

导弹试验的 设计与评估

王正明 卢芳云 段晓君 等著



科学出版社
www.sciencep.com

导弹试验的设计与评估

王正明 卢芳云 段晓君 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以导弹试验的设计与评估为主线,结合作者多年从事相关科研工作的体会,从数学方法、导弹精度评估、毁伤效应分析与评估三个方面,系统梳理和研究相关的科学理论、试验设计与评估方法、试验数据的获取渠道与应用途径,力图把试验系统、试验设计、小子样的现场试验、精度评估方法、毁伤效应分析与评估方法五大要素融为一体,提供高效的试验设计与试验评估方法,为导弹研制、定型、采办和作战应用等服务。

本书的读者对象是导弹及相关试验系统的研制单位、鉴定部门、应用单位的工程技术人员和高等学校导弹工程、控制工程、应用数学、工程力学等专业的研究生和高年级本科生。

图书在版编目(CIP)数据

导弹试验的设计与评估/王正明,卢芳云,段晓君等著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-028780-9

I. 导… II. ①王… ②卢… ③段… III. 导弹试验 IV. TJ760.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第165883号

责任编辑:陈玉琢/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年9月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010年9月第一次印刷 印张: 42 3/4

印数: 1—1 500 字数: 835 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

导弹精度和毁伤效能的准确分析与评估,是导弹研制、定型、采办和作战应用的重要环节.应用科学的试验系统、试验设计和试验评估方法,既可以减少导弹试验的次数,节省大量的人力、物力和财力,又可以缩短导弹研制周期、减少设计风险.因此,构建行之有效的试验设计和试验评估方法,充分应用导弹试验的相关数据,是国家靶场和研制单位共同关心的问题.

本书以导弹精度评估和毁伤评估问题为背景,结合大量试验信息和数值模拟分析,针对现场试验的小子样特点,对导弹精度和毁伤效能的试验设计和试验评估问题进行了系统研究.在制导机理、毁伤机理物理建模的基础上,挖掘精度评估和毁伤评估过程中所包含的各种数学问题,针对导弹精度试验和毁伤评估试验的小子样特点,利用统计方法、优化方法及武器试验方法设计合理的试验,针对导弹精度和毁伤效能评估研究中所涉及的测量参数的获取、融合及应用等问题进行研究.利用系统工程的思想,对各类精度评估相关的试验数据(阵地测试数据、飞行试验数据、历次类似型号数据、仿真数据等)、各类毁伤评估相关的试验数据(静态毁伤试验、飞行毁伤试验及数值仿真试验等)的试验结果进行综合运用,完成对导弹精度和毁伤效能的量化评估.

本书将 Bayes 统计、序贯分析、数据建模与回归分析、最优化试验设计、Monte Carlo 方法、爆炸力学、战斗部毁伤效应等多种现代数学方法和物理、力学知识综合应用于导弹精度和毁伤效能评估.在导弹精度评估方面,为达到在试验发数少的情况下得到满意的鉴定结论的目标,始终贯穿多源信息融合的理念,充分利用多类试验信息,在特殊试验弹道折合为全程飞行试验弹道的基础上,建立基于遥外弹道差和落点数据的一体化 Bayes 多参数融合模型及配套的理论、方法和算法;重点对射前预报、事后评估的精度指标进行了评估,相应地对试验发数的确定方法进行了研究;并结合对数据、模型、先验信息的度量,分析不同信息源对试验评估结论的贡献;构建更符合面目标特性的命中精度指标;介绍精度评估软件系统的总体框架设计.在导弹毁伤效能评估方面,将爆炸力学、战斗部毁伤物理机理的研究看作是对模型先验的开发,将模爆试验、数值试验看作试验信息的补充,将试验设计、数据融合等数学方法作为承载二者到达目标的工具,以试验设计和参数模型统揽全局,通过建立现场试验、模爆试验和数值模拟试验这三种试验的参数化模型及相互差异模型,研究和应用最优化试验设计技术,从而科学定量地建立获取毁伤响应函数的理论方法体系,并形成配套的仿真与可视化方法.

本书主要针对导弹精度评估和毁伤效能评估的要求开展研究,在写作过程中,特别注意在理论、模型、方法上的提炼.本书的理论、方法、算法,对于许多大型工程中提出的试验设计和试验评估问题也是适用的.

