

秦皇岛一控制爆破工程总结

庞维泰 杨人光 周家汉

(1983年8月6日收到)

本文总结了一次大型工业厂房爆破拆除工程。其中包括两座长48米、宽27米、高28米现制钢筋混凝土五层厂房；一座高60米的钢筋混凝土烟囱，一座长21米、宽10米、高20米的钢筋混凝土现制钢架煤气站。爆后完全达到了设计要求。文中内容包括设计方案、参数选取、爆破效果。

城市建筑物的爆破拆除问题，是爆破应用的新领域，在国内还是比较年青的课题。国外资料虽然不少，但公开报导的主要是一些结果图象及用药量方面的介绍。建筑物是多种多样的，在总体方案设计方面，目前还是无章可循。八二年，我们在秦皇岛地区，承担了一项规模较大的控爆工程。本总结目的是在我们的工程实践及别人的经验基础上，对这类的问题作一些规纳，把要考虑的问题提出来，希望能找出解决的方法。由于水平及资料有限，总结仅是初步的。现将有关问题分述于下。

一、工程概况

本工程爆破拆除的主要项目共四项：4[#]、5[#]玻璃管窑厂房、烟囱，煤气发生站。建筑物结构情况如下(见图1、图2)。



图1 4[#]、5[#]厂房爆前照片

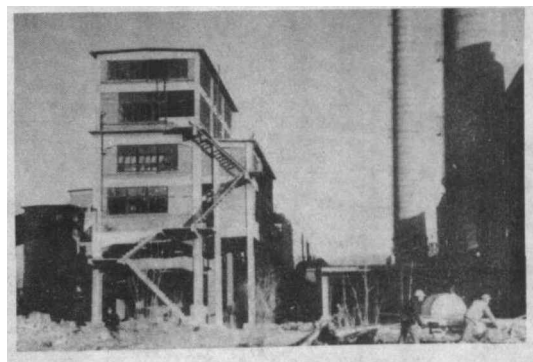


图2 煤气站爆前照片。

1. 4[#]、5[#]厂房是两座相同的厂房(见图1)，中间由通廊及料斗房相连接。每座厂房长48米，宽27米，高27.76米，见图3、图4。全长分9个轴线。北段1~3轴标高+6.0米，2~3轴高9米为现浇平台。南段5~9轴为多层框架结构，共三层现浇平台，(+5.8米，+10.25米

+ 14.8米),三层以上为现浇框架结构屋架。3~5轴线上,东西侧标高+6.0米处有三米宽现浇通廊。该厂房周边柱体除支承钢屋架的为钢筋混凝土柱外,其余为予制混凝土砖柱,室内均为钢筋混凝土柱。

2. 烟囱为钢筋混凝土结构,底径6米,高59.7米,壁厚30厘米,地平以上总重502吨。

3. 煤气发生站东西长21米,南北宽10.3米,高20米,由南北两个建筑物合并而成。在北楼三层平台上挂有三个现浇料斗,见图2。距4*厂房12米为3*厂房,两厂房有过道通廊(共三层)相连。该过道为独立建筑,与两厂房有1厘米宽的引缩缝,需保留该过道。

