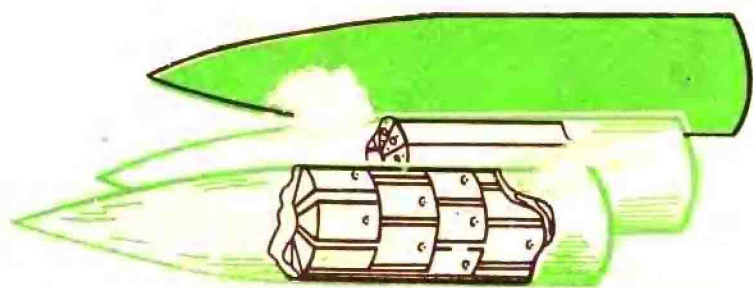


火箭战斗部设计原理

蒋浩征 周兰庭 蔡汉文 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分两篇。第一篇为火箭战斗部设计总论，内容包括：火箭战斗部的基本知识，设计方法，强度计算，性能评价和试验设计等。第二篇为主要类型战斗部设计原理，以及现在常用的典型战斗部的设计准则与方法。这些战斗部主要有：破片式杀伤战斗部，连续杆式杀伤战斗部，聚能战斗部，爆破战斗部和集束式战斗部等。

本书可作为高等工业院校火箭类专业的教材或参考书，也可供有关科技工作者参考。

火箭战斗部设计原理

蒋浩征 周兰庭 蔡汉文 编著

*

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

*

787×1092¹/₁₆ 印张22¹/₂ 523千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷 印数：0,001—1,500册

统一书号：15034·2478 定价：2.75元

前 言

导弹战斗部与火箭弹战斗部是直接用来摧毁目标的部分，起着重要的作用。

二十世纪以来，随着爆轰理论、流体与固体动力学、终点弹道学等基础学科的发展，战斗部这门综合性的应用学科才逐步建立起来。由于它的发展历史较短，因而至今尚无较系统的叙述战斗部设计原理的参考书籍。为了适应国防现代化的需要，我们根据多年教学与科研的实践，在原有讲义的基础上，广泛搜集了国内外的有关文献资料，编著了本书，以作为火箭类专业的教材或参考书，同时也可供有关科技人员参考。

火箭战斗部的设计，从本质上来说，就是在一定的使用、生产、发射和飞行条件下，利用新的技术成果，采用先进的设计方法，研制出性能优良的产品，以达到摧毁预定目标的最佳效果。本书共分两篇。在第一篇的火箭战斗部设计总论中，着重讨论了有关战斗部系统的设计，战斗部重量与直径确定原则，战斗部各种设计方法，战斗部威力评价准则等，以便为初学者和实际工作者较系统掌握战斗部的设计原理与方法。在第二篇中，较全面系统地叙述了各种类型战斗部的破坏机理、设计准则与方法，并列出了图表和实例，以达到学以致用目的。

火箭战斗部设计的准则与方法，是随着基础学科的进展与科学技术的发展而变化的。本书除了较系统地叙述目前普遍应用的设计准则与方法外，还论述了战斗部的发展方向，介绍了国外已采用的数值计算和综合设计等先进方法。

本书第一篇第一、二章和第二篇第三章由蒋浩征编写；第一篇第三章和第二篇第二、四、五章由周兰庭编写；第一篇第四、五章和第二篇第一章由蔡汉文编写。

本书在编写过程中，得到了许多工厂、研究所和兄弟院校有关同志的大力支持和帮助。赵振荣审阅了全部书稿，李晶承担了描图工作，谨在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，缺点、错误在所难免，欢迎读者予以批评指正。

目 录

第一篇 火箭战斗部设计总论

第一章 火箭战斗部的基本知识

§ 1-1-1 火箭弹与导弹	1
§ 1-1-2 战斗部与全弹关系	2
§ 1-1-3 战斗部的分类与组成	5
§ 1-1-4 战斗部攻击的主要目标和目标分类	7
§ 1-1-5 常规战斗部的能源——炸药	10
§ 1-1-6 战斗部的研制与生产特点	14
§ 1-1-7 战斗部的发展趋向	15

第二章 战斗部系统的工程设计方法

§ 1-2-1 战术技术要求	18
§ 1-2-2 战斗部重量、直径的确定和类型的选择	21
§ 1-2-3 战斗部的研制过程	27
§ 1-2-4 战斗部系统工程中的战斗部设计方法	29

第三章 战斗部强度计算

§ 1-3-1 概述	41
§ 1-3-2 战斗部在导弹飞行时的载荷	41
§ 1-3-3 战斗部在弹道终点时的碰击载荷	52
§ 1-3-4 战斗部在勤务处理时的载荷	59
§ 1-3-5 安全系数和剩余强度系数	59
§ 1-3-6 战斗部典型构件的强度计算方法	61
§ 1-3-7 联接构件强度的校核	84
§ 1-3-8 装填物的安定性计算	88
§ 1-3-9 有限元素法的应用	90

第四章 战斗部评价

§ 1-4-1 评价原则及内容	99
§ 1-4-2 评价原理及概念	100
§ 1-4-3 评价方法	113
§ 1-4-4 概略地评价	120

第五章 战斗部试验设计

§ 1-5-1 概述	123
§ 1-5-2 信息处理与推断	124
§ 1-5-3 假设检验与可靠性	134
§ 1-5-4 验收性试验的抽样方案设计	137
§ 1-5-5 研究性试验设计	146

第二篇 主要类型的战斗部设计原理

第一章 破片式杀伤战斗部

§ 2-1-1 概述	150
§ 2-1-2 破片式杀伤战斗部的作用原理	150
§ 2-1-3 杀伤概率计算	169
§ 2-1-4 对付空中目标的破片式杀伤战斗部的初步设计	186
§ 2-1-5 破片式战斗部的结构设计	204
§ 2-1-6 对付地面和海上目标的破片式战斗部的特点	211
§ 2-1-7 破片式战斗部的威力试验	215

