

科技参考资料 81-02

# 国际弹道会议录译文选

(一)

华东工程学院情报资料室

一九八一年元月

## 前 言

本译文集主要选自第四次国际弹道会议文集 (Fourth International Symposium on Ballistics)。也兼选了几篇第一、二次会议文集的论文。

到目前为止,国际弹道会议已召开了四次。第一次弹道会议,由美国防务准备协会发起并主办,时间是1974年11月13—15日,地点在美国的佛罗里达州奥兰多市,共发表论文三十四篇。第二次会议仍由美国主办,时间是1976年3月9—11日,地点在美国的佛罗里达州代顿纳比奇城,共发表论文四十六篇。第三次会议由西德主办,时间是1977年3月23—25日,地点在西德的卡尔斯鲁厄,会议录刚刚收集到。第四次会议由美国主办,具体负责单位是美国防务准备协会弹道专业组 (American Defense Preparedness Association Ballistics & Vulnerability Division),时间是1978年10月17—19日,地点在美国加利福尼亚州蒙特黑海军研究生院 (Naval Postgraduate School),会议发表论文六十篇,其中有20篇是邮寄会议供交流的,未在会议上宣读,收到的会议论文其中八篇只有文摘。据悉,第五次会议已于1980年上半年在法国召开。从历届会议论文集看,参加会议的国家有美国、英国、法国、西德、瑞典、瑞士、荷兰以及以色列等。出席会议和为会议提交论文的学者多是各国政府及军方的科研机构的研究人员,大学教授以及私营工业公司的技术人员。

国际弹道会议论文集比较集中地反映了美国以及主要西方国家在兵器技术的基础理论—弹道理论及实验技术方面所取得的最新成就和当代发展水平。其内容包括四个方面:

一、推进动力学,即内弹道学方面,文集着重讨论了点火和燃烧过程的控制,武器中的气流问题,弹丸、炮管、火炮药室和火箭燃烧室所受的热力学作用。

二、发射动力学,即中间弹道学方面,文集着重研究了内弹道性能与炮口冲击波作用之间的关系,描述了炮口的外部状态。

三、飞行动力学,即外弹道学方面,文集着重讨论了弹丸的最佳气动力特性与发射弹丸和保证弹丸满意地到达目标并获得最大的末端效应时的技术平衡问题。

四、弹头机理和末端弹道,即终点弹道学方面,文集着重讨论了应用新的试验手段和先进的计算机程序更深入地揭示炸药与金属之间作用问题。

我们组织有关教员结合科研和教学工作,系统地阅读了国际弹道会议录第一、二、四次会议录,并重点翻译了第四次会议的论文(第一、二次会议论文已有一些单位选择出版过)。有关教研室还召开了专门的学术交流会,专门讨论了这些论文的学术价值,通过国内外专业学术状况的对比,感到在弹道学研究领域里,有一些传统的研究方法,国内外水平还是比较接近的,但是在一些新的试验手段和先进的计算机程序进行测试和模拟计算方面,我们当前的水平,与国外先进水平的差距还较大。有的同志正在撰写专题情报分析文章,我们准备在译文选出版后,再印发这方面的文章,供大家讨论。

参加本译文选的有近卅位同志,由于译者专业水平和外文程度很不一致,尽管经过多次审校,少数译文难免仍有不妥之处,望读者批评指正。

院情报室 1980年12月

# 目 录

## 内弹道学部分

### 一、炮药破裂及其内弹道影响的研究

.....法国国家火炸药公司布歇研究中心  
1—15

### 二、药包装填火炮中点火引起的流体动力问题

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
A.W.霍斯特, T.C迈纳 16—34

### 三、M—82底火流场分析

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
卡赛伯·克·佐尔坦尼 35—52

### 四、点火药反应产物对表面包复的火炮发射药点火作用的影响

.....西德弗琅药弗公司火炸药研究所  
M.洪德, F福尔克, M.L.伦吉 53—59

### 五、火焰传播中点火过程的计算

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
卡尔·W.纳尔逊 60—77

### 六、在运动弹丸后面的轴对称非稳定可压缩的边界层的气流计算

.....西德恩斯特—马赫学院弹道系 R. 海泽尔  
圣路易丝德法研究所 D. 亨泽尔 78—86

### 七、弹丸在炮膛内自由运动的计算机模拟

.....美国陆军武器研究发展局  
艾伯塔斯·E.施米德林 87—100

### 八、无后座炮内弹道的一些研究

.....瑞典国防研究院二部斯文—埃里克—弗 莱 格 101—108

### 九、105毫米M68坦克炮高性能发射装药设计

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
J.J.罗克奇奥, R.W.迪斯, J.M.弗兰克尔 109—126

### 十、再论随行装药的概念

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
I.W.梅, A.F巴兰, P.G贝尔 127—141

## 十一、火药燃烧对炮钢表面组成的影响

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
A·尼勒和R·伯克米伦 142—152

## 十二、用X射线透视武器身管研究火药燃烧

.....西德恩斯特—马赫学院 弹道系 U·赫内曼 153—161

## 十三、膛内气体速度和径向气体温度分布的测量

.....西德恩斯特—马赫学院 弹道系 G·克林根伯格  
圣路易丝德—法研究所 H·马赫 162—172

## 十四、滑膛坦克炮横向运动的测量

.....西德联邦国防军Meppen试验场

约阿希姆·K·比勒卡尔, 海因茨·伯尔克, 马丁·J·克拉瓦 173—178

## 十五、添加剂发射药能量对炮身管烧蚀的影响

.....瑞士武器装备和采购组 弹道学部 H·施蒂克林 179—186

## 十六、大口径弹丸软性回收器

.....美阿伯汀靶场 弹道研究所  
E, V·克拉克, J·W·伊凡斯, C·R·罗斯 187—198

# 中间弹道学部分

## 一、尾翼弹的散布: 发射气体动力学

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
E·M·施米特, K·S·范斯勒, D·D·希尔 199—209

