

燃料空气炸药

许会林
汪家骅 编著

414

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是根据国内外有关燃料空气炸药的资料编写而成的。主要包括：燃料空气炸药的组成、性能、爆轰过程、爆炸作用、冲击波当量估算，某些燃料空气炸药武器和国外对它的评价等。

本书可供具有一定炸药专业基础知识的读者阅读，亦可供从事科研、生产的技术人员参考。

燃料空气炸药

许会林 编 著
汪家骅

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张4¹/₄ 89千字

1980年1月第一版 1980年1月第一次印刷 印数：0,001—2,700册

统一书号：15034·1907 定价：0.49元

(限国内发行)

前 言

为了尽快把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国，我们将国内外部分有关燃料空气炸药的资料，根据我们的理解编写了这本小册子，供有关人员参考。借以来推动我国的燃料空气炸药研究工作的进展。

燃料空气炸药武器的出现是常规兵器的一项重大革新，将使常规武器增加新系列。它的装药原料是一种石油化工产品，来源广泛，便于平战结合。研究燃料空气炸药武器对于未来反侵略战争，实现我国国防现代化有着重要意义。

本书在编写过程中得到很多单位领导、同志们的支持和帮助，我们在此表示感谢。由于我们水平所限，书中错误和缺点在所难免，恳切希望提出批评和指正。

编 者

1979 年元月

目 录

第一章	概况	1
第一节	燃料空气炸弹简介	1
第二节	燃料空气炸药	10
第三节	目前世界各国研制概况	14
第二章	燃料空气炸药的原料	19
第一节	环氧乙烷	20
第二节	环氧丙烷	31
第三节	其它原料	42
第四节	环氧乙烷、环氧丙烷储存、运输中的安全	46
第三章	燃料空气炸药的爆轰	51
第一节	爆轰过程	52
第二节	爆热近似计算及其梯恩梯当量	61
第三节	爆轰参数近似计算	66
第四节	气-液两相爆轰机理简介	70
第四章	空气冲击波的梯恩梯当量估算	78
第一节	实验对比法求梯恩梯当量	78
第二节	最小二乘法求梯恩梯当量	81
第三节	近似模型的数值计算求梯恩梯当量	85
第五章	燃料空气炸药的爆炸作用	100
第一节	燃料空气炸药与梯恩梯的比较	100
第二节	燃料空气炸药的杀伤破坏作用	106
第六章	对燃料空气炸药应用、发展的一些认识	111
第一节	燃料空气炸药的应用	111
第二节	国外对燃料空气炸药的评价	116
第三节	燃料空气炸药的发展趋势	119
第四节	对燃料空气炸药武器的防护	122
参考文献		130

第一章 概 况

燃料空气炸药是炸药领域里的一种新的爆炸能源。这种炸药的燃料一般是石油化工产品，来源广泛，便于军民结合、平战结合。

燃料空气炸药武器在一定的条件下对有生力量的杀伤威力较大。所以，它的出现是常规兵器的一项重大革新，它将使常规武器增加新系列。

第一节 燃料空气炸弹简介

燃料空气炸弹是七十年代美军在越南战争中开始使用的一种新型武器。曾于一九七五年四月二十一日在越南春禄地区用五架 C130 飞机一次投掷了 120 枚这种炸弹，杀伤许多人。当时被新闻界报导为窒息弹。

因为这种武器是最近几年发展起来的，所以尚未有统一的命名。诸如有燃料空气炸弹、油气弹、油爆弹、油料空气炸弹等叫法，根据杀伤性能命名的有压缩弹、窒息弹等叫法，新闻界还有人把它叫做浮质炸弹、吸氧武器等。

根据这种炸弹的使用特点，往往是用集束弹来加强它的杀伤效果。集束弹的代号为“CBU”，它是 Cluster Bomb Unit 的缩写。

例如，飞机空投的燃料空气航弹是一种以液体燃料为装料的子母弹，内有三枚子弹。这种装料本身不是炸药，它必

须先在少量抛射药的爆炸作用下，在空气中扩散成云雾状气溶胶，同时将子弹两侧的两个云雾引信抛出，并将两个云雾引信的击针盖片冲破，迫使击针向下运动，打响底火而发火，起爆云雾产生爆轰。

