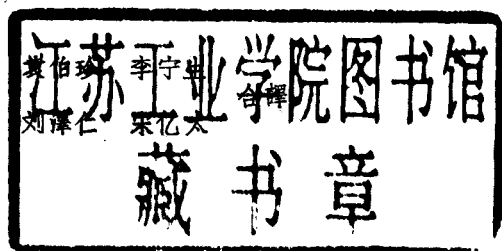


聚能現象的理論 與實驗研究



國防工業出版社

聚能現象的理論 与 实 驗 研 究



國防工業出版社

聚能現象的理論 与 实驗研究

袁伯參 李宁生 合譯
刘澤仁 宋亿太

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号

北京新中印刷厂印刷 新华書店发行

*

787×1092 耗 1/32 • 2¹¹/16 印張 • 60,000 字

一九五七年十月第一版

一九五七年十月北京第一次印刷

印数: 1—900 册 定价: (11) 0.49 元

前 言

本書是根据苏联“Механика”杂志——1953年第4(20)期的一篇俄译文譯出。而俄译文是根据美国“Journal of Applied Physics”杂志19, №6, 563—582 (1948); 20, №4, 363—370 (1949); 21, №2, 73—74 (1950); 22, №4, 483—493 (1951); 23, №5, 532—542 (1952) 等文献譯出。关于聚能金屬射流的理論在1953—56年同一期刊中仍不断有所刊登, 本書則未及全部編入, 近期資料拟留待以后再为增补。

本書介紹了第二次大战中聚能装药在彈药上实际采用的情况, 及其在穿甲上所表現的特殊效能。也簡單的提到楔形和錐形药罩聚能装药在工矿上以及一些特种場合中的特殊用途。

本書着重地研究了錐形药罩聚能装药的破坏效能, 如何利用倫琴射綫摄影术的方法观察药柱的爆波运动, 以及药罩的破坏过程和流芯与射流的形成过程。

本書根据流体动力学的定律用初等数学的方法解釋了錐形和楔形药罩的聚能装药的射流形成理論与穿靶理論。用运动座标系說明恒速及变量射流穿靶过程。并对确定射流速度关系式的实验作了研究。本書还介紹了用克尔盒拍摄高速爆波冲击波的方法。但此初步理論并不能很好的解釋为什么射流較稳定流体理論所預測者长几倍并有大几倍的破坏效能。所以后来又提出了錐形药罩被毀速度为一变速而非恒速的新理論。認為在射流的末端有增补射流的形成并在射流长度中存在着速度梯度, 这一理論已为实验所証实。最后本書并提出一种預測任一瞬間射流及流芯形成的图解法, 也与实验結果相符合。

本書可供有关工程技术人員参考。

目 录

前 言

一	概 論	1
二	錐形及楔形藥型罩藥柱的射流形成的理論	11
三	与实验的比較及进一步的說明	18
四	射流对靶的貫穿	21
	1. 恒速射流对靶的貫穿	22
	2. 变量射流对靶的貫穿	27
	3. 射流穿靶的理論	32
	4. 确定速度关系式的实验研究	34
五	用克尔盒 (Ячейка Керра) 拍摄高速現象	37
	1. 射流在空气中的湧射	40
	2. 爆炸現象的照片	42
	3. 冲击波和靶受破坏情况的照片	45
六	带錐形藥型罩的聚能装藥金屬射流形成的新理論	55
七	关于柱状罩壳破坏的說明	64
八	带錐形藥型罩聚能装藥的射流形成新理論的 实验验证	67
	参考文献	81

一 概 論

还是在前一世紀的时候，采矿工程师們已經知道了：如果在炸藥柱上制一凹窩（聚能孔），則其爆炸力在有凹窩的那面可聚集于一个較小的面积上。凹窩裝藥聚能的效用第一次被指出，是在十八世紀末叶。

在最近这次世界大战开始后的最初几年中，几乎同时在各主要参战国的武器中，出現了大量的不同形式利用聚能裝藥作用原理的新式武器。人們已經确認：如果在炸藥聚能凹窩內装上薄的金屬藥型罩，則可用少量的炸藥，能击穿甲板、混凝土牆壁和其它的防御工事。这种新式炮彈的形状常常是与普通炮彈相同，只是在前部帶有鑲金屬藥型罩的凹窩。这种炮彈与普通炮彈比較，其优点在于其穿甲能力与飞行速度无关。当此种裝藥靜止爆炸时，它的穿甲能力最低也与碰到目标爆炸的炮彈之效力相同。

