

DOI: 10.19297/j.cnki.41-1228/tj.2016.01.001

空空导弹 70 年发展综述

樊会涛^{1,2}, 崔 颢^{1,2}, 天 光¹

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009; 2. 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471009)

摘 要: 回顾了空空导弹产生的历史背景和 70 年四代空空导弹的发展历程, 论述了空战需求和技术进步共同推动空空导弹产生和不断更新换代观点; 详细分析了空空导弹作战应用的演变过程——从空战的辅助武器到空战力量的决定性因素, 阐明了空空导弹的发展主线——始终以满足空中优势作战为目标, 从尾后攻击到全向攻击, 从近距格斗到中远距拦截; 最后对空空导弹的未来进行了展望, 提出了空空导弹“六化”的发展需求和技术发展的六个支配性主题。

关键词: 空空导弹; 综述; 空战; 复杂环境; 展望; 雷达; 红外

中图分类号: TJ760 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5048(2016)01-0003-10

A Review on the 70-Year Development of Air-to-Air Missiles

Fan Huitao^{1,2}, Cui Hao^{1,2}, Tian Guang¹

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China;

2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne Guided Weapon, Luoyang 471009, China)

Abstract: This paper reviews the historical background of air-to-air missile's emergence and the 70-year development course of their four generations; discusses the point of view that air combat requirements and technology advancement have concurrently pushed the generation and continued improvement of the missiles; analyzes in detail the evolution of combat applications of the missiles which, being secondary in the past, have become the decisive element in air combat; explains the main development patterns of the missiles which always strive for meeting the goal of air superiority and have been advanced from rear-only attack to all-aspect attack and from dogfight to beyond-visual-range intercept; finally forecasts the future of the missiles and proposes the six-point development requirements and the six pivotal topics in technology development.

Key words: air-to-air missile; review; air combat; complex environment; forecast; radar-guided missile; infrared-guided missile

0 引 言

1946 年, 冷战大幕拉开, 美国不动声色地投入了与苏联的军备竞赛, 一批武器研究项目悄然立项。美国海军军械测试站开始研制红外制导的空空导弹, 美国休斯飞机制造公司开始研制雷达

制导的“猎鹰”空空导弹, “猎鹰”成为世界上第一种正式服役的空空导弹^[1-2]。从 1946 年到 2016 年, 空空导弹整整发展了 70 年, 空战需求的牵引和科学技术的进步使得空空导弹性能逐步提高, 现在已发展成为制导方式多样化, 远、中、近距系列化和海、空、陆军通用化的空空导弹家族, 世界各国发展的空空导弹型号多达 100 种。近三十年局部战争的经验表明, 空空导弹已成为空中对抗的主要武器, 其性能的高低已成为决定战争胜负的重要因素, 空空导弹成为各军事强国优先发展的

收稿日期: 2015-12-10

作者简介: 樊会涛(1962-), 男, 河南汝阳人, 院士, 主要从事机载武器系统技术研究设计工作。

武器装备^[3-4]。

1 空战需求催生空空导弹

空中交战的雏形是从使用手枪、步枪开始,但其恐吓意义远大于实战意义。1930年机炮服役,空战进入“近身肉搏”的机炮时代,二战期间机炮是战斗机唯一具有作战效益的空战武器,其重要性达到极致。随着飞机飞行速度越来越快、机动战术越来越多,机炮固有的射程近、弹道直、单发杀伤威力不够等缺陷也逐渐暴露。为了解决这一问题,飞行员迫切希望能有一种攻击距离更远、攻击占位更宽松、有一定自主攻击能力的新式空战装备。战争驱使德国人又一次率先发明出一种“颠覆性的空战武器”。1943年初,德国的Kramer博士开始设计X-4空空导弹,这被公认为是世界上第一个可供实战使用的空空导弹。德国空军希望这种导弹能在盟军轰炸机的机炮射程之外对其进行攻击,改变空战格局。1945年初,德国工厂的1300枚X-4导弹只等装配火箭发动机后即可装备部队,然而就在此时,位于斯图加特的工厂被盟军空袭,导弹火箭发动机全部被毁,X-4空空导弹最终未能投入实战^[5]。

二战后,美苏争霸推动了导弹装备与技术的发展。1946年,美国海军军械测试站的麦克利恩博士开始研制一种“寻热火箭”。1949年11月,他设计出了红外导引头的核心——红外探测器。以此为基础,美国在1953年研制出了闻名遐迩的第一种红外型空空导弹——“响尾蛇”。图1所示为“响尾蛇”空空导弹之父麦克利恩博士。1947年,美国休斯飞机制造公司获得了研制“猎鹰”雷达型空空导弹的合同,休斯公司之所以获得合同,关键在于该公司成功研制了“受激辐射微波放大”(MASER)元件,这是实现雷达制导的基础。然而“猎鹰”的研制异常艰辛,休斯公司为之付出了几近破产的沉重代价,直到1954年才获得试验成功,图2所示为美国的“猎鹰”AIM-4空空导弹^[6]。



图1 “响尾蛇”之父麦克利恩



图2 AIM-4“猎鹰”空空导弹

空空导弹从诞生那一刻起,就肩负着制空作战的使命。1958年9月的中国台海空战开创了人类使用空空导弹进行作战的先河。1966年3月,在中国广西南宁地区上空首次用霹雳-2乙空空导弹击落美国“火蜂”无人机。1961~1974年的越南战争中,空空导弹首次得到大规模实战运用。经过印巴战争、越南战争、中东战争、马岛战争、海湾战争等多个战争的洗礼,空空导弹技术日趋成熟,发射距离、探测性能、机动性能和抗干扰能力不断升级,作战运用日趋完善,命中率也不断提高,具体如图3所示。美国兰德公司在2008年发表的研究报告《空战的过去、现在和未来》中总结到“空中优势是美国所有常规军事行动的基础,而当前的空中优势依赖于先进的态势感知、隐身和超视距空空导弹。”^[7]谁拥有先进的空空导弹,就拥有决定空战胜负的重要力量,进而可能影响整个战争的进程。^[8-9]

