



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

弹药学

Ammunition Theory

尹建平 王志军 主编

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



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

弹药学

尹建平 王志军 主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书为国家出版基金资助项目和“十二五”国家重点图书出版规划项目之一。全书共有十八章，主要内容包括：弹药及其发展，目标类型及其特性，弹药的组成、分类及作用，对弹药的要求，弹药的研究、设计、制造与验收，榴弹、穿甲弹、破甲弹、碎甲弹、子母弹、特种弹、追击炮弹、火箭弹、末敏弹、末制导炮弹、弹道修正弹、防空反导弹药、燃料空气弹药、软杀伤弹药、航空炸弹、智能地雷、硬目标侵彻弹药和活性材料结构弹药等的结构与作用原理。

本书可作为高等院校弹药工程与爆炸技术、探测制导与控制技术、武器发射工程、武器系统与工程及相关兵器类专业本科生的教材，同时也可供从事弹药教学、科研、设计、生产、管理、使用、维护和靶场试验的各类技术人员及管理人员参考，还可作为兵器科学与技术学科专业研究生的教学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

弹药学/尹建平, 王志军主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 2

(现代兵器火力系统丛书)

国家出版基金项目及“十二五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8713 - 5

I. ①弹… II. ①尹… ②王… III. ①弹药 IV. ①TJ41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 020698 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)

82562903 (教材售后服务热线)

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 / 北京地大天成印务有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 38.25

字 数 / 715 千字

版 次 / 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 140.00 元

责任编辑 / 梁铜华 李炳泉

文案编辑 / 梁铜华

责任校对 / 周瑞红

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

总 序

国防科技工业是国家战略性产业，是先进制造业的重要组成部分，是国家创新体系的一支重要力量。为适应不同历史时期的国际形势对我国国防力量提出的要求，国防科技工业秉承自主创新、与时俱进的发展理念，建立了多学科交叉，多技术融合，科研、实验、生产等多部门协作的现代化国防科研生产体系。兵器科学与技术作为国防科学与技术的一个重要分支，直接关系到我国国防科技总体发展水平，并在很大程度上决定着国防科技诸多领域的成果向国防军事硬实力的转化。

进入 21 世纪以来，随着兵器发射技术、推进增程技术、精确制导技术、高效毁伤技术的不断发展，以及新概念、新原理兵器的出现，火力系统的射程、威力和命中精度均大幅提升。火力系统的技术进步将推动兵器系统的其他分支发生相应的革新，乃至促使军队的作战方式发生变化。然而，我国现有的国防科技类图书落后于相关领域的发展水平，难以适应信息时代科技人才的培养需求，更无法满足国防科技高层次人才的培养要求。因此，构建系统性、完整性和实用性兼备的国防科技类专业图书体系十分必要。

为了解决新形势下兵器科学所面临的理论、技术和工程应用等问题，王兴治院士、王泽山院士、朵英贤院士带领北京理工大学、南京理工大学、中北大学的学者编写了《现代兵器火力系统》丛书。本丛书以兵器火力系统相关学科为主线，运用系统工程的理论和方法，结合现代化战争对兵器科学技术的发展需求和科学技术进步对其发展的推动，在总结兵器火力系统相关学科专家学者取得主要成果的基础上，较全面地论述了现代兵器火力系统的学科内涵、技术领域、研制程序和运用工程，并按照兵器发射理论与技术的研究方法，分述了枪炮发射技术、火炮设计技术、弹药制造技术、引信技术、火炸药安全技术、火力控制技术等内容。

本丛书围绕“高初速、高射频、远程化、精确化和高效毁伤”的主题，梳理了近年来我国在兵器火力系统相关学科取得的重要学术理论、技术创新和工程转化等方面的

成果。这些成果优化了弹药工程与爆炸技术、特种能源工程与烟火技术、武器系统与发射技术等专业体系，缩短了我国兵器火力系统与国外的差距，提升了我国在常规兵器装备研制领域的理论水平和技术水平，为我国兵器火力系统的研发提供了技术保障和智力支持。本丛书旨在总结该领域的先进成果和发展经验，适应现代化高层次国防科技人才的培养需求，助力国防科学技术研发，形成具有我国特色的“兵器火力系统”理论与实践相结合的知识体系。

