

现代火炮自动机 设计理论

戴劲松 王茂森 苏晓鹏 林圣业 著



Design Theory of
Modern Automatic Cannon



国防工业出版社

National Defense Industry Press

内容简介

现代火炮自动机设计理论

Design Theory of Modern Automatic Cannon

戴劲松 王茂森 苏晓鹏 林圣业 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

“九五”以来,经过火炮科技人员的不懈努力和开创进取,我国对小口径自动炮的研制取得了重大突破,攻克了一系列制约性基础技术,具备了自主设计和创新的能力,研制成功了一批适应我军需求的新型自动机和供弹机,其主要技术指标已接近或达到国际先进水平。同时在自动机设计理论方面也取得了系列成果,本书即是对这些设计理论的总结。

可为从事火炮自动机设计、仿真、分析与实践等研究的研究人员提供参考,也可以作为火炮专业或兵器科学专业本科生、研究生的教学参考书。

With continuing work of Chinese artillery researchers since 1995, great achievement has been made in the area of small caliber automatic-cannon and ammunition feeding machine. A series of breakthroughs have proved Chinese self-reliance and self-renovation in this area. This book introduces modern design theory for automatic-cannons and their corresponding ammunition feeding machines, which has never been systematically publicized before.

It can be a new reference book for relevant researchers and students.

图书在版编目(CIP)数据

现代火炮自动机设计理论/戴劲松等著. —北京:
国防工业出版社, 2018. 11
ISBN 978-7-118-11708-0

I. ①现… II. ①戴… III. ①火炮—自动机—设计
IV. ①TJ302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 259464 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 100048)
涿州宏轩印刷服务有限公司
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 字数 466 千字
2018 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

前 言

近几个五年计划以来,经过科技人员的不懈努力和开创进取,我国在自动机的研制方面取得了重大突破,攻克了一系列制约性基础技术,研制成功了一批新型自动机及其供弹机,其主要技术指标已接近或达到国际先进水平。与此同时在自动机设计理论方面也取得了系列成果,本书即是对这些设计理论和方法的总结。本书按自动机设计所涉及的主要理论和方法,分为7个章节。第1章介绍对自动机和供弹机的再认识,进一步明确了自动机、供弹机的相关概念,加深了对自动机驱动特性的了解,深化了对自动机原理、系统和设计原则的认知。第2章介绍最小化设计的原则,其核心的思想是:对于选定弹种和原理的自动机,在初始条件和边界条件(技术指标、材料和工艺能力等)给定的情况下存在最小的结构极限,设计的目的就是要找到这个结构极限,实现最优化设计,这样设计的自动机具有最好的发展与改进潜力。第3章介绍与最小化设计密切机关的几个主要方面,如刚强度、热容及疲劳强度等的基本设计思想和方法。第4章介绍自动机运动学分析的主要方法。现代自动机相对于传统的自动机来讲,其采用能源的形式更加多样化,与现代控制技术结合更加紧密,其动力学分析的内容已较传统的自动机已有很大的变化,为此在第5章介绍基于多能量范畴的自动机系统动力学分析理论。在第6章中介绍虚拟样机技术在自动机设计中的应用。第7章讲述最佳后坐力控制与膛内火药气体泄流的相关理论和方法。本书可作为自动机相关教学和科研的参考书。

本书中,戴劲松主笔撰写了各章节主要内容,王茂森、苏晓鹏、林圣业等协助撰写了本书的第3章、第4章和第7章,并对全书进行了校阅。

由于本书作者水平有限,时间也甚是紧迫,虽然尽力而为,但仍难免会有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正,并给予谅解。

作者

2018年10月

目 录

绪论	1
第 1 章 对自动机和供弹机的再认识	12
1.1 自动机和供弹机	12
1.1.1 自动机及射击循环动作	12
1.1.2 自动机驱动方式及分类	14
1.1.3 供弹机及分类	18
1.2 自动机与状态确定系统	18
1.2.1 状态确定系统	19
1.2.2 自动机设计自由度	19
1.2.3 自动机的后坐缓冲运动	21
1.2.4 内部的流动及对外部的作用	22
1.3 自动机原理特点	22
1.3.1 后坐式自动机原理	22
1.3.2 导气式自动机原理	24
1.3.3 双管联动自动机原理	25
1.3.4 转膛自动机原理	26
1.3.5 链式和凸轮自动机原理	27
1.3.6 转管自动机原理	30
1.3.7 新型速弹幕发射自动机原理	32
1.3.8 堆栈串并型身管组后坐自动机原理	32
1.4 自动机主要技术指标	32
1.5 自动机性能综合评价	33
1.5.1 火力单位发射效率	34
1.5.2 火力单位命中毁伤能力	36
第 2 章 最小化设计	39
2.1 构件最小化设计	39
2.1.1 构件最小化设计的目标及约束	39
2.1.2 构件尺寸约束分析	40
2.1.3 构件最小化设计的特点	40
2.2 自动机系统最小化设计	41
2.3 自动机设计流程	42
2.4 循环图	44

