



国家出版基金项目

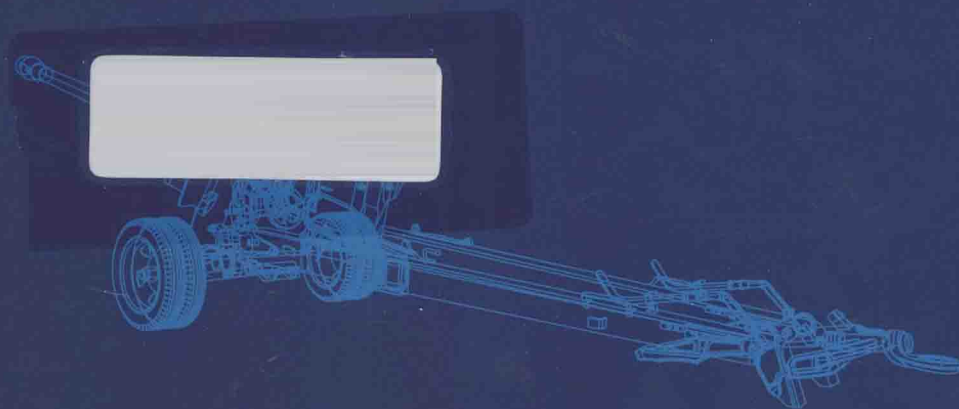
“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

火炮设计理论

Theory of Artillery Gun Design

张相炎 郑建国 袁人枢 编著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代兵器火力系统丛书

火炮设计理论

张相炎 郑建国 袁人枢

编著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍火炮设计的基本概念、基本理论和基本方法,包括火炮设计理论的主要研究方法,火炮系统分析与总体设计,火炮炮身、反后坐装置、自动机及炮架等的设计理论和方法。

本书可作为高等院校火炮专业的专业课教材,也可作为从事火炮设计、研究、生产、实验的科技人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

火炮设计理论/张相炎,郑建国,袁人枢编著. —北京:北京理工大学出版社,2014. 2
(现代兵器火力系统丛书)

国家出版基金项目及“十二五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978—7—5640—8774—6

I. ①火… II. ①张… ②郑… ③袁… III. ①火炮—设计 IV. ①TJ302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 020658 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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 /全国各地新华书店

印 刷 /北京地大天成印务有限公司

开 本 /787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 /25

字 数 /468 千字

版 次 /2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价 /96.00 元

责任编辑 /李炳泉 王佳蕾

文案编辑 /李炳泉

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

总 序

国防科技工业是国家战略性产业，是先进制造业的重要组成部分，是国家创新体系的一支重要力量。为适应不同历史时期的国际形势对我国国防力量提出的要求，国防科技工业秉承自主创新、与时俱进的发展理念，建立了多学科交叉，多技术融合，科研、实验、生产等多部门协作的现代化国防科研生产体系。兵器科学与技术作为国防科学与技术的一个重要分支，直接关系到我国国防科技总体发展水平，并在很大程度上决定着国防科技诸多领域的成果向国防军事硬实力的转化。

进入 21 世纪以来，随着兵器发射技术、推进增程技术、精确制导技术、高效毁伤技术的不断发展，以及新概念、新原理兵器的出现，火力系统的射程、威力和命中精度均大幅提升。火力系统的技术进步将推动兵器系统的其他分支发生相应的革新，乃至促使军队的作战方式发生变化。然而，我国现有的国防科技类图书落后于相关领域的发展水平，难以适应信息时代科技人才的培养需求，更无法满足国防科技高层次人才的培养要求。因此，构建系统性、完整性和实用性兼备的国防科技类专业图书体系十分必要。

为了解决新形势下兵器科学所面临的理论、技术和工程应用等问题，王兴治院士、王泽山院士、朵英贤院士带领北京理工大学、南京理工大学、中北大学的学者编写了《现代兵器火力系统》丛书。本丛书以兵器火力系统相关学科为主线，运用系统工程的理论和方法，结合现代化战争对兵器科学技术的发展需求和科学技术进步对其发展的推动，在总结兵器火力系统相关学科专家学者取得主要成果的基础上，较全面地论述了现代兵器火力系统的学科内涵、技术领域、研制程序和运用工程，并按照兵器发射理论与技术的研究方法，分述了枪炮发射技术、火炮设计技术、弹药制造技术、引信技术、火炸药安全技术、火力控制技术等内容。

