

导弹武器系统 效能分析的随机理论方法

Stochastic Theory and Method for Effectiveness
Analysis of Missile Weapon Systems

韩松巨 著

国防工业出版社

TJ7
1016

TJ7
1016-1

导弹武器系统效能分析的 随机理论方法

Stochastic Theory and Method for Effectiveness Analysis of Missile Weapon Systems

韩松臣 著



200203945

国防工业出版社

·北京·

200203945

图书在版编目(CIP)数据

导弹武器系统效能分析的随机理论方法/韩松臣著.
北京:国防工业出版社,2001.11

ISBN 7-118-02525-9

I. 导... II. 韩... III. 导弹-系统性能-性能
分析-方法 IV. TJ76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 17016 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 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 4 $\frac{5}{8}$ 110 千字

2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

印数:1-1500 册 定价:14.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

500309245

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄宁

副主任委员 殷鹤玲 高景德 陈芳允 曾铎

秘书长 崔士义

委员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

前 言

武器系统作战有效性的概念,来源于系统工程中系统效能之可用性。对于武器系统来说,系统的使用即作战应用。它属于军事技术运筹学的研究范畴,系统的作战有效性与武器系统的性能密切相关,与系统可靠性之间的关系相对独立。

战争几乎是伴随着人类的出现而出现的。人们对于提高战争的工具功效的兵法和谋略,就是武器作战应用较早的研究内容。有记载的最早的作战应用研究,可以追溯到春秋战国时期著名的军事家孙武的《孙子兵法》。此外,《孙臆兵法》、《尉缭子》、《百战奇略》等历代军事名著中都含有很多的运筹思想。到第一次世界大战初期,英国人 F. W. Lanchester 于 1914—1916 年间建立了描述作战双方兵力损耗过程的微分方程(后人称之为 Lanchester 方程),并进行了有关作战研究的大量论述,开创了用数学理论定量分析研究战争的先河。第二次世界大战促进了武器使用效率的研究,第二次世界大战期间,英、美的一些研究人员开展了雷达配置、高炮效率、反潜作战、水雷效率等研究,并在实战中取得了较好的效果。在这些研究的基础上,逐渐形成了这门新兴的军事技术学科——军事技术运筹学。

自 40 年代末计算机出现以来,计算机仿真技术开始广泛地应用于军事运筹学研究当中。为了分析和讨论存在于武器系统的使用过程中许多不确定随机因素的影响,统计试验分析方法成为目前使用最广泛的分析研究方法。然而,这种方法因需要对大量的样本进行统计分析,耗时多成为该方法无法回避的缺憾。

随着武器种类的不断增多,战场环境日新月异,单凭指挥员的经验和直觉已无法满足现代化战争的指挥需要。军事指挥辅助决

策系统的出现已成为历史的必然。相关领域的科技人员一直在寻找能够对武器系统作战有效性快速进行分析的解析方法。

书中的大部分内容是哈尔滨工业大学拟为硕士研究生开设的《防空导弹武器系统攻防对抗导论》课程提纲,以及哈尔滨工业大学博士学位论文《防空导弹武器系统作战有效性分析》中的内容。与航天工业总公司二院二部合作的国防科技基金项目“防空导弹武器系统攻防对抗研究”为本书提供了写作背景。随机理论方法模型既是快速分析问题的解析模型,又具有统计分析的量化特征。书中着重阐述了随机理论方法模型的建立与应用。这种方法得益于随机决策理论等数学理论和计算机技术的发展,因此可以预言,它将是未来效能分析理论的主要分析方法。

本书共分为9章,第1章简单评述武器系统作战有效性分析研究的历史及各阶段的贡献;第2章介绍了协方差描述函数法的基本思想;第3章在上一章的基础上阐述了统计线性化伴随技术的主要内容;第4章通过状态平衡分析建立了随机理论模型;第5章给出了不同类型防御体系的作战有效性的计算方法;第6章利用随机理论方法讨论了火力目标分配问题;第7章介绍了武器系统的优化作战布局问题;第8章分析了火力对抗条件下武器系统的作战有效性分析;第9章以城市防空布防为例简述了随机理论方法的优越性。

哈尔滨工业大学的林晓辉副教授参加了本书第1章、第2章、第3章的编写,南京航空航天大学的狄丽萍同志参与了本书第1章、第6章的编写,对他们的帮助作者深表感谢!

