

信息科学与工程系列专著

机载导弹抗干扰技术

Anti-jamming Technologies of Airborne Missile Systems

方斌 张艺瀚 陈少华 刘万俊 敖齐 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

信息科学与工程系列专著

机载导弹抗干扰技术

Anti-jamming Technologies of Airborne Missile Systems

方 斌 张艺瀚 陈少华 刘万俊 敖 齐 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了机载导弹抗干扰技术。全书共9章,内容包括:机载导弹及其抗干扰技术概述,红外制导抗干扰,电视制导抗干扰,激光制导抗干扰,雷达制导抗干扰,数据链抗干扰,引信抗干扰,智能抗干扰及其关键技术,机载导弹抗干扰试验方法及能力评估,机载导弹抗干扰仿真。

本书可供从事机载导弹抗干扰研究及相关工作的工程技术人员以及高等院校相关专业的师生参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机载导弹抗干扰技术 / 方斌等编著. —北京: 电子工业出版社, 2016.1

ISBN 978-7-121-27669-9

I. ①机… II. ①方… III. ①机载导弹—抗干扰措施 IV. ①TJ762.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 285531 号

责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn) 特约编辑: 王沈平

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 14.5 字数: 370 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 2 000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

武器系统抗干扰研究贯穿于武器系统的全寿命周期过程,涉及武器系统典型干扰环境的分析、抗干扰要求的确定、抗干扰措施的选择以及抗干扰能力的评定等。在武器系统设计时最好保证在受到各种干扰情况下,系统总体性能指标不受影响;最低也要保证在受干扰时,系统仍然保持一定的作战能力,能够对目标构成威胁。导弹作为航空武器系统的核心组成部分,其抗干扰性能一直受到高度关注,其中包括抗电子干扰、抗自然干扰、抗计算机病毒干扰和反隐身目标等方面。

电子干扰与抗干扰是发展迅速、变化快的技术领域,其特点是针对性、保密性、瞬变性都极强,因此所讨论的技术措施只能是基本原则或在某个时期、某个系统中可能行之有效的方法。当然,没有干扰不了的系统,也没有抗不掉的干扰,掌握了抗干扰技术的一些基本规律,对于导弹武器系统的发展和抗干扰技术的研究都具有重要的借鉴意义。

本书在概括机载导弹发展、作战使用、导弹抗干扰要求和设计方法以及导弹制导系统和引信抗干扰总体情况和发展趋势的基础上,对机载导弹典型制导体制和引信的抗干扰问题进行具体介绍和分析,并结合工程实践介绍评估准则、方法以及典型型号仿真建模、仿真试验方法和典型结果;但不具体论述体制抗干扰和战术抗干扰问题。

本书是在空军工程大学兵器科学与技术专业《机载导弹抗干扰技术》教材的基础上改编而成的。方斌负责全书编写工作并统稿,各章编著人员如下:第1、8章,方斌、陈少华;第2、5、6、7章,方斌;第3、9章,方斌、敖齐;第4章,张艺瀚、方斌、刘万俊。张艺瀚、敖齐、门相禹和孙亚群等同志承担了部分文档的编辑和插图的绘制工作。

魏贤智教授、王学奇副教授和王宏柯副教授对本书编写大纲进行了认真审查,并给出有益的修改建议;方洋旺教授、王栋主任、程嗣怡副教授对本书的编写、出版给予了大力支持。在此一并表示衷心感谢。

本书的出版得到了空军工程大学航空航天工程学院创新基金的资助。

在本书编写过程中,参考或直接引用了国内外的大量文献、资料,特别是宇航出版社出版的《防空导弹武器系统电子对抗技术》、《智能导弹》和航空工业出版社出版的《空空导弹方案设计原理》,但还有部分文献出处已难以查实,在此对相关作者的辛勤劳动表示衷心感谢!不妥之处,欢迎读者朋友提出宝贵意见和建议。

编著者

2015年3月于西安

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 机载导弹及其分类	(1)
1.1.1 空空导弹	(2)
1.1.2 空地导弹	(6)
1.2 机载导弹作战程序	(14)
1.2.1 空空导弹作战程序	(14)
1.2.2 空地导弹作战程序	(18)
1.2.3 干扰条件下的作战程序	(19)
1.3 抗干扰要求及抗干扰设计	(20)
1.4 导弹武器系统抗干扰设计特点	(22)
1.5 抗干扰总体设计的基本步骤和内容	(24)
1.5.1 作战任务和战术指标的确定	(24)
1.5.2 电磁干扰环境及分析	(24)
1.5.3 系统组成与工作体制的选择	(25)
1.5.4 系统抗干扰设计	(25)
1.5.5 分系统抗干扰设计	(26)
1.5.6 系统抗干扰性能评定	(27)
1.6 抗干扰总体设计的一般方法	(27)
1.7 导弹制导系统抗干扰分析	(30)
1.7.1 自主式制导系统	(31)
1.7.2 遥控制导系统	(32)
1.7.3 寻的制导系统	(34)
1.7.4 复合制导系统	(36)
1.8 导弹引信系统抗干扰分析	(37)
1.8.1 引信概况	(37)
1.8.2 引信抗干扰	(39)
1.9 电子干扰	(40)
1.9.1 干扰机理	(41)
1.9.2 光电干扰	(44)
1.9.3 雷达干扰	(48)
1.9.4 通信干扰	(55)
1.10 电子战发展趋势	(59)
参考文献	(63)