2.4.1	循环图的定义	44
2.4.2	循环图的基本分段	44
2.4.3	从循环图上寻求提高射速的方法	46
第3章	刚强度、热容量和疲劳强度的制约	48
3.1	最小化刚强度设计	48
3.1.1	转管自动机炮管与整体炮膛最小化强度分析	48
3.1.2	转管自动机闭锁齿强度校核	56
3.1.3	转膛自动机刚强度最小化设计	58
3.2	最小化热容设计	65
3.2.1	炮管温度场及热应力分析的理论	66
3.2.2	边界条件及载荷的确定	67
3.2.3	炮管热容分析计算有限元建模	69
3.2.4	炮管热容量分析	69
3.2.5	导气孔位置热容量分析	72
3.2.6	无源水冷性能分析	75
3.2.7	炮管改进后热容量分析	76
3.2.8	改进后导气孔位置热容量分析	79
3.2.9	循环水冷却	82
3.3	最小化疲劳强度设计	87
3.3.1	引起闭体小闭锁齿损坏的力源分析	88
3.3.2	闭体小闭锁齿破坏原因分析	90
3.3.3	切向和径向载荷共同作用时闭锁齿应力分析	93
3.3.4	碰撞分析	95
3.3.5	疲劳计算	95
第4章	运动学分析	99
4.1	运动学传速比	99
4.1.1	链式自动机传速比和效率的计算	99
4.1.2	转管自动机传速比求解	110
4.2	滚柱凸轮曲线	115
4.2.1	滚柱凸轮机构的数学描述	115
4.2.2	链式自动机平行分度机构凸轮设计	118
4.2.3	交合凸轮机构运动学分析	119
4.3	供弹导引空间位置关系分析	133
4.3.1	坐标确定及转换	134
4.3.2	软输弹导在安装空间中表示	138
4.3.3	软输弹导总体参数确定	142
4.3.4	模型初步校验	145
4.3.5	计算参数确定	145
4.3.6	示例入弹接口板与出弹接口板位置坐标	150

4.3.7	仿真软件及部分计算结果	153
第5章	动态仿真	158
5.1	键合图与键合空间	158
5.1.1	系统描述与因果关系	159
5.1.2	键和键合空间	163
5.1.3	键合空间基本元件的定义	166
5.1.4	基本二端口元件的定义	168
5.1.5	基本的多端口元件	170
5.1.6	结型结构和拓扑结点表示方法	173
5.2	系统状态方程的建立和处理	174
5.2.1	键合图模型建立的一般步骤	175
5.2.2	键合图模型因果关系的确定	175
5.2.3	系统状态方程的列写	177
5.3	键合空间系统碰撞理论	179
5.3.1	系统碰撞时系统运动的连续和不连续	179
5.3.2	系统刚性连接和碰撞在系统中的传递	180
5.3.3	系统碰撞动量方程	182
5.4	键合空间模型及状态方程实例	183
5.4.1	某型无链供弹系统仿真	183
5.4.2	某型身管组后坐自动机与供弹机动态仿真	190
第6章	虚拟样机	201
6.1	自动机和供弹机多体动力学模型	202
6.2	多刚体系统动力学的基础理论	203
6.2.1	基本概念	203
6.2.2	动能	204
6.2.3	动量	204
6.3	多刚体动力学方程	205
6.3.1	多刚体系统的组成	205
6.3.2	多刚体动力学坐标系统	205
6.3.3	自由度(DOF)	205
6.3.4	多刚体动力学方程	205
6.3.5	多刚体动力学算法	207
6.4	虚拟样机技术在自动机设计中的应用	208
6.4.1	载荷	208
6.4.2	运动仿真及结果分析	213
6.4.3	分析结论	218
6.5	转膛自动机改进虚拟样机分析	219
6.5.1	减重前虚拟样机分析	219
6.5.2	转膛体减重增大复进簧刚度虚拟样机分析	221

6.5.3	增大滚轮直径转膛曲线改进后虚拟样机分析	222
第7章	最佳后坐力控制与膛内火药气体泄流	225
7.1	最佳后坐力控制	225
7.1.1	最佳后坐力控制原理的基本表达式	226
7.1.2	外能源自动机射击稳定性研究	230
7.1.3	利用内源簧液式 FORC 实现浮动	233
7.1.4	基于 CFD 方法的 FORC 缓冲装置特性分析	243
7.2	炮口装置流场分析	250
7.2.1	膛口流场数值模拟建模及数值方法	250
7.2.2	炮口消焰装置流场分析	258
7.2.3	多身管膛口流场特征及其对弹丸运动影响研究	259
7.2.4	多身管自动机膛口流场隔离	294
参考文献	311
结束语	315

