

弹丸作用和设计理论

(榴弹和迫击炮弹)

国防工业出版社

2

弹丸作用和设计理论

(榴弹和迫击炮弹)

华 恭 欧林尔 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书较全面地叙述了榴弹弹丸和迫击炮弹的作用和设计方面的问题。全书共分两个部分。第一部分讨论了榴弹的爆炸、侵彻和破片作用以及旋转式榴弹的设计问题；第二部分讨论了尾翼式迫击炮弹的设计问题。本书可供有关专业的科研人员，设计人员和技术人员参考，亦可作为高等院校弹丸专业的教学参考。

弹丸作用和设计理论

(榴弹和迫击炮弹)

华 恭 欧林尔 编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 19 $\frac{1}{2}$ 476 千字

1975 年 8 月第一版 1975 年 8 月第一次印刷 印数：0,001—4,000 册

统一书号：N15034·1402 定价：2.00 元

A

前 言

党的“十大”的政治报告中指出：“我们必须坚持毛主席关于‘备战、备荒、为人民’和‘深挖洞、广积粮、不称霸’的教导，对帝国主义可能发动的侵略战争，特别对苏修社会帝国主义对我国发动突然袭击，保持高度警惕，做好一切准备。英雄的人民解放军和广大民兵要随时准备歼灭入侵之敌”。

在现代战争中，常规武器仍然是部队的主要装备。为了保卫我们的社会主义建设，支援世界革命，必须加强对常规武器和弹药的研制工作，给我们英雄的人民解放军和广大民兵配备优良的武器和弹药装备，迎头痛击敢于来犯之敌，叫他们有来无回。

全国解放以来，尤其是无产阶级文化大革命以来，在毛主席无产阶级革命路线指引下，广大工人和技术人员在弹药生产和科学实验中有很多发明创造，取得了巨大成绩，在理论上也有很大发展。本书就是在这一基础上编写出来的。

为了使本书的内容适应当前形势发展的需要，我们遵照毛主席关于理论与实践相结合的教导，多次到工厂和科研单位调查研究，吸取三大革命中的丰富实践经验。同时，对林彪和孔老二进行了有力地批判，狠批了他们“克己复礼”的反动纲领，也批判了洋奴哲学、爬行主义等修正主义观点。

在编写过程中，我们得到了有关工厂、研究所和院校的工人、技术人员和领导同志的大力支持和热情帮助，在此谨表示衷心的感谢。

由于我们政治思想水平不高，业务能力有限，书中不可避免地会存在一些缺点和错误。我们诚恳地希望同志们批评指正。

目 录

第一部分 榴弹的作用和设计

第一章 对榴弹的要求	7
§ 1 有关对空射击的基本知识	7
§ 2 空中目标的特点和有关现代飞机致命性的基本知识	9
§ 3 对高射炮系统的战术技术要求	11
§ 4 对榴弹的一般要求	15
第二章 榴弹对土壤的侵彻作用	19
§ 5 弹丸侵彻作用的一般概念	19
§ 6 弹丸在介质中的运动方程	20
§ 7 弹丸侵彻土壤的公式	21
§ 8 弹丸质心轨迹的曲率	25
§ 9 跳弹分析	30
第三章 弹丸的爆破作用	32
§ 10 爆炸的直接作用	32
§ 11 关于冲击波的一般常识	35
§ 12 弹丸爆炸后空气冲击波的形成和破坏作用	39
§ 13 爆轰波在炸药中的传播	44
§ 14 爆轰波阵面上爆轰产物参量的计算	46
§ 15 冲击波在固体介质中的传播	48
§ 16 崩落现象	51
§ 17 弹丸在土壤中的爆炸	53
第四章 弹丸的杀伤作用	57
§ 18 一般概念	57
§ 19 破片数目和其重量分布	59
§ 20 破片的初速	64
§ 21 破片在飞散过程中的空间分布	66
§ 22 破片在空气中的运动	69
§ 23 弹丸破片的杀伤作用场	72
§ 24 弹丸杀伤威力的衡量标准	79
§ 25 杀伤榴弹的威力设计	87
第五章 榴弹的总体方案设计	91
§ 26 一般概念	91
§ 27 现有火炮的强度限制条件	92
§ 28 获得一定射程的弹重计算	101
§ 29 爆破榴弹的弹重设计	102
§ 30 高射榴弹的重量设计	105
§ 31 弹重设计小结	107

第六章 榴弹的结构设计	109
§ 32 弹丸的结构尺寸和外形尺寸	109
§ 33 弹丸内腔尺寸及形状	113
§ 34 炸药种类和重量的选择	115
§ 35 榴弹引信的选择	116
§ 36 榴弹弹体及导带的材料	118
§ 37 榴弹的结构特点及发展趋势	120
第七章 弹丸结构特征数的计算	126
§ 38 基本计算法	126
§ 39 经验计算法	134
§ 40 弹丸的重量公差	134
§ 41 弹形系数的估算	149
第八章 榴弹的发射强度	156
§ 42 弹体在发射时所受的载荷	156
§ 43 发射时弹体的受力状态和变形	164
§ 44 发射时弹体的强度计算	165
§ 45 发射时弹底的强度计算	167
§ 46 弹丸零件强度的计算	180
§ 47 发射时炸药的安全性	185
第九章 弹丸导引部的设计	186
§ 48 作用在弹丸导引部上的载荷	186
§ 49 弹丸炮口精度的分析	196
§ 50 导引部结构尺寸的确定	200
§ 51 导带的设计	203
§ 52 导带槽的尺寸和形状	207
第十章 弹丸的飞行稳定性	213
§ 53 一般概念	213
§ 54 弹丸的急螺稳定性	213
§ 55 弹丸的飞行定向性	218
§ 56 弹丸飞行稳定性的综合解法	220
结语——弹丸设计的全过程	222