因为引起这种爆轰的炸药是由燃料和空气组成的混合物产生的，因此称之为燃料空气炸药，这种武器也应称为燃料

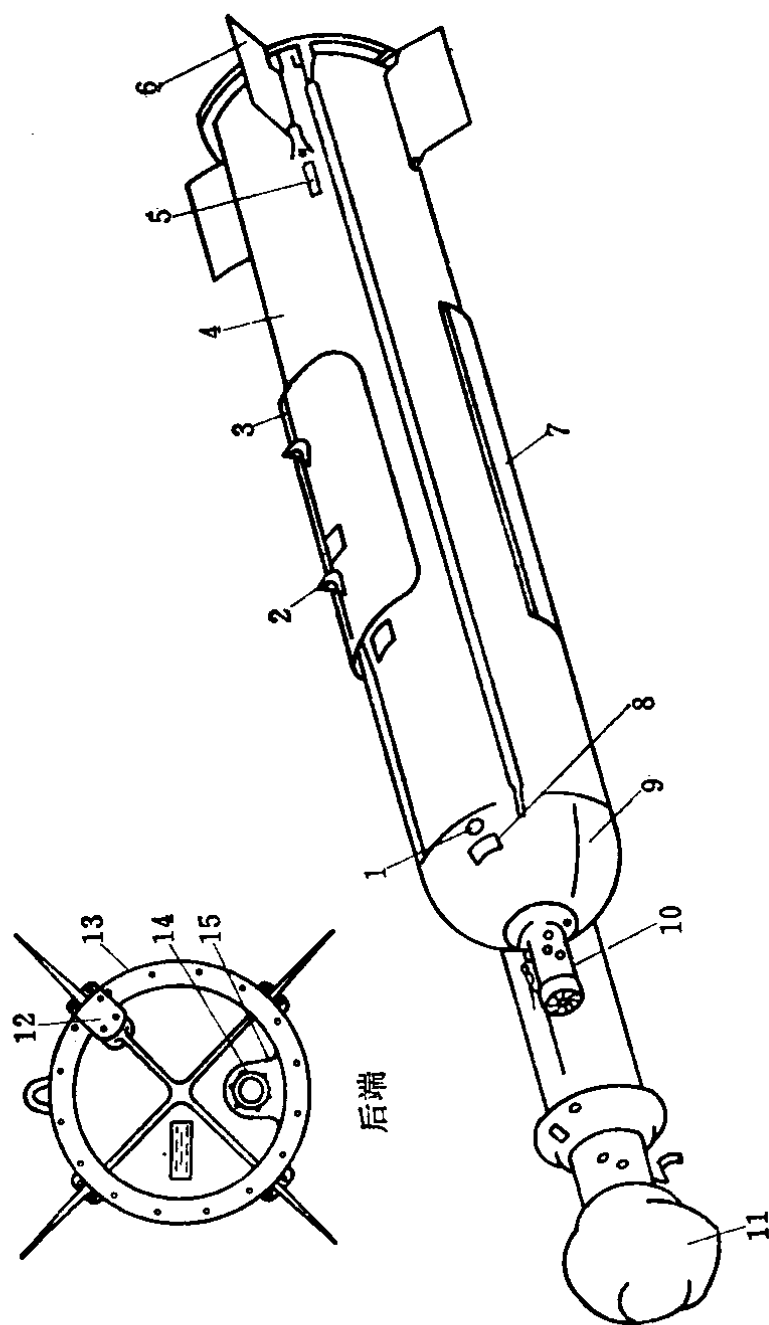


图1-1 燃料空气火箭外观概貌

1—起吊杆孔；2—挂弹耳；3—钢板；4—母弹壳体；5—稳定器警告印；6—稳定件；7—硬壳；8—起动机印记；9—整流风帽；10—机械定时引信；11—引信盖；12—壳体；13—后隔板；14—观察窗；15—安全线。

空气炸药炸弹。

燃料空气航弹外观见图 1-1，由一个投弹器 和三枚子炸弹组成，为便于储存还有包装箱。其主要部分的结构如下：

一、投弹器

投弹器（即母弹）的弹体是用比较薄的铝板焊制成的圆筒，前端面中央有一圆孔，后端敞开以便装入子弹。圆筒中部上下各焊有一块加强护板，上护板上有两个挂耳，其上装有吊装工具，与飞机挂勾 配合 便于 机载，起动时放出子弹。母弹的头部有两半合成的整流罩。弹前端装有一个机械时间引信，亦称母弹引信，作用是控制炸弹远距离解除保险和控制抛出子弹的时间。引信的时间装定是在基地挂机后起飞前，根据作战指令进行。飞机投弹时，拉出 保险丝，解除保险，引信工作。弹尾有四个可折叠的稳定翼。后端 有一个 盖子，用螺钉与弹体相连。后盖上还有一个晶体室，室内装有三个压电晶体。在后盖与筒体之间嵌有一条导爆索。在弹体一侧也有一条导爆索，其一端与母弹引信的底火连接，另一端与导爆索雷管连接。根据母弹引信预先装定的时间引爆导爆索，抛出母弹后盖，同时母弹后盖中晶体室内压电晶体作用，解除子弹的中间保险，抛出子弹。三枚子弹 连贯 装于 投弹器内。

