

# 战斗部结构设计及 靶场试验

杜宁 熊玮 刘闯 郝志坚 郭秋萍 卢建东 编著



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等院校“新工科”建设特色系列教材

# 战斗部结构设计及 靶场试验

杜宁 熊玮 刘闯 郝志坚 郭秋萍 卢建东◎编著



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书在继承传统战斗部结构与原理和试验手段的基础上,结合国军标,较全面地概述常规战斗部的结构设计及靶场试验,包括具体的设计原理、设计方法、设计手段和试验后数据处理,阐述了相关设计原理及方法的理论依据,补充一些新的战斗部结构设计手段与试验方法。本书共分9章,重点阐述破片战斗部、爆破战斗部、聚能装药设计、穿甲侵彻战斗部、子母战斗部等典型战斗部的结构设计和试验方案,并给出了部分战斗部的发展趋势;简单介绍了其他类型武器战斗部发展趋势、战斗部装药方法、战斗部试验方案。

本书具有通用性和广泛的适用范围,主要作为高等院校有关专业本科生、研究生的教材,也可为其他专业对弹药试验感兴趣的学生及不同工作岗位的科技技术人员提供参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

战斗部结构设计及靶场试验 / 杜宁等编著. --北京:  
北京理工大学出版社, 2022. 8 (2022. 12 重印)

ISBN 978-7-5763-1647-6

I. ①战… II. ①杜… III. ①战斗部-结构设计 ②靶  
场试验 IV. ①TJ410.3 ②TJ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 159748 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)  
(010) 82562903 (教材售后服务热线)  
(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 13.75

字 数 / 319 千字

版 次 / 2022 年 8 月第 1 版 2022 年 12 月第 2 次印刷

定 价 / 40.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

编写本书的目的在于研究战斗部的设计原理，并介绍适合各类战斗部的方法。战斗部是各类弹药毁伤目标的最终单元，是直接用于摧毁、杀伤目标，完成战斗使命的部件。由于新原理、新技术、新材料、新工艺在战斗部设计中的应用，战斗部结构不断改进，常规战斗部正朝着智能化、灵巧化、多模式、多功能的方向发展。由于军事目标的多样性，因而战斗部种类也具有多样性。一个善于设计满足战术要求的战斗部结构，灵活应用战斗部设计方法，能敏锐地观察试验现象，深刻地分析试验结果，并能准确地处理试验数据的科技人员，无疑会取得较高的工作效率，获得较大的科技成果。本书较全面地概述常规战斗部的结构和作用原理，包括具体的结构设计、试验方案、测试手段和数据处理，阐述了相关战斗部结构设计的设计流程，补充一些新的战斗部结构设计手段与试验方法，帮助兵器类专业学生更清楚、规范地了解各种战斗部结构特点、组成、分类和发展趋势等，对从事弹药工程研究的科技人员进行产品的研制提供参考。

本书共9章。第1章为绪论，简要介绍战斗部的作用及其战术技术要求、战斗部设计依据与设计准则、战斗部设计内容与方法、战斗部研制程序，最后介绍战斗部的发展趋势。第2章破片战斗部，介绍了破片战斗部主要性能参数优化设计、破片战斗部设计流程、弹道枪试验等内容。第3章爆破战斗部，战斗部爆炸形成破片和空气冲击波超压杀伤已成为战场主要威胁，本章介绍了活性材料爆破战斗部结构设计等内容。第4章聚能装药战斗部，介绍了聚能现象及其应用、聚能射流形成过程、聚能装药结构设计等内容。第5章穿甲侵彻战斗部，介绍了侵彻与贯穿现象的一般特性、半穿甲战斗部技术设计程序、钢筋混凝土靶试验建立及破孔尺寸检测等内容。第6章子母弹战斗部，主要讨论子母弹子弹筒组合体下落高度、出筒速度、扫描转速、子弹各阶段的初始速度、稳态扫描状态的扫描角等参数的变化引起的散布等内容。第7章其他类型武器战斗部，主要介绍了云爆战斗部、碳纤维弹、激光武器和微波武器等几种新型战斗部的基本概况、作用原理和发展现状等内容。第8章战斗部装药，介绍了常规战斗部常用的炸药性能和装药成型技术等问题。第9章战斗部试验，介绍了战斗部试验用技术条件与技术标准、靶场试验安全性、战斗部威力试验常用的设备等内容。

