

地面防空武器系统 效费分析

Effectiveness-cost Analysis
on Land-based Air Defense Weapon System

肖元星 张冠杰 等编著

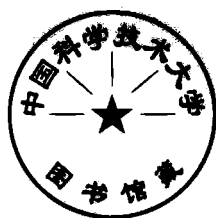


国防工业出版社
National Defense Industry Press

地面防空武器系统效费分析

Effectiveness-Cost Analysis on
Land-based Air Defense Weapon Systems

肖元星 张冠杰 等编著



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

地面防空武器系统效费分析/肖元星等编著. —北京:
国防工业出版社, 2006.3

ISBN 7-118-04271-4

I. 地... II. 肖... III. 防空—武器—效用分析
IV. E926.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 150618 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)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11½ 字数 296 千字

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 28.00 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

在系统效能不小于给定效能临界值的条件下选择费用最低的方案,或在所需费用不大于给定费用临界值的条件下选择效能最高的方案,是规划、设计、研制、生产和装备使用武器系统所追求的总目标。在武器系统从研制到装备使用过程的各个阶段,人们总是通过“效能—费用分析”或“费用—效能分析”来衡量或评价各个系统方案的优劣,然后作出选择或决策。所以,效能—费用分析在武器系统的研制与装备(采购)过程中具有决定性的意义。

美国和苏联/俄罗斯从 20 世纪 60 年代起,就投入大量人力、物力和财力,对武器系统的效能和费用进行了系统深入的研究,其研究成果在陆、海、空、天各类武器装备的规划、研制、部署和作战使用中得到了广泛的应用,取得了巨大的军事、经济效益,大大推动了武器装备的发展。

我国自 20 世纪 70 年代末 80 年代初开始,也陆续开展了武器系统效能和费用研究。目前,陆、海、空三军和国防工业部门已在有关武器装备领域取得了不同程度的研究成果,有些成果已在武器装备的发展建设中得到应用,取得了显著的军事、经济效益。

武器系统效能—费用分析,涉及到大量的数学基础和武器装备的各种专门知识,其中,所用到的数学基础包括概率论、随机过程、数理统计、排队论、误差理论、射击理论、模糊数学和辅助决策方法等。

本书是作者长期从事地面防空武器系统效能—费用研究成果的结晶。全书共分 10 章。第一章介绍地面防空武器系统的地位与作用、有关系统效能与费用的基本概念和常用的建模方法;第二章、第三章分别阐述高炮系统的有效性和可信赖性概念与计算方法;第四章至第八章分别讨论高炮系统的发现概率与探测能力指数、服务概

率与可射击能力指数、着发射击与空炸射击(含近炸射击)的毁歼概率、机动能力指数与防护能力指数、系统效能(包括打击效能、打击效能指数和总体效能指数)的计算模型和评定方法;在前面各章的基础上,第九章着重研究弹炮结合防空武器系统效能分析中的几个特殊问题;第十章讨论高炮系统和弹炮结合防空武器系统寿命周期费用估算方法和效费分析方法。

尽管本书是以地面防空武器系统为研究对象,但所阐述的分析问题的方法和处理问题的思路却不失一般性,可借鉴应用于其他类型的武器系统,特别是第二章和第三章的内容,则完全适用于其他类型的武器系统。为了加深读者的理解,书中通过几个地面防空武器系统效能分析的工程实例,介绍了各类模型和分析方法的具体应用。

本书以从事地面防空武器系统规划决策、论证、总体设计、系统分析、试验、订货与使用部门的科技人员为主要对象,可作为上述人员和其他武器装备的研制与使用人员以及高等院校有关专业本科生和研究生的一本有益的参考书。

张冠杰是本书的发起人。参加撰写工作的有:肖元星(第三章、第六章、第八章),张冠杰(第一章、第二章、第四章),卜建成(第五章),毛和瑞(第七章、第十章),常云丽(第九章)。全书的框架结构与统编工作由肖元星完成。

