



Wuqi Fashe Xitong Sheji Gailun

# 武器发射系统设计概论

张相炎 编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

# 武器发射系统设计概论

张相炎 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书简要介绍现代武器发射系统设计的基本知识,主要介绍以火炮为代表的身管发射武器及其主要部件的设计思想、原理和方法,兼顾火箭导弹发射系统的设计,包括武器发射系统的基本知识、系统分析与总体设计、身管设计、反后坐装置设计、自动机设计、发射架设计、运行系统设计等。

本书可作为武器系统与工程专业卓越工程师培养教材,也可作为武器系统与工程、武器发射工程以及其他武器类专业教材,还可以作为武器发射系统研究和生产企业中非武器发射系统专业毕业人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

武器发射系统设计概论/张相炎编著.—北京:国防工业出版社,2014.8

ISBN 978-7-118-09565-4

I. ①武… II. ①张… III. ①武器—发射系统—系统设计 IV. ①TJ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第181387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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$  字数 292千字

2014年8月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 29.50元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

为了响应国家卓越工程师人才培养的号召,武器系统与工程专业进入了卓越工程师人才培养试点专业。为适应武器系统与工程专业卓越工程师人才培养需要,对课程体系和教学内容进行优化整合。为保证人才培养质量,编著出版卓越工程师人才培养武器系统与工程专业丛书。《武器发射系统设计概论》作为卓越工程师人才培养武器系统与工程专业丛书之一,努力为武器系统与工程专业卓越工程师人才培养尽一份绵薄之力。

本书简要介绍现代武器发射系统设计的基本知识,主要介绍以火炮为代表的身管发射武器及其主要部件的设计思想、原理和方法,兼顾火箭导弹发射系统的设计。全书共分7章。第1章绪论,系统介绍武器发射系统基本概念,武器发射系统设计研究内容和流程,武器发射系统设计理论及其主要研究内容和发展。第2章系统分析与总体设计,介绍武器发射系统的战术技术指标等基本概念,系统分析的主要内容和方法,总体设计主要方法与技术等。第3章身管设计,介绍身管内膛结构及其设计方法,厚壁身管和自紧身管应力应变分析理论和设计方法,介绍火箭导弹发射系统的定向器设计等。第4章反后坐装置设计,介绍反后坐装置及其作用原理,反后坐装置设计理论和方法。第5章自动机设计,介绍自动机工作原理,自动机动力学与仿真方法,自动机主要机构设计理论与方法。第6章发射架设计,介绍架体设计、平衡机设计、瞄准机设计和炮塔结构设计的设计方法和结构布置。第7章运行系统设计,介绍运行系统及其组成,运行系统设计特点。

本书主要针对非武器发射系统专业方向学生,运用通俗语言,系统而简要地介绍武器发射系统设计相关的基本概念、工作原理和设计方法,填补该类教材的空白。本书在继承传统火炮、枪械、火箭导弹发射架设计的基础上,根据现代武器发射系统设计特点和发展趋势,结合近年来取得的科研成果,使本书具有时代特色和先进性。本书介绍基础理论和方法在武器发射系统设计中的应用原理和思路,使本书具有一定的通用性和适用范围。本书以介绍应用原理和方法为主,具有较强的针对性和实用性,可作为武器系统与工程专业卓越工程师培养教材,也可作为武器系统与工程、武器发射工程以及其他武器类专业教材,还可以作为武器发射系统研究和生产企业中非武器发射系统专业毕业人员的参考书。

编著者所在单位的许多教授专家对本书初稿提出了许多有益的修改意见,本书在编写中参考了许多专著和论文,在此一并表示衷心感谢。

由于编著者水平所限,书中难免有不妥的地方,诚恳欢迎读者批评指正。

张相炎

2014年3月于南京

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 武器发射系统	1
1.2 武器发射系统设计	6
1.3 武器发射系统设计理论	9
第 2 章 系统分析与总体设计	12
2.1 武器发射系统战术技术要求	12
2.2 武器发射系统分析	16
2.3 武器发射系统总体设计	19
第 3 章 身管设计	36
3.1 概 述	36
3.2 身管内膛结构设计	38
3.3 厚壁身管设计	42
3.4 自紧身管设计	60
3.5 定向器设计	71
第 4 章 反后坐装置设计	78
4.1 武器发射静止性和稳定性	78
4.2 反后坐装置及其设计理论	85
4.3 复进机设计	92
4.4 制退机设计	99
第 5 章 自动机设计	115
5.1 概 述	115
5.2 自动机主要机构设计	119
5.3 自动机动力学与仿真	132
第 6 章 发射架设计	151
6.1 架体结构设计	151
6.2 平衡机设计	159

