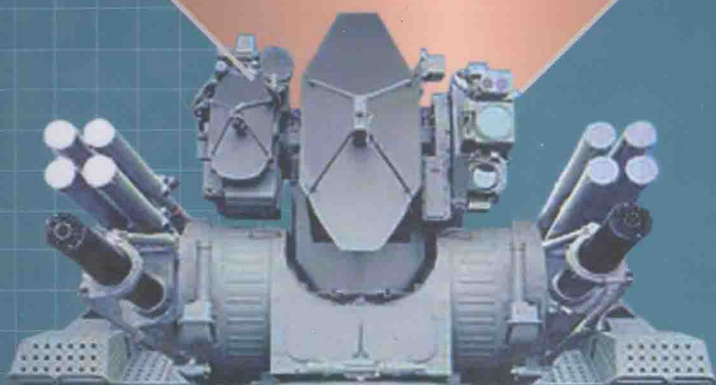


弹炮结合防空武器系统 总体设计



马春茂 陈熙 侯凯 刘腾谊 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

弹炮结合防空武器系统 总体设计

马春茂 陈熙 侯凯 刘腾谊 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

弹炮结合防空武器系统总体设计/马春茂等编著.

—北京:国防工业出版社,2008.7

ISBN 978-7-118-05613-6

I. 弹... II. 马... III. 防空-武器-总体设计

IV. E926.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027100 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 8 $\frac{3}{8}$ 字数 217 千字

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 32.00 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

前 言

在陆军低空、超低空防御体系中,弹炮结合防空武器系统是野战和要地防空的重要武器装备,也是各国陆军多年来急需的武器装备。这类武器系统实现了两种火力的互补,发挥了高炮与防空导弹的综合优势,对同一批目标可实施多次攻击或拦截,具有较高的系统综合作战效能。从战术使用或者从系统组成出发,高炮与防空导弹在一起作战有三种方式:

(1)多位一体式弹炮结合,也称硬结合。此类武器系统是高炮、防空导弹、火控、底盘等综合集成于一体的防空武器系统。其特点是独立作战能力强、机动性好、反应时间短,可具备行进间作战能力,适合于野战伴随防空。

(2)火力分置式弹炮结合,也称软结合。此类武器系统将防空导弹、高炮分开配置,依靠一套具有弹炮结合功能的火控系统实现统一的作战指挥、信息通信、射击和发射控制、火力分配控制等功能,最终实现弹炮结合整体作战的效能优化,即形成了弹炮软结合方式。其特点是武器系统可分散配置,各火力单元重组性好,系统成本较低,适合于机场、大坝、桥梁等要地防空。

(3)防空导弹系统与高炮系统混编。混编在一起的防空导弹和高炮分别配有独立的火控系统,仅在作战指挥和部队编配形式上进行组合。这种方式的成本较高,作战指挥和协调难度大,部队保障复杂,且两种武器系统布置较远无法做到弹炮结合的作战效果,布置较近又可能产生相互间的电磁干扰。事实上,它不能算是弹炮结合。因此,本书不再赘述混编方式。

鉴于弹炮结合防空武器系统的“硬结合”总体设计内容包含了“软结合”所涉及的部分,而且可认为“软结合”系统是“硬结

合”系统的特例。因此本书将重点阐述多位一体式弹炮结合防空武器系统。

弹炮结合防空武器系统总体设计,是多学科的综合应用。运用系统工程等现代设计理论与方法,综合兵器与航天领域相关学科的专业技术,指导弹炮结合防空武器系统技术设计的全过程,是协调各分系统设计的依据。因此,不仅专门从事弹炮结合防空武器系统总体设计的专家和技术人员需要掌握,而且从事分系统设计的专家和技术人员,从事管理、使用弹炮结合防空武器系统的人员,也必须具备总体设计的基础知识。

本书对弹炮结合防空武器系统总体设计的基本理论和方法有比较全面深入的阐述,对近年来逐步发展的现代设计理论和方法,如何在弹炮结合防空武器系统总体设计中推广应用作了适当的介绍。全书共分九章,内容涉及弹炮结合系统概念研究、主要技术性能分析与参数设计、弹炮结合系统方案分析、火控系统模型设计、结构总体动力学与射击精度分析、弹炮结合控制模式研究、系统毁歼概率与作战效能等,通过介绍弹炮结合武器系统具体型号的总体设计实例,系统地掌握所学的内容和方法。

