

· 战场环境仿真与试验鉴定技术专著之二 ·

防空导弹战场电磁环境 仿真及试验鉴定技术

隋起胜 张忠阳 景永奇 等著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

· 战场环境仿真及试验鉴定技术专著之二

防空导弹战场电磁环境 仿真及试验鉴定技术

隋起胜 张忠阳 景永奇 等著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书针对防空导弹战场电磁环境仿真与试验鉴定技术,系统阐述了环境的构成要素及其量化表征模型、仿真基本方法以及防空导弹试验鉴定和环境适应性评估技术等。

全书共11章,首先介绍了空战场电磁环境仿真和防空导弹试验鉴定模式相关基本概念,然后按照知识结构层次递进的顺序介绍了干扰因素的组成、干扰机理、数学模型,面向干扰样式的环境仿真方法、内外场相结合的防空导弹试验鉴定新模式等,最后介绍了防空导弹作战训练的技术要求。

本书是国内防空领域第一本系统描述战场电磁环境仿真与试验鉴定的学术著作,针对性强,可供防空导弹领域的设计、仿真和试验鉴定工作者参考,也可作为高校相关专业教师和研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

防空导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术 / 隋起
胜等著. —北京:国防工业出版社,2016. 8

ISBN 978 - 7 - 118 - 10993 - 1

I. ①防... II. ①隋... III. ①防空导弹 - 电磁环境 -
系统仿真②防空导弹 - 电磁环境 - 导弹试验 IV.

①TJ761. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 182072 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

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 17 字数 325 千字

2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 88.00 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

撰写人员名单

写 作 组

组 长 隋起胜 张忠阳
副组长 景永奇 李 焱 张 巍 郭立新
成 员 孙 丽 舒仲良 吴振森 金从军
李 琳 刘洁慧 赵 欣 王文松
王俊卿 林万菁 张振伍 段军棋
曹运华 杜敦伟 粟 琳 鲍学博

审 查 组

组 长 张维刚
副组长 孟 建
成 员 何秋茹 李建荣 耿国桐 闵 江
魏 兵 韩一平 李龙龙

战场电磁环境仿真与试验鉴定技术重点研究的是战场电磁环境的组成要素、量化表征模型、仿真基本方法以及导弹试验鉴定和环境适应性评估技术。已经出版的《反舰导弹战场电磁环境仿真与试验鉴定技术》一书,仅仅是围绕海战场的相关问题进行了研究探讨,而空战场与海战场差别很大。一是战场电磁环境各要素截然不同。虽然空、海战场电磁环境都含有导弹、目标、背景和干扰等,但雷达制导的防空导弹多是测速体制,而雷达制导的反舰导弹则多是测距体制;空战场的目标小,雷达反射截面积一般与海战场的目标特性有数量级差别;空战场背景有天空、海面、地面,地海杂波对防空导弹的探测影响很大,而海战场背景主要是海面,海动对导弹探测的影响较大;空战场的人为干扰技术体制主要是速度欺骗,而海战场主要是距离欺骗等。二是量化表征的数学模型截然不同。由于构成空/海战场各要素不同,就决定了表征环境特点规律的模型或公式不同。空战场是以目标飞行速度为主线凝练数学模型,而海战场是以目标尺寸为主线凝练数学模型。三是空/海战场电磁环境仿真关键技术截然不同。空/海战场表征环境的数学模型不同,就决定了仿真基础理论和关键技术不同。无论是静态数学模型、动态环境计算,还是飞行弹道模拟等仿真关键技术,空/海战场几乎无一相似。四是试验鉴定技术差异很大。在内场试验技术上,空战场试验用例选取考虑的因素更多,更加复杂,不仅要考虑干扰类型,还要兼顾导弹、目标、干扰的相对空间位置变化;在外场试验技术上,对于像箔条这类干扰,空战场要想得到准确量化的数据比较困难。

由于空、海战场环境组成要素不同,二者在战场电磁环境仿真与试验鉴定的理论、方法、模型、流程等诸多方面也完全不同,需要创建适合空战场的理论方法体系。因此,我们撰写了《防空导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术》一书,系统地阐述空战场电磁环境的具体因素、量化表征的数学公式、内场仿真的方法模型、试验样本的选取技术、外场试验的方案设计以及作战训练技术要求等。

