

- [9] 池家春“利用压力对比法测量不均匀炸药的未反应 Hugoniot”全国第二届爆轰学术会议论文(1983).  
[10] Mader, C.L., "Numerical Modeling of Detonation"(1981).  
[11] Kennedy, J.E., 14 th Symp (Inter) on Comb (1973).

## DETERMINATION OF THE REACTIVE HUGONIOT CURVE, "Pop"RELATION OF AN EXPLOSIVE AND SOME DISCUSSIONS ON THE HYPOTHESIS OF SINGLE CURVE BUILD UP

Hu Dong Feng Minxian Gui Zhizhen

### Abstract

In this paper, the propagation process of shock waves with various initial pressures in an explosive is measured experimentally by means of manganin stress gauge combined with the wedge explosive technique. The results show that the so called "Pop" relation may be represented by a straight line approximately. The non-reactive Hugoniot curve may be obtained by the initial shock wave parameters as usual. The reactive Hugoniot curve must measure the shock parameters in the build up process. The measured  $x-t$  relation of the shock wave by wedge test and different Lagrangian pressure profiles show that the build up of shock waves in the explosive only partially fulfills the hypothesis of the single curve build up.

## 城市建设中的控制爆破实践

周浩然

(1985年1月16日收到)

本文对城市建设中的三次小型控制爆破进行了介绍和分析。这三次爆破目标是重达几十吨的废铁轮、钢筋混凝土梁、柱和边墙，其作业条件苛刻。在保证安全的前提下，成功地进行了爆破。

随着城区建设的迅速发展，城区内需要进行爆破拆除的工程愈来愈多。如何在保证爆破

质量，充分利用炸药能量的前提下，安全地解决人口和房屋密集区爆破中的振动、飞石、噪声等等问题，是一个迫在眉睫的任务。

近年来我们对废铁铤、钢筋混凝土梁、柱和边墙的控制爆破中，积累了一些经验。本文仅就城区建设中的三次小型控制爆破的实践结果，进行分析研究。

### 一、废铁铤控爆

武汉市汉阳钢铁厂的废铁铤，系由高炉流入料罐中的铁水凝固而成。每种铁铤重10~50吨不等，需重新解块后才能回炉冶炼。据化验：铁铤含碳0.2~0.29%；硅0.6~0.9%；锰1.2~1.6%；磷0.045%；硫0.05%。其物理力学指标是：比重 $\Delta = 7$ ；抗拉强度 $S_t = 1.5 \times 10^8 N/m^2$ ；泊桑比 $u = 0.27$ 。

因流入料罐中的铁水，有时间先后之差，所以凝固时其间存在着细小的层面。据此，为了炸开废铁铤，其炸药需要量应是横截面面积的函数。以此分析判断而作的爆破设计，使被试铁铤爆后均能达到在炮眼底沿横截面呈平面切断的优良效果，完全与预先分析判断相吻合。

#### 爆破参数

打眼分别用7655风钻、BK—15硬质合金钻头，穿凿 $d = 40mm$ 炮孔和用氧气烧成 $d = 80mm$ 炮孔( $d$ 为直径)。

孔距 $a = 0.34m$ ；抵抗线 $\omega = 0.335m$ ；炮孔邻近系数 $m = (a/\omega) = 1.02$ ；孔深 $L = (2/3)h = 0.85m$ 。

