

军队“2110工程”系列教材

飞机结构战伤仿真

张建华 侯日立 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军队“2110 工程”系列教材

飞机结构战伤仿真

张建华 侯日立 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书比较全面系统地介绍了飞机结构战伤仿真所必须的飞机三维几何建模技术和武器威力场、弹目交会、飞机结构战伤分析等模型的建模方法、飞机战伤仿真试验结果分析与试验验证技术。

本书可作为高等院校相关专业本科、研究生教材或参考书,也适合科研人员和工程技术人员作为技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞机结构战伤仿真 / 张建华,侯日立编著. —北京:
国防工业出版社, 2006. 5
(军队“2110工程”系列教材)
ISBN 7-118-04801-1

I. 飞... II. ①张...②侯... III. 军用飞机-飞机
构件-损伤-仿真模型-教材 IV. V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 120159 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)

北京四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 8 字数 190 千字

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

《飞机结构战伤仿真》是军队“2110 工程”系列教材之一,是根据“飞机战伤抢修”、“飞机战伤仿真”等科研成果的主要内容编写的,同时,参考了“飞机生存力设计”、“武器效能评估”等研究领域的相关理论和方法。可作为高等院校相关专业本科、研究生教材或参考书,也适合科研人员和工程技术人员作为技术参考书。

本书共分 6 章。第 1 章绪论,介绍了飞机战伤仿真的目的、意义及战伤仿真技术的国内外现状;第 2 章飞机几何建模原理与方法,介绍了飞机结构特点和基于飞机结构战伤仿真的飞机三维几何造型原则和方法;第 3 章武器威力场建模原理与方法,介绍了预制破片战斗部、自然破片战斗部、离散杆战斗部、连续杆战斗部和爆炸性射弹破片场的建模方法;第 4 章弹目交会建模原理与方法,介绍了基于蒙特卡罗法的飞机—航炮、飞机—高炮、飞机—导弹的弹目交会建模方法;第 5 章飞机损伤分析建模原理与方法,介绍了射弹、导弹破片撞击下飞机结构损伤分析建模方法;第 6 章飞机战伤仿真试验验证技术与仿真结果分析,介绍了飞机战伤仿真结果的分析方法和试验验证技术。

本书的特点是体现了先进性和实用性。首先,本书介绍了飞机结构战伤仿真领域的最新研究成果,同时,在内容编排上注意了基本原理、方法和建模实例的结合。

本书由张建华教授担任主编,侯日立高工担任副主编,参加编写的人员还有涂明武教授、孙峰山工程师和周平工程师。全书各章执笔如下:第 1 章由涂明武教授编写,第 2 章由孙峰山工程师编写,第 3、4 章由张建华教授编写,第 5 章由侯日立高工编写,第 6 章由周平工程师编写。全书由张建华教授统稿,刘晓山副教授负责校对,阚继广讲师负责图表处理。

本书在编写过程中参阅了中国工程物理研究院钱立新高工、空军工程大学陈云翔教授、西北工业大学宋笔锋教授的相关研究报告,在此深表谢意。

由于水平有限,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2006 年 3 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 飞机战伤抢修	1
1.1.2 计算机仿真	2
1.1.3 飞机结构战伤仿真	4
1.2 飞机结构战伤仿真的基本流程	4
1.3 飞机战伤仿真技术的国内外现状	5
1.3.1 国外飞机战伤仿真技术的发展现状	5
1.3.2 国内计算机仿真技术在航空领域的应用	6
1.4 飞机结构战伤仿真建模	7
第2章 飞机几何建模原理与方法	10
2.1 飞机结构特点介绍	10
2.1.1 飞机总体结构布局	10
2.1.2 飞机结构的几何特点	12
2.2 飞机几何模型的建立	14
2.2.1 飞机几何模型的简化	14
2.2.2 飞机的几何建模	15
2.3 几何模型的后处理技术	22
2.3.1 网格的减缩	22
2.3.2 三维场景的更改	23
第3章 武器威力场建模原理与方法	25
3.1 概述	25
3.2 冲击波威力场	25
3.2.1 平方根关系	26
3.2.2 目标单元脱靶量	26
3.2.3 命中距离	27
3.2.4 超压与比冲量	28
3.2.5 冲击波的反射与绕射	28
3.2.6 冲击波模型建立的几点考虑	30
3.3 导弹破片场	30
3.3.1 广义破片战斗部破片的射击迹线描述	31
3.3.2 破片/弹丸弹道(射击迹线模型静态向动态的转化)	37
3.3.3 空气阻力的影响	38
3.3.4 破片翻滚的影响	40