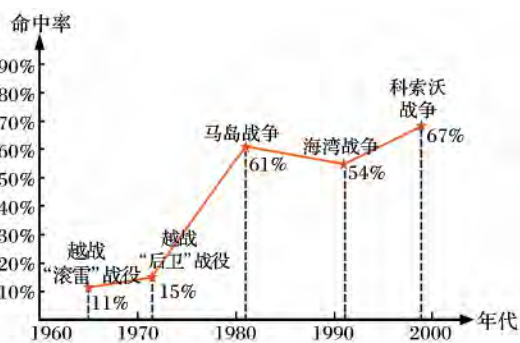


图3 不同时代空空导弹的实战命中率

2 空空导弹四代发展历程

空空导弹经过70年的发展,经历了从无到有、从弱到强,发展成为一个庞大的系列,形成了红外和雷达两种制导体制,两种体制互补搭配使用。它是机载武器中出现较晚、发展最快的一类武器。战争是空空导弹发展的源动力,技术突破推动其更新换代,按照导弹的攻击方式和采用的标志性技术划分,世界各国公认空空导弹已走过四代的发

展历程,目前正在发展第五代^[10]。

2.1 第一代空空导弹

20 世纪 50 年代,第一代空空导弹开始服役,实现了空空导弹从无到有的跨越,使得飞行员有了在航炮射程以外摧毁目标的武器。第一代空空导弹就建立了红外与雷达两种制导体制,此后两种体制一直并存并沿着各自的道路发展。第一代红外弹采用单元非制冷的硫化铅探测器,工作在近红外波段,只能探测飞机发动机尾喷口的红外辐射。第一代雷达弹采用雷达驾束制导模式,载机雷达的主波束时刻指向目标,导弹需要沿载机波束飞向目标。

第一代空空导弹主要用于攻击亚音速轰炸机,由于技术上的限制,飞行员在战术使用上只能从目标的尾后采用追击方式进行攻击,这对载机的占位提出了很高的要求,在空战中很难觅得发射时机。同时第一代导弹射程有限,机动能力差,目标稍作空中机动,就很容易将导弹摆脱。第一代导弹作战使用情况并不理想,实战命中率只有 10% 左右。第一代红外弹的典型代表有美国的“响尾蛇”AIM-9B、苏联的 K-13 等,雷达弹的典型代表有美国的“猎鹰”AIM-4A、“麻雀”AIM-7A、中国的 PL-1 等^[11]。

2.2 第二代空空导弹

第二代空空导弹于 20 世纪 60 年代中期开始服役,重点解决了第一代导弹空战中暴露的性能和可靠性问题。从这一代开始,逐渐形成近距用红外导弹,中距用雷达导弹的作战运用体系。第二代红外弹采用单元致冷硫化铅或碲化铋探测器,敏感波段延伸至中红外,探测灵敏度提高,可探测飞机发动机的尾焰。第二代雷达导弹采用圆锥扫描式连续波半主动雷达制导,具有一定的上视前侧向攻击目标的能力。同时针对第一代导弹的性能问题对导弹气动外形、推进系统、引战系统等进行改进,导弹的攻击包线有所扩大。

第二代空空导弹主要用于攻击超音速轰炸机和歼击机,飞行员可以从目标尾后较大范围内进行攻击,增加了战术使用灵活性。从实战效果看,存在的主要问题是低空下视能力差,机动能力有限,难以对付高机动目标,不能适应战机间的格斗需要。尽管如此,第二代空空导弹在空战中的使用率有所提高,空空导弹逐渐取代机炮成为主战武器。这一时期的空空导弹代表,红外弹有美国的“响尾蛇”AIM-9D、苏联的“蚜虫”P-60 等,雷达

弹有美国的“麻雀”AIM-7D/E 等^[11]。

2.3 第三代空空导弹

20 世纪 80 年代是空空导弹发展的黄金时期。对第一、二代导弹研制道路与实践经验教训的归纳总结,结合精确制导技术的发展,使第三代导弹的技术升级做到了有的放矢。第三代红外弹采用高灵敏度的单元或多元致冷碲化铋探测器,能够从前侧向探测目标,具有离轴发射能力,机动过载达 35 以上。第三代雷达弹采用了单脉冲半主动导引头,具有下视下射能力。数字自动驾驶仪的引入,以及发动机、引信、战斗部等组件水平的提高,使这一代导弹的性能得以全面提升,具有“全高度、全方位、全天候”作战能力,可以全向攻击大机动目标。

第三代空空导弹的作战运用灵活性大幅提高,空空导弹真正具备了近距格斗与超视距作战能力,战术运用日趋成熟,在马岛战争、海湾战争等实战中大放异彩。第三代导弹的问题集中体现在导弹抗干扰能力不足以及半主动雷达导引体制自身的缺陷上。第三代红外弹典型代表有美国的“响尾蛇”AIM-9L、苏联的 P-73(如图 4 所示)和中国的 PL-9C 等。雷达弹典型代表有美国的“麻雀”AIM-7F、英国的“天空闪光”等^[11]。



(a) 美国的 AIM-9L



(b) 苏联的 P-73

图 4 第三代红外型空空导弹

2.4 第四代空空导弹

20 世纪后 20 年的几次局部战争表明,空中力量对战争胜负起着至关重要的作用,空空导弹作为空战的主要武器成为世界军事强国优先发展的

装备。第四代空空导弹呈现诸强割据、众花齐放的局面,美、俄、欧等军事强国均有优秀的导弹代表型号,值得一提的是,中国实现了第四代空空导弹的自主研制,从而崛起为世界空空导弹版图新的一极。

