

军事装备学系列丛书

装备战斗损伤 组合建模技术

Armament Battlefield Damage Composable
Modeling Technology

王广彦 胡起伟 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军事装备学系列丛书

装备战斗损伤组合建模技术

王广彦 胡起伟 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

装备战斗损伤组合建模技术 / 王广彦, 胡起伟著.
—北京: 国防工业出版社, 2014. 2
(军事装备学系列丛书)
ISBN 978-7-118-09347-6

I. ①装... II. ①王... ②胡... III. ①武器装备—损伤—系统建模 IV. ①E237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 046771 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)
北京嘉恒彩色印刷有限公司
新华书店经售



*

开本 710 × 960 1/16 印张 14 字数 250 千字
2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 59.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777
发行传真: (010) 88540755

发行邮购: (010) 88540776
发行业务: (010) 88540717

《军事装备学系列丛书》

编委会

主任委员 谷宏强

副主任委员 石全

编委 (按姓氏笔画排序)

于永利 朱小冬 刘沃野 刘铁林

杜晓明 吴建明 宋文渊 张桦

郝建平 柏彦奇 高崎 高鲁

程中华

前 言

装备战斗损伤简称战伤或战损,是指装备在作战使用过程中,由于受到敌方武器的袭击使其零部件遭受破坏或是功能严重下降而影响使用效能的一种状态。如枪弹、炮弹、导弹所造成的装备损伤。显然,战斗损伤是装备在战场环境下所特有的一种战场损伤形式。据美军资料统计,战斗损伤约占全部战场损伤的 25% ~ 40%;而我军在抗美援朝战争中的战斗损伤高达 80%。虽然现代飞机、舰艇、坦克等装备在研制过程中提高了可靠性和生存性,但这只能使其被击毁的概率减小,而无法避免被击伤的情况。面对敌陆、海、空、天等高效能武器的打击,武器装备的战斗损伤比例将会保持一个较高的水平。

我军对于装备战斗损伤研究起步较晚,目前无论在理论方法体系方面,还是在工程实践应用方面,都存在一定差距。总体上来看,由于作战条件与形势的变化,我军尚缺乏对新形势下装备战损规律的认识。国际上最近的几次战争和数据经验与我国国情、军情和装备状况差别甚大,难以获得和借鉴,尚不能作为我军装备战损规律研究的依据。我军目前获得的战损率及其分布等数据还主要依据专家经验。采用建模与仿真技术是解决我军装备战斗损伤基础数据缺乏的有效途径,装备战斗损伤建模与仿真技术突破了“从战争中学习战争”的传统研究模式,是探索武器装备战斗损伤规律的一种有效手段。该技术以计算机为工具,通过建立我方装备、敌方威胁和战场环境的计算机仿真模型,并根据相应的仿真算法,来分析预测我方装备在敌对威胁作用下可能发生的损伤部位、模式、概率等问题。采用建模与仿真技术探索装备战损规律能够为新装备研制和现役装备的改进,战时装备保障体制和力量建设以及装备保障方案的规划等工作提供科学的数据支持。

随着各层面装备战斗损伤模型(如破片侵彻、冲击振动等物理损伤层面的战损模型,火炮、雷达等型号装备的战损模型,航空兵轰炸、地面炮兵压制射击等作战模式下的战损模型)的发展与完善,为了进一步深入、系统地揭示装备在战场环境

下的战损规律与特点,装备战损模型在发展过程中呈现出明显的综合集成特征,即围绕一定的研究目的,将各层面装备战损模型组合起来构成集成度较高的组合模型,以便从高、中、低等不同仿真分辨率角度全方位地揭示装备战斗损伤特性。这一趋势直接导致装备战损模型在发展过程中会呈现出如下显著特点,即:所囊括的子模型越来越多,所涉及的专业领域越来越宽,所采用的研究手段越来越繁杂,所跨越的层次越来越深,如装备战损模型囊括了破片侵彻、冲击振动、高温燃烧等损伤机理模型,涉及高速动力学、机械振动、热力学等专业领域知识,采用解析分析、数值模拟、系统仿真、实际试验等多种研究手段,跨越集群装备战斗损伤、单装战斗损伤、零部件战斗损伤等多分辨率的子模型。装备战斗损伤建模与仿真研究已成为一项多学科综合的、复杂的系统工程。