本书由杜宁副教授完成第1~3、8章的编写工作；熊玮讲师完成第9章的编写工作；刘闯博士后完成第5章的编写工作；郝志坚副教授、郭秋萍高级工程师、卢建东高级工程

师共同完成第4、6、7章及附录的编写工作。全书由杜宁副教授统稿。

本书在《飞航导弹战斗部与引信》《战斗部结构与原理》基础上,较全面地概述常规战斗部的结构和作用原理,包括具体的结构设计、试验方案、测试手段和数据处理,阐述了相关战斗部结构设计的设计流程,补充了一些新的战斗部结构设计手段与试验方法,使得本书具有时代特色和先进性。本书主要面向兵器类专业且对弹药相关知识有一定了解的本科生,帮助学生们更清楚、规范地了解各种战斗部结构、组成、分类和发展趋势等。同时,本书编排合理、内容通俗易懂,自学者可根据个人需要选学,也可为其他专业对战斗部结构设计有兴趣的学生及不同工作岗位的科技技术人员提供参考。

本书在章节体系和内容组织方面得到了张先锋教授、焦志刚教授的指点和帮助,特此致谢。本书在定稿过程中进行了多次修改和完善,在这期间,课题组研究生樊金欣、张雨萌等,本科生张泽林、王定一、犹智辉等,为书稿的打印、插图绘制和修改付出了辛勤的劳动,也提出了很多有益的修改建议,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,本书不足之处难免,恳请读者指正。E-mail:duning@sylu.edu.cn。

第 1 章 绪论	(1)
1.1 战斗部的作用及其战术技术要求	(1)
1.1.1 战斗部的作用和地位	(1)
1.1.2 战斗部的组成	(2)
1.1.3 战斗部分类	(4)
1.1.4 战斗部的战术技术要求	(4)
1.2 战斗部设计依据与设计准则	(4)
1.2.1 战斗部设计依据	(4)
1.2.2 战斗部设计准则	(5)
1.2.3 战斗部设计程序	(5)
1.2.4 战斗部试验用技术条件与技术标准	(6)
1.3 战斗部设计内容与方法	(6)
1.3.1 典型目标“要害”特性分析	(7)
1.3.2 选择战斗部类型	(7)
1.3.3 编制方案论证报告	(8)
1.3.4 进行关键技术攻关和必要的设计验证试验	(8)
1.3.5 拟定战斗部设计任务书	(8)
1.3.6 战斗部设计的常用方法	(8)
1.4 战斗部威力设计试验项目	(9)
1.5 战斗部研制程序	(9)
1.6 战斗部的发展趋势	(10)
1.6.1 高效毁伤战斗部	(11)
1.6.2 智能化复合化战斗部	(13)
1.7 活性材料壳体爆炸驱动下能量释放特性试验	(14)
1.7.1 Al/PTFE、Al/Ni 典型活性材料制备及力学性能测试	(14)
1.7.2 Al/PTFE、Al/Ni 典型活性材料壳体爆炸驱动试验	(20)

1.7.3	爆炸作用过程温度场分布特点	(25)
1.7.4	活性材料壳体爆炸驱动下空气冲击波强化效应分析	(28)
1.7.5	结论	(29)
	参考文献	(30)
<b>第2章</b>	<b>破片战斗部</b>	<b>(31)</b>
2.1	破片战斗部主要性能参数优化设计	(31)
2.1.1	破片战斗部的设计	(32)
2.1.2	连续杆战斗部的设计	(36)
2.1.3	破片聚焦战斗部的设计	(37)
2.2	破片战斗部设计流程	(38)
2.3	弹道枪试验	(38)
2.3.1	不同硬度钢质破片侵彻 Q235A 钢板试验研究	(38)
2.3.2	侵彻试验方案	(39)
2.3.3	不同硬度 D60 钢破片的侵彻性能分析	(40)
2.3.4	破片剩余速度	(42)
2.3.5	不同硬度破片对钢板极限穿透速度量纲为 1 的模型	(43)
2.3.6	弹道枪试验结论	(44)
2.4	不同硬度刻槽壳体爆炸驱动形成破片特性试验	(44)
2.4.1	战斗部结构	(45)
2.4.2	试验方案	(46)
2.4.3	不同硬度刻槽壳体形成破片侵彻钢板性能	(47)
2.4.4	沙箱回收破片	(47)
2.4.5	不同硬度刻槽壳体形成破片过程仿真及试验分析	(49)
2.4.6	不同硬度刻槽壳体形成破片质量变化规律	(51)
2.4.7	刻槽壳体形成破片速度变化规律	(52)
2.4.8	静爆试验结论	(53)
2.5	活性破片	(54)
2.5.1	活性材料冲击压缩响应特性理论分析	(54)
2.5.2	活性材料冲击反应速率模型	(57)
	思考题	(58)
	参考文献	(58)
<b>第3章</b>	<b>爆破战斗部</b>	<b>(60)</b>
3.1	爆破战斗部结构	(60)
3.1.1	爆破战斗部结构类型	(60)
3.1.2	爆破战斗部装药	(62)
3.1.3	空气冲击波的几个重要参数	(62)
3.1.4	空气冲击波初始参数	(64)
3.2	活性材料爆破战斗部结构设计	(65)