## 二、20毫米火炮炮口冲击波的测量

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
E·M·施米特, E, J, 吉昂, K·S·范斯勒 210—222

## 三、由压缩气体与一系列锥形喷管产生的低压冲击波参数的研究

.....英国皇家陆军技术学院 数学与弹道系  
J·F·格里姆肖, L·彭内尔格昂 223—238

## 四、联合王国在肩射无后座武器的噪声方面最近所做的工作

.....英国国防部皇家军械研究与发展中心  
W·A·克莱登, A·希尔曼 239—257

## 五、装于闪电式飞机上的航炮冲击波测量

.....英国贝德福特皇家飞机公司力学实验室 D·G·马比 258—267

## 六、膛口火药气体温度的声学测温方法

.....美国阿伯汀靶场 弹道研究所  
E·M·施米特, E·J·吉昂 D·D·希尔 268—276

附: 著者单位、姓名译名一览表.....277—280

# 炮药破裂及其内弹道影响的研究

皮埃尔·本海姆，让·路易斯·保兰，贝尔纳·泽勒

法国国家火炸药公司布歇研究中心

## 摘要

对于大口徑武器彈藥的裝藥而言，在火藥的點火過程中，有些火藥粒正對着彈丸底刷急地加速運動，藥粒破裂的結果可導致危險的壓力峰。

本文应用药粒撞击钢板的试验研究了药粒破裂的范例,研究的参数有:

## —温度。

—几何形状（七孔及十九孔），

——成分，

——工艺过程。

所观测到的有:

——在正常温度下撞击速度低于30米/秒情况下不能忽视的破裂概率，

——在低温下脆性的增加，

——药粒破裂的形式与温度，撞击速度及火药成分有关，并导致出用高压密闭爆发器点火所检查出的不同效应。

## 1. 導引

为了提高穿甲弹的初速，以及减小坦克炮的口径，许多国家的部队都计划发展压力高达7500巴甚至10000巴的超高压武器。

这些武器的火药装药设计存在很多的问题，并且难以详细说明。

由于在温度、速度及压力这些极端不稳定的条件下观察和测量的困难，所以射击时所发生现象的描述是不完善的。

然而，几年来，这方面的理论和实验的工作已取得成就，这方面的知识也大有进展：

——从理论观点,火药床的对流燃烧模型化表明在火药装药点火过程中压力波是在燃烧室中传播(1.6),

——从实验观点，应用各种测量技术观测出火药在燃烧过程中在燃烧室中所发生的一些

这个表达式可在波的f—d—b整个路径上积分，并变换后可得 $a_e$ 的解为：

$$a_e = (\Delta x - u_m \Delta t) / \left[ \frac{3-r}{r-1} \int_{t_f}^{t_b} \left( \frac{P}{P_e} \right)^{r-1/2r} dt - \frac{2}{r-1} \Delta t \right]^* \quad (9)$$

式中： $\Delta x = x_b - x_f$

$$\Delta t = t_b - t_f$$

上式中所有项都可以从压力曲线中读出。在低初速时，声速的修正量较小；而在800米/秒时，从式(9)中得到的 $a_e$ 之值，比直接从式(3)差分得到的声速值要低15%。

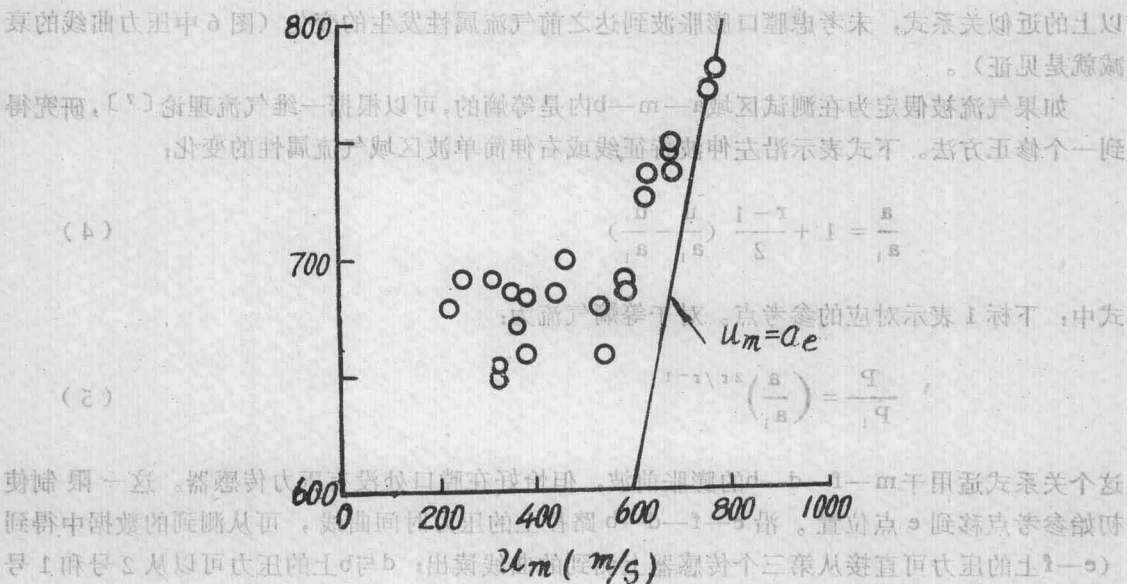


图8 被测声速

用这个方法求得的声速随初速变化的规律示于图8。在初速从200米/秒到600米/秒时，火药气体的声速在弹出膛口之前，保持在675米/秒的恒定数值上，偏差为 $\pm 20$ 米/秒。在初速超过600米/秒后，火药气体的声速开始很快地增加，在初速为780米/秒时达到声速。声速随初速继续变化，采用本文提出的方法已无法测量。