绪 论

“九五”以来,经过火炮科技人员的不懈努力和开创新进,我国对小口径自动炮的研制取得了重大突破,攻克了一系列制约性基础技术,具备了自主设计和创新的能力,研制成功了一批适应我军需求的新型自动机和供弹机,其主要技术指标已接近或达到国际先进水平。同时在自动机设计理论方面也取得了系列成果,本书即是对这些设计理论的总结,作为自动机相关课题教学的参考。

小口径自动炮是指口径为 20~60mm,能够以预定射速自动实现连发射击的火炮。小口径自动炮是广泛应用于海、陆、空及二炮等军种的基础装备,可作为高炮、战车炮、舰炮和航炮等,主要用于近程防御,能够有效拦截低空近程的巡航导弹、反舰导弹、反辐射导弹、精确制导炸弹和炮弹等来袭武器,也能对在其有效射程内的战斗机、直升机、无人机等发射平台以及地面、水面的多种目标进行打击。

小口径自动炮主要由弹药、自动机、供弹机、安装架体和炮控等部分组成。小口径自动炮多采用药筒定装式装药,一门自动机可以发射同口径同弹壳结构且弹长适宜的多种炮弹。自动机主要完成连发射击动作,利用发射能源将炮弹送至目标点。而供弹机则在射击过程中按自动机的要求,将后续发射的炮弹源源不断地供给自动机以保障连发射击的正常进行。小口径自动炮的安装架体,依使用场合的不同构成差别很大。如牵引高炮的安装架体可由摇架、回转托架、大架、高低机、方向机、平衡机以及瞄具等组成;对于自行高炮,炮塔兼备了回转托架与方向机的功能,自动机通过炮塔座圈直接与底盘连接实现方向回转,在炮塔上还可集中其他功能性器件;而在歼击机上,航炮通常相对机身固定安装,没有高低和方向的要求。炮控可对自动机、供弹机及其在安装架体上的状态和姿态进行监测,还可实现对其状态、姿态实施调整改变的驱动与控制,完成对射击的控制。炮控除了自动操控外,通常还要求有手动操控射击的功能。

自动炮在技术推动和需求牵引的共同作用下不断发展。不同军种对小口径自动炮的需求不一样,其发展的方向和具体要求也有差异,限于文章篇幅,下面仅以高炮为例简述自动炮的发展。

高炮是以防空为主要作战任务的自动炮,随着抗击目标的发展而发展。直到第二次世界大战结束,高炮一直是地面防空的主要力量,用于对付各种螺旋桨战斗机。如图 0.1.1 所示为第二次世界大战期间德国的 43 型 37mm 高炮,图 0.1.2 为瑞士 40mm 博福斯高炮。其中瑞士 40mm 博福斯高炮至今仍在不断改进,在各国高炮部队中服役。

20 世纪 50 年代,喷气式战斗机逐步成为空中力量的中坚,对高炮性能提出了更高的要求,各种在火控雷达指引下的全自动牵引高炮大量出现,如我国研仿苏联的 57 高炮(图 0.1.3)和 100 高炮(图 0.1.4)。图 0.1.5 为我国在这期间研仿苏联的 37 高炮。为满足野战伴随防空的需要,又催生了自行高炮武器系统。此时以苏联为首的华约集团始



图 0.1.1 第二次世界大战期间的德国 43 型 37mm 高炮



图 0.1.2 瑞士 40mm 博福斯高炮

终面临着以美国为首的北约集团的强大空中优势的压力,苏联对于野战防空高炮武器的研制更为迫切,在研制出自行双 57 高炮、自行双 37 高炮之后,于 20 世纪 60 年代研制出了第一个装备部队的三位一体现代自行高炮武器系统 3CY-23-4“希尔卡”(图 0.1.6)。“希尔卡”在历次中东战争中都发挥了重要作用,至今仍服役于包括俄罗斯在内的许多国家。



