

爆破拆除建筑物时震动安全距离的确定

周家汉 陈善良 杨业致 戴铭荣

(中国科学院力学研究所)

摘要: 采用爆破方法拆除建筑物时,使周围建筑物产生振动的原因是药包的爆破作用和被拆建筑物塌落时对地面的撞击。实测石景山发电厂厂房拆除爆破产生的地面震动结果说明,基础类建筑物爆破产生的震动比建筑物爆破的震动要大,高大集中质量物体塌落撞击震动可能大于炸药爆破产生的震动强度。塌落震动波的主频低。因此,塌落震动可能造成的破坏应引起重视。控制被拆建筑物的解体尺寸可以减少塌落撞击震动强度。

1 前言

采用控制爆破拆除建筑物,由于其速度快、安全、经济,故被认为是最有效的施工方法。其安全表现在与常规拆除方法相比时,机械和人工拆除方法往往是把建筑物的构件逐步进行破坏或减弱其强度,有时需要人员进行一些不安全的作业,建筑物垮落的时间不能预先确定,又不好测定。相反,爆破方法拆除建筑物的塌落时间可以准确知道。爆破前,建筑物的结构仍然是相当完好的。

爆破拆除作为一种施工方法在完成一定工程项目的同时,炸药的爆破作用伴随着一些损害因素存在。这些因素主要是震动、噪音、飞石和粉尘。控制爆破拆除技术要达到一定的拆除工程目的,还要严格控制爆破作业产生的损害因素,保护周围建筑物和设备人员的安全。

建筑物拆除爆破时,使周围建筑物产生震动的原因一是安置在被拆建筑物中药包爆破作用通过建筑物基础传播的,二是由于建筑物拆毁塌落对地面撞击造成的地层震动

[4]。企图通过人为的措施完全阻止震动的产生是很难做到的,但是可以控制一次爆破的总装药量,控制下落构件的尺寸和运动,采用可能的垫振措施,以减小地面的震动强度。本文总结了石景山发电厂旧厂房等爆破拆除工程施工中,采用不同的设计方案,爆破拆除不同类型建筑物或构筑物时在地层中产生的震动传播规律,提出在建筑物拆除爆破施工中确定防止产生震动破坏的安全距离的意见。

爆炸噪声是炸药能量散逸到空气中形成的。一般情况下,城市建筑物拆除爆破不允许使用裸露药包,尽量避免浅眼装药爆破。根据矿山破碎爆破实测数据表明,只要控制了爆破产生的振动强度,由于拆除爆破作业伴随的爆炸噪声一般不会造成破坏性影响。粉尘污染是一种偶尔的遭遇,只要安民告示,必要时,采取防尘措施,还是可以叫人接受的。

2 爆破震动

石景山发电厂老厂始建于1919年,以后几经扩建,形成三期不同结构的大厂房。主

要由锅炉房、发电机房、输煤及供电系统建筑物和构筑物组成。改建工程需要把这些建筑物和构筑物全部拆除。爆破拆除工程项目包括：不同高度的钢筋混凝土框架结构建筑物17座；各类地下或半地下基座类构筑物20项。框架式结构的建筑物根据其结构特点采用了原地塌落、倾斜倒塌和定向倒塌拆除方案；地下或半地下基座构筑物采用充水爆破或钻孔爆破破碎解体的方法。九号发电机房和高60m的烟囱距民房、商店 20m，最近处仅有 9m。输煤沟边5m外有需要保留的机修车间，为了不影响周围建筑物的安全、车间的正常生产、铁路运行，工程要求精心设计选择爆破拆除方案和防护措施，严格控制飞石造成危害，控制爆破拆除及其塌落产生的地面震动强度，不产生破坏性影响。

为了研究建筑物拆除爆破时，不同建筑物和构筑物采用不同的爆破拆除方法，炸药的爆破作用和建筑物塌落运动造成的地面震动传播规律，结合现场大量拆除项目的施工，我们进行了二十余次震动测量。