本书的读者对象主要是导弹及相关试验系统的研制单位、鉴定部门、应用单位的工程技术人员和导弹工程、控制工程、应用数学、工程力学等专业的研究生、高年级本科生,本书也可供其他领域从事大型工程项目设计和评估的技术或管理人员参考.需要读者具有数学分析、线性代数、概率统计、数值分析、微分方程、回归分析、试验设计、最优化方法的基本知识,部分内容还需要用到泛函分析、爆炸力学、战斗部毁伤效应、软件工程的一些知识.为便于读者理解,本书配有大量图、表和案例.

全书共分为3篇17章,由王正明策划,王正明、卢芳云、段晓君分别对3篇内容把关,青年教师和研究生执笔,由王正明汇总、统稿和定稿.其中,第1篇由王正明统稿,第1、2、4章由黄寒砚执笔,第3章由黄石生执笔,第5章由蒋邦海执笔,第6章由孙蒙、王菡和吴福强共同执笔;第2篇由段晓君统稿,第7、10章由段晓君执笔,第8、9章由段晓君、陈璇、王刚、吴建业共同执笔,第11章由王刚执笔,第12章由段晓君、陈璇共同执笔;第3篇由卢芳云统稿,第13章由田占东、李翔宇共同执笔,第14章由张舵、林玉亮执笔,第15章由黄寒砚、张舵执笔,第16章由谢美华执笔,第17章由龙汉执笔.

全书内容安排如下:

第1篇为数学方法,共分六章.第1章为Bayes方法,介绍Bayes理论的研究现状及相关统计方法;第2章为序贯分析方法,研究序贯概率比检验及其衍生方法、截尾序贯检验的优化分析以及序贯方法的实际应用等;第3章为数据建模与回归分析,主要针对毁伤响应函数和最优试验设计中的数据建模问题的需要,介绍函数逼近、回归分析的相关理论和方法;第4章为试验设计方法,简要介绍最优设计和计算机试验设计的相关研究情况,同时对多源试验的一体化最优设计、一般的回归设计、考虑因素分布信息的最优设计和序贯试验设计方法进行研究;第5章为毁伤效应数值模拟的数学基础,介绍毁伤效应的数学描述及求解方法;第6章为Monte Carlo方法,结合导弹精度评估和毁伤效能评估的需要介绍Monte Carlo方法的思想、特点及其应用.

第2篇为导弹精度评估,共分六章.第7章为精度评估概述,介绍了小子样试验评估的背景和研究现状;第8章为射前预报,主要基于案例数据和仿真数据等,介绍并研究发射可靠性、飞行可靠性、精度、最大射程、试验发数等战术技术指标的预报方法;第9章为弹道精度分析与精度折合,对战略导弹弹道落点偏差分析与折合的方法进行了系统的研究;第10章为全程精度评估,根据落点数据及其先验、遥外测弹道跟踪数据、制导工具误差系数的测试值及其先验三类信息用于融合,研

究小子样试验全程评估模型;第11章为射击面目标精度评定,研究了制导武器系统射击面目标的精度评定指标设计及瞄准点选取的问题;第12章为精度评估软件系统,设计了评估软件系统的总体框架及其中可能包含的子模块,并展示了几个相关案例。

第3篇为毁伤效应分析与评估,共分五章。第13章为常规导弹战斗部及其毁伤效应,介绍了典型常规战斗部的原理、毁伤效应和典型目标的易损性分析等相关知识;第14章为毁伤效应的试验测量与数值模拟,给出了毁伤效应的典型测试技术,并以LS-DYNA和AUTODYN为例介绍了毁伤效应数值模拟中常用的材料模型、流固耦合算法和数值模拟结果的分析;第15章为毁伤试验设计,介绍了毁伤试验设计的基本原理、方法和研究现状,特别研究了量纲分析在毁伤试验设计中的应用;第16章为毁伤评估方法,研究了典型目标毁伤效果的度量方法,建立了毁伤效能评估指标体系和毁伤等级划分的标准,研究了侵爆战斗部毁伤形式的量化分析、动静试验差异建模、毁伤评估方法等方面的内容,重点介绍了基于毁伤响应函数的毁伤评估方法;第17章为导弹毁伤视景仿真与可视化,介绍了毁伤效应及评估的仿真与可视化方法,给出了侵爆弹打击建筑物和侵彻弹打击跑道的可视化仿真案例。