为适应空战全面迈入信息化体系对抗的新要求,第四代空空导弹主要解决了探测性能不足、抗干扰能力弱和半主动制导的体制缺陷。这一时期,红外成像探测、主动雷达导引、复合制导、大攻角气动外形及飞行控制技术的发展与应用,奠定了第四代发展的技术基础。随着第四代导弹的服役,空战真正进入了超视距时代,空空导弹成为空战效能的倍增器。

第四代红外弹采用了红外成像制导、小型捷联惯导、气动力/推力矢量复合控制等关键技术,能有效攻击载机前方 $\pm 90^\circ$ 范围的大机动目标,具有较强的抗干扰能力,可以实现“看见即发射”,降低了载机格斗时的占位要求。典型代表有美国的“响尾蛇”AIM-9X、英国的 ASRAAM(现属于欧洲导弹集团 MBDA)、以德国为主多国联合研制的 IRIS-T 等,如图 5 所示。

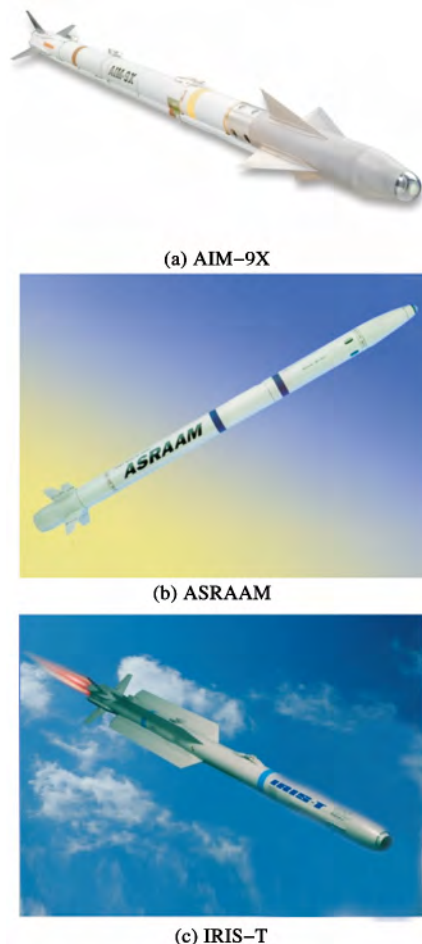


图 5 第四代红外型空空导弹

第四代雷达弹采用“数据链+惯性中制导+主动雷达末制导”的复合制导技术,具有超视距发射、发射后不管和多目标攻击能力;采用先进的抗干扰技术,提高了导弹在强电子干扰环境下的作战能力。典型代表有美国的 AIM-120 系列、俄罗斯的 P-77、中国的 SD-10A 等^[12-13],如图 6 所示。

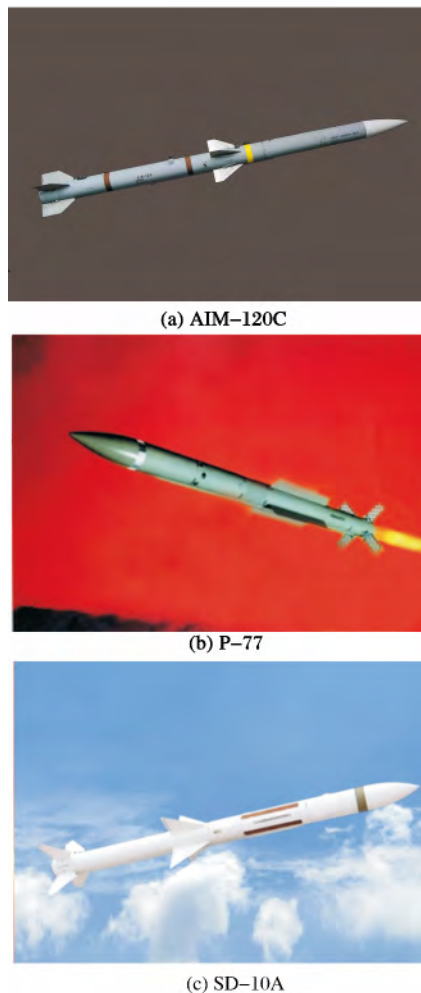


图 6 第四代雷达型空空导弹

综观四代空空导弹的发展历程,空战需求和技术进步共同推动导弹的更新换代。红外型导弹走过了从单元—多元—红外成像的导引体制发展历程,正在向多波段红外成像发展。雷达型导弹走过了从波束制导—半主动雷达—主动雷达的导引体制发展历程,正在应用相控阵雷达制导技术,将向多频段主动雷达、共口径雷达/红外多模等技术方向发展。空中优势的持续争夺和精确制导技术的不断突破将推动空空导弹一代代发展下去^[14]。

3 空空导弹的作战应用

空空导弹出现以前,战斗机之间的格斗都是

依靠机炮近距离进行,随着空空导弹的出现,机炮逐渐退居二线,空战演变为导弹之间的厮杀,空战模式在不断地发生变化。机炮先是被只能尾后攻击的红外导弹所取代,后者接着被全向攻击导弹所取代,最终超视距导弹逐渐成为现代空战的主要武器,空空导弹在不同时代空战斗中的应用如图7所示。^[15-16]空空导弹出现后,空战的发展大概经过了四个阶段。