6.3	瞄准机设计 .....	166
6.4	炮塔结构设计 .....	171
<b>第7章</b>	<b>运行系统设计</b> .....	<b>181</b>
7.1	概 述 .....	181
7.2	行军战斗变换与辅助推进 .....	181
7.3	底盘设计 .....	184
<b>参考文献</b>	.....	<b>197</b>

# 第1章 绪 论

## 1.1 武器发射系统

### 1.1.1 武器与武器系统

武器,又称兵器,它是直接用于杀伤敌人有生力量(战斗人员)和破坏敌方作战设施的工具。武器,是用于攻击的工具,也因此被用来威慑和防御。武器可以是一根简单的木棒,也可以是一枚核弹。枪械、火炮、火箭、导弹等是典型武器。广义上,任何可造成伤害的工具和手段(甚至可造成心理伤害的)都可泛称为武器。当武器被有效利用时,它应遵循期望效果最大化、附带伤害最小化的原则。但是,严格说来,兵器和武器还是有区别的。兵器是以非核常规手段杀伤敌人有生力量、破坏敌人作战设施、保护我方人员及设施的器械,是进行常规战争、应付突发事件、保卫国家安全的武器。兵器是武器中消耗量最大、品种最多、使用最广的组成部分。随着军事技术的发展和国防工业管理体制的变化,兵器和武器的内涵已经发生了很大的变化,现在一提到兵器,多数人就会把兵器理解为除战略导弹、核武器、作战飞机和作战舰艇之外的武器,这已经成为多数人的共识。

武器系统是由若干功能上相互关联的武器及各种技术装备有序组合、协同完成一定作战任务的整体;武器系统是功能上有关联,共同用于完成战斗任务的数种军事技术装备的总称。在任何一种武器装备综合系统中,其必备部分是在武装斗争中用于毁伤各种目标的武器。武器系统不是各部分的简单集合,而是正确的系统整合,内部有机协调,整体优化。

武器系统一般具备如下功能。

(1) 目标探测与识别:利用各种侦察、观(探)测手段(如雷达、光学、光电探测、声纳等)搜索目标,并对目标的类型、数量、型号、敌我属性等进行辨识。

(2) 火力与指挥控制:根据目标探测与识别所获得的各种信息,通过不同的工作站实现信息收集、信息传输、信息(融合)处理、信息利用过程,并完成对目标的威胁估计、对所属部队的任务分配及指挥决策、对火力单元实施射击的诸元(方位角、高低角)计算等工作。

(3) 发射与推进:根据火力与指挥控制系统确定的射击诸元,通过发射管道(如炮管、枪管、发射筒、发射井)或其他推进装置(如火箭推进器)提供的力,赋予战斗部(弹丸)一定的初速,将其抛射到预定的目标上(或区域)。

(4) 弹药毁伤:通过发射与推进过程将战斗部(弹丸)送抵预定目标上(或区域)后,则通过弹丸内装填物(剂)的物理、化学、或生化反应等过程,使弹丸与目标发生撞击、侵入、爆炸作用,达到毁伤目标的军事目的。

(5) 辅助设施:为保障部队及武器(兵器)系统正常工作、输送等的其他设备。

## 1.1.2 发射与发射系统

无论是最简单的冷兵器,还是现代复杂的武器系统,其最终目的都是把具有一定杀伤力的物体(弹药)抛射到预定的目标区,以毁伤敌方人员与设施。抛射的方法可以多种多样,对武器而言,抛射方法主要有抛投、发射和推进3种基本形式。

抛投,是指利用人的体力或运载工具的惯性赋予物体(弹药)初始速度将其抛射到预定目标的过程。在冷兵器时代,标枪是利用人的臂力赋予其初始速度实现抛投,守城护寨的“滚木雷”是利用地势高度和重力的作用实现抛投。在热兵器时代,单兵应用最广泛的手榴弹是利用人的臂力赋予其初始速度实现抛投;现代的航空炸弹和飞机布撒器(图1.1)等是借助飞机赋予其初始速度实现抛投。