全书共分为 11 章。第 1 章阐述了空战场电磁环境、空战场电磁干扰因素、电磁环境量化表征、面向干扰样式的电磁环境仿真、内外场相结合的试验鉴定模式等基本概念;第 2 到第 10 章,围绕战场电磁环境仿真与试验鉴定技术这个主题,按照知识结构层次递进的顺序介绍了干扰因素的组成及其干扰机理,基于干扰的时、频、空、能量域特性创建了量化表征的数学模型,基于仿真系统真实可信性提出了

面向干扰样式的环境仿真方法,基于有效与充分试验性阐述了内外场相结合的防空导弹试验鉴定新模式;第11章从技术层面介绍了防空导弹的作战训练,是战场环境仿真与试验鉴定技术这条主线的延伸和补充。因为作战训练也是试验鉴定的一部分,所谓作战试验鉴定就是作战人员按作战场景对导弹进行的考核,要使这种考核客观有效,作战人员必须熟悉试验鉴定的相关技术,熟悉导弹的战术运用和条件约束,否则就难以发挥导弹的作战效能。

在本书写作过程中,张维刚研究员、李芸研究员、刘海军研究员、陈勇研究员、毛嘉艺研究员、韩冰研究员、李清亮研究员、梁波高工、于沛高工、张才勇高工、夏腾飞高工、李志鹏工程师、张毅工程师、于群工程师、马丽娟工程师等多位专家和同事给予了热心帮助和大力支持,在此表示衷心感谢。同时,对审稿专家致以最诚挚的谢意,他们提出了许多中肯的建议,进一步完善了本书内容。

限于作者的认知水平与写作能力,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2016年5月6日

缩略语对照表

缩略语	英文全称	中文对照
PM	Pierson – Moskowitz	PM 谱
NRL	Naval Research Laboratory	美国海军实验室
IPIX	Intelligent PIXel Processing	智能像素处理
NSWC	Naval Surface Warfare Center	海军作战中心
FDTD	Finite Difference Time Domain	时域有限差分法
SSA	Small Slope Approximation	小斜率近似
IEM	Integral Equation Method	积分方程方法
SPM	Small Perturbation Method	微扰法
KA	Kirchhoff Approximation	基尔霍夫近似
TSM	Two – Scale Method	双尺度方法
MTSM	Modified Two – Scale Method	修正双尺度方法
VRT	Vector Radiative Transfer Method	矢量辐射传输方法
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
WGS 84	World Geodetic System1984	为 GPS 全球定位系统使用而建立的坐标系统

第 1 章 绪论	1
1.1 空战场电磁干扰因素	1
1.1.1 人为干扰	1
1.1.2 地海杂波	2
1.2 防空导弹	3
1.3 目标类型	4
1.3.1 飞机目标	4
1.3.2 精确制导导弹目标	4
1.4 空战场电磁环境	5
1.5 空战场电磁环境量化表征	5
1.5.1 量化表征与战场环境仿真	5
1.5.2 量化表征与导弹性能评估	6
1.5.3 量化表征技术途径	6
1.6 面向干扰样式的空战场电磁环境仿真	7
1.7 内外场相结合的试验鉴定模式	8
1.7.1 外场试验局限性	8
1.7.2 内场试验优势	9
1.7.3 内外场联合进行试验鉴定	9
1.8 防空导弹抗干扰性能评估	10
1.9 空战场环境下导弹作战训练	10
1.9.1 使用防空导弹基本要求	10
1.9.2 防空导弹作战运用决策流程	11
第 2 章 有源干扰环境	12
2.1 概述	12
2.2 有源诱饵	12
2.2.1 有源诱饵装置	13

2.2.2	影响有源诱饵的因素	15
2.2.3	有源诱饵干扰原理	16
2.2.4	有源诱饵使用方法	18
2.3	自卫干扰	20
2.3.1	自卫干扰机装置	20
2.3.2	自卫干扰机干扰原理	22
2.3.3	自卫干扰使用方法	24
2.4	干扰新技术	26
2.4.1	交叉眼干扰技术	26
2.4.2	交叉极化干扰技术	29
第3章	无源干扰环境	32
3.1	概述	32
3.2	空战场箔条干扰	32
3.2.1	空战场箔条干扰装置	33
3.2.2	空战场箔条特性	37
3.2.3	空战场箔条干扰原理	40
3.2.4	空战场箔条作战运用	42
3.3	拖曳式无源诱饵干扰	45
3.3.1	拖曳式无源诱饵干扰原理	45
3.3.2	拖曳式无源诱饵干扰装置组成	47
3.3.3	拖曳式无源诱饵使用	50
第4章	地海杂波干扰	52
4.1	概述	52
4.2	海杂波	52
4.2.1	海面等效介电参数模型	53
4.2.2	二维海面几何模型	55
4.2.3	海面电磁散射模型	57
4.2.4	海面散射系数测量与模型校验	65
4.2.5	海杂波幅度统计特征	75
4.2.6	“海尖峰”特性	82
4.3	地杂波	86
4.3.1	地面介电参数模型	86
4.3.2	地面散射模型	88
4.3.3	地面电磁散射系数测量与校验	92