本书力求建立一种全面、系统的作战有效性分析方法,然而受著者水平和视点的局限,同时作为一种新的理论分析方法,尚有许多需要完善的地方。在一种新理论分析方法的建立过程中,著者真心希望能有更多的研究人员加入其中,使这种新的理论分析方法早日趋于成熟、完美。

感谢在本书的写作过程中,航天工业总公司二院二部杨存富总工程师、陈国新总工程师、石德平研究员给予的热情指导和帮

助。此外,我要特别感谢哈尔滨工业大学邵成勋教授,没有他的殷切关怀与支持,这本书是不会和读者见面的。感谢国防科技图书出版基金对本书的资助。

大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

作者
国防科技图书出版基金
2000年12月

本书由大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授
大连理工大学机械工程系邵成勋教授

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 效能分析的概念与发展	1
1.2 作战效能分析方法发展状况	3
1.2.1 统计试验法	3
1.2.2 含有统计特征的解析方法	3
1.3 本书的主要内容	6
第 2 章 协方差分析描述函数技术	8
2.1 线性系统和非线性系统的协方差分析	8
2.1.1 线性系统的协方差分析	8
2.1.2 非线性系统的协方差分析	11
2.2 统计线性化原理及描述函数的计算	13
2.2.1 统计线性化的基本原理	13
2.2.2 随机输入描述函数的计算	15
2.2.3 统计线性化精度与协方差分析描述函数法的精度问题	24
2.3 随机偏差的传播途径和 CADET 算例	26
2.4 对 CADET 的综合评述	36
2.4.1 CADET 方法与 Monte - Carlo 方法的比较	36
2.4.2 CADET 的发展和结论	37
第 3 章 统计线性化伴随法	39
3.1 SLAM 的基本原理和计算方法	39
3.1.1 与伴随理论有关的几个问题	39
3.1.2 SLAM 的基本理论	41
3.2 SLAM 的算例	48

3.3 对 SLAM 的综合评述	53
第 4 章 防空导弹作战有效性分析的排队论模型	55
4.1 典型作战态势分析	55
4.1.1 目标空袭模式	55
4.1.2 防空武器系统及其杀伤区	57
4.1.3 武器系统射击准则的简单描述	57
4.2 作战分析的随机服务系统理论模型	58
4.2.1 基本假设及事件概率分析	58
4.2.2 状态分析	61
4.2.3 统计平衡分析	65
4.3 排队模型与纯概率分析模型的对比分析	67
4.4 目标突防概率的计算方法	70
4.4.1 目标流失概率	70
4.4.2 目标的突防概率	71
第 5 章 防御体系的作战有效性分析	73
5.1 链形防御体系的作战有效性分析	73
5.1.1 确定通过防线任意航迹上的火力数与 火力区的纵深	74
5.1.2 目标在火力区内的平均逗留时间	75
5.1.3 防线的作战有效性	76
5.1.4 算例	78
5.2 掩护式防空防御体系的作战有效性评价	80
5.2.1 用极坐标计算火力纵深	80
5.2.2 火力分道	81
5.2.3 平均逗留强度与火力分配间的关系	81
5.3 混合类型防空防御体系的作战有效性评价	82
5.3.1 目标流的分配方法对有效性的影响	83
5.3.2 主战型武器优先分配情况的评价模型及方法	85
第 6 章 武器目标分配	89
6.1 引言	89