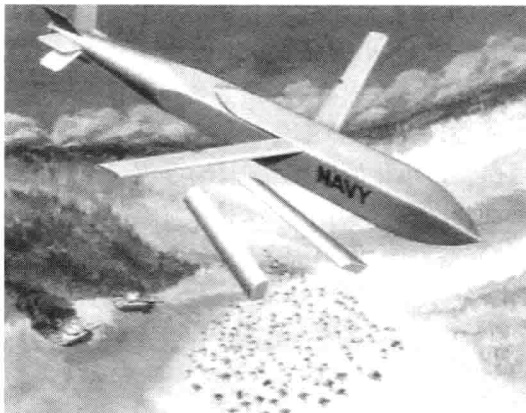


图 1.1 飞机布撒器

发射,是指借助管道或其他装置提供的外力赋予物体(弹药)初始速度将其抛射到预定目标的过程。在冷兵器时代,弓箭、弩、抛石机等是利用弹力及杠杆作用实现发射。在热兵器时代,枪炮等身管发射武器则是借助圆形身管内高压火药燃气的推动和加速作用赋予弹丸初始飞行速度和方向实现发射。根据战争的需要,身管发射武器已经安装在不同的发射平台上,形成了一个庞大的武器家族,在战争中发挥着重要作用。自行火炮是集威力、机动和防护于一身的现代典型身管发射武器(图1.2)。

推进,是指利用抛射体自身的动力抛射到预定目标的过程。从最原始的“火药火箭”,直到现代火箭弹和导弹(图1.3),都是利用火箭内的火药燃气从喷管高速流出提供的反作用力和冲量实现推进。一般火箭弹是无控的,而导弹是有控的。

抛投技术、发射技术和推进技术在军事上的应用,各有其特点,但都有其不足。现代兵器科学技术的发展,综合运用各项技术,扬长避短,发展复合作用的新型兵器。如为了提高火炮射程,利用发射与推进复合作用,火炮可以发射“火箭增程弹”;为了提高火炮打击精度,利用发射与推进复合作用,火炮可以发射“炮射导弹”;为了提高导弹的起始速度,减小附加质量,利用发射与推进复合作用,发射导弹时采用弹射技术等冷发射方式;为了提高炸弹的投放距离和精度,利用抛投与推进复合作用,飞机在防区外投放“机载布撒器”等;为了超远程打击,利用发射、推进与抛投复合作用,用火炮发射“滑翔炮弹”等。因此,广义上说,发射指利用机械装置将有关物体抛射出去,不仅包括枪炮利用燃气压力将





图 1.2 自行火炮



图 1.3 导弹

弹丸从膛内推送出去的狭义上的“发射”,还包括利用发射器或其他装置将火箭、导弹、鱼雷等能自动推进的物体放出或弹射出的狭义上的“推进”,也可以包括利用重力等将炸弹等释放出的狭义上的“抛投”。本书主要以狭义“发射”内容为主,适当兼顾广义“发射”内容。

武器发射系统是完成弹药发射所需要的所有设备的总称,是武器系统最重要的组成部分,它不仅完成弹药的发射任务,而且直接影响武器系统的作战使用效能。对付不同目标使用不同的武器系统,不同武器系统其发射系统也不尽相同。

### 1.1.3 典型武器发射系统构成

一般武器发射系统包括发射装置、发射控制设备、运行系统和辅助装置等。本书主要以介绍发射装置设计内容为主,适当兼顾其他内容。

发射装置是用来容纳和支撑弹药,射前瞄准,最终发射弹药的专用设备。发射装置的基本功能如下所述。

(1) 发射前:容纳和支撑弹药,瞄准、发射诸元确定等发射准备,快速、精确定位弹药的射击方向。

(2) 发射时:可靠点火,实施弹药发射,并确保弹药飞离发射装置时具有要求的发射诸元,和尽可能小的扰动,保证射击密集度。

(3) 发射后:弹药的再装填,以及在运输和行军过程中,承载和保护弹药等。

各种发射装置的结构形式可能有较大的差别,但一般都包括发射管(或导向轨)、瞄准机、运载体等。

枪械、火炮、火箭炮、导弹发射架是典型武器发射系统,如图 1.4 所示。

现以榴弹炮为例,介绍典型武器发射系统构成与功用。现代牵引火炮通常由炮身和炮架两大部分组成,如图 1.5 所示。

炮身主要用于完成炮弹的装填和发射,并赋予弹丸初速和方向。

炮身主要由炮管(也称身管)、炮尾、炮闩和炮口装置组成。身管直接承受发射时的火药燃气压力,并赋予弹丸初速(初转速)及飞行方向,使弹丸按预定的初始弹道飞行。



图 1.4 典型武器发射系统  
 (a) 机枪; (b) 自行火炮; (c) 火箭炮; (d) 反坦克导弹发射车。

一般将身管看作厚壁圆筒处理。炮尾用来容纳炮闩并与其一起闭锁炮膛、连接身管和反后坐装置;炮闩用来闭锁炮膛、击发炮弹和抽出发射后的药筒。现代火炮大都采用半自动炮闩,有的采用自动炮闩。炮口制退器用来减少炮身后坐能量。

