doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.01.012

复杂环境下两座烟囱交叉定向爆破拆除*

夏卫国① 袁 平①② 武双章① 范 磊①
①解放军理工大学野战工程学院(江苏南京,210007)
②南京军区 73906 部队(江苏南京,210028)

[摘 要] 为了确保电厂生产区内高 150 m 和 180 m 两座钢筋混凝土烟囱在一次性爆破拆除中的安全倒塌,在周围环境复杂、设备正常运行的条件下,采用了高位切口控制爆破和延时起爆技术,交叉定向倾倒爆破拆除两座烟囱的爆破技术方案,切口位置分别位于距地面 25.0 m 和 30.0 m 处,两烟囱间起爆延期时间为 5 s。实践表明,爆破参数、切口位置、倒塌方向和 5 s 延期时间的选择合理可行,爆破效果良好。

[关键词] 控制爆破;高位切口;钢筋混凝土烟囱;交叉定向
[分类号] TU746.5 ;TD235.37

引言

近年来,国家大力倡导节能减排,关停了大量污染大、能耗高的火力发电机组,对于高大且牢固的厂房、锅炉架、烟囱和冷却塔等建(构)筑物需要采用控制爆破技术进行拆除,大部分待拆除建(构)筑物所处的环境复杂,通常周围存在着其他正常运行的机组,有较多的需要保护的建(构)筑物和设备,且距离较近,拆除安全要求较高,拆除工期也较紧。刘洪增等[1]对华电淄博热电有限公司甲站 210 m 高钢筋混凝土烟囱采用分次爆破的方法进行拆除,并给出了二次爆破方案的切口参数、爆破参数、施工方法和防护措施。施富强等[2]对峨眉铝业集团 120 m 钢筋混凝土烟囱在狭长区域内爆破拆除时需要重点解决的精确定向和落地冲击问题进行了研究,提出了相应的解决方案。齐宪秀等[3]对复杂环境下一次性爆破拆除 4 座 50 ~ 80 m 钢筋混凝土烟囱进行了研究,设计了合理的爆破技术方案,重点对爆破振动和飞石等危害效应进行了分析和校核,采取了可靠的有针对性的防护措施,取得了良好的爆破效果。

本文作者对复杂条件下 210 m 高钢筋混凝土烟囱采用距地面 40 m 的高位切口方法进行爆破拆除,通过合理的爆破方案设计和精心施工,爆破振动和飞石等爆破危害均得到了有效的控制,获得了良好的爆破效果[4]。当处于有限场地内 2 座及 2 座以上高大钢筋混凝土烟囱要在一次性爆破拆除中安全顺利地完成拆除,对爆破设计提出较高的要求,几乎没有可供参考的公开资料。本文针对有限场地内 2 座高大钢筋混凝土烟囱在一次性爆破拆除中采用高位切口、延时起爆和交叉倒塌的技术方案成功地完成了拆除任务,可以为类似的爆破工程提供参考。

1 工程概况

国电牡丹江第二发电厂位于黑龙江省牡丹江市,在关停的机组中有两座高度分别为 150 m(1#)和 180 m(2#)的烟囱需要拆除。两座烟囱位于电厂生产区内,南北方向间隔 73 m,一线排列,150 m 烟囱在南侧,180 m 烟囱在北侧,周围环境复杂。两烟囱西侧 40 m 为厂区南北向道路,道路西侧与管架和煤场相邻,煤场外侧为铁路线;150 m 烟囱南侧 50 m 为东西向厂区道路,紧邻道路北侧地下有东西走向管线需保护,道路南侧正对烟囱为氢气站和化学车间保留建筑,且距 150 m 烟囱 100 m;两座烟囱东侧 120 m 处地下有南北走向管线,管线东侧与厂区道路相邻,道路东侧有主控制楼、蓄电池室和升压站,升压站与烟囱直线距离约 180 m,东偏北侧有两个变压器,变压器与 180 m 烟囱相距约 160 m;180 m 烟囱北侧 50 m 为厂区东西走向道路,道路北侧为正在运行的化学车间。两座烟囱周围的具体环境见图 1。

