

弹丸设计理论

魏惠之 朱鹤松 汪东晖 都兴良 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍弹丸设计的一般原理和计算方法。

全书分五章，第一章为总论；第二章介绍弹丸总体方案设计，各类弹丸的结构特点，以及结构特征数计算；第三章阐述弹丸的膛内设计，包括弹丸发射安全性及膛内运动正确性分析；第四章论述弹丸的飞行性能设计，包括气动力计算，稳定性计算及散布分析；第五章讨论弹丸的终点效应设计，包括各类弹丸的威力指标计算等。书末附有弹丸设计中的常用程序及气动系数数据。

本书为高等院校弹药工程专业的教材，亦可作为弹药工程技术人员的参考用书。

弹 丸 设 计 理 论

魏惠之 朱鹤松 汪东晖 都兴良 编著

责任编辑 崔金泰

*

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

*

787×1092 1/16 印张 22 3/4 529千字

1985年12月第一版 1985年12月第一次印刷 印数：0,001—1,390册

统一书号：15034·3006 定价：4.65元



前 言

炮弹乃是战争中应用最广泛的弹药之一。编写本书的目的在于研究炮弹弹丸的设计原理,并介绍适于各类弹丸的一般设计方法。

任何性能良好的弹丸必需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,拟定出弹丸的最优结构。这也就是本书所研究的全部内容。

本书作为弹药专业的教材,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,弹丸作用原理,以及炸药、引信和火炮方面的专业基础知识。本书亦可作为从事弹药生产和研究的科技人员的参考用书。

本书采用国际单位制。书后附有弹丸设计中的常用计算机程序。应说明的是,书中选用的例题其数据并非实际弹丸数据,仅供参考。

本书由华东工学院202教研室魏惠之(第一、五章)、朱鹤松(第三章及附录)、汪东晖(第四章)、都兴良(第二章)等同志编写。其中,魏惠之同志任主编,朱鹤松同志任副主编。全书由中国兵工学会弹药学会主任许峭子同志主审。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 弹丸设计总论

- 一、弹丸设计全过程 1
- 二、弹丸设计说明书与产品图 3
- 三、对弹丸的要求 4

第二章 弹丸结构的确定

- 第一节 弹丸总体方案的选择 10
 - 一、弹丸口径的选择 10
 - 二、弹种的选择 10
 - 三、稳定方式的选择 12
 - 四、弹丸质量的选择 14

第二节 旋转稳定弹丸的结

构方案确定 20

- 一、一般旋转稳定弹丸的结构 20
- 二、远程形弹丸的结构 30
- 三、底部排气弹的结构 36
- 四、弹丸零件的结构 42

第三节 尾翼弹的结构方案确定 46

- 一、迫击炮弹的结构 46
- 二、张开式尾翼弹的结构 55
- 三、杆形头部尾翼弹的结构 66
- 四、次口径脱壳尾翼弹的结构 70

第四节 弹丸结构特征数的计算 73

- 一、基本计算法 73
- 二、经验计算法 77

第五节 弹丸的材料、炸药

和引信的选择 78

- 一、材料的选择 78
- 二、炸药的选择 79
- 三、引信的选择 79

第三章 弹丸发射安全性及膛内

运动正确性分析

第一节 发射时所受的载荷 84

- 一、火药气体压力 85

- 二、惯性力 87
- 三、装填物压力 90
- 四、弹带压力 93
- 五、不平衡力 100
- 六、导转侧力 108
- 七、摩擦力 111

第二节 弹丸发射时安全性分析 111

- 一、发射时弹体的应力与变形 112
- 二、发射时弹体强度计算 123
- 三、弹底强度计算 131
- 四、弹丸零件的强度计算 150
- 五、装填物安全性计算 157

第三节 弹丸强度的有限元

法计算 159

- 一、有限元法的基本概念 159
- 二、轴对称问题的有限元法 160
- 三、弹丸所受载荷的等效节点力 162
- 四、弹塑性问题的有限元法 164
- 五、计算实例 168