3.1 空战进入导弹时代

从1958年9月空空导弹首次实战应用到20世纪60年代可以归纳为空空导弹作战应用的起步阶段。这个阶段发生的空战包括1958~1968年的台海空战、1965~1968年的越战“滚雷”战役、1965年的印巴战争、1967年的第三次中东战争(六日战争),其中1965年美国空军和海军应用空空导弹持续对越南空军进行攻击,是空空导弹的首次持续使用。这个阶段使用的空空导弹主要是AIM-9B等第一代空空导弹和AIM-4D, AIM-7D/E等第二代空空导弹。受限于导弹性能及与之配套的机载设备水平,导弹有效攻击范围十分有限,这一时期有记录的空战战果约有四百多例,其中60%以上由机炮取得,空空导弹战绩仅占约30%(如图7所示),特别是空空导弹在越战初期的表现远远不如预期,可靠性差、命中率低、作战

运用条件严苛、使用体验糟糕等初代空空导弹的问题一一浮现。越战“滚雷”战役中,“麻雀”AIM-7D导弹命中率仅有8%, AIM-9B“响尾蛇”导弹命中率仅有16%^[16],以至于在飞行员中出现了“导弹不如机炮”的观点。

这个阶段的空战中,飞行员仍需在目视范围内尽力占据敌机尾后这一有利位置,相比采用机炮的传统空战方式,空战战术并未发生明显变化,空空导弹也无法取代机炮成为空战主要武器^[16]。

3.2 空空导弹成为主要空战武器

20世纪70年代是空空导弹作战应用的发展阶段,也是过去50年空战最密集的时代,占据有记录的1450余次空战杀伤的1/3以上,超过500次。^[16]这时期发生空战的主要战争包括1971年的第三次印巴战争、1972年的越战“后卫”I/II战役、1973年的第四次中东战争等。使用的空空导弹主要是AIM-9D/E/G/J, AIM-7D/E等第二代空空导弹。针对第一代空空导弹使用中的问题,美国海、空军通过采用制冷探测器、扩展离轴瞄准方式、使用固态电子电路替代真空管电路等措施,提高了空空导弹的作战使用灵活性和可靠性。因此该阶段空空导弹使用数量逐渐增多,击毁飞机的总数已略大于机炮,空空导弹击毁飞机的数量占总数的55%,已成为空战的主要武器。如在越战“后卫”I/II战役中,68次有效杀伤中有57架越南战机都是由空空导弹击落的。这一时期空空导弹战绩的绝大部分是第二代红外空空导弹从后向攻击取得的,如图7所示。

第二代空空导弹作战运用时仍需充分考虑导弹的性能限制,近距使用红外弹时必须设法绕到敌机尾后占据有利位置,而雷达弹的使用,则受制于机载雷达与火控系统水平、导弹性能及可靠性问题,无法发挥其超视距作战的特长。总体而言,空战战术仍未发生革命性的变化^[17-18]。

3.3 超视距空战时代来临

从20世纪80年代开始,空战进入了超视距时代,这个阶段的战争主要包括1980~1988年的两伊战争、1982年的马岛战争、1982年的第五次中东战争、1991年的海湾战争等。这一时期AIM-9L/M, AIM-7F, AIM-54等第三代空空导弹开始大量进入实战,机炮的使用大量减少,从70年代的200多次锐减到26次。

这一时期是空空导弹的成熟期,空空导弹在各个战争舞台上都得以大显身手。1982年英阿马岛战争中,第三代“响尾蛇”的首次大规模参战,

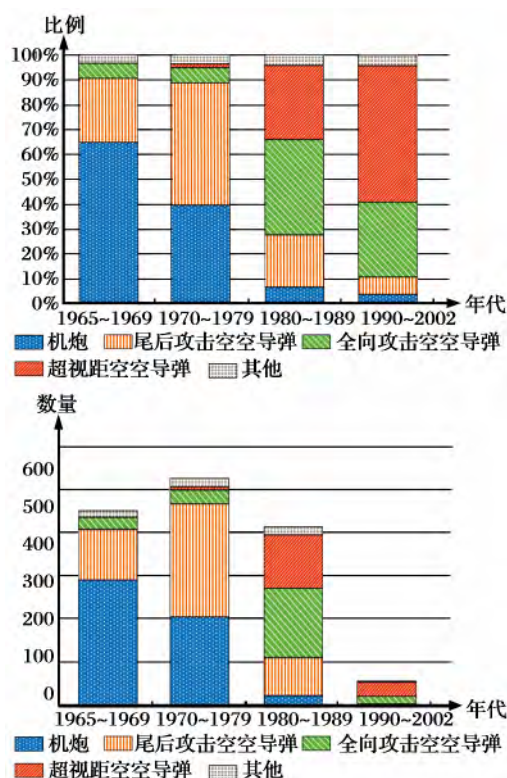


图7 空空导弹在不同时代空战中的应用

构成了英军取得空战胜利的一个决定性因素——战争期间英军“鹞式”系列战机共发射“响尾蛇”AIM-9L 导弹 26 枚,击落阿根廷各式战机 16 架,命中率达 61%,“响尾蛇”导弹一战成名^[19]。

同年的黎巴嫩战争中,以色列空军以传奇的贝卡谷地空战写下空战史新的篇章。此次空战中,以色列空军采用以空中预警+电子对抗/杀伤+无人机技术构成的空中打击体系,给第四次中东战争以来阿拉伯国家奉为圭臬的地面防空+空中拦截的防空体系以毁灭性的打击。AIM-9L、“怪蛇”3 等先进近距格斗空空导弹也再次大放异彩——它们所取得的战果达到以色列全部空战战果的 90% 以上。

1991 年的第一次海湾战争中,“麻雀”AIM-7F/M 等中距雷达导弹在超视距空战中所向披靡。据统计,1991 年 1 月 17 日~2 月 15 日,多国部队在空战中击落固定翼飞机与直升机 38 架,其中 26 架由“麻雀”空空导弹击落,其余有 10 架由“响尾蛇”近距格斗空空导弹击落,2 架由机炮击落。海湾战争标志着超视距空战时代的到来。F-15C 战斗机发射“麻雀”AIM-7F 导弹如图 8 所示。



