

方洋旺 伍友利 方斌 编著



机载导弹武器 系统作战效能评估

JIZAI DAODAN WUQI
XITONG ZUOZHAN XIAONENG PINGGU



国防工业出版社

National Defense Industry Press

机载导弹武器系统 作战效能评估

方洋旺 伍友利 方斌 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书全面介绍了机载导弹作战效能评估的最新研究成果,系统总结了作者在机载导弹武器系统效能评估方面的研究经验和最新进展,既包括理论分析,又包括工程实现技术。本书选材广泛、内容新颖、研究思路独特及实用性强。

本书可供从事兵器科学与技术等有关研究和应用的研究生、高年级本科生和广大科技工作者参考使用,也可作为机载精确制导武器作战效能评估方面的教材。

图书在版编目(CIP)数据

机载导弹武器系统作战效能评估 / 方洋旺, 伍友利,
方斌编著. —北京:国防工业出版社, 2010. 2

ISBN 978-7-118-06666-1

I. ①机... II. ①方... ②伍... ③方... III. ①空中发
射-导弹-武器效应-评价 IV. ①TJ762. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015956 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 14¼ 字数 322 千字

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

从近年来发生的多起战争,如阿富汗战争、伊拉克战争、科索沃战争来看,通过机载导弹对目标进行精确打击在战争中发挥着越来越重要的作用。对机载导弹武器系统的作战效能评估工作是十分必要的,它将对现有装备的作战使用和作战训练,促进新型武器装备的研制,进一步提升我军的战斗力起着极其重要的作用。目前,对地空导弹、舰载导弹和巡航导弹的作战效能研究得较多,领域内相继出版了多部效能评估方面的专著,而且其中不乏优秀之作。但对机载武器系统作战效能评估方面的研究相对比较薄弱,目前关于机载导弹武器系统作战效能研究的专著还未见到,特别是对复杂电磁环境下的作战效能评估问题的研究更为少见。因此,出版一本机载武器系统作战效能评估方面的专著以弥补这一方面的空白十分必要。

本书是作者在总结多年从事机载导弹武器系统作战效能评估科研和教学研究成果的基础上,进行扩充、提炼后形成的。本书旨在为从事兵器科学与技术等有关研究和应用的研究生及广大科技工作者奉献一本选材广泛、内容新颖、可读性强的作战效能评估方面的教材。

本书全面介绍了机载导弹作战效能评估的最新研究成果,系统总结了作者在机载导弹武器系统效能评估方面的研究经验和进展,既包括理论分析,又包括工程实现技术。全书内容的特点如下:

1. 选材广泛

本书针对航空兵所使用的主要精确制导武器作战效能评估开展研究,既研究了红外制导及雷达制导空空导弹的作战效能评估,也研究了空地导弹和反辐射导弹的作战效能评估。同时,对从作战效能的理论分析、作战效能的靶场试验研究到最后的试验信息处理及可信性分析等作战效能评估的全过程进行研究。

2. 内容新颖

书中许多内容在国内作战效能评估中都是首次被系统地介绍。如机载导弹靶场效能评估、试验信息处理、可信性分析以及机载导弹作战效能评估系统等。

3. 研究思路独特

考虑到本书中所介绍的机载导弹武器种类较多,而且从作战效能评估技术的角度看,共性的部分并不是太多,因此,本书采用了一种不同于目前所出版的作战效能评估的研究思路,按武器类型进行介绍。首先介绍作战效能研究方法和指标体系;然后,分别介绍每种类型机载导弹的作战效能评估;最后,介绍作战效能的靶场效能、试验信息处理、可信性分析以及机载导弹作战效能评估系统等。

4. 实用性强

本书用大量的篇幅介绍仿真分析和应用研究,而且本书第7、第8章专门针对作战效能评估的实际应用问题进行研究,并介绍了机载导弹作战效能评估系统的设计和实现技术。

本书第1章和第2章由方斌和方洋旺撰写;第3章、第4章和第6章由方洋旺撰写;第5章和第8章由伍友利撰写;第7章由方洋旺和伍友利撰写;全书由方洋旺教授统稿。

在本书的撰写和出版过程中,空军工程大学工程学院张凤鸣院长、雷洪利副部长、魏贤志主任、肖明清教授、刘占辰教授及田松副教授给予了极大的鼓励和帮助,在此向他们表示衷心的感谢,同时感谢空军工程大学和工程学院领导、同仁的大力支持。周晓斌、王洪强博士,赵亚峰、王亚飞、许勇硕士,博士生蔡文新、张平、李锐,硕士生张磊、吴宗一、王鹏参与了大量的仿真研究、书稿的录入及插图的绘制等工作,在此一并表示感谢。感谢国防工业出版社的大力支持和帮助。在书中引用了一些作者的论著及其研究成果,在此,向他们表示深深的谢意。