本丛书围绕“高初速、高射频、远程化、精确化和高效毁伤”的主题，梳理了近年来我国在兵器火力系统相关学科取得的重要学术理论、技术创新和工程转化等方面的成

果。这些成果优化了弹药工程与爆炸技术、特种能源工程与烟火技术、武器系统与发射技术等专业体系，缩短了我国兵器火力系统与国外的差距，提升了我国在常规兵器装备研制领域的理论水平和技术水平，为我国兵器火力系统的研发提供了技术保障和智力支持。本丛书旨在总结该领域的先进成果和发展经验，适应现代化高层次国防科技人才的培养需求，助力国防科学技术研发，形成具有我国特色的“兵器火力系统”理论与实践相结合的知识体系。

本丛书入选“十二五”国家重点出版物出版规划项目，并得到国家出版基金资助，体现了国家对兵器科学与技术，以及对《现代兵器火力系统》出版项目的高度重视。本丛书凝结了兵器领域诸多专家、学者的智慧，承载了弘扬兵器科学技术领域技术成就、创新和发展兵工科技的历史使命，对于推进我国国防科技工业的发展具有举足轻重的作用。期望这套丛书能有益于兵器科学技术领域的人才培养，有益于国防科技工业的发展。同时，希望本丛书能吸引更多的读者关心兵器科学技术发展，并积极投身于中国国防建设。

丛书编委会

前言

随着科学技术日新月异的发展,火炮技术及相关学科也取得长足进展,知识更新速度日益加快。随着高校学科、专业的调整,对学生的知识结构和专业适应性等都提出了新的、更高的要求。

根据培养通用人才的需要,深入进行教学改革,对专业课程进行整合,将火炮专业方向的专业课程,由原来的四门主干专业课程“炮身设计”、“火炮反后坐装置设计”、“火炮自动机设计”、“炮架及总体设计”整合成“火炮设计理论”。

针对所涉及的变化,本书注重在继承的基础上创新,力求实用性与适应性相统一、理论性与方法论相统一、系统性与特殊性相统一,内容尽可能反映近年来火炮技术的发展和取得的新成果。

全书共分6章。第1章绪论,从现代战争的特点以及现代战争对火炮的要求出发,介绍火炮在现代战争中的地位与作用;主要介绍火炮设计理论及其主要研究内容、发展、研究方法。第2章炮身设计,介绍身管内膛结构及其设计方法;介绍身管应力与应变的分析理论和方法;分别介绍单筒身管、双筒身管设计理论、方法和特点,特别是自紧身管设计及其应用等。第3章反后坐装置设计,介绍火炮反后坐装置及其作用原理;介绍火炮发射动力学的基本理论和方法及其应用;介绍火炮反后坐装置设计,包括复进机设计、制退机设计、复进节制器设计和炮口制退器设计的设计理论和方法。第4章火炮自动机构设计,介绍火炮自动机工作原理;介绍火炮自动机构动力学,以及计算机仿真方法;介绍火炮自动机主要机构设计,包括炮闩设计、开门机构设计和供输弹机构设计等设计理论与方法;介绍导气式自动机和浮动自动机及其技术关键、设计特点等。第5章火炮炮架设计,系统介绍牵引火炮的炮架设计,包括架体设计、平衡机设计、瞄准机设计和运动体设计的设计方法和结构布置;自行火炮的炮塔设计的特点和结构布置。第6章火炮系统分析与总体设计,介绍火炮的战术技术指标等基本概念,火炮系统分析的主要内容和方法,现代火炮的特点与总体设计要求,火炮总体设计主要方法与技术等。

本书全面系统地介绍火炮设计基本理论和方法,在继承传统火炮设计理论的基础

上,根据现代火炮的特点和火炮发展趋势,结合近年来取得的科研成果,具有时代特色和先进性。本书将传统火炮设计理论与现代设计理论和方法相融合,介绍现代设计理论和方法在火炮设计中的应用原理和方法,具有一定的通用性和适应性。本书以介绍应用原理和方法为主,具有较强的实用性,不仅可作为高等院校有关专业的教材,还可作为从事火炮设计、实验、生产的科技人员的参考书。