第2章 红外制导抗干扰	(64)
2.1 红外制导概述	(64)
2.1.1 红外导引系统的特点和工作波段	(64)
2.1.2 红外制导技术的发展	(65)
2.2 红外导引系统的抗干扰要求和目标识别方法	(67)
2.2.1 抗干扰要求	(67)
2.2.2 目标识别方法	(68)
2.3 四元红外导引头抗干扰技术	(70)
2.3.1 四元红外导引头的工作原理	(70)
2.3.2 四元红外导引头的抗干扰原理	(71)
2.3.3 抗干扰能力的技术实现	(75)
2.4 红外成像导引头抗干扰技术	(77)
2.4.1 抗背景和噪声干扰	(80)
2.4.2 抗诱饵弹和烟雾干扰	(81)
2.4.3 抗激光致盲	(82)
2.4.4 导弹抗干扰逻辑设计	(83)
2.5 双色红外成像导引头抗干扰技术	(86)
2.5.1 双色红外成像抗干扰原理	(87)
2.5.2 双色波段的选择	(87)
2.5.3 双色红外成像导引头对抗点源红外诱饵弹的途径	(88)
2.5.4 双色红外成像导引头面临的挑战	(88)
参考文献	(89)
第3章 电视与激光制导抗干扰	(90)
3.1 电视制导抗干扰	(90)
3.1.1 电视制导原理	(90)
3.1.2 电视制导抗干扰	(91)
3.2 激光制导抗干扰	(92)
3.2.1 激光制导原理	(93)
3.2.2 激光制导抗干扰	(95)
参考文献	(96)
第4章 雷达制导抗干扰	(97)
4.1 雷达导引头概述	(97)
4.1.1 雷达导引头的发展现状与趋势	(97)
4.1.2 雷达导引头设计要求	(101)
4.2 雷达抗干扰原理	(105)
4.3 雷达导引头抗干扰原理	(107)

4.3.1	雷达导引头抗干扰措施	(107)
4.3.2	主动/半主动雷达导引头抗干扰	(111)
4.3.3	被动雷达导引头抗干扰	(118)
4.4	雷达导引头抗干扰实例分析	(120)
	参考文献	(128)
第5章	数据链抗干扰	(129)
5.1	数据链应用	(129)
5.1.1	空空导弹数据链	(129)
5.1.2	空地导弹数据链	(130)
5.2	数据链抗干扰技术	(132)
5.2.1	上行线抗干扰技术	(134)
5.2.2	下行线抗干扰技术	(135)
5.2.3	数据链抗干扰技术的发展趋势	(135)
	参考文献	(136)
第6章	引信抗干扰	(137)
6.1	引信概述	(137)
6.2	无线电引信抗干扰	(138)
6.2.1	导弹无线电引信的工作特点	(138)
6.2.2	导弹无线电引信抗干扰的主要技术措施	(140)
6.2.3	无线电引信抗干扰技术的发展方向	(142)
6.3	激光引信抗干扰	(142)
6.3.1	激光引信及其干扰	(142)
6.3.2	激光引信系统结构	(143)
6.3.3	实体目标回波信号特征分析	(144)
6.3.4	目标识别算法	(144)
6.3.5	抗云雾、目标尾气干扰	(146)
6.3.6	抗阳光干扰	(146)
6.4	制导引信一体化抗干扰	(147)
	参考文献	(149)
第7章	智能抗干扰及其关键技术	(150)
7.1	导弹智能抗干扰与智能突防概念	(150)
7.2	无线电系统智能抗干扰	(152)
7.3	光学系统智能抗干扰	(153)
7.4	智能抗干扰和智能突防系统的组成	(155)
7.5	智能抗干扰和智能突防系统各组成部分的功能	(155)