2 爆破技术设计

2.1 拆除方案的确定

大量工程实践表明,采用定向控制爆破技术能够安全迅速、省时省力地完成高大钢筋混凝土烟囱

* 收稿日期:2014-04-29
作者简介:夏卫国(1966 ~),男,硕士,副教授,主要从事控制爆破研究。E-mail:xwgalb@sina.com
通信作者:武双章(1977 ~),男,硕士,讲师,主要从事控制爆破研究。E-mail:shsnake@163.com

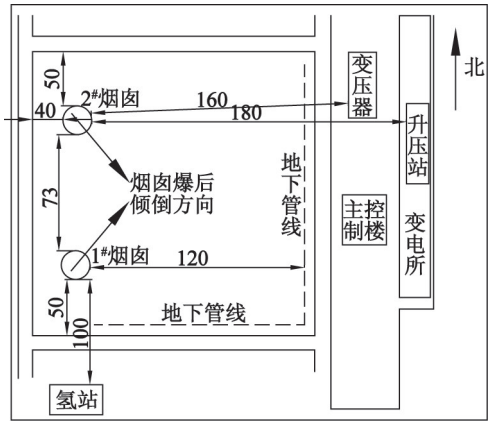

图 1　两座烟囱周围环境示意图(单位:m)

Fig. 1　Schematic diagram of surroundings of two chimneys(unit:m)

的拆除工作。鉴于待拆除的 150 m 和 180 m 烟囱高度、结构尺寸、平面位置及其分布、周围环境和业主对爆破施工工期、安全等方面的要求,采用提高烟囱爆破切口位置、交叉倒塌、一次性同时爆破拆除两座烟囱的定向爆破技术的拆除方案[5]。

2.2　倒塌方向的选择

150 m 烟囱烟道位于烟囱底部南北方向,烟囱四周 360°全方位的范围内,均不能满足在烟囱底部形成爆破切口使烟囱倒塌的距离要求,只有烟囱正北偏东 42.06°方向有 150 m 距离范围内没有任何保护的目标,在适当提高烟囱爆破切口的条件下可满足烟囱倒塌的要求。由于烟道口方向与正北偏东 42.06°预计倒塌方向有一定的角度,为避免烟囱倒塌过程中烟道可能对倒塌方向准确性的影响,同时考虑烟道口上沿的高度,采取将爆破切口提高到距地面 25.0 m 的位置[4,6-7],经计算,场地基本满足要求。确定 1#烟囱的倒塌方向为北偏东 40°方向。

同样,对于 180 m 烟囱采取将爆破切口提高到距地面 30.0 m 的位置,经计算,场地基本满足要求。确定 2#烟囱的倒塌方向为南偏东 40°方向。

在施工过程中采用全站仪来确定准确的倒塌方向和烟囱的倒塌中心线。

2.3　爆破切口设计[4]

1)切口形式:采用复式梯形爆破切口能够满足烟囱倒塌过程中切口闭合的设计要求,保证定向准确和施工工艺的实现。

2)切口圆心角 θ:根据以往工程经验,烟囱切口圆心角的大小对烟囱能否顺利倒起着关键的作用,对于高大钢筋混凝土烟囱,通常该角度为切口底边截面圆周的 0.6 倍左右,本文研究的两座烟囱切口圆心角均取 $\theta=215°$。

3)切口高度 H[6]:根据以往工程经验,切口高度由下式决定:

$$H=\left(\frac{1}{6}\sim\frac{1}{4}\right)D。\tag{1}$$

式中:D 是切口处烟囱外径,m。

150 m 高烟囱切口下沿外径 $D_1=11.65$ m,周长 36.58 m,切口高度 $H_1=2.80$ m。

180 m 高烟囱切口下沿外径 $D_2=14.60$ m,周长 45.83 m,切口高度 $H_2=3.30$ m。

4)切口长度 L:根据确定的切口圆心角 $\theta=215°$ 和切口下沿周长,可以得到切口下沿长度。

150 m 高烟囱切口下沿长 $L_1=21.85$ m。

180 m 高烟囱切口下沿长 $L_2=27.37$ m。

5)定位窗、定向窗及辅助窗的开设:在正式爆破烟囱切口之前,需要在切口两端开设对称于倾倒轴线的定位窗,在倾倒中心线位置开设定向窗,以及在定位窗与定向窗之间开设辅助窗(图 2)。

