

弹道导弹 突防效能分析



汪民乐 李勇 著



國防工業出版社
National Defense Industry Press

弹道导弹突防效能分析

汪民乐 李勇 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

弹道导弹突防效能分析 / 汪民乐, 李勇著. —北京:
国防工业出版社, 2010. 5
ISBN 978 - 7 - 118 - 06618 - 0

I. ①弹... II. ①汪...②李... III. ①弹道导弹-军
事技术 IV. ①E927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 042739 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 7 $\frac{3}{4}$ 字数 198 千字

2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 26.00 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

随着反导防御系统技术的不断进步,反导防御系统的预警探测能力不断增加,拦截命中精度不断提高,这些都对弹道导弹的突防构成严重威胁,因此,发展有效的对付导弹防御系统的突防技术和方法,不断改进和提高弹道导弹的突防能力,对确保弹道导弹继续发挥应有的作用具有重要意义。

要有效提高弹道导弹的突防能力,就必须从弹道导弹突防系统总体论证、设计、突防技术运用及弹道导弹作战运用入手,充分考虑影响导弹突防的各种因素,对导弹突防手段进行综合分析、综合集成,而所有这些提高弹道导弹突防能力的活动,都离不开对导弹论证、研制方案及作战运用方案在突防方面有效性的评估与分析,其本质是一定条件下弹道导弹突防效能分析。目前,国内还没有可供参考的导弹突防效能分析方面的专著,本书正是基于这一需要,在作者多年研究成果的基础上,参考国内外相关文献编著而成。

本书由汪民乐提出立题,并设计全书总体框架和编写纲目,其中第1章~第6章、第10章~第12章由汪民乐撰写,第7章~第9章由李勇撰写,全书插图的绘制及文稿的校对由李勇和房茂燕完成,最后由汪民乐负责全书的统稿。本书的编著与出版得到军队“2110工程”和第二炮兵工程学院学术专著基金的资助,并得到第二炮兵工程学院科研部及其相关业务处领导和同志们的大力支持与帮助。此外,西北工业大学电子与信息学院院长高晓光教授、

第二炮兵工程学院基础部主任毕义明教授、第二炮兵装备研究院汪德武研究员也曾对本书提出宝贵建议,并提供部分资料,在此一并致谢!

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正!

作者

2009年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 国内外作战效能分析研究现状	3
1.2.1 作战效能分析理论发展概况	3
1.2.2 作战效能分析基本方法	4
1.3 国内外导弹突防效能研究现状	7
1.3.1 突防基础理论研究	7
1.3.2 提高导弹突防效能的技术与策略研究	9
1.3.3 导弹突防效能评估研究	12
1.4 本书的主要内容	13
参考文献	16
第2章 天一地一体化反导威胁环境分析	19
2.1 NMD 系统简况	19
2.2 NMD 系统组成与功能	23
2.3 NMD 系统部署	26
2.3.1 部署方案	26
2.3.2 基地选址	27
2.4 NMD 系统作战过程	29
2.4.1 早期预警阶段	29
2.4.2 拦截决策阶段	31

2.4.3	拦截实施阶段	32
2.4.4	拦截效果评估	32
2.5	NMD 系统的研制进展	33
2.6	NMD 系统的威胁与影响分析	36
2.6.1	对我国国家安全的威胁	36
2.6.2	对国际军控与裁军事业以及武器 扩散的影响	38
2.7	导弹防御系统的发展动向	40
2.7.1	美国	40
2.7.2	俄罗斯	49
2.7.3	日本	50
2.7.4	印度	51
	参考文献	52
第3章 天—地一体化反导威胁环境下弹道导弹 突防对策		
3.1	引言	54
3.2	弹道导弹突防技术	54
3.2.1	电子干扰与电子对抗	54
3.2.2	隐身技术	56
3.2.3	诱饵	58
3.2.4	速燃助推	60
3.2.5	多弹头技术	60
3.2.6	机动变轨	60
3.2.7	导弹加固	62
3.2.8	弹体和弹头旋转	63
3.2.9	高速导弹	64
3.3	弹道导弹突防战术	64
3.3.1	饱和攻击	64