本丛书入选“十二五”国家重点出版物出版规划项目，并得到国家出版基金资助，体现了国家对兵器科学与技术，以及对《现代兵器火力系统》出版项目的高度重视。本丛书凝结了兵器领域诸多专家、学者的智慧，承载了弘扬兵器科学技术领域技术成就、创新和发展兵工科技的历史使命，对于推进我国国防科技工业的发展具有举足轻重的作用。期望这套丛书能有益于兵器科学技术领域的人才培养，有益于国防科技工业的发展。同时，希望本丛书能吸引更多的读者关心兵器科学技术发展，并积极投身于中国国防建设。

丛书编委会

前 言

在常规兵器的发展过程中，弹药的发展往往成为兵器发展的先导和关键。其原因一方面在于毁伤目标最终要靠弹药，另一方面在于战争中弹药的消耗是一次性的，使用数量极大，这就要求弹药既要性能好，又要经济，还要能长期储备。实践证明，完善和发展弹药技术是提高现有武器系统效能行之有效的、经济节约的途径。

20世纪80年代以来，世界发达国家在微电子技术、信息技术、材料技术、人工智能技术等重要技术领域展开了激烈的竞争，使得常规弹药经历了较大的发展变化，特别是在新技术、新原理、新材料的推动下，常规弹药正在向着高精度、远射程、大威力、多功能、灵巧化和智能化的方向发展，出现了一系列在作用原理、结构、功能和使用效能上与常规弹药相区别的新型弹药，如末敏弹、弹道修正弹、智能地雷、碳纤维弹、声光弹药、微波弹、激光弹、硬目标侵彻弹药和活性材料结构弹药等。这些新概念和新原理弹药的发展体现了战争从数量对抗到质量对抗的趋势，使得弹药技术出现了质的飞跃。

弹药学是一门研究各种弹药结构特点与作用原理的具有工程应用背景的学科。本书在介绍各类型弹药基本结构和作用原理的同时，将作者科研中的应用实例融入书的主要章节中，丰富了研究内容。本书为国家级高校特色专业建设点建设成果、教育部卓越工程师教育培养计划建设成果、国家级工程实践教育中心建设成果，获山西省教学成果一等奖。全书共有十八章内容，第一章绪论介绍了弹药及其发展，目标类型及其特性，弹药的组成、分类及作用，对弹药的要求，弹药的研究、设计、制造与验收等内容；从第二章到第十八章分别介绍了榴弹、穿甲弹、破甲弹、碎甲弹、子母弹、特种弹、迫击炮弹、火箭弹、末敏弹、末制导炮弹、弹道修正弹，防空反导弹药、燃料空气弹药、软杀伤弹药、航空炸弹、智能地雷、硬目标侵彻弹药和活性材料结构弹药等的结构与作用原理。因此，本书可作为高等院校弹药工程与爆炸技术、探测制导与控制技术、武器发射

2 弹药学 ■

工程、武器系统与工程及相关兵器类专业本科生的教材，同时也可供从事弹药教学、科研、设计、生产、管理、使用、维护和靶场试验的各类技术及管理人员参考，还可作为兵器科学与技术学科专业研究生的教学参考书。

本书作为国家出版基金资助项目和“十二五”国家重点图书出版规划项目之一，由中北大学尹建平、王志军担任主编，由吴国东、徐豫新、常变红、罗建国担任副主编。其中第1、4、11章由尹建平编写，第2、5、10章由王志军编写，第14、15章由吴国东编写，第3、17、18章由徐豫新编写，第8、16章及附录由常变红编写，第6章由罗建国编写，第7章由周春桂编写，第9章由彭志凌编写，第12章由张树霞编写，第13章由雷红霞编写，全书由尹建平、王志军统稿。

