

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.06.011

城市复杂环境下90 m 钢筋砼烟囱的定向爆破拆除*

姚显春^{①②} 姚尧^{①②} 寄科祥^② 张伟^② 闫茂^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] 拟拆除90 m 钢筋混凝土烟囱位于宝鸡市区,周边环境复杂,采用单向倒塌控制爆破拆除。分析并确定了烟囱爆破切口的形状、尺寸、爆破参数、起爆网路和爆破安全技术。为了减少炸药用量和减小爆破振动危害,对爆破切口进行预处理。在烟囱倒塌轴线两侧的待爆左右板块中部预先对称开凿1.2~1.5 m 宽的缺口,并将烟囱出灰口的门框拆除,割断门框的钢筋,形成宽2.4 m 的窗口。复式簇联网路的应用有效提高了网路的准爆性,保证了爆破工作的可靠性。采用开挖减振沟、设置缓冲土垫层等措施降低爆破振动。爆破效果表明,确定的相关参数与安全措施合理有效,保证了邻近建筑物及设施的安全。

[关键词] 烟囱;定向倒塌;控制爆破;爆破切口;复式簇联网路

[分类号] TU746.5

Directional Blasting Demolition of a 90m-high Steel-concrete Chimney in Urban Complex Environment

YAO Xianchun^{①②}, YAO Yao^{①②}, JI Kexiang^②, ZHANG Wei^②, YAN Mao^①

① Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology (Shaanxi Xi'an, 710048)

② Shaanxi Sifang Ping'an Blasting Engineering Co., Ltd. (Shaanxi Baoji, 721000)

[ABSTRACT] A 90m-high reinforced concrete chimney to be demolished was in the downtown area of Baoji City where the surrounding environment is complicated. Directional control blasting was adopted. Shape and size of the chimney blasting cut, blasting parameters, blasting network and blasting safety technology were analyzed and determined. Pretreatment of blasting incision was carried out to reduce explosive dosage and damage of blasting vibration. The 1.2-1.5 m wide gap was pre-cut at the center part of plates symmetrically located at both sides of the collapsed axis. The ash door frame of the chimney was removed by cutting off its steel bar to form a window 2.4 m width. Application of multiple cluster blasting networks has effectively improved the accuracy of blasting network and ensured the reliability of blasting work. Trench and cushion layers were used in blasting vibration control. Blasting effects show that the relevant parameters and safety measures are reasonable and effective, and the safety of adjacent buildings and facilities has been ensured.

[KEYWORDS] chimney; directional collapse; controlled blasting; blasting incision; multiple cluster blasting networks

1 工程概况

1.1 烟囱结构

拟拆除烟囱位于宝鸡市热力公司代家湾热源厂内,地处宝鸡市高新闹市区。烟囱整体为钢筋混凝土结构。现场实际测量高度为89.7 m;底部外径9.52 m,C30 钢筋混凝土壁厚40 cm,中间夹2 cm 珍

珠岩保温材料,内衬是砂浆砌成12 cm 厚的普通红砖墙体(无抹面)。烟囱修建于2007年,不考虑筒体混凝土标号强度衰减。在后续的预拆除中,观察到该烟囱下部钢筋布置密集,布设双层纵横向间距均为20 cm 的钢筋网,烟囱体外层钢筋直径22 mm,内层钢筋直径12 mm,两层钢筋间距15 cm。

烟囱底部东西方向各有一个进风口,进风口底部距离烟囱根部约2 m,几何尺寸相同,均为宽3 m、

* 收稿日期:2017-06-16

基金项目:陕西省教育厅基金(15JK1540)

作者简介:姚显春(1975-),男,讲师,博士,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

高 5 m;南侧自根部开始有一个宽 2 m、高 2 m 的出渣口。在烟囱内部,沿直径方向南偏西 30°有一高约 10 m、厚 12 cm、普通红砖砌成抹面的隔烟墙。烟囱外壁有信号平台两层,相对标高分别为 +35 m、+85 m,外爬梯设在烟囱西侧方向,烟囱从底部刷白红相间 10 m 的航空标志漆。结构立面如图 1 所示。