图 1 给出了爆破震动速度 v_1 随比例距离的衰减关系。距离 R 是以分布药包的几何中心为原点计算的，炸药 Q 以总药量计算。在双对数坐标图上，这些数据可以采用线性回归分析方法，拟合为一直线，直线方程可以改写成如下关系式

$$v_1 = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha$$

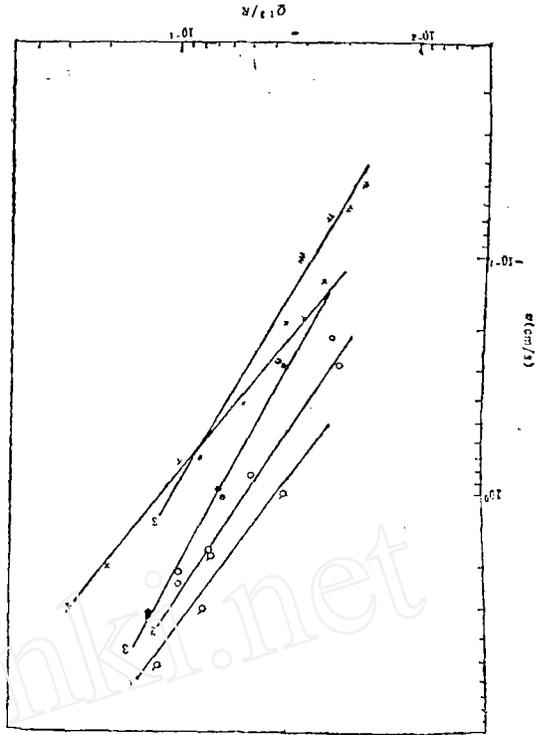


图 1 爆破震动速度 v_1 与比例距离的关系

- 1、2—输煤沟水道水压爆破
- 3—输煤沟边坡爆破
- 4—16号、17号锅炉房，7号机房爆破，
- 5—19号、20号锅炉房，8号机房爆破

式中 $Q^{1/3}/R$ ——为比例距离；
 K ——直线方程的截距；
 α ——斜率。

各次爆破所得经验公式的系数如表 1。

表 1 部分建筑物构筑物拆除爆破震动传播的经验公式参数

工 程 项 目	爆 破 方 式	K	α	γ
输煤沟边坡	钻孔破碎爆破	108	1.72	0.98
输煤沟车道	水压爆破	79	1.49	0.99
输煤沟车道	水压爆破	67.2	1.28	0.94
16、17号锅炉房(五层)	边倾斜拆除爆破	18.7	1.35	0.99
19、20号锅炉房(四层)	边倾斜拆除爆破	43.5	1.7	0.98
13号锅炉基础	钻孔破碎爆破	551.5	2.1	0.97

P—相关系数

根据被拆建筑物和构筑物的特点以及采用的不同爆破拆除方案,可以分为三类。

(1) 地面以下构筑物,可以充水,采用水压爆破拆除。

(2) 地面以下或半地下基础类构筑物,采

用钻眼破碎爆破方法拆除。

(3) 不同高度的楼房结构的建筑物,采用定向或倾斜,或原地塌落的拆除方案。

按上述三类结构特点及爆破拆除方法,整理数据,给出经验公式参数如表2。

表2 不同结构物不同爆破方法的地震传播衰减指数

结构特点及爆破方法	K	α	γ
可充水结构物水压爆破	91.5	1.48	0.95
基座式基础钻孔爆破拆除	116.4	1.74	0.99
多层建筑物倾倒拆除爆破	32.1	1.57	0.98

从表中我们看到,不同结构物、不同的爆破方法地震波传播的衰减指数相差不大。这是因为现场观测点都布置在钢筋混凝土基座或地面上,发电厂厂房地基及地下结构物几乎连成一体。衰减指数反映了地震波传播现场的局部地层特征。很明显,基座或类似基座的地面结构物爆破拆除,无论是采用水压爆破技术还是钻孔爆破拆除方法,其经验系数K都明显大于楼房类建筑物拆除爆破的K值。拆除楼房时,爆破设计的药包布置分散,大多在地面以上的柱体和墙中。由于存在多个临空面,有相当多的炸药能量散失在空中,减少了经地基传播的震动能量。楼房式建筑物拆除爆破震动为相应基础类爆破震动强度的1/3。所以,我们认为,采用相应地基条件下基础类结构物爆破的震动强度控制楼房建筑物拆除爆破震动效应是十分安全的。