这种情况便迫使炮彈生产方法随着用途的不同而加以改变。在战争的年代里，美国和德国的武器中曾有着几种类型的聚能裝藥彈，虽然它們的飞行速度較普通反坦克炮彈的飞行速度小的很多，但是对付坦克却是非常有效。美国的“巴祖卡”火箭彈即是做为一种独立步兵武器使用。这种武器的头部剖面见图1。当炮彈的蛋形部触到坦克时，炮彈即行爆炸。由于爆炸的结果，鋼質藥型罩遭到破坏，它便形成一股高速的射流穿透坦克鋼板、点燃坦克內的彈藥、汽油和其它油类。在德軍的武器中，也曾使用了聚能裝藥为一定断面形状的彈丸做为步兵的反坦克武器（火箭彈——ΦАУЧНАТРОН）。

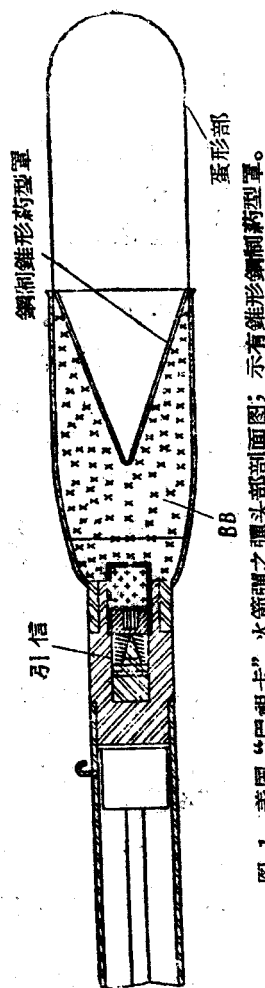


图 1 美国“巴祖卡”火箭彈之彈頭部剖面圖；示有錐形鋼制藥型罩。

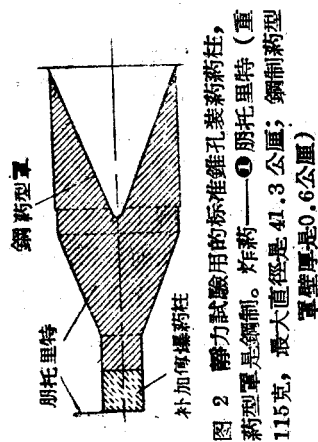


图 2 靜力試驗用的标准錐孔裝藥藥柱，
藥型罩是鋼制。炸藥——①卵托里特（重
115克，最大直徑是41.3公厘；鋼制藥型
罩壁厚是0.6公厘）

① ПЕНТОЛИТ (卵托里特) 为一种用梯恩梯和蜜糖儿以等量混合而成的炸药。——譯者注

所有这类炮弹的作用原理和构造，在1945年出版之著作中曾有简要的叙述*〔21〕，这类炮弹使步兵对巨型坦克的作战有了可能。德军使用这种炮弹，还在弹上带有久磁，以便在引信爆炸以前，能够附着在坦克上。特别的是在日军中，他们使用的聚能装药炮弹是使固定在一个长的木杆头上，装备着这种弹丸的日本兵埋伏起来，使用时把它贴附于坦克上。

因为这类炮弹的穿甲性能与其飞行速度无关，所以很多的实验研究是在静止条件下进行的。图2所示是一个实验用的有代表性的聚能装药弹，此弹之锥形孔内装有钢制药型罩。当传爆管爆炸时激起爆波，此爆波沿药柱之轴线移动，由药型罩顶端开始而将其破坏。这样便形成了一个细长的钢的射流，它以9000公尺/秒^①的速度沿药型罩纵轴向右方移动。此高速的射流穿透钢板的情形，有好多地方与救火水龙头喷出的强大水流射穿一堆湿软的泥土相象^②。此种高速运动的射流所具有的压力比钢板破裂的应力大得多，以致钢板硬度的关系很小，对射流贯穿性的影响也不大。实际上对防御这种炮弹来说，软钢板和装甲钢板几乎都是一样。

聚能装药的作用原理在和平事业中，也可以找到它的用途。从许多发表的文章来看，其中仅有某些建议是实际有益的。因为在这些方面常常是用其它方法可以得到同样好或是更

*注：方括弧内的号码是指书末所列参考书的号码。

① 普通枪弹的初速约为600~900公尺/秒，某些特种炮弹的初速约等于1.5公里/秒。——作者注

② 这两种现象不能再做更进一步的比较，因为，水流能冲刷泥土，而射流则不能把金属冲掉和带走。仔细称量证明，射流的金属被钢板阻留，而钢板（在前表面的少量金属除外）的重量几乎没有损失。孔的形成是由于钢板的径向平面流动。——作者注