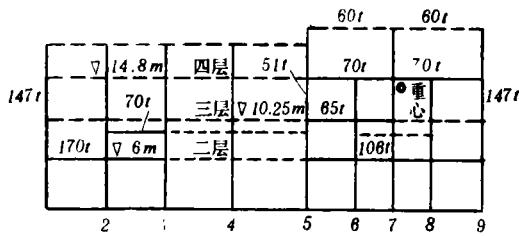


图3 4*、5*厂房侧视图
t表示吨, m表示米。

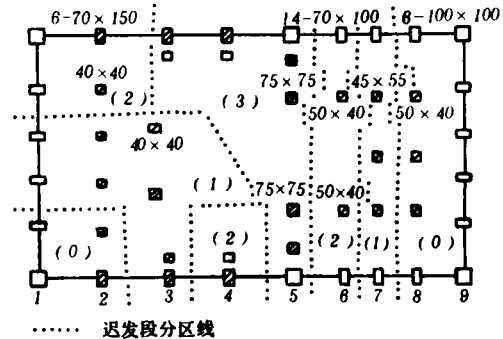


图4 4*、5*厂房一层柱位配置
()内数字为雷管迟发段数, 柱旁数字为柱截面尺寸;
空心为混凝土砖柱, 斜线为钢筋混凝土柱。

二、设计的基本原理与方法^[1]

建筑物的爆破拆除设计, 主要考虑两方面的问题: 结构破坏的力学分析和布孔与药量设计。对一般建筑物的爆破拆除, 结构物的解体破坏主要有三种方式: 1. 布孔施爆破坏; 2. 建筑物下落过程中结构受力不均匀造成的弯折拉压破坏; 3. 结构物以一定速度触地时的冲击破坏。后两种主要是靠建筑物的重力位能作功来完成的。对大型建筑物来说, 主要是靠重力作功解体, 布孔施爆只是对局部的关键部位采用。因为考虑到打孔工作量及施爆的安全可靠, 应当尽量减少布孔。除一些特殊的构筑物之外, 一般不需要, 有时也不可能全面布孔。设计的目的就是为了使建筑物获得充分和必要的解体(指合适的尺度, 清渣要求构件不能太大也不要太碎)。通过对结构物的力学分析, 权衡三种破坏形式的合理安排, 以期获得合理的解体方案, 达到最佳的经济效果及安全保证。

关于结构破坏的力学分析

这里主要讨论重力引起结构破坏的问题, 它包括两个问题:

1. 爆后失稳到落地前结构物的受力计算, 分析建筑物施爆的部位及范围, 可以实现失稳倒塌, 以及在倒塌过程中, 落地之前可以获得的解体程度。对一般楼房建筑物就是超静定框架结构受力计算, 同时计算建筑物在运动过程中支承反力及惯性力, 预计建筑施爆后会有怎样的倒塌形式。

2. 建筑物倒塌落地后解体程度判断。目的是估计建筑物有怎样的落地速度, 某种结构形式对应一定的落地速度即能获得充分解体⁽¹⁾, 建筑物落地的能量平衡, 可用下式表示:

$$W_{\text{位}} = W_{\text{地}} + W_{\text{解}}$$

其中: $W_{\text{位}}$ 为建筑物塌落时所具有的位能; $W_{\text{地}}$ 为建筑物落地时传给地面的能量; $W_{\text{解}}$ 为建筑物解体破坏所需能量。 $W_{\text{地}}$ 包括落地前构件解体所需能量和落地时结构进一步解体所需能量, 它主要用于折断构件和压碎构件, 其大小与结构物的倒塌形式大有关系。一般建筑物的侧向承载能力远小于垂向承载能力。另一方面, 压碎构件需要耗费大量的能量 ($\sim 10^6$ 尔格/厘米³ 量级), 而拆除建筑物一般只要求解体为合适尺度, 并不要求过度的破碎。基于上述的原因, 应设计建筑物合理的倒塌形式如翻倒 90° , 倾斜原地倒等, 以有效利用位能。总的来说, 就是予以怎样的施爆方案, 建筑物有怎样的落地速度, 有怎样的解体程度。

建筑物的倒塌大致可以分为三种形式: 定向翻倒 90° ; 原地倾斜塌落; 原地平行塌落。

1. 定向翻倒 90° 塌落, 主要用于细长比和刚性较大的建筑物。这一方式, 建筑物塌落时侧向倒地, 破坏比较充分且堆渣范围大, 利于清渣。实现这种形式需核算下列几个条件: (1) 支承的强度; (2) 重心在施爆后能否越过支点(支点在建筑物倒塌过程中可能是变化的); (3) 惯性力大小, 予以结构在运动中的变形破坏, 最后应计算落地速度。