3 塌落震动

建筑物拆除爆破产生的地面震动,从实测地面震动波形图上,我们看到除了由于炸药的爆破作用产生震动,建筑物下落撞击地面也产生了明显的地面震动,在有的情况下,后期的塌落震动比爆破震动还强。

对于直接定向倒塌类的集中质量下落构件造成的震动,爆炸扰动和构件下落着地撞击地面的振动波形比较明显分开。仔细分析

波形,在这种情况下,一般有两次着地冲击震动,第一次冲击是爆炸后,部分支撑构件被爆破拆毁,未爆或爆破不充分的支撑构件在上面建筑物重力作用下瞬间失去平衡,上面建筑物垂直地面下落,其时间的长短与未爆部分的多少,其结构物强度以及建筑物本身重量有关。然后上部建筑物定向倾倒地,形成明显的塌落冲击震动。如高60m的砖烟囱爆破拆除过程,第一次下落冲击震动发生在起爆后2.4s左右,同样高度的钢筋混凝土烟囱的垂直下落冲击震动出现在1.0s。第二次塌落震动在8.6~9.0s,这是烟囱本体定向倾倒地产生的。第二阶段定向倾倒地似一杆件绕一支点转动自由下落,其下落时间主要取决于烟囱的高度,砖和钢筋混凝土烟囱着地时间差不多^[1]。

文献^[1]讨论了集中质量下落撞击地面造成的振动。实际上,建筑物拆除爆破过程是,部分支承构件爆破后,上部结构就失去平衡,在重力作用下,一些构件发生变形破坏并开始塌落,塌落运动过程是很复杂的。因此在分析塌落撞击振动的影响因素时,要考虑描述下落构件破坏的材料常数以及地面在撞击作用下的非弹性受力状态(如粘性)。另外,建筑物着地时不是在一个点上,不过其接触地面的大小与我们要观测的震动范围相比,仍可简化为集中质量下落的问题进行

讨论。这时地面振动速度和有关参数可以写成如下关系:

$$f(M_h, v_h, \rho_h, E_h, \sigma_h, P_g, E_g, \eta_g, v, R) = 0$$

式中 M_h, v_h ——下落构件的质量, 着地时的速度;

ρ_h, E_h ——下落构件材料的密度和杨氏模数;

σ_h ——构件材料的破坏应力;

ρ_g, E_g, η_g ——地面介质的材料常数, 分别为密度, 杨氏模数, 粘性系数;

v ——地面振动速度;

R ——测点在塌落着地点的距离。

如果考虑地面介质情况和下落构件的材料性质不变, 通过量纲分析, 可以简化写成

$$v/C_g = f\left(\frac{M_h v_h}{\sigma_h R^3}\right)$$

v_h 与下落构件所在高度 H 有关。若不考虑下落过程中的破坏解体, $v_h^2 = 2gH$, g 为重力加速度。 $C_g = \sqrt{\frac{E_g}{\rho_g}}$ 为地介质中声速。上式

还可以去掉下脚标写成

$$v = f\left(\frac{M 2gH}{\sigma R^3}\right)$$

的形式。从这里我们看到, 建筑物的高度是客观存在, 为了减小建筑物塌落对地面的撞击振动强度, 要充分注意设计建筑物的解体尺寸, 破坏建筑物整体性。为了寻找和爆炸震动衰减类似的关系来描述解体构件对地面的撞击振动, 不妨采用 $v = K\left(\frac{M 2gH}{\sigma R^3}\right)^\alpha$ 形式整理实测数据。

石景山发电厂房拆除项目多, 工期紧, 施工单位力求高质量、高效率、安全地完成爆破拆除任务。爆破设计选用优化方案, 针对建筑物高大, 整体性强的特点, 采用了逐段多层解体, 延迟爆破技术, 充分利用建筑

