



工业和信息化部“十二五”规划教材

弹药制导与 控制系统基础

张年松 曹 兵 编著 ●

ELEMENTS OF MUNITION GUIDANCE
AND CONTROL SYSTEMS



工业和信息化部“十二五”规划教材

弹药制导与 控制系统基础

张年松 曹 兵 编著

ELEMENTS OF MUNITION GUIDANCE
AND CONTROL SYSTEMS



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书对弹药制导与控制系统的基本知识做了简单而又系统的介绍,内容包括制导弹药的分类与组成、飞行原理、执行机构、制导系统、控制系统以及气动结构布局等。

本书可作为高等院校武器系统与工程专业弹药工程方向的教材,也可供从事弹药制导事业的科技工作者、工程技术人员、生产工人、管理人员、使用战士以及弹药技术爱好者参阅。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

弹药制导与控制系统基础 / 张年松, 曹兵编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2015.5
ISBN 978-7-5682-0560-3

I. ①弹… II. ①张… ②曹… III. ①导弹制导②导弹控制 IV. ①TJ765

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 088555 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 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 264 千字

版 次 / 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

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

前言

本书是为高等院校武器系统与工程类专业学生编写的,它对应的课程是武器系统与工程类专业的一门技术基础课,其教学目的在于让学生初步了解弹药制导与控制的分类、组成、结构、原理等基本知识。

本书编著者依托多年的教学和科研成果,紧密结合新一代制导弹药武器系统的研究现状和发展趋势,系统、深入地论述了弹药制导与控制系统的工作原理和分析方法,各种制导规律的形成和优缺点,不同类型制导方式的工作原理、结构组成、分析方法及其在弹药上的应用,以便为学习和研究弹药制导和控制问题提供专业技术基础理论参考。

本书共分6章,第1章、第3~5章由张年松编著;第2章、第6章由曹兵编著。本书主要内容包括制导弹药的分类与组成、飞行原理、执行机构、制导系统、控制系统以及气动结构布局等。由于篇幅限制,本书将不涉及弹药制导与控制的性能分析及结构和参数设计等内容。

本书所参考和引用的许多国内外专家、学者的学术著作与研究成果,均已在参考文献中列出。作者对这些专家、学者在弹药制导与控制理论的研究与发展方面所做出的贡献表示崇高的敬意,对能引用他们的成果感到十分荣幸,在此表示由衷的感谢。

本书在编著过程中得到了许多同行专家的热情鼓励和支持,特别是南京理工大学机械工程学院王晓鸣教授、钱建平教授和张合教授,他们对本书的结构和内容均提出了创造性的指导意见,对本书结构的完善和内容的系统性起到了积极的引导作用,作者对他们的悉心指导和无私帮助谨致以衷心的感谢。

由于编著者经验不足,书中难免有偏颇不当及疏漏之处,盼读者方家斧正。

编著者

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	001
1.1 无控弹药与制导弹药	001
1.2 制导弹药的发展简史	002
1.2.1 反坦克导弹	002
1.2.2 由常规平台发射的制导弹药	003
1.3 制导弹药的组成	006
1.4 制导弹药的分类	007
1.5 制导弹药的研制过程	008
1.6 弹药制导与控制系统的的基本要求	010
1.7 本课程的目的	012
第 2 章 制导弹药的飞行原理	013
2.1 制导弹药的飞行环境	013
2.2 制导飞行概述	014
2.3 制导飞行的操纵力矩和控制通道	015
2.3.1 产生和改变控制力的方法	015
2.3.2 导弹的操纵元件	018
2.3.3 导弹的机动性、过载、稳定性及操纵性	022
2.4 反坦克导弹弹道方案	025
2.4.1 直瞄平飞弹道	026
2.4.2 击顶弹道	026
2.4.3 几种击顶弹道方案比较	027
2.5 滚转导弹运动特性研究	028
2.5.1 滚转导弹的马格努斯效应	029
2.5.2 滚转导弹的陀螺效应	030
2.5.3 滚转导弹操纵力的形成机理	031
2.5.4 滚转导弹运动建模	038
2.6 滚转导弹动态特性分析	043
2.6.1 滚转导弹运动方程线性化	043

