



国防科工委“十五”规划教材·化学工程与技术

# 火药装药设计原理与技术

王泽山摇何卫东摇徐复铭摇编著

**北京理工大学出版社**

北京航空航天大学出版社摇西北工业大学出版社  
哈尔滨工业大学出版社摇哈尔滨工程大学出版社

## 内容简介

《火药装药设计原理与技术》是军事能源材料专业的专业教材、也是一部论述火药装药学理论基础的著作。内容有火药装药设计的理论基础、火药气体的热力学性质、装药的弹道性能、装药的弹道设计与结构设计,以及最新发展的装药技术和模拟检测技术等。

本书可作为高等院校军工专业研究生的教学参考书,亦可作为军工行业研究机构、工厂和靶场等技术人员的参考书。

### 摇图书在版编目(悦孕)数据

摇火药装药设计原理与技术 王泽山等编著 郢-北京 北京理工大学出版社 圆园园缘

摇国防科工委“十五”规划教材 郢化学工程与技术

摇陈丹鼻苑-缘-郢-圆-郢-缘-缘

摇 I 郢火...摇 II 王...摇 III 郢发射药装药-设计-高等学校-教材摇 IV 郢郢郢郢

摇中国版本图书馆 悦孕数据核字(圆园园缘)第 员郢郢郢号

## 火药装药设计原理与技术

王泽山摇何卫东摇徐复铭摇编著

责任编辑摇刘志实

责任校对摇张摇宏

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 缘号(郢郢郢郢)

电话 郢郢郢郢郢郢郢郢(办公室)摇郢郢郢郢郢郢(批销中心)摇郢郢郢郢郢郢(读者服务部)

郢郢郢:郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢

郢原郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢郢

北京圣瑞伦印刷厂印制摇各地新华书店经销

开本 郢郢郢郢郢郢郢郢郢

印张 郢郢郢字 郢郢郢千字

郢郢郢年 郢月第 员版摇郢郢郢年 郢月第 员次印刷

印数 郢郢郢册 郢

陈丹鼻苑-缘-郢-圆-郢-缘-缘摇定价 郢郢郢元

# 国防科工委“十五”规划教材编委会

---

(按姓氏笔画排序)

摇摇摇主任 张华祝

摇摇摇副主任 王泽山 陈懋章 屠森林

摇摇摇编委 王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯  
乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春  
杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禡  
陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章  
贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山  
郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春

# 总摇序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础,掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐

全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 100 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 100 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 100 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、中北大学、(原华北工学院)、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入 21 世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝

# 前摇摇言

本书是军事能源材料专业的专业教材,也是火药装药学的基础著作。本书是在员~缘年出版的《火药装药设计原理》的基础上编写而成的。原书无论在深度和广度上都是一部优秀的装药理论基础的著作。在过去的十余年里,它为培养我国国防专业人才做出了贡献。但由于专业教学需要和装药理论在近期有了重要发展等原因,需要对原书进行改编。在改编过程中,在内容上补充了近十年来装药发展的新原理、新概念和新技术。根据教材和装药基础原理的特点,改编时重视了知识继承、发展与创新的关系,在原书系统装药基础理论的基础上,进一步拓宽内容,并重视了对火药装药发展动向的评述。改编后的书名定为《火药装药设计原理与技术》。

火药热力学性质的数学模拟理论是装药理论发展的重要内容之一,火药装药的内弹道行为,在很大程度上取决于火药燃气的热力学性质和燃气的组成。发展的数值模拟理论,其应用范围由理想气体扩大到火炮条件下的真实气体,可对高压火药燃气组成和性质进行较准确地判断,是分析弹丸在膛内运动和分析火药燃烧现象的基础。

建立在流体动力学基础上的两相流模型是内弹道流体动力学模型的代表,它和建立在热力学基础上的传统弹道模型相辅相成。

以流体动力学为基础的弹道模拟和以真实气体为基础的热力学性质数值模拟,使火药设计和弹道设计的内容更加充实,这有助于进行多因素的方案选择、因素对比和对目标的优化,简化了装药的设计过程。

