



普通高等院校“十二五”规划教材

火箭发射系统分析

■ 于存贵 李志刚 编著

HUOJIAN FASHE
XITONG FENXI



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013047396

V553.1-43
02

火箭发射系统分析

于存贵 李志刚 编著



国防工业出版社

·北京·



北航

C1652963

V553.1-43

02

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍火箭发射系统构造、作用原理等知识,全书分为三篇,第一篇是火箭武器基础知识介绍,含火箭武器起源、组成及现状,火箭武器基础知识,火箭弹基本构造等内容。第二篇是火箭发射系统构造,深入地叙述了火箭发射系统的构造、作用原理,并通过典型结构的分析,介绍了火箭发射系统的结构特点、性能和技术要求。其内容包括定向器和起落架、回转体和底架、平衡机、瞄准机、瞄准装置、发火控制器、垂直发射系统、运载体及辅助装置、自动装填机构和火控系统等。第三篇对内容进行了拓展,主要介绍单兵火箭、机载火箭和舰载火箭武器的特点、结构原理和典型结构。

本书的主要读者对象为武器系统与工程、武器系统与发射工程、兵器发射理论与技术等相关专业的高校师生,也可供从事火箭武器设计研究使用的有关工厂、科研部门、部队的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

火箭发射系统分析/于存贵,李志刚编著. —北京:

国防工业出版社, 2012.12

ISBN 978-7-118-08619-5

I. ①火… II. ①于… ②李… III. ①火箭发射装置—系统设计
IV. ①V553.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 048593 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 19 字数 467 千字

2012 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 49.00 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

《火箭发射系统分析》是一本专业教材，编写本书的指导思想是：力求全面、深入地介绍各种火箭发射系统的构造、作用原理，并通过对各种典型结构的分析，使学生掌握各种火箭发射系统的结构特点、性能和技术要求。

随着科学技术发展和现代战争的需求，现代火箭武器引入了火控系统、火箭简易制导、自动装填机构等技术，使其成为复杂的、现代化的武器系统，其发射部分也不再是一套简单的发射装置，所以本书称为火箭发射系统。

本书先介绍火箭武器起源、组成及现状，火箭武器基础知识，火箭弹基本构造等内容，再重点介绍火箭发射系统的构造、作用原理和典型结构，并将火控系统、自动装填机构等内容引入，使读者真正建立起火箭武器系统的概念，以便于更好地理解结构原理，更深入地掌握结构知识。同时，本书在介绍各部件结构原理和典型结构时，都尽量将最新技术发展引入，如储运发射箱技术、液压高低机技术、垂直发射系统等，使学生可以了解火箭武器最新发展成果。同时，本书对单兵火箭、机载火箭和舰载火箭武器单独进行全面详细的介绍，也力图拓展知识面，使读者既能站在火箭武器发射技术的前沿，也能对火箭武器全貌有更好更深入的理解。

火箭发射系统由于在各军、兵种中使用时，其称呼不一，因而它是一个统称。当它使用于野战炮兵时，一般习惯称为火箭炮；当作为单兵携带使用时，一般习惯称为火箭筒；当作为舰载武器或机载武器使用时，一般习惯称为发射装置。为了全书统一，我们除提到产品的型号时仍使用原名称外，在叙述各装置、各机构时一律使用发射系统名称，望读者注意。

本书由于存贵负责编写大纲的制定和全书的统稿与审定，并编写了第1、4、5、6、7、8、9、10、11章，李志刚编写第2、3、12、13、14、15、16章。在编写过程中，编著者曾参阅了大量的参考文献、教材、资料及期刊图片等，并得到了有关单位和部门的大力支持和帮助，谨在此向上述各有关单位和各项资料的作者表示衷心的感谢。

南京理工大学林永明教授对本书进行了全面的审阅，并提出了不少宝贵的意见，在此谨向他表示衷心的感谢。

虽然编著者在编写过程中做了种种努力力求以更好的质量将本书奉献给读者，但由于水平有限，书中尚存在一些不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第一篇 火箭武器基础知识

第 1 章 绪论	1
1.1 火箭武器在现代战争中的作用和地位	1
1.1.1 火箭武器性能特点	1
1.1.2 火箭武器在现代战争中的作用和地位	2
1.2 火箭武器的发展	3
1.2.1 火箭的起源及古代火箭	3
1.2.2 第二次世界大战期间火箭武器的发展	5
1.2.3 第二次世界大战后火箭武器的发展	6
1.2.4 火箭武器的发展趋势	12
1.3 典型火箭武器系统简介	13
1.4 火箭发射系统的分类和组成	21
1.4.1 火箭发射系统的分类	21
1.4.2 火箭发射系统的组成	22
1.5 对火箭武器系统的战术技术要求	24
第 2 章 火箭武器基础知识	28
2.1 野战火箭武器射击基本知识	28
2.1.1 射击用角度单位——密位	28
2.1.2 瞄准的概念	29
2.1.3 射击诸元的确定	29
2.2 火箭外弹道基础知识	31
2.2.1 常用术语及符号	31
2.2.2 火箭外弹道特性	32
2.2.3 火箭弹飞行稳定性	33
2.3 火箭弹散布	35
2.3.1 射弹散布现象与规律	35
2.3.2 影响射弹散布的主要因素	36
2.3.3 散布大小的估算公式	36
2.3.4 火箭射击精度	37