应当指出,本书的内容仅仅涉及弹炮结合防空武器系统的主要总体设计工作,并没有包含弹炮结合防空武器系统的全部总体设计内容。在本书编写过程中,《火炮发射与控制学报》编辑部协助了部分插图绘制,在此表示谢意。

本书第1、4、6、7、9章由马春茂博士主笔,第3、8章由陈熙博士主笔、第5章由侯凯高级工程师主笔。第2章由刘腾谊总工程师主笔、王建民高级工程师、杜森睿高级工程师、田国杰高级工程师和高效生工程师分别参加了第4、7、9章的编写工作。全书由马春茂博士统稿。由于水平有限,书中缺点错误在所难免,不妥之处敬请读者批评指正。

编者

2007年10月31日于咸阳

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 防空武器概述	2
1.1.1 防空导弹	4
1.1.2 自行高炮	9
1.1.3 弹炮结合武器	11
1.2 弹炮结合防空武器系统	14
1.2.1 战斗装备	14
1.2.2 配套装备	15
1.3 结构总体布局特点	17
1.4 系统总体设计	19
1.4.1 总体设计的一般原则	20
1.4.2 总体设计的基本内容	22
1.4.3 研制阶段划分和进度、经费安排	24
第 2 章 弹炮结合系统概念研究	26
2.1 空袭威胁和能力需求	26
2.2 基本定位和发展途径	28
2.3 战术技术指标和使用要求	32
第 3 章 主要技术性能分析与参数设计	36
3.1 防御空域	36
3.2 对空探测威力覆盖范围	39
3.3 精度设计和误差分析	47
3.3.1 空情探测与信息融合	48
3.3.2 导弹制导和控制	50

3.3.3	高炮射击精度和密集度	51
3.3.4	跟踪设备	58
3.4	总体参数分配	68
3.4.1	战斗全重	68
3.4.2	主要结构尺寸	69
3.4.3	射击精度分配	71
3.4.4	时间和时序	72
3.4.5	可靠性维修性	75
第4章	弹炮结合武器方案分析	78
4.1	总体方案分析	79
4.1.1	红外寻的导弹方案	79
4.1.2	指令制导导弹方案	82
4.1.3	激光半主动寻的导弹方案	84
4.1.4	三种方案的比较	86
4.2	火控系统方案分析	87
4.2.1	目标搜索、探测、识别系统	88
4.2.2	稳定跟踪系统	91
4.2.3	火控计算机系统	95
4.2.4	地面制导系统	97
4.2.5	测距系统	98
4.2.6	武器随动系统	99
4.2.7	定位定向导航系统	101
4.2.8	载体姿态测量系统	101
4.2.9	弹道与气象条件测量系统	101
4.2.10	脱靶量检测系统	102
4.2.11	初级供电分系统	102
4.2.12	操控显示台	102
4.3	网络接口方案分析	102
4.4	技术经济可行性分析	104
第5章	弹炮结合火控系统模型设计	105

5.1	坐标系定义及坐标转换	105
5.1.1	载车坐标系	105
5.1.2	载车稳定坐标系	105
5.1.3	载车地理坐标系	106
5.1.4	瞄准线坐标系	106
5.1.5	托架坐标系	106
5.1.6	火炮基座坐标系	106
5.1.7	惯性坐标系	106
5.1.8	弹体坐标系	106
5.1.9	球-直坐标转换	107
5.1.10	大地坐标系与车体坐标系的转换	107
5.2	目标运动参数的数字滤波	110
5.2.1	目标运动规律假定	111
5.2.2	$\alpha-\beta-\gamma$ 滤波	111
5.2.3	最小二乘滤波	114
5.2.4	卡尔曼滤波	116
5.2.5	简化卡尔曼滤波	120
5.2.6	观测序列中野值的剔除	120
5.3	目标航路参数的确定	121
5.4	基线修正	122
5.5	火炮解命中问题	124
5.5.1	射表及其应用	125
5.5.2	火炮解命中问题	127
5.6	导弹发射诸元与制导规律	136
5.6.1	寻的制导发射诸元及装定诸元	137
5.6.2	指令制导导弹的发射诸元模型	140
5.6.3	指令制导导弹的制导规律模型	140
5.7	导弹杀伤区计算	142
第6章	结构总体动力学与射击精度分析	145
6.1	结构总体动力学建模分析	145

