

# 国能双鸭山 180 m 高钢筋混凝土烟囱爆破拆除\*

张龙飞<sup>1</sup>, 王明玉<sup>2</sup>

(1. 乌兰察布市安平爆破作业有限公司, 内蒙古 乌兰察布市 012000;

2. 辽宁工程技术大学 爆破技术研究院, 辽宁 阜新市 123000)

**摘要:**为使 180 m 高钢筋混凝土烟囱在周边环境复杂的情况下安全爆破拆除,通过开设 1 大 4 小 5 个减荷槽、选择适当的爆破参数、配置延时起爆网络和实施安全防护等技术措施,确保了待拆除爆破烟囱的顺利倒塌。最终效果表明,通过适当增加减荷槽的数量,可以更好地控制烟囱的倒塌方向和速度。最终,烟囱倒塌位置准确,爆破效果良好,扩大了拆除爆破技术应用范围,可为类似工程提供参考。

**关键词:**钢筋混凝土烟囱;爆破拆除;减荷槽;爆破效果

## 1 工程概况

黑龙江省国能双鸭山市发电厂位于双鸭山市宝山区七星镇八分场,1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 200 MW 发电机组由于产能升级,发电机组、烟囱及锅炉厂需要拆除,要求将 1<sup>#</sup> 烟囱(高 180 m)进行爆破拆除。

### 1.1 烟囱结构

待拆除烟囱高 180 m,为钢筋混凝土结构,两个烟道口,烟道口与东西方西轴线夹角为 45°,烟道口宽为 5.0 m,高为 8 m。烟囱底部外直径为 24.74 m,壁厚为 0.5 m,无隔热层和内衬;标高 20 m 处外直径为 21.14 m,壁厚为 0.5 m,隔热层厚为 0.08 m,内衬耐火砖厚为 0.24 m;标高为 100 m 处外直径为 10.34 m,壁厚为 0.26 m,隔热层为空气层厚为 0.05 m,内衬耐火砖厚为 0.12 m。

### 1.2 周边环境

待拆除 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 200 MW 机组 180 m 烟囱位于黑龙江国能双鸭山发电有限公司厂区内,具体环境如图 1 所示。

### 1.3 工程特点及技术难点

- 待拆除烟囱周边环境较为复杂。
- 180 m 烟囱在爆破倾倒下产生的动能较大,会对地面产生较大的震动;塌落触地粉尘也较大。
- 可供烟囱倒塌方向上倒塌后烟囱顶部位置距周围被保护对象最近安全距离不足 100 m,顶部

冲击控制难度大。

## 2 烟囱结构爆破方案选择

根据控制爆破原理,结合烟囱的结构特点及其周边环境情况,认为在技术上比较可行的方案是:将烟囱倒塌方向确定为朝向 2<sup>#</sup> 冷却塔中心方向(烟囱爆破时 2<sup>#</sup> 冷却塔已经完成爆破及垃圾清运),20 m 处定向倒塌控制爆破方案所需要的场地能够满足,且塌落触地振动和冲击波都在可控范围内,减震沟开设工作量大,可提前采取多台设备挖掘施工。因此,综合确定采用 20 m 处定向倒塌控制爆破方案。

## 3 爆破技术设计方案

为了降低烟囱实际倒塌高度,通过搭设钢管脚手架将作业平台提高至 20 m 处,即在烟囱 20.5 m 标高处向上进行钻孔爆破。

### 3.1 方案分析比较与确定

#### 3.1.1 切口位置

根据本工程烟囱结构和实际施工需要,结合以往施工经验,确定采用正梯形爆破切口<sup>[1]</sup>。

- 竖直位置。在烟道口不影响爆破切口对称性的条件下,根据尽量降低切口位置的原则,同时考虑钻孔施工可操作性的因素,将爆破切口的下边界定于 20.5 m 处,爆破切口尺寸如图 2 所示。