3.3.2	选择有利弹道	64
3.3.3	选择有利发射时机	65
3.3.4	机动发射平台	66
3.3.5	快速发射	66
3.3.6	隐蔽发射	67
3.3.7	威胁规避	67
	参考文献	67
第4章	弹道导弹突防隐身效果评估	69
4.1	引言	69
4.2	无干扰时导弹被雷达探测概率计算	69
4.2.1	雷达单个脉冲探测概率模型	69
4.2.2	雷达频率不变时弹头被探测概率计算	70
4.2.3	雷达频率变化时弹头被探测概率计算	71
4.3	无干扰时导弹被红外探测概率计算	71
4.3.1	红外探测系统及其探测工作原理	72
4.3.2	弹道导弹被反导系统红外探测和识别 的机理分析	76
4.3.3	导弹飞行过程中火焰及表面温度计算	78
4.3.4	导弹被红外探测器扫描一次的探测 概率计算模型	82
4.3.5	导弹被预警卫星红外系统探测概率的 计算	87
4.4	对反导预警探测系统电子干扰效果的估算	89
4.4.1	电子干扰效能评估模型组成	90
4.4.2	进攻导弹弹道模型	90
4.4.3	反导预警系统探测及其电子战效能 模型	92
	参考文献	94

第 5 章 弹道导弹突防伪装效果评估	96
5.1 引言	96
5.2 诱饵掩护下弹头被识别概率计算	96
5.3 诱饵掩护下至少一枚弹头突防概率计算	97
5.4 诱饵掩护下弹头平均突防数计算	100
5.4.1 变量定义	100
5.4.2 被摧毁弹头数的概率分布	101
5.4.3 弹头平均突防数计算	103
5.4.4 反导系统采用识别后拦截策略时弹头 平均突防数计算	103
5.5 反导系统连续拦截时诱饵掩护效果估算	104
5.5.1 利用一个诱饵掩护进攻导弹	104
5.5.2 利用两个诱饵掩护进攻导弹	106
5.5.3 利用 m 个诱饵掩护进攻导弹	107
5.5.4 n 枚拦截弹毁伤目标的总概率	107
参考文献	108
第 6 章 弹道导弹突防中被动能拦截弹命中概率计算	109
6.1 引言	109
6.2 计算导弹被拦截弹命中概率的一般方法	109
6.3 几种典型交会方式下导弹被命中概率的计算 模型	112
6.3.1 拦截弹后方追击或迎头拦截	112
6.3.2 拦截弹侧向拦截	112
6.3.3 拦截弹在进攻导弹弹道平面内实施拦截	114
6.4 导弹抗拦截中实施反截获机动时的飞行控制策略	116
6.4.1 实施反截获机动的基本思想	116
6.4.2 实施反截获机动时的导弹飞行控制方法	117

6.5	计算导弹被拦截器命中概率的高精度数值积分算法	119
6.5.1	高精度数值积分算法推导	119
6.5.2	算法步骤	126
6.5.3	算法验证	127
6.6	导弹被命中概率仿真算例	129
	参考文献	130
第7章	弹道导弹壳体被动能拦截弹命中后摧毁效果计算 ..	131
7.1	引言	131
7.2	动能拦截弹的分类	132
7.3	进攻导弹壳体被动能拦截弹撞击后响应的研究方法	133
7.3.1	动能撞击问题的一般研究方法	133
7.3.2	侵彻类型的确定	135
7.3.3	撞击时的材料响应	136
7.4	进攻导弹壳体被动能拦截弹撞击后响应的计算	138
7.4.1	进攻导弹与拦截弹的碰撞假设	138
7.4.2	拦截弹与进攻导弹的撞击速度计算	139
7.4.3	进攻导弹壳体厚度判据	140
7.4.4	进攻导弹壳体被动能拦截弹弹头撞击的破坏类型	141
7.4.5	弹道极限速度	143
7.4.6	剩余速度	146
7.4.7	侵彻深度和阻力的计算	148
7.4.8	引燃及引爆概率	153
7.5	摧毁效果分析	155
7.5.1	算例分析	155
7.5.2	进攻导弹被摧毁效果的判断	156