第二部分 迫击炮弹的设计

§ 57 迫击炮弹的设计特点	225
第十一章 迫击炮弹的结构设计	228
§ 58 迫击炮弹的结构尺寸	228
§ 59 稳定装置的设计	232
§ 60 材料、炸药及引信的选择	237
第十二章 迫击炮弹发射时强度计算	239
§ 61 发射时受力状态的特点与强度计算的特点	239
§ 62 发射时弹体的应力	242
§ 63 发射时迫击炮弹弹体的变形	247

§ 64 迫击炮弹弹体的强度计算	248
§ 65 尾管强度计算	251
第十三章 迫击炮弹导引部设计	255
§ 66 迫击炮弹下滑运动的分析	255
§ 67 发射时迫击炮弹在膛内的摆动	261
§ 68 迫击炮管回转运动对迫击炮弹摆动的影响	267
§ 69 导引部尺寸的确定	271
第十四章 迫击炮弹的飞行稳定性	276
§ 70 飞行时迫击炮弹所受诸力和力矩	276
§ 71 空气动力特征数的计算	278
§ 72 迫击炮弹飞行稳定性评定	283
§ 73 尾翼特征数的计算	287
附录一 系数 α 的表	294
附录二 系数 β 的表	296
附录三 系数 μ 的表	298
附录四 系数 ν 的表	300
附录五 梯形尾翼重心位置和回转半径系数表	302
附录六 迫击炮弹空气动力特征数的表	303

第一部分 榴弹的作用和设计

通常所说的榴弹，是指弹丸内装有高能炸药，在弹丸爆炸后利用炸药气体的膨胀功或破片动能来摧毁目标的弹丸。一般来说，地面榴弹主要用来对付土木工事和生动力量；高射榴弹则用来对付空中目标(飞机)。榴弹，尤其是高射榴弹在现代反侵略战争中具有十分重要的作用。

在各类弹丸中，榴弹的作用和设计问题最具有典型意义。因为，通过对榴弹的分析，可以在很大程度上阐明其他弹丸的类似问题。为此，我们把榴弹放在本书的第一部分，并作比较详细的讨论。第一章主要讨论对榴弹的一般要求；第二、三、四章介绍榴弹的作用；以后各章讲述榴弹的设计与计算。

第一章 对榴弹的要求

对高射榴弹和地面榴弹的要求并不完全相同，两者有共同点，也有其特殊点。我们先从特殊出发，讨论对高射榴弹的战术技术要求，然后再归结到对榴弹的一般要求。

为了不孤立地讨论问题，我们先介绍一些有关高炮系统及目标方面的基本知识。在这个基础上，对高射榴弹的要求以及它在整个高炮系统中的地位和作用，都将被自然地引出。

§ 1 有关对空射击的基本知识

1-1 高炮系统的组成

随着空中目标(飞机)的不断发展，其性能日益提高(航速大，高度高，机动性好)。为了能有效地对付这类目标，目前大中口径以及越来越多的小口径高炮都发展成为全自动型系统。整个高炮系统由雷达、指挥仪、随动装置、火炮、弹药等组成。各部分的功用如下。

目标指示雷达在远距离上搜索、发现和识别目标，并将情况通知给高炮系统的炮瞄雷达，作好准备。

目标一旦进入炮瞄雷达的作用范围，炮瞄雷达立即捕捉目标，并自动跟踪。与此同时，它不断测量出目标的所在位置和运动参量(如航向、航速)，并把测得的数据传给指挥仪。

指挥仪根据这些数据，计算“提前修正量”和火炮必须采取的射击诸元(即高角、方向角)和时间引信的装定分划(如果弹丸装有时间引信的话)。计算结果分别传给随动装置及引信测合机。

随动装置按照指令，自动驱动火炮瞄向正确的位置。

引信测合机亦按指令，随时准备将弹丸上的时间引信装定在要求的分划上。

上述过程，即测量——计算——瞄准和测合，全部自动地、迅速地、连续不断地进行着。一切准备妥当，严阵以待。当敌机进入高炮的火力范围，即可装填弹丸进行射击：弹丸飞向目标，引信在预定点处引爆弹丸，大量的破片给予敌机以毁伤，从而将敌机击落。

1-2 关于提前修正量

现代飞机的速度很大，因此在射击瞬间，火炮不能直接瞄向目标的当时位置，而是瞄向目标航路的前面(图 1-2-1)，经过七秒后，弹丸沿弹道飞至 P 点，飞机由 P_0 沿一定航路也同时到达 P 点，弹丸爆炸。距离 PP_0 即称为“提前修正量”。根据目标的高度、航速、航路及弹丸的初速等数据，指挥仪可解出“提前修正量”及相应的火炮射击诸元。