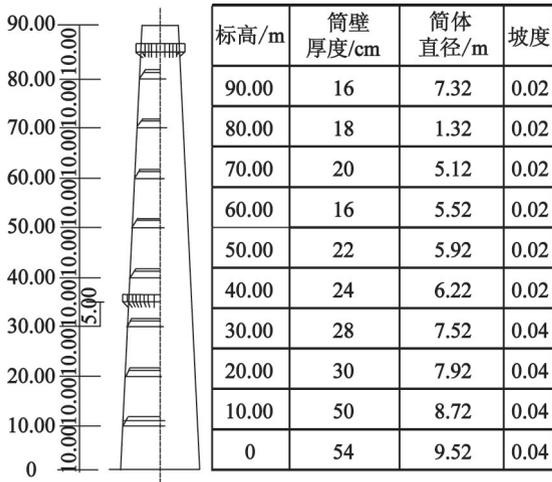


图 1 拟拆除烟囱结构立面图

Fig. 1 Vertical view and structure elevation of the chimney

1.2 周边环境

拟拆除烟囱周边环境比较复杂,距北侧 65 m 处为交通繁忙的行政大道;西侧最近 20 m 处为原电镀

厂家属院围墙;烟囱拟倒塌方向的南侧 156 m 处为与家属院分割的围墙,紧邻围墙有两栋 3 层砖混结构住宅楼;东侧 60 m 处为正开发小区围墙,如图 2 所示。

周围建筑物的重点防护对象有:1)烟囱西偏南方向 45 m 处电镀厂 4 层砖混办公楼;2)烟囱西偏南方向 35 m 处电镀厂 5 层砖混住宅楼;3)烟囱西向 30 m 处两座在建高层住宅楼;4)烟囱北向 5 m 处闲置车间;5)烟囱东向 7 m 处配电室。

2 爆破方案及设计

常用的拆除爆破方案有 3 种:定向倒塌、折叠倒塌、原地坍塌^[1-3]。根据对周边环境的调查,拟拆除烟囱南侧有空置场地,其几何尺寸为南北方向长 120 m(是烟囱高度的 1.3 倍),东西方向宽约 20 m。基于此,爆破方案为近南方向定向倒塌,在其范围内确定合理倒塌轴线后,可保证烟囱倒塌后距离东西两侧建筑物有足够的安全空间^[4]。具体烟囱倒塌轴线确定为南偏西 10°,可确定西侧建筑四层砖混结构楼距离倒塌轴线 25~30 m,东侧闲置车间距倒塌轴线 8 m。

2.1 爆破切口的确定^[5-8]

采用定向爆破法拆除烟囱类高耸建筑物,均在

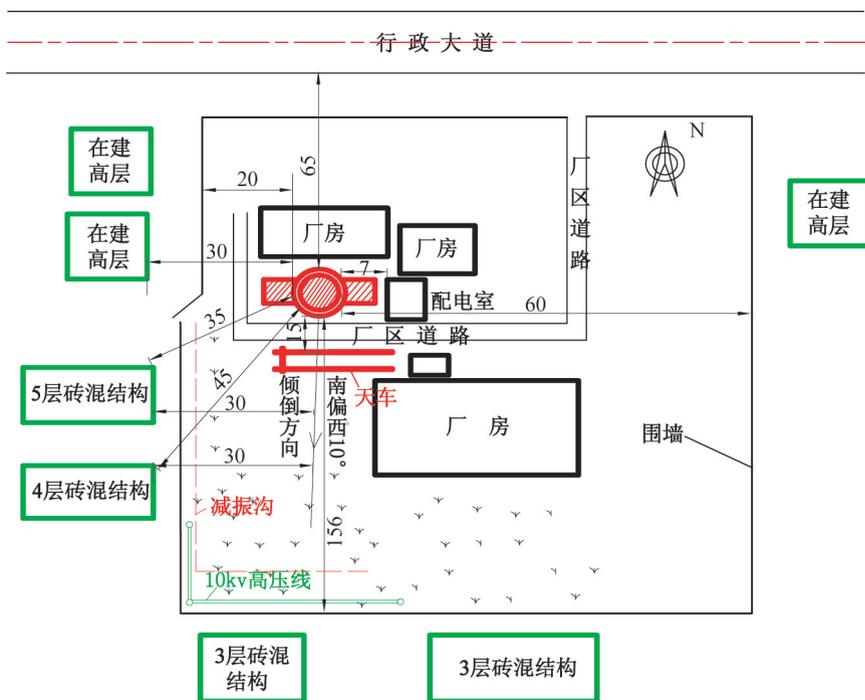


图 2 周边环境示意图(单位:m)