参考文献	157
第8章 弹道导弹突防中抗动能杆及预制破片摧毁能力评估	159
8.1 引言	159
8.2 动能拦截弹的预制破片及动能杆战斗部	159
8.2.1 预制破片战斗部——杀伤增强器	159
8.2.2 动能杆战斗部	160
8.3 动能杆及预制破片拦截进攻导弹的特性分析	162
8.3.1 静态飞散特性	162
8.3.2 数量和质量分布	163
8.3.3 静态速度	164
8.4 进攻导弹被动能杆及预制破片摧毁效果计算	166
8.4.1 动能杆及预制破片速度	166
8.4.2 动能杆及预制破片对目标毁伤概率计算	166
8.4.3 仿真实例	168
参考文献	168
第9章 弹道导弹突防中抗激光拦截器摧毁能力评估	170
9.1 引言	170
9.2 激光拦截器的优越性	171
9.3 各种激光武器及其作战过程	173
9.3.1 激光武器的关键技术	173
9.3.2 天基激光武器及其作战过程	173
9.3.3 地基激光武器及其作战过程	174
9.3.4 机载激光武器及其作战过程	175
9.4 进攻导弹被激光拦截器拦截的毁伤机理	176
9.4.1 毁伤类型	176
9.4.2 激光拦截器的能量选择	177
9.4.3 激光拦截器的能量密度	179

9.5 进攻导弹被激光拦截器拦截时的摧毁效果评估	182
9.5.1 命中概率受红外探测能力影响分析	182
9.5.2 进攻导弹上激光辐照度的分析	184
9.5.3 进攻导弹贮箱被连续波激光摧毁效果 分析与计算	189
9.5.4 进攻导弹弹头被连续波激光摧毁的 分析与计算	195
9.5.5 进攻导弹被激光拦截器摧毁的其他 影响因素分析	196
参考文献	196
第10章 弹道导弹突防效能多指标综合评价	198
10.1 引言	198
10.2 弹道导弹突防对抗过程的总体分析	198
10.2.1 弹道导弹突防过程的物理描述	198
10.2.2 弹道导弹突防过程的对抗分析	199
10.3 弹道导弹突破能力综合评价	200
10.3.1 进攻导弹突破能力评价指标体系的 建立	200
10.3.2 进攻导弹突破能力评价指标效用值 的计算	201
10.3.3 进攻导弹突破能力效用值的计算	203
10.4 反导系统防御能力综合评价	205
10.4.1 反导系统防御能力评价指标体系的 建立	205
10.4.2 反导系统防御能力评价指标体系的 量化	206
10.4.3 反导系统防御能力效用值的计算	208
10.5 弹道导弹突防效能综合评价	208
参考文献	208

第 11 章	导弹防御系统总体有效性的初步分析	210
11.1	引言	210
11.2	导弹防御系统有效性分析模型	210
11.2.1	导弹防御问题的伯努利试验模型	210
11.2.2	目标杀伤概率计算	212
11.2.3	满足防御性能指标所需要的 拦截器数量	214
11.2.4	两种火力原则下的拦截有效性	214
11.2.5	导弹防御系统有效性计算分析	216
11.3	弹道导弹对导弹防御系统总体突防效能 指标计算	217
11.3.1	单枚导弹突防概率计算	217
11.3.2	多枚导弹突防概率计算	218
	参考文献	219
第 12 章	弹道导弹突防效能的仿真实验分析	220
12.1	引言	220
12.2	拦截弹射击误差对导弹突防的影响	220
12.2.1	拦截弹射击标准差对导弹突防的影响	220
12.2.2	拦截弹系统误差对导弹突防的影响	222
12.3	进攻导弹半径对导弹突防的影响	223
12.3.1	考虑拦截弹系统误差时进攻导弹半径 对导弹突防的影响	223
12.3.2	不考虑拦截弹系统误差时进攻导弹半 径对导弹突防的影响	225
12.4	拦截弹半径对导弹突防的影响	226
12.5	进攻导弹弹头长度对导弹突防的影响	230
12.6	拦截弹与进攻导弹交会角对导弹突防的影响	231
	参考文献	234