6.1.1	动力学建模理论分析	146
6.1.2	系统激励载荷分析	148
6.1.3	力学模型及拓扑结构	149
6.2	结构总体动力学分析软件	150
6.2.1	自主软件设计与考题验证	151
6.2.2	国外典型分析软件	159
6.2.3	软件使用基本流程	160
6.3	发射过程模拟分析	162
6.3.1	基本原理和组成	163
6.3.2	软件结构与设计	164
6.3.3	内弹道载荷模拟	166
6.3.4	自动机运动学与动力学分析	169
6.3.5	起始扰动与射弹散布模拟	174
6.3.6	运动间隙的影响分析	181
6.4	振动测试与射击精度分析	182
6.4.1	高炮振动测试的特殊性分析	183
6.4.2	振动测试的组织实施	183
6.4.3	测试数据的处理与分析	187
6.4.4	射弹散布的振动诊断	189
6.4.5	射弹散布的显著性检验	194
6.4.6	提高射击精度的技术途径	195
第7章	弹炮结合控制模式研究	199
7.1	火力防区划分与控制	199
7.1.1	火力防区划分	200
7.1.2	火力防区控制	202
7.1.3	防区划分与控制示例	204
7.2	火力控制平台分析	207
7.2.1	单平台的控制	207
7.2.2	双平台的控制	208
7.3	作战过程兼容控制	208

7.3.1	高炮与导弹作战的异同性	208
7.3.2	弹炮作战流程分析	209
第8章	系统毁歼概率与作战效能	212
8.1	毁歼概率	212
8.2	FSKA 效能模型	215
8.2.1	发现概率	215
8.2.2	服务概率	216
8.2.3	生存概率	216
8.3	RFSKA 效能模型和改进的 FSKA 效能模型	217
8.4	改进的 FSKA 效能模型计算方法举例	218
8.4.1	对固定翼飞机的毁歼概率	218
8.4.2	对武装直升机的毁歼概率	223
8.4.3	对固定翼飞机的作战效能	225
8.4.4	对武装直升机的作战效能	226
8.4.5	作战效能的比较与分析	227
8.5	ADC 效能模型	228
第9章	系统总体设计示例	234
9.1	系统总体技术方案确定	235
9.2	系统研制解决的主要关键技术	237
9.2.1	导弹对平台环境的适应性	238
9.2.2	系统跟踪与导弹视场的匹配性	238
9.2.3	弹炮结合控制流程的建立	238
9.2.4	导弹挂架模块的互换性	239
9.3	实施效果	240
9.4	典型弹炮结合火控系统	241
9.4.1	野战伴随弹炮结合火控系统	241
9.4.2	阵地末端弹炮结合火控系统	247
9.4.3	“通古斯卡”弹炮结合火控系统	252
	参考文献	257

第1章 概 论

在世界各军事强国中,苏联是最早研制和装备弹炮结合防空武器系统的国家。早在1970年苏联国防工业部仪表制造设计局就开始了对这种武器系统的方案论证工作。起初,对研制该武器系统的必然性和合理性在苏联国防部门内产生了不少怀疑,甚至在1975年—1977年间对研制工作停止了拨款。但是,后来由于美军在越南战场上使用了装有反坦克防空导弹及其制导设备的直升机,而这种直升机表明了具有很高的作战效能,在其91架次对地面装甲车辆袭击中,对89个目标空袭获得了成功。经过充分论证证明,唯一能抗击这种直升机的防空手段便是弹炮结合防空武器系统,它可伴随坦克车队一起行进,在超低空有足够的杀伤距离和系统反应时间。因此,有力地支持了苏联国防部火箭炮兵局等部门为弹炮结合防空武器系统研制继续拨款。

国外发展自行防空武器系统有两种模式。一是自行高炮系统,如瑞士“阿塔克”、德国“猎豹”、英国“神枪手”、日本87式自行高炮等;二是自行高炮与防空导弹结合的武器系统,如俄罗斯“通古斯卡”、美国“运动衫-25”、意大利“西达姆”等。一方面,自行高炮与防空导弹结合而形成的防空武器系统使防空导弹与高炮有机结合,优势互补,可对空中目标实施多次攻击,大幅度提高了系统综合作战效能;另一方面,自行高炮和防空导弹共用火控与底盘,可相对节约装备费用,提高武器系统的效费比。因此,自行高炮与防空导弹结合的防空武器系统已成为一种发展趋势。国外弹炮结合防空武器系统的研发历程证明,要研制和生产这种弹炮结合武器系统,既要有经济实力,又要有技术储备。从技术角度看,首先要具有成熟的单体技术和产品,包括防空导弹、高炮、火控系统、底