Fig. 2 Schematic diagram of surrounding environment (unit: m)

构筑物底部适当高度处形成一定尺寸的切口,切口上部囱体在重力下形成倾覆力矩致囱体失稳,按照设计方向顺利倾倒。拟拆除烟囱按设计方向倒塌需满足以下条件:

1) 爆破倾倒初期,预留支撑体断面要有足够的强度,在爆破瞬间不会立即下坐。

2) 切口形成的瞬间,重力引起的倾覆力矩必须足够大,克服预留断面本身的塑性抵抗力,促使烟囱定向倒塌。

3) 切口闭合后,重力对新支点必须有足够大的倾覆力矩,而且相对新支点的力矩必须大于破坏断面内的钢筋拉力所产生的力矩。

在烟囱、水塔等高耸构筑物拆除爆破中,有不同类型的爆破切口。该囱体为钢筋混凝土结构,结合已完成工程实际经验^[8-16],综合考虑确定爆破切口为正梯形切口。

2.2 定向窗位置及形状

为了确保烟囱能按设计倒塌方向倒塌,需在爆破切口两端预先用爆破方法或风镐开挖出定向窗口。定向窗的高度一般为 $(0.8 \sim 1.0)h$,其中 h 为爆破切口的高度^[17]。定向窗确定为等腰直角三角形。在开口两侧对称布置定向窗,窗口底边离地面 0.5 m ,宽 2.0 m ,高 2.0 m ,角度 45° ,如图3所示。开口采取爆破法,作为一次试爆确定爆破各参数设计的合理性与可靠性。窗口爆后四周用风镐修整,以保证定向窗几何尺寸符合设计要求。在后续进一步深化考虑的基础上,确定用液压锤将烟囱出灰口的门框(钢筋比较密集)预先拆除,割断门框的钢筋,形成宽 2.4 m 的窗口。此外,在待爆左右板块中部,用液压锤各凿出一条缺口,其宽度为 1.5 m ,高度为 2.0 m ,与所布爆破钻孔高度相同,缺口内的所有配筋隔断。

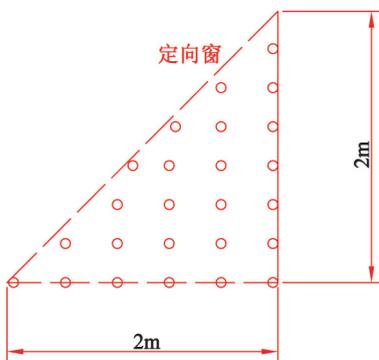


图3 定向窗爆破孔布置图

Fig. 3 Layout of explosive holes of the directional window

2.3 爆破切口设计

1) 爆破切口高度。

切口高度的确定与烟囱的材质和筒壁的厚度有关,由式(1)确定:

$$h \geq (3.0 \sim 5.0)\delta. \quad (1)$$

式中: δ 为爆破部位筒体厚度, $\delta=0.40 \text{ m}$ 。

考虑到该烟囱钢筋配比比较高,取大值,故 $h \geq 2 \text{ m}$ 。

又有经验公式:

$$h = \left(\frac{1}{6} \sim \frac{1}{4}\right)D. \quad (2)$$

式中: D 为爆破部位筒体直径, $D=9.52 \text{ m}$ 。

故 h 取值 $1.6 \sim 2.4 \text{ m}$ 。

为了防止板块的双层钢筋网对烟囱的支撑,决定采用较大的切口高度。根据如上经验公式计算及本工程实际情况,切口高度选取 2.0 m ;为了利用进风口以及考虑凿眼钻孔施工方便,确定切口下沿标高为 $+0.5 \text{ m}$ 。