第四节 弹丸膛内运动正

确性分析 173

- 一、旋转弹丸膛内运动分析 173
- 二、迫击炮弹膛内运动分析 177

第五节 弹带设计 187

- 一、弹带的膛内性能 187
- 二、弹带的膛外性能 189
- 三、弹带尺寸的确定 192

第四章 弹丸的飞行性能设计

第一节 弹丸空气动力和力

矩的计算 194

- 一、空气动力和力矩 194
- 二、弹丸的空气动力数据 196
- 三、旋转弹丸空气动力系数的计算 201
- 四、迫击炮弹空气动力系数的计算 204

第二节 旋转弹丸的飞行

稳定性 206

- 一、一般概念 206
- 二、弹丸的急螺稳定性 207
- 三、弹丸的追随稳定性 211
- 四、弹丸飞行稳定性的综合解法 213
- 五、动态稳定性 214

第三节 尾翼弹丸的飞行

稳定性 216

- 一、尾翼弹飞行稳定性分析 216
- 二、迫击炮弹的飞行稳定性计算 223
- 三、杆式尾翼穿甲弹飞行稳定性计算 226
- 四、尾翼破甲弹(亚音速)
的飞行稳定性 229
- 五、杆形头部筒式弹的飞行稳定性 232

第四节 弹丸的射击精度分析 236

- 一、评定弹丸散布的指标 236
- 二、散布因素分析 240

第五章 弹丸的威力设计

第一节 弹丸的威力指标 246

- 一、基本概念 246
- 二、弹丸威力指标的确定 248
- 三、弹丸的威力设计 249

第二节 榴弹爆破威力的

计算与设计 250

一、概述 250

二、空气中爆炸计算 250

三、土壤中爆炸计算 257

四、爆破榴弹的威力设计 260

第三节 榴弹杀伤威力的

计算与设计 261

一、概述 261

二、杀伤面积的计算 263

三、高射杀伤榴弹的威力指标 274

四、杀伤榴弹的威力设计 275

第四节 破甲弹威力的计算与设计 281

一、金属射流基本规律 281

二、破甲深度的计算 294

三、破甲弹的威力设计 298

第五节 穿甲弹威力计算 305

一、杆式脱壳穿甲弹极限穿

透速度的经验公式 305

二、长杆弹对三层间隔靶的穿透性计算 307

第六节 碎甲弹威力计算 312

一、经验计算法 312

二、理论计算法 316

三、碎甲弹设计要点 320

附录 322

附录一 弹丸设计应用程序介绍 322

附录二 迫击炮弹空气动力

特征数表 350

第一章 弹丸设计总论

各类武器系统的最终目的，在于杀伤敌方有生力量及各类战用目标，或完成某些特定战术任务。所有这些都是在武器中投射出各种类型的弹药来完成的。因此，就整个武器系统而言，弹药是其中最核心的部分。

弹丸设计理论仅研究各类身管炮（包括一般火炮、无座力炮、迫击炮）弹丸的设计。至目前为止，炮弹依然是战争中应用最为广泛的弹药之一，它具有初速大，射击精度高，经济性好等特点。弹丸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：如弹丸结构设计，结构特征数计算，发射中的强度设计，飞行中的稳定性设计，在弹道终点处的威力设计等，对于许多其他类型的弹药或战斗部，亦具有典型意义。因此，弹丸设计理论在整个弹药设计中占有相当重要的地位。

一、弹丸设计全过程

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。

我们知道，战争中弹药的消耗量极大。例如，仅就第一次世界大战的统计资料，炮兵弹药的消耗总量至少达10亿发以上。由于弹药的生产、储备和消耗量都非常大，所以弹丸设计中的任何差错，乃至性能上的不完善，都将引起战术上的、经济上的、直至政治上的不堪设想的后果。因此，在设计弹丸时，从任务的提出，直至产品定型，要求每一个环节都应严格细致，切实准确。这个设计过程包括调查研究，分析论证，设计计算，试验和试制等，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个大的阶段：即战术技术指标论证阶段；弹丸方案及技术设计阶段；试验、试制与鉴定定型阶段。

