

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.016

+40 m 高位切口定向爆破拆除 一座150 m和两座210 m高烟囱^{*}

徐顺香^{1a}, 谢广波^{1a}, 陈德志^{2,3}, 罗 鹏^{1b,3}, 吴赛格^{1a}

(1. 武汉科技大学 a. 资源与环境工程学院; b. 理学院, 武汉 430081;

2. 武汉爆破有限公司, 武汉 430056; 3. 江汉大学 精细爆破国家重点实验室, 武汉 430056)

摘 要: 介绍了1座150 m高2座210 m高烟囱因倒塌空间不足而采用的高位切口爆破拆除工程实例。采用+40 m高位切口成功爆破拆除3座高大烟囱,待爆破烟囱均采用正梯形爆破切口,分三次实施定向倾倒爆破,采用孔内、孔外相结合的延时起爆技术,在烟囱倒塌方向铺设缓冲层、堆设防冲堤、开挖减震沟,爆破切口采用密目网、土工格栅覆盖防护等防护措施,通过测振仪对爆破振动进行监测,爆破飞散物和触地振动均控制在安全允许范围内,未对周围建(构)筑物造成损害。爆破效果表明:采用高位切口爆破能有效地解决倒塌空间局限的问题,且避免烟囱底部积灰平台、烟道口等因素影响倒塌方向,减少触地飞溅物的距离,降低触地振动和爆破振动;将钻孔钻透烟囱混凝土壁,打入内衬和隔热层中进行爆破,能够有效地处理烟囱内衬;钻孔取芯机预处理定向窗与导向窗,有利于减少用药量,有利于切口破碎,确保切口顺利闭合,有利于确保倾倒方向的精确性,对于同类型复杂环境下烟囱定向拆除具有一定的参考价值。

关键词: 钢筋混凝土烟囱; 爆破拆除; 高位切口; 安全防护措施

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0120-05

Directional Explosive Demolition of one 150 m and Two 210 m High Chimney by +40 m High Location Cutting

XU Shun-xiang^{1a}, XIE Guang-bo^{1a}, CHEN De-zhi^{2,3}, LUO Peng^{1b,3}, WU Sai-ge^{1a}

(1. a. School of Resource and Environmental Engineering;

b. College of Science, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China;

2. Wuhan Explosion and Blasting Co., Ltd., Wuhan 430056, China;

3. State Key Laboratory of Precision Blasting, Jiangnan University, Wuhan 430056, China)

Abstract: One 150 m high and two 210 m high chimneys have been successfully demolished by blasting with 40 m high trapezoidal cuts in an insufficient collapse space. Directional collapse blasting was carried out for three times by combining in-hole and out-hole delays. The protection measures included laying a cushion in the direction of chimney collapse, piling up an impingement dike, excavating a vibration damping ditch, putting a dense screen at the blasting cut and overlaying geogrids. Blast vibrations monitoring proved that the flying objects and blast vibrations were both controlled within the safety allowable range and no damage was caused to surrounding structures. The blasting effect shows that high blasting cuts can effectively solve the problem of limited collapse space, and avoid the influence of factors such as soot platform at the bottom of the chimney and flue entrance on the collapse direction. At the same time, this technique can also limit the flying distance of the splash on the ground and reduce the ground

收稿日期: 2022-06-26

作者简介: 徐顺香(1971-),女,副教授、硕士研究生,主要从事安全工程及爆破技术研发, (E-mail) 345422187@qq.com。

通讯作者: 陈德志(1970-),男,正高级工程师、博士,主要从事爆破工程及爆破技术研发, (E-mail) 345488258@qq.com。

基金项目: 湖北省自然科学基金重点项目(创新群体2020CFA043); 湖北省重点研发计划项目(2020BCA084)

contact vibration and blast vibration. In addition, the chimney lining can be effectively treated by blasting boreholes through the concrete walls of the chimney into the lining and insulation layer. Another good practice is to pretreat the directional windows and guide windows by a drilling and coring machine, which can reduce explosive charge and promote the breakage of the blasting cuts so as to ensure the exact direction of collapse.

