

固体燃料冲压增程炮弹发展现状 及关键技术*

安斌丰, 李 彬, 言克斌

(中国人民解放军炮兵学院 五系 41 队, 合肥 230031)

摘要: 简述了固体燃料冲压增程炮弹的工作原理, 介绍了国内、外固体燃料冲压增程炮弹的发展现状, 研究了固体燃料冲压增程炮弹研制过程中还需突破的一些关键技术。

关键词: 固体燃料冲压增程弹; 发展现状; 关键技术

中图分类号: T413

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)03-0110-03

自从人类出现战争以来,“保存自己,消灭敌人”已成为战争的总指导方针。在这一战术背景指导下,总是要求自己方兵器的作用距离超过敌方,不论在冷兵器时代使用的刀、枪、剑、戟,还是热兵器时代的枪、炮、炸弹都是如此。射程是兵器设计的重要技术指标之一,而增程是兵器技术发展的推动力。随着科学技术的不断发展,历史上出现的各种新技术,都被用来发展增程技术,使兵器的射程产生质的飞跃。

高新技术在兵器技术中的应用,使武器性能得到了大幅度的提高。远程精确打击是现代战争对武器的基本要求,增大武器射程正成为各国增强炮兵火力的重点^[1]。当前,炮用战术导弹正在向射程 150~300 km 方向发展,火箭炮系统逐渐向大口径、远射程和简易制导方向发展,射程从早期的 10~20 km,逐步发展到 40~100 km,与此同时,中大口径火炮弹药则相继发展了底部排气增程弹、火箭助推增程弹、底排/火箭助推复合增程弹、冲压发动机增程弹、火箭助推/亚音速滑翔复合增程弹和冲压/超音速滑翔复合增程弹等新型增程弹种,其射程已从 25~30 km,提高到 50~120 km,甚至可达 200~400 km,使得常规火炮的战斗威力产生新的飞跃,射程可以覆盖 25~400 km 的点、面目标,成为世纪弹药发展的新宠^[2]。

固体燃料冲压增程弹作为一种新型弹药,使用固体燃料冲压发动机(Solid Fuel Ramjet,简称 SFRJ)作动力装置,其工作原理是当弹丸从膛内发射出去之后,获得很高的初速:在高速飞行中,空气由弹丸头部的进气口进入弹丸内腔的燃烧室,空气中的氧与燃料充分反应,产生的高温、高压燃气流经喷管加速,以很高的速度喷出,产生很高的后喷动量,以使弹丸获得很大的增量。由于利用了空气中的氧气参与燃烧,提高了燃烧效率,因而增程效率大幅度提高。冲压发动机理论比冲达到 9 000~12 000 N·s/kg,是普通火箭发动机的 4~6 倍。固体燃料冲压增程弹在增程上有

巨大潜力,美国、瑞典、荷兰、南非、韩国等国家早在 20 世纪 70 年代起,就已着力于这方面的研究,到目前为止,固体燃料冲压增程弹已在部分国家实现打靶试验,近期即可装备部队。

1 固体燃料冲压增程炮弹发展现状

国外自 20 世纪 70 年代末期就开始了有关固体燃料冲压增程炮弹技术的研究。美国对 SFRJ 炮弹的研究始于 1979 年末,美国陆军弹道实验室(US Army Ballistic Research Laboratory)先后研制了 75 mm 旋转稳定弹与 203 mm 尾翼稳定弹^[3]。75 mm 旋转稳定弹如图 1 所示,用于坦克训练。采用皮托型进气道,发动机没有点火装置,依靠高速进气冲压产生的高温点燃装药,燃料采用 HTPB。1982 年 12 月首次在 M68 坦克进行发射试验,初速为 4.3 马赫,射程 12 km,实现了自点火,飞行稳定。测得该发动机产生的推力约 1 100 N,比预计的推力略小。燃烧时间 1.6 s。没有补燃室,燃气直接从喷管排出。对燃烧影响较大的因素主要是炮弹的旋转和飞行的速度。203 mm 尾翼稳定弹如图 2 所示。采用中心体进气道。炮弹质量为 114 kg,由 M110A-2 加农炮发射,射程达到 60 km,炮弹装有进气流量控制装置,按照推力等于阻力的伪真空弹道来设计。

