

新型火药 设计与制造

Design and Manufacture of Advanced Propellants

李凤生 郭效德 刘冠鹏 等编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

本书由国防科技图书出版基金资助出版

新型火药设计与制造

**Design and Manufacture of
Advanced Propellants**

李凤生 郭效德 刘冠鹏 等编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

新型火药设计与制造 / 李凤生等编著. —北京: 国防工业出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 118 - 05432 - 3

I. 新... II. 李... III. ①发射药—设计②发射药—制造工艺 IV. TQ562

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 167985 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 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 298 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 46.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,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。

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总装备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,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业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。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作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 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参
(按姓氏笔画排序)

李德毅 杨星豪 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

本书主审委员 赵凤起

前 言

随着现代武器装备技术的发展,武器对其动力源——火药(推进剂和发射药)提出了越来越多的新要求,如高燃烧速度、低燃烧速度、低特征信号、高能钝感和高能低烧蚀等。

为满足武器对火药的这些新要求,各国火药工作者研制出了相应的具有各种性能的火药,如高燃速火药、低燃速火药、低特征信号火药、高能钝感火药、高能低烧蚀火药、贫氧火药、膏体火药等。这些火药代表了当今火药研究领域的前沿和发展方向,本书统称为新型火药。关于这些新型火药的性能及设计与制造,在传统的火药书籍中很少涉及。从事这类火药研究、设计与制造的工程技术人员和研究生都十分迫切希望能有这方面的专著出版。应广大读者要求,作者根据几十年来从事这方面教学、科研和研究生培养以及在与国内外的合作研究及交流中所积累的知识和收集到的资料编著了此书,献给从事这方面研究与教学的广大读者,以促进我国新型火药设计与制造技术的发展,为我国国防现代化作出一点微薄贡献。

本书内容包括:高燃速火药的性能、配方设计与制造工艺及应用,低燃速火药的特性及配方设计,低特征信号火药的燃烧特征及配方设计,高能钝感火药的配方设计与制造工艺及降低感度的主要措施,高能低烧蚀火药的配方设计与降低烧蚀的主要途径,以及贫氧火药的设计与制造和膏体火药设计与制造工艺技术等。

全书共分为八章。第1章由李凤生教授和郭效德博士执笔,第2章由郭效德博士执笔,第3章由宋小兰博士和郭效德博士执笔,第4章由刘冠鹏博士执笔,第5章由安崇伟博士执笔,第6章由段红珍博士执笔,第7章由刘冠鹏博士执笔,第8章由郭效德博

士和孔令瑞硕士执笔。全书由李凤生教授统稿。参与本书资料收集及整理和文字校对等工作的有刘建勋博士、王毅博士、宋丹博士、李苗苗博士和刘永博士等。

本书的内容大多是作者领导的课题组多年来在这方面研究与工程化及应用工作的总结,同时也参考并引用了国内外许多同仁在这方面的研究成果、论文与著作,尤其是与俄罗斯科学院新西伯利亚分院动力与燃烧研究所以及印度高能物质研究实验室的交流与合作。编著此书还得到南京理工大学国家特种超细粉体工程技术研究中心诸多工程技术人员及博士后、博士、硕士的大力支持与帮助,同时也得到了国内诸多兄弟单位的支持与帮助,在此一并表示衷心感谢!