本书在编写过程中，参考和引用了国内外专家、学者、工程技术人员和研究生发表的著作和论文的部分内容，以及相关弹药图片，谨在此一并表示诚挚的感谢！同时，还参考了兄弟院校的有关教材及书籍资料，特对原作者深致谢意！

本书在编写过程中得到了各级领导的关心和支持，并得到了北京理工大学出版社、中北大学教务处的大力帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者知识水平有限，尽管倾注了极大的精力和努力，但书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 弹药及其发展	1
1.1.1 弹药的定义	1
1.1.2 弹药的发展	1
1.2 目标类型及其特性	4
1.2.1 目标的分类	4
1.2.2 目标的特性	5
1.3 弹药的组成及其分类	6
1.3.1 弹药的组成	6
1.3.2 火炮弹药的组成	8
1.3.3 弹药的分类	12
1.4 弹药的作用	16
1.4.1 破片杀伤作用	16
1.4.2 弹药爆破作用	16
1.4.3 弹药燃烧作用	17
1.4.4 弹药穿甲作用	18
1.4.5 弹药破甲作用	18
1.4.6 弹药碎甲作用	19
1.4.7 弹药软杀伤作用	20
1.5 对弹药的要求	20
1.5.1 射程	21
1.5.2 威力	21
1.5.3 精度	22
1.5.4 安全性	25
1.5.5 长储性	25

2 弹药学 ■

1.5.6 经济性	25
1.6 弹药的研究与设计	26
1.6.1 弹药的研究与设计步骤	26
1.6.2 弹药设计的常用方法	27
1.7 弹药的制造与验收	30
1.7.1 弹药制造工艺特点	30
1.7.2 技术条件和弹药靶场试验	33
第2章 榴弹	38
2.1 概述	38
2.1.1 榴弹的发展史	38
2.1.2 榴弹的种类	40
2.1.3 榴弹的基本结构及弹丸外形	40
2.2 普通榴弹	43
2.2.1 概述	43
2.2.2 榴弹的作用	43
2.2.3 榴弹的结构特点	53
2.3 远射程榴弹	63
2.3.1 概述	63
2.3.2 底凹弹	65
2.3.3 枣核弹	67
2.3.4 火箭增程弹	69
2.3.5 底排弹	71
2.3.6 底排—火箭复合增程弹	76
2.4 枪榴弹和榴弹发射器用弹药	80
2.4.1 杀伤枪榴弹	80
2.4.2 破甲枪榴弹	82
2.4.3 照明枪榴弹	83
2.4.4 火箭增程杀伤枪榴弹	84
2.4.5 榴弹发射器用弹药	85
2.5 榴弹的发展趋势	89
第3章 穿甲弹	92
3.1 概述	92
3.1.1 装甲目标特性分析	92
3.1.2 装甲目标对反装甲弹药的要求	98

3.1.3	穿甲弹的发展史	99
3.1.4	对穿甲弹的性能要求和穿甲作用	101
3.2	普通穿甲弹	106
3.2.1	尖头穿甲弹	108
3.2.2	钝头穿甲弹	109
3.2.3	被帽穿甲弹	110
3.2.4	半穿甲弹	111
3.3	次口径超速普通穿甲弹	112
3.3.1	结构特点	112
3.3.2	弹芯	113
3.3.3	弹体	114
3.4	超速脱壳穿甲弹	114
3.4.1	旋转稳定超速脱壳穿甲弹	115
3.4.2	尾翼稳定超速脱壳穿甲弹	117
3.5	贫铀弹	125
3.5.1	贫铀基本知识	125
3.5.2	贫铀弹	126
3.5.3	贫铀对健康的危害	128
3.6	穿甲弹的发展趋势	130
3.6.1	提高穿甲威力	131
3.6.2	对付二代反应装甲	133
第4章	破甲弹	134
4.1	破甲弹作用原理	135
4.1.1	聚能效应	135
4.1.2	金属射流的形成	137
4.1.3	破甲作用	139
4.2	影响破甲威力的因素	140
4.2.1	炸药装药	141
4.2.2	药型罩	142
4.2.3	炸高	145
4.2.4	引信	146
4.2.5	隔板	146
4.2.6	旋转运动	147
4.2.7	壳体	148
4.2.8	靶板	148