实验时，直径 $D = 1.35m$ 、高 $h = 1.28m$ 的铁铤，均呈梅花形布置5个炮孔，如图1。

#### 实验数据统计分析

根据数理统计原理，对实验数据所作的统计如表1。

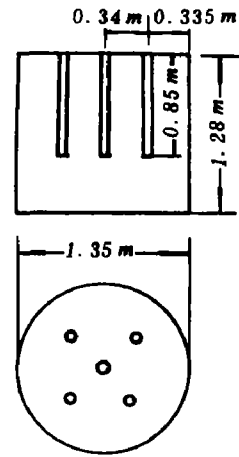


图1

表3

序号	切面横切面 A (厘米)	装药量 Q (克)	$A'$	$Q'$	$A \times Q$
1	5730	1075	32,832,900	1,155,625	6,158,750
2	5610	1075	31,472,100	1,155,625	6,030,750
3	5380	1000	28,944,400	1,000,000	5,380,000
4	5080	1000	25,906,400	1,000,000	5,080,000
5	14310	2885	204,776,100	8,323,225	41,284,350
6	11310	2255	127,916,100	5,085,025	25,504,050
7	15400	3114	237,160,000	9,698,998	47,955,600
$\Sigma n = 7$	$\Sigma A = 62820$	$\Sigma Q = 12404$	$\Sigma A' = 688,908,000$	$\Sigma Q' = 27,416,498$	$\Sigma AQ = 137,394,500$

1. 求相关系数, 判断  $A$  与  $Q$  是否相关。

$$r = \frac{n \cdot \sum A \times Q - \sum A \times \sum Q}{\sqrt{[n \sum A^2 - (\sum A)^2][n \sum Q^2 - (\sum Q)^2]}}$$

$$= \frac{7 \times 137,394,500 - 62,820 \times 12404}{\sqrt{[7 \times 688,908,000 - (62820)^2][7 \times 27,416,496 - (12404)^2]}} = 0.9998$$

由计算得知, 装药量  $Q$  与横截面面积存在着近于强相关的关系。

2. 求相关系数  $b$  和常数  $a$

$$b = \frac{n \times \sum A \times Q - \sum A \times \sum Q}{n \times \sum A^2 - (\sum A)^2} = \frac{7 \times 137,394,500 - 62,820 \times 12,404}{7 \times 688,980,000 - (62,820)^2} = 0.21$$

$$a = \frac{\sum Q}{n} - b \frac{\sum A}{n} = \frac{12404}{7} - 0.21 \times \frac{62,820}{7} = -113$$

3. 得回归方程, 即炸药量计算式

$$Q = a + bA = 0.21A - 113$$

爆破效果如表 2 所示。

表 2

序号	切断 横截面 $A$ (厘米 <sup>2</sup> )	炮 孔 数 $N$ (个)	孔 径 $d$ (毫米)	装 药 量 $Q$ (克)		每 孔 装 药 量 $q = \frac{Q}{N}$ (克/孔)	每 孔 装 药 长 度 $l = \frac{4q}{\pi d^2 \rho}$ (厘米)	每厘米长 装 药 量 $s = \frac{q}{l}$ (克/厘米)	装 药 集 中 系 数 $\xi = \frac{s}{\omega}$	单位面积 装 药 量 $\frac{Q}{A}$ (克/厘米)	爆破 效果
				理论 计算	实装						
1	5730	5	40	1090	1075	215	17.1	12.57	0.375	0.188	切断
2	5610	5	40	1065	1075	215	17.1	12.57	0.375	0.192	切断
3	5380	5	40	1017	1000	200	15.9	12.57	0.375	0.186	切断
4	5080	5	40	954	1000	200	15.9	12.57	0.375	0.199	切断
5	14310	5	40	2892	2885	577	45.9	12.57	0.375	0.202	切断
6	11310	5	40	2262	2255	451	35.9	12.57	0.275	0.199	切断
7	15400	5	40	3121	3114	623	12.4	50.24	1.51	0.202	切断

从表中的计算值得知

1. 序号 1~6, 装药集中系数小, 仅 0.375, 比药量小, 为园柱延长药包。爆破时目测垂直飞高约 5 米, 爆破后实测水平摊散距离仅 1.5 米, 爆破块度  $400 \times 600$  毫米, 沿炮孔底呈水平横截面切断。

2. 序号 7, 装药集中系数大, 达 1.5, 比药量大, 属集中药包, 爆破时目测垂直飞高约 15 米, 爆破后实测水平摊散距离达 10 米, 爆破块度  $400 \times 600$  毫米, 亦沿炮孔底呈水平横截面切断。