盘及相关部件;其次要具备武器系统集成和优化技术,如系统分析和仿真,效能评价和试验技术及手段;最后是要有复杂武器系统的总体技术,包括武器系统指标体系、防区划分、火力匹配、参数设计、系统优化、弹炮综合控制等。

我国经过近六十年的发展,经济实力增强,军事技术有了相当的基础。“八·五”、“九·五”期间,我国自行研制了25mm自行高炮系统、引进研制了双35mm牵引高炮系统,还研发了各种防空导弹,同时开展了弹炮结合防空武器系统的综合论证;“十·五”期间,在25mm自行高炮系统的基础上,完成与单兵便携式红外寻的防空导弹的结合,形成了新型的弹炮结合防空武器系统。这些成果的取得标志着我国已进入世界兵器技术的先进行列,对于加速我国现代化建设,完善防空体系,巩固和提高国际地位具有重大意义。

1.1 防空武器概述

随着科学和技术的进步,空袭威胁发生了巨大的变化。归纳起来具有以下几个特点:①由单一飞行器威胁向体系化发展;②由单纯的载人飞机向各种固定翼载人作战飞机(含隐身飞机)、武装直升机、巡航导弹、战术无人机和弹道导弹等空袭兵器多方面发展;③空袭兵器向隐身化、高速高机动方向发展;④与空袭同时实施的电子战威胁变得越来越严重等。面对不断发展的空袭威胁,无论是防空导弹或是高炮都存在着一定的优势和局限性。

防空导弹具有单发杀伤概率高、杀伤空域大、尤其具有杀伤概率在其杀伤范围内基本不变的突出优点,但也存在近距离盲区大、反应时间较长和作战成本较高等弱点。

小口径高炮作为一种近程低空、超低空武器系统,具有初速大、射速高、命中精度和毁伤概率高、反应时间短、抗干扰能力强、机动性好和作战成本低廉等优点。在近距离抗击超低空目标,小口径高炮的作战效能通常优于其他武器系统,但其不足之处是拦

截空域小,在现代战争中其防御空域范围已不能完全达到抗击敌空袭兵器的作战需求。

弹炮结合武器,贯彻取长补短的设计思想,充分发挥防空导弹与高炮的各自优势,具有反应速度快、火力密集度高、毁伤概率高、防区空域大和盲区小的特点,实现了单一防空导弹或单一高炮所不可能达到的作战效能。从使用性能上,弹炮结合武器在作战使用中体现了以下优势:一是目标适应能力强。例如在掩护机械化部队时,自行高炮的射程和运动速度均不及武装直升机,抗击武装直升机的效能很低,而配装防空导弹构成弹炮结合武器系统后则扩大了防御空域,使抗击武装直升机的情况得到改善;又例如在拦截战术无人机等空中高速小目标时,需数枚防空导弹才能成功拦截一个低成本的空中高速小目标,其作战效能往往不及高射速的小口径高炮;尤其在伴随掩护机械化部队时,可能有必要对地面目标自卫作战,小口径高炮是非常好的自卫武器。二是能多次射击同一目标,大幅度地提高了毁歼概率。一般防空导弹只能在目标距离较远时作战效果好,自行高炮只能航前作战,而弹炮结合武器系统可在防空导弹未命中目标情况下继续用高炮射击,对一个航路可实现二三次攻击或拦截,其毁歼概率既高于防空导弹又高于小口径高炮。三是作战指挥与后勤保障相对简单。与防空导弹系统和高炮系统混编相比较,弹炮结合武器使用导弹或高炮作战是由内置程序自动控制的,其作战准备、指挥和作战操作明显简单,且后勤保障只是支持一种防空兵器;而在混编部队需要指挥、协调、操作和保障两种防空兵器,作战使用要复杂得多。四是采购与使用成本相对较低。弹炮结合武器的导弹和高炮共用火控,还共用底盘或底座,其共用部分的生产成本占采购费用的 60% ~ 90%,因此采购一套弹炮结合武器的费用明显低于采购一套防空导弹系统加一套高炮系统的费用;使用保障方面,前者是保障一套防空兵器,后者是保障两套防空兵器,所以一套弹炮结合武器的使用费用也明显低于使用一套防空导弹系统加一套高炮系统的费用。