尽管可用于装备战斗损伤组合模型构建的各子模型的实用化程度日益提高,但由于研究对象越来越繁多复杂,仿真模型和平台类型越来越丰富,不同层次及不同分辨率的模型难以组合的问题十分突出。影响装备战斗损伤组合模型构建的突出问题表现为:(1)各类装备战斗损伤模型之间缺乏良好的可组合性,导致组合模型运算效率低、平台依赖性强;(2)独立开发的装备战斗损伤模型缺乏良好的工程性,导致组合模型开发的组织管理工作难度增大。

本书针对目前装备战斗损伤仿真系统运行效率低、构建难度大、可移植性差、不便于在战时维修保障研究领域应用的突出问题,研究了将装备战斗损伤模型转化为仿真元模型的一般性理论与方法,以及基于元模型技术的装备战斗损伤组合建模方法。本书虽然重点研究装备战斗损伤组合建模问题,但所形成的基本理论与方法,对现代产品设计、城市交通管理、国民经济分析等领域大型复杂模型的构建均具有指导意义。

本书共分为八章。第1章绪论,主要介绍开展基于元模型的装备战斗损伤组合建模研究的背景,国内外相关研究现状,本书研究的目的与意义。第2章装备战斗损伤模型的层次体系结构,主要从装备物理状态改变、装备功能劣化、集群装备战斗力丧失等三个层面研究装备战斗损伤模型的层次体系结构,并研究物理状态改变战损模型与功能劣化战损模型的聚合/解聚机制,以及功能劣化战损模型与集群装备战损模型的聚合/解聚机制。第3章装备战损组合模型构建过程中的可组合性,介绍基础环境可组合性与运行时间可组合性的分析技术,以及可组合性判定流程。第4章元模型应用中的局限性及改进,从元模型降低组合模型整体的可理解性、元模型相对于原始模型在实现功能上的不完备性、元模型误差所导致的仿真过程不可重现性等三方面介绍研究元模型的局限性及改进方法。第5章仿真元模

型输入参数筛选方法,区分输入参数的分布规律是否已知两种情况,分别介绍基于正交试验设计理论的输入参数灵敏度分析方法,以及基于信息熵的输入参数不确定性分析方法。第6章典型仿真元模型构建方法,主要介绍基于经验公式的仿真元模型、基于损伤相图的仿真元模型、基于贝叶斯网络的仿真元模型等三种元模型构建方法。第7章基于元模型的装备战损组合模型,介绍跨装备物理状态改变、装备功能劣化、集群装备战斗力丧失等三个战损层面的装备战斗损伤组合模型构建方法。第8章装备战斗损伤仿真技术应用,重点介绍装备战斗损伤仿真系统的基本结构与原理,以及基于战损仿真技术的装备易损性分析技术和基于战损仿真技术的抢修时间分布规律分析技术。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 装备战场损伤与战斗损伤	1
1.2 装备战斗损伤建模与仿真技术研究现状	2
1.2.1 装备物理状态改变层面的战损模型	3
1.2.2 装备功能劣化层面的战损模型	4
1.2.3 集群装备战斗力丧失层面的战损模型	5
1.3 装备战斗损伤建模与仿真技术面临的问题	5
1.4 仿真元建模技术	8
1.5 基于元模型的装备战斗损伤组合建模技术	11
第 2 章 装备战斗损伤模型的层次体系结构	15
2.1 装备战斗损伤模型的层次划分	15
2.1.1 装备物理状态改变层面的战斗损伤	15
2.1.2 装备功能劣化层面的战斗损伤	20
2.1.3 集群装备战斗力丧失层面的战斗损伤	23
2.1.4 各层面装备战斗损伤模型之间的关系	26
2.2 物理状态改变战损模型与功能劣化战损模型的聚合/解聚机制	27
2.2.1 物理状态改变战损模型与功能劣化战损模型之间的映射	28
2.2.2 面向装备形态的装备功能描述方法	29
2.2.3 物理状态改变战损模型与功能劣化战损模型之间的 聚合/解聚方法	31
2.3 功能劣化战损模型与集群装备战损模型的聚合/解聚机制	33
2.3.1 功能劣化战损模型与集群装备战损模型之间的映射	33
2.3.2 装备功能损伤与集群装备损伤之间聚合/解聚机制	34

