



Weapon Design
for Armored Vehicle

装甲车辆

武器设计

张相炎 编著

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

兵器科学与技术丛书

装甲车辆武器设计

张相炎 编著

本书由“武器系统与工程”江苏省品牌专业建设经费资助出版

内 容 简 介

本书在继承传统火炮设计理论和方法的基础上,针对未来战争的特点及其对现代装甲车辆武器的要求、现代装甲车辆武器的特点和发展趋势,融合现代设计理论和方法,系统介绍现代装甲车辆武器设计的基本概念、设计理论与方法,主要包括装甲车辆武器及其设计概述,装甲车辆武器总体设计,装甲车辆火炮武器设计,装甲车辆车载弹药的选用,装甲车辆自动装弹机设计,装甲车辆辅助武器设计,装甲车辆炮塔设计等。

本书主要用作装甲车辆工程专业方向本科生专业教材,也可以用作研究生专业教材。本书具有一定的通用性和适应范围,可供本行业研究、设计、制造、管理与教学人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

装甲车辆武器设计/张相炎编著. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5682-6473-0

I. ①装… II. ①张… III. ①装甲车-武器-设计 IV. ①E923.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 259916 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)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 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 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 411 千字

版 次 / 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 46.00 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

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

本书重点介绍装甲车辆武器设计思想、原理、方法等方面的知识,以及一些新技术在装甲车辆武器上的应用。

本书分为7章,第1章装甲车辆武器及其设计概述,主要介绍装甲车辆武器及其组成、功能、结构特点与发展,身管武器工作原理及特点,以及装甲车辆武器设计的主要内容、基本理论和基本方法等;第2章装甲车辆武器总体设计,主要介绍装甲车辆武器的工作特点与要求,总体设计的任务、解决的主要问题、设计的一般步骤和原则及方法,装甲车辆武器的性能要求及其设计,装甲车辆与火炮武器的匹配性设计与评价;第3章装甲车辆火炮武器设计,主要介绍装甲车辆火炮武器结构特点,以及火炮炮身设计、反后坐装置设计、摇架设计、平衡机设计、瞄准机设计等;第4章装甲车辆车载弹药的选用,主要介绍装甲车辆弹药的概念、组成、类型,炮弹及其组成、种类、作用与结构、主要弹种选择原则、弹药基数与配比等,引信及其组成、类型、选择原则,反坦克导弹及其特点、选择原则等;第5章装甲车辆自动装弹机设计,主要介绍装甲车辆弹药自动装填系统及其工作方式、要求、主要设计内容,小口径自动炮供弹机构设计,坦克炮自动装弹机设计,大口径火炮分装式自动装弹机设计等;第6章装甲车辆辅助武器设计,主要介绍车载机枪的功能要求和选用以及架座设计,车载遥控武器站及其功能设计,人机界面设计等;第7章装甲车辆炮塔设计,主要介绍装甲车辆炮塔及其作用、设计的主要内容和要求,炮塔总体设计原则、总体布置及主要尺寸的确定,炮塔体、托架、座圈、吊篮等炮塔主要部件设计,炮塔防护设计与人机工程设计等。

本书在继承传统火炮设计理论和方法的基础上,针对未来战争的特点及其对现代装甲车辆武器的要求、现代装甲车辆武器的特点和发展趋势,结合近年来国内外取得的科研成果,融合现代设计理论和方法,系统介绍现代装甲车辆武器设计的基本概念、设计理论与方法、设计特点、关键技术等,具有时代特色和先进性。本书以介绍应用原理和方法为主线,构建“以点带线促面”认知模式,具有较强的实用性、通用性和适应范围,主要用作装甲车辆专业方向高年级本科生和研究生专业教材,也可以供本行业研究、设计、制造、管理与教学人员使用。

侯保林教授编写了第5章部分内容，何永副教授编写了第6章部分内容，南京理工大学机械学院的许多专家教授对本书提出了有益的修改意见，在编写中参考了许多专著和论文，江苏省品牌专业建设项目给予了出版资助，在此对以上为本书的出版付出心血的所有同仁以及本书的主审专家和出版编审人员表示衷心感谢。

由于编者水平所限，难免有遗误和不妥之处，恳请读者批评指正。

张相炎

2018年6月于南京

目 录

CONTENTS

第 1 章 装甲车辆武器及其设计概述

- 1.1 装甲车辆武器简介
 - 1.1.1 装甲车辆武器
 - 1.1.2 装甲车辆武器的组成及其功能
 - 1.1.3 装甲车辆武器的结构特点
- 1.2 身管武器工作原理概述
 - 1.2.1 身管武器发射原理及过程
 - 1.2.2 身管武器发射特点
 - 1.2.3 射击循环
- 1.3 装甲车辆武器的发展
 - 1.3.1 装甲车辆武器的发展历程
 - 1.3.2 装甲车辆武器的发展现状
 - 1.3.3 装甲车辆武器的发展趋势
- 1.4 装甲车辆武器设计概述
 - 1.4.1 装甲车辆武器设计的主要内容
 - 1.4.2 装甲车辆武器设计的基本理论
 - 1.4.3 装甲车辆武器设计的基本方法