好的結果。

聚能裝藥常常用在礦山中快速掘進的爆破作業上。用聚能裝藥爆破，在爆破出洞口後，可即在此洞口內再裝填炸藥繼續爆破。這種爆破方法既迅速又簡便。但是由於聚能裝藥所用的炸藥很貴，故很少使用。為了使聚能裝藥獲得良好作用，其所裝填的炸藥必須使用軍用炸藥。因為炸藥越便宜，它爆炸產生的壓力較低，這樣無疑的其作用效果也就較小。

帶有單層的楔孔聚能裝藥可以用來切割電纜、橋梁和打撈沉沒的船艦。具有長孔並裝有金屬楔形藥罩的聚能裝藥藥柱，可以切割沉沒船艦上的大型鋼板；這種方法比用氧炔焰切割更加安全，在上面所談到的這些用途中，以後者為最適用。

在美國曾准予一種關於在某些條件下，於油井中使用組合聚能裝藥以便增加石油開采量的專利權的註冊〔28〕。把這種裝藥放入油井，並在其中爆破時，使在敷設的油管中和在相鄰礦層上形成輻射狀的孔，這樣便增加了油井中滲出的石油量。看來；這種方法比起用普通炸藥裝填在相鄰礦層上炸成裂縫的辦法要完善的多。

聚能裝藥還可以用於粉碎大石塊，對這種作業說來，應用聚能裝藥比其它各種裝藥更加合適。但是，不久之前所做的試驗證明：如用同樣的炸藥製成聚能裝藥，則對巨石的破壞效用的增加不大。

聚能裝藥的作用原理還可以用於對各種材料在高压作用下的性能研究。在良好的條件下，用這種裝藥可以獲得在小面積上集中的動壓力高達250000大氣壓以上^①。改變炸藥的種類、凹

① 布利日曼 (Бриджмен) 曾經測量了聚在面積 21×2 公厘上的約有 100,000 大氣壓的靜壓力。曾獲得並壓定了 400,000 的大氣壓，但在這種高压之下未能進行觀察。——作者注

孔的形状和药罩的材料，可以获得超高动压力标定的等级。在这样高的压力下进行现象研究，当然含蓄着很大的困难。但是实验证明为了测量在很大变形速度下材料的极限应力，可以制造专门的药柱。所获得结果可以说明金属结晶中位移传播速度和玻璃中微缝的问题。测量切线应力极限的试验最少要有三项，其中一项试验用来检验其它试验的结果。在第一项试验中要测量同一标准药柱在钢靶上爆炸所形成之孔的容量和外形。在另一项试验中，要测量标准药柱抛向标准钢靶的射流所补加的穿甲深度，当射流通过该层试验材料之后，钢靶就与软钢相似。在第三项试验中要测量射流通过钢靶的速度。当我们解释这三项试验时，遇到了许多的困难；但是，如更深一步的去研究这些已被发现的现象时，这种困难即可能得到解决。

聚能装药的药型罩可以用各种材料做成，并且有不同的几何状。炮弹的药型罩种类很多，曾经用过的有：半圆形、抛物线状、梨形、喇叭口形等。虽然因炮弹药型罩不同，曾发现了在作用上也有不同，但是，却未发现这种和那种之间有什么很大的优点。在战时，所用的聚能装药弹有时就很快地用从破汽车上取下的前灯制造，可塑炸药即装在前灯反射罩的后面。

常见的和最适用的聚能装药弹，它的孔和药型罩是锥形的；这种形状适于穿甲。还有的孔和药型罩是楔形的，这种形状则适用于切割金属。这些形状不同的药型罩中，每一种在某项专门目的的使用上都收效很大。本文以后所要研究的也仅是这两种形状的药柱和药型罩。同时，大多数可靠的数据都是用图2所示之药柱及药型罩试验得来，所以下面引述的一些结论也就大部分都属于这种装药药柱。