Key words: reinforced concrete chimney; blasting demolition; high location cut; safety precautions

1 工程概况

1.1 工程环境

待拆三座烟囱位于台州发电厂厂区西部,沿钟山路南北并排布置。1#、2#、3#烟囱分别距北侧7#冷却塔282 m、193 m、104 m;距东侧升压站197 m、193 m、193 m,距1#机组煤仓间101 m、105 m、168 m;距东南生产办公楼136 m、199 m、279 m;距南侧电缆沟142 m、231 m、320 m;距西侧山体边坡10 m、11 m、11 m,距西侧新机组水泵房176 m、91 m、22 m;距西南侧洗衣房135 m、224 m、313 m,距雷达站245 m、311 m、384 m。工程环境见图1。

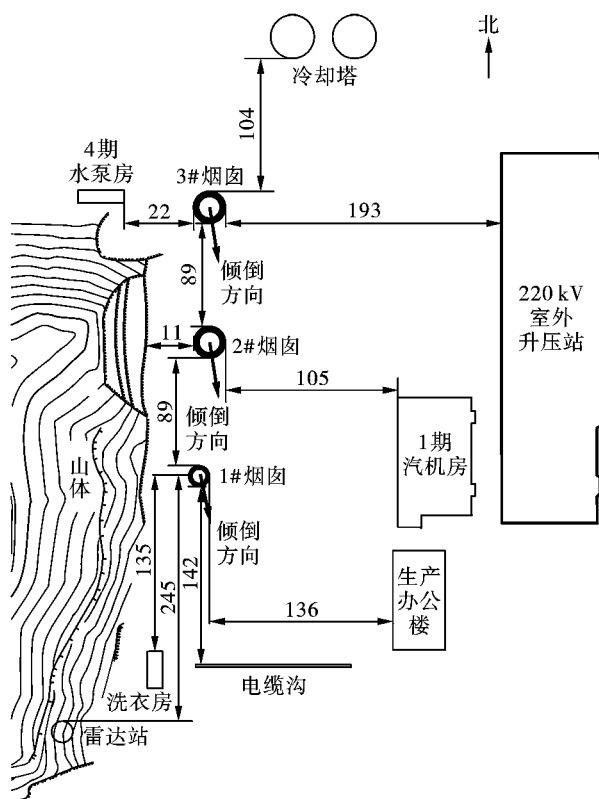


图1 工程环境图(单位:m)

Fig. 1 Engineering Environment(unit:m)

1.2 烟囱结构

1#烟囱为钢筋混凝土结构,高150.00 m,底部半径5.83 m, +5.00 m处半径5.705 m;0.00 m ~ +5.00 m处烟囱壁厚420 mm,无隔热层和无内衬,双层钢筋网。+5.00 m ~ +17.50 m,有80 mm厚

隔热层,240 mm厚内衬;+17.50 m以上隔热层均为80 mm,内衬厚度均为120 mm。标高+40.00 m外径4.83 m,壁厚320 mm。标高+150.00 m处外径为3.27 m,壁厚为220 mm。1#烟囱沿南北方向布置有两个烟道口、烟道口宽3.42 m、高7.50 m,位于标高+5.00 m处;烟囱东侧有一个出灰口,1.80 m宽、2.50 m高,位于标高0.00 m处。标高+40.00 m以上,筒身混凝土体积662.34 m³,隔热层体积205.55 m³,内衬297.16 m³。计算得出标高+40.00 m以上烟囱自重为1875.8 t, +40.00 m以上烟囱重心高度+85.1 m。标高+40.00 m处竖向筋布置为双层布筋,外布设52 ϕ 20竖向筋,内侧布设200 ϕ 16竖向筋。环向筋采用螺旋式箍筋布置方式,外侧钢筋布置规格为 ϕ 18@200,内侧布筋规格为 ϕ 14@200。