下面分别就这三个阶段的任务、职责作一介绍。

（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，先由国家有关领导部门提出研制某项新武器系统或新弹药产品的任务，然后依据上级的意图提出相应的战术技术指标，诸如产品对付的主要目标，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。这里必须指明，不恰当的指标，或各指标间不协调，都会给下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，甚至使研制出的产品面临淘汰的局面。反之，指标过高，超出了当前先进技术的现况，又会加长研制周期，直至不能完成规定的任务，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触及弹丸的技术设计，但它是弹丸研制过程中的重要环节。

在战术技术论证阶段,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、重量等在战术论证阶段确定下来。

(二) 弹丸方案及技术设计阶段

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:

- i) 选择弹丸内的炸药类型,确定其质量,并考虑其装填方法;
- ii) 确定弹壳及零件的材料;
- iii) 选择弹丸的引信(一般在新火炮系统设计时,这一任务由引信设计单位担任,但弹丸设计组应提出必要的要求);
- iv) 确定弹丸的结构特点和各部的基本尺寸。

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,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,设计出性能更优越的产品。

最后,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草拟方案。草图应简单明瞭,其上应载明弹丸各部主要尺寸,弹体、导带材料和炸药种类;以及引信的外形图和注有概略尺寸的导带图,以便进行下步的技术计算,和初步确定弹丸结构是否符合战术技术指标提出的要求。计算内容通常包括:

- i) 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;
- ii) 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;
- iii) 计算弹丸在飞行时的空气阻力和飞行稳定性。必要时还应算出弹丸的落点(或终点)诸元。
- iv) 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,甚至只能借助经验作定性的分析,或者辅以必要的模拟试验。通过计算,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纸——应包括各零件图和装配图。图纸上应标出尺寸公差及某些主要的技术要求。根据此图可以进行初步试制。

(三) 试制、试验与鉴定定型阶段

工厂根据技术设计图纸进行初步试制。在制造过程中,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射击试验,以考核设计计算出的弹丸结构在各方面是否符合要求。基本的试验内容有:

- i) 弹丸结构特征数测定;
- ii) 弹丸发射强度试验;
- iii) 弹丸外弹道性能及射击精度试验;
- iv) 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。应边修改，边试验，直到基本满足要求为止。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作鉴定试验。

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。

二、弹丸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被保存下来。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要求方面其结构的合理性，性能的先进性。说明书应简单明瞭，分析论证充分，计算准确，设计思想明确，并能充分反映出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几部分：

（一）弹丸的零件图或零件毛坯图

图纸上应包括

- i) 充分标明各部的尺寸及相应的公差；
- ii) 注明光洁度要求；
- iii) 注明加工误差（同心度，偏心距等）的允许范围；
- iv) 注明零件所用材料及其机械性能要求；
- v) 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）；
- vi) 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（如导带压于弹体上）亦应有一定的要求。一般，在部件图上应注明各零件装配位置误差的允许范围，导带的尺寸及公差，部件重量范围和涂漆要求等。

（三）装药弹体图

机加完毕并装配好的弹体将送往装药工厂，并按装药弹体图纸的要求装填炸药。装药弹体图纸应载明：

- i) 炸药种类（包括配方要求），比重要求和装填方法；
- ii) 装填质量要求和抽验的方式；
- iii) 装填后弹体的重量要求和重量分级的规定。

（四）弹丸标记图

装填炸药后，弹体表面还必须按弹丸标记图涂以必要的标志。在标记图上应标明弹种代号、口径、炸药代号、装药的批号、年份及工厂代号、弹重符号等的标记字样、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至工厂靶场作射击检验。检验项目一般有弹体、导带发射强度、射击精度、炸药安全性和爆炸完全性等项。检验时，按靶场试验用图的要求进行。在靶场图纸上应载明：

i) 弹丸的主要诸元（包括弹丸重量、炸药重量、引信重量、弹丸重心位置、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）；

ii) 全备弹丸（即装有引信、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）；

iii) 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）；

iv) 明确各试验项目的合格条件。

三、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两大类，即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，后者则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。