由于新型火药涉及面很广,研究内容很多,是一种多学科交叉的新技术,书中疏漏之处在所难免,笔者借此书以达到抛砖引玉的目的。对书中不足之处恳请读者批评指正。

编 著 者

2007 年 8 月于南京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 新型火药的分类及其内涵	3
1.3 新型火药的主要特性与特征	5
1.4 新型火药在武器中的作用及意义	9
第 2 章 高燃速火药	13
2.1 提高火药燃烧速度的途径与措施	13
2.1.1 影响火药燃烧速度的因素	13
2.1.2 调节火药燃烧速度的有效途径	17
2.2 高燃速火药配方设计	32
2.2.1 高燃速火药燃烧性能的设计	33
2.2.2 高燃速火药能量性能的设计	50
2.2.3 高燃速火药安定性能的预估	57
2.2.4 高燃速火药其他性能的设计	61
2.3 高燃速火药的制造工艺	63
2.3.1 双基及改性双基高燃速火药的制造工艺	63
2.3.2 复合高燃速火药的制造工艺	64
2.3.3 含金属丝高燃速火药的制造工艺	67
2.3.4 小球粘接高燃速火药的制造工艺	67
2.4 高燃速火药的燃烧特性	68
2.4.1 双基高燃速火药的燃烧特性	68
2.4.2 复合高燃速火药的燃烧特性	69
2.4.3 复合改性双基高燃速火药的燃烧特性	69

2.4.4	含涂层金属丝高燃速火药的燃烧特性	71
2.4.5	小球粘接高燃速火药的燃烧特性	73
2.5	高燃速火药的装药设计	76
2.5.1	装药设计的基本任务及一般程序	76
2.5.2	高燃速火药装药设计	77
2.6	高燃速火药的应用	85
第3章	低燃速火药	90
3.1	降低火药燃烧速度的途径与措施	90
3.1.1	降低火药燃速的机理分析	90
3.1.2	降低火药燃速的途径和措施	96
3.2	低燃速火药的配方设计及燃烧特性	102
3.2.1	低燃速双基火药的配方设计及燃烧特性	102
3.2.2	低燃速复合火药的配方设计及燃烧特性	106
3.2.3	低燃速 NEPE 火药的配方设计及燃烧特性	110
3.2.4	燃气发生剂的配方设计及燃烧特性	116
3.3	低燃速火药的制造工艺	125
3.4	低燃速火药的应用	126
第4章	低特征信号火药	130
4.1	研究低特征信号火药的目的及意义	130
4.2	低特征信号火药的概念及其燃烧特性	132
4.2.1	低特征信号火药的概念	132
4.2.2	羽流中的烟	136
4.2.3	羽流中的焰	138
4.2.4	羽流特征信号的测试与评估	140
4.3	降低火药特征信号的途径和措施	143
4.4	低特征信号火药的配方设计及特性	147
4.4.1	低特征信号双基火药的配方设计及特性	149
4.4.2	低特征信号改性双基火药配方设计及特性	150
4.4.3	低特征信号 HTPB 火药的配方设计及	

特性	154
4.4.4 低特征信号 GAP 火药的配方设计及特性	158
4.4.5 低特征信号 NEPE 火药的配方设计及特性 ...	168
4.5 低特征信号火药的制造工艺	173
4.6 低特征信号火药的应用及发展趋势	173
4.6.1 低特征信号火药的应用	173
4.6.2 低特征信号火药的发展趋势	177
第5章 高能钝感火药	180
5.1 研究高能钝感火药的目的及意义	180
5.2 提高火药能量的途径和措施	182
5.2.1 选用生成焓较高的胶黏剂和增塑剂	182
5.2.2 选用新型的高能填充剂	193
5.2.3 加入高能燃烧剂	197
5.3 降低火药危险性的途径和措施	199
5.3.1 对火药中的固体成分进行改性	199
5.3.2 采用低感度的含能胶黏剂和增塑剂	205
5.3.3 采用高能钝感的填充剂	206
5.3.4 用低感度的炸药代替部分氧化剂	206
5.3.5 增加火药的韧性	206
5.3.6 优化火药配方和装药工艺	207
5.3.7 其他的降感措施	207
5.4 高能钝感火药的配方设计	208
5.4.1 高能钝感火药配方设计原则	209
5.4.2 以黑索今、奥克托今为基的高能钝感火药 配方设计	210
5.4.3 以 CL-20 为基的高能钝感火药配方设计	221
5.4.4 以 ADN 为基的高能钝感火药配方设计	231
5.4.5 以 HNF 为基的高能钝感火药配方设计	237
5.4.6 以 3,4-二硝基咪唑基氧化咪唑为基的	