田棣华研究员对全书作了全面审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此对他的辛勤劳动致以衷心感谢。在本书的编写过程中,参阅了国内外许多专家、学者的文献资料,特别是参考了王向威研究员编写的有关高射武器系统服务概率分析,潘承泮教授编写的有关高射武器系统射击效力分析,倪忠仁研究员等编写的有关高炮射击理论;此外,还得到了张肃平研究员、宗国明高级工程师、张月峰高级工程师等同志的支持与帮助。对上述专家、学者在此一并表示诚挚的感谢。

由于作者水平所限,书中错误、不妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

作者

2005年9月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 地面防空武器系统的地位与作用	1
1.1.1 地面防空武器系统的分类、组成与主要功能	1
1.1.2 地面防空武器系统在未来战争中的地位与作用	7
1.2 武器系统的效能和费用	9
1.2.1 系统效能的概念	9
1.2.2 效能的量度	10
1.2.3 常用的效能指标	12
1.2.4 系统效能模型	13
1.2.5 武器系统的费用	17
1.2.6 系统效费分析	18
1.3 系统效能分析的常用建模方法	22
1.3.1 解析法	22
1.3.2 统计实验法	23
1.3.3 指数法	25
1.3.4 管理决策分析法	27
1.3.5 建模方法选择	28
1.4 本书的研究对象和方法	29
第二章 高炮系统的有效性	30
2.1 系统的可靠性和维修性	30
2.1.1 可靠性的定义与主要指标	30
2.1.2 维修性的定义与主要指标	32
2.1.3 指数分布的无记忆性	33

2.2	系统有效性的概念和量度	34
2.2.1	系统有效性的概念	34
2.2.2	系统有效性指标	35
2.2.3	系统的可用度向量	37
2.3	可用度向量的计算	38
2.3.1	基本约定	38
2.3.2	串联系统的可用度向量	39
2.3.3	并联系统的可用度向量	40
2.3.4	串并联复合系统的可用度向量	44
2.3.5	计算可用度向量应注意的事项	49
第三章	高炮系统的可信赖性	50
3.1	马尔科夫随机过程	50
3.1.1	状态与状态转移概率	50
3.1.2	马尔科夫随机过程	50
3.2	系统可信赖性的概念和量度	52
3.2.1	系统可信赖性的概念	52
3.2.2	可信赖性的量度	54
3.3	可信赖性矩阵计算模型	56
3.3.1	有关假定	56
3.3.2	可信赖性矩阵计算模型	57
3.3.3	计算可信赖性矩阵时应注意的事项	70
第四章	高炮系统的探测能力分析	73
4.1	搜索论的基本概念	73
4.1.1	搜索问题三要素	73
4.1.2	搜索效果指标	74
4.2	雷达搜索的发现概率	78
4.2.1	一次扫描的瞬时发现概率	78
4.2.2	雷达搜索发现概率的模拟计算	79
4.3	光学器材搜索的发现概率	86
4.3.1	一次扫描的瞬时发现概率	86

4.3.2	光学搜索发现概率的模拟计算	88
4.4	高炮系统的发现概率	97
4.5	探测能力指数	98
4.5.1	探测能力指数的定义	98
4.5.2	探测系统适应真实战场环境能力的量度 方法	100
第五章	高炮系统的射击能力分析	109
5.1	排队论的基本概念	109
5.1.1	排队系统及其分类	109
5.1.2	顾客流的特征	111
5.2	高炮系统服务概率数学模型	112
5.2.1	服务概率的定义	112
5.2.2	有关约定	112
5.2.3	目标的等待时间	117
5.2.4	服务概率的数学表述	124
5.3	服务概率的数值模拟	128
5.3.1	服务概率的模拟计算	128
5.3.2	平均点射次数	130
5.4	可射击能力指数	132
5.4.1	可射击能力及其影响因素	132
5.4.2	可射击能力的量度方法	134
第六章	高炮系统的毁伤能力分析	139
6.1	毁伤能力分析中的若干基本问题	139
6.1.1	射击效率指标	139
6.1.2	目标坐标和运动参数	142
6.1.3	射击能力的限制	145
6.1.4	弹道诸元及偏差量的近似计算方法	148
6.2	着发射击高炮系统的毁歼概率	155
6.2.1	目标命中区域的计算方法	155
6.2.2	着发射击的射击误差分析	160