二、子炸弹

母弹的三枚子弹，每个子弹都是形似啤酒桶的钢制筒，两端壁较厚，圆筒壁很薄，外表刻有几十条预制应力槽，刻槽有一定的深度，其作用是削弱侧壁强度，以便使其能够均匀破碎，并将燃料径向朝外散开，形成基本上对称的燃料空气云雾。子弹前端中央有一个引信室，周边有两个对称分布的

定位柱，子弹后部有一个降落伞保护罩，罩内装有一个降落伞，它的十多根伞绳由四个销钉与四根“Π”形柱相连。该炸弹是无肋导向面伞，致使子弹脱离母弹，稳定弹道，减少着陆过载，并保证子弹探头触地起爆。子弹内装有环氧乙烷，中间有一个中心爆管贯通全弹，内装传爆药、扩爆药和抛射药。传爆药、扩爆药极易被起爆，并引起相邻抛射药爆轰。圆桶上侧还有一根贯穿前后端壁与中心爆管平行的管子，容子弹引信电缆通过。圆桶内部靠近后端有一个挡板，叫减荡板，主要作用是减少子弹在运输投放过程中环氧乙烷的液体对壳体和顶板的冲撞。子弹中部两侧对称地焊有两个云爆引信，它由云爆管室、击针、延时发火管、隔离装置、药柱和密封固定件等组成。

子弹引信是一个有触发、惯性和自毁三种作用的复杂引信，引信端部的一个盖子上有一个小挂耳，上面系有一条拉绳，此拉绳穿过引信自毁机构的拉火索环，另一端系在前边一个子弹（1号子弹）的伞包带子上（第一个子弹系在母弹前端盖上），拉动引信盖上的拉绳可戳破引信的盖子和使自毁机构开始作用，当引信戳破时，引信内自动向前伸出一根比较长的螺旋弹簧探杆，探杆头部有一个传感器，以控制子弹的爆炸高度，在探杆伸出一段时间后为备炸状态，触发即爆炸。见图 1-2。

三、子弹互相连系情况和动作过程

三枚子弹在母弹内是连贯排列的，后边的一枚子弹的前壁与前弹的“Π”形柱端相抵，其引信伸入到前边一枚子弹的降落伞保护罩内和前端壁侧的定位柱插入到前弹“Π”形柱槽内，使子弹之间不能发生位移。而前端子弹的定位柱插