2) 爆破切口长度。

爆破切口长度对于控制倒塌距离和方向均有直接影响。一般情况下,爆破切口长度 L 应满足:

$$\frac{3}{4}\pi D \geq L \geq \frac{1}{2}\pi D. \quad (3)$$

式中: D 为烟囱爆破部位的外直径。

故爆破切口的长度 L 应在 $0.50 \sim 0.75$ 倍的烟囱外周长之间。对于强度较大的钢筋混凝土烟囱, L 取大值。工程中爆破切口长度取值范围一般为周长的 $0.55 \sim 0.67$ 倍。根据具体情况,烟囱标高 $+0.5 \text{ m}$ 处外径 9.52 m ,外周长 $L_{\text{外}}=29.9 \text{ m}$,取爆破切口的长度为周长 $L_{\text{外}}$ 的黄金分割 0.618 倍,即爆破切口的底线长度 $L=0.6L_{\text{外}} \approx 18 \text{ m}$ 。爆破切口所对圆心角为 224° 。见图4、图5。

2.4 爆破参数设计

最小抵抗线 $W=1/2 \times \delta=1/2 \times 0.4=0.2 \text{ m}$ 。

孔距 $a=(1.5 \sim 2.0)W=0.30 \sim 0.40 \text{ m}$,考虑到钢筋分布,取 $a=0.40 \text{ m}$ 。

排距 b 值一般应比孔距 a 小,一般 $b=0.85a$,考虑到钢筋分布切口高度 2.0 m ,现取值 $b=0.40 \text{ m}$,共布置6排孔。

孔距、排距的选择可根据钢筋网格间距参数适当调整。

孔深 $l=(0.67 \sim 0.70)\delta$,考虑到烟囱为C30双层配筋混凝土结构,孔深取大值,为 28 cm 。

炸药单耗 q 是烟囱爆破最重要的参数之一,它直接关系到炮孔装药量,是保证烟囱倒塌的关键。

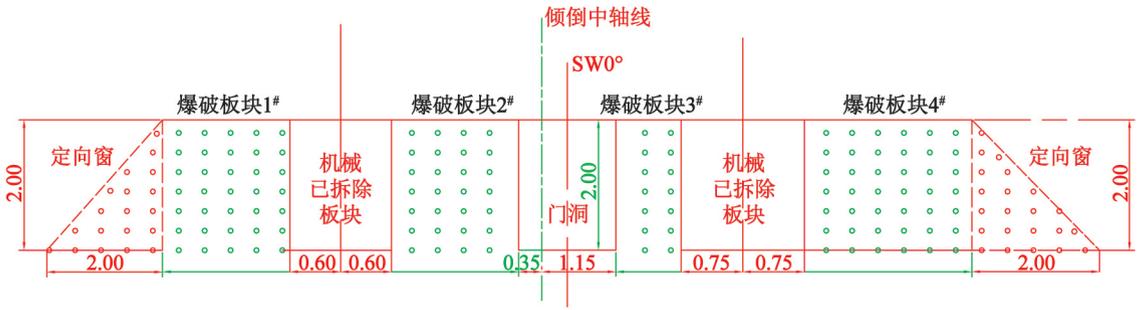


图 4 爆破切口展开图(单位:m)

Fig. 4 Expansion diagram of the blasting cut (unit: m)

表 1 炮孔数量

Tab. 1 Number of blasting holes

排序	炮孔数		
	窗口	板块	共计
第 1 排	2	17	19
第 2 排	4	17	21
第 3 排	6	17	23
第 4 排	8	17	25
第 5 排	8	17	25
第 6 排	10	17	27
第 7 排	12	17	29
总计	50	119	169

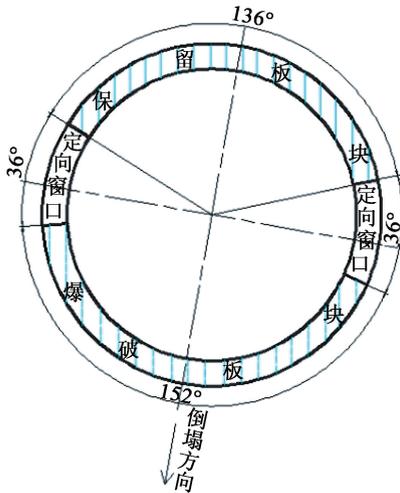


图 5 爆破切口及倒塌轴线

Fig. 5 Blasting cut and collapse axis

炸药单耗与炮孔抵抗线大小及钢筋、混凝土标号、配筋有关。通过对国内几个类似同类烟囱爆破工程的调研,其炸药单耗 q 在 $1.4 \sim 3.3 \text{ kg/m}^3$ 之间。根据同类工程经验和本工程混凝土标号、壁厚、布筋等情况,初步选用单耗 $q = 2.0 \text{ kg/m}^3$,炸药单耗经试炮后可进行必要的修正。