1. 弹丸威力

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

弹丸威力亦即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来考虑。

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(详见第五章)。冲击波对人员致伤主要取决于超压。当超压大于0.1MPa,可使人员严重受伤致死;超压低于0.02~0.03MPa时,则只能引起轻微挫伤。由于常规炮弹装填的炸药量较少,冲击波压力衰减极快,所以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而致,亦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更有效的手段。

(2) 车辆

车辆为地面活动目标,按有无装甲防护又分为装甲车辆及无甲车辆。前者包括坦克,装甲载运车及装甲自行火炮;后者包括一般军用卡车、拖车、吉普车等。

坦克为进攻性武器,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。常用下列标准来衡量坦克的失效等级:

- i) 运动失效(或“M”级失效),即完全或部分失去运动能力;
- ii) 火力失效(“F”级失效),即其武器完全或部分失去射击能力;
- iii) 歼毁(“K”级失效):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,或某些运动部件(包括顶盖、履带,主炮滑车机构)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,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,目前愈来愈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质野战工事。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来毁伤目标;对于地下或浅埋结构,由于其抗空气冲击波能力较高,这时可采用地下爆炸所形成的弹坑及土壤冲击波给予毁伤;对于某些易燃性建筑物亦可采用引火的方式达到其毁伤效果。

(4) 飞机

飞机为空中活动目标,分为战斗机(包括轰炸机、歼击机、强击机等)和非战斗机(包括侦察机、运输机等)两大类。这类目标的特点为体积小,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。另一方面,空中飞机作为目标亦有其脆弱性。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能力有限,而且要害部位(如驾驶舱,仪表舱,发动机,贮油箱,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给予毁伤。

以典型的轰炸机的为例,来说明其易损性有如下特点:

- i) 发动机(活塞式)由于机械损伤和起火;
- ii) 燃料系统被引燃或内部爆炸、漏油;

- iii) 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;
- iv) 液压系统及仪器设备易引燃着火;
- v) 炸弹舱及烟火舱被引爆和引燃;
- vi) 飞行员伤亡。

表1-1列出了不同杀伤手段对飞机不同部位的易损性经验资料。

表1-1 飞机各部分的相对易损性^[6]

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
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	中高

根据上述易损性数据,对于火炮弹药,可以采用小口径爆炸榴弹或燃烧榴弹通过直接命中或内部爆炸作用来毁伤目标;亦可采用中口径近炸杀伤榴弹以破片的杀伤作用来毁伤目标。

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用不同的标准来衡量。

爆破榴弹主要借助于爆轰产物的作功能力和空气冲击波来毁伤各类工事、装备、器材等。因此,爆破弹的威力决定于炸药的数量与质量。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,作为爆破弹使用时,弹丸主要适于作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量(TNT)或土中爆坑容积作为爆破弹的威力指标。

杀伤榴弹主要利用破片场来杀(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亦有不同要求。因此,杀伤弹的威力指标通常用一定目标下的“杀伤面积”或“杀伤半径”来衡量。为了提高杀伤弹丸的威力,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作用,其杀伤威力可以显著提高。又如,对于飞机、轻型车辆亦可采用重型金属(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,即可对付土木工事、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、使用方便的特点。

穿甲弹依靠其碰击动能来侵彻甲板。通常用弹丸对甲板的穿透能力衡量其威力。但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甲板下的最大射距。这两种提法本质上都是相同的。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。