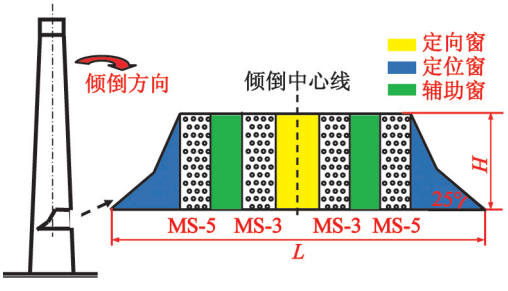

图 2　爆破切口示意图

Fig. 2　Schematic diagram of blasting cut

1#烟囱定向窗宽 1.60 m,定位窗宽 2.80 m,辅助窗宽 1.40 m,各窗口高度同切口高度 H_1;2#烟囱定向窗宽 2.00 m,定位窗宽 3.30 m,辅助窗宽 1.60 m,各窗口高度同切口高度 H_2。两座烟囱爆破切口形式完全相同,只是技术参数略有不同。

由于本次切口距地面高 25.0 ~ 30.0 m,通常的机械和人工法均不能在较短的时间内高质量地完成开设定位窗、定向窗和辅助窗的任务。因此,在施工过程中,按图 2 的切口设计要求,先用水钻沿 2 个定位窗、1 个定向窗和 2 个辅助窗的轮廓线进行钻通孔施工,形成各窗口的通孔边线,然后再通过试爆形成上述 5 个窗口,同时留出切口部位的支撑体[4]。切口范围内的烟囱内衬不需进行预先处理,主要通过正式爆破时适当调整爆破参数的方法来满足内衬与烟囱筒壁同时彻底破坏的要求。

2.4　爆破参数设计

根据本工程特点和现场设备情况,采用 YT-28 钻垂直于烟囱筒壁进行钻孔施工。主要爆破参数:

1)最小抵抗线 W:取切口处烟囱壁厚(δ)的一

半,即 $W=\delta/2$;

2)药孔间距 a:$a=(1.50\sim1.80)W$ 或 $a=(0.90\sim0.95)L$;

3)药孔排距 b:$b=(0.85\sim0.90)a$;

4)药孔孔深 L:$L=(0.67\sim0.70)\delta$,由于在破坏烟囱筒壁的同时还需要破坏内衬,因此,需要适当增加孔深,取 $L=0.78\ \delta$;

5)单孔药量 Q:

$$Q=qab\delta。\tag{2}$$

式中:Q 为单孔装药量,g;q 为单位体积耗药量,g/m^3,对于 $\delta=30\sim50$ cm 厚的钢筋混凝土,取 1800 ~2400 g/m^3;a 为药孔孔距,m;b 为药孔排距,m;δ 为烟囱筒壁壁厚,m。

正式爆破时各部位的单孔药量根据试爆的效果加以调整确定。各烟囱切口处的药孔参数(爆破切口的装药参数)设计计算值见表 1。

由表 1 可知,1#烟囱的孔数为 618 个,装药量 42.225 kg;2#烟囱的孔数为 828 个,装药量为80.500 kg。本次爆破的总孔数为 1446 个,总装药量 122.725 kg。

2.5 起爆网路

根据大量工程实践和方便作业,本工程采用非电簇联法(俗称“一把抓”或“梳辫子”)复式导爆管孔内延期起爆网路。

本工程所用雷管均为导爆管雷管。在试爆时所有药孔均采用单发雷管。正式爆破时对于中间 4 排药孔均采用双发雷管,其他药孔均采用单发雷管,所有雷管脚线每 10 发构成一簇,双发雷管中的两根脚线分别引入不同的簇中,然后用 2 发传爆雷管引爆。为降低爆破震动效应,对同一爆破区域采用同段雷管进行起爆,每个烟囱对称于倾倒中心线分为两段延时,分别采用 MS-3 和 MS-5 导爆管雷管(图 2)。每个烟囱的起爆网路引出两条总的起爆线路,整个起爆网路用高压脉冲起爆器击发起爆。

3 安全防护措施

爆破拆除烟囱产生的主要危害有爆破引起的飞石、振动和烟囱筒壁撞击地面引起的振动、飞溅物以及冲击波、灰尘、噪声等,冲击波在空气中传播时很快衰减为音波,而灰尘目前在爆破界均没有很好的解决方法,但飞石和振动是可以采取有效措施来降低其影响的,由于爆破部位装药分散且单孔装药量比较小,因此,由爆破产生的飞石和引起的振动影响较小,主要危害是烟囱筒壁撞击地面引起的振动和产生的飞溅物。