2.6.2	滚转导弹弹体传递函数	046
2.6.3	滚转导弹的动态稳定性	047
2.6.4	滚转导弹的动态稳定区及转速范围的确定	049
2.6.5	滚转导弹的静稳定性与固有频率	050
2.7	直升机载导弹运动特性分析	051
2.7.1	机载导弹运动建模的坐标系及其变换	052
2.7.2	旋翼下洗流场对导弹气动特性的影响	055
2.7.3	机载导弹运动方程	059
2.7.4	导弹相对瞄准线偏差角的数学模型	060
2.8	制导航空炸弹飞行力学研究	061
2.8.1	制导航空炸弹飞行力学研究的对象和任务	061
2.8.2	制导航空炸弹运动建模	062
2.8.3	图像制导航空炸弹的系统概念	067
第3章	制导弹药的执行机构	069
3.1	执行机构	069
3.1.1	执行机构的组成	069
3.1.2	执行机构的基本要求	069
3.1.3	执行机构的分类	070
3.2	制导弹药电、液、气舵机控制执行机构	071
3.2.1	舵机控制执行机构的性能要求	072
3.2.2	电动舵机控制执行机构	072
3.2.3	气动舵机控制执行机构	075
3.2.4	制导弹药舵机控制执行机构的发展趋势	080
3.3	制导弹药推力矢量式执行机构	080
3.4	制导弹药直接力控制式执行机构	083
3.4.1	固体脉冲推力器式执行机构	083
3.4.2	燃气发生器——阀门组件式执行机构	086
第4章	弹药制导系统	089
4.1	概述	089
4.2	自主制导系统的基本原理	091
4.2.1	测量、敏感装置	091
4.2.2	惯性制导系统	095
4.2.3	天文制导系统	098
4.2.4	多普勒 (Doppler) 制导系统	098
4.2.5	地形匹配制导系统	099
4.3	遥控制导系统	100
4.3.1	指令制导系统	100

4.3.2 波束制导系统	104
4.3.3 全球卫星定位系统	106
4.4 自动寻的制导系统	106
4.4.1 雷达自动寻的系统	106
4.4.2 红外线自动寻的系统	107
4.4.3 激光自动寻的系统	114
4.4.4 电视自动寻的系统	114
4.5 典型寻的器的基本技术	116
4.5.1 寻的器的稳定、跟踪与搜索	117
4.5.2 寻的器的信息探测与信号处理技术	118
4.6 单一模式导引头	119
4.6.1 点源导引头	119
4.6.2 成像导引头	122
4.6.3 单一模式导引头性能比较	124
4.7 多模复合导引头	125
第5章 弹药控制系统	129
5.1 导弹控制系统的功能	129
5.1.1 导弹控制系统的功能	129
5.1.2 导弹控制系统的组成及回路	129
5.1.3 导弹控制系统的特点	130
5.2 导弹的直角坐标控制和极坐标控制方法	131
5.2.1 直角坐标控制法 (STT 控制)	132
5.2.2 极坐标控制法 (BTT 控制)	132
5.2.3 遥控制导和控制回路	132
5.2.4 遥控制导和控制回路分析	139
5.3 气动力控制	141
5.3.1 舵面配置形状	142
5.3.2 尾控制面	143
5.3.3 前控制面	144
5.3.4 旋转弹翼	145
5.3.5 气动力极坐标控制与直角坐标控制的比较	146
5.4 推力矢量控制	147
5.4.1 推力矢量控制在战术导弹中的应用	147
5.4.2 推力矢量控制的实现方法	147
5.4.3 推力矢量控制系统的性能描述	150
5.5 倾斜转弯控制	150
5.5.1 倾斜转弯控制技术的概念	150
5.5.2 倾斜转弯控制面临的几个技术问题	151

5.5.3	倾斜转弯控制系统的组成及功用	152
5.5.4	倾斜转弯自动驾驶仪实例	152
第6章 制导弹药的气动结构布局		156
6.1	制导弹药气动结构布局	156
6.1.1	翼面沿弹身周向布置形式	157
6.1.2	翼面沿弹身轴向配置形式与性能特点	158
6.2	制导弹药典型气动布局	163
6.2.1	反坦克导弹的典型气动布局	163
6.2.2	制导航弹的典型气动布局	165
6.2.3	末制导炮弹的典型气动布局	166
6.3	制导弹药新型气动布局	170
6.3.1	制导弹药气动布局发展新趋势	170
6.3.2	反坦克导弹的新型气动布局	170
6.3.3	制导航空炸弹的新型气动布局	171
6.3.4	末制导炮弹的新型气动布局	172
6.4	弹体结构材料	172

参考文献	175
-------------	------------

第1章

绪 论

现代战争，从某种意义上说也是科技水平的较量。战争的最终胜负虽然不由武器的先进性决定，但用高科技手段装备的精良武器，在某个局部战争中确实能起到关键作用。正因如此，科技手段在现代化战争中发挥着越来越重要的作用。与以往的战争相比，现代战争的突出特点是进攻武器的快速性、长距离和强高空作战能力。对于机动能力很强的空中目标或远在几百、几千千米外的非机动目标，一般的武器是无能为力的，或者即使能够勉强予以攻击，其杀伤效果也十分差。要对付这种目标，就需要提高攻击武器的射程、杀伤效率及攻击准确度，制导弹药就是能够满足这些要求的先进武器之一。