4.4	地海面电磁散射系数计算实例	97
4.4.1	时变多尺度海面电磁散射系数与海杂波计算软件	97
4.4.2	时变多尺度海面电磁散射系数与海杂波计算典型算例	97
4.4.3	地表参数反演与电磁散射系数计算软件	99
4.4.4	地表参数反演与电磁散射系数计算典型算例	100
第5章	空战场干扰因素的量化表征和数学模型	103
5.1	概述	103
5.2	有源诱饵干扰	104
5.2.1	对导引头测量的影响	104
5.2.2	有源诱饵干扰量化表征	108
5.3	自卫压制干扰	110
5.3.1	对导引头测量的影响	110
5.3.2	自卫压制干扰量化表征	112
5.4	自卫欺骗干扰	113
5.4.1	对导引头测量的影响	113
5.4.2	自卫欺骗干扰量化表征	115
5.5	箔条干扰	116
5.5.1	对导引头测量的影响	116
5.5.2	箔条干扰量化表征	119
5.6	无源诱饵干扰	121
5.6.1	对导引头测量的影响	121
5.6.2	无源诱饵干扰量化表征	122
5.7	地/海杂波干扰	123
5.7.1	对导引头测量的影响	123
5.7.2	地/海杂波干扰量化表征	126
5.8	组合干扰量化表征	131
5.8.1	组合干扰对导引头测量的影响	131
5.8.2	自卫欺骗与箔条组合干扰量化表征	133
5.8.3	杂波与其他干扰组合量化表征	133
第6章	空战场电磁干扰环境仿真	135
6.1	概述	135
6.2	有源诱饵电磁环境仿真	136
6.2.1	作战场景	136
6.2.2	仿真模型	137

6.2.3	仿真示例	142
6.3	自卫压制干扰电磁环境仿真	145
6.3.1	作战场景	145
6.3.2	仿真模型	145
6.3.3	仿真示例	147
6.4	自卫欺骗干扰电磁环境仿真	148
6.4.1	仿真模型	149
6.4.2	仿真示例	151
6.5	箔条干扰电磁环境仿真	153
6.5.1	作战场景	153
6.5.2	仿真模型	154
6.5.3	仿真示例	157
6.6	无源诱饵干扰电磁环境仿真	158
6.6.1	作战场景	158
6.6.2	仿真模型	159
6.6.3	仿真示例	161
6.7	地/海杂波干扰电磁环境仿真	163
6.7.1	作战场景	163
6.7.2	仿真模型	164
6.7.3	仿真示例	167
6.8	组合干扰电磁环境仿真	170
6.8.1	作战场景	170
6.8.2	仿真模型	171
6.8.3	仿真示例	172
第7章	空战场电磁环境仿真系统架构	177
7.1	概述	177
7.2	仿真系统总体架构	177
7.3	仿真分系统架构	179
7.3.1	微波暗室	179
7.3.2	射频信号生成系统	183
7.3.3	天线阵列及馈电系统	186
7.3.4	三轴飞行转台	190
7.3.5	舵机负载力矩模拟器	191
7.3.6	仿真计算机系统	191
7.3.7	校准系统	192

