



国防科工委“十五”规划教材·兵器科学与技术

火箭弹设计理论

周长省 鞠玉涛 编著
朱福亚 王政时

北京理工大学出版社

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

内容简介

本书系统地阐述了火箭弹总体及零部件设计的理论和方法。主要内容包括:概论、固体火箭发动机装药设计、火箭弹总体方案设计及基本参量预定、战斗部作用与设计简介、固体火箭发动机结构设计、空气动力计算、火箭弹稳定装置设计、火箭弹结构分析和密集度分析问题。

本书可作为大专院校兵器类专业的教材或参考书,也可供从事火箭弹研究、设计、生产和使用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火箭弹设计理论/周长省等编著. —北京:北京理工大学出版社,

2005.7

国防科工委“十五”规划教材. 兵器科学与技术. 普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5640-0444-4

I. 火… II. 周… III. 火箭弹-设计-高等学校-教材 IV. TJ415

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 008531 号

火箭弹设计理论

周长省 鞠玉涛 朱福亚 王政时 编著

责任编辑 董双洪

责任校对 陈玉梅

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 5 号(100081)

电话:010-68914775(办公室) 68944990(发行部)

<http://www.bitpress.com.cn>

E-mail:chiefedit@bitpress.com.cn

北京圣瑞伦印刷厂印制 各地新华书店经销

开本:787×960 1/16

印张:16.75 字数:329千字

2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

印数:2000册.

ISBN 7-5640-0444-4 定价:30.00元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

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 武博祯 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 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”号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。50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 200 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 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 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、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 言

火箭弹是常规弹药的主要种类之一。由于具备射程远、威力大、火力密集、发射时后坐力小等优点,国际上许多国家一直非常重视火箭武器的发展。随着新原理、新技术、新材料的出现,火箭武器的射程、威力、密集度等主要战技指标在不断提高,种类不断增多,应用范围在不断扩大。例如,随着高能推进剂、高强度、低密度材料的应用,火箭弹的射程已从 30~40 km 提高到 100 km 以上;随着微推偏喷管技术、动静不平衡度修正技术、简易控制及弹道修正技术的应用,火箭弹的密集度指标已从 1/100 左右提高到 1/300 以上;高能炸药、子母弹、末敏弹、末制导子弹药的应用已大大提高了火箭弹的毁伤效率。

为了满足国防现代化高技术人才培养的需要,我们结合火箭武器相关技术的发展以及多年的教学和科研实践,并参考国内外有关文献资料,编著了本书,以作为弹药类专业学生的教材或参考书,也可供从事火箭武器技术研究的科研、教学或管理人员参考。

在编写的内容上,侧重于火箭弹总体设计、装药设计、火箭发动机零部件设计及尾翼稳定装置的设计方法,有关战斗部设计、空气动力计算及密集度计算等内容只进行了简要介绍,详细内容可参考有关专业书籍。根据火箭技术的发展现状及趋势,淘汰了原书中涡轮式火箭弹设计的有关内容,增加了火箭弹总体优化设计、CAD 应用及简易控制技术的有关内容。另外,由于受到了总篇幅的限制,对原书中作为选修内容的章节(带 * 的章节)及其他章节中的部分内容进行了删减。

全书共分九章,第一章、第二章、第八章由周长省编写,第三章、第九章由鞠玉涛编写,第四章、第五章由朱福亚编写,第六章、第七章由王政时编写。本书由周长省教授任主编并完成统稿工作。

吕兆华教授对本书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见。李坚、张珑、鲁江林、陈雄等同志在本书的绘图、排版等方面做了大量的工作,在此对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,本书中可能存在缺点和错误,恳请读者给予批评指正。

目 录

第一章 概论	1
1.1 火箭弹的基本组成、分类及其特点	1
1.2 火箭弹主要战术技术指标要求及初步分析	3
1.3 火箭武器的发展趋势分析	7
第二章 固体火箭发动机装药设计	10
2.1 推进剂型号与装药药型的选择	10
2.2 单孔管状药的装药设计	13
2.3 星孔药的装药设计	23
2.4 轮孔药的装药设计	36
2.5 装药的包覆	44
第三章 火箭弹总体设计及基本参量预定	48
3.1 火箭弹总体设计简述	48
3.2 火箭弹外弹道分析与设计	52
3.3 尾翼式野战火箭弹的基本参量预定	60
3.4 反坦克火箭弹的基本参量预定	73
3.5 火箭弹总体优化设计	79
第四章 战斗部作用与设计简介	89
4.1 战斗部作用概述	89
4.2 战斗部设计	102
4.3 引信的选择	111
4.4 子母战斗部设计	113
4.5 新型战斗部	116
第五章 固体火箭发动机的结构设计	118
5.1 燃烧室设计	118
5.2 喷管设计	134
5.3 装药支撑装置设计	144
5.4 点火装置设计	147
5.5 导向钮设计	153