迄今为止,导弹精度评估和毁伤评估的方法仍在不断发展完善。本书力图在前人的基础上,将有关工作进行初步的系统化,同时,介绍一些我们的研究工作和实践体会。

本书引用了许多学者的工作(见每章参考文献),在此,特别对有关作者和出版单位表示衷心感谢。为使本书内容完整,书中还引用了作者在有关刊物上待发表的一些文章,作者特别对这些刊物及其出版单位表示诚挚的谢意。

本书的研究工作得到国防科学技术大学领导的大力支持,得到了国家自然科学基金和国防科学技术大学优秀研究生教材专项基金的资助。汪浩教授、张金槐教授、张若棋教授三位前辈提出了重要修改、补充意见,使书稿质量有了明显的提高。吴翊教授、朱炬波教授、易东云教授、周海银教授、汤文辉教授和张震宇副教授等提供了有益的帮助,课题组的部分博士、硕士研究生提供了有价值的资料和程序。研究生王菖、席如冰认真阅读了书稿,并对文字进行了仔细校对。本书的大部分软件编制、仿真计算和实测数据的计算分析是在国防科学技术大学高性能计算中心完成的。在此,作者一并表示诚挚的谢意。

因为技术原因,书中某些例题和图标的数据没有详细列出。

鉴于作者的能力有限,疏漏、不当和错误难免,恳请读者批评指正。

作者

2010年5月于长沙

目 录

前言

第1篇 数学方法

第 1 章 Bayes 方法	3
1.1 概述	3
1.1.1 引论	3
1.1.2 Bayes 公式	4
1.1.3 Bayes 方法与经典统计方法的比较	5
1.1.4 Bayes 学派观点分析	8
1.2 先验分布的确定	9
1.2.1 确定先验分布的方法分类	9
1.2.2 无信息先验分布的确定	9
1.2.3 有信息先验分布的确定	14
1.3 先验信息可信度的度量	21
1.3.1 概述	21
1.3.2 基于数据层面的可信度度量	23
1.3.3 基于数据物理来源的可信度度量	28
1.4 Bayes 统计推断	32
1.4.1 Bayes 估计原理与方法	32
1.4.2 正态总体参数的 Bayes 估计	35
1.4.3 Bayes 估计的优良性与误差分析	40
1.4.4 考虑先验信息可信度的 Bayes 估计	42
1.4.5 Bayes 假设检验及决策	48
参考文献	53
第 2 章 序贯分析	56
2.1 引言	56
2.1.1 历史概述	56
2.1.2 序贯分析方法的引入	57
2.2 序贯概率比检验 (SPRT)	60

2.2.1	Wald 的 SPRT 方法	60
2.2.2	SPRT 的优缺点分析	61
2.2.3	正态分布和二项分布的参数检验	62
2.3	序贯概率比检验的衍生方法	63
2.3.1	序贯网图检验法 (SMT)	63
2.3.2	序贯截尾检验法	64
2.3.3	Bayes 序贯方法 (SPOT)	65
2.3.4	多假设 SPRT 方法	66
2.3.5	Bayes 序贯网图检验法	68
2.4	序贯截尾检验的优化分析	73
2.4.1	最优参数的存在性	73
2.4.2	截尾 SMT 分析	75
2.4.3	对截尾模式的改进	79
2.5	应用案例	81
2.5.1	落点精度鉴定的 Bayes 序贯检验法	81
2.5.2	落点精度鉴定的截尾 SMT	82
	参考文献	83
第 3 章	数据建模与回归分析	85
3.1	几种典型的数学模型	85
3.2	基于函数逼近的数学模型	88
3.2.1	多项式表示	89
3.2.2	样条函数表示	94
3.2.3	稀疏表示	96
3.2.4	多元线性逼近	98
3.2.5	小结	99
3.3	回归分析简介	99
3.3.1	引言	100
3.3.2	线性模型的参数估计	101
3.3.3	假设检验	103
3.3.4	自变量选择	104
3.3.5	参数的有偏估计	108
3.3.6	非线性回归分析简介	111
3.3.7	小结	113
	参考文献	113