制导弹药与无控弹药的根本区别在于它具有制导系统，而制导系统的基本任务是确定弹药与目标的相对位置，操纵弹药飞行，并在一定的准确度下，引导弹药沿预定的弹道飞向目标。

1.1 无控弹药与制导弹药

弹药，通常是指在金属或非金属壳体内装有火药、炸药或其他装填物，能对目标起毁伤作用或完成其他作战任务（如电子对抗、信息采集、心理战、照明等）的军械物品。

弹药分为两类：一类是无控弹药，其弹道轨迹不可导引、控制；另一类是制导弹药（Guided Munition），其弹道轨迹有制导系统导引、控制。

制导弹药的涵盖范畴在不同的文献中描述并不相同。在较狭义的理解中，制导弹药是指在常规发射平台不变，甚至使用和维护都不变的情况下，在已有常规弹药之外增加的可制导弹药。增加制导弹药后的常规武器平台，在正常使用时一般仍使用常规弹药，但在要求精确打击时，则可使用制导弹药。这种扩展使常规武器兼具传统功能和过去只有制导武器才具有的精确打击功能。这一范畴的制导弹药所要求的常规发射平台及使用和维护，类似常规弹药的约束，也给制导弹药的研制带来很多的困难。例如，这类弹药的高过载环境、在膛内的闭气减旋问题及上膛时滚转没有基准等，都给制导弹药的设计增加了很多一般制导弹药所不存在的复杂问题。

在这种狭义理解下，制导弹药包括地面炮发射的制导炮弹、坦克炮发射的制导炮弹、迫击炮发射的制导迫弹、飞机投放的制导航弹、火炮或迫击炮发射的末修炮弹及末修迫弹、航弹及远程多管火箭携带的制导子弹药及简易制导火箭等。近年来发展很快的末敏弹及末敏子弹药，作用原理是当弹上探测器探测到目标时，迅速起爆其战斗部，因而不具备制导功能，

所以一般不被列入制导弹药范畴之内。

当前存在的对制导弹药较广义的理解,是将反坦克制导弹药也归类为制导弹药。例如,简氏情报集团在其《DMS Precision Guided Munitions 1988/89 Market Study》一书中就是这样分类的。当然,也有些学者将制导弹药涵盖面理解得更宽。

本书采取较广义的理解,在内容上除了包括常规平台发射的制导弹药外,还包括了反坦克制导弹药。在个别章节中,为了内容的完整性,有些地方还涉及了该子学科在其他制导弹药领域中的进展情况。

1.2 制导弹药的发展简史

按国外较广义的说法,制导弹药(Guided Munition)一般包括两大类:一类是反坦克导弹,一类是借助常规武器平台发射的制导弹药。下面对这两类制导弹药的历史发展及现状加以简述。

1.2.1 反坦克导弹

反坦克导弹按发射平台分类,有便携式、车载式、直升机载式及固定翼飞机载式。典型便携式的例子,有法国的米兰(Milan)、艾利克斯(Eryx),美国的龙(Dragon)、标枪(Javelin),法德英的中程崔格特(TRIGAT-MR)及中国的红箭-73(HJ-73)等。典型车载式的代表有美国的陶(TOW)和法国的霍特(HOT),典型的直升机载式的代表有美国的海尔法(Hellfire),典型的固定翼飞机载式的代表有美国的幼畜(Maverick)和英国的硫黄石(Brimstone)。在实际的发展中,一种型号又常常被扩展到多种平台使用。如美国的陶,实际上也有便携式、车载式和直升机载式的,中国的红箭-8(HJ-8)也同时包括便携式、车载式和直升机载式三型。

反坦克导弹按射程分类,当前可分为远程、中程、近程和超近程四类。

远程反坦克导弹,其射程一般在4 km以上。如法国的霍特、美国的陶、法德英的远程崔格特(TRIGAT-LR)、俄罗斯的竞赛(Конкурс)和短号(Корнет),以及中国的红箭-8增程等。

中程反坦克导弹,其射程一般为2~3 km。如美国的标枪(Javelin)、法国的米兰(Milan)、俄罗斯的巴松管(Фарот)、中国的红箭-73和红箭-8,以及法德英的中程崔格特等。

近程反坦克导弹,其射程一般为600~1 000 m。典型的有法国的艾利克斯(Eryx)和俄罗斯的米基斯等。

超近程反坦克导弹,其射程从几十米到600 m,用于取代传统的低命中精度的火箭筒。典型的代表有美国的掠夺者(Predator)、德国的铁拳(Panzerfaust)等。

另外,直升机载式和间接瞄准的反坦克导弹射程更远。如美国的直升机载反坦克导弹海尔法(Hellfire)射程为8 km,以色列的激光半主动反坦克导弹猎人(Nimrod)射程远达26 km。

按技术水平的先进性及制导技术发展的历史阶段,可将反坦克导弹分为三代。

1. 第一代反坦克导弹

第一代反坦克导弹采用目视瞄准,手动操纵。由于射手的反应能力低,弹速只能允许在150 m/s以下,致使射手暴露时间长、安全性低。另外,弹制导回路的校正由人脑完成,使得射手训练困难,弹命中精度低,制导回路进程死区大。当前,这一代反坦克导弹已基本退役。