第六章 空气动力计算	156
6.1 几何参数与主要符号	156
6.2 空气动力和力矩	157
6.3 弹体气动特性计算	159
6.4 尾翼气动特性计算	168
6.5 尾翼弹气动特性计算	176
第七章 火箭弹稳定装置设计	182
7.1 火箭弹飞行稳定性设计	182
7.2 尾翼稳定装置的基本类型	184
7.3 尾翼几何参数的选择	186
7.4 尾翼强度、刚度校核	191
第八章 火箭弹结构分析	209
8.1 火箭弹结构分析的任务、方法及步骤	209
8.2 火箭弹结构特征数计算	210
8.3 火箭弹静强度分析与计算	218
8.4 火箭弹结构动力学特性分析与设计	220
第九章 密集度问题	228
9.1 概述	228
9.2 火箭弹密集度估算	228
9.3 提高密集度的措施简述	239
9.4 简易控制系统简述	244
参考文献	255

第一章 概 论

1.1 火箭弹的基本组成、分类及其特点

1.1.1 火箭弹的基本组成

火箭弹由战斗部、火箭发动机及稳定装置三大部件组成。

战斗部是在弹道终点发挥作战效能的部件。根据作战目的及对象的不同,在火箭弹上可以采用不同类型的战斗部。目前在火箭弹研制中常用的战斗部类型包括:杀伤战斗部、爆破战斗部、杀伤爆破战斗部、子母战斗部、破甲战斗部、半穿甲战斗部、干扰战斗部以及云爆战斗部等。为了使战斗部适时可靠地起爆,从而最大限度地发挥毁伤或干扰等作用,战斗部上都配有引信装置。战斗部类型及作战目标不同配用的引信类型不同,目前火箭弹研制中常用的引信有触发引信、电子时间引信以及近感引信等。

火箭发动机是使火箭弹能够飞行的推进动力装置,目前装备及在研的火箭弹主要采用固体火箭发动机。固体火箭发动机由连接底、燃烧室、固体推进剂装药、装药支撑装置、喷管及点火具等组成。在发射火箭弹时,发火控制系统给予点火具发火信号后,点火具工作产生的高温、高压点火气体流经固体推进剂装药表面时,点燃主装药。主装药燃烧产生的高温、高压气体流经拉瓦尔喷管时,燃气的压强、温度及密度下降,流速增大,在喷管出口截面上形成高速气流向后喷出,从而产生推力推动火箭弹向前运动。

稳定装置是使火箭弹能够按预定的姿态及弹道在空中稳定飞行的装置。按照稳定原理的不同,稳定装置可分为涡轮式稳定装置和尾翼式稳定装置两类。涡轮式稳定装置是利用火箭发动机的多个倾斜喷管产生的导转力矩使火箭弹绕纵轴高速旋转,高速旋转产生的陀螺效应使火箭弹稳定飞行;尾翼式稳定装置是在火箭弹的尾部安装尾翼,在空气中飞行时,安装尾翼后的火箭弹使全弹气动压心移到质心之后,从而产生稳定力矩,使火箭弹稳定飞行。

火箭弹是火箭武器系统中的一个子系统,火箭武器系统一般由火箭弹、运载及发射装置、火控系统以及雷达及气象探测系统等组成。运载及发射装置在行进中运载火箭弹,在发射时赋予火箭弹高低及方向的射角。火控系统实施弹道解算,确定射击参数,控制火箭发动机点火等。当火箭弹上带有可装定装置时,火控系统也负责弹上装定装置的参数装定。