第 4 章 试验设计方法	115
4.1 概述	115
4.1.1 引言	115
4.1.2 基本元模型 (Metamodels)	116
4.1.3 常用的计算机试验设计方法	119
4.1.4 模型精度的评价	122
4.2 经典的回归设计方法	123
4.2.1 试验设计的一般考虑	124
4.2.2 回归的正交设计	127
4.2.3 均匀设计	133
4.2.4 D 最优设计	142
4.3 考虑因素分布信息的最优设计	149
4.3.1 最小期望残差估计 (LERE)	149
4.3.2 概率密度加权 D 最优设计	151
4.3.3 概率密度加权 D 最优设计的构造算法	155
4.3.4 算例分析	158
4.3.5 本节讨论	162
4.4 计算机试验的近似建模	162
4.4.1 传统 Kriging 模型	163
4.4.2 基于不平稳假设的 Kriging 模型	167
4.4.3 基于区域不规则性的密度函数	172
4.4.4 本节讨论	175
4.5 计算机试验的序贯设计	176
4.5.1 仿真试验的序贯设计	176
4.5.2 案例分析	179
4.5.3 本节讨论	183
4.6 小结	183
参考文献	184
第 5 章 毁伤效应数值模拟的数学基础	189
5.1 常规战斗部毁伤效应数值模拟	189
5.2 连续介质力学的基本方程组	190
5.2.1 连续介质的基本概念及运动描述	190
5.2.2 基本控制方程组	194
5.3 冲击动力学数值模拟	197
5.3.1 数值求解方法简介	197

5.3.2 非线性动力学有限元法	198
5.3.3 SPH 方法简介	213
参考文献	219
第 6 章 Monte Carlo 方法	220
6.1 概述	220
6.1.1 引言	220
6.1.2 基本思想和实现过程	221
6.1.3 随机数生成	224
6.1.4 Monte Carlo 方法的收敛性	229
6.2 效率提高技术	231
6.2.1 Monte Carlo 方法误差的特点	232
6.2.2 重要抽样技巧	233
6.2.3 序贯 Monte Carlo 方法	235
6.3 应用实例	236
6.3.1 落点精度鉴定	236
6.3.2 封锁概率计算	237
参考文献	241

第 2 篇 导弹精度评估

第 7 章 精度评估概述	247
7.1 基本概念及研究现状	247
7.1.1 武器装备试验与评估	247
7.1.2 小子样精度评估的工程背景	248
7.1.3 导弹试验精度评估研究现状	249
7.2 Bayes 方法的应用及先验信息	255
7.2.1 试验评估中 Bayes 方法的应用	255
7.2.2 先验信息的类型	256
7.3 虚拟靶场	261
7.3.1 基本概念	261
7.3.2 功能分析	261
7.3.3 构架分析	262
7.3.4 组成要件	262
7.3.5 模型的校核、验证与确认	262
7.3.6 用于试验评估的虚拟靶场	263

参考文献	265
第 8 章 射前预报	271
8.1 发射可靠性评估	271
8.1.1 发射可靠性概念	271
8.1.2 发射可靠性涉及因素及相关信息收集	271
8.1.3 发射可靠性的成败评估模型	272
8.1.4 发射可靠性下限确定	277
8.1.5 基于混合先验分布的发射可靠性评定	279
8.2 飞行可靠性预报	281
8.2.1 飞行可靠性相关因素	281
8.2.2 飞行可靠性分解与集成	282
8.2.3 飞行可靠性预报结果及置信度分析	286
8.3 射程预报	287
8.3.1 射程预报	288
8.3.2 实时射程预报	290
8.4 惯性弹头精度预报	290
8.4.1 制导工具误差预报	291
8.4.2 制导方法误差预报	293
8.4.3 再入误差预报	293
8.4.4 后效误差预报	295
8.5 组合制导精度预报	295
8.5.1 组合导航机理	295
8.5.2 组合制导各传感器精度源分析	297
8.5.3 景象匹配辅助导航系统落点精度预报	307
8.5.4 Monte Carlo 仿真预报组合制导精度	307
8.6 试验样本量的确定	310
8.6.1 Bayes 方法确定最优固定样本量	310
8.6.2 Bayes 序贯分析确定试验样本量	311
8.6.3 考虑信息可信度的试验样本量确定方法	312
8.6.4 基于信息增量的试验样本量确定及例子	312
8.6.5 基于攻防对抗的用弹量确定	314
参考文献	318
第 9 章 弹道精度分析与精度折合	320
9.1 概述	320
9.2 弹道跟踪数据	321