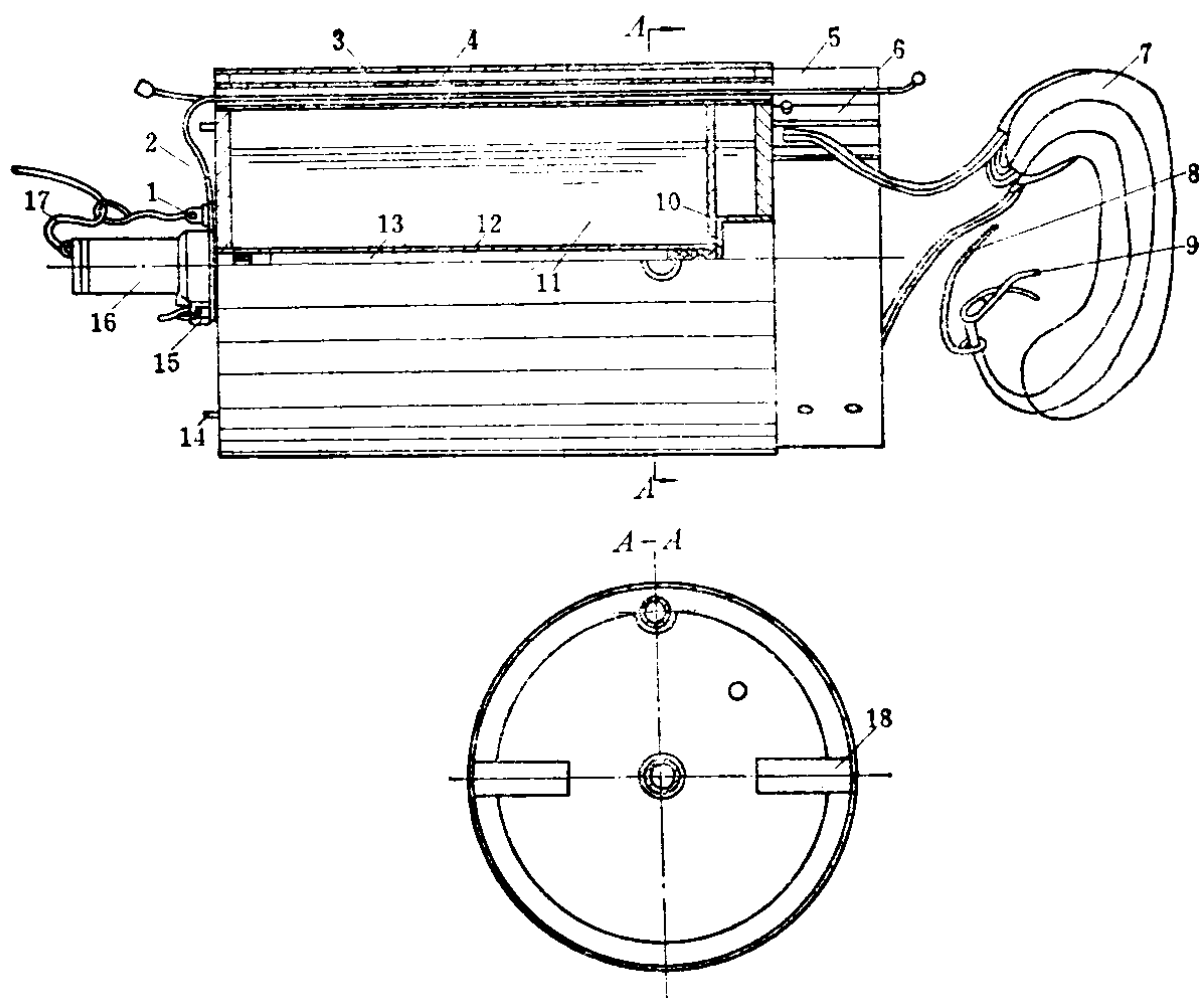


图1-2 子炸弹内部结构示意图

1—自毁装置；2—导线；3—弹体；4—电线导管；5—降落伞保护罩；6—“Π”形柱；7—降落伞；8—引信盖拉绳；9—伞包绳；10—减荡板；11—装料；12—中心爆管；13—炸药；14—定位销；15—伞包绳挂耳；16—引信；17—引信盖拉绳；18—云爆装置。

入到母弹前端壁的两个孔内，而后部子弹的“Π”形柱槽则与母弹后端的四个柱子相配，使所有子弹在母弹内不能移动。除此以外，前后子弹还有三条绳索和一条电缆相互连系着，即前弹降落伞伞包带子上有两条短绳系到后弹引信固定螺柱的挂耳上，还有一条是后弹的引信盖拉绳系到前弹的伞包带上，以便在母弹盖打开时将子弹连贯拖出，并使引信动作。每个子弹的引信电缆通过多芯插座逐个传递到母弹压电晶体的

插座上，构成控制子弹引信中间保险的电路系统。

四、作用过程

图 1-3 是燃料空气炸弹集束投放至碰炸顺序图。当炸弹从飞机投下时，保险即被拉出，母弹引信的风轮在气流作用下，解脱引信保险，同时计时机构开始动作。装定时间可根据战斗需要进行选择，引信发火通过导爆索将引信底火的爆炸传导到爆炸索，爆炸索爆炸，抛出后盖。与此同时，后盖上的三块压电晶体受到爆炸索冲击波的作用产生电流，并传递给三个子弹引信，使子弹引信的中间保险解脱，随着后盖的抛出，位于母弹后部的子弹的降落伞被系到后盖上的尼龙绳拖出，使降落伞张开，借伞的拖力拖出尾部的 3 号子弹。子弹被抛出后，又通过系在它的引信固定螺柱挂耳上的一条抗拉强度较低的尼龙绳将中间的 2 号子弹的降落伞拖出，依次类推。拖出中部 2 号子弹和头部 1 号子弹。在子弹下落时，降落伞控制着子弹的终极速度和着地方向。在子弹抛出过程中，系在母弹后盖或子弹引信固定螺挂耳上的绳系被拉断，子弹的引信盖被另一条尼龙绳揭开。引信的探杆随即伸出，自毁机构同时开始动作，子弹的引信在与地面接触瞬间或靠惯性发火，引爆中心爆管炸药，将燃料扩散成云雾，同时，将云爆管室底端薄膜切碎，推动击针使延时发火管发火，在延时一定时间后引爆云爆管药柱使云雾爆轰，实际上，两个云爆管中只一个作用就能完成引爆任务。如果引信由于某种原因（如挂在树上）未起作用，则自毁机构在 2 分钟后使子弹爆炸销毁。

