



“十二五”国家重点出版规划项目

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT

野战火箭装备与技术

野战火箭 技术与战术

Technology and Tactics of
Field Rocket Weapon System

李臣明 刘怡昕 韩珺礼 著 |



国防工业出版社
National Defense Industry Press



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点出版规划项目

野战火箭装备与技术

野战火箭技术与战术

李臣明 刘怡昕 韩珺礼 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以野战火箭的技术发展与战术运用为主线,介绍了野战火箭的定义和技术战术特点,分析了信息化条件下作战形态的演进,在联合作战背景下剖析了野战火箭的发展对炮兵和陆军火力地位的影响,探讨了野战火箭的基本作战样式、作战部署和主要作战活动,分析了野战火箭的火力运用和基本战法问题,研究了野战火箭的射击效率分析方法。

本书可供具有兵器专业知识的工程技术人员和教学科研人员使用,也可作为军队院校武器系统与运用工程、作战指挥等专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

野战火箭技术与战术/李臣明,刘怡昕,韩珺礼著.

—北京:国防工业出版社,2015.12

(野战火箭装备与技术)

ISBN 978-7-118-10601-5

I. ①野... II. ①李... ②刘... ③韩... III. ①野战—火箭弹—研究 IV. ①TJ415

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 284135 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 260 千字

2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 65.00 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

《野战火箭装备与技术》丛书编委会

顾 问	刘怡昕	包为民	杨绍卿	
主 编	韩珺礼			
副主编	汤祁忠	周长省		
编 委	(按姓氏笔画排序)			
	马 幸	王文平	王良明	王雪松
	史 博	刘生海	汤祁忠	李 鹏
	李臣明	李照勇	杨 明	杨晓红
	陈四春	陈志华	周长省	郝宏旭
	韩 磊	韩珺礼	蒙上阳	樊水康
秘 书	杨晓红	韩 磊		

序

炮兵是陆军火力打击骨干力量,装备发展是陆军装备发展的重点。野战火箭是炮兵的重要装备,以其突然、猛烈、高效的火力在战争中发挥了重要作用。随着现代高新技术的飞速发展及其在兵器领域的广泛应用,20世纪90年代初,国外开始应用制导技术和增程技术发展制导火箭,使火箭炮具备了远程精确点打击和精确面压制能力,推动了炮兵由覆盖式面压制火力支援向点面结合的火力突击转变。同时,随着贮运发箱模块化发射技术的应用,火箭炮摆脱了集束定向管的束缚,实现了不同弹径、射程、战斗部种类火箭弹的共架发射,具有射程远、精度高、火力猛、点面结合、毁伤高效、反应快速、机动灵活和保障便捷的特点,标志着野战火箭装备技术水平发展到了一个新的高度,夯实了野战火箭在陆军火力打击装备中的重要地位。

我国一直重视野战火箭装备技术发展,近年来更是在野战火箭武器的远程化、精确化、模块化和信息化等方面取得了长足进步,野战火箭装备技术总体水平达到了世界先进水平,部分达到领先水平。韩珺礼研究员带领的陆军火箭科研创新团队,长期从事野战火箭武器装备论证、预先研究、型号研制和作战运用研究等工作,取得了大量成果,相继推出的多型野战火箭武器系统均已成为陆军炮兵的火力骨干装备。

《野战火箭装备与技术》丛书(共14册)系统分析了未来战争形态的演进对陆军炮兵远程精确打击装备的需求,明晰了我国野战火箭武器装备的发展方向,从多角度研究了我国野战火箭武器装备的理论技术与运用问题,是对我国近年来野战火箭特别是远程火箭发展的总结与升华。该丛书在国内首次系统建立了涵盖野战火箭论证、设计、制造、试验和作战运用等多个方面的理论体系和技术体系,是近年来国内野战火箭装备技术和作战运用研究的理论结晶,为野战火箭向更远程、更精确、更大威力发展奠定了坚实理论与技术基础。《野战火箭装备与技术》丛书对于推动我国野战火箭武器深入发展具有重大意义!相信在各级机关的支持下,在广大科研人员的共同努力下,我国野战火箭武器将更加适应基于信息系统的打击需求,在未来信息化战争中将发挥更重要的作用!