本书由南京理工大学张相炎、郑建国、袁人枢编著。其中,张相炎编写第1章、第4章、第5章、第6章,郑建国编写第3章,袁人枢编写第2章。全书由张相炎统稿。

本书由南京理工大学谈乐斌教授和杨国来教授主审,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,本书在编著中参考了许多专著和论文,在此一并表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,力求做到观点正确,重点突出,理论联系实际,反映科技发展新水平。由于编著者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

张相炎

目 录

第1章 绪论	1
1.1 火炮的地位与作用	1
1.2 火炮设计理论的主要内容	3
1.3 火炮设计理论的主要研究方法	6
第2章 炮身设计	9
2.1 概述	9
2.1.1 炮身与炮身设计	9
2.1.2 发射时炮身的受力分析（以线膛炮为例）	11
2.1.3 身管设计压力曲线	15
2.1.4 身管寿命	20
2.2 身管内膛结构及其设计	21
2.2.1 药室结构及设计时应注意的问题	22
2.2.2 膛线的结构及其设计	24
2.3 厚壁圆管的弹性应力应变	31
2.3.1 厚壁圆筒内的应力和应变	31
2.3.2 厚壁圆筒内的应变与位移	36
2.4 单筒身管设计理论与方法	37
2.4.1 单筒身管的弹性强度极限	37
2.4.2 单筒身管理论强度曲线	43
2.4.3 单筒身管设计	45
2.5 双层身管设计理论与方法	50
2.5.1 筒紧身管及其设计特点	50
2.5.2 活动身管及其特点	58
2.5.3 双层身管的综合讨论	60

2.6 自紧身管设计理论与方法	60
2.6.1 自紧身管简介	60
2.6.2 液压自紧身管的应力分析	64
2.6.3 冲头挤扩自紧(机械自紧)	76
 第3章 反后坐装置设计	84
3.1 概述	84
3.1.1 弹性炮架与反后坐装置的作用	84
3.1.2 后坐系统的分类与反后坐装置的功能	85
3.1.3 反后坐装置设计的内容和任务	87
3.1.4 反后坐装置的结构分析	88
3.2 流体力学基础	96
3.2.1 流体力学的基本概念	96
3.2.2 连续方程	96
3.2.3 运动微分方程与伯努利方程	97
3.2.4 一维气体动力学基础	98
3.3 火炮发射动力学	101
3.3.1 火炮发射时的受力和运动分析	101
3.3.2 火炮发射动力学分析的力学模型	116
3.4 复进机设计理论与方法	119
3.4.1 弹簧式复进机设计	120
3.4.2 液体气压式复进机设计	122
3.5 制退机设计理论与方法	126
3.5.1 节制杆式制退机的液压阻力方程	126
3.5.2 节制杆式制退机结构设计	132
3.5.3 节制杆外形的调整和后坐反面问题计算	136
3.6 复进节制器设计与复进问题计算	139
3.6.1 复进的运动和受力分析	139
3.6.2 复进节制器设计	148
3.7 炮口气流现象与炮口制退器设计	153
3.7.1 炮口气流现象	153
3.7.2 后效期理论计算方法	154
3.7.3 炮口制退器设计	157
3.8 其他反后坐技术及新进展	166
3.8.1 磁流变反后坐装置技术	166
3.8.2 火炮平衡发射技术	167
3.8.3 无后坐炮与膨胀波火炮发射技术	168

第 4 章 火炮自动机构设计	170
4.1 概述	170
4.1.1 火炮自动机	170
4.1.2 火炮自动机的工作原理	171
4.1.3 火炮自动机设计	175
4.2 火炮自动机构动力学	176
4.2.1 自动循环	176
4.2.2 火炮自动机构运动微分方程	179
4.2.3 传动效率	187
4.2.4 机构间的撞击	195
4.2.5 火炮自动机数值仿真	204
4.2.6 火炮自动机虚拟样机技术	207
4.3 火炮自动机主要机构设计	213
4.3.1 炮门设计	214
4.3.2 开门机构设计	220
4.3.3 供输弹机构设计 (装填机构)	224
4.4 导气式自动机设计	233
4.4.1 导气式自动机工作原理	233
4.4.2 导气装置基本参数	234
4.4.3 气室压力计算	235
4.4.4 主要结构参数对气室压力的影响	239
4.4.5 导气装置设计	240
4.5 浮动自动机设计	241
4.5.1 浮动原理	241
4.5.2 浮动自动机分类	242
4.5.3 浮动自动机的关键技术	243
4.5.4 浮动自动机设计	246
第 5 章 火炮炮架设计	250
5.1 概述	250
5.2 架体设计	253
5.2.1 架体的结构设计	254
5.2.2 架体的受力分析	263
5.2.3 架体的强度分析	268
5.3 平衡机设计	276
5.3.1 平衡原理与平衡机结构	276