第3章 装备战损组合模型构建过程中的可组合性	37
3.1 仿真元模型的可组合性	37
3.2 装备战斗损伤组合模型的层次结构	40
3.3 装备战损组合模型在基础环境方面的可组合性	41
3.3.1 装备战损组合模型的基础环境	41
3.3.2 基础环境可组合性的判定方法	42
3.3.3 基础环境组合度	44
3.3.4 基础环境组合度分析算例	46
3.4 装备战损组合模型在运行时间方面的可组合性	48
3.4.1 组合模型的固有运行时间与实际运行时间	48
3.4.2 组合模型的固有运行时间分析	50
3.4.3 运行时间组合度分析算例	50
3.5 可组合性判定流程	53
第4章 元模型应用中的局限性及改进	56
4.1 元模型对组合模型的可理解性	56
4.1.1 黑箱模型与仿真元模型的关系	56
4.1.2 组合模型的灰度分析方法	58
4.1.3 仿真元模型对组合模型可理解性的影响及改进	66
4.2 元模型在实现功能上的不完备性	68
4.2.1 选用原始模型的基本问题	69
4.2.2 原始模型利用率测算方法	69
4.2.3 原始模型利用率	72
4.3 元模型误差导致的仿真过程不可重现性	74
4.3.1 元模型对于原始模型的可重现性	74
4.3.2 原始模型混沌特性判定	76
4.3.3 混沌动力学元模型构建的控制策略	77
第5章 仿真元模型输入参数筛选方法	82
5.1 输入参数分布规律未知条件下的筛选方法	82

5.1.1	基于正交试验设计的灵敏度分析	83
5.1.2	输入参数筛选试验的正交表规模	85
5.1.3	螺线管制动器电磁损伤模型灵敏度分析	88
5.2	输入参数分布规律已知条件下的筛选方法	93
5.2.1	基于条件熵的输入参数与输出参数关系	93
5.2.2	模型条件熵的定量描述	95
5.2.3	组合模型的条件熵	96
5.2.4	装备破片战损模型输入参数不确定性分析	96
第6章	典型仿真元模型构建方法	100
6.1	基于经验公式的仿真元模型	100
6.1.1	采用均匀实验方法获取仿真试验数据	100
6.1.2	基于遗传算法的经验公式优化	101
6.1.3	温压弹药对工事热响应特性的经验公式	107
6.2	基于损伤相图的仿真元模型	110
6.2.1	损伤相图基本概念	110
6.2.2	损伤相图构建方法	112
6.2.3	冲击振动损伤相图的构建	115
6.3	基于贝叶斯网络的仿真元模型	119
6.3.1	贝叶斯网络仿真元模型基本原理	119
6.3.2	基于损伤树工作机理的贝叶斯网络仿真元模型	123
6.3.3	基于参数学习的贝叶斯网络仿真元模型	131
6.3.4	基于结构学习的战场损伤相关性贝叶斯网络仿真元模型	139
第7章	基于元模型的装备战损组合模型	155
7.1	装备战斗损伤组合建模方法论	155
7.2	元模型选择与应用决策方法	157
7.2.1	仿真元模型构建的基本过程	158
7.2.2	面向组合建模的仿真元模型构建决策方法	158
7.3	装备战损组合建模与仿真平台设计	160
7.4	基于元模型的装备战斗损伤组合建模案例研究	164

7.4.1	典型集群装备战斗损伤组合模型	164
7.4.2	集群装备战斗损伤组合模型的仿真运行	167
第8章	装备战斗损伤仿真技术应用	176
8.1	装备战斗损伤仿真系统	176
8.1.1	系统整体结构	176
8.1.2	威胁建模子系统	177
8.1.3	装备建模子系统	181
8.1.4	装备损伤模拟子系统	184
8.2	基于战损仿真技术的装备易损性分析技术	186
8.2.1	装备易损性关键影响因素分析	186
8.2.2	针对单各因素的试验数据及回归分析	187
8.2.3	采用正交设计进行各因素综合分析	188
8.2.4	考虑交互作用的正交试验	190
8.2.5	距离对装备易损性影响的定量分析	192
8.2.6	各杀伤因素的综合分析	194
8.3	基于战损仿真技术的抢修时间分布规律分析技术	195
8.3.1	装备抢修时间仿真的基本原理	195
8.3.2	战损装备抢修建模	197
8.3.3	战损装备抢修时间仿真软件设计	202
参考文献		205