综上所述, 因钻孔爆破比药量较氧气烧孔爆破小、分布均匀, 所以无论是飞高和水平摊

散距离，还是穿孔时对周围空气的污染和对操作者身心健康的影响，前者均较后者优越、安全。但就穿孔速度而言，后者则较前者为佳。

## 二、钢筋混凝土梁控爆

武汉市武昌区徐家棚街文化站，一钢筋混凝土梁需控爆拆除，因其位于楼房内，故环境十分恶劣严峻，如图2。

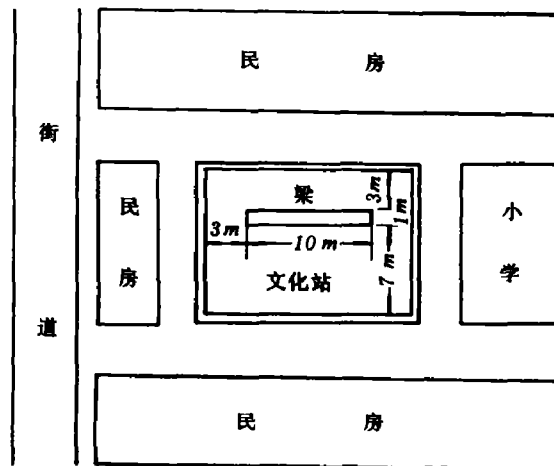


图2

### 钢筋混凝土梁的结构

梁的体积:  $V = L B H = 10 \times 1 \times 0.53 = 5.3$  立方米。

布筋密度:  $20 \times 15$  厘米, 纵向钢筋直径约为 4 厘米, 横向钢筋直径为 2 厘米, 水泥标号为 500\*。

控爆参数: 孔径  $d = 24$  毫米 (用 ZIC-26 电锤穿凿, 钻孔直径为 20 毫米); 抵抗线  $\omega = 30$  厘米; 孔距  $a = 1.27 \omega = 38$  厘米; 孔向排距  $b = 40$  厘米; 孔深  $l = 0.65 h = 35$  厘米; 孔数  $n = (L/a) + 1 = (10/0.38) + 1 = 27$  个, 采用双排孔布置, 故总孔数为

$$\sum N = 2n = 2 \times 27 = 54 \text{ 个。}$$

孔网布置如图3。

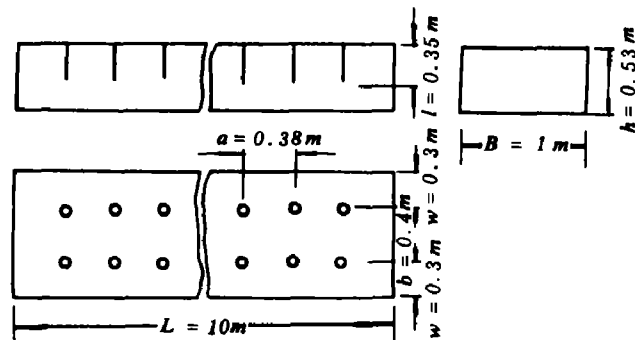


图3

总装药量和每孔装药量按下式处理

$$\textcircled{1} \text{每孔装药量: } q = k' \omega H = 0.25 \times 0.3 \times 0.53 = 40 \text{克,}$$

$$\textcircled{2} \text{总装药量: } Q = Nq = 54 \times 40 = 2160 \text{克.}$$

爆破地震效应与爆破效果

$$V_{\perp} = K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^a$$

式中:  $V_{\perp}$  为爆破垂直震动速度, 厘米/秒;  $K$  为介质常数, 取70;  $a$  为爆破地震波衰减指数, 取2;  $R$  为爆点与被保护物距离, 取3米。