1.1.2 火箭弹的分类

根据发射平台种类的不同,火箭弹可分为陆军火箭弹、海军火箭弹和空军火箭弹。

陆军火箭弹是由地面作战部队使用的火箭弹。陆军火箭弹又可分为单兵火箭弹和炮兵野战火箭弹。单兵火箭弹由单兵肩射使用,其特点是弹道低伸、体积小、质量轻、火箭发动机工作时间短,主要用于对付坦克等装甲车辆、地面工事以及超低空飞行的武装直升机等目标。炮兵野战火箭弹由多管发射装置发射,其特点是弹道弯曲、射程远、火力密集,主要用于毁伤远距离分布的敌有生力量、集群坦克和装甲运兵车、炮兵和导弹发射阵地、敌前沿阵地指挥所和雷达站等目标。

海军火箭弹是以舰艇作为发射平台发射的火箭弹。常用的海军火箭弹包括:用于对付潜艇及水面舰艇的反潜反舰火箭弹,用于对付岸上集群目标的对岸火箭弹,用于干扰雷达、导弹及鱼雷的干扰火箭弹等。干扰雷达及导弹的火箭弹主要是无源干扰弹,干扰鱼雷的火箭弹主要是有源干扰弹。

空军火箭弹是以固定翼飞机或武装直升机作为发射平台发射的火箭弹,它们又分为空-空火箭弹和空-地火箭弹。空-空火箭弹主要用于对付固定翼飞机和直升机,空-地火箭弹主要用于对付地面集群有生力量、装甲车辆和地面工事等目标,也可用于攻击海上舰艇。

1.1.3 火箭弹的特点

与身管火炮发射的弹药相比较,火箭弹有以下几项优点:

(1) 全弹长及质量受限制小,可以达到较高的速度和较远的射程。受火炮使用寿命及机动性的限制,火炮发射的弹药很难达到很高的炮口速度,从而使射程受到较大限制。现役中、大口径火炮弹药的炮口速度一般都小于 $1\ 200\ \text{m/s}$,在采用底排减阻或底排/火箭复合增程的情况下,其最大射程也难以超过 $50\ \text{km}$ 。对尾翼式火箭弹,弹径、弹长和全弹质量受限制小,合理地进行全弹及火箭发动机设计,可以使火箭弹达到较高的速度和较远的射程。

(2) 发射过载小,零部件设计比较容易。火炮发射的弹药在发射时过载较大,无后坐力炮及迫击炮发射的弹药其过载多数在 $5\ 000\ g$ 左右,榴弹炮发射的弹药其过载都在 $10\ 000\ g$ 以上。由于过载大,对零部件材料性能及结构设计要求较高,部分零件的消极质量较大。大多数野战火箭的发射过载都在 $100\ g$ 以下,即使是推力较大、工作时间很短的反坦克火箭弹,其发射过载多数在 $3\ 000\ g$ 以下。由于发射过载小,对材料性能及结构设计的要求可以低一些,发动机的消极质量较小,有利于控制及修正等电子元器件的应用。

(3) 发射时作用在发射装置上的力小,发射装置轻便灵活、寿命长。火炮发射弹药时,膛压高,作用在炮架上的后坐力很大,不但使得火炮身管壁厚大,而且炮架的结构笨重、质量很



大,机动性也较差。野战火箭弹在发射过程中,全弹出炮口前,发射架基本不受力的作用,发射管内壁受到的压强较小。在全弹出炮口后较短的距离内,火箭发动机喷管排出的气流有一部分喷射在发射架上产生一定的作用力,但该力远小于火炮承受的后坐力。因此,火箭发射装置的结构尺寸较小,质量较轻。

(4) 火力密集,完成作战任务的时间较短。中、大口径野战火炮在作战中一次只能在膛内装填一发炮弹,而且装填炮弹的时间较长,完成一次作战任务需要的时间较长。对火箭武器来说,除单兵反坦克火箭以外,其他火箭武器系统其发射装置都有多根发射管。在作战时,发射前在每个发射管中都已装填好火箭弹,发射时可以用很短的时间间隔顺序发射火箭弹。因此,在作战中使用多管火箭武器系统不但火力非常密集,而且在较短的时间内可以完成作战任务,从而有效地提高生存能力。

由于火箭弹自身带有推进动力装置,且大多数火箭弹在出炮口后的一段外弹道上其火箭发动机仍在工作。这些因素也使得火箭弹存在一些缺点。

(1) 生产成本低。火炮弹药的加速过程是在火炮膛内完成的,发射一发炮弹消耗一只药筒和一定数量的发射药。火箭弹是依靠自身携带的火箭发动机推进加速的,发射一发战斗部要消耗一发火箭发动机壳体 and 一定数量的固体推进剂。在使相同有效载荷战斗部达到相同最大速度的情况下,不但火箭发动机壳体的生产成本高于药筒的成本,而且由于火箭发动机的能量利用率低于火炮发射药的能量利用率,其固体推进剂的用量及生产成本都高于火炮发射药。