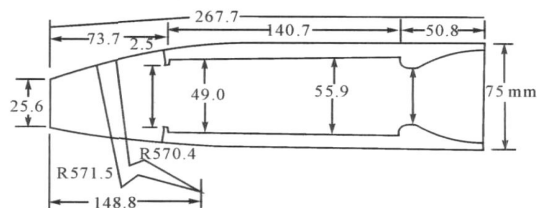


图 1 美国 75 mm 坦克炮 SFRJ 训练弹示意图

* 收稿日期:2008-10-30

作者简介:安斌丰(1982—),男,湖南娄底人,硕士研究生,主要从事信息化弹药研究。

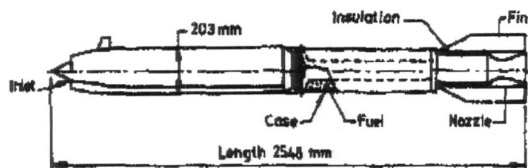


图2 美国 203 mm 尾翼稳定弹示意图

瑞典兵器工业发达,技术实力雄厚。20世纪80年代后期,瑞典国防研究院在Bofors高炮系统的基础上,开始研制40 mm SFRJ 助推高射炮弹,并进行更为广泛的不同类型,不同口径 SFRJ 增程弹研究。图3显示了这种 SFRJ 弹的立体剖视图。1995年以来,瑞典国防研究院与荷兰应用科学研究院合作进行155 mm SFRJ 增程弹研究,旨在促进该种发动机在155 mm 榴弹增程方面的应用。

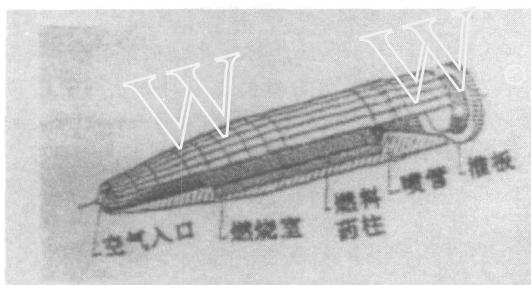


图3 瑞典 40mm SFRJ 增程弹

资料显示,1999年底在燃烧室及喷管设计、飞行弹道和火炮设计中取得进展。2001年初成功进行了飞行试验,飞行距离3 000 m,发动机工作时间不少于2 s,速度达到4马赫。与此同时,其固体燃料研究也取得突破,已完成燃烧试验。弹体结构设计也初具规模,其结构完整性、助推与分离部件都已经通过飞行测试且稳定可靠。有关资料显示,采用冲压发动机后,炮弹的飞行速度比一般情况下的炮弹至少要高出50%,命中率提高到原来的5倍。

图4为这种炮弹的外形。弹体外有保护部件,以防发射时受到膛内高温、高压燃气的影响。图5为飞行试验过程中拍摄到的分离时刻照片。可以清楚地看出其末端抛掉的推板。

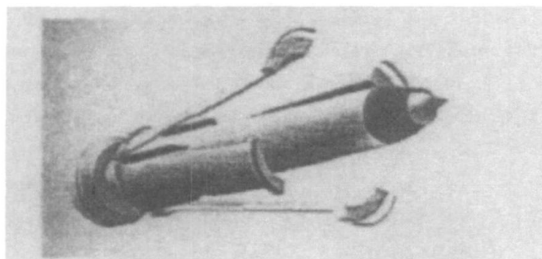


图4 155 mm SFRJ 增程炮弹外形

荷兰应用科学研究院早在1989年就开始研究 SFRJ 在动能弹上的应用。特别是已经开发了一种实用的 SFRJ 弹飞行性能计算机预测程序(ramjet propelled projectile performance

prediction program,简称 RP)。该程序可预测不同口径增程弹的飞行性能,供设计时参考。该程序假设推力和弹体质量在很短的飞行时间中不改变,进行准静态飞行计算。并对热力燃烧和空气动力分析进行了简化。