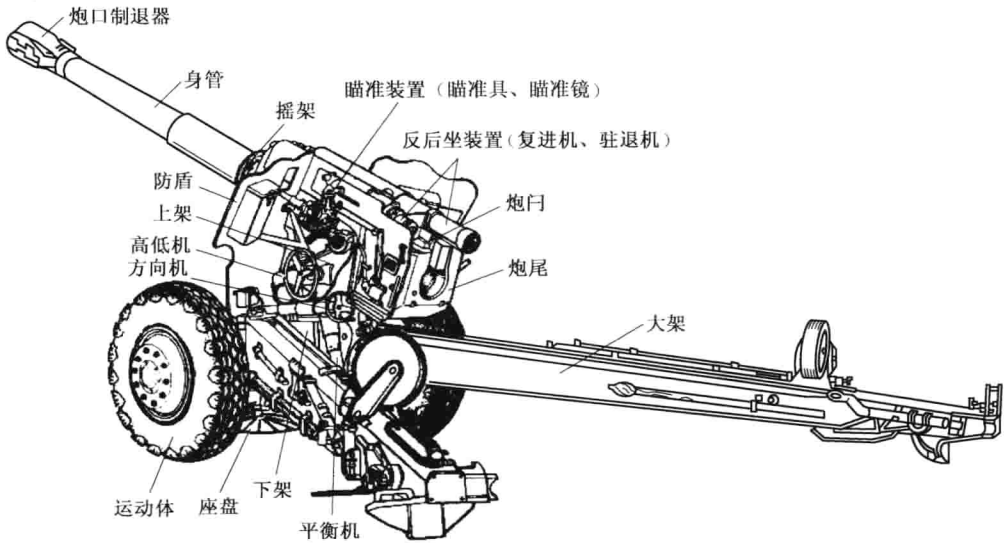


图 1.5 现代牵引火炮的构成

枪械发射也有类似部件,与炮身对应的称为枪身;与炮门对应的是枪机,与炮尾对应的是节套或机匣。

火箭和导弹发射与炮身相对应的是定向器。一般火箭炮发射是敞开式的,没有炮尾和炮门之类的部件,但是一般要设置锁紧机构,以防止火箭弹脱落。定向器主要有3种形式:筒式、笼式和滑轨式。笼式和滑轨式定向器结构简单,设计相对容易,采用常规机械结构设计方法即可。为了统一起见,本书将炮管、枪管,以及火箭和导弹发射筒式定向器统称为身管。

炮架主要用于支撑炮身并赋予火炮不同使用状态。炮架赋予炮身一定射向,承受射击时的作用力并保证射击静止性和稳定性,是全炮运动时或射击时的支架。

炮架主要由反后坐装置、摇架、上架、高低机、方向机、平衡机、瞄准装置、下架、大架和运动体等组成。

反后坐装置主要用于在射击时消耗和储存后坐能量,控制后坐部分的运动和作用力,保证火炮发射炮弹后的复位。通过反后坐装置可以将射击时作用于火炮上的时间短、变化极大的炮膛合力转化为作用时间较长、变化较平缓的后坐力,从而使炮架受力减小,全炮质量减小,全炮跳动减弱。反后坐装置通常包括制退机、复进机和复进节制器。制退机用来在火炮射击时产生液压阻力,消耗部分后坐能量,并控制后坐部分的运动规律;复进机用来在平时将炮身保持在待发位置,而在射击时储存部分后坐能量并使后坐部分在后坐终止时复进到原来的位置;复进节制器主要用于复进过程中产生液压阻力,消耗部分复进剩余能量,保证后坐部分平稳复进到位。

摇架主要用于支撑炮身,约束炮身后坐和复进时的运动方向,与上架配合赋予火炮仰角,并传递射击载荷。上架主要用于支撑火炮的起落部分(包括炮身、反后坐装置和摇架),与下架配合赋予火炮方位角,并传递射击载荷。高低机用于驱动起落部分赋予火炮仰角。方向机用于驱动回转部分赋予火炮方位角。高低机和方向机合称为瞄准机。平衡机用于平衡起落部分的重力矩使俯仰操作轻便、平稳。瞄准装置用于装定火炮射击数据,使炮膛轴线在发射时处于正确位置,以保证弹丸的平均弹道通过预定目标点。瞄准装置由瞄准具和瞄准镜组成。下架主要用于支撑火炮得回转部分(包括起落部分、上架、高低机、方向机、平衡机和瞄准装置等),与上架配合赋予火炮方位角,并传递射击载荷。大架主要用于支撑全炮,射击时保证全炮射击静止性和稳定性,行军时连接牵引车。