分两段起爆, 两段间隔时差约30毫秒。

故

$$V_{\perp} = 70 \times \left( \frac{\sqrt[3]{\frac{2.16}{2}}}{3} \right)^2 = 8.2 \text{厘米/秒}$$

< 12~14厘米/秒 (一般安全规定)

爆破时用四层充砂草袋覆盖包裹, 起爆时现场目测无飞散, 爆后水平摊散距离约2米, 被爆体全部炸松, 块度适中, 用8磅铁锤稍事敲击即可取出全部钢筋爆后对附近的建筑物和文化中心站四周墙壁外观检查, 无任何细小裂缝产生, 完全达到了预期的效果。

### 三、钢筋混凝土柱和边墙控爆

武钢三烧结厂浓缩池钢筋混凝土边墙和四个钢筋混凝土柱, 需要采用控爆拆除, 爆区四周均为正在生产的烧结机厂房, 控爆环境十分恶劣严峻。厂方要求爆破时生产不得停顿, 并应保证生产厂房、设备、和人身的绝对安全, 要求很高。爆区位置和规模如图4。

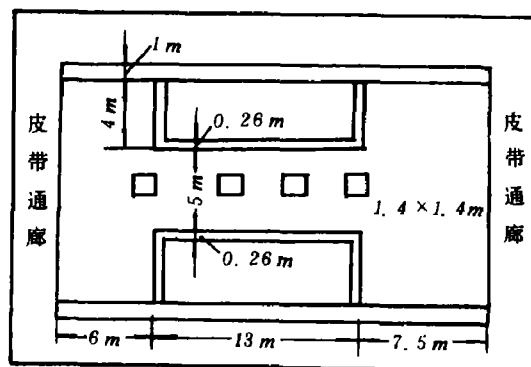


图4

被爆介质水泥标号为500, 钢筋十分密集, 呈0.2×0.17米的网状排列, 纵向为主筋, 直径为4.5厘米, 横向为辅筋, 直径为2.5厘米。

爆破总方量

$$V = V_{\text{墙}} + V_{\text{柱}} = [(13 + 4 \times 2) \times 2 \times 0.26 \times 3] + 1.4^2 \times 2.5 \times 4 = 53 \text{ 立方米。}$$

### 控爆参数

#### 1. 钢筋混凝土墙

孔径  $d = 32$  毫米 (成孔约 34 毫米); 孔距  $a = 0.3$  米; 抵抗线  $\omega = 0.13$  米; 邻近系数  $m = (a/\omega) = (0.3/0.13) = 2.3$ ; 孔深  $l = 1$  米; 墙高  $h = 3$  米, 分三次爆除。

#### 2. 钢筋混凝土柱

孔径  $d = 32$  毫米 (成孔约 34 毫米); 孔距  $a = 0.4$  米; 抵抗线  $\omega = 0.3$  米; 邻近系数  $m = (a/\omega) = (0.4/0.3) = 1.34$ ; 孔深  $l = 1.25$  米; 柱高  $h = 2.5$  米, 分两次爆除。

