

高烟囱拆除爆破及塌落振动测量和分析

周家汉 金保堂 陈善良

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 对 80m 高钢筋混凝土烟囱的特殊筒壁结构组成及烟道口尺寸大的结构特点, 提出的设计方案使烟囱爆破后准确地倒塌在设计的方向上。监测烟囱爆破及塌落的振动速度和设计预测值吻合, 并给出了振动速度随距离的衰减规律。

关键词 烟囱, 爆破拆除, 振动

1 工程概况

根据北京市朝阳区公园建设发展规划和全市供热系统煤改气要求, 西小区原建烧煤供热锅炉房将停止使用, 烟囱也将废弃。高 80m 的钢筋混凝土烟囱的存在有碍邻近已建楼宇大厦的视野和景观, 经有关方面协商决定将烟囱进行拆除。烟囱爆破拆除后将在该地开发建设新的房地产项目。

该烟囱座落在朝阳公园西小区原热力厂区内, 北边 35m 外是高尔夫球场, 西南两侧 20m 为原热力厂锅炉厂房。景园大厦在烟囱东边 250m 以远处, 烟囱与景园大厦之间有待拆除的天车行架和几间临建平房。

高 80m 的钢筋混凝土烟囱结构强度大, 采用常规方法拆除难度大, 施工作业不安全, 工期长。定向爆破拆除技术是一种快速又安全的施工方法, 特别适用于烟囱、水塔类高耸建筑物的拆除。采用控制爆破技术定向爆破拆除烟囱安全可靠, 爆破施工操作简单, 倒塌方向准确, 爆后易于清理, 工期短。

该烟囱是采用滑模施工方法建筑的。外层钢筋混凝土厚 32cm, 内衬为 15cm 厚的耐热陶粒混凝土, 内外之间的隔热层是加气混凝土砖。在浇筑成型过程中, 中间的加气混凝土砖用着内外不同混凝土的隔模板, 因此三种材料组成的烟囱筒壁连成一体。

烟囱爆破拆除施工要求将烟囱定向爆破倒塌在设计的方向上, 烟囱爆破及塌落的震动不能造成对邻近建筑的损害和不良影响。

2 定向爆破拆除方案

2.1 倒塌方向选择

该座烟囱的烟道位于西侧, 烟道口高 5.8m、宽 3.2m, 烟道出口有钢筋混凝土加固圈。出灰口在东侧。由于烟道口尺寸大, 为准确地控制烟囱爆破后的倒塌方向, 应选择烟囱结构的对称线作为倒塌方向。考虑烟囱东侧有较空旷的场地, 爆破设计确定烟囱爆破后倒塌方向为正东方向。

2.2 爆破部位的确定

爆破部位只是在烟囱的下部。烟囱爆破拆除设计一般是将倒塌一侧的底部筒壁周长的 $1/2-2/3$ 进行爆破，余下的部分作为支撑，在重力弯矩作用下烟囱主体将失稳向爆破一侧倾倒塌落。由于该烟囱的烟道口尺寸大，不同于一般结构的烟囱，要对爆破切口的大小进行分析计算，校核爆破后支承部分的抗压强度，防止烟囱下座造成方向偏离。支承部分的抗压强度

$$\sigma = P/S$$

这里， P 是烟囱的自重， S 为爆破后残留作为支撑的筒壁断面积。烟囱体积 $V = 490\text{m}^3$ ，钢筋混凝土容重 $2.6\text{t}/\text{m}^3$ ，取钢筋混凝土抗压强度 $\sigma = 30\text{MPa}$ （筒壁钢筋混凝土中的钢筋含量为5%，这里不计钢筋和钢筋混凝土的抗压强度差）。计算要求的极限承载面积不小于 4250cm^2 。为了使残留断面积有足够的支撑能力，爆破设计取保留段承载面积的安全系数为3。烟囱钢筋混凝土层壁厚 $\delta = 0.32\text{m}$ ，经计算，要求保留段作为支撑部分的园周弧长为

$$L = 3S/\delta = 400\text{cm}$$

其长度所对应的圆心角为 78° ，烟道口所对应的圆心角为 55° ，计算说明爆破设计可以选择爆破部分（包括预开三角形切口）圆心角为 220° 。烟囱爆破时，保留部分（烟道口在爆前将用水泥方砖砌堵）具有足够的支承强度，不会造成烟囱后座。

2.3 爆破设计参数

烟囱高度	80m	钻孔直径	40mm
爆破部位的圆心张开角	220°	钻孔深度	50cm
爆破部位的炮孔布置高度	2.5m	钻孔间距，排距	$40\text{cm} \times 40\text{cm}$
预开三角形切口底边长	2.0m	炮孔数目	106
单孔装药量	250g		
总药量	26.5kg		

