

# 战术导弹系统分析

## Tactical Missiles Systems Analysis

文仲辉 著

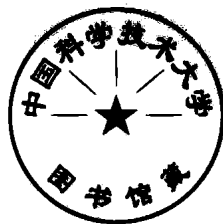


国防工业出版社

# 战术导弹系统分析

Tactical Missiles Systems Analysis

文仲辉 著



国防工业出版社

·北京·

## 图书在版编目(CIP)数据

战术导弹系统分析/文仲辉著. —北京:国防工业出版社, 2000. 6

ISBN 7-118-02220-9

I. 战... II. 文... III. 战术导弹-系统分析  
IV. TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 55658 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 12 $\frac{5}{8}$  324 千字  
2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷  
印数:1—1500 册 定价:25.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

## 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,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. 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,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防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,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,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,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工业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 殷鹤龄 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

导弹武器系统分析是随着系统科学的发展而逐步发展形成的。从 80 年代开始,导弹武器系统科技工作者就陆续运用系统工程理论,研究导弹武器系统分析。1989 年,我在《导弹系统分析与设计》一书中,试图将系统工程的基本理论和方法与导弹武器系统分析的实际问题结合起来<sup>[18]</sup>。该书出版后,受到各兄弟院校和科研院所同行们的好评,并提出不少诚挚中肯的建议。近几年来,广大科技工作者利用系统的观点和方法,研究导弹武器系统的系统分析与系统评价、决策,取得了许多重要研究成果。但至今为止,仍然没有一本全面论述导弹武器系统分析的专著。本书搜集了大量科研成果和技术资料,结合本人在研究工作中的收获体会,将导弹武器系统分析的实践成果融于系统工程基本原理之中,并从理论上进一步提高,使之实用性更强,这也正是许多工程技术人员的希望。

尽管本书以战术导弹武器系统为对象,论述导弹武器系统的系统分析原理、方法、系统评价与决策,但书中对误差理论、精度分析、数据处理方法、武器系统的射击效率、系统可靠性、武器系统作战效能、费效分析及系统评价技术等都做了全面、系统、深入的分析论证。其基本理论和分析处理工程技术问题的方法、思路具有普遍意义,对其他武器系统和一般大型复杂系统都是适用的。

为了有助于读者理解,书中对某些基本概念做了深入浅出的描述。并通过许多导弹工程中的实例,演示系统分析方法和各类模型的具体应用。书中提供的大量导弹系统总体性能、物理参数、技术指标及经费投资、成本等数据资料及许多分析、建模方法,是科研成果的积累,对于广大科技工作者进行导弹系统分析都是很

有用的,对于从事其他系统分析的研究人员也有参考价值。

导弹系统分析是大型复杂系统(巨系统)的系统工程问题,涉及面广,本书不可能把所有问题都做深入细致的分析研究,只着重于武器系统的作战效能研究、费效分析和系统评价技术。近几年来,系统分析与系统评价已经得到极广泛的应用和发展,研究中提出了许多新方法,但本书仅对理论比较成熟,且应用普遍成功的方法做了介绍。

本书出版得到陈士橹院士、过崇伟教授、曾颖超教授的支持与推荐,并经曾颖超教授主审,对他们的辛勤劳动和宝贵意见致以衷心感谢。本书编写过程中得到刘莉教授及于剑桥、焦泽兵、张翼燕、李巍等同志的支持与帮助,在此一并致谢。

由于本人水平有限,错误、不妥之处在所难免,衷心欢迎广大读者批评指正。

文仲辉

1999年8月



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1-1 系统和系统分析的概念 .....	1
1-1-1 系统 .....	1
1-1-2 系统分析 .....	5
1-2 战术导弹系统的特点 .....	11
1-2-1 概述 .....	11
1-2-2 战术导弹系统的特点 .....	12
1-3 战术导弹系统的生命周期 .....	14
1-3-1 战术导弹系统生命周期的概念 .....	14
1-3-2 战术导弹系统生命周期各阶段划分 .....	16
<b>第 2 章 战术导弹系统误差/精度分析</b> .....	17
2-1 研究导弹系统误差的意义 .....	17
2-2 导弹系统误差/精度的概念 .....	18
2-2-1 导弹系统误差的定义及表示法 .....	18
2-2-2 战术导弹系统精度的概念 .....	21
2-3 战术导弹系统误差的基本性质及处理 .....	23
2-3-1 战术导弹系统的误差源分析 .....	23
2-3-2 战术导弹系统的随机误差分析处理 .....	31
2-3-3 战术导弹系统的系统误差分析处理 .....	47
2-4 导弹武器系统的误差传递问题 .....	59
2-4-1 问题提出 .....	59
2-4-2 函数误差计算方法及误差的相关性 .....	61
2-5 导弹武器系统误差的合成 .....	73