射流的形成过程我们利用脉冲伦琴射线照相术的方法，可以观察到在爆炸时药柱的变化情况。我们可以看一看图2，由于

起爆药柱的爆炸便产生了沿弹轴运动的爆轰波；当波传到薄药型罩的顶部时，就瞬间形成了一种很高的压力。这种压力便将药型罩壁破坏。此时产生的力是非常之大；大到可以说钢的抗力在现象上对它几乎无任何影响，并且我们可以把它看成是理想流体。这种爆炸所发生的压力迫使药型罩壁以很大的速度向内运动；运动的方向几乎是与其表面垂直。运动着的药型罩仍保持着锥形。它的顶端沿弹轴向右前进。在左方，即在前进着的罩顶后面，则锥体完全被毁；该处的金属则仅是属于以前药型罩外部的金属。从药型罩内部形成了射流。这种射流便由罩的内顶冲出，并以高速沿弹轴（在图2中是向右方）运动。换句话说，就是药型罩的金属在内外表面的某处被分为内外二部分，外部锥形的金属变形成为流芯向右（按图2方向），以比较小的速度（ $500 \sim 1000$ 公尺/秒）移动。内部锥形的金属则形成了射流，沿弹轴向右以极大的高速（ $2000 \sim 10000$ 公尺/秒）运动，这就是能深深穿入钢板并形成破坏的射流（见图3~6）。最初人们认为大部分破坏作用是流芯所造成的，但是用高速电影拍照法照象的结果，正确地解释了这一现象的实质。在后来这一点被一些实验的结果所证明，流芯一般都滞留在孔的中央，而孔则是由射流所击穿。关于聚能装药的某些情况见图3~6。

图3是用聚能装药破坏的厚实钢柱纵向剖面的照片。装药药柱的形状与图2所示相同。图3的上方是药柱在爆炸前的位置。

图4是用与图3相同的方法所破坏的厚实铅柱的照片。由图上可以看出聚能装药对铅板的破坏较宽并较深；这是因为铅的阻力较小、塑性变形较大。

图5是用钢板和铅板交替叠成的圆柱受到破坏的情况。由照片上可以看出聚能装药（形状如图2）对这种钢铅交互叠成的圆柱的作用效果。在图上方所置之药柱是表示其在爆炸前

的位置。這張照片很好地表明了射流所产生的徑向塑性变形的过程；对降服点高（如鋼）的材料，这种过程則比較快的受到抑制；而对降服点低（如鉛）的材料，則这种过程被抑制的比較慢。用脉冲倫琴射綫仪瞬間拍攝照片指出，在这种破坏发生时，射流的直径不超过 2 公厘，而在每种材料上所形成的穿孔，其直径（甚至鋼板上的穿孔）都比射流本身直径大的很多。