3.3	活性材料壳体制备	(65)
3.3.1	试验原料	(65)
3.3.2	合金制备	(66)
3.3.3	材料性能参数	(66)
3.4	试验方案的设计	(67)
3.5	试验测试方案	(67)
3.6	试验结果分析与讨论	(68)
3.6.1	爆炸作用过程高速摄影观测结果	(68)
3.6.2	活性材料壳体装药爆炸加载释能特性	(71)
3.6.3	爆炸作用过程温度场分布特点	(72)
3.6.4	空气中空气冲击波传播特性分析	(73)
3.7	回收破片断口特征	(80)
3.8	结论	(83)
3.9	不同结构活性材料壳体	(84)
	思考题	(84)
	参考文献	(84)
<b>第4章</b>	<b>聚能装药战斗部</b>	<b>(86)</b>
4.1	聚能现象及其应用	(86)
4.1.1	聚能现象	(86)
4.1.2	聚能装药应用	(87)
4.2	聚能射流形成过程	(89)
4.3	聚能装药结构设计	(91)
4.3.1	炸药装药	(91)
4.3.2	药型罩设计	(93)
4.3.3	炸高确定	(96)
4.3.4	战斗部对引信的要求	(98)
4.3.5	隔板	(99)
4.3.6	旋转运动	(99)
4.3.7	壳体	(101)
4.3.8	靶板	(101)
4.4	计算破甲深度的经验公式	(101)
4.4.1	经验公式之一	(101)
4.4.2	经验公式之二	(102)
4.4.3	其他经验公式	(103)
4.5	定常不可压缩理想流体理论	(103)
4.6	双模聚能战斗部成型装药的结构优化	(103)
4.6.1	引言	(103)
4.6.2	喇叭形药型罩装药的射流形成理论	(104)

4.6.3	战斗部聚能装药结构 .....	(106)
4.6.4	结论 .....	(108)
4.7	活性材料药型罩 .....	(109)
	思考题 .....	(110)
	参考文献 .....	(110)
<b>第5章</b>	<b>穿甲侵彻战斗部</b> .....	<b>(111)</b>
5.1	侵彻与贯穿现象的一般特性 .....	(111)
5.1.1	靶板的侵彻 .....	(112)
5.1.2	靶板的贯穿 .....	(112)
5.1.3	钢筋混凝土破坏特征 .....	(114)
5.2	侵彻混凝土研究方法 .....	(115)
5.2.1	试验研究法 .....	(115)
5.2.2	理论分析法 .....	(116)
5.2.3	数值模拟法 .....	(116)
5.3	半穿甲战斗部技术设计程序 .....	(117)
5.4	半穿甲战斗部技术设计 .....	(117)
5.4.1	头部形状的选择 .....	(118)
5.4.2	壳体材料和厚度的确定 .....	(119)
5.4.3	确定半穿甲战斗部壁厚的计算方法 .....	(119)
5.4.4	选择炸药和确定装药量 .....	(125)
5.4.5	半穿甲战斗部的装药在撞击条件下的安全性 .....	(126)
5.5	钢筋混凝土靶试验建立及破孔尺寸检测 .....	(127)
5.5.1	钢筋混凝土靶试验建立 .....	(127)
5.5.2	不规则毁伤的靶板检测 .....	(127)
5.6	卵形弹对素混凝土侵彻深度的经验公式 .....	(129)
5.7	钻地弹原理与结构 .....	(130)
5.7.1	钻地弹结构 .....	(130)
5.7.2	钻地弹的关键技术 .....	(131)
5.7.3	钻地弹的发展趋势 .....	(133)
5.8	脱壳穿甲弹 .....	(133)
5.9	活性材料侵彻弹 .....	(134)
	思考题 .....	(135)
	参考文献 .....	(135)
<b>第6章</b>	<b>子母弹战斗部</b> .....	<b>(136)</b>
6.1	子母弹战斗部作用原理 .....	(136)
6.1.1	子母弹典型结构 .....	(138)
6.1.2	子母弹的作用过程 .....	(139)
6.2	子母弹战斗部的设计步骤 .....	(140)