一般说来，当目标的高度高与航速大时，则提前修正量亦大；而弹丸速度大，则提前修正量小。提前修正量越大，弹丸飞行时间越长，各方面的积累误差加大，命中率相应减低。为了提高命中率，应尽量加大弹丸初速，缩短飞行时间，以减小提前修正量。

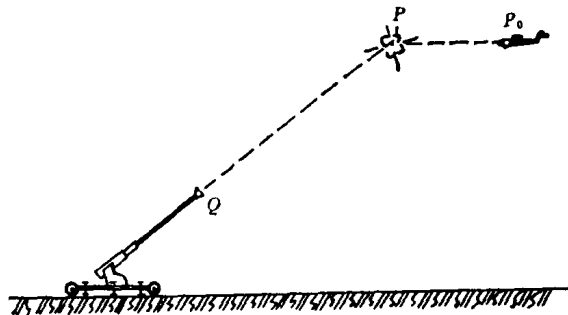


图 1-2-1 关于提前修正量的示意图

1-3 关于高炮的射击空域

最大射击空域 高炮的方向射界一般均为 360° ，即火炮方向机可以在整个圆周方向任意回转；而火炮的高低射界亦接近 90° (为 $85^\circ \sim 87^\circ$ 左右)。因此，在一定初速下，射弹所达的空域为其弹道包络面(其母线为抛物线)包围的空间，它的形状好像一个“倒扣的锅”(图 1-3-1)。但是，因高角 $< 90^\circ$ ，中间还留有一个喇叭形的死角区域。

火力空域 实际上，弹丸对飞机的有效射击空域仅为最大射击空域中的一个半球部分(图 1-3-1)，它又称为高炮的“火力空域”，通常用其半径 $\rho_{\text{效}}$ 来表示。

$\rho_{\text{效}}$ 亦被称为有效射击斜距离。在火力空域以外，弹丸的飞行时间长，存速小。对于航速很高，机动性十分灵活的现代飞机来说，此时弹丸的射击效果将急剧降低。另外对依靠动能贯穿入目标内部而爆炸的小口径高射榴弹来说，即使命中目标，也不容易摧毁目标。

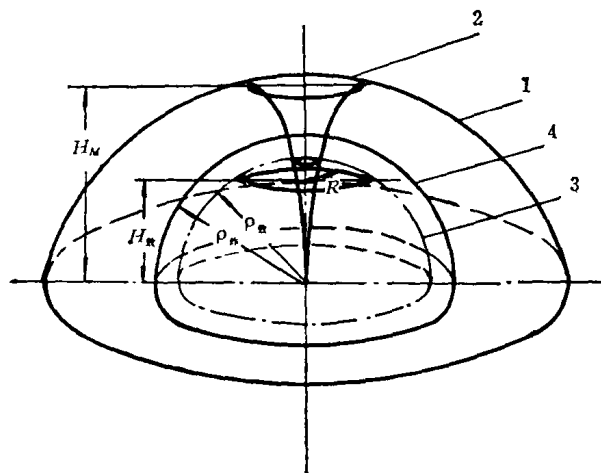


图 1-3-1 高射榴弹的射击空域

1—弹道包络面(最大射击空域界)；2—死角区域；3—有效射击空域界(火力空域界)；4—自炸界。

所以，高射榴弹的火力空域半径 $\rho_{\text{效}}$ 比其最大射击空域高度 H_M (即最大射高) 为小。一般来说，随弹丸口径的不同， $\rho_{\text{效}}$ 约为 H_M 的 $1/2$ 至 $3/4$ 左右。

自炸界 为了避免弹丸未命中目标而落在自己阵地上爆炸，高射榴弹均装有带自炸机构的引信。也就是说，弹丸射出后，即使没有碰到目标，也会在限定的时间内爆炸。相应于自爆瞬间的爆炸边界，称为高射榴弹的自炸界。自炸界也为一个半球面(图 1-3-1)，可用其半径 $\rho_{\text{炸}}$ 表示。一般来说， $\rho_{\text{炸}}$ 略大于(或近似等于)火力空域界 $\rho_{\text{效}}$ 。由上述可知，弹丸的最大射高 H_M 只有一种象征意义，它表征弹丸的“弹道能力”，但弹丸的实际飞行范围却被限制在自炸界的范围内。

有效射高 下面我们再进一步考查目标从不同高度上飞越火力半球的情况。十分明显，高度越高，目标将从火力半球的顶部一掠而过，这样，高炮射击的机会就很少；当高度较低

时, 目标飞经火力半球的时间则较长, 被击中的机率也相应增大。因而, 从实际战斗使用的观点出发, 还必须在火力半球内, 划出一个适当的高度, 在这个高度上下, 高炮可以对目标进行有效的射击。这个高度称为有效射高, 并以 $H_{\text{效}}$ 表示 (图 1-3-1)。一般 $H_{\text{效}}$ 约为 $\rho_{\text{效}}$ 的 5/6 至 5/7。