4 弹药学 ■

4.3	成型装药破甲弹的结构	148
4.3.1	气缸式尾翼破甲弹	149
4.3.2	长鼻式破甲弹	151
4.3.3	具有抗旋结构的旋转稳定破甲弹	153
4.3.4	火箭增程破甲弹	154
4.3.5	多级串联复合聚能装药战斗部	156
4.4	爆炸成型弹丸战斗部	157
4.4.1	EFP 成型模式	158
4.4.2	影响 EFP 形成性能的主要因素	160
4.4.3	EFP 计算机模拟	164
4.4.4	EFP 的应用和发展趋势	165
4.5	多爆炸成型弹丸战斗部	167
4.5.1	轴向组合式 MEFP 战斗部	169
4.5.2	轴向变形罩 MEFP 战斗部	170
4.5.3	周向组合式 MEFP 战斗部	172
4.5.4	网栅切割式 MEFP 战斗部	174
4.5.5	多用途组合式 MEFP 战斗部	177
4.5.6	多层串联式 MEFP 战斗部	178
4.5.7	刻槽半预制式 MEFP 战斗部	179
4.5.8	周向线性式 MEFP 战斗部	180
4.5.9	MEFP 的应用和发展趋势	182
第5章	碎甲弹	185
5.1	概述	185
5.2	碎甲作用原理	186
5.2.1	层裂效应	186
5.2.2	层裂效应的物理解释	186
5.2.3	层裂准则和层裂厚度	188
5.2.4	碎甲弹的作用	188
5.3	碎甲弹的结构特点	189
5.3.1	弹体	189
5.3.2	炸药	190
5.3.3	引信	190
5.4	影响碎甲威力的主要因素	190
5.4.1	着角	191
5.4.2	炸药性质和装药尺寸	191

5.4.3	靶板厚度及其机械性能	191
5.4.4	屏蔽物	192
5.4.5	炸药堆积面积和药柱高度	192
5.5	碎甲弹的性能特点	193
5.5.1	碎甲弹的优点	193
5.5.2	碎甲弹的缺点	194
5.6	典型碎甲弹	194
5.6.1	美国 M393 系列 105 mm 碎甲弹	194
5.6.2	英国 L31 式 120 mm 碎甲弹	195
第 6 章	子母弹	196
6.1	概述	196
6.1.1	子母弹的弹道特点	197
6.1.2	子母弹的开舱与抛射	197
6.2	子母弹的结构与作用	201
6.2.1	子母弹的结构特点	201
6.2.2	子母弹的作用原理	203
6.3	杀伤子母弹	204
6.3.1	美军 M449 型 155 mm 杀伤子母弹	204
6.3.2	美国 M413 型 105 mm 杀伤子母弹	206
6.3.3	美国 M404 型 203 mm 杀伤子母弹	207
6.4	反装甲杀伤子母弹	208
6.4.1	美军 M483A1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹	208
6.4.2	法国 G1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹	210
6.4.3	德国 Rh49 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹	211
6.5	反坦克布雷弹	212
6.5.1	美国 M718 式 155 mm 反坦克布雷弹	212
6.5.2	法国 H1 式 155 mm 反坦克布雷弹	213
第 7 章	特种弹	214
7.1	概述	214
7.2	烟幕弹	214
7.2.1	烟幕弹的用途与要求	214
7.2.2	烟幕弹的种类	215
7.2.3	烟幕弹的结构特点	216
7.2.4	影响烟幕弹作用效果的因素	217