6.2.3	射击误差模型的转换	171
6.2.4	毁歼概率的积分表述	176
6.2.5	毁歼概率的数值计算方法	183
6.2.6	多次点射的毁歼概率	203
6.3	近炸射击高炮系统的毁歼概率	205
6.3.1	常用坐标系	205
6.3.2	坐标毁歼定律	208
6.3.3	近炸射击的射击误差	220
6.3.4	近炸引信空炸射击的毁歼概率表达式	224
6.3.5	近炸引信空炸射击时毁歼概率的计算	224
6.4	空炸射击高炮系统的毁歼概率	231
6.4.1	电子时间引信系统的基本原理	232
6.4.2	由电子时间引信系统引起的射击误差	233
6.4.3	空炸射击的射击误差分析	237
6.4.4	时间引信空炸射击的毁歼概率表达式	244
6.4.5	时间引信空炸射击时毁歼概率的计算	245
第七章	高炮系统的机动能力和防护能力分析	251
7.1	机动能力分析	251
7.1.1	建立机动能力层次分析结构模型	251
7.1.2	确定指标层各元素关于目标层的权重	253
7.1.3	性能指标的无量纲化和归一化模型	264
7.1.4	机动能力综合评价模型	268
7.2	防护能力分析	269
7.2.1	生存能力与防护能力	269
7.2.2	防护能力综合评价模型	271
第八章	高炮系统效能分析	274
8.1	高炮系统的评价指标体系	274
8.1.1	单项性能和综合性能	274
8.1.2	建立评价指标体系	277
8.2	高炮系统效能模型	282

8.2.1	打击效能模型	282
8.2.2	打击效能指数模型	285
8.2.3	总体效能指数模型	287
8.3	高炮系统效能模型的应用	290
8.3.1	模型的适用范围	290
8.3.2	模型的应用	291
第九章	弹炮结合防空武器系统效能分析	300
9.1	弹炮结合系统效能问题的特殊性	300
9.2	弹炮结合系统的服务概率	301
9.2.1	弹炮结合系统服务概率的定义	301
9.2.2	弹炮结合系统服务概率模型	302
9.2.3	弹炮结合系统服务概率的模拟计算	307
9.3	单发导弹的毁歼概率	311
9.4	弹炮结合系统的效能	316
第十章	地面防空武器系统效费分析	322
10.1	效费分析的基本概念	322
10.2	寿命周期费用与效费分析	324
10.2.1	寿命周期费用结构体系	324
10.2.2	寿命周期费用估算模型	326
10.2.3	效费分析	335
10.3	对抗条件下的效费分析	338
附录	空气弹道修正函数表(1943 年阻力定律)	346
参考文献		348

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Status and Function of Land-Based Air Defense Weapon Systems (LBADWS)	1
1.1.1 Classifications, Composition, and Main Functions of LBADWS	1
1.1.2 Status and Function of LBADWS in Future War	7
1.2 Effectiveness and Cost of Weapon Systems	9
1.2.1 Concepts of System Effectiveness	9
1.2.2 Measure of System Effectiveness	10
1.2.3 Usual Effectiveness Criteria	12
1.2.4 Models of System Effectiveness	13
1.2.5 Cost of Weapon Systems	17
1.2.6 Effectiveness-Cost Analysis of Weapon Systems	18
1.3 Usual Modeling Methods of Systems Effectiveness Analysis	22
1.3.1 Analytic Method	22
1.3.2 Monte Carlo Statistic Method	23
1.3.3 Index Methods	25
1.3.4 Analysis Methods for Management Decision	27
1.3.5 Selection of Appropriate Methods	28
1.4 The Objects and Methods of Study in This Book	29