图 8 F-15C 战斗机发射“麻雀”AIM-7F 导弹

这一时期之所以能够实现实战上的超视距空战,除了第三代雷达弹的性能有所提高外,还有赖于机载武器系统的技术进步。一方面,20 世纪 70 年代末,北约和华约空军开始装备带有脉冲多普勒雷达的性能优越的战斗机,能够探测 70 km 以外的敌机目标,同时这种雷达具有较好的下视探测能力。另一方面,从 60 年代末期开始,美军逐步解决了超视距目标识别问题,研制了 AN/APX-81,AN/ASX-1 等敌我识别系统,为在较远距离交战提供了基础。

第三代空空导弹的运用使空战战术发生了变革。以占位为主要目的的传统空战模式被颠覆,尾后攻击方式让位于全向攻击,超视距空战成为成熟的空战方式。马岛战争、海湾战争等战争实践证明:空中战争成为现代战争的主要战场,空空导弹

真正成为空战的主要武器,其性能高低对空战胜负起决定性影响。

3.4 信息化空战的新阶段

从 20 世纪 90 年代开始空战进入了信息化对抗时代,这个阶段的战争包括 1999 年的科索沃战争、2003 年的伊拉克战争。美国一直是这一时期战争的主角之一,具有明显的非对称特点,因此空战记录并不多,累计空战记录仅有 21 次,由机炮获得的空战胜利仅有 2 次。该阶段第四代空空导弹 AIM-120 开始进入实战,同时超视距空战比例开始超过近距格斗。这一时期空战的典型特点是具有信息化对抗特点,在美国参加的几次战争中,先进的预警机在其空战体系中占据中心地位,空战态势基本上处于单向透明,同时数据链技术广泛应用,在目标探测、指挥控制和多机协同中发挥重要作用。1999 年的科索沃战争,南联盟损失的 6 架米格-29 先进战机,大多是刚刚起飞就被预警机引导下的北约战机用 AIM-120 先进中距空空导弹击毁。面对强大的北约空中体系,南联盟战机在战场态势感知方面处于绝对劣势,大多数都是还未反应过来(发现被攻击)即被击毁。科索沃战争也是人类历史上第一场以空制陆的战争^[20-21]。

随着第四代空空导弹服役,在空战战术方面,以先进雷达型空空导弹为武器的超视距作战已成为空战主流;近距空战方面,越肩发射弥补了战斗机不能攻击后方目标的缺憾,进一步降低了对战斗机占位的需求。

科索沃战争、伊拉克战争等战争实践表明:现代战争很大程度上是空中实力的较量,空战可主宰战争全局进程与最终结果,以空制胜成为可能。空战已成为体系对抗,信息成为决定空战胜负的关键因素。

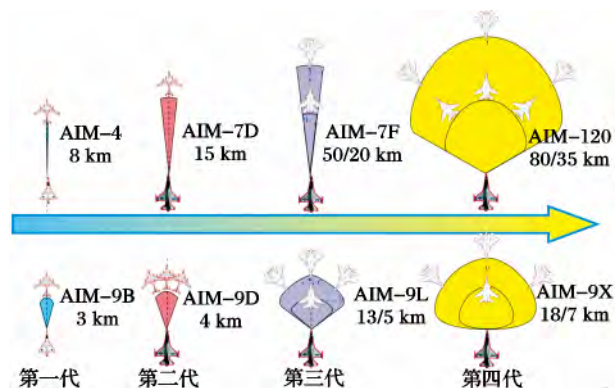
4 空空导弹的发展主线

战争是武器的试金石,空战制胜是对空空导弹发展的本质需求。从第一代到第四代的发展历程可以看出,空空导弹的发展始终遵循一条主线:以满足空中优势作战为目标,以提高作战使用灵活性和易用性为方向,以适应性能不断提高的目标、不断复杂的作战环境和不断改变的作战模式为需求,拓展相应的能力,发展相应的关键技术,形成相应的装备。四代空空导弹发展主线示意图见图 9。

4.1 从尾后攻击到全向攻击

任何时候,获得有利的占位都是空战胜利的

基础和关键。根据角度准则, 实战中飞行员总是想方设法绕到敌机尾后, 在进入敌机尾后的狭窄锥形区域后发射导弹或是机炮实施攻击。占位攻击对飞行员的格斗要求高, 由于对抗双方均处于高速飞行与快速机动中, 因此在实战中形成并长期保持有利占位十分困难。



注: 图中数字为典型最大发射距离, 全向攻击导弹斜杠前为迎头发射距离, 斜杠后为尾后发射距离。

图9 空空导弹的发展主线

不占位攻击是空战的不懈追求。实现不占位攻击, 就是要求空空导弹能够从目标各个方向实施攻击, 也即从尾后攻击变为全向攻击。

“响尾蛇”是美国空空导弹家族中历史最悠久、最重要的产品系列之一, 70 年的发展历程涵盖了第一代到第四代红外空空导弹, 其发展历程充分体现了从尾后攻击到全向攻击的发展主线。

第一代“响尾蛇”受技术水平限制, 导引头只能探测到飞机发动机尾喷口, 一般只能从尾后 $\pm 15^\circ$ 左右的狭小锥角范围内攻击目标。第二代“响尾蛇”提高了尾后攻击角度范围, 逐步达到 $\pm 50^\circ$ 左右。第三代“响尾蛇”首次近乎实现了对目标的全向攻击, 导弹导引头开始能够探测到飞机的蒙皮, 但迎头 $\pm 15^\circ$ 左右的小锥角范围内依然无法探测和攻击目标。第四代“响尾蛇”真正意义上实现了对目标攻击方位的全覆盖, 大大降低了对飞行员占位发射的要求, 基本可做到“看见即发射”^[3]。