\* 收稿日期: 2023-04-22

作者简介:张龙飞(1988—),男,河北邢台人,硕士,工程师,主要从事爆破振动、爆破拆除方面的研究工作,E-mail: 515005859@qq.com。

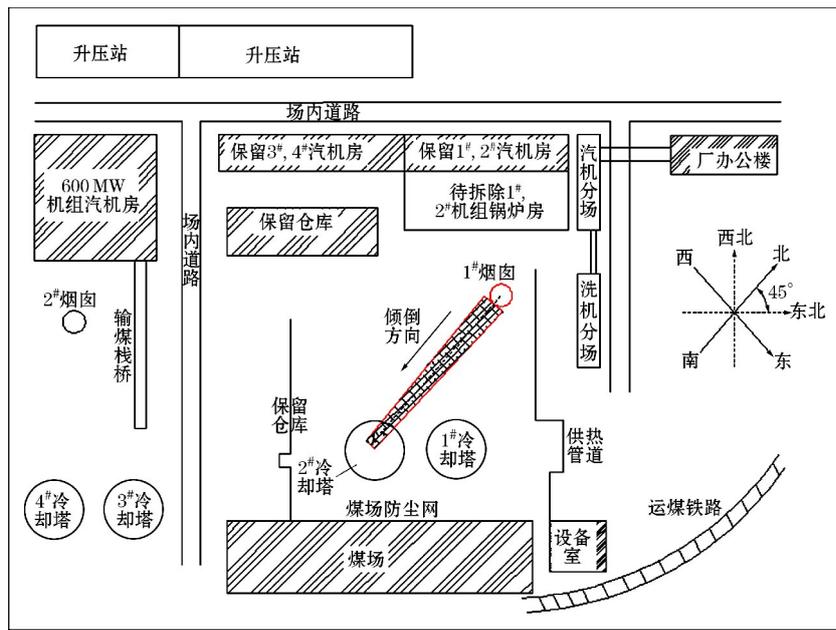


图1 烟囱周边环境

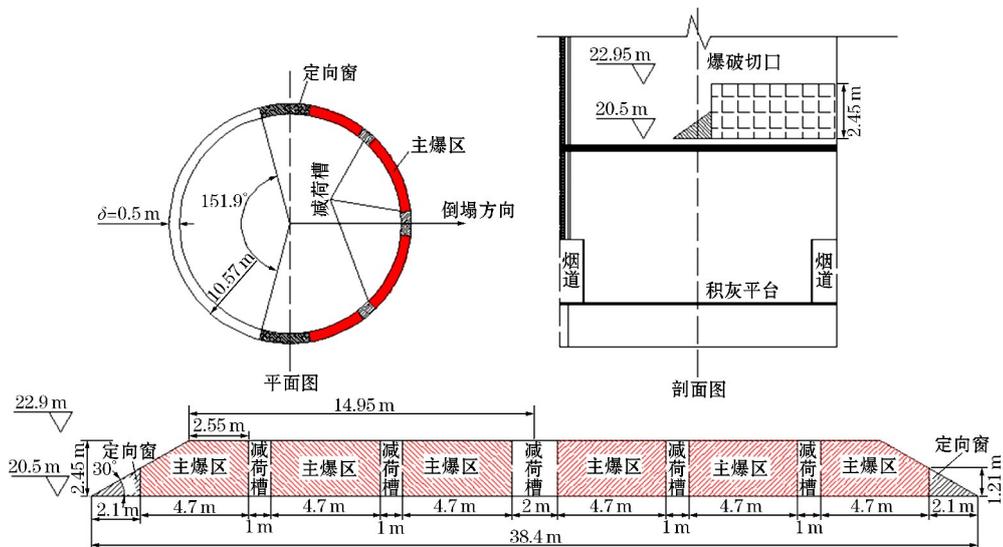


图2 爆破切口尺寸

(2) 水平位置。爆破切口水平位置位于倒塌中心线两侧,沿倒塌中心线对称布置。

### 3.1.2 切口弧长

烟囱采用定向倒塌设计方案,一般是对其底部筒壁实施爆破。不考虑烟道口和出灰口的位置时,爆破切口长度是筒壁周长的 $1/2\sim 2/3$ ,其对应的圆心角为 $180^\circ\sim 240^\circ$ ,即:

$$(1/2)\pi D \leq L_c \leq (2/3)\pi D \quad (1)$$

式中, $L_c$ 为爆破切口弧长<sup>[2]</sup>;  $D$ 为爆破部位筒壁外直径。

对于强度较小的砖砌圆筒形高耸建(构)筑物, $L_c$ 可以取小值;而对强度较大的钢筋混凝土结构的

圆筒形高耸建(构)筑物, $L_c$ 取大值。

根据以往经验及对烟囱结构的分析,一般钢筋混凝土烟囱取 $206^\circ\sim 210^\circ$ 圆心角,计算时取 $208^\circ$ ,根据烟囱结构图可知:20.5 m高位置处烟囱外直径为21.4 m,代入式(1)得 $L_c = 38.37$  m,取38.4 m,即 $208.1^\circ$ 。

### 3.1.3 切口高度

爆破切口高度<sup>[3]</sup>过小,圆筒形高耸建筑物在倾倒过程中会出现偏转,达不到正确的倾倒方向;爆破切口过大,在倾倒过程中容易出现后坐现象,同时会增加钻孔工作量。

根据爆破部位的壁厚 $\delta$ 确定爆破切口的高度

$h=(3\sim 5)\delta$ ,砖烟囱的壁厚较厚时,取小值;钢筋混凝土烟囱壁厚较薄时,取大值。切口高度: $h=(3\sim 5)\times 0.5\text{ m}=1.5\sim 2.5\text{ m}$ ,综上所述,考虑到炮孔间排距的影响,切口高度取2.45 m。

### 3.1.4 定向窗

定向窗<sup>[4]</sup>是将保留部分和爆破部分隔开,使切口在爆破时保留部分不受影响,以保证正确的倒塌方向。定向窗底角一般选取 $\alpha=25^\circ\sim 35^\circ$ ,选取定向窗长为2.1 m,高为1.21 m,底角为 $30^\circ$ 。

### 3.1.5 减荷槽

根据以往经验并结合本工程在20.5 m处开设爆破切口特点,拟定开设1大4小5个减荷槽<sup>[5]</sup>,尺寸如下:中轴线大减荷槽高为2.45 m,宽为2 m;4个小减荷槽高为2.45 m,宽为1 m,对称布置在倒塌中心线两侧。

## 3.2 爆破参数

### 3.2.1 炮孔深度

根据国内外的施工经验,合理的炮孔深度<sup>[6]</sup>可以按下式确定,对于薄壁结构建筑物:

$$L=(0.6\sim 0.7)\delta \quad (2)$$

式中, $\delta$ 为壁厚,取为0.5 m,代入数据得: $L=(0.3\sim 0.35)\text{ m}$ ,实取 $L=0.34\text{ m}$ 。

### 3.2.2 炮孔间距和排距

炮孔间距 $a$ 和排距 $b$ 见式(3)<sup>[7]</sup>:

$$a=(0.85\sim 0.95)\delta, b=0.866a \quad (3)$$

分别代入数据得: $a=0.289\sim 0.323\text{ m}$ ,为减少钻孔工作量,保证烟囱的稳定性,结合对薄壁结构爆破工程经验,实取0.4 m。 $b=0.866a=0.3464\text{ m}$ ,实取0.35 m,即孔距 $a$ 取0.4 m,排距 $b$ 取0.35 m。

### 3.2.3 单孔装药量 $Q_{\text{单}}$ 的确定

单孔装药可按体积公式计算<sup>[8]</sup>:

$$Q_{\text{单}}=qab\delta \quad (4)$$

式中, $q$ 为炸药单耗,筒壁为薄壁结构,单耗取 $2000\text{ g/m}^3$ ,代入计算得 $Q_{\text{单}}=140\text{ g}$ ,实取150 g。

### 3.2.4 总装药量

根据爆破切口尺寸及炮孔排间距可知:切口爆破区:共布置8排炮孔,共计550个炮孔,按单孔装药150 g计算,总装药量 $Q_{\text{总}}=82.5\text{ kg}$ 。