6.3	子母弹子弹散布 .....	(140)
6.3.1	假设条件 .....	(141)
6.3.2	影响落点散布的因素 .....	(141)
6.3.3	随机数的生成方法 .....	(143)
6.3.4	均匀分布随机数的生成 .....	(143)
6.3.5	正态分布随机数的生成 .....	(143)
6.3.6	概率偏差的计算方法 .....	(144)
6.3.7	落点散布分析 .....	(144)
6.4	子战斗部设计 .....	(146)
6.4.1	子战斗部的类型 .....	(146)
6.4.2	子战斗部的数量 .....	(147)
6.4.3	子战斗部结构设计 .....	(147)
6.5	引爆要求 .....	(148)
6.6	设计资料归纳 .....	(148)
	思考题.....	(149)
	参考文献.....	(149)
<b>第7章</b>	<b>其他类型武器战斗部.....</b>	<b>(150)</b>
7.1	云爆战斗部 .....	(150)
7.1.1	云爆战斗部作用原理 .....	(150)
7.1.2	云爆战斗部典型结构 .....	(152)
7.1.3	云爆战斗部的破坏效应 .....	(153)
7.1.4	主体战斗部结构设计 .....	(154)
7.1.5	爆炸威力试验大纲 .....	(155)
7.2	温压战斗部 .....	(155)
7.3	碳纤维弹 .....	(156)
7.3.1	碳纤维弹作用原理 .....	(156)
7.3.2	碳纤维弹的应用 .....	(156)
7.4	激光武器 .....	(156)
7.4.1	激光武器概述 .....	(156)
7.4.2	激光武器毁伤原理 .....	(157)
7.5	微波武器 .....	(157)
7.5.1	微波武器原理与作用 .....	(157)
7.5.2	微波武器的应用 .....	(158)
	思考题.....	(159)
	参考文献.....	(159)
<b>第8章</b>	<b>战斗部装药.....</b>	<b>(161)</b>
8.1	战斗部常用炸药的性能 .....	(162)
8.1.1	炸药的性能术语 .....	(162)

8.1.2	战斗部常用炸药的性能 .....	(163)
8.2	战斗部常用炸药的装药方法 .....	(165)
8.2.1	上、下冲、模体尺寸确定 .....	(165)
8.2.2	上、下冲的高度尺寸和整体结构尺寸确定 .....	(166)
8.2.3	模体尺寸的确定 .....	(167)
8.2.4	模体与上、下冲配合间隙的确定 .....	(167)
8.2.5	模体型腔的设计 .....	(167)
8.2.6	双向压药模具垫块的确定 .....	(167)
8.3	战斗部装药和装药方法选择的基本原则 .....	(168)
8.3.1	选择战斗部装药的基本原则 .....	(168)
8.3.2	战斗部装药方法选择的基本原则 .....	(169)
8.4	战斗部安全性评估试验 .....	(169)
8.4.1	跌落试验 .....	(169)
8.4.2	慢速烤燃试验 .....	(170)
8.4.3	快速烤燃试验 .....	(170)
8.4.4	枪击试验 .....	(170)
8.4.5	殉爆试验 .....	(171)
8.4.6	破片撞击试验 .....	(171)
8.4.7	射流试验 .....	(171)
	思考题 .....	(172)
	参考文献 .....	(172)
<b>第9章</b>	<b>战斗部试验</b> .....	<b>(173)</b>
9.1	战斗部试验用技术条件与技术标准 .....	(173)
9.2	靶场试验安全性 .....	(173)
9.3	战斗部威力试验常用的设备 .....	(174)
9.3.1	加速发射装置 .....	(174)
9.3.2	电子测时仪与区截装置 .....	(176)
9.3.3	战斗部威力试验时的安全防护装置 .....	(176)
9.3.4	高速摄影机 .....	(176)
9.3.5	脉冲 X 光摄影仪 .....	(178)
9.3.6	压电式传感器 .....	(178)
9.4	破片战斗部威力试验 .....	(178)
9.4.1	破碎性试验 .....	(179)
9.4.2	破片速度分布试验 .....	(179)
9.4.3	破片空间分布试验 .....	(179)
9.4.4	扇形靶试验 .....	(179)
9.5	爆破战斗部威力试验 .....	(180)
9.6	聚能装药战斗部威力试验 .....	(180)