第二章 连续杆式杀伤战斗部

§ 2-2-1 概述	222
§ 2-2-2 连续杆战斗部的作用原理	223
§ 2-2-3 连续杆战斗部的结构设计	225
§ 2-2-4 连续杆战斗部的威力试验	230
§ 2-2-5 连续杆战斗部的杀伤概率	232

第三章 聚能战斗部

§ 2-3-1 概述	235
§ 2-3-2 聚能破甲战斗部的方案设计	240
§ 2-3-3 聚能破甲战斗部的装药结构设计	247
§ 2-3-4 聚能破甲战斗部的弹体结构设计	264
§ 2-3-5 静、动破甲试验	272

第四章 爆破战斗部

§ 2-4-1 概述	276
§ 2-4-2 爆破战斗部的作用原理	279
§ 2-4-3 普通炸药爆破战斗部的结构设计	310

第五章 集束式战斗部

§ 2-5-1 概述	327
§ 2-5-2 集束式战斗部的总体设计	331
§ 2-5-3 集束式战斗部的效率	346
参考文献	351

第一篇 火箭战斗部设计总论

第一章 火箭战斗部的基本知识

§ 1-1-1 火箭弹与导弹^[1~2]

战斗部是火箭弹与导弹的一个重要部件。从全局观点出发,从事战斗部设计的技术人员,应该首先对火箭与导弹有概略的了解。

中国是火箭的祖国。根据历史记载,唐朝初期(公元682年),炼丹家孙思邈制成了火药配方,发明了火药。宋朝初期(公元969年),冯义升和岳义方等人利用火药发明了火箭,并很快在军事上得到了应用。于13世纪,我国的火药及火箭技术先传至阿拉伯,以后传入欧洲。火箭技术在第二次大战期间有了很大发展,战后出现了一个崭新的时期,相继研制成功洲际导弹、人造卫星与宇宙飞船。火箭弹与导弹现在已被公认为是一个国家的国防现代化的标志之一。

火箭与导弹是不完全相同的同一类飞行器。通常所称的火箭是一种依靠火箭发动机推进的飞行器。这种飞行器根据不同的用途可携带不同的有效载荷。当它装有战斗部时,就构成火箭弹;当它装载有卫星、飞船等时,就构成卫星运载火箭、星际航行火箭等。导弹则是一种受制导系统的制导并带有战斗部的飞行器,它的飞行弹道是可以控制的。任何一种导弹都必定包含弹体、制导系统、战斗部和发动机四大部分,而对于无控火箭弹来说,除制导系统外,其余三大部分仍是必不可少的。通常,可制导者即是导弹,不可制导者称为火箭弹或无控火箭弹。

当代世界各国研制成的各种火箭弹和导弹的种类很多,为便于分析研究,通常根据不同要求对它们进行分类。下面介绍一种按战斗使用进行分类的方法,即以火箭弹与导弹所攻击目标的特性和目标所处的位置(地面、空中或海上)为其基本特征的分类法。

1. 火箭弹分类

野战火箭弹:由地面发射,攻击敌方的地面工事和有生力量。

反坦克火箭弹:由地面(亦可由飞机)发射,攻击敌方坦克和其他一些装甲目标。

航空火箭弹:由飞机发射,攻击敌方飞机或地面目标。

防空火箭弹:由地面发射,攻击敌方飞机。

2. 导弹分类

攻击地面固定目标的导弹,根据其发射点不同,可分为地对地导弹、空对地导弹。

攻击坦克等地面活动目标的导弹,称为反坦克导弹,大多由地面(或车辆)发射,也可由直升飞机发射。

攻击飞机的导弹,根据其发射点不同,可分为地对空和空对空导弹。

攻击舰艇的导弹,称为反舰导弹,根据其发射点不同,又可分为地对海、空对海和海

对海等导弹。

§ 1-1-2 战斗部与全弹关系^[3~4]

武器系统是一个整体，各部件之间协调配合十分重要，其设计原则是：应使于每个部件在整个系统中都发挥其最佳作用。只有在各部件总体协调达到最佳配合时，武器系统的性能才是优越的。近年来，由于最优化方法的研究和电子计算机的广泛应用，使上述问题有可能得到比较好的解决。现就战斗部与全弹协调关系分以下四个方面来讨论。

1. 战斗部重量与全弹重量的关系

战斗部是导弹（或火箭弹）中直接用于摧毁、杀伤目标，完成战斗使命的部件。而弹的其余部件的任务，只在于将战斗部准确地投送到预定目标或目标区。战斗部的类型、重量和主要结构特征尺寸都直接取决于目标的特性和目标的易损性。在全弹方案设计确定战斗部重量 G_w 时，首先应满足对目标达到预期的破坏效应；其次，在不影响战斗部威力性能的前提下，根据技术上的可能性与必要性进行重量分配协调。

当战斗部类型、重量及主要结构特征尺寸依目标确定后，就在很大程度上确定了全弹的重量和结构特征尺寸。

根据弹的飞行性能要求，在多数情况下，战斗部的直径与弹的直径是一致的，只有在火箭弹短射程或需增大威力的情况下，才采用不同口径的外形结构。从这个意义上讲，战斗部的结构特征尺寸（外形尺寸）就决定了全弹的结构特征尺寸。

战斗部重对全弹重影响很大，它直接影响着武器系统的机动性，下面就战斗部重对全弹重的影响讨论如下：设 G_m 为全弹重， G_w 为战斗部重， G_g 为火箭发动机燃料重， G_y 为控制系统重， $K_m G_g$ 为发动机重，其中 K_m 为发动机重和燃料重之比。则

$$\left. \begin{array}{l} \text{导弹的全弹重} \quad G_m = G_w + G_g + G_y + K_m G_g \\ \text{火箭弹的全弹重} \quad G_m = G_w + G_g + K_m G_g \end{array} \right\} \quad (1-1-2-1)$$