7.6 智能抗干扰和智能突防的关键技术	(156)
参考文献	(158)
第8章 机载导弹抗干扰能力评估	(159)
8.1 试验方法	(159)
8.1.1 抗干扰实弹试验	(159)
8.1.2 抗干扰外场模拟试验	(160)
8.1.3 抗干扰仿真试验	(160)
8.1.4 综合试验方法	(163)
8.2 抗干扰效果评估准则	(164)
8.2.1 功率准则	(164)
8.2.2 概率准则	(164)
8.2.3 效率准则	(165)
8.3 制导武器的主要性能指标	(166)
8.3.1 截获概率	(166)
8.3.2 制导误差和脱靶量	(167)
8.3.3 命中概率	(168)
8.3.4 杀伤概率	(169)
8.3.5 攻击区	(170)
参考文献	(172)
第9章 机载导弹抗干扰仿真	(173)
9.1 电子对抗对空军作战行动效能影响的定量分析	(173)
9.1.1 电子对抗影响作战行动及其结果的途径	(173)
9.1.2 电子对抗作战效能的分析步骤与方法	(174)
9.1.3 电子对抗对空中截击行动的影响	(177)
9.1.4 电子对抗对空地突击行动的影响	(179)
9.2 机载导弹抗干扰仿真建模	(184)
9.3 四元红外制导空空导弹抗干扰仿真	(185)
9.3.1 仿真模型	(186)
9.3.2 仿真算法	(187)
9.3.3 影响因素	(187)
9.3.4 诱饵弹投放	(188)
9.3.5 干扰/目标能量比	(189)
9.4 红外成像制导空空导弹抗干扰仿真	(190)
9.4.1 仿真假设	(191)
9.4.2 基于运动特征的诱饵弹检测方法	(192)
9.4.3 基于辐射特征的诱饵弹检测方法	(197)
9.4.4 基于上升沿的诱饵弹检测	(199)

9.4.5 诱饵弹综合检测方法 (203)

9.4.6 抗干扰仿真 (205)

9.5 雷达制导中距空空导弹抗干扰仿真..... (206)

9.5.1 交叉眼干扰技术 (207)

9.5.2 目标运动模型 (208)

9.5.3 抗干扰仿真 (208)

9.6 空地导弹抗干扰仿真 (218)

9.6.1 空地导弹攻防对抗仿真系统建模分析..... (218)

9.6.2 基于 UML 的攻防对抗仿真系统分析 (219)

9.6.3 基于 HLA 的攻防对抗仿真系统设计..... (221)

参考文献..... (222)

第1章 概述

机载导弹是当今世界发展最快的武器装备之一，在现代武器装备中占有重要地位。在大力发展机载导弹技术与装备的同时，世界各国也非常重视机载导弹对抗/干扰装备技术、战术与装备的发展。可谓有矛就有盾，导弹像任何其他装备一样，也不是尽善尽美的，也存在明显的弱点。例如，它对目标侦察定位要求高，不良气象条件和恶劣电磁环境会限制其作战使用，其电子系统容易遭到干扰和破坏，等等。实践证明，由于现代隐身技术、伪装技术、干扰技术和装备的高度发展和应用，机载导弹常常由于自身缺陷而在作战环境中“发挥失常”^[1]。例如，在越南战争中，美军综合使用了多种雷达对抗措施，曾一度使对手的地空导弹杀伤概率下降到2%；相反，在海湾战争中，由于电子干扰的掩护，美军的F-117A隐身轰炸机出动数千架次，执行防空火力最强地区的轰炸任务，却无一损伤^[2]。

1.1 机载导弹及其分类

导弹是装有战斗部、动力装置，由制导系统控制飞向目标的无人驾驶飞行器，主要由5部分组成：弹体、推进系统、制导系统、引战系统和弹上电源。机载导弹又称为航空导弹，一般都是由航空器悬挂、发射的，包括空对空导弹和空对地导弹（本书中空对地导弹等同于空面导弹）。空对空导弹是指从航空器上发射，用以攻击空中目标的导弹，是现代歼击机的主要攻击武器，也可作为歼击轰炸机、强击机的自卫武器，简称空空导弹。空对地导弹是指从航空器上发射，用以打击地面（这里也包括水面、海面）的固定或低速移动目标的导弹，简称空地导弹。

弹体的任务是将组成导弹的各个部分牢固地连接成一个整体，并使导弹形成一个良好的气动力外形。弹体是承受各种载荷的结构部件，它必须有足够的强度和刚度，这样才能保证弹上各种设备的安全和正常工作。此外，弹体还要采取抗激光加固、抗电子干扰及隐身（减小雷达反射截面和红外线辐射特征）措施。导弹的弹体包括弹身、弹翼和舵面等部分。弹身用于安装战斗部、控制设备、燃料和动力装置等，并将弹翼和舵面等部件连成一个整体。弹翼和舵面用来操纵导弹和使导弹稳定飞行。

推进系统是指为导弹飞行提供动力的系统，即导弹飞行的动力来源。它包括发动机、推进剂或燃料储箱、辅助设施（如供油系统、支架和附件）等。导弹发动机是推进系统的关键设备，主要有火箭发动机（固体火箭发动机、液体火箭发动机）、空气喷气发动机（涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、冲压喷气发动机）和火箭-冲压组合发动机等。