烟囱拆除爆破炮孔装药结构如图1所示。

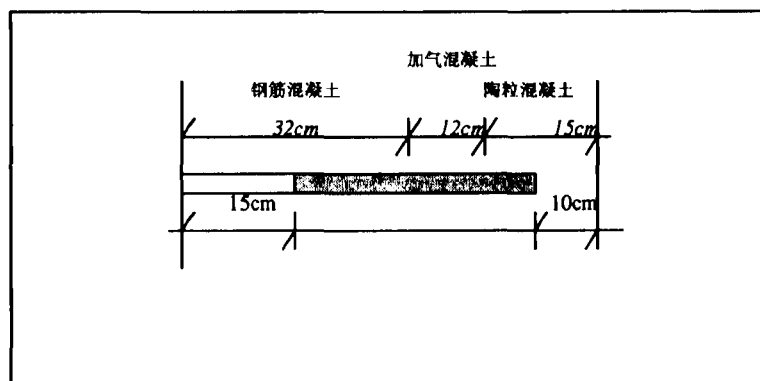


图1 烟囱拆除爆破炮孔装药结构

Fig. 1 Form of the bore hole in chimney wall

2.4 药量计算

烟囱拆除爆破为浅眼爆破法,炸药能量作用于破碎的有效利用率低,拆除爆破要求使爆破部位的钢筋混凝土破碎离开,因此设计单位体积耗药量 $q=2.6 \text{ kg/m}^3$,计算单孔装药量:

$$Q_i = q \times a \times b \times \delta = 250\text{g}$$

爆破总药量为 26.5kg。

2.5 起爆网路

全部采用瞬发电雷管,串联回路。采用高能(1000型)起爆器起爆。

3 烟囱爆破拆除振动安全设计校核

烟囱拆除爆破时的震动来源于炸药爆破能量造成的地面振动,还有烟囱塌落着地的冲击地面振动。烟囱拆除爆破设计一次起爆药量为 27.5kg。由于爆破部位在地面以上,参考北京地区以往类似工程经验,可以采用以下经验公式进行计算^[1]。

$$V_1 = K_1 (R/Q^{1/3})^\alpha$$

这里, $K=110$ $\alpha=-1.7$

计算爆破时在距离烟囱 50m 处的地面振动速度为 0.75cm/s。

烟囱塌落着地振动按下面的经验公式计算^[1]

$$V_2 = K_2 [R/(MgH/\sigma)^{1/3}]^\beta$$

这里, M 为烟囱的质量, H 为烟囱的高度 (80m), g 是重力加速度 (10m/s^2), σ 为倒塌地面介质的破坏强度 (5MPa)。参照以往类似工程实测资料选取 $K_2=3.86$, $\beta=-1.6$, 计算给出 50m 处烟囱塌落着地振动速度为 1.47cm/s, 前方 30m 处塌落振动速度 3.32cm/s。上述计算的爆破振动和烟囱塌落振动强度说明, 烟囱爆破及塌落振动强度将不会对距离 80m 以远处的建筑物造成损坏。

4 爆破及塌落着地振动监测与分析

鉴于以往建筑物爆破拆除塌落振动实测资料尚少^{[2][3][4]}, 特别是烟囱、水塔类高耸构筑物。本次爆破拆除对烟囱爆破拆除的爆破及塌落着地振动进行了监测。监测方案是: 在塌落中线前方和垂直方向各布置三个测点 (每点设置垂直地面和水平方向的拾震器) 记录爆破及塌落振动过程, 分析振动衰减规律和振动特性, 测点布置如图 2。

监测结果表明烟囱拆除爆破时, 爆破振动幅值较小, 在同一测点的塌落振动幅值大 (见图 4)。在距烟囱塌落前方 25m (距烟囱根部 105m) 处地面震动最大速度为 4.2 cm/s, 相应处的爆破振动速度仅为 0.52cm/s; 前方 65.6m 处的塌落振动速度为 1.82 cm/s。实测结果略高于预报值。高大烟囱爆破拆除时当烟囱塌落着地会造成附近地面产生较大的震动, 其塌落的振动强度对临近建筑物的影响应引起足够的重视。但在一定距离以外处, 振动强度将很快衰减 (见图 5)。