在3号传感器处直接测得的压力，是初速的函数（见图9）。膛口压力与初速之间的关系，在600米/秒之前是线性的，当初速为600米/秒时，压力出现一突然跃变，之后继续增加，压力仍然又是线性地上升。膛口压力的陡然增加，出现在气流声速开始增加的同一初速值上，因此可以推测燃烧过程可能发生了变化。武器设计的初速约为1000米/秒。较低的初速是单纯地从药筒内取走火药来实现的，不减少药室的容积。火药由药筒底部点火器附近的薄膜抵住，火药底部之间的自由容积，会形成影响火药的燃烧过程的压力波。

(8)\* 原文(9)式遗漏积分符号——译者注

所求得的典型曲线的形状如图 2 所示。在最小速度以下的破裂药粒百分数为零。

破裂药粒百分数随撞击速度的逐渐增加而增加，可以解释为药粒尺寸及成分（例如残余溶剂）的某些散布，以及撞击角度的偶然差异。已确定出药粒撞击的方位与管流速度有关，流速愈高，以药粒端面撞击钢板的药粒百分数愈多。

速度对撞击一定范围钢板的药粒百分数所产生的影响已进行了研究，药粒倾斜地撞击钢板的百分数是随速度增加而减少（这有利于药粒端面的撞击），当撞击速度超过 100 米/秒时，端面撞击数要超过总撞击数的 95%。

根据这些结果就有可能解释在广大速度间隔内标志破裂范围的水平线这样意料不到的曲线形状：在这个间隔内端面撞击的比例增加，因为端面撞击的强度高于倾斜撞击的强度，所以平均的撞击强度也增加。因此，破裂药粒的百分数并不增加甚至减少。通过将流管口部靠近钢板以保证端面撞击的方法已得到验证：最小的破裂速度有显著地增加（从 30 米/秒增加到 70 米/秒），并且当撞击速度高于 100 米/秒时（相当于端面撞击超过 95%）两条曲线相交（见附图 4）。

### 3. 结 果

对于具有各种几何形状及成分的多孔药粒进行了试验：

——一种十九孔无粘合剂的单基药 B19T98 (1, 6)，

——一种十九孔含二硝基甲苯及二丁基苯二酸酯 1 B19T82 (1, 5)，

——一种七孔无粘合剂的单基药 B 7 T98 (0, 95)，

——一种七孔三基药 (M735 弹药所用的 M30)。

这些火药的具体说明可见附录 5。

#### 3.1 温度影响

对两种无粘合剂的单基药以及 M30 火药在  $-54^{\circ}\text{C}$ ， $+21^{\circ}\text{C}$  及  $+51^{\circ}\text{C}$  时进行了试验。

相应的结果列在附录 6 中，这三种火药具有不同的表现：

——在常温时，M30 及 B19T98 (1.6) 的最小破裂速度为 30 米/秒，B 7 T98 (0.95) 则为 40 米/秒。

——在  $-54^{\circ}\text{C}$  时，火药较脆，M30 的最小破裂速度降低到小于 10 米/秒，B19T98 (1.6) 小于 20 米/秒，而 B 7 T98 (0.95) 则大约为 25 米/秒。

——在  $+51^{\circ}\text{C}$  时，火药的脆性比  $21^{\circ}\text{C}$  及  $-50^{\circ}\text{C}$  的小，M30 的最小破裂速度增加到 60 米/秒，而 B19T98 (1.6) 则增加到 50 米/秒。

总之，火药在低温下的脆性比常温及高温的大，M30 火药的机械性能与温度有很大的关系。在  $-54^{\circ}\text{C}$  时，25 米/秒的撞击速度已足够导致 95% 以上的破裂。

#### 3.2 几何形状的影响

可以对具有相同的理论成分仅残余溶剂含量略有不同的两种单基药 [B19T (1.6) 及 B7T

98(0.95)进行几何形状影响的试验。

破裂曲线列在附录 7 中。

在常温时，七孔药的最小撞击速度为 40 米/秒，而十九孔的则为 30 米/秒，在较高的撞击速度时（相当于端面撞击），火药 B7T98 (0.95) 变得比火药 B19T98 (1.6) 较脆；在 100 米/秒时，破裂药粒的百分数分别为 100% 及 60%。

总之，在低撞击速度时，七孔药粒比十九孔药粒似乎有较大的抗碎性，但在高撞击速度时，十九孔药粒又似乎有较大的抗碎性。

### 3.3 成分的影响

比较几何形状完全相同的两种不同单基药的成分是不可能的，这是因为即使应用相同的冲模和针板，由于制造过程中溶剂排除所产生的收缩情况并不相同，而烘干药粒的最后尺寸也不相同。

然而，有意义的是一方面比较火药 B19T98 (1.6) 和 LB19T82 (1.5) 的性能，另一方面比较火药 B7T98 (0.95) 和 M30 的性能。