最后,感谢教育部留学归国人员科研启动基金、军队“2110工程”项目以及空军工程大学工程学院科技创新基金的资助。

由于作者水平有限,书中缺点甚至错误之处在所难免,望读者批评指正。

方洋旺 伍友利 方斌

2009年7月30日

于空军工程大学工程学院

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机载导弹历史与现状	1
1.1.1 空空导弹发展历史	1
1.1.2 空空导弹发展现状	2
1.1.3 空地导弹发展历史	2
1.1.4 空地导弹发展现状	3
1.2 机载导弹作战使用	4
1.2.1 导弹的使用和发射条件	4
1.2.2 攻击区	5
1.3 机载导弹系统作战效能评估历史与现状	6
1.3.1 国外机载导弹系统效能评估的现状	6
1.3.2 国内机载导弹系统效能评估的现状	7
第 2 章 机载导弹武器系统作战效能评估方法	8
2.1 作战效能的基本概念	8
2.1.1 机载导弹武器作战效能的概念	8
2.1.2 作战效能评估的意义	8
2.1.3 对作战效能概念的理解	9
2.2 作战效能的评估方法和模型	10
2.2.1 作战效能评估方法	10
2.2.2 作战效能的评估模型	11
2.2.3 基于层次分析的灰色作战效能评估方法	12
2.3 作战效能的评估方法和模型	15
2.3.1 可用性	15
2.3.2 可信性	16
2.3.3 能力	16
第 3 章 空空导弹作战效能评估	18
3.1 空空导弹作战效能评估指标体系	18

3.2	空中典型目标易损性分析	18
3.2.1	飞机易损性概述	19
3.2.2	典型目标介绍	19
3.3	空空导弹战斗部及毁伤机制	23
3.3.1	战斗部的杀伤方式	23
3.3.2	战斗部动态参数的确定	24
3.3.3	引信特性分析	25
3.4	红外制导空空导弹在典型干扰条件下杀伤概率的计算	26
3.4.1	红外诱饵弹	26
3.4.2	红外干扰机	30
3.4.3	红外烟幕	33
3.4.4	干扰条件下空空导弹杀伤概率计算	34
3.4.5	干扰条件下红外制导空空导弹制导精度计算	35
3.5	雷达制导空空导弹在典型干扰条件下杀伤概率的计算	39
3.5.1	有源遮盖性干扰	40
3.5.2	有源欺骗性干扰	44
3.5.3	无源干扰	49
3.5.4	复合干扰	52
3.5.5	雷达制导空空导弹作战效能评估数学建模	53
第4章	空地导弹作战效能评估	58
4.1	空地导弹作战效能评估指标体系	58
4.1.1	空地导弹武器可用度	58
4.1.2	空地导弹武器可信度	58
4.1.3	空地导弹武器能力	58
4.1.4	电视制导空地导弹作战效能评估指标体系	58
4.2	地面典型目标易损性分析	59
4.2.1	人员目标	59
4.2.2	地面车辆	60
4.2.3	机场	61
4.2.4	桥梁	68
4.2.5	地面指挥部	72
4.3	空地导弹战斗部及毁伤机制	76
4.3.1	爆破战斗部	76
4.3.2	破片式战斗部	77
4.3.3	战斗部的终点效应	79
4.4	电视制导空地导弹干扰条件下杀伤概率的计算	81