2#、3#两座烟囱结构相同,均为钢筋混凝土结构,高210.00 m,底部半径10.75 m。 ± 0.00 ~ +7.93 m处烟囱壁厚700 mm无隔热层和内衬,双层钢筋网。+7.93 ~ +17.15 m,有80 mm厚的隔热层和230 mm内衬;+17.15 m以上隔热层均为80 mm,内衬厚度均为120 mm。标高+40.00 m处,两烟囱外半径均为7.95 m,2#烟囱内半径7.42 m,壁厚530 mm,3#烟囱内半径7.45 m,壁厚500 mm;标高+210 m处外径为3.60 m,壁厚为380 mm。烟囱沿南北方向布置有两个烟道口,烟道口宽3.94 m、高9.22 m,位于标高+7.93 m处;烟囱东西侧有两个出灰口,1.80 m宽、2.50 m高,位于标高0.00 m处。标高+40.00 m以上,筒身混凝土体积1935.693 m³,内衬624.1 m³,计算得标高+40.00 m以上烟囱自重6087.43 t,标高+40.00 m以上重心高度+109.7 m。标高+40.00 m处竖向筋布置为双层布筋,外侧布设58 ϕ 28竖向钢筋,内侧布设46 ϕ 16竖向钢筋。环向筋布置为环向筋采用螺旋式箍筋布置方式,外侧钢筋布置规格为 ϕ 22@150,内侧布筋规格为 ϕ 12@200。

2 爆破方案

2.1 总体方案

根据各烟囱结构及周边环境特点,采用分三次实施向南偏东定向倾倒爆破的方案^[1,2]。三座烟囱均采用高切口定向爆破方案。1#烟囱在+40 m处

设置切口,倾倒方向为南偏东 11° 。2#210 m 高钢筋混凝土烟囱在 +40 m 处设置切口,倾倒方向为南偏东 6° 。3#210 m 高钢筋混凝土烟囱在 +40 m 处设置切口,倾倒方向为南偏东 9° 。

2.2 爆破切口

根据烟囱的结构和布筋情况,3 座烟囱均采用

正梯形爆破切口,位于地面以上 +40.00 m 标高处。用风镐、钻孔取芯机开爆破切口的定向窗与导向窗,具体操作:首先利用钻孔取芯机按照标注点依次对窗口各条边进行钻孔,最后利用滑轮将切下的混凝土构件推入烟囱内侧,再利用风镐将残余部分清除。爆破切口参数见表 1,爆破切口见图 2、图 3。

表 1 爆破切口参数

Table 1 Parameters of blasting cut

名称	开口角 $\beta/^\circ$	切口弧长 L/m	切口高度 H/m	定向窗 边长/m	定向窗 角度/ $^\circ$	定向窗 高度/m	导向窗 $L'/(\text{m} \times \text{m})$
1#	215	18.12	2.10	2.00	30	1.15	1.20 × 2.10
2#	215	29.82	3.20	2.00	30	1.15	1.20 × 3.20
3#	215	29.82	3.20	2.00	30	1.15	1.20 × 3.20

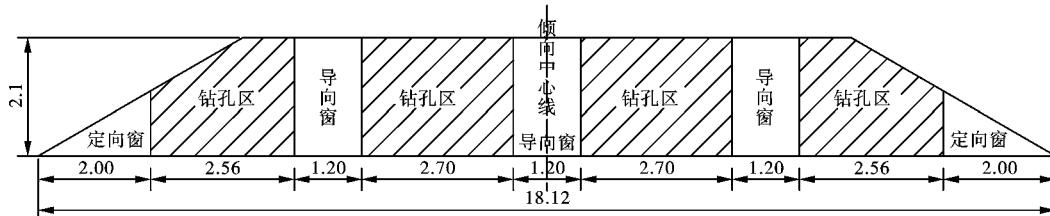


图 2 1#烟囱爆破切口图(单位:m)

Fig. 2 1# Chimney blasting cut diagram(unit:m)

