



国防科技图书出版基金

Principle and Design of the New Warhead

新型战斗部原理与设计

◆ 周兰庭 张庆明 龙仁荣 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

新型战斗部原理与设计

Principle and Design of the New Warhead

周兰庭 张庆明 龙仁荣 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

新型战斗部原理与设计/周兰庭,张庆明,龙仁荣编
著. —北京:国防工业出版社,2018.2

ISBN 978-7-118-11444-7

I. ①新… II. ①周…②张…③龙… III. ①战斗部-研究 IV. ①TJ410.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 016448 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 24½ 字数 465 千字

2018 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 150.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致 读 者

本书由中央军委装备发展部国防科技图书出版基金资助出版。

为了促进国防科技和武器装备发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。这是一项具有深远意义的创举。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在中央军委装备发展部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由中央军委装备发展部国防工业出版社出版发行。

国防科技和武器装备发展已经取得了举世瞩目的成就,国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。开展好评审工作,使有限的基金发挥出巨大的效能,需要不断摸索、认真总结和及时改进,更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金
第六届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 宋家树 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 于景元 才鸿年 马伟明 王小谟 甘茂治

(按姓氏笔画排序) 甘晓华 卢秉恒 邬江兴 刘世参 芮筱亭

李言荣 李德仁 李德毅 杨 伟 肖志力

吴有生 吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起 崔尔杰

韩祖南 傅惠民 魏炳波

前 言

战斗部是武器系统的有效载荷,是武器系统对预定目标起直接破坏作用的终端毁伤系统,是武器系统有效作战效能的最终体现。各种武器系统功能的总和就是要把战斗部投送到预定攻击的目标处,靠引信控制适时作用,致使目标遭受攻击破坏和毁伤。所以,战斗部技术的进步和创新是关系国家安全的重大研究课题。

本书正是针对国家对这一领域的急需而提出。作者结合多年的教学和科研经验,研究了国内外有关文献资料,介绍了最新的学术研究成果。既秉承了传统的弹药战斗部设计基本理论,又融入了最新的弹药战斗部类型、结构、性能、机理和设计理论。在内容安排上既有新型硬杀伤战斗部技术,又有新概念非致命的高效软毁伤战斗部技术,具有明显特色和工程应用价值。

本书共分7章,内容主要涉及新型常规战斗部的设计和研制、现状和发展趋势,目标特性分析,几种新型战斗部的设计理论基础、设计内容和要求(包括新型聚能战斗部、新型杀伤战斗部、新型定向能战斗部、深侵彻战斗部、新概念非致命弹药)。可供弹药战斗部设计和研究的专业人员、工程设计人员及其他相关技术人员,以及与弹药有关的各专业本科生、硕士生和博士生参考。

本书在编写的过程中曾得到相关研究院、兄弟院校有关同志大力支持和孙桂娟、杨莉、甘云丹、龚良飞等博士的帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,缺点、错误在所难免,欢迎读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 战斗部的定义、组成	1
1.2 战斗部对目标的毁伤及典型战斗部的类型	2
1.3 常规战斗部结构特征参数	6
1.4 战斗部的炸药装药	9
1.5 常规战斗部技术的现状和发展趋势	10
1.6 战斗部的研制过程	12
参考文献	16
第 2 章 目标特性分析	17
2.1 来袭目标威胁特征描述	17
2.2 目标的分类	26
2.3 目标的易损特性	31
2.4 敏感性	58
2.5 目标生存力评估	64
参考文献	65
第 3 章 新型聚能战斗部	66
3.1 概述	66
3.2 金属聚能射流形成理论与主要参数的计算	69
3.3 破甲深度计算	86
3.4 聚能破甲战斗部的威力设计	106
3.5 破甲战斗部的外壳结构设计	121
3.6 导弹总体对破甲战斗部总体参数设计要求	124
3.7 爆炸反应装甲与串联战斗部	126
3.8 EFP 形成机理	135
3.9 EFP 的气动特性	149
3.10 EFP 战斗部工程设计方法	151
参考文献	167
第 4 章 新型杀伤战斗部	170
4.1 概述	170
4.2 自然破片杀伤战斗部	175