4.4.1	空地导弹的干扰因素分析	81
4.4.2	干扰条件下空地导弹杀伤概率计算	85
4.4.3	干扰条件下空地导弹综合撞地概率	88
4.5	电视制导空地导弹制导能力	90
4.5.1	“人在回路”制导精度分析	90
4.5.2	“人在回路”制导能力评估指标体系	92
4.5.3	基于 AHP 灰色评估法的仿真研究	94
第 5 章	反辐射导弹作战效能评估	97
5.1	反辐射导弹作战效能评估指标体系	97
5.1.1	反辐射导弹作战效能基本指标	97
5.1.2	能力指标的分解	97
5.1.3	反辐射导弹效能评估体系	98
5.2	雷达典型目标易损性分析	110
5.2.1	典型目标介绍	110
5.2.2	目标易损性分析	112
5.3	反辐射导弹战斗部及毁伤机制	113
5.3.1	战斗部结构	113
5.3.2	战斗部爆破作用分析	113
5.4	反辐射导弹干扰样式及干扰条件下杀伤概率的计算	114
5.4.1	多源诱偏	114
5.4.2	雷达关机	117
5.5	反辐射导弹杀伤概率的计算	119
5.5.1	反辐射导弹作战效能分析仿真模型	119
5.5.2	对雷达目标群毁伤能力	127
第 6 章	机载导弹武器靶场效能评估	128
6.1	静爆试验及毁伤模型效验	128
6.1.1	战斗部的破片性能试验	128
6.1.2	破片速度测定	129
6.1.3	战斗部的爆炸冲击波试验	129
6.2	导弹战斗部的终点效应	131
6.2.1	弹丸整体的侵彻效应	131
6.2.2	战斗部破片的终点效应	134
6.2.3	战斗部装药的爆轰效应	141
6.2.4	导弹的侵爆效应	145
6.3	单发导弹作战效能评估	146

6.3.1	导弹命中与覆盖效能的评估	146
6.3.2	对单个目标射击毁伤效能的评估	148
6.3.3	评定射击质量的几种概率指标	148
6.3.4	命中概率估计	149
6.3.5	遥测弹等效效能估计	156
第7章	试验信息处理与可靠性分析	162
7.1	试验结果分析与评定	162
7.2	验前信息的来源	162
7.2.1	从历史资料中获取信息	162
7.2.2	通过理论分析和仿真试验获取信息	162
7.2.3	凭借专家知识的“主观概率”方法以及工程经验	165
7.2.4	利用飞行试验信息对仿真信息的可信度评估	166
7.2.5	信息来源的可信度分析	168
7.3	多层验前多源信息融合方法	170
7.3.1	验前信息的获取	171
7.3.2	多源先验信息的 ML - II 融合方法	173
7.3.3	多源验前测量信息的 Bayes 融合方法	175
7.3.4	多源先验信息的最大熵融合方法	175
7.3.5	基于 Kullback 信息的先验信息融合方法	178
7.3.6	先验信息的自助融合方法	180
7.3.7	随机加权法	181
7.3.8	基于可信度的加权融合方法	182
7.3.9	多层验前信息的动态融合方法	183
7.4	导弹效能评定中的 Bayes 统计决策模型	185
7.4.1	导弹自控段终点散布和命中点偏差估计	185
7.4.2	导弹单发命中概率的鉴定	189
第8章	机载导弹武器系统作战效能评估系统软件	193
8.1	机载导弹武器效能评估软件的功能及特点	193
8.1.1	机载导弹武器效能评估软件的系统适用范围及功能	193
8.1.2	机载导弹武器效能评估软件的系统特点	194
8.2	作战效能评估系统软件的系统结构	195
8.2.1	评估系统软件的系统组成	195
8.2.2	评估系统软件的结构框图	197
8.3	机载导弹武器系统作战效能评估系统软件设计实例	197
8.3.1	软件设计的主要任务	198

8.3.2	软件设计基本思想	198
8.3.3	数据库设计	198
8.4	雷达制导空空导弹武器作战效能评估子系统设计实例	199
8.4.1	子系统设计框架及实现	199
8.4.2	仿真条件及仿真结果	200
8.4.3	结果分析	201
8.5	红外成像制导空空导弹武器作战效能评估子系统设计实例	202
8.5.1	子系统设计框架及实现	202
8.5.2	仿真条件及仿真结果	202
8.5.3	结果分析	205
8.6	机载空地导弹武器作战效能评估子系统设计实例	205
8.6.1	子系统设计框架及实现	205
8.6.2	仿真条件及仿真结果	206
8.6.3	结果分析	209
8.7	机载反辐射导弹武器作战效能评估子系统设计实例	209
8.7.1	子系统设计框架及实现	209
8.7.2	仿真条件及仿真结果	210
8.7.3	结果分析	212
8.8	视景仿真系统实现	212
参考文献		214