第1章 绪 论

1.1 装备战场损伤与战斗损伤

装备战场损伤是指在战场上需要排除、处理的妨碍装备完成任务的事件,包括战斗损伤、偶然故障、耗损性故障、人为差错、装备得不到供应品(油液、材料、备件等)、装备不适于作战环境等。

在上述各种损伤事件中,战斗损伤是一种非常关键的装备战场损伤形式。装备战斗损伤简称战伤或战损,是指装备在作战使用过程中,由于受到敌方武器的袭击使其零部件遭受破坏或是功能严重下降而影响使用效能的一种状态。如枪弹、炮弹、导弹所造成的装备损伤。显然,战斗损伤是装备在战场环境下所特有的一种战场损伤形式。据美军资料统计,战斗损伤约占全部战场损伤的 25% ~ 40%;而我军在抗美援朝战争中的战斗损伤高达 80%。虽然现代飞机、舰艇、坦克等装备在研制过程中提高了可靠性和生存性,但这只能使其被击毁的概率减小,而无法避免被击伤的情况,面对敌陆、海、空、天等高效能武器的打击,武器装备的战斗损伤比例将会保持一个较高的水平。因此,战斗损伤是首先应当考虑和研究的。

对于偶然故障、耗损性故障、人为差错、装备得不到供应品、装备不适于作战环境等损伤事件可采用可靠性工程、心理学、器材管理学等方法进行研究,已经形成了一套较为系统完整的理论研究体系。相对上述损伤事件而言,装备战斗损伤研究起步较晚,目前无论在理论方法体系方面,还是在工程实践应用方面,都存在一定差距。我军从 20 世纪 90 年代开始,开展了装备战斗损伤理论及有关应用研究,军械、空军等系统开展了装备损伤及抢修试验、建模仿真研究,探索装备战斗损伤及修复规律。但是,就总体上说,由于作战条件与形势的变化,尚缺乏对新形势下装备战损规律的认识。国际上最近的几次战争和数据经验与我国国情、军情和装备状况差别甚大,难以获得和借鉴,尚不能作为我军装备战损规律研究的依据。我军目前获得的战损率及其分布等数据还主要依据专家经验。

目前通常采用建模与仿真技术解决我军装备战斗损伤基础数据缺乏的问题。装备战斗损伤建模与仿真技术突破了“从战争中学习战争”的传统研究模式,是探索武器装备战斗损伤规律的一种有效手段。该技术以计算机为工具,通过建立我方装备、敌方威胁和战场环境的计算机仿真模型,并根据相应的仿真算法,来分析

预测我方装备在敌对威胁作用下可能发生的损伤部位、模式、概率等问题。采用建模与仿真技术探索装备战损规律能够为新装备研制和现役装备的改进,战时装备保障体制和力量建设以及装备保障方案的规划提供技术基础信息和条件。具体体现在以下三个方面。

第一,为战场抢修的研究与准备提供决策的基础信息,对战场抢修的组织设计与规划,战时维修器材的储备、配置、供应以及备件决策,战时维修资源的规划与优化重组,修理工时标准的制订,战场抢修手册的编制、验证与修订等均具有重要的指导作用。

第二,为现役装备的改进和新装备的研制提供重要的依据。了解和掌握现役装备的战损规律,可以分析和发现装备的设计缺陷,从而确定装备的改进方向。对新研装备进行生存性设计、抢修性设计,提高装备的生存能力;对新装备的保障方案的设计和维修资源的规划等均起到重要作用。

第三,为装备保障指挥与管理乃至作战指挥决策提供重要的支持。掌握装备的战损规律对装备保障指挥和作战指挥具有重要意义,如战斗评估,战斗指挥,战时抢修力量的部署与使用等。