4.2 从近距格斗到中远距拦截

空战是一项高风险、强对抗的活动, 对每个飞行员而言都是“生死关键 20 秒”, 在这电光火石的几十秒, 飞行员渴望的是在确保己方导弹可靠命中敌机的情况下能尽早脱离高风险的战斗, 最高境界是击落敌机而不被敌方攻击。“先敌发现、先敌发射、先敌命中、先敌脱离”作为空战制胜的“四先”准则, 一直指导着空空导弹的发展和作战使用。为实现“四先”, 追求射程一直是空空导弹

的发展方向^[22]。

第一代空空导弹射程较近, 只有数千米, 第二代射程增加, 但也不超过 20 km。这一时期空战主要是近距格斗, 也被称为“空中拼刺刀”, 飞行员的战术素养很大程度上决定着空战对决中的胜负, 对飞行员的胆量和意志是一个极大的挑战, 飞行员渴望能从更远的距离上攻击敌机。为了满足这一要求, 第三代中距空空导弹的最大发射距离增加到 50 km 左右, 第四代进一步达到了 80 km, 最新改进型甚至提高到 100 km 以上。同时载机的雷达火控、态势感知和敌我识别能力得到大幅提高, 为视距外空战提供了可能。在超视距空战时代, 态势感知能力是决定空战胜负的关键, 常常是飞行员还未反应过来就被击毁, 双方飞行员还没有见面战斗就结束了^[3]。

4.3 从定轴发射到离轴发射

空战自由是空战追求的重要目标。定轴发射源于机炮空战时代的旧思维和落后的使用模式, 也是空空导弹最初的截获和发射方式。定轴发射要求发射前需要长期将飞机机头稳定指向目标, 对飞行员占位要求高, 因此攻击时窗小、攻击时机不易把握。定轴发射从实战意义上讲距“易用”要求差距很大。

飞行员更希望不需要频繁调整机头指向就能对目标发起攻击。而且, 一旦空空导弹在发射前截获目标, 在整个空战过程中都能够稳定可靠而不丢失目标, 并且能够在较大角度范围内实现自动跟踪机动目标。这一实战需求促使离轴发射技术逐渐发展和成熟。

离轴发射是以载机为中心来描述对目标的空间角度攻击能力。站在飞行员的视角, 早期空空导弹从载机正前方的 $\pm 20^\circ$, 发展到第三代的载机正前方 $\pm 40^\circ$, 进而到第四代的载机前半圆 $\pm 90^\circ$ 。第四代近距格斗空空导弹改进型甚至具备越肩发射能力, 能够攻击载机侧尾后的敌机。

4.4 从简单环境到复杂环境

战场环境适应性贯穿空空导弹发展过程。空空导弹的发展与其他武器装备一样, 也是一个不断适应目标性能提高和作战环境变化的过程。空空导弹需要解决抗自然环境干扰和人工干扰问题。

自然环境对空空导弹影响很大, 主要体现在太阳、云背景、地海背景和复杂气候等方面。受地海背景影响, 第一、二代空空导弹不具有下视下射能力, 从第三代开始才具有“全高度”作战能力, 由于红外体制自身的缺陷, 红外导弹仍不能做到

全天候使用。

空空导弹的发展催生了机载干扰技术,并不断改进、升级、换代,使得空战环境更加复杂恶劣,机载干扰装备发展的速度远超过导弹,世界上研发和装备的干扰种类也远大于导弹。干扰和抗干扰的对抗一直伴随着空空导弹的发展。第一、二代导弹人工干扰环境相对简单,从第三代开始,抗干扰问题一跃成为空空导弹的主要挑战,持续改进抗干扰能力是其重要的发展方向。为了解决红外诱饵弹干扰问题,第四代红外弹采用成像体制,但随之出现了针对成像的面源红外诱饵弹;为了对抗欺骗式自卫干扰,第四代雷达弹采用单脉冲雷达测角体制,但随之出现了拖曳式诱饵干扰从角度上进行欺骗。美国几十年的电子战经验表明,没有哪种对抗措施永远有效!干扰和抗干扰技术作为“矛盾”的双方会持续发展下去^[23]。

5 空空导弹发展展望

空中战场仍将是未来战争的主要战场,夺取制空权仍将是空空导弹的主要使命,空战制胜仍是空空导弹的发展主线。与此同时,空天一体的战场特征、临近空间威胁的出现、第四代及第五代战斗机和无人作战飞机等高性能空战目标的出现,将强烈牵引着未来空空导弹的发展^[24-25]。

5.1 空空导弹的需求展望

未来空空导弹的发展需求可概括为“六化”,即远程化、自主化、网络化、小型化、跨域化、多用化。

(1) 远程化

空空导弹的发展和作战应用已经充分表明了远程化的趋势,导弹射程从第一代的不到 10 km 发展到第四代雷达型的 70 ~ 80 km,空战距离从视距格斗发展到超视距拦射,近距格斗的比例从 20 世纪 80 年代的 60% 下降到 90 年代的 30%。未来远程化的趋势会继续发展,表现在两个方面:一是现有的近距格斗和中远距导弹的射程会不断提高;二是远程空空导弹作为一个新的装备系列将会出现且发挥重要作用。

从空战的“四先”需求出发,不论是中远距导弹还是近距格斗导弹,远程化意味着具有先射优势,当这种优势发挥到极限,就意味着可以在敌方导弹发射之前完成己方的攻击过程,这是空战追求的最高境界。

