

面对空武器系统 对飞机的威胁分析

主编译 林光宇 顾国忠



中国航空工业总公司科技局

V 42/1004

V42
1004-1

内
注意保存

面对空武器系统对飞机的威胁分析

〔高生存力研究课题组〕编译



200429491

中国航空工业总公司科技局

1999 • 3

200429491

内 容 提 要

本书详细介绍了面对空武器系统的组成,特征和分析方法。第一章叙述了面对空武器系统分析中所遇到的不同的威胁特征。第二章分析了防空过程的三个阶段:探测、控制和交战。第三章分析了战场环境的主要影响因素。第四章防空火炮系统,包括射弹飞行、模拟、估算脱靶距离分布及命中概率误差。第五章,介绍了面对空导弹不同制导方法及如何模拟两种主要的制导规律:CLOS 和 PN 制导律。第六章介绍了导弹飞行模拟的主要方法,第七章介绍了制导系统中两种主要误差源:回波和多次反射的影响。第八章介绍了控制破片战斗部和引信模拟方法。第九章给出了防空系统主要模拟方法。第十章介绍了任务模型及应用。第十一章是防空系统测试及评估。

本书最后编辑有附表 1“世界各国地对空导弹数据库”和附表 2“世界各国高炮数据库”是作为飞机生存力威胁分析中的参考。

本书内容广泛,图文并茂,叙述精炼。

本书对象是从事飞机生存力设计中进行面对空武器系统威胁研究和防空系统研制的工程技术人员以及相关专业的大专院校师生,以及从事军事科学研究人员参考。

面对空武器系统对飞机的威胁分析

中航总〔高生存力设计技术研究〕课题组编
中国航空工业总公司科技局出版
第六一一研究所印刷厂印刷

1999 年 10 月出版

1999 年 10 月印刷

150.1

前 言

生存力学科是研究飞机躲避和承受人为敌对威胁环境的能力。飞机生存力评估是生存力研究的一个重要方面,通过评估可以找出飞机与敌方防空系统遭遇时的生存力的大小、可以发现飞机生存力设计中的薄弱环节,并提出改进设计。飞机生存力评估在飞机设计和生存力研究中占有重要地位。

飞机生存力评估的基本方法是通过与敌方面对空武器系统交战来估算飞机生存力。因此,面对空武器系统分析是飞机生存力评估的重要技术基础。面对空武器系统分析涉及控制、气动、引信、战斗部、雷达等多学科领域,具有较强的综合性和实践性。

本着从威胁特征、战场环境和防空过程入手,论述了不同面对空武器及制导方式下击毁飞机的概率计算及任务模型的建立。分别从防御方和攻击方两方面分析了面对空武器系统的特性及不同措施对防空效果的影响。并对攻击方法、航迹选择及击毁飞机概率的计算都有详细论述。本书插图丰富,举例较多,可作为高生存力技术研究及防空系统研究的参考书。

本书是在中国航空工业总公司科技局的领导下,由六一一研究所和六〇三研究所共同编译。最后全书由六一一所林光宇主编校完成。本书的编译出版得到中国航空工业总公司科技局崔德刚局长、魏金中处长、金淑惠的关心和指导。

在本书编译出版过程中,苏红莲、陈冰、刘武强、徐学民等同志参加了本书的部分校对工作,赵新华同志完成了部分描图工作,程海琳、付清、朱晓娟同志完成了部分打字工作,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编译水平有限,错误或不当之处在所难免,欢迎使用过程中批评指正。

目 录

1 威胁特征	(1)
1.1 飞机任务	(1)
1.2 空对面导弹特征	(4)
1.3 面对面导弹特征	(7)
1.4 可探测性和信号特征	(9)
1.5 机动性	(17)
1.6 易损性	(18)
2 防空过程模型	(21)
2.1 发现和识别威胁	(21)
2.2 跟踪传感器和武器的控制	(27)
2.3 攻击威胁目标	(32)
3 作战环境	(36)
3.1 大气效应	(36)
3.2 雷达跟踪密度	(39)
3.3 辐射密度	(39)
3.4 干扰	(41)
3.5 诱饵	(43)
3.6 地形	(44)
4 防空火炮	(49)
4.1 防空火炮系统特征	(49)
4.2 运动方程	(54)
4.3 表定修正量	(57)
4.4 主要误差	(64)
4.5 脱靶距离分布	(65)
4.6 命中概率	(72)
5 面对空导航制导原理	(79)
5.1 制导基本原理	(79)
5.2 瞄准线制导	(81)
5.3 瞄准线制导导弹的制导过程	(82)
5.4 比例导航	(85)
5.5 比例导航制导的应用	(88)
5.6 制导模拟	(90)
5.7 制导扰动和误差分析	(94)
5.8 目标机动样例	(96)
6 导弹元素模型和配平飞行模拟	(99)
6.1 质量特性	(100)