制导系统是导弹武器系统的重要组成部分，其任务是引导和控制导弹准确地击毁预定的目标。为了能够将导弹导向目标：一方面需要不断地测量导弹实际运动情况与所要求的运动情况之间的偏差，或者测量导弹与目标的相对位置与偏差，以便向导弹发出修正偏差或跟踪目标的控制指令；另一方面，还需要保证导弹稳定地飞行，并操纵导弹改变飞行姿态，控制导弹按所要求的方向和轨迹飞行而命中目标。完成前一个任务的部分是导引系统，完成后一

个任务的部分是控制系统，两个系统合在一起构成制导系统。制导系统的组合和类型很多，它们的工作原理也多种多样。制导系统有的全部装在弹上，如自动寻的制导系统；有的控制系统装在弹上而导引系统在地面（或空中飞机）的指挥站内，如地空导弹、空面导弹中的遥控制导导弹等。

引战系统由引信、“安全与解除保险机构”和战斗部组成，负责在目标附近位置按照预定要求引爆战斗部，毁伤目标。战斗部是导弹摧毁目标的直接执行者，其种类很多。根据装填物性质和使用目的的不同，可分为核装药战斗部、常规战斗部和特种战斗部（生物、化学、光电无源干扰等）3类。引信通过其信息系统来获取目标的各种信息，从而感知目标的存在，识别目标并确定目标的位置（距离和方位），用于产生战斗部起爆信号，其最重要的特征是“信息的获取和控制”。引信有近炸引信、触发引信和自炸引信等。

对于飞机、导弹等空中目标，由于这些目标体积小，且机动性好，所以采用非触发式引信。当导弹被导引至目标附近，目标处于战斗部杀伤范围内时，引信引爆战斗部杀伤目标。由于空中目标一般都能反射电磁波和辐射红外线，因而可选用无线电非触发式引信或者红外线非触发式引信。有些对空导弹采用触发式引信作为辅助装置，以提高引信的可靠性。根据地（海）面上目标特性的不同，对地（海）导弹分别使用爆破战斗部、聚能破甲战斗部及核战斗部。爆破战斗部一般采用触发式引信，聚能破甲战斗部一般采用触发式压电引信。对地导弹的大型爆破战斗部通常采用触发式电容器引信，这主要是因为导弹的过载系数较小的情况下，它比较容易解决平时安全与发射后可靠解除保险这个矛盾。多个电容器引信可以通过电气线路组成一个有机的整体，互相联动，能较好满足大型爆破战斗部在起爆问题上的特殊要求。

1.1.1 空空导弹

1.1.1.1 空空导弹的分类及发展历程

按空战使用方式，空空导弹可分为格斗导弹、拦射导弹和截击导弹（其实，美国空空导弹代号中的“AIM”，即 Air Interception Missile，就是空中截击导弹的意思）。格斗空空导弹主要用于目视范围内的近距空战，也常常称为近距格斗空空导弹，一般采用被动红外制导。拦射空空导弹，一般用于目视范围外的超视距空战，常常称为超视距空空导弹或中距拦射空空导弹，多采用雷达制导。从所攻击目标的距离上看，近距空空导弹一般打击 20 km 以内的目标，中距空空导弹一般打击 100 km 以内的目标，而远距空空导弹可对 100 km 以外距离的目标进行打击。远距空空导弹主要用于截击远距离来犯目标，故常常称为远距截击空空导弹，最大发射距离可达 100~150 km 以上；常采用复合制导体制，导弹发射质量大，主要采用半主动或主动雷达末制导，其中，主动雷达末制导和多模复合末制导是发展趋势。

现代近距格斗空空导弹的最小发射距离为 300~500 m，最大发射距离为 15 km 左右，机动性能好；采用先进红外导引头，截获目标区域大，灵敏度高，具有离轴发射能力；载机不做机动即可攻击前方 120° 以内的目标，减小了发射导弹时对载机的限制，从而提高了空战格斗能力。

中距拦射空空导弹的发射距离为 20~100 km，射程为 10~50 km。这类空空导弹多采用半主动雷达制导方式或主动雷达末制导的复合制导方式。半主动雷达制导空空导弹需依靠机

载雷达搜索、发现、跟踪目标，以保证较大的作用距离及射程；其具有较高的精度，具有下射能力，且具有一定的全天候、全高度、全方位超视距空战的能力；抗干扰能力较强，机动性好，最大过载为 $20g \sim 30g$ ，主要用于攻击超低空入侵的歼击轰炸机和巡航导弹。但其致命的缺陷是在导弹命中目标前，载机必须用雷达照射目标，制约了载机的生存能力。因此，目前各国均在重点发展和装备主动雷达末制导和多模复合末制导的中远距空空导弹。