刘怡昕

二〇一五年十一月

刘怡昕:中国工程院院士、南京炮兵学院教授。

自序

炮兵是陆军火力打击力量的重要组成部分,具备突然、猛烈、密集、高效的火力特点,在历次战争中发挥了重要作用,有“战争之神”的美誉。随着制导技术、电子信息技术等诸多高新技术在炮兵装备中的应用,陆军炮兵的远程精确打击能力得到大幅提升,炮兵已由过去的火力支援兵种向火力主战兵种转型,这与野战火箭武器的发展密不可分。为适应现代战争需求,野战火箭武器系统正朝着远程压制、精确打击、一装多能、高效毁伤、模块通用的方向发展。

为了提高我军炮兵作战能力,我国十分重视野战火箭武器的发展,从装备仿研、技术引进到自主研发,经过多年的积累与创新,在远程化、精确化、模块化、信息化等方面达到了较高水平。在基于信息系统的体系作战中,野战火箭主要担负战役战术纵深内对面目标精确压制和点目标精确打击任务。以贮运发射箱模块化共架发射和精确化为主要特征的先进远程野战火箭武器系统,集远程综合压制、精确打击、实时侦察和效能评估于一体,为复杂战场环境下远程精确火力打击提供了重要保证,是我国陆军未来火力打击装备发展的重点。

野战火箭装备技术的发展已进入到一个新的更高阶段,立之弥高,逾之弥艰,需要有完整的基础理论加以支撑,需要有关键技术不断突破和创新,需要在基础研究上下功夫。但是,目前该领域的学术理论、技术研究成果相对分散,成系统的装备技术和理论文献很少,不利于野战火箭武器装备的优化发展。因此,迫切需要对该领域的理论与技术进行系统梳理、结集出版,以满足论证、研制、生产、作战使用等各领域参考资料缺乏的急需,为野战火箭领域人才培养和装备发展提供系统的理论与技术支撑。《野战火箭装备与技术》丛书立足野战火箭发展,填补了国内野战火箭理论与技术体系空白,被列入“十二五”国家重点图书出版规划项目,并得到了国家出版基金的资助。本丛书共有14个分册,全面系统地对我国陆军野战火箭研究成果和国内外该领域的发展趋势进行了阐述,着重对我国野战火箭基础研究和工程化研究方面取得的创新性成果进行了提炼,是我国野战火箭领域科技进步的结晶。本丛书的出版,对推动我国野战火箭装备技术不断自主创新、促进陆军武器装备发展、提升我国武器装备竞争力以及培养野战火箭领域专业人才具有重要意义。

本丛书的撰写得到了机关和广大专家的指导和帮助。感谢中国科学院院士包为民和中国工程院院士刘怡昕、中国工程院院士杨绍卿的悉心指导,感谢徐明友教授等我国野战火箭领域老一辈科研工作者奠定的基础,感谢总装备部某研究所各位领导和诸位同事的支持,感谢南京炮兵学院、南京理工大学、北京理工大学、兵器工业导航与控制技术研究所、国营 743 厂、国营 5137 厂等单位领导和科研工作者的支持,感谢国防工业出版社和陆军火箭科研创新团队为本丛书所做出的大量工作!在本丛书的撰写过程中参考了相关文献和资料,在此对相关作者一并表示感谢!

由于水平所限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者不吝赐教。

韩珺礼

二〇一五年十一月

前言

自第二次世界大战初开始,野战火箭炮以其突然、密集、猛烈的火力在战争中发挥了重要作用,备受世界各国青睐,得到蓬勃发展。时至今日,世界火箭炮的型号已达数十种,成为各国陆军重要的火力打击武器。

