

运用控制爆破拆除城市旧建筑物

崔允武 林吉元 陈桂林

(1982年2月15日收到)

本文介绍了拆除城市旧建筑物的几个实例。在每个实例中，叙述了爆破设计、实际施工、安全措施和爆破结果等内容。

在城市中进行旧建筑物的拆除工程，如用人工拆除十分困难，因为周围环境复杂，安全技术要求高，不能采用一般爆破方法。我们注意学习国内外有关先进技术成果，并通过实践，逐步研究和掌握了控制爆破新技术的运用。近几年来，我们帮助北京、上海、南京等大城市几十个单位，运用控制爆破成功地进行了楼房、烟囱、桥墩、码头、碉堡、混凝土和钢筋混凝土基础等拆除工程，保证了一些单位扩建、改建和技术改造工程的建设顺利进行。现介绍几例。

一、楼房的爆破拆除

上海炼油厂在年产5万吨溶剂脱腊装置的土建工程中，需拆除滤机房(二层楼)、单层换热器框架、双层换热器框架(二层楼)和塔区联合基础。现仅将滤机房拆除情况介绍如下。

滤机房位于生产区的中心，周围的环境复杂：北面10米处是生产管带区；东面3.2米处是变电所；南面3.5米处是新盖的厂房；西面25米处是油罐、操作室和蒸馏车间。该滤机房屋顶标高12.8米，长18米，宽10米，建筑面积为360平方米。楼的板、梁、柱为钢筋混凝土整体灌注，主筋中径为22毫米，梁、柱间距小、断面大、骨架稳定性好。砖墙已拆除。

(一) 爆破设计

1. 爆破方案的选定

我们在选定爆破方案时，考虑尽量满足下列要求：①确保把楼房彻底炸塌，取得预期的爆破效果；②使所需的药孔数和装药量尽量少；③爆破后便于清除；④确保安全，保证把爆破产生的震动、噪音和破碎物的飞散控制在规定的范围内。因此，决定把爆破的重点选在楼房的底层，对其所有的钢筋混凝土柱实施爆破。只要把楼房底层的钢筋混凝土柱彻底炸毁，整座楼房自己就会坍塌下来。又考虑到滤机房的北、东、南方向距建筑物很近，西面距建筑物较远，所以采用了向西倒塌的方案，即狠炸倒塌方向的钢筋混凝土柱，相反方向的钢筋混凝土柱炸的范围较小，以保证方案的实现。为使楼房倒塌后便于清除，二层楼上的梁、柱连接处各布置几个药孔，以便将梁、柱炸分离。

2. 爆破参数的确定

(1) 爆破钢筋混凝土柱 (图 1)