因此,随着现代空袭兵器的多样化和防空任务的多元化,需要高炮和防空导弹相互配合才能有效地承担空中防御任务。

1.1.1 防空导弹

空袭体系和空袭兵器的发展,以及防空导弹技术的发展是防空导弹发展的原动力。弹炮结合武器适配的防空导弹除在抗干扰能力、过载能力、战斗部威力、可靠性和环境适应性等方面应该性能先进之外,由于要求防空导弹打远、高炮打近和防空导弹与高炮集成在同一底盘上,所以突出强调防空导弹应具备的较远有效杀伤斜距和体积小、质量轻,并且应尽可能结构简单、成本低廉。另一方面,对于防空导弹最小有效杀伤斜距的要求则可以适当降低。俄罗斯“通古斯卡”和“潘泽尔”弹炮结合武器系统采用两级防空导弹就突出了距离远、体积小、质量轻的特点。虽然两级防空导弹近距离作战的死区较大,但这正是弹炮结合武器系统的高炮发挥优势的防御空域。下面从制导体制、控制方式、发射方式三个方面介绍这类防空导弹的主要技术特点。

1. 制导体制

防空导弹总体技术方案的选择,最为重要的是选择制导体制,主要分为被动寻的、半主动寻的、指令制导和驾束制导四种类型。下面将按类型说明这些防空导弹制导体制的优缺点。

1) 被动寻的制导

被动寻的导弹依靠空袭兵器自身辐射的能量寻找目标。作战时首先使防空导弹指向目标,只要防空导弹锁定目标后发射,即不再受发射平台的控制,可以打了不管。所以选择被动寻的导弹使弹炮结合火控系统比较简单。被动寻的导弹从防空导弹上探测目标辐射的能量,所以这种导弹距目标越近时信噪比越高,测量精度也越高。这使被动寻的导弹的末端命中精度较高(仅次于半主动寻的导弹),可以采用触发引信或作用距离很近的近炸引信。在满足一定杀伤概率要求的条件下,其战斗部的质量也可以较小,使整个防空导弹的体积和质量较小。而体积小和质量轻的特点尤其

适用于弹炮结合防空武器系统。被动寻的导弹末端精度往往不是最高的原因是:许多红外被动寻的导弹导引头追寻的不是目标本体,而是目标发动机尾部喷出的热气流,所以在防空导弹临近目标时需有一小段开环控制的前向偏移过程,以期直接命中目标。被动寻的导弹的不足之处:一是受天候影响。由于空袭兵器辐射最多的是红外能量,因此大多数被动寻的导弹工作于红外波段。受限于红外能量在大气传输中的衰减特性,红外被动寻的导弹只有在好天候才能发挥较好的作战效能;二是有效杀伤斜距一般比较近。由于被动寻的导弹一般要求在发射之前截获和锁定目标,这依赖于目标的能量辐射特性,而空袭兵器总是尽可能地抑制自身辐射的能量,所以制约了其有效杀伤斜距;三是抗干扰能力有限。被动寻的导弹的所有抗干扰设备均安装在防空导弹上,既受防空导弹体积和质量的限制,一次性使用方式又受成本的严格限制,因此采用较复杂的抗干扰措施相对困难。

2) 半主动寻的制导

半主动寻的制导主要可分为全天候的雷达半主动寻的制导和好天候的激光半主动寻的制导两类。作战时,在防空导弹发射车上有一个照射器连续地照射飞行中的目标,导弹在飞行过程中不断接收照射到目标后反射的回波,其飞行控制原理与被动寻的导弹不断接收目标自身辐射的能量基本相同。通过加大照射器的照射功率可以使半主动寻的导弹有较远的有效杀伤斜距。对照射器和寻的接收设备进行编码,可以在一定程度上提高半主动寻的导弹的抗干扰能力。半主动寻的导弹从导引头上探测目标本体反射的电磁波,也是飞得距目标越近时测量精度越高,所以半主动寻的导弹有很高的末端控制精度。这使半主动寻的导弹的体积和质量也可以做得比较小。虽然照射器可以用跟踪雷达或激光测距机兼任,但因为增加了编码和大功率照射等特殊要求,所以采用半主动寻的防空导弹的弹炮结合火控系统,较之采用被动寻的防空导弹的火控系统略显复杂。另外,半主动寻的防空导弹在飞行过程中要求照射器必须连续地照射目标,这一点对于一般的防空导弹系