图 0.1.3 我国 59 式 57mm 高炮



图 0.1.4 我国 59 式 100mm 高炮



图 0.1.5 我国 65 式 37mm 高炮



图 0.1.6 3CY-23-4“希尔卡”四联装自行高炮

在喷气式战斗机大量出现的同时,各种类型的导弹也相继诞生,特别是地空导弹的出现和发展成熟对高炮武器系统的发展产生了重大影响,高炮在地面防空作战中的地位和作用不断下降。面对着速度越来越快、高度越来越高、机动性越来越好、攻击距离越来越远的喷气式战斗机,高炮武器在中、高空的作用几乎丧失殆尽,很快让位于防空导弹。20世纪60年代以后,世界各主要国家都不再着力发展大、中口径的高炮武器系统,而主要研究小口径高炮武器系统。在低空和超低空防御中,高炮仍然有着导弹难以替代的优势,越南战争和几次中东战争都清楚地表明:高炮仍是低空和超低空防御的中坚力量。此后,提高射速、自动化和快速机动能力等成为小口径自动炮发展的重点,适应机械化陆军野战伴随防空的小口径自行高炮开始大量出现并装备部队,典型的小口径自行高炮武器系统有德国猎豹35自行高炮(图0.1.7)、韩国飞虎30自行高炮(图0.1.8)、美国40mmM247自行高炮(图0.1.9)以及英国“神枪手”双35自行高炮(图0.1.10)等。



图 0.1.7 德国猎豹 35 自行高炮



图 0.1.8 韩国飞虎 30 自行高炮

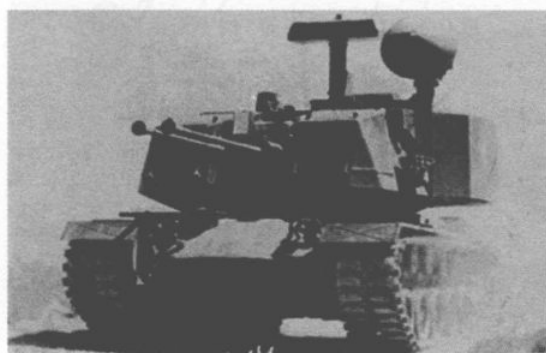


图 0.1.9 美国 40mmM247 自行高炮



图 0.1.10 英国“神枪手”双 35 自行高炮

自越南战争起,直升机开始在战场上大量应用,从最初的保障运输到配以一定对地攻击武器掩护地面部队进攻,发挥越来越重要的作用。20世纪70年代以后,专用武装直升机开始大量装备,其卓越的机动能力和强大的对地攻击能力成为地面机械化部队的致命克星。如两伊战争之初,伊朗在提斯孚尔和舒什地区出动大量美制 AH-1J 型武装直升机,交战仅 5min 就摧毁伊拉克 18 辆 T-55 式和 T-62 式坦克。1973 年北约在西德举行的试验表明:坦克和武装直升机的损失比为 19:1。从 20 世纪 70 年代开始,反武装直升机成为防空作战的重要内容,而不能适应反武装直升机要求的高炮则相继被迫下马,如在

20 世纪 70 年代后期到 80 年代初期,耗巨资发展的美 40mmM247 自行高炮等。为了适应当时反武装直升机的要求,高炮出现了两个主要发展方向:一是向中口径发展;二是向弹炮一体化发展。当时的武装直升机攻击距离最远只达 4~6km,中口径高炮在这段时期有恢复的趋势,如意大利在 20 世纪 80 年代中期研制了“奥托”76mm 自行高炮系统(图 0.1.11),美国在 1985 年 M247 下马后提出发展新的中口径高炮远景规划。但中口径高炮重量大、射速低、远距离弹丸飞行时间长,加之适应其防空作战的炮弹制导和修正技术的不完善、武装直升机的对地攻击距离越来越远,该方向还需进一步突破。因此,中口径高炮的研制只是昙花一现。20 世纪 80 年代以后,弹炮一体化逐步成为高炮武器系统发展的主流。如图 0.1.12 所示的俄罗斯“铜古斯卡”弹炮一体防空武器系统是世界上第一种投入部队装备的弹炮一体防空武器系统,后续又发展了新一代模块化的“铠甲”S1 弹炮一体武器系统(图 0.1.13)并于近年开始装备。美国等西方国家也研制了许多种类的弹炮一体防空武器系统,如图 0.1.14 所示的 LAV“火焰”25/30 弹炮一体防空武器系统就是其中的典型。



