



工业和信息化部“十二五”规划教材

新概念火炮技术

张相炎 编著

INTRODUCTION TO
NEW CONCEPT GUN TECHNIQUE

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



工业和信息化部“十二五”规划教材

新概念火炮技术

张相炎 编著

INTRODUCTION TO
NEW CONCEPT GUN TECHNIQUE

内 容 提 要

本书以通俗易懂的语言,在介绍常规火炮工作原理、特点和发展的基础上,分析了常规火炮的固有局限性,指出技术创新是火炮技术发展的必然,引出新概念火炮的概念,并对燃烧轻气炮、随行装药火炮、液体发射药火炮、电热炮、电磁炮、超高射速火炮、超轻型火炮、数字化火炮、激光炮等新概念火炮的概念、工作原理、关键技术、技术现状和发展趋势等内容,做了较为详尽的介绍和分析。本书为火炮科技工作者了解新概念火炮提供了参考,以期起到抛砖引玉的作用,拓宽研究思路,也可作为火炮专业研究生和高年级本科生教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

新概念火炮技术 / 张相炎编著. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 9
工业和信息化部“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5640-9715-8

I. ①新… II. ①张… III. ①火炮-高等学校-教材 IV. ①TJ3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 208171 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>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.75

字 数 / 342 千字

版 次 / 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 36.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

火炮的发展源于军事需求的牵引和科学技术的推动。随着世界范围内新军事变革的不断深入,对火炮技术的主要需求也发生了明显的变化;随着基础研究及装备研制都取得了长足的进展,为火炮的发展注入了新的活力。然而,由于常规火炮发射过程中自身的固有局限性,使得常规火炮在进一步提高射程、射速、机动性、生存能力和后勤支援能力等综合性能方面,遇到很大困难。火炮行业面临着严峻形势,火炮技术需要持续发展,因此,必须积极开拓创新,不断提高火炮行业的自主创新能力。

可以说,武器发展的历史,在一定意义上讲,是“概念创新及其实践应用”的历史。概念创新是带有根本方向性的创新。新概念武器代表着当今武器的发展趋势,其特点是:概念新、原理新、技术新等。在历史上,由于概念创新而导致一系列新概念武器的诞生,使武器效能大大提高。冷兵器只是属于格斗的概念,其特点是攻防不分,短兵相接。正是“射程”这个新概念导致了热兵器的诞生和冷兵器武器的淘汰。以枪炮为代表的热兵器的特点是:攻防分离,拉开互射,威力增大,效能更佳。在热兵器时代,又有两大概念创新,导致了武器的巨大发展,促进了新的概念武器的出现。其一是“机动”这个新概念的引入,使得研制出诸如坦克、自行火炮、飞机等可机动的武器,它们的特点是:不仅“攻、防、机动三者兼有”,还进一步发展成为“攻防结合,机动作战的武器”;其二是基于质能关系 $E=mc^2$ 而发展起来的核武器,它是一种威力大,破坏性强,效应多,具有巨大威慑作用并且难以防护的新型武器。

火炮创新,不仅仅是结构创新,火炮外延的不断拓展,更重要的是概念创新,从火炮内涵上发展。

本书共分为11章,第1章火炮的工作原理与局限性;第2章技术创新与新概念火炮;第3章轻气炮技术;第4章随行装药火炮技术;第5章液体发射药火炮技术;第6章电热炮技术;第7章电磁炮技术;第8章超高射速火炮技术;第9章超轻型火炮技术;第10章数字化火炮技术;第11章激光炮技术。

本书以通俗易懂的语言,在介绍常规火炮工作原理、特点和发展的基础上,分析了常规火炮的固有局限性,指出技术创新是火炮技术发展的必然,引出新概念火炮的概念,并对正在研究中的几种新概念火炮的概念、

工作原理、关键技术、技术现状和发展趋势等内容，做了较为详尽的介绍和分析。

需要指出的是，新概念也绝对没有一成不变的“新”。世易时移，随着各种新技术、新材料、新器件、新能源等的不断发展，今日被视为“新概念”者，明日可能就成为“传统的”，并逐渐被更新概念所取代。