第3章 火箭弹基本构造	38
3.1 火箭弹作用原理及一般构造	38
3.1.1 火箭弹作用原理	38
3.1.2 火箭弹一般构造	38
3.2 涡轮式火箭弹构造	39
3.2.1 涡轮式火箭弹概述	39
3.2.2 1963年式130mm火箭弹构造	39
3.3 尾翼式火箭弹构造	41
3.3.1 尾翼式火箭弹概述	41
3.3.2 俄罗斯M-21 122mm杀伤爆破火箭弹构造	41
3.4 简易制导火箭弹构造	46
3.4.1 概述	46
3.4.2 俄罗斯“旋风”300mm简易制导火箭弹	46

第二篇 火箭发射系统构造

第4章 定向器和起落架	53
4.1 定向器概述	53
4.1.1 定向器的组成及作用	53
4.1.2 定向器的长度	53
4.1.3 定向器的结构类型及技术要求	54
4.2 滑轨式定向器	55
4.2.1 滑轨式定向器的作用原理	55
4.2.2 滑轨式定向器的结构分析	56
4.3 筒式定向器	60
4.3.1 筒式定向器的作用原理	60
4.3.2 筒式定向器的结构分析	61
4.4 笼式定向器	66
4.4.1 笼式定向器的作用原理	66
4.4.2 笼式定向器的结构分析	66
4.5 储运发射箱式定向器	67
4.5.1 储运发射箱式定向器的作用原理	67
4.5.2 储运发射箱式定向器的关键技术	68
4.5.3 储运发射箱式定向器的结构分析	68
4.6 同时离轨式定向器	71
4.7 闭锁挡弹装置	73
4.7.1 概述	73
4.7.2 闭锁栓式闭锁挡弹装置	74

4.7.3	卡板式闭锁挡弹装置	75
4.7.4	剪销式闭锁挡弹装置	76
4.7.5	摩擦式闭锁挡弹装置	77
4.8	导电装置和电分离器	78
4.8.1	导电装置和电分离器的作用及分类	78
4.8.2	导电装置和电分离器的构造	78
4.9	起落架	81
4.9.1	起落架的组成及作用原理	81
4.9.2	起落架的结构类型及特点	81
4.9.3	定向器平行度的调整	84
4.9.4	射序和发射间隔	86
4.9.5	耳轴	87
第 5 章	回转体和底架	89
5.1	概述	89
5.1.1	回转体和底架的组成及作用原理	89
5.1.2	对回转体和底架的技术要求	89
5.1.3	回转体和底架的分类	90
5.2	立轴式回转体和底架	90
5.2.1	立轴式回转体和底架的作用原理	90
5.2.2	立轴式回转体和底架的结构分析	92
5.3	滚动支承座式回转体和底架	96
5.3.1	滚动支承座式回转体和底架的作用原理	96
5.3.2	滚动支承座式回转体和底架的结构分析	98
5.4	滚轮式回转体和底架	102
第 6 章	平衡机	107
6.1	平衡机的作用及要求	107
6.1.1	平衡机的作用及要求	107
6.1.2	平衡机的结构类型及特点	108
6.2	弹簧式平衡机	108
6.2.1	弹簧式平衡机的工作原理	108
6.2.2	弹簧式平衡机的结构分析	109
6.3	扭力式平衡机	111
6.3.1	扭力式平衡机的工作原理	111
6.3.2	扭力式平衡机的结构分析	111
第 7 章	瞄准机	115
7.1	瞄准机的作用及要求	115
7.1.1	瞄准机的作用	115