楼房有三排钢筋混凝土柱, 每排三根, 共九根。断面尺寸为 0.3×0.4 (米²) (参见图 2)。

表 1 材料抗力系数 A 值

材料名称	A 值	附注
水泥砂浆砌的砖墙	1.24	A 值根据
料石砌的墙	1.45	材料的坚
混凝土	0.6~1.8	固程度选
钢筋混凝土	2~5	定

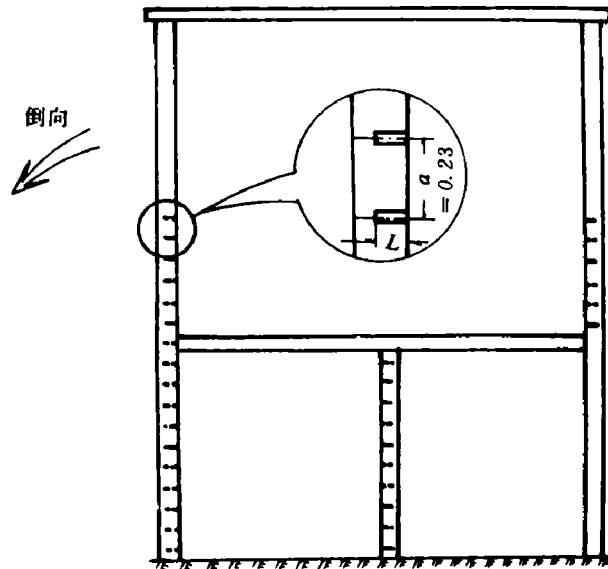


图 1 爆破钢筋混凝土柱药孔的布置

欲使楼房向一侧倒塌, 倒塌方向上的楼房底层的钢筋混凝土柱沿全高布置药孔, 相反方向上的楼房底层的钢筋混凝土柱沿全高 $1/2$ 以上布置药孔。最小抵抗线 h 通常取截面中较小尺寸的一半; 药孔间距 a 根据钢筋混凝土的强度, 取 $a = (1 \sim 1.5)h$; 药孔深度 L 等于钢筋混凝土柱厚的 $2/3$, 也可按钢筋混凝土柱厚的一半加装药长度的一半计算。

爆破钢筋混凝土柱不需要炸断钢筋, 只要把混凝土炸散、炸分离, 依靠楼房的自重即可倒塌。

药量计算, 目前理论公式还很不成熟, 多采用经验公式。我们根据自己的实践和参考部分单位的经验资料, 推荐采用的是下面这一经验公式:

$$C = 1.15 Ah^3$$

式中 C 是单个装药量 (2 号岩石硝铵炸药), 单位是公斤, A 是材料抗力系数 (见表 1), h 是最小抵抗线单位 (米)。应当指出的是: 式中 1.15 这个常数是根据多数情况下, 装药是放在爆破目标的中央并加填塞这一情况来确定的。

根据上述原则, 爆破参数计算如下:

$$\text{最小抵抗线 } h = 0.5 B = 0.5 \times 0.3 = 0.15 \text{ 米}$$

$$\text{药孔间距 } a = 1.5h = 1.5 \times 0.15 \approx 0.23 \text{ 米}$$

$$\text{药孔深度 } L = 2/3 H = 2/3 \times 0.4 \approx 0.27 \text{ 米}$$

$$\text{单个装药量 } C = 1.15 Ah^3 = 1.15 \times 4 \times 0.15^3 = 0.015525 \approx 0.016 \text{ 公斤}$$

(钢筋混凝土强度较大, A 值取 4)

每孔装药量：当孔深超过最小抵抗线的1.5倍时，每孔在底部放置一个装药就不能保证按照孔深将材料完全破坏。因此，每孔内我们放置了两个装药，即 $2 \times 0.016 = 0.032$ 公斤

药孔个数：倒塌方向的三根钢筋混凝土柱，除底层沿最高布置药孔外，为了更有把握，二楼上的钢筋混凝土柱沿高1.5米以下也布置了药孔，每根共有18个药孔；中间三根钢筋混凝土柱，底层沿全高布置药孔，每根共有11个药孔；倒塌相反方向的三根钢筋混凝土柱，为保证楼房的倒塌方向，将药孔位置提高，在二楼上沿钢筋混凝土柱高的1.4米布置药孔，每根共6个药孔。药孔总数为105个。

总装药量 = 每孔装药量 × 总药孔数 = 3.36 公斤

(2) 爆破梁柱连接处 (图2)

二楼有5根横梁、三根纵梁，断面尺寸分别为 0.35×0.7 、 0.25×0.6 、 0.3×0.6 (米²)，均按断面 0.3×0.7 (米²) 计算的。共有15个连接处，每处5个药孔。其爆破参数计算如下：