2. 第二代反坦克导弹

第一代反坦克导弹采用了三点法半自动瞄准线指令制导方式,射手只需保持将瞄具十字线压在目标上,即可保证命中目标。由于是半自动操作,故允许弹速提高。这样一方面缩短了弹飞行时间,减少了射手暴露的时间,缩短了最小使用射程;另一方面也允许减小翼面、舵面尺寸,采用折叠或卷弧尾翼,管式发射,从而简化了勤务处理,提高了可靠性。此法的缺点是,在弹的飞行过程中,射手需一直瞄准目标,从而有可能遭到敌方的攻击。另外,由于目标和弹标同时存在于测角仪视场内,因此,对方可通过施放红外诱饵,对发射方进行干扰。

为了解决新一代坦克正面装甲太厚,难于攻击的问题,当前一些二代反坦克导弹开始采用掠飞攻顶方案。此方案令制导弹药在瞄准线上方一定距离飞行,当弹接近目标,激光测距引信和磁探测器复合确认目标为装甲型目标时,向下斜置的破甲或爆炸成型战斗部被启动,攻击目标顶装甲,这样做可大大提高对装甲目标的毁伤效应。目前,采用此方案的典型反坦克导弹有美国的陶-2B(TOW-2B)、掠夺者(Predator)及瑞典的比尔(Bill)等。

3. 第二代半反坦克导弹

激光驾束制导反坦克导弹。虽然这类制导弹药同样采用了三点法半自动指令制导方式,但此时弹偏离瞄准线的偏差不是由测角仪测出,而是由弹从调制后的激光束内得到的。此时,目标处施放的诱饵无法干扰此误差信号,因而此类导弹抗干扰能力很强。

激光半主动制导反坦克导弹。此时导弹由目标面前方观察所的激光照射器指示制导。制导弹药发射后射手可马上隐蔽,从而使射手的安全性大大提高;但照射手在弹末制导的十几秒时间内仍需维持瞄准照射,故仍存在照射手的安全性问题。但由于照射手处无发射火光,且照射时间不长,故相对来说,此方案下的照射手隐蔽性较第二代反坦克导弹要好。

4. 第三代反坦克导弹

这是反坦克导弹今后发展的主流方向,其主要特点是“打了不管”、曲射攻顶、射手安全性高。另外,由于节省了射手跟踪目标的时间,射速也可大幅度提高。

当前已实现第三代反坦克导弹,它有两种制导方式:一种是电视或红外图像制导,一种是毫米波制导。红外图像制导的典型代表是美国的标枪(Javelin)和以色列的NT-G、NT-S及NT-D,毫米波制导的典型代表是美国的长弓(Longbow)及英国的硫黄石(Brimstone)。

反坦克导弹的发展历史大体上可分为三个阶段:第一阶段时间在20世纪50—60年代,其主要产品为第一代手控的反坦克导弹;第二阶段时间在70—80年代,此阶段的主要产品是红外半自动有线制导的反坦克导弹(如法德的米兰、霍特,美国的陶和中国的红箭-8等);第三阶段是80年代后期至今,典型产品为激光驾束反坦克导弹(如法德英的中程崔格特(TRIGAT-MR)等)、掠飞攻顶的反坦克导弹(如美国的陶-2B、瑞典的比尔(Bill)等)以及图像制导的寻的反坦克导弹(如美国的标枪、以色列的NT-G和NT-S及美国的长弓(longbow)等)。

1.2.2 由常规平台发射的制导弹药

1. 制导航弹

制导航弹的发展史开始于第二次世界大战期间。初期,美国研制的制导滑翔炸弹GB(Glide Bomb)在1943年投入使用,它采用指令制导,精度很低。与此同时,美国还研制过装有电视摄像机及双向信号传输的电视制导航弹,其飞行试验结果不错,但实战效果并不好。

另外,此期间美国还研制过雷达寻的制导航弹,但未能进展到使用阶段。

越战期间,美军装备过两种制导航弹:一种是激光制导炸弹宝石路(Paveway),另一种是电视制导炸弹白星眼(Walleye)。激光制导航弹在使用时要靠地面或机上的激光照射器照射目标。当激光照射器在机上时,为了正常使用,要求其具备稳瞄及自动跟踪功能。电视制导炸弹白星眼初期采用了发射前锁定、“打了不管”的制导方案,这使它在作用距离上受到限制。为解决此问题,白星眼的改进型增加了双向传输、指令制导、发射后锁定的功能,实现了远距离间接射击、中程方案制导或指令制导、末导段人工锁定、自动或手动制导航弹直至命中目标的目的。

