



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

弹药制造工艺学

Projectiles and Rockets Producing Technology

董素荣 陈国光 编著

 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

弹药制造工艺学

董素荣 陈国光 编著

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

内 容 简 介

本书是由国家出版基金资助,按“十二五”国家重点出版物出版规划项目计划编著的。书中以弹药制造工艺技术为主线,系统介绍了弹药机械制造工艺和含能材料装药工艺的基本知识。全书共分16章,主要内容包括:制造弹箭零件用的材料及毛坯种类的选择;弹箭零件机械加工工艺流程的编制;制造弹箭零件常用的热冲压、冷挤压、冷冲压、强力旋压、铸造等加工方法,弹箭零件的机械加工及热处理和表面处理的方法;含能材料装药的基本知识及常用的装填方法;火箭弹的装配与验收;检验与验收;现代制造技术。

本书可作为高等院校国防特色学科的本科生、研究生教材,也可供教学和科研工作者参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

弹药制造工艺学/董素荣,陈国光编著. —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 978-7-5640-8768-5

I. ①弹… II. ①董… ②陈… III. ①弹药-生产工艺 IV. ①TJ410.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第037729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 / 36.25

字 数 / 665千字

版 次 / 2014年2月第1版 2014年2月第1次印刷

定 价 / 132.00元



责任编辑 / 杨志坚

张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

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

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

现代战争正向着信息化、数字化与智能化的方向发展，因此在现代武器系统的设计中，已广泛采用了各种新材料、新技术以及新的制造加工方法。与此相适应的弹药制造工艺也发生了重大的变化。例如在弹箭零件的制造工艺中大量采用了强力旋压技术、数控技术以及 CAD/CAM 集成技术。随着新型炸药和新型推进剂的应用，在装药技术、装药方法上也发生了很大变化，逐渐向着自动化的方向发展。先进的弹药制造技术是武器系统实现其战术技术性能的重要保证。因此，为适应这种新的发展变化的趋势以及知识更新的需要，迫切需要编写出一本新的弹药制造工艺学教材，较为系统全面地介绍新的工艺技术与工艺方法，以满足教学与科研的需要。

本书是由国家出版基金资助，按“十二五”国家重点出版物出版规划项目计划编著的。书中以弹药制造工艺技术为主线，系统介绍了弹药机械制造工艺和含能材料装药工艺的基本知识。

本书的编写宗旨是使学生能够系统地掌握基本的弹药制造工艺知识，并具备必要的弹药设计研究和产品管理工作中解决与工艺有关的实际问题的能力，从而为从事弹药科研和生产管理工作奠定扎实的基础。

在本书的编写中，作者根据多年来从事产品设计与技术管理的经验并结合现代新工艺、新技术的应用，力图为读者提供一本较系统的弹药制造工艺学教科书，供教学和科研工作参考。

全书共分 16 章。其主要内容为：第 1~8 章介绍一些主要零件所用的金属材料、非金属材料、高密度材料、工程塑料及复合材料在现代武器设计中的应用；机械加工工艺规程的编制；介绍了一些常用的机械加工方法，如热冲压、冷挤压、冷冲压、铸造等在弹箭零件制造中的应用。其中，第 6 章重点介绍了军工企业在弹药设计中制造关键零件采用的强力旋压技术；第 8 章重点介绍了数控机床在弹箭零件加工中的应用以及典型零

件的加工示例。第9章、第10章介绍了弹箭零件的热处理以及表面处理的基本知识。第11~13章重点介绍了弹丸、火箭战斗部与发动机装药的基本知识以及常用的装药方法。第14章重点介绍了火箭弹装配与验收的全过程。第15章重点介绍了弹药检验与验收的基本知识与技术要求。第16章介绍了现代制造技术,包括先进的CAD/CAM集成技术、柔性制造系统、快速成型技术等。

本书可作为高等院校国防特色学科的本科生、研究生教材,也可供教学和科研工作者参考。

本书第3、4、7、12章由董素荣编写,第2、6、8章由陈国光编写,第1、16章由周海英编写,第5章由田晓丽编写,第10、15章由辛长范编写,第9、13章由王芳编写,第11章由张树霞编写,第14章由刘婵媛编写。全书由董素荣和陈国光统稿。