从体系对抗角度出发,预警机、电子战飞机、空中加油机等大型飞机作为现代空战体系的信息

节点和物资节点,是空战体系的重要组成部分,若能对这类目标实施有效攻击则可以大幅提高体系对抗能力。这类飞机由于部署于空战体系后方且有战斗机的层层防御,一般很难对其进行中距和近距打击,发展射程达到 400 ~ 600 km 的远程空空导弹是打击这类目标的有效手段,可以对其形成有效威慑和拒止。未来随着远程空空导弹的小型化和低成本,甚至会出现大型飞机携带大量远程空空导弹的“导弹母机”,利用远程空空导弹进行远程火力压制和支援。

(2) 自主化

四代空空导弹的发展历史,实际上就是应用科学技术从人工向自动、从自动向智能、从智能向自主的发展过程,随着作战对抗环境的日益复杂和新型无人载机作战平台的需求牵引,空空导弹会继续向自主化水平逐渐提高的方向发展。

自主化的发展需求分为三个层次。第一个层次是导弹逐步降低对载机或其他平台提供的信息精度要求,在低信息精度下乃至部分信息缺失情况下能够攻击目标。第二个层次是载机或体系没有获得目标的准确信息,只有被攻击目标的大致方位或区域信息,导弹发射后,自主发现目标,自主识别目标,自主攻击目标,也就是说导弹带有一定的智能性。第三个层次是导弹实现攻击过程的高度自主化,其特点是对信息保障的依赖大幅度降低,导弹仅需接收攻击任务(如控制某个空域、攻击空域内的威胁目标)就可以实现自主攻击。需要特别说明的是自主化不是导弹自身的单打独斗,而是要和战场 C⁴ISR 系统提供的信息深度融合。

(3) 网络化

空战正由平台为中心向网络为中心过渡,体系对抗是现代空战的显著特点,信息化是武器装备的基本要求,空空导弹需要与作战体系实现有效的融合和对接,不断提高作战使用灵活性和空战效能。

数据链技术的应用,正使空空导弹逐步摆脱对载机平台的信息依赖,利用其他作战飞机探测的目标信息完成导弹发射,增强武器系统的先视先射能力;还可在发射后通过数据链路获取有效的目标信息,载机发射导弹即可脱离,增强载机的先脱离能力。

随着高动态作战网络技术的发展,空空导弹有望真正实现网络化,成为作战体系中的打击节点,导弹发射后自动入网,接受来自友机、预警机等多种来源的制导信息,使空中作战方式灵活高

效,甚至可实现多弹协同作战。随着天基探测技术的发展,空空导弹甚至可以直接利用卫星探测的目标信息完成发射和制导,实现“空天一体”。

(4) 小型化

空空导弹作为飞机携带的武器,要求挂机适应性好,本身就具有小型化的需求,随着作战平台的隐身和武器内埋需求,这一趋势变得更加迫切。

飞机平台的隐身化要求其空战武器内埋挂装,为了更最大限度地实现载机的作战任务,保证空战效能,要求其内埋的空空导弹体积更小、重量更轻,尽可能增加武器内埋挂装数量,不仅要实现内埋,还要实现高密度内埋。

(5) 跨域化

未来战场呈现出空天融合的趋势,作战空间空前扩大,不断向天域以及网电域拓展。多域目标打击能力是未来战场中空空导弹的另一重要能力,空空导弹应具有应对和打击空天飞行器、高超声速飞行器等空天目标以及网电域目标的能力,促使未来空空导弹向跨域化发展。

空天一体将成为未来战场的基本特征,空天正成为国家防御的主要威胁方向,空天优势将成为最大的军事优势。充分发挥空中平台部署灵活、攻击隐蔽等特点,空空导弹需要承担起空天防御的新职责。

临近空间作为一个新的作战空域,上可制天,下可制空、制海、制地,将成为未来军事斗争的热点。临近空间飞行器尤其是高超声速飞行器和高超声速武器将大量出现,空空导弹需要担负起临近空间防御的重任,具备对临近空间飞行器的打击能力。随着临近空间飞行平台的大量使用,临近空间作战将成为可能。

(6) 多用化

多用化的需求一方面来自于武器内埋,由于内埋弹舱体积有限,因此要求其武器在有限挂弹数量下最大程度地满足载机的作战任务需求。目前来看,有两个基本的发展方向,一是多任务,即空空导弹在具备强大的对空功能的同时,还具备一定的对地能力;二是双射程,即导弹同时具备中远距拦射和近距格斗的功能。

多用化的需求还来自于目标种类的多样性,传统上空空导弹主要用于对歼击机、轰炸机等进行攻击,同时还具有一定的拦截巡航导弹的能力。未来随着空中目标的种类扩展和性能提高,空空导弹需要打击包括隐身战斗机、无人作战飞机、超

音速巡航导弹等在内的多类目标。用空空导弹拦截空空导弹/地空导弹也是重要的发展方向。受载机挂载能力的限制,如何通过空空导弹的多用途,减小品种、增大数量,应对多变任务环境将成为重要的发展需求。

5.2 空空导弹的技术展望

空空导弹的发展高度依赖于技术进步。空空导弹涉及的技术领域主要有武器系统、导弹总体、导引、制导/导航/控制、推进、引战等,在一定时期内,这些技术领域将存在一个发展的支配性主题,未来空空导弹主要的技术发展方向可概括为六大支配性主题^[26-27]:

(1) 从串行设计到一体化设计

空空导弹的小型化、高性能、多用途的发展趋势将对总体设计、集成和验证提出更高的要求。总体设计时需要在总体性能的各品质要素之间、总体性能与发射平台能力之间进行综合权衡。在采用冲压发动机后,气动、制导控制和发动机几个分系统高度耦合,传统的气动-推进-制导控制系统的串行设计将无法实现设计需求,需要对弹道、气动、推进、控制等系统采用一体化设计。