单孔装药量 $Q = qab\delta = 2.0 \times 0.4 \times 0.4 \times 0.4 = 0.128 \text{ kg}$, 取 $Q = 130 \text{ g}$,用 2# 岩石乳化炸药。根据试爆结果适当调整单孔装药量。

根据试爆结果,由于该烟囱钢筋布置密集,调整单耗,结合预处理结果,最终确定的爆破方案:

1) 布孔。爆破板块 6 个(含定向窗),高 2.0 m,宽 1.5~2.2 m,每个板块布置 7 排炮孔,每板块每排 2~6 孔,每个板块 14~35 孔,孔深 28 cm,内衬布置 88 孔,孔排距 $0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ 。炮孔数量见表 1。

2) 装药。用 2# 岩石乳化炸药。底部两排,单孔 $Q = 200 \text{ g}$;中部两排,单孔 $Q = 180 \text{ g}$;上部 3 排,单孔 $Q = 150 \text{ g}$ 。

根据以上炮孔布置及药量,本次爆破 257 孔,共装药 $27.07 + 8.03$ (内衬所用炸药) $= 35.1 \text{ kg}$ 。

2.5 起爆网路与器材

采用毫秒延时塑料导爆管起爆网路。两个窗口均采用同段齐发。雷管段别一律为毫秒延时第 2 段雷管(延时 25 ms),其余板块采用毫秒延时爆破,孔内用不同段别的毫秒雷管,见表 2。

表 2 各雷管段别及其引爆药量

Tab. 2 Detonator stage and their detonating charge

位置	排序	段别	孔数	药量/kg
定向窗		2	25 × 2	3.25 × 2
	第 7 排	2	17	3.40
其余炮孔	第 6 排	4	17	3.40
	第 5 排	6	17	3.06
	第 4 排	8	17	3.06
	第 3 排	10	17	2.55
	第 2 排	11	17	2.55
	第 1 排	12	17	2.55
总计			169	27.07

为了提高网路的准爆性,采用复式簇联网路,即每个炮孔敷设 2 发规定段别毫秒雷管,将伸出孔外部分的 2 根导爆管分别与一其他炮孔的 2 根导爆管相连接,分成 2 个并行网路,端部用电雷管统一引爆。炸药采用 2# 岩石乳化炸药,雷管采用毫秒延时导爆管雷管,采用 8# 工业电雷管激发。

3 安全防护技术措施

1) 在烟囱落地范围(长120 m、宽20 m)用机械开挖深1.0 m的沟,沟内铺0.5 m以上的松土,缓冲烟囱的落地振动。

2) 在两幢住宅楼及在建高层临烟囱落地一侧用挖掘机开挖减振沟,沟长是临烟囱落地一侧建筑物长度的1.2倍,为28 m,沟深1.5~2.0 m,沟宽1.0 m。减小烟囱落地对于住宅楼的影响。

3) 覆盖防护加近体防护。覆盖防护是在烟囱外壁穿孔范围内,用3层浸水草帘覆盖,并用尼龙网缠裹,再用钢丝网缠裹;近体防护是在距烟囱2 m左右处搭设防飞石排架,加大人员安全距离为300 m,防止飞石的危害。

4) 为了防止飞溅物的产生,在落地范围内,地面不能存留石块、垃圾;前述落地范围内挖沟并铺设松土,也是防止飞溅物的有效措施。

5) 烟囱爆破拆除瞬间产生的粉尘及烟道内附着的烟尘较大,在实施爆破拆除中,考虑风向对灰尘的影响,爆破后立即用消防车洒水降尘。

4 爆破效果及分析

爆破中,烟囱按预定设计的南偏西10°方向倾

斜,缓慢倾斜约4 s,第5 s后烟囱加速倾倒落地,整个爆破历时约13 s,精确地倒在防护区域内,其过程如图6所示。

倒塌后,消防车及时洒水降尘,减小污染。烟囱无后坐现象,下半部烟囱筒体没有完全破坏,只是在中间沿轴线裂开,整体呈椭圆形;烟囱前部完全解体并坠入缓冲槽内,钢筋外露。由于设置了两道防前冲横梁,烟囱倒塌爆堆长度约为86 m,小于实际烟囱长。倒塌后效果见图7。