飞机空投时，一般直升飞机即可空投，经过简单飞行训练后，投弹精度即相当好。

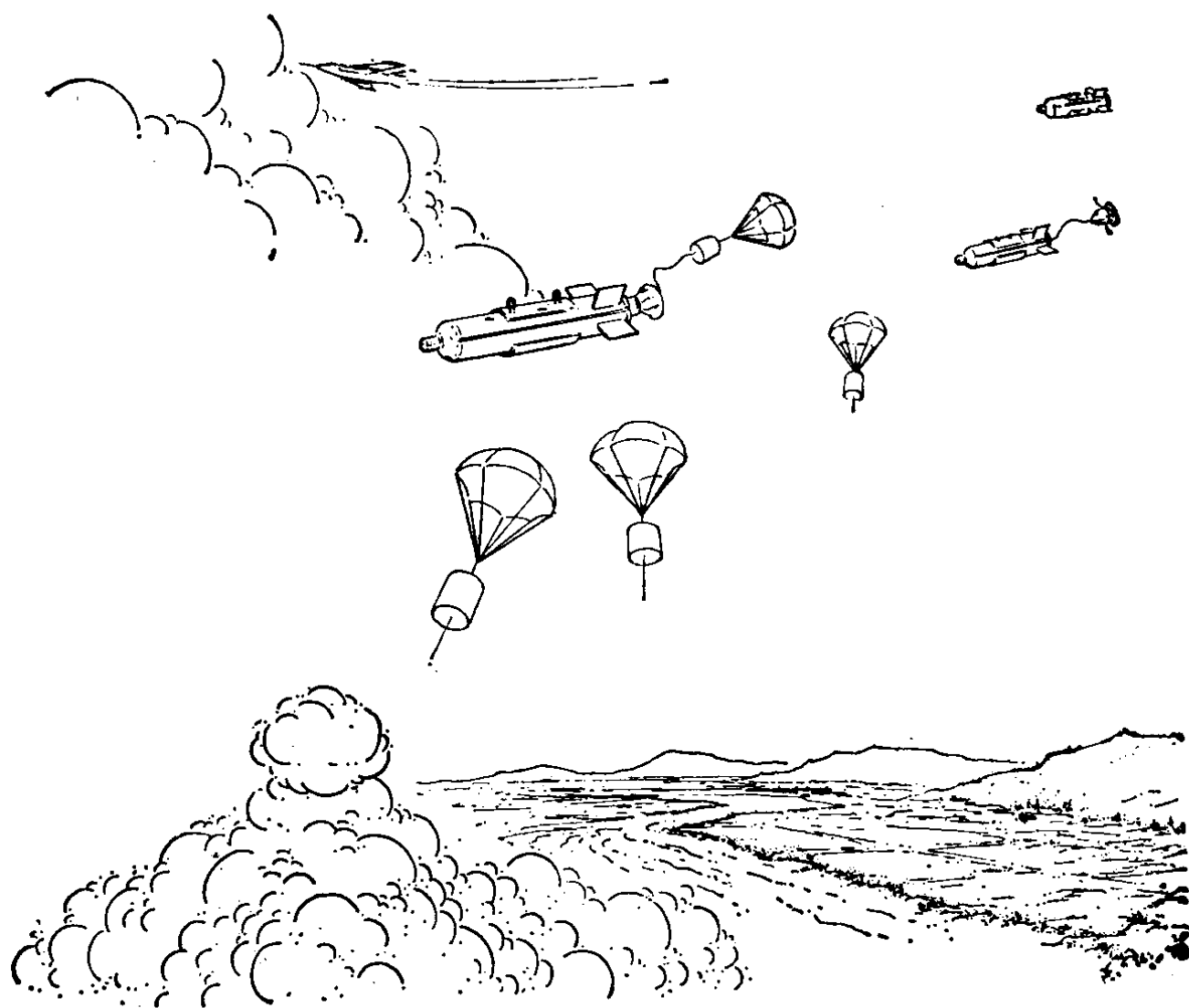


图1-3 燃料空气炸弹集束投放至碰炸顺序图

假定飞机以 160 公里/小时飞行，在 1000 米高度空投，一般气象条件下，一颗燃料空气炸弹落地时间为 14.7 秒。

采用近似自由落体的计算方法，将 $s = 1000$ 米， $t = 14.7$ 秒 代入 $s = \frac{1}{2}gt^2$ $g = 9.26$ 米/秒²。

根据飞机性能，母弹引信装定时间为 $t = 5$ 秒，5 秒后开始作用，3 号子弹首先被抛出开伞。母弹的瞬时速度 $V_1 = gt_1 = 9.26 \times 5 = 46.3$ 米/秒。

此刻距投弹点垂直距离 $s_1 = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9.26 \text{ 米/秒}^2$

$$\times (5 \text{ 秒})^2 = 113 \text{ 米}$$

距地面高度 $s'_1 = s - s_1 = 1000 \text{ 米} - 113 \text{ 米} = 887 \text{ 米}$

3 号子弹被抛出后, 又通过系在它的引信固定绳柱挂耳上的尼龙绳将中间的 2 号子弹的降落伞拖出, 假定其间隔为 1 秒, 即第 6 秒时, 2 号子弹开伞瞬时速度为 $V_2 = 55.6 \text{ 米/秒}$, 距投弹点垂直距离 $s_2 = 167 \text{ 米}$, 距地面高度 $s'_2 = 833 \text{ 米}$; 假定 1 号子弹被抛出也是需 1 秒时间, 则第 7 秒时, 1 号子弹降落伞被抛出, 开伞瞬时速度为 $V_3 = 64.8 \text{ 米/秒}$, 距投弹点垂直距离 $s_3 = 227 \text{ 米}$, 距地面高度为 $s'_3 = 773 \text{ 米}$ 。