1.2 装备战斗损伤建模与仿真技术研究现状

为了更清楚地分析当前装备战损建模研究动态,根据研究人员分析角度的差异,将装备战损模型从低到高划分为三个层次(图 1-1):①装备物理状态改变层面的战损模型,如装备在战斗部破片作用下被侵彻、装备在爆炸冲击振动作用下产生振动加速度响应、装备在高温作用下工作温度发生波动等;②装备功能劣化层面的战损模型,如火炮身管被穿孔导致发射功能丧失、电路板被弹飞导致数据处理功



图 1-1 装备战损模型的层次性示意图

能丧失、集成电路工作温度过高导致运算速度下降等;③集群装备战斗力丧失层面的战损模型,如装备群整体战损等级分布、战损率、损伤模式发生概率等。分别从这三个层面分析装备战损建模与仿真研究动态。

1.2.1 装备物理状态改变层面的战损模型

该层面战损模型的主要特征表现为:以破片侵彻、冲击波、振动、电磁干扰、热辐射等损伤机理的研究成果为基础,结合具体装备的结构特点和所面临的战场威胁,研究装备战斗损伤建模与仿真的系统化方法。

国外比较典型的战斗损伤模型及仿真程序有:战斗损伤模拟器(SCAN MOD),其隶属于 LTV 航空航天和防务公司联合开发的飞机战斗损伤评估程序,可用于预计飞机部件在导弹弹头碎片作用下的击毁概率和弹道穿透特性;人员弹道损伤模型,该模型通过概率密度函数描述个人在弹道损伤下的生存性,采用蒙特卡罗仿真方法计算大批士兵暴露在弹道场下的死亡率;COMPKI,计算系统在一次打击下的损伤概率的计算机程序;VAST(Vulnerable Area Simulation for Target),目标易损面积评估程序;计算机化的目标描述几何模型,包括 COM-GEOM、GIFT、MAGIC、SHOTGEN、TARGET DESCRIPTION、FASTGEN 等。

在借鉴国外战斗损伤建模与仿真研究成果的基础上,近年来我军各军兵种也系统开展了装备战斗损伤建模与仿真研究。石全、李建平等系统研究了各种损伤机理的发生过程,并研究了将其应用于计算机仿真的基本方法;刘祥凯研究了装备战斗损伤模拟模型的基本结构,对于系统开展装备战斗损伤建模研究具有指导意义。

在装备战斗损伤机理建模与仿真领域当属破片侵彻损伤研究最为成熟。米双山、张小坡研究了破片对于装备侵彻过程的通用建模与仿真方法。各军兵种针对各自装备作战特点,也研究了破片对其装备侵彻损伤的建模与仿真技术。张建华、侯日立、潘庆军等人研究了自然破片战斗部、预制破片战斗部、离散杆战斗部等形式战斗部所产生的各种形状破片对于飞机装备的战斗机理及仿真技术;严骏研究了航弹破片对于工程装备的损伤机理及仿真技术;赵胜国研究了破片对于装甲装备的损伤机理及仿真技术;王晓强研究了破片对于舰艇装备的损伤机理及仿真技术;杨植宗研究了破片对于雷达装备的损伤机理及仿真技术。

在破片损伤机理研究基础上,各单位对振动、电磁干扰、冲击波、引爆引燃等损伤机理仿真方法也陆续开展了研究。满强等人研究了冲击振动对于电子装备的损伤机理及仿真技术;郭传福等人研究了舰艇装备在电磁脉冲武器打击下的生命力评估问题;崔鲁宁等人研究了冲击波对于舰艇装备的损伤机理。

在针对各种损伤机理对装备进行战斗损伤建模与仿真研究的同时,对于弹药、

战斗部等威胁的效能描述方法和装备描述方法也展开了一定的研究。刘彤研究了防空战斗部杀伤威力评估方法,并开发了相应的威力评估仿真软件;高萍、范亚、代冬升研究了破片、电磁、冲击波等威胁效能的一般性建模方法;马建龙建立了可用以计算机描述的战斗损伤模拟中的装备模型。

1.2.2 装备功能劣化层面的战损模型

装备发生了物理状态改变层面的损伤后,往往会导致装备丧失一定程度的功能,研究人员采用多种方法提出了装备功能丧失程度的评估方法。这方面的模型大量体现在生存性/易损性分析过程中。