我们正面临着“科技强军、质量建军”的伟大任务，学习、认识、掌握新概念火炮，发展新概念火炮，坚持创新，勇于创新，善于创新，就一定能够完成好并不愧于新时代赋予我们的历史使命。把握世界火炮发展前沿动态，服务我国国防事业，普及火炮发展知识，满足从事火炮技术研究的科研人员 and 广大火炮爱好者的需求，是编写本书的初衷。本书努力为火炮科技工作者了解新概念火炮提供参考，以期起到抛砖引玉的作用，拓宽研究思路；也可以为火炮爱好者以及其他读者增长知识，使其对新概念火炮有一定的了解和认识，达到科学普及的目的；还可作为火炮专业研究生和高年级本科生教材。

南京理工大学机械学院的许多专家教授对本书初稿提出了许多有益的修改意见，此外，在本书编写过程中，作者参考了许多专著和论文。在此，对以上为本书的出版付出心血的的所有同仁、本书的主审专家，以及本书所参考文献的作者，一并表示衷心感谢。

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

2014年1月 于南京

目 录

CONTENTS

第 1 章 火炮的工作原理与局限性	001
1.1 火炮及其工作原理	001
1.1.1 火炮及其地位与作用	001
1.1.2 火炮的工作原理	003
1.1.3 火炮的发展	005
1.2 未来战争对火炮的需求	009
1.2.1 未来战争的特点	009
1.2.2 未来战争对火炮的要求	011
1.3 传统火炮的固有局限性	013
1.3.1 固体发射药的局限性	013
1.3.2 发射过程的局限性	016
第 2 章 技术创新与新概念火炮	019
2.1 创新思维与创新技法及其培养	019
2.1.1 创新思维	020
2.1.2 创新技法	021
2.1.3 创新思维与创新技法的培养	033
2.2 火炮技术发展与创新	034
2.2.1 火炮技术	034
2.2.2 技术创新	036
2.3 新概念火炮	038
2.3.1 新概念火炮的含义	038
2.3.2 新概念火炮的发展	038

第3章 轻气炮技术	040
3.1 轻气炮工作原理	040
3.1.1 气体发射极限速度	040
3.1.2 气体声速	041
3.1.3 轻气炮	041
3.2 一级轻气炮	042
3.2.1 一级轻气炮的组成和工作原理	042
3.2.2 一级轻气炮的主要技术	045
3.3 二级轻气炮	047
3.3.1 二级轻气炮的工作原理	047
3.3.2 二级轻气炮的主要技术	050
3.3.3 现状与发展前景	054
3.4 燃烧轻气炮	057
3.4.1 燃烧轻气炮工作原理	057
3.4.2 燃烧轻气炮的技术优势	058
3.4.3 燃烧轻气炮的关键技术	059
3.4.5 技术现状	060
第4章 随行装药火炮技术	063
4.1 概述	063
4.1.1 随行装药效应	063
4.1.2 随行装药火炮工作原理	064
4.1.3 随行装药火炮特点	066
4.2 随行装药火炮武器化的技术关键	067
4.2.1 超高燃速发射药技术	067
4.2.2 随行装药结构技术	068
4.2.3 点火延迟时间控制技术	068
4.3 随行装药火炮发展状况	069
4.3.1 国外对随行装药火炮的研究	069
4.3.2 国内对随行装药火炮的研究	073
4.3.3 随行装药火炮发展前景	076
第5章 液体发射药火炮技术	077
5.1 液体发射药	078
5.1.1 液体发射药的优点	078
5.1.2 炮用液体发射药的要求	079