最小抵抗线(h)、药孔间距(a)、每孔装药量与钢筋混凝土柱的参数同。

药孔深度 $L = 2/3H = 2/3 \times 0.7 \approx 0.47$ 米

药孔个数 = $15 \times 5 = 75$ 个

总装药量 = 2.4 公斤

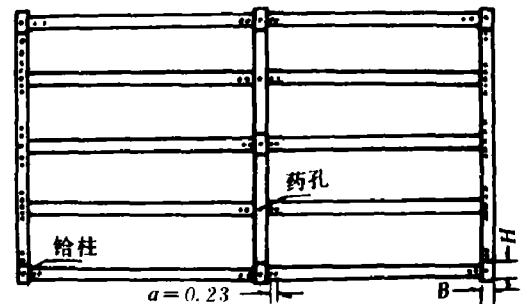


图2 爆破梁柱连接处药孔布置示意图

爆破该楼房共钻药孔180个，使用电雷管360个、硝铵炸药5.76公斤。

3. 一次允许起爆最大装药量的确定

为了确保变电所等建筑物和设备的安全，除须有效地控制破碎物的飞散外，还须严格地控制爆破震动可能引起的破坏。若5.76公斤装药同时起爆，有可能影响附近建筑物和设备的安全。因此，还必须计算出一次允许起爆的最大装药量，以防止爆破震动造成的危害。

该楼东面3.2米处的变电所，距爆破现场最近，只要它不受到破坏，其它建筑物也就不会受到破坏，所以计算中是以该变电所的安全为主要考虑因素。

计算一次允许起爆的最大装药量 C_{max} 的各参数是这样确定的：

自爆源中心到被保护建筑物的距离 R 为 $3.2 + 10/2$ (该楼宽度为10米)，故 $R = 8.2$ 米，考虑到建筑物的安全，根据表2，当震动速度 V 为5厘米/秒时，对建筑物不会产生破坏，故取 $V = 5$ 厘米/秒；爆破地震波通过土壤传播时，取 $K = 200$ ；通过岩石传播时，取 $K = 30 \sim 70$ ；爆破该楼的地震波传

表2 震动速度与建筑物的安全状况表

震动速度 V (厘米/秒)	建筑物的安全状况
≤ 5	保证建筑物的安全
12	房屋墙壁抹灰开裂、掉落
20	斜坡岩上的巨石滚落，地表面出现细小裂缝，一般房屋受到破坏
50	松软的岩石表面出现裂缝，干砌片石移动，建筑物受到严重破坏
150	岩石崩裂，地形有明显变化，建筑物全部破坏

至变电所，是通过混凝土传播的，参照岩石系数，取 $K=70$ ；衰减指数 a ，远距离时，取2，近距离时，取1.5，这里取 $a=1.5$ 。

将上述各参数，代入下式计算：

$$C_{\max} = R^3 \left(\frac{V}{K} \right)^{3a} = 8.2^3 \left(\frac{5}{70} \right)^{3 \times 1.5} \approx 2.78 \text{ 公斤}$$

只要一次起爆的最大装药量不超过2.78公斤，爆破震动就不会引起变电所和其他建筑物及设备的破坏。这是我们在设计电点火线路时的主要依据

4. 电点火线路的设计

根据计算，爆破该楼所需总装药量为5.76公斤，一次起爆的装药量又不允许超过2.78公斤，因此，决定采用三条电点火线路。第一条电点火线路，起爆倒塌方向的三根钢筋混凝土柱及其与梁连接处的装药，采用瞬发电雷管串联线路；第二条电点火线路，起爆中间三根钢筋混凝土柱和第二、三、四根梁（从倒塌方向算起）连接处的装药，采用延期4秒和6秒的电雷管混联线路（钢筋混凝土柱和第四根梁的连接处用6秒电雷管，第二、三根梁的连接处用4秒电雷管）；第三条电点火线路，起爆与倒塌方向相反的三根钢筋混凝土柱及其梁、柱连接处的装药，采用延期8秒电雷管、串联线路。第一条线路起爆的装药量最多，是2.07公斤，未超过一次允许起爆的最大装药量。

为保证线路可靠爆炸，严格选择电雷管。按镍铬桥丝电雷管的允许值使每个电雷管的电阻都在2~4欧姆范围内。第二条线路的延期4秒和6秒的电雷管，各连一条支路。电雷管少的一条支路，另加配电阻，使两条支路的电阻基本平衡，电阻差不大于1欧姆。