高能火药配方设计	241
5.4.7 以含能胶黏剂为基的高能钝感火药 配方设计	245
5.5 高能钝感火药的制造工艺	251
5.5.1 浇铸成型工艺	252
5.5.2 压伸与浇铸结合的新工艺	254
5.6 高能钝感火药的应用	255
第6章 高能低烧蚀火药	259
6.1 研究高能低烧蚀火药的目的及意义	259
6.2 高能低烧蚀火药的概念与组成及实现途径	260
6.2.1 高能低烧蚀火药的基本概念	260
6.2.2 高能低烧蚀火药的发展	261
6.2.3 高能低烧蚀火药的基本组成	264
6.2.4 实现高能低烧蚀的途径与措施	266
6.3 高能低烧蚀火药的配方设计	269
6.3.1 高能低烧蚀火药能量调配的基本原则	270
6.3.2 高能低烧蚀火药的燃烧性能调节	274
6.3.3 高能低烧蚀火药的配方设计	277
6.4 高能低烧蚀火药的制造工艺	285
6.4.1 高能低烧蚀火药制造工艺概述	285
6.4.2 高能低烧蚀火药的制造工艺	286
6.5 高能低烧蚀火药的应用	289
第7章 贫氧火药	293
7.1 研究贫氧火药的目的及意义	293
7.2 贫氧火药的概念与燃烧特性	294
7.2.1 贫氧火药的概念	294
7.2.2 贫氧火药的分类	295
7.2.3 贫氧火药在发动机内燃烧概述	296
7.2.4 碳氢型贫氧火药的燃烧特性	300
7.2.5 含铝、镁的中能贫氧火药燃烧特性	301

7.2.6	含硼高能贫氧火药的燃烧特性	302
7.3	贫氧火药的配方设计及性能	308
7.3.1	冲压发动机对贫氧火药的要求	308
7.3.2	贫氧火药组分的选择	309
7.3.3	贫氧火药燃烧性能的设计	314
7.3.4	贫氧火药能量性能的设计	317
7.3.5	贫氧火药其他性能的设计	320
7.4	贫氧火药的制造工艺	322
7.5	贫氧火药的应用及发展趋势	323
7.5.1	贫氧火药的应用	323
7.5.2	贫氧火药的发展趋势	325
第8章	膏体火药	327
8.1	研究膏体火药的目的及意义	327
8.2	膏体火药的基本概念与特性	328
8.2.1	膏体火药的基本概念及分类	328
8.2.2	膏体火药的特性	329
8.3	膏体火药的配方设计	330
8.3.1	膏体火药的组成	331
8.3.2	膏体火药燃烧性能的设计	333
8.3.3	膏体火药流变性能的设计	338
8.3.4	膏体火药其他性能的设计	341
8.4	膏体火药的制造工艺	342
8.5	膏体火药在发动机内的燃烧	343
8.5.1	膏体火药的火箭发动机结构	343
8.5.2	膏体火药在火箭发动机内的燃烧	346
8.6	膏体火药的应用	347
参考文献		349

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Summary	1
1.2 Classification and Connotation of Advanced Propellant	3
1.3 Primary Characteristic of Advanced Propellant	5
1.4 Function and Significance of Advanced Propellant in Ordnance	9
Chapter 2 High Burning Rate Propellant	13
2.1 Approaches and Methods of Increasing Burning Rate of Propellant	13
2.1.1 Effect Factors on Burning Rate of Propellant	13
2.1.2 Effective Methods of Adjusting Burning Rate of Propellant	17
2.2 Formula Design of High Burning Rate Propellant	32
2.2.1 Combustion Property Design of High Burning Rate Propellant	33
2.2.2 Energy Design of High Burning Rate Propellant	50
2.2.3 Stability Prediction of High Burning Rate Propellant	57
2.2.4 Other Properties Design of High Burning Rate Propellant	61
2.3 Manufacturing Process of High Burning Rate	