5.1.3 液体发射药的种类	079
5.1.4 液体发射药的发展	080
5.2 液体发射药火炮工作原理	081
5.2.1 整装式液体发射药火炮	081
5.2.2 外喷式液体发射药火炮	082
5.2.3 再生式液体发射药火炮	082
5.3 再生式液体发射药火炮的特点	084
5.3.1 再生式液体发射药火炮的结构特点	084
5.3.2 再生式液体发射药火炮的优势	084
5.3.3 再生式液体发射药火炮技术难点	086
5.4 再生式液体发射药火炮武器化的关键技术	088
5.4.1 再生喷射结构技术	088
5.4.2 高压条件下压力振荡抑制技术	089
5.4.3 高压动密封技术	089
5.4.4 液体发射药自动加注技术	090
5.4.5 低电能液体发射药稳定点火技术	090
5.5 液体发射药火炮技术发展过程	090
5.5.1 国外液体发射药火炮技术发展	090
5.5.2 国内液体发射药火炮技术发展	092
5.6 再生式液体发射药火炮技术应用	094
5.6.1 大口径液体发射药压制火炮	095
5.6.2 液体发射药反坦克炮	096
5.6.3 中口径液体发射药自动炮	096
5.6.4 其他应用	097
第6章 电热炮技术	101
6.1 电热炮	101
6.1.1 等离子体及其性能	101
6.1.2 电热炮	103
6.2 电热化学炮及其特点	105
6.2.1 电热化学炮的工作原理	106
6.2.2 电热化学炮的类型	106
6.2.3 电热化学炮的特点	108
6.3 电热化学炮的关键技术	108
6.3.1 推进剂及其高密度装填技术	109
6.3.2 等离子体发生器技术	109
6.3.3 等离子体与含能工质相互作用机理与控制技术	111

6.3.4	程控化脉冲电源技术	112
6.3.5	综合测控技术	114
6.3.6	发射平台武器化及集成技术	115
6.4	电热化学炮的发展	116
6.4.1	电热炮的发展过程	116
6.4.2	电热化学炮发展趋势	119
6.4.3	电热化学炮的应用	120
第7章 电磁炮技术		123
7.1	电磁发射技术	123
7.1.1	电磁发射原理	124
7.1.2	电磁发射特殊要求	124
7.1.3	电磁发射方式的优势	125
7.1.4	电磁发射关键技术	126
7.2	轨道炮	127
7.2.1	轨道炮及其工作原理	127
7.2.2	轨道炮的特点	133
7.2.3	轨道炮的关键技术	134
7.2.4	轨道炮的发展	135
7.3	线圈炮	137
7.3.1	线圈炮及其工作原理	137
7.3.2	线圈炮的特点	140
7.3.3	线圈炮的关键技术	140
7.3.4	线圈炮的发展	141
7.4	重接炮	144
第8章 超高射速火炮技术		149
8.1	提高发射速度的意义与技术途径	149
8.1.1	射速及其主要影响因素	149
8.1.2	提高发射速度的意义	150
8.1.3	提高发射速度的技术途径	151
8.2	超高射速火炮	154
8.2.1	超高射速火炮概念	154
8.2.2	超高射速火炮技术	155
8.3	全电发射武器——“金属风暴”	159
8.3.1	“金属风暴”的工作原理	159
8.3.2	“金属风暴”的特点	160

8.3.3	“金属风暴”的关键技术	161
8.3.4	“金属风暴”的发展	162
第9章 超轻型火炮技术		167
9.1	火炮机动性与轻量化	167
9.1.1	火炮机动性	167
9.1.2	火炮轻量化及其意义	168
9.1.3	火炮轻量化的技术途径	169
9.2	火炮轻量化技术	169
9.2.1	减小载荷技术	169
9.2.2	轻质材料应用	179
9.2.3	创新的火炮结构设计	181
9.3	超轻型火炮	182
9.3.1	超轻型火炮概念	182
9.3.2	典型超轻型火炮	183
第10章 数字化火炮技术		186
10.1	信息化战争与数字化火炮	186
10.1.1	高技术与信息化战争	186
10.1.2	数字化与数字化战场	188
10.1.3	数字化火炮	191
10.2	数字化火炮系统武器平台	191
10.2.1	数字化火炮系统武器平台及其组成	191
10.2.2	典型数字化火炮系统武器平台	192
10.3	数字化监控火炮	194
10.3.1	火炮故障数字化诊断与控制	195
10.3.2	火炮状态实时监视、诊断与控制	195
10.4	利用数字化技术提升火炮性能	198
10.4.1	最佳后坐力控制技术	199
10.4.2	射弹分布主动控制技术	199
10.4.3	自适应无级变初速发射技术	199
10.4.4	智能化无级变射速发射技术	199
第11章 激光炮技术		201
11.1	激光及其特点	201
11.1.1	激光	201