近年来,制导航弹有了新的发展:在激光半主动制导航弹方面,为克服早期宝石路I、II型风标头速度追踪方案不能攻击活动目标及不抗风的缺点,已开始宝石路III型上采用激光半主动导引头、比例导引方案,以提高其在上述使用条件下的精度;在图像制导航弹方面,已开始采用红外导引头,以解决夜间攻击问题,如美国的GBU-15已允许根据需要选用电视或红外导引头。与此同时,所有的新型航弹都在不断地加大射程,增加中程方案制导或指令制导的功能,以做到能在防区外及低空投放,提高载机的生存能力。中间方案制导现多采用惯性制导或惯性制导/GPS组合制导方案,能做到按设计方案弹道飞行,从而允许载机在低空或高空投放,这样就提高了载机的生存能力,增加了攻击的突然性。

最近投入使用的美国的JDAM(Joint Direct Attack Munition)采用了单一GPS/惯导组合方案,命中精度在13m左右。此制导精度虽赶不上图像制导及激光半主动制导,但其全天候作战及价格低廉的优点使它很受各国军方的重视。

2. 末制导炮弹

美国于20世纪70年代开始研制的155mm激光半主动末制导炮弹铜斑蛇(Copperhead),于1982年起开始装备部队。研制中遇到的最大困难,是火炮发射时上万个g(重力加速度)的高过载环境、重补方向如何确定及制导弹药丸在身管内的闭气减旋问题。设计者在研制过程中,通过巧妙地设计导引头的过载转移结构及让所有的陀螺在发射时不工作的办法,解决了弹上关键器件的耐高过载问题;通过发射后启动沿弹轴安装的空间定向陀螺,让它寻找重力射面的办法,解决了制导段的重补问题;通过将固定弹带换为闭气减旋滑动弹带的办法,解决了发射时的闭气减旋问题。俄罗斯的152mm激光半主动末制导炮弹红土地(КРАСНОПОЛЬ)的研制在美国之后,但俄罗斯解决上述几个基本难点时所采取的思路与美国大同小异。技术方案上,不同之处是美国的铜斑蛇采用了半捷联式导引头、正常式舵、无发动机方案,而俄罗斯的红土地则采用了全稳式导引头、鸭式舵、有助推发动机方案;在指标上,红土地比铜斑蛇弹的质量轻(50kg及62kg),射程远(20km及16km),因此,可以说前者性能略高于后者。当前,俄罗斯将红土地移植到了155mm、122mm及120mm三种口径的火炮上,并已研制成功弹长与制式弹相同的红土地-M。

西方在研制成功铜斑蛇激光半主动末制导炮弹后,曾对其下一型“打了不管”的末制导炮弹投入了很大的力量,其中,最典型的代表是北约八国从1982年开始研制的155mm自主精确制导炮弹(Autonomous Precision Guided Munition, APGM)。此次选用的制导方案是毫米波雷达导引头及毫米波/红外复合引头。该项目虽经多年努力,也有不少投资,但终因技术不够成熟,于1990年被宣布终止。

最近,美国正在研制并已做了一些飞行试验的是一种用GPS/W制导的155mm末制导炮

弹 (XM982), 以及 127 mm、155 mm 两个系列超远程炮弹 (ERGM)。这类弹成本低、射程远、价格低廉, 且其战斗部有多种类型, 可为子母弹、末敏弹或穿甲弹。但由于没有末制导, 精度较低 (圆概率偏差 20 m)。

3. 坦克炮射制导炮弹

美国早在 20 世纪 60 年代就已开始了坦克炮射、半自动红外测角、红外指令制导的橡树棍 (Shilleagh) 制导炮弹的研制工作, 并于 60 年代末装备部队, 70 年代改为激光驾束制导。这类武器, 一直未被美军看作是一种可靠的武器系统, 所以仅少量装备部队后就停产了。

与西方不同, 苏联对这类制导弹药相当重视, 其目的是加强坦克远距离对付西方坦克及反坦克制导弹药发射车的能力。其中, 主要研制成功的有 100 mm 及 125 mm 两个系列的激光驾束制导炮弹。前者的典型代表是 4 km 射程的巴斯基昂 (БАСТИОН), 后者的典型代表是 5 km 射程的斯维利 (СВИРЬ)。

当前, 西方也开始重视这两种类型制导炮弹的研究, 而且要求射程要达到 6~8 km, 并要兼具曲射攻顶及直射攻击前装甲或正面目标的能力。以色列最近在国际市场上推出的 LAHAT (Laser Homing Anti-tank) 坦克炮射激光半主动末制导炮弹, 其射程为 6 km, 可以曲射攻顶。美国对正在研制的 TERM (Tank Extended Range Munition) 坦克炮射增程制导弹药的技术要求是: 射程 8 km, 可以曲射攻顶, 有激光半主动、红外、毫米波多模功能; 且多模功能中, 希望以激光半主动为主模式, 其他模式为辅助模式。