通过实测烟囱塌落着地振动速度分析, 给出塌落振动速度衰减的经验公式为:

$$V_2 = 3.39 [R/(MgH/\sigma)^{1/3}]^{-1.8}$$

从实测的振动速度的走时曲线记录分析, 我们看到第一个信号是炸药起爆后爆破产生

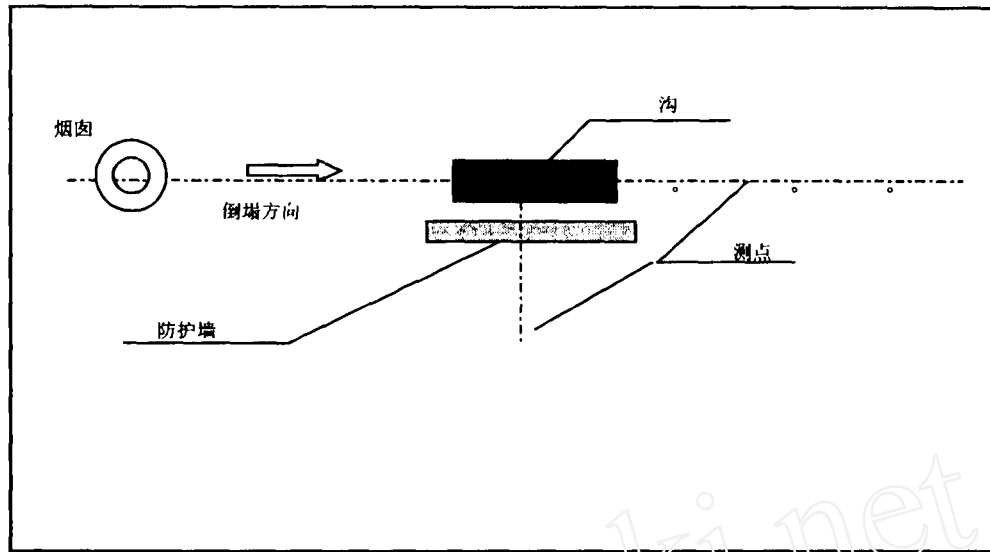


图2 烟囱倒塌地段防护及振动监测布置图

Fig. 2 The arrangement of the vibration transducer for monitoring

的振动;1.7秒后是未爆破部分在上部载荷作用下破坏失稳,烟囱本体垂直下落到地的振动,其值和爆破振动幅值差不多;大约在5.8秒时,烟囱倾斜运动,爆破部分的上口着地,即所谓闭合时的着地振动;最后在10.4秒,烟囱本体似一刚性杆倒塌着地的振动,其振动速度幅值最大。

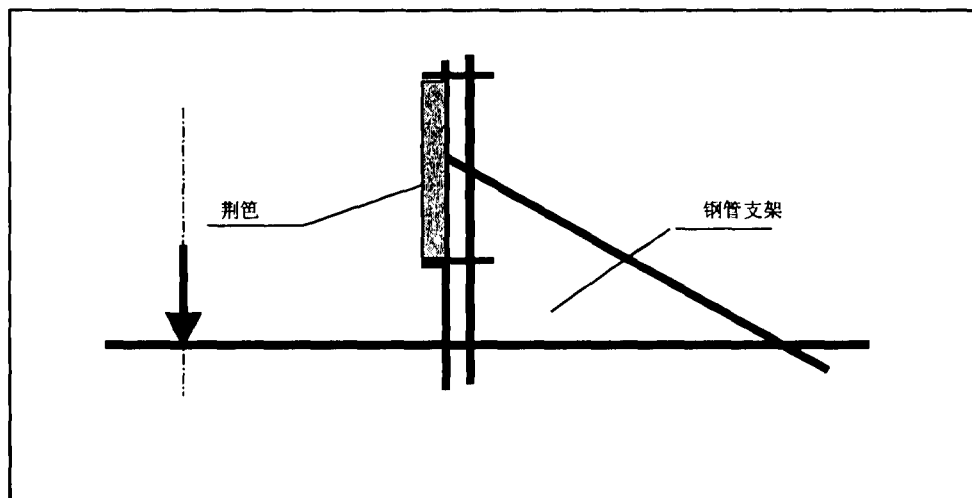


图3 荆笆防护墙结构图

Fig.3 Protective wall made of basketry for keep out the crushed stone When chimney collapsing

5 安全防护措施

根据该烟囱的结构特点和现场的环境情况,拆除爆破设计烟囱在爆破后将定向倒塌在正东方向。爆破部位只是烟囱的下部。爆破部位已按一定孔距和排距布置炮孔装药堵塞,

并对爆破部位进行覆盖防护。

爆破设计说明烟囱拆除爆破时造成的地面振动不会影响建（构）筑物的安全。烟囱塌落时，烟囱的筒体将碰扁破碎，由于烟囱倒塌着地速度较大，烟囱破碎后的碎块飞溅可能在一定范围内构成不安全因素。为了减少飞石碎片的危害，防止飞石造成伤害，爆破设计施工要求在烟囱上部 30m 段塌落的地段两侧（或一侧）设置防护档墙，在烟囱上部一段倒塌的地面上开挖沟槽。（见图 3）。这些防护安全措施有效地防止烟囱倒塌破碎后碎块的飞溅。爆破前在倒塌方向一线的地面上洒水减少了烟囱倒塌着地产生的尘土飞扬。