11.1.2 激光的特点·····	202
11.2 激光炮及其工作原理·····	203
11.2.1 激光武器的工作原理·····	203
11.2.2 激光炮·····	205
11.3 激光炮的特点及其关键·····	210
11.3.1 激光炮的组成·····	210
11.3.2 激光炮的主要优点·····	210
11.3.3 激光炮的主要弱点·····	211
11.3.4 激光炮的主要关键技术·····	211
11.4 激光炮的发展与应用前景·····	212
参考文献·····	218

第1章

火炮的工作原理与局限性

1.1 火炮及其工作原理

1.1.1 火炮及其地位与作用

根据兵器工业科学技术辞典的定义，火炮是利用火药燃气压力抛射弹丸，口径等于或大于20 mm的身管射击武器。火炮的作用是将弹丸准确地抛射到预定的目标上。火炮的发射能源为发射药。火炮发射原理是利用高温高压火药燃气压力加速弹丸。火炮发射技术途径是利用口径等于或大于20 mm的半封闭的身管来实现赋予弹丸初始速度和射向。

火炮的作用主要是通过赋予弹丸一定的射向和初速来实现的。火炮广泛装备于陆、海、空各军兵种。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、装甲车辆、空中飞行物等目标，杀伤有生力量，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。它具有火力密集、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。

任何战争，地面战场是最主要，也是最后的战场。火炮的地位与作用是其他武器不可替代的。美国在这方面有过血的教训，其曾经想用导弹替代火炮，现在不得不投入巨大资本来加强火炮研制。

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。明朝开始将战斗中立功的大炮封为“大将军”。清朝康熙年间，国库充实，铸炮数量大增，种类繁多，皇帝也经常赐给大炮“将军”的封号，比如制胜将军炮、威远将军炮、神威无敌大将军炮、神威将军炮、武成永固大将军炮等，每年秋天，朝廷还派大臣到卢沟桥祭祀大炮。八旗军出征，要在前一天推大炮到军帐前，陈列牺牲供物献酒于炮，领军主帅还要亲自向大炮三次揖拜。战争获胜，则为大炮披红，以鼓吹迎之，然后上奏请赏给“将军”封号。

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，火炮与自动武器的战果依然辉煌。20 世纪 50 年代的朝鲜战争共击落击伤敌机 12 000 架，其中 9 800 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 3 000 辆坦克被毁，50% 是被炮火命中的。

未来战争是以高技术现代化为主要特征的战争，大量使用各种飞机、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深刻的变化。战争初期的电子战，采用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。美国与荷兰共同研制的近程防空反导火炮系统被称为“守门员”，足见其在现代战争中的地位。一个足球队，能不要守门员吗？同样，未来战争中能不要火炮吗？

虽然先进的精确制导武器射程远，命中精度高，具有全天候作战能力，可自动寻的，对目标作战能力强，适于打击纵深目标，对付中、高空目标也能取得令人满意的防空效果，但是，各种武器系统都具有其优势和不足，它们之间应是相辅相成，互为补充而不是取代。火炮作为一种常规武器，具有其鲜明特点，在未来战争中仍占有重要地位。火炮主要特点有如下几个方面：

① 地面战仍将是不可避免的，火炮品种齐全，可以构成地空配套、梯次衔接、点面结合的火力网，不存在射击死角，在部署上受地形制约程度较小，不会出现火力盲区，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。

② 火炮持续作战能力强，对目标的持续作战效果好。

③ 火炮是部队装备数量最大的基本武器，陆军更是以火炮为主要装备，这种格局今后仍将持续下去。火炮发射速度快，反应时间短，转移火力迅速，可射击不同方向，多批次、多层次地空袭目标。

④ 火炮具有抗干扰能力强，受电磁和红外干扰及气候和环境影响较小的特点，可以在干扰环境下稳定工作。

⑤ 火炮作为防御武器，具有机动性良好，进入、撤出和转移阵地快捷，火力转移灵活，生存能力较强的特点，能够伴随其他兵种作战，实施不间断的火力支援。

⑥ 火炮操纵灵活简便，工作可靠性好。

⑦ 火炮具有良好的经济性，无论是先期研究、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，在战争的直接对抗中，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。火炮仍是未来战争的重要武器装备。

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。

随着高技术的发展和应用，火炮在提高动能、射程、精度和操作控制自动化程度，以及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，还会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。