下面以火箭弹为例来分析战斗部重和全弹重之间的关系。

代表火箭弹本身的结构特征有下列几个重要比值：

火箭弹的重量比 K_G 为火箭弹的初重与战斗部重之比

$$K_G = \frac{G_m}{G_w} \quad (1-1-2-2)$$

火箭弹的结构特征比 K_s ，它反映结构性能、材料和工艺水平。

$$K_s = \frac{G_g + K_m G_g}{K_m G_g} \quad (1-1-2-3)$$

火箭齐氏质量比

$$K_z = \frac{G_m}{G_m - G_g} \quad (1-1-2-4)$$

上述三个特征数之间有如下的基本关系

$$K_G = \frac{K_z(K_s - 1)}{K_s - K_z} \quad (1-1-2-5)$$

由 (1-1-2-5) 式可知，当计算求出 K_z 和统计选定 K_s 后，则 K_G 就可确定。

根据齐氏公式可确定火箭在理想条件下的最大飞行速度

$$v_m = u \ln K_z \quad (1-1-2-6)$$

式中 u ——发动机的有效排气速度，与燃料和发动机结构有关；

v_m ——根据射程需要而定。

由 (1-1-2-6) 式可得

$$K_z = e^{\frac{v_m}{u}} \quad (1-1-2-7)$$

对于导弹，则

$$K_z = \frac{G_g + K_m G_g + G_y + G_w}{K_m G_g + G_y + G_w}$$

一旦射程确定，则 v_m 即可确定，因此 K_z 可以由计算求得。

K_s 是根据火箭结构、材料和工艺水平的统计数而选定。

这样火箭弹（或导弹）全重就可直接从 (1-1-2-2) 式来确定

$$G_m = K_g G_w = \frac{K_z (K_s - 1)}{K_s - K_z} G_w \quad (1-1-2-8)$$

由此可见，火箭弹全重 G_m 与战斗部重量 G_w 是成比例的。战斗部重量 G_w 一经决定，全弹重 G_m 就可以估算出来。

2. 战斗部的威力半径与制导系统的准确度（或弹的落点准确度）的关系

战斗部的威力性能参数因类型不同而不同，大多数战斗部可用威力半径 R 来描述。而威力半径 R 必须与导弹制导系统的准确度（常以导引均方偏差 σ 或圆概率偏差 C 表示）匹配好，才能有效地摧毁目标。导弹系统各部件由于本身有一定的误差以及控制系统惯性的影响，因而使导弹的弹着点产生散布。用于对付空中目标的导弹，常用均方偏差 σ 来表示制导系统的导引准确度；而用于对付地面目标和海上目标的导弹，则常用圆概率偏差 C 来表示制导系统的导引准确度。在导弹武器系统中，常用摧毁概率 P 表示摧毁目标的可能性，当目标确定后，摧毁概率 P 是战斗部威力半径 R 、导引准确度 σ 或圆概率偏差 C 的函数。

以对付空中目标的导弹为例。假设在制导系统无系统误差情况下，位于战斗部威力半径 R 内的目标都能被可靠摧毁（即单发摧毁概率 P 为 99.7%），则威力半径 R 与导引准确度 σ 之间必须满足以下条件

$$R \geq 3\sigma \quad (1-1-2-9)$$

在上述条件下，单发导弹摧毁概率的表达式为

$$P = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \quad (1-1-2-10)$$

因战斗部威力半径 R 与战斗部重量 G_w 成一定比例关系，上式中 R 可以 G_w 来替换。对于破片式战斗部，当用它对付歼击机和轰炸机时，其单发导弹摧毁概率为

$$P = 1 - e^{-\frac{0.8G_w^{1/2}}{\sigma^{2/3}}} \quad (1-1-2-11)$$

采用爆破战斗部对付歼击机和轰炸机时，其单发导弹摧毁概率为

$$P = 1 - e^{-\frac{0.8G_w^{1/3}}{\sigma^{2/3}}} \quad (1-1-2-12)$$

由 (1-1-2-11)、(1-1-2-12) 式可知，因 σ 的指数为 $2/3$ ，它大于 G_w 的指数 $1/2$ 和 $1/3$ 。这说明 σ 减小比 G_w 增大更能有效地提高摧毁概率 P 。当单发导弹摧毁概率不能满足要求

而又需提高时,则首先应设法提高制导系统的准确度,其次才是增加战斗部重量 G_w 。

以对付地面目标的导弹为例,假设在制导系统无系统误差的情况下,位于战斗部威力半径 R 内的目标都能达到可靠摧毁,则威力半径 R 与圆概率偏差 C 之间必须满足以下条件

$$R \geq 2.5C \quad (1-1-2-13)$$

如果上述条件无法满足,则同样首先设法提高制导系统的准确度;若在当时技术上不能再提高制导系统的准确度时,则可以考虑多发齐射。多发齐射相当于增大了战斗部的威力半径。

3. 战斗部对目标破坏作用形式与全弹结构布局的关系

战斗部在全弹结构布局中所占的部位有三种基本形式:多数位于弹的头部,也有位于弹的中部,个别的位于尾部。采取什么样的布局,取决于战斗部对目标的破坏作用方式。

对付地面目标的弹道式导弹的常规战斗部、核战斗部多位于头部。这是因为弹道式导弹采用多级火箭发动机(个别近程弹道式导弹例外),在弹道上逐级分离,最后只剩战斗部飞向目标区。而战斗部采用空中或地面爆炸的方式,所以采用战斗部位于头部的布局方案最为有利。

对付空中目标的导弹多数是有翼式导弹,其战斗部大多是以杀伤作用(如破片式、连续杆式、聚能粒子式等)为主的,所以位于弹的中部比较合理。这不仅有利于发挥战斗部的作用,也有利于导引头正常工作。