3.3.5	破片的撞击和侵彻	41
3.3.6	结构复杂目标的射击迹线消隐计算	44
3.4	建模实例	44
3.4.1	静态模型	45
3.4.2	动态模型	46
3.5	高爆炸性射弹破片场	46
3.5.1	类型	46
3.5.2	结构特点	47
3.5.3	仿真模型	47
第4章	弹目交会建模原理与方法	52
4.1	概述	52
4.2	导弹与飞机的弹目交会仿真建模	52
4.2.1	引信启动区	52
4.2.2	弹目交会模拟	59
4.3	高炮与飞机的弹目交会仿真建模	61
4.3.1	表定修正量	62
4.3.2	脱靶距离分布	64
4.4	航炮与飞机的弹目交会仿真建模	65
4.5	弹目交会参数变化范围及其散布	66
第5章	飞机损伤分析建模原理与方法	68
5.1	概述	68
5.1.1	基本概念	68
5.1.2	非爆炸性撞击物对飞机结构的战伤	69
5.1.3	爆炸性撞击物对飞机结构的战伤	72
5.1.4	飞机结构战伤预测分析的研究思路	75
5.2	射弹撞击下飞机结构损伤分析建模	76
5.2.1	钝头弹丸撞击飞机结构的运动分析	76
5.2.2	尖头弹丸撞击飞机结构的运动分析	84
5.2.3	非爆炸性射弹撞击下引起的损伤	97
5.2.4	爆炸性射弹撞击下引起的损伤	103
5.3	导弹战斗部破片撞击下飞机结构损伤分析建模	105
第6章	飞机战伤仿真试验验证技术与仿真结果分析	106
6.1	飞机战伤仿真试验验证技术	106
6.1.1	模型验证试验	106
6.1.2	总体综合验证	113
6.2	飞机战伤仿真试验结果分析	116
6.2.1	仿真结果与试验结果的验证	116
6.2.2	仿真结果的分析	119
6.2.3	缺乏现场试验时仿真信息的运用	119
参考文献		122

第1章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 飞机战伤抢修

航空装备的维修,是航空装备保障的重要组成部分。作战期间,维修的重点任务是对战伤飞机实施抢修。飞机战伤抢修是保持航空部队持续作战能力最直接、最有效、最经济的途径,是战斗力的“倍增器”。战伤抢修属于修复性维修的范畴,可以说是修复性维修的一种特殊形式。当“战斗恢复力”(combat resilience)(又称“抢修性”)的武器装备特性被提出来以后,传统的战伤抢修概念已难以涵盖它所拥有的新内涵。传统的战伤抢修主要局限于研制一些便于抢修的工具或设备,利用当时先进的工艺、材料和技术进行靠前抢修。而新概念则强调武器装备本身应具有便于战伤抢修的属性。在战场上,如何使这种属性发挥其保持战斗力的作用,则是一个人机系统工程。作为武器装备的一个重要特性,“战斗恢复力”一经提出,由于其能直接影响战斗力,立即引起世界各国的普遍关注,特别是一些先进的军事大国,很快展开了与此相关的理论研究、法规体系的制定以及组织指挥体系的建立等。针对这一情况,我国在1991年引入这一新概念,也开展了有关的课题研究。

美国陆军把“战伤”叫做“战场损伤”(battlefield damage),即装备在广义战场上的损伤,包括武器装备遭到敌方破坏,即“战斗损伤”(battle damage),还包括一切在战场上发生的导致功能丧失或降低的事件,如随机故障、耗损性故障、人为差错,以及装备得不到供应品、装备不适用等。此处的广义战场应该理解为海上、陆地和空中,而战伤的含义则很广泛,与我们平时所理解的仅限于作战中装备遭打击所受的战伤不同,而是影响装备执行任务的所有事件。因此,在GJBz20437—97《武器装备战场抢修手册的制订要求》中对战场损伤采取如下定义:在战场上需要处理的一切妨碍武器装备完成预定任务的事件,包括:战斗损伤、随机故障、耗损性故障、人为差错、偶然事件、武器装备不适应战场环境、得不到供应品(如油液、备件等)、技术支持中断等。

美国空军采用“战斗损伤”(battle damage)的概念,其含义与陆军的“战场损伤”含义相近。从有关美国空军战伤修理的资料上看,他们似乎更强调作战中的损伤。当然,如果在作战中,除战斗损伤外,同时发生了妨碍执行作战任务的其它事件,一并作为战伤考虑也是与实际情况相符合的。

综上所述,飞机战伤是指飞机在空中飞行或地面停放时遭受的各种损伤,以及作战中飞机本身的随机故障、耗损性故障、意外故障和人为差错造成的损伤。飞机在飞行中遭受的损伤一是被空空导弹或航炮炮弹击伤,二是被地面武器打伤,三是超负荷执行作战任务时飞行员操作过猛造成的损伤等。飞机在地面停放时的损伤主要是指遭轰炸或意外事故