6.2	发射方案对作战有效性的影响	90
6.3	基于马尔柯夫决策过程最优化的动态 WTA 方法	95
6.3.1	基本假设	95
6.3.2	目标分配决策模型的建立	96
6.3.3	算法	98
6.3.4	算例与分析	100
6.4	动静态相结合的 WTA 新方法	101
6.4.1	动静结合的火力分配过程	102
6.4.2	对动静结合分配方法的几点思考与补充	102
第 7 章	防空武器系统的组网理论	104
7.1	引言	104
7.2	由同类武器组成防线的优化配置过程	105
7.2.1	单层防线的配置过程	105
7.2.2	多层防线的配置过程	106
7.3	不同类型武器防线的优化配置	108
7.3.1	模拟退火算法	109
7.3.2	改进 Boltzmann 常数的选取方法	111
7.4	优化布局算例	113
第 8 章	火力对抗条件下的作战有效性分析	117
8.1	引言	117
8.2	轰炸机—防空导弹对抗的 Lanchester 方程	117
8.2.1	确定型 Lanchester 方程	117
8.2.2	随机类型的 Lanchester 方程	119
8.3	目标有火力对抗条件下的作战有效性分析方法	121
第 9 章	城市防空布局规划	123
9.1	引言	123
9.2	城市防空布局规划过程	123
9.3	城市防空布局实例	124
	参考文献	129

Contents

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Concept and Development of Effectiveness Analysis	1
1.2	Analyse Methods of Combat Effectiveness	3
1.2.1	Monte - Carlo Statistic Test Method	3
1.2.2	Analytic Methods Involving Statistic Feature	3
1.3	Chief Contents of This Book	6
Chapter 2	Covariance Analysis Describing Function	
	Technique	8
2.1	Covariance Analysis of Linear and Non - linear Systems	8
2.1.1	Covariance Analysis of Linear Systems	8
2.1.2	Covariance Analysis of Non - linear Systems	11
2.2	Statistic Linearization Principle and Describing Function Calculation	13
2.2.1	Statistic Linearization Principle	13
2.2.2	Calculation of Describing Function with Stochastic Input	15
2.2.3	Precision Issues of Statistic Linearization and CADET Method	24
2.3	Stochastic Deviation Transmit Path and CADET Example	26
2.4	Integrated Comment on CADET	36
2.4.1	CADET and Monte - Carlo Methods Compared	36

2.4.2	Development and Conclusion of CADET	37
Chapter 3	Statistical Linearization Adjoint Method	39
3.1	SLAM Principle and Means to Calculate	39
3.1.1	Several Questions About Adjoint Theory	39
3.1.2	SLAM Principle	41
3.2	SLAM Example	48
3.3	Integrated Comment on SLAM	53
Chapter 4	Queuing Model of Combat Effectiveness	
	Analysis of Air Defence Missile	55
4.1	Typical Combat Situation Analysis	55
4.1.1	Target's Air Attack Mode	55
4.1.2	Air Defence Weapon System and Its Kill Area	57
4.1.3	Brief Description of Weapon System Shoot Criterion	57
4.2	Combat Analysis Model Based on Stochastic Service System Theory	58
4.2.1	Basic Presumption and Event's Probability Analysis	58
4.2.2	State Analysis	61
4.2.3	Statistical Equilibrium Analysis	65
4.3	Queuing Model and Pure Probability Model Compared	67
4.4	Probability Calculation Means of Penetrated Target	70
4.4.1	Probability of Run off Target	70
4.4.2	Probability of Penetrated Target	71
Chapter 5	Combat Effectiveness Analysis of Defence System	73
5.1	Combat Effectiveness Analysis of Chain – like Defence System	73
5.1.1	Determining Fire Number and Fire Depth Along Any Track	74

