗及通视口,全部用双层苇帘外加铁丝网柔性封闭防护;二是对于重点防护区域,例如楼房北侧的居民区和西侧政府办公楼方向,在距楼房5 m搭设了高度15 m的防护钢管排架,并悬挂双层苇帘及一层铁丝网远体柔性防护装置。爆破后的远体柔性防护装置仍然完好,完全把碎块控制在安全范围内。

6 爆破效果

整个楼房共钻孔1 150个,炸药质量236.0 kg,延时导爆管雷管1 260发。楼房完全按照设计方案定向倾倒,爆破解体效果好。楼房坍塌的堆积范围控制在设计范围内,没有对周围的新建基础和设施产生任何影响。爆破堆积范围及解体效果见图4。

7 结论

1) 将L型结构楼房人为分割成若干个独立单



(a) 东、西部向中部定向倾倒合拢解体



(b) 东、西部对叠定向倾倒在中心部渣堆上

图 4 解体效果和爆堆

Fig. 4 Dumping and disintegrated of the building

元楼房和适当增加支撑区宽度,增大了分割后单元楼房的高宽比和定向爆破倾倒的支撑力,并采取微差延时起爆技术和调整楼房倾倒方向,实现了楼房两侧向中部对叠定向爆破倾倒,为狭窄空间下的异型结构楼房爆破拆除提供了一种新的方法。

2) 根据工程周围环境条件,应用装药量择向分配的偏炸技术,通过对定向爆破切口内的不同部位的立柱和同一立柱不同部位、不同方向的炮孔装药量调整,有效地保证了支撑立柱充分破碎和解体以及个别碎块的飞散距离和方向的控制。

3) 爆破效果和实际监测结果表明,所采取的防止碎块飞散的近体和远体复合柔性防护体系以及爆破地震波合理的延时起爆技术和开挖减振沟的降振措施是非常有效的,确保了周围居民楼和设施的安全,其方法可供同类工程所借鉴。

参 考 文 献

[1] 杨年华,张志毅,邓志勇,等. 复杂环境下高层框架楼定向爆破拆除实例与分析[J]. 爆破器材,2006,35(6):30-32.
YANG N H,ZHANG Z Y, DENG Z Y, et al. An example analysis for high frame building directional blasting demolitoin in complex circumstance[J]. Explosive Materials,2006,35(6):30-32.

[2] 钱武铭,高世国,郑武,等. 复杂环境下 11 层框架楼房定向爆破拆除[J]. 工程爆破,2013,19(5):32-34.
QIAN W M, GAO S G, ZHENG W, et al. Directional blasting demolition of a 11-storey frame building under complicated environment [J]. Engineering Blasting,

2013,19(5):32-34.

[3] 黄荣强,程贵海,蒙少明. 复杂环境下大楼的定向爆破拆除[J]. 工程爆破,2008,14(1):63-65,71.
HUANG R Q, CHENG G H, MENG S M. Directional blasting demolition of building in complex surroundings [J]. Engineering Blasting, 2008,14(1):63-65,71.

[4] 孙向阳,文辉军. 复杂环境下 11 层楼房爆破拆除[J]. 采矿技术,2013,13(5):160-163.

[5] 杨人光,史家培. 建筑物爆破拆除[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1985:94-97.

[6] 谢先启,贾永胜,罗启军,等. 复杂环境下九层框架楼房的控爆拆除[J]. 爆破,2007,24(1):46-50,53.
XIE X Q, JIA Y S, LUO Q J, et al. Conctrolled blasting demolition of a 9-storey reinforced concrete building in complicated environment[J]. Blasting, 2007,24(1):46-50,53.

[7] 马洪涛,孟祥栋,毕卫国. 复杂环境下异形框架楼的爆破拆除[J]. 爆破,2011,28(3):66-70.
MA H T,MENG X D, BI W G. Explosive demolition of singular frame building in complex surrounding[J]. Blasting, 2011,28(3): 66-70.

[8] 范作鹏,黄治成,刘高. 复杂环境下钢筋混凝土基础爆破拆除实践[J]. 矿冶工程,2010,30(5):9-11.
FAN Z P, HUANG Z C, LIU G. Practice of blasting demolition of reinforced concrete foundation under complex environment[J]. Mining and Metallurgical Engineering,2010,30(5):9-11.

[9] 张翠兵,张承珍,邓志勇,等. 11 层钢筋混凝土框架楼房爆破拆除[J]. 工程爆破,2003,9(2):30-32,11.
ZHANG C B, ZHANG C Z, DENG Z Y, et al. Demolition of an 11-storeyed reinforced concrete frame building by blasting method [J]. Engineering Blasting, 2003, 9(2):30-32,11.

[10] 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 buildings under complicated situation[J]. Blasting, 2012,29(2):80-83.

[11] 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.

[12] 李勇,汪浩. 复杂环境下多跨框架不规则高楼的逐跨坍塌爆破[J]. 爆破,2005,22(1):59-61,68.
LI Y,WANG H. Span-by-span blasting demolition of an irregular building under complex environment [J]. Blasting, 2005,22(1):59-61,68.