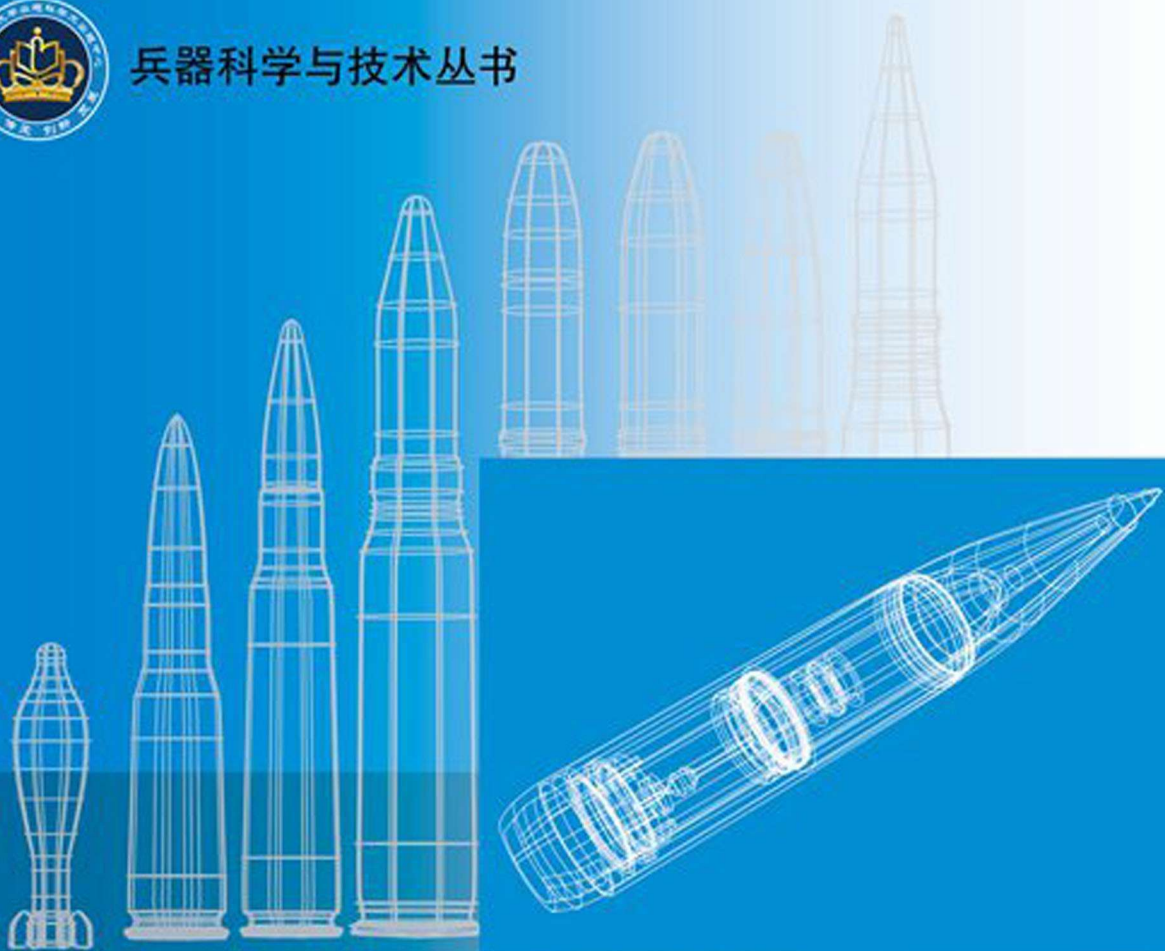




兵器科学与技术丛书



# 弹药设计理论

AMMUNITION DESIGN THEORY

曹兵 郭锐 杜忠华 编著

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

# 弹药设计理论

曹 兵 郭 锐 杜忠华 编著

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

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (CIP) 数据

弹药设计理论 / 曹兵, 郭锐, 杜忠华编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 12  
ISBN 978 - 7 - 5682 - 1011 - 9

I. ①弹… II. ①曹…②郭…③杜… III. ①弹药 - 设计 IV. ①TJ410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 313941 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) 68948351 (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 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 29

字 数 / 676 千字

版 次 / 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 68.00 元



责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

---

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

炮弹是战争中应用最广泛的弹丸之一，编写本书的目的在于研究炮弹弹丸的设计原理，并介绍适合各类弹丸设计的一般方法。

任何性能良好的弹丸必须满足以下三个方面的要求：在膛内运动正确，安全可靠；在飞行中阻力小，稳定性好；在目标区（弹道终点处）作用可靠，威力大。这些要求最终通过弹丸的结构予以体现，因此，设计者的任务在于通过弹丸的膛内设计、飞行性能设计及终点效应设计，设计出弹丸的最优结构，这就是本书所研究的全部内容。