6.2	推进系统	(103)
6.3	气动力和气动力矩	(109)
6.4	导弹火控和瞄准	(118)
6.5	俯仰飞行模拟	(119)
6.6	全程寻的导弹的抬高角	(122)
6.7	运动包线生成	(124)
7	制导和控制	(127)
7.1	制导过程	(127)
7.2	制导技术	(127)
7.3	制导模拟介绍	(128)
7.4	噪声模拟	(133)
7.5	面雷达跟踪器	(134)
7.6	半主动雷达导引头	(139)
7.7	红外导引头	(146)
7.8	制导计算机	(148)
7.9	弹体模拟	(149)
7.10	自动驾驶仪动力学	(151)
8	战斗部和引信	(157)
8.1	破片战斗部	(157)
8.2	冲击波	(163)
8.3	连续杆战斗部	(166)
8.4	弹头起爆引信	(166)
8.5	近炸引信	(166)
9	防空系统模拟和交战应用	(173)
9.1	交战模拟特点	(173)
9.2	模拟和分析的目的	(175)
9.3	相对与绝对性能测定	(176)
9.4	威胁确定	(177)
9.5	交战模拟结构	(177)
9.6	探测顺序	(177)
9.7	控制顺序	(179)
9.8	交战过程	(181)
9.9	数据要求	(187)
9.10	惰性威胁与活性威胁	(188)
9.11	特定模拟与通用模拟	(189)
9.12	交战级的模拟	(189)
9.13	更高一级模型的应用	(189)
9.14	定性模拟与蒙特·卡罗模拟	(189)
10	防空任务模拟	(191)
10.1	任务分析目标	(191)

10.2	任务分析综述图	(193)
10.3	单个威胁与单个系统方法学	(194)
10.4	多威胁与单一防空系统	(199)
10.5	网络防空系统	(201)
10.6	用网络系统进行任务模拟	(203)
10.7	战役模拟	(204)
11	防空系统测试和评估	(211)
11.1	防空系统采购	(211)
11.2	防空作战要求	(211)
11.3	概念探索和系统研究	(212)
11.4	防空系统测量及额定值	(212)
11.5	关键技术和测试目标	(213)
11.6	试验大纲	(213)
11.7	试验目标物	(214)
11.8	试验设备	(215)
11.9	计时设备	(218)
11.10	数据缩减	(219)
11.11	事件重构	(219)
11.12	传感器误差	(220)
11.13	试验数据分析	(221)
11.14	系统分析原则	(223)
附表 1	世界各国地对空导弹数据库	(225)
附表 2	世界各国高炮数据库	(248)
附录 A	缩略语词解	(271)

1 威胁特征

面空武器系统用于保卫地面和海面设施免受空中攻击,空中攻击涉及运输和投放弹药攻击坦克、卡车、道路、机场、部队、工厂、舰船等,总之为任何使部队能继续作战的设施。

空中威胁包括飞机、空一面导弹和面一面导弹。威胁特征是指识别和确认可能的任务包线、可探测性、机动性和易损性。

防空系统分析的目的是预估系统的效能。对防空系统效能的度量有几种方法,但它们都有这样或那样地归结为阻止目标完成任务的概率。

本章讲述了飞机对抗地面和海面目标的任务;与武器发射包线有关的飞机末段操纵;空一面导弹特征以及面一面导弹特征。

接着介绍了可探测性、机动性和易损性。可探测性是很重要的,因为我们不能朝看不见的东西射击。威胁的机动性可降低防空系统功能如跟踪、预测和制导,威胁易损性是指对被射弹碎片、冲击波造成的结构损坏的敏感指标。

1.1 飞机任务

飞机是一种有人驾驶飞行器,用于把装载从一点运到另一点再返回。在武装冲突中,飞机飞离己方阵地,在敌方空域执行指定任务,再返回己方基地。“基地”是指供飞机用的任何陆基或舰船平台。

“任务”是指按计划用一架或多架飞机完成对指定战术或战略目标的攻击,高层任务包括摧毁目标、侦察和空运。

执行面目标的摧毁任务(特别是用投弹方式),大多数情况下需在防空系统覆盖区重复多次,表 1.1 描述了一些战术任务的特征,这些战术任务的主要目的是摧毁目标。

飞机可投放多种武器和弹药,包括空一面导弹、制导炸弹、非制导炸弹、火箭。这些武器中,特别是大型空一面导弹,可能受到防空系统的攻击。然而,若可能,击中“箭手”比击中“箭”更理想,因为箭比箭手多,且箭手可不停地返回。执行任务通常需多架飞机,每架参战飞机都执行特定任务——投放武器、制空战斗、空中加油或场外干扰。

1.1.1 任务阶段

飞机执行任务分为几个阶段,典型阶段包括:

- 滑行和起飞
- 爬升和加速
- 巡航进入目标地区
- 投放武器
- 规避机动或空战
- 返回基地
- 待机
- 着陆滑行

假设飞机飞离和返回在同一基地,从基地到目标的距离必须小于或等于飞机作战半径,作战半径取决于武器载重、油量、巡航高度、巡航速度、最大动力时间分配、待机时间分配。如果执行任务中可空中加油,作战半径将明显增加,文献[1]提供了计算方法和例子。

飞机的加速性能和高过载机动能力,对其在防空火炮和导弹火力下的生存力有直接影响。飞机的加速性和滚转性能在执行任务过程中不断变化。任何一架飞机,性能是重量、高度、速度的函数。包线范围内,这三个参数由任务计划者控制。表 1.2 提供了一些飞机的设计数据和性

能数据。

1.1.2 任务承载

飞机的有效载荷是飞机最大重量和空重之差。战斗机的挂载指其载弹量。总有效载重由乘员、燃油和弹药量组成。有时还包括外部探测装置：悬挂于机翼下的干扰吊舱或光电传感器吊舱。