7.1.2	对瞄准机的要求	115
7.1.3	瞄准机的结构类型及其特点	116
7.2	螺杆式高低机	117
7.2.1	螺杆式高低机的工作原理	117
7.2.2	螺杆式高低机的结构分析	117
7.3	齿弧式高低机	123
7.3.1	齿弧式高低机的工作原理	123
7.3.2	齿弧式高低机的结构分析	123
7.4	液压高低机	128
7.4.1	液压高低机的工作原理	128
7.4.2	液压高低机的构造	129
7.5	螺杆式方向机	130
7.5.1	螺杆式方向机的工作原理	130
7.5.2	螺杆式方向机的结构分析	131
7.6	蜗轮蜗杆式方向机	132
7.7	齿圈式方向机	136
7.7.1	齿圈式方向机的工作原理	136
7.7.2	齿圈式方向机的结构分析	136
第 8 章	瞄准装置	140
8.1	瞄准装置概述	140
8.2	非独立式瞄准装置构造原理	141
8.2.1	非独立式摆动瞄准装置的基本构造	141
8.2.2	作用原理	143
8.2.3	瞄准装置在火箭发射系统上的安装及要求	145
8.3	瞄准装置构造及分析	146
8.3.1	58 式周视瞄准镜	146
8.3.2	机械瞄准具	148
8.4	瞄准装置的精度及技术检查	150
8.4.1	瞄准装置各机构工作精度要求	150
8.4.2	瞄准装置技术检查调整	151
第 9 章	发火控制器	155
9.1	发火控制器作用及分类	155
9.1.1	发火控制器的工作原理	155
9.1.2	发火控制器的分类	156
9.2	棘轮棘爪式发火控制器	157
9.3	电子发火控制器	160

第 10 章 垂直发射系统..... 163

10.1 垂直发射概述..... 163

10.1.1 垂直发射的特点 163

10.1.2 “神鹰”-400 火箭炮系统简介..... 165

10.2 发射平台..... 166

10.2.1 发射平台的作用和要求..... 167

10.2.2 发射平台的结构组成..... 167

10.3 起竖设备简介..... 170

第 11 章 运载体及辅助装置 173

11.1 发射系统运载体 173

11.1.1 发射系统运载体的类型及要求..... 173

11.1.2 牵引式火箭武器运载体..... 173

11.1.3 越野汽车运载体..... 176

11.1.4 履带车运载体..... 178

11.2 行军固定器..... 179

11.2.1 行军固定器的作用及要求..... 179

11.2.2 行军固定器的典型结构分析..... 180

11.3 支撑装置..... 185

11.3.1 支撑装置的作用及要求..... 186

11.3.2 支撑装置的典型结构分析..... 186

11.4 燃气流防护及导流..... 192

11.4.1 燃气流的防护..... 192

11.4.2 燃气流的导流..... 193

第 12 章 自动装填机构..... 195

12.1 火箭武器装填方式及要求..... 195

12.1.1 火箭发射系统装填方式..... 195

12.1.2 火箭发射系统对装填机构的要求..... 196

12.2 运输/装填车异体对中装填机构..... 197

12.2.1 81 式 122mm 多管火箭炮装填机构..... 197

12.2.2 俄罗斯“旋风”多管火箭炮系统自动装填机构..... 203

12.3 直接对中装填机构..... 206

12.4 起落架集成伸缩臂自动装填机构..... 210

12.5 起重机装填机构..... 212

12.5.1 弹药运输/装填车携带起重机..... 212

12.5.2 火箭发射车自带起重机（随车吊）..... 213

第 13 章	火控系统	215
13.1	火箭武器火控系统基本概念	215
13.1.1	火箭武器火控系统	215
13.1.2	火控系统一般组成	216
13.2	随动系统	217
13.2.1	概述	217
13.2.2	典型电力随动系统原理介绍	218
13.2.3	典型液压随动系统原理介绍	220
13.3	地面火箭武器火控系统	220
13.3.1	火控系统主要功能	220
13.3.2	火控系统组成	221
13.3.3	火控系统工作方式和流程	221
13.4	舰载火箭武器火控系统	223
13.4.1	火控系统组成	223
13.4.2	火控系统工作方式和流程	223

第三篇 单兵火箭、机载火箭和舰载火箭武器

第 14 章	单兵火箭武器	225
14.1	单兵火箭武器概述	225
14.2	单一火箭型单兵火箭原理及构造	227
14.2.1	单一火箭型单兵火箭原理	227
14.2.2	法国“阿皮拉斯”112mm 单兵火箭武器	228
14.2.3	中国 PF89 式 80mm 单兵反坦克火箭	230
14.3	无后坐力炮型单兵火箭原理及构造	233
14.4	平衡抛射型单兵火箭原理及构造	236
14.4.1	平衡抛射型单兵火箭原理	236
14.4.2	法国 AB92 式 92mm 火箭筒	237
14.4.3	德国弩式 78mm 火箭筒	238
14.4.4	德国“铁拳”3 式 60mm 火箭筒	239
14.4.5	法国“丘辟特”ACL300 式 70mm 火箭筒	241
14.5	高低压室发射型单兵火箭原理及构造	242
14.5.1	高低压室发射原理	242
14.5.2	高低压室和平衡抛射相结合的发射方式	242
14.5.3	高低压室与无后坐力炮原理相结合的发射方式	244
14.6	中国 PF98 式 120mm 反坦克火箭	245