第 2 章 装甲车辆武器总体设计

- 2.1 装甲车辆武器总体设计概述
 - 2.1.1 现代武器的特点与研制程序
 - 2.1.2 武器总体设计的地位和作用
 - 2.1.3 武器总体设计的主要依据与内容
 - 2.1.4 武器总体设计的原则
- 2.2 装甲车辆武器战术技术要求与性能设计

- 2.2.1 车载火炮的总体性能要求及其设计
- 2.2.2 车载弹药性能要求及其设计
- 2.2.3 车载机枪性能要求及其设计
- 2.2.4 车载反坦克导弹性能要求及其设计
- 2.3 装甲车辆武器系统分析
 - 2.3.1 装甲车辆武器系统分析概述
 - 2.3.2 装甲车辆与火炮武器的匹配性设计
 - 2.3.3 车载火炮系统匹配性评价

第3章 装甲车辆火炮武器设计

- 3.1 装甲车辆火炮武器结构特点
 - 3.1.1 装甲车辆火炮炮身结构特点
 - 3.1.2 反后坐装置的结构特点与布置
 - 3.1.3 射击安全装置和药筒处理装置
 - 3.1.4 火炮的平衡
- 3.2 火炮炮身设计
 - 3.2.1 炮身设计概述
 - 3.2.2 身管设计
 - 3.2.3 炮闩与炮尾设计
 - 3.2.4 其他装置设计
- 3.3 反后坐装置设计
 - 3.3.1 火炮发射静止性和稳定性
 - 3.3.2 反后坐装置及其设计流程
 - 3.3.3 复进机设计
 - 3.3.4 制退器设计
- 3.4 摇架设计
 - 3.4.1 摇架及其作用
 - 3.4.2 摇架结构设计
 - 3.4.3 摇架受力分析
 - 3.4.4 摇架的强度分析
- 3.5 火炮其他结构设计
 - 3.5.1 平衡机设计
 - 3.5.2 瞄准机设计

第4章 装甲车辆车载弹药的选用

- 4.1 装甲车辆弹药简介
 - 4.1.1 弹药的概念
 - 4.1.2 弹药的组成
 - 4.1.3 弹药的类型

- 4.1.4 装甲车辆车载弹药
- 4.2 炮弹
 - 4.2.1 炮弹及其组成
 - 4.2.2 炮弹的种类
 - 4.2.3 主要炮弹的作用与结构
- 4.3 引信
 - 4.3.1 引信及其组成
 - 4.3.2 引信的类型
- 4.4 反坦克导弹
 - 4.4.1 反坦克导弹及其特点
 - 4.4.2 反坦克导弹技术
- 4.5 火炸药
 - 4.5.1 火炸药简介
 - 4.5.2 装药结构
- 第5章 装甲车辆自动装弹机设计**
 - 5.1 装甲车辆弹药装填系统概述
 - 5.1.1 弹药装填系统
 - 5.1.2 弹药装填系统工作方式
 - 5.1.3 对自动装弹机的要求
 - 5.1.4 自动装弹机设计的主要内容
 - 5.2 小口径自动炮供弹机构设计
 - 5.2.1 供弹机结构类型
 - 5.2.2 拨弹机构设计
 - 5.2.3 输弹机设计
 - 5.3 坦克炮自动装弹机设计
 - 5.3.1 坦克炮自动装弹机
 - 5.3.2 坦克炮自动装弹机的基本设计要求
 - 5.3.3 坦克炮自动装弹机的结构方案
 - 5.3.4 吊篮式自动装弹机结构设计
 - 5.4 大口径火炮分装式自动装弹机设计
 - 5.4.1 大口径火炮分装式自动装弹机的构成及其功能
 - 5.4.2 大口径火炮分装式自动装弹机的基本设计要求
 - 5.4.3 大口径火炮分装式自动装弹机的结构方案
 - 5.4.4 分装式自动装弹机设计
- 第6章 装甲车辆辅助武器设计**
 - 6.1 车载机枪设计
 - 6.1.1 车载机枪的功能要求