技术决定战术,战术需求对技术发展又起推动作用。作为间接瞄准火力打击兵器,衡量野战火箭作战能力的指标主要有射程、精度、威力、火力反应速度、机动性等。在20世纪70年代以前,各国野战火箭的射程局限在一二十千米,仅能作为战术级火力参与火力支援;在发射无控火箭弹时,受推力偏心、气象条件等因素影响,野战火箭射弹散布较大,射击精度不高,仅限于对面积目标实施火力覆盖;弹径较小、弹种单一,造成打击目标的种类和效果受到影响,威力有限。20世纪70年代以后,随着火箭发动机技术、卫星定位技术、制导技术、信息技术等高新技术的发展与应用,野战火箭的射程已由以前的数十千米发展到数百千米,精度能够在数百千米的射程上达到数十米甚至米级,战斗部呈现多样化、系列化,能够遂行数百千米野战兵力机动,能够在高度信息化集成支撑下实施快速火力机动。所有这些技术和战术指标的进步,使得野战火箭的作战能力大幅提高,也使得野战火箭在战争中的作用由以前的覆盖式面压制战术火力向着“精确点打击”与“精确面压制”相结合的战役火力转变。因而,在新的技术水平和军事需求条件下研究野战火箭的技术与运用问题,是提高野战火箭作战效能、优化野战火箭火力运用、谋求“依靠技术打胜仗”的重大理论课题。

本书对野战火箭的发展概况进行了梳理,对野战火箭的技术和战术特点进行了分析,以信息化条件下作战需求为背景,采用技术与战术相结合的方法,分析了野战火箭的发展对炮兵和陆军火力地位的影响,以及在作战模式和运用方法等方面引起的变革,可供具有兵器专业知识的工程技术人员和教学科研人员使用,也可作为军队院校武器系统与运用工程、作战指挥等专业的研究生教材。

本书在写作过程中,参考了相关文献资料,在此,对原作者表示谢意!

由于作者水平有限,加之内容广泛,书中难免有错误和不妥之处,望读者批评指正。

作者

第1章 绪论	001
1.1 野战火箭的定义	001
1.2 野战火箭的战术技术特点	001
1.3 野战火箭的传统使用特点	002
1.4 野战火箭的发展概况	004
1.4.1 野战火箭的发展现状	004
1.4.2 野战火箭的发展趋势	008
1.5 信息化战争的特点及火力需求	010
1.5.1 未来信息化战争的特点	010
1.5.2 信息化条件下战争形态的演进	011
1.5.3 信息化条件下陆军作战思想的演进	012
1.5.4 信息化条件下陆军火力打击特点	014
1.5.5 野战火箭的发展对炮兵地位的影响	015
第2章 野战火箭技术特点分析	017
2.1 野战火箭武器系统基本构成	017
2.1.1 火箭炮	018
2.1.2 火箭弹	020
2.1.3 指挥车	020
2.1.4 气象车	021
2.1.5 测地车	021
2.1.6 弹药运输车	021
2.1.7 弹药装填车	021
2.2 野战火箭的主要技术	021
2.2.1 增程技术	022
2.2.2 制导技术	025

2.2.3	信息获取技术	043
2.2.4	通信技术	050
第3章	野战火箭对陆军火力地位的影响	052
3.1	联合火力毁伤的基本任务与要求	052
3.1.1	联合火力毁伤的基本任务	052
3.1.2	联合火力毁伤的基本要求	054
3.2	联合火力打击战役的特点和要求	057
3.2.1	联合火力打击战役的主要特点	057
3.2.2	联合火力打击战役的指导思想	058
3.2.3	联合火力打击战役的原则	059
3.3	陆军火力的地位作用	060
3.3.1	陆军火力的基本特征	061
3.3.2	陆军火力在联合火力打击中的地位作用	062
3.3.3	野战火箭的发展对陆军火力地位的影响	063
第4章	信息化条件下的典型作战形态分析	066
4.1	信息化条件下战争的形态与特点	066
4.1.1	信息化条件下的作战形态	066
4.1.2	信息化战争的作战特点	071
4.1.3	信息化战场的形态及其对装备发展的需求	072
4.2	联合火力战是信息化局部战争的重要样式	076
4.2.1	联合火力战的地位和作用	076
4.2.2	联合火力战的特点	078
4.3	空地远程火力战是未来陆军重要作战样式	081
第5章	野战火箭基本作战样式	083
5.1	野战火箭的使命任务	083
5.2	野战火箭基本运用原则	088
5.3	野战火箭可参与的主要作战样式	090
5.3.1	参加非接触远程精确突击作战	090
5.3.2	参加纵深火力强击作战	092
5.3.3	参加机动火力突击作战	093
5.3.4	参加联合火力突击作战	094
5.3.5	参加联合封锁作战	095