9.2.1	遥测数据精度分析	321
9.2.2	外弹道跟踪数据分析	330
9.2.3	遥外数据的比对	330
9.3	惯性制导导弹的弹道精度分析	334
9.3.1	制导工具误差分析	334
9.3.2	制导方法误差分析	344
9.3.3	再入误差分析	345
9.3.4	后效误差分析	346
9.4	落点偏差折合	348
9.4.1	制导工具误差折合及可行性条件分析	348
9.4.2	制导方法误差折合	359
9.4.3	再入误差折合	361
9.4.4	后效误差折合	362
9.5	组合导航误差分离与折合	363
9.5.1	组合导航导弹误差分离	363
9.5.2	组合导航导弹误差折合	367
9.5.3	案例分析	369
	参考文献	370
第 10 章	全程精度评估	374
10.1	信息度量	375
10.1.1	试验数据的信息度量	375
10.1.2	模型的信息度量	382
10.2	飞行试验全程递归评估	392
10.2.1	飞行试验分级及全程成败及精度评估	393
10.2.2	基于两类先验和不同特征量的多次递归评估	401
10.2.3	小结	408
10.3	基于多源信息融合的精度评估	408
10.3.1	基于异质信息融合的精度评估	408
10.3.2	基于先验融合的 Bayes 递归精度评估	416
10.3.3	基于后验结果融合的精度评估	421
10.3.4	分系统及融合精度评估	428
10.3.5	小结	429
10.4	观测数据频谱特征与故障分析	429
10.4.1	故障诊断原则与方法	429
10.4.2	基于观测信息的故障分析	430

10.5 小结	432
参考文献	433
第 11 章 射击面目标精度评定	438
11.1 现有制导武器系统精度评定指标分析	438
11.1.1 制导武器系统的精度	438
11.1.2 圆概率偏差 CEP	439
11.1.3 制导武器系统命中目标的概率计算	440
11.2 制导武器系统射击面目标精度评定指标	440
11.2.1 命中区域圆概率偏差 (ACEP)	440
11.2.2 仿真实例与结果分析	442
11.2.3 结论	444
11.3 制导武器系统射击面目标瞄准点选取方法	444
11.3.1 面目标区域要害指数及命中概率	445
11.3.2 面目标瞄准点的选取	446
11.3.3 仿真实例与结果分析	448
11.4 子母弹射击面目标瞄准点选取方法	450
11.4.1 子母弹攻击的面目标区域要害指数分析及命中概率	451
11.4.2 子母弹落点模型	452
11.4.3 子母弹射击面目标瞄准点的选取	453
11.4.4 仿真实例与结果分析	455
11.5 小结	457
参考文献	458
第 12 章 精度分析与评估软件系统	460
12.1 软件系统开发准则	460
12.2 精度分析与评估软件系统设计	462
12.2.1 系统功能	462
12.2.2 系统组成	462
12.3 试验信息综合管理子系统	463
12.3.1 数据库设计	463
12.3.2 数据库系统管理	465
12.4 试验预报、分析与评估子系统	466
12.4.1 跟踪数据、弹道数据处理与跟踪设备精度分析模块	467
12.4.2 发射可靠性与飞行可靠性评估模块	467
12.4.3 射程预报	467
12.4.4 精度预报模块	467

12.4.5	发数预报模块	469
12.4.6	制导工具误差分离模块	470
12.4.7	误差分析与折合模块	472
12.4.8	组合导航误差分离模块	472
12.4.9	射程评估模块	473
12.4.10	精度评估模块	473
12.4.11	可视化结果演示模块	473
12.5	软件应用案例	477
12.5.1	三维地理信息系统 (STK)	477
12.5.2	射前预报演示	477
12.5.3	精度评估演示	479
	参考文献	481

第3篇 毁伤效应分析与评估

第 13 章	常规导弹战斗部毁伤效应	485
13.1	引言	485
13.2	常规导弹战斗部基本结构组成	486
13.2.1	壳体	486
13.2.2	装填物	487
13.2.3	传爆序列	487
13.3	常规导弹战斗部毁伤效应	488
13.3.1	爆炸冲击毁伤效应	488
13.3.2	侵彻毁伤效应	493
13.3.3	侵爆毁伤效应	498
13.3.4	子母弹综合毁伤效应	500
13.4	典型目标的易损性	502
13.4.1	装甲车辆	502
13.4.2	飞机	506
13.4.3	地面和地下建筑物	508
	参考文献	516
第 14 章	毁伤效应的试验测量与数值模拟	517
14.1	毁伤参数的试验测量	517
14.1.1	毁伤参数的分类	518
14.1.2	毁伤参数的测量	524