6.1.2 车载机枪的选用

6.1.3 车载机枪架座设计

6.2 遥控武器站设计

6.2.1 遥控武器站概述

6.2.2 遥控武器站功能设计

6.2.3 遥控武器站设计技术

6.2.4 遥控武器站人机界面设计

第7章 装甲车辆炮塔设计

7.1 装甲车辆炮塔设计概述

7.1.1 炮塔及其作用

7.1.2 炮塔设计的主要内容和要求

7.2 炮塔总体设计

7.2.1 炮塔总体设计的原则

7.2.2 炮塔总体布置及总体设计

7.2.3 炮塔主要尺寸的确定

7.3 炮塔主要部件设计

7.3.1 炮塔体的设计

7.3.2 托架的设计

7.3.3 炮塔座圈的设计

7.3.4 吊篮设计

7.4 炮塔防护设计

7.4.1 防护类型与要求

7.4.2 防护系统设计

7.5 人机工程设计

7.5.1 炮塔人机工程设计概述

7.5.2 炮塔人机工程分析

7.5.3 炮塔人机工程设计

参考文献

第 1 章

装甲车辆武器及其设计概述

1.1 装甲车辆武器简介

1.1.1 装甲车辆武器

自 1916 年坦克发明以来，现代战争发生了深刻变化。以前单纯的兵器与运载车辆有机结合起来，形成集高机动、强火力和优异防护能力于一体的兵器系统。其后，在坦克的影响下，出现了多种车载武器系统。特别是 20 世纪 90 年代以来，在高新技术的推动下，出现了种类繁多、性能优良的车载武器系统。

火力是装甲战车最重要的战斗性能，其发展速度大大超过其他性能。现代装甲战车应具有无论白天还是夜间、静止时还是行进间进行射击的能力，在发现目标和开火时必须超前敌人并具有足够杀伤各种目标的能力。

装甲车辆武器是指以装甲车辆为运输载体的武器，简称车载武器，一般包括坦克炮、自行火炮、车载炮、车载小口径自动炮、车载机枪、车载反坦克导弹等。装备车载武器的装甲车辆也称装甲战车，包括坦克、步兵战车、装甲输送车、自行火炮、导弹发射车等。对装甲战车要求的多样性和目标的广泛性（既按对装甲战车危险程度又按目标保护级别）导致装甲战车必须装备各种武器。不同载体依据战术功能不同，所装备的车载武器配置也不同。对坦克而言，车载武器有坦克炮和机枪；对于步兵战车，车载武器有小口径机关炮、机枪和反坦克导弹或炮射导弹；对于装甲输送车，车载武器有外置机枪；对于自行火炮，车载武器有加农炮、榴弹炮和迫击炮以及外置机枪。随着战场形势的变化，装甲车辆的车载武器配置也不是一成不变的，也在进行不断的调整。但不管配置如何调整，其基本组成还是各种口径的坦克炮及反坦克炮或一般火炮、机枪、小口径机关炮和反坦克导弹等。车载火炮是装甲战车的主要武器；车载机枪是装甲战车的辅助武器。此外，装甲车辆内还配有自卫用的轻武器。装甲战车武器的主要功能是压制并消灭敌方装甲车辆、反装甲兵器及其他火器，摧毁敌方野战工事，歼灭敌方有生力量。装甲战车配置的高射机枪还具有对付敌方低空目标的功能。

1.1.2 装甲车辆武器的组成及其功能

装甲战车武器系统由发射装置（也简称为武器）、弹药和火力控制系统等组成。发射装置包括火炮、机枪、导弹发射装置等。弹药包括各种炮弹、枪弹、导弹等。火力控制系统包括观察瞄准仪器、传动装置、火控计算机、定位定向装置和稳定器等。

作为装甲战车主要武器的火炮，主要用于摧毁敌方坦克、步兵战车、自行火炮、反坦克导弹系统等装甲车辆，以及火炮阵地、火箭武器发射台、各种野战工事（包括土木构筑的火力点、永久火力点和装甲护罩）等固定或移动目标，杀伤集结有生力量等。装甲战车火炮射击的主要类型是通过直接瞄准目标直观全射程进行射击，也可采用隐蔽阵地进行间接射击。

辅助武器一般是并列机枪（有时是小口径自动炮），用于消灭和扼制近战的敌方武器（步兵用的反坦克导弹系统装置、掷弹筒、无后坐炮和其他武器）、轻型装甲车和专用车以及敌方有生力量。

补充武器用于解决一些特殊火力问题，这些问题采用主要武器和辅助武器不能顺利完成，例如反击飞机和直升机的袭击。一般将高射机枪、小口径自动炮和其他武器用作补充武器。在某些情况下，高射机枪可以用作射击地面目标的辅助武器。