图 0.1.11 意大利的“奥托”76mm
自行高炮武器系统



图 0.1.12 俄罗斯的“铜古斯卡”弹炮
一体自行防空武器

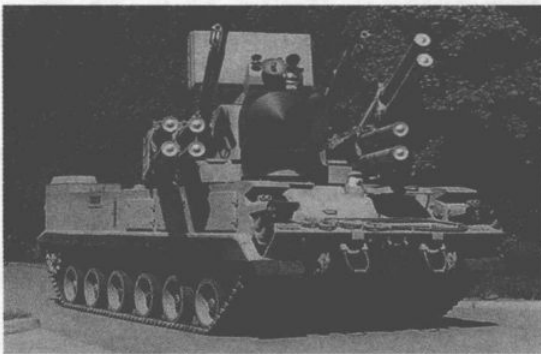


图 0.1.13 俄罗斯“铠甲”S1 弹炮
一体防空武器



图 0.1.14 美 LAV“火焰”25 弹炮
一体自行防空武器

20 世纪 60 年代,我国在研仿单管 37 高炮的基础上研制成功了双管 37 高炮并很快替代了单管 37 高炮,在越南战争的防空作战中发挥了重要的作用。直到 20 世纪 80 年代中期瑞士双 35 高炮引进前,双 37 高炮一直在不断改进。57 牵引高炮虽早已不生产,但

仍在我军大量装备。我国也曾以 57 高炮自动机为基础研制双 57 自行高炮,但并未装备部队使用。20 世纪 70—80 年代,根据苏联的 3CY-23 双管牵引高炮研制了 PG87 式 25 牵引高炮,该炮现已大量装备我军。37、57 和 100 高炮总体技术水平只相当于国外 20 世纪 50 年代水平,已难以适应现代防空的需求。于是我国在 20 世纪 80 年代引进了瑞士“防空卫士”双 35 牵引高炮武器系统(图 0.1.17),开展了四管 25 自行高炮武器系统的研制工作。在 20 世纪末和 21 世纪初,结合新形势的要求开展了 25、37 和 57 高炮的数字化改造工作。



图 0.1.15 瑞士 35mm GDF003 牵引高炮

四管 25 自行高炮(图 0.1.16)和双 35 牵引高炮(图 0.1.17)现已装备部队,并参加了五十周年国庆大阅兵。它们的装备大大提高了我军野战高炮的防空能力。四管 25 自行高炮随后还进行了增挂导弹构成弹炮一体的改进研制,取得了良好效果。



图 0.1.16 参加国庆五十周年阅兵的
四管 25 自行高炮



图 0.1.17 我国生产的
牵引双 35 高炮

为了提升高炮的防空能力,进入 21 世纪后又完成了 35 履带自行高炮(图 0.1.18)的型号研制,现已开始装备部队;已完成轮式 35 自行高炮的型号研制;正在开展六管 25 轮式自行高炮的研制。这些新装备的技术水平和主要战术技术指标已达到国际先进水平。

进入 21 世纪后,高炮防空面临着新的严峻形势。2003 年 3 月 20 日开始的伊拉克战争,美英在前 4 天的空袭作战中,以近千架飞机、近千枚巡航导弹和两千枚制导炸弹与导弹对伊拉克实施空袭,看似狂轰滥炸实为密谋精炸。美军空袭作战的指导思想仍是“脱离接触,精确打击”。该指导思想于 1993 年 6 月首次提出,1995 年 3 月美国国防部在参

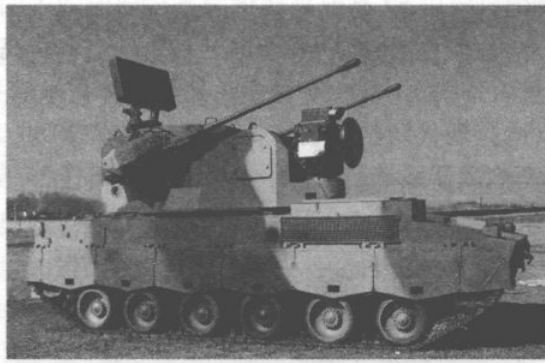


图 0.1.18 履带 35 自行高炮

院军事听证会上明确把这一思想作为 21 世纪现代化建设的五项目标之一,并编入《作战纲要》。该思想在空袭作战中的含义是:部队远离实际战区,从敌防区外的陆、海、空发射平台上发射精确制导武器,同时对敌人的诸如指挥控制中心等高价值或“节点”目标实施精确打击;在战术上,空袭飞机应位于敌防空火力射程之外,集中精确制导火力攻击具体目标从而使对方处于一种被动挨打和还击无力的地位。这一作战思想的实质是美军“武器制胜,减少伤亡”思想的延伸,是先进武器对作战思想影响的必然结果。要达到的目的是:迅速取胜,减少政治影响和外交干扰。由于用较少的弹药就可达成作战目的,大大降低了飞机的战损率,节省了开支,减轻了后勤和国防工业的压力。近几场局部战争中,美军及其盟国使用空袭用精确制导武器占总投放弹药的比例为:海湾战争占 8%,空袭波黑占 60%，“沙漠飞狐”上升到 95%，空袭南联盟达到 98%，而在阿富汗战争中美军飞机仅投放的精确制导炸弹就占炸弹总投放量的 60%。可以看出美军“脱离接触,精确打击”空袭指导思想实际上打的就是精确制导武器这一张牌。

