

低温度感度发射装药

Propelling Charges with Low-temperature Sensitivity

王泽山 史先杨 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

低温度感度发射装药

Propelling Charges with
Low-temperature Sensitivity

王泽山 史先杨 著

国防工业出版社

• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

低温度感度发射装药 / 王泽山, 史先杨著. —北京:
国防工业出版社, 2006. 1

ISBN 7-118-04166-1

I. 低... II. ①王... ②史... III. 发射药—装药—
研究 IV. ①TQ562②TJ41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 110752 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)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 $\frac{1}{8}$ 190 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 30.00 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 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	刘成海			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	彭华良	蔡镭		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜	

前 言

长期以来,环境温度一直是制约身管武器发展的重要因素之一。制式装药的弹道性能受环境温度的影响较大,低温初速、膛压偏低,高温初速、膛压偏高,有些火炮的高低温初速差甚至超过100m/s,这种差异随火炮初速的增加而增大。目前,火炮的膛压由二次世界大战后期的300MPa~400MPa增大到600MPa~800MPa,初速由原800m/s~900m/s增加到1500m/s~1800m/s,穿甲威力由500m距离穿透120mm厚装甲发展到2000m距离穿透800mm厚装甲^[2]。但因环境温度对火炮初速有很大影响,造成不同温度下火炮威力的重大差异,高、常温(50℃、15℃)能穿透的装甲,在低温(-40℃)时可能穿不透。环境温度还降低了火炮的使用效率。同时,在考虑高温身管强度的承载能力时,必须降低常温和低温的弹道指标,影响了弹丸的射程和精度。

常用温度系数(或温度感度)来表示弹道性能随温度而变化的程度。

国外学者认为,装药温度系数来源于两个方面:一是发射药本身燃速的变化;二是装药初始燃面的改变^[9]。因此,以往解决装药温度系数问题也从这两个方面着手,如改变不同温度下火药的燃速;利用火药脆性和破碎来调节不同温度装药的表面积等。

美国等国家研究了发射药钝感技术,改善了发射药的燃烧渐增性,有降低装药温度系数的效果。也研究了控制装药燃气生成规律的方法。这些方法虽然提高了初速,但温度系数没有改善。

其他的方法还有:随温度变化调节药室的容积;用红外线、微波、X射线等能量,激活低温装药。但直到现在,调节高压下燃速

与温度关系的设想还未能实现。

我们的研究,从正反两方面借鉴了国外研究的经验,采用了新的研究途径:在装药中引入一个补偿技术,其弹道性能与温度的规律与原装药的规律相似,但呈负向关系。这样,装药和补偿技术的正、负综合性能就不再随环境温度的变化而变化。

我国的研究成果还包括初步建立的低温感装药理论、内弹道模型和低温感火药的加工方法和质量检测方法。以此为基础写出本著作,总结了研究的理论与技术。

本书所述的低温感装药原理与技术,其特征是能消除或基本消除环境温度对火炮初速、膛压的影响,在不改变原火炮结构的情况下,保持各温度下火炮弹道性能稳定,并能显著地提高炮口动能。

本书的第一章是概论。在概论中,首先对温度系数进行了描述,对其发展进行了回顾和综述,介绍了化学、调解组分和装药结构等降低温度感度的方法。在燃面和燃速等效补偿设想的基础上,提出一种低温感装药(LTSC)的原理与技术方法,并分析了影响 LTSC 效果的装药条件。

低温感火药是由一般的发射药(基体药)及其表面上的包覆层所构成。包覆层的作用是控制基体药燃气的生成速率。包覆层的性能变化直接影响基药的燃烧、老化及其使用寿命。在工艺加工、存贮和使用过程中,低温感火药要受到温度、湿度及增塑剂迁移等因素的影响,其性能逐渐变化。其中,最重要的影响是包覆剂迁移的影响。研究包覆剂和火药的组分迁移规律,对于抑制迁移、预防老化,延长火药的使用寿命具有重要意义。

在本书的第二章里,讨论了包覆剂的迁移现象和抑制迁移的技术途径;分析了聚酯材料作为包覆剂应具备的性能;结合湿法包覆工艺讨论了聚酯包覆剂的混溶性和抗迁移性;此外,还对十余种聚酯包覆材料的物化性能,尤其是迁移性能进行了验证。

通过定容燃烧试验可以得到低温感火药的能量示性数,根据

这些示性数和内弹道理论可以估算膛压、初速和膛内的燃烧规律。定容燃烧性能是低温感火药质量的重要判据,是建立低温感装药弹道模型的理论基础与实验基础。

本书的第三章集中地讨论了低温感火药的定容燃烧性能,分析了传统实验方法在评定 LTSC 燃烧性能时可能产生的误差,提出了适合的评定新方法。在此基础上,研究了硝基胍、太根、硝胺、单基、双基等低温感火药的定容燃烧性能。