第1章 绪论

1.1 机载导弹历史与现状

机载导弹包括空空导弹和空地导弹,一般由飞机悬挂发射,又称为航空导弹^[1]。具体而言,空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;空地导弹是指从航空器上发射,打击地面(包括水面、海面)固定或低速移动目标的导弹,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。

1.1.1 空空导弹发展历史

空空导弹的研制可追溯到第二次世界大战期间,当时德国首先研制成功一种代号为X-4的空空导弹,这是世界上第一种空空导弹。目前,空空导弹已发展到第四代^[2]。

第一代空对空导弹攻击能力比较差,仅比航炮略为强些,所以,当时国内流传“导弹不如炮弹,空中还靠拼刺刀”的说法。美国的AIM-9B“响尾蛇”、俄罗斯的K-13等导弹是典型第一代红外空空导弹。“麻雀”I空空导弹是典型第一代雷达空空导弹。目前,这一代空空导弹已不再使用。

相对第一代而言,第二代空空导弹主要是扩大了攻击范围(最远射程22km,最大使用高度25km),提高了战斗部威力(战斗部质量11kg~70kg),改进了制导装置,提高了命中率,主要在1957年—1966年期间研发,目前一些发展中国家仍装备使用。这些导弹主要装备在第二代超声速战斗机上,主要攻击对象为B-58、“幻影”IV、图-22等中程和高速轰炸机。代表型号有美国的AIM-9D“响尾蛇”、法国的“玛特拉”R530、“麻雀”III3A(AIM-7E)导弹,英国的“火光”导弹等。

第三代红外空空导弹典型装备有美国的AIM-9L“响尾蛇”、以色列的“怪蛇”3等导弹,于20世纪80年代初开始装备。这些导弹能够实现全向攻击,但是前向攻击距离仅2km~3km,而侧向攻击能力确实有很大提高。典型的第三代雷达型空空导弹有美国的“麻雀”III B(AIM-7F),英国的“天空闪光”,俄罗斯的P-27P等雷达制导空空导弹,采用单脉冲半主动雷达导引头,具有前向拦截能力、一定的抗干扰能力和下视下射能力。另外,在这个时期远距导弹得到发展,美国AIM-54A“不死鸟”和苏联P-33导弹成为典型代表。远距导弹采用复合制导系统,末制导为主动雷达或半主动雷达制导。

典型的第四代红外空空导弹产品有美国的AIM-9X、欧洲的ASRAAM和IRIS-T、以色列的“怪蛇”4/5等导弹。这类导弹由于采用了红外成像探测、发射后截获和推力矢量控制等方面的技术,因而具有良好的跟踪性能、较高的抗干扰性能、很高的机动性和灵活的发射方式,攻击区域有很大扩展,具有对付第四代歼击机的格斗能力。

典型的第四代雷达型空空导弹有美国的 AIM - 120 导弹、欧洲的 Meteor“流星”导弹(先进中距导弹)、以色列的 DERBY 导弹、俄罗斯的 P - 77 导弹和法国的 MICA 导弹。这类导弹一般采用正常式气动布局;指令、惯性制导和雷达主动末制导的复合制导方式,具有“发射后不管”的能力;能够超视距全向攻击目标,并且具有多种抗干扰措施和灵活的发射方式;能够攻击多种目标,并且可以实现多目标攻击。

1.1.2 空空导弹发展现状

目前,第二代空空导弹已逐渐退出现役,世界上主要装备的是第三代空空导弹,第四代在不断投入使用^[3]。

1. 近距空空导弹发展现状

由于红外导引头的特点(导引头作用距离近,测角精度高),近距格斗空空导弹基本上都是红外导弹。目前,红外导弹已从单元导引头发展到红外成像导引头,从目视发射发展到允许自动发射,从定轴发射发展到大离轴角发射,并能与机载雷达、头盔瞄准具交联使用,发射方式更加灵活,机动能力大幅提高。

为了能够快速锁定目标,导弹也必须能够与火控系统目标探测设备交联,实现随动。最小允许发射距离应该尽可能的小,甚至减小到至 200m ~ 300m,以抓住稍纵即逝的战机(当然还要保证载机的安全)。

2. 中距空空导弹发展现状

中距空空导弹目前发展的主要特点是采用主动末制导,具有“发射后不管”的能力;采用复合制导,具有多目标攻击能力和攻击隐身目标能力;提高了导弹的巡航速度,使其具有较大的不可逃逸攻击区和较强的末端机动过载能力,可有效攻击第四代战斗机;采用弹载高速计算机、数字化信息处理技术和超大规模集成电路,采取多种电子对抗措施,使导弹具有很强的抗干扰能力。