装甲战车弹药基数由各种武器的弹药组成，弹药配置由装甲战车杀伤的目标类型而定。装甲战车的主要武器一般采用下面的弹药：战车炮配用的弹药一般有用用于摧毁装甲目标的适口径穿甲弹、次口径弹和聚能装药破甲弹；用于杀伤薄装甲和无装甲目标，以及各种地面工事和敌方有生力量的杀伤弹或杀伤爆破弹；有些配炮射导弹。弹药对目标的作用威力由装甲战车炮能量特性、弹药的结构和材料而定。

装甲战车武器系统还包括保证弹药在装甲战车内分配给武器的装弹装置。保证弹药分配、弹药选择和装填的火炮装弹装置包括以下几种。手工装填时，弹药在弹药架内按规定分布，这就能在战斗情况下采用最可能多的弹药，并考虑体力可能性与装填手的工作条件和减轻装填负荷的装置，如导弹槽、托弹板等。自动化装填时，利用自动装填机装填弹药，保证选择所需弹型且自动或半自动地按规定速度对火炮装弹，并发出各弹型自动化弹药存数的信息。有些火炮装弹装置还设置用于对自动装填机补充装填和在事故情况下用手工装填的补充性非自动化弹药架。

装甲战车火力控制系统，简称火控系统，一般包括观察瞄准仪器、瞄准传动装置、测距仪、火控计算机、传感器、战车炮稳定器和稳定传动装置、操纵机构、高低瞄准角和方向瞄准角修正装置等。其功能是控制装甲战车武器的瞄准和射击，缩短从射击准备工作开始到实施射击之间的时间，提高对目标的命中概率。火控系统用以确定装甲战车武器系统主要性能的是信息能力、反应能力、射击精度和弹药对目标的作用威力。装甲战车射击由对目标搜索（搜索和识别）和对目标杀伤（准备和进行首次射击及往后射击）各阶段组成。信息能力表现为对目标搜索（侦察）的能力和指示目标的效率，主要由火控系统及其所属仪器的技术参数确定。装甲战车武器系统的反应能力表现为准备和实施射击的持续时间，由火控系统和自动装填机的技术性能决定。射击精度由武器的构造参数和弹道参数以及火控系统的误差而定。

近年来，随着现代战争发生的深刻变化，在高新技术的推动下，装甲战车武器系统也悄然发生不小的改变，除常规火炮改进外，装甲战车用电磁炮、电热炮、电化学炮，以及液体炮的研究如火如荼；另外，炮射导弹、制导弹药、软杀伤弹等新型弹药，以及遥控武器站和自动装弹装置等已在现役装甲战车和新型装甲战车上得以配置。装甲战车火控系统发展更快，已呈现装备一代、储备一代、研制一代的良好局面。

1.1.3 装甲车辆武器的结构特点

车载武器与其他武器相比,虽有共同点,但由于其在车辆上工作条件的特殊性,因而在结构上有其特殊点。以坦克炮为例,这些特点包括:

- ①火炮炮身要承受更高的膛压(有的达500~700MPa)。
- ②火炮前方有坚强的装甲防护。
- ③后坐距离短,反后坐装置的结构及计算方法不同。
- ④炮尾的活动半径小。
- ⑤有发射时的安全装置(防危板、自动闭锁器)和药筒处理装置(收集器或抛壳窗)。
- ⑥要考虑起落部分的平衡。
- ⑦火炮发射延迟时间要短。
- ⑧战斗室有通风与炮膛抽气装置。
- ⑨采用高低和方向双向稳定。
- ⑩装填实现自动化,并采用新弹种。
- ⑪采用操纵方便、准确的火控系统。
- ⑫采用身管热护套以消除身管因温差引起的弯曲。
- ⑬采用昼夜观察瞄准仪器。
- ⑭采用并列机枪和遥控高射机枪。
- ⑮零件的强度应考虑能承受发射及坦克运动时所引起的惯性和动载荷。

1.2 身管武器工作原理概述

1.2.1 身管武器发射原理及过程

(1) 身管发射原理

身管发射是指利用火药在半封闭的管形容器(称为身管)内燃烧所产生的高温高压燃气膨胀做功,推动被抛射的物体(弹丸)在管内加速运动,弹丸出膛口(炮口、枪口)时获得巨大动能,并作为初始能量,沿身管所赋予的初始射向,以其惯性克服重力和空气阻力的作用飞向预定目标。弹丸所获得的最大速度称为初速。

(2) 身管发射过程

由身管发射原理可知,身管发射过程是使火药的部分化学能转化为弹丸的膛口动能的过程,它是由发射时炮弹(枪弹)在身管膛内工作全过程来实现的(图1.1),该过程可分为以下4个阶段:

①点火阶段。炮弹(枪弹)入膛后进行击发,利用电能或动能引燃比较敏感的点火药(底火);底火药的火焰又进一步使点火药燃烧,产生一定温度与压力的气体和灼热粒子喷向药筒(弹壳)内,将发射药点燃。发射药点燃后,生成高温高压火药燃气,在燃气压力不足以推动弹丸运动前,发射药在一定容积的药室内进行定容燃烧。随着发射药不断燃烧,燃气压力不断升高。

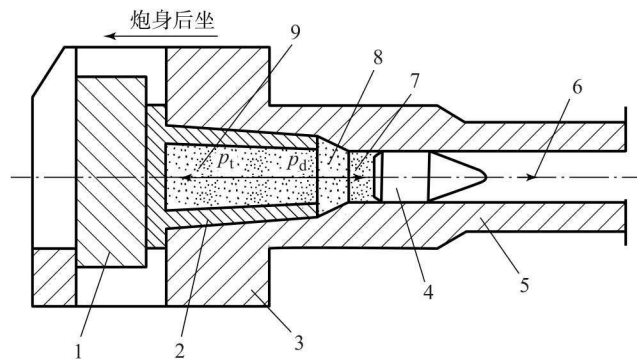


图 1.1 身管发射过程示意图

1—炮门；2—药筒；3—炮尾；4—弹丸；5—身管；6—弹丸运动；7—弹底压力；8—火药燃气；9—膛底压力

②弹丸挤入膛线阶段。火药燃烧产生大量高温高压气体，推动弹丸向前运动，弹带逐渐挤入膛线，弹丸前进的阻力也随之增加。当弹带全部挤进膛线时，阻力达到最大，弹带被刻成沟槽而与膛线完全吻合（有些枪械中，因枪弹无弹带，故靠整个枪弹圆柱表面挤入膛线）。与弹带全部挤入膛线时的最大阻力相应的膛内火药燃气的平均压力（简称膛压）称为挤进膛压 p_0 。

③弹丸在膛内运动阶段。弹带全部挤进膛线后，挤进阻力突然下降，弹丸开始加速向前运动。随着火药继续燃烧，膛内生成的火药燃气在弹丸后部空间猛增，使膛压增大，弹丸速度急剧加快。膛内火药燃气不断生成，有使膛压增大的趋势。随着弹丸运动，弹后容积不断增大，发射药在容积变化的弹后空间里进行变容燃烧，这对发射药燃烧、燃气生成、压力变化、弹丸运动等规律均有直接影响。通过合理设计发射药的形状尺寸、炮膛结构尺寸等来控制膛内压力变化规律，从而控制弹丸的运动规律。一般膛内压力变化规律用膛压曲线表示，如图 1.2 所示。弹丸在膛内运动一小段距离后出现最大膛压 p_m 。在膛压作用下，弹丸一方面沿炮（枪）管轴线方向向前运动，另一方面又沿着膛线进行旋转运动。同时，正在燃烧的火药和气体也随弹丸一起向前运动，火药燃气也推动炮（枪）身向弹丸行进的反方向运动（称为后坐）。当弹丸底部（或弹带部分）到达炮（枪）口时，弹丸的膛内运动阶段结束。弹底到达炮（枪）口瞬间弹丸所具有的速度称为炮（枪）口速度 v_g ，此时炮（枪）口膛压为 p_g ，弹丸行程为 l_g 。

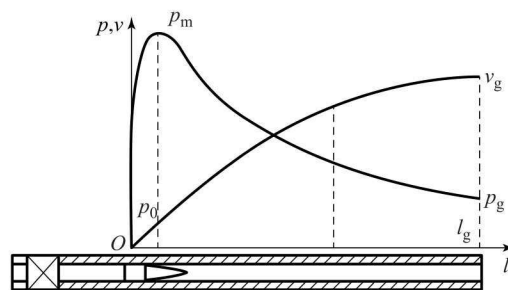


图 1.2 膛内压力 (p)、速度 (v) 随行程 (l) 的变化曲线

④火药燃气后效作用阶段。弹丸飞出膛口之后，弹后高温高压火药燃气也从膛口喷出。一方面，由于燃气速度大于弹丸的运动速度，从膛口喷出的火药燃气继续作用于弹丸底部，推动弹丸加速前进，直到燃气对弹丸的推力和空气对弹丸的阻力相平衡为止。此时，弹丸的加速度为零，弹丸在膛口前一定距离上达到了最大速度。在火药燃气作用结束之后，弹丸依靠自身的速度和惯性在空气中飞行，并达到预定目标区。由于存在重力、空气阻力，加上气

象等条件的影响,弹丸不可能完全按预定计划准确发射到预定目标上,而是散布在围绕目标的一定区域内。另一方面,从膛口喷出的火药燃气继续作用于身管。通常可以通过控制从膛口高速喷出的火药燃气的流动方向及流量来控制其对身管的作用效果。