载重必须包括充足的燃油使得飞机能从基地到目标并返回，足够的弹药使得飞行有价值。除了这两项基本需求外，载重分配是灵活的和需经权衡的。载重分配是任务计划过程中的一部分，目的是使被摧毁目标数与飞机的损失数之比最大。其基本条件是带足够能完成飞行、保留最大推力逃避和待机的燃油。载重最终选择应考虑距离、防空系统、高度、燃油、弹药及外部探测装置的不同组合的相对作用。

表 1.2 中的数据与文献[1]中方法联立来分析燃油消耗和可能的任务挂载。此分析包括任务高度剖面，有时用“高一低一高”来描述。由于任务高度剖面不同引起燃油消耗量的变化，因此影响了承载。推力—燃油消耗率(TSFC)给出单位推力的燃油消耗率(单位 kg/h)。用推力燃油消耗量图可计算任务燃油消耗和作战半径。

典型发动机的推力燃油消耗量值为巡航时 0.8，加力 2.0[1]。例如，一台发动机推力为 3000kg(29430N)，推力燃油消耗量值 0.8，则燃油消耗率为 2400kg/h。推力燃油消耗量随使用条件而变化，必须从发动机制造厂或详细的工程分析中获得。

表 1.1 飞机战术任务

任务	目的	作战半径	飞机类型	空中发射武器	防空系统组成
近距空中支援 (CAS)	破坏或摧毁友军附近的敌军和设施	短	直升机和高机动固定翼飞机	反坦克导弹、炸弹、火箭、航炮扫射	小火力防空火炮 短距面空导弹
遮断	在其输送到前线之前，破坏或摧毁敌军设施、供给、人员。目标常多变或不在固定位置	中	固定翼飞机	重型炸弹 反坦克导弹或集束炸弹	在入侵段用中远程面空导弹，末段时用中短程面空导弹同防空火炮一起防御
压制敌防空 (SEAD)	削弱、破坏或摧毁敌防空系统	中	固定翼飞机	电子战技术，包括诱骗和干扰；用反雷达导弹破坏、摧毁防空点，或至少抑制其工作	中远程面空导弹，特别是从攻击点发射
空中攻击 (OCA)	破坏或摧毁敌方正在基地的飞机，破坏跑道，使其需一段时间修复	中—远	固定翼飞机	重型炸弹或用于破坏跑道的特型炸弹，如 Durandel	在入侵段用中远程面空导弹；末段用中短程面空导弹和防空火炮组合
攻击舰艇	破坏或摧毁敌军运设备或供给的商船。破坏或摧毁战船来阻止海基攻击和减少攻击商船的飞机损耗	中—远	固定翼飞机或直升机	采用主动雷达制导、红外寻的或反辐射制导反舰导弹；特殊时使用短程武器如炸弹或战区导弹	用中远程舰基面空导弹对付入侵的飞机和导弹。导弹接近舰艇时用海军火炮对付

表 1.2 典型飞机参数

机型	机翼展 (m)	机翼面积 (m ²)	展弦比	空重 (kg)	最大起飞重量 (kg)	最大机内燃油 (kg)	发动机数	最大推力 (kN)	加力推力 (kN)	最大过载 (g)	最大马赫数	实用升限 (km)	最大作战半径 (km)	RCS (m ²)
Su-27	14.95	62.04	17450	30000	9965		2	150	246	9.0	2.35	18	1500	10.8
Su-35	15.16	62.02	18400	25000	9400		2	156	266	10.0	2.2	18	3000	10.8
MIG-29	11.36	35.2	8175	18000	4600		2	100	162.8	9.0	2.3	17	2000	9.2
MIG-31	13.46	61.9		21825	41150	16350	2	186	300	5.0	2.83	20.6	2100	12.8
F-15E	13.05	56.5	3.0	14379	36741	5952	2	141.24	243.24	9.0	2.4	15	1270	12.6
F-16C	9.45	27.87	3.0	8627	16100	3162	1		122.8	9.0	2.0	15.24	925	4.9
F/A-18C	11.43	37.16	3.5	10455	22328	4926	2		142.4	7.5	1.8	15.24	1070	7.5
F-117A	13.20				23814		2		96.0	0.9				
F-22A	13.11	77.11	2.23	15400	28000	11340	2				2.0			
B-2A	52.43			49900	168430	90720	4	169			0.8	15.24		
JAS39	8.0	25.1	2.55	5080	16000	2400	1	53	80	9.0	2.0	17	1700	4.8
Rafale	10.91	46.0		9060	21500	4230	2	116	174	9.0	2.0	18	1093	5.6
Mirage2000	9.13	41.0	2.03	7500	17000	3145	1	64.3	95.1	9.0	2.2	18	700	5.8
EFA	10.50	50.0	2.21	9750	21000	4000	2		180	9.0	2.0		556	

表 1.2 包括典型作战载重条件下作战半径的名义值。文献[1]中方法或飞行手册中的数据将用于计算任何承载条件下作战半径。

作战半径和挂载的关系很重要，因为它决定了对目标投放给定弹药所需的飞机数，这就影响了防空系统计算的同时存在的威胁数目，及在给定时间单独攻击的数目。

期望的投放剖面同武器发射距离，使飞机可量化最终飞行航线和武器投放点。图 1.1 包括了大多数由战斗机运载的武器投放距离以及防空武器系统距离的典型数据，图 1.2 为一个典型轰炸任务剖面。