根据周边环境的调查,此次爆破存在如下影响:

1) 烟囱触地部位的西侧,溅起飞石距离约80 m,最大尺寸10 cm×20 cm,这与该部位没有设置防护网有关系。

2) 东西侧建筑物有个别窗户玻璃破碎,特别是西侧,防护网距离应至少延长至80 m。除此之外,通过在主要建筑物周边布置的振动仪测试数据分析,爆破引起的地面质点振动速度均小于2 cm/s,周边住宅及其他建筑、厂房车间设备完好无损,爆破总体效果良好。

5 结论

1) 城市复杂环境下的爆破拆除工程,特别是高耸构筑物的拆除,是一项复杂的系统工程,多因素相互制约,拆除成败的关键在于各相关因素的匹配。



图6 烟囱爆破倒塌过程

Fig. 6 Blasting collapse process of the chimney



图7 烟囱倒塌后效果

Fig. 7 Pictures of the scene after the chimney collapse

因此,在类似爆破拆除工程中应权衡考虑各个因素(参数)之间的协调。

2)对于城市复杂环境下的拆除爆破,尽量充分对待拆结构进行预处理,降低炸药用量,降低防护的难度。本次 90 m 钢筋混凝土烟囱的定向爆破拆除,合理利用烟囱结构特点,对烟囱倒塌轴线两侧待爆左右板块中部对称开凿缺口,并将烟囱出灰口的门框(出灰口轴线为倒塌轴线)拆除,割断门框的钢筋,形成窗口。从而有效减小了炸药的消耗,降低了安全防护的难度,提高安全可靠。

3)复式簇联网路的应用有效提高了网路的准爆性,保证了爆破工作的可靠性。

4)通过开挖深 1.0 m 的缓冲沟,沟内铺 0.5 m 以上的松土,缓冲烟囱落地振动。

5)在主要防护对象与爆破对象之间开挖减振沟,有效降低了爆破的影响,最大质点振动速度均小于 2 cm/s,保证了周边建筑物的安全。

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] 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.
- [3] 李鸿飞,应海剑,郑飞,等. 爆破拆除薄壁钢筋混凝土烟囱[J]. 西部探矿工程,2010(12):196-198.
- [4] 爆破安全规程:GB6722—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014. Safety regulations for blasting:GB6722—2014[S]. Beijing:China Standard Press,2014.
- [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] 王永庆,高荫桐,张春生,等. 冷却塔拆除爆破失稳数值分析[J]. 有色金属(矿山部分),2008,60(1):38-40,47. WANG Y Q, GAO Y T, ZHANG C S, et al. Numerical analysis on instability of cooling tower in demolition blasting[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2008, 60(1):38-40,47.
- [7] 王健. 高耸烟囱爆破拆除安全性的力学分析[D]. 唐山:河北理工大学,2005. WANG J. Mechanics analysis on safety of demolition of tall chimneys by controlled blasting [D]. Tangshan: Hebei Polytechnic University,2005.
- [8] 齐世福,刘好全,李宾利,等. 框剪结构高楼纵向倾侧拆除爆破研究[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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 李新翰,栾龙发,张智宇,等. 45 m 高砖烟囱控制爆破拆除[J]. 工程爆破,2014,20(4):23-26. LI X H, LUAN L F, ZHANG Z Y, et al. Demolition of 45 m brick chimney by controlled blasting technology [J]. Engineering Blasting,2014,20(4):23-26.
- [14] 何国敏. 复杂环境下 180 m 烟囱定向控制爆破拆除[J]. 爆破,2011,28(3):74-76,100. HE G M. Directional controlled explosive demolition of 180 m high chimney in complex conditions [J]. Blasting,2011,28(3):74-76,100.
- [15] 闫鸿浩,刘智远,李晓杰. 烟囱爆破拆除及其振动测试分析[J]. 爆破器材,2013,42(3):21-24. YAN H H, LIU Z Y, LI X J. Chimney blasting demolition and analysis of vibration measurement [J]. Explosive Materials,2013,42(3):21-24.
- [16] 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.
- [17] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2004.