4.3	预制破片战斗部的设计逻辑	208
4.4	破片设计的依据	214
4.5	无控破碎壳体上的预制破片结构设计	217
4.6	改进的破碎模型	220
4.7	杀伤威力参数	226
4.8	爆炸冲击波威力参数	255
4.9	连续杆式杀伤战斗部	269
4.10	离散杆式战斗部	276
4.11	破片式聚焦型战斗部	278
	参考文献	283
第5章	新型定向能战斗部	286
5.1	概述	286
5.2	可变形战斗部技术	288
5.3	预制壳体方案模型	294
5.4	锯齿形壳体方案模型	296
5.5	端面运动破片抛射机理	298
5.6	万向(悬挂)支架战斗部方案	301
5.7	破片杀伤战斗部重量和单发导弹毁伤概率间的近似关系	309
	参考文献	312
第6章	深侵彻战斗部技术	313
6.1	概述	313
6.2	战斗部对介质的侵彻理论	316
6.3	深侵彻战斗部设计技术	340
	参考文献	357
第7章	新概念非致命弹药	360
7.1	概述	360
7.2	碳纤维战斗部技术	361
7.3	高功率微波战斗部	366
7.4	电磁脉冲武器	369
7.5	光弹与激光武器	369
7.6	声波效应武器	373
7.7	二元化学武器	374
7.8	其他新概念弹和“文明”武器	374
	参考文献	375

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Definitions and Components of a Warhead	1
1.2 The Damage Effect of Warhead on Targets and Classifications of Typical Warheads	2
1.3 Characteristic Structural Parameters of a Conventional Warhead	6
1.4 Explosive Charge in a Warhead	9
1.5 Current Status and Development Trend of Conventional Warhead Technologies	10
1.6 Development Process of a Warhead	12
References	16
Chapter 2 Analysis of Target Characteristics	17
2.1 Threat Characterization for a Target	17
2.2 Target Classification	26
2.3 Target Vulnerability	31
2.4 Sensitivity	58
2.5 Evaluation of Target Survivability	64
References	65
Chapter 3 New Types Shaped Charge Warheads	66
3.1 Introduction	66
3.2 Theory of Metallic Shaped Charge Jet Formation and Calculation of Main Parameters	69
3.3 Prediction of Jet Penetration Depth	86
3.4 Design of the Capability of Shaped Charge Anti-Armor Warhead	106
3.5 External Shell-structural Design of Anti-Armor Warhead	121
3.6 Design Requirements of Anti-Armor Warhead by the Overall Design of Missile	124
3.7 Explosive Reactive Armor and Tandem Warhead	126
3.8 Formation of EFP Mechanism	135
3.9 Aerodynamic Characteristic of EFP	149
3.10 Engineering Design Method for Warhead	151

References	167
Chapter 4 New Fragmentation Warhead	170
4.1 Introduction	170
4.2 Natural Fragment Warheads	175
4.3 Design Preformed Fragment Warhead	208
4.4 Fragment Design Consideration	214
4.5 Preformed Fragment Structure Design of Fragmentation Shell without Control	217
4.6 Modified Fragmentation Model	220
4.7 Lethal Power Parameters	226
4.8 Power Parameters of Blast Wave	255
4.9 Continuous Rod Anti-personnel Warhead	269
4.10 Segmented Rod Warhead	276
4.11 Fragmentation Focusing Warhead	278
References	283
Chapter 5 New Types of Target Directed Warheads	286
5.1 Introduction	286
5.2 Deformable Warhead Technology	288
5.3 Model of Preformed Shell Scheme	294
5.4 Model of Saw-Tooth Shell Scheme	296
5.5 Driving Mechanism of Fragment with Deformable Explosive Charge Section	298
5.6 Scheme of Warhead with Universal Holder	301
5.7 Approximate Relationship between the Weight of Fragment Warhead and the Killing Probability of a Single Missile	309
References	312
Chapter 6 Deep-penetration Warheads	313
6.1 Introduction	313
6.2 Penetration Mechanism of Warhead into Targets	316
6.3 Design Techniques for Deep-penetration Warhead	340
References	357
Chapter 7 New Conceptual Non-lethal Ammunition	360
7.1 Introduction	360
7.2 Carbon Fiber Warhead	361
7.3 High-power Microwave Warhead	366