对付装甲目标的导弹大都是有翼式(或飞航式)导弹,它们采用的是聚能战斗部、自锻破片式战斗部与半穿甲战斗部。为了保证破甲时金属射流对目标的有效作用,或者使战斗部能有效地穿入目标内部爆炸,这一类导弹的战斗部一般都位于头部。在聚能战斗部最前端通常还装有风帽,以保证导弹的飞行性能和战斗部作用的有利炸高。

对付地面有生力量的杀伤战斗部,若采用触发式引信,为了减少杀伤破片被地面土壤的吸收,提高杀伤效应,以及增大地平面上的有效杀伤半径,可采用下列结构布局,将战斗部置于全弹的尾部,经验证明,这是个很有成效的结构方案。

4. 战斗部结构与全弹结构的关系

战斗部的装药结构、主要部件和零件的形状尺寸,应以满足威力性能为主。但是,它们的承力结构、联接方式及与此相关的结构尺寸等,则与全弹的结构有关。若导弹的弹体采用框架桁条蒙皮结构,则战斗部可采用悬挂式。若导弹的弹体采用舱段式,则战斗部壳体必然成为弹体的一部分,其外形应根据全弹的气动外形需要而确定。

战斗部是全弹的一个部件,所以在确定结构和形状时,在外形、重心位置、重量等方面应与总体协调,并妥善解决有关弹道性能、装配工艺性以及其他一些特殊要求。

为了协调好战斗部与总体的关系,在组织措施上,导弹的总体设计组应有战斗部专业的技术人员参加,以便及时解决研制过程中需要协调的问题。在技术措施上,总体设计组应对战斗部设计成员提供有关数据,作为战斗部设计的依据。以地对空导弹战斗部的设计为例,应提供:

- 允许战斗部重量;
- 战斗部部位的尺寸与形状;
- 导弹的速度;
- 导弹的制导系统的准确度;

- 目标的尺寸、形状和特征;
- 目标的速度;
- 目标的易损性;
- 导弹与目标交汇的高度;
- 导弹与目标交汇的姿态;
- 导弹装卸与飞行的环境。

§ 1-1-3 战斗部的分类与组成

(一) 战斗部分类

现代战争中所对付的目标是多种多样的, 因而战斗部种类很多。为了对战斗部性能作出比较正确的评价, 通常大都按战斗部对目标破坏作用原理来分类。

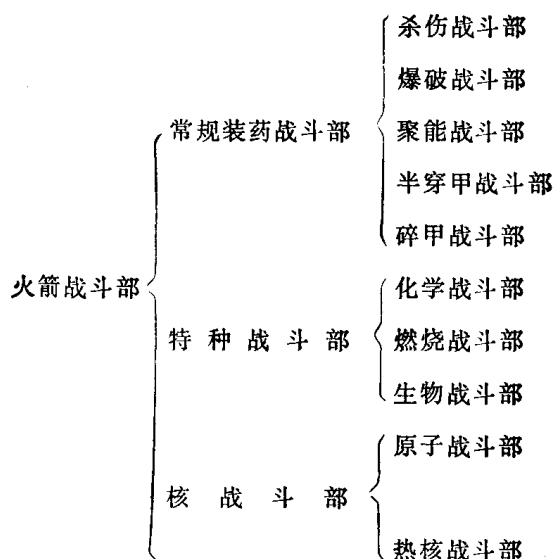
1. 物理破坏作用: 其中又可分为冲击波效应和侵彻效应。前者是指战斗部装药在不同介质中或介面处爆炸后所形成的冲击波对目标所引起的破坏毁伤效应; 后者则表示战斗部或战斗部爆炸后所形成的杀伤元素 (如破片、金属射流、连续杆), 依靠动能穿透或侵入目标所引起的破坏毁伤效应。

2. 光、热辐射效应: 利用战斗部爆炸时所产生的强烈光谱, 或高速粒子流的碰击使目标在高温条件下产生气化或融化, 进而造成烧蚀、击穿破坏。

3. 放射性效应: 利用战斗部核装药爆炸后所产生的 γ 射线和中子流的贯穿辐射, 以及 α 射线和 β 射线的沾染来毁伤目标。

4. 化学效应: 利用战斗部内预先装有的化学元素或装填物在目标处爆炸时由化学反应而生成的混合物、化合物或气体来毁伤目标, 例如毒气、燃烧剂等。

战斗部的名称经常是根据它对目标的主要作用或内部装填物来确定, 通常可归纳为以下几种类型:



应该指出, 当战斗部对目标的破坏作用是多种作用的综合效应时, 这就不能再按主要作用来命名战斗部, 而是应按其综合效应的主次来命名。例如直接命中飞机的小型地对空导弹战斗部, 爆炸后具有杀伤、爆破、聚能三种效应, 对于这种战斗部, 应命名为杀伤、

爆破、聚能战斗部。

(二) 战斗部的组成

战斗部的类型很多，但其组成部分基本上是相同的。从广义定义来说，战斗部系统是由战斗部、引信和保险装置组成；而狭义的定义则认为，战斗部是由壳体、装填物和传爆系列等组成。图 1-1-3-1 是较典型的空对空导弹杀伤战斗部组成的实例。