3. 远距空空导弹现状

远距空空导弹的研制在欧、美、俄等国家和地区受到广泛的重视,现役和在研的射程超过 100km 的型号已有 10 余种,如美国的 AIM - 54A/C(已经退役)、俄罗斯的 P - 33、俄罗斯的 P - 77M 增程型,欧洲合作开发的 Meteor 和南非的 LRAAM。新型远距空空导弹具备全天候、高机动性及强抗干扰的超视距空战能力,攻击距离在 100km ~ 200km 之间,弹体尺寸、质量都维持在较低的水平。一般采用复合制导体制,中制导采用惯性制导 + (双向)数据链,末制导采用主动雷达/红外成像/主动或加半主动双模雷达/主动雷达或加红外成像双模寻的导引头。而且,导弹采用整体式固体火箭冲压发动机。

1.1.3 空地导弹发展历史

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^[4]。德国首先研制出世界上第一枚空地导弹,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,它可看作是最早的空地导弹,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。

20 世纪 50 年代后,空地导弹有了迅速发展,至今共发展了四代。空地导弹的发展重

点是战略巡航导弹、防区外发射的通用战术导弹、反辐射导弹、反坦克导弹和反舰导弹。

现役和研制中的空地导弹大概有 100 多种,美国和俄罗斯最多,其次是法国、英国、德国、以色列等国家。

美国战略空军已经装备了第四代隐身战略空地导弹 AGM - 129。其战术空地导弹也已经发展了四代,从第一个通用战术空地导弹 AGM - 12A“小斗犬”至今,已经发展了大量不同战技指标的空地导弹,特别是美国拥有型号最多的防区外空地导弹,如 AGM - 84E,AGM - 158 等。而反辐射导弹从 20 世纪 50 年代末就开始研制,导弹种类多,型号数量多,技术先进,威力强。目前,拥有包括第一代反辐射导弹——AGM - 45“百舌鸟”到第四代——AARGM 在内的四代导弹。可以说美国空地导弹的发展很大程度上影响着世界空地导弹发展的现状和趋势。

俄罗斯/苏联空军的对地打击能力也是世界上数一数二的,特别是其大量拥有的机载对地攻击导弹家族,不仅品种多样,而且性能出类拔萃,一点也不逊色于美国的同类装备。总体而言,其空地导弹包括也包括四代,即第一代的 AS - 1、AS - 2、AS - 3、AS - 4、AS - 5,第二代的 AS - 6、AS - 7、AS - 9、AS - 10,第三代 AS - 11、AS - 13、AS - 14、AS - 15,第四代的 AS - 12、AS - 16、AS - 17、AS - 18、AS - 19、AS - 20 等。

法国是美苏之后自主研制并装备使用空地导弹最早的国家,经过半个多世纪的发展,拥有了“北方”(Nord)AS. 11/11B/12/20/30/30L 系列通用战术空地导弹。目前,法国空军装备使用的是第三代通用战术空地导弹 AS. 30L。在防区外空地导弹方面,法国以 A-PACHE 系列为主,从性能指标上看已是国际先进水平,而且经过了实战检验(指其改进型“风暴之影”)。同时,法国正在发展超声速中远程空地导弹。

1.1.4 空地导弹发展现状

1. 模块化、系列化和通用化

根据执行任务的不同,一些空地导弹形成作战系列。例如,美国“小牛”空地导弹,已先后发展了 7 个型号,采用了电视、激光、红外三种制导技术。再如,美国 1970 年装备“陶”式反坦克导弹(破甲能力为 600mm);1981 年装备“陶一改”(破甲能力达 800mm);1983 年装备“陶”2(破甲能力 1030mm);1987 年装备“陶”2A 使用串连战斗部,对付反应式装甲。