Chapter 2	Availability of Anti-aircraft Gun Systems	30
2.1	Reliability and Maintainability of the Systems	30
2.1.1	Definitions and Main Indexes of Reliability	30
2.1.2	Definitions and Main Indexes of Maintainability	32
2.1.3	Memorylessness of Exponential Distribution Law	33
2.2	Concepts and Measure of Systems Availability	34
2.2.1	Concepts of Systems Availability	34
2.2.2	Index of Systems Availability	35
2.2.3	Availability Vector of the Systems	37
2.3	Calculation of Availability Vector	38
2.3.1	Basic Presumption	38
2.3.2	Availability Vector of Series Systems	39
2.3.3	Availability Vector of Parallel Systems	40
2.3.4	Availability Vector of Series-Parallel Systems	44
2.3.5	Necessary Precautions for the Calculation of Availability Vector	49
Chapter 3	Creditability of Anti-aircraft Gun Systems	50
3.1	Markov Stochastic Process	50
3.1.1	State and State Transfer Probability	50
3.1.2	Markov Process	50
3.2	Concepts and Measure of Systems Creditability	52
3.2.1	Concepts of Systems Creditability	52
3.2.2	Measure of Systems Creditability	54
3.3	Calculating Model of Creditability Matrix	56

3.3.1	Relative Presumption	56
3.3.2	Calculating Model of Creditability Matrix	57
3.3.3	Necessary Precautions for the Calculation of Creditability Matrix	70
Chapter 4 Analysis on the Detectivity of Anti-aircraft		
	Gun Systems	73
4.1	Basic Concepts of Search Theory	73
4.1.1	Three Basic Factors in Problem-Search	73
4.1.2	Indexes of Search Effects	74
4.2	Detection Probability with Radar Scan	78
4.2.1	Instantaneous Detection Probability of Once Scan	78
4.2.2	Simulation Calculation on the Detection Probability of Radar	79
4.3	Detection Probability with Optical Search	86
4.3.1	Instantaneous Detection Probability of Once Scan	86
4.3.2	Simulation Calculation on Optical Detection Probability	88
4.4	Detection Probability of Anti-aircraft Gun Systems	97
4.5	Index of Detectivity	98
4.5.1	Definition of Detectivity Index	98
4.5.2	Measure Method on the Adaptability of Detecting System to Battlefield Circumstances	100
Chapter 5 Analysis on the Fire Capability of		
	Anti-aircraft Gun Systems	109
5.1	Basic Concepts of Queuing Theory	109
5.1.1	Queuing Systems and Their Classifications	109
5.1.2	Characteristics of Arrival Stream of	

Customers	111
5.2 Mathematical Model of Service Probability for Anti-aircraft Gun Systems	112
5.2.1 Definition of Service Probability	112
5.2.2 Relative Presumption	112
5.2.3 Waiting Time for Air Targets	117
5.2.4 Mathematical Model of Service Probability	124
5.3 Simulation of Service Probability	128
5.3.1 Simulation Calculation on Service Probability	128
5.3.2 Mean Number of Fire in Ripples	130
5.4 Index of Fire Capability	132
5.4.1 Fire Capability and its Impacts	132
5.4.2 Measure Method of Fire Capability	134
Chapter 6 Analysis on the Kill Capability of Anti-aircraft Gun Systems	139
6.1 Some Basic Problems in Kill Capability Analysis	139
6.1.1 Indexes on Fire Efficiency	139
6.1.2 Coordinates and Moving Parameters of Air Target	142
6.1.3 Limits on Fire Capability	145
6.1.4 Approximate Calculation Methods of Trajectory and Trajectory Error Data	148
6.2 Kill Probability of Projectiles with Impact Fuse for Anti-aircraft Gun Systems	155
6.2.1 Calculating Model for Impact Area of Air Target	155
6.2.2 Firing Errors for Projectiles with Impact Fuse	160
6.2.3 Transformation among Firing Error Models	171