点火电源采用380伏特交流电。电点火线路计算结果如表3。计算结果表明，第二条线路可获得3.1安倍以上的电流强度，支路电流大于对点火电流强度的要求（等于或大于1.5安倍），而第一条线路只获得1.1安倍电流，小于要求的点火电流强度，实践证明无拒爆。但在任何情况下都应该满足点火线路对电流强度的要求。

表3 电点火线路计算结果

计算结果 线路种类	项 目 线 路 种 类	每条支路电雷管 数及电雷管种类	总电阻 (欧姆)	电源能供给各条 线路的电流强度 (安倍)	每条支路能 得到的电流 强度(安倍)
第一条线路	串 联	138发瞬发电雷管	347	1.1	
第二条线路	混 联	一条支路60发4秒 电雷管；另一条支 路96发6秒电雷管	122	3.1	1.55
第三条线路	串 联	66发8秒电雷管	167	2.3	

注：1. 均为镍铬桥丝电雷管，2. 每个雷管电阻为2.5欧姆，3. 干线电阻为2欧姆

(二) 爆破施工

1. 穿 孔

穿孔前先按设计要求的药孔位置、方向、深度和数量，用红漆标在爆破目标上，然后用风动凿岩机穿孔，穿孔直径为38毫米。作业中每穿完一孔，随即用凿岩机将孔内碎屑吹净。穿孔完毕，逐个检查验收。

2. 装药的捆包与填塞

(1) 装药的捆包

我们采用的是非密装式装药，即装药与四周孔壁之间均留有一定的空隙。经验证明：使用小直径药孔时，药孔直径与装药直径的比值（通常称空隙比，亦称不偶合系数）控制在1.5~2为宜。但确定装药直径还必须考虑炸药的临界直径（硝酸炸药的临界直径为15~20毫米），以防传爆中断。所以，我们把装药直径定为20毫米。这种装药方式，可使冲击波的强大压力经过空气传递到孔壁的过程中得到缓冲，延长对孔壁的作用时间，使孔壁受力均匀，能充分有效地利用爆炸能量，对破碎物飞散的控制作用较好。缺点是捆包装药的作业时间较长。

捆包时，先用直径20毫米，表面光滑的木棒将纸（用的旧图纸）卷成纸筒，纸筒一端折压三、四次封口，抽出木棒。然后将称量好的炸药装入纸筒内，为使炸药密实，应边装边振动，装满后用雷管钳或小木棒在装药上穿一雷管孔，将雷管插入装药内不少于15毫米（因装药量少，不可能将电雷管全部埋入装药内），最后将纸筒折压封口，利用电雷管脚线在装药外边缠绕捆紧，以防电雷管被拉出。

(2) 装药的填塞

先用炮棍（直径约3厘米的木棍）将一个装药送入孔底，并使其保持在药孔的中央。填一点粘土后，再将第二个装药放入药孔内，同样使其保持在药孔的中央，并距药孔口部不小于最小抵抗线。最后用含有少量水份的粘土填塞，边填土边捣固，先轻捣后重捣，直到将药孔填满为止。填塞作业中，不能损伤电雷管的脚线。

3. 安全防护措施

爆破前，用竹笆堵挡变电所西面的窗户，以防破碎物砸坏玻璃。为防止破碎物飞散损坏附近建筑物和设备，钢筋混凝土柱设置装药的部分用竹笆遮挡。二楼梁、柱连接处的装药，上面盖两层竹笆，所有室外人员撤离爆破现场100米以外。

4. 点火起爆

点火站设在该楼南端60米处，采用延期继电器点火。按第三、第二、第一条线路的顺序间隔0.5秒钟分别接通电源。因第一条线路用的是瞬发电雷管，第二、三条线路用的是延期4、6、8秒电雷管，所以仍按第一、第二、第三条线路的顺序爆炸，保证了倒塌方向上的装药先响。这样将全部电雷管点着后再爆炸，可以防止炸断线路，以免拒爆。