(2) 密集度较差。火炮发射的弹药不但炮口速度高,而且在外弹道上除受重力和空气动力作用外,不受其他力的作用,即使受到一定的扰动因素作用,也不会产生大的散布。而火箭弹由于发射管较短,加速过程长,不但炮口速度低,而且在外弹道上还有较大的推力作用在火箭弹上,受到一些扰动因素作用后使弹轴偏离速度矢量方向后,将会产生较大的落点散布。

(3) 容易暴露发射阵地。用火炮发射弹药时,虽然也会产生较大的噪声,但炮口火焰的信号较小。发射火箭弹时,火箭发动机工作时将从喷管中向后喷出大量的高温高速气流,高速气流与空气摩擦会产生很大的噪声,高温气流将产生很强的光和红外信号,声、光、红外信号很容易使发射阵地暴露在敌方的雷达等探测装备之下。

1.2 火箭弹主要战术技术指标要求及初步分析

研制或改进一个火箭武器系统,使用方首先要根据其作战使命、配属编制、使用限制等要求初步确定火箭弹的主要战术技术指标。然后,研制者进行系统的论证及初步方案设计,经过理论及初步试验研究和分析,确定在技术上实现战术技术指标要求的可能性。在研制初期提出的主要战术技术指标包括:射程、威力、密集度、弹径、全弹长、全弹质量和可靠性等指标。



1.2.1 射程指标

射程指标是火箭弹的一个重要战术指标,它体现火箭武器系统的有效使用范围。射程指标包括最大射程和最小射程两个指标。

从作战使用的角度确定最大射程指标,考虑的因素主要包括所对付敌方目标的可能距离及分布范围,敌方防御武器系统的射程等。单纯从攻击范围和自身安全性角度考虑,希望一种型号的火箭弹的最大射程越大越好。但提高最大射程也会带来其他问题,因为最大射程指标与全弹质量、战斗部质量、弹径、全弹长及生产成本等参数密切相关。在限制较小的情况下,如果增大射程,将会使全弹质量、弹径或全弹长和生产成本增加,这将导致火箭武器系统的管数减少,机动性降低,火力密集性变差。如果对全弹质量限制较大,增大射程必须增加固体推进剂装药及火箭发动机质量,这将导致战斗部质量及威力指标下降。另外,在确定最大射程指标时,应对使用要求、配属级别、机动性、威力、毁伤效率及技术上的实现的可能性等多种因素加以综合考虑。

最小射程是火箭武器系统射击范围的下限值。确定最小射程指标考虑的因素主要包括发射装置可以赋予的最小射角、引信能够可靠作用的最小着角、不产生跳弹的最小着角、引信解脱保险的距离以及战斗部的威力等因素。在可以实施发射的情况下,所确定的最小射程应能够确保战斗部安全可靠地发挥毁伤作用,且在战斗部正常作用时不致影响到发射阵地的安全。

1.2.2 威力指标

威力指标是体现战斗部对目标毁伤能力的指标。火箭弹常用的战斗部类型包括:杀伤战斗部、杀爆战斗部、子母战斗部、破甲战斗部和干扰战斗部等。

对不同类型的战斗部,表达其威力指标的参数不同。杀伤战斗部威力主要用密集(或有效)杀伤半径来衡量;杀爆战斗部威力用密集杀伤半径和爆炸坑的体积来衡量;子母战斗部威力用子弹威力、子弹数量及子弹撒布范围来衡量;破甲战斗部威力用破甲深度来衡量。

单纯从毁伤效果的角度考虑,希望单发火箭弹的战斗部威力越大越好。但增大战斗部威力将会导致炸药装填量、战斗部质量、战斗部直径和长度等参数增大。当全弹质量一定时,增大战斗部质量必须减小火箭发动机及推进剂装药质量,从而使得最大射程降低。如果保持射程指标不变,增大战斗部质量的同时必须增加推进剂装药量及火箭发动机质量,这将导致全弹质量增大,机动性及火力密集性变差。如果在弹径、弹长、全弹质量及射程等指标变化不大的情况下,通过合理的结构设计、炸药类型和壳体材料的选择等技术措施有效地提高战斗部威力,将是比较理想的技术途径。另外,对于毁伤面目标的火箭弹来说,其毁伤目标的概率,不但取决于单发战斗部的威力,还与火箭弹的散布及一次齐射的火箭弹数量有关。如果火箭弹