4. 末制导迫弹

20 世纪 70 年代末, 英国和瑞典都开始研制可由迫击炮发射的反坦克末制导迫弹。经多年努力。英国成功研制了莫林 (Merlin) 81 mm 的末制导反坦克迫弹。它采用了 3 mm 波段的毫米波探测器, 能对付运动和静止的装甲目标, 采用鸭式舵控制, 地面有效搜索范围对动目标为 300 m×300 m, 对静止目标为 100 m×100 m。此项目虽已小批量生产, 但英国军方一直没有对该产品订货。瑞典现已装备部队, 并已开始有国外订货的末制导迫弹是 Strix 120 mm 红外末制导反坦克迫弹。它采用被动红外制导, 扫描范围为 150 m×130 m, 末端修正采用 12 个侧向助推器。由于 Strix 的起控扫描区很小, 末端制导是靠脉冲发动机修正, 因此, 严格说来它应归类为末端修正的制导迫弹。

当前美国正在研制的 PGMM (Precision Guided Mortar Munition) 精确制导迫弹, 射程可达 15 km, 其制导方案曾经多次变更, 原设想方案为红外成像与激光半主动复合, 但最近资料表明它准备采用 GPS/惯导与激光半主动复合方案。根据最新制导方案, 在实战使用中, 在天气好时, 可采用 GPS 中制导加激光半主动末制导方案以期取得最大命中精度; 当能见度过低或实战情况下不允许前方使用照射器时, 可仅采用 GPS 方案。

5. 末修弹药

前面已讲过, 瑞典从 20 世纪 70 年代开始研制、现已装备部队的 Strix 末制导迫弹, 由于其在制导末端只能在短时间内采用 12 个侧推脉冲发动机对弹道进行修正, 所以应归类为末修迫弹。

俄罗斯在末修弹药上有两个系列的产品: 一类是将激光探测器装在风标头上, 采用速度追踪律的末修弹药, 其典型的代表是 152 mm/155 mm Santimeter 激光半主动末修炮弹, 以及 240 mm Smelchak 激光半主动末修迫弹; 另一类是激光探测器与弹体固连, 采用弹体追踪律的末修弹药, 其典型的代表是 155 mm Alfred 激光半主动末修炮弹, 以及 120 mm Beta 激光半

主动末修迫弹。

6. 简易制导火箭

美国在 20 世纪 60 年代就已经开始研究全射流的 30 km 简易制导火箭。其主要思想是在发动机工作期间,采用一射流陀螺敏感弹体相对发射方向的偏角,然后用超声速双稳产生控制力,通过姿态控制减小主动段弹体的摆动(这样也就减小了推力矢量的摆动),最后达到减小落点散布的目的。此项目虽经大量试验,但终究未能装备部队。其后,以色列研制了通过地面雷达测量火箭飞行数据,然后用侧向反作用力对弹进行轨道修正以提高落点精度的火箭弹,这一武器现已装备部队。

当前俄罗斯在国际市场上推出的旋风 70 km 多管火箭系统,除了采取了简易姿态控制以对推力方向进行控制外,还加用了简易射程控制,从而做到了使火箭的纵向及横向两方向的精度同时得到提高。美国最近在研制的多管制导火箭(Guided MLRS)采用了 GPS/惯导方案和鸭式舵控制,其飞行试验表明,可在自旋弹体上采用 GPS,从而为火箭的简易制导开拓了一个新的方向。

7. 制导子弹药

当前已研制成功的制导子弹药只有美国的 BAT,它采用声及红外复合制导方案。子弹药抛出后,声探测系统先开始工作,按运动目标的声源方向制导其向目标飞去。到一定距离后,红外系统发现目标,精确定向控制制导子弹药并准确攻击目标。此方案的主要缺点是它只能攻击运动中的目标,而当前为 BAT 设想的改进方案是采用毫米波或毫米波/红外复合导引头,以达到攻击静止目标的目的。

制导子弹药由于价格高昂、体积较大,所以当前应用范围还仅限于地地制导弹药、远程多管火箭或制导航弹这些体积较大的母弹上。

1.3 制导弹药的组成

广义上,制导弹药有五个组成部分:动力装置、制导系统、战斗部、弹体和弹上电源。

1. 动力装置

动力装置是以发动机为主体,为制导弹药提供飞行动力的装置,也可称为推进分系统。它保证制导弹药获得需要的射程和速度。

制导弹药上的发动机都是喷气式发动机,有火箭发动机(固体和液体火箭发动机)、空气喷气发动机(涡轮喷气和冲压喷气发动机)以及组合型发动机(固-液组合和火箭-冲压组合发动机)。

有的制导弹药,如地(舰)对空制导弹药和反坦克制导弹药,用两台或单台双推力发动机,一台作起飞时助推用的发动机,用来使制导弹药从发射装置上迅速起飞和加速,因此称为助推器;另一台作主要发动机,用来使制导弹药维持一定的飞行速度,以便能追击目标,因此称为续航发动机。对于远程制导弹药、洲际制导弹药,它们的飞行速度要求在火箭发动机熄火时达到每秒数千米,因而要用多级火箭,每级火箭要一台或几台火箭发动机。