(三) 爆破效果

这次爆破效果很好，达到了予期的目的和要求。装药爆炸后，楼房不偏不移的向西倒塌（图3）破碎物的飞散大部分不超过3米。爆破震动和噪音也很小，离爆破现场100米的地方，如果不注意就听不到爆炸声，听到的只是楼房的倒塌声。距该楼3.2米处的变电所内的工人，爆破时仍在室内

坚守生产岗位,未影响生产。人员、设备和建筑物均安全无恙,在安全方面没有发生任何问题。

二、桥墩的爆破拆除

南京市中华门外秦淮河上的长干桥,因扩建需将靠南岸的一桥墩拆除。为早日完成扩建任务,解决城南的交通问题,决定用控制爆破法拆除该桥墩。

桥墩长24.4米,厚1.22米(墩帽)、高9.96米。靠近桥墩表面有一层钢筋网,桥墩上半部网眼为 0.61×0.61 (米²),

下半部网眼为 0.35×0.61 (米²),竖筋直径19毫米,横筋直径为10毫米,混凝土标号较高。南岸30米处是扩建工程指挥部办公室,40米处是商店、旅馆、工厂等;北岸是中华门遗址。

(一) 药孔布置(图4)

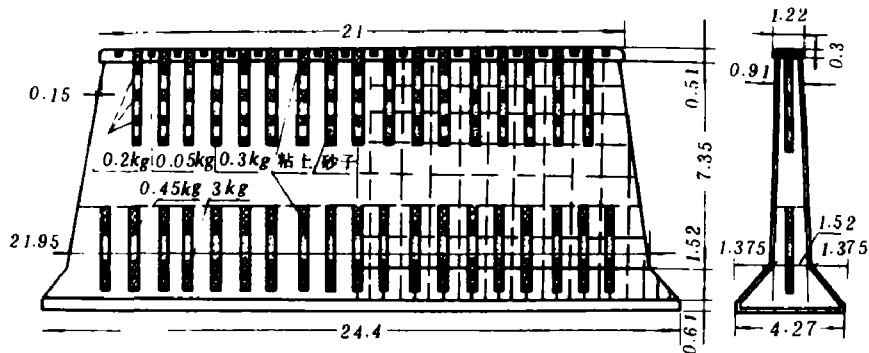


图4 爆破桥墩药孔的布置

采用风动凿岩机穿孔,穿孔直径为38毫米。为了穿孔作业方便和根据拆除要求,采用垂直药孔。桥墩分两次爆破。

第一次爆破: 爆除高度5.5米,正好达到衔接不够紧密的施工缝的位置。在桥墩上布置三列药孔。中间一列药孔的深度是根据风动凿岩机穿孔能力决定的,深度3.8米。最小抵抗线取桥墩厚度的一半,平均取0.5米。间距为两个最小抵抗线,取1.1~1.2米,共计18个药孔。边上两列药孔是爆破墩帽,药孔深度为0.3米(为桥墩高度的 $2/3$),最小抵抗线也取0.3米,与中间一列药孔交错配置,每列19个药孔。

第二次爆破: 爆除高度4.5米,在桥墩的中间布置一列药孔,除药孔深度为3.6米、最小抵抗线分别为0.75米(装药位置桥墩厚度的一半)和1.4米(装药位置桥墩平均厚度的一半)外,其他的



图3 滤机房炸后景况

药孔参数，与第一次爆破中间一列药孔参数均相同。

(二) 装药量计算

1. 第一次爆破

中间一列药孔深度大，最小抵抗线小，如仅在药孔底部设置一个装药，爆破后块度过大，清除困难。根据经验当药孔深度大于最小抵抗线的1.5~2倍时，此时应采取分段装药，每段装药之间距离为 $(1 \sim 1.5)h$ （当要求块度较大时，可适当加大）。据此，每孔设置4段装药，每段装药之间距离为0.95米，每段装药量均按经验公式计算。

$$\text{单个装药量 } C = 1.15 Ah^3 = 1.15 \times 1.4 \times 0.5^3 \approx 0.2 \text{ 公斤}$$