2. 外弹道性能

外弹道性能主要指射程、射高、直射距离等。它是根据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，以及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，有利于对敌人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，可在原基础上提高射程 10~30%。

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。

反坦克弹丸的有效射程和直射距离的关系尤为明显。所谓直射距离是指最大弹道高不超过目标高（目前定为 2 米）的最大射程；而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。前者通常针对破甲弹提出；后者主要对穿甲弹提出。有效射程或直射距离愈大，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（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。

3. 射击精度

射击精度是弹丸主要战术指标之一。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药消耗，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来描述。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 E_x/X （距离相对中间误差）及方向中间误差 E_z 为指标，通常有：

$$\text{杀伤爆破榴弹} \quad E_x/X = \frac{1}{150} \sim \frac{1}{200}, \quad E_z = 13 \sim 18 \text{m}$$

$$\text{爆破榴弹} \quad E_x/X = \frac{1}{180} \sim \frac{1}{240}, \quad E_z = 12 \sim 18 \text{m}$$

混凝土破坏弹 $E_x/X = \frac{1}{230} \sim \frac{1}{340}$; $E_z = 9 \sim 14\text{m}$

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,通常有:

穿甲弹: $E_y = E_z = 0.2 \sim 0.4\text{m}$;

破甲弹: $E_y = E_z = 0.4 \sim 0.5\text{m}$ 。

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 来衡量,其值一般为 $E_y = E_z = 0.75\text{m}$ 左右(1000m 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。

引起弹丸射击散布的原因总的说来来自三个方面: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。

4. 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,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。

为杜绝弹丸发生早炸,除严格遵守射击有关规定外,从弹丸本身讲应注意以下几点:

- 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,既不与相接触的金属或材料互起化学反应;
- iii) 生产过程中,严格遵守合理的技术规程。

对于毒气弹、烟幕弹、照明弹,应严格检查和保证其装填物的密封性。可以在零件结合部涂敷特殊油灰和加以滚边。装填物的安全性取决于原产品的制造纯度、感度以及它与弹丸零件材料发生化学作用的能力。当弹丸上有塑料零件,还应注意塑料零件的抗老化性能。

(二) 生产经济要求

由于弹丸生产具有大规模特点。所以,不仅要求弹丸有良好的战术技术性能,而且还应满足下列生产经济性要求。

1. 弹丸结构工艺性

弹丸结构是根据其战斗用途确定的,但在弹丸设计中,必须考虑到弹丸零件制造与

装药的简便。在保证弹丸战斗性能的前提下,弹丸结构应尽量简单,以便于加工;在确保战术技术要求及互换性条件下,零件尺寸应采用最大的公差;弹丸重量公差与尺寸公差应尽量协调一致,并避免采用复杂工艺;必须采用热处理工艺时,应选择合理的热处理规。必须指出,弹丸的结构工艺性不是绝对的,它是随着生产中的技术设备和工艺水平的发展而变化的。例如,在有些情况下,将整体弹壳分为头螺、弹体或底螺等组件有利于装药;而在另一些情况下,采用整体弹壳又利于缩短生产周期,降低成本,提高劳动生产率。因此在考虑结构工艺性时,必须紧密结合国内弹丸生产厂的技术设备特点和生产状况。

2. 弹丸及其组件的统一化

为了发挥弹丸的最大效力,以使用不同弹丸来对付不同目标,因而弹丸品种愈来愈多。例如美 155mm 榴弹炮配用弹丸达二、三十种之多。弹丸种类过多会导致供应与使用上的不便。将数种战斗性能兼备于同一弹丸上,称为弹丸的统一化。

例如杀伤作用与爆破作用兼备的杀伤爆破榴弹就是统一化的弹丸;杀伤燃烧高射榴弹也是一例。弹丸的统一化不论对简化生产,方便供以及战斗中有效使用都有很大意义。由于统一化弹丸具有数种作用,故每一种作用将较相应的专用弹丸的威力有所降低。这一缺点是使弹丸广泛统一化的障碍。