7.3.8	辅助系统	195
第8章	空战场电磁环境下内场试验	196
8.1	概述	196
8.1.1	内场试验基本条件	196
8.1.2	内场试验的类型	196
8.1.3	内场试验的流程	197
8.1.4	试验样本	198
8.2	抗单一人为干扰试验样本的选取	198
8.2.1	抗有源拖曳式诱饵试验样本的选取	198
8.2.2	抗箔条干扰试验样本的选取	200
8.2.3	抗自卫干扰试验样本的选取	201
8.3	抗地/海杂波试验样本的选取	203
8.4	抗组合干扰试验样本的选取	205
第9章	空战场电磁环境下外场试验	206
9.1	概述	206
9.2	外场挂飞试验总体设计	207
9.2.1	试验方案制订	207
9.2.2	试验系统开发	208
9.2.3	指向控制与误差修正	209
9.2.4	挂飞平台改装	212
9.2.5	目标区设置	212
9.2.6	飞行航线设计	212
9.2.7	挂飞试验实施	214
9.2.8	事后数据处理	215
9.3	外场打靶试验总体设计	216
9.3.1	试验流程	216
9.3.2	靶标设计	217
9.3.3	干扰环境设计	218
9.3.4	靶标航线设计	219
9.3.5	试验场地的选择与布局	219
9.3.6	试验数据的采集和处理	221
第10章	防空导弹研制阶段抗干扰试验	222
10.1	概述	222

10.2	抗干扰试验主要类型	222
10.2.1	抗有源诱饵干扰试验	223
10.2.2	抗自卫干扰试验	223
10.2.3	抗箔条干扰试验	224
10.2.4	抗地/海杂波干扰试验	224
10.2.5	抗组合干扰试验	224
10.3	抗干扰试验总体设计	225
10.3.1	方案论证阶段	225
10.3.2	工程研制阶段	225
10.3.3	设计定型阶段	239
第11章	防空导弹作战训练	240
11.1	概述	240
11.2	有源诱饵干扰下环境训练要求	241
11.2.1	有源诱饵干扰的作战运用	241
11.2.2	对指战员的训练要求	242
11.3	自卫压制干扰下环境训练要求	246
11.3.1	自卫压制干扰的作战运用	246
11.3.2	对指战员的训练要求	246
11.4	自卫欺骗干扰下环境训练要求	248
11.4.1	自卫欺骗干扰的作战运用	249
11.4.2	对指战员的训练要求	249
11.5	箔条干扰下环境训练要求	251
11.5.1	箔条干扰的作战运用	251
11.5.2	对指战员的训练要求	252
	参考文献	256

1.1 空战场电磁干扰因素

空战场电磁干扰因素可分为自然干扰和人为干扰两大类。自然电磁干扰主要是指自然界天然具备的或者由自然界衍生的干扰,如自然电磁辐射和地海杂波等;人为电磁干扰主要是指人为有意产生的干扰,如箔条、有源诱饵、自卫压制、自卫欺骗等。

1.1.1 人为干扰

在空战场中,围绕空中平台自身防护能力的争夺已经成为作战双方争夺的焦点。箔条和有源诱饵成为常用的干扰手段,自卫干扰也已经从常规单一的压制、欺骗干扰样式逐渐发展到与其他干扰组合应用。

箔条是一种轻型的空中散射目标云团,通常由轻型的铝箔条或涂覆金属的纤维所组成,能在一定的空间范围内产生干扰回波。箔条是空战场电子对抗中最典型的一种无源干扰手段,一般通过火箭弹等载体投放到预定位置,以爆炸的方式将大量的箔条丝投放散布在空中,形成具有很大雷达散射面积(简称 RCS)的悬浮体,其散射的雷达信号可以干扰导弹飞行。在空战场,通常当飞机接到导弹来袭告警时,选择最佳时机打出箔条弹,并伴随机动,规避敌方导弹。由于飞机高速运动产生强大气流,在这样的条件下施放箔条弹,一方面要求克服高速气流的影响,形成箔条云;另一方面要求比其他环境下形成箔条云的速度要快,若机载条件下释放慢了就达不到干扰效果。箔条云要起到保护飞机作用,必须伴随飞机的机动。机动时,一般要充分考虑箔条云的位置和速度,选择能够保护飞机、诱偏导弹的最佳时机和路线。箔条干扰的优点是成本低廉,易于生产和装备,可以同时干扰各个方向多种体制的雷达等。因此,箔条干扰一直是空中对抗导弹的常用措施。

有源诱饵是采用飞机拖曳的形式带着电子干扰机对导弹实施的有源干扰,是空战场电子对抗系统的重要组成部分。有源诱饵干扰装置主要包括接收天线、放

大滤波组件、数字射频存储器(简称 DRFM)或光纤延迟器、控制器、功放、发射天线、电源和结构件等。在空战场,有源诱饵通常分为噪声干扰、欺骗干扰两类。噪声干扰通过持续施放噪声信号,在时域和频域覆盖目标回波,诱偏导弹跟踪,保护目标飞行,对采用恒虚警检测目标的导弹干扰更为有效。诱饵欺骗干扰是通过频率、幅度等调制,产生与目标回波信号高度相似且能量更大的假目标信号,并持续发射,使导弹难以分辨和识别目标本体回波信号。有源诱饵的这两种方式由于诱饵脱离飞机本体,产生角度上的诱偏,一般会产生较好的干扰效果。