7.4	Electromagnetic Pulse Weapon	369
7.5	Light Ammunition and Laser Weapon	369
7.6	Acoustic Effect Weapon	373
7.7	Binary Chemical Weapons	374
7.8	Other New Conceptual Ammunition and "Civilized" Weapons	374
	References	375

第 1 章 绪 论

1.1 战斗部的定义、组成

1.1.1 定义

战斗部是导弹(或火箭弹、鱼雷等)发射到目标区(或目标上)的有效载荷,亦是现代武器弹药家族中的重要成员之一。在一些专著中称其为弹头^[1-3,5]。

战斗部实质上是弹药毁伤目标或完成既定终点效应的部分。加深对弹药的了解,更有利于对战斗部的理解。为此,应对弹药做进一步的阐述。弹药(ammunition)是一个集合名词,是 16 世纪初从法语“munition de guerre”借用来的,广义来说包含防御或进攻可使用的各种军需物,在整个历史进程中,其发展是与各种武器(导弹、火箭、火炮等)的应用发展紧密相关的,是战争需求和科学技术相结合的产物。现阶段武器弹药的发展要求解决远距离、超高度、超深度、命中点目标和高效毁伤等难题,这就提出了发展精确制导武器和高新技术弹药等课题。

具体来讲,弹药的具体内容包括炮弹、火箭弹战斗部、导弹和鱼雷的战斗部、子弹和手榴弹、航弹和深水炸弹、地雷和水雷、爆破装药器材、烟幕弹、干扰投放弹、军事装备和设施的主动防护武器的弹药、灵巧弹和智能弹等^[5]。在海湾战争中使用了新型原理的高功率微波和碳纤维等反装备的软毁伤战斗部,这是特种高新技术弹药(武器)。

1.1.2 组成

典型的导弹战斗部系统(导弹战斗装置)通常由战斗部、引信和保险执行机构组成^[1,3]。在战略和战术弹道导弹战斗部系统中通常将引信和保险执行系统合称为引爆控制系统,而在其他类型的战术导弹战斗部系统中有时称为引信。

战斗部系统的结构原理应满足发射性能、运动性能、终点效应、安全性和可靠性等方面的综合要求。

根据战斗部装填物的不同,可将战斗部分为常规装药战斗部、新型特种战斗部(如破坏电网的碳纤维战斗部、破坏 C⁴I 系统的高功率微波发生器等)和核装药战斗部。

战略导弹一般多用核战斗部,衡量核战斗部的威力常用 TNT 爆炸威力当量表

示。核战斗部型式可以是单弹头或多弹头(如集束式、分导式等)。采用多弹头方案,可提高导弹的突防能力和攻击多目标的能力。

而战术导弹均选用常规装药战斗部,这种战斗部是装填高能炸药的导弹弹头,它是相对核弹头而言的,这一术语出现于20世纪50年代部队装备导弹核武器时期。

下面按典型的常规战斗部系统分别描述如下。

战斗部由主装药、传爆装置(电点火器→火焰雷管→传爆管→扩爆管组成传爆序列)和壳体等组成。战斗部壳体内的主装药是毁伤目标的能源物质。目前主要由以黑索金(RDX)和奥克托金(HMX)为主体的混合炸药,并添加一些有利于威力提高和性能改善的添加物。根据不同的目标和战斗部结构,可以采用不同装药及工艺以适应战斗部作战的需求。最近研制的CL-20高爆炸药,将会大幅度提高战斗部破坏目标的威力。如果欲达到某种特定目的,则战斗部壳体内可装填照明剂、烟幕剂或其他非致命的物质。