§ 2 空中目标的特点和有关现代飞机致命性的基本知识

2-1 空中目标的特点

高射炮主要用于对付空中目标, 这类目标的特点是: 体积小, 航速高, 机动性好, 飞行高度高, 配有破坏威力大的武器, 并具有一定的防护能力。

航速 目前, 飞机的最高速度可达每小时 3000 公里 (相当于 800 米/秒以上), 但为了提高对地面目标攻击的命中率, 飞机航速一般随飞行高度的减低而减小。例如, 在 3000~5000 米高度上飞机的攻击速度往往不大于 400 米/秒, 约为 250~400 米/秒左右。在这个速度下, 飞机从正面飞越 57 毫米高炮的对空射界只需 20 秒左右。

飞行高度 空中目标为避免高炮火力的射击, 其飞行高度有向着高空和低空“两极”发展的趋势。目前美帝和苏修战斗机、轰炸机的实用飞行高度在 15000~20000 米范围内。例如, 美帝 B-52 轰炸机采用坐标投弹, 其攻击高度为 8000 米, 但是, 为了进一步提高投弹的命中率, 根据我国海战和越南战争经验, 敌机常采用的攻击高度多在 1000~3000 米内。

机动性 飞机的典型航路一般有直线飞行, 圆弧环绕飞行, 上升, 下滑。在攻击时, 可以在一定高度上转入俯冲, 然后拉起。此外, 还可作“蛇形”机动或其他方式的机动飞行。正由于飞机运动形式的变化多端, 给高炮的射击瞄准带来了一定困难。

防护能力 随着飞机航速的提高, 飞机结构承受的应力亦随速度的平方递增。故新的喷气式飞机的结构强度有加强的趋势。在飞机的要害部位 (如油箱、驾驶室) 的硬铝装甲厚度可达 12~22 毫米; 钢甲厚度可达 6 毫米。

2-2 有关现代飞机致命性的基本常识

射击飞机的目的是击毁飞机, 或将飞机损伤至不能继续执行战斗任务的程度。

飞机是一个总体, 它由各种不同的部件组成。飞机的致命性主要取决这些部件被损伤的情况。一般说来, 这些部件可被下列三种方式摧毁:

- I) 击穿作用, 使部件受到机械损伤;
- II) 引燃作用, 使飞机引起火灾;
- III) 引爆作用, 使飞机上所载航弹引起爆炸。

根据飞机各部件的特点, 驾驶员舱和领航员舱、发动机、构件的承力元件、操纵系统的

表 2-1 依尔-28 和图-16 飞机可被致命的面积

破 坏 方 式	起 作 用 的 部 件 或 舱 段	面 积 (米 ²)	
		依尔-28	图-16
机 械 作 用	发动机; 座舱	1.1; 0.3	0.93; 0.3
引 燃 作 用	油 箱	4.2	6.23
引 爆 作 用	弹 舱	1.0	1.5

拉杆和钢索等主要靠机械击穿作用毁伤；飞机上的油箱(前后油箱及附油箱)主要靠引燃作用毁伤；飞机上的弹舱则靠引爆作用毁伤。表 2-1 列出了依尔-28 和图-16 飞机可被击毁的要害部件及相应面积的数据。

击穿作用 击穿作用是破片的一种主要作用，它通过破片的碰击动能而获得。击穿作用所产生的机械损伤的程度，除了取决于破片动能和破片大小外，还与被击部件的强度有关。

满足下述条件，即认为破片具有击穿能力：

$$S \leq \frac{E}{K_1 K_D \tau_P h},$$

式中 S ——破片的贯穿面积；

E ——破片的碰击动能；

τ_P ——被击部件的抗剪强度；

h ——部件的厚度；

K_1 ——取决于破片形状的系数；

K_D ——动力系数，表征动破坏阻力与静破坏阻力功之比。

十分明显，在不同部件上，作用的破片愈多，该部件失效的机率也愈大。

表 2-2、2-3 分别引出对活塞式和喷气发动机的试验数据。

表 2-2 喷气式发动机被击穿失效数据

破 片 重 量 (克)	破片碰击相对速度(米/秒)	破 片 密 度 (块/米 ²)	活塞式发动机失效频率
12~3	1700	3.1	0.209
9~10	1500	4.5	0.191

表 2-3 活塞式发动机被击穿失效数据

破片平均比动能(公斤·米/厘米 ²)	喷 气 式 发 动 机 失 效 频 率
152	0.06 (2/32)
206	0.07 (2/27)
180	0.07 (2/29)

在下列情况下，破片的击穿作用均可使飞机致命。当破片直接命中驾驶员、领航员，或在 5000 米高度上同时破坏座舱的气密性及氧气设备，使机上操纵人员失去操纵能力；当破片击中发动机组最重要的附件，或击穿油箱、油路使飞机不能正常飞行；当破片破坏承力元件(如翼舵)使飞机失去操纵性。

引燃作用 随着飞机的日益完善，油箱在飞机上占的比重愈来愈大。许多军用飞机的燃油几乎占飞机全部容积的 60~70%。当破片击中油箱并在燃油内运动时，使燃油的局部温度升高，压力产生剧变，从而导致引燃或爆炸。

破片的引燃作用主要与破片的单位冲量 $i = mV/S$ 有关。式中 m 是破片质量， V 是破片速度， S 是破片的断面积。随着单位冲量 i 值的增大，油箱引燃的机率增大。下面两表均为地面的试验数据。