注：每类典型武器射程范围示意图条

弹道导弹

巡航导弹

反舰导弹

战区导弹

炸弹

防空武器射程范围

0.1 1 10 100 1000 10000

发射距离

图 1.1 地面、海上攻击武器与防空武器射程范围比较

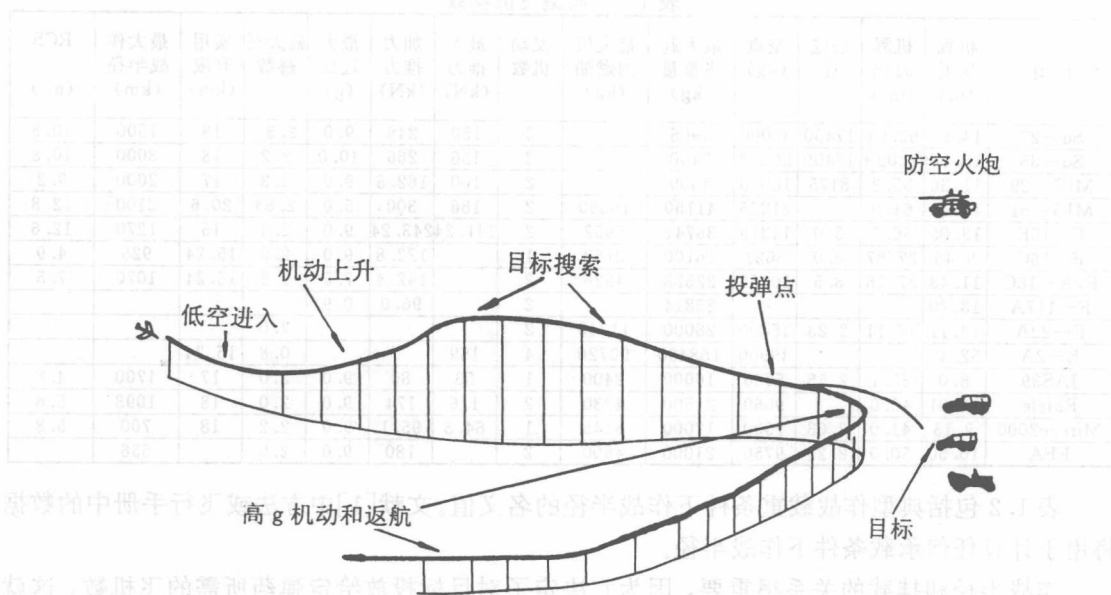


图 1.2 投掷短程武器飞机典型飞行剖面

1.2 空对面导弹特征

多数空对面导弹发射距离比炸弹和炮弹远。对制导空一面导弹，从飞机截获目标到发射的时间较短，因为载机没必要导航到某投放点。这两个因素使得飞机更少暴露于防空系统之下。

空对面导弹有 4 种：战区、反舰、反幅射、战略。战区类导弹设计用于攻击坦克，也适用于攻击许多地面和海上目标，表 1.3 到表 1.6 列举了各种用途导弹的数据，这些数据来自文献 [2]。

表 1.3 空一面导弹特征(战区)

导弹	产地	目标	发射平台	制导类型	L (km)	D (m)	发射重量 (kg)	战斗部重量 (kg)	最大射程 (km)	速度 (m/s)	最大飞行时间 (s)
霍特 HOT2	法	坦克	直升机	光学跟踪,有 线制导	1.27	0.15	23.5	2.4	4	250	16
AT-6 燃箱(Sagger)	俄	坦克 战车	直升机	半主动激光 或指令	1.8	0.14	30	—	8	300	27
北方 AS.30 或 AS30L	法	坚固 目标	固定翼 飞机	捕控或半主 动激光	3.89	0.342	520	240	11	510	22
AGM-65 Maverick 幼畜	美	坦克 掩体 桥梁 舰船	固定翼 飞机	A/B 电视 C/E 半主动 激光 D/F/G 红外 图象	2.49	0.305	210	56 136 56(D) 136 (F,G)	20 低/慢 40 高/快	—	—
AGM-114 Hellfire 海尔法	美	坦克 战车	直升机, 固定翼 飞机	半主动激光, IR/IIR/ ARM 正在研 制中	1.64	0.33	45	7.25	7	380	18

1.2.1 战区导弹

图 1.3 给出了有代表性的战场用导弹的投放。同时列出轰炸和扫射作为对比。从表 1.3 我们可看出大多数战区用导弹即使在最大射程，其飞行时间都很短。它们尺寸较小，对它们的探测、截获、跟踪、击毁都很困难，这类导弹中大多数采用光电系统进行目标发射定位和制导，因此易受光电干扰影响。