低温感火药不符合火药性质均一和平行层燃烧的假设;传统的内弹道模型不能解决破孔增面等低温感装药的诸多问题。应根据低温感装药结构不均一和变燃速的特点,系统地分析它的燃烧规律,在此基础上,才能建立低温感装药的弹道模型。

第四章介绍了低温感装药的弹道性能,推导了有关公式,并结合靶场试验对低温感装药发射过程进行了探讨;客观地描述了它的膛压和速度的增长过程、变化速率与弹道稳定性。分析了装药诸参量对火炮射击过程的影响。

第五章介绍了低温感装药的弹道模型。它在模拟膛内燃烧过程和弹丸运动规律时有较好的准确性。

第六章介绍低温感火药的力学性能,介绍了采用落锤冲击、拉伸剪切等实验方法研究的温度、加载方式与低温感火药碎裂、脱粘等的关系。讨论了界面性质、应力与温度的关系和相应的数学模型。本研究还采用了密闭爆发器和火炮等环境条件,观察了高压、高温和高速冲击下低温感火药的动态力学行为。找到了低温感火药破孔率的有关规律,从中制定出低温感效果的重要判据——破孔率判据。也较系统地考察了长贮后低温感火药的力学性能和对应的弹道性能。

第七章的内容有低温感火药的制备工艺技术,包括工艺流程、工艺参数和质量控制。还有工艺检测技术,包括密闭爆发器、化学分析和弹道等工艺检测技术。

本书是在一大批教师和研究生研究成果的基础上撰写的。这

些老师是：刘庆荣、杨忠义、陈振潮、何卫东。研究生有：朱立明、王渊、武海顺、罗运军、芮久厚、王煊军、贺晓军、黄洪勇、宋时育、王琼林、史先杨等；在编著本书时，也得到多位学者的帮助，在此一并表示谢意。

由于作者水平有限，加上本书的许多内容还在继续研究中，所以，书中难免有错误和谬误之处，请指正。

王泽山
2005年3月27日

符 号 说 明

- B——包覆药；
B——综合装填参量；
D38——一种三基发射药；
DA——一种叠氮硝胺发射药；
DBP——邻苯二甲酸二丁酯；
DNT——二硝基甲苯；
DPP——苯二甲酸二苯酯；
GR5——一种高能硝胺火药；
HTPB——端羟基聚丁二烯；
LTSC——低温感发射装药；
LTSG——低温感包覆药；
M30——一种三基药；
MC——一般装药；
NC——硝化棉；
NG——硝化甘油；
NQ——硝基胍；
PA、NA——聚酯型包覆剂；
PMMA——聚甲基丙烯酸酯；
RDX——黑索今；
SBe——一种双基球扁药；
TG——硝化三乙二醇；

L ——动态活度, $L = dp_i / (p_i p_m)$;

$L-B$ 曲线——火药动态活度曲线;

RQ ——相对陡度;

RF ——相对力;

Z ——火药燃去相对厚度, $Z = e / e_1$;

Γ ——气体生成猛度;

η_g ——炮膛工作容积利用系数、示压效率;

ψ ——火药燃烧掉的百分数。

目 录

第一章 概 论

1.1 温度系数	1
1.1.1 火药的温度系数	1
1.1.2 火炮装药的温度系数	2
1.2 低温感装药技术回顾	4
1.2.1 国外技术进展情况	4
1.2.2 国内技术进展情况	8
1.3 现有技术方法综述	9
1.3.1 化学方法或调节发射药组分的方法	9
1.3.2 调节武器与装药的结构	9
1.4 降低温度感度的基本原理和技术方法	10
1.4.1 原理与技术方法	11
1.4.2 影响 LTSC 温度系数的装药条件	12
1.5 两种低温感技术的应用	15
1.5.1 EI 火药	15
1.5.2 我国的低温感装药(LTSC)	25

第二章 低温感火药组分的迁移规律

2.1 发射药组分的迁移	27
2.1.1 组分迁移现象	27
2.1.2 火药中物质迁移的基本理论	28
2.2 EI 类低温感火药包覆剂的选择	35
2.2.1 聚酯包覆剂	35

2.2.2	聚酯包覆剂应具备的性能	37
2.2.3	改进聚酯与 NC 火药的混溶性	38
2.2.4	提高聚酯抗迁移性能	41
2.3	聚酯包覆剂的基本性能	43
2.3.1	聚酯包覆剂的物理性能	43
2.3.2	聚酯热分解	46
2.3.3	聚酯包覆剂迁移性能	51
2.4	迁移的测定技术	55
2.4.1	通用的仪器分析方法	55
2.4.2	包覆发射药迁移性密闭爆发器试验法	57