本书作为弹药工程专业的教材，要求学生除具备数学、力学基础知识外，还必须具备内、外弹道学，弹药作用原理，以及炸药、引信和火炮方面的专业基础知识。本书除可作为高等院校有关专业学生的教材，也可作为从事弹药工程研究、弹药设计和生产的科技人员的学习参考书。

本书采用国际单位制。应说明的是，书中选用的例题的数据并非实际弹丸的数据，仅供参考。

本书由南京理工大学弹药工程教研室曹兵（第一、二、三、四、五、六章）、郭锐（第七、八章）、杜忠华（第九章）等同志编著。其中，曹兵同志任主编。全书由中国兵工学会弹丸学会高森烈同志主审。

由于水平有限，书中疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2016年5月

# 目 录

## CONTENTS

---

---

---

<b>第一章 弹药设计总论</b> .....	001
第一节 弹药设计全过程 .....	001
一、战术技术指标论证阶段 .....	001
二、弹丸结构方案与技术设计阶段 .....	002
三、试制、试验与鉴定定型阶段 .....	002
第二节 设计说明书与产品图 .....	003
第三节 对弹丸的要求 .....	004
一、战术技术要求 .....	004
二、生产经济性要求 .....	009
三、正确处理各要求之间的关系 .....	010
<b>第二章 弹药总体设计</b> .....	011
第一节 概述 .....	011
第二节 总体设计的内容和程序 .....	012
第三节 弹丸口径的选择 .....	012
第四节 弹种的选择 .....	012
第五节 弹丸稳定方式的选择 .....	015
第六节 弹丸质量的选择 .....	017
一、概述 .....	017
二、弹丸质量设计 .....	025
第七节 弹丸所用材料、炸药和引信的选择 .....	026
一、材料的选择 .....	026
二、炸药的选择 .....	027
三、引信的选择 .....	028
<b>第三章 弹药总体结构设计</b> .....	031
第一节 旋转稳定弹丸的结构方案确定 .....	031

一、一般旋转稳定弹丸的结构·····	031
二、远程弹丸的结构·····	043
三、底凹榴弹的结构·····	049
四、底部排气弹的结构·····	050
五、弹丸零件的结构·····	058
第二节 尾翼弹的结构方案确定·····	062
一、迫击炮弹的结构·····	062
二、张开式尾翼弹的结构·····	071
三、杆形头部尾翼弹的结构·····	083
四、次口径脱壳尾翼弹的结构·····	086
第三节 弹丸结构特征数的计算·····	089
一、基本算法·····	090
二、经验算法·····	094
<b>第四章 弹丸发射安全性及膛内运动正确性分析·····</b>	<b>095</b>
第一节 发射时所受的载荷·····	095
一、火药气体压力·····	096
二、惯性力·····	098
三、装填物压力·····	101
四、弹带压力·····	104
五、不均衡力·····	111
六、导转侧力·····	119
七、摩擦力·····	121
第二节 弹丸发射时的安全性分析·····	122
一、发射时弹体的应力与变形·····	122
二、发射时弹体强度计算·····	133
三、弹底强度计算·····	140
四、弹丸零件的强度计算·····	159
五、装填物安全性计算·····	167
第三节 弹丸强度的有限元法计算·····	168
一、有限元法的基本概念·····	169
二、轴对称问题的有限元法·····	169
三、弹丸所加载荷的等效节点力·····	172
四、弹塑性问题的有限元法·····	173
五、计算实例·····	178
第四节 弹丸膛内运动正确性分析·····	182
一、旋转弹丸膛内运动分析·····	182
二、迫击炮弹膛内运动分析·····	186
第五节 弹带设计·····	195
一、弹带的膛内性能·····	196