造成的损伤。当然,损伤源也可以是高精尖武器,如核武器、激光武器、离子束武器等。

1.1.2 计算机仿真

仿真界专家和学者对仿真下过不少定义。艾伦(A. Alan)在1979年8月出版的《仿真》期刊上对众多的定义进行了综述,其中有内勒(T. H. Naylor)于1966年在其专著中对仿真作了如下定义:“仿真是在数字计算机上进行试验的数字化技术,它包括数字与逻辑模型的某些模式,这些模型描述某一事件或经济系统(或者它们的某些部分)在若干周期内的特征。”其它一些定义只对仿真作概括的描述:仿真就是模仿真实系统;仿真就是利用模型来做实验,等等。从这些有关仿真的定义中不难看出,要进行仿真实验,系统和系统模型是两个主要因素。同时由于对复杂系统的模型处理和模型求解离不开高性能的信息处理装置,而现代化的计算机又责无旁贷地充当了这一角色,所以系统仿真(尤其是数学仿真)实质上应该包括3个基本要素:系统、系统模型、计算机。而联系这三要素的基本活动则是:模型建立、仿真模型建立和仿真实验。

系统仿真是建立在控制理论、相似理论、信息处理技术和计算技术等理论基础之上的,以计算机和其它专用物理效应设备为工具,利用系统模型对真实或假想的系统进行实验,并借助于专家经验知识、统计数据和信息数据对实验结果进行分析研究,进而做出决策的一门综合性的和试验性的学科。

仿真技术应用可以追溯到20世纪40年代,由美国林克公司开发研制、用于飞行员训练的林克飞行训练器的问世成为仿真技术应用的重要标志。伴随着计算机技术的发展,仿真技术已逐步形成一门新兴学科,即系统仿真技术。

仿真又称作蒙特卡罗方法,它是一种通过用随机数做实验来求解随机问题的技术。这种方法最早可以追溯到1773年法国自然学家G. L. L. Buffon为了估计 π 的值所进行的物理实验。然而,第一个利用这种方法做随机数实验的人也许是美国统计学家E. L. De Forest,那是在1876年。比较早而且著名的蒙特卡罗方法使用者是W. S. Gosset。他在1908年以“Student”为笔名发表论文时,使用了蒙特卡罗方法来证明他的t分布法;在这之前已经由“Theory”发展了t分布法,当然还不是十分精确。尽管蒙特卡罗方法起源于1876年,但是直到约75年之后S. Ulam和J. VonNewmann才将它命名为蒙特卡罗方法。为什么这么多年过去了它才被命名呢?其原因是直到数字计算机出现之前,这种方法在许多重要问题上都不能被加以利用。从1946年到1952年间,美国数字计算机在一些科研机构得到发展。这些研究机构有:宾夕法尼亚大学、麻省理工学院、国家标准局和国际商用机器公司。现代化的具有程序储存功能的计算机使冗长的计算成为可能,而这种计算正是蒙特卡罗方法所要求的。

与今天的计算机相比,早期的计算机运算速度慢而且几乎不能储存任何东西。比如,在20世纪60年代初期,利用计算机进行算术运算,每秒钟少于1万次,在60年代中期达到约50万次/s,到70年代初期达到2000万次/s,而如今的超级计算机每秒钟进行同样的计算可超过百亿次/s。现在可扩展并行计算机已成主流,如:美国能源部的“加速战略计算创新计划”,在2004年之前研制出5台万亿次量级的巨型计算机系统;俄罗斯新超级计算机运算2300亿次/s;日本NEC的4万亿次/s(SX-4),2000年达到32万亿次/s;印度1998年推出1000亿次/s系统,2000年以后升级到万亿次/s;中国已公开推出或将推

出“银河-Ⅲ”(百亿次/s)、“曙光2000”(200亿次/s)、“曙光2000-Ⅱ”(1000亿次/s)、“曙光3000”(3000亿次/s)。

2003年11月8日,中国软件行业协会数学软件分会公开发布了2003年中国高性能计算机性能TOP100排行榜。作为国内公开发布的第二届高性能计算机(HPC)性能排行榜,本次榜单不仅从数量上由2002年的TOP50飙升到TOP100,计算性能也有了大幅提升。

美国能源部劳伦斯·伯克利国家实验室2004年6月21日公布了最新的全球超级计算机500强名单,中国曙光计算机公司研制的超级计算机“曙光4000A”排名第十。这是中国超级计算机首次跻身世界十强。

曙光公司为上海超级计算中心研制的“曙光4000A”,采用了美国芯片制造商AMD制造的2560枚芯片,运算速度可达8.061万亿次/s。这是此次500强排名中唯一跻身前十名的非美国和日本研发的超级计算机。

这次500强排名中,日本NEC公司为日本地球模拟中心制造的超级计算机“地球仿真器”仍居首位,其运算速度为35.86万亿次/s,这已是它连续三年蝉联冠军。在前十名中,美国继续占据绝对优势,除了排名第一和第七的两台日本超级计算机和排名第十的中国超级计算机外,其余全部为美国产品。

自计算机诞生以来,性能的提高几乎是以每四五年提高100倍,每十年提高1万倍的速度持续发展着。

高性能计算机的出现为计算机仿真创造了条件,同时计算机仿真的需求又促进了高性能计算机的发展。在某种意义上说,计算机仿真发展历史就是计算机发展历史的一个重要组成部分。巨型机几乎都被用于模拟实验。现在,无论在科学现场还是在工程学现场,巨型机都成为不可缺少的工具。