子弹出母弹后, 因有个开伞过程, 可看成为均减速下落, 开伞后为匀速下落。假定开伞过程需 0.5 秒: $\Delta t = 0.5 \text{ 秒}$, 完全开伞后以 $\bar{V} = 30 \text{ 米/秒}$ 的匀速下落, 这时第三颗子弹的减加速度 a_1

$$a_1 = \frac{V_1 - \bar{V}_1}{\Delta t_1} = \frac{46.3 \text{ 米/秒} - 30 \text{ 米/秒}}{0.5 \text{ 秒}} = 32.6 \text{ 米/秒}^2$$

均减速下落的高度 Δs_1

$$\begin{aligned} \Delta s_1 &= V_1 \Delta t_1 - \frac{1}{2} a_1 (\Delta t_1)^2 = 46.3 \text{ 米/秒} \times 0.5 \text{ 秒} \\ &\quad - \frac{1}{2} \times 32.6 \text{ 米/秒}^2 \times (0.5 \text{ 秒})^2 = 19 \text{ 米} \end{aligned}$$

第 $(5 + 0.5)$ 秒后即第 3 号子弹开伞完毕, 距投弹点垂直距离为: $\Delta s_1 + s_1 = 19 \text{ 米} + 113 \text{ 米} = 132 \text{ 米}$ 。

第 2 号子弹的减加速度 a_2

$$a_2 = \frac{V_2 - \bar{V}}{\Delta t_2} = \frac{55.6 \text{ 米/秒} - 30 \text{ 米/秒}}{0.5 \text{ 秒}} = 51.2 \text{ 米/秒}^2$$

均减速下落的高度 Δs_2

$$\Delta s_2 = V_2 \Delta t_2 - \frac{1}{2} a_2 (\Delta t_2)^2 = 55.6 \text{ 米/秒} \times 0.5 \text{ 秒}$$

$$- \frac{1}{2} \times 51.2 \text{ 米/秒}^2 \times (0.5 \text{ 秒})^2 = 21.4 \text{ 米}$$

第 (6 + 0.5) 秒后即第 2 号子弹开伞完毕, 距投弹点垂直距离为: $\Delta s_2 + s_2 = 21.4 \text{ 米} + 167 \text{ 米} = 188.4 \text{ 米}$ 。

第 1 号子弹的减加速度 a_3

$$a_3 = \frac{V_3 - \bar{V}}{\Delta t_3} = \frac{64.8 \text{ 米/秒} - 30 \text{ 米/秒}}{0.5 \text{ 秒}} = 69.6 \text{ 米/秒}^2$$

$$\begin{aligned} \text{均减速下落的高度 } \Delta s_3 &= V_3 \Delta t_3 - \frac{1}{2} a_3 (\Delta t_3)^2 = 64.8 \text{ 米/秒} \\ &\times 0.5 \text{ 秒} - \frac{1}{2} \times 69.6 \text{ 米/秒}^2 \times (0.5 \text{ 秒})^2 = 23.7 \text{ 米。} \end{aligned}$$

第 (7 + 0.5) 秒即第 1 号子弹开伞完毕, 距投弹点垂直距离为: $s_3 + \Delta s_3 = 23.7 \text{ 米} + 227 \text{ 米} = 250.7 \text{ 米}$ 。

因为子弹引信内有一个比较长的螺旋弹簧探杆, 以控制子弹的爆炸高度, 在探杆伸出一段时间后为备炸状态, 假定为 2.5 秒, 在这段时间内, 触发即爆炸, 这就要求第 1 号子弹开伞至落地至少为 2.5 秒, 距地面高度 $30 \text{ 米/秒} \times 2.5 \text{ 秒} = 75 \text{ 米}$ 。

所以, 一颗燃料空气炸弹投弹高度至少为:

$$227 \text{ 米} + 23.7 \text{ 米} + 75 \text{ 米} = 325.7 \text{ 米}。$$

每种机型都有符合自己性能的标准化的落下时间。规定在某一高度, 在标准气象条件下, 以某一飞行速度时落下时间为标准化落下时间。这些数据查表即得。

正如上述的假定条件, 即 1000 米高度, 飞行速度 160 公里/秒, 落下时间为 14.7 秒。这个标准时间是经过修正而得到的。根据这些条件, 从上面叙述可看出, 燃料空气炸