第三章 低温感包覆火药的定容燃烧

3.1	定容燃烧试验方法	59
3.1.1	简述	59
3.1.2	数据处理与误差分析	59
3.1.3	定容燃烧评定方法	63
3.2	低温感火药定容燃烧性能	63
3.2.1	硝基胍火药包覆前后的燃烧	63
3.2.2	低温感硝胺火药的定容燃烧	74
3.3	包覆对低温感装药定容燃烧性能的影响	82
3.3.1	阻燃剂的影响	82
3.3.2	包覆层结构的影响	84
3.4	定容燃烧包覆火药破孔过程	87
3.4.1	硝基胍火药破孔规律	87
3.4.2	低温感硝胺火药的定容燃烧性能	89
3.5	定容燃烧状态下包覆火药气体生成速率与压力 的关系	94
3.5.1	火药包覆前后的 $d\psi/dt-p$ 曲线及其数学 关系式	94
3.5.2	不同包覆层厚度低温感包覆药的 $d\psi/dt-p$	

拟合关系式	96
3.5.3 低温感混合装药的 $d\psi/dt-p$ 曲线拟合关系式	97
3.5.4 不同包覆方式包覆火药的 $d\psi/dt-p$ 曲线 拟合关系式	98

第四章 低温感装药的弹道性能

4.1 低温感装药弹道曲线的特点	100
4.1.1 LTSC 膛内压力的发展过程	100
4.1.2 LTSC 膛内弹丸速度的增长过程	103
4.2 LTSC 压力变化速率—时间曲线和示压效率 (η_s)	105
4.2.1 LTSC 和 MC 的 $p'-t$ 关系	105
4.2.2 LTSC 的示压效率 η_s	107
4.2.3 弹道稳定性	108
4.2.4 LTSC 装药与火炮初速	111
4.2.5 LTSC 的弹道效能	111
4.3 不同火药低温感装药的弹道性能	112
4.3.1 低温感硝基胍发射装药的弹道性能	112
4.3.2 低温感硝胺装药的弹道性能	113
4.4 影响低温感装药弹道性能的因素	122
4.4.1 装填条件对低温感装药弹道性能的影响	122
4.4.2 低温感火药装药最大膛压和初速的修正系数	133
4.4.3 包覆工艺对低温感装药弹道性能的影响	134
4.5 势平衡方法对低温感装药膛内燃烧规律的分析	136
4.5.1 低温感太根装药膛内燃烧规律分析	137
4.5.2 单基低温感装药膛内燃烧规律分析	139
4.5.3 低温感装药膛内的实际燃烧速度函数	142

第五章 低温感装药弹道模型及解法

5.1 低温感装药的经典弹道模型(模型 I)	144
5.1.1 低温感火药燃烧的物理模型	144

5.1.2	低温感火药的燃气生成函数	145
5.1.3	可燃药筒燃气生成函数和燃烧速度定律	148
5.1.4	低温感装药的经典内弹道模型及其解法	151
5.2	以密闭爆发器实验为基础的低温感装药模型	
	(模型 II)	154
5.2.1	基本假设	154
5.2.2	密闭爆发器实验的 $d\psi/dt-p$ 及 $dZ'/dt-p$	155
5.2.3	低温感装药的内弹道模型及其解法	158
5.2.4	特征点弹道性能的计算	161
5.2.5	计算结果与分析	162
5.2.6	模型(II)的应用例证	163
第六章 低温感装药的力学性能和长贮性能		
6.1	火药的强度	171
6.1.1	火药试样的轴向冲击实验	172
6.1.2	药粒的侧向冲击实验	173
6.1.3	火药的塑性变形与温度	173
6.1.4	火药的脆裂	174
6.1.5	影响火药强度的其他因素	176
6.2	包覆药界面粘接强度	177
6.2.1	包覆药的轴向冲击实验	177
6.2.2	包覆药的侧向冲击实验	178
6.2.3	温度与包覆药脱粘率	178
6.2.4	包覆药的静态压缩实验	180
6.2.5	包覆药的剪切实验	180
6.2.6	包覆药界面粘接强度的结论	183
6.3	低温感包覆药长贮性能	184
6.3.1	低温感包覆药加速长贮实验	184
6.3.2	低温感包覆药加速长贮的落锤冲击强度	186
6.3.3	加速长贮低温感包覆药的中止燃烧实验	190

6.4 加速长贮的低温感装药的弹道性能	192
6.4.1 加速长贮与弹道性能	192
6.4.2 温度往复变化和机械振动对 LTSC 的影响	194
6.4.3 三基低温感装药熟化期与弹道稳定性	195
6.4.4 长贮低温感装药弹道试验的结果分析	195

第七章 制造低温感包覆药的工艺方法 和质量检测方法

7.1 制备包覆药的工艺过程	198
7.1.1 工艺框图	198
7.1.2 包覆的工艺条件	200
7.1.3 影响低温感包覆药质量的工艺因素	202
7.1.4 工艺过程举例	203
7.2 低温感包覆火药的质量检测方法	204
7.2.1 包覆层质量分数检测方法	204
7.2.2 包覆层厚度检测方法	205
7.2.3 中止燃烧检测方法	207
7.2.4 爆发器实验检测方法	209
7.2.5 温度系数的弹道检验法	219
7.2.6 包覆层爆热检测法	221
参考文献	222