发展的有关火药参数与弹道性能关系的理论描述,和对点火系统、火药燃烧、可燃容器的理论描述,有助于分析装药各技术之间的关系。

上述内容,在原书的员~缘章中有较完整的叙述。本书除对其内容作一些改写外,也补充一些近期发展的内容,如补充了高、低压药室的发射装药弹道模拟、高性能直射火炮的零维和一维内弹道模型、药包分装式装药和模块装药,滑膛火炮的装药结构,迫击炮弹装药,布撒器装药,炮射导弹装药和双药室装药等。

除装药理论之外,近年的装药技术发展尤为迅速,弹道效果明显的一些装药

技术已经获得应用。它们在提高初速、提高射速、增加射程、增加威力和精度等方面起到了非常重要的作用。这些装药如：液体发射装药、模块装药、随行装药、电热化学炮装药等。火炮远程发射的成果是身管武器发展的标志性成果。发射装药技术是远程发射系统的核心技术之一。它们包括：高初速的装药技术、火箭发动机装药技术、膛内、膛外冲压发动机装药技术、底排装药技术等。它们集中体现了当今先进的装药技术和装药手段。在本书的第 远章和新增添的第 苑愿章中，较全面地充实和阐述了新发展的装药技术：超低温感装药、随行装药、模块装药、固结装药和开槽管状药、试验技术，以及底排、火箭增程、冲压发动机和复合增程等远程发射装药技术。

火药装药实验是检测和审核装药的重要手段。除密闭爆发器和射击试验等主要的装药试验之外，又出现一些研究装药性能的实验方法。如研究火药燃烧过程的快速燃烧中止实验和研究混合装药燃烧特征的密闭爆发器实验，它们都是检测装药综合性能的试验方法。本书的第 愿章专门讨论了有关装药试验的一些新内容。

本书由王泽山、何卫东、徐复铭共同编写，王泽山任主编。

尽管装药理论与技术有了重要的进展，但装药设计所用的大部分技术基础仍是“经验性”的，表明火药装药学的内容不够完整，处在发展之中。在这种情况下编写本书有一定难度，也会影响到本书的质量。编著者虽经多方努力，但因能力所限，问题和缺陷在所难免，希望读者指正。

编著者  
圆园零零年 圆月

# 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 火药装药概述 .....	1
1.2 火药装药的组成及各装药元件的作用 .....	1
1.3 装药设计的任务和对装药的要求 .....	1
1.4 火药装药的基本类型 .....	1
第 2 章 火炮火药装药设计的理论基础 .....	2
2.1 火炮内弹道模型与火炮火药装药设计 .....	2
2.2 火炮装药的点火和燃烧过程 .....	2
2.3 火药燃气对炮膛的热传导 .....	2
2.4 火药燃气对炮膛的烧蚀 .....	2
2.5 发射时的有害现象 .....	2
2.6 火炮发射药装药弹道设计方案的评价 .....	2
2.7 火炮火药装药技术发展方向概述 .....	2
第 3 章 火药气体的组成和热力学性质 .....	3
3.1 火药气体的状态方程 .....	3
3.2 火药能量性质的简单计算方法 .....	3
3.3 火药气体组成的理论计算 .....	3
3.4 火药燃气的热力学函数 .....	3
3.5 炮口烟 .....	3
3.6 计算实例 .....	3
3.7 发射药的热力学性质与 UN 编码 .....	3
第 4 章 火药装药与弹道性能 .....	4
4.1 火药力 .....	4
4.2 装药量 .....	4
4.3 火药的爆温与膛内火药气体温度 .....	4
4.4 火药的爆热和潜能 .....	4
4.5 火药密度 .....	4
4.6 药型和火药压力全冲量 .....	4
4.7 药余容 .....	4