二、弹带的膛外性能·····	197
三、弹带尺寸的确定·····	200
<b>第五章 弹丸的飞行性能设计</b> ·····	202
第一节 弹丸空气动力和力矩的计算·····	202
一、空气动力和力矩·····	202
二、弹丸的空气动力数据·····	205
三、旋转弹丸空气动力系数的计算·····	210
四、追击炮弹空气动力系数的计算·····	213
第二节 旋转弹丸的飞行稳定性·····	215
一、基本概念·····	215
二、弹丸的急螺稳定性·····	216
三、弹丸的追随稳定性·····	220
四、弹丸飞行稳定性的综合解法·····	222
五、动态稳定性·····	223
第三节 尾翼弹丸的飞行稳定性·····	225
一、尾翼弹飞行稳定性分析·····	225
二、追击炮弹的飞行稳定性计算·····	232
三、杆式尾翼穿甲弹飞行稳定性计算·····	235
四、尾翼破甲弹(亚声速)的飞行稳定性·····	239
五、杆形头部筒式弹的飞行稳定性·····	243
第四节 弹丸的射击精度分析·····	247
一、评定弹丸散布的指标·····	247
二、散布因素分析·····	251
<b>第六章 弹丸的威力设计</b> ·····	257
第一节 弹丸的威力指标·····	257
一、基本概念·····	257
二、弹丸威力指标的确定·····	259
三、弹丸的威力设计·····	260
第二节 榴弹爆破威力的计算与设计·····	261
一、概述·····	261
二、空气中爆炸计算·····	261
三、土壤中爆炸计算·····	268
四、爆破榴弹的威力设计·····	272
第三节 榴弹杀伤威力的计算与设计·····	273
一、概述·····	273
二、杀伤面积的计算·····	275
三、高射杀伤榴弹的威力指标·····	285
四、杀伤榴弹的威力设计·····	287
第四节 破甲弹威力的计算与设计·····	293

一、金属射流基本规律·····	293
二、破甲深度的计算·····	306
三、破甲弹的威力设计·····	310
第五节 穿甲弹的威力计算·····	317
一、杆式脱壳穿甲弹极限穿透速度的经验公式·····	317
二、长杆弹对三层间隔靶的穿透性计算·····	319
第六节 碎甲弹的威力计算·····	324
一、经验计算法·····	324
二、理论计算法·····	328
三、碎甲弹的设计要点·····	333
<b>第七章 子母弹设计</b> ·····	<b>334</b>
第一节 子母弹的结构设计·····	334
一、子母弹的结构特点·····	334
二、子母弹常用的开舱及抛射方式·····	335
第二节 子母弹的抛射弹道计算与分析·····	338
一、子母弹的弹道特性分析·····	338
二、抛射弹道计算·····	339
第三节 抛射强度校核计算·····	345
一、抛射时弹体强度计算·····	345
二、抛射时螺纹剪切强度计算·····	346
三、抛射时弹壁强度计算·····	347
四、抛射时推板强度计算·····	347
第四节 伞弹结构设计·····	348
一、伞弹的结构特点·····	348
二、降落伞系统结构概述·····	349
三、降落伞系统组成与结构·····	349
四、降落伞设计计算·····	350
<b>第八章 末敏弹设计</b> ·····	<b>356</b>
第一节 概述·····	356
第二节 末敏弹的作用原理·····	357
第三节 末敏弹稳态扫描设计参量选择·····	358
第四节 末敏弹结构设计·····	361
第五节 末敏弹弹道特性分析·····	362
一、末敏弹母弹飞行动力学模型·····	363
二、末敏弹子母弹抛射动力学模型·····	367
三、末敏子弹减速/减旋飞行动力学模型·····	370
四、末敏子弹稳态扫描段动力学模型·····	371
五、实际工况算例·····	375
第六节 末敏弹 EFP 威力计算·····	376



一、EFP 战斗部的成型模式 .....	377
二、EFP 战斗部设计 .....	381
<b>第九章 动能杆战斗部设计 .....</b>	<b>389</b>
第一节 概述 .....	389
第二节 穿甲战斗部作用原理 .....	390
一、靶板破坏的基本形式 .....	390
二、影响靶板破坏的基本因素 .....	391
三、倾斜穿甲与跳弹 .....	393
第三节 杆式穿甲弹总体参量选择 .....	395
一、材料选择 .....	395
二、杆式穿甲弹总体参量 .....	397
三、总体参量的选择 .....	402
第四节 杆式穿甲弹结构设计 .....	407
一、弹托 .....	407
二、定心部 .....	411
三、飞行部分 .....	411
四、弹带 .....	419
五、密闭装置 .....	419
第五节 发射安全性分析 .....	420
一、弹托在膛内的强度 .....	421
二、弹托在膛口的强度 .....	423
三、飞行部分在膛内的强度 .....	429
第六节 飞行稳定性计算 .....	431
一、稳定储备量 .....	431
二、飞行体摆动分析 .....	432
三、共振转速 .....	433
四、平衡转速 .....	434
第七节 穿甲战斗部威力计算 .....	436
一、穿透有限厚均质装甲板的经验公式 .....	436
二、我国的杆式弹极限穿透速度经验公式 .....	436
三、Tate 长杆弹极限穿透速度经验公式 .....	438
四、美国 BRL 的极限穿透速度经验公式 .....	439
<b>附录 迫击炮弹空气动力特征数表 .....</b>	<b>440</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>451</b>