火药 B19T98 (1.6) 表现有以下两种典型的性能：

——不是破碎药粒单纯地随撞击速度增加而增加，

——就是增加一个固定水平区域之后又继续增加。

火药 LB19T82 (1.5) 虽然研究较少，但似乎具有第一种性能。

在 LB19T (1.5) 情况下的最小撞击速度总是高于 B19T98 (1.6) 的情况：前者为 40 米/秒，后者为 30 米/秒，这可以用硝化纤维以二硝基甲苯及二丁基苯二酸酯的胶化作用来解释。

在较高的撞击速度时，破碎药粒百分数相对地较低于 B19T98 (1.6)。

对这些火药的低温试验没有进行，但在这些情况中 LB19T82 的性能必须加以了解。

火药 B7T98 (0.95) 同 M30 的比较结果部分地表现出与温度的影响有关，B7T 的最小撞击速度比 M30 的高，在 M30 中的硝基胍的高含量使得低温时的脆度显著地增加。

### 3.4 制造过程的影响

将制造过程稍加调整可以使火药粒具有较好的抵抗撞击的性能，在附录 9 中（伯杰拉克火药工厂 S、N、P、E 的制造样品）即表明这种调整的效果：最小撞击速度并不增加，但高速时的药粒破裂百分数仍保持着低的水平（在 130 米/秒时大约为 30%）。假若应用缓慢的同轴心压缩试验，则这种改进就显示不出来。

因此，通过制造过程的调整对于药粒抵抗撞击的性能似乎有可能大幅度地改进。

## 4. 破碎类型的鉴别

在武器中火药装药点火时药粒破碎的影响与破碎百分数，破碎类型，以及装药设计有关：药粒开裂或破裂成两种碎片所发生的影响并不相同，破裂类型及其影响是籍肉眼或光学方法对药粒碎片进行检查，或者是通过高压密闭爆发器的燃烧试验来检查。

#### 4.1 撞击效果的说明

具有DNT或没有DNT的单基药常常破裂得很明显，一般是裂成两片，破裂面也常常是同药粒的轴平行，只是在很高速度情况下在药粒中才产生断裂。

在M30的情况下，可以出现明显的破裂，但也有药粒中很多裂缝所产生的不明显破裂。在高撞击速度时，药粒即裂成大量的碎片，甚至成为粉状，以低放大率的电子显微镜可给出药粒撞击后所形成的明显印象。

表1 破碎的及完整的火药在密闭爆发器中的燃烧试验数据

| 样 品                                                                             | B19T98(1.6) | 碎 片<br>B19T98(1.6) | M30    | M30碎片  |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|--------|--------|
| 装 填 密 度<br>(克/厘米 <sup>3</sup> )                                                 | 0.4778      | 0.4778             | 0.4778 | 0.4778 |
| 最 大 压 力<br>(巴)                                                                  | 7530        | 7500               | 7660   | 7824   |
| $(\frac{dp}{dt})_{max}$<br>(巴/毫秒)                                               | 4300        | 3200               | 4700   | 3800   |
| $(\frac{dp}{dt})_{0.3} \frac{P}{P_{max}}$<br>(巴/毫秒)                             | 1295        | 1545               | 1660   | 2875   |
| $(\frac{dp}{dt})_{0.4} \frac{P}{P_{max}}$<br>(巴/毫米)                             | 1885        | 1990               | 2280   | 3265   |
| $(\frac{dp}{dt})_{0.5} \frac{P}{P_{max}}$<br>(巴/毫秒)                             | 2595        | 2400               | 2980   | 3575   |
| $(\frac{dp}{dt})_{0.3} \frac{P}{0.4} \frac{P}{0.5} \frac{P}{P_{max}}$<br>(巴/毫秒) | 1925        | 1978               | 2307   | 3238   |

## 4.2 高压密闭爆发器的燃烧试验

药粒碎片在高压密闭爆发器中燃烧可以根据破裂药粒的燃烧性能定量地表示出撞击的影响，压力—时间曲线的分析以及计算机程序的应用，在某些假设情况下，可以对药粒破裂在火炮内弹道中的影响作出估计，现仅给出密闭爆发器燃烧数据的分析结果。

燃烧试验是在容器为100厘米<sup>3</sup>的爆发器中进行，最大压力大约为7500巴，试验样品是没有破损的火药B19T98 (1.6) 及M30，或这两种火药经过高速撞击（在150米/秒到200米/秒之间）之后所收集的碎片。

记录出以时间为函数的压力 $P(t)$ ，以及压力对时间的导数 $dp/dt = f(p)$ （见附录10），其结果列于表1。

应用标准化协定 4115，与完整火药相对比，破碎火药的相对升压率 B19T98 (1.6) 为102.3%，而M30则为137%。

特别是对于M30，燃烧开始时的压力增长速率很高，如下所示：

| 样 品                 | $\frac{dp}{dt}$ (巴/毫秒) | $\frac{dp}{dt}$ (巴/毫秒) |
|---------------------|------------------------|------------------------|
|                     | $p = 0.05p_{max}$      | $p = 0.1p_{max}$       |
| B19T98 (1.6)        | 200                    | 380                    |
| B19T98 (1.6)<br>碎 片 | 370                    | 590                    |
| M30                 | 260                    | 580                    |
| M30 碎 片             | 800                    | 1540                   |

在火炮的点火过程中药粒撞击弹底使升压率增加的作用是很有破坏性的：它将在火药床通过正减小的区域内局部地形成压力峰，并能产生危险的压力波。

在内弹道中高速撞击的效果M30比B19T98 (1.6) 更为严重。

## 5. 结 论

高压武器的发展要求对药粒燃烧时所受到的应力模型进行分析。在粒型的火药装药情况下机械应力将更为严重：火药床的压缩以及药粒对弹底及药筒肩部的撞击，可以导致药粒的破碎而发生局部的压力峰和危险的压力波。

药粒的破碎与火药成分，几何形状及温度有关。

制造过程的调整,在十九孔单基药的情况下,可以大幅度地改进抵抗高速撞击的性能。  
具有高填充剂含量的火药(M30)在低温时是脆的,它们的破裂所生成的碎片具有很高的升压率。

研究药粒破裂所发展的试验方法,从机械性能的观点出发,可以认为是高压武器选择粒状药的一种有用的工具。

本研究工作是在火炸药技术部主办下完成。

### 参 考 文 献

(1) K, K, Kuo, R, Vichnevetsky, M, Summerfield, "Generation of an accelerated flame front in a Porous Propellant."