科学的基本方式就是长久地观察、观测和实验。通过观察和观测得到数据,对这些数据进行归纳并从理论上进行分析,产生假说,然后再利用实验验证这种假说。或者通过更为广泛的观察和观测来确定没有能够反对这一假说的事实。这就是科学的基本程序。但是现在,计算机模拟实验正在作为第三种科学方法构筑十分牢固的基础。甚至可以说,这几乎就是科学方法论上的革命。

总之,计算机模拟实验已经不单单是一个方便的研究手段,它已经成为发现新世界的新的认识手段,而且这个新世界是没有这个手段就无法发现的。

如今计算机仿真技术被广泛运用于众多的领域之中。进入21世纪,仿真模拟技术在高科技中所处的地位日益提高。一些发达国家非常重视仿真模拟技术的开发利用,在科学研究、工业、交通、军事、教育等领域得到大量应用。

另外,直到1955年,程序的运行还是在机器内部由汇编语言完成的,因为当时还没出现诸如FORTRAN之类的高级计算机语言,具有特殊目的的仿真语言也只是在约10年之后,即约1965年才出现。如今被大众称作仿真的蒙特卡罗方法最初的运用主要是集中在编程技巧上,因为在进行仿真过程中,修改运行程序是最难的工作。早期计算机的局限性往往使得问题过于简化;因为如果不这样简化的话,就不可能在可行的计算时间内以可行的成本完成程序的运行。因此,许多重要的问题,诸如运行哪种程序及怎样分析程序输出等,就被忽略了。

如今计算机仿真技术被广泛运用于众多的领域之中。这些领域有:航天、天文学和天文物理学、自动装置、发射学和军事应用、通信、计算机装置、计算机网络、可靠性、机器人和自动化、空间飞行、交通工具设计,等等。

1.1.3 飞机结构战伤仿真

在现代高技术条件下,飞机面临的威胁武器种类、性能、打击方式等更加多样化;另一方面,新技术、新工艺、新材料、新结构在飞机上广泛应用,这一切,使得飞机在经受敌方威胁打击后出现的损伤形态呈现多样化趋势,战伤机理变得十分复杂。

飞机结构战伤仿真的目的是通过武器威胁机理和飞机结构战伤机理研究,建立飞机几何、武器威力场、弹目交会、结构损伤分析等模型,构建仿真平台。通过仿真平台,预测飞机结构在不同武器攻击下的战伤模式及战伤程度,并为飞机结构抢修及飞机生存力设计提供依据和辅助分析手段。

众所周知,现代作战飞机单价价值几千万甚至数亿元,战时,若能及时修复受损伤的飞机,就相当于节约了需补充新飞机而带来的开支。飞机战伤仿真为抢修提供了依据,由于战伤飞机得到修复,再次投入战斗,掌握了战斗主动权,使己方在作战中打击了敌方,保护了自己,由此产生的军事效益之大是无法估算的。

1.2 飞机结构战伤仿真的基本流程

1. 总体设计

这是战伤仿真的首要阶段。通过对飞机战伤涉及的因素进行定量的或定性的描述,确定战伤仿真的操作平台、编程语言、模型构成等。

2. 建立模型

对飞机战伤过程的各个事件进行分析和描述,找出该事件的输入和输出参数,并经过综合整理,建立其数学逻辑模型,形成一系列功能模块。

3. 收集和整理数据资料

飞机战伤仿真需要输入大量的数据,并且它们的正确性直接影响模拟输出结果的正确性,因此准确地收集和整理数据资料便成为战伤仿真的重要组成部分。

4. 设计程序

选用合适的计算机程序语言,按照《计算机软件开发规范》和其它相应国军标要求,将建立的数学模型转变成计算机程序,以便在计算机上进行模拟运行。

5. 调试程序和确认模型

对各功能模块的程序进行调试,分析其结果,进行模型的确认,初步检查所设计的数学模型是否正确地反映了该事件的本质。

6. 实验设计

应用以往实战或实弹试验数据进行验证,对于一些可能在实验室进行物理仿真的事件,自行设计实验。

7. 计算机模拟运行

对战伤过程进行大量的计算机模拟运行,以获得丰富的模拟输出资料。

8. 分析模拟结果

对计算机模拟运行所得的输出结果从以下几方面进行分析:

- (1) 通过计算样本均值、均值方差以及置信区间等指标分析模拟结果的统计特征;
- (2) 进行比较分析,考察输入参数的变化对输出结果的影响,并与实际情况进行比较。

9. 建立文档

用验证确认的飞机战伤仿真系统模拟分析作战,建立文档,用以指导部队的战伤抢修工作。

1.3 飞机战伤仿真技术的国内外现状

1.3.1 国外飞机战伤仿真技术的发展现状

仿真技术在高科技中所处的地位日益提高,甚至把仿真技术作为今后科技发展战略的关键推动力。1992年度美国提出的22项国家关键技术中,仿真技术被列为第16项;在21项国防关键技术中,仿真技术被列为第6项。北约在1989年制定的“欧几里得计划”中,把仿真技术作为11项优先合作发展的项目之一。至于仿真设备,早在1978年就推出了AD10数字模拟计算机,1985年又推出性能更强的AD100数字模拟计算机,在军事和非军事方面都得到了广泛应用。