5.3.6	参加联合登岛作战	095
5.3.7	参加联合边境防御作战	096
5.3.8	参加联合信息作战	096
5.3.9	参加联合海岛维权作战	097
5.3.10	遂行独立火力战	097
第6章 野战火箭作战部署		099
6.1	兵力区分	099
6.2	战斗编组	099
6.3	战斗队形配置	100
6.3.1	战斗队形组成	100
6.3.2	战斗队形配置原则	101
6.3.3	战斗队形选择	102
6.3.4	战斗队形配置方法	102
第7章 野战火箭主要作战活动		105
7.1	多维精确情报侦察	105
7.1.1	可利用的侦察力量	105
7.1.2	远程野战火箭的侦察力量运用	107
7.2	精确指挥控制	112
7.2.1	指挥控制精确化的必要性	112
7.2.2	精确控制的基本程序与内容	113
7.3	远程精确打击	115
7.3.1	远程精确打击的必要性	115
7.3.2	远程野战火箭实施远程精确打击的可行性	116
7.3.3	远程精确打击的实施	117
7.4	精确毁伤评估	121
7.4.1	精确毁伤评估的内涵	121
7.4.2	精确毁伤评估手段	121
7.4.3	精确毁伤评估的要点	121
第8章 野战火箭火力运用分析		123
8.1	野战火箭火力运用的方法	123
8.1.1	野战火箭火力运用内容的界定	123
8.1.2	野战火箭火力运用的要点	123

8.1.3	野战火箭火力运用方法	124
8.2	野战火箭火力运用的优化	133
8.2.1	目标优选	133
8.2.2	火力分配优化	138
8.2.3	分火点选择的优化	142
8.3	野战火箭火力运用战术	145
8.3.1	火力突击战术	145
8.3.2	火力机动战术	146
8.3.3	兵力机动战术	147
8.3.4	火力突防战术	148
8.3.5	电子攻防战术	149
8.4	野战火箭基本战法	150
8.4.1	多弹种综合远程精确火力突击	151
8.4.2	非接触精确火力点穴	151
8.4.3	大纵深瘫痪性火力强击	152
8.4.4	多样化持续火力封锁	153
8.4.5	灵活多变佯动	153
第9章 野战火箭射击效率分析		155
9.1	野战火箭射击效率分析的传统方法	155
9.1.1	射击误差分析	155
9.1.2	射击效率分析的指标	168
9.1.3	传统野战火箭射击效率分析	170
9.2	远程制导火箭射击效率分析	172
9.2.1	射击效率分析的方法	172
9.2.2	远程制导火箭弹道特征	173
9.2.3	射击精度计算	174
9.2.4	射击效率计算	178
参考文献		189

第1章

绪论

1.1 野战火箭的定义

火箭炮是一种多发联装的火箭发射装置,由于其所承担的火力任务和战术运用与火炮相似而得名。火箭炮的分类方法有多种:按运动方式可分为牵引式火箭炮、轮式火箭炮、履带式火箭炮;按发射装置结构类型可分为滑轨式火箭炮、筒式火箭炮、笼式火箭炮、箱式火箭炮。火箭炮与火箭弹合称火箭武器。通常将陆军使用的牵引式、轮式、履带式火箭武器称为野战火箭。

1.2 野战火箭的战术技术特点

从技术和战术方面考虑,野战火箭有如下特点。

1. 结构较为简单

因为火箭弹以火箭发动机产生的推力作为飞行动力,所以火箭炮发射时既不承受很高的火药气体压力,也不承受很大的后坐力,所以火箭炮的发射部分没有像身管火炮那样的药室,而是采用滑轨和定向管等方式发射,结构大为简化,重量也大为减轻,容易实现多管联装。

2. 兵力和火力机动性好

机动性可从兵力机动性和火力机动性两方面进行表述,兵力机动性反映的是运动性能,火力机动性反映的主要是火力反应速度。在兵力机动性方面,火箭炮通常分为自行式和牵引式两类,自行式火箭炮直接装在越野汽车或装甲履带车辆底盘上,牵引式火箭炮有轮式运行体,由其他车辆牵引运行。对于现代火箭炮,其运行体的越野性能和运行速度越来越高,能够高速机动,迅速到达发射地域。在火力机动性方面,现代火箭炮一般能够以自动、半自动方式调炮,从进入发射阵地到完成射击准备的时间较短,并能在短时间内完成一次齐射。完成射击任务后能迅速撤离发射点,进行弹药补充或执行其他发射任务,具备良