2. 原地倾斜塌落。大量的建筑物并不具备翻倒 90° 的塌落条件, 为了尽量减少对承重柱、墙作大量破碎功, 而利用建筑物侧向承载能力差, 采用倾斜塌落形式。这一形式, 可以通过布药造成不同的破坏范围来达到, 也可以通过延期起爆技术对不同部位采取不同起爆时刻来达到。即人为造成建筑物的不均匀沉降, 在落地之前就完成一部份梁或柱的解体, 特别对多层楼房, 通过多段延迟多段倾斜便可完成大量梁和柱的折断, 同时, 倾斜下落减少压碎功。采取这一形式, 应作以下几方面核算: (1) 框架在落地前的受力计算, 予以可以解体那些部位, 不能解体那些部位; (2) 延迟时间确定; (3) 支承强度校验; (4) 各层的落地速度估计; (5) 如需预先拆除一切低层的承重墙, 则应作预拆后建筑物的安全稳定校验。

3. 原地平行塌落。这一形式主要用于不能作上述二种倒塌形式的建筑物, 如周围紧邻建筑物的保护, 或建筑物自身的局限, 找不到可作支承的部位等等。采取这一塌落形式, 结构抗冲击能力强, 压碎功比较大, 需要有比较大的位能。为了增大落地速度, 往往需要作较多的布孔施爆或予爆予拆措施。因此, 应作两方面的核算: (1) 予爆予拆后建筑物的安全稳定核算; (2) 予以落地速度。

上面就力学分析方面作了简要阐述, 提出爆破拆除设计时考虑问题的几个方面。判断一项设计的好坏, 主要以经济指标及安全性来衡量。从经济指标来说, 这类工程的主要工序是: 打孔及爆前处理(包括予爆予拆)—施爆—清渣。三个工序中, 清渣工作量最大, 经济核算中占的比例最高。而清渣工作量取决于提供怎样的爆后堆渣现场, 如设计失当, 则清渣费成倍增加。从已有经验来看, 成本从20元/方到100元/方以上不等。这一差异, 一方面是建筑物类型条件不同, 另一方面是设计上不合理, 对塌落后构件需大量作二次处理(机械或再施爆, 这往往造成大量窝工, 延长工期, 并大大增加不安全作业量)。因此, 设计时应对于那些部位布孔施爆, 那些部位落地前解体, 那些部位落地时冲击破坏, 那些部位需要予拆予爆等, 有一个总体考虑, 全面权衡, 以求得到一个确保安全, 经济上合理的方案。

关于布孔与布药

城市控制爆破施爆对象主要是柱、梁、墙或设备基础和建筑基础。其结构状态主要是单临空面，双临空面及多临空面。爆破要求部份切割或整体破碎。对切割爆破来说，主要确定孔距、孔深和单孔装药量；对破碎爆破来说，则是确定孔间距，孔深和比药量（爆破单位体积需药量，单位：公斤/米³）。

有关设计参数的确定，目前主要是经验公式。对破碎爆破：

孔深 $l \sim (2/3)h$ (h ——切割体厚度)
 间距 $a \sim (1 \sim 2)W$ (W 为最小抵抗线)
 药量 $Q = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi \cdot C_0 V$

V 为爆破体积。 K_1 为材质修正系数，对素混凝土取1，含筋不同， K_1 在1~2之间取值。对疏松材质，灰石砌体一类， K_1 也比1大。 K_2 是临空面修正系数。双临空面 K_2 取3，四临空面 K_2 取1.5。 ξ 为堵塞长度修正系数。当堵塞长度大于7倍孔径时 ξ 取1，小于7倍孔径时 ξ 取1.1~1.5。 C_0 为六面临空情况下素混凝土破碎爆破比药量。 C_0 的值取0.06公斤/米³时块体开裂， C_0 取0.1公斤/米³时则破碎，故 C_0 也可看作破坏程度系数。破坏程度较大， C_0 可取0.1。