14.1.3 本节讨论	531
14.2 LS-DYNA 程序简介	532
14.2.1 概述	532
14.2.2 前后处理软件的文件传输关系	533
14.2.3 前处理器 HyperMesh 简介	534
14.2.4 后处理软件 LS-POST 简介	535
14.3 爆炸与冲击数值模拟中常用的材料模型	535
14.3.1 炸药和空气模型	535
14.3.2 金属材料模型	537
14.3.3 混凝土材料力学特性	538
14.3.4 混凝土的动态本构模型	540
14.3.5 混凝土的 RHT 模型	543
14.3.6 混凝土状态方程	545
14.3.7 钢筋混凝土算法	547
14.4 建筑物内爆炸破坏数值模拟	548
14.4.1 爆炸破坏数值模拟方法	548
14.4.2 建筑物内爆炸破坏模式分析	550
14.5 战斗部侵彻爆炸一体化数值模拟方法	551
14.5.1 炸药对目标的爆炸破坏作用	552
14.5.2 炸药在侵彻过程中与弹体的相互作用	552
14.5.3 弹丸侵彻钢筋混凝土模拟 —— 侵彻接触算法	552
14.5.4 边界条件	553
14.5.5 物质填充方法	553
14.6 AUTODYN 在终点毁伤效应研究中的应用	556
14.6.1 AUTODYN 程序简介	556
14.6.2 AUTODYN 计算技术与应用	556
参考文献	560
第 15 章 毁伤试验设计	562
15.1 概述	562
15.1.1 毁伤试验设计的需求分析	562
15.1.2 获取经验公式的方法	566
15.1.3 毁伤试验设计的基本步骤	570
15.2 多源试验的一体化最优设计	572
15.2.1 引言	572
15.2.2 毁伤效能评估的试验源分析	573

15.2.3	毁伤试验差异建模与融合评估	576
15.2.4	一体化 D 最优设计与构造算法	579
15.2.5	侵彻弹动静试验一体化设计	584
15.2.6	讨论	589
15.3	量纲分析及其在试验设计中的应用	589
15.3.1	爆炸缩比试验法	590
15.3.2	毁伤效应的量纲分析	593
15.3.3	缩比试验与原型试验的差异建模	595
15.3.4	一体化 D_n 最优确切设计	596
15.3.5	小结	597
	参考文献	597
第 16 章	毁伤评估方法	601
16.1	毁伤评估的内涵	601
16.1.1	毁伤评估的定义	601
16.1.2	毁伤评估的研究现状	602
16.2	典型目标毁伤评估指标体系	606
16.2.1	机场跑道毁伤评估指标体系	607
16.2.2	建筑物毁伤评估指标体系	609
16.2.3	各项战术技术指标与综合毁伤效果之间的定量关系分析	611
16.3	不同毁伤形式的量化与毁伤效果折合	613
16.3.1	侵彻弹打击机场跑道	613
16.3.2	侵爆弹打击典型建筑	616
16.4	动、静差异分析、建模与补偿	616
16.4.1	动、静差异的因素分析	617
16.4.2	差异建模及补偿的参数化建模方法	617
16.4.3	动静差异分析的力学方法	619
16.5	毁伤评估方法	620
16.5.1	毁伤响应函数构造	620
16.5.2	综合毁伤评估方法	624
16.5.3	各指标的量化评估方法	626
16.6	对典型目标的综合毁伤评估	631
	参考文献	633
第 17 章	导弹毁伤视景仿真与可视化	636
17.1	可视化引擎的选择及毁伤场景仿真	636
17.1.1	可视化引擎的选择	636

17.1.2	地形仿真	637
17.1.3	试验结果	639
17.2	侵彻子母弹毁伤机场过程三维可视化	641
17.2.1	侵彻子母弹对机场毁伤及其三维可视化需求	641
17.2.2	三维可视化系统设计	642
17.2.3	侵彻弹毁伤一体化仿真系统运行与评估实例	648
17.2.4	小结	651
17.3	侵爆毁伤半实物仿真可视化系统设计与实现	651
17.3.1	侵爆毁伤可视化建模	651
17.3.2	侵爆弹毁伤仿真系统运行实例	655
17.3.3	小结	657
17.4	基于物理引擎的破片毁伤半实物仿真	658
17.4.1	需求分析	658
17.4.2	仿真引擎 (ODE, PhysX, Newton 等) 比较、选择	659
17.4.3	基于物理引擎的某类破片毁伤评估与半实物仿真系统开发	659
17.4.4	小结	662
	参考文献	662