飞机与导弹、精确制导炸弹有机结合的空袭是现代空袭的重要手段。这种空袭方式可以发挥各自的特长,有很多优越性:飞机可使用多种弹药,能毁伤多种目标而又机动灵活;导弹和精确制导炸弹突防能力强、命中精度高、毁伤效能大,不易损害发射平台和人员,还可大大提高空袭整体的适应能力和连续打击能力,例如在飞机空袭的间隙和不良气象条件下仍可发动空袭,使空袭连续无间隔,不给对方以喘息的机会,造成对方心理和保障压力;空袭整体突防能力强,可迅速夺取制空权,迫使对方的前、后方同时被动接战,处于一种顾此失彼、紧张慌乱、疲于应付的困难处境,从而使抗击难度增大,抗击效率下降。自海湾战争至今,美军都把飞机与巡航导弹的联合空袭作为重拳使用。

以巡航导弹为主的远程精确制导武器在现代空袭作战中所扮演的角色越来越重要,1991 年的海湾战争中,多国部队共发射巡航导弹 323 枚(舰射 288 枚、空射 35 枚),1993—1996 年美军三次共向伊拉克发射 113 枚,1995 年 9 月 10 日对波黑塞族要地发射 13 枚,1998 年 8 月 20 日美军又向苏丹和阿富汗发射了 77 枚,1998 年 12 月 17 日至 19 日美英在“沙漠飞狐”空袭作战中共发射 415 枚(舰射 325 枚,空射 90 枚),1999 年 3 月 24 日开始的历时 78 天的“联盟力量”空袭,北约共向南联盟发射了近 1500 枚。2001 年 10 月 7 日开始的阿富汗战争,尽管阿富汗没有什么重要的军事目标可供巡航导弹空袭,连布什总统都说“用 100 万美元的巡航导弹打仅值 10 美元的土房子和帐篷不值得”,但是美军还是发射了近 80 枚巡航导弹,为美军的飞机空袭创造了条件。伊拉克战争首日的“斩

首”行动中就使用了45枚,到战争结束时共发射制导弹药19948枚(其中美军19269枚,英军679枚)。可见巡航导弹已由空袭的配角逐渐变成了主角之一,反巡航导弹及其他精确制导武器是我军面临的重要任务。

虽然巡航导弹目标有效反射面积小、低空和超低空突防能力强、攻击精度高,但其仍然是高炮能够抗击的目标。从1991年海湾战争开始,美军损失的几百枚巡航导弹几乎都被高炮击落的,特别是在科索沃战争中,南联盟高炮部队以20世纪50~60年代甚至第二次世界大战时期落后的高炮击落了283枚现代巡航导弹,这使人们对高炮又另眼相看,并由此在世界范围内引发了研发现代高炮系统的热潮。高炮能够在抗击巡航导弹上取得举世公认的战果,是因为它具有不怕电子干扰、火力密集、反应快速灵活、独特的网式毁歼机理以及天生的能抗击低空和超低空目标等优良性能。

在第二次海湾战争中,当伊拉克的防空系统被摧毁后,美英联军的武装直升机和强击机便能够安全地在攻击区域进行低空飞行攻击,战争进入了对伊方地面机动和隐蔽埋伏的部队展开毁灭性打击的阶段。而南斯拉夫的各种小口径高炮始终能够维持一定的低空和超低空安全区,美武装直升机和强击机群很难出击,这让南斯拉夫地面部队避免了毁灭性打击。因此,在现代战争中,不论在何种条件下,以小口径高炮等近程防空武器建立野战低空和超低空安全区对保护地面部队有着至关重要的作用。新的高炮武器系统面临着一个重要转变,即由原来以打击武器平台(低空、超低空固定翼飞机、直升机等)为主要任务,转变为在建立有效低空和超低空安全区的基础上,完成近程拦截包括巡航导弹,精确制导炸弹,精确制导的大口径炮弹、火箭弹、迫击炮弹和无人机等来袭武器的任务。

为了有效地拦截来袭武器,提高自动机射速实现有效弹幕拦截是小口径高炮发展的一个重要方向,这种超高射速的高炮是适合动态窗口饱和拦截的新一代高炮。目前由我国提出的超高射速高炮新原理,为发展这类新一代高炮武器指出了一条新的途径。