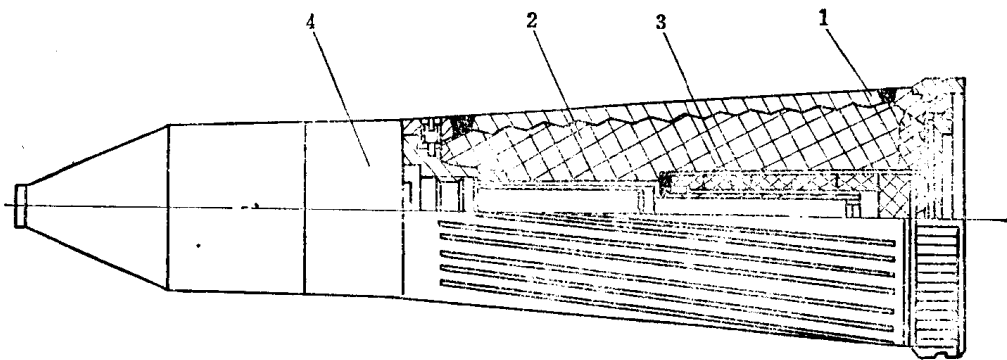


图1-1-3-1 战斗部组成

1—壳体；2—装填物；3—传爆系列；4—引信装置。

1. 壳体：是战斗部的基体。其作用（1）起支撑体和连接体作用；（2）大多数壳体是全弹弹体的组成部分；（3）杀伤战斗部（破片式）的壳体还具有形成杀伤元素的作用，它在炸药装药爆炸后破裂形成具有一定重量的高速破片。

对壳体的要求是：应满足各种过载（包括发射时、飞行过程中、重返大气层时和碰撞目标时）时的强度、刚度要求；若战斗部位于弹的头部，则应具有良好的气动外形；另外，结构工艺性要好；材料来源要广。

2. 装填物：是战斗部摧毁目标作用的能源。其作用是将本身储藏的化学能量（或核能）通过化学反应（或核反应）释放出来，形成破坏各种不同目标所要求的杀伤因素。例如常规装药战斗部在引爆后通过化学反应释放出能量，与战斗部其他构件配合形成金属射流、破片、冲击波等杀伤因素。核装药战斗部在引爆后通过核反应形成冲击波、光辐射、贯穿辐射等杀伤因素。

对装填物（主要指炸药）的要求是：对目标有尽可能大的破坏作用；在爆轰时应具有起爆完全性；在日常勤务处理时安全性好；有良好的化学、物理安定性，便于长期贮存；装药工艺性好，原材料要立足于国内等。

3. 传爆系列：其作用是把引信所接收到目标的起始讯号（或能量）转变为爆轰波（或火焰），并逐级放大而起爆战斗部的装药；它通常是由雷管（或火帽）、主传爆药柱、辅助传爆药柱、扩爆药柱等组成。

在火箭弹战斗部中，传爆系列比较简单，此时雷管，传爆药柱皆可装于引信中。在导弹战斗部中，传爆系列比较复杂，有时为提高可靠性采用并联雷管结构，传爆系列通常作为一个单独组件。

对传爆系列的要求是：作用可靠，平时安全，结构简单，便于贮存。

§ 1-1-4 战斗部攻击的主要目标和目标分类⁽⁸⁾

对立统一规律是自然界的普遍规律。武器与目标是一对矛盾，在互相斗争中两者都得到了发展。从发展上的因果关系来看，战斗部发展变化主要取决于目标的发展变化。同时，战斗部的发展变化反过来又促使目标的发展演变。从事战斗部设计人员应对目标的特性作认真分析，并随时掌握目标的发展动态。

(一) 目标特征的分析

火箭战斗部攻击目标，按其位置可分为空中目标、地面目标和水中的目标，它们的特征是不同的。

1. 空中目标：

广义的空中目标，包括各种类型的飞机、飞航式导弹、洲际导弹、高空间谍卫星等。由于洲际导弹、高空间谍卫星主要是在大气层外飞行，对付这类空中目标有些特殊的要求，需采用一些专门技术。狭义的空中目标是指各类飞机和飞航式导弹，也是地对空导弹攻击的主要目标。国外将空中目标按飞行高度划分成高空目标（15000米以上）、中空目标（6000～15000米）和低空目标（6000米以下）。有的还分成超低空目标与超高空目标。

空中目标（指狭义的）特点是：目标尺寸较小；运动速度大；机动性好；具有一定的坚固性。此外，具有致命杀伤的要害部位，例如飞机的驾驶舱、仪表、发动机、贮油箱等；又如飞航式导弹的战斗部舱、仪表舱等。表 1-1-4-1 列举出几个类型的飞机和飞航式导弹的有关数据。

表1-1-4-1 空中目标的战术技术数据

类 别	型 号	国 别	几 何 尺 寸 (米)			飞 行 性 能			备 注
			翼 展	机 长	机 高	最大速度 (公里/小时)	高度(米)	航程(公里)	
重 型 轰炸机	B-52H	美	58.36	48.07	12.39	1000	15200	16000	
	杜-20	苏	50.4	45.4	11.6	926	12000 ~14600	12000	
轻 型 轰炸机	B-57B	美	19.51	19.96	4.88	1080	13700	3700~4800	
	雅克-28	苏	11.7	16.8	4.5	$M = 1.1$	15700	1850	
歼 击 机	米格-21	苏	7.5	15.75	4.1	$M = 2$	19000	1400 ~3600	服 役
	米格-23	苏	13.4	24.4	6.1	$M = 2.8 \sim 3$	27000	3000	服 役
战 斗 机	F-104C	美	6.7	16.7	4.1	2440	18000	1760	服 役
飞 航 式 (巡 航) 导 弹	冥 河	苏	2.4~2.7	4.57	/	$M = 0.8$	/	37	
	沙道克	苏	/	12.81	/	$M = 0.95$	/	370	
	斗牛士	美	9.1	12.1	/	310	14000	1240	
	马 斯	美	7.0	13.5	/	270	12000	1120	
	大猎犬	美	/	12	/	560	/	800	
	海 燕	美	4.3	6.8	/	180	/	32	