# 第一章

## 弹药设计总论

各类武器系统的最终目的，在于杀伤敌方有生力量及摧毁各类战用目标，或者完成某些特定战术任务，所有这些都是依靠从武器中投射出各种类型的弹丸完成的。因此，对整个武器系统而言，弹丸是最核心的部分之一。

目前，炮弹仍然是战争中应用最为广泛的弹丸之一，它具有初速大、射击精度高、经济性好等特点。弹药设计理论就是根据弹丸在使用中的经验，通过理论的概括，提出适于各种弹丸设计方法的一门课程。

此外，弹丸设计中的许多课题，例如，弹丸结构设计，结构特征数计算，发射中的强度及装药安全性设计，飞行中的稳定性设计，弹道终点处的弹丸威力设计等，对于许多其他类型的弹丸或战斗部，也具有典型意义。因此，弹药设计理论在整个弹丸设计中占有相当重要的地位。

### 第一节 弹药设计全过程

弹丸设计与一般机器零件设计有很大不同，它不是一个单纯的工程设计过程，而是一个包括论证、设计、试验在内的研制过程。因此，在设计弹丸时，从任务的提出，直至产品定型，要求每一个环节都严格细致，切实准确。这个设计过程包括：调查研究，分析论证，设计计算，试制和试验等，实际上也是一个不断发展、完善的理论与实践相结合的过程。

一般说来，可以将弹丸的整个设计过程分为三大阶段：战术技术指标论证阶段；弹丸方案与技术设计阶段；试制、试验与鉴定定型阶段。

下面分别对这三个阶段的任务、职责进行介绍。

#### 一、战术技术指标论证阶段

根据长远发展规划或作战的需要：首先由国家有关领导部门提出研制某项新武器系统或新弹丸产品的任务；然后根据上级的意图提出相应的战术技术指标，例如，产品打击的主要目标，射程，威力，射击精度等。

正确的战术技术指标不仅应反映出新产品战术性能上的先进性，而且还应考虑技术实现上的可能性和生产中的经济性。这里必须指出，不恰当的指标，或各指标间不协调，都会给下一阶段的设计带来不利后果。例如，指标过低，不仅会使产品缺乏先进性，甚至会使研制出来的产品面临淘汰的局面；反之，指标过高，超出了目前的技术水平，又会加长研制周

期，直至不能完成规定的设计任务，造成人力、财力及时间上的极大浪费。由此可见，战术技术指标论证虽未正面影响弹丸的技术设计，却是弹丸研制过程中的重要环节。

在战术技术指标论证阶段，通过对敌我双方的战术研究和敌我双方现有武器性能的比较，以及敌方目标性能的研究，并在充分的理论分析和实际数据分析的基础上，将战术技术指标逐项确定下来，使设计任务趋于具体化。例如，在新火炮系统设计时，需要将弹丸口径、类型、质量等在战术论证阶段确定下来。

## 二、弹丸结构方案与技术设计阶段

这一阶段是弹丸设计的主体阶段。此阶段的任务是根据战术技术指标确定弹丸的结构方案，然后根据结构尺寸进行预示性计算，并验算结构是否满足战术技术指标的基本要求。

确定弹丸结构方案应包括以下内容：

- (1) 选择弹丸内的炸药类型，确定其质量，并考虑其装填方法。
- (2) 确定弹壳及零件的材料。
- (3) 选择弹丸的引信（一般在新火炮系统设计时，这项任务由引信设计单位完成，但弹丸设计组应提出必要的要求）。
- (4) 确定弹丸的结构特点和各部分的基本尺寸。

弹丸结构设计主要是在分析现有类似产品性能的基础上进行的。因此，首先应仔细分析现有产品的特点，研究历次试验的数据，了解它们在战斗使用中的优缺点，从而在新弹丸设计中，扬长避短，设计出性能更先进的产品；然后绘出弹丸的结构草图，此草图是设计者根据设计任务提出的最初的方案。草图应简单明了，草图上应标明弹丸各部主要尺寸、弹体、弹带材料和炸药种类，以及引信的外形图和注有概略尺寸的弹带图，以便进行下一步的计算和初步确定弹丸结构是否符合战术技术指标提出的要求。

计算工作通常包括以下内容：

- (1) 弹丸的构造特征数：弹丸质量、质心位置、极转动惯量和赤道转动惯量。
- (2) 利用这些数据进一步计算弹丸及零件的发射强度和炸药的安全性。
- (3) 计算弹丸在飞行时的空气阻力和飞行稳定性，必要时还应计算出弹丸的落点（或终点）等诸元。
- (4) 计算弹丸的终点弹道效应或威力指标。