7.3	燃烧弹	218
7.3.1	燃烧弹的用途与要求	218
7.3.2	燃烧弹的结构特点	219
7.3.3	燃烧弹的使用和发展	221
7.4	照明弹	222
7.4.1	照明弹的用途与要求	222
7.4.2	有伞式照明弹	224
7.4.3	无伞式照明弹	228
7.4.4	照明弹使用注意事项	228
第8章	药筒与发射装药	230
8.1	药筒的特点与要求	230
8.1.1	药筒的使用特点	230
8.1.2	药筒的用途和要求	230
8.2	药筒的分类与结构	231
8.2.1	药筒的分类	231
8.2.2	药筒的结构	236
8.2.3	药筒的材料	238
8.3	发射时药筒的作用	240
8.3.1	发射时药筒的作用过程	240
8.3.2	影响药筒退壳的因素	241
8.4	药筒部位尺寸的拟定	242
8.5	发射装药	246
8.5.1	发射装药的分类	247
8.5.2	对发射装药的要求	251
8.5.3	发射装药的结构特点	252
8.6	可燃药筒	254
8.6.1	可燃药筒的特点	254
8.6.2	对可燃药筒的要求	255
8.6.3	可燃药筒的基本特征	255
第9章	迫击炮弹	257
9.1	概述	257
9.2	迫击炮弹的组成与特点	258
9.2.1	迫击炮弹的组成	258
9.2.2	迫击炮弹的特点	260

9.3	迫击炮弹的结构与作用	261
9.3.1	迫击炮弹的结构尺寸	261
9.3.2	弹体	262
9.3.3	炸药	264
9.3.4	稳定装置	265
9.4	迫击炮弹发射装药的构成	265
9.4.1	基本装药	266
9.4.2	辅助装药	266
9.5	迫击炮弹的发展趋势	268
9.5.1	迫击炮弹的优缺点	268
9.5.2	迫击炮弹的发展趋势	269
第10章	火箭弹	271
10.1	概述	271
10.1.1	火箭弹的定义和分类	271
10.1.2	火箭弹的基本组成	273
10.1.3	火箭弹的性能特点	276
10.1.4	火箭弹的工作原理	278
10.2	尾翼式火箭弹	280
10.2.1	180 mm 火箭弹	281
10.2.2	尾翼装置的结构形式	283
10.3	涡轮式火箭弹	286
10.4	反坦克火箭弹	289
10.4.1	70 式 62 mm 单兵反坦克火箭弹	289
10.4.2	89 式 80 mm 单兵反坦克火箭弹	291
10.4.3	法国“阿皮拉”反坦克火箭弹	293
10.5	航空火箭弹	296
10.5.1	57-1 型航空杀伤爆破火箭弹	297
10.5.2	90-1 型航空杀伤爆破火箭弹	297
10.5.3	俄罗斯 122 mm 航空火箭弹	298
10.6	火箭弹的散布问题	300
10.6.1	火箭弹的射击精度	300
10.6.2	火箭弹散布影响因素	301
10.6.3	提高火箭弹密集度的技术措施	301
10.7	火箭弹的发展趋势	303
10.7.1	远程化	303