在未来高技术条件下的局部战争中,武器装备系统是由多种武器平台、电子战装备、C⁴KISR系统等有机构成的体系,单件武器系统作战效能的发挥,依赖于整个武器装备体系的正常运作。

20世纪80年代初,随着军事需求与技术的发展,单项武器系统的仿真已不能满足武器装备发展的需要。军事部门开始考虑将已建成的、分散在各地的单武器平台仿真系统或仿真实验室,通过信息互联构成多武器平台的仿真系统,进行武器系统作战效能的研究。1983年,美国国防高级研究计划局(DARPA)首先提出,并与陆军共同制定了一项合作研究计划——仿真组网(SIMNET)计划。该计划是将分散在各地的坦克仿真器同计算机网络连接起来,进行各种复杂作战任务的训练和演习。80年代末,SIMNET计划结束时,已形成了约260个地面装甲车辆仿真器以及通信网路、指挥所和数据处理设备等互联的网络,节点分布在美国和德国的11个城市。为了大幅度增加仿真器的数量,逐步发展了异构型网络互联的分布交互仿真(DIS)系统。美国在80年代末专设软件与仿真专委会,负责管理军用仿真。90年代,针对扩展防空体系概念,美国陆军战略防御司令部及陆军导弹司令部,合作进行了“扩展的防空仿真系统”(EADSIM)研制计划。EADSIM是一个能用于攻防体系对抗研究的作战仿真系统,它连接美国本土、北约、英国、以色列等地100多个军事、工业部门,可给用户提供一个逼真的环境,用以分析准备建立的战术导弹防御系统,评估系统性能参数、作战过程及战术导弹防御系统的构成。海湾战争验证EADSIM是评估作战方案的一个有力工具,但EADSIM仍是一个纯数字仿真系统,为了更好地评估武器系统,在此基础上,现正在研制硬件与人在回路中的EADTB仿真系统。科索沃战争中各种现代化武器装备连接成一个有机体系,呈现出信息化、智能化、一体化的

发展新趋势,战争形态、作战样式也随之在发生一系列新变化,如远程攻击能力大大增强,打击精度空前提高,杀伤力成倍增长。而其中,争夺信息优势,取得战争制信息权已成为现代作战的重心之一,利用计算机仿真技术研究和探索信息战的特点和规律,也成为人们关注的热点和焦点。

美国在总结成功经验的基础上,更加重视仿真,已将发展“合成仿真环境”作为国防科技发展的七大科技推动领域之一。所谓合成仿真环境,就是在广泛采用 DIS 及相关的计算机技术(如灵境技术)的基础上,创造一种进行武器系统研究和训练的人工合成环境,在新武器系统研制过程中,用仿真实验(虚拟样机)代替实际样机试验,使新技术、新概念、新方案在虚拟战场条件下反复进行演示验证和分析比较,从而确定最佳方案,选择最优技术途径。在此过程中,武器研制部门与武器的未来使用部门通过联网加强早期合作,即用户尽早介入“国防发展战略”,使新武器装备更适合军方的需求,并可提前制定作战使用方案,比原先的实际样机试验方案要省时、省力,大大节约经费。

1.3.2 国内计算机仿真技术在航空领域的应用

我国计算机仿真技术的研究与应用开展较早,发展迅速。自 20 世纪 50 年代开始,在自动控制领域首先采用仿真技术,面向方程建模和采用模拟计算机的数据仿真获得较普遍的应用,同时采用自行研制的三轴模拟转台的自动飞行控制系统的半实物仿真实验已开始应用于飞机、导弹的工程型号研制中。60 年代,在开展连续系统仿真的同时,已开始对离散事件系统(例如交通管理、企业管理)的仿真进行研究。70 年代,我国训练仿真器获得迅速发展,自行设计的飞行仿真器、舰艇仿真器、火电机组培训仿真系统、化工过程培训仿真系统、机车培训仿真器、坦克仿真器、汽车仿真器等相继研制成功,并形成一定市场,在操作人员培训中起了很大作用。80 年代,我国建设了一批水平高、规模大的半实物仿真系统,如射频制导弹半实物仿真系统、红外制导弹半实物仿真系统、歼击机工程飞行仿真器、歼击机半实物仿真系统、驱逐舰半实物仿真系统等,这些半实物仿真系统在武器型号研制中发挥了重大作用。90 年代,我国开始对分布交互仿真、虚拟现实等先进仿真技术及其应用进行研究,开展了较大规模的复杂系统仿真,由单个武器平台的性能仿真发展为多武器平台在作战环境下的对抗仿真。