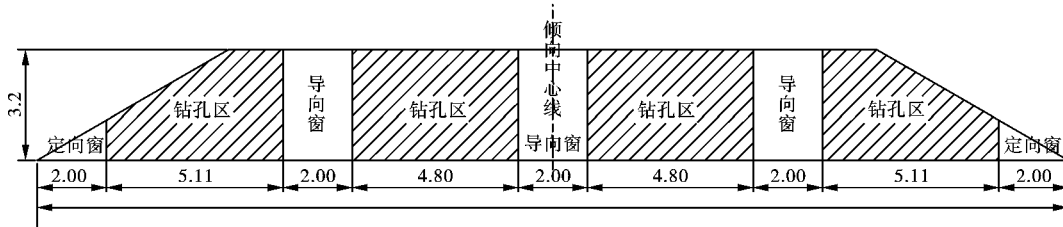


图 3 2#、3#烟囱爆破切口图(单位:m)

Fig. 3 2#、3# Chimney Blasting cut diagram(unit:m)

2.3 爆破参数

(1) 炮孔深度 $L = (0.6 - 0.85)\delta$, 其中 δ 为爆破切口处的筒壁厚度,1#烟囱壁厚 320 mm, $L = 0.19 \sim 0.27$ m, 炮孔深度 L 取 0.22 m;2#烟囱壁厚 530 mm, $L = 0.32 \sim 0.45$ m, 炮孔深度 L 取 0.37 m,3#烟囱壁厚 500 mm, $L = 0.30 \sim 0.43$ m, 炮孔深度 L 取 0.35 m。

(2) 1#烟囱孔距 $a = 0.30$ m, 排距 $b = 0.30$ m, 2#、3#烟囱孔距 $a = 0.40$ m, 排距 $b = 0.40$ m。

(3) 1#烟囱炸药单耗 $q = 2.32 \sim 3.47 \text{ kg/m}^3$, 单孔装药量 $Q = 67 \sim 100 \text{ g}$ 。共布置 8 排孔,上部 2 排和下部 2 排取 2.32 kg/m^3 ,中间 4 排取 3.47 kg/m^3 。2#烟囱炸药单耗 $q = 2.36 \sim 2.95 \text{ kg/m}^3$,3#烟囱炸药单耗 $q = 2.50 \sim 3.13 \text{ kg/m}^3$,单孔装药量均为 $Q = 200 \sim 250 \text{ g}$,共布置 9 排孔,上部 3 排和下部 2 排取 2.36 kg/m^3 ,中间 4 排取 2.95 kg/m^3 。爆破参数见表 2。

表 2 爆破参数

Table 2 Blasting parameters

名称	壁厚/ m	孔深/ m	孔距/ m	排距/ m	排数/ 个	孔数/ 个	单孔装药 量/g	加装 药强/g	单耗/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	加强单耗/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	总装药量/ kg
1#	0.32	0.22	0.30	0.30	8	252	67	100	2.32	3.47	21.04
2#	0.53	0.37	0.40	0.40	9	438	200	250	2.36	2.95	100.00
3#	0.50	0.35	0.40	0.40	9	438	200	250	2.50	3.13	100.00

2.4 内衬及隔热层处理

钻孔时将混凝土筒壁穿透,并打入内衬及隔热层中,保证内衬及隔热层中孔深不小于其壁厚的2/3。单耗取 3.0 kg/m^3 。孔位为爆破切口的下部两排,交替选取,内衬及隔热层爆破穿孔见图4。

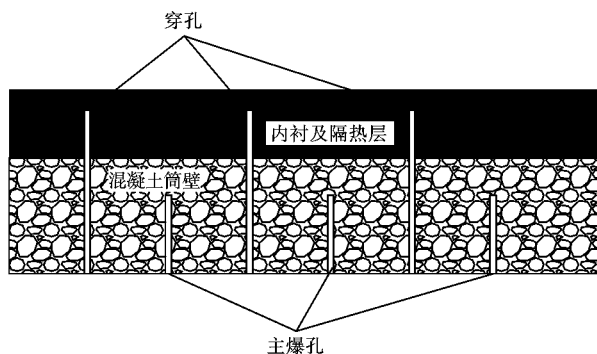


图4 内衬及隔热层爆破穿孔选取示意图

Fig. 4 Perforation schematic diagram of the inner lining and insulation blast

2.5 起爆网路

采用非电导爆管雷管延时起爆系统,分二段起爆。爆破切口中间采用MS-1段非电雷管,两侧采用MS-3段非电雷管,每18~20发非电雷管组成一簇用2发瞬发导爆管雷管连接,采用双发MS-1段非电雷管大把抓,形成交叉复式网路用起爆器起爆^[3-5]。