枪械的枪架与火炮的炮架结构类似,只是结构小,简单一些。火箭导弹发射架也类似,一般没有火炮反后坐装置之类的部件。为了统一起见,本书将发射系统的支撑部分相应部件分别称为缓冲装置、架体、瞄准机、平衡机等。

运动系统是发射系统运行和承载机构的总称。运动体主要保障火炮的运动便捷性、道路通过性、高速牵引性、操作轻便性、工作可靠性。牵引式高炮的运动系统一般称为炮车。车载火炮的运动系统一般是军用越野汽车的改进型,简称越野车。自行火炮的运动系统一般称为底盘。枪械一般没有专门运动系统。火箭导弹发射系统的运动系统与火炮相似。牵引式地面炮的运动系统由前车、后车、基座(或十字梁)、行军缓冲器、减震器、刹车装置、牵引装置等组成。为了提高机动性,现代大口径牵引火炮还设有辅助推进装置。射击时运动系统与大架一起支撑全炮,行军时作为炮车。

## 1.2 武器发射系统设计

### 1.2.1 武器发射系统特点及要求

#### 1. 武器发射系统特点

武器发射过程是一个极其复杂的动态过程。一般发射过程极短(几毫秒至十几毫秒),经历高温(发射药燃烧温度高达 2500~3600K)、高压(最大膛内压力高达 250~700MPa)、高速(弹丸初速高达 200~2000m/s)、高加速度(弹丸直线加速度是重力加速度的 1000~3000 倍,武器发射系统的零件加速度也可高达重力加速度的 200~500 倍,零件撞击时的加速度可高达重力加速度的 15000 倍)过程,并且发射过程以高频率重复进行(每分钟可高达 6000 次循环)。从工程的角度,可以把武器发射系统视为采用特殊能源的超强功率的特种动力机械。例如,一门 152mm 口径的火炮,炮口动能约为 13MJ,瞬时功率约为 940MW,相当于一个中等城市发电厂的功率。武器发射系统发射过程还伴随发生许多特殊的物理化学现象,如内膛表面的烧蚀和磨损、膛口冲击波、膛口噪声、膛口焰、机械运动、冲击、振动等。武器发射系统在使用中,还要能适应严寒酷暑、风沙淋雨环境,满足长期储存的要求,在高瞬态、强载荷、极端环境中保证武器可靠地工作,达到必要的工作寿命,并满足规定的重量指标。这种工作状况构成了武器发射系统的特色,也是武器发射系统研究的难点所在。

#### 2. 对武器发射系统的设计要求

在武器发射系统的设计过程中,设计部门、使用部门和生产部门必须共同协作,密切配合,在严格遵循和执行国军标的前提下,以完成战术技术指标为总要求,设计并实现发射系统各部分的作战功能。概括地说,对武器发射系统设计时应综合考虑以下几方面内容。

##### 1) 应满足既定作战功能要求

武器装备研制都是为了满足未来军事需求。武器发射系统作为武器装备的核心部分,已经赋予它相应功能。为了达到预期作战效果,武器发射系统设计就是要考虑武器发射系统自身的特点和在各种约束条件下,将设计理念具体化,确实实现武器发射系统预定的作战功能。

##### 2) 应满足战术技术要求

战术技术要求是武器发射系统设计的基本依据,是使用方(军方)以文字形式对研制方提出的基本要求,这些要求大多以指标形式在研制任务书中予以规定,如威力、机动性、环境适应性、可靠性、维修性和经济性等。研制完成的产品必须无条件满足这些指标要求。这些要求之间往往相互制约,设计过程中必须科学合理地权衡和协调。

##### 3) 应满批量生产要求

设计出来的只是图纸和说明书,并不是最终产品。形成最终产品需要制造生产。设计过程中,应充分考虑实际生产能力和生产水平,以及材料等资源情况,确保设计的产品最终能被制造出来,尤其是大批量生产,并且适当考虑节约资源,降低成本。

##### 4) 应满足储存和使用要求

武器发射系统设计中应充分考虑武器使用时人机环工程技术的应用,提高工作效率。

如采用手动、自动和随动等多种方式操作,并可进行简易修正和调整等。根据具体作战需求选择合适的运行方式,如携行、牵引式、车载、轮式自行或履带式自行等。应考虑到公路运输、铁路运输、水面运输和空中运输(空运、空吊、空投)时的状况不同,对武器发射系统进行不同的运输适配性设计;还应考虑长期储存而不降低性能。

### 1.2.2 武器发射系统设计的主要内容

设计一般包括分析(也称反面设计)和综合(也称正面设计,简称设计)。分析的对象是已有产品,或者正面设计结果,甚至是一种构思。通过分析探讨原设计思想的科学性、合理性、先进性,以及改变设计的必要性和可能性。综合时将设计思想具体化,形成可物化产品,落实在图纸上和说明书中。分析和综合是相辅相成的,在设计过程中反复交替进行。