对常规孔位的施爆，采用的比药量从量级上来说(2#岩石硝铵炸药)，素混凝土取每方0.1~0.3公斤；钢筋混凝土取0.2~0.5公斤/米³；特殊情况如重配筋或薄壁结构，孔深很小，而孔距很宽时，比药量要相应增加。药包一般设在施爆体中部位置，特殊情况如大厚度上下配筋梁或抵抗线较小的深孔等等，则往往需分散装药或间隙装药。小孔径钻孔，比药量也上升。各种情况千差万别，应当区别修正。

三、本工程几项建筑物爆破设计

1.管窑厂房爆破设计

建筑物见图1，为四层钢筋混凝土现制结构。周边承重柱为钢筋混凝土柱和素混凝土砖柱。柱体规格分别有40×40(厘米，下同)、40×50、45×55、75×75、70×100、100×100、70×150等，见图4。除个别配筋率超过5%以外，其余均正常配筋。楼板梁规格为：宽25、30、40，高50、60、70、75、80、100等。

(1)倒塌方案选取。建筑物强度表明，层间联系性差，刚度小，同层联系性强，刚度大。建筑物细长比小，选取倾斜原地下落方案。

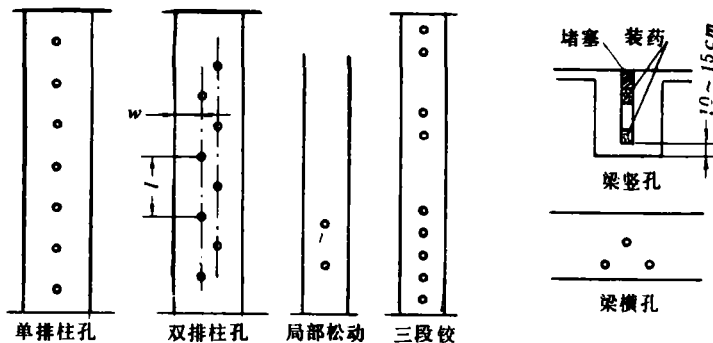


图5 柱梁布孔

(2) 设计将二层以下粗大柱体作全破碎布药, 将细长柱体作三段铰布药, 见图 5。为了减小二层以下承重墙破坏时吸收大量能量, 爆前全部拆除。为加大落差, 将建筑物内部基础全部拆除, 并清除地面以下 1—2 米土方。施爆后建筑物落差达 6—7 米。与此同时, 校验了楼房在予拆后的安全稳定性, 包括柱间跨梁的抗弯及柱的承重、失稳校核。

(3) 分段折断倾斜下落。采用秒差延迟, 延迟时间为毫秒量级, 使构件倾斜下落而折断, 减小压碎能耗(破坏时间为几百毫秒)。同时, 又不要倾斜到 90° 位置。因倾斜转动需要对梁的钢筋作塑性功, 耗能不少, 过度倾斜不适宜。本建筑施爆延迟分段见图 4。二层以上柱体仅作局部松动布药, 延迟时间比一层对应柱位迟一段(三段除外)。

(4) 二、三层楼板梁的大部分主梁作予爆处理(见图 5)。予爆仅局部破坏, 予爆后的梁强度应不至破坏建筑物的安全稳定。

(5) 布孔布药。关键部位柱体要破碎, 非关键部位则松动。钢筋混凝土破碎比药量取 $0.5 \sim 1$ 公斤/米³; 松动比药量取 $0.2 \sim 0.3$ 公斤/米³。素混凝土破碎取 $0.3 \sim 0.5$ 公斤/米³; 松动取 $0.1 \sim 0.2$ 公斤/米³。尺寸小于 100 厘米的柱体, 一般用单排孔, 孔距为 $(1 \sim 2)W$, 孔深为 $2/3$ 柱厚; 对大于 75 厘米的钢筋混凝土柱采用双排孔, 排距 10 厘米, 同排孔距 $1.5W$ 。