3.1 振动防护

在烟囱倾倒区域内构筑减振堤,在烟囱顶部的着地位置设置防冲墙。具体构筑方法为:以倒塌中心线为轴线,成 30°夹角对称展开,减振堤间距 20 m,堤底宽 5 m,顶宽 3 m,堤高不小于 4 m。

在烟囱倾倒区域的北侧、东侧和南侧开挖减振沟。减振沟宽度不小于 2 m,深度不小于 3 m。

3.2 爆破飞石和撞击地面产生的飞溅物防护

首先对爆破部位进行主动防护。用毛毡、钢丝网加强爆破部位的防护。用两层钢丝网夹扎两层毛毡包裹装药部位,外围用多道铁丝绑紧固定在烟囱爆破切口部位的筒壁外侧上。

其次是对被防护目标的被动防护。用脚手架钢管、建筑用塑料安全网在东面主变压器西侧搭设不低于 9 m 高的双排防护围挡,防止个别飞石破坏主变压器和升压站。用防护安全网遮挡北侧化学车间和东侧主控制楼窗户,防止个别飞石破坏门窗玻璃。

最后在减振堤表面覆盖彩条布,然后用安全网罩住并用土袋固定。

4 爆破效果与分析

1)试爆后,各窗口形成良好,相应内衬全部破碎塌落(图3);爆破飞石在35 ~40m范围内呈扇形分布。

2)装药和防护作业完成时,电厂通知根据工作安排决定爆破时间推迟,造成从装药到实施爆破间隔时间比较长,同时考虑到牡丹江的 10 月昼夜温差较大的情况,并结合有可能变化的天气情况,对导爆管传爆网路采取了防风、防雨等措施。最终的爆破

表 1 主要爆破参数

Tab. 1 Main blasting parameters

烟囱编号	壁厚 δ/cm	抵抗线 W/cm	孔距 a/cm	排距 b/cm	孔深 L/cm	排数/排	孔数/个	单孔药量 Q/g	药量/kg	备注
1#	34	17	28	28	26(30)	9	178	上、下 3 排 75(中 3 排 100)	15.225	试爆
					26	11	440	上、下 3 排 50(中 5 排 75)	27.000	正爆
2#	52	26	30	30	36(40)	11	252	上、下 3 排 100(中 4 排 150)	30.100	试爆
					40	13	576	上、下 3 排 75(中 7 排 100)	50.400	正爆

图 3　试爆效果图

Fig. 3　Effect diagram of test blasting

效果表明,传爆网路设计安全可靠,防护措施有效。

3)180 m 高烟囱爆破切口部位高速摄像获得的倾倒过程如图 4 所示。烟囱倾倒过程总体呈现先慢后快的趋势,并且在倾倒过程中出现一定程度的下坐,切口下部剩余烟囱筒体高度减小。

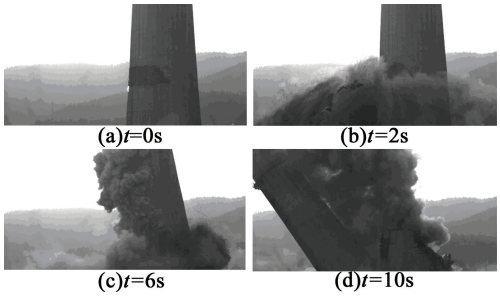

图 4　烟囱倾倒过程图

Fig. 4　Collapsing process of chimney

4)180 m 高烟囱首先起爆,起爆后 5 s 时形成倾倒角度约 30°,该烟囱倒向已基本确定不变,此时起爆 150 m 高烟囱。两烟囱筒体在空中没有发生碰撞现象,180 m 高烟囱落地产生的飞溅物没有对防护措施产生任何影响。

5)180 m 高烟囱起爆后稍停片刻,切口闭合,下坐[4,7-10],倾倒过程顺畅,倒塌方向与设计方向完全一致,烟囱头部倒塌距离 120 m。倒塌方向正向和两侧飞石距离均在施工场地内,道路上没有碎石,烟囱侧向相距 3 m 车库未被破坏,但车库顶有碎石,烟囱正后方有一块碎石飞散距离较远,约 55 ~ 60 m。