好的火力机动性。

3. 火力突然猛烈

火箭炮一般采用多发联装发射,可在十几秒或数十秒内将多发火箭弹倾泻到敌人阵地上,给敌人以高密度的火力打击,具备战术突然性,能够达到奇袭效果,更给敌人造成精神上的巨大震慑。例如:俄罗斯的“冰雹”火箭炮,能够在20s左右完成40发火箭弹发射,对敌方阵地上近5公顷^①的目标实施火力压制;美国在“海湾战争”期间用M270火箭炮发射远程子母弹对伊拉克军队实施打击,被伊军惊恐地称为“钢雨”。

4. 易于提高射程

火箭弹依靠发动机产生的推力飞行,避免了身管火炮发射时面临的高速、高过载、高旋等问题,可以通过解决火箭发动机推力技术、弹道优化技术、制导控制技术、抗超高速气动烧蚀技术等大幅提高射程,使野战火箭的射程由数十千米提高到数百千米,适合发展大威力战斗部,提高野战火箭的远程打击能力。

5. 打击方式多样

由于火箭弹的发射过载小、旋转速度低、弹体容积大,与榴弹相比更适合高新技术实现,更容易在同一弹种平台上发展多种样式的战斗部,如杀爆弹、子母弹、预制破片弹、云爆弹、末敏弹、侵彻弹等,因而可以针对不同性质的目标实施不同样式的打击,实现高效毁伤。同时,随着精度的不断提高,远程制导火箭在数百千米的射程上精度已达到数十米甚至米级,从而能够在战役纵深内遂行“精确点打击”和“精确面压制”相结合的多种火力打击任务。

6. 成本相对低,易于大量装备

野战火箭属于常规兵器,成本相对低廉。即使对于远程制导火箭来说,由于采用倾斜发射弹道策略和低成本制导控制技术,其所采用的关键技术在上与战术导弹相比也要低很多,适合野战炮兵部队大量使用。

7. 平台易于模块化和集成化

野战火箭在发射时对平台的影响较小,且弹种容易系列化。为了满足射程需求,需要发展不同口径的弹种。为了解决集束定向管对发展弹种的约束、降低弹药保障难度、提高弹药装填速度,野战火箭向着模块化、集成化方向发展,以集贮存、运输、发射于一体的箱式发射技术代替集束定向管。不同口径的火箭弹事先装定在贮运发箱内,通过吊装进行弹药更换。除此之外,采用贮运发箱模块化设计,还可以实现火箭弹和战斗导弹的共平台发射。

1.3 野战火箭的传统使用特点

最初的野战火箭使用的火箭弹是无控的。无控火箭弹靠发动机在主动段

^① 1公顷=10000m²。

有限时间内产生的推力飞向目标,受发射初始扰动、随机风、推力偏心等因素的影响,无控火箭弹的射弹散布较大,但发射时多发连射的时间较短,能够在短时间内形成密集的火力,故一般用来遂行火力压制任务。

由于采用抛射式弹道,在使用过程中需要精确地决定射击诸元才能保证对目标的射击精度。因此,在发射无控火箭弹时,野战火箭在作战前需要大量的保障工作。发射前,需要测地分队连测战斗队形,精确地测出炮阵地基准炮的位置,前方观察所根据目标坐标、基准炮坐标和弹道气象条件等决定基准炮的射击开始诸元,其他各炮在此射击开始诸元的基础上,修正与基准炮的间隔差、纵深差和高差后再得到各炮射击诸元。火箭炮操作人员利用炮上的瞄准装置和选好的瞄准点,赋予定向器在空间的方向和高低数值,才能进行发射。由于发射的是无控火箭弹,在每次射击过程中,所有的弹只能按照由同一射击诸元产生的弹道飞向目标,即每条弹道是固定的。正因为如此,在整个作战过程中,无论是测地保障、气象保障,还是阵地射击操作,哪一个环节出现误差都会引起射击精度的误差。