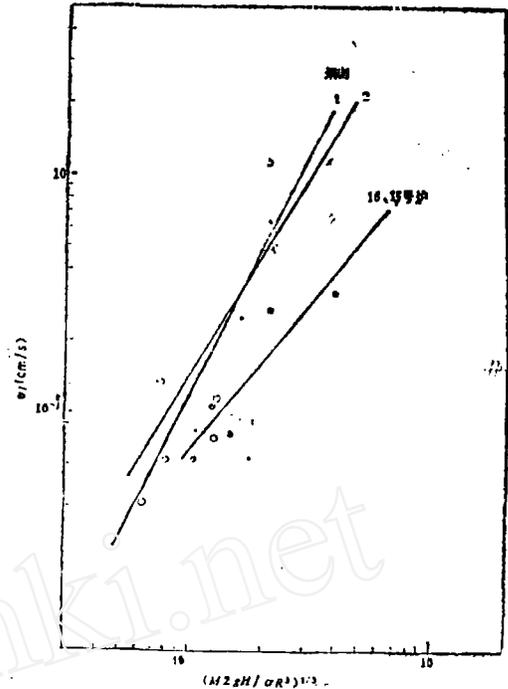


图 2 塌落震动速度与 $\frac{M 2gH}{\sigma R^3}$ 的关系

物高度具有的位能, 获得了较为理想的拆除效果。二次破碎量低于10% [2]。

分析爆破拆除塌落振动波形, 我们看到, 尽管13号~15号高压炉厂房, 19号、20号、21号锅炉房及7~9号发电机房建筑物高度达23~31m, 整体结构性较强, 由于解体充分, 分层下落, 塌落震动波和爆破震动波形没有明显的中间的过渡段。塌落震动幅值都不高于爆炸震动值。但塌落震动波作用时间长, 有的长达8~9s。

塌落震动波形和爆炸震动波可以明显分开的有高60m烟囱的拆除, 16号、17号锅炉房以及6号发电机房的拆除。这是因为烟囱塌落质量集中, 锅炉房为整体现浇四层钢筋混凝土结构, 粗梁胖柱, 整体结构性强。楼房拆除时塌落震动在起爆后1.5s到达, 振动

幅值小于爆破震动。充分解体的爆破拆除方案控制了建筑物塌落着地冲击强度。然而烟囱的塌落由于集中质量的作用，尽管地面上已有先行拆除的解体构件的堆积物，但仍记录到大于爆炸震动幅值的波形。

图 2 整理了烟囱和 16 号、17 号锅炉房两次爆破拆除时塌落震动速度和下落撞击参数 $\frac{M2gH}{\sigma R^3}$ 的关系，尽管数据比较分散，但总的衰减趋势和集中质量落体试验所得的结果是

一致的^[8]。

表 3 给出了塌落震动与下落构件冲量的经验公式的参数。

图 3、4 是这两次爆破时的典型塌落震动波形的功率谱，其共同特点是爆炸震动波的高频部分比塌落震动的丰富，而且频带较宽。

4 结论

建筑物拆除爆破产生的震动是由炸药爆

表 3 塌落震动与下落冲量经验公式的参数

项 目 名 称	K	α	γ
烟 囱 第一次下落	1.0	1.4	0.89
第二次下落	1.86	1.4	0.84
16号、17号炉房，7号机房	1.77	1.24	0.91