为了攻击空中目标，导弹武器系统应满足以下要求：首先防空雷达网要迅速发现目标；其次拦击目标的时间尽可能短，在敌机投弹前（飞航式导弹应在飞行弹道上）把它击毁。因此，导弹的射程必须大于敌机所用武器的射程；导弹上升的高度必须大于敌机可能飞行的高度；导弹的速度和机动性必须大于目标的速度和机动性；导弹命中准确度应与其战斗部的威力半径相匹配，以保证所要求的摧毁概率值。

对付空中目标的战斗部最先采用的是破片杀伤效应，它至今被广泛采用。从五十年代以来，随着科学技术的发展和导弹制导技术的日益完善，有些战斗部分别采用了冲击波效应，连续杆杀伤效应和聚能效应等作用类型。

2. 地面目标

地面目标类型较多，按照防御能力分为硬目标与软目标；按照集结程度分为集结目标与分散目标。属于硬目标的有地下发射井、钢筋混凝土掩体、装甲车辆等。属于软目标的有军用仓库、铁路枢纽、卡车等。

地面目标的特点：大多数目标是固定的建筑物，面积较大；结构型式多；坚固程度不一；个别的点目标如坦克之类，其活动范围也是在有限的二维平面域内。所以，可认为地面目标大部分是在后方或阵地后方，距离发射阵地远，只有点目标在前沿阵地不远的地方。

为了对各种地面目标的性质、大小和范围有个概念，下面列举一些统计的数据。

导弹发射场有发射导弹的特殊装置和设备，如发射架、高架桥、控制台等。其平均尺寸列于表 1-1-4-2。

表1-1-4-2 发射场和发射设备的平均尺寸

目 标 名 称	尺 寸(米)
防空导弹发射场	150×200
战术地对地导弹发射场	200×200
发射火箭的装置	30×100

飞机场有野战机场和永久机场两种。野战机场的特点是，没有人工筑造的跑道和机场建筑，如机库、工场、司令部建筑等，仅有金属板构成的跑道与良好的伪装，其总面积为 $1300 \times 1300 \text{米}^2$ 。这种机场的要害部位是停机坪、燃料库和弹药库；永久机场的特点是有人工筑造的跑道和永久性的机场建筑，一般没有伪装。另外，还有地下建筑如仓库和机库，其面积约为 $3000 \times 3000 \text{米}^2$ 。它的要害部位是停机坪和混凝土跑道。

桥梁是交通的要害地点，修复桥梁需要很多人力和器材，破坏它能使运输中断。大多数铁路桥是金属结构，而公路桥则是钢筋混凝土结构，它们的规格尺寸见表 1-1-4-3。

表1-1-4-3 桥梁的规格尺寸

桥 梁 种 类	单 线 铁 路 桥		双 线 铁 路 桥		公 路 桥	
	长(米)	宽(米)	长(米)	宽(米)	长(米)	宽(米)
大 型	500~1000	6	500~1000	10	500~800	8
中 型	100~400	6	100~400	10	100~400	8
小 型	50~100	6	50~100	10	50	8

对战场上的地面目标来说，敌军集结点的典型布置范围是：坦克营（72辆坦克）的地区取 1×0.5 平方公里，步兵营的防御地区取为 1.5×1 平方公里，步兵团的防御地区取为 2.25×1.75 平方公里；单个目标的坦克和自行火炮在平面视图上面积不超过 25米^2 。野战工事是：临时火力点是由圆木和土筑成，埋桩框架厚约 $0.75 \sim 1.0$ 米，其上有厚 $1.0 \sim 2.6$ 米的多层掩盖。永久火力点大多是半地下式的钢筋混凝土建筑，壁厚 $1.0 \sim 1.5$ 米，掩盖厚 $1.5 \sim 2.5$ 米，面积约为 $100 \sim 200 \text{米}^2$ 。

对付地面硬目标的战斗部必须直接命中而且要求有一定的侵彻能力，通常采用聚能（破甲）战斗部、半穿甲战斗部。对付地面软目标的战斗部，一般采用多弹头分导战斗部、集束式战斗部和杀伤爆破战斗部。

3. 水上目标

属于此类目标的有各种水面舰艇，包括战列舰、航空母舰、轻型舰（轻巡洋舰、驱逐舰和护卫舰）。其中轻型舰已成为主力舰艇。

近代军舰的长度一般为 $270 \sim 360$ 米，宽度为 $28 \sim 34$ 米。军舰的生命力很强，一旦其机房和舱室遭到大的毁伤时，它仍能保持不沉，这是因为它有很多不透水的船舱，而且具有向未毁船舱强迫给水系统，以保持军舰平衡防止舰舷倾覆。军舰上还装有防护装甲，如巡洋舰和航空母舰就具有两层或三层防弹装甲（第一层厚为 $70 \sim 75$ 毫米，第二层厚为 $50 \sim 60$ 毫米，两层间隔为 $2 \sim 3$ 米）。战列舰的多层装甲总厚可达 $150 \sim 300$ 毫米。一般舰前端和舰尾炮塔以及驾驶舱的舱面局部装甲厚可达 $50 \sim 200$ 毫米。一般舰上均装备有导弹、火炮和鱼雷等武器。所以军舰目标具有面积小、装甲防护强、生命力强和火力装备强等特点。