9.7 EFP 速度测量的高速摄影试验 .....	(181)
9.7.1 试验方法和试验条件 .....	(181)
9.7.2 试验验证 .....	(183)
9.7.3 结论 .....	(184)
9.8 云爆战斗部威力试验 .....	(184)
9.8.1 试验条件 .....	(184)
9.8.2 云爆战斗部的布置 .....	(184)
9.8.3 测试系统的现场标定 .....	(185)
9.8.4 云爆战斗部 TNT 当量计算 .....	(185)
9.8.5 TNT 当量计算 .....	(188)
9.8.6 试验结果的评定 .....	(189)
9.8.7 试验报告 .....	(189)
9.8.8 传感器的布置 .....	(189)
9.9 子母战斗部的开舱、抛撒试验 .....	(190)
9.10 战斗部试验数据的处理 .....	(190)
9.10.1 试验数据的分类和特征参数 .....	(191)
9.10.2 试验数据的处理 .....	(191)
思考题 .....	(192)
参考文献 .....	(192)
附录 .....	(194)
附录 1 声速 $C$ 随高度 $y$ 变化的数值 .....	(194)
附录 2 1943 年阻力定律的 $C_{xon} - Ma$ .....	(194)
附录 3 名称解释 .....	(195)

# 第1章

## 绪论

战斗部是弹药武器实现杀伤破坏敌方武器装备、设施及有生力量的十分重要的部件。高效毁伤战斗部包含先进战斗部结构设计、先进装药及先进高效毁伤战斗部材料及其制造工艺等技术，目标是使战斗部实现高破片率杀伤破坏能力、高侵彻能力和高爆轰威力。其中，与弹体(壳体)、弹芯、药型罩等战斗部零部件密切相关的高效毁伤战斗部材料及其制造工艺是获得高效毁伤战斗部的十分重要的技术基础。



### 1.1 战斗部的作用及其战术技术要求

#### 1.1.1 战斗部的作用和地位

战斗部是弹药毁伤目标或完成既定终点效应的部分。有些武器系统仅由战斗部单独构成，如地雷、水雷、航空炸弹、手榴弹等。根据对目标作用和战术技术要求的不同，可分为几种不同类型的战斗部，其结构和作用机理呈现各自的特点。爆破战斗部，壳体相对较薄，内装大量高能炸药，主要利用爆炸的直接作用或爆炸冲击波毁伤各类地面、水中 and 空中目标；杀伤战斗部，壳体厚度适中(有时壳体刻有槽纹)，内装炸药及其他杀伤元件，通过爆炸后形成的高速破片来杀伤有生力量，毁伤车辆、飞机或其他轻型技术装备；动能穿甲战斗部，弹体为实心或装少量炸药，强度高、断面密度大，以动能击穿各类装甲目标；破甲战斗部，为聚能装药结构，利用聚能效应产生高速金属射流或爆炸成型弹丸，用于毁伤各类装甲目标；特种战斗部，壳体较薄，内装发烟剂、照明剂、宣传品等，以达到特定的目的；子母战斗部，母弹体内装有抛射系统和子弹等，到达目标区后抛出子弹，毁伤较大面积上的目标。