周兰庭教授和陈惠武教授认真审阅了书稿,并提出了宝贵的意见,在此对两位专家的指导表示深深的谢意。在本书的编写过程中,引用和参考了许多文献资料,在此谨向参考文献的作者表示感谢,同时本书的编写还得到了中北大学的大力支持,一些研究生绘制了本书的插图,在此对他们表示衷心的感谢。

本书在力等量的单位的使用上,遵从行业习惯,使用了千克(kg)、吨(t)等单位,特此说明。

由于作者水平所限,书中错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

作者
2013年9月

目 录

第 1 章 制造弹箭零件用的材料及毛坯种类的选择	1
1.1 制造弹箭零件的黑色金属材料	1
1.1.1 碳素结构钢	1
1.1.2 合金钢	3
1.1.3 铸铁	7
1.1.4 铸钢	8
1.2 制造弹箭零件的有色金属材料	8
1.2.1 铜及铜合金	8
1.2.2 铝及铝合金	9
1.3 制造弹箭零件的高密度材料	10
1.3.1 碳化钨	10
1.3.2 钨基合金材料	10
1.3.3 铀基合金材料	11
1.3.4 钼合金	13
1.3.5 钽合金	13
1.4 制造弹箭零件的工程塑料及模压成型	13
1.4.1 塑料的组成	13
1.4.2 塑料的分类	14
1.4.3 工程塑料和金属材料性能的比较	15
1.4.4 热塑性塑料	15
1.4.5 热固性塑料	16
1.4.6 塑料成型及加工方法	18
1.4.7 弹箭零件的模压成型	19
1.5 复合材料	27
1.5.1 复合材料的特点和分类	27

2 弹药制造工艺学 ■

1.5.2 常用复合材料	29
1.6 投产前钢材的检验	31
1.6.1 尺寸检验	31
1.6.2 外观检验	31
1.6.3 低倍组织检验	31
1.6.4 化学成分	31
1.6.5 机械性能试验	32
1.6.6 淬透性试验	32
1.6.7 其他试验	32
1.7 弹箭零件的毛坯种类及其选择	32
1.7.1 弹箭零件毛坯种类	32
1.7.2 弹箭零件毛坯选择原则	34
1.7.3 弹体毛坯制造方法的发展概况	35
第2章 弹箭零件机械加工工艺规程的编制	37
2.1 总工艺设计	37
2.1.1 总工艺设计的依据和工作内容	37
2.1.2 设计方法和内容	38
2.1.3 工艺	38
2.2 机械加工工艺过程与工艺规程	40
2.2.1 产品生产与机械加工过程	40
2.2.2 机械加工工艺过程的组成	40
2.2.3 工艺规程	43
2.3 编制工艺规程的设计原则、程序与要求	43
2.3.1 机械加工工艺规程的作用	43
2.3.2 工艺规程的设计原则	44
2.3.3 编制工艺规程的原始资料、程序与要求	44
2.4 工艺规程的内容与格式	46
2.5 加工余量与工序尺寸的确定	50
2.5.1 加工余量的确定	50
2.5.2 工序尺寸的计算	54
2.5.3 绘制毛坯图	55
2.6 定位基准的选择	56
2.6.1 粗基准的选择	56
2.6.2 精基准的选择	56