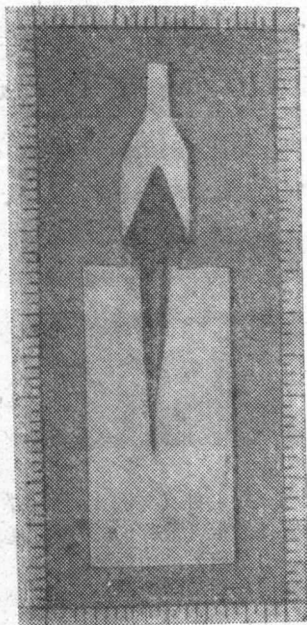


图 3 炸穿硬質鋼柱的照象剖面图（鋼柱直径82.5公厘，长178公厘）

图上药柱剖面是爆炸前的位置，药量（朋托里特）是113.5克，药型罩是用鋼制成，壁厚0.6公厘（錐体的底径是41.5公厘）。

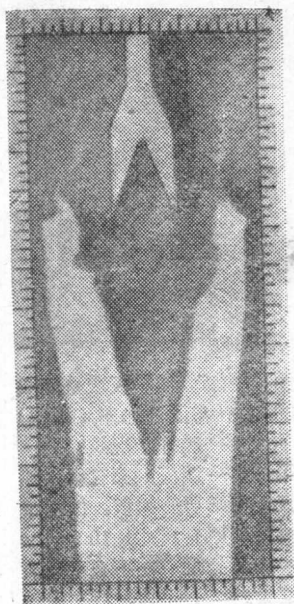


图 4 与图 3 的鋼柱試驗情况相同，厚实鉛柱被破坏情况（鉛柱直径 107 公厘，长 240 公厘）

可以看到药型罩所形成的金属流芯，它滞留在距鉛柱底 127 公厘处。

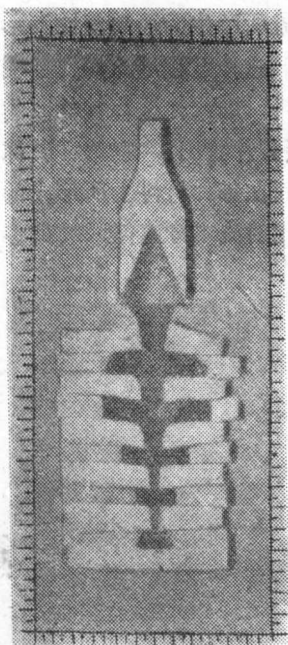


图 5 鋼板与鉛板交叠而成的圓柱(与图 3 和图 4 相似)
破坏状况

第一层—鋼板, 第二层—鉛板, 第三层—鋼板, 依次堆放, 其原有尺寸是 $102 \times 102 \times 12.5$ 公厘。在图上可以清楚看到, 不同的材料在射流通过它們之后, 于短時間内所持有的徑向动量分量。

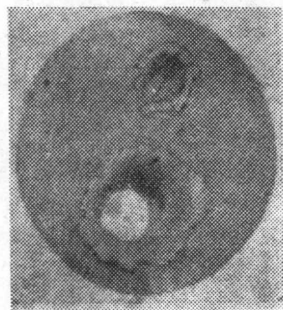


图 6 距药柱(与图 3 同)457公厘处鉛板(直径203公厘;厚51公厘)的破坏情况

药柱爆炸后射流穿一透孔, 金属流芯滞留于上, 可以看出, 流芯和射流常常是不沿同一方向运动的。

的孔徑却可小到 6.4 公厘, 而对破坏效果无任何影响。我們可以設想, 射流直径比 6.4 公厘还要小, 因为它是具有某些振动的, 因此也就使得它的可見直径尺寸增大。

图 6 是一块铅板（厚 5.8 公厘，直径 305 公厘）的照片。其上的大孔是聚能装药弹的射流所形成，它把铅板穿透。流芯的运动比射流要慢的很多，它滞留在铅板上。铅板与弹相距 45 公分，因此，也就造成了射流和流芯所破坏的地方相距很远。由于药柱的对称偏差，而使得射流和流芯的运动方向往往有些不同。

图 7 是为了比较而拍照的钢柱。这个钢柱是受到了放在它表面上的无药型罩的聚能药柱的破坏。装有药型罩的药柱，当其与钢板距有一定距离时，穿甲最深；而不带药型罩的药柱，则当其与钢板相靠时，穿孔最深。

图 8 是一幅表示普通无孔药柱的破坏作用的照片。这种药柱所具有的药量比聚能装药药柱大，因为，虽然它们的尺寸相同，但是这种普通药柱却没有锥形。

为了研究药型罩的破坏过程和射流的形成过程，曾经用脉冲伦琴射线仪光拍照了尺寸较小的药柱。这种药柱有 45° 的锥形，并有钢制药型罩。

图 9a 是药柱在爆轰前的状况。图 9b——是爆轰波刚刚达到 45° 的药型罩边缘时的状况。我们很清楚的看到药型罩的破坏情况，并且它已向着药柱轴线方向运动。在这一幅照片上，我们还可以看到在药柱轴线上射流形成的最初阶段，因为部分被破坏了的药型罩已经到了药柱轴线。图 9c——是药型罩破坏过程中较晚的一个阶段。也就是在全部炸药起爆后，经过数微秒之后的时期。图 9r——是在全部炸药起爆后，又经过了 22 微秒左右后的情况。我们可以清楚的看到这种药柱所形成的金属射流。