10.7.2	精确化	303
10.7.3	多用途化	304
第11章	灵巧弹药	305
11.1	末敏弹	305
11.1.1	概述	305
11.1.2	末敏弹结构与样例	306
11.1.3	末敏弹作用原理	313
11.2	末制导炮弹	317
11.2.1	概述	317
11.2.2	末制导炮弹结构与组成	318
11.2.3	末制导炮弹作用原理	320
11.2.4	末制导炮弹的制导系统	323
11.3	弹道修正弹	325
11.3.1	概述	325
11.3.2	弹道修正弹结构与组成	326
11.3.3	弹道修正弹修正方法与作用原理	328
11.3.4	典型弹道修正弹	331
11.4	灵巧弹药的发展方向	332
第12章	防空反导弹药	334
12.1	概述	334
12.1.1	防空反导的重要作用	334
12.1.2	空中目标特性分析	335
12.2	小口径高炮弹药	336
12.2.1	薄壁榴弹	336
12.2.2	近炸引信预制破片弹	338
12.2.3	AHEAD编程弹	340
12.2.4	新型小口径高炮弹药	343
12.3	防空导弹战斗部	347
12.3.1	爆破式战斗部	348
12.3.2	破片式杀伤战斗部	350
12.3.3	多聚能装药战斗部	354
12.3.4	连续杆式战斗部	356
12.3.5	离散杆式战斗部	359
12.3.6	定向杀伤战斗部	360

12.3.7 子母式战斗部	363
12.4 防空反导弹药发展趋势	369
第13章 燃料空气弹药	370
13.1 概述	370
13.1.1 燃料空气弹药的发展	370
13.1.2 燃料空气弹药的爆炸破坏作用形式	371
13.1.3 燃料空气弹药的威力特点	372
13.1.4 燃料空气弹药的使用特点	372
13.1.5 燃料空气弹药的主要攻击目标	373
13.2 云爆弹	373
13.2.1 云爆弹的结构和作用	374
13.2.2 云爆弹的特点	376
13.2.3 几种典型的云爆弹	377
13.3 温压弹	379
13.3.1 温压弹的结构与作用	380
13.3.2 几种典型的温压弹	382
第14章 软杀伤弹药	387
14.1 概述	387
14.2 针对有生力量的软杀伤弹药	388
14.2.1 强噪声弹	388
14.2.2 催泪弹	389
14.2.3 闪光弹	390
14.2.4 致痛弹	391
14.2.5 麻醉弹	391
14.2.6 次声弹	391
14.2.7 超臭弹	392
14.3 针对装备的软杀伤弹药	392
14.3.1 红外诱饵弹	392
14.3.2 通信干扰弹	396
14.3.3 碳纤维弹	399
14.3.4 泡沫体胶粘剂弹	402
14.4 针对人员和装备的软杀伤弹药	403
14.4.1 电磁炸弹	403
14.4.2 激光弹药	406

第 15 章 航空炸弹	408
15.1 概述	408
15.1.1 航空炸弹在现代战争中的地位和作用	408
15.1.2 国外航空炸弹发展特点	409
15.1.3 航空炸弹的战术技术要求	410
15.1.4 航空炸弹的分类	412
15.2 普通航空炸弹	417
15.2.1 概述	417
15.2.2 航空爆破炸弹	422
15.2.3 航空杀伤炸弹	428
15.2.4 航空反跑道炸弹	429
15.3 制导航空炸弹	430
15.3.1 激光制导航空炸弹	432
15.3.2 电视制导航空炸弹	433
15.3.3 红外制导航空炸弹	434
15.3.4 红外成像制导航空炸弹	435
15.3.5 毫米波制导航空炸弹	436
15.3.6 联合直接攻击弹药	437
15.3.7 联合防区外攻击武器	439
15.3.8 风偏修正弹药	439
第 16 章 地雷	441
16.1 概述	441
16.1.1 地雷的发展史	441
16.1.2 地雷的结构组成	442
16.1.3 地雷的分类	443
16.2 防步兵地雷	448
16.2.1 爆破型防步兵地雷	449
16.2.2 破片型防步兵地雷	451
16.3 防坦克地雷	457
16.3.1 防坦克履带地雷	458
16.3.2 防坦克车底地雷	460
16.3.3 防坦克侧甲地雷	461
16.3.4 防坦克顶甲地雷	463
16.4 防直升机地雷	463
16.5 特种地雷	464