考虑到钢筋数量少，强度不大，材料抗力系数 A 值取混凝土的系数；药孔底部一段装药，最小抵抗线较大，取0.3公斤。

$$\text{每孔装药量} = 0.2 \times 3 + 0.3 = 0.9 \text{ 公斤}$$

$$18 \text{ 个药孔装药量} = 0.9 \times 18 = 16.2 \text{ 公斤}$$

边上两列药孔的装药量：

$$\text{单个装药量 } C = 1.15 Ah^3 = 1.15 \times 1.8 \times 0.3^3 = 0.055 \text{ 公斤，取 } 0.05 \text{ 公斤。}$$

墩帽材料较坚固， A 值取大值。

$$38 \text{ 个药孔装药量} = 0.05 \times 38 = 1.9 \text{ 公斤}$$

$$\text{第一次爆破共需装药量} = 16.2 + 1.9 = 18.1 \text{ 公斤}$$

2. 第二次爆破

每孔分两段装药。第一次爆破后，根据效果，药量可减少， A 值修正为1.2。

$$\text{药孔底部的装药量 } C = 1.15 Ah^3 = 1.15 \times 1.2 \times 1.4^3 \approx 3.3 \text{ 公斤，取 } 3 \text{ 公斤。}$$

$$\text{药孔上部的装药量 } C = 1.15 Ah^3 = 1.15 \times 1.2 \times 0.75^3 = 0.58 \text{ 公斤，考虑底部药量较大，取 } 0.45 \text{ 公斤。}$$

$$\text{每孔装药量} = 3 + 0.45 = 3.45 \text{ 公斤}$$

$$18 \text{ 个孔装药量} = 3.45 \times 18 = 62.1 \text{ 公斤}$$

爆破该桥墩共用硝酸炸药80.2公斤，电雷管146个。

采用密装式装药，即装药与四周孔壁之间不留或只留有很小的空隙。分段装药间用细砂填满；最后一个装药装进后，用粘土填满、捣实。每次爆破，均采用串联的电点火线路，用66式起爆器点火。

(三) 安全防护措施

1. 为了不影响居民正常的生活秩序，我们在夜间实施爆破。
2. 爆破前，在桥墩上挂满草帘，以阻挡破碎物的分散。
3. 因加宽、加深河床，加大排洪量，桥墩周围河床标高已低于桥墩基础，形成了防震沟，这对于爆破震动的衰减起了很大作用。

(四) 爆破效果

第一次爆破后，刚好从5.5米施工缝处断开；第二次爆破后，桥墩基础都被炸碎。最大的混凝土块约0.5米³，达到了设计的理想效果。第二次爆破，药孔底部一段装药量虽大，但是在水面以下，桥墩水面以上部分又用草帘遮盖，所以破碎物飞散得较少，个别混凝土块飞出约40米。

三、烟囱的爆破拆除

南京市沥青热拌厂有一废旧烟囱，高20米，下部外径2.55米，筒身100°红砖、50°水泥砂浆砌筑，壁厚0.625米（红砖厚0.49米，烟道沉陷缝0.02米，耐火砖厚0.115米）。为保证安全和加快拆除速度，采用爆破拆除。

烟囱周围环境复杂。北面15米处有一废旧锅炉，35米处是休息室和车库，南面2.8米处是仓库，并且有一输油管紧靠烟囱，东面50米处是厂房，西面9.8米处是高压线，18米处是地磅房。东北方向地形较开阔。因此决定使烟囱向东北方向倒塌。

（一）装药配置（图5）和爆破参数计算

欲使烟囱向一侧倒塌，必须狠炸倒塌方向的墙壁，以打破烟囱原有平衡。因此，装药必须配置在倒塌方向的一侧，沿烟囱外周长的1/2配置。倒塌方向上外周长1/4范围内装药，加大了药量，取最小抵抗线为壁厚的0.75倍；两侧方向上的装药，最小抵抗线为壁厚的0.5倍。装药间距，倒塌方向上的装药1.75h，两侧方向上的装药为1.5h。为开设药洞作业方便，同时又不使残留的部分过高，炸断位置我们确定距地面为0.8米。其爆破参数计算如下：