1.1.2 火炮的工作原理

火炮的作用是将弹丸发射到预定的目标上。要将一个物体抛出一定距离，必须给该物体一定的初始能量，并且要给该物体一个初始飞行方向。火炮就是根据这个原理工作的，即火炮的主要作用是赋予弹丸一定的射向和初始能量。一般称火炮的整个工作过程为火炮的射击过程，而将火炮射击过程中赋予弹丸初始能量的过程称为火炮的发射过程。

传统火炮就是以固体发射药（即火药）为发射能源。一般是根据设计要求，将火药制成具有给定形状和尺寸的粒状或长条状，通过一定方式点燃后，可以按给定要求燃烧而释放出能量，将发射药的化学能转化成热能以及弹丸运动的动能。随着科学进步和火炮技术的发展，可能会利用液体发射药、电等新能源作为火炮发射能源。

火炮发射一般是使火药在一端封闭的管形容器（即身管）内燃烧，生成的高温高压燃气膨胀做功，推动被抛射的物体（即弹丸）向另一端未封闭的管口（即膛口）加速运动，在膛口处获得最大的抛射速度（即初速）。

火炮发射过程如图 1.1 所示。火炮发射过程可以分为如下几个阶段。

① 点火阶段：在发射装置赋予身管轴线一定初始射向之后，先利用电能或撞击动能引燃比较敏感的点火药（底火），再利用点火药产生的火焰及高温高压燃气点燃发射药。

② 发射药定容燃烧阶段：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，发射药燃烧是在一定容积的药室内进行的。随着发射药不断燃烧，弹丸后面的燃气压力不断升高。

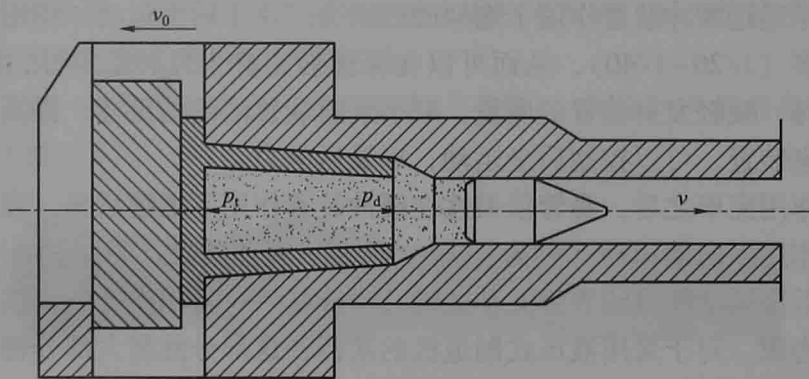


图 1.1 火炮发射过程示意图

③ 弹丸加速运动阶段：在弹丸后面的燃气压力大到足以推动弹丸运动后，燃气压力推动弹丸向管口加速运动。弹丸后面的容积随着弹丸运动而增大，发射药燃烧是在变化容积的弹后空间里进行的。变化着的容积对发射药燃烧、燃气生成、压力变化、弹丸运动等规律有直接影响。通过合理设计发射药的形状尺寸、炮膛结构尺寸、弹丸等来控制膛内压力变化规律（称为膛压曲线，如图 1.2 所示），从而控制弹丸的运动规律。

④ 火药燃气后效作用阶段：弹丸运动并出管口后，火药燃气从管口高速喷出。从管口高速喷出的火药燃气，一方面继续对弹丸产生作用，另一方面继续对身管产生作用，并且可

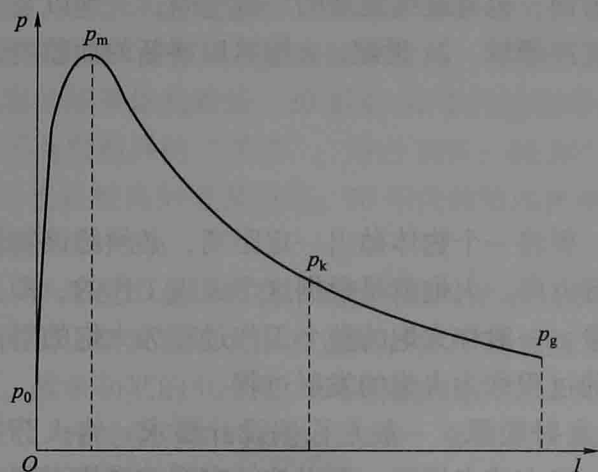


图 1.2 膛内压力变化规律

以通过控制从管口高速喷出的火药燃气的流动方向及流量来控制其作用效果。

⑤ 弹丸惯性飞行阶段：在火药燃气作用完毕之后，弹丸依靠所达到的初速，在空中惯性飞向预定目标。由于存在重力、空气阻力等，弹丸在空中飞行的速度是不断变化的，加上天气、气候等条件影响，弹丸不可能完全按预定计划准确发射到预定目标上。