第 1 章 摇摇火炮装药的弹道设计 .....	1
1.1 摇摇装药设计步骤 .....	1
1.2 摇摇火炮膛内 责-贼造和 增-贼造曲线 .....	1
1.3 摇摇火药装药弹道设计模型 .....	1
1.4 摇摇弹道设计计算 .....	1
1.5 摇摇发射药单体形状和尺寸的选择 .....	1
第 2 章 摇摇火炮火药装药的结构设计 .....	2
2.1 摇摇火炮火药装药结构 .....	2
2.2 摇摇装药结构与火炮性能 .....	2
2.3 摇摇火药装药中的点火系统 .....	2
2.4 摇摇火炮火药装药附加元件 .....	2
第 3 章 摇摇发射药装药技术的进展 .....	3
3.1 摇摇渐增性燃烧的装药 .....	3
3.2 摇摇密实装药 .....	3
3.3 摇摇开槽管状药 .....	3
3.4 摇摇形成平台压力的装药结构 .....	3
3.5 摇摇低温感装药技术 .....	3
3.6 摇摇随行装药 .....	3
3.7 摇摇模块装药 .....	3
3.8 摇摇特高燃速装药 .....	3
3.9 摇摇装药的点火技术 .....	3
3.10 摇摇液体发射药装药 .....	3
3.11 摇摇电能与化学能结合的发射技术 .....	3
第 4 章 摇摇远程发射装药技术 .....	4
4.1 摇摇提高火炮初速 .....	4
4.2 摇摇优化底排装置 .....	4
4.3 摇摇火箭增程与 灾德字远程弹 .....	4
4.4 摇摇固体燃料冲压发动机装药 .....	4
4.5 摇摇减小弹道系数 提高射程 .....	4
4.6 摇摇增加射程技术的特点 .....	4
4.7 摇摇超远程发射装药 .....	4
4.8 摇摇几项增程技术的基础与进展 .....	4
第 5 章 摇摇发射装药的模拟检测技术 .....	5
5.1 摇摇装药特征的数值模拟 .....	5
5.2 摇摇用于模拟装药燃烧性能的密闭爆发器试验 .....	5



猿猿测定装药燃速的定容、恒压密闭爆发器试验 .....	猿猿
猿猿模拟火炮寿命的烧蚀性能实验 .....	猿猿
猿猿快速降压的燃烧中止实验 .....	猿猿
猿猿混合装药的密闭爆发器实验 .....	猿猿
猿猿模拟装药内弹道性能实验 .....	猿猿
参考文献 .....	猿猿

# 绪论

## 火药装药概述

### 火药装药研究的内容

火药装药是弹药中的火药以及装药各辅助元件的总称。经过长期的发展,火药装药已经成为一门学科:火药装药学。它和火药学、弹丸学有密切关系,它有系统的和较完整的科学内容和科学方向。目前,火药装药技术发展很快,新原理、新概念、新结构装药不断涌现。高密度装药、刚性装药、随行装药、压实装药、电热化学能装药,以及缓蚀、底排、零梯度等装药技术逐步获得应用。装药技术近期的发展,促进了火炮和弹药技术的进展,也充实了装药学的科学内容。

火药装药为武器提供发射能量,它是决定武器威力的关键因素之一。火药装药应满足武器的战术技术要求,尤其是满足武器威力的要求,为武器储备和提供必需的能量,并在发射瞬间完成能量的转换。

火药装药应在武器环境中、在武器服役和瞬间发射时准确地发挥效能。装药的可靠性、敏感性和安全性是令人关注的。赋予装药低易损性,是武器摧毁目标、保存自己的需求。

勤务处理和机动性有相近的意义。简化的装药、安全的装药,可在较大程度上影响到武器的机动性和人员的操作环境。

火药装药应从上述的威力、安全可靠性和勤务处理等诸多方面满足武器的战术技术要求。火药装药的研究内容虽然很多,但主要的有三项:

- (一) 满足武器威力要求,提高炮口动能;
- (二) 提高武器的安全性和可靠性;
- (三) 改善武器的勤务处理环境。

其中,炮口动能和弹道稳定性是装药研究的核心内容,装药研究一直在关注增加炮口动能的理论和技術。有利于武器机动性、武器寿命的装药研究也很重要,如可燃容器、刚性装药、缓蚀技术、整装和分装式装药结构、装药工艺等,都是装药研究的主要内容,它们和武器威力有密切的关系。