3 安全防护

3.1 爆破飞散物及触地飞溅防护

(1)爆破切口采用覆盖防护,由内至外分别为5层6针密目防晒网、3层网格为 $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ 土工格

栅、2层6针密目防晒网^[6,7],然后用铁丝捆扎牢固。飞散物防护图见图5。

(2)在缓冲层上覆盖防晒网,在防晒网上堆设土袋,提高土堆的整体性。

(3)爆破时,自1期厂房开始,沿南北方向平行于3#烟囱西向最大倾倒地边界(距离3#烟囱西向最大倾倒地边界28 m),挂设60 m长,6 m高防晒网。

(4)在烟囱倾倒方向正前方堆设宽6 m,高4 m的防冲堤。

(5)利用预留1期汽轮机厂房阻挡爆破飞散物。



图5 飞散物防护示意图

Fig. 5 Schematic diagram of protection for flying objects

3.2 触地振动控制

(1)选择碎砼块作为主体材料,在距烟囱60~190 m以及倾倒地中心线 $\pm 19^\circ$ 范围内敷设横截面为下宽6.0 m,上宽2.5 m,高4.0 m的等腰梯形缓冲层,在中间铺设渔网对缓冲层进行加筋,上部加盖防晒网和沙土袋^[8,9]。缓冲层见图6。

(2)在烟囱倾倒方向两侧挖两条长200 m,宽2 m,深1.5 m的减震沟。

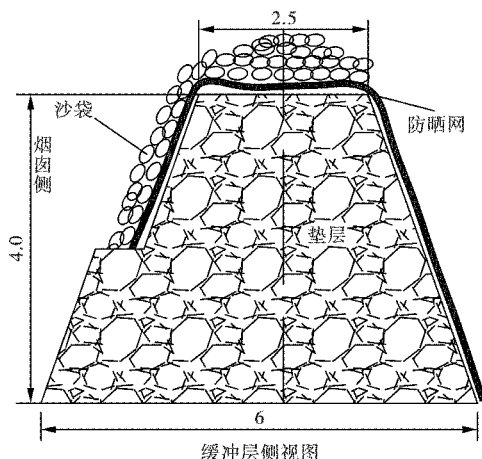


图6 缓冲层示意图(单位:m)

Fig. 6 Schematic diagram of buffer layer(unit:m)



3.3 其他安全防护

(1) 利用 10 mm 厚钢板对地下管网进行第一层覆盖, 钢板覆盖范围延伸至地下管网沟两侧 30 cm; 利用厂房拆除的渣土在钢板上方敷设 4 m 高的缓冲层; 缓冲层上覆盖防晒网; 在防晒网上堆设土袋。

(2) 爆后使用消防车在下风向洒水降尘。

4 触地振动分析

采用 TC-4850 测振仪监测爆破振动。通过对 3 个测点实测的振动数据进行分析, 发现烟囱触地振动要大于爆破振动, 烟囱倾倒正前方检修仓库处触地振动速度最大, 主振频率为 42 ~ 58 Hz, 最大振速为 0.88 cm/s, 小于《爆破安全规程》规定的安全振动速度 2 cm/s, 不会对周围建(构)筑物造成危害^[10-14]。