1.2.2 身管武器发射特点

以火炮发射为例,说明身管武器的发射特点。

在燃气压力推动弹丸加速运动的同时,燃气压力也沿弹丸运动相反方向作用在半封闭的身管(称为炮身)上,此合力称为炮膛合力(见图1.3中 F_{pt})。炮膛合力最终通过发射装置的架体(炮架)传到地基上,称炮身作用于炮架的力为后坐力。

由于发射时膛内燃气压力非常高(最大膛内压力高达250~700MPa,见图1.2中 p_m),因此炮膛合力非常大(炮膛面积乘膛内压力,例如155mm火炮的炮膛合力可以高达 $7 \times 10^6 \text{N}$)。如果身管与发射装置的架体刚性连接,则后坐力就等于炮膛合力。为了保证正常射击,在射击时,发射装置既不能移动(保证射击静止性),也不能翻转(保证射击稳定性),还应具有足够的刚度和强度。这样,发射装置势必就非常庞大和笨重,导致其机动性下降。减小后坐力、减轻质量、提高机动性,是身管发射武器发展的永恒主题。

为了使炮膛合力不直接作用于炮架,现代火炮都在炮身与炮架之间设置缓冲装置(称为反后坐装置),让炮身及其他零部件(所有参与运动的零部件合称为后坐部分)在炮膛合力的作用下,能沿身管轴线向后运动(称为后坐)。后坐部分的后坐运动如图1.3所示。反后坐装置提供的作用力,一方面作用于运动着的后坐部分,称其为后坐阻力(见图1.3中 F_R),另一方面作用于不运动的炮架,称其为后坐力。后坐力与后坐阻力大小相等、方向相反。

在后坐运动时,根据牛顿运动定律,后坐部分的后坐运动规律可以用公式表示为

$$m \frac{dv}{dt} = F_{pt} - F_R$$

式中: m ——后坐部分的运动质量;

v ——后坐部分的运动速度;

$\frac{dv}{dt}$ ——后坐部分的运动加速度;

$m \frac{dv}{dt}$ ——后坐部分的运动惯性力;

F_{pt} ——作用在后坐部分上的炮膛合力;

F_R ——炮架通过反后坐装置作用在后坐部分上的后坐阻力。

将上式移项变形,得

$$F_{pt} = m \frac{dv}{dt} + F_R$$

由此可见,在后坐加速时期,炮膛合力 F_{pt} 转化成两部分,一部分是后坐部分的后坐运动惯性力 $m \frac{dv}{dt}$,另一部分是通过反后坐装置作用于炮架的后坐阻力 F_R 。由于后坐加速运动

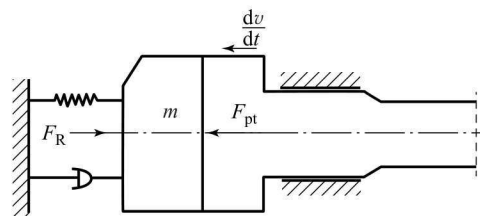


图 1.3 后坐部分的后坐运动

($dv/dt > 0$)，炮膛合力主要用来产生后坐运动，因此作用于炮架的后坐力比炮膛合力小得多 ($1/40 \sim 1/10$)，从而可以在保证射击静止性和稳定性以及发射装置的刚度和强度的同时，减轻发射装置的质量，减小发射装置的结构尺寸，提高其机动性能。

在火药燃气作用完毕之后，后坐部分的惯性在反后坐装置的作用下继续减速后坐，直到后坐终了，然后在反后坐装置作用下向前运动（称为复进），恢复发射前状态。在后坐减速时期及复进时期，反后坐装置提供的作用力，一方面继续作用于后坐部分，另一方面继续作用于炮架。但是，与炮膛合力相比，反后坐装置作用力要小得多。

由此可知，反后坐装置的作用是将作用时间极短、作用距离很小、量值很大的炮膛合力转化为作用时间较长、作用距离较大、量值较小的后坐力，如图 1.4 所示。一般来说，在一定范围内，后坐距离越长，后坐力越小。但是，并不是后坐距离越长越好，实际上后坐距离不仅受到结构的限制，还受到使用、勤务、操作方面的限制。通过合理设计反后坐装置，可以控制炮身的运动和后坐力。