同样,将弹丸上各种组成零件(弹壳、头螺、底螺……等)通用于不同类型弹丸上,称为弹丸零件的统一化。设计新弹丸时,可以考虑采用现已生产的其他弹丸的组成零件。这样,在很大程度上简化了弹丸的生产过程。

3. 原材料资源丰富

生产弹丸要消耗大量各种不同的金属,特别是钢材和紫铜。例如 1940 年,苏联为了生产弹药曾消耗了 83 万吨黑色金属;1942 年达到 184 万吨,1943 年达到 244 万吨。这是一个庞大的数字。因此,正确选用弹丸材料具有十分重要的意义。

选择弹丸原材料必须立足于国内资源,其来源应丰富,且容易获得。榴弹弹体大多选用不同牌号的碳钢,而导带采用紫铜或 96 黄铜。为了进一步节约钢材或紫铜,应当积极寻找更为价廉的代用材料。例如可采用稀土球墨铸铁代替部份碳钢,采用其他塑料代用品代替紫铜或铜合金材料制作导带。

(三) 正确处理各要求间的关系

以上从各方面对弹丸提出了不同的要求。每种弹丸都必须满足上述各方面的要求。当然要全做到这点是困难的。这是因为,满足这些要求的条件,常常互相矛盾,互相制约。因此,重要的问题在于如何去正确认识这些矛盾,分清矛盾主次,以便正确处理矛盾,最有效地满足对弹丸的各种要求。

以爆破弹为例,为增大弹丸威力,可通过减薄弹壳或加大弹长来增加炸药量。但是如果这些措施处理不当,往往会因此减低弹丸的安全性,或增大空气阻力,恶化弹道性能。又如在某些火炮系统内,达到最大射程的弹丸,或因弹重过小,而不具备足够的威力,或因弹重过大而无法稳定飞行。在这种情况下,不得不放弃从理论上求得的对应于最大射程的弹重,以保证必要的威力或飞行稳定性。

正确地满足各项要求的原则是:在兼顾一般战术技术要求的基础上,应充分满足最主要的战术指标要求。在此前提下,可着重考虑生产经济性要求。一般说来,生产经济性要求应服从战术技术要求。

第二章 弹丸结构的确定

第一节 弹丸总体方案的选择

弹丸设计的第一步即总体方案设计。所谓弹丸的总体方案设计，是根据战术技术要求来拟定弹丸最合适的口径、弹种、结构类型及弹丸质量。即：

- 1) 弹丸口径的选择；
- 2) 弹种的选择；
- 3) 弹丸结构类型的选择；
- 4) 弹丸质量大小的选择。

一、弹丸口径的选择

弹丸口径是弹丸总体设计的重要参数。

弹丸口径决定于设计弹丸所要求的威力，战斗使用条件和火炮的必要射速。弹径和弹种要同时进行选择。

一般说来，口径愈大其威力亦愈大。然而弹丸口径愈大，火炮的运动性能通常要变差，装填也较困难，射速将减低。

在通常情况下，弹径的选择要符合装备口径序列的要求，不能随意制定新口径。如果确系需要设计新的口径，应当经过周密论证，并报上级批准。

二、弹种的选择

(一) 弹种选择原则

弹种的确定是在分析下列问题基础上进行的：

- 1) 欲摧毁或杀伤的目标性质；
- 2) 弹丸的现有技术水平与利用新技术的途径。

目标性质包括目标的类型，目标强度，目标的运动性，目标的大小及在战场上的位置等。在详细分析的基础上确定要求的弹种、威力、射程、射击精度以及火炮的速射性。

在分析现有弹丸的技术水平基础上，考虑到使用新技术、新原理的可能性，以便正确地决定弹丸的威力、射程、射击精度和速射性等指标。

(二) 根据目标性质来选择弹种

对付有生目标，可以选用榴弹、群子弹、榴霰弹、杀伤子母弹和杀伤布雷弹等。对所有距离上的暴露的有生目标和在轻型掩蔽物后面的目标，几乎均可选用榴弹。在近距离上对付有生目标还可选用群子弹和杀伤榴霰弹。