5.3.2	平衡机设计	280
5.3.3	平衡性能调整	283
5.4	瞄准机设计	284
5.4.1	瞄准与瞄准机	284
5.4.2	瞄准机结构设计	286
5.5	自行火炮炮塔设计	291
5.5.1	自行火炮炮塔及其设计	291
5.5.2	炮塔总体设计	293
5.5.3	自行火炮炮塔主要部件设计	295
5.6	运动体与底盘设计	302
5.6.1	基本概念	302
5.6.2	行军战斗变换与辅助推进	303
5.6.3	自行火炮底盘设计	306
第6章 火炮系统分析与总体设计		325
6.1	火炮战术技术指标	325
6.2	火炮系统分析	328
6.2.1	火炮系统分析的任务	328
6.2.2	火炮系统分析方法	330
6.3	火炮总体设计任务与内容	339
6.3.1	现代火炮的特点与总体设计要求	339
6.3.2	火炮总体设计的地位和作用	339
6.3.3	火炮研制的一般程序	340
6.3.4	总体设计的工作内容与步骤	342
6.4	火炮总体设计方法与技术	347
6.4.1	系统工程理论与方法	347
6.4.2	优化方法	348
6.4.3	计算机辅助设计	350
6.4.4	可靠性设计	350
6.4.5	轻量化技术	351
6.4.6	人一机一环工程设计	354
6.4.7	虚拟样机技术	356
6.4.8	火炮总体布置技术	357
参考文献		363
索引		366

第 1 章 绪 论

1.1 火炮的地位与作用

火炮是以发射药为能源、利用火药燃气压力抛射弹丸等战斗部、口径等于或大于 20 mm 的身管射击武器，火炮广泛装备于陆、海、空各军兵种。

我国是火炮的发源地。早在春秋时期，就出现了抛石机，也称为“砲”（“砲”是古汉语动词“抛”的名词形式），它利用杠杆原理，众人合力把大石块抛出去，或攻守城堡，或杀伤人员。这是最古老的抛射武器，属于冷兵器，它使人体得到了延伸，可以打击远距离的目标，改变了之前面对面的“肉搏”战斗方式。

公元 7 世纪，唐代炼丹家孙思邈发明了黑火药，于 10 世纪初开始用于武器。抛石机除了抛射石块外，还抛射带有燃爆性质的火器，如霹雳炮、震天雷等。抛射的能源以黑火药代替人力后，“炮”取代了“砲”。1132 年（宋绍兴二年），陈规镇守德安城时发明了“火筒”。“火筒”用竹筒制成，内装火药，临阵点燃，喷火烧敌。这种竹矢制抛射火器具备了火药、身管、弹丸三个基本要素，可以认为它就是火炮的雏形。热兵器的出现，不仅提高了兵器的威力，更重要的是使作战模式由“点打击”变为“面打击”。

我国古代金属冶炼铸造技术成就辉煌，直接推动着金属管型火器——火铳的诞生。自明代起，将需要架在架子上使用的大型管型射击火器（火铳）称为火炮。内蒙古蒙元文化博物馆收藏的一件“元大德二年”（1298 年）铜火铳为迄今所发现的中国最早有明确记录的铜火铳，也是迄今所知世界上最早的“火炮”。金属管型抛射火器的出现，反映了工业和经济的进步，标志着火炮技术实现了第一次质的飞跃。金属管型抛射火器的射程更远，威力更大，使用更安全。这一时期，金属管型抛射火器已广泛用于战场，曾被尊为铜将军，还立过炮神庙来祭祀，反映出当时人们对金属管型抛射火器的崇拜。