对付军舰的导弹战斗部目前最常用的是：半穿甲战斗部、爆破战斗部和聚能破甲战斗部三种型式。

（二）目标的分类

为了合理选择战斗部类型，通常按照目标的易损特性和其在战争中所起的作用，可将种类复杂的目标分成八类：

1. 高中空目标：位于 6000 米以上的空中飞行器，包括涡轮喷气飞机、涡轮螺旋桨飞机、往复式发动机飞机、涡轮发动机导弹、冲压式发动机导弹、火箭发动机导弹等。

2. 低空目标：位于 6000 米以下的空中飞行器，包括上述高中空目标外，还有直升飞机，以及比飞机更轻的飞行器等。

3. 集结的硬目标：包括混凝土的球壳仓库、小型掩体、装甲车辆群、隧道（地道）、混凝土水坝、战斗舰、驱逐舰、大口径火炮掩体、混凝土桥等。

4. 集结的软目标：包括卡车群、机车群、运输船、油船、登陆艇、单个的地面飞机和工业建筑、木桥等。

5. 分散的硬目标：包括潜水艇、钢厂、地下工厂、海军造船厂等。

6. 分散的软目标：大工业综合企业、铁路枢纽、炼油厂、弹药库、供应站、公路等。

7. 地面上未加保护的人员：在战场或在营房内的陆军士兵。

8. 地面上有局部掩体保护的人员：在战壕内的陆军士兵。

（三）毁伤目标程度的分类

用战斗部攻击敌方目标的目的，是要使它们遭到预定的毁伤。毁伤目标一词的概念，

包括使目标完全破坏或摧毁；也包括使目标受到伤害，而且目标的生命力或活动能力在一定程度内还保持着。

战斗部对目标的攻击结果，可以达到下列几种类型的毁伤程度：

1. 摧毁目标：指目标受到了已经失去作战能力的毁伤。所谓完成摧毁目标的任务，要作具体分析，例如，消灭战场上60~70%的有生力量和技术兵器，破坏敌方(60~70)%建筑物或工事，就可说达到了摧毁目标。

2. 压制目标：指暂时终止了敌方作战能力的毁伤。属于这类毁伤程度的，对建筑工事一般要破坏20~30%；对技术兵器一般要摧毁20~30%；对有生力量要消灭10~20%。这样就达到了短时间内无法使用和暂时终止了它的作战能力。

3. 瓦解目标（扰乱目标）：目的是使敌方的目标遭到这样的毁伤，即使它的生产能力、运转能力大大降低，或者生产的某一部门的正常活动能力被破坏，交通道的正常活动能力被破坏等。如破坏铁路车站以瓦解在铁道上的运输；破坏个别目标以瓦解整个生产部门；破坏联络线和联络枢纽以瓦解整个部队的调遣等。瓦解也可以通过将个别的目标破坏，使整个部门的活动能力解体来达到。

4. 疲劳目标：在战场上用火箭弹、炸弹或炮弹等对敌方有生力量进行疲劳性的攻击。例如在夜间进行射击，其目的是使敌人的有生力量经常不安，不得休息，中断其正常工作。为此，不仅要具有每次攻击的效能，而且要保持攻击活动的长期性。

§ 1-1-5 常规战斗部的能源——炸药

炸药是常规战斗部的能源。在选用炸药时，要根据战斗部对目标的效应（指聚能破甲、杀伤、爆破等作用）的要求，对照现有炸药的物理性能、化学性能、热性能、力学性能、爆炸特性、感度与起爆、光电性能以及毒性等，正确选择和使用。一般认为，对于聚能战斗部装药应选高爆压性能的炸药；杀伤爆破效应的战斗部装药应选高威力的含铝炸药；有些利用炸药波形控制的杀伤战斗部，还应具有高强度的特性要求。总之，选择炸药要考虑爆炸性能、使用安全、作用可靠，以及长期贮存等。

（一）常用炸药的种类

战斗部所选用的炸药一般为单质炸药和混合炸药，特别是混合炸药用得最多。另外，燃料空气炸药近年来也得到了进一步发展和较广泛的应用。

下面介绍一些常用炸药的主要性能^[6~9]。有些炸药性能将在后续章节结合战斗部设计内容进行介绍。

1. 单质炸药

（1）梯恩梯（TNT）

外观为淡黄色，假密度为0.7~0.8克/厘米³，压药密度可达1.63~1.64克/厘米³，注药密度可达1.5~1.6克/厘米³。凝固点不低于80.9℃。吸湿性小，不溶于水但可溶于丙酮、酒精。爆热为5千卡/公斤，爆温为2820℃。爆炸气体产物体积约为690升/公斤。冲感为8%，摩感为4~6%。爆速随密度而变，同一密度时，爆速还与装药方式有关。爆速（米/秒）与密度（克/厘米³）的关系是

$$D_e = 1873 + 3187\rho_e \quad (0.9 < \rho_e < 1.534) \quad (1-1-5-1)$$

$$D_c = 6762 + 3187(\rho_c - 1.534) - 25.1(\rho_c - 1.534)^2 \quad (1.534 < \rho_c < 1.636) \quad (1-1-5-2)$$

梯恩梯能抗酸但不能抗碱，并与一般金属及其氧化物不起作用，所以梯恩梯具有贮存安全，使用安全的优点，而且可用注装、压装、螺装、塑态装方式装入战斗部。

(2) 黑索金 (RDX)

这种炸药外观为白色结晶粉末，假密度为 $0.8 \sim 0.9$ 克/厘米³，钝化黑索金的压药密度可高达 1.73 克/厘米³。不溶于水，易溶于丙酮。爆热为 1390 千卡/公斤，爆温为 3380°C ，爆炸产物体积约为 910 升/公斤。冲感为 $80 \pm 8\%$ ，摩感为 $76 \pm 8\%$ 。爆速(米/秒)与密度(克/厘米³)关系为

$$D_c = 2660 + 3400\rho_c \quad (1-1-5-3)$$

黑索金与各种金属不起作用。纯黑索金的化学安定性好。由于它的机械感度高，所以需经钝化才能压装战斗部，或者与其他炸药进行混合后用注装法装填战斗部。

(3) 奥克托今 (HMX)

这种炸药外观为白色晶体。实用的奥克托今为 β 型晶型，它不吸湿，不溶于水，而溶于丙酮。化学反应性几乎与黑索金一样，但化学安定性比黑索金好，与梯恩梯同级(150°C 时)。爆热为 1396 千卡/公斤。冲感与摩感与黑索金相当，但起爆感度比其高，而热感度比黑索金低。当密度 $\rho_c = 1.89$ 克/厘米³ 时，爆速 $D_c = 9110$ 米/秒； $\rho_c = 1.90$ 克/厘米³ 时， $D_c = 9150$ 米/秒(推算值)。