群子弹主要用于自卫。榴霰弹采用时间引信，可以装定，用于杀伤暴露人员和密林内的人员。

杀伤子母弹和杀伤布雷弹是大口径火炮上的新弹种，它们对人员的杀伤面积较大，效

果较好。

对于装甲目标,可选用各种穿甲弹、破甲弹和碎用弹等。

穿甲弹的种类很多。对付坦克,当前主要发展杆式脱壳穿甲弹。弹托采用马鞍形或双锥形的铝合金弹托,并以碳化钨、钨合金或贫铀作弹体(或用钨金属),增强燃烧作用。这种弹配用于大威力的线膛炮或滑膛炮上,直接瞄准射击。其初速高,穿甲威力大。带钨球的穿甲子母弹还可用于间接瞄准射击。

破甲弹是靠金属流来穿甲,它对弹丸速度没有过高要求,因而可以配用于各种火炮上。从几百米的近战武器到几千米的导弹战斗部,几乎都可采用破甲战斗部。现在各种类型的破甲弹结构已得到广泛的应用,而且又将破甲原理用于子母弹上,制成反装甲子母弹或反装甲布雷炮弹。

反装甲子母炮弹采用时间引信。子弹在预定时间从母弹内抛出。由于母弹旋转所产生的离心力作用,可将子弹抛散在目标区较大的范围内。子弹上装有起稳定作用的尼龙带,在子弹被抛出时,尼龙带展开,使子弹能较准确地落到目标上。这对于攻击坦克顶装甲是很有利的。

反坦克子母弹由于可用于大威力远射程火炮上,以间接瞄准射击对付装甲目标。因而增大了反坦克炮的射程和使用范围。

碎甲弹用于直接瞄准射击,其优点是不受着角大小影响,并具有很大的震撼作用。它对于目前的复合装甲或屏蔽装甲的作用效果较差,因而应用受到一定限制。

对于空中目标,可以选择装近炸引信、时间引信或着发引信的榴弹、穿甲弹和燃烧弹。一般中、大口径高射炮广泛使用定时作用的榴弹。而小口径高射炮,则大量使用曳光燃烧榴弹和穿甲弹等。

对于观察敌人行动和对敌射击效果可选用照明弹和电视侦察弹。照明弹现已普遍采用二次抛射机构和新的照明剂,从而大大提高照明效果。电视侦察弹是利用照明弹的二次抛出机构和电视技术发展起来的。

(三) 根据技术发展来选择弹种

随着科学技术的发展,炮兵武器正在经历着深刻的变化。近十多年来,炮兵弹药发展很快,出现了很多威力大、射程远、精度高的新弹种。炮兵弹药的发展给炮兵武器提供了新的作战能力,提高了炮兵在现代战场上的作用。今天大口径火炮除能发射榴弹、发烟弹、照明弹和化学弹外,还能发射子母弹、布雷弹、中子弹、末端制导炮弹、传感器侦察弹和电视侦察炮弹等。这样就使火炮系统能完成多种战斗任务。

当前弹药出现的许多新型弹种,在性能上大致可分为增大射程,提高威力和精度等三方面。

1. 增大射程

为了适应战场纵深不断加大的趋势和增加火力,提高火炮在战场上的生存能力,都要求增加弹丸射程。增大射程一般有三种途径:通过增大火炮初速的“武器解决办法”;通过增大弹丸飞行速度的“火箭助推解决办法”;通过减少飞行阻力的“弹道解决办法”。增大射程要从炮、弹、药三方面综合考虑。这里只讨论弹的情况。