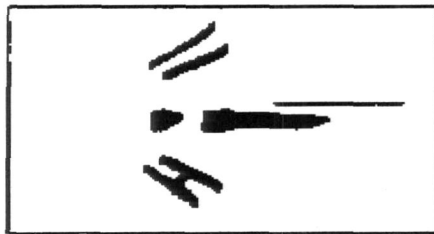


图5 飞行试验分离时刻照片

南非早在20世纪90年代初就开始了 SFRJ 增程弹的研究。起初研制75 mm 旋转稳定弹。1998年起开始研制155 mm 尾翼稳定增程炮弹。2001年进行了155 mm 实弹发射试验。初速约900 m/s,共发射6发,其中3发弹点火成功,冲压发动机工作,射程约55 km。图6所示为75 mm 炮弹弹体与推板的分离照片。南非的冲压喷气发动机推进 PRO-RAM 远程炮弹,由52倍口径155 mm 火炮发射时,射程达到了70 km。

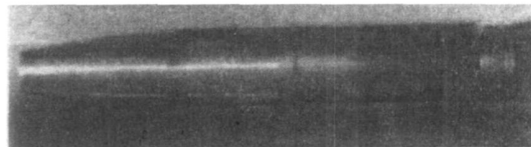


图6 南非 75 mm SFRJ 增程炮弹分离照片

韩国于1999年开展了 SFRJ 增程弹的研究。初步对象是40 mm 旋转稳定弹。已进行了风洞试验和实弹射击试验。试验以L/70 40 mm 海军火炮系统为发射装置。初速约3马赫,弹体长度200 mm,结果显示点火成功,但是药柱燃烧稳定性不强,极易熄火。还有很多关键问题尚未解决。

我国对固体燃料冲压发动机的研究开始于20世纪70年代初,在连管试验台上做了燃料的点火和燃烧性能实验,并取得了一定的成果。20世纪80年代初,航天科技集团第三研究所曾试制了地空导弹,采用组合式固体火箭冲压发动机,并进行了地面热试车和飞行试验,但射程仅为28 km,而且发动机性能远未完善,后因故中断了工作^[4]。20世纪90年代中后期以来,随着我国空军迫切要求发展高速远距弹药武器的需要,国防科技大学、西北工业大学等单位先后开展了含铝、镁、硼富燃推进剂配方、工艺、燃烧特性、冲压发动机进气道流场仿真、固体燃料冲压发动机地面实验等研究工作,为开展固体燃料冲压发动机原理样机研制奠定了一定的理论基础。

从上可知,美国与荷兰等国家在理论研究方面较深入,已有不少成果。研究重点在于发动机部分。因为 SFRJ 具有通用性,一旦炮弹用发动机研制成功,则稍加改动后可用于导弹或其他武器。对于发动机燃烧室燃烧规律,假设流动为二维定常亚音速流,分别运用 ϵ -模型与速度减压

强二维模型,对燃烧规律进行模拟,结果显示,运用这2种模型求得的燃速与实测值相比,速度减压强二维模型更接近实测值.但是由于燃料成分、燃烧室结构以及进气道设计等多方面的影响,理论计算尚不能较准确的预测燃速以及燃烧效率,这方面还需进一步研究^[5].关于进气道设计,韩国针对中心体入口进气和皮托入口进气作了理论分析与实验比较,得出中心体进气道效果较好的结论.

2 关键技术

冲压发动机增程炮弹具有结构简单、成本低、增程效率高和战斗威力降低少等特点,但其燃烧过程相当复杂,固体燃料冲压增程炮弹研制过程中还需突破一些关键技术.这些关键技术包括:

1) 使用固体燃料冲压发动机为动力的增程炮弹总体技术.通过分析固体燃料冲压发动机与炮弹总体之间的相互影响关系,进行炮弹减进气道减发动机的一体化设计技术研究,确定满足炮弹飞行任务的固体燃料冲压发动机方案、进气道形式和气动布局、飞行控制方式等,使炮弹总体性能最优.