目前,在全面禁止核武器试验和全面禁止化学武器试验的形势下,美国、俄罗斯等军事强国都花费大量的人力财力从事计算机仿真技术的研究。他们认为,当在实际系统上进行试验比较危险或者难以实现时,计算机仿真技术就成了十分重要、甚至必不可少的工具。我国防化专家和领导、管理部门也极为重视计算机仿真技术在防化系统中的应用,它具有经济、可靠、安全、灵活、可多次重复使用等优点,已成为许多复杂系统(工程的、非工程的)分析、设计、试验、评估等不可缺少的重要手段。

防空导弹制导控制系统的仿真技术发展在我国已有 30 多年的历史。起初,由于所用数字计算机的性能限制,尤其是计算速度的限制,一组描述防空导弹几十秒钟飞行控制过程的数学模型,求解时间往往需要几十分钟甚至更长。因此,根本无法把需要实时交换信息的有关制导控制系统装置接入仿真实验系统中去。此时的仿真称为数学仿真。

当然,当时也常用模拟计算机来进行仿真实验。模拟计算机用连续变化的模拟电压

来表达变化过程中的物理量,用各种模拟电路来完成积分、乘法、加法等数学运算。由于模拟运算部件延迟时间很短(对于导弹飞行过程而言),所以制导控制系统中的实物,例如自动驾驶仪或舵机等就可接入仿真实验。这就是我们常称之为半实物仿真的试验状态。由于使用的是模拟计算机,而模拟电路精度不很高,稳定性较差,能表达的数学运算类型又有限,因此,这一类仿真有一定的局限性。

随着计算机技术以及精密机械、光电、无线电技术的飞速发展,在实验室条件下描述表达防空导弹制导控制过程的手段与物理方法渐趋完善,于是工程师们就可以建造比较复杂的仿真实验系统来满足新一代防空导弹研制发展的需要。航天工业总公司北京仿真中心的射频寻的仿真实验室与红外寻的仿真实验室就是我国防空导弹制导控制仿真实验室的典型代表。

1.4 飞机结构战伤仿真建模

不同的仿真目的具有不同的建模内容。一般来说,构建飞机结构战伤系统必须完成如下模型的建立:飞机三维几何模型和武器威力场、弹目交会、结构损伤分析数学模型。

数学模型是仿真的基础。对被仿真的对象或系统,应根据其运动定律、约束条件和物理特性建立数学模型。数学模型是客观世界中客观事物(实体、过程、自然现象)的数学抽象和数学描述。

建立一个系统的数学模型的方法大致有两种:一种是实验归纳的方法,根据测试资料,按照一定的数学方法,分析归纳出系统的数学(经验)模型;另一种是理论分析的方法,这种方法的具体步骤大体分成三步。

第一步,建立系统的物理模型。需要仔细观察分析所讨论的系统,根据研究问题的性质和要求的精确程度,略去或简化一些次要因素,确定系统的主要特性和因素,作一些假设,抽象成该系统的物理模型。

第二步,在物理模型的基础上建立数学模型。需要先确定模型的输入、输出变量和参数。模型的输入、输出变量是指能反映有关特性的可以取不同数值的因素。在确定变量时,当然希望在不降低精确度的条件下,变量的数目少些为好。通常可以这样处理来减少变量的数目:

(1) 两个变量之间相似时,可归并为一个变量。

(2) 当变量变动时,输出(解)变化不大,可把该变量视为常数,通常取其平均值为该常数。

(3) 有时将离散变量视为连续变量,有时则反之。把连续变量视为离散变量,这样可能会有利于简化模型,便于计算。

模型的参数是指与研究的问题有关的一些已知因素。它可能是变化的,也可能是不变化的常量。

确定变量和参数之后,可以根据有关学科的理论或者由实践归纳得到的规律,建立起各变量之间的数学表达式,这就是所求的数学模型。

第三步,需要对所得的模型进行检验和修正,检查模型是否反映真实系统,是否满足

精确度等。一般模型的缺陷有：

- (1) 含有无关的或关系不大的变量；
- (2) 遗漏了重要的有关变量；
- (3) 参数值不准确；
- (4) 数学模型的数学表达式有错；
- (5) 模型反映系统的精确度不够。