#### 3. 孔数按下式确定

##### 钢筋混凝土墙

$$L = (13 + 4 \times 2) = 21 \text{ 米}$$

$$n = \frac{L}{a} + 1 = \frac{21}{0.3} + 1 = 71 \text{ 孔/爆次}$$

##### 钢筋混凝土柱

$$n = 9 \text{ 孔/爆次。}$$

墙和柱的孔网布置, 分别见图 5 和图 6。

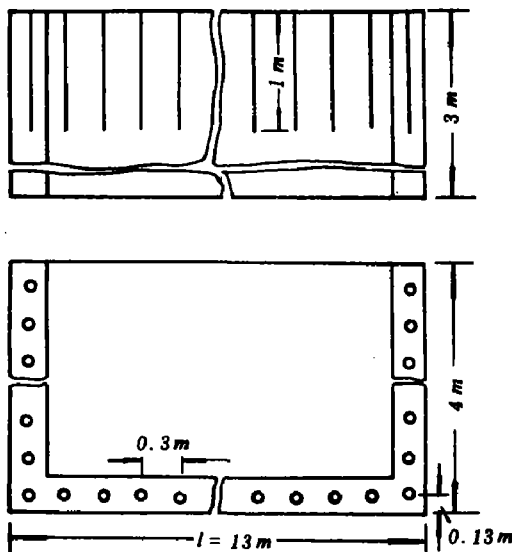


图 5

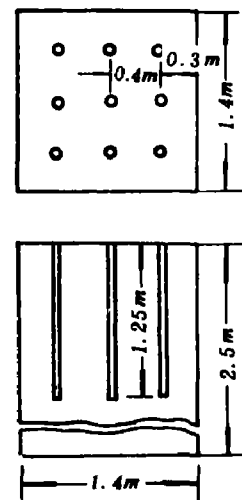


图 6

装药量按以下经验式确定

#### 1. 每孔装药量

$$\text{墙: } q = k' \omega l = 0.25 \times 0.13 \times 1 = 35 \text{ 克;}$$

$$\text{柱中心孔: } q_{\text{中}} = k' \omega l^2 = 0.25 \times 0.4 \times 0.125^2 = 156 \text{ 克, 实装 150 克;}$$

边 孔:  $q_{\text{边}} = k' \omega l m = 0.25 \times 0.4 \times 0.3 \times 1.25 \times 1.34 = 50$  克。

以上每个孔装药量均按 4 : 6 分上、下两层间距约 3 厘米进行分装。

## 2. 一次爆破总药量

墙:  $Q = nq = 71 \times 35 = 2485$  克

为了降低爆破产生的地震波、空气冲击波对四周厂房和设备的危害, 分段微差起爆, 时差间隔约 30 毫秒, 每段药量约为 830 克。为了防止个别碎石飞散, 造成厂房、设备和人身事故, 起爆时利用烧结厂废皮带覆盖三层。

柱:  $Q = n_{\text{中}} q_{\text{中}} + n_{\text{边}} q_{\text{边}} = 1 \times 150 + 8 \times 50 = 550$  克

一次即发爆破。

## 震动校核

根据爆破介质情况, 取  $K = 70$ ,  $a = 2$

$$V_{\perp} = K \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^a = 70 \left( \frac{\sqrt[3]{0.83}}{4} \right)^2 = 3.9 \text{ 厘米/秒} \ll 12 \sim 14 \text{ 厘米/秒}$$

**爆效** 爆后经现场宏观调查, 四周厂房墙壁和柱均无细小裂缝产生。爆区虽距四周厂房仅 4 米, 但据有关资料介绍, 爆破破坏作用最大的地震波频率为  $f = 10$  周/秒的低频震动, 而 4 米属近距, 主要是大于 50 周/秒的高频成份起作用, 而高频衰减快, 破坏性小, 故爆效好。每次爆破后块度约为 20 厘米, 水平摊散距离为 1.5 米, 无飞散发生。工程竣工后, 委托单位评价是: “从爆破现场实际情况来看, 效果极佳, 完全达到预期效果”。

## 四、结束语

城区建设中的控制爆破, 其爆破环境十分恶劣、严峻。但只要我们对现场进行充分的调查, 全面掌握被爆物的各种性能以及爆区的自然环境, 在此基础上, 进行详尽的科学计算, 并进行必要的预爆试验, 完全能安全合理地进行控制爆破, 达到预期的效果。

参加以上爆破的工作人员有吕锡康、肖庆生和张汉兴同志。

# THE PRACTICE OF CONTROLLED BLASTING IN CITY CONSTRUCTION

Zhou Haoran

## Abstract

Three small-scale controlled blastings in city construction are described and analysed in this paper. The blasted objectives are scrap iron lump of several tens ton weight, reinforced concrete beam, pillar and side wall respectively. The work-condition is harsh. On the premise of ensuring safety, the blasting work is successful.