弹投弹高度至少为 325.7 米，要在 325.7 米至 1000 米高度之间为宜。

第二节 燃料空气炸药

燃料空气炸药（FAE[●]）是炸药的一种，又称“浮质炸药”。实际上其燃料通常是挥发性的碳氢化合物。这种燃料和空气中氧较均匀地以适当比例混合后引爆产生爆轰，所以称为燃料空气炸药。

燃料在常温下可以是固体、液体或气体。

家庭里使用的液化石油气，如使用不当或不注意安全时，液化石油气从贮气瓶中冒出与空气中氧混合，并达到一定比例时，在适当条件下，例如遇到火焰，就可能发生燃烧或爆炸。

液化石油气是气体燃料，主要成分有丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等。

所以有时候发生的液化石油气爆炸，其实质就是气体燃料-空气炸药的爆炸。

在矿井中经常产生的“瓦斯”，当和空气混合达一定比例时，遇火花极容易发生爆炸也是燃料空气类型的爆炸。

“瓦斯”的主要成分是气态的甲烷，所以“瓦斯”爆炸其实质也是气体燃料-空气炸药的爆炸。

在面粉工业、煤厂等企业单位有时发生着火或爆炸现象，就是因为生产过程中产生大量的粉尘等微粒飘浮在空气中，当有火种时，极易造成火灾或爆炸破坏。

面粉、煤粉是固体燃料，在爆炸前飘浮在空气中就组成

● Fuel Air Explosive 缩写为FAE。

了固体燃料-空气炸药。

环氧丙烷以一定的液滴比例散布在空气中，适当条件下能引起爆轰。环氧丙烷是液体燃料，因而组成了液体燃料-空气炸药。

液体火箭发动机燃烧室“爆炸”，也有这种类型的爆炸。

当燃料是固体或液体时和空气混合，就构成了固相-气相或液相-气相的两相燃料空气炸药。它的爆轰也就称为两相爆轰。

各种目标的不同类型的破坏，对炸药爆炸作用的要求也是不同的。对于大面积的软目标，例如暴露的大批敌人有生力量，大面积的普通工事等等，要求炸药爆炸产生足以杀伤敌人的超压，显然这超压是比较低的，一般都小于 0.7 公斤/厘米^2 ，但要求总冲量要大。

$$\text{总冲量} = \text{比冲量} \times \text{面积}$$

这就是说，作用面积要大，就会造成大面积的杀伤和破坏，而燃料空气炸药爆炸时正是会出现这种情况，所以用它来对付大面积的软目标是很有效的。这一点已被实践所证明。

人们很早就认识到，在空气介质中有很多具有能量的散布物质能产生较大的总冲量。这种具有能量的物质若在空气中被广泛的分布，其空气混合物产生的爆炸效应在很大面积上起作用。

单位体积燃料空气混合物能量的释放，决定于从空气中获得的氧有多少。另外，这种炸药还可以呈薄膜状存在。现在，这项研究都已集中于液滴在空气中形成的云雾爆炸上。所进行的一些实验和基础理论研究，其目的就是弄清以冲击波的方式引爆燃料液滴的物理与化学因素之间的内在联系。

这种燃料空气炸药的优点是利用空气中的氧气，这样可以提高装药量，同时又利用它们的分布爆炸。因而这一种云雾爆轰对于暴露于地面或堑壕内的人员和易损技术装备的冲击波破坏半径比等重量的普通炸药要大。

图 1-4 是气态环氧乙烷-空气炸药理论上产生的压力与常规炸药喷脱利特[●]的比较。可以看出燃料空气炸药的优点。

图 1-5 是把球形的云雾变为圆柱形可得到较高的冲量，这可以看出燃料空气炸药的另一个特点。即改变云雾几何形状，其压力和冲量变化很大。

从该图上还可以看到同等能量的燃料空气

炸药与喷脱利特炸药相比，燃料空气炸药可以获得比喷脱利特更大的冲量。由于单位重量燃料空气炸药产生的能量较大，因此，在产生相同能量的情况下，它的重量就比其它炸药要轻得多。