上述计算是预示性的、粗略的。在某些情况下，甚至只能借助经验做定性的分析，或者辅以必要的模拟试验。通过计算：首先对不符合设计要求的尺寸或结构进行修改，以求得弹丸能在最大限度内满足战术技术指标所提出的一切要求；然后在此基础上绘出弹丸的技术设计图（应包括各零件图和装配图）。图纸上应标明尺寸公差及某些主要的技术要求，根据此图纸可以进行初步试制。

## 三、试制、试验与鉴定定型阶段

一般情况下，工厂应根据技术设计图纸进行初步试制。在制造过程中：首先应逐步明确某些技术规程、工艺工作细则和验收工艺规程，制造出的弹丸质量和特征数应满足技术设计图纸的全部要求；然后将这些为数不多的弹丸进行各种静态和动态试验，以考核设计出的弹丸结构在各方面是否符合要求。

基本的试验内容如下：

- (1) 弹丸结构特征数测定；
- (2) 弹丸发射强度及发射安全性试验；
- (3) 弹丸外弹道性能及射击精度试验；
- (4) 弹丸威力试验。

根据弹丸在试验中暴露出的问题，对弹丸结构进行必要的修改。应当边修改、边试验，直到基本满足战术技术指标为止。在此基础上绘制弹丸的试验批图纸，并按此图纸生产一批一定数量的弹丸，以备送入国家靶场对弹丸性能进行鉴定试验。

国家靶场根据所交图纸核验弹丸，并严格按照下达的战术技术指标逐项进行靶场试验，以鉴定弹丸的性能是否满足战术技术指标要求。当全部指标合格，并经上级批准，则设计弹丸即可最后定型，投入生产。

## 第二节 设计说明书与产品图

弹丸设计说明书是反映弹丸结构及技术设计的基本文件，它作为产品最重要的技术资料保存下来。设计说明书应以充分的论据，包括各种经验数据、试验数据和计算分析，说明设计弹丸在完成战术技术指标方面其结构的合理性和性能的先进性。设计说明书应当简单明了，分析论证充分，计算准确，设计思想明确，并能充分反映设计方面的主要内容：

产品图是设计的最终成果，也是该弹丸生产和检验的依据。完整的产品图应包括以下内容：

### (一) 零件图或零件毛坯图

图纸上应包括：

- (1) 充分标明各部分的尺寸及相应的公差；
- (2) 注明表面粗糙度要求；
- (3) 注明加工误差（包括同心度，偏心距等）的允许范围；
- (4) 注明零件所用材料及其力学性能要求；
- (5) 注明加工过程中必要的特殊检验项目（如弹体的水压试验、磁力探伤等）；
- (6) 提出热处理要求（如果有的话）。

### (二) 部件图

在弹丸生产过程中，对装配部件（如弹带压于弹体上）也应有一定的要求。一般地，在部件图上应标明各零件装配位置误差的允许范围、弹带的尺寸及公差、部件质量范围和表面处理（涂漆）要求等。

### (三) 弹体图

机械加工完成并装配好的弹体将送往装药工厂，并按装药弹体图的要求装填炸药。装药弹体图应标明的内容如下：

- (1) 炸药种类（包括配方要求），密度要求和装填方法；
- (2) 装填质量要求和抽验的方式；
- (3) 装填后弹体的质量要求和质量分级的规定。

#### (四) 标记图

装填炸药后，弹体表面还必须按弹丸标记图涂以必要的标记。在标记图上应当标明弹种代号、弹丸口径、炸药代号、装药的批号、年份及工厂代号、弹体质量符号等的标记字样、颜色及位置，并注明标记涂漆的配方要求。在一般情况下，涂完标记的弹丸装上防潮塞即可转入仓库保存。

#### (五) 靶场试验用图

在生产过程中，必须在每批中抽出一定数量（发数）的弹丸送至靶场进行射击检验。检验项目一般包括弹体、弹带发射强度、射击精度、炸药安全性和爆炸完全性等。检验时，应按靶场试验用图的要求进行。

在靶场试验用图上应标明以下内容：

(1) 弹丸的主要诸元（包括弹丸质量、炸药质量、引信质量、弹丸质心位置、转动惯量比、飞行稳定性系数或要求的炮口缠度、弹体的计算应力、炸药底层应力、计算膛压、初速等）。