2.7 弹箭零件机械加工工艺过程和工序安排	57
2.7.1 弹箭零件机加工工艺过程	57
2.7.2 弹箭零件机加工工艺过程的阶段划分	58
2.7.3 弹体加工工序安排原则	59
2.7.4 工序的集中与分散	61
第3章 弹体毛坯热冲压	63
3.1 概述	63
3.2 金属压力加工成型的基础知识	64
3.2.1 金属塑性变形的若干概念	64
3.2.2 金属塑性变形的几条规律	67
3.2.3 金属的塑性和变形抗力	69
3.2.4 塑性变形对金属组织和性能的影响	72
3.3 坯料尺寸及下料方法	73
3.3.1 坯料截面形状和尺寸的确定	73
3.3.2 断料方法	75
3.4 坯料的加热	77
3.4.1 热冲压温度范围的确定	77
3.4.2 钢在加热过程中的氧化与脱碳	79
3.4.3 加热速度和加热时间	79
3.4.4 加热方法和加热炉结构	81
3.5 弹体毛坯的冲孔	83
3.5.1 弹体毛坯冲孔的变形过程	83
3.5.2 冲孔力	84
3.5.3 冲孔前的压型和定心	86
3.6 弹体毛坯的拔伸	87
3.6.1 弹体毛坯的拔伸过程	88
3.6.2 拔伸力	88
3.6.3 拔伸变形程度和拔伸次数	89
3.7 热冲压毛坯形状及尺寸的确定	90
3.7.1 拔伸毛坯形状和尺寸的确定	90
3.7.2 冲孔毛坯形状和尺寸的确定	93
3.8 弹体毛坯的收口	94
3.8.1 轴向力收口的基本过程	94
3.8.2 收口前的加热	95

3.8.3	收口方法	96
3.8.4	收口毛坯形状和尺寸的确定	97
3.9	弹体毛坯热冲压的其他方法	99
3.9.1	一次冲孔成型	99
3.9.2	反向冲孔	99
3.9.3	辊轧拔伸	100
3.9.4	平锻机连续冲孔	100
第4章	弹体毛坯冷挤压	102
4.1	冷挤压成型的一般原理	102
4.2	冷挤压用钢材及挤压件性能	120
4.3	冷挤压坯料的制备	125
4.4	弹体毛坯的冷挤压	128
第5章	弹箭零件的冷冲压	137
5.1	概述	137
5.2	冲裁类零件的冷冲压	138
5.3	弯曲类零件的冷冲压	143
5.4	圆筒件的不变薄拉伸	147
5.5	拉伸类零件的冷冲压	154
第6章	弹箭零件的强力旋压	159
6.1	概述	159
6.1.1	旋压的基本过程与机理	159
6.1.2	强力旋压的特点	160
6.1.3	强力旋压的适用范围	161
6.2	火箭弹战斗部本体与燃烧室的强力旋压	161
6.3	药型罩的强力旋压	166
6.4	强力旋压时的变形及应力分析	172
6.5	旋压工艺和工艺参数的确定	175
6.6	错距旋压的应用	178
第7章	弹箭零件的铸造	185
7.1	砂型铸造	185
7.1.1	砂型铸造	185

7.1.2	弹箭零件的砂型铸造	189
7.2	熔模精密铸造	195
7.2.1	模料	196
7.2.2	熔模铸造工艺	198
7.2.3	熔模铸造的特点及应用范围	200
7.3	陶瓷型铸造	201
7.3.1	陶瓷型铸造的基本过程	201
7.3.2	陶瓷型铸造的特点	202
7.3.3	陶瓷型铸造的使用范围	202
7.3.4	陶瓷型铸造工艺	202
7.4	压力铸造	204
7.4.1	压力铸造的特点和工艺流程	204
7.4.2	压铸过程中的主要工艺因素	206
7.4.3	压铸件的结构工艺性	210
7.4.4	铝合金的充氧压铸	212
7.5	电铸工艺	213
7.6	快速铸造技术	214
7.6.1	快速铸造技术的概念及优点	214
7.6.2	快速铸造技术的实现途径	215
7.6.3	直接成型精铸用蜡模	217
7.6.4	直接成型铸造用消失树脂模	217
7.6.5	制造铸造用模样和模板	218
7.6.6	快速成型铸造用型壳(芯)	218
7.6.7	直接成型铸造砂型(芯)	219
7.6.8	直接成型蜡模金属压型	220
7.7	铸造 FMS 技术	220
7.7.1	铸造 FMS 的概念	220
7.7.2	铸造 FMS 的构成	221
7.7.3	铸造分系统	223
7.7.4	铸造 FMS 的工艺路线	223
7.7.5	铸造 FMS 的应用方向	223
第 8 章	弹箭零件的机械加工	225
8.1	弹体的机械加工	225
8.1.1	弹体的作用与结构特点	225