## 3.3 爆破分区

为了降低单段起爆药量,提高爆破效果,本工程采用电子数码雷管分区分段进行爆破,从倒塌中心向两侧依次分段起爆<sup>[9]</sup>。

本次烟囱爆破分为3个起爆区,从倒塌中心向两侧依次起爆,见图3和表1。

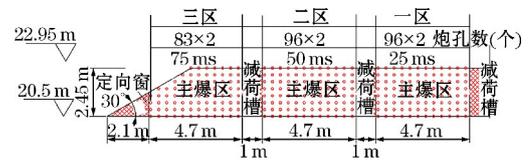


图3 炮孔布置及爆区划分

表1 上部切口爆破参数汇总表

分区	孔距/ m	排距/ m	孔深/单孔装药量/ m kg	炮孔 数量/个	分区装药量/ kg
一区(25 ms)				192	28.8
二区(50 ms)	0.4	0.35	0.34	192	28.8
三区(75 ms)				166	24.9
合计				550	82.5

## 3.4 起爆网络

每孔内一发雷管,起爆网络采用孔内25 ms、50 ms、75 ms延期,用数码电子雷管起爆器起爆。网络连接如图4所示。

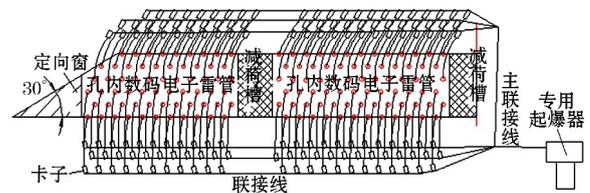


图4 起爆网络

## 4 爆破安全验算

### 4.1 爆破前的稳定性验算

(1) 烟囱预处理后其剩余壁体的支撑面积:

$$S_1=\pi(R^2-r^2)\left(1-\frac{\sum a_i}{360^\circ}\right) \quad (5)$$

式中, $R$ 为爆破切口的平均外径,m; $r$ 为爆破切口的平均内径,m; $\sum a_i$ 为预切的定向窗、减荷槽圆弧所对的圆心角的和,将 $R=10.57\text{ m}$ , $r=10.07$ , $\sum a_i=55.29^\circ$ ,代入得 $S_1=27.44\text{ m}^2$ 。

(2) 由烟囱荷载引起的压应力:

$$P=\frac{F}{S_1} \quad (6)$$

式中, $F$ 为烟囱的重力,N。

根据设计图纸所使用的原材料工程量估算,180 m高烟囱20 m以上的质量 $M=5856.1\text{ t}$ ,将 $F=G=Mg=5.856\times 10^7\text{ N}$ ,将 $S_1=27.44\text{ m}^2$ 代入式(6)得 $P=2.13\text{ MPa}$ 。

已知烟囱的混凝土拉压强度为  $\sigma_c = 30 \text{ MPa} > 2.13 \text{ MPa}$ , 因此, 预处理后烟囱不会由于自身荷载作用使混凝土材料压碎、失稳。

## 4.2 爆破后危害效应验算

### 4.2.1 塌落振动<sup>[10]</sup>

$$V_t = K_t \left[ \frac{R}{(Mgh/\sigma)^{\frac{1}{3}}} \right]^{\beta} \quad (7)$$

式中,  $V_t$  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, 本工程中取烟囱质量  $M = 5856.1 \text{ t}$ ;  $g$  为重力加速度,  $10 \text{ m/s}^2$ ;  $H$  为烟囱重心高度  $90 \text{ m}$ ;  $\sigma$  为建筑物爆破后解体混凝土构件的破坏强度, 一般取  $10 \text{ MPa}$ ;  $R$  为震中距, 塌落中心等效位置位于烟囱倒塌方向  $100 \text{ m}$  左右, 距  $600 \text{ MW}$  主厂房汽轮机约  $350 \text{ m}$ , 到升压站  $330 \text{ m}$ ; 到保留库房距离为  $70 \text{ m}$ , 到保留库房(3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 机组锅炉房)  $130 \text{ m}$ ;  $K_t$ 、 $\beta$  为塌落振动主振波形峰值振速的衰减系数和指数, 取  $K_t = 3.37 \sim 4.09$ 、衰减指数  $\beta = -1.66 \sim -1.80$ , 采用减震沟和减震土墙时衰减系数  $K_t$  为烟囱的  $1/3 \sim 1/2$ , 保守取  $K_t = 2.0$ ,  $\beta = -1.66$ 。