爆破后，烟囱准确地倒塌在设计的正东方向上。设置在倒塌一侧 6m 的荆笆防护墙完好无损，防护墙有效地阻止了烟囱破碎时产生的碎块飞溅。

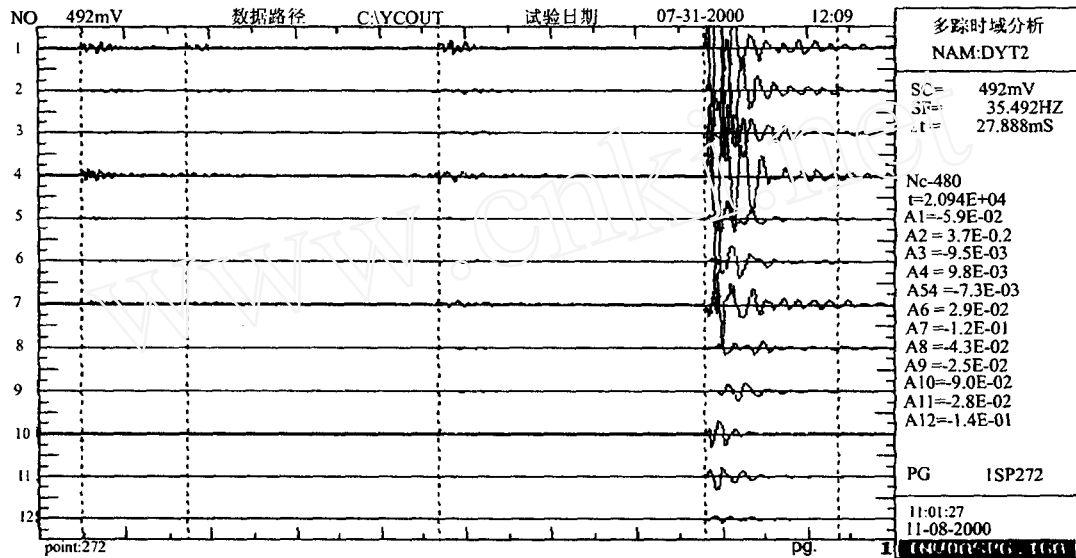


图 4 烟囱拆除爆破及塌落振动速度记录^[5]

Fig.4 Development of ground vibration velocity recorded when the chimney blasting and collapsing

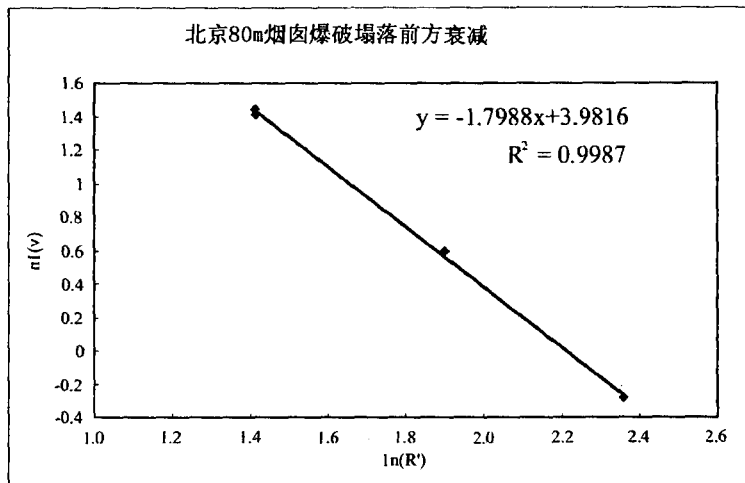


图 5 塌落振动速度衰减规律

Fig.5 Attenuation of vibration velocity as chimney collapsing

参 考 文 献

- 1 周家汉, 陈善良等. 爆破拆除建筑物时震动安全距离的确定. 工程爆破文集. 第3辑. 1988: 112
- 2 周家汉, 金保堂等. 清华大学烟囱爆破拆除设计文件. 中国科学院力学研究所
- 3 郑炳旭, 高金石等. 120米钢筋混凝土烟囱定向倒塌爆破拆除. 工程爆破文集. 第6辑. 1997: 149
- 4 宋常燕, 高金石等. 120米钢筋混凝土烟囱定向倒塌触地效应的观测分析. 工程爆破文集. 第6辑. 1997: 164
- 5 应怀德等. 北京80m高烟囱爆破振动测试报告. 东方振动和噪声技术研究所

The Measurement and Analysis of Ground Vibration Caused by Collapse of High Chimney by Blasting

Zhou jiahan Jin baotang Chen shanliang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100030)

Abstract The form of a chimney made of reinforced with height of 80m is described in this paper. It is collapsed on the designed direction accurately by blasting. The peak of the ground vibration velocity measured are coincident with predict amplitude when blasting and collapsing. The attenuation of vibration velocity as the distance is given

Key words chimney, demolition by blasting, vibration