一定要一边检验一边修正,直至得到满意的数学模型为止。

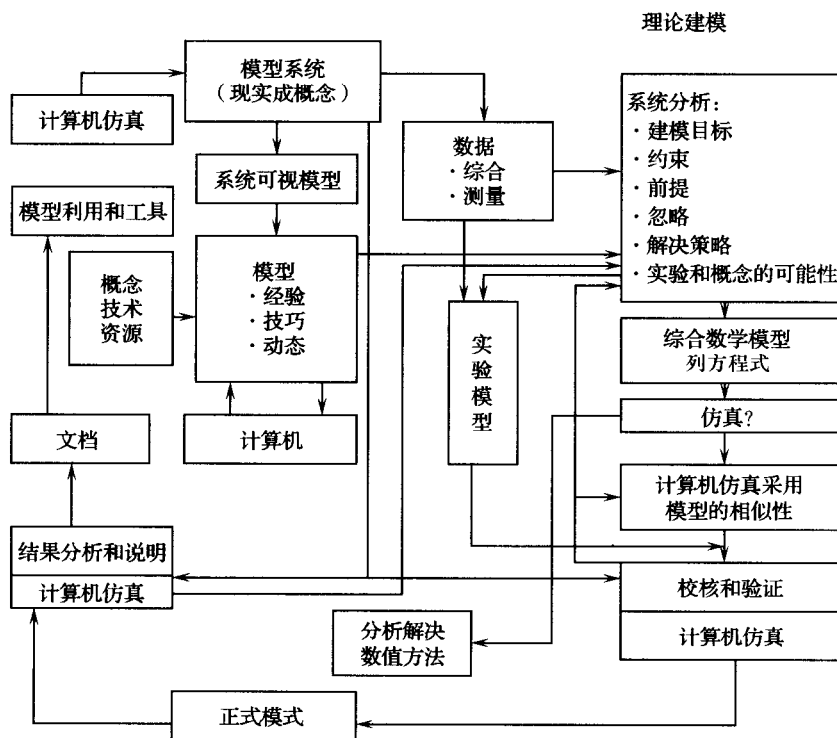
为了研究一个动力学系统的动态特性,除了对其物理性质有一个正确认识之外,还必须推导出它的数学模型,即系统动态特性的数学表达式。通常它是由基本的物理定律,例如机械系统中的牛顿定律,电磁系统中的克希霍夫定律、麦克斯韦定律等决定的。从这些定律得出所研究变量间的一些关系,一般用微分方程加以描述。有了数学模型,我们就可以采用各种分析方法和计算工具,对系统进行分析 and 综合。

在推导数学模型过程中应注意以下两点：

(1) 必须在模型的简化和准确性之间做出折中的考虑。因为影响系统的因素很多,把它们全部都考虑在内,固然模型很准确、很全面,然而往往太复杂,它的可用性就成问题了。所以,根据系统使用的条件,忽略一些次要的因素,采用适当简化的模型较为适合,譬如用集中参数模型时,总是忽略物理系统中存在着一定的分布参数因素。但是需要注意,集中参数模型只是在一定工作范围内才是合适的。例如在低频范围工作时,弹簧的质量可以忽略,但是在高频范围工作时,弹簧质量(分布参数)却可能变成系统的重要参数。如果被忽略的因素对系统输出的影响较小,那么,数学模型的分析结果与物理系统的实验结果将能很好地吻合。

(2) 实际的系统常常是由非线性方程来描述的,即使对所谓的线性系统来说,也只是在一定的工作范围内保持真正的线性关系。例如电机的磁化曲线就是非线性的,在大输入信号作用下,其输出就会饱和;再有组件中可能存在的死区会影响小信号的正常工作;在某些组件中还可能存在着平方律非线性关系,例如在物理系统中采用的阻尼器,低速时可以看作是线性的,但在高速时却变成非线性的,这时阻尼力将与运动速度的平方成正比;此外在继电控制系统中,控制器的输入量和输出量之间的关系总是非线性的。非线性微分方程式没有一般的封闭解。为了解这类问题,常常需要引入“等效”线性系统来代替非线性系统。其具体办法是假定变量对某一工作状态的偏离很小,将非线性环节的表达式在这点附近按泰勒级数展开,而将高于一次的导数项都忽略掉,这样就变成了线性系统。严格说来,任何一个系统都是非线性的,都具有不同程度的非线性特征,线性系统只是在非线性可以忽略不计的情况下所采用的数学模型。当然,对于本质上具有非线性特征的变量就根本不允许把它们线性化,需要用非线性理论加以研究。建模过程的一个总的描述可用图 1-1 表示。

建模首先要确定目标,然后运用先验知识和实验数据,最后采用数学方法建立模型。“演绎法建模”倾向于先验信息,是从一般到特殊的过程;“归纳法建模”倾向于观测数据,是从特殊到一般的过程;“实用法建模”是工程观点而且着眼于建模目的。单纯采用哪一种方法都很难获得有效的结果,所以通常是混合采用,而如何混合是一个关键问题。



第2章 飞机几何建模原理与方法

飞机三维几何造型是构建飞机战伤仿真系统的重要内容。模型的精度直接影响仿真结果的准确性。由于飞机是一个非常复杂的系统,完全按真实情况造型不仅工作量巨大,而且其庞大的数据量也难以满足仿真系统运行效率的需要。因此,如何根据战伤仿真特点对飞机几何模型进行合理简化以及采用合适的几何造型方法对仿真系统构建的成败具有非常重要的意义。

2.1 飞机结构特点介绍

一般来说,一架飞机所含有的零部件参数多达 10^7 数量级,而一辆汽车的零部件参数为 10^4 数量级。飞机结构是飞机各受力部件和支承构件的总称。它就像人体的躯干一样把飞机上的有效载荷、控制系统和动力装置等连接成一个整体,形成良好的气动力外形,保护其内的人员和所安装的设备。