表 2-4 油箱引燃试验数据

破 片 单 位 冲 量 (公斤·秒/米 ²)	引 燃 频 率
0.6	0.22
0.8	0.40
1.0	0.55

表 2-5 油箱引燃试验数据

破 片 重 量 (克)	破片运动相对速度(米/秒)	引 燃 频 率
1	700~800	0
	1100~1300	0.038
	1300~1500	0.05
20	700~900	0.16
	1100~1300	0.317
	1300~1500	0.38
50	700~900	0.20
	1100~1300	0.50
	1300~1500	0.54

实际上,引燃机率还与飞机高度及飞机上所采用的灭火措施及油箱结构有关。例如有些油箱的外部布有充满中性气体的塑料匣夹层。有些油箱里面直接充填中性气体(CCl_4 , N_2 或 CO_2)在这种情况下,油箱的引燃频率将大大下降。

引爆作用 当破片击中弹舱内的航弹,并在炸药内冲击时,会引起炸药局部的密度、温度和压力的急剧变化。炸药内部某些点上产生很高的“应力峰”,并在该处形成“炽热点”。如果炽热点的温度高过炸药的热分解温度,则可能产生引爆。在单位时间内,破片传给炸药的冲击能量越多,炽热点数目也越多,引爆的机率也越大。但是引爆现象是一个十分复杂的过程,它与许多因素有关,除了破片本身的能量、形状、大小和材料外,也取决于炸药性质和航弹弹壳状况,以及碰击时的具体条件。表 2-6 给出了地面试验的数据,以供参考。

表 2-6 航弹引爆试验数据

破 片 重 量 (克)	破 片 速 度 (米/秒)	破 片 密 度 (块/米 ³)	对 普 通 炸 弹 的 引 爆 频 数
12~13	1720	3.1	19/30 = 0.63
9~10	1600	4.5	14/30 = 0.47

§3 对高射炮系统的战术技术要求

要使任何火炮系统达到消灭目标的目的,必须具备两个前提。第一是解决命中目标问题,即火炮把弹丸及时准确地发射至目标处;第二是解决摧毁目标问题,即弹丸具有足够威力,爆炸作用后足以毁伤目标。但根据目标的不同特点,对火炮系统提出不同的要求。

就高炮系统而言,基于上一节的目标分析,必须着重突出以下要求:射击速度高,初速

大, 射击精度好, 弹丸威力大以及火炮系统的全自动化。

3-1 火炮系瞄准装填射击的全自动化

瞄准, 是解决命中问题的关键。由于空中目标在三度空间内高速运动, 这给瞄准带来了很大困难。为了瞄准, 必须连续测定活动目标的位置和运动参量; 同时根据弹丸速度确定出火炮各个瞬间应采取的瞄准位置及时间引信的装定分划; 而后, 驱动炮身瞄向该位置, 同时按规定装定好时间引信, 进行射击。因此, 测定——计算——瞄向和装定, 必须是一系列连续的调整操作过程, 依靠通常的光学瞄准具, 进行人工操作, 往往是难于胜任的。对于中大口径高炮来说, 甚至是不能胜任的。解决这个矛盾的有效途径, 乃是实现火炮系统的全自动化。

目前, 口径在 57 毫米以上的高炮都是包括雷达、指挥仪、随动系统在内的全自动的高炮系统。只有 37 高炮(30 年代的产品)口径较小, 有效射高较低(3000 米), 目前仍然采用一般光学瞄准具和光学测距仪, 由人工操作, 因此性能较落后, 为了进一步提高性能, 满足战备需要, 也有必要作进一步改进, 往自动化方面发展。瑞典 40 毫米高炮(50 年代产品)及瑞士双管 35 毫米高炮(60 年代产品)等这些小口径高炮也均为全自动型。

3-2 发射速度高

由前所述, 现代飞机飞过高炮的对空射界仅需十余秒或数十秒, 高炮可以对飞机射击的时间是十分短促的。为了增加命中目标的机会, 必须在这个很短的时间内向目标射出更多的弹丸。也就是说, 必须加大发射速度。提高发射速度最基本的方法, 是实现火炮射击过程(装填, 关门, 闭锁, 击发, 开闩, 抽筒)的自动化。必须指明, 火炮射速的提高受火炮寿命和火炮各机构的强度的限制。以 57 毫米高炮为例, 其最大(理论)射击速度为 105~120 发/分(按自动机的循环时间计得), 但当火炮连续射击 50~60 发后, 炮管温度急剧上升, 可达 400~450°C。如果继续射击, 就会降低火炮强度, 加剧火炮磨损, 并使弹丸的射击精度变坏。此时必需采取冷却措施, 并需要一定的射击间隙时间。因此, 在实际射击中, 根据火炮的射击时间的长短, 其平均射速是有一定限制的。

例如, 37 毫米高炮的理论射速为 180 发/分(即 3 发/秒), 但实际的射击发数受表 3-1 所列数据限制。

表 3-1 37 毫米高炮的实际射速

射击持续时间		10"	20"	40"	1'	2'	5'	15'	30'	1 小时	2 小时
发数	夏季	30	45	70	90	120	200	250	300	450	750
	冬季	30	45	70	90	120	200	300	400	600	1000