反后坐装置主要由两部分组成，第一部分是制退器，主要用来控制后坐运动和消耗部分后坐动能，使炮身后坐到一定距离而停止；第二部分是复进机，主要用于在后坐过程储存能量，当后坐终了后保证火炮恢复到原先位置。后坐运动时，炮身在炮膛合力作用下带动制退器中制退活塞相对制退筒运动，挤压制退器工作腔液体，由于液体不可压，并且流液孔面积比制退活塞面积小得多，因此工作腔内的制退液经流液孔高速喷入非工作腔，同时在工作腔形成较大后坐液压阻力，节制炮身后坐运动。根据流体力学定律可以导出，液压阻力正比于后坐运动速度的平方，反比于流液孔面积的平方，即在非工作腔形成高速飞溅湍流，液体与液体之间，以及液体与筒壁之间产生高速碰撞，将部分后坐动能转化为热能而消耗掉。如图 1.5 所示。

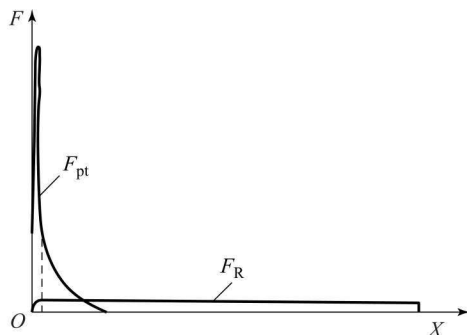


图 1.4 炮膛合力与后坐力示意图

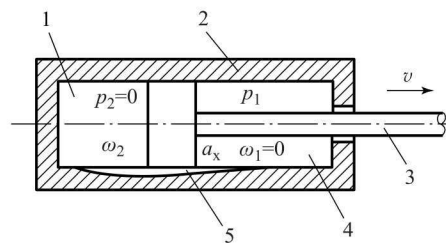


图 1.5 制退器工作原理

1—非工作腔；2—制退筒；
3—制退活塞；4—工作腔；5—流液孔

根据动量守恒定理，速度与质量成反比。由于后坐部分质量比弹丸质量大得多，因此后坐部分的后坐速度比弹丸运动速度小得多。动能与质量成正比，而与速度的平方成正比，通常后坐部分的后坐运动动能为弹丸动能的几分之一，并且后坐运动动能常用作开闩、供输弹机构及后坐部分复进的动力源。对于采用液压式制退器的武器，大部分后坐能量转化为制

退器内制退液的温升而消耗掉。

身管发射过程是一个极其复杂的动态过程。一般发射过程极短（几至十几毫秒），经历高温（发射药燃烧温度高达 $2\,500\sim 3\,600\text{K}$ ）、高压（最大膛内压力高达 $250\sim 700\text{MPa}$ ）、高速（弹丸初速高达 $200\sim 2\,000\text{m/s}$ ）、高加速度（弹丸直线加速度是重力加速度的 $10\,000\sim 30\,000$ 倍，发射装置的零件加速度也可高达重力加速度的 $200\sim 500$ 倍，零件撞击时的加速度可高达重力加速度的 $15\,000$ 倍）过程，并且发射过程以高频率重复进行（每分钟可高达 $10\,000$ 次循环）。由于身管发射过程的时间很短，它的瞬时功率很高，但热损失很大，其能量利用率为 $16\%\sim 30\%$ ，远比其他热力机械低。

身管发射过程伴随发生许多特殊的物理化学现象。身管发射的能源是火药，火药是一种含能的化学材料，既有燃烧剂又有助燃剂，当达到一定的温度以后就会燃烧。火药燃烧后在容器内生成有一定温度和压力的火药燃气，化学能转化为热能。火药燃气在膛内膨胀，推动弹丸飞出膛口，实现了由热能向动能的转化，即将一定质量的弹丸由静止状态加速到飞出膛口时获得一定的速度。身管发射过程中，对发射装置施加的是冲击载荷，身管、膛口装置、抽气装置、炮尾、炮闩及各连接件直接承受火药燃气的冲击载荷，这个载荷是构件强度设计的主要依据。在冲击载荷的激励下还会引发发射装置的振动，尤其是膛口振动，其是影响射弹散布的重要原因之一。身管发射过程中，身管的温升与内膛表面的烧蚀、磨损是非常复杂的物理、化学现象。在工程实践中，通常采取各种方法冷却身管，如在发射装药中增加缓蚀添加剂，采用爆热低的发射药，研究新型的身管材料，对身管内膛进行特殊工艺处理等多种技术措施以减少烧蚀和磨损。当弹丸飞离膛口时，膛内高温、高压的火药燃气在膛口外急剧膨胀，甚至产生二次燃烧或爆燃。特别是采用膛口制退器时，所产生的膛口冲击波、膛口噪声与膛口焰，容易暴露目标，降低战场生存能力；同时，对阵地设施、武器及载体上的仪器、仪表、设备和操作人员都会产生有害的作用。