13 世纪，我国的火药和火器沿着丝绸之路西传，在战争频繁和手工业发达的欧洲得到迅速发展；16 世纪末，伽利略创立了物体在空中飞行的抛物线理论；17 世纪，牛顿提出了飞行物体的空气阻力定律；18 世纪，罗宾斯于 1742 年出版了《枪炮术原理》专著。这些重要成果奠定了火炮设计的理论基础。欧洲率先进行了产业革命，科学技术的进步创造了空前的生产力，同时也推动火炮在结构上发生了深刻的变革。19 世纪中叶以前的火炮一直采用前装式滑膛身管，发射球形弹丸，威力有限。1823 年，硝化棉火药（无烟药）出现，火炮射程有了大幅度提高的可能。1846 年，出现带螺旋膛线的线膛身管，实现了发射锐头圆柱弹丸的设想，显著提高了火炮的射击密集度和射程。1854—

1877年,先后出现的楔式和螺式炮门,形成了从炮身后端快速装填弹药的新结构。火炮威力不断增大,自身质量随着剧增,发射时全炮的跳动和后移猛烈,严重影响操作使用。1872年以后,陆续出现几种带有弹簧和液压缓冲装置的弹性炮架,有效地缓解了威力和机动性的矛盾。火炮从初期的前装式滑膛金属身管和刚性炮架到后装式线膛钢质炮身和弹性炮架,经历了600余年的时间,标志着火炮技术实现了又一次质的飞跃,确立了现代火炮的基本构架。

20世纪,科学研究步入组织化发展的道路,科学家集中起来对武器进行广泛研究,成果累累,推动火炮快速前进。第一次世界大战中,战场上出现了坦克、军用飞机和军舰,为火炮在这些战斗平台上的应用提供了条件。第二次世界大战及以后的局部战争中,战斗机、导弹相继投入使用,技术兵器的种类日益增多,战场的正面和纵深显著拓展,隐蔽目标、装甲目标、运动目标等层出不穷,火炮自身的作战任务更加繁重,要求不断提高,从而促使火炮继续发展,逐渐形成了一个品种繁多、技术密集的武器家族,如压制火炮(榴弹炮、加农炮、加榴炮、迫击炮等)、高射炮(高炮)、反坦克炮(包括无坐力炮)、坦克炮、步兵战车炮、航炮、舰炮和海岸炮等各种用途的火炮;以及牵引炮、自行炮、轨道炮、铁道炮等各种行走方式的火炮。

科学技术的发展和战争的需求拓宽了火炮的内涵。现代的火炮不仅发射普通的无控弹药,也发射制导弹药和灵巧弹药,正在研究中的液体发射药、电、磁等新能源发射武器,均属于它的范畴。

火炮的演变过程表明,科学技术的进步是它发展的基础,战争的需求是它发展的动力,解决威力和机动性的矛盾是它发展的主线。

火炮在战争中的地位是显而易见的。自明朝永乐年间我国创建了世界上第一支炮兵部队——神机营以来,火炮在战争的激烈对抗中发展壮大,不久就成了战场上的火力骨干,起着影响战争进程的重要作用。在第一次世界大战中,炮战是一种极其重要的作战方式,主要交战国投入的火炮总数达到7万门左右。第二次世界大战中,苏、美、英、德四个主要交战国共生产了近200万门火炮和24亿发炮弹。著名的柏林战役,苏军集中了各类火炮4万余门,在一些重要战役突破地段,每千米进攻正面上达到了300门的密度,充分发挥了炮火突击的威力,火炮被誉为“战争之神”。在大规模战役中如此,在第二次世界大战后的历次局部战争中,火炮的战果依然辉煌。20世纪50年代的朝鲜战争共击落击伤敌机12000架,其中9800架属于高射炮兵的功劳,约占80%;60年代的越南战争,美军损失飞机900多架,其中80%也是被高射炮毁伤的;70年代的第四次中东战争,双方共有3000辆坦克被毁,50%是被炮火命中的。

20世纪90年代的海湾战争和巴尔干地区的武装冲突,是以高技术现代化为主要特征的战争,大量使用了各种飞机、电子装备和精确制导武器,新武器的发展和运用,使作战思想、战场上的火力组成和任务分工发生了深刻的变化。战争初期的电子战,高强度的空袭和精确打击,尽管战果显著,但耗费惊人,难以持久。在战争后期的直接对抗