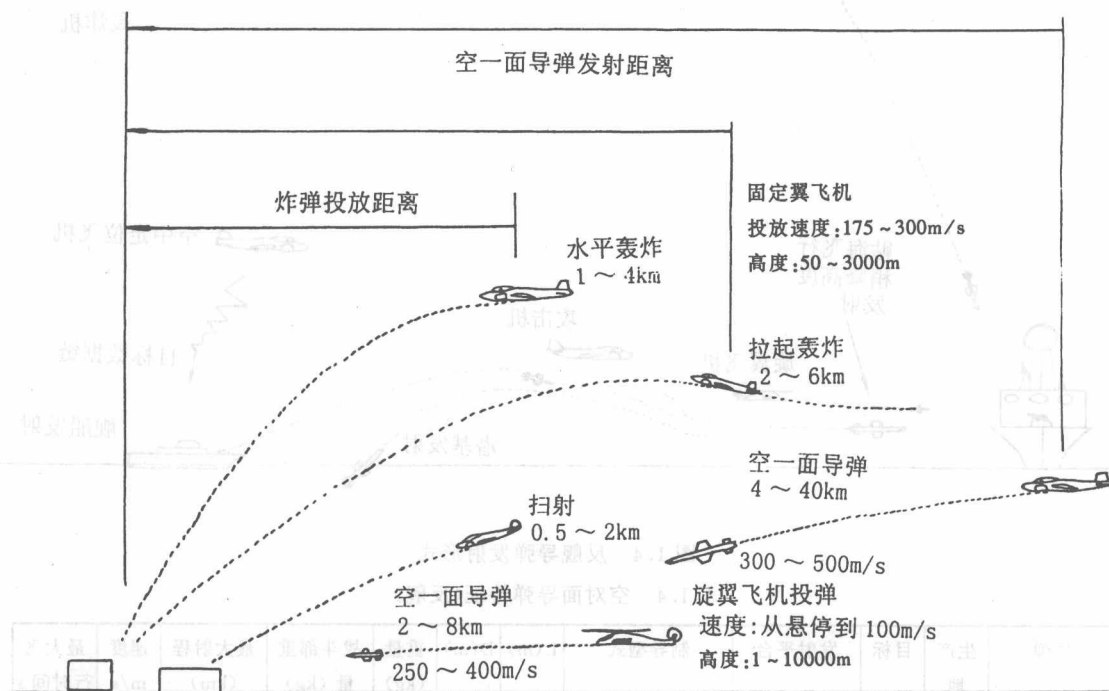


图 1.3 战区武器发射形式

1.2.2 反舰导弹

图 1.4 所示为反舰导弹各种投弹和攻击目标的途径。海洋提供给被探测舰船一个平整一致的背景且无地形障碍。相比地面战场目标，海上目标可在更远距离被探测到。目标定位几乎都用雷达。许多反舰导弹在飞行初采用惯性制导，在最后几千米采用末段寻的导引头减小脱靶距离。在终制导中大多采用主动雷达和被动红外传感器。

反舰导弹属于中短程武器，典型数据见表 1.4，反舰导弹比战场格斗弹尺寸长，飞行时间也长，对舰艇防空系统是个敏感目标。实际上，海基防空系统的设计主要是要能有效防御反舰导弹。

1.2.3 反辐射导弹

反辐射导弹 (ARM) 可攻击微波发射装置，特别是雷达。反辐射导弹常应用于陆上战场和海上作战，因为这两个环境都有雷达辐射。表 1.5 列出有代表性的机载反辐射导弹。

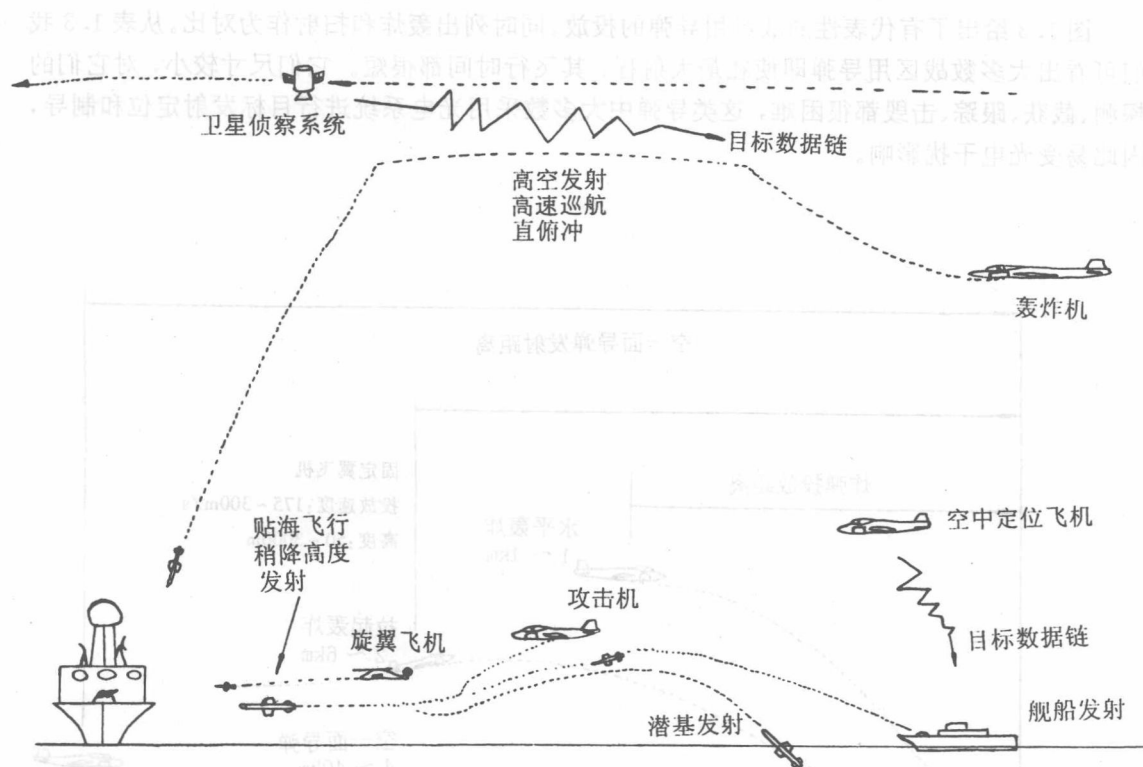


图 1.4 反舰导弹发射形式

表 1.4 空对面导弹特征(反舰)