第 15 章 机载火箭武器	249
15.1 机载火箭武器概述	249
15.1.1 机载火箭武器的发展	249
15.1.2 机载火箭武器的性能特点	251
15.1.3 机载火箭武器的分类	251
15.1.4 机载火箭武器的发展趋势	251
15.2 机载火箭发射系统	252
15.2.1 机载火箭发射系统的功能及组成	252
15.2.2 机载火箭发射系统的配置方式及接口要求	253
15.3 机载火箭发射系统分类及结构特点	254
15.3.1 巢式机载火箭发射系统	254
15.3.2 滑轨式机载火箭发射系统	259
15.3.3 滑环式机载火箭发射系统	260
15.3.4 收放式机载火箭发射系统	261
15.4 典型机载火箭武器系统介绍	262
第 16 章 舰载火箭武器	268
16.1 概述	268
16.2 舰载火箭武器系统	269
16.2.1 舰载火箭武器的性能要求	269
16.2.2 舰载火箭武器发展	271
16.3 火箭深水炸弹武器系统	274
16.3.1 火箭深水炸弹分类	274
16.3.2 火箭深水炸弹组成及作用过程	274
16.3.3 火箭深水炸弹性能、结构特点	275
16.3.4 火箭深水炸弹武器装备现状及发展趋势	277
16.3.5 典型火箭深水炸弹武器系统	279
16.4 无源干扰火箭武器系统	283
16.4.1 舰载无源干扰火箭武器的战术原理	283
16.4.2 舰载无源干扰火箭发射系统作用及分类	284
16.4.3 舰载无源干扰火箭武器系统特点及发展方向	284
16.4.4 典型舰载无源干扰火箭武器系统	286
参考文献	291

第一篇 火箭武器基础知识

第1章 绪 论

1.1 火箭武器在现代战争中的作用和地位

1.1.1 火箭武器性能特点

火箭武器是依靠发动机的推力把杀伤兵器投射到被毁伤目标的一种军用武器。通常多个发射管或发射导轨联装在一起使用，称为火箭发射系统（也称火箭炮）。对结构形式和功能均比较简单的发射系统，可简称为发射装置。《中国军事百科全书》为火箭武器下的定义是引燃火箭发动机点火具，赋予火箭弹初始飞行方向的多发联装发射装置。火箭武器是常规炮兵及其他军兵种武器装备的重要组成部分，它与身管武器相比具有许多特点。

1. 射程远

因火箭弹自带动力装置——火箭发动机，所以可将火箭弹投射到较远的距离，超过身管火炮的射程。

近年来，在高强度钢、塑料和高比冲火箭固体燃料制造领域取得了重大成就，并研制了具有新型结构形式的火箭发动机，这些成果被广泛地应用于火箭武器系统的改进中。美国 MLRS 火箭炮最新研制的制导火箭弹的最大射程达到了 70km；俄罗斯“冰雹”多管火箭炮的火箭弹发动机经改进后，其最大射程已达 41km；“旋风”火箭发动机的改进使其最大射程增加到 90km。

2. 威力大

威力大是指火箭武器具有猛烈的火力，能在很短的时间内，在一定的面积上构成强大的杀伤力。

火箭弹战斗部可设计成预制破片式或子母弹形式，增大杀伤威力。同时，现代野战火箭发射系统多为多联装，一般是 20 管~40 管，战斗中通常营、连齐射，因而能在短时间内（约 10s~20s）发射大量的火箭弹，形成强大的火力密度，达到突袭的效果。以 BM-21 火箭炮为例，一个营（18 门炮）齐射（约 20s），能发射 720 枚火箭弹，相当于 54 式 122mm 榴弹炮 20 个营 360 门火炮的齐射火力。美国一门 MLRS 火箭炮一次齐射 M26 型子母火箭弹可以抛出 7728 枚子弹，覆盖面积约 $120000\text{m}^2 \sim 240000\text{m}^2$ （依据射程而定）。一个 MLRS 火箭炮营（27 门炮）齐射，能发射 324 枚火箭弹，相当于 155mm 自行榴弹炮 16 个营 288 门火炮的齐射火力。

因此，火箭武器能在很短的时间内，在一定的面积上构成强大的火力密度，以猛烈的火

力摧毁敌方装备并给敌方人员以重大的毁伤和精神上的巨大震撼。

3. 机动能力强

火箭武器不存在类似身管火炮的后坐力问题，发射装置质量较小，因此火箭武器可以装在汽车或装甲车辆上，做到车炮合一。若把发射装置装到越野汽车上，最大时速可达到 85km/h 以上；若把发射装置装到履带车辆上，最大时速可达 65km/h 以上，可见其机动性能很好。作战时首先可以使火箭武器快速地从集结区域运动到发射阵地。同时，发射完毕后也能很快地撤出阵地或转移阵地。其次，可以设计成小巧、轻便、可分解的火箭武器。如 107mm 火箭炮是一门小型可分解的火箭炮，它小巧轻便，总质量只有几百千克，可以用吉普车牵引、骡马驮载，还可用人力来搬运。因此它受地形和气候条件的影响较小，适合各种情况下战斗，如山地、水网、稻田地等。