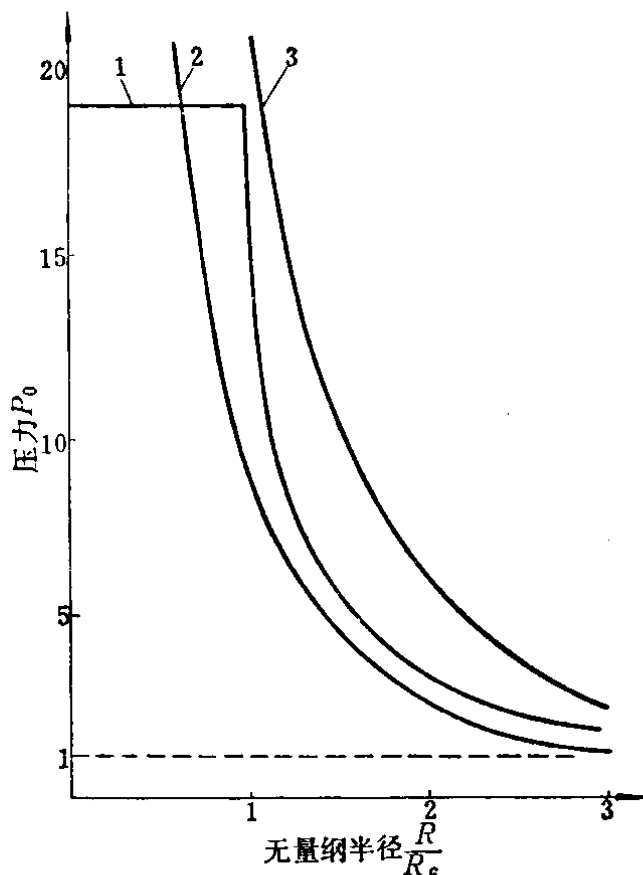


图1-4 环氧乙烷和喷脱利特爆轰的超压(云雾半径: R_c)

1—环氧乙烷; 2—等重量喷脱利特; 3—等能量喷脱利特。

● 喷脱利特 (Pentolite): 季戊四醇四硝酸酯和三硝基甲苯混合的一种烈性炸药。

作为燃料空气炸药的原料具有来源丰富、成本低廉和便于与民用结合等优点。但是它有不少缺点，例如为了保证云雾的形成和可靠的爆轰，要求在一定高度上将燃料爆炸扩散，适时引爆云雾，这给使用带来结构复杂、维护保养工作量大，并且受气候影响较大，大风大雨会影响使用效果。

总之，对这些性能的实质性的了解，特别是将其能量用于武器设计方面却是美国在六十年代初期首先开始的。一些国家以“分布爆炸”概念为理论基础研制成功了几种燃料空气炸药武器，以对付面积目标，如人员集结地域、布雷区、丛林、工事、坦克群以及堑壕等。现在，正积极发展的还有燃料空气云雾爆轰的火箭和导弹战斗部等。

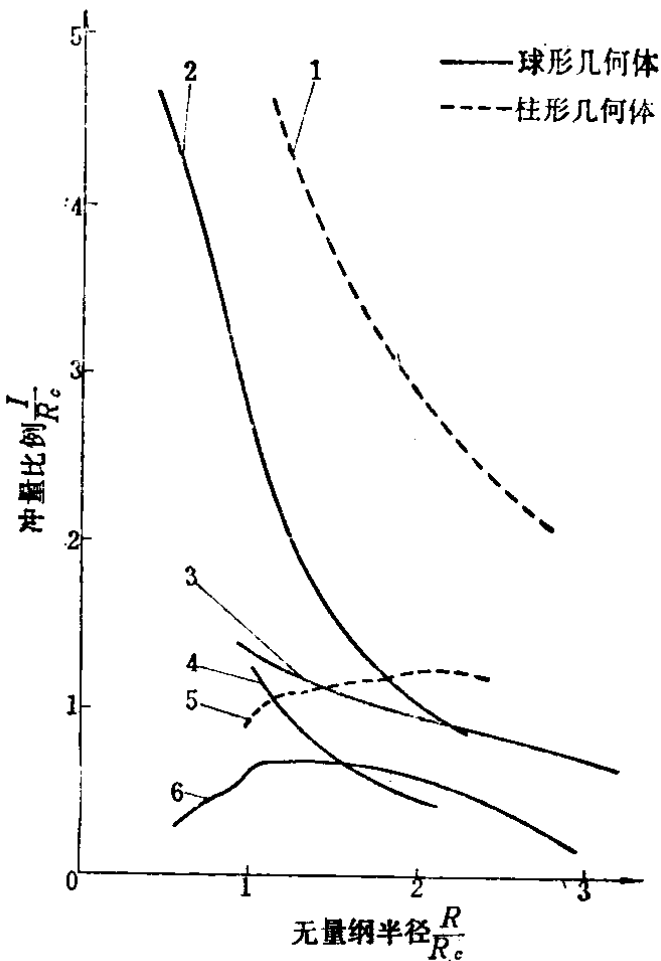


图1-5 环氧乙烷、喷脱利特和点源的球形和柱形云雾爆轰冲量

1—环氧乙烷静冲量； 2—环氧乙烷静冲量；
3—喷脱利特静冲量(经验)； 4—点源动冲量(计算)； 5—环氧乙烷动冲量； 6—环氧乙烷动冲量。