自卫压制干扰利用固定在飞机上的干扰机,接收来袭导弹的雷达信号,进行威胁识别、告警和压制。干扰机施放大功率的噪声信号,降低防空导弹的探测信噪比,使其不能截获目标或者丢失跟踪目标。但要使自卫压制干扰达到良好效果,技术上还有很大难度。它既要能够干扰来袭导弹,又要不能被导弹使用被动跟踪技术所击中。否则,自卫干扰就不是干扰来袭导弹,而是吸引导弹击中自身。因此,要使自卫压制干扰可用、好用,还需进一步创新,一般采用快速间断发射、与箔条等其他干扰样式组合使用的方式。

自卫欺骗干扰利用固定在飞机上的干扰机,接收来袭导弹的雷达信号,采取速度拖引干扰导弹雷达导引头跟踪。也就是说,通过改变干扰信号的多普勒频率,逐渐将导引头跟踪信号拖离飞机回波,诱使导弹跟踪虚假目标。干扰装置主要包括接收天线、前置放大滤波组件、测频接收机、测向接收机、预处理器、干扰信号产生器、功放、发射天线、电子战控制计算机和显控设备等。与自卫压制干扰类似,自卫欺骗干扰在空战场达到可用、好用也有很大难度,不仅要求虚假目标信号与真实目标相似,又要使真、假目标之间的速度差拉开足够大,形成导弹跟踪假目标信号的速度条件。此外,自卫欺骗干扰的假目标还要适时中断,达到保护真目标的目的。欺骗干扰必须突破这个关键技术,否则是不可用的。

1.1.2 地海杂波

当防空导弹下视打击目标,尤其下视打击低空、小 RCS、慢径向速度飞行目标(简称“低小慢”目标)时,地海杂波将对导弹检测、跟踪产生很大影响。

海杂波是导弹下视跟踪海面上空飞行的目标时,由海面反射或者散射的电磁波效应。海面对电磁波的散射会影响导弹对目标的检测、识别,影响导弹的飞行状态。海杂波的强弱,通常取决于海况、风向风速、导弹飞行的擦地角和导引头的工作频率等因素。海杂波对防空导弹干扰机理主要是抬高噪声基底,淹没目标回波或形成虚假信号。海杂波的干扰强度不仅取决于杂波的强弱,还取决于目标回波的强弱和目标的运动速度。因此,海杂波的干扰可量化表征为目标多普勒速度处于一定范围时的杂波能量相对于目标回波能量的强度。

海杂波干扰环境仿真因素多,难度大,必须解决好三个关键问题。一是要得到高精度的后向散射系数,不仅要考虑海况、导弹飞行的擦地角、频率、目标回波等一

般因素,还要考虑海水泡沫、海尖峰、目标速度等特殊情况,为得到高精度的后向散射系数,需要有可用的反复验证过的模型;二是依据量化表征和目标类型等确定海杂波干扰强度;三是在进行仿真试验时选好样本,根据海况、擦地角以及目标等变化有多种样本选择方式,依据导弹未来可能的作战运用选择样本,样本的选择要具有典型性、代表性以及数量上的最小化。

地杂波的形成、干扰机理和量化表征同海杂波类似,但由于地面的材质不同,地形地貌也是多种多样,均对地杂波产生影响,需要考虑的因素更多。

1.2 防空导弹

一般而言,防空导弹是指在大气层内或者大气层外超声速飞行,或者高超声速飞行,采用火箭或者吸气式发动机等作为动力,用于打击空中目标的导弹。

按照发射平台的不同,防空导弹可分为三大类:一是从地面发射的防空导弹,称为地对空导弹,简称地空导弹;二是从舰船上发射的防空导弹,称为舰对空导弹,简称舰空导弹;三是从飞机上发射的防空导弹,称为空对空导弹,简称空空导弹。其中,地对空导弹和舰对空导弹统称为面对空导弹或地(舰)空导弹。