4. 密集度差

密集度差意味着射弹散布大、精度差。这样，火箭武器在使用上存在一定的缺陷，不适用于对点目标的射击。因为对点目标射击时消耗时间和弹药量大，一般不能在短时间内完成射击任务。但对面目标射击时，射弹散布大又使火力分配较简单，射弹能在一定区域内较均匀地覆盖面目标，以取得较高的毁伤效果。

自 20 世纪 90 年代以来，常规火箭弹制导化已逐渐成为重要发展方向，使火箭武器密集度水平有了显著提高，如俄罗斯旋风筒制导火箭弹达到了大口径火炮的射击密集度水平，美、英、法、德、意五国联合研制的制导型多管火箭弹（GMLRS）XM31 采用 INS/GPS 组合制导方式，在 35 km 射程时的圆概率误差为 5 m、在 70 km 射程时圆概率误差小于 10 m，达到了非常高的密集度水平。

5. 发射阵地容易暴露

发射阵地容易暴露是目前火箭武器的缺陷。造成这个缺陷的主要原因是火箭武器在射击时产生大量的烟尘及火光，不易隐蔽。特别是当遮蔽物较小，射程较近，发射阵地靠前或夜间射击时，最容易暴露发射阵地位置，招致敌人炮火反击。该缺陷目前主要靠缩短战斗、行军状态转换时间和提高火箭武器系统的运动机动性来弥补。

6. 持续射击能力差

122mm 火箭炮一次齐射可发射 40 枚火箭弹，有的火箭武器一次齐射甚至比 40 枚还要多。虽然一次齐射发射时间很短，但火箭弹再装填时间较长。为此，各火箭发射系统都在致力于配备装填车，以便在原地或附近预备阵地上快速装填弹药，实施第二次齐射。

1.1.2 火箭武器在现代战争中的作用和地位

1933 年，苏联制造出世界上最早的多管自行火箭武器 BM-13 火箭炮（“喀秋莎”），并在第二次世界大战战场上叱咤风云，成为主要的火力突击力量。在斯大林格勒保卫战中，“喀秋莎”为苏联最终赢得战斗胜利起了举足轻重的作用，引起各国的关注。

第二次世界大战结束后的数十年中，东、西方两大阵营的长期对峙，使导弹、核武器等战略武器迅速发展，而火箭武器作为常规武器，其地位一度动摇。然而，进入 20 世纪 90 年代以来，随着苏、美对抗结束，世界多极化格局的出现，人们意识到核战争没有打起来，局部战争却此起彼伏，常规武器受到重视。随着战争理论研究的发展并经计算机模拟验证，现代战争中，战场上炮兵作战所产生的巨大威力，并不在于精确瞄准后一发一发地进行射击，而是在极短的时间内能向目标发射尽可能多的炮弹，使敌人无时、无处躲避。由于现代战场

侦察设备性能不断提高，任何武器射击后都很可能被发现。保证安全的关键是武器自身能否迅速有效地转移，否则都将有被消灭的危险。在这种背景下，火箭武器结构简单、操作方便、成本低廉，能提供连续不断的火力的优点却突现出来。因此，不论是发达国家还是发展中国家，目前都在积极地研制火箭武器。

无控火箭武器的战术运用非常广泛，不仅可作为陆军中的炮兵、工程兵、装甲兵、防化兵等完成杀伤、爆破、破甲、布雷、排雷、开辟通路等战斗任务的有效手段，而且为空军的空空、空地作战和海军的对水面舰艇、水下潜艇及登陆和抗登陆作战发挥重要的作用。它的弹种之多比其他武器所不及的，除了有杀伤弹、爆破弹、破甲弹、烟幕弹、化学弹、照明弹以外，还有布雷弹、云爆弹、干扰火箭弹，同时还能发射干扰机和传感器，用于干扰敌方雷达通信设备和进行侦察。在实战中配用高效杀伤子母战斗部、反装甲子母战斗部、末制导子母战斗部和化学战斗部及核战斗部，与雷达、无人驾驶侦察机、战术射击指挥系统等相结合，可形成现代战争中“空地一体”的作战模式。

由此可见，无控火箭武器的特点和它的广泛的战术运用价值，使得它在战争中能发挥极其重要的作用，特别是在现代战争中，它是进行面饱和射击的最有效武器。目前，世界上美、俄、法等 20 多个国家的军队都在研制装备火箭炮，火箭武器已成为各兵种武器装备的一个重要组成部分。