(2) 全备弹丸（装有引信、炸药的弹丸）各重要结构尺寸及公差（包括弹丸全长、定心部及导带的直径、弹头部长、形状、弹尾部尺寸、尾锥角等）。

(3) 提出各试验项目的试验条件（试验用火炮，引信类别及装定方式，发射装药要求，试验发数及其他有关注意事项）。

(4) 明确各试验项目的合格条件。

### 第三节 对弹丸的要求

在战术技术论证阶段，通过周密的论证对设计产品提出全面的具体的战术技术指标或要求，这些要求也是设计各类弹丸的共性要求。

对弹丸的要求可分为战术技术要求及生产经济性要求两类。战术技术要求是从战斗性能和勤务处理方面对弹丸提出的要求；生产经济性要求是从生产制造方面对弹丸提出的要求。

#### 一、战术技术要求

一般战术技术要求包括：弹丸威力、外弹道性能、射击精度、射击和勤务处理时的安全性。

##### (一) 弹丸威力

弹丸威力是最主要的战术技术要求。弹丸对目标的威力越大，在相同条件下可以减少弹丸消耗量、火炮门数及完成战斗任务的时间。

弹丸威力即是它对目标的毁伤能力，它与弹丸类型、目标特性及射击条件有关。因此，在分析弹丸威力时必须结合目标进行考虑。

战场上的目标是多种多样的，对付目标的手段也是多种多样的。某些弹丸承担多项任务，要求在不同条件下能对付不同的目标；某些弹丸则用来对付一种目标。因此在设计弹丸时，必须首先进行目标分析，即分析目标的固有强度、生命力、运动性能，以及对弹丸作用方式的抵抗能力。

典型目标可分为以下四大类。

### 1. 人员

人员为有生力量,属于软目标。凡具有破片、冲击波、热及核辐射或生物化学战剂作用的弹丸,均可使人员伤亡。对于常规炮弹,其破片致伤是对付人员最有效的手段。一般认为,具有78 J动能的破片即可使人员遭到杀伤。精确地说,人员战斗力的丧失除与破片质量、速度有关外,还与人员的战斗任务及紧迫性有关。冲击波对人员的致伤主要取决于超压:当超压大于0.1 MPa,可使人员严重受伤致死;当超压小于0.02 MPa时,只能引起轻微挫伤。由于常规炮弹装填的炸药量较少,冲击波压力衰减极快,因此它对人员的杀伤只能作为一种附带的效应来考虑。

常规弹丸的热辐射对人员的伤害也是有限的,而且大部分是由于爆炸引起环境火灾所致,即所谓二次烧伤效应。例如,在丛林或茂密的植被战斗环境中,燃烧弹往往是对付人员目标的更有效的手段。

### 2. 车辆

车辆为地面活动目标,按照有无装甲防护可分为装甲车辆及无装甲车辆。装甲车辆包括坦克、装甲载运车及装甲自行火炮;无装甲车辆包括一般军用卡车、拖车、吉普车等。

坦克作为进攻性武器,承担强击任务,具有装甲面积大,甲板厚,抗弹能力强,火力猛,机动性好等特点。

目前,常用下列标准衡量坦克的失效等级。

- (1) 运动失效 (“M”级失效),即完全或部分失去运动能力;
- (2) 火力失效 (“F”级失效),即武器完全或部分失去射击能力;
- (3) 歼毁 (“K”级失效),即坦克被歼毁。

各种穿甲弹、破甲弹、碎甲弹在击中坦克时,可引起坦克不同程度的失效。爆炸冲击波直接作用于钢甲结构时,可使甲板产生强烈振动,引起内部设备严重破坏,或使某些运动部件(包括顶盖,履带,主炮滑行机构)运转失灵。

装甲载运车广泛用于野战之中,承担运载步兵、轻型火炮和战地救护等任务。除了上述反坦克弹丸可以使这类目标失效外,目前越来越重视利用榴弹对付这类目标。

### 3. 建筑结构

建筑结构为地面固定目标,包括各种野战工事,掩蔽所,指挥所,火力阵地,各种地面及地下建筑设施。爆炸冲击波以及火焰等是对付这类目标最主要的破坏手段:对于常规炮弹,由于装填的炸药量有限,主要适于对付轻型土木野战工事;对于地面目标,可通过弹丸在目标近处爆炸,利用爆轰产物的直接作用和空气冲击波的作用毁伤目标;对于地下或浅埋结构,由于其抗空气冲击波能力较强,这时可采用地下爆炸所形成的弹坑及土壤冲击波予以毁伤;对于某些易燃性建筑物也可采用引火的方式达到其毁伤效果。

### 4. 飞机

飞机作为空中活动目标,可分为战斗机(包括轰炸机、歼击机、强击机等)和非战斗机(包括预警机、侦察机、运输机等)两大类。战斗机的特点为体积小,航速高,机动性好,飞行高度大,有一定的防护能力,战斗机还装备各种攻击性武器。另外,飞机作为目标也有其脆弱性。由于在飞机设计中结构紧凑,载荷条件限制严格,使得飞机结构的抗武器打击能力有限,而且要害部位(如驾驶舱,仪表舱,发动机,储油箱,弹舱)的面积相对较大。这些部位的受损将导致整个飞机战斗力的失效,所以,对于飞机可采用多种手段予以