梁的予爆一般为单孔, 沿梁高方向打孔, 采用不耦合装药。孔底离梁底 $10 \sim 15$ 厘米, 堵塞约 20 厘米。梁高大于 60 厘米时, 用双药包装药, 保证爆后梁体中、下部水泥破碎而钢筋仍能承受拉力, 上部水泥完整, 仍能承受压力。对顶部不能打孔的梁, 我们作侧面三角布孔, 效果良好。予爆布孔见图 5。

本项建筑总体施爆时, 用雷管 700 发, 炸药 103 公斤。

2. 烟囱施爆设计

钢筋混凝土烟囱高 60 米, 底外径 6 米, 下部壁厚 30 厘米。左右为烟道, 烟道顶以上总重 502 吨。设计向左倾倒(见图 6)。本设计方案用予爆法如图示前后开一个梯形“窗口”, 用板块

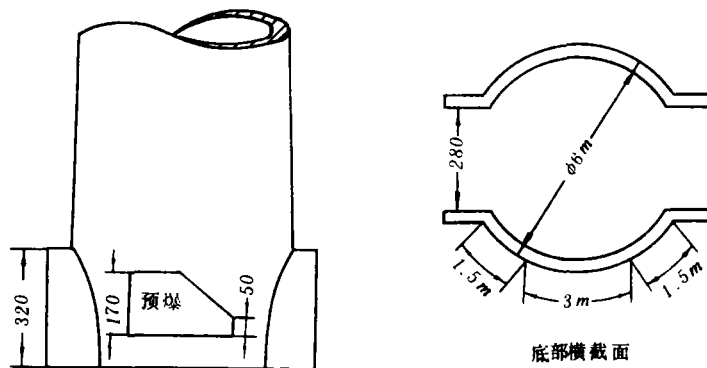


图 6 烟囱施爆设计图

失稳公式校核了烟囱的强度。计算时, 荷载除烟囱自重外, 还考虑了最不利方向上的最大风力(50 公斤/米²)。起爆后烟囱失稳计算考虑了未施爆的右侧双板块仍有承受拉压载荷的能力。竖布筋为 $\phi 18$ 钢筋, 间距 10 厘米。计算结果板块高度应大于 1.3 米, 设计取 1.7 米, 保证爆前

安全，爆后失稳。设计这种定向翻转90°倒塌的充分条件是：爆后支座能否支持；重心能否越出新支点。否则建筑物有可能原地坐下或倒落方向不准确。

3. 煤气发生站爆破设计

煤气站由两座建筑组合而成见图7。大的一座为刚架结构，高19.5米，长21米，宽7米；小的一座为排架结构，高13米，宽3.3米，长21米。每座双排共8柱(40×60厘米)。大楼细长比小于3，小楼近于6。爆破是分别进行的。小楼用90°翻转倒塌方式。前排柱每柱4孔，爆高2米；后排柱柱根布1孔；总共20孔，1.5公斤炸药，同时起爆。大楼刚性强，细长比小，采用倾斜倒塌式。前排二层以下4柱作全破碎装药，后排根部1孔，共40孔装药3公斤，同时起爆。

四、施爆结果及分析

管窑厂房倒塌过程见图8，是原地倾斜塌落形式。塌落后堆渣高度不超过5米。4#厂房塌落范围，南边超出地基1米，其余均在原地基内。与之同样结构的5#厂房，延迟起爆方案不同，南侧落在地基之内1米。构件均解体适中，仅三楼以上6根75×150厘米的钢筋混凝土柱，原设计要在塌落后二次施爆，其余构件均可清理运走。两厂房的三层过道廊，爆后安全无恙(见图9)。从倒塌过程看，作为倾斜转动支座的柱体，强度满足要求；延迟时间也合适，还可略