第1章 绪 论

1.1 引 言

1999年3月,美国通过“弹道导弹防御计划”,正式将弹道导弹防御列为美国国策。这种做法不仅有悖于时代潮流,而且可能打破地区乃至全球的战略平衡,危及世界和平与稳定。2001年12月13日,美国政府单方面宣布退出反导条约,这更是给世界发出了一个危险的信号。对此,俄罗斯适时做出了反应。2004年11月29日,俄罗斯宣布:俄罗斯的一种现代化反弹道导弹系统(简称反导系统)已经研制成功并通过了试验。事实上,自从弹道导弹问世以来,世界军事大国就一直在寻找对付弹道导弹的技术途径,积极发展反导防御系统。到目前为止,全球已有18个国家和地区从美国、俄罗斯购买并部署了弹道导弹防御系统,12个国家和地区开展了反导系统的研制。以美国为代表的发达国家凭借其科学技术的优势,积极寻求发展先进的战区导弹防御系统(Theater Missile Defense, TMD)和国家导弹防御系统(National Missile Defense, NMD),并不断改进其弹道导弹防御计划,这严重削弱和降低了有限核力量国家的核威慑能力,破坏了全球战略力量的平衡与稳定。

在弹道导弹防御武器与技术不断发展的今天,发展有效的对付导弹防御武器的突防技术和方法,是确保弹道导弹继续发挥应有的军事作用的唯一途径,具有十分重要的战略意义。突防技术与方法的主要表现:第一,突防手段将是一种威慑力量。有了多种可以用来对付敌导弹防御系统的突防手段,将给敌方的防御造成一些不确定因素,使敌方没有防御导弹的足够把握,从而降低其信

心,起到威慑的作用。第二,突防手段是“力量倍增器”。没有突防手段,只能采用饱和攻击的战术,从而要求增加部署大量的弹道导弹数量;而有了突防手段,则可以采用有限攻击的战术,使敌方的防御失去作用或至少降低其作用,节省作战经费,达到更高的效费比。第三,突防手段是不对称战略思想的具体体现。发展多种突防手段,不仅可以使敌方防御系统的有效性降低,而且,还会迫使敌方投入更多的经费来改进和完善其防御体系,付出更大的代价。在进攻性武器上的低投入,可以造成敌方在防御性武器上的高花费,这已被事实所证明。随着美国、俄罗斯、西方一些国家的反导系统技术的不断进步,反导系统的预警时间不断增加,拦截命中精度不断提高,这些都对弹道导弹的突防构成严重威胁。因此,如何改进和提高弹道导弹的突防能力以保持其作战有效性是弹道导弹在 21 世纪面临的重大挑战。

要有效提高弹道导弹的突防能力,就必须从弹道导弹突防系统总体论证、设计、突防技术运用及弹道导弹作战运用入手,充分考虑影响弹道导弹突防的各种因素,对弹道导弹突防手段进行综合分析、综合集成,而所有这些提高弹道导弹突防能力的活动都离不开对弹道导弹论证、研制方案及作战运用方案在突防方面有效性的评估,其本质是一定条件下弹道导弹突防效能评估。本书以此为目的,以现代作战效能分析理论为研究基础,依据弹道导弹武器系统总体战术、技术指标和弹道导弹突防系统总体设计要求,针对空—天—地一体化反导威胁环境下弹道导弹突防效能评估这一关键问题开展研究,通过综合运用作战效能分析方法,建立各种不同情形下的弹道导弹突防效能评估模型,实现弹道导弹突防效能指标的计算机仿真计算,为弹道导弹总体论证、设计及突防作战提供计算机仿真实验平台,避免实弹演习试验带来的负面影响,其优势和作用十分明显。例如,弹道导弹突防效能的计算机仿真计算能按照设计要求进行可重复性的模拟试验,减少实弹试验的经济消耗;能够部分代替靶场实弹试验积累战场数据;实现过程方便快捷,且成本低、无危险;不会有实弹试验可能带来的政治压力。本