在燃气压力推动弹丸向管口方向加速运动的同时，根据作用与反作用原理，燃气压力对身管有向管口相反方向的作用，称燃气作用在身管上。沿身管轴线与管口

相反方向的作用力的合力为炮膛合力。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 250~700 MPa），因此，炮膛合力非常大（炮膛面积乘膛内压力，例如 155 mm 火炮的最大炮膛合力可以高达 7×10^6 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（称射击时发射装置保证不移动的性能为射击静止性），也不能翻转（称射击时发射装置保证不翻转的性能为射击稳定性），还应具有足够的刚度和强度。这样，发射装置就比较庞大和笨重，导致其机动性下降。

为了减小燃气压力对发射装置的直接作用，通常设置缓冲装置（称为反后坐装置），让身管沿其轴线向后运动（称为后坐）。这样，炮膛合力转化成两部分：一部分是后坐运动惯性力，另一部分是通过缓冲装置作用于炮架的后坐力。由于后坐运动，作用于炮架的后坐力比炮膛合力小得多（ $1/20 \sim 1/40$ ），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。通过合理设计反后坐装置，可以控制后坐运动，以及后坐力。

在火药燃气作用完毕之后，身管依惯性在缓冲装置作用下继续后坐，直到后坐終了，然后又在缓冲装置作用下向前运动（称为复进），恢复发射前状态。

后坐部分的后坐运动能量约为弹丸动能的几十分之一，常用作开门、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机的武器，这部分能量大部分转化成制退机内制退液的温升，成为制退机设计中必须解决的问题。

火炮发射过程实质上是一个能量转化过程。火炮依赖的能源是火药，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。火药燃烧的速度除了与它的化学成分有关外，还与压力有关，压力越大，燃速越快。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，即将有一定质量的弹丸从静止状态加速到飞出膛口时获得一定的线速度和回转速度（滑膛炮没有或只有极低的回转速度）。由于火炮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%~30%，远比其他热力机械要低。

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 $2\,500 \sim 3\,600\text{ K}$ ）、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 $6\,000$ 次循环）。

火炮发射过程伴随发生许多特殊的物理化学现象。火炮发射过程中，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，其是影响弹射散布的重要原因之一。火炮发射过程中，身管的温升与内膛表面的烧蚀、磨损，是一系列非常复杂的物理、化学现象。在工程实践中，采取各种方法冷却身管，如在发射装药中增加缓蚀添加剂、研究爆热低的发射药、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来减少烧蚀和磨损，以满足使用需求。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，所产生的冲击波、膛口噪声与膛口焰，容易自我暴露而降低人和武器系统在战场上的生存能力，对阵地设施、火炮及载体上的仪器、仪表、设备和操作人员都会产生有害的作用。火炮发射特点可以概括成：周期性：一发一个循环，要求较好的重复性；瞬时性：发射过程极短，具有明显的动态特征；顺序性：每个循环的各个环节严格确定，依次进行；环境恶劣性：高温、高压、高速、高加速、高应变率、高功率。

1.1.3 火炮的发展

火炮的发展是与社会进步分不开的。火炮技术的发展与战争也是密不可分的。科学技术发展带动着军事技术发展，军事技术发展带动着火炮技术发展。而火炮技术发展推动着军事技术发展，军事技术发展推动着科学技术发展。