导弹	生产地	目标	发射平台	制导型式	L(m)	D(m)	重量(kg)	战斗部重量(kg)	最大射程(km)	速度 m/s	最大飞行时间 s
海鸥 (sea skua)	英	舰船	直升机, 固定翼飞机	半主动雷达高度表	2.5	0.25	145	30	25	316	79
Am89 飞鱼 (Exocet)	法	舰船	直升机, 固定翼飞机	主动雷达(X波段)高度表	4.69	0.35	655	165	50 低 70 高 316	158 221	
捕鲸叉/ 斯拉姆 (AGM 84A)	美	舰船	固定翼飞机	主动雷达高度表	3.84	0.34	522	222	100	255	392
KCP-5 (AS6)	俄	舰地 雷达	固定翼飞机	中段惯导主动雷达或反辐射	10.0	0.9	4800	1000	700 高 250 低	850 408	823 612

陆上战场, 反辐射导弹不受发射距离限制, 这是因为识别雷达目标不成问题。一旦目标进入导弹视角且导引头得到跟踪信号, 导弹将发挥效力。

防空系统即为反辐射导弹的攻击目标, 特别是如表 1.1 描述的在压制敌方防空系统时。

1.2.4 战略导弹

目前用于攻击地面战略目标的是各种巡航导弹, 巡航导弹不是飞机, 常以喷气发动机为动力以亚音速获得长飞行距离, 它们常设计成按事先装订好的数据精确攻击目标, 表 1.6 提供了两个典型机载战略导弹。

使用惯导及地形匹配组合导航使导弹目标偏差很小，足以击毁纵深目标。

巡航导弹的显著特征是其能沿基于一系列编入惯导系统的航路点的曲折路线飞行。经过对防空系统位置的计算，导弹可避开该系统，这样减少了被探测和交战可能，从而提高了导弹的生存力，因此很有效。

表 1.5 空对面导弹特征(反辐射)

导弹	生产地	目标	发射平台	制导型式	L(m)	D(m)	重量(kg)	战斗部重量(kg)	最大射程(km)	速度m/s	最大飞行时间 s
AST-1228 阿拉姆 (ALARM)	英	雷达	固定翼飞机 直升机	反辐射	4.6	0.23	200	—	20	680	29
AGM-88A 哈姆 (HARM)	美	雷达	固定翼飞机	反辐射寻的	4.17	0.254	362	66	80	680	118
阿玛特 (Armat)	法	雷达	固定翼飞机	反辐射寻的	3.87	0.4	550	150	120	3.6	380

表 1.6 空对面导弹特征(战略)

导弹	生产地	目标	发射平台	制导型式	L(m)	D(m)	重量(kg)	战斗部重量(kg)	最大射程(km)	速度m/s	最大飞行时间 s
AS-14/15	俄	战略目标	固定翼飞机	惯导或地形匹配	—	—	—	—	1200	306	65min
AGM-86A/B 阿尔克姆 (ALCM)	美	战略目标	固定翼飞机	惯导,地形匹配	6.3	0.6	1380	200 千吨当量	2500	224	178min

沿任意航路飞向目标意味着可从任何方向进行攻击。攻击相同或相邻目标的多枚导弹可从不同方向攻击。一旦飞行航路点建立，导弹飞行距离就固定。因为巡航导弹空速已知，到目标的总时间可通过不同高度的气流测量数据计算而得。

飞行路径完全不同的两枚或多枚导弹，可通过按相对于不同的总飞行时间再间隔发射同时到达。从攻击力观点来说，这样对压制防空系统是很有有效的。

1.3 面对面导弹特征

面一面导弹有同空一面导弹相同的四种类型，还有第五类—弹道导弹。图 1.5 表明了弹道导弹的应用及射程。

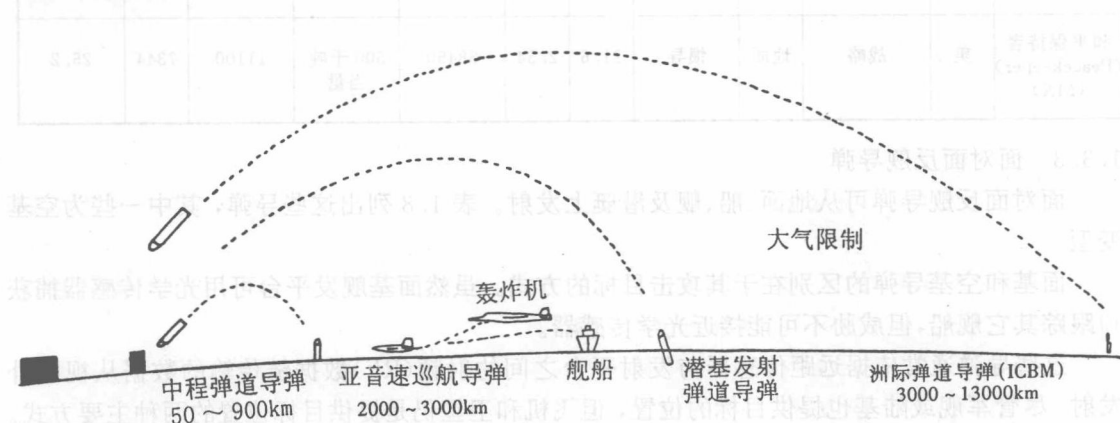


图 1.5 弹道导弹发射形式及射程

面基直接发射的战区导弹是防空系统无法对付的目标,必须摧毁发射装置,但这不是防空系统的功能。

面基反辐射导弹能受到防空系统的攻击,但该节不予以讨论,因为其功能与空基类型相同。

1.3.1 战区弹道导弹

表 1.7 列出有代表性的面基战区弹道导弹的数据,有短程和中程的。基本目标与战区或作战威胁有关,但远程导弹可从远离战区发射攻击战略目标。这类导弹除了所知的 Pershing 外都采用惯性制导, Pershing 导弹装有 Ku 波段主动雷达来锁定攻击目标并提供末制导指令。