书能够为弹道导弹突防总体设计和弹道导弹突防作战提供决策方法和参考依据,尤其可用于我国新一代弹道导弹对导弹防御系统突防效能的预先评估。

1.2 国内外作战效能分析研究现状

要有效地提高包括弹道导弹在内的各种武器系统的作战能力,就必须从武器系统的研制和作战运用两方面入手。而无论对于研制还是对于作战运用,作战效能分析都是一项重要的基础性工作。作战效能分析是一门方兴未艾的年轻科学,自诞生之日起就在武器系统总体方案评估、作战行动效能评估、作战方案评估等方面发挥着重要作用。因此,美国、俄罗斯等军事强国都对作战效能分析予以充分地重视。

广义地讲,作战效能分析包括作战效能评估和作战效能优化。目前,在效能评估方面研究成果较多,方法也较成熟;但效能优化方面的研究成果偏少,许多问题亟待解决。作战效能优化要解决的核心问题是如何从武器系统研制和战术运用两个角度出发最大限度地提高作战效能,目前,所采用的主要方法是实际试验法和数学模型法。由于实际试验成本高且有危险性,因此最常用的是数学模型法,包括解析模型法和模拟模型法,而解析模型法因其简洁性和低成本更多地被采用。由于武器系统自身性能的复杂性以及作战环境的复杂性,导致作战效能分析模型的高度复杂性。目前,作战效能分析理论和方法正处在不断发展之中。

1.2.1 作战效能分析理论发展概况

目前,在作战效能分析领域,俄罗斯以及美国始终走在世界前列,这是由它们雄厚的国防实力特别是武器系统研制能力以及作战需求牵引作用决定的。尤其是苏联作为作战效能分析理论的发祥地,为作战效能分析理论的形成和发展做出了许多贡献。

1940年,苏联专家B. C. Ttyiaueb的《空中射击》一书的问世,

标志着空中射击效能理论的诞生。到 20 世纪 60 年代,现代武器系统分析的理论基础初步形成,与此同时,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,歼击型武器装备,轰炸型武器装备对抗分析模型也已产生。20 世纪 60 年代至 80 年代,航空武器系统效能分析理论逐步形成体系,空中射击和轰炸的效能理论进一步完善,并出现了新的射击效能理论——反导弹效能评估理论。此外,空战效能理论得到更加深入的研究。这一时期取得了许多效能分析研究成果。例如,提出了飞机生存力评估理论和方法;针对空战中的不确定因素,提出了基于统计理论的处理方法;作战飞机武器规划问题得到研究并给出了形式化模型;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。在此基础上形成了一整套飞行器系统设计理论和方法。

国内开展作战效能分析研究的历史虽然不长,但发展较快,许多国防工业专家和军事专家进行了卓有成效的工作。其中最具有代表性的著作,是 1993 年航空工业出版社出版的《作战飞机效能评估》和军事科学出版社出版的《军事运筹学》。前者系统地总结了国内外作战飞机效能评估方法,对实际开展效能评估工作有较大的参考价值;后者对效能分析领域一些容易混淆的理论问题进行了进一步澄清,对效能概念的形成、效能理论和方法的规范化起到了重要作用。目前,效能分析理论和方法已经渗透到各种武器系统设计制造、系统分析和作战运用等各个方面,其应用越来越广泛。但在效能分析理论方面具有创新性的成果尚不多见,这反过来又制约了国内作战效能分析总体水平的提高。

1.2.2 作战效能分析基本方法

作战效能分析是对作战效能指标值进行定量评估或优化的专门科学,目前,已经发展了多种方法,除了实际试验、演习外,基于模型的方法可归纳为以下几类。

(1) 性能对比法。对几种武器系统的作战性能进行比较,以