火箭增程弹是在弹丸后部加一火箭发动机,增加弹丸飞行速度,增加射程。它不仅采用在远程榴弹上,而且也采用于迫击炮弹上和在近程直接瞄准的反坦克破甲弹上。

减少飞行阻力的弹种有底凹弹、远程形弹丸、底部排气弹等。

底凹弹是在弹底上装上底凹件，并合理的安排了弹丸的结构，以减少空气阻力与提高弹丸的飞行稳定性。远程形弹丸改进了弹型与结构，增加了弹头部长长度与全弹长，减少了空气阻力。它分为远程全膛弹与远程次膛弹。

底部排气弹是弹丸在飞行中可由底部排出火药气体，增加底压，以减少底阻来提高射程。例如有的弹型可达到增程30%的效果。另外，对于利用外部燃烧原理的底排弹和一些特殊船尾的弹丸，也已进行了研制和试验。

次口径远程弹是利用大口径火炮发射重量较轻而弹径较小的一种弹丸。这样弹丸的初速大而飞行阻力却很小。它分为尾翼稳定和旋转稳定两种类型，都有明显的增程效果。

2. 提高威力

七十年代以来，新装备的火炮大都装备了威力更大的榴弹。因此，提高弹丸威力的措施主要是采用高破片率钢做弹体材料，减薄弹壁，并装填威力大的炸药。当前普遍使用B炸药，杀伤爆破威力比旧式榴弹提高1~2倍。而榴霰弹、杀伤子母弹的威力进一步得到提高，其威力有的比旧式榴弹可提高7~8倍。

用大口径火炮还可发射打击集群坦克的反装甲子母弹与反坦克布雷弹。这种布雷弹是对旧式地雷的重大突破，其布雷方式也新颖别致。它既可用于进攻，阻止敌人退却；也可以用于防御，杀伤敌方有生力量和破坏其技术装备。

用于直接瞄准的反坦克弹药，除破甲弹外，主要采用各种脱壳穿甲弹，也称动能弹。

为了更有效地发挥炮兵武器的效能，就必须提高侦察和搜索目标的能力。其中措施之一就是选用能探测音响、震动的传感器炮弹。这种弹用传感器的灵敏度很高，能分辨出轮式车、履带车和人员，可用来监视道路、障碍区、布雷场、渡口、桥梁、机场和空降地带，以及用于指示目标等。另外还有一种电视侦察炮弹，它是在炮弹内装上微型电视摄像机，用来拍摄地形和地面作战活动，然后发送回基地。

3. 提高精度

在火炮弹丸与迫击炮弹上采用闭气环结构可提高射击精度，并能延长火炮使用寿命。在一些尾翼弹上采用低速旋转结构，也可提高射击精度。也有在尾翼弹头部装置简单的鸭式翼，以提高抗马格努斯力矩的作用。

随着火炮射程的增大，射弹散布也必然增大，所以要从根本上提高射击精度，使野战炮兵成为有效的反坦克武器，就需要提高首发命中率，发展末端制导炮弹。

三、稳定方式的选择

弹丸稳定方式分为旋转稳定与尾翼稳定两类。

弹丸稳定方式决定于弹丸性能要求和火炮类型。如一般榴弹用线膛炮发射，采用旋转稳定；迫击炮弹用滑膛炮发射，采用尾翼稳定；某些破甲弹较长，或带有增程火箭，用同口径尾翼不能满足稳定性要求，可采用张开式尾翼；某些脱壳穿甲弹要求比动能和长细比都较大，而旋转稳定无法达到稳定性要求，就可采用尾翼稳定。总之稳定方式的选择与弹种、结构诸方面有关。

稳定方式不同，弹丸在飞行中受的空气阻力也不同。图(2-1-1)所示为几种不同类型弹丸的稳定方式及其阻力系数的比较^[4]。现将各种结构弹丸的特点分述如下：