2. 制导系统

制导系统是导引和控制制导弹药飞向目标的仪器、装置和设备的总称。为了能够将制导弹药导向目标,一方面需要不断地测量制导弹药实际运动情况与所要求的运动情况之间的偏

差,或者测量制导弹药与目标的相对位置之间的偏差,以便向制导弹药发出修正偏差或跟踪目标的控制指令;另一方面,还需要保证制导弹药稳定地飞行,并操纵制导弹药改变飞行姿态,控制制导弹药按所要求的方向和轨迹飞行直至命中目标。完成前一方面任务的部分是导引系统,完成后一方面任务的部分是控制系统,两个系统合在一起构成制导系统。制导系统的组合和类型很多,它们的工作原理也多种多样。

制导系统可以完全装在弹上,如自寻的制导系统。但有很多制导弹药,弹上只装有控制系统,导引系统则设在指挥站(设在地面、舰艇或飞机上)。

3. 战斗部

战斗部是制导弹药上直接毁伤目标,完成其战斗任务的部分。由于它大多放置在制导弹药的头部,人们习惯称它为弹头。

由于制导弹药所攻击目标的性质和类型不同,相应地有各种毁伤作用和不同结构类型的战斗部,如爆破战斗部、杀伤战斗部、聚能战斗部、化学战斗部、生物战剂战斗部以及核战斗部。

4. 弹体

弹体即制导弹药的主体,是由各舱、段、空气动力翼面、弹上机构及一些零组件连接而成的、具有良好气动外形的壳体,用以安装战斗部、控制系统、动力装置、推进剂及弹上电源等。当采用对接战斗部、固体火箭发动机和液体推进剂受力式储箱时,它们的壳体、箱壁就是弹体外壳的一部分。

其中,空气动力翼面包括产生升力的弹翼、产生操纵力的舵面及保证稳定飞行的安定面(尾翼)。对于弹道式制导弹药,由于其弹道大部分在大气层外,主动段只做程序转向飞行,因此没有弹翼或根本没有空气动力翼面。

5. 弹上电源

弹上电源是供给弹上各分系统工作用电的电装置,除电池外,通常还包括各种配电和变电装置。常用的电池有银锌电池,它单位质量所储的电比较大,且能长期保存。有的制导弹药,局部用电部分采用小型涡轮发电机来供电。有的巡航制导弹药,采用涡轮风扇喷气发动机带动小型发电机发电来供电。有的制导弹药(个别有线制导的反坦克制导弹药),弹上没有电源,其电源由地面电源提供。

1.4 制导弹药的分类

弹药制导是建立在制导技术、空气动力学、飞行力学、发动机技术、光学技术、电子技术、机械工程、发射技术以及战斗部技术上的一门综合的工程技术。其中,发射技术要保证将制导弹药以一定的初速和发射角发射出去,发动机技术要保证使弹以一定的速度变化规律飞到预定的射程,光学技术和电子技术要保证对目标的探测及跟踪,制导技术、空气动力学及飞行力学要保证制导弹药飞行的稳定性、机动性、制导及控制质量及命中精度等,最后战斗部技术要保证对目标产生预期的毁伤效果。

在第二次世界大战之前,人类在战争中使用的仅有常规弹药。其对目标射击的准确性仅靠调整弹丸或火箭的发射角,以及通过改变其装药并调整初速来实现。常规弹药由于命中精度很低,导致在战争中消耗弹药量很大。

第二次世界大战中,德国 V-1 和 V-2 制导弹药的成功研制及使用表明,随着科学技术的发展及战争需求的提高,武器的制导化已成为可能。第二次世界大战后的朝鲜战争,特别是越南战争中首次出现了常规武器制导化的弹药。其最典型的代表就是美国在越南战争中使用的制导航弹宝石路(Paveway),它使航弹的命中精度由当时普通航弹的近 100 m 提高到 10 m 左右,而且载机可在 5 km 高度、5 km 距离以外(当时越方防空武器火力之外)对目标进行攻击。它的出现解决了当时美国空军如何安全、有效地摧毁越方桥梁及重点目标的难题,显示了制导弹药在战争中的重要作用。

制导弹药的出现绝不是偶然的,尽管对它的需求早就存在,但只有当探测器件、惯性器件、电子器件、控制器件及动力装置的功能、精确度、尺寸和价格都达到了相当水平时,设计者才有可能将它们集成为一个有实际战争使用价值的武器。也正是因为其后各有关技术的持续发展,才使制导弹药由制导航弹逐步扩展到了反坦克制导弹药、末制导炮弹、末制导迫弹、炮射制导炮弹、末修弹、简易制导火箭及末制导子弹药等各种各样的制导弹药领域。当前这一发展趋势异常迅猛,其覆盖的领域也在不断扩大,常规兵器制导化已成为当今兵器发展的最主要方向之一。