2-5-1	随机误差的合成 .....	73
2-5-2	系统误差的合成 .....	77
2-5-3	不同性质误差的合成 .....	81
2-6	战术导弹系统的动态误差分析处理基本方法 .....	84
2-6-1	战术导弹的动态误差与动态测试 .....	84
2-6-2	随机过程及其特征量 .....	91
<b>第 3 章</b>	<b>战术导弹射击效率分析 .....</b>	<b>104</b>
3-1	射击效率及其指标 .....	104
3-1-1	射击效率的概念 .....	104
3-1-2	射击效率指标 .....	105
3-1-3	射击效率指标确定 .....	106
3-2	导弹射击精确性分析 .....	109
3-2-1	散布规律及其数学描述 .....	109
3-2-2	散布平面与射击误差确定 .....	111
3-2-3	概率偏差 .....	122
3-2-4	单发导弹命中概率计算 .....	126
3-2-5	多发导弹射击的命中概率 .....	134
3-3	导弹毁伤目标的条件概率 .....	139
3-3-1	毁伤目标规律 $G(m)$ 的特性 .....	139
3-3-2	毁伤目标规律的描述 .....	140
3-4	单发导弹毁伤概率计算 .....	140
3-4-1	毁伤概率的一般关系式 .....	152
3-4-2	单发导弹毁伤概率计算 .....	153
3-5	多发导弹毁伤概率计算 .....	158
3-5-1	多发导弹独立射击时毁伤概率计算 .....	158
3-5-2	多发导弹相关射击时毁伤概率计算 .....	161
<b>第 4 章</b>	<b>导弹系统可靠性分析 .....</b>	<b>167</b>
4-1	可靠性的意义及概念 .....	167
4-1-1	可靠性的意义 .....	167
4-1-2	可靠性的基本概念 .....	169

4-2 可靠性的特征量及其数学描述 .....	170
4-2-1 可靠性的数学描述 .....	170
4-2-2 可靠性的指数规律 .....	175
4-3 导弹系统可靠性预测 .....	178
4-3-1 系统可靠性预测的概念 .....	178
4-3-2 串联系统的可靠性 .....	179
4-3-3 并联系统的可靠性 .....	184
4-3-4 串并联复合系统的可靠性 .....	187
4-3-5 用界限法计算系统的可靠度 .....	189
4-4 可靠度分配 .....	193
4-4-1 可靠度分配的目的 .....	193
4-4-2 可靠度分配的原则 .....	195
4-4-3 可靠度分配方法 .....	197
4-5 可靠性设计 .....	202
4-5-1 可靠性设计内容要求 .....	202
4-5-2 可靠性设计原则 .....	203
4-5-3 可靠性技术设计 .....	206
4-6 可靠性试验 .....	219
4-6-1 可靠性试验的目的 .....	219
4-6-2 定数截尾试验的点估计 .....	221
4-6-3 定数截尾试验中的 $\bar{t}$ 区间估计 .....	230
4-6-4 定时截尾试验中的参数估计 .....	231
<b>第5章 导弹武器系统作战效能与费效分析 .....</b>	<b>235</b>
5-1 武器系统的作战效能 .....	235
5-1-1 武器系统作战效能的概念 .....	235
5-1-2 武器系统作战效能量度 .....	237
5-2 武器系统作战效能分析 .....	239
5-2-1 评定作战效能的方法 .....	239
5-2-2 效能分析的步骤 .....	241
5-3 武器系统效能模型 .....	244
5-3-1 全概率评价模型 .....	244