计算后得: 烟囱倒塌后的塌落触地振动在  $600 \text{ MW}$  主厂房汽轮机为  $0.17 \text{ cm/s}$ , 在升压站为  $0.19 \text{ cm/s}$  满足运行中的水电站及发电厂中心控制室设备的震动需要; 再保留库房(3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 机组锅炉房) 振动为  $2.53 \text{ cm/s}$ , 满足一般民用建筑、工业和商业建筑物的震动需要。

### 4.2.2 爆破震动

由于爆破部位处于  $20 \text{ m}$  高空状态, 振动传播值很小, 因此, 根据经验计算对周边建筑物无影响。

### 4.2.3 个别飞石距离的计算

个别爆破飞石的最大水平距离按以下经验公式计算:

$$V = 20k \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{w} \right)^2, S = Vt = V \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (8)$$

式中,  $V$  为飞石初速度,  $\text{m/s}$ ;  $Q$  为单孔最大药量,  $\text{kg}$ ;  $w$  为最小抵抗线,  $\text{m}$ ;  $k$  为系数,  $0.2 \sim 0.5$ ;  $g$  为重力加速度, 取  $10 \text{ m/s}^2$ ;  $S$  为个别飞石水平方向最大距离,  $\text{m}$ ;  $t$  为飞石飞行时间;  $H$  为炮孔高度时, 个别飞石的水平距离最远。

为避免个别飞石对周围环境造成危害, 依托  $20 \text{ m}$  作业平台处提前做好保护平台, 在保护平台上、下、侧面包裹钢丝网、密目绿网等对飞石进行防护, 可控爆破飞石在  $30 \text{ m}$  之内。警戒时应加大警戒范围。

## 5 爆破安全控制

### 5.1 爆破飞石防护

通过个别飞石安全验算, 需要进行加强防护才能将爆破飞石控制在合理范围内。

#### 5.1.1 加强爆破切口筒壁的近体防护和距离防护

考虑  $20 \text{ m}$  处钢管作业平台在  $1.5 \text{ m}$  宽处, 作业空间受限制, 特设计烟囱上轻体高强防护, 在开始钻孔施工前就将距离防护措施做好, 在距烟囱  $1.5 \text{ m}$  处防护脚手架挂设 2 层  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  的钢丝网和密目绿网作为爆破时的距离防护, 同时兼顾钻孔施工安全防护; 在炮孔装好炸药后在所有爆破部位筒壁外侧挂设 2 层钢丝网 1 层密目绿网做近体防护, 如图 5 所示。