高炮炮弹的制导和修正也是高炮发展的重要方向,特别是对大、中口径的高炮发展将起决定性的作用。近20年来,世界上很多先进国家都在这方面进行了大量研究,但还需要进一步突破,国外最近有这方面的零星报道,但未见相应的武器系统出现或装备部队。应该看到,实现高炮炮弹的制导和修正,绝非仅是有这样的高炮或炮弹,而是要确定一种适应于高炮防空反导作战的制导或修正体系,需要实时的技术信息系统来支持。

高炮与导弹的有效结合,是现代防空的重要特点,导弹主要承担中、高空防空任务,而小口径高炮则主要承担低空和超低空防空任务,在一定范围内,高炮与导弹的火力可以重叠。如美军在即将组建的数字化作战旅中配有高射速小口径高炮武器系统,它和“爱国者”“霍克”“西北风”等导弹武器系统构成从远到近、从高空到超低空的完整野战防空体系,其中小口径高炮主要承担近程拦截任务。

自第一次世界大战至20世纪末的漫长岁月里,各国陆军的反火力作战始终局限在后发制人的模式中,即只有在一方火炮发起火力攻击后,受攻击方才能利用各种手段探测到火力发射源,然后对其实施火力打击。这种作战方式强调对敌火力发射源的定位和压制,而对敌方已经发射出来的弹药却无可奈何。近几十年来,虽然炮位侦察技术取得了很大进步,但始终未突破“先挨打,后反击”的框架。与上述作战模式相比,反火箭、火炮和迫击炮系统(Counter Rocket, Artillery and Mortar, C-RAM)在作战理念上更强调“攻防兼备”。所谓“攻”就是攻击敌方的火力发射源,所谓“防”就是拦截来袭的弹药。在现代高

技术战争中,各种精确制导和修正的大口径炮弹、火箭弹、迫击炮弹已经大量使用,其打击的特点和作战方式也发生了重大变化,对三弹(火箭弹、火炮弹和迫击炮弹)的“防”具有更为重要的实际意义。在这一背景下,世界上许多国家越来越重视 C-RAM 的发展,它能够在来袭弹药击中目标之前发出警告,并对其进行跟踪和拦截。C-RAM 系统由近防火力子系统、侦察探测子系统、指挥控制子系统组成。当侦察探测子系统探测到来袭目标后,由指挥控制子系统将指令信息传至火力子系统,火力子系统便发射弹药,在来袭目标附近实施爆炸,从而起到拦截作用。C-RAM 武器系统的研制与应用是新形势下部队防护的迫切需求,突破了传统反火力作战任务由野战炮兵独家承担的框架,提出了由防空炮兵牵头、各军兵种协同的攻防兼备的反火箭炮、火炮和迫击炮威胁的全新理念,为防空作战开辟了新天地。随着制导技术的发展,火箭弹、大口径炮弹和迫击炮弹以及巡航导弹、制导炸弹和无人机已具备全射程对点目标的打击能力,这对位于敌方这些火力打击范围内的各种重要军事点目标的防御提出了新的要求,因此 C-RAM 系统也可在精确打击条件下发挥重要作用。自 2004 年起,美国、德国和以色列等国家纷纷开始致力于 C-RAM 能力的建设,推出了“密集阵”“天盾”“铁屋”等 C-RAM 武器系统。高射速和超高射速的自动机及供输弹系统是构成 C-RAM 自动炮火力子系统的关键。速射火炮具有高射速、高初速、不存在低空和超低空死角等优点,成为近程防御系统的主角。但并非所有的火炮都能担任近程防御系统,由于炮弹的单发命中概率低,当防御系统进行拦截时,需要采取措施增加火炮的射速,在尽可能短的时间内发射出尽可能多的有效炮弹,提高火力密度。

电磁发射技术对高炮的发展也产生了重大的影响,电磁高炮实现了由火药发射到电磁发射的转变,获得以初速为代表的性能上的重大进步。初速的提高首先表现在同口径前提下威力的巨大增强,从而使小口径电磁高炮能够完成以前同口径高炮所不能完成的任务,在末段拦截中能够以直接命中方式有效击爆具有穿透作用的远程精确来袭武器,实现小口径高炮毁伤效能的跨越。初速的提高还大大缩短了相同距离目标的弹飞时间,有利于提高系统的命中概率。目前电磁发射技术已能支撑起小口径电磁高炮的发展,实现作战使用的相关武器系统的研究也正在开展。