8.1.2	弹体加工的技术要求	225
8.1.3	弹体的机械加工	226
8.2	燃烧室的机械加工	229
8.2.1	燃烧室的作用与结构特点及加工的主要技术要求	229
8.2.2	燃烧室的机械加工	230
8.3	喷管的机械加工	233
8.3.1	喷管的结构特点	233
8.3.2	喷管的尺寸精度及主要技术要求	234
8.3.3	喷管的机械加工	234
8.4	数控机床的应用	240
8.4.1	概述	240
8.4.2	选用数控机床加工 122 mm 火箭弹几种零件的工艺方案	241
8.4.3	数控机床的选择	241
8.4.4	数控装置及其功能	242
8.4.5	程序编制	244
8.4.6	数控机床的维护与故障排除	248
第 9 章 弹箭零件的热处理		251
9.1	弹箭零件加工中常用的热处理工艺	251
9.2	弹箭零件的热处理	253
9.2.1	燃烧室	253
9.2.2	喷管热处理	258
9.2.3	其他零件的热处理	259
9.3	铝合金的热处理	259
9.3.1	淬火	259
9.3.2	时效	262
9.4	典型零件在热处理过程中出现的质量问题及解决方法	262
第 10 章 火箭弹的表面处理		265
10.1	表面腐蚀种类及防腐方法	265
10.1.1	金属表面腐蚀的种类	265
10.1.2	防腐方法	266
10.1.3	防腐方法选择的原则	266
10.2	防腐处理前零件表面的清理	266
10.2.1	机械处理	267

10.2.2	除油	267
10.2.3	酸洗	269
10.3	钢质零件的氧化和磷化处理	270
10.3.1	钢质零件的氧化处理	270
10.3.2	钢质零件的磷化处理	272
10.4	电化学处理	275
10.4.1	镀锌	275
10.4.2	镀铬	280
10.4.3	铝及铝合金的阳极氧化	282
10.5	涂敷耐热涂层	284
10.5.1	耐热隔热涂料种类	285
10.5.2	122 mm 火箭弹隔热涂层发生的质量问题及解决方法	287
10.6	涂油和涂漆	288
10.6.1	涂油	288
10.6.2	涂漆	289
10.7	提高防腐性能的主要途径	289
第 11 章	弹丸与火箭战斗部装药	292
11.1	装填物的特性简介	292
11.1.1	炸药的类型和组成	292
11.1.2	炸药爆炸特征	295
11.1.3	对炸药的基本要求	296
11.1.4	炸药的主要性能	298
11.1.5	21 世纪炸药技术发展的趋势及预测	302
11.2	弹药装药方法的分类	305
11.2.1	弹药装药的任务	305
11.2.2	弹药装药方法的分类及装药工艺过程	308
11.3	弹药装药方法的选择原则及对装药的技术要求	310
11.3.1	弹药装药方法的选择原则	310
11.3.2	弹药装药的技术要求	311
11.4	弹药装药质量的检验与验收	313
第 12 章	弹丸与火箭战斗部装药的常用方法	317
12.1	注装法	317
12.1.1	概述	317