1.3.2 洲际弹道导弹(ICBMs)

表 1.7 列出了洲际弹道导弹的数据,这种远程弹道导弹有几千公里的射程,通常带有多个独立的再入飞行器,可以用一枚导弹同时攻击几个目标。多数弹道导弹或它们的战斗部,沿其弹道,随着下降而不断减速。由于多枚战斗部同时到达使得对这些导弹的防御很复杂,假目标的使用更难以确定应攻击哪个。这是美国“星球大战”发展的主要出路,其目标是将洲际弹道导弹在其终程阶段并释放多弹头前将其击毁。

表 1.7 战术和战略弹道导弹

导弹	产地	目标	发射平台	制导类型	L(m)	D(m)	发射重量(kg)	战斗部重量(kg)	最大射程(km)	速度(m/s)	最大飞行时间(min)
MGM-52C 矛(Lance)	美	战术和战略战区目标	地面	惯导	6.14	0.56	1527	100 千吨当量	125	340	6.1
MGM-31A Pershing II	美	战区	地面	惯导+J 波段雷达	10.5	1	7200		1800	3944	7.6
SS-1C 飞云(Scud)	俄	战区	地面	惯导	11.58	0.91	6300	800	450	986	7.6
SS-N-8 Mod2	俄	战略	潜艇	惯导	12.95	1.65	20400	750 千吨当量	8000	7038	18.9
SS-11 MOD 3	俄	战略	地面	惯导	19	2.4	48000	100—300 千吨当量	13000	7480	29
三叉戟(Trident) II	美	战略	潜艇	惯导	13.5	2.11	59000	300—425	11000	7344	25
和平保持者(Peacekeeper)(MX)	美	战略	地面	惯导	21.6	2.34	88450	500 千吨当量	11100	7344	25.2

1.3.3 面对面反舰导弹

面对面反舰导弹可从地面、船、舰及潜艇上发射。表 1.8 列出这些导弹,其中一些为空基变型。

面基和空基导弹的区别在于其攻击目标的方式。虽然面基舰发平台可用光学传感器捕获和跟踪其它舰船,但威胁不可能接近光学传感器。

这些导弹通常依据远距传感器与发射平台之间的射频(RF)数据链传输的数据从视距外发射。尽管军舰或陆基也提供目标的位置,但飞机和卫星仍是提供目标位置的两种主要方式。

一些反舰导弹小得足以在海岸巡逻艇上发射。在靠近海岸的海面上,巡逻艇能距目标很近而使用船上传感器装置。

表 1.8 面对面导弹(反舰)

导弹	产地	发射平台	制导类型	L(m)	D(m)	发射重量(kg)	战斗部重量(kg)	最大射程(km)	速度(m/s)	最大飞行时间(s)
Harpoon 鱼叉	美	舰	惯导+主动雷达寻的, 雷达高度表	4.6	0.34	681	222	100	255	392
Otomat	意/法	舰, 地面	指令更新, 主动雷达寻的, 雷达高度表	4.46	0.46	770	210	180 60	306	588 196
Penguin	挪威	巡逻艇	惯导, 红外寻的	3	0.28	340	120	27	272	99
SS-N-12	俄	舰船	惯导, 指令更新, 主动雷达	11.7	1	5000	350 千吨当量	550	750	733
SS-N-9	俄	小型护卫艇, 水翼艇, 潜艇	惯导或自动驾驶更新, 红外或主动雷达	89	0.6	3000	500 200 千吨当量	110	476	231

1.4 可探测性和信号特征

可探测性是衡量防空设备探测目标的能力。本节讲述了影响雷达、红外、光学传感器对目标的可探测性的因素。信号特征指那些被传感器接收和处理有助于分类和识别的特征参数。例如, 空中威胁为空中的可见斑点, 它们的形状即为可视“信号”特征, 导弹弹体和排出气流可被红外传感器视为一个可探测热点, 能量辐射的光谱是特定导弹的独特信号。

被动传感器通常可获取几个级别的信号, 传感器系统从返回的信号中提取信号并加以利用。

主动传感器系统的信号传输特征, 影响从目标返回信号获取特征信息的效益。传统的搜索和跟踪雷达通常工作在 0.5~18GHz 频段, 但其作用距离和角分辨率不足以分辨目标特征。如果波长更短, 才有可能分辨目标特征。

目标的可探测性与从观察点所见的目标外形有关。由于这种关系, 传感器与目标飞行航线的相对位置不同, 探测距离就不同。

1.4.1 雷达可探测性

雷达是防空系统最常用的探测装置, 与红外或光学传感器相比, 可探测更远距离目标、适应更宽的天气范围。

飞机或任何一个大雷达目标的雷达截面(RCS 或 σ), 可用半径为 a 的金属球的横截面($\sigma = \pi a^2$)表示, 此球的反射能量与相应飞机的反射能量一样。金属球是唯一几何截面与雷达反射截面相同的雷达目标, 但这仅在球圆周长比雷达波长大一个量级时才正确。