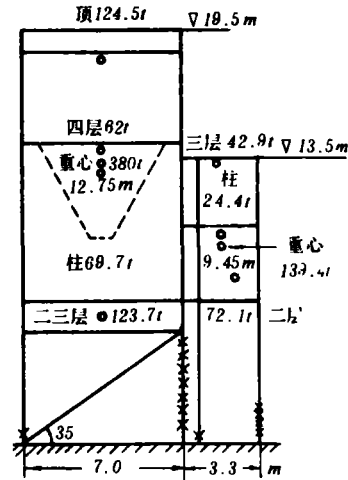


图7 煤气站施爆设计

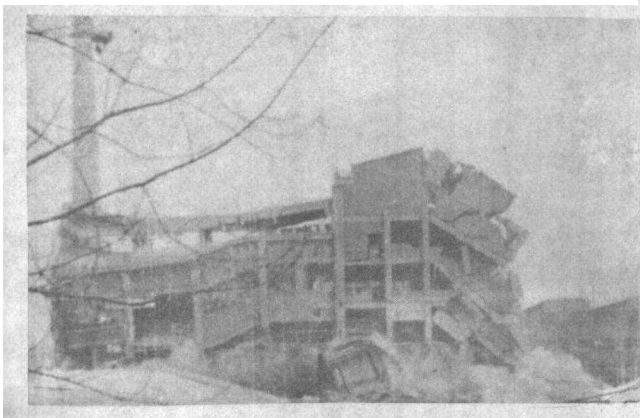


图8 4#厂房爆破塌落过程。

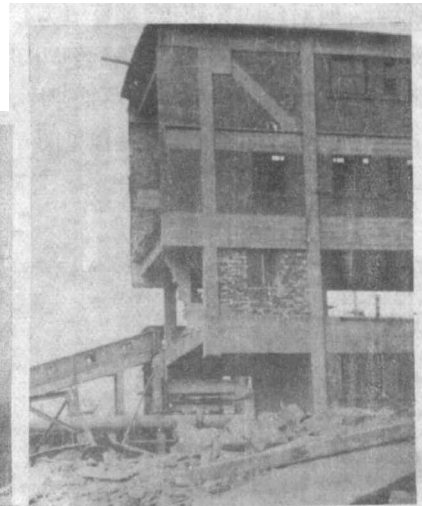


图9 4#、5#厂房的过廊爆后完整无损

短一些。塌落过程见图10。

烟囱的塌落结果见图11。塌落后，根部9米内完整，需二次施爆；9~15米这一段，构件大致保持原形，但已裂伤，略加锤击即可解体；15米以外彻底破坏。



图10 烟囱爆破塌落过程

图11 烟囱塌落后破碎情况

烟囱落地时末速度为 0.68 弧度/秒。塌落方向偏离原设计 5.6° 。从电影分析看到,起爆后,烟囱偏转 3.5 时,后支座开始破坏,烟囱下坐;偏转 5.5 时,下坐 2 米,转动的支点由后缘移到前缘与中心之间。计算得知,烟囱以前缘为支点时须偏转 7.6° 才能使重心越出支点,下坐后的继续偏转是靠动能把重心移过新支点的。偏转 5.6° 时实测转动动能为 82 吨米,而把重心移过新支点需能量 15.3 吨米,能量是足够的。开梯形窗口会引起支座过早破坏而影响定向性,设计时估计不足,也许不开窗口或开楔形窗口,可以保证支座不致过早破坏。

煤气站小楼的塌落过程见图12。塌落后构件解体适度,不用二次爆破。小楼以后排 4 柱为支座翻倒。二层以上重量为 163 吨,支座强度是足够的。若支座为无能耗的铰支,小楼为刚体,它翻倒 60° 时对应的角速度,计算值为 1.9 弧度/秒,电影实测值为 1.4 弧度/秒。能量损失主要是折断支座柱体作了功。小楼在翻倒 90° 时,尚有 5 米左右的落差,对应增加速度约 10 米/秒。一般排架结构,大于 10 米/秒的落地速度,可以充分解体。