在军事需求牵引下，空空导弹得到飞速发展，已装备了四代空空导弹产品^[3,4]。

1. 第一代空空导弹（1946—1956 年）

第一代雷达型空空导弹，它攻击的目标是自卫火力较强的亚声速轰炸机；采用尾后攻击方式，对目标攻击区限制在尾后 $\pm 45^\circ$ 范围内。制导方式主要为雷达波束制导或半主动雷达制导。推进装置为单级推力固体火箭发动机，战斗部为高能破片式。导弹的射程约为 $3.5 \sim 8 \text{ km}$ ，最大飞行马赫数 (Ma) 为 2.5。典型型号有美国的“猎鹰” AIM-4、苏联的“碱” PC-1Y。这一代雷达弹机动能力差，抗干扰能力差，很快被第二代雷达弹取代。

第一代红外型空空导弹初步解决了对机动目标的自主跟踪，是机载武器发展的重大突破。导弹使用硫化铅光敏元件，探测波长短、灵敏度低，只能从目标的尾后进行攻击；导弹的机动性差，主要作战对象是轰炸机。典型型号有美国的“响尾蛇” AIM-9B 和中国的 PL-2 空空导弹。

2. 第二代空空导弹（1957—1966 年）

第二代雷达型空空导弹用于拦截攻击超声速轰炸机和尾后攻击战斗轰炸机，其制导方式主要为雷达半主动制导，推进装置为单室双推固体火箭发动机，战斗部出现了连续杆式战斗部，导弹射程超过了 20 km ，最大飞行马赫数达到 3；典型的型号有美国的“麻雀” AIM-7E 和法国的 R530 等。这一代雷达弹由于采用半主动制导，而导引系统雷达体制为隐蔽式圆锥扫描，所以它的抗干扰能力较前一代有提高；加之导引系统有测速功能，为导弹实现全向攻击提供了技术基础。

第二代红外型空空导弹通过采用制冷探测器，探测灵敏度和跟踪能力比第一代红外导弹有一定的提高，可以从尾后稍宽的范围内对目标进行攻击，主要的作战对象是超声速飞行的轰炸机和早期的歼击机；典型型号有美国的“响尾蛇” AIM-9D/E/G/H/J 和中国的 PL-5 乙空空导弹。

3. 第三代空空导弹（1967—1976 年）

第三代雷达型空空导弹攻击的目标主要是具有电子干扰能力的超声速机动目标，其制导方式采用半主动与被动跟踪干扰源相结合的体制，推进装置和战斗部与第二代基本相同；但导引系统和无线电引信都采用了技术上更先进的脉冲多普勒体制，这使导引精度和抗干扰能力优于第二代雷达弹。导弹最大发射距离可达 $40 \sim 50 \text{ km}$ ，典型型号有美国的“麻雀” AIM-7F/M、英国的“天空闪光”、苏联的“白杨树” P-27、意大利的“阿斯派德” (Aspide) 和中国的 PL-11 等。

第三代雷达弹的显著特点是具有三全作战，即全天候（晴、雨天）攻击目标、全方位攻击目标（迎头、侧向或尾追）、全高度攻击目标（从低于或高于目标的高度上攻击）。

在这一阶段，还发展了远程空空导弹，如美国的“不死鸟” AIM-54，它采用半主动中制

导加主动雷达末制导方式，最大发射距离可达 150~200 km。

第三代红外型空空导弹使用了碲化铟(InSb)制冷探测器，探测灵敏度和跟踪能力较之第二代红外导弹有较大的提高，能对目标实施全向攻击。同时，导弹的机动性已经能够保证近距格斗作战的要求，导弹的位标器能够和雷达随动，能够离轴发射，方便飞行员捕获战机。其典型型号有美国的“响尾蛇”AIM-9L/M、以色列的“怪蛇”3 和俄罗斯的 P-73 空空导弹。

4. 第四代空空导弹(1977—2015 年)

第四代雷达弹相对于前三代雷达型导弹在性能上有质的变化。虽然第三代雷达型导弹相对第一、二代最大发射距离、制导精度和抗干扰能力已有很大提高，但由于采用半主动雷达制导，导弹发射后直至命中目标前，载机不允许脱离。这种制导体制不仅限制了最大发射距离，同时使载机在导引导弹飞向目标期间，自己也成了敌机的靶机，载机生存能力降低。四代弹采用复合制导体制和主动雷达末制导方式，它不仅可使发射距离增大，同时也提高了载机的生存力。

第四代雷达弹采用程序控制初制导、捷联惯导加数据链修正中制导、主动雷达末制导。它不仅具有三代弹的三全功能(全天候、全方位、全高度)，而且具有自己的特色：

- (1) 可远距离拦击目标，其拦击距离为 50~80 km；
- (2) 可进行多目标攻击，在飞机武器火控系统的配合下，可同时攻击 6~8 个目标；
- (3) 具有发射后不管功能，且发射后不管的距离可达 30 km 左右，这一距离大体相当于第三代雷达弹的最大发射距离；
- (4) 采用控制与导引系统抗干扰一体化设计技术，增强了抗干扰能力。