AIAA Paper 71-210-AIAA 9th aerospace Sciences Meeting (1971)

(2) K, K, Kuo, J, H, Koo, T, R, Davis, G, R, Coates, "Transient Combustion in mobile gas Permeable Propellants"

Acta Astronautics, Vol, 3pp 573-591 (1976)

(3) C, W, Kitchens

"Flame spreading in small arms ball Propellant" —B, R, I, Report No 1604—August 1972

(4) H, Krier, S, Rajan.

"Flame Spreading and Combustion in packed beds of propellant grains"

AIAA Paper 75-240-AIAA 13th Aerospace Sciences Meeting (1975)

(5) C, W, Kitchens

"Parametric sensitivity study of numerical model for flame spreading"

B, R, I, Memorandum report n° 2546-oct 75

(6) C, W, Nelson

"Vigorous ignition dynamics revisited"

B, R, I, Memorandum report n° 2763-June 77

(7) W, G, Soper

"Ignition Waves in Gun Chambers"

Combustion and Flame 22 273-276 (1973)

(8) W, G, Soper

"Ignition Waves in Pyro Propellants"

Combustion and Flame 22 273-276 (1974)

(9) W, G, Soper

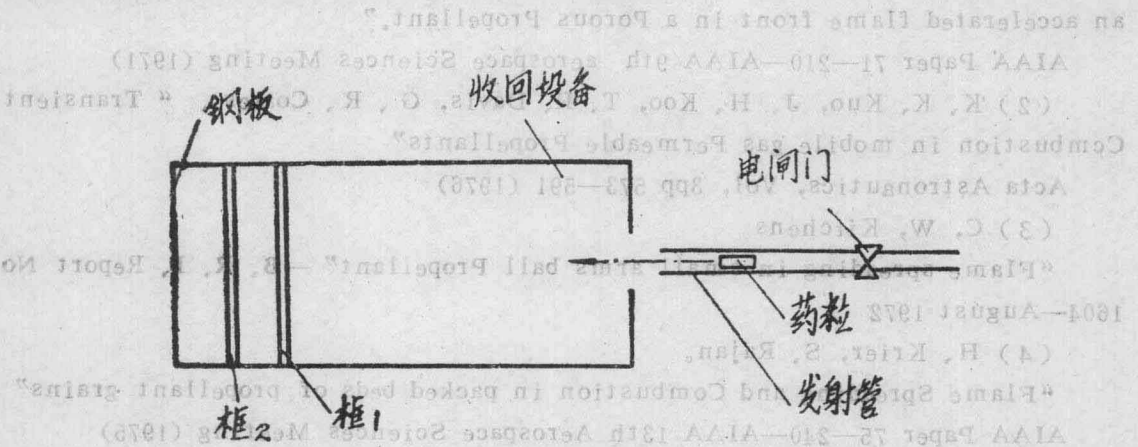
"Grain Velocities during Ignition of Gun Propellant" Combustion and Flame 24 199-202 (1975)

(10) H, Schubert, D, Schmitt—I, C, I

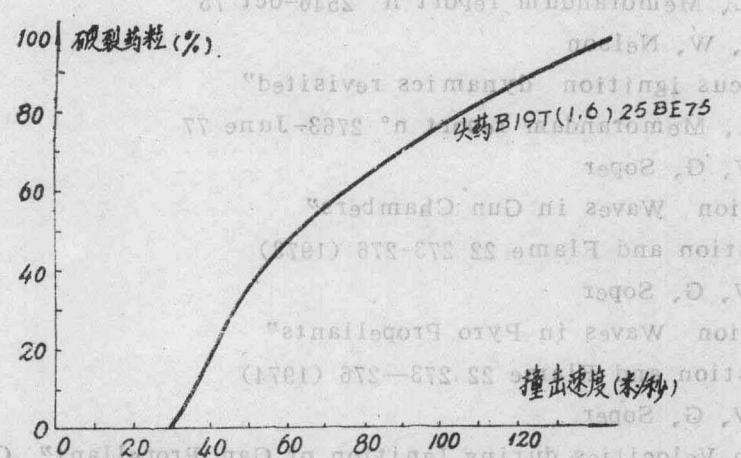
“Embrittlement of gun propellants”  
 International Symposium on Gun Propellants, Picatinny Arsenal—15-19  
 October 1973

(11) T. Zucker  
 “Development of Propellants for High Pressure Weapon Systems”  
 International Symposium on Gun Propellants, Picatinny Arsenal—15-19  
 October 1973