按照制导体制的差异,防空导弹可分为指令制导、雷达寻的制导、光学寻的制导三类。指令制导防空导弹一般全程由地面制导站发送指令进行制导,弹上设备少,成本较低,简单易行,中程、近程/末端防空导弹主要采用这种制导方式。随着空战场环境复杂化,加装寻的制导系统、“发射后不管”成为这种导弹的一种重要趋势。雷达寻的制导防空导弹依靠雷达导引头测定目标相对导弹的视线变化信息并形成控制指令进行制导,而光学寻的制导防空导弹由弹上可见光、短波/中波/长波红外等光学导引头完成对目标空间参数测量。

防空导弹主要由引信—战斗部系统、导弹弹体、推进系统、无线电控制仪(应答机、舵机、控制模型等)、弹上电气系统、导引头、惯性测量装置等组成,其中,导引头、惯性测量装置与无线电控制仪共同组成制导控制系统,形成导弹拦截目标的指挥中枢。作战过程中,导引头准确连续地提供目标视线变化信息,制导控制系统实时生成弹目高精度交会所需的动态指令,并控制导弹飞向目标。因此,导引头是关键的设备,直接决定了导弹飞向何处。引信—战斗部系统是防空导弹最基本的构成部分,在导弹与目标接近时,适时起爆战斗部,将空中目标杀伤。导弹弹体是产生控制系统所需升力的飞行物体组合,包括弹身、弹翼等。推进系统则用于为导弹飞行提供推力。弹上电气系统为弹上设备提供电源,如电池、发电机、变流机或换流器、电缆网等。

一般来说,大气层内高速飞行的防空导弹头部气动加热严重,气动光学效应明显,光学导引头应用受到较大制约。因此,具备全天候、全天时工作能力的雷达导引头占据主导地位,装备数量多,应用型号类型多,也是空战场攻防双方博弈的主

要武器。

雷达导引头一般安装在导弹头部,可分为主动、半主动和被动寻的三种类型。主动雷达导引头自发自收,应用较为灵活,占据雷达寻的制导的主导地位,但由于受导弹质量、尺寸等因素限制,作用距离不可能很大。

防空导弹拦截空中运动目标时,雷达导引头一般采用多普勒跟踪、单脉冲测角方式。多普勒跟踪是指根据目标多普勒频率设置相应的速度波门实现检测与跟踪,常采用高重频脉冲波形实现;单脉冲测角是指和波束测速、差波束测角,可以在一个脉冲内获得角度跟踪信息,反应速度快、数据率高、测角精度高。

1.3 目标类型

防空导弹拦截的目标主要是飞机、精确制导导弹两大类。通常情况下,这两类目标都会采用低空低速、高空高速、快速机动等突防措施来对抗防空导弹拦截。高空突防时,普遍携带各种自卫式干扰装置,或者伴随多种防护措施,如机载/弹载干扰机、机载/弹载拖曳式诱饵等。低空突防时,常常超低空飞行、降低自身 RCS 等,依靠杂波提供掩护。机动飞行时,通过对告警的防空导弹拦截方向做横向机动,降低径向速度。

1.3.1 飞机目标

飞机目标一般在高度 27km 以下,亚声速或超声速飞行,其 RCS 可从大型飞机的数十平方米到隐身飞机的百分之一平方米量级,按功能分类又可分为轰炸机、歼击机、预警机、电子战飞机、无人飞机和武装直升机等。

轰炸机特点是机身和翼展都比较大,挂载能力强,最大实用升限 16km,最大飞行速度可达 680m/s,最大机动过载约 2.5g,主要从防区外进行攻击。

歼击机特点是飞行速度高,机动能力强,能够进入防区内一定距离投放空袭导弹,然后大机动高速退出防区,最大飞行高度为 15~20.6km,最大飞行速度在高空为 540~833m/s,最大水平机动过载为 6~9g,在执行任务时一般为 5.5g。

无人飞机主要用于侦察、空袭作战,价格低廉,体积小,广泛采用非金属结构材料,最大实用升限 14km,亚声速飞行。

武装直升机飞行距离短,飞行高度低,飞行速度慢,有时超低空飞行、低空悬停和垂直起降,是杀伤移动点目标、海上侦察、反潜反舰的主力机种,最大飞行速度一般不超过 110m/s,实用升限低于 6.5km,最大机动过载小于 3.5g,属于典型的“低小慢”类目标。

1.3.2 精确制导导弹目标

精确制导导弹可以跨空域飞行,具有速度快、辐射/散射特性弱、RCS 小等特