国外典型的建模与仿真成果有:损伤评估清单(DALs),是一种传统的坦克易损性计算方法,美军主要考虑坦克运动功能和火力功能的丧失,并对损伤程度给出了具体系数;易损性空间,该方法将目标零件损伤状态定为第2级,将目标功能状态定位第3级,从第2级到第3级的映射需要采用工程方法;退化状态易损性方法学(DSVM),该方法将目标的损坏状态映射为划分级别的退化状态,包括了功能丧失从“功能完好”到“报废”所有可能的形态;基于损伤树的损伤评估分析,该方法将装备各损伤级别定义为不希望发生的顶事件,用于分析与该损伤级别相关联的关键部件及关键部件之间的相互关系等问题;SQASH(Stochastic Quantitative Analysis of System Hierarchies),美国弹道研究所开发的点爆炸模型易损性代码;TANKWARS,美国弹道研究所开发的专门用于坦克易损性分析的计算机程序;GROUNDWARS,AMSAA开发的TANKWARS的改进型;坦克战斗损伤评估模型,该模型主要分析坦克外部的战斗损伤情况,可预测修复M60A1坦克所需的后勤资源、修理时间的可行性,以及坦克可用度等;目标毁伤效果评估概率模型,该模型可计算单个目标一次打击毁伤率、两次打击的最终毁伤率、攻击目标直到目标毁伤效果评估确认目标已摧毁的毁伤率及打击次数等多个变量。

国内学者也采用多种方法研究了装备功能劣化的建模与仿真问题。陈健研究了基于综合集成多指标群体决策的装备战斗损伤评估方法;陈健等人研究了基于贝叶斯网络的装备战斗损伤评估方法;王润生、冯柯研究了基于损伤树的装备战场损伤评估方法;陈健研究了基于实际案例的导弹装备战场损伤评估方法;刘博提出了基于ER算法的潜艇作战系统战场损伤评估与仿真方法;闫文川研究了损坏模式影响分析(DMEA)程序的建立与应用方法,DMEA是一种定性判断装备功能丧失程度的方法;陈健研究了采用矢量夹角余弦确定装备各组件损伤评估指标权重的方法。

在评估装备功能劣化程度时,往往需要结合相应的战场抢修方法,致使装备功能劣化程度评估成为一个多属性决策问题,这方面的研究主要集中在装备战场损

伤等级评定上。马志军、胡起伟、曾拥华等根据装备功能丧失程度及抢修方法难易程度等因素,采用贝叶斯网络、神经网络等技术研究了装备战场损伤等级评定及系统开发问题。

1.2.3 集群装备战斗力丧失层面的战损模型

这是一种更为宏观、仿真粒度较大的装备易损性模型,研究集群装备在一定作战条件下的战斗损伤情况,对于装备系统论证、维修保障系统效能分析、作战指挥具有直接的指导意义。由于这部分研究内容涉及作战指挥,涉密程度较高,所以公开发表的文献相对较少。

美国兰德公司采用联合一体化应急作战模型(JICM)进行了空战评估,并采用探索性分析方法研究了对抗双方飞机的损失情况;在西方 JTLS-JCATS 等大型作战仿真系统中,通常采用兰彻斯特方程方法描述对抗双方兵力兵器的损失情况。

在国内,陆凡等采用兰彻斯特方程研究了装备及兵力的耗损情况;李寿安基于敏感性、易损性等指标研究了飞机的生存力评估与综合权衡方法问题;李相民采用毁伤率方法研究了攻击机编队对地攻击时的损伤评估方法;史志富采用贝叶斯网络方法研究了攻击机编队对地攻击时的损伤评估方法;雍丽英采用多主体技术研究了战斗伤损及作战仿真问题;崔荣洪采用毁伤概率模型建立了航空四站装备的战时战斗损毁预测模型。

1.3 装备战斗损伤建模与仿真技术面临的问题

本书将装备战斗损伤分为三类,分别是装备物理损伤、装备功能劣化损伤、集群装备战斗损伤。这些装备战斗损伤信息分别满足不同领域的研究需求,需要通过相应的装备战斗损伤模型获得,与这些战斗损伤信息相对应,将装备战斗损伤模型也分为三类:①装备物理损伤模型;②装备功能劣化损伤模型;③集群装备战斗损伤模型。