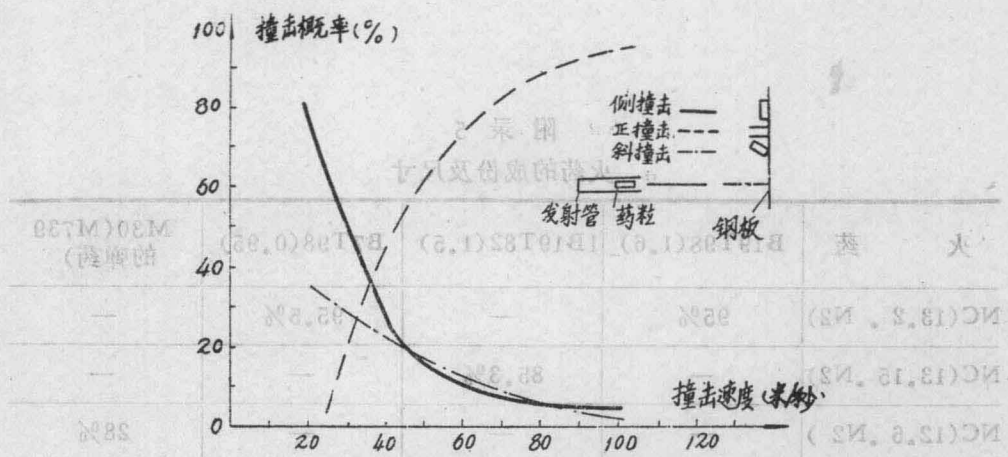
(12) I. W. May, C. W. Neison, J. J. Rocshio K, T. Whitt  
 “The role of ignition in artillery propulsion” 3rd International  
 Symposium on Ballistics KARLSRUHE (1977)



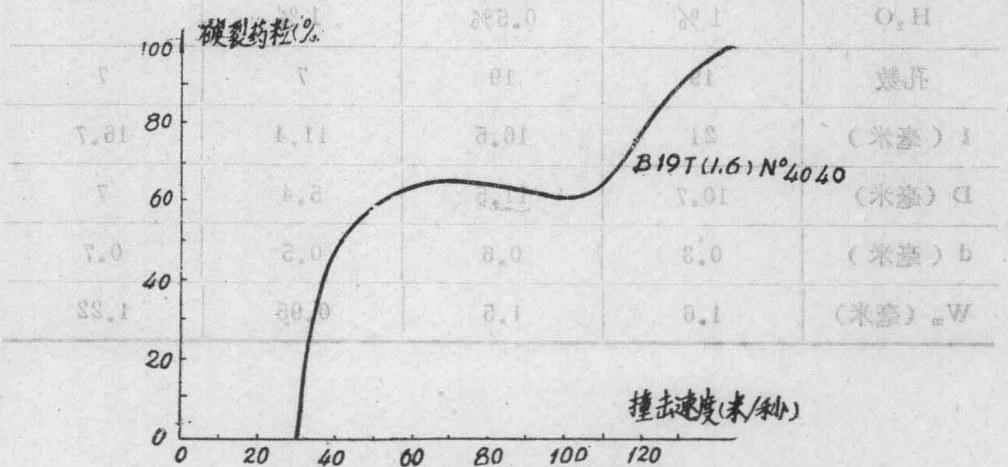
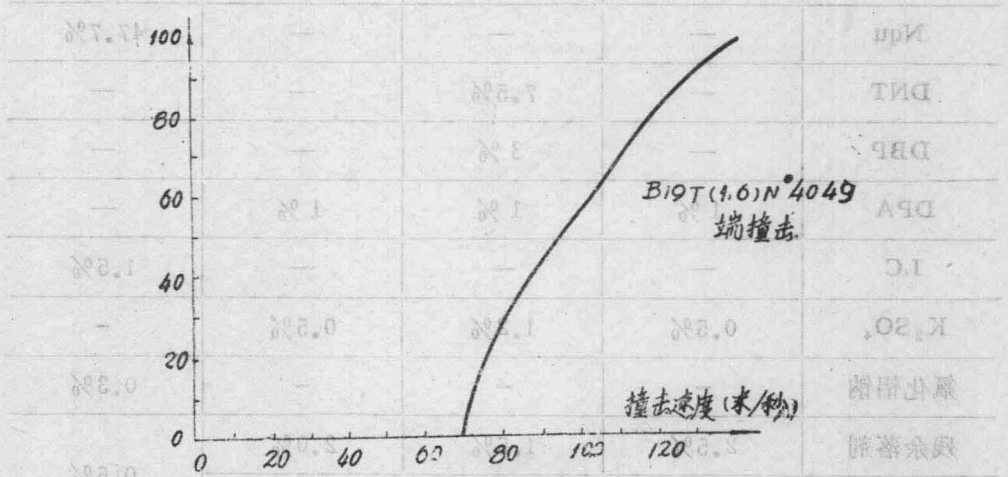
附录1 药粒撞击试验情况的仪器简图草案