为了提高无控火箭的射击精度,在战前一般要进行复杂的射击准备工作,包括事先进行技术检查、在占领阵地前平整炮位、精确赋予阵地各炮的射向、精确测量“三差”、精确测量地面风等,气象保障分队要提前开设气象阵地进行气象探测,炮班人员在操作过程中要十分注意操作的精确性,等等。正是因为阵地各炮存在测量“三差”、赋予射向等工作,考虑到测量难度、光学通视性等因素,虽然战术上要求各炮之间尽量疏散配置,但各炮之间实际上不可能真正离得太远。同时,由于这些工作很多要手工完成,需要耗费很多的射击准备时间。

在射击操瞄方面,野战火箭经历了手动操瞄、半自动操瞄和自动操瞄三个阶段。手动操瞄,指的是操作人员人工装定射击诸元后,操作高低机和方向机赋予定向器在空间的发射位置;半自动操瞄,指的是操作人员人工装定射击诸元后,利用电传动系统赋予定向器在空间的发射位置;自动操瞄,指的是利用火力控制系统自动接收、人工输入或自动解算射击诸元,控制随动系统自动调炮赋予定向器在空间的发射位置。这些操瞄方式的改变,带来的是射击操瞄速度的提高,对于提高火力反应速度具有重要意义。

传统火箭炮的定向装置大体可分为滑轨式、笼式和筒式,其中,集束定向管属于筒式发射装置。在弹药准备方面,每次射击之前,需要提前较长时间擦拭定向管和火箭弹,进行人工或自动、半自动装填。对于管数较多的火箭炮,由于缺少自动擦拭手段,需要人工进行擦拭,耗费时间很长。后来出现了半自动弹药装填车,但对地面平整度和操作人员的熟练程度要求很高;直至后来部分履带式自行火箭炮上出现了随炮的自动装填机,才在一定程度上提

高了战场弹药装填速度。

传统无控火箭的射程较小,多用作战术级压制火力。到了20世纪80年代后,苏联发展了可发射简易控制火箭弹的远程火箭炮,能够在弹道初始段和开舱点分别进行姿态和距离修正,但对于射击诸元的精度要求还是很高,因而仍需要精密的气象和测地等保障。

总的来说,传统的野战火箭在发射无控或简易控制火箭弹时,作战准备时间较长,对作战保障精度要求高,射程较近,精度较差,主要作为战术面压制火力使用。

1.4 野战火箭的发展概况

1.4.1 野战火箭的发展现状

以俄罗斯、美国两国火箭炮发展为例进行介绍。

1. 苏联与俄罗斯野战火箭的发展

第二次世界大战中,苏联研制并迅速装备部队的滑轨式火箭炮在战争中发挥了巨大作用,令德军闻风丧胆,被苏军战士爱称为“喀秋莎”,如图1-1所示。火箭炮因其火力密集、射程较远、威力强大而得到蓬勃发展,苏联在火箭炮装备与技术领域长时间保持领先地位。

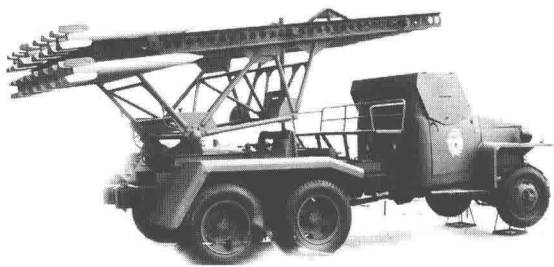


图1-1 “喀秋莎”火箭炮

火箭炮发展初期采用的是尾翼稳定式火箭弹,这种火箭弹在飞行中受风的影响较大,加之推力偏心等因素的影响,使之射弹散布相当大。第二次世界大战后,苏联重点发展了高速旋转稳定式火箭弹,这种火箭弹由于不需要尾翼,飞行中受风的影响较小,绕弹纵轴的高速旋转又大幅度抵消了推力偏心的作用,射击密集度较高,结构比较紧凑,便于装填火箭弹。但是高速旋转稳定火箭弹长细比较小,影响了射程的提高,射程一般不超过10km。因而,苏联又转向发展尾翼稳定式火箭弹,并于1964年装备了122mm口径的40管“冰雹”火箭炮,其射程达20km,如图1-2所示。