对某种导弹进行一些改进,以执行不同的作战任务,称为通用化。第一种措施是将精导武器某个分系统进行改装或按模块化设计制造,例如为一种武器研制多种弹头。美国“陆军战术导弹系统”(ATAGMS),为了攻击不同目标,可以携带反装甲、攻击硬目标、反跑道弹头,地雷,950 个 M 74 反器材反软目标子弹药 5 种弹头中的一种。美国“三军防区外攻击导弹”、“战斧”巡航导弹等都可携带单弹头,也可以撒布子弹药。第二种措施是将一种导弹经过改造,满足另一种作战任务要求。如美国“斯拉姆”导弹是在“鱼叉”反舰导弹基础上,更换制导系统后形成的。第三种措施是同一种导弹经改进后,可由不同平台搭载,但仍完成同一种任务。例如,“飞鱼”导弹和“战斧”巡航导弹,均可舰载、机载、也可由潜艇发射。

此外,有些导弹不经什么改进,也可以两用。如美国“标准”舰空导弹,亦可以反舰;英国“海标枪”航空导弹既可以反飞机,又可以拦截反舰导弹。

模块化、通用化和系列化设计的目的是减少研制费用,降低单价,缩短研制周期。例如 AGM-84E SLAM 采用了“捕鲸叉”的弹体、发动机和战斗部,改装了 AGM-65D 的红外成像导引头,沿用了 AGM-62 的图像指令传输系统和 AN/AWW-14 的指令吊舱,加装了 GPS 接收机,仅用 27 个月便完成研制。

2. 防区外打击

防区外发射中程空地导弹以全新的作战使用方式攻击纵深严密防护的高价值地面目标时,表现出来的优点对各国的空中力量产生了强大的吸引力。没有任何国家的空中力量愿意多损失飞机,尤其是价值昂贵的现代作战飞机,因此,各国均调整了其武器装备发展计划,优先发展防区外发射中程空地导弹,提高发射平台的生存概率。

防空火力区域按防御布势,一般分为点防御、面防御和战区防御三个区域,其纵深约为 10km~30km,30km~120km 和大于 120km。与此相对应,防区外导弹一般分为近距、中距和远距三类。

例如,美国在海湾战争中已使用的“斯拉姆”(SLAM)防区外对地攻击导弹,是由“鱼叉”反舰导弹改装而成的,采用惯导加 GPS 复合中段制导,末段采用红外成像导引头,射程 92km。

3. 提高突防能力

为了攻击纵深严密设防的高价值目标,空地导弹的射程已超过 600km,大部分射程在 200km 左右,由于导弹大多以亚声速巡航,约需飞行 12min 以上,在如此长的距离和时间中导弹将面临各种防空系统的攻击,因此,必须提高导弹突防能力。提高导弹突防能力的方法主要有两种:一是采取隐身措施;二是采用超声速精确制导技术。

例如,AGM-129 ACM 先进巡航导弹的雷达截面积降低到 0.01m^2 以下,因此突防能力大大提高,能够有效躲避雷达和地面防空体系。但也有专家认为,与其花很大力量研究隐身措施,不如采取超声速攻击,使对方防御系统来不及反应,同样可达到提高生存能力的目的。

1.2 机载导弹作战使用

任何武器,不管其如何先进,总是有一定的使用条件,超越其允许条件使用,则会极大地削弱其威力,甚至变成无用。要想充分发挥导弹的作用,就必须知道导弹的使用和发射条件^[5],以合理使用导弹。

1.2.1 导弹的使用和发射条件

1. 使用条件

导弹使用时,必须在一定的条件约束下,如近距格斗空空导弹的使用条件包括:作战高度,载机发射速度与过载,气象条件(昼夜、简单/复杂气象条件),攻击方位(全向/尾后),发射方式(如定轴瞄准/定轴发射、定轴瞄准/离轴发射、定轴扫描/离轴发射、离轴瞄准/离轴发射等)。

2. 发射条件

导弹的发射也必须满足一定条件,如红外格斗空空导弹一般是在发射前截获目标,因

此,它要求发射前导弹截获目标的音响信号超过门限值,载机相对于目标的位置在导弹攻击区内等。

1.2.2 攻击区

空空导弹攻击区是指在一定的攻击条件下,由导弹性能决定的在目标附近发射导弹有可能命中目标的空间区域。在一定的攻击条件下,决定导弹攻击区的条件主要有:

- (1)弹上能源最长工作时间;
- (2)位标器最大跟踪角速度;
- (3)位标器最大离轴角;
- (4)近炸引信解除保险所需时间;
- (5)导弹的机动性能等。