附录2 以撞击速度为函数的破裂药粒百分数的曲线



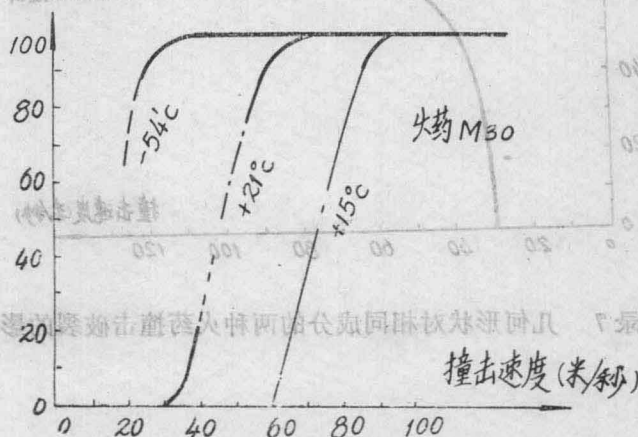
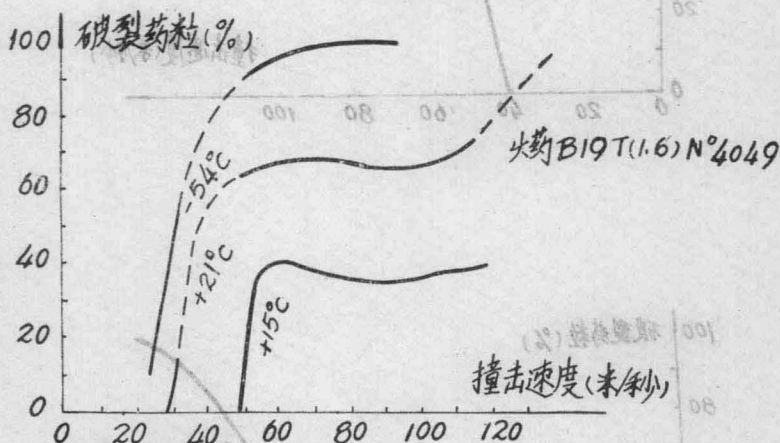
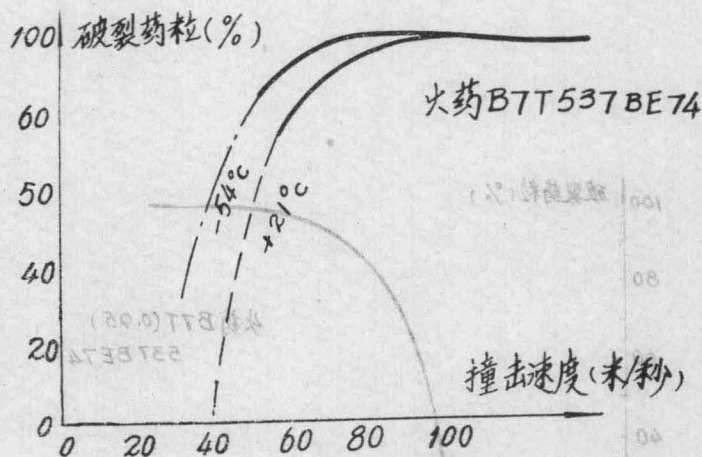
附录3 撞击速度与落下角的关系曲线