以导弹为例，根据被攻击目标的特性，导弹武器系统将战斗部和引信运送到预定的适当位置(指目标附近、目标表面或目标内部)；引信探测或觉察目标，适时、可靠地提供信号，起爆传爆系列，使战斗部主装药爆轰释放出能量，与战斗部其他构件一起形成各种毁伤元素(破片、连续杆、爆炸成型弹丸、金属射流、爆炸冲击波等)，对目标产生预期的破坏效果。使用导弹武器系统的最终目的就是有效地摧毁目标。导弹武器系统探测发现目

标,可靠、及时地发射导弹,把导弹导引到命中或拦截目标的各个阶段,其任务都是有效地摧毁目标。从这个意义上来说,战斗部是导弹武器系统中重要的分系统,而导弹其他各分系统都是为保证将战斗部和引信可靠、准确地运送到预定适当位置的。

## 1.1.2 战斗部的组成

战斗部的类型虽然很多,但其组成基本上是相同的。国外较广泛地采用广义的战斗部系统概念,认为战斗部系统是由战斗部、引信和保险/解决保险机构组成的。国内则将战斗部与引信分为两部分。战斗部由壳体和装填物组成,有时包括部分传爆系列。

### 1. 壳体

它是战斗部的基体,用于装填爆炸装药或子战斗部,起支撑体和连接体作用。根据导弹总体要求,战斗部壳体可作为导弹弹体的组成部分,参与弹体受力,也可不作为导弹弹体的组成部分而安置于战斗部舱内。

壳体应满足各种载荷(包括发射、飞行、碰撞目标时)作用下的强度及刚度要求;结构工艺性好,材料来源广泛。破片战斗部壳体还应具有良好的破片性。

### 2. 装填物

装填物是战斗部毁伤目标的能源。起爆炸破坏作用的装填物有猛炸药和核装料,对于特种战斗部,则有化学毒剂、生物战剂(细菌、微生物)、燃烧剂和发烟剂等。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,形成破坏不同目标的杀伤元素。例如,常规装药战斗部在引爆后通过化学反应释放出能量,驱动产生金属射流、爆炸成型弹丸、破片、冲击波等毁伤元素。核装药战斗部在引爆后,通过核反应形成冲击波、光辐射和核辐射等杀伤元素。

常规战斗部的装填物是高能炸药。炸药爆炸时能产生很大破坏作用的原因,一是爆炸反应的速度(即爆速)非常快,通常达 $6\sim 9\text{ km/s}$ ;二是爆炸时产生高压(即爆压),其值在 $20\sim 40\text{ GPa}$ ;三是爆炸时产生大量气体(即爆轰产物),爆轰产物的比容为 $700\sim 1\ 000\text{ L/kg}$ 。这样,在十几微秒到几十微秒的极短时间内,战斗部壳体内形成一个高温高压环境,使壳体膨胀、破碎,形成许多高速的杀伤元素。同时,高温高压的爆炸气体产物迅速膨胀,推动周围空气,形成在一定距离内有很大破坏力的空气冲击波。因此,炸药爆轰性能的主要表征参数有爆速、爆压或爆热等。

对炸药装药的要求是:对目标造成尽可能大的破坏作用,爆炸性能好,作用可靠、使用安全、冲击和摩擦感度低;有良好的化学、物理安定性,便于长期储存;装药工艺性好、毒性低、成本低、原材料立足于国内。具体要求如下:

(1)使战斗部对目标有最大的毁伤效应。通常聚能破甲战斗部采用高爆压的炸药;杀伤爆破战斗部采用爆热大和爆轰产物比容大的高威力炸药,如含铝炸药;破片战斗部大多采用高爆速的炸药,旨在提高破片初速,增大破片打击目标的动能,同时使壳体质量与炸药质量的比例适配。

(2)机械感度要低,爆轰感度要高。感度是炸药在外界能量作用下产生爆炸反应的难易程度。炸药对不同外能(如机械能、热能、爆轰波能等)的作用具有不同的感度(如冲击感度、摩擦感度、热感度、火焰感度、爆轰感度等)。炸药的冲击感度、摩擦感度低,可确保战斗部在制造、运输、使用中的安全性,爆轰感度高可保证战斗部作用于目标时的可

靠性。

(3)具有一定的物理力学性能。炸药装药的物理力学性能对炸药的应用影响很大,如铸装成型和压装成型的工艺性、装药密度和密度的均匀性在很大程度上取决于炸药本身的流变性质;装药结构尺寸在长期储存过程中的稳定性与炸药本身的蠕变性质有关;装药的可加工性也与炸药装药的力学性质有关。另外,冲击感度与装药的变形刚度也是有关联的。