2) 发动机设计技术.根据炮弹的飞行高度、飞行速度以及飞行姿态等对冲压发动机性能的影响,确定发动机的主要结构参数,并选定发动机的设计马赫数、发射初速以及超临界裕度等设计参数,进行固体燃料冲压发动机总体结构设计、燃速控制、二次燃烧以及燃烧室与喷管设计等.对各部件的设计提出具体要求.

3) 贫氧推进剂技术.提高贫氧推进剂能量研究,包括:研究改善含硼推进剂点火性能的途径,合理组织含硼推进剂在燃烧室以及富燃燃气在补燃室的燃烧,提高含硼推进剂的燃烧效率,添加高能粘合剂,确保药柱在高速发射时耐冲击、不脱落、不碎裂.改善贫氧推进剂的点火性能、减少氧化剂含量、提高推进剂能量、提高燃速.

4) 弹体机械设计与火炮系统设计技术.为保证飞行稳定,炮弹质心与压心应符合力学原理,尾翼也应根据空气动力学进行设计.关键部件应保证正常工作,还应进行部件的受力分析与热分析,而且对火炮发射装置也提出了设计要求.

5) 数值模拟技术.包括对外弹道的模拟以及对内流场的模拟.外弹道模拟包括对飞行过程中推力与阻力的变化,炮弹质量的改变以及发动机工作参数对射程的影响,内弹道模拟包括进气道、燃烧室、补燃室以及喷管的流动与燃烧模拟.随着计算技术的进步,数值模拟越来越多地

用于工程设计.

6) 实验技术.包括试车台实验与实弹打靶试验.试车台实验包括实验用发动机的设计、制造、参数改变以及实验方案设计等,实弹打靶则包括场地选择、弹道测量等技术.最后还需对实验数据进行分析总结,进而改进炮弹设计.

在这些关键技术中,固体燃料冲压发动机技术是重中之重,需要首先突破.目前,发动机的实际性能与其理论性能还有较大差距,这限制了其在武器型号上的工程应用.因此,尽快突破 SFRJ 的各项关键技术,提高 SFRJ 性能,是目前增程炮弹研究的关键^[6].

3 结束语

SFRJ 由于其成本低性能高的优点,在炮弹增程方面有着巨大潜力.目前许多国家已进入论证试验阶段,取得很多理论和技术上的突破,并生产出部分样品.估计 2010 年以前,将会出现可用于实战的新型火炮武器系统.与之相比,国内关于地面远程火炮增程技术的研究进展相对较慢,使战场上的火炮对抗处于极为不利的地位.因此,深入开展固体燃料冲压增程弹的研究在我国显得尤为重要.

参考文献:

- [1] 郭锡福,赵子华,李奉昌.21 世纪地面远程火炮增程技术发展综述[C]//中国兵工学会弹道专业委员会弹道学术交流会议论文集.北京:[出版地不详],2000:108-113.
- [2] 郭锡福.现代炮弹增程技术[M].北京:兵器工业出版社,1997.
- [3] 马骏,杨涛,郑平泰,等.国外固体燃料冲压增程炮弹研究进展[C]//中国兵工学会弹道专业委员会弹道学术交流会论文集.北京:[出版地不详],2004:305-31.
- [4] 华东工程学院 201 教研室.固体火箭弹设计原理[M].南京:华东工程学院,1974.
- [5] 李清献,李晓军.国外武器弹药发展特点及其对防护工程的影响[C]//中国土木工程学会防护工程分会第十次学术年会论文集.北京:[出版地不详],2006.
- [6] Cordeiro H. A nieckele flow field computational analysis in a combustor of a solid fuel ramjet assisted projectile international conference on computational ballistics[C]//EBMEC.[S. l.]:[s. n.],2003:151-160.