中,强大的火炮仍具有重要意义,它不仅是战斗行动的保障,而且仍将是最终夺取战斗全胜的骨干力量。未来战争在空中、海上、地面共同组成的装备体制中,火炮仍然是不可替代的。第一,地面战仍将是不可避免的,火炮构成地空配套、梯次衔接、点面结合的火力网,很少出现火力盲区,而且很可能发展成为未来战争中拦截中低空入侵导弹和近程反导的有效手段之一;第二,火炮是部队装备数量最大的基本武器,占总兵力60%~70%的陆军,更是以火炮为主要装备,这种格局今后仍将持续下去;第三,火炮机动性良好,进入、撤出和转移阵地快捷,火力转移灵活,生存能力和抗干扰能力较强,能够伴随其他兵种作战,实施不间断的火力支援;第四,火炮的经济性良好,无论是火炮的研究、工程开发、生产装备,还是后勤保障,其全寿命周期的总费用都远低于其他技术兵器。由此可见,火炮仍是今后继续大力发展的重要武器装备。荷兰与美国共同研制的近程防空反导火炮系统称其为“守门员”,这足以证明火炮在现代战争中的地位。

战争的多样性决定了火炮品种的多样性,它们的功能各有侧重,轻重梯次配置,和其他武器相互补充、优化组合,形成完整的装备和火力体系。

现代火炮是战场上常规武器的火力骨干,配置于地面、空中、水上各种运载平台上。进攻时用于摧毁敌方的防御设施、有生力量、装甲车辆、空中飞行物等运动目标,压制敌方的火力,实施纵深火力支援,为后续部队开辟进攻通道;防御时用于构成密集的火力网,阻拦敌方从空中、地面的进攻,对敌方的火力进行反压制;在国土防御中用于驻守重要设施,进出通道及海防大门。火炮具有火力密集、反应迅速、抗干扰能力强、可以发射制导弹药和灵巧弹药实施精确打击等特点。

随着高技术的发展和应用,火炮在提高动能和射程、精度和操作控制自动化程度、更新杀伤和毁伤机理等诸多方面都有较大的潜力;在进一步改善机动性能、增强自身防护、提高生存能力、实现数字化和自主作战功能等方面,也有继续发展的广阔空间;火炮以及与其他兵器集束化、集成化还有一系列新的发展领域。21世纪,火炮将以崭新的面貌展现在战场上。

1.2 火炮设计理论的主要内容

经过700余年的演变,火炮的概念已从当初的简单发射平台发展成为以火力系统为主体,包括目标探测系统、火力控制系统、运载系统以及其他辅助系统组成的技术密集的综合武器系统,统称“火炮系统”。例如,一个连套的某自行高炮系统,包括6辆自行火炮、1辆指挥车、1辆雷达车、1辆电源车、1辆弹药车、1辆抢修车。这里所谓的“火炮”,是指火炮系统中火力系统的核心部分——发射装置。

火炮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2500~3600 K)、高压(膛内压力高达250~700 MPa)、高速(弹丸初速高达200~2000 m/s)、高加速度(弹丸直线加速度是重力加速度

的 1000~3000 倍,火炮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,可以把火炮视为采用特殊能源的超强功率的特种动力机械。一门小口径 37 mm 口径的火炮,炮口动能约 0.3 MJ,火炮的瞬时功率约 69 MW,相当于一个中型发电厂的功率;一门中口径 85 mm 口径的火炮,炮口动能约 3 MJ,火炮的瞬时功率约 326 MW,相当于一个小城市发电厂的功率;一门大口径 152 mm 口径的火炮,炮口动能约 13 MJ,火炮的瞬时功率约 940 MW,相当于一个中等城市发电厂的功率。火炮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、膛口火焰、机械运动、冲击、振动等。火炮在使用中,还要能适应严寒酷暑、风沙雨淋环境,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,并满足规定的质量指标。这种工作状况构成了火炮的特色,也是火炮研究的难点所在。

火炮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。火炮设计理论的发展,为火炮设计提供了一系列行之有效的方法和技术。

火炮设计理论是火炮设计的理论基础,是火炮设计中基本概念、理论、方法及过程的高度概括,它主要研究火炮系统的组成与性能评价,研究各种火炮发射原理、伴随现象及其规律性,研究火炮构成原理与方法,研究火炮主要零部件的设计理论和设计方法等。火炮设计理论主要包括火炮系统分析、火炮总体设计和火炮主要零部件设计等。

火炮系统分析,是指用系统方法、寻求火炮系统的最优方案(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,给出火炮系统的最优方案。在火炮的发展研究、方案选择、技术修改、使用等过程中,火炮系统分析可直接用来提出改进意见。