统比较麻烦,但对于弹炮结合武器的影响反而不明显。这是因为弹炮结合武器的主要特点就是能够用防空导弹和火炮多次攻击或拦截同一航次的目标。在半主动寻的导弹飞行过程中,弹炮结合武器的跟踪系统本来就应该连续地跟踪目标,如果导弹拦截失败,立即使用高炮再次攻击。

3) 指令制导

现役的指令制导多采用无线电指令制导,能够全天候作战,并且有较远的有效杀伤斜距。作战时,发射平台上的跟踪器跟踪飞行中的目标,连续地测出目标现在点的位置;同时不断接收指令制导导弹上应答机的信号,以确定导弹的飞行位置;计算机不断解算出导弹飞行的误差,通过指令发送器发送指令到导弹上的接收机。指令制导导弹上的陀螺系统测出导弹飞行姿态角;弹上计算机将发射平台送来的指令由平台的车体坐标系换算到弹上坐标系,再通过自动驾驶仪控制舵机使导弹按正确的导引规律飞行。由于指令制导导弹必须在雷达波束内飞行,发射平台才能收到导弹应答机的无线电信号,所以弹炮结合武器系统上往往还需要一些具有较大视场的初始导入设备,将发射初始阶段的指令制导防空导弹导入相对狭窄的雷达波束中。很显然,采用指令制导防空导弹的弹炮结合火控系统最为复杂。指令制导防空导弹在飞行过程中也要求跟踪器必须始终对准目标。基于与采用半主动寻的导弹相同的理由,这对弹炮结合武器作战的影响不大。无线电指令可以用较强的功率定向发射,再加上编码措施使指令通道有较强的抗干扰能力。但因为导弹上的无线电应答机功率小,天线尺寸小限制了方向性,尽管也有编码措施,仍然是抗干扰的薄弱环节,所以无线电指令制导导弹的抗干扰性能不是很好。为了解决抗干扰问题,俄罗斯的“潘泽尔”弹炮结合防空武器系统在导弹上增加了一个激光编码应答机,当然在弹炮结合武器上也有相应的激光编码信号接收装置。采用该方法大幅度提高了抗干扰能力,但激光应答机只能在好天候发挥较好的功效。从理论上说,指令制导防空导弹飞得越远(距目标越近)时,测量目标现在点位置的误差越

大,所以指令制导防空导弹的制导精度随着导弹杀伤斜距的增加而下降,必须使用近炸引信和威力较大的战斗部,这使指令制导导弹的质量和体积要大一些。

4) 驾束制导

驾束制导的工作原理是:从发射平台上发出一波束指向目标,导弹在波束中接收编码信号,测出自身位置,不断修正误差,从而实现沿该波束的中轴线飞行。由于驾束制导导弹必须在波束内飞行,因此使用这种导弹的发射平台要么有初始导入设备,要么能发射宽、窄波束,才能保证发射初始阶段的导弹进入制导波束中。这样,采用驾束制导防空导弹的弹炮结合火控系统,较采用指令制导防空导弹的火控系统简单一些,但较采用半主动寻的防空导弹或被动寻的防空导弹的火控系统复杂。采用雷达波束的驾束制导防空导弹可以全天候作战,采用激光波束的驾束制导防空导弹只能在好天气作战。虽然激光驾束制导防空导弹自身发动机尾焰和烟雾干扰制导波束中编码信号接收的问题需要妥善解决,但它抗敌方干扰的能力很强,因为固定翼飞机的尾焰和烟雾拖在后方,而武装直升机发动机喷出的气流很快被其高速转动的旋翼吹散。驾束制导防空导弹可以有较远的有效杀伤斜距,但与指令制导防空导弹相同,攻击距离越远的目标,末端制导误差就越大,所以驾束制导防空导弹必须使用近炸引信和威力较大的战斗部,因此其质量和体积一般要大于寻的防空导弹。

除上述的制导体制以外,用于防空导弹的制导体制还有主动寻的制导、复合制导等其他制导体制。由于体积、质量、成本、复杂程度和技术成熟程度等原因,前面详细叙述的四种防空导弹制导体制更适用于弹炮结合防空武器系统。

2. 控制方式

涉及导弹控制方式的技术因素很多,这里仅从宏观上将其控制方式划分为单通道控制、双通道控制和三通道控制。

1) 单通道控制

单通道控制的防空导弹在飞行过程中要求弹体低速自旋,从