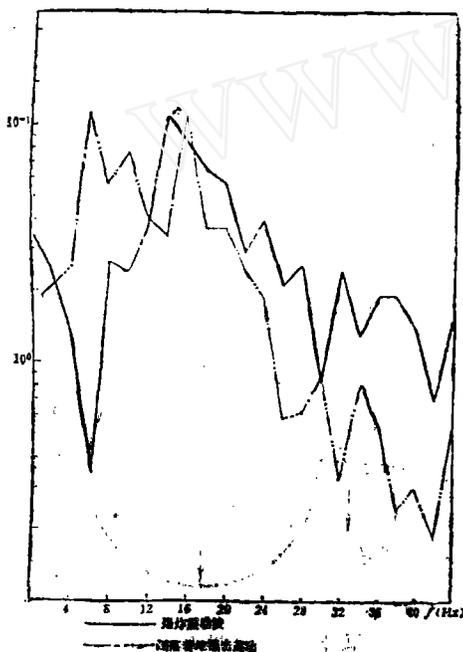


图 3 16号、17号锅炉房，6号机房震动波谱

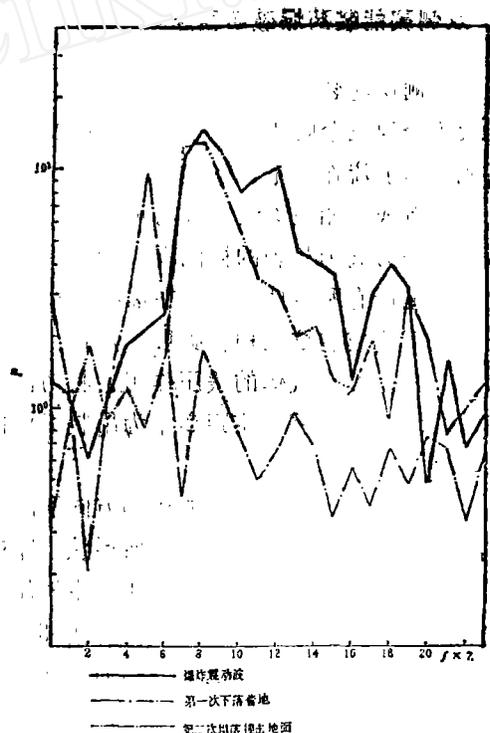


图 4 烟囱拆除爆破塌落震动波谱

炸产生的震动和建筑物塌落着地撞击地面造成的震动两部分组成。质量集中的结构物，

如烟囱、水塔等，在定向倒塌时，塌落震动强度可能大于炸药爆破产生的震动，除此以

(下转第174页)

$\times 250 = 105\text{g}$ 。

水平孔：孔距 $a_2 = 0.30\text{m}$ ；

孔深 $l_2 = 1.05B = 1.05 \times 1.5 = 1.58\text{m}$

单位面积切割药量 $c_2 = 275\text{g}/\text{m}^2$ ；

单孔装药量 $q_2 = a_2 \cdot B \cdot C_2 = 0.3 \times$

$1.5 \times 275 = 124\text{g}$

为了进行对比，在岩质条件相同情况下采用与上述同样的爆破参数，对不带聚能槽的不耦合分段装药爆破切割进行试验。两种切割方法的经济指标如表2。

3 初步结论

3.1 无罩双侧聚能爆破切割大理石的三项主要技术经济指标优于非聚能爆破切割，参见表3。

3.2 双侧聚能爆破切割时，爆破能量具有定向作用，主要用于形成切割面。其它方向的能量受到抑制而减弱，除了能降低不平整度和提高成材率之外，还有减少爆破震动

表3 聚能爆破与非聚能爆破比较表

爆破切割方法	不平整度 (cm)	相对荒料率 (%)	荒料直接费用 (元/ m^3)
不耦合分段装药	15	56	77.76
双侧无罩聚能	12	63	68.00
提高率 (%)	-20	+12.5	-12.6

和飞石的优点。

3.3 只要选择好参数，无罩聚能装药用于光面爆破和预裂爆破，也会取得同样好的效果。

综上所述，无罩双侧聚能爆破切割是目前爆破法开采大理石中最好的方法之一，尤其是切割体底部有软弱面时，其效果更佳。只要从理论和实践上不断加以补充、完善，其应用前景是十分乐观的。

(上接第169页)

外，在一般情况下，即使建筑物高大层多，只要拆除爆破设计合理，采用逐层解体，此时构件撞击地面的塌落震动可以控制不超过爆炸产生的振动。

地下或半地下基础类结构物的拆除爆破震动一般大于楼房式建筑物拆除的爆破震动，后者仅为前者的1/3。因此采用建筑物所在地基中爆破地震传播的经验参数，可以安全地控制建筑物拆除时的爆炸震动。

主要参考文献

- 1 周家汉等. 建筑物拆除爆破塌落造成地面的振动. 土岩爆破文集(第二辑). 北京: 冶金工业出版社, 1985
- 2 鹿维泰, 金宝堂. 构件在冲击载荷作用下的解体判据问题. 土岩爆破文集(第二辑) 北京: 冶金工业出版社, 1985
- 3 吕毅等. 控制爆破拆除钢筋混凝土整体框架的试验研究. 土岩爆破文集(第二辑) 北京: 冶金工业出版社, 1985