5.1.2	Target's Average Stay in Fire Area	75
5.1.3	Combat Effectiveness of Defence Line	76
5.1.4	Example	78
5.2	Combat Effectiveness Evaluation of Shield – mode	
	Defence System	80
5.2.1	Compute Fire Depth in Polar Coordinates	80
5.2.2	Distinguish Fire Layer	81
5.2.3	Relation Between Average Stay Intensity and	
	Fire Assignment	81
5.3	Combat Effectiveness Evaluation of Mix – mode	
	Defence System	82
5.3.1	Influence of Target Flow Assignment Method on	
	Effectiveness	83
5.3.2	Model and Method of Effectiveness Evaluation,	
	in Which Main Weapon Have Been Assigned Firstly	85
Chapter 6 – Weapon – target Assignment		89
6.1	Foreword	89
6.2	Influence of Shoot Scheme on Combat Effectiveness	90
6.3	Dynamic WTA Method Based on Markov Decision	
	Process Optimization	95
6.3.1	Basic Presumption	95
6.3.2	Buildup of Decision Model of Target Assignment	96
6.3.3	Algorithm	98
6.3.4	Example and Analysis	100
6.4	A New WTA Method Conjoint with Dynamic and	
	Static Method	101
6.4.1	Fire Assignment Process Conjoint with Dynamic	
	and Static Method	102
6.4.2	A Few Thoughts and Complements on	
	New WTA Method	102

Chapter 7	Dispose Theory for Air Defence	
	Weapon System	104
7.1	Foreword	104
7.2	Optimal Disposal Process of Defence Line Composing of Same Weapon	105
7.2.1	Disposal Process for Monolayer Defence Line	105
7.2.2	Disposal Process for Multilayer Defence Line	106
7.3	Optimal Disposal of Defence Line Composing of Differ Weapon	108
7.3.1	Simulating Annealing Algorithm	109
7.3.2	A Improved Select Method for Boltzmann Constant	111
7.4	Example for Combat Configuration Optimization	113
Chapter 8	Combat Effectiveness Analysis In	
	Anti – fire Case	117
8.1	Foreword	117
8.2	Lanchester Equation Between Bomb Carrier and Air Defence Missile	117
8.2.1	A Fixed Type Lanchester Equation	117
8.2.2	A Stochastic Type Lanchester Equation	119
8.3	Combat Effectiveness Analysis in Case of the Target with Anti – fire	121
Chapter 9	The Air Defence Configuration Planning	
	for City	123
9.1	Foreword	123
9.2	Configuration Planning Process for City Air Defence	123
9.3	Configuration Example for City Air Defence	124
Reference	129

第1章 绪论

1.1 效能分析的概念与发展

任何一个系统的最终目的都是用以完成某些指定的功能(或任务)。通常将一个系统完成其任务的综合能力称作系统的效能或有效性(Effectiveness)。一般,武器系统的作战有效性可以定义为在特定作战条件下、在给定时间内,系统成功地达到作战要求的概率。对于可以单发射击的武器,系统的有效性也就可以定义为在指定条件下武器杀伤目标的概率。

目前,效能分析工作主要集中在以下两个方面:

- (1)在对武器(个体)制导精度或落点精度分析的基础上得出武器的单发杀伤概率;
- (2)对武器系统、局部防御乃至整个防御系统(群体)完成作战任务能力的评价。

此外,由于军事指挥自动化系统的出现,包括火力目标分配、武器系统的作战布局等指挥控制理论和应用程序,已成为组成武器系统有机整体的一部分,所以不断改进和完善指挥控制系统理论和应用程序,已成为提高防御体系作战有效性的研究工作之一。

导弹兵器的实战能力(作战效能),不仅取决于现装导弹的数量和技术性能,还取决于导弹的战斗使用。因此,武器系统效能分析工作无论是在导弹设计过程中,还是在武器的作战应用过程中,都具有十分重要的意义。

通过准确的效能分析,可以为新型武器系统规划的制定和发展方向的确定提供科学的依据,以减少决策中的失误。在设计和研制过程中,对武器系统总体性能参数和一些分系统的设计参数