12.1.2	熔态物质结晶的一般规律·····	319
12.1.3	熔态炸药在弹体中的结晶与凝固·····	324
12.1.4	熔态炸药在凝固时缩孔的产生及防止·····	326
12.1.5	熔态炸药在凝固时气孔的产生及防止·····	328
12.1.6	注装药柱的热应力——药柱裂纹的产生及防止·····	329
12.1.7	悬浮炸药的流变特性及其浇注·····	334
12.1.8	梯黑悬浮炸药的性质与提高注装质量的关系·····	335
12.1.9	块注法装药·····	336
12.1.10	注装生产中常见的药柱疵病及预防措施·····	337
12.2	压装法·····	338
12.2.1	概述·····	338
12.2.2	松装炸药的压紧与变形·····	339
12.2.3	压力、温度与压药密度的关系·····	342
12.2.4	药柱的局部密度·····	345
12.2.5	压药时的保压问题与药柱“长大”现象·····	349
12.2.6	压装工艺的安全技术·····	350
12.3	螺旋装药法·····	352
12.3.1	概述·····	352
12.3.2	螺杆的作用原理·····	353
12.3.3	螺旋装药药柱的形成·····	357
12.3.4	对生产中易发生的质量问题的分析·····	359
12.3.5	螺旋装药的安全技术·····	361
12.4	塑态装药法·····	362
12.4.1	概述·····	362
12.4.2	热塑态装药所用的炸药(热塑态炸药)·····	362
12.4.3	热塑态装药工艺·····	364
12.4.4	热塑态装药的药柱质量和可能出现的疵病·····	367
12.4.5	热塑态装药法的主要优点及存在的问题·····	367
12.4.6	热塑态装药的安全生产问题·····	368
12.5	振动装药法·····	368
12.5.1	真空振动装药机理·····	369
12.5.2	振动装药工艺条件·····	371
12.5.3	实验结果·····	372
12.6	弹药装药工艺方法的改进与展望·····	374
12.6.1	选择固相颗粒级配以提高固相含量·····	374

12.6.2	添加性能优良的添加剂	375
12.6.3	采用压力注装工艺	375
12.6.4	其他注装新工艺	375
第 13 章	火箭发动机装药	377
13.1	发射药/推进剂的特性简介	378
13.1.1	发射药的类型和组成	378
13.1.2	身管武器对发射药及其装药的技术要求	385
13.1.3	发射药的现状和发展	388
13.1.4	发射药的燃烧机理	390
13.1.5	发射药的主要性能	392
13.1.6	发射药的发展趋势	396
13.1.7	固体推进剂的发展趋势	397
13.2	推进剂装填方式的分类与选择原则	400
13.2.1	发动机装药设计	400
13.2.2	火药装填方式的设计	404
13.3	发动机装药的技术要求与装药质量的检验与验收	434
13.3.1	发动机装药的技术要求	434
13.3.2	发动机装药的质量检验与验收	436
第 14 章	火箭弹的装配与验收	442
14.1	火箭弹装配的主要技术要求及主要内容	442
14.1.1	火箭弹装配的主要技术要求	442
14.1.2	火箭弹装配的主要内容	444
14.2	部件装配	446
14.2.1	战斗部的装配	446
14.2.2	火箭部的装配	446
14.3	总体装配中部件的配套原则及总装	448
14.3.1	非全备弹的配套方法	448
14.3.2	全弹总装	449
14.4	包装、编批与交验	451
14.4.1	包装	452
14.4.2	编批	452
14.4.3	交验	453
14.5	装配中常见的质量问题	453

14.5.1	结合不到位	453
14.5.2	同轴度超差	454
14.5.3	不能合膛	455
14.5.4	火箭弹弹重超差	455
14.5.5	密封性不合格	456
14.5.6	电点火系统发生断路、短路或不绝缘	456
14.5.7	零件表面锌层破损	457
14.5.8	漆层脱落	458
第 15 章 检验与验收		460
15.1	概述	460
15.2	外观尺寸及理化性能检验	460
15.3	靶场试验	461
15.3.1	炮弹的靶场试验	461
15.3.2	火箭弹的靶场试验	463
第 16 章 现代制造技术		476
16.1	特种加工方法	476
16.1.1	电火花加工	476
16.1.2	电解加工	477
16.1.3	激光加工	478
16.1.4	激光焊接	479
16.1.5	激光热处理	480
16.1.6	超声波加工	481
16.1.7	其他特种加工	481
16.2	CAD/CAM 集成	483
16.2.1	什么是 CAD/CAM 集成	483
16.2.2	CAD/CAPP 集成	484
16.2.3	CAD/NCP 集成	487
16.2.4	CAPP/NCP 集成	489
16.2.5	CAD/CAPP/NCP 集成的关键技术	490
16.2.6	CAD/CAM 集成的体系结构	493
16.3	成组技术	494
16.3.1	成组技术的基本概念	494
16.3.2	零件的分类和编码	495