对于空地导弹而言,地面目标和海面目标一般是固定不动或是运动的,其运动速度相对于导弹的飞行速度而言是非常小的,因此,可以近似认为目标速度为零。

攻击固定目标时,同其它方向比较而言,在水平面内各个方向上对导弹的要求都是一致的,因此,计算并建立在垂直平面内攻击区就足够了^[6]。这样的攻击区如图 1.1 所示,坐标系为 OHX ,坐标原点为目标中心, X 轴处于水平平面内,指向导弹发射方向, H 轴处于垂直方向,指向上。区域 $ABCD$ 就是导弹的攻击区,边界 AB 取决于导弹的最小发射距离,边界 CD 取决于导弹的最大发射距离,而 BC 与 DA 边界分别取决于最大和最小发射高度。

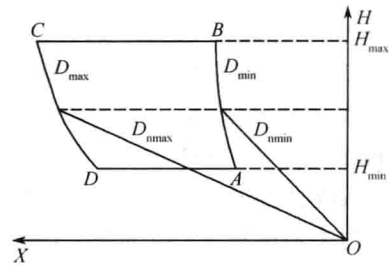


图 1.1 空地导弹攻击区示意图

在作战使用方面,空空导弹和近程空地导弹比较简单,一般只有末制导或采用指令中制导,而中远程空地导弹相对复杂,一般还有比较长的中制导段。下面简单介绍中远程空地导弹的作战使用问题。

各国中远程空地导弹的作战使用方式基本类似,导弹在投放前,目标和任务数据通过数据总线输入弹载计算机。如果没有数据总线,目标和任务数据必须在载机起飞前装入。有些导弹允许预装入多个目标和多条预定航线数据,在导弹投放前选定目标和航线。

导弹在预定发射区投放后发动机启动,弹上电源转换,导弹的飞行控制系统根据中制导系统实时导航数据和预存的航路规划数据进行比较,产生操纵指令,控制导弹沿预定航线飞行。在中制导阶段导弹一般以高亚声速、超低空随地形起伏飞行,在海面的巡航高度为 30m 以下,在地面的巡航高度为 60m 以下,某些型号的导弹采用较复杂的地形匹配系统,甚至在 10m 左右的高度巡航。

到达预定末制导开机点后,导弹的末制导系统激活,在一定的范围内进行扫描,向载机发回视频图像数据,载机的吊舱接收该数据后,通过数据总线显示在飞行员的综合显示器上,飞行员在综合显示器上识别目标后,停止导引头扫描并将导引头锁定目标上所希望的瞄准点,此后导弹自主攻击目标。

1.3 机载导弹系统作战效能评估历史与现状

1.3.1 国外机载导弹系统效能评估的现状

在作战飞机及机载武器效能分析领域,苏联、俄罗斯以及美国始终走在世界前列,这是由它们雄厚的航空实力特别是军用飞机研制能力以及作战需求决定的。尤其是苏联作为作战效能分析理论的发源地,为作战效能分析理论的形成和发展作出了许多贡献。

1940年,苏联专家 В. С. Пугачев 的著作《空中射击》的问世标志着空中射击效能理论的诞生。到1945年,А. И. 高尔莫嘎洛夫(А. И. Колмогоров)发表了两篇对作战效能具有划时代意义的论文,第一次指出:①射击的目的不是为了把弹药投向目标而是杀伤目标;②射击效率的指标可采用对目标的杀伤概率;③为了计算射击效率的指标,必须知道给定弹药的条件杀伤规律。

在20世纪40年代到60年代茹科夫空军工程学院成为苏联研究作战效能的中心之一,当时有 Е. С. 温特查理(Е. С. Вентцель)、Д. А. 温特查理(Д. А. Вентцель)、В. С. 普加乔夫(В. С. Пугачев)、Г. И. 巴科洛夫斯基(Г. И. Покровский)等著名教授在学院中工作。而 Е. С. 温特查理是当年茹科夫作战效能研究的精神领袖,在1961年出版了苏联第一本作战效能和军事运筹学教科书《作战效能的理论基础和运筹学研究》^[7],并与 Е. С. Вентцель 在1964年出版的专著《现代武器运筹学导论》^[8]一起奠定了现代武器装备系统效能评估的基础,使空对空单目标、多目标射击效能理论,空对地点目标、面目标、群目标射击效能理论趋于成熟,与此同时,给出了歼击机型武器装备、轰炸机型武器装备相互对抗的分析模型和随机作战模型的研究方法。