1.2 火箭武器的发展

1.2.1 火箭的起源及古代火箭

火箭起源于中国，公元 969 年，北宋的岳义方用黑火药制成了火箭，成为世界上第一支以火药为动力的火箭。公元 975 年，宋朝在灭南唐的战争中就使用了这种火箭。这种最早出现的火箭简称为“火药箭”（图 1-1），是在普通的箭杆上绑一个火药筒，发射时用引线点燃火药，火药燃气从火药筒尾部喷出，产生推力推动火箭前进。它以火药燃烧产生的燃气为动力，箭杆为弹体，箭头为战斗部，箭羽为稳定尾翼，虽然结构简单，但功能齐全，堪称现代火箭的雏形。

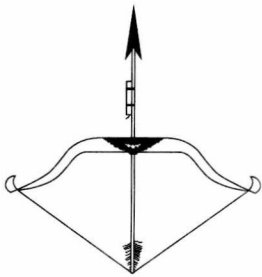


图 1-1 中国古代的“火药箭”

公元 1044 年，宋朝的曾公亮编著的《武经总要》中记载了多种火药配方和包括火箭在内的火药武器制造技术。我国从元朝到明朝，出现的火箭多达数十种，1412 年焦玉编著的《火龙神器阵法》和 1621 年茅元仪编著的《武备志》中都有详细介绍。这些火箭的名称都很形象、生动，如“霹雳炮”实际上是一种使用火药的火箭；“二虎追羊箭”是带两个火药筒同时点火发射的火箭；“神火飞鸽”是带四个火药筒同时点火发射的火箭；“飞空击贼震天雷炮”是一种带翼火箭；“火龙出水”是一种安装有龙头和龙尾的多级火箭；“火龙箭”是一次发射 20 支的集束式火箭；“一窝蜂”是一次发射 32 支的集束式火箭；“百虎齐奔箭”是一次发射 100 支的集束式火箭。

我国明代初期发明了“架火战车”，如图 1-2 所示。这种最早的多管火箭是在人力独轮车上装有 6 个长方形箱体的火箭发射箱，像 6 个大蜂窝排列成上、下两排，共装有 160 支火箭。火箭预先装在发射箱内，所有火箭的引火线都连接在一起，形成引火总线。发射时，点

燃引火总线，火箭犹如条条火龙，一齐从发射箱内喷出，扑向敌阵。

“架火战车”发射箱内放置火箭，战车前部有棉帘用于防护，车上配置火铳和长矛等单兵武器，用于冲锋。打仗时，三个人即可对“架火战车”进行操作，其中一人负责瞄准、指挥，兼管推车，其他两人负责装填火箭和点火等，协同作战。“架火战车”虽然简陋粗糙，但体轻灵活，使用、转移都很方便，可谓是现代战车的雏形。

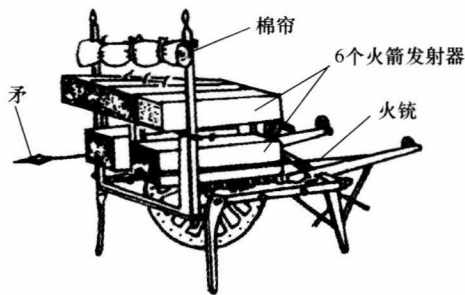


图 1-2 中国明代的“架火战车”

我国古代使用的火药兵器，主要是通过 1219 年—1258 年成吉思汗和他的孙子先后三次横扫欧亚的西征，流传到欧洲和阿拉伯国家的。阿拉伯人很快掌握了火箭技术，并在 1268 年第七次圣战中用来攻击法国国王路易十四的军队。后来法国在 1429 年同英国人作战时也使用了火箭。1500 年火箭制造技术传入意大利，1650 年传入德国，稍晚传入英国。国际宇航协会（IAF）前主席、美国人 A.G 黑利在《火箭和空间探索》一书中说，“中国古代火箭是由蒙古军队带到欧洲的”，“现代火箭从 17 世纪到 20 世纪初叶才出现，20 世纪 30 年代初学会走路，20 世纪 40 年代末开始跑步”。

17、18 世纪及 19 世纪初叶，俄国、印度和英国，为了军事上的需要，都大力发展了火箭武器。18 世纪末期，英军团长康格莱夫（William Congreve）上校积极致力于火箭的研究和发展，发展出近代火箭史上较为著名的康格莱夫式火箭，如图 1-3 所示。其后，针对康格莱夫式火箭长尾平衡杆阻力极大的缺点，英国人威廉霍尔（William Hale）在火箭喷管出口处加装折流装置，对火箭赋旋以保持飞行稳定。