其典型型号有美国的先进中距空空导弹 AIM-120、俄罗斯的“蛙蛇”P-77 和法国的“米卡”(MICA)等。

第四代红外型空空导弹采用了焦平面阵列成像探测器，具有全向攻击能力和很强的抗干扰能力；位标器具有 $\pm 90^\circ$ 的跟踪视场，能够和头盔瞄准具随动，做到“可视即可射”，即对载机前方接近 180° 范围内的目标都能攻击，甚至包括在载机侧面平行飞行的目标；导弹的高机动性使导弹具有“越肩发射”能力，即导弹发射后能够快速做 180° 转向，追踪和载机迎面交会后相背飞行的目标。其典型型号有美国的“响尾蛇”AIM-9X、以色列的“怪蛇”4/5 和英国的 AIM-132 空空导弹。第四代空空导弹于 20 世纪 90 年代陆续服役，并逐渐成为当前各国空军的主战装备。

随着科学技术的飞速发展、目标性能的大幅度提高，以及空战战术模式的逐渐改变，空空导弹将会有更大的发展。

1.1.1.2 空空导弹的发展趋势

未来的空空导弹，将在第四代的基础上进一步发展。

红外近距格斗导弹主要发展方向：

- (1) 采用多元探测器和成像技术，改进信息处理技术，以提高探测能力和抗干扰能力；
- (2) 增加导引头作用距离，以便实现真正的“迎头攻击”；
- (3) 采用推力矢量与气动力相结合的复合控制方式，以提高导弹的机动能力；
- (4) 采用一体化设计技术，利用弹载计算机，改进控制系统性能，以提高引战配合

能力；

(5) 实现制导与引战一体化，采用定向爆破战斗部，以提高导弹的毁伤效能。

中远距拦射导弹主要发展方向：

(1) 大力发展复合制导技术，并实现网络化制导；

(2) 增大发动机总冲，以便增大射程；

(3) 采用各种抗干扰技术，以提高导引精度；

(4) 发动机采用少烟或无烟装药，以提高发射导弹的隐蔽性等。

1.1.1.3 空空导弹武器系统的组成与功能^[4]

各种飞机都可能成为空空导弹的载体和发射平台。目前或在今后一段时间内，空空导弹攻击的主要目标是第三代战斗机、第四代战斗机和武装直升机等作战机种，同时考虑对预警飞机、电子干扰机和巡航导弹的攻击。为了有效实现对目标的攻击，在作战使用时空空导弹需要一个完备的系统支撑。一般空空导弹武器系统由导弹火控系统、导弹发控系统、地面测试设备和综合保障设备以及空空导弹与载机的接口等组成。

1. 导弹火控系统

导弹火控系统的功能是实现对目标信息的获取、显示和处理，对发射平台参数的测量和处理，计算射击诸元，进行射前检查，战术决策以及实施发射导弹的任务，是导弹武器系统的重要组成部分，是发挥导弹作用的关键环节。随着导弹性能的提高、功能的增加和使用范围的扩展，导弹火控系统的功能越来越多，性能越来越先进。导弹火控系统主要由目标搜索跟踪设备、火控计算机和显示器等组成。

2. 导弹发控系统

导弹发控系统由发射装置和机上发控线路组成。发射装置由发射架和发控电路盒组成：发射架实现导弹与飞机的机械连接，用于悬挂和发射导弹；发控电路盒和机上发控线路用于导弹供电、信号传输和转换，以及执行导弹发控程序等。

3. 地面测试设备和综合保障设备

地面测试设备包括导弹地面测试设备和发射装置地面测试设备等，其中导弹地面测试设备又分外场测试设备、内场测试设备、工厂级测试设备，发射装置地面测试设备又分外场测试设备和内场测试设备。综合保障设备主要包括校准设备、导弹起吊设备、对接台、运弹车、供电设备、供气设备、油源设备等。

4. 空空导弹与载机的接口

空空导弹与载机的接口主要包括机械接口、电气接口、射频接口和功能接口。

(1) 机械接口。机械接口是指机载武器系统悬挂导弹，从机械上与导弹匹配，以保证导弹挂机和离架时载机与导弹的安全及导弹正常离架，即导弹与机载发射架之间的接口。

(2) 电气接口。电气接口包括导弹的脐带插座与发动机点火插座。通过电气接口可向导弹输送必需的电气信号，规定了输送信号的时序关系、阻抗匹配关系及精度要求。同时，反映了导弹送给火控系统的反馈信号，说明了反馈信号的信号特征，即导弹与机载火控平显及