散布大,一次齐射的数量少,增大战斗部威力可以有效地提高毁伤效率。当火箭弹散布小,一次齐射数量较多时,战斗部威力达到一定指标以后,继续提高其威力指标并不能使毁伤效率大幅度提高。

因此,在确定战斗部威力指标时,应综合考虑目标特性、全弹质量、弹径、全弹长、作战使用方法和要求以及技术上实现的可能性等因素。

1.2.3 密集度指标

密集度指标是体现火箭弹散布大小的指标。不同类型的火箭弹,衡量密集度指标的方法不同,单兵反坦克火箭弹用立靶密集度指标衡量,野战火箭弹用地面落点密集度指标衡量。

密集度指标是影响毁伤效率的主要因素之一。在准确度、战斗部威力、用弹量一定的情况下,提高密集度指标大多数情况下都能使火箭弹的毁伤效率提高。只有当野战火箭弹用于对付分布范围较小的面目标,且准确度指标较低,密集度指标达到一定值以后,继续提高密集度指标可能会使毁伤概率减小。但由于火箭弹密集度指标与火炮弹药相比还处于比较低的水平,对大多数火箭武器系统来说提高其密集度指标都能有效地提高命中或毁伤概率。因此,在技术可行的情况下,应该尽可能地提高火箭弹的密集度指标。

影响火箭弹密集度指标的因素很多,不但许多随机扰动因素(如炮口扰动、推力偏心、动静不平衡度、阵风等)对密集度指标有较大影响,而且火箭内外弹道参数、大气环境参数以及弹炮配合参数等也对密集度指标有较大影响。大量的理论与试验研究结果表明,对无控火箭弹来说,在设计及制造中采用微推偏喷管设计、动静不平衡修正、绕纵轴导转、内外弹道参数优化等技术措施,可以使火箭弹密集度指标有较大幅度的提高。如果从作战使用要求考虑,需要密集度指标更高时,可以采用简易控制、弹道修正等技术措施,但这将导致火箭弹的生产成本提高。因此,在确定一种火箭弹的密集度指标时,不但要考虑其作战使用,而且要考虑在设计及生产时可以采用的技术措施、生产成本及效费比等因素。

1.2.4 可靠性指标

可靠性指标也是火箭弹的重要技术指标之一。可靠性指标分为安全可靠性和作用可靠性指标。

安全可靠性是体现火箭弹在生产、储存、运输及使用中安全程度的指标。在火箭弹研制及生产中要使用固体推进剂、炸药及多种火工品等危险品,火箭发动机工作时,燃烧室内将产生高温高压燃气。如果选材、设计及生产工艺不合理,可能在生产、储存、运输及发射时造成爆炸事故,从而造成财产损失及人身伤亡。因此,在火箭弹设计及研制过程中要对安全可靠性和作用可靠性给予充分的重视,确保在正常的生产、储存、运输及发射过程中不会出现安全事故。



作用可靠性指标是体现火箭弹在作战中能够正常发挥战斗作用的指标。为了将火箭弹发射到预定的目标区域,火箭发动机应能够正常可靠地工作,全弹能够稳定飞行。为了使战斗部能够有效毁伤目标,引信或有关火工品应能够适时可靠地引爆战斗部。从提高毁伤效率的角度考虑,作用可靠性指标越高越好。零部件和全弹可靠性指标高,不但对可靠性设计要求高,而且对零部件的加工以及装配精度要求很高。另外,为对零部件及可靠性指标进行考核,需进行很大样本量的单项和综合试验,从而导致研制周期增长,研制费用增加。如果作用可靠性指标太高,受技术水平、加工生产及装配条件的限制,所研制的产品可能难以达到可靠性指标要求。因此,在确定可靠性指标时,应从毁伤效率、研制费用、加工生产成本以及技术上实现的可能性等多个方面考虑。