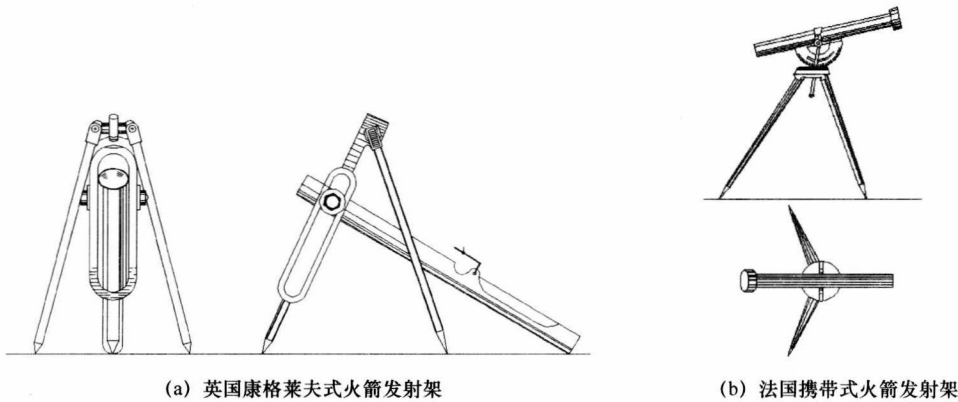


图 1-3 18 世纪末 19 世纪初三脚架式火箭发射架

随后，英国、俄国、法国的陆军开始使用这种由长尾杆稳定的火箭弹和简易三角发射架组成的火箭武器。这种发射架一般只有简单的高低瞄准机构，而无方向瞄准机构，实行单发射击，最大射程 4km。这种携带式的三角发射架简单轻便，可以随身携带，也便于骑兵使用。它射击准备时间短，发射速度达到 6 发/min。在当时，它的性能明显优于火炮，从而得到迅速发展。

从 18 世纪末到 20 世纪初大约一个半世纪内，由于冶金和机械制造业技术的发展，导致线膛火炮在射程和射击精度方面都远胜于当时的火箭武器，致使火箭的生产和应用走入低谷，一时间火炮几乎取代了火箭武器。但这种总趋势下，火箭技术及军事应用并未完全终止，

一些研究和试验仍在进行并有所发展。其中俄国学者齐奥尔科夫斯基，第一个提出运用液体火箭发动机的可能性，给出了结构原理图，并创立了著名的火箭理想速度公式及现代多级火箭的设计构思，建立了火箭飞行动力学的基础并提出了星际航行的伟大理想。

到 20 世纪 30 年代，由于液体火箭推进剂及新型固体火箭推进剂、高温材料和电子技术等的发展，给火箭武器增添了新的活力，火箭技术又“复兴”了。到 20 世纪 40 年代以后，火箭武器又重新占据了重要地位。20 世纪 50 年代以后，火箭技术的发展进入了一个新的发展时期，相继出现了洲际导弹、人造卫星与宇宙飞船。

1.2.2 第二次世界大战期间火箭武器的发展

从第一次世界大战到第二次世界大战期间，由于科技进步，无烟火药的发明，使火箭技术得到了恢复和发展。第二次世界大战爆发后，各国基于军事需要都在积极发展火箭武器。主要发展方向是增大射程、威力及射击密集度，一时间各类火箭武器相继出现。

第二次世界大战前，苏联首先设计和制造了 BM-8 和 BM-13 火箭武器系统，其中 BM-13 又称为“喀秋莎”火箭炮，是一种战场步兵支援武器，射击效率高，齐射时声响独特，因而驰名前线，威震四方。在对德作战中，作为压制武器一显神威，对战争起了很大的作用。接着又研制了威力更大的 BM-31 火箭炮。这三种火箭炮有下述共同特点。

- (1) 都是自行式火箭炮，机动性好；
- (2) 都是多发联装的结构，分别为 48 发、16 发和 12 发；
- (3) 都有简易的电发火控制机构，能在短时间内形成强大的火力密度，是当时威力很大的武器；
- (4) 都发射尾翼式火箭弹，其最大射程达到 8.5km。

第二次世界大战期间，使用火箭武器最多的国家是德国，共计有 13 种。而德军火箭武器的共同特点是：火箭发射系统以拖车式为主；发射涡轮式火箭弹，射程不超过 8km；弹种较多，除了有杀伤爆破弹外，还有破甲弹、化学弹、烟幕弹等。众多的弹种，有利于对付多种性质的目标。德国研制的 13 种火箭武器里还包括 20mm、73mm 和 100mm 三种防空火箭炮。

英国在战时发展了一种弹径为 50mm 的弹幕火箭，随后于 1940 年夏季又研制了弹径为 75mm 的防空火箭。该火箭的作战效率不高，其真正作用在于阻吓敌机以降低其投弹命中率。此外，这种火箭还曾被用来撒布系有长绳索的降落伞，由很多根伞绳形成索网以阻拦敌机进袭。