6)150 m 高烟囱起爆后稍停片刻,切口闭合,下坐,由于没能压垮挡灰板,烟囱稍有停顿后,继续倾倒,导致了倒塌方向的可控性降低,倒塌方向与设计方向存在着一定的偏差,烟囱头部向右偏离约 12 m,倒塌距离 96 m。倒塌方向正向和左侧飞石距离均在施工场地内,道路上没有任何碎石,化学车间玻璃完好无损。由于烟囱倒塌方向有偏差,烟囱头部倒塌在第三道土堤左端位置,右侧主控制楼有一块窗户玻璃被石块击碎,楼下道路上有数块土块,变压器及升压站区域没有任何飞散的碴土。

7)烟囱筒壁爆破时产生的振动和塌落触地时产生的振动在减振堤和减振沟的衰减作用下,未对烟囱附近建(构)筑物和正常运行的机组产生任何不良影响,说明采取的减振措施非常有效。实测主控楼的地面最大振动速度为 0.114 cm/s,变压器附近的地面最大振动速度为 0.180 cm/s,生产区东南角处的地面最大振动速度为 0.332 cm/s,均远小于其允许的最大安全振动速度,由于两座烟囱先后间隔 5 s 起爆,倒塌持续时间较长,导致烟囱从爆破开始至完全触地全过程产生的振动持续时间也较长。

5　结论

1)本文针对高 150 m 和 180 m 两座钢筋混凝土烟囱,分别采取了 25.0 m 和 30.0 m 的高位切口和 5 s 延时间隔起爆方法,有效地解决了场地环境复杂、不能满足通常的底部单切口实施高大烟囱一次性倒塌的问题,安全确保两座烟囱在一次性爆破中交叉倒塌。

2)当采用高位切口且烟囱倒塌方向与烟道口方向存在夹角时,适当地增加爆破切口下沿与烟道口上沿的距离,可以有效地解决其对烟囱倒塌方向的准确性影响较大的问题。

参 考 文 献

[1]　刘洪增,段梅生,张可玉. 210 m 高烟囱分次爆破[J]. 爆破,2008,25(4):59-61.
Liu Hongzeng, Duan Meisheng, Zhang Keyu. Successful graded blasting of 210 m high chimney [J]. Blasting, 2008,25(4):59-61.

[2]　施富强,柴俭. 狭长区域内 120 m 钢筋混凝土烟囱控制爆破拆除[J]. 工程爆破,2004,10(2):27-30.
Shi Fuqiang, Chai Jian. Demolition of a reinforced concrete chimney with a height of 120 meters in a long and narrow area by controlled blasting [J]. Engineering Blasting, 2004,10(2):27-30.

[3]　齐宪秀,张义平,迟恩安,等. 复杂条件下 4 座烟囱拆除爆破[J]. 爆破,2010,27(3):64-67.
Qi Xianxiu, Zhang Yiping, Chi En'an, et al. Explosive demolition of four chimneys under complicated environment [J]. Blasting, 2010,27(3):64-67.

[4]　夏卫国,武双章,唐勇. 新海电厂 210 m 高钢筋混凝土烟囱爆破拆除[J]. 工程爆破,2011,17(1):58-61.
Xia Weiguo, Wu Shuangzhang, Tang Yong. Blasting demolition of the 210 m high reinforced concrete chimney in Xinhai power plant by directional blasting [J]. Engineering Blasting, 2011,17(1):58-61.

[5]　魏兴,迟恩安,邹锐. 复杂环境下钢筋混凝土双烟囱爆破拆除技术[J]. 爆破,2008,25(2):57-60.
Wei Xing, Chi En'an, Zou Rui. Blasting demolition of 2

reinforced concrete chimneys in complex environment [J]. Blasting, 2008,25(2):57-60.

[6] 谢先启,贾永胜,罗启军,等. 双向折叠爆破拆除 100 m 钢筋砼烟囱[J]. 爆破,2004,21(3):49-51.
Xie Xianqi, Jia Yongsheng, Luo Qijun, et al. Demolition of 100 m high reinforced concrete chimney by bidirection folding blasting [J]. Blasting, 2004,21(3):49-51.