煤气站大楼倾斜塌落过程见图13。大楼内有三个料斗,为四角棱台形,斗口 6×6 米,

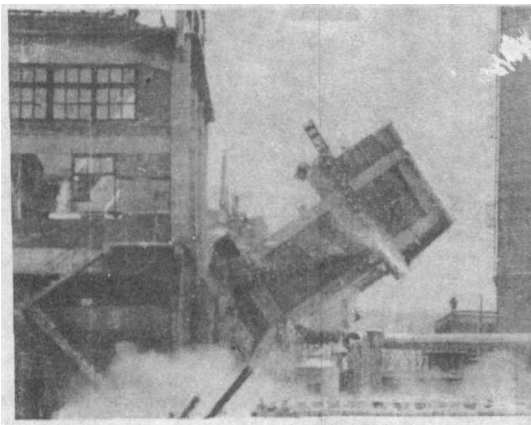


图12 煤气站小楼爆破塌落过程

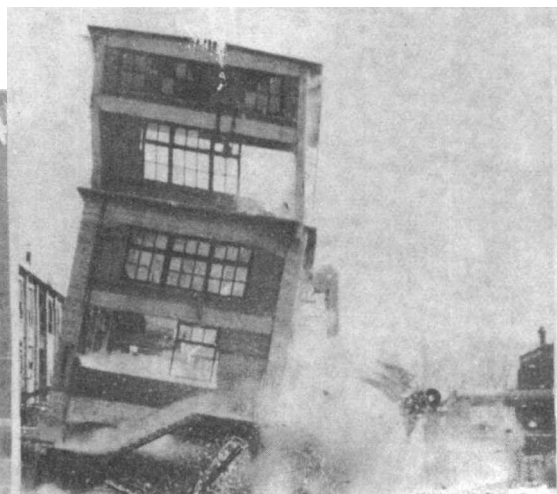


图13 煤气站大楼爆破塌落过程

高4米，二、三层楼为刚架，故楼的质量大，刚度也大。在大楼转动下落过程中，能量损失相对就很小，与自由落体相近。转动的支座是4根支柱，支点为柱基部。以第二层的倾斜下落地为例：若支座为理想铰，无能量消耗，大楼为刚体，计算的末速度为7米/秒；从电影分析得到中心处末速度为7米/秒，前端为10米/秒；可见在下落过程中能量相对损耗很小。但落差只有5米，倾斜下落前端触地时，二层质心落差更是只有2.5米，得到的7~8米/秒的末速度不能使这类结构充分解体。四层楼在下落过程中柱体被折断，楼体呈棱形倒塌。料斗底部距地面10米，在这个落差下未能解体，与预计相符。方案对料斗设计了二次施爆。其它构件，除料斗周围的梁体外，大致都满足解体要求。

煤气站倒塌范围，向前超出地基5.6米，后排柱体向后支出1.5米，后向2米处的地下供热管道，爆后无损。

参 考 文 献

- (1) 庞维泰，杨人光等，“用控制爆破拆除建筑物时建筑物的解体判据”，第二届爆破会议文集，福州，(1982)。
- (2) 周家汉，杨人光等，“建筑物拆除爆破塌落造成地面的振动”，同上。

SUMMARY OF A DEMOLITION PROJECT BY CONTROLLED BLASTING IN QINHUANG DAO

Pang Weitai Yang Renguang Zhou Jiahan

Abstract

In this paper, a demolition project of factory buildings by controlled blasting is summarized, including two five-storey buildings (high 28 m, long 48 m, and wide 27 m), a chimney (high 60 m) and a gas-generator (high 20 m, long 21 m and wide 10 m) which are all made of reinforced concrete. Post-blasting the planning targets are obtained completely. The contents of the paper consist of the programme of blasting design, the selection of parameters and results of the events.