引信是配用于战斗部的专用装置。它的基本作用是要确保战斗部勤务处理和使用时的安全性,并能敏感到实际使用环境,解除保险(包括安全分离、爆炸序列对正、开关闭合或建立其他连接或逻辑关系),使战斗部进入待发状态,能敏感到预定最佳起爆的空间或时间点,发火起爆,从而可靠地发挥战斗部对目标的最佳毁伤效应。最佳起爆时间取决于弹目交会姿态和条件,以及战斗部特性。引信、战斗部配合攻击目标过程是瞬态完成的,引战配合与毁伤目标程度结合起来,通常称为引战配合效率,这是系统性能的特征。配合效率高,可使导弹单发杀伤概率增大。

按照战斗部对目标的作用方式,常用引信分为两大类:非触发引信(近炸引信)和触发引信。非触发引信又可分为光学引信(红外引信、激光引信等)和无线电引信(微波、毫米波引信等)。为了获得高毁伤效率,同一种战斗部可配置光电复合作用与触发作用的多功能引信。

保险执行机构(又名安全保险机构)能够确保战斗部在不应起爆时的绝对安全。它实际上是引信与战斗部之间的一种单向传递装置,是介于引信、战斗部之间的一个爆炸能量逐级放大的传爆道,只有在保险装置确定战斗部的爆炸不会伤害我方人员时,这条传爆道才通畅。打开保险时间愈接近最佳爆炸时间愈好,以免引信由于受到敌方干扰而引爆战斗部。总之,弹目交会时一定要避免过早炸或早炸的发生。故常用程序是按导弹飞离发射架的时间,依次解除保险,直至飞临目标区域,全部解除保险,引信发挥作用。

1.2 战斗部对目标的毁伤及典型战斗部的类型

战斗部的分类和类型的确定,应根据对目标的作用和战术技术要求而定,不同类型的战斗部其结构原理和作用机理是不同的,但同一类型的战斗部如常规的破

片(或杆条)杀伤型战斗部,既可适用于空对空的反飞机、反导弹上,又可适用于地对空的反飞机、反导弹上,或空对地的反辐射导弹上。

从海湾战争(1991年)、科索沃战争(1999年)和美英联军对伊拉克战争(2003年)来看,在这些高新技术局部战争中,使用了大量的新概念武器弹药及战斗部。在考虑常规战斗部的分类时,既要考虑传统的主作用机理,还应考虑科技进步和信息时代特征,更要考虑新的毁伤模式和毁伤机制。这样的分类原则是比较科学的。另外还可分为硬毁伤和软毁伤模式两大类,然后按战斗部对目标的作用机理再进一步细化分类,这样描述更符合现代战争中武器弹药和战斗部的真实现状。

所谓硬毁伤是指利用战斗部本身的撞击动能或爆炸后形成的破片动能、高速聚能金属射流、爆炸成形侵彻体、爆炸冲击波超压、比冲量等毁伤参数,使各种目标(如武器装备、各种设施、人员等)遭受不同程度的破坏和毁伤,使其丧失作战使用功能或降低其功效,称为硬毁伤。为了提高战斗部使用作战的效费比(目标费用之和/摧毁目标所需耗费弹药费用之和),针对各类目标特性和最佳有效的毁伤效力,突出战斗部对目标的主要效应,出现和发展了各种类型不同机理针对性很强的硬毁伤战斗部。典型的常规装药战斗部类型如图 1.1~图 1.6 所示。