1.2.3 射击循环

射击过程，首先赋予身管正确的初始射向。初始射向包括方位和射角。由方向机赋予身管初始方向，由高低机赋予身管初始射角。然后将弹药装填到内膛，最后进行发射。

从已装填入膛的弹药击发开始至次一发弹药击发止，这一过程称作射击循环。典型的身管武器射击循环通常包括以下各种动作：击发、后坐、复进、开锁开闩、抽壳与排壳、弹药传输、弹药装填、关闩闭锁、待击发等。

①击发，是采用机械或电气等方式引燃点火药，使发射药燃烧的过程。

②后坐，是身管武器的后坐部分在火药燃气压力的作用下，向弹丸运动方向的反方向运动的过程。

③复进，是后坐部分由后坐终点向前运动，回到初始位置的过程。

④开锁，是解除炮闩与炮尾的临时刚性连接，以便于炮闩可以相对炮尾运动的过程。开闩，是指当发射过程完成后，打开闭锁机构，驱动炮闩，使弹膛处于敞开状态，以便抽壳、排壳和装填下一发弹药的过程。

⑤抽壳与排壳，是闭锁机构打开后，用专门机构将弹壳或药筒从药室中抽离并抛出武器之外的过程。但采用药包、全可燃药筒、无壳弹等弹药的身管发射武器则无此环节。

⑥弹药传输，也称供弹或进弹，是指把弹药从储存位置转移到输送或装填位置的过程。

对整装式弹药，只需用一个通道；对分装式弹药，一般需要用两个通道，即弹丸和装药（包括药筒、药包或模块装药）分别传输。

⑦弹药装填，也称输弹，是把处于装填位置的弹药送入膛，使之处于待击发位置的过程。整装式和分装式弹药所需要的通道数与弹药传输通道数相同。

⑧关门，是驱动炮门关闭炮膛的过程。闭锁，是实现门体与炮尾的暂时刚性连接，使药室可靠密封的过程。

⑨待击发，是指解脱保险，完成击发准备的过程。

这些环节可以人工完成，也可以由专门的装置或机构来完成。除首发弹有人参与外，其余动作都自动完成的射击循环，称为自动循环，需由自动机来实现。单位时间内发射的射弹数称为射速，即发/min。

在现代战争中，目标的运动速度越来越快，机动性越来越高，因此对射速要求越来越高。以高射速形成弹幕，是对付高速来袭小目标的最可靠也是最后一道防线。为了提高射速，射击循环的各环节都有专门的装置或机构来自动或半自动完成。自动完成射击循环的身管武器称为自动武器。由于中小口径身管武器主要用于对付快速机动目标，所以中小口径身管武器都是自动武器，其射速可高达 10 000 发/min。对于大口径火炮，主要用于对付静止或运动速度不大的目标。由于结构所限，一般采用半自动机构，其射速可达 10 发/min 左右。对于大口径舰炮，主要用于对付运动目标，本身安装平台很大，结构和质量限制不是很严格，通常采用自动炮，其射速可达每分钟几十至几百发。舰炮的弹药都储存在甲板底下，因此舰炮都需自动扬弹装置，将弹药从甲板底下输送到火炮中。

1.3 装甲车辆武器的发展

1.3.1 装甲车辆武器的发展历程

在人类的战争历史上，杀伤性的武器基本上可以分为两大类：劈刺式和投掷式。史前人类所用的棍棒是最原始的劈刺式兵器，最早的投掷式兵器是人类投向敌人或猎物的石块。各种武器的使用，特别是金属武器的使用也导致了防护装具的兴起。原始人类发明的最重要的护身装具是盾，最初它仅仅是一张兽皮，几乎总是用左手拿着或者挡在左臂上，这样，右手就可以腾出来操持武器。后来，人们常常将兽皮包在一个简单的木框架上，制成了盾。但有些古盾完全用木料制成。

这种“矛与盾”的关系在战争中是始终存在的对立而又统一的关系，它们在大多数情况下代表着进攻与防守、主动与被动、动态与静态或者强势与弱势之间的关系。随着时间的推移和技术的进步，进攻的武器从长矛、短剑、弓箭发展到了火枪、大炮，而防御的装具则从原始的兽皮、木板、盾牌发展到了铁盔、钢甲。

如何巧妙地将矛与盾的能力结合在一起，则是始终困扰军事家、工程技术和设计人员的最主要的问题之一。随着战争形式的变化和技术的发展，具有一定机动性的、兼具进攻与防御功能的武器也逐渐出现了。早在我国夏商时期就出现了采用畜力驱动、盾牌防护的“甲车”，春秋时期，车战趋于鼎盛，因此木制的战车有了进一步的发展，主要体现在两个方面：一是加强对驾车马匹的保护，出现了整套的皮制马胄和马甲；二是在车轴的两端安装带