装药理论是装药学的重要组成部分,近期,火药设计、装药设计、点火系统设计、弹道设计等基础理论的研究都有所进展,发展的有关理论逐步地改变装药经验和半经验的设计方式。



### 摇摇火药装药的重要技术目标

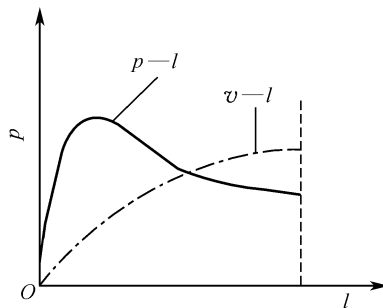
火炮内弹道过程是装药潜能转变为弹丸动能的过程。内弹道过程遵循能量转换的规律，装药研究的重要基点是提高炮口动能，由于

$$\frac{1}{2} \rho v^2 \int_0^L S \cdot dl$$

(园-员)

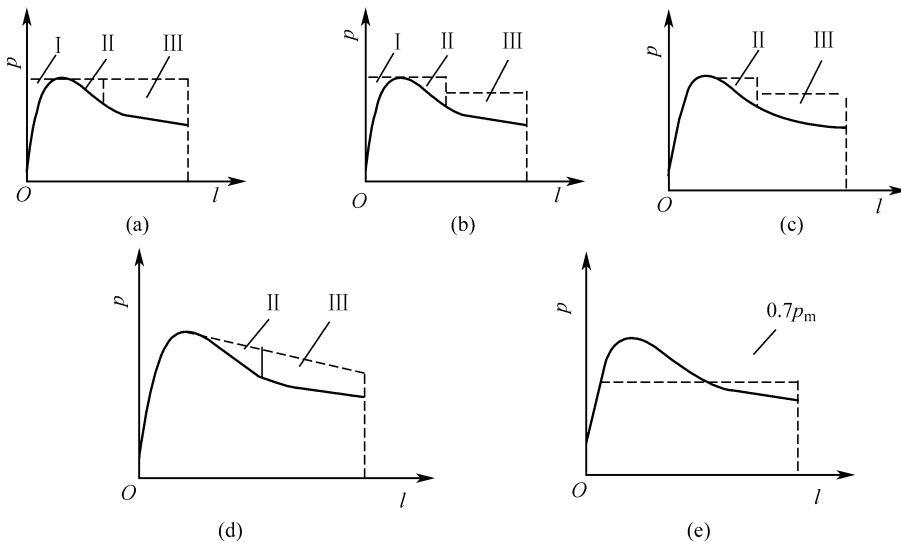
式中， $p$ 为火炮膛内压力， $dl$ 为弹丸的行程， $S$ 为弹丸初速， $\rho$ 为弹丸质量， $\rho$ 为次要功系数， $L$ 为弹丸全行程， $S$ 为身管截面积， $l$ 。

炮口动能在数值上等于  $p-l$  曲线的面积  $\int_0^L p \cdot S \cdot dl$  该值用符号  $\nabla$  表示。



图园-员制式火炮  $p-l$  曲线

下面分析提高  $\nabla$  的方法和可能性，从中确定装药技术所追踪的技术目标。现取身管长  $L$ 、最大压力  $p_m$  和初速  $v_0$  已给定的火炮。该火炮的  $p-l$  曲线如图园-员所示。要在  $p_m \leq p_m$  的条件下增加  $p-l$  曲线的面积，该曲线应尽快地达到最大压力，之后保持此压力至  $L$ 。这种曲线称之为弹道平台曲线。图园-圆是接近弹道平台曲线的几类曲线。



图园-圆弹道平台曲线类型

(a) 以  $p_m$  为平台压力的平台；(b) 阶梯压力平台；(c) 局部压力平台

(d) 类似平台；(e) 压力为  $0.7p_m$  的平台





## 摇摇火药装药的组成及各装药元件的作用

装药是由以下的装药元件组成：

### 发射药

发射药是火药装药的基本元件,是武器转变成弹丸有效功的能源。现有多种火药,不仅它们的成分不同,而且形状和尺寸也不相同。装药设计的核心内容是合理地选择和设计火药。

### 点火具及其元件

点火是火药燃烧的起始条件,点火的好坏直接影响到火药燃烧的状况,从而影响火药装药的弹道性能。点火系统的作用是在瞬间全面地点燃发射药,使火药正常燃烧并获得稳定的弹道性能。点火过强是造成膛内气体压力骤然增高的原因之一。微弱和缓慢的点火会导致装药不均匀点燃和迟发火,这是造成弹道性能反常和射击烟雾多的主要原因。装药的正常燃烧,除选择合适的点火系统外,还必须合理地选定点火系统的结构和它在装药中的位置。