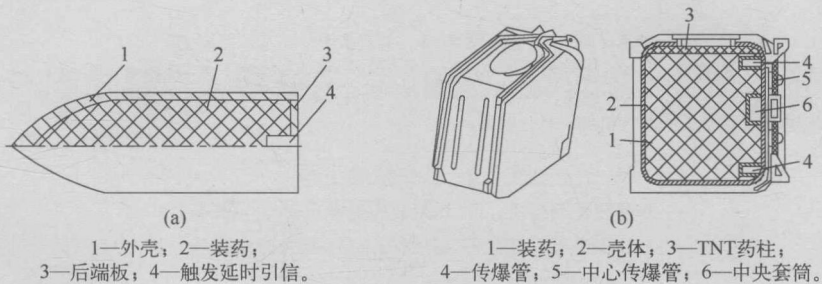
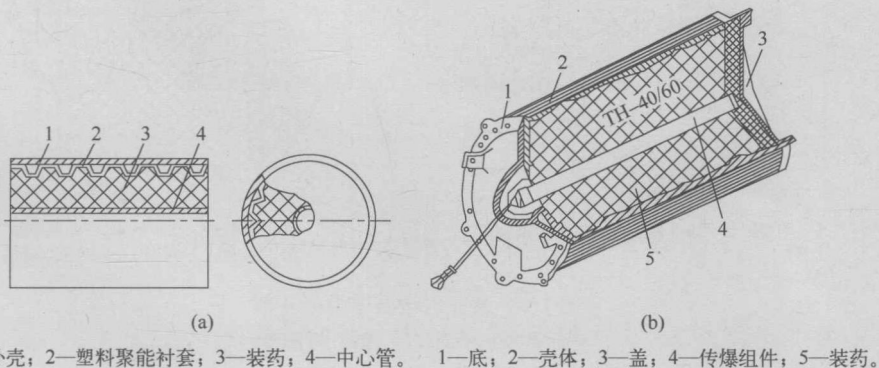


图 1.1 爆破型战斗部

(a) 内爆式; (b) 外爆式。



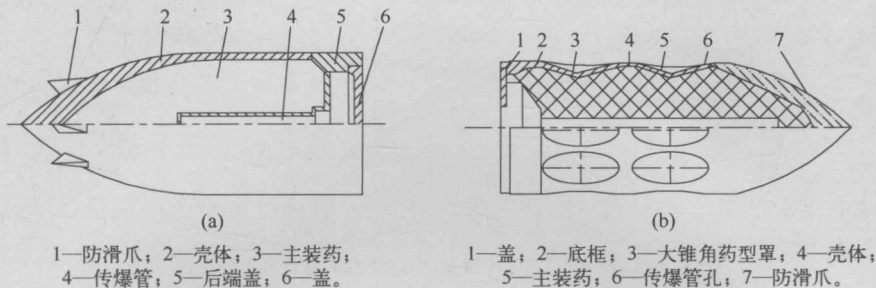
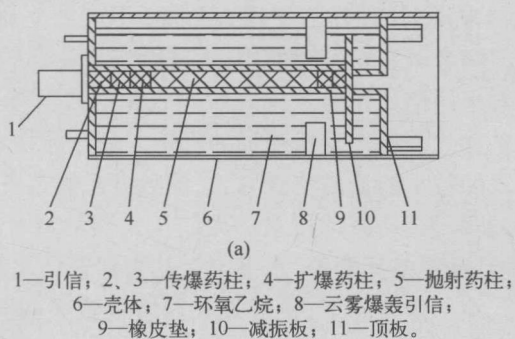
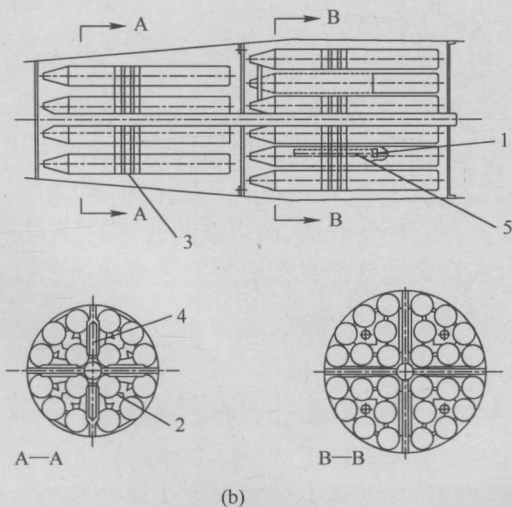