5 爆破效果与分析

通过分析爆破过程的录像, 1#烟囱整个倒塌过程约 11 s, 2#、3#烟囱整个倒塌过程约 13 s, 烟囱在爆破后约 2 s 均开始微微倾斜, 6 s 时切口完全闭合, 此时, 烟囱从开始下坐并伴随倾倒, 在此过程中下坐的速度大于倾倒的速度, 在下坐到积灰平台后烟囱快速倾倒。爆破后烟囱倒塌方向与设计方向基本一致, 倾倒后 1#烟囱爆堆长度 100 m, 2#、3#烟囱爆堆长度 165 m, 剩余部分约 40 m, 受到烟囱上部倒塌、下坐的影响, 剩余筒体部分被破坏, 剩余部分筒体如图 7 所示, 图中(a)为 1#烟囱倒塌剩余部分、(b)为 2#烟囱倒塌剩余部分、(c)3#烟囱倒塌剩余部分。

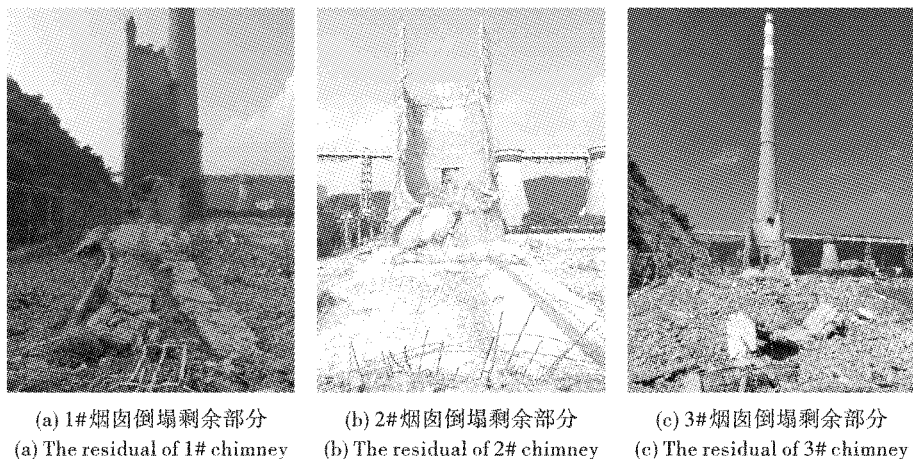


图 7 各烟囱剩余部分筒体示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the remaining cylinders of each chimney

6 结语

(1) 采用高位切口爆破, 可以消除烟囱底部烟道口、积灰平台等的影响, 保证烟囱定向倾倒的准确性。

(2) 采用高位切口爆破, 可以有效解决空间有限的问题并减小爆堆长度, 保证周围待保护设施的安全。

(3) 采用高位切口爆破高大烟囱, 能减少触地飞溅物的距离, 降低触地振动和爆破振动。

(4) 爆破效果证明, 近体防护、缓冲层和减震沟能有效地控制爆破飞石、触地振动等危害。

(5) 导向窗的开凿有利于减少用药量, 有利于切口破碎, 确保切口顺利闭合。

(6) 将钻孔钻透烟囱混凝土壁, 打入内衬和隔热层中进行爆破, 能够有效地处理烟囱内衬。

参考文献 (References)

[1] 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.

- [1] LI Ben-wei, CHEN De-zhi, ZHANG Ping, et al. Demolition of a 180-meter-superheight reinforced concrete chimney by directional blasting[J]. Blasting, 2011, 28(4): 57-60, 68. (in Chinese)
- [2] 马红卫, 郑健礼, 刘鹏虎. 125 m 高钢筋混凝土排气塔定向爆破拆除[J]. 爆破, 2010, 27(4): 85-87.
- [2] MA Hong-wei, ZHENG Jian-li, LIU Peng-hu. Directional explosive demolition of 125 m reinforced concrete exhaust tower[J]. Blasting, 2010, 27(4): 85-87. (in Chinese)
- [3] 程贵海, 刁 约, 唐春海, 等. 80 m 高烟囱高位切口定向爆破拆除[J]. 爆破, 2014, 31(2): 108-110.
- [3] CHENG Gui-hai, DIAO Yue, TANG Chun-hai, et al. Directional explosive demolition of 80 m high chimney by high location cutting[J]. Blasting, 2014, 31(2): 108-110. (in Chinese)

(下转第 137 页)