毁伤。

以典型的轰炸机为例，说明其易损性，特点如下：

- (1) 发动机（活塞式）发生机械损伤和起火；
- (2) 燃料系统被引燃或内部爆炸、漏油；
- (3) 飞行控制系统和翼面由于多次中弹造成的积累性机械损伤及控制失灵；
- (4) 液压系统及仪器设备容易引燃着火；
- (5) 弹舱及烟火舱被引爆和引燃；
- (6) 飞行员伤亡。

表 1-1 列出了不同杀伤手段对飞机各部分的易损性资料。

表 1-1 飞机各部分的相对易损性

杀伤手段 \ 目标部位	人员	燃料系统	动力装置		机体	武器装备及其他
			喷气式	活塞式		
燃烧子弹	高	不定	中等	低	轻微	高
爆破榴弹及燃烧榴弹	高	不定	高	高	不等	高
破片	高	不定	中等	低	轻微	中等
杆形破片	高	不定	高	高	高	高
外部爆炸波	轻微	轻微	轻微	轻微	中至高	中等

根据表 1-1 中的易损性，对于火炮弹丸，可以采用小口径爆破榴弹或燃烧榴弹通过直接命中或内部爆炸作用毁伤目标，也可以采用中口径近炸杀伤榴弹以破片的杀伤作用毁伤目标。

基于上述目标分析可知，不同类型的弹丸仅适于在一定射击条件下对付相适应的目标。弹丸的威力大小，应根据作用方式和目标的性质采用不同的标准衡量。

爆破榴弹主要借助于爆轰产物的做功能力和空气冲击波毁伤各类工事、装备、器材等。因此，爆破榴弹的威力决定于炸药的品种与质量。由于火炮弹丸的炸药量较小，其空气冲击波破坏能力随炸点距离的增大急剧减小。所以，作为爆破榴弹使用时，弹丸主要适于作为直接命中射击及内部爆炸的作用方式才最为有效。通常，以弹丸内的炸药当量（TNT）或土中爆坑容积作为爆破榴弹的威力指标。

杀伤榴弹主要利用破片杀（毁）伤人员、轻型车辆、飞机等目标。如上所述，不同目标有不同生命力及不同的坚固程度，对足以使目标致命的杀伤破片的大小和动能也有不同要求。因此，杀伤榴弹的威力指标通常用一定目标下的杀伤面积或杀伤半径衡量。为了提高杀伤榴弹的威力，弹丸结构应有利于产生尽可能多的、与目标相适应的、速度高的、外形好的杀伤破片数。例如，对于地面人员集群目标，可设计成内装大量预制箭形破片的霰弹结构，这种弹在目标上空适当高度处爆炸，其杀伤威力可以显著提高；又如，对于飞机、轻型车辆也可采用重型金属（如钨合金）预制破片的弹丸结构，通过近炸引信使弹丸在目标区内的最有利位置爆炸。尤其是用于击毁空中目标的弹丸，应尽量使其具有引燃作用，以提高弹丸的威力。



杀伤爆破弹用于对付范围较广的各型目标,具有综合的用途,既可对付土木工事、装备器材,又可对付人员,车辆,兼具爆破及破片杀伤双重作用。另外,它的破片宜由弹壳自然形成,大小齐备。这种弹丸虽然对每一种确定目标的杀伤能力有所降低,但具有供应与使用方便的特点。

穿甲弹依靠其碰击动能侵彻甲板,通常用弹丸对甲板的穿透能力衡量其威力。但是,因弹丸的碰击动能随射击距离的增大而减小,也就是说,弹丸威力与射距直接相关,因此,穿甲弹的威力常按下列方式提出:即在一定直射距离与一定靶板倾角条件下穿透给定厚度的靶板;有时也采用有效穿透距离指标,即保证穿透指定倾角和指定厚度靶板下的最大射距。这两种要求本质上是相同的。为了提高穿甲弹的威力,除了加大火炮能力、提高弹丸初速外,从弹丸结构来看,应尽可能加大弹丸的断面比重。次口径杆式超速脱壳重金属穿甲弹,就是适应这种要求而发展起来的结构。

破甲弹的威力要求与穿甲弹类同,但破甲弹的威力与火炮能力的直接关系不大,而取决于弹丸的装药结构。由于超高速的金属射流具有类似流体的特性,在侵彻过程中容易发生分散、弯曲、断裂等现象,因此,在对付爆炸反应装甲、复合装甲或非均质、非连续型的装甲结构时,其侵彻能力将受到明显的影响。