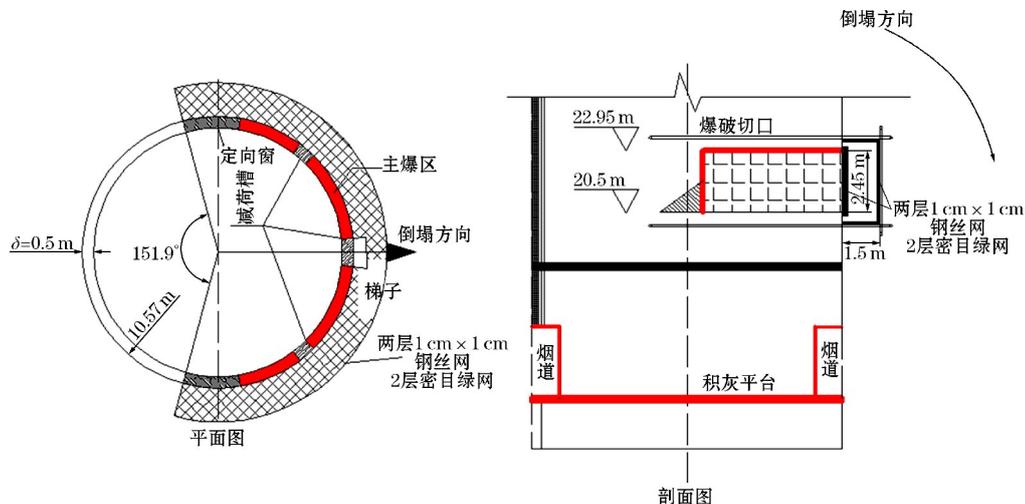


图 5 爆破部位防护示意

### 5.1.2 被保护对象的重点部位防护

因为烟囱爆破时飞石飞散范围较大,因此,烟囱东南方向煤场设备室距150 m范围内朝向烟囱爆破切口一侧的窗户用草帘或钢丝网将窗户进行遮挡。

### 5.2 塌落振动防护

考虑烟囱倒塌的特点,在其倒塌方向开挖20~30 m宽的4道减震沟,并将挖出的土在减震沟背离两侧敷设共4道缓/防冲土墙(土内不应有石块等易飞溅物),并在缓冲土墙顶宽1 m平台上均匀铺设一层土袋以增加与烟囱接触时土墙的缓冲效果。最后考虑烟囱头部触地位置位于2<sup>#</sup>冷却塔环形池内,将池内地基做软化处理并在东南半圈水池依托池壁外侧堆高2~3 m防冲土墙,将头部的冲击波挡在水池与防冲土墙内侧,减震措施布置,如图6所示。

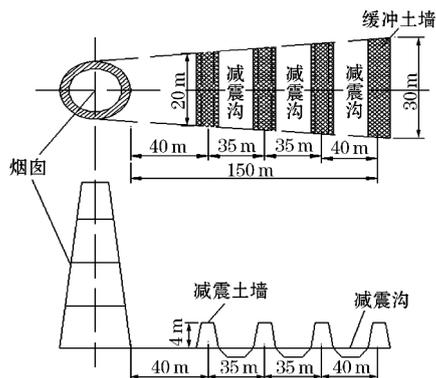


图6 减震防冲措施布置

## 6 爆破效果分析

烟囱在爆破拆除过程中按设计方向准确倒塌在预设范围内,无后坐现象发生,筒体破碎充分,对周边建筑物无影响,无安全事故发生,爆破各项指标均在可控范围内,多减荷槽定向倒塌控制爆破达到预期效果,烟囱倒塌过程如图7所示。



图7 烟囱倒塌过程

## 7 结论

(1) 采用一大四小5个减荷槽可以更好地控制烟囱的倒塌方向和速度,从而确保倒塌的安全性。

(2) 选择适当的爆破参数,如爆破药量、爆破延时和起爆网络,可以有效控制烟囱的倒塌形态和减小烟囱倒塌对周边环境的影响。

(3) 本研究的成功经验可以为类似的拆除爆破工程提供参考和借鉴,扩大了拆除爆破技术的应用范围。

### 参考文献:

- [1] 吴庆,夏云鹏,张耀良. 烟囱不同爆破缺口下的定向倒塌效果数值模拟[J]. 火工品, 2022(2):63-68.
- [2] 戴俊. 筒形建筑物爆破拆除缺口参数的力学分析[J]. 爆破器材, 1995(5):16-21.
- [3] 申荣光,蒋华林,杨英明. 建(构)筑物拆除爆破切口高度理论分析[J]. 中国科技信息, 2015(21):25-27.
- [4] 成磊,林大能. 株洲市钢铁厂58m高烟囱的定向爆破[J]. 采矿技术, 2018,18(5):132-133.
- [5] 王洪,郑刚. 双曲线薄壁冷却塔控爆拆除[J]. 爆破, 2012, 29(3):89-91.
- [6] 许登根. 钢筋混凝土梯道柱爆破拆除[J]. 爆破, 2003(1):70-71.
- [7] 刘彦庆,陈聪. 浅谈纵向混凝土围堰松动爆破拆除技术[J]. 四川水利, 2022,43(2):77-80.
- [8] 周灿,段元振,方桂富. 湘祁二线船闸复杂环境定向拆除爆破技术实践[J]. 工程爆破, 2022,28(3):70-76.
- [9] 罗福友,王云茂,刘成敏,等. 分区延时技术在砖混结构楼房爆破中的应用[J]. 工程爆破, 2019,25(3):43-48.
- [10] 杨志红,郑文富,何慧明,等. 框架核心筒结构高层建筑的定向倒塌爆破拆除[J]. 爆破器材, 2022,51(6):60-64.