(2) 从单模导引到多模导引

随着作战目标、干扰环境的复杂化,单模导引逐渐呈现不足。与单模导引相比,多模导引可以获得更多的目标信息,通过对这些信息的综合处理可以提高导引头对隐身目标和弱小目标的探测能力。此外,多模导引还可充分利用多维信息,提高导弹抗干扰能力,这在未来的强电磁干扰环境下尤其重要。

(3) 从单机制导到网络制导

随着空战态势的复杂化,协同探测和网络制导成为新型空战模式。采用网络化制导,空空导弹可与战斗机、预警机、电子侦察飞机以及地面、艇载乃至星载平台的传感器联网,形成以网络为中心的网络瞄准体系,通过多传感器数据融合,将不断修正的目标位置实时传送给空空导弹,对目标实施快速精确攻击,从而扩大其使用范围,提高作战效能和使用灵活性。

(4) 从单一气动控制到异构多执行机构控制

随着作战空域的拓展和对控制精度要求的提高,基于单一的气动控制系统逐渐难以满足要求,需要采用两套及以上工作机理不同、动态特性差异显著的控制系统,实现全域高精度控制。

(5) 从能量固定到能量管理

未来空空导弹的多任务、远射程、轻重量的要

求需要采用先进的发动机技术,要求发动机具有灵活的能量管理能力,以适应各种高度和速度下的推力要求,同时提高发动机的比冲,增大总冲重量比。

(6) 从独立制导引信到制导引信一体化

随着高速目标和弱小目标的发展,传统侧视引信难以及时探测目标。采用制导引信一体化技术后,传统的引信硬件将不复存在,导引头将替代其近距探测功能;引信软件也将与弹载飞行控制软件等集成,利用导引头和制导控制系统提供的信息控制战斗部的爆炸,实现精确引炸。

6 结 束 语

回顾历史,空空导弹经过 70 年的发展和实战磨练,完成了四代发展,形成了远、中、近距体系配套的武器系列,成为导弹大家族中独具特色的门类。审视现在,第四代空空导弹已成为主战装备,第五代空空导弹初现端倪。伴随着空中目标性能的不断提高、空战战术的不断发展以及新技术、新材料的不断应用,空空导弹正在高速发展。展望未来,空中战场仍是未来战争的主战场,空空导弹作为夺取制空权的主要武器将获得更大的发展,空天一体将成为未来空中战场的基本特征,空空导弹将在制天、制临、制信息作战中发挥新作用、履行新使命。

参考文献:

- [1] Wang T. 响尾蛇的故事 [EB/OL]. (2013-01-14) [2015-12-10]. http://www.afwing.com/intro/sidewinder/sidewinder_1.html.
- [2] Wang T. 从猎鹰到阿姆拉姆——雷达制导空空导弹列传 [EB/OL]. (2013-01-14) [2015-12-10]. http://www.afwing.com/weapon/radar-guided-aa-missiles_1.html.
- [3] 魏毅寅. 世界导弹大全 [M]. 北京: 军事科学出版社, 2011.
- [4] 王祖典, 韩振宗. 世界飞机武器手册 [M]. 北京: 航空工业出版社, 1998.
- [5] 杨卫丽, 王祖典. 航空武器的发展历程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2007.
- [6] 白晓东, 刘代军. 空空导弹 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.
- [7] Stillion J, Perdue S. Air Combat Past, Present and Future [R]. Rand, Project Air Force, 2008.
- [8] 金先仲. 机载制导武器 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
- [9] 李德顺, 赵景增. 航空兵与空战 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2007.
- [10] 郑志伟. 空空导弹系统概论 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997.
- [11] 樊会涛. 空空导弹方案设计原理 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2013.
- [12] 任森, 王秀萍. 国外空空导弹发展动态研究 [J]. 航空兵器, 2013 (5).
- [13] 樊会涛, 王秀萍, 任森. 美国先进中距空空导弹“AIM-120”的发展及启示 [J]. 航空兵器, 2015 (1-2).
- [14] 樊会涛, 闫俊. 相控阵制导技术的发展现状和展望 [J]. 航空学报, 2015 (9).
- [15] Bonann P. The Art of the Kill [M]. Spectrum HoloByte, 1993.
- [16] Stillion J. Trends in Air-to-Air Combat Implications for Future Air Superiority [M]. Washington D. C., CSBA, 2015.
- [17] 林仁华. 高技术空战 [M]. 北京: 科学普及出版社, 1995.
- [18] Nordeen L O. Air Warfare in the Missile Age [M]. Smithsonian Books DC, 2010.
- [19] 房兵. 马岛战火启示录 [M]. 西安: 未来出版社, 2014.
- [20] 高桂清, 赵后随, 韩奎侠. 导弹制胜论 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2012.
- [21] 刘克俭, 王修柏. 第一场以空致胜的战争: 科索沃战争 [M]. 北京: 军事科学出版社, 2008.
- [22] 樊会涛. 空战制胜“四先”原则 [J]. 航空兵器, 2013 (1).
- [23] 阿尔弗雷德·普莱斯. 美国电子战史 [M]. 北京: 解放军出版社, 1999.
- [24] 朱里奥·杜黑. 制空权 [M]. 曹毅风, 华人杰, 译. 北京: 解放军出版社, 2005.
- [25] 樊会涛. 空空导弹 21 世纪展望 [J]. 航空兵器, 2001 (1).
- [26] 崔颢. 空空导弹未来能力与其关键技术 [J]. 国际航空, 2011 (7).
- [27] 樊会涛. 第五代空空导弹的特点及关键技术 [J]. 航空科学技术, 2011 (3).