安全可靠性与作用可靠性有时是一对矛盾体,提高某些零部件的安全可靠性可能会导致作用可靠性下降,也可能导致其他性能参数发生变化。例如,提高火箭发动机的安全可靠性,会使主要零部件尺寸及质量增大,在推进剂装药量一定的情况下,使射程降低;在电点火具设计中采用钝感电点火管,要求发火系统必须提供大的发火电流;在引信设计中采用双保险机构提高安全可靠性,可能会使作用可靠性指标降低。为确保生产、运输、储存及发射过程中的安全性,当安全可靠性与作用可靠性发生矛盾时,应首先保证安全可靠性指标。

1.2.5 效费比指标

效费比指标是体现作战效率与作战费用的综合指标。在作战中采用射程、威力、密集度及可靠性等综合性能指标优良的火箭弹,可以获得较高的作战效率。但研制和生产高性能的火箭弹不但需要采用许多高新技术,而且要采用高性能指标的原材料以及高精度的加工生产手段。例如,为了大幅度提高密集度指标,可以采用简易控制或弹道修正技术和高精度加工制造手段;为了提高威力,可以采用高能炸药;为了提高射程,可以采用高能复合或改性双基推进剂。这些高新技术、材料及手段的采用必然导致生产成本的大幅度增加,最终导致作战费用的增加。

为了获得高效费比指标,应该根据作战使命、目标特性、毁伤效率等因素,合理地选择火箭弹总体技术方案,原材料及加工制造手段。当利用常规成熟技术,低廉原材料和普通加工手段研制和生产的火箭弹能够满足作战使用要求时,尽量不采用高新技术、高性能原材料和精加工手段,以免使得研制和生产费用增加。但是,当采用常规技术、材料和加工手段生产的火箭弹已不能满足作战使用要求,或者新技术、新材料、新工艺已发展得比较成熟,能够使生产成本大幅度下降时,必须采用新技术、新原理、新材料和新工艺。



1.3 火箭武器的发展趋势分析

由于火箭武器具备无后坐、射程受限制小、使用方便等优点,自二次世界大战以来一直受到世界上许多军事强国的重视。特别是在近十几年的局部战争中,中远程火箭武器更是发挥了极大的作战效能。随着设计、材料、制造、光电等高新技术的发展,一些新材料、新技术、新原理、新工艺在火箭武器研制中应用以后,使得火箭武器的射程、威力、密集度等综合性能指标有了进一步的提高。

1.3.1 火箭武器的远程化

近年来,在固体推进剂制造中采用高能材料以后,使得推进剂能量大幅度提高。目前改性双基推进剂加黑索今、铝粉以后,其比冲量已达到 $2\ 400\ \text{N} \cdot \text{s}/\text{kg}$ 以上。复合推进剂的比冲量达到了 $2\ 500\ \text{N} \cdot \text{s}/\text{kg}$ 以上。在火箭壳体材料方面,高强度合金钢、轻质复合材料应用以后,使得其消极质量大幅度下降。在制造工艺方面,采用强力旋压、精密制造等技术以后,不但减轻了壳体质量,而且提高了材料利用率,降低了生产成本。在总体及结构设计方面,采用现代优化设计技术、新型装药结构、特型喷管等,有效地提高了推进剂装填密度和发动机比冲量。这些新材料、新技术、新工艺的应用使得火箭弹的射程不断提高。20 世纪四五十年代,火箭武器的射程多数在 $20\ \text{km}$ 以下,20 世纪六七十年代达到 $30\sim 40\ \text{km}$,20 世纪八九十年代已达到 $80\sim 90\ \text{km}$ 。目前,国际上火箭武器在射程方面的发展有两个方面,一是改造现有火箭弹,提高其射程。如世界上大多数国家已装备的 $122\ \text{mm}$ 火箭弹,经过改造以后,其射程已达到 $30\sim 40\ \text{km}$ 。二是研制大口径远程火箭,目前已装备或正在研制的远程火箭有埃及的 $310\ \text{mm}\ 80\ \text{km}$ 火箭、意大利 $315\ \text{mm}\ 75\ \text{km}$ 火箭、俄罗斯 $300\ \text{mm}\ 70\ \text{km}$ 火箭、美国 $227\ \text{mm}\ 45\ \text{km}$ 火箭、巴西 $300\ \text{mm}\ 60\ \text{km}$ 火箭以及印度的 $214\ \text{mm}\ 45\ \text{km}$ 火箭等。从目前的发展趋势看,火箭武器的射程在最近十几年内可能会达到 $100\sim 200\ \text{km}$ 。