Propellant	63
2. 3. 1 Manufacturing Process of High Burning Rate Double-based and Modified Double-based Propellant	63
2. 3. 2 Manufacturing Process of High Burning Rate Composite Propellant	64
2. 3. 3 Manufacturing Process of High Burning Rate Propellant Containing Metal Wire	67
2. 3. 4 Manufacturing Process of Grain-binding High Burning Rate Propellant	67
2. 4 Combustion Property of High Burning Rate Propellant	68
2. 4. 1 Combustion Property of High Burning Rate Double-based Propellant	68
2. 4. 2 Combustion Property of High Burning Rate Composite Propellant	69
2. 4. 3 Combustion Property of High Burning Rate Composite Modified Double-based Propellant	69
2. 4. 4 Combustion Property of High Burning Rate Wire- coat-contained Propellant	71
2. 4. 5 Combustion Property of Grain-binding High Burning Rate Propellant Containing Coated Metal Wire	73
2. 5 Charge Design of High Burning Rate Propellant	76
2. 5. 1 Basic Objective and General Procedure for Charge Design	76
2. 5. 2 Charge Design of High Burning Rate Propellant	77
2. 6 Application of High Burning Rate Propellant	85

Chapter 3 Low Burning Rate Propellant	90
3.1 Methods of Decreasing Burning Rate of Propellant	90
3.1.1 Mechanism of Decreasing Burning Rate of Propellant	90
3.1.2 Methods of Decreasing Burning Rate of Propellant	96
3.2 Formula Design and Combustion Property of Low Burning Rate Propellant	102
3.2.1 Formula Design and Combustion Property of Low Burning Rate Double-based Propellant	102
3.2.2 Formula Design and Combustion Property of Low Burning Rate Composite Propellant	106
3.2.3 Formula Design and Combustion Property of Low Burning Rate NEPE Propellant	110
3.2.4 Formula Design and Combustion Property of Gas Generator Propellant	116
3.3 Manufacturing Process of Low Burning Rate Propellant	125
3.4 Application of Low Burning Rate Propellant	126
Chapter 4 Low Signature Propellant	130
4.1 Significance of Research on Low Signature Propellant	130
4.2 Concept and Combustion Property of Low Signature Propellant	132
4.2.1 Concept of Low Signature Propellant	132
4.2.2 Smoke in Plume	136
4.2.3 Blaze in Plume	138
4.2.4 Measurement and Evaluation of Signature	140
4.3 Approaches and Methods of Decreasing Signature of	

Propellant	143
4. 4 Formula Design and Characteristic of Low Signature	
Propellant	147
4. 4. 1 Formula Design and Characteristic of Low	
Signature Double-based Propellant	149
4. 4. 2 Formula Design and Characteristic of Low	
Signature Modified Double-based	
Propellant	150
4. 4. 3 Formula Design and Characteristic of Low	
Signature HTPB Propellant	154
4. 4. 4 Formula Design and Characteristic of Low	
Signature GAP Composite Propellant	158
4. 4. 5 Formula Design and Characteristic of Low	
Signature NEPE Propellant	168
4. 5 Manufacturing Process of Low Signature	
Propellant	173
4. 6 Application and Development of Low Signature	
Propellant	173
4. 6. 1 Application of Low Signature Propellant	173
4. 6. 2 Development of Low Signature Propellant	177
Chapter 5 High Energy Insensitive Propellant	180
5. 1 Significance of Research on High Energy Insensitive	
Propellant	180
5. 2 Approaches of Improving Energy of Propellant	182
5. 2. 1 Selecting Binder and Plasticizer with More	
Enthalpy of Formation	182
5. 2. 2 Selecting Advanced Energetic Fillers	193
5. 2. 3 Adding High Energy Combustion Agent	197
5. 3 Approaches of Reducing Sensitivity of	
Propellant	199