1939 年—1940 年期间，英国研制成质量 27kg、射程 3200m 的火箭弹。1943 年 1 月，正式生产了一种 125mm 的火箭，可单兵肩射和多联装发射。这种火箭还被海军成功地用作登陆火力支援武器，一艘火力支援舰装备多门火箭炮，在 4s~5s 内一次齐射 800 枚~1000 枚，在战争中发挥了很大威力。

美国火箭武器的发展，得益于英国。在珍珠港事件之后，是通过英美科技界的互访进行的。美国在第二次世界大战期间，先后使用了 8 种火箭武器，它们与德军、苏军的火箭武器相比，有以下几个突出特点：①发射管数最多，这是至今所没有的，装在中型坦克上的 T-34 多管火箭炮有 60 个发射管，而装在水陆两用坦克上的 T-44 多管火箭炮则有 120 个发射管；②定向管的材料首次使用了合金材料和非金属材料，T-34 和 M-12 的定向管有用镁合金的，也有用皮革和塑料的，T-66 定向管则用铝合金制造；③自行式火箭炮的车体以坦克和履带车辆为主，其越野性能好。

第二次世界大战中，美国还推出了著名的巴楚卡（Bazooka）单兵反坦克火箭。该火箭于

1943 年进入实战应用，被称为单人炮兵，起到了改变战场情势的重大作用。同时，美国还为陆、海、空军研制成了一系列的空对地、舰对地火箭，以及反潜炸弹和深水炸弹用火箭，而且成效都甚大。

1.2.3 第二次世界大战后火箭武器的发展

第二次世界大战以后，美、苏、英、法等国除研制和改进常规武器外，还大力发展火箭和导弹武器，火箭发射技术和设备也获得了迅速发展。

从 20 世纪 50 年代到现在，苏联及其继承国俄罗斯对无控火箭武器的发展一直非常重视，其发展速度之快，装备数量之多，是其他西方国家和美国所不及的。苏联从 20 世纪 50 年代开始使用、后又不断改进的“夫劳克”战术火箭族，可以装核弹头，弹头直径为 339mm~840mm，最大射程为 27.4km~67km，是当时无控火箭武器中射程最远、威力最大的火箭武器。此外，苏联还发展和装备了十余种不同结构的火箭炮，如 БМ-14/16、БМ-14/17、БМ-24/12、БМ-24Т/12、БМД-20/4、БМД-25/6、БМ-21/40、БМ-27/16、БМ-22/16、БМ-30/12 等火箭炮。它们的相继发展，不断地更新了部队装备，使火箭武器的杀伤威力、射程、密集度以及操作使用性能都有显著的提高。俄罗斯现代火箭炮主要性能诸元见表 1-1。

表 1-1 俄罗斯现代火箭炮主要性能诸元

型号		БМ-14/16	БМ-14/17	БМ-24/12	БМ-24Т/12	БМД-20/4	БМД-25/6	БМ-21/40	БМ-27/16	БМ-22/16	БМ-30/12
性能											
口径（弹径） /mm		140	140	240.9	240.9	200	250	122.4	240	220	300
射程/km		10	10	7	7	12.75	20	20	35~40	35~40	90
定向器数		16	17	12	12	4	6	40	16	16	12
定向器 结构形式		筒式	筒式	笼式	筒式	笼式螺旋	笼式螺旋	筒式螺旋	筒式	筒式	筒式螺旋
射界	高低/（°）	0~50	0~50	0~50	—	—	—	0~55	15~50	0~55	15~55
	方向/（°）	$\varphi < 10$ 时， 290； $\varphi > 10$ 时， ± 70	200	$\varphi > 10$ 时， ± 70	—	—	—	右 70 左 102	240	± 30	± 30
弹种		涡轮弹	涡轮弹	涡轮弹	涡轮弹	尾翼低旋	尾翼低旋	尾翼低旋	杀伤爆破 化学弹	杀伤爆破 化学弹 子母弹 反坦克雷	杀伤爆破 子母弹
弹质量/kg		39.6	39.6	109	109.6	194.3	454	66	30	280	800
运行车体		ЗИС-151 汽车	ГАЗ-63 汽车	ЗИЛ-157 汽车	АТ-С 履带车	ЗИС-151 汽车	ЯАЗ-214 汽车	乌拉尔 375 汽车	ЗИЛ-135 汽车	吉尔-135 LM 8×8 汽车	MAZ543 8×8 汽车
战斗总质量/t		8.2	5.36	8.9	15.4	8.7	18.2	13.7	—	20	43.7
密集度	E_x/X	$\frac{1}{90}$	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{90}$	—	$\frac{1}{126}$	—	—	—
	E_z/X	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{100}$	—	$\frac{1}{223}$	—	—	—
装备时间/年		1954	1959	1953	1957	1954	1957	1964	1977	1977	1987