2.1.1 飞机总体结构布局

如图 2-1 所示,飞机的机体结构主要由前机身、后机身、水平尾翼、垂直尾翼及机翼等几个部分组成。

1. 前机身

前机身一般为半硬壳式结构,由设备舱和座舱、油箱舱、发动机舱等几个结构工艺舱段装配而成。机头锥通常由复合材料制成,以便于其内部的设备接受各种无线电信号,并有足够的强度和刚度;在飞机的机头罩下或上部装有带转动轴的空速管。前机身的隔框有加强框和普通框之分。通常,加强框截面形状有工字形、Z 字形、以及 Γ 形等,普通框的截面皆为 Z 字形。前机身的蒙皮通常较厚,以便于保护内部构件。

2. 后机身

机身后段骨架一般是由横向构件—隔框和纵向构件—长桁组成。其中横向构件由若干个隔框和固定机尾罩的端隔板构成,其截面形状多为 Γ 形和 Z 字形;纵向构件长桁用铝合金角材制成,截面形状为 L 形或非对称的 L 形,部分加强型材的截面为 Γ 形。

3. 水平尾翼

水平尾翼用来保证飞机的纵向安定性和操纵性,通常是可为操纵的全动平尾。水平尾翼由左、右两个部分组成。每个平尾又由梁、前长桁、翼肋、衬板、边肋、后长桁、蒙皮、翼尖、整流罩、上壁板、下壁板和后段等构成。

4. 垂直尾翼

垂直尾翼由垂直安定面和方向舵组成。其中,垂直安定面由翼肋、前后长桁、根肋、主梁、蒙皮、翼尖和整流罩组成,固定在后机身的加强隔框支臂上。前长桁为槽形切面,由变

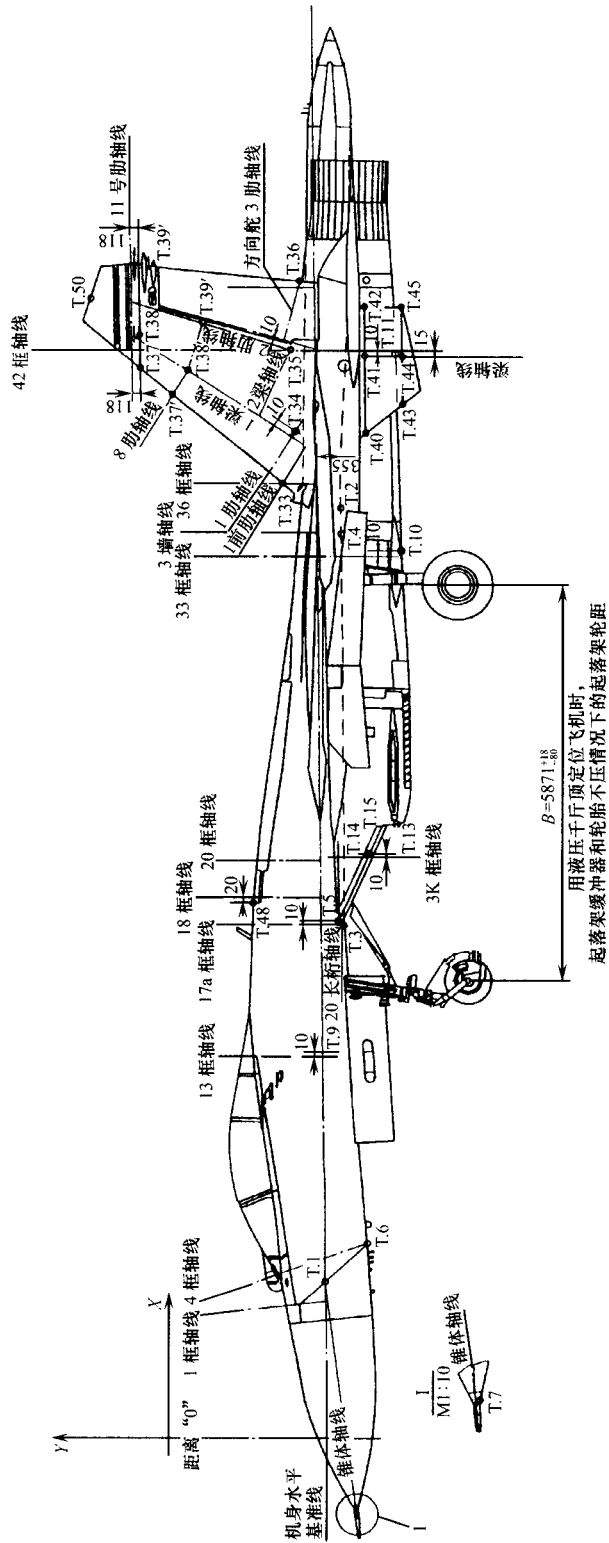


图 2-1 飞机结构组成示意图