武器发射系统设计也包括分析和综合两方面,具体主要包括结构分析、动力学分析与仿真、总体设计和主要零部件设计等。

武器发射系统结构分析,主要通过研究现有的典型武器发射系统的总体结构、各零部件之间的联系和相互作用及其特点,分析武器发射系统及其主要结构的构成原理、工作原理、设计思想等,为研究武器发射系统设计方法和合理设计武器发射系统结构奠定基础。

系统动力学分析与仿真,是指用系统动力学和计算机仿真方法,寻求系统的最优方案(系统目标最优化,如费用最低、效能最大、效费比最高等),即用周密的可再现的技术,确定系统各种方案的可比性能、效能、费用等,并对这些指标进行量化,给出系统的最优方案。在系统的发展研究、方案选择、技术修改、使用等过程中,系统动力学分析与仿真可直接用来提出改进意见。由于武器发射系统工作过程具有明显动态特征,必须应用系统动力学方法研究武器发射系统工作过程规律。计算机仿真技术是以多种学科和理论为基础,以计算机及其相应的软件为工具,通过虚拟试验的方法来分析 and 解决问题的一门综合性技术。利用计算机仿真技术解决武器发射系统动力学问题是武器发射系统技术之一。计算机仿真的实现主要包括模型的建立和模型的仿真实验。武器发射系统动力学分析与仿真,通过建立武器发射系统动力学模型并进行仿真实验,分析武器发射系统的受力规律及运动规律,为分析、评价和改进现有武器发射系统,以及合理设计新型武器发射系统打下基础。

总体设计,是在分析的基础上,用系统思想综合运用各有关学科的知识、技术和经验,通过总体研究和详细设计等环节,落实到具体工作上,以创造满足设计目标的人造系统。武器发射系统总体设计,广义上是指用系统的观点、优化的方法,综合相关学科的成果,进行与武器发射系统总体有关因素的综合考虑,其中包括立项论证,战术技术要求论证,总体方案论证、功能分解、技术设计、生产、试验、管理等;狭义上是指用系统的观点、优化的方法,综合相关学科的成果,进行武器发射系统质的方面设计,主要包括武器发射系统组成方案、总体布置、结构模式、人机工程、可靠性、维修性、安全性、检测、通用化、标准化、系列化等涉及武器发射系统总体性能方面的设计。这里所讲的武器发射系统总体设计,如果不加说明的话,主要是狭义上的。

主要零部件设计,是指研究给定结构在给定载荷作用下力的传递、部件运动规律以及强度、刚度等问题,并根据总体设计要求及零部件本身作用及特点,研究主要零部件的构造原理和方法,设计主要零部件具体结构等。主要零部件设计的主要任务是解决创造新机构时所面临的问题。武器发射系统是一种特殊的机电系统,武器发射系统设计与一般机电系统设计既有相同的地方又有其特殊的方面。武器发射系统主要零部件设计,是指研究给定结构在发射的冲击载荷作用下力的传递、部件运动规律以及强度、刚度等问题,并根据总体设计要求及零部件本身作用及特点,研究武器发射系统主要零部件的构造原理和方法,设计武器发射系统主要零部件具体结构等。武器发射系统主要零部件设计主要包括身管设计、缓冲装置设计、自动机设计、发射架设计、运行系统设计等。

### 1.2.3 武器发射系统设计流程

早期的武器发射系统设计是以经验设计为主,即产品的设计是以经验数据为依据,运用一些附有经验常数的经验公式进行设计计算的一种传统的设计方法,这样的设计没有建立在严密的理论基础上,缺乏精确的设计数据和科学的计算公式。为了强调零件的可靠性,往往在设计中取偏大的安全系数,结果虽然安全,却增加了所设计零件的质量。一种新型武器发射系统的开发往往要经过设计—试制—试验—改进设计—试制—试验等多次循环,反复修改图纸,完善设计后才能定型,研制周期长,质量差,成本高。传统武器发射系统的开发流程如图 1.6 所示。

随着科学技术的发展,新的设计方法和手段也不断涌现,为传统的结构设计、强度分析、性能分析、试验等带来了新的变化。产品的设计由静态设计向安全寿命设计的动态设计方法过渡,由校验型设计向预测型设计过渡,现代设计理论和方法已成为武器发射系统提高性能的前提条件,也是由粗放型设计向精细化设计转变的重要环节。利用现代设计理论和方法,逐步建立各类数据库、专家知识库、设计规范、设计方法、设计准则、试验规范和工艺规范,形成规范的现代设计体系和虚拟试验体系,实现由“经验设计”向“预测和创新设计”转变。现代武器发射系统的开发流程如图 1.7 所示。