[7] 齐世福,王福刚,薛峰松,等. 180 m 高钢筋混凝土烟囱爆破拆除[J]. 爆破器材,2010,39(1):26-28.
Qi Shifu, Wang Fugang, Xue Fengsong, et al. Demolition of a 180 m superheight reinforced concrete chimney by directional blasting [J]. Explosive Materials, 2010,39(1):26-28.

[8] 靳洋,任志远. 150 m 钢筋砼烟囱定向爆破拆除[J]. 爆破,2009,26(1):69-72.
Jin Yang, Ren Zhiyuan. Directional blasting demolition of 150 m high reinforced concrete smoke stack [J]. Blasting, 2009,26(1):69-72.

[9] 谢先启. 150 m 钢筋砼烟囱爆破拆除技术与分析[J]. 工程爆破,2008,14(1):54-56.
Xie Xianqi. Blasting technology and effect analysis in demolition of a reinforced concrete chimney of 150 m height[J]. Engineering Blasting, 2008,14(1):54-56.

[10] 武双章,夏卫国. 高耸烟囱不同爆破切口位置破坏过程摄像观测分析[J]. 工程爆破,2011,17(4):79-82.
Wu Shuangzhang, Xia Weiguo. Photography observation analysis on demolishing process of blasting cuts located in different position of tall chimney [J]. Engineering Blasting, 2011,17(4):79-82.

Crossed Directional Blasting of Two Chimneys under Complex Surroundings

XIA Weiguo①, YUAN Ping①②, WU Shuangzhang①, FAN Lei①

①Field Engineering Institute, PLA University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210007)

②73906 troop of Nanjing Military Area(Jiangsu Nanjing, 210028)

[ABSTRACT] To ensure the safe collapse of two reinforced concrete chimneys of 150 m and 180 m high sitting in the production area of power plant in a single blasting demolition, the technology of directional blasting of high position blasting cut and delay detonator, and the blasting technical scheme of crossed directional blasting demolition of two chimneys were used in the condition of complex environment and the normal operation of equipment. The blasting cuts were located at 25.0 m and 30.0 m from the ground respectively for the chimneys of 150 m and 180 m. To the two chimneys, the initiation delay time was 5s. Practice shows that the choices of blasting parameters, cut location, collapse direction and 5s delay time are reasonable and feasible, resulting in good blasting effects.

[KEY WORDS] controlled blasting; high position blasting cut; reinforced concrete chimney; crossed directional

(上接第 49 页)

[7] 任新见,李林,李世民. 聚能射流侵彻的计算与模拟试验研究[J]. 工程爆破,2008,14(4):14-15.
Ren Xinjian, Li Lin, Li Shimin. Calculation and simulation experiment research on penetration of cumulative jet [J]. Engineering Blasting, 2008,14(4):14-15.

[8] 冯彬,方向,毛益明,等. 装药位置对冰凌爆破效果影响的数值模拟[J]. 爆破器材,2012,41(4):26-27.
Feng Bin, Fang Xiang, Mao Yiming, et al. Numerical simulation of ice blasting affected by different charge positions[J]. Explosive Materials, 2012,41(4):26-27.

Numerical Simulation and Experimental Verification of Frozen Soil Blasting Perforation

DU Fugui, LIANG Qiuxiang, DONG Dekun, LI Fulong, YAN Junwei

Scientific Research and Engineering Design Institute of Shenyang Military Command (Liaoning Shenyang, 110162)

[ABSTRACT] A new shaped charge blasting perforation technique was used to improve the blasting efficiency on frozen soil. Professional blasting software was used to simulate the blasting perforation for frozen soil. Shaped charge perforation of frozen soil and blasting test verification were combined to solve the key technical problems of frozen soil perforation and soil-casting blast. Experiments show that numerical simulation results are similar to that of test. Hemispherical shaped charge perforator made by new materials is good for the penetration to frozen soil, and the straight blast holes could meet the demand of charging, in particular, the tandem charging. The perforation depth could be adjusted by changing the blasting height. Charging near the interface of frozen soil and soil could get the better shape of blasting holes.

[KEY WORDS] blasting technique; shaped charge perforation of frozen soil; numerical simulation; experimental verification