美国及欧洲军事强国早在20世纪60年代就开始重视这方面的工作,并且已经发展了多种效能分析方法。如指数法是针对系统的具体情况,建立相应的数学模型,计算反映系统能力的若干指数,然后综合成一个指数,该方法数学模型明确、直观、综合能力强,但是指数的权重会受到主观因素的影响。60年代提出的矩阵法,即美国工业界武器系统咨询委员会(WESIAC)提出的ADC方法,其数学模型比较严谨,效能含义明确,但是对于维数较多的大型系统评价比较困难。

随后,Ю. Г. Мильграм 与 И. С. Попов 于1970年共同完成了一本专著《航空作战技术效能和武器运筹学研究》^[9],使得空对空射击效能理论、空对地射击效能理论得到了进一步的深化和完善,并运用系统分析方法对系统的层次化作了定性的分析,给出了简单的量化模型,同时,对空战的多阶段性行动从定性到定量进行了分析,特别是对大目标和复杂目标,考虑到了火力组织的因素、损伤的积累效应等。

在20世纪60年代到80年代,空中射击和轰炸效能理论得到了进一步完善,Е. П. Калабухова 出版了《空中射击和轰炸效能评估的理论基础》^[10,11],从而填补了射击效能评估理论的空白——反导弹效能评估理论的研究。与此同时,空战效能理论得到了进一步的完善和深入,莫斯科航空学院及其它研究机构在这一方面做了大量的工作。首先,А. П. Гришин 对飞机的生存力评估^[12]以及飞机空战各阶段的效能评估^[13]进行了较为全面的论述,并对空战飞行过程中出现的随机因素和不确定因素提出了概率统计的

数学方法。Ю. В. 楚耶夫, D. A. 马特韦楚克以及 A. A. Страхов 对作战双方火力对抗过程中的随机空战理论模型在完全信息状态下的作战效果^[14]进行了深入的分析。A. В. Жбанков 和 B. С. Егеп 在文献^[15,16]中提出了作战飞机的武器规划问题,并给出了形式化的模型。这一时期,用于效能评估的数值算法、系统综合的优化算法也相继出现并不断地得到完善,在此基础上,形成了一整套飞行器系统设计的理论方法。美国麻省理工学院系统与决策实验室的 A. H. Levis 等人在 70 年代末、80 年代初提出了系统有效性分析方法(SEA)^[17],该方法物理含义明确,数学推理严谨,应用范围广泛,在军事系统中得到广泛的应用。

到了 20 世纪 90 年代,随着各种科学与技术的发展,国外(包括美国、俄罗斯以及其他一些西方国家)的效能评估理论正向系统化、自动化、智能化(可理解为智能算法在武器装备系统效能评估中的应用)方向发展。如将模糊理论、灰色理论及运筹学知识应用到武器系统效能分析中,出现了层次分析法、模糊综合评价法、灰色评估以及物元分析法等。同时,将遗传算法、神经网络、Petri 网的智能计算方法应用到武器系统效能分析中^[68],产生了相应的效能评估方法,并逐渐在军事系统中得到应用。

1.3.2 国内机载导弹系统效能评估的现状

飞机和武器作战效能评估研究在国内起步较晚,主要从 20 世纪 90 年代才开始的,但国内军事专家在武器装备系统效能评估领域已做了很多工作。最具代表性的是朱宝鏊、朱荣昌、熊笑非于 1993 年在航空工业出版社出版的《作战飞机效能评估》一书^[19]和张最良、李长生、赵文志、丁富力于 1993 在国防工业出版社出版的《军事运筹学》一书^[19],这两本著作标志着“效能”这一概念在我国已经形成,同时也给出了很多效能评估的方法。目前,“效能”这一概念和各种效能评估方法已经用于武器装备研究的各个领域。特别值得一提的是,军事科学出版社于 1996 年出版了涵盖了海、陆、空等有关舰舰导弹、舰空导弹、自行火炮、工程兵工程保障、C³I 系统等的作战效能评估方面的专著。2000 年后,在导弹作战效能分析和评估方面,出现了大量的著作,如《地地导弹武器系统效能评估方法》^[69]、《地地弹道式战术导弹效能分析》^[86]、《舰载武器系统效能分析》^[20]等。

从 80 年代后期,我国国防科技界逐渐重视武器系统的作战效能评估问题,并且在效能分析的理论方面有了重要的突破,对传统的分析方法做了诸多改进,而且也提出了一些适合我国国情的一些新的理论。