随着上述各层面装备战斗损伤模型(如破片侵彻、冲击振动等物理损伤层面的战损模型,火炮、雷达等型号装备的战损模型,航空兵轰炸、地面炮兵压制射击等作战模式下的战损模型)的发展与完善,为了进一步深入、系统地揭示装备在战场环境下的战损规律与特点,装备战损模型在发展过程中呈现出明显的综合集成特征,即围绕一定的研究目的,将各层面装备战损模型组合起来构成集成度较高的组合模型,以便从高、中、低等不同仿真分辨率角度全方位地揭示装备战斗损伤特性。这一趋势直接导致装备战损模型在发展过程中会呈现出如下显著特点,即:所囊括的子模型越来越多,所涉及的专业领域越来越宽,所采用的研究手段越来越繁杂,

所跨越的层次越来越深,如装备战损模型囊括了破片侵彻、冲击振动、高温燃烧等损伤机理模型,涉及高速动力学、机械振动、热力学等专业领域知识,采用解析分析、数值模拟、系统仿真、实际试验等多种研究手段,跨越集群装备战斗损伤、单装战斗损伤、零部件战斗损伤等多分辨率的子模型。装备战斗损伤建模与仿真研究已成为一项多学科综合的、复杂的系统工程。

尽管这些装备战斗损伤模型的构建目的有所不同,但却存在一定的内在逻辑关系。主要表现为两种逻辑关系:一是平行模型逻辑关系,通常表现为同级模型之间的并列关系,同级模型之间相对独立仿真运行,共同服务于一个仿真需求,如针对装备物理损伤问题,需要分别研究破片、冲击波、高温、电磁、冲击振动等损伤机理模型;二是串行模型逻辑关系,通常表现为父模型与子模型之间的关系,子模型支持父模型的仿真运行,子模型的输出参数将成为父模型的输入参数。上述三类装备战斗损伤模型整体上就体现为串行逻辑关系,装备发生物理损伤导致装备功能丧失,装备功能丧失导致集群装备战斗损伤,如齿轮被破片侵彻发生变形(物理损伤),齿轮变形导致传动箱输出功率不稳定(功能劣化),传动箱输出功率不稳定导致火炮机动能力降低(功能劣化),火炮机动能力降低导致火炮群发生一定程度的战损率(集群装备战斗损伤)。基本逻辑关系如图1-2所示。

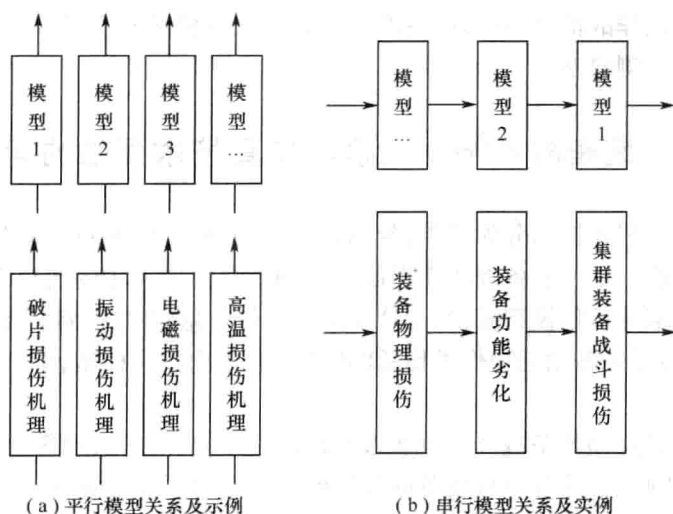


图1-2 模型逻辑关系

由于各类装备战斗损伤模型之间存在着密切的内在逻辑关系,因此在构建装备战斗损伤模型过程中必然会涉及到各类模型之间的集成与组合问题,即装备战斗损伤组合建模问题。针对平行模型逻辑关系,通过组合建模可拓宽建模内容,使模型的输出信息更加全面完整;针对串行模型逻辑关系,通过组合建模可提高建模