5-3-2	武器系统效能综合评定模型 .....	245
5-3-3	效能模型求解的问题 .....	255
5-4	导弹武器系统的费效分析 .....	258
5-4-1	费用-效能分析的概念 .....	258
5-4-2	费用-效能分析的一般原理 .....	262
5-4-3	费用估算的一般方法 .....	266
5-5	导弹武器系统费用分析计算模型 .....	272
5-5-1	费用分析建模的方法 .....	272
5-5-2	导弹武器系统全寿命费用模型 .....	287
5-5-3	导弹型号研制总体费用估算模型 .....	303
5-5-4	导弹系统研制阶段年度投资强度模型 .....	309
<b>第 6 章</b>	<b>战术导弹系统评价技术 .....</b>	<b>317</b>
6-1	战术导弹系统评价的指标体系 .....	317
6-1-1	战术导弹系统评价步骤与内容 .....	317
6-1-2	战术导弹系统评价指标体系 .....	325
6-1-3	战术导弹系统评价指标体系实例 .....	328
6-2	战术导弹系统评价的理论基础与方法 .....	333
6-2-1	战术导弹系统评价的理论 .....	334
6-2-2	战术导弹系统评价常用方法 .....	337
6-3	系统分析与评价的一种优化方法——层次分析 法应用研究 .....	354
6-3-1	层次分析法原理简述 .....	354
6-3-2	层次分析法的数学模型 .....	356
6-3-3	层次分析的决策过程 .....	359
6-3-4	层次分析法的应用举例 .....	368
附录 1	标准正态分布表 .....	376
附录 2	一阶汉格尔函数表 .....	380
附录 3	函数 $J_e(K, \tau) = \int_0^{\tau} e^{-t} I_0(K, t) dt$ 数值表 .....	381
附录 4	相关射击毁伤概率计算用表 .....	382
参考文献	.....	383

# CONTENTS

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1-1 Concept of System and System Analysis .....	1
1-1-1 System .....	1
1-1-2 System Analysis .....	5
1-2 Characteristic of Tactical Missile Systems .....	11
1-2-1 Summary .....	11
1-2-2 Characteristic of Tactical Missile Systems .....	12
1-3 Living Period of Tactical Missile Systems .....	14
1-3-1 Concept of Living Period to Tactical Missile Systems .....	14
1-3-2 Carry out Stage by Stage for Living Period to Tactical Missile Systems .....	16
<b>Chapter 2 Errors/Precision Analysis of Tactical Missile                 Systems</b> .....	17
2-1 Significance of Research on Errors of Missile Systems .....	17
2-2 Concept of Errors/Precision of Missile Systems .....	18
2-2-1 Definition and Formula to Errors of Missile Systems .....	18
2-2-2 Concept of Precision of Tactical Missile System .....	21
2-3 The Character and Estimate of Errors for Tactical Missile Systems .....	23
2-3-1 Source Analysis of Errors to Tactical Missile Systems .....	23
2-3-2 Stochastic Error Analysis and Estimate to Tactical Missile Systems .....	31

2-3-3 Systematic Error Analysis and Estimate to Tactical  
Missile Systems ..... 47

2-4 Errors Transmission of Tactical Missile Systems ..... 59

2-4-1 Problem Statement ..... 59

2-4-2 Approximation Calculation Method to Function Error and  
Relationship of Errors ..... 61

2-5 Composite Errors of Missile Weapon Systems ..... 73

2-5-1 Stochastic Errors Compound ..... 73

2-5-2 Systematic Errors Compound ..... 77

2-5-3 Different Errors Compound ..... 81

2-6 Basic Principle and Analysis Methods of Dynamic  
Errors of Tactical Missile Systems ..... 84

2-6-1 Dynamic Error and Dynamic Measurement of Tactical  
Missile Systems ..... 84

2-6-2 Stochastic Process and Characteristic of Stochastic Process ..... 91

**Chapter 3 Efficiency of Firing Projectile Analysis for Tactical  
Missiles ..... 104**

3-1 Efficiency of Firing Projectile and Technical Norms ... 104

3-1-1 Concept of Efficiency of Firing Projectile ..... 104

3-1-2 Norms of Efficiency of Firing Projectile ..... 105

3-1-3 Calculate and Determines to Norms of Efficiency of  
Firing Projectile ..... 106

3-2 Precision Analysis of Firing Missile ..... 109

3-2-1 Scattered Law and Formula of Scatter ..... 109

3-2-2 Determine to Scattered Plane and Error of Firing  
Projectile ..... 111

3-2-3 Probability Error ..... 122

3-2-4 Calculation of Probability for Single Missile Hit to  
The Target ..... 126

3-2-5 Calculation of Probability for Firing Some Missiles Hit to  
The Target ..... 134