## (二) 外弹道性能

外弹道性能主要指射程、射高、直射距离等。这些性能是由设计弹丸的战术用途,以及火炮与目标在战场上的相对位置所决定的。由于战场纵深不断扩大,飞机性能和投弹技术进一步提高,以及坦克机动性和火力性能不断增大,迫切要求野战火炮弹丸的射程、高射弹丸的射高和反坦克弹丸的射距相应提高。

对于承担压制任务的地面榴弹,增大射程:有利于对敌方全部纵深内的目标进行射击;有利于集中大量炮火指向最主要目标;有利于在不变换发射阵地的条件下用炮火长期支援步兵进攻。火炮弹丸射程主要通过改善火炮结构,研制新型高能发射药来提高,但是往往会带来火炮机动性变坏的后果,然而从弹丸本身来看,其潜力是相当大的。例如,目前发展的低阻外形远程弹、底部排气增程弹、底排火箭复合增程弹,可在原基础上提高射程10%~50%。

承担防空任务的高射榴弹,若增大射高,则可提高火炮的火力空域,迫使敌方飞机的攻击高度加大,使其投弹命中率下降。

反坦克弹丸的直射距离和有效射程的关系尤为明显。直射距离是指最大弹道高不超过目标高(如2 m)的最大射程;有效射程是指在直射距离以内保证击毁给定目标的最大射程。直射距离通常针对破甲弹提出;有效射程主要针对穿甲弹提出。有效射程或直射距离越大,炮手可在更充裕的时间内对目标进行多发射击或机动,这在与坦克的高度对抗性作战中有重要意义。由于反坦克武器纵深梯次配置的要求,配置在前沿的反坦克武器(如破甲弹)必须轻便灵活。为了弥补武器能力的不足,进一步提高直射距离,可在破甲弹上采用简易的火箭增程技术。

## (三) 射击精度

射击精度是弹丸主要战术技术指标之一,射击精度是指在相同的射击条件下,弹着点(或炸点)的密集程度。射击精度对弹丸的战斗性能具有重要影响:它不但在射击时可以减少弹丸消耗,缩短战斗时间,同时在配合步兵进攻时也可以增大士兵在弹幕后面的安全距离;在反坦克作战中提高首发命中概率。



射击精度的特征量通常采用距平均弹着点的距离中间误差描述。对于地面榴弹，以地面上全射程（最大射程） $x$  上的距离中间误差  $E_x$  或距离相对中间误差  $E_x/x$ ，以及方向中间误差  $E_z$  为指标。

杀伤爆破榴弹为

$$E_x/x = \frac{1}{200} \sim \frac{1}{150}$$

$$E_z = 13 \sim 18 \text{ m}$$

爆破榴弹为

$$E_x/x = \frac{1}{240} \sim \frac{1}{180}$$

$$E_z = 12 \sim 18 \text{ m}$$

混凝土破坏弹为

$$E_x/x = \frac{1}{340} \sim \frac{1}{230}$$

$$E_z = 9 \sim 14 \text{ m}$$

对于直接瞄准射击的反坦克弹丸，以直射距离（或有效射程）上立靶内的方向中间误差  $E_z$  及高低中间误差  $E_y$  为指标。

穿甲弹为

$$E_y = E_z = 0.2 \sim 0.4 \text{ m}$$

破甲弹为

$$E_y = E_z = 0.4 \sim 0.5 \text{ m}$$

对于小口径着发高射榴弹，常用一定射距上的立靶精度  $E_y$ 、 $E_z$  衡量，其值一般为  $E_y = E_z = 0.7 \text{ m}$  左右（1000 m 立靶）。

对于中口径近炸高射榴弹，则可用炸点处弹道切线法面内的高低、方向和距离中间误差作为指标。

总的说来，引起弹丸射击散布的原因包括：瞄准系统（包括射击指挥仪）的误差，火炮及弹丸的误差，气象条件的偶然变化。就弹丸来说，弹丸质量偏心，气动外形上的不对称，弹丸导引部结构上的不完善等原因，使弹丸飞行不稳定是引起弹丸散布的主要原因，弹丸质量上的差别也有一定影响。为了减小弹丸的散布，关键在于设计合理的弹丸导引部和适当控制弹丸的尺寸精度，以提高弹丸的飞行稳定性。

#### （四）射击和勤务处理时的安全性

弹丸在射击和勤务处理时的安全性有着重要的意义。这里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，大多会使炮身炸裂或炮手伤亡，因此必须特别注意。膛内不完全早炸的危险性虽然较小，但也可能引起炮身损坏。

从弹丸本身结构或制造工艺来看，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而使火药气体钻入弹体内部，底螺等部件连接处的密封程