(4)储存性能良好。炸药在长期储存或在环境条件变化(如压力、温度、湿度)的影响下,应具有保持性能不变的能力,所以要求炸药的物理、化学安定性好。另外,还要求炸药与接触材料具有一定的相容性(指二者接触不起化学反应,或反应速度极慢),以便于长期储存。

对装填物的要求是对目标有尽可能大的破坏作用,爆轰时起爆完全,具有良好的化学安全性与物理安定性,装药工艺性好,原材料来源广泛等。

为应对复杂的战争形势、严苛的战场环境,突破目前装药当量的限制,以提升自身的生存能力和对目标的毁伤能力等条件,科学家们致力于高能量密度、低感度的含能材料及其制备技术和反应机理的研究。目前,多种高能钝感含能材料相继研制成功,如类 TATB 含能材料、FOX-7 衍生物、新型含能离子盐等高能钝感炸药。炸药爆燃转爆轰条件、炸药热点及其传播机理、炸药摩擦点火机制等理论研究也相继开展,以满足未来严苛环境下战斗部装药的实际需求。

### 3. 传爆系列

传爆系列是由火工元件组成的能量逐级放大、感度逐级降低的装置。其功能是将微弱的激发冲量传递并放大到能引爆主装药,或将微弱的火焰传递并放大到引燃发射药。按该系列输出能量的特性,可将其分为传爆系列(输出爆炸性能量)和传火系列(输出非爆炸性能量)。

传爆系列通常由雷管、传爆药柱(或传爆管)组成,有时在系列中还加入延期药、导爆药柱或扩爆药柱。

传火系列通常由火帽、传火药、发射药组成,有时在系列中还加入延期药。导弹战斗部系统的传爆系列有的和引信装在一起,有的分装在战斗部和引信内。

对传爆系列的要求是,第一级火工元件的感度合适,最末一级火工元件的输出能量务必能引爆主装药,作用时间符合设计要求以及良好的化学安定性与物理安定性。

典型战斗部结构示意图如图 1.1.1 所示。

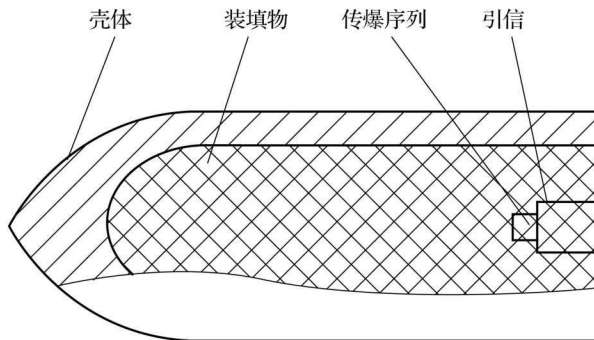


图 1.1.1 战斗部结构组成示意图

### 1.1.3 战斗部分类

现代战争中所对付的目标多种多样。为了对付不同的目标，战斗部的种类也有很多。战斗部的类型一般根据它对目标的作用原理或内部装填物来确定，可分为核战斗部和非核战斗部。前者虽然威力很大，但由于众所周知的原因，很难得到实际应用。用炸药作为能源的战斗部一般称为常规战斗部，装备常规战斗部的弹药称为常规武器，这是本书讨论的重点。战斗部分类如图 1.1.2 所示。