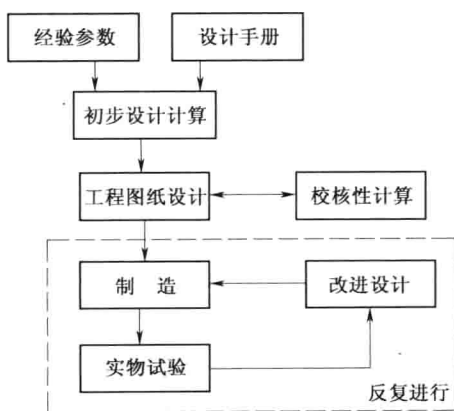


图 1.6 传统武器发射系统的开发流程

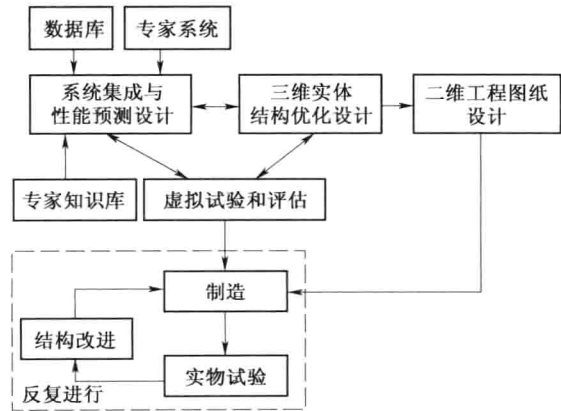


图 1.7 现代武器发射系统的开发流程

武器发射系统具体设计流程如图 1.8 所示。

(1) 根据作战任务需求,进行终点效应分析,得出弹重、终点参数等。

(2) 根据终点效应分析结果和战技要求,进行弹药设计,给出弹丸参数、装药参数等。

(3) 根据射程要求,以及弹药设计和终点效应结果,进行外弹道设计,得出初速和射角等。

(4) 根据弹重、初速等参数,进行内弹道设计,给出相应膛压规律等。

(5) 根据总体要求,进行总体的初步设计,初步给出总体结构和主要尺寸。

(6) 根据内弹道设计、弹药设计和总体设计的结果,进行身管设计,给出身管的结构等。

(7) 根据内弹道设计、身管设计和总体设计的结果,进行受力和运动分析,给出最大后坐阻力、后坐长等。

(8) 根据受力和运动分析结果,进行缓冲装置设计与分析,给出缓冲装置的结构、射击载荷等;如果不符合总体要求,则改进设计。

(9) 根据射击载荷结果,进行架体设计和运动体设计,给出架体和运动体的结构等。

(10) 完善总体结构,监理发射系统整体动力学模型,进行发射动力学仿真,给出发射系统的工作性能等;如果不满足性能要求,则改进设计。

(11) 加工、装调、试验、验证;如果不满足要求,则改进设计;如果满足要求,则进行设计定型。

武器发射系统的设计过程是一个反复设计,反复分析,反复修改,反复验证,不断完善的过程。武器发射系统的设计过程是一个多方案、多参数、多目标的评价和决策过程。运用优化设计方法可以使这一过程科学化和规范化,减少不必要的反复,保证优质高效地完成设计任务。

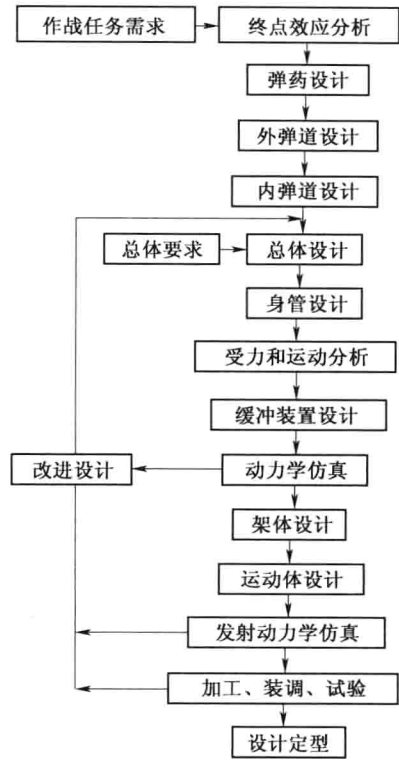


图 1.8 武器发射系统设计流程

### 1.3 武器发射系统设计理论

武器发射系统设计理论是武器发射系统设计的理论基础,是武器发射系统设计中基本概念、理论、方法及过程的高度概括。它主要研究武器发射系统的组成与性能评价,研究各种武器发射系统发射原理、伴随现象及其规律性,研究武器发射系统构成原理与方法,研究武器发射系统主要零部件的设计理论和设计方法等。