弹药系统的改进有可能为增大射速提供条件, 如采用可燃药筒, 可以减去抽筒的动作, 采用雷达引信, 则可省去引信测合的时间。

3-3 弹丸初速大

弹丸初速大, 或弹丸的飞行时间短, 这对快速活动目标射击有十分重要的意义。如前所述, 在解决命中问题时, 火炮的瞄准必须考虑一个“提前修正量”的因素, 使弹丸在经过 t 秒后, 可以与目标同时相遇。但是, 应当指出, 指挥仪求解这个“提前修正量”时, 是有一定的

前提的。即假定目标在 t 秒内按确定的航路和航速飞行，例如作等速直线运动或等加速圆周运动……等(当然，这个假定也是在雷达的一定测量数据基础上作出的)。如果目标在这段时间内骤然改变了航行状态，亦即破坏了计算前提条件的正确性，这样，指挥仪计算结果就将与实际情况产生差别，对射击不利。很明显，弹丸的速度愈低，飞行时间愈长，则这种不利因素也变得更加明显，即使当弹丸射出后，目标只需作适当的机动飞行，仍然可以避开射弹。因此，为要提高每发弹丸的命中率，必须提高弹丸的速度，缩短弹丸的飞行时间，这一点对靠直接命中来杀伤目标的小口径高射榴弹来说，尤其显得突出。另外，弹丸的初速大，也可以增大弹丸的射击空域。

3-4 射击精度好

所谓射击精度，简言之，就是要求射击准确的意思。这样不仅可以节约弹药消耗量，更主要的，它可以及时消灭敌人，保存自己，赢得战机。因此，射击精度对高炮作战具有十分重要的意义。

以不同方式攻击目标的弹丸，其射击精度的衡量指标也不相同。

小口径高炮的射击精度 小口径高射榴弹是依靠直接命中目标并在其内部爆炸而摧毁目标的，因此它的射击精度通过一定距离上的立靶精度来衡量(图 3-4-1)。

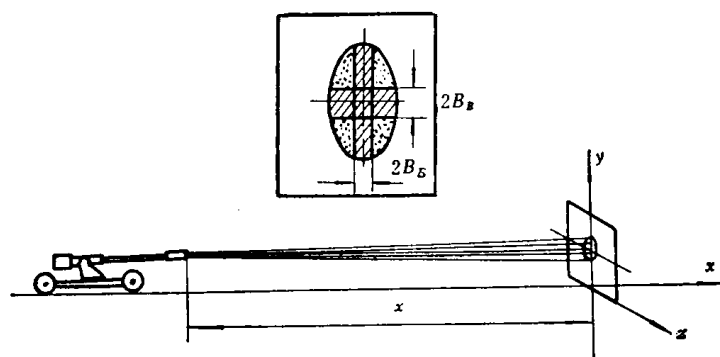


图 3-4-1 小口径高炮的立靶精度

首先，我们考察理想情况：弹丸以某一准确的初速 v_0 、射角(高低角 φ 和方向角 θ)及弹道系数 C 发射，这时，仅有一根理想弹道准确通过靶中心，击中目标。当然，世界上没有绝对纯的事物。不论在初速、射角及弹道系数方面都不可避免地存在着误差因素，例如发射过程中(尤其是连发射击时)火炮的跳动，使射角产生误差；又如每发

炮弹的弹丸重量和发射药重量不可能绝对相等，产生初速误差；弹丸外形尺寸不可能绝对一致，产生弹道系数的误差；弹丸的飞行姿态也各有差别……除此以外，还有风偏等一些外在因素的影响。由于这些因素的影响，使弹丸在空中飞行的弹道不只是一条，而散布成为一个弹道束；通过立靶时的弹着点也不只一点，这样就产生了“散布”。散布的情况是：愈靠近中心处(P点处)弹着点愈密，愈外面弹着点愈稀疏，并且稀疏的变化规律近似于按照某种椭圆形扩展下去(参见图 3-4-1)。这样的散布规律，又称“椭圆分布”。从理论上讲，发射无穷多弹丸，这些同心椭圆可以无穷地扩大下去。但实际上绝大多数弹丸仍然分布在某个有限的椭圆界内。

现在，我们通过散布中心(即椭圆中心)分别在椭圆长轴、短轴两个方向划出两个对称区域(图 3-4-1 上的阴线区域)。如果每个区域分别包含 50% 的射弹，则这两个区域宽度的一半： B_h 和 B_d 分别称为射弹的高低和方向散布平均或然偏差。有时也简称为高低偏差和方向偏差。并用它作为立靶精度的衡量指标。

例如 57 毫米高炮在 1000 米处的立靶精度指标为 $B_h \leq 0.75(\text{米})$ ， $B_d \leq 0.85(\text{米})$ 。为方便起见，通常记为 $0.75 \times 0.85 / 1000 \text{ 米}^2 / \text{米}$ 。

这里顺便指出,当发射有限发弹丸时,立靶上的弹着点看起来杂乱无章,似乎不呈“椭圆分布”。当然,这是一种错觉,它是由于从整个“全局分布”中随意抽出几个有限点的“局部分布”而造成的。在这种情况下,确定 B_s 与 B_o 则需根据概率论按一定方式进行计算。