1.5 制导弹药的研制过程

制导弹药的研制包括科学研究和试制两个过程。要解决试制中提出的关键问题,发展新型制导弹药,就必须进行大量的、深入的科学研究工作。

如图 1-1 所示,制导弹药的研制过程主要包括拟定战术技术要求、草图设计、技术设计、试制以及靶场飞行试验等五个基本阶段。

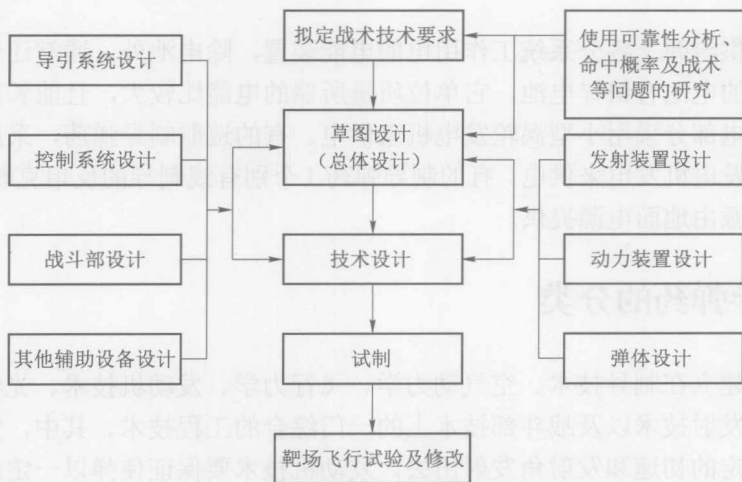


图 1-1 制导弹药研制框图

1. 拟定战术技术要求

战术技术要求是进行制导弹药研制工作最根本的依据,是战术要求、技术经济要求、使用维护等要求的总和。

战术要求是指制导弹药能有效地完成预定的战斗任务方面的要求,包括制导弹药的类别、

目标的特征、发射点的条件和特征、战斗部的威力、命中概率、制导弹药的飞行性能(射程、射高、飞行速度)等。

技术经济要求包括制导弹药的极限尺寸及质量、所用材料限制、弹体分离面的选取、制导系统的种类、发动机的类别、生产和使用的经济性等。

使用维护要求包括部件的互换性、现场安装迅速性、运输方便、维护方便、操作安全、储存期限等。

2. 草图设计

制导弹药系统的草图设计是按图 1-1 所示几个方面同时进行的,包括导引系统设计、控制系统设计、战斗部设计、其他辅助设备设计、发射装置设计、动力装置设计、弹体设计(包括总体布局、部件构造的初步设计及飞行性能计算等)、制导弹药命中概率的估计、使用可靠性分析及使用战术等问题的研究。

以上各项工作必须互相紧密地配合,协同工作,才能设计出比较合理的方案来。

3. 技术设计

技术设计是在总体设计的基础上进行的,它所包括的工作项目与草图设计相同,但比草图设计的工作要深入得多。在技术设计中,需要进行一系列的试验,如模型的风洞试验、控制系统的仿真试验、发动机热试车试验、弹体的强度试验和振动试验、部件的冲击试验、整个制导弹药的地面试验等。最后要做出空气动力学、飞行力学、强度、可靠性等的全套计算,并绘出供生产用的全套图纸。

4. 试制

根据技术设计所提供的生产图纸,在试制工厂进行生产试制,生产出一批供飞行试验用的制导弹药样品。

5. 靶场飞行试验及修改

为了保证制导弹药达到战术要求,必须确保它的各个组成部分工作都可靠。由于制导弹药是一次性使用的,一经发射便难以查明发生事故的原因,因此,除了进行各种大量地面试验外,还必须进行靶场飞行试验。飞行试验应严格按大纲进行。飞行试验大纲的拟订,应使得试验的每一阶段能检验制导弹药的一定部件或一组部件,而且每个下一阶段的试验应在上一阶段试验得到满意结果后方可开始。为了进行飞行试验,需要一小批制导弹药作为样品。每一试验阶段试验样品的数目,取决于实现试验大纲规定的项目时所产生的故障、缺陷。无论如何,飞行试验的数量应保证能获得预定要求的试验数据。

飞行试验大致包括以下 7 个方面的内容。

① 动力装置试验:主要是试验动力装置在飞行中的工作情况和制导弹药的发射情况。因此,弹内不装战斗部和制导系统,舵面固定不动。

② 控制系统试验:不装导引系统和战斗部,靠一定的程序以指令方式输送控制信号至俯仰和偏航通道,主要是检验制导弹药的稳定性、操纵性、动态特性,并通过制导弹药的性能指标来鉴定控制系统的品质。

③ 导引系统试验:不装战斗部、引信,主要检验制导弹药对导引系统指令的反应及导引的准确度。

④ 自动寻的头试验:如果制导弹药采用自动寻的末制导,则还要向靶弹(机)进行发射,检验制导弹药的命中准确度。