6.2.4	Integral Expressions of Kill Probability	176
6.2.5	Numerical Methods of Kill Probability	183
6.2.6	Kill Probability for Several Fire in Ripples	203
6.3	Kill Probability of Projectiles with Radio	
	Frequency Electrical Fuse	205
6.3.1	Coordination Systems in Common Use	205
6.3.2	Law of Coordinate Kill	208
6.3.3	Firing Errors for Projectiles with Radio	
	Frequency Electrical Fuse	220
6.3.4	Kill Probability Expressions for Projectiles with Radio Frequency Electrical Fuse	224
6.3.5	Numerical Methods of Kill Probability for Projectiles with Radio Frequency Electrical Fuse	224
6.4	Kill Probability of Projectiles with Electronic	
	Time Fuse System	231
6.4.1	Basic Elements of Electronic Time Fuse System	232
6.4.2	Firing Errors Caused by Electronic Time Fuse System	233
6.4.3	Firing Errors for Projectiles of Electronic Time Fuse System	237
6.4.4	Kill Probability Expressions for Projectiles with Electronic Time Fuse System	244
6.4.5	Numerical Methods of Kill Probability for Projectiles with Electronic Time Fuse System	245

Chapter 7 Analysis on the Maneuver and Protection

Capabilities of Anti-aircraft

Gun Systems 251

7.1 Analysis on Maneuver Capability 251

7.1.1	The Analytic Hierarchy Model of Maneuver Capability	251
7.1.2	Calculating Weights for Elements in Indexes Tier Relating to the Objective Tier	253
7.1.3	Non-dimensionalized and Unitized Models for Performance Indexes	264
7.1.4	Synthetic Assessment Model for Maneuver Capability	268
7.2	Analysis of Protection Capability	269
7.2.1	Viability and Protection Capability	269
7.2.2	Synthetic Assessment Model for Protection Capability	271
Chapter 8 Effectiveness Analysis for Anti-aircraft Gun Systems		274
8.1	Evaluation Target System of Anti-aircraft Gun Systems	274
8.1.1	Single Performance Index and Synthetic Performance Index	274
8.1.2	The Establishment of Evaluation Target System	277
8.2	Effectiveness Models of Anti-aircraft Gun Systems	282
8.2.1	Strike Effectiveness Model	282
8.2.2	Strike Effectiveness Index Model	285
8.2.3	Integral Effectiveness Index Model	287
8.3	Applications of Effectiveness Models for Anti-aircraft Gun Systems	290
8.3.1	Application Scope of Effectiveness Models	290
8.3.2	Applications of Effectiveness Models	291
Chapter 9 Effectiveness Analysis for Anti-aircraft		

Gun Missile Systems	300
9.1 Specific Problems of Effectiveness for Anti-aircraft Gun Missile Systems	300
9.2 Service Probability for Anti-aircraft Gun Missile Systems	301
9.2.1 Definition of Service Probability for Anti-aircraft Gun Missile Systems	301
9.2.2 Mathematical Model of Service Probability for Anti-aircraft Gun Missile Systems	302
9.2.3 Simulation Calculation on the Service Probability of Anti-aircraft Gun Missile Systems	307
9.3 Kill Probability of Single-Missile Firing	311
9.4 Effectiveness of Anti-aircraft Gun Missile Systems	316
Chapter 10 Effectiveness-Cost Analysis on LBADWS	322
10.1 Basic Concepts of Effectiveness-Cost Analysis	322
10.2 Analysis on Life Cycle Cost and Effectiveness-Cost	324
10.2.1 Framework of Life Cycle Cost	324
10.2.2 Estimation Models for Life Cycle Cost	326
10.2.3 Effectiveness-Cost Analysis	335
10.3 Effectiveness-Cost Analysis in Conflict Conditions	338
Appendix Tables of Atmospheric Trajectory Corrective Function Data(1943 Resistance Law)	346
References	348