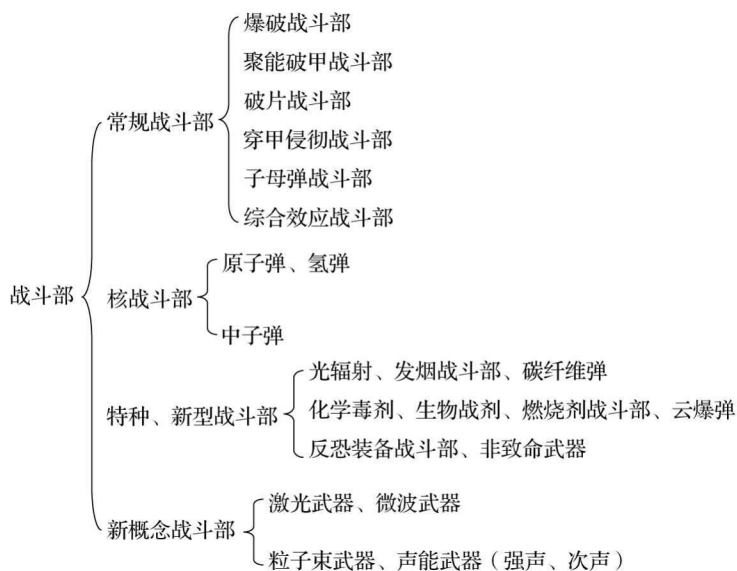


图 1.1.2 战斗部分类

### 1.1.4 战斗部的战术技术要求

战斗部的战术技术要求是使用方和总体设计部门(如导弹总体设计部门)根据目标特性、导弹的类型、任务、使用环境条件等所提出的性能要求和作战使用要求的总称，是战斗部设计、试验和评价的依据。战术要求指战斗部的用途、威力和使用特点等。技术要求指战斗部的尺寸、质量、强度、可靠性、可维修性、安全性、储存、运输、使用环境条件及在导弹上的安装协调关系等。



## 1.2 战斗部设计依据与设计准则

### 1.2.1 战斗部设计依据

战斗部总体设计的基本依据是型号研制任务书和导弹总体对战斗部所提出的设计要求及其约束条件，主要内容：

- (1) 导弹总体允许的战斗部设计质量。
- (2) 战斗部应具有的威力半径。

(3) 战斗部(舱)的结构尺寸限制和其与相邻舱段的连接形式。

(4) 目标特性, 如尺寸大小、“要害”(指飞机的油箱、弹药、关键操作系统等)部位、导弹与目标的交会条件。

飞机的主要材料是硬铝, 因此, 破片打击其他材料的等效硬铝厚度由下式计算:

$$b_{Ar} = b\sigma / \sigma_{Ar} \quad (1.2.1)$$

式中,  $b_{Ar}$  为等效硬铝厚, mm;  $\sigma_{Ar}$  为硬铝的临界应力, Pa;  $\sigma$  为某种材料的临界应力, Pa;  $b$  为某种材料厚, mm。

装甲钢板强度较高, 而战斗部地面打靶试验靶板主要用普通 Q235 钢板(A3 钢板), 均可按上式换算。

(5) 战斗部(舱)应承受的载荷。

(6) 战斗部条件杀伤概率要求。

(7) 引战配合对战斗部要求(对破片战斗部: 破片飞散、破片初速; 对连续杆战斗部: 连续杆初速)。

(8) 战斗部(舱)应经受的环境条件, 如高温、低温、温度循环、湿热、盐雾、霉菌、振动、冲击、跌落、运输和颠簸等。此外, 由于战争的条件下, 情况千变万化, 环境恶劣, 如刮风下雨、下雪、日晒雨淋等, 在任何可能的情况下, 都应保证战斗部安全可靠, 技术性能不变。

(9) 战斗部寿命(有效贮存期)要求。

(10) 战斗部可靠性、可维修性、安全性要求。

## ▶▶ 1.2.2 战斗部设计准则 ▶▶▶

战斗部总体设计一般应遵循以下准则:

(1) 战斗部应在威力半径范围内能对典型目标达到预期毁伤效应。

(2) 战斗部的威力半径应与导弹导引精度匹配。

(3) 满足引信对战斗部的要求。

(4) 战斗部类型、质量、质心位置、结构形式和尺寸应与总体协调、匹配。

(5) 应使战斗部在勤务处理、发射和飞行过程中, 其作用可靠性、安全可靠性能均满足设计任务书要求, 并确保在规定的条件下和使用有效期内的安全。

(6) 原材料、元器件立足于国内研制生产, 装药中的有害配方应符合国家有关规定, 装药与其相接触的材料应有良好的相容性。

(7) 主装药药室结构应有良好的密封性。

(8) 应选择不同类型战斗部进行比较分析, 选择最优方案。

(9) 应采用通用化、系列化、组合化设计。

(10) 研制周期短、经济性好。

## ▶▶ 1.2.3 战斗部设计程序 ▶▶▶

图 1.2.1 为战斗部总体设计的设计程序流程。