发射控制盒之间的电气信号关系。

(3) 射频接口。射频接口是指机载火控系统向空间辐射的照射信号与导弹接收机的匹配关系,主要用于半主动式雷达寻的空空导弹,初、中制导采用数据链、无线电指令+惯性制导的导弹,如英国的“天空闪光”,美国的 AIM-7“麻雀”和 AIM-54“不死鸟”。导弹的射频接口主要规定了照射信号的频率特性、功率特性及噪声特性,以保证导弹离架后能正确地跟踪目标反射的多普勒频率。

(4) 功能接口。功能接口即为导弹发射程序,一般包括导弹准备程序和导弹点火程序。

1.1.2 空地导弹

空地导弹是现代战略轰炸机、歼击轰炸机(战斗轰炸机)和强击机的主要机载武器。战略轰炸机利用空地导弹轰炸敌方地面或水面、水下的战略、战术目标。歼击轰炸机主要利用空地导弹对敌战役战术纵深内的地面和水面目标实施轰炸和突击。强击机装备的空地导弹主要用以攻击各种战术目标。

空地导弹最初是由航空火箭与航空制导炸弹相结合而诞生的。德国首先研制出世界第一枚空地导弹,它的主要设计者是赫伯特·A·瓦格纳博士。1940年7月,瓦格纳等人在 SC-500 型普通炸弹的基础上,研制了装有弹翼、尾翼、指令传输线和制导装置的 HS-283A-0,它可看作最早的空地导弹,于 1940 年 12 月 7 日发射试验成功。1943 年 7 月,无线电遥控的 HS-293A-1 型导弹研制成功;8 月 27 日,德国飞机发射 HS-293A-1 击沉了美国的“白鹭”号护卫舰,这是世界上首次用导弹击沉敌舰,它也是最早的空舰导弹。

20 世纪 50 年代后,空地导弹有了迅速发展。在此后的多次局部战争中,空地导弹取得显著战绩。空地导弹主要是随地空导弹等防空武器的发展而发展的。空地导弹的发展趋势是提高抗干扰能力、突防能力和杀伤目标的能力,要尽量满足不同种类飞机的使用,攻击不同种类的作战目标。

在空地导弹技术发展方面,一方面重视新的军事理论、军事需求对空地导弹发展的牵引作用,同时也非常重视技术发展在空地导弹发展过程中的引领作用,以在技术和需求两个层面形成良性的互动机制。国外重点是以提升空地导弹的飞行性能、打击精度、毁伤效果、装备成本、作战效能等为重点,以信息技术、微电子技术、光电技术、先进材料及制造技术、推进技术、航空航天技术等技术领域的发展为支撑,一方面应用于现役装备的持续改进,另一方面通过技术推动和需求牵引的良性互动,发展新型武器装备。其主要技术应用趋势体现在以下几个方面^[5]:

(1) 信息化:空地导弹武器将更多采用信息化技术,以适应未来网络中心战及战场灵活打击目标的要求;可作为战场网络中的一个节点,执行攻击单个目标的任务,还具有弹间自组网、协同搜索和协同攻击能力,实现弹群一次协同打击多种、多个目标的任务。

(2) 隐身化:空地导弹将具有更高的雷达、红外、可见光隐身性能,以避免来自地面和空中的各种威胁,突防能力得到进一步增强。

(3) 智能化:采用先进复合制导技术和智能化 ATA 技术,实现对地面复杂背景下的多种目标的自主识别和精确打击。

(4) 高速化:为了攻击时间敏感目标,需要精确制导武器准备时间和启动时间短、速度快。导弹的高速化发展将极大地缩短攻击过程时间,从而使敌方防御系统反应时间不足,增

强导弹的突防能力。

空地导弹分类方式复杂，导弹种类也很多，射程和用途各不相同，战术技术性能差别较大。按作战使用，可分为战略空地导弹和战术空地导弹：战略导弹指打击战略目标的导弹，战术导弹用于打击战役、战术纵深内的目标。按攻击的目标，可分为反辐射导弹、反舰导弹、反坦克导弹和多用途（通用型）空地导弹。按飞行轨迹，可分为弹道式导弹和巡航式空地导弹：弹道式导弹指推力终止后，大部分弹道符合自由抛物体轨迹的导弹；巡航导弹指在大部分飞行段中做等速等高飞行的导弹，射程较短的称为飞航导弹。表 1-1 给出了空地导弹的分类情况。需要注意的是，不同的分类方式之间存在重叠，分析说明时请注意辨别。

表 1-1 空地导弹分类

分 类 标 准	类 别	说 明	典 型 型 号
按作战使用	战略导弹	最大射程大于 1 000 km	AGM-86B
	战术导弹	最大射程小于 1 000 km	AGM-65A/B
按飞行轨迹	弹道导弹	空射弹道导弹仅研制过，未列装	
	巡航导弹	其中射程较短的称为飞航式导弹	AGM-86B
按射程	远程导弹	射程 1 000 km 以上	AGM-86C
	中程导弹	射程 100~1 000 km	X-59
	近程导弹	射程 100 km 以内	AGM-65E
按攻击目标	反辐射导弹	攻击雷达目标	AGM-88 “哈姆”
	反坦克导弹	攻击硬装甲目标	AS-12 “北方”
	反舰导弹	攻击舰艇目标	KC-1 空舰导弹