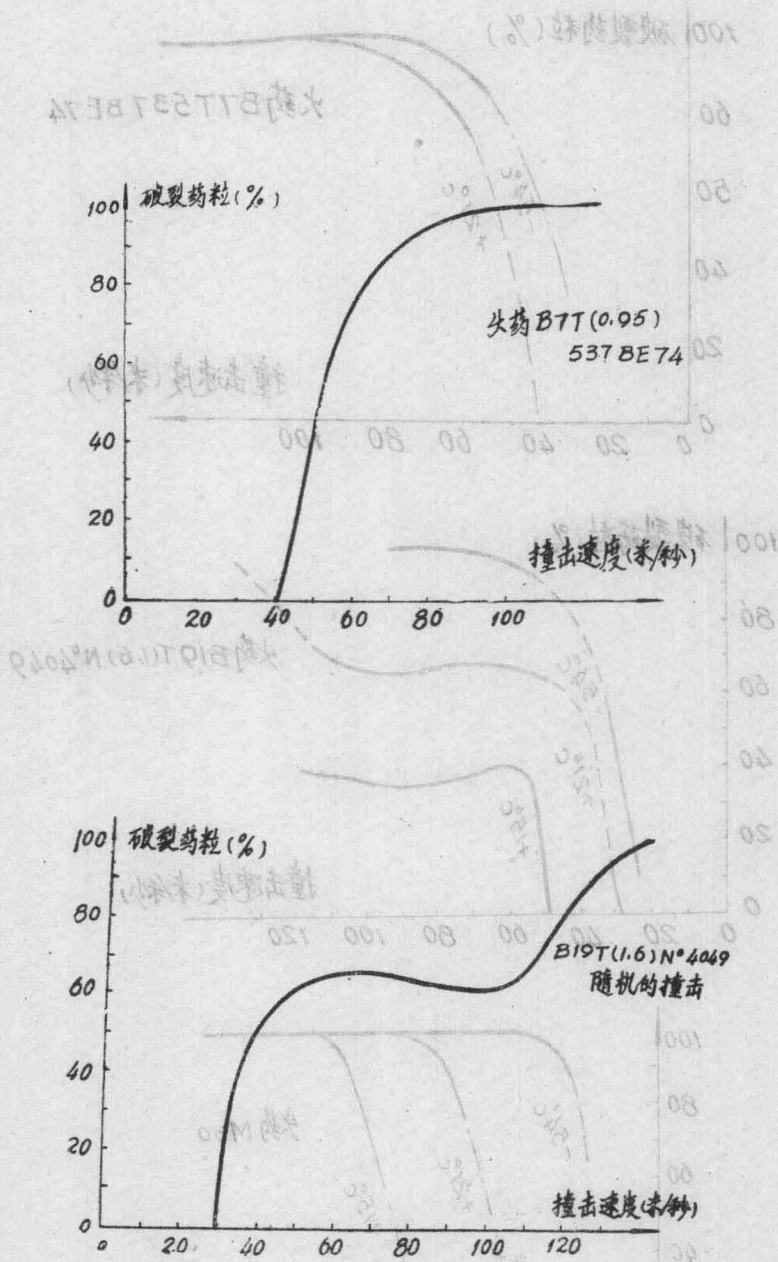
附录4 撞击时落下角在破裂药粒的百分数上的影响

附录 5  
火药的成份及尺寸

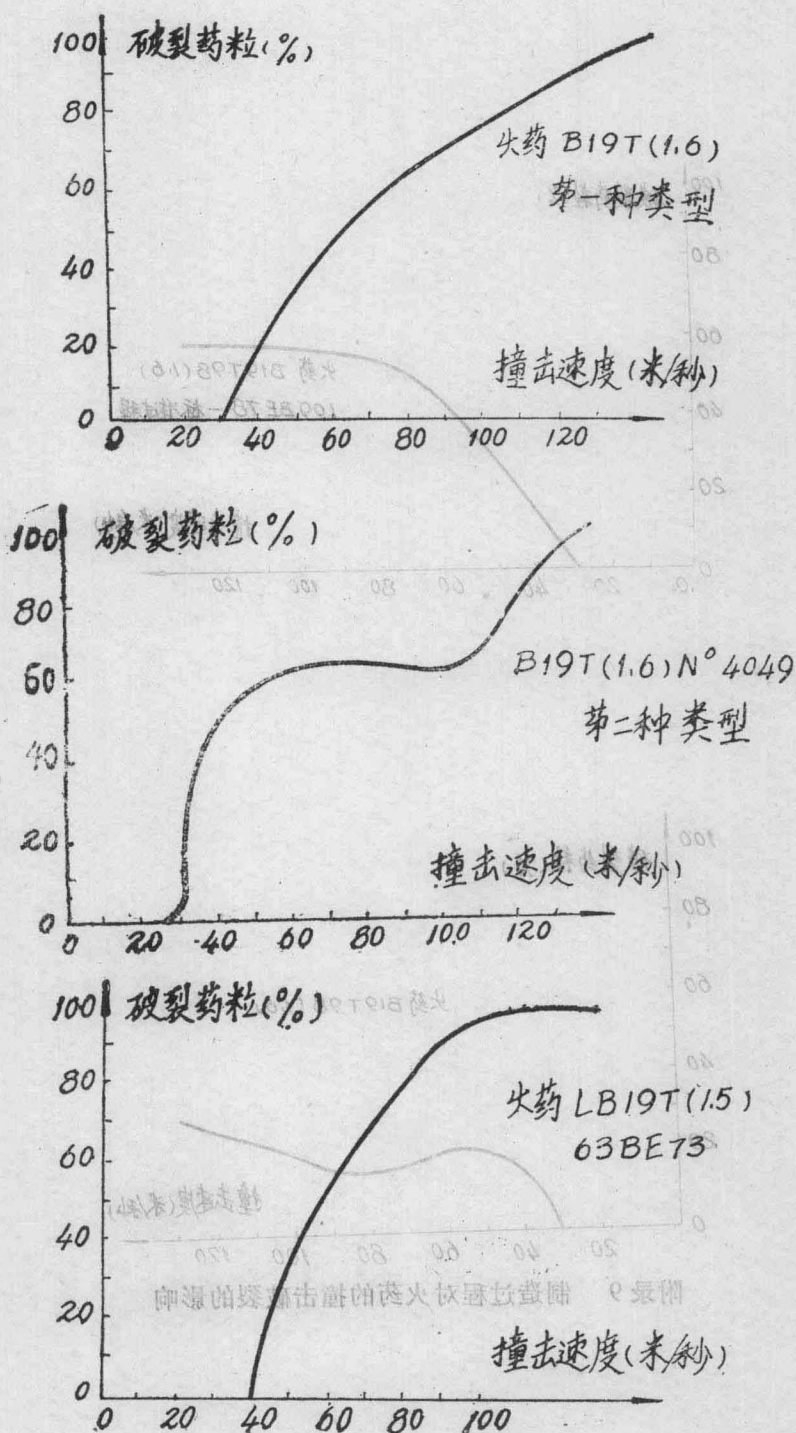
| 火 药                            | B19T98(1.6) | 1B19T82(1.5) | B7T98(0.95) | M30(M739<br>的弹药) |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| NC(13.2 . N2)                  | 95%         | —            | 95.5%       | —                |
| NC(13.15 .N2)                  | —           | 85.3%        | —           | —                |
| NC(12.6 .N2 )                  | —           | —            | —           | 28%              |
| NGL                            | —           | —            | —           | 22.5%            |
| Nqu                            | —           | —            | —           | 47.7%            |
| DNT                            | —           | 7.5%         | —           | —                |
| DBP                            | —           | 3 %          | —           | —                |
| DPA                            | 1 %         | 1 %          | 1 %         | —                |
| LC                             | —           | —            | —           | 1.5%             |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 0.5%        | 1.2%         | 0.5%        | —                |
| 氟化铝钠                           | —           | —            | —           | 0.3%             |
| 残余落剂                           | 2.5%        | 1.5%         | 2.0%        | 0.5%             |
| H <sub>2</sub> O               | 1 %         | 0.5%         | 1 %         | —                |
| 孔数                             | 19          | 19           | 7           | 7                |
| l (毫米)                         | 21          | 16.5         | 11.4        | 16.7             |
| D (毫米)                         | 10.7        | 11.5         | 5.4         | 7                |
| d (毫米)                         | 0.3         | 0.6          | 0.5         | 0.7              |
| W <sub>m</sub> (毫米)            | 1.6         | 1.5          | 0.95        | 1.22             |



附录6 温度对火药的脆性的影响



附录 7 几何形状对相同成分的火药撞击破裂的影响



附录 8 成分对很相似的几何形状的两火药撞击破裂的影响