点火系统由两部分组成:一是基本点火具,它对辅助点火药、传火药,或 directly 对装药进行点火,是提供最初点火热量的点火具。基本点火具有火帽、击发底火、电底火、击发门管等;另一是辅助点火具,用于加强点火能力,包括传火药和传火具。传火药有黑火药和速燃无烟药。传火具(如传火管)内有黑药或奔奈药条。

### 其他元件

装药中除发射药和点火系统外,还可能有护膛剂、除铜剂、消焰剂、紧塞具和密封盖等装药元件。各种装药不一定都有这些元件,而是根据武器的要求分别选择采用。各元件的作用为:

**护膛剂** 护膛剂可以减轻火药燃气对炮膛的烧蚀作用,提高身管的使用寿命。大口径火炮普遍使用护膛剂,中小口径火炮在初速或射速很高时也使用护膛剂。

**除铜剂** 除铜剂用于清除炮管膛线表面的积铜。射击时,铜质弹带在膛线上受切割和摩擦,使部分铜依附在膛线上。积铜多,炮膛表面不光滑,影响弹丸的正常运动和降低射击精度,甚至在积铜严重时出现胀膛现象。使用除铜剂可以明显地提高射击精度。

**消焰剂** 射击时,火药气体中的可燃气体与空气混合,有时会产生炮口焰或炮尾焰。这是射击时发生的有害现象。应尽量消除炮口焰,不允许产生炮尾焰。装药中的消焰剂可以消除火焰或减弱火焰的强度。

**紧塞具** 包括在药筒口部的厚纸紧塞盖和固定装药用纸垫或纸筒。用它们固定装药,避免药粒移动或摩擦,保持装药原有结构和弹道性能,在射击时,紧塞具有密闭火药气体、减轻对膛线烧蚀的作用。

**可燃药筒、可消失药筒** 它们是装药的容器,射击后消失。可燃药筒也具有能量。它们的燃烧性质、质量、结构都对弹道性能有影响,尤其是对弹药的强度、储存性能和易损性有重要影响。



密封盖 是一个有提环的孟形纸盖 ,其上涂有密封油 ,起防潮作用 ,在射击时取出。

把火药、点火药和装药的其他元件合理结合在一起 ,形成完整的结构 ,即是装药结构。

装药结构直接影响火药的点燃、传火过程和单体火药燃烧规律 ,也会影响其他元件的作用。

装药的总体设计、装药各元件和装药结构与武器的弹道性能和机动性有着十分密切的关系。

## 装药设计的任务和对装药的要求

装药设计是根据武器系统提供的参数 ,设计出满足武器要求的装药 ,装药要经过加工制作和射击等试验的验证。

装药设计应按照设计要求去完成。任务书中应指明设计计算所需要的火炮和弹丸诸元 :如火炮的口径、药室容积、炮膛横断面、弹丸全行程长、底断面至膛线起始部的长度 ,弹丸的质量、种类 ,弹丸初速 ,初速或然误差 ,允许的最大膛压 ,变装药的初速区分和最小装药的最低压力 ,装药在常、高、低温的初速和膛压的变化规律和变化的范围。

还有火炮寿命 ,有关射击焰和烟的限制的要求 ,装药的安全性、可靠性和稳定性要求 ,以及操作和运输与储存的要求等。

这些要求是对装药设计提出的普遍性的基本要求 ,必须认真考虑。不同类型、不同用途的武器 ,还有一些特殊要求。

## 火药装药的基本类型

按弹药装填和装药构造特点的分类 ,装药的类型有 :

### 定装式装药

定装药在运输、保管以及发射装填时 ,装药都在药筒内 ,药筒与弹丸可成为一个整体 ,装药量是固定的。该装药有全定装药 ,射击时它可以使弹丸获得最大速度。该装药的减定装药在射击时 ,可以使弹丸获得比最大速度要小的初速。