根据火炮的定义，最简单的火炮可以只包含“身管”，例如，火炮的鼻祖——中国在元朝就制成的铜铳（图 1.3）。



图 1.3 中国元代铜铳

现代火炮主要是对火炮的定义外延拓展，例如，在电影、电视中最常见的现代火炮除包含“身管”外，还包含“炮架”（图 1.4）和“炮车”（图 1.5）等。

未来火炮不仅对火炮外延拓展，更重要的是拓宽火炮内涵，例如，液体发射药火炮、电磁炮、电热炮、激光炮等。

1. 萌芽时期（12 世纪初叶以前）

（1）砲（“礮”音 pao）

我国是火炮的发源地。中国象棋有颗棋子称为“砲”，其走法是在没有其他子阻挡的情

况下每一步可以沿直线移动任意步，但不能走斜线或拐弯。但是，在吃子时，“砲”与被吃子之间需隔任意一个棋子（该子称为“砲架”）。其实，汉语的“砲”便是古汉语动词“抛”的名词形式。起初“砲”就是指抛石机。

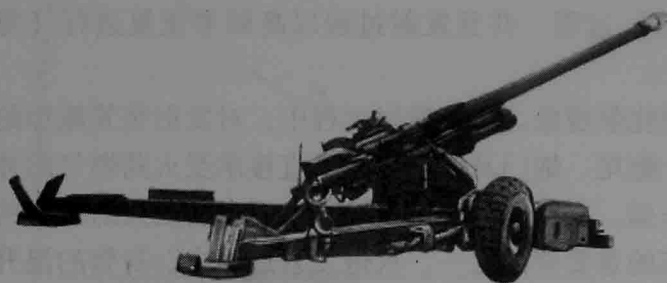


图 1.4 法国 TRF1 式 155 mm 榴弹炮



图 1.5 德国“猎豹”35 mm 双管自行高射炮系统

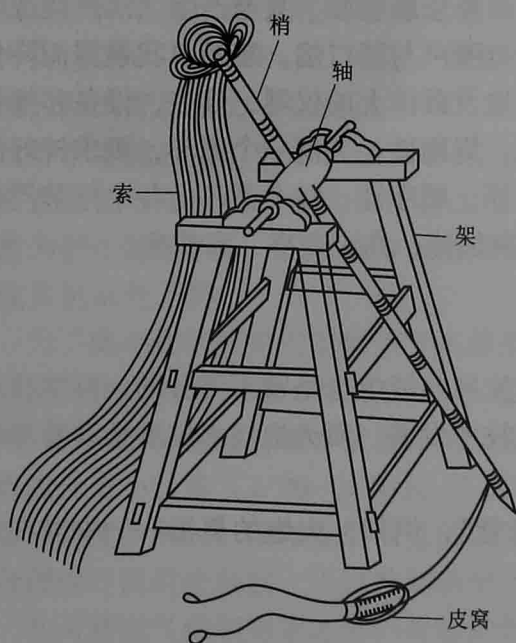


图 1.6 抛石机

公元前 5 世纪，中国就发明了抛石机（图 1.6），西方称为机械炮。抛石机有一皮窝用以包放石头，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，它使人体攻击范围得到了延伸，可以打击人体够及不到的目标，改变了之前面对面地“肉搏”战斗方式。抛石机基本形式是固定式，后来又出现了装有木轮的运动式。

1273 年，自动抛石机在战斗中使用，由于是机械抛射，抛射力具有突发性和方向一致性，因此，抛射距离远且不受体力限制，发射节奏快，节省人员，威力大，是兵器发展史上的一次革命。

(2) 炮

公元 7 世纪，唐代炼丹家孙思邈发明了黑火药，并用于武器。抛石机除了抛射石块外，还抛射带有燃爆性质的火器，如震天雷、霹雳炮等，

如图 1.7 所示。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”。抛射的石块以可爆炸的抛射物代替后，“炮”取代了“砲”，即用“炮”来指抛石机投射出的爆裂物。

2. 火炮的诞生（12 世纪初叶—19 世纪中叶）

(1) 火筒

1132 年（宋绍兴二年），陈规镇守德安城时发明了“火筒”。“火筒”用粗毛竹筒制成，内装火药，临阵点燃，喷火烧敌，如图 1.8 所示。这种竹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型。

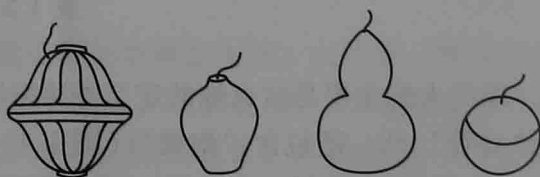


图 1.7 铁火炮