图 1.4 动能半穿甲型战斗部
(a) 半穿甲-爆破式; (b) 半穿甲-爆破式-装药式。



(a)
1—引信; 2、3—传爆药柱; 4—扩爆药柱; 5—抛射药柱;
6—壳体; 7—环氧乙烷; 8—云雾爆轰引信;
9—橡皮垫; 10—减振板; 11—顶板。



(b)
1—导线; 2—分离器; 3—捆带; 4—抛射器; 5—分离器。

图 1.5 子母弹战斗部
(a) 集束式 FAE 子弹药; (b) 集束式子母药。

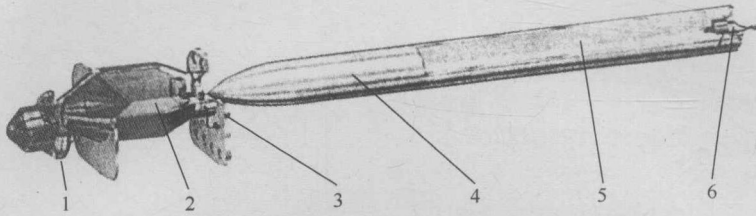


图 1.6 串联式双模型战斗部

- 1—光电炸高传感器;2—聚能战斗部,具有破片杀伤效应;
3—安全与解除保险装置;4—侵彻战斗部,具有破片杀伤效应;
5—炸药装药;6—灵巧引信。

除硬毁伤战斗部外,近年来出现了新概念、新技术的软毁伤战斗部(或非致命型战斗部)。作为武器来说,这种作战手段,目前还不能独立用于战争,更不能取代硬毁伤武器弹药,但两者可互相配合使用,为硬毁伤战斗部的使用创造更为有利的条件,有时可起到事半功倍的作战效果。所以软毁伤武器弹药的战斗部研制和使用,对未来武器装备和战争将产生极深远的影响。非致命技术是应用电、光、声、化学、生物等某种形式的较小能量或特殊方式,使敌方武器装备或工业设施功能失效或效能降低的一种新概念、新原理技术。人们从武器的特有功能出发定义其为非致命武器、失能武器、反装备武器等,本书定义其为软毁伤武器。在此特别指出,非致命是个相对概念,在一定条件下,使敌方武器装备致毁的同时,亦可能使人致死、致残,说明并非完全非致命。不过,它对目标的毁伤形式不像硬毁伤那样明显,故用软毁伤技术来定义较为合适。

目前实战中已经应用的软毁伤技术武器、弹药、战斗部有干扰无线电的箔条弹、红外干扰弹、红外诱饵弹、光弹、碳纤维和金属纤维战斗部、高功率微波战斗部(或武器)等。正在研究和发展的对装备作用的非致命武器有核电磁脉冲发射武器、计算机网络攻防武器、反材料化学战剂(脆化剂、腐蚀剂)、内燃机抑制剂等。对人员作用的非致命武器有声学武器、次声波武器、化学失能剂、刺激剂、黏性泡沫和快速致冷剂等。对人员和装备都有作用的非致命武器和技术有激光致盲武器、脉冲化学激光武器、高能超声波武器等。

1.3 常规战斗部结构特征参数

用一些参数来表征和描述各种类型常规战斗部结构的主要特征和性能,是从战斗部技术研究、生产使用人员必须具备的基本知识。在计算和表述常用的结构特征参数之前,首先应该尽量提供必要的战斗部基本数据,即战斗部的直径、长度、质量、装填物的质量和种类,壳体壁厚、重心位置以及轴向和横向(通过战斗部质心)的转动惯量等数据,然后按照弹药工作者行业公认的设计规范,计算表征战