大中口径高炮的射击精度

大中口径高炮,一般依靠射弹在目标附近爆炸(由时间引信控制),形成大量破片(还有空气冲击波)来攻击目标。因此,其射击精度则通过弹丸的“炸点散布精度”来衡量。炸点散布精度除了取决于弹道束的散布状况外,还取决于弹丸在弹道上的起爆位置。这里我们着重讨论后一种因素。弹丸在弹道上的起爆位置,主要决定于引信的起爆时刻。影响引信起爆时刻的误差因素有很多方面:引信本身计时机构的不准确;装定时分划数拨得不准确,装填时间(由测合完毕至发射这一段时间)的不一致等。上述诸因素使弹丸的爆炸位置从理想点 P 沿弹道前推或后移一段距离(图 3-4-2)。

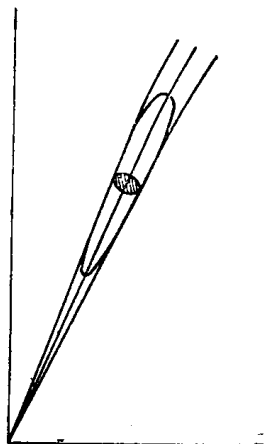


图 3-4-2 中大口径高射榴弹的炸点散布

弹道的空间散布与弹道上炸点位置散布的合成,造成炸点在空间呈一个椭球散布:即炸点在中心(P 点处)密,然后逐渐沿椭球形边扩张,形成四周炸点稀疏。实际情况证明,诸因素中,起爆时间误差的影响最为显著。因此,椭球的长轴沿着弹道的方向,椭球形状细长,像一根“黄瓜”。与立靶精度类似,也可以提出炸点在三个方向:高低、方向、斜距离的散布平均或然偏差—— B_s , B_o , B_D 来表征中大口径高炮的射击精度。不过,应当指出,在现有某些中大口径高炮中,其射击精度并未通过炸点散布精度来衡量,而是采用地面榴弹的射击精度指标——即全射程 X 上的距离散布的相对值(B_D/X)和横向散布绝对值 B_o 来衡量的。例如,目前 100 毫米高炮的射击精度指标为 $B_D/X=1/150$, $B_o=18$ 米。固然,弹丸在全射程上的地面散布与直线段上的弹道散布有一定关系,但是,如前所述,直线段的炸点散布更主要取决于起爆时间的散布,因此,用全射程的地面散布精度来衡量中大口径高炮的射击精度,并不能完全反映出事物的基本情况。

全面提高火炮的射击精度 上面主要是从火炮的火力系统(即炮、弹、引信)方面来分析它对射击精度的影响。实际上,影响射击精度的因素还很多,从整个高炮系统来看,还有雷达对目标的测量误差;指挥仪的计算误差;火炮随动系统的误差;引信测合机的误差等。换句话说,只有测得准,算得准,瞄得准,同时也打得准,炸得准,才能最终完成战斗任务。例如在瞄准精度差的情况下,单纯提高火力系统的精度是没有意义的;又如对于配用时间引信的中高炮,主要应减小时间散布,而在方向上的误差的减小,则主要应从雷达,指挥仪方面着手改善。

就弹丸本身而言,应结构设计合理,使弹丸具有良好的飞行稳定性;另外,弹丸的外形、重量和对称性都不应当有过大的误差,这对提高射弹的精度是有意义的。

3-5 弹丸威力大

如前所述,弹丸的威力是为了解决对目标的摧毁问题,因而是一个具有决定意义的问题。中大口径弹丸主要依靠破片来摧毁飞机。但是飞机都有一定的防护能力,尤其飞机上某些最致命的部分(如发动机、油箱、操纵系统,弹舱、驾驶舱),都装备有一定强度的防护层。根据各种资料分析,对于一般飞机来说,要求有一定数目的重量在 10 克以上而动能为 100~150 公斤·米的破片击中飞机方可使飞机致命;对于防护力较强的飞机,则要求破片功能为

200~250 公斤·米，且破片重量最好在 20 克以上。应根据这个要求来设计弹丸的结构。例如 100 毫米高射榴弹可以产生 10 克以上的破片约 600 多块；85 毫米高射榴弹可以产生 10 克以上破片约 200 多块；而其中 20 克以上破片有 70 块左右。增大中大口径弹丸破片威力的主要途径是采用威力较大的炸药，同时配合以相应的弹体材料，并使弹丸具有合理的结构，使破片的速度加大，并使有效破片数目增多（即尽量减少过小和过大的破片数目）。

要使破片威力进一步提高将受到弹丸口径的限制。对小口径高射榴弹来说，由于其破片数目少和重量较轻，不能满足对上述目标的摧毁要求。因此小口径弹丸只能依靠直接命中飞机，并使弹丸贯入飞机内部后爆炸来摧毁目标。根据资料分析和对靶机的试验结果，认为击毁飞机的炸药一般不得少于 100~120 克。因此，小口径高射榴弹的威力大小，直接反映在弹体内炸药量的多少。为了提高小口径弹丸威力，应尽量多装炸药。

3-6 对高射榴弹的要求

综上所述，对用于高射武器的弹药，可提出如下方面的要求：

- I) 初速要高，弹形要好，以减小飞行阻力，缩短飞行时间，提高命中率和增大射高；
- II) 威力要大，对小口径高炮来说要尽量增大炸药威力和炸药量，对中大口径高炮来说，要尽量增大有效破片数和破片速度；
- III) 引信要保证适时起爆，并有自炸机构。中大口径高射弹丸应采用时间引信或非接触引信；而小口径高射弹丸应采用着发引信；
- IV) 药筒采用定装式，并适宜自动装填和抽筒的要求。