1.1.2.1 战略空地导弹

战略空地导弹已经发展了四代，分别介绍如下^[4]。

1. 第一代战略空地导弹

第一代战略空地导弹是能够运载核弹头的无人驾驶飞机，采用惯性制导，体积大、命中精度低（圆概率偏差 CEP=300~1 800 m）、突防能力差，最大射程在 1 000 km 以内；典型的有美国的 AGM-28A/B “大猎犬”和苏联的 AS-3（X-20）“袋鼠”导弹，20 世纪 60 年代初期开始列装。

2. 第二代战略空地导弹

第二代战略空地导弹是超音速空地导弹，仍采用惯性制导，高空巡航飞行，最大飞行速度为 $Ma = 2.5 \sim 3.0$ ，摆脱了飞机结构，体积、重量大大减小，最大射程小于 650 km，命中精度为 200~500 m；典型的有美国的 AGM-69A/B “斯腊姆”、法国的 ASMP 和苏联的 AS-6 导弹，20 世纪 70 年代初期开始列装。

3. 第三代战略空地导弹

第三代战略空地导弹是空射巡航导弹，采用惯导+地形匹配制导，具有良好的隐身性能，并具有体积小、重量轻、雷达散射截面积小、超低空地形跟随飞行等特点，最大射程 2 500~3 000 km，命中精度 30~50 m，20 世纪 80 年代初期开始列装；典型型号有美国的 AGM-86B

和苏联 AS-15 (X-55/65) 巡航导弹。

4. 第四代战略空地导弹

第四代战略空地导弹是先进巡航导弹, 具有更好的隐身性能、更高的命中精度 ($CEP \leq 20\text{ m}$) 和更大的射程, 最大射程 $3\,000\text{ km}$, 20 世纪 90 年代初期开始列装; 典型型号有美国的 AGM-129。

1.1.2.2 战术空地导弹

各国从 20 世纪 50 年代开始研制装备战术空地导弹, 至今已发展装备了四代^[4]70 余种, 成为空中力量对地攻击的重要武器。

1. 第一代战术空地导弹

第一代战术空地导弹是为了提高临空攻击精度、减少攻击机的损失而设计的, 采用目视瞄准和跟踪、无线电指令制导, 只能在昼间良好气象条件下使用, 命中精度 CEP 达几十米; 典型的有美国的 AGM-12, 20 世纪 60 年代初开始投入装备。

2. 第二代战术空地导弹

第二代战术空地导弹是为了改善攻击精度 ($CEP \leq 10\text{ m}$), 增大载机退出攻击距离 (距目标 3 km 以上) 设计的, 采用半自动瞄准、跟踪的无线电指令制导; 半主动激光制导或电视制导; 典型的有法国的 AS-30 和美国的 AGM-65A/B 等型号, 20 世纪 70 年代初开始投入装备。

3. 第三代战术空地导弹

第三代战术空地导弹的发展分近程型和中程型两类, 20 世纪 80 年代初期开始装备。

近程型战术空地导弹的主要特点是降低发射高度, 增大发射距离, 以便在超低空防空火力圈 (高度 100 m 以下, 距目标 5 km 以内) 外发射; 典型的有美国的幼畜 AGM-65E 和法国的 AS-30L 等。

中程型战术空地导弹的主要特点是在地面防空火力圈外发射 (最大射程大于 60 km), 采用捕控指令电视制导, 命中精度为 $CEP \leq 5\text{ m}$; 典型的中程型战术空地导弹有美国的 AGM-53A “秃鹰” 和俄罗斯的 X-59 等。

4. 第四代战术空地导弹

第四代战术空地导弹的发展为近程型、中程型和远程型三大类, 20 世纪 90 年代初期开始装备。

近程型战术空地导弹的发展重点: 一是满足夜间不良气象条件下和全天候的使用要求, 二是进一步改善、提高命中目标精度。典型的型号有美国的 AGM-65D/F 和 AGM-65H 导弹。

中程战术空地导弹的发展重点是增大攻击距离 ($>120\text{ km}$), 解决夜间作战使用问题; 典型的中程战术空地导弹有美国的 AGM-84E 等, 20 世纪 90 年代初开始投入装备, 曾在海湾战争中首次使用。

远程战术空地导弹是为了适应防空火力圈不断扩大的趋势, 改善载机的生存能力, 满足打击战场纵深重要目标的需求, 在战略巡航导弹基础上发展起来的; 重点是增大射程 ($300\sim$