火炮总体设计,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,进行与火炮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、实验、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,进行火炮质的方面设计,主要包括火炮组成方案、总体布置、结构模式、人机工程、可靠性、安全性、检测、通用化、标准化、系列化等涉及火炮总体性能方面的设计。这里所讲的火炮总体设计,如果不加说明的话,主要是狭义上的。

火炮主要零部件设计,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,研究火炮主要零部件的构造原理和方法,设计火炮主要零部件具体结构等。火炮主要零部件设计主要包括炮身设计、反后坐装置设计、(半)自动机设计、供弹机设计、炮架设计、

运动体设计等。

经典火炮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;在分析全炮受力状态时,将炮架视为一个刚体,用动静法考虑后坐部分的运动,将问题转化为静力学问题求解,得出了一些简单实用的结果,并以此指导火炮总体布局。身管是火炮发射时主要受力部件,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。反后坐装置作为控制全炮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、杠杆组成的复杂平面运动机构,借助由传速比、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,它必须借助实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。20世纪60年代以前的火炮与自动武器大体上都是在经典武器设计理论指导下设计出来的,它们简便易用,适合手工进行计算。其中有的部分经过软件化改造,至今仍在继续使用;有的部分则在设计初期作估算分析之用。

20世纪60—70年代,火炮进入了第二次世界大战后的更新时期。战场对火炮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,基于动力学方法的花炮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,建立了火炮多刚体动力学模型、刚弹元件组合的多体动力学模型和相应的算法,通过振动特性预测其强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,为改进结构提供依据。对身管的液压和机械挤扩等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。在反后坐装置研究中,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、可压缩流体制退机、二维后坐原理等均做了广泛深入的研究。火炮总体设计理论日益受到重视,也有了相应的发展。

上述一系列研究活动和成果表明,我国火炮工作者对火炮的规律性认识正在逐步加深,新的适合国情的现代火炮设计理论体系已初步确立。同时,在这一过程中,自行设计的花炮性能不断改善,火炮的发展潜力不断被挖掘和利用,进一步大幅提高威力、减小质量的难度越来越大。因此,新发射原理、新能源、新结构、新材料已成为继续研究的热点。火炮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。

作为火炮专业的基础教学,本书以牵引火炮为主要对象,以经典火炮设计理论为主,适当介绍现代火炮设计理论的新发展和动向。

1.3 火炮设计理论的主要研究方法

我国火炮的发展大体经历了仿制、改进、研究提高与自主开发三个主要阶段，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。

火炮设计理论的发展，为火炮设计提供了一系列行之有效的方法和技术。评审技术已在设计管理中广泛应用；系统分析、效能分析和综合性能评价等项技术日益受到重视，成为火炮性能比较、方案遴选的辅助决策手段；特别是基于火炮发射动力学模型的数值模拟技术，在方案设计和实验过程中适时地预测武器的综合性能并提出改进的途径，已成为火炮设计的支撑技术之一；建立在最优控制理论、数学规划基础上的火炮优化设计技术，在反后坐装置、自动机、平衡机等部件上应用，取得了显著的效果；以炮架新原理、新结构、新材料为依托的火炮减重技术，正在迅速发展；从分析火炮故障率出发的可靠性分析和设计技术已逐步推广应用，为新火炮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，形成了如火炮动态设计和分析、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，成为火炮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，所以火炮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。

一般说来，火炮设计理论的研究方法主要有经验研究法、实验研究法和理论研究法。

用经验的方法研究问题，就是利用已有的经验和相关的知识，对问题作出定性的推测，提出一种解决问题的设想，通过试探过程达到预期目标。

任何一种新的火炮系统，其初始方案的构思和技术途径的确定都要依靠设计者的经验和创造性思维。在革新与改进阶段，尽管对火炮的某些内在规律认识尚不很深入，但已积累了相当的经验时，依托成熟技术，采用设计—试制—实验和分析—修改的方法，不仅推出了一批新的火炮型号，还涌现出许多有价值的技术革新成果。在实践中，常常根据大量实验数据归纳为简单实用的经验公式，用于分析处理问题，这些在一定条件下行之有效的方法都是基于经验研究方法形成的。至于火炮总体框架的构思和布局、部件的结构设计，更离不开设计者的经验和对战术技术要求的理解，都是依靠自身的经验起步，再通过理论和实验方法作出分析或加以优化并不断完善的。