烟囱外周长 ≈ 8 米

倒塌方向上的装药：

$$\text{最小抵抗线 } h = 0.75H = 0.75 \times 0.625 \approx 0.5$$

$$\text{装药间距 } a = 1.75h = 1.75 \times 0.5 = 0.875 \approx 0.9 \text{ 米}$$

装药配置的长度为烟囱的1/4周，即 $8 \times 1/4 = 2$ 米

$$\text{装药个数} = 2 \div 0.9 = 2.2 \approx 3 \text{ 个}$$

$$\text{单个装药量 } C = 1.15Ah^3 = 1.15 \times 1.24 \times 0.5^3 = 0.178, \text{ 实际用 } 0.21 \text{ 公斤}$$

$$3 \text{ 个装药} = 3 \times 0.21 = 0.63 \text{ 公斤}$$

两侧方向上的装药：

$$\text{最小抵抗线 } h = 0.5H = 0.5 \times 0.625 = 0.3125 \text{ 米}$$

$$\text{装药间距 } a = 1.5h = 1.5 \times 0.3125 \approx 0.47, \text{ 取 } 0.44 \text{ 米}$$

装药配置的长度为烟囱的1/4周，即2米

$$\text{装药个数} = 2 \div 0.44 \approx 4.5 \text{ 作业时，每边共 } 3 \text{ 个，共计 } 6 \text{ 个}$$

$$\text{单个装药量 } C = 1.15Ah^3 = 1.15 \times 1.24 \times 0.3125^3 \approx 0.044, \text{ 实际用 } 0.06 \text{ 公斤}$$

$$6 \text{ 个装药} = 6 \times 0.06 = 0.36 \text{ 公斤}$$

$$\text{总装药量} = 0.63 + 0.36 = 0.99 \text{ 公斤}$$

药洞用人工开设，直径为5厘米，深度为0.35米。所用装药用串联电点火线路同时起爆。

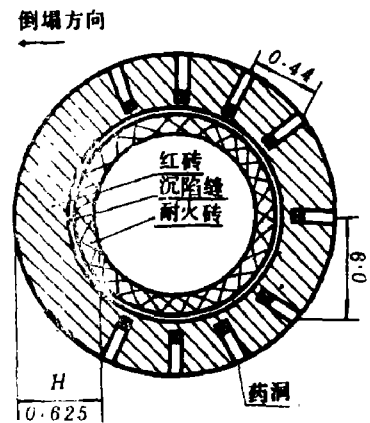


图5 爆破烟囱装药的配置

(二) 安全防护措施

1. 紧靠烟囱的输油管，爆破前拆掉约10米；
2. 装药位置用4毫米厚的钢板（工厂只有这一规格的钢板）堵挡；
3. 爆破时，所有人员撤离爆破现场50米以外。

(三) 爆破效果

装药爆炸后，烟囱准确地倒向东北方向(图6)。碎块纵方向密集地塌散长度为22米，个别的滚至31.3米处。横方向密集地塌散长度为7.5米，个别的滚至22米处。烟囱残存的部分，倒塌方向高0.5米；相反方向最高处1.3米，无明显裂缝。爆破时，无碎块飞起，噪音也很小。从开设药洞到爆破完毕，仅用了6小时，作业安全，迅速，爆破效果好。目前，用控制爆破法拆除烟囱，是较理想的方法。

以上几例，侧重反映了我们的实践工作。运用控制爆破拆除城市旧建筑物，是一项新的爆破技术，在理论和应用上还需要不断摸索和研究，通过大量的实践不断予以完善。



图6 烟囱倒塌景象

DEMOLITION OF OLD CITY BUILDINGS BY CONTROLLED BLASTING

Cui Yunwu Lin Jiyuan Chen Guilin

Abstract

In this paper, some examples of demolition of old city buildings by controlled blasting are described. The design of demolition, practical performance safety measures and demolition results are given for each case.