对于发射和接收装置在一处的雷达, 接收到的目标雷达反射截面称为单基 RCS。当发射和接收装置不在同一位置时, 接收机得到的雷达截面称为双基 RCS。

标准的雷达截面测量单位是平方米, 由于其值动态变化较大, 以及便于在雷达测距方程计算中应用, RCS 经常用 dB 平方米(dBsm)表示。通过 $10\log_{10}\sigma$ 计算, 其中 σ 为雷达截面(平方米), 这样 1m^2 的 RCS 等于 0dBsm, 100m^2 等于 20dBsm, 0.1m^2 等于 -10dBsm。

1.4.2 目标雷达截面(RCS)波动

目标的 RCS, 有时在方位角度变化很小时会有 10 或 20dB 的波动。图 1.6 表示了外形简单的导弹当方位角以 0.25° 角度增长时雷达截面与方位角关系图。

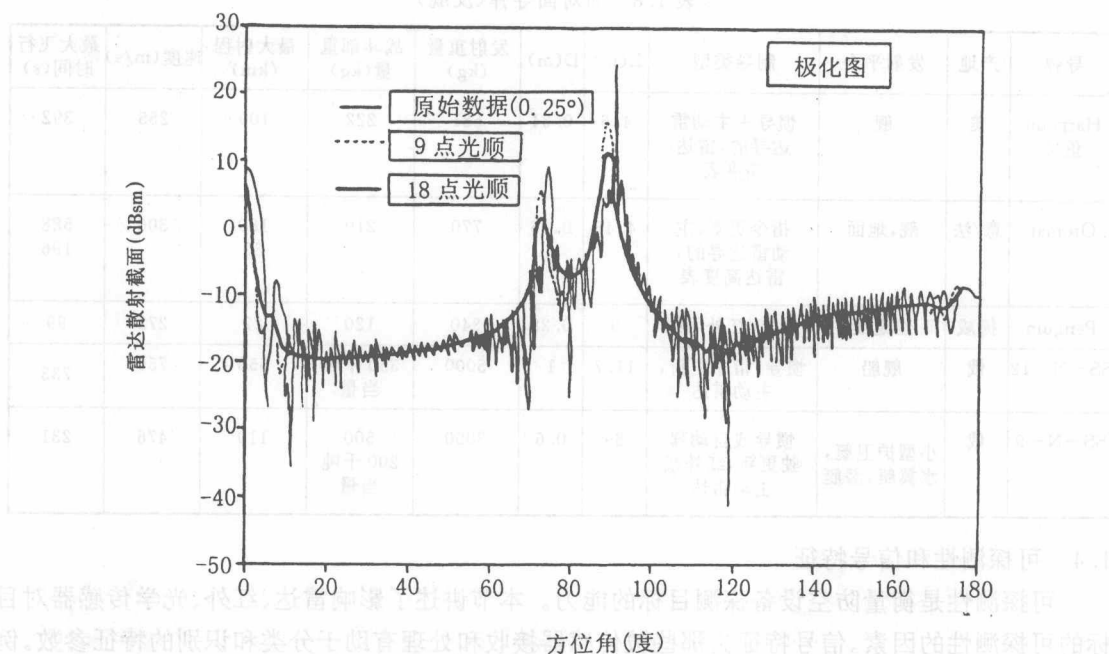


图 1.6 由 4 部分组成的简单形状导弹的在 12GHz 的典型雷达截面：
光滑数据用于防空系统研究

防空系统常使用雷达截面平均值。例如，用 9 点和 18 点的雷达截面均值的光顺线叠加于图 1.6，常用所谓雷达目标模型表达雷达截面的波动。Swerling1 模型通常用于飞机和导弹。它的特点是：目标由几个独立的散射体组成，雷达截面的波动主要产生在两次扫描之间，而不是在两次脉冲之间。

平均雷达截面做为目标每一个俯仰角下方位角的函数可用表格形式表示。若雷达截面是波长和极化的函数，那么在防空系统中，对于每一个雷达，每个威胁目标都需要一个表。将雷达和目标相互作用模型插入到相应表中可计算出雷达截面。可用波动目标模型，结合雷达截面均值来计算探测概率。

1.4.3 双基雷达截面

许多面对空导弹采用半主动寻的制导系统。雷达在一个位置跟踪、照射目标，导弹在另一个位置捕获、跟踪反射信号。

通常，照射雷达测到的目标方位角不同于接收器测到的目标方位角。若照射器、目标、接收器之间成锐角时，出现在接收器的雷达截面值可用接收器和照射器直接测到的雷达截面均值估算出。在实际情况中，总是满足上述锐角准则。对于锐角的双基雷达截面可以用在角分线上的单基雷达截面来计算。

1.4.4 实际因素

RCS 对防空系统每个雷达的探测和跟踪性能都有影响，可从模型测试、可控飞行测试和计算程序获得必要的数据库。

如果一阶结果已经足够，用少量元素和几个方位角的雷达截面就可以建立目标的模型。本章文献[3]提供了估算雷达截面的实用方法并附有实例。他们的方法可以用计算器手工计算，也可以用于计算机程序计算。文献[4]提供了一种简单的模型图，这种图由若干个方位角