由于奥克托今具有爆速高、密度大和良好的高温热安定性，所以常与黑索金或梯恩梯进行混合，用来装填战斗部。

(4) 泰安 (PETN)

这种炸药主要用于压制传爆药柱。外观为白色晶体。假密度为 $1.2 \sim 1.3$ 克/厘米³，压药密度可达 1.74 克/厘米³。它几乎不溶于水，但溶于丙酮。它不吸湿，遇湿后不影响其爆炸性能。爆热为 1530 千卡/公斤，爆温为 4230°C ，爆炸气体产物的体积为 768 升/公斤。冲感为 66% ，摩感为 92% 。由于机械感度高，所以压制时一定要钝化，以保证生产和使用安全。爆速(米/秒)和密度(克/厘米³)关系为

$$D_c = 1608 + 3993\rho_c \quad (0.57 < \rho_c < 1.585) \quad (1-1-5-4)$$

(5) 特屈儿 (CE)

这种炸药主要用于传爆药柱、导爆索及雷管。外观为淡黄色。假密度为 $0.9 \sim 1.0$ 克/厘米³。熔点为 127.9°C 以上，熔化时能分解。不吸湿，不溶于水，易溶于丙酮、醋酸乙酯；溶于苯、二氯乙烷。爆热为 1095 千卡/公斤。冲感为 48% ，摩感为 16% 。爆速(米/秒)和密度(克/厘米³)关系为

$$D_c = 2742 + 2935\rho_c \quad (1.3 \leq \rho_c \leq 1.69) \quad (1-1-5-5)$$

此药对皮肤有着色发炎作用，粉尘有毒性。使用时，空气中最大允许浓度为 1.5 毫克/米³。

2. 常用的混合炸药

(1) 钝感黑索金 (A-K-1)

这种炸药的组分与配比为黑索金:钝感剂 = $95:5$ (组分为苏丹红:硬酯酸:地蜡 = $1.2\%:38.8\%:60\%$)。颜色为橙红色。它的可压密度为 $1.64 \sim 1.67$ 克/厘米³，对应的爆速 $D_c = 8271 \sim 8498$ 米/秒。冲感为 $10 \sim 32\%$ ，摩感为 28% 。缺点是，高温贮存性能不好，成型性

能差,抗压强度低(60~70公斤/厘米²)。因此,只能以压装法用于传爆药柱和聚能破甲战斗部。

(2) 以黑索金为主体的塑料粘结炸药

这种炸药的组分为黑索金、钝感剂和粘结剂,有的加增塑剂。钝感剂可用硬酯酸、硬脂酸锌、蜂蜡、石蜡和地蜡等;粘结剂可选用聚醋酸乙烯酯、丁腈橡胶等;增塑剂可用二硝基甲苯、梯恩梯等。这类炸药的可压性好,压制密度高,药柱强度高,爆炸性能较好。其主要爆炸性能见表1-1-5-1。

表1-1-5-1 黑索金为主体的高分子粘结炸药

名称 (或代号)	组成 (重量%)				密度 ρ_e (克/厘米 ³)	爆速 D_e (米/秒)	冲击感度 %	摩擦感度 %
	主体炸药	粘 结 剂	增 塑 剂	钝 感 剂				
PBX-9010	黑索金 (90)	聚三氟氯乙烯 (10)			1.78	8370	30 (12型工具)	
	黑索金 (97)	聚醋酸乙烯酯 (1)	梯恩梯 (0.7) 二硝基甲苯 (0.3)	蜂 蜡 (0.3) 石 蜡 (0.7)	1.708	8353	34	22
	黑索金 (96.5)	聚醋酸乙烯酯 (0.5) 丁腈橡胶 (1.0)	梯恩梯 (1.5)	硬酯酸锌 (0.5)	1.706	8356	52	58
	黑索金 (95)	聚醋酸乙烯酯 (1.2) 聚甲基丙烯酸十二脂 (0.3)	季 那 (3)	石 蜡 (0.2) 硬脂酸锌 (0.3)	1.705	8405	40	36

(3) 以奥克托今为主体的高分子粘结炸药

这种炸药随组分分配比不同有许多种(表1-1-5-2)。由于奥克托今具有优越的爆炸性能以及它在高温下的热安定性。所以美国从六十年代起,在许多混合炸药中就以奥克托今代替黑索金。这种炸药常以压装或注装方式用于杀伤、聚能战斗部。

表1-1-5-2 奥克托今为主体的塑料粘结炸药

炸药名称	组分(重量百分数)	密度 ρ_e (克/厘米 ³)	爆速 D_e (米/秒)	爆 热 (千卡/公斤)	冲击感度% (H50, 12 型工具)●
PBX-9404 (PBX-9404-3)	奥克托今(94) 硝化纤维素(3) 磷酸三 β -氯乙基酯(3)	1.831~1.844	8800 ($\rho_e = 1.84$)	1380	34
PBX-9501	奥克托今(95) 聚氨基甲酸酯溶液系统(2.5) 双(2, 2-二硝基丙醇)缩乙醛(1.25) 双(2, 2-二硝基丙醇)缩甲醛(1.25)	1.843	8830($\rho_e = 1.84$)	/	44
LX-04-1	奥克托今(85) 维通(Viton)(15)	1.860~1.870	8460($\rho_e = 1.86$)	1310	41
LX-11-0	奥克托今(80) 维通A(Viton A)(20)	1.872~1.876	8320($\rho_e = 1.833$)	1230	59

● 冲击感度(%)是指:落锤5公斤,落高50厘米,药量为0.035克,砧表面为砂纸时,爆炸的概率为50%的特性。