3-3	Conditional Probability of Target Damage for Firing Missile .....	139
3-3-1	Character of Target Damage Law $G(m)$ .....	139
3-3-2	Formula of Target Damage Law .....	140
3-4	Probability Calculation of Target Damage for Firing Single Missile .....	140
3-4-1	General Normal Equation of Target Damage Probability .....	152
3-4-2	Probability Calculate of Target Damage for Firing Single Missile .....	153
3-5	Probability Calculate of Target Damage for Firing Some Missiles .....	158
3-5-1	Probability Calculation of Targets Damage for Standing Alone Firing Some Missiles .....	158
3-5-2	Probability Calculation of Targets Damage for Interrelated Firing Some Missiles .....	161
<b>Chapter 4</b>	<b>Reliability Analysis of Missile Weapon Systems</b> ...	167
4-1	Significance and Concept of Reliability for Missiles Weapon Systems .....	167
4-1-1	Significance of Reliability for Missiles Weapon Systems .....	167
4-1-2	Basic Concept of Reliability .....	169
4-2	Parameters and Mathematical Models of Reliability for Missile Weapon Systems .....	170
4-2-1	Mathematical Models of Reliability .....	170
4-2-2	Index Law of Reliability .....	175
4-3	Reliability Forecast for Missile Weapon Systems .....	178
4-3-1	Concept of Reliability Forecast for Missile Weapon Systems .....	178
4-3-2	Reliability Forecast of Series Systems .....	179
4-3-3	Reliability Forecast of Parallel Systems .....	184
4-3-4	Reliability Forecast of Series-Parallel Systems .....	187
4-3-5	Reliability Calculation With Extreme Value Method to Missile	

Weapon Systems .....	189
4-4 Reliability Distribution for Missile Weapon Systems ...	193
4-4-1 The Purpose of Reliability Distribution .....	193
4-4-2 The Principle of Reliability Distribution .....	195
4-4-3 Methods of Reliability Distribution .....	197
4-5 Reliability Design for Missile Weapon Systems .....	202
4-5-1 Content and Requirement of Reliability Design .....	202
4-5-2 Principle of Reliability Design .....	203
4-5-3 Technique Design of Reliability .....	206
4-6 Reliability Trials for Missile Weapon Systems .....	219
4-6-1 The Purpose of Reliability Trials .....	219
4-6-2 Cut-Out Point Estimate to Reliability Trails on Achieve Number .....	221
4-6-3 Estimate Range of $\bar{t}$ to Reliability Trails on Achieve Number .....	230
4-6-4 Cut-Out Parameters Estimate to Reliability Trails On Achieve Time .....	231
<b>Chapter 5 Combat Effectiveness and Rate of Cost Analysis for     Missile Weapon Systems .....</b>	<b>235</b>
5-1 Combat Effectiveness of Missile Weapon Systems .....	235
5-1-1 Concept of Combat Effectiveness for Missile Weapon Systems .....	235
5-1-2 Measure of Combat Effectiveness for Missile Weapon Systems .....	237
5-2 Combat Effectiveness Analysis for Missile Weapon Systems .....	239
5-2-1 Methods of Combat Effectiveness Evaluation for Missile Weapon Systems .....	239
5-2-2 Step of Combat Effectiveness Analysis .....	241
5-3 Combat Effectiveness Models for Missile Weapon System .....	244



5-3-1	Probability Model to Evaluate Combat Effectiveness for Missile Weapon Systems .....	244
5-3-2	Synthesis Evaluated Model of Combat Effectiveness for Missile Weapon System .....	245
5-3-3	Problem to Solution Combat Effectiveness .....	255
5-4	Cost-Effectiveness Analysis for Missile Weapon Systems .....	258
5-4-1	Concept of Cost-Effectiveness Analysis .....	258
5-4-2	General Principle of Cost-Effectiveness Analysis .....	262
5-4-3	General Method to Estimate Cost .....	266
5-5	Cost Analysis Models for Missile Weapon Systems .....	272
5-5-1	Modeling Method of Cost Analysis .....	272
5-5-2	All Living Period Cost Model of Missile Weapon Systems .....	287
5-5-3	Integration Cost Estimated Model of Missile Weapon Systems Development Stage .....	303
5-5-4	Models of Cost Strength per Annum for Missile Weapon Systems Development Stage .....	309
<b>Chapter 6 Evaluation Technology for Tactical Missile Systems .....</b>		<b>317</b>
6-1	Evaluation Target System of Tactical Missile Systems .....	317
6-1-1	Content and Step of Evaluation for Tactical Missile Weapon Systems .....	317
6-1-2	Evaluation Target System of Tactical Missile Weapon Systems .....	325
6-1-3	Example for Evaluation Target System of Tactical Missile Weapon Systems .....	328
6-2	Evaluation Theory and Methods of Tactical Missile Weapon Systems .....	333
6-2-1	Evaluation Theory of Tactical Missile Weapon Systems .....	334