对于上述的一些现象，如果我们从某些简明的理论方面来研究，是不难了解的。关于这些我们在下面就要谈到。

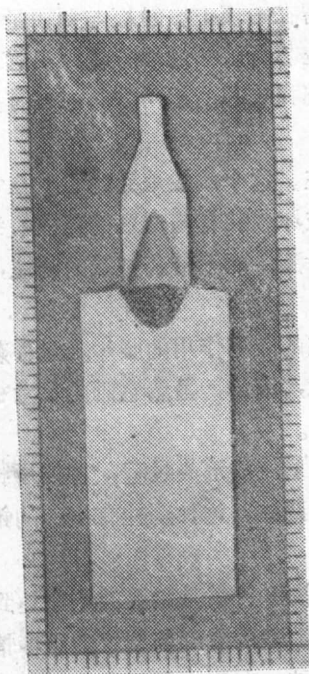


图 7 与图 3 相同的钢柱被无药型罩的聚能装药药柱破坏的情况

此药柱是直接放到钢柱上爆炸的。因为这种药柱穿甲最深是在它与目标的距离等于零的时候，而带药型罩的药柱则不同，它是在与目标距离较远时穿甲最深。

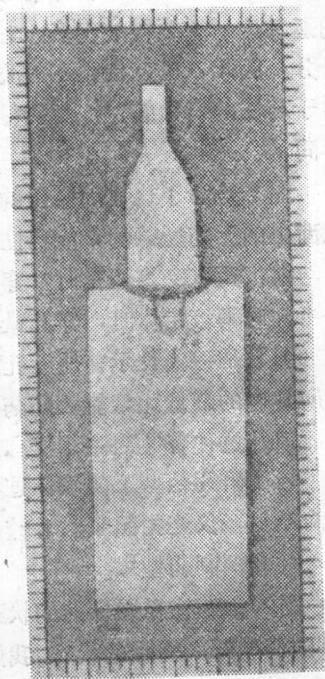


图 8 与图 3 相同的钢柱用实心药柱爆炸破坏后的照象剖面图

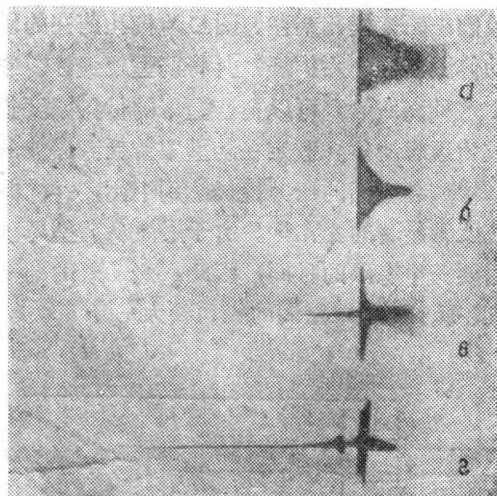


图 9 具有金属药型罩的聚能装药药柱照象图

a——爆炸前的情况。药柱是围绕药型罩浇铸而成，药型罩壁厚 0.05 公厘，锥角 45° 。药柱直径与锥体底径相同；底缘除外。б——大约当爆波达到锥顶时的情况。即药柱最后边缘部分开始了爆炸，在锥形内可看到金属射流。B——当爆波达到锥底后，又经 4.8 微秒的情况；Г——当爆波达到锥底后，又经 22.5 微秒的情况；可以看到未被破坏的药型罩的底缘，金属射流和流芯。

二 锥形及楔形药型罩药柱的

射流形成的理论

锥形及楔形药型罩药柱的射流形成可以用初等数字来解释。图10为药柱的横断面，锥形聚能装药就是该断面绕对称轴旋转而成；若是该断面垂直对称轴平行移动，则形成楔孔药

柱。首先，我們来研究楔孔药柱。图11为楔孔药柱的破坏过程。爆波从辅助传爆药柱向右扩展，并将药型罩毁坏。它所产生的压力极高，这种高压大到可以把药型罩的材料强度忽视不计，并把它看成为理想流体。假定在药型罩壁受到爆波的初次冲击以后，药型罩壁各方面的压力很快达到平衡，并向其内部继续毁坏，而速度无显著的变化^①。由于爆波从药型罩顶点达到药型罩底部需要一个有限的时间，因此，运动着的药型罩壁间的夹角 2β 将比原来药型罩壁间的夹角要大。

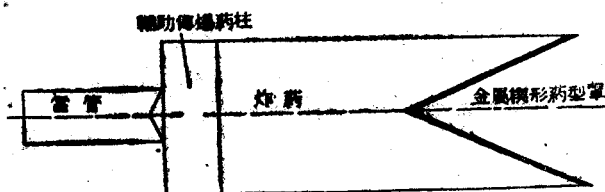


图 10 用电发引信起爆的楔形药型罩药柱

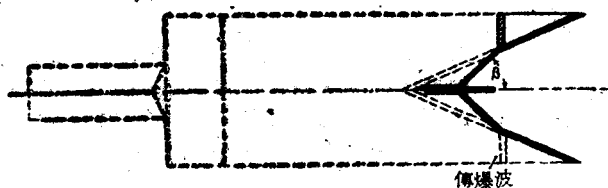


图 11 楔孔药柱的破坏过程。爆轰波由雷管及辅助传爆药柱经过药型罩的大部分，并将其破坏。

在短距离内作用的起爆压力，其效用仅在于它给予药型罩速度 V_0 ，这一速度的方向即为药型罩原有表面及毁坏后表面之

^① 由于这个假定不能把射流的形成解释得很完善，因此在后面将整个地被其它理论所代替。——编者按