§ 4 对榴弹的一般要求

上面我们着重分析了对高射榴弹的战术技术要求，下面从一般方面讨论对榴弹的要求。这些要求显然也适用于高射榴弹。

对弹丸的基本要求可分为两类：战术技术要求及生产经济要求。前者是从战斗性能和勤务处理方面对弹丸提出的要求；后者是从生产制造方面对弹丸提出的要求。

4-1 战术技术要求

一般战术技术要求可分下列几项：

- I) 弹丸的威力；
- II) 弹道性能；
- III) 射击精度；
- IV) 射击和勤务处理时的安全性；
- V) 长期储存的安定性。

弹丸的威力 所谓威力就是在一定射击条件下，对目标进行摧毁或杀伤的能力。因此弹丸威力的大小应当根据目标的性质和战斗方式的不同，而有不同的衡量标准。

爆破榴弹主要借助炸药爆炸后产生的大量高压气体和冲击波来破坏或摧毁土木类工事。因而爆破弹的威力决定于炸药的数量与质量。为了增大爆破榴弹的威力，弹丸的结构应尽量有利于多装炸药量，同时采用高能量炸药。杀伤榴弹主要利用破片杀伤目标。不同的目标，有不同的生命力与不同的坚固程度，因而对足以使目标致命的杀伤破片的标准——破片大小与破片动能也有不同的要求。为了提高杀伤榴弹的威力，弹丸的结构应有利于产生尽可能多的与目标相适应的杀伤破片的数目，同时破片的飞散速度应尽可能地提高。

除了改进弹丸的结构,充分利用现有炸药的能量外,还可以从以下几方面来进一步提高榴弹的杀伤威力:

- I) 运用新的高能炸药;
- II) 寻找新的作用原理,如采用可控破片或预制破片的新结构;
- III) 采用非接触引信使弹丸空炸。

弹道性能 对地面榴弹的弹道性能的要求主要是远射性,对高射榴弹则要求高射性或飞行时间短。弹道性能主要取决于弹丸初速及弹道系数。

弹丸初速决定于火炮能力和弹丸重量,对于一定能力的现有火炮,提高初速往往必须减轻弹重,而在新火炮系统中,初速的提高则受到火炮机动性要求的限制(也就是说,欲初速大,相对说来,火炮将变得笨重)。

弹道系数与弹丸结构联系最密切。弹丸的外形合理,飞行稳定好,弹丸单位横断面积上的重量大,都将使弹道系数变小,使弹丸在弹道上的速度衰减减小,从而具有较大的存速能力,这是有利的。

影响弹道性能的因素是多方面的,并且某些影响因素常常同时存在利弊两个方面。例如,减轻弹重可以增加初速——这是有利的;但减轻弹重又导致弹道系数的增大,速度衰减大——这是不利的。又如,增大弹长对威力有利,但对稳定性不利。因此,为了获得某个弹道性能上的最佳方案,必须进行全面的弹道计算。

关于增大榴弹远射性或高射性,可以从以下几方面考虑:

- I) 创造新的发射药来增加火炮能力;
- II) 改进弹形,运用新技术或新结构来减少空气阻力(如底窝弹,脱壳弹);
- III) 采用火箭增程技术。

射击精度 所谓射击精度是指在同样的射击条件下,弹丸在作用点的散布的程度。一般地面榴弹的射击精度以全射程(最大射程)上的地面落点精度来衡量,即 B_{π}/X 与 B_{ϕ} 。 X 代表全射程; B_{π} 为此射程上的距离散布平均或然偏差; B_{ϕ} 为相应的方向散布中间或然偏差。高射榴弹的射击精度前面已经讨论,这里不再赘述。

射击和勤务处理中的安全性 弹丸在射击和勤务处理时的安全性有很大的政治和经济意义。这里我们主要讨论射击中发生早炸的一些原因。早炸有完全与不完全两种。由引信引起的早炸,一般都是完全性早炸,并且可以发生在膛内、炮口及弹道上的任何地点。由弹丸疵病引起的早炸,则完全的与不完全的情况均可能发生,早炸地点大多发生在膛内,个别情况下也有在炮口处的。

膛内的完全性早炸最危险,尤其对于大口径弹丸。在这种情况下,大多会发生炮身的炸裂与炮手的伤亡,因此必须特别注意。膛内不完全早炸的危险性虽然较小,但也可能引起炮身的损坏。

由于弹丸本身缺陷导致早炸的基本原因是:弹丸(主要是弹体或弹底)的发射强度不足或弹体材料有疵病,使火药气体钻入弹体内部;底螺等部件联接处的密封程度不严;炸药变质或其机械感度大,或在装药时有异物落于炸药内。

为杜绝弹丸早炸的发生,除严格控制引信外,从弹丸本身讲必须做到:

- I) 设计计算时,保证弹丸有可靠的发射强度和炸药有可靠的安全性;
- II) 所选炸药应有良好的化学安定性,不与相接触的金属或材料互起化学反应;