武器发射系统设计理论主要包括武器发射系统系统分析、武器发射系统总体设计和武器发射系统主要零部件设计等。



经典武器发射系统设计理论以质点力学和材料力学理论对问题进行近似的描述,从而导出机构和零部件的设计方法。在分析整体受力状态时,将研究对象视为刚体,用动静法考虑部分构件的运动,将问题转化为静力学问题求解,得出一些简单实用的结果,并以此指导武器发射系统总体布局。身管是武器发射系统发射时主要的受力部件,它的强度问题、应力疲劳问题、烧蚀和磨损问题均十分突出,经典理论将它简化为静压作用下的轴对称厚壁圆筒,用材料力学的方法求解。缓冲装置作为控制整体受力和运动的关键性液压机构,是借助一维不可压稳态流求解的。自动机是由一系列凸轮、杠杆组成的复杂运动机构,借助由传动比、传动效率构成的质量替换法,可以将它转化为单自由度问题求解。在利用膛内燃气剩余能量时,燃气的流动和流出问题都是按一维准定常流处理的。经典理论的近似性是显然的,它必须借助试验求取修正系数才能使计算结果在一定条件下比较接近实际。

战场对武器发射系统的威力和综合性能要求越来越高,促使设计理论的发展趋向于更系统、更深入、更精细地描述发射过程。例如,基于动力学方法的武器发射动力学理论迅速发展,它考虑了零部件的质量分布、动态耦合,建立了武器发射系统多刚体动力学模型、刚弹元件组合的多体动力学模型和相应的算法,通过振动特性分析预测其刚度和射击密集度等综合性能。用机构动力学理论分析自动机的多自由度问题,对各种新型自动机的原理和工程应用做了大量研究。用有限元理论对复杂形状的零件进行应力应变场的研究,为预测强度及改进结构提供依据。对身管的预应力强化过程进行弹塑性分析,改进了身管的自紧理论。用断裂力学理论研究身管材料强度和裂纹形成、扩展规律,预测它的低周疲劳寿命。在缓冲装置研究中,提出了轴对称二维定常和非定常湍流模型,用有限差分法详细分析了流液孔附近的流场并对各种情况下的阻力系数进行了理论探讨。对前冲机、可压缩流体缓冲器、二维后坐原理等均作了广泛深入的研究。武器发射系统总体设计理论日益受到重视,也有了相应的发展。武器发射系统设计理论一方面需要继续深化和完善,另一方面还要向新的领域拓展。

作为武器发射系统专业的基础教学,本书仍以牵引武器发射系统为主要对象,经典武器发射系统设计理论为主,适当介绍现代武器发射系统设计理论的新发展和动向。

武器发射系统的发展,总体上体现加速发展的特征,这与研究条件和方法的不断改进提高和研究经验的积累有着密切的联系。在不同的研究阶段,根据对问题的认识程度,灵活运用一种或综合运用数种方法,可以取得事半功倍的效果。

武器发射系统设计理论的发展,为武器发射系统设计提供了一系列行之有效的方法和技术。基于武器发射系统发射动力学模型的计算机仿真技术和虚拟样机技术,在方案设计和试验过程中适时地预测武器的综合性能并提出改进的途径,已成为武器发射系统设计的支撑技术之一;建立在最优控制理论、数学规划基础上的武器发射系统优化设计技术,在缓冲装置、自动机、平衡机等部件上应用,取得了显著的效果;以新原理、新结构、新材料为依托的武器发射系统轻量化技术,正在迅速发展;从分析武器发射系统故障率出发的可靠性分析和设计技术已逐步推广应用,为新武器发射系统的可靠性预测积累了有益的经验;由设计理论和设计经验总结出来的设计准则和设计规范陆续形成;标准化、通用



化、系列化的水平不断提高;武器的人机工程设计问题也越来越受到重视。随着计算机的普及,上述各项技术大部分已软件化,形成了如武器发射系统动态设计和分析、发射动力学分析和计算、三维实体建模等多种专用软件包、专家系统和应用程序,配套的数据库、图形库也相继建立,成为武器发射系统研究和工程设计的强大工具,同时,也为建立以计算机为支撑的无图纸化设计方法准备了条件。要强调的是,上述有关设计方法和技术通常在结构方案大体确定之后才能发挥作用,而结构方案的确定,往往离不开设计者的经验和创造性思维,所以武器发射系统工作者需要有广泛的结构知识、丰富的实践经验和强烈的创新意识。