定装式装药有 :步兵武器(手枪、冲锋枪、步枪、机枪)的枪弹装药 ;火炮中的加农炮、高射炮、坦克炮、航炮、舰炮等装药。有些火炮同时配有全定装药和减定装药。

### 分装式装药

装药放置在药筒内或药包内 ,与弹丸分开保管和运输。装填时 ,首先把弹丸装入膛内 ,而后再装药筒或药包 ,这种装药称为分装式装药。分装式装药一般是可变装药 ,即在射击时可从装药中取出一些装药 ,改变装药量。该装药能调节初速 ,在不转移阵地的情况下能扩大火炮的射程范围。



由于战术的需要,有些火炮的最大和最小初速差很大,用一组变装药不能同时满足要求,要使用两组变装药。第一组应提供武器的最大初速和部分较高的中间初速,该装药称为全变装药;第二组应提供武器的最小初速和部分较低的中间初速,称为减变装药。

除上述类型的装药外,为了武器试验和简化试验,还应用了强装药和弱装药。

#### (员) 强装药

在产品检验中除常温的试验外,有时要用加温法使武器的最大膛压和初速达到恶劣条件下的最大值。通常以缘益的最大膛压和初速作为强装药的弹道标准。在实践中,除了用加温法之外,更多地采用增加装药量、用薄火药或速燃药和混合装药等方法进行强装药的检测。

#### (圆) 弱装药

武器中一些部件利用了膛压作动力,如自动或半自动火炮的开闩,引信解脱保险等,它们要求武器的最低膛压不能低于某一数值。因此,各武器也有弹道的下限指标。一般以正装药在原益时的最大膛压和初速作为武器的弱装药指标。除了降温检测法之外,主要是采用减少装药量的方法进行模拟检测,习惯上也把弱装药称为减装药。

# 第 1 章 火炮火药装药设计的理论基础

火炮装药设计主要包括两方面的工作：一是装药的弹道设计；二是装药的结构设计。装药弹道设计的任务是根据火炮内弹道设计所给定的弹丸初速、最大膛压等弹道指标，选择合适的火药及药型，求解装填条件、计算单体火药的燃烧层厚度，其基本依据是火炮内弹道理论。装药结构设计任务则是确定装药在药筒或药室中的配置方式，设计点火系统和选择其他装药元件，它与火药的点火和燃烧、火焰在装药中的传播、火药燃气对炮膛的传热和烧蚀以及烟、焰形成等机理密切相关。本章将对这些理论问题作简要的介绍。

## 1.1 火炮内弹道模型与火炮火药装药设计

火炮装药弹道设计的方法是根据火炮内弹道理论建立起来的。内弹道理论的发展对装药设计技术的进步有着指导意义。

火炮内弹道的研究，已有大约 100 多年的历史。最早的内弹道问题几乎只局限于在给定火炮、弹丸及装药诸元的条件之下，确定膛内最大压力  $p_m$  和弹丸初速  $v_0$ ，相应地建立了火炮内弹道的经验模型。经验模型是把  $p_m$  和  $v_0$  作为身管长度、口径、火药药室容积、装药量、火药厚度等诸元（或由这些诸元组成的综合参量）的函数，用火炮实验数据符合出如下形式的方程

$$p_m = f_1(L, D, V, G, \rho, \dots) \quad (1-1)$$

$$v_0 = f_2(L, D, V, G, \rho, \dots) \quad (1-2)$$

式中  $L, D, V, G, \rho, \dots$  是火炮、弹丸参数及装药诸元或其综合参量。

由于武器的发展以及测试、计算技术的进步，人们希望尽可能确切地了解发生在火炮中的物理过程，因此就提出了许多模拟火炮内弹道物理过程的理论，建立了各种各样的内弹道模型。但是，迄今为止，这些模拟火炮内弹道过程的模型都还属于半经验的。按照这些模型所采用的假设与简化方法的不同，可以把火炮内弹道的半经验模型大体分为常规模型和流体动力学模型两大类。

常规内弹道模型是在对任一瞬间弹后空间的气流及热力学参量取平均值的基础上建立起来的。附加其他不同的假设，即可得到不同形式的常规模型。

常规模型一般包含有五个方程，它们是：

(1) 发射药气体的状态方程；

(2) 能量方程；

(3) 弹丸运动方程；

(4) 燃烧速度方程；