现代战争是在信息化背景下的四维一体的作战,任何一种武器都应是信息化战场的节点,只有有效融入和充分利用信息化这一背景,武器系统才能发挥最好的作战效果。从美国自冷战之后所打的几场战争来看,老的武器系统经过信息化改造,在现代战争中仍能发挥作用。如 B-52 是 20 世纪 50 年代投入使用的战略轰炸机,B-1B 则是冷战时期为应对苏联而研制的,它们至今仍在发挥重要作用。AC-130 是世界上最大的对地攻击机,其上配有一门 105mm 榴弹炮和六门“火神”20mm 转管炮,它诞生于 20 世纪 60 年代的越南战争时期,但在阿富汗战争和第二次海湾战争中仍频频踪影,最近美军在总结了其作用后决定对其进行改进。在第二次海湾战争中,频见美英地面部队 105mm 和 155mm 牵引火炮对伊军地面目标进行压制,而美军已花费数十亿美元所发展的最新“十字军骑士”155mm 自行火炮系统却被取消。因此,对于目前还大量装备我军的老式高炮武器系统,只要经过适应于信息化作战的改造,仍然可以在未来野战防空和国土防空中发挥重要作用。如 PG87 式 25mm 牵引高炮经过改造后其作战效能大大提高,37、57 高炮的数字化改造也取得了重大成果。从现代战争的发展态势来看,过分强调武器的独立作战能力、功

能集中和一体化将造成武器系统构成复杂、成本很高,部队难以承受大量装备的高额费用;且这样的防空武器本身也成为战场上敌方攻击的重要目标。因此在未来高炮武器系统发展上,应当处理好机械化和信息化协调、功能一体化和分散协调、独立作战与网络化作战协调等问题。

现代高炮的发展面临多方面的挑战,除了导弹的发展对高炮造成威胁外,现代战术激光拦截武器等定向能武器也对高炮的发展提出了挑战。只有清醒地认识高炮与它们各自的长短处,才能更好地发展高炮武器系统。

我国火炮自动机技术的发展是随我军装备需求变化而不断推进的,经历了完全仿制、仿研结合和自主研发三个不同的阶段。在完全仿制阶段,我国所仿制的苏联牵引高炮和舰炮均为身管后坐式自动机,由火炮的后坐复进能量驱动自动机循环动作,射速相对较低,代表性有37mm、57mm口径的牵引高炮和舰炮;所仿制的航炮最初为以23-1为代表的身管后坐式自动机,后续以研仿了由火药气体能量通过导气装置驱动自动机循环动作,射速相对较高,代表性有23-2、23-3航炮自动机。进入仿研结合阶段后,在借鉴国际相关型号的基础上,我国所仿研的高炮、舰炮和航炮大量采用新的高射速自动机原理,射速有较大提高,代表性有25、35牵引高炮和自行高炮、730舰炮等。这一阶段的引进不是简单的产品引进,而是从深层次上理解引进产品,有反设计和反证论,是结合我国具体国情的升华与发展,这也是早期所没有的。最有代表性的是引进牵引双35和25高炮、623外能源转管自动机的研制。引进牵引双35时,在系统框架不变的情况下进行系统的反设计和升华,而25高炮和730舰炮则只借用国外同类产品的原理和设计思想重新设计。这样不仅提高了我国小口径自动炮的技术水平,还培养出了我国的小口径自动炮设计和科研队伍,为我国小口径自动炮的发展奠定了坚实的基础。自主研发阶段出现了我国的特殊需求,在与国外需求有巨大差别的情况下,已经无法得到国外具体的参考,必须自主研发相应产品。经过不断努力和創新在新原理自动机及其供弹技术方面,我国已经取得了一系列重大成果,有力支撑了新一代相关武器系统的研制。

当前我国小口径自动炮的发展面临着巨大的挑战和机遇。一方面由于国内技术的发展和部队需求与国外存在差异;另一方面随着军事技术的进步,小口径自动炮,特别是高炮所对付的目标发生了重要的变化,我们需要自己确定小口径自动炮的发展思路。能否抓住这样的机遇,经受住考验,对其发展有着决定性的作用。

小口径自动炮(一个具有完整功能的火力系统)的研制,一般分为弹药、自动机、供弹机和火力系统四个递进的阶段。在弹药研制阶段,首先根据战术技术指标开展终点弹道和外弹道设计,再由终点弹道和外弹道的要求进行内弹道设计完成弹药的研制。研制的弹药应满足我军小口径自动炮口径制式和弹药通用化的要求。在条件许可的情况下,优先选择制式弹药。自动机的研制必须在弹药的主要性能指标和结构参数确定后才能开始。根据军事需求或作战任务选择合适的自动机原理,分析主要战术技术指标对物质流、能量流和信息流的要求,按最小化设计原则进行研制。供弹机的研制通常是在完成自动机研制后,根据具体应用需求以及与自动机的匹配性,有针对性的开展。火力系统的研制,即小口径自动炮的研制,是在弹药、自动机、供弹机研制的基础上,以实现各种功能性组件的有效集成和信息有效传输与控制的安装架体为中心,结合武器系统总体要求开展的。