1.3.2 火箭武器的精确化

早期的火箭武器其最大的弱点之一是散布较大。随着射程的不断提高,在相对密集度指标不变的情况下,其散布的绝对值愈来愈大,这将会大大影响火箭武器的作战效能。为了提高火箭武器的射击密集度,近几十年已开展了大量的研究工作。在常规技术方面进行了高低压发射、同时离轨、尾翼延张、被动控制、减小动静不平衡度以及微推偏喷管设计等技术的研究。有些研究成果应用在型号研制或改进中以后,已取得了明显的效果。如微推偏喷管设计技术应用在 $122\ \text{mm}\ 20\ \text{km}$ 火箭弹改进中以后,其方向密集度已从 $1/100$ 提高到 $1/200$ 以上。但



对远程火箭来说,这种密集度指标还不能满足作战使用要求。为了较大幅度地提高火箭的射击精度,近几年国际上又进行了许多先进技术的研究。俄罗斯的 300 mm 70 km 火箭采用简易修正技术,对飞行姿态和开仓时间进行修正以后,使得其密集度指标达到 1/310。这种简易修正技术的特点是结构简单、使用方便、生产成本较低。但由于它只能在较短的弹道上对飞行姿态进行部分修正,其提高射击精度的效果是有限的。为了更进一步地提高火箭的射击精度,美国和德国在 MLRS 多管火箭上采用惯性制导加 GPS 技术,研制出了制导火箭。为了提高命中目标的概率,除采用一些先进技术提高火箭的精度指标外,一些火箭在战斗部中装配了末敏或未制导子弹药。为了更有效地提高作战效能,未来的火箭武器将会采用多模弹道修正、简易制导,再加上灵巧智能子弹药的综合技术。

1.3.3 火箭武器的大威力、多用途化

早期的野战火箭主要用于对付大面积集群目标,所配备的战斗部包括杀爆弹、燃烧弹、照明弹、烟幕弹、宣传弹等。单兵使用的反坦克火箭只有破甲弹和碎甲弹。随着战场纵深的加大,对付目标类型的增多和目标综合防护性能的提高,要求火箭武器的威力更大,用途更广。为了用野战火箭消灭敌方有生力量及装甲车辆,目前大多数火箭都配有杀伤/破甲两用子弹子母战斗部;为了能快速布设防御雷场,研制了布雷火箭战斗部;为了提高对装甲车辆的毁伤概率,许多国家在中大口径火箭上配备了末敏子弹和未制导子弹药。在反坦克火箭武器方面,除研究新型破甲弹,提高破甲深度外,也在研制串联战斗部,多用途战斗部,以及高速动能穿甲火箭。为了使火箭武器在战场上发挥更大的作用,许多国家正在研制侦察弹、诱饵弹、新型干扰弹等新型高技术弹种。如澳大利亚和美国正在研制一种利用火箭使其能够在空中悬浮的火箭诱饵弹,主要用于对抗舰上导弹系统。

1.3.4 动力推进装置多样化

由于固体火箭发动机具备结构简单、工作可靠、使用方便等特点,目前大多数自带动力装置的武器都采用固体火箭发动机。但由于它又具有工作时间短、比冲量小、推力不易调节的缺点,从而限制了固体火箭发动机在多种武器上的应用。为了提高武器的综合性能,国际上许多国家已开始研究或应用新型动力推进装置。为充分利用大气中的氧气,研制了固体或液体冲压发动机。固体冲压发动机采用贫氧推进剂,其比冲量可达 6 000 N·s/kg 以上,由于固体冲压发动机在一定飞行速度下才能起动,因此它一般作为增程增速发动机使用。为了便于调节推力大小,一些国家已开始研制凝胶推进剂发动机。它所采用的推进剂是一种凝胶状物质,根据不同推力大小的需要,通过控制装置可以往燃烧室输入不同质量的推进剂。为了使火箭武器具备更强的续航能力,美国、俄罗斯、法国、英国等国家正在研制脉冲爆轰发动机。这种发动



机类似于冲压发动机,以空气中的氧气作为氧化剂,燃料采用汽油、丙烷气或氢气,它具备能量利用率高、结构简单、使用方便等特点,并能在静止或不同飞行速度下起动,但就目前的研究状况看,它产生的推力较小,还只能作为续航发动机使用。