



现代航空科技学术专著

AVIATION
TECHNICAL BASES
SCIENCE



军用飞机智能综合论证理论和评价方法

何胜强 著

西北工业大学出版社

现代航空科技学术专著

军用飞机智能综合论证 理论和评价方法

何胜强 著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书全面、系统地介绍了军用飞机智能综合论证的理论和评价方法,能够为军用飞机的设计、改进和改型提供客观、现实和有力的决策支持。全书共分为7章,内容包括绪论,飞机总体多学科设计优化,飞机总体设计综合论证评估方法,基于D-S证据理论的飞机武器系统效能评价,基于RBF网络的飞机武器系统效能-费用分析,基于SVM的飞机总体设计评估智能论证,基于模块化设计思想的现代战斗机空战建模与仿真。

本书是为从事军用飞机设计、制造的工程技术和科研人员编写的,同时也可作为高等学校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

军用飞机智能综合论证理论和评价方法/何胜强著. —西安:西北工业大学出版社, 2013.12

ISBN 978-7-5612-3868-4

I. ①军… II. ①何… III. ①军用飞机—智能设计—研究 IV. ①V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 291470 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:14

字 数:181千字

版 次:2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷

定 价:108.00元

前 言

现代飞机的研制是一个庞大的系统工程,其中飞机总体设计论证和评价是飞机研制过程中的关键环节,在飞机型号发展过程中具有基础和先导地位。军用飞机智能综合论证和评价是以实现军队现代飞机发展为目标,以国家军事战略方针为指导,以科学技术和经济发展水平为依据,以飞机及其发展为主要研究对象,以现有飞机的质量、规模为背景,以科学的理论和方法为手段进行的系统分析和设计过程,是一个涉及多学科相互交叉和融合的研究方向。新军事革命使战争形态和作战样式发生了深刻的变化,现代飞机加速向高科技、复杂化方向发展,对飞机总体设计提出了更新、更高的要求。寻求科学、适用的论证理论和评价方法,是军用飞机智能综合论证和评价中具有决定性意义的研究工作。国内有关军用飞机智能综合论证理论和评价方法的研究工作,大部分都散乱地分布在各种各样的学术论文中,目前还缺乏对军用飞机智能综合论证理论和评价方法进行系统论述的书籍以供各类研究人员参考和使用。本书正是为了满足这种日益增长的需求,通过对国内外主要资料的综合研究,结合著者自身的研究实践经验形成的。

为了对军用飞机智能综合论证理论和评价方法进行系统、全面的介绍,本书以现代人工智能理论、系统工程、计算机仿真等学科的最新理论和技术为基础,对军用飞机智能综合论证理论和评价方法进行了深入的研究分析。书中内容的重点是对基于智能理论的军用飞机综合论证总体构架和评价体系进行

系统的介绍,并结合经典的理论算法给出具体的应用背景。限于篇幅,本书不可能包含所有的军用飞机智能综合论证理论和评价方法。本书的结构及主要章节内容如下:

第1章,系统地介绍军用飞机智能综合论证理论和评价方法的发展历程、研究现状和发展趋势。

第2章,针对现代作战飞机设计的条件和要求、发展的新技术及其总体设计论证特点,提出飞机总体设计评估论证准则属性指标体系,对各种属性指标进行详细介绍,给出其现实意义及数学表达式,并讨论飞机总体多学科设计优化实现设计方案的综合协调与综合优化过程。

第3章,使用一般方法对飞机总体设计进行综合评估。介绍“蛛网图”法、层次分析法和灰色关联度分析法的原理,并分别采用以上3种方法建模和通过实例仿真对飞机总体设计进行评估论证。

第4章,研究D-S证据理论在飞机武器系统效能评价中的应用,并通过D-S证据理论融合进行仿真分析。

第5章,主要介绍飞机武器系统的费用分析和基于神经网络的费用估计的基本理论,研究RBF网络的逼近原理以及在飞机武器系统费用预测中的应用,并进行仿真验证。

第6章,引入支持向量机方法,介绍支持向量机的产生背景及研究应用情况和支持向量机的数学模型。重点研究对于飞机总体设计评估智能论证这一具体命题,确定其最合适的支持向量机算法核函数及参数,同时采用回归支持向量机和分类支持向量机对飞机总体设计方案进行仿真评估。

第7章,对现代战斗机的一对一空战进行建模与仿真,构建一种基于现代作战模式下的一对一空战仿真系统,分析建立现代战斗机空战仿真系统的模块组成结构,详细讨论各子模块的功能及主要模块之间的相互关系,并对使用近距导弹格斗的空战进行仿真模拟及空战效能评估。

本书由何胜强著。在本书的撰写过程中,还参考了大量的国内外专家、学者的研究成果和论文中的学术理论与方法,在此对这些文献的作者致以诚挚的感谢。

由于水平有限,书中难免有遗漏或不当之处,衷心期望得到各位专家和读者的批评指正。

著 者

2013 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 前言	1
1.2 飞行器总体设计的发展及现状	2
1.3 飞机总体设计智能评估论证的发展及现状	5
1.4 军用飞机作战效能理论的发展及现状	7
第 2 章 飞机总体多学科设计优化	10
2.1 总体设计特点	10
2.2 总体设计的系统方法	13
2.3 飞机总体设计模型	13
2.4 飞机总体设计评估论证准则属性指标体系	14
2.5 飞机总体多学科设计优化	43
第 3 章 飞机总体设计综合论证评估方法	54
3.1 “蛛网图”法	54
3.2 层次分析法	57
3.3 灰色关联度分析法	65

第 4 章 基于 D-S 证据理论的飞机武器系统效能评价	72
4.1 飞机武器系统作战效能评价概述	73
4.2 飞机武器系统作战效能分析的一般原理和评估步骤	76
4.3 D-S 证据理论	78
4.4 基于证据理论的系统效能模糊综合评价	80
4.5 仿真分析	82
第 5 章 基于 RBF 网络的飞机武器系统效能-费用分析	85
5.1 飞机武器系统的效能-费用分析	85
5.2 飞机武器系统费用估算方法	88
5.3 径向基函数(RBF)网络基本理论	91
5.4 基于 RBF 的飞机系统费用分析	94
5.5 仿真分析	96
第 6 章 基于 SVM 的飞机总体设计评估智能论证	99
6.1 支持向量机的产生背景及研究应用情况	99
6.2 支持向量机原始模型	104
6.3 多元分类支持向量机	108
6.4 非线性的回归支持向量机	110
6.5 基于 SVM 的飞机总体设计评估智能论证模型	111
第 7 章 基于模块化设计思想的现代战斗机空战建模与仿真	121
7.1 研究空战仿真的现实意义	121
7.2 现代战斗机空战系统	122

第 1 章 绪 论

1.1 前言

现代飞机的研制是一个多学科参与的复杂过程,在这个过程中多学科都发挥了重要的作用。如机械技术、空气动力理论、涡轮发动机技术、控制理论、仿真技术、材料科学、计算机技术、信息工程、电子技术、数字数据通信技术和局域网技术等等。其中,采用面向系统的设计方法,决定了飞机设计方法是建立和研究大型复杂系统的功能性规律最一般的描述及对其进行分析和综合的方法。其有别于以往设计方法的特征(综合优化准则的应用;数学优化方法和计算机技术的广泛应用;描述整个系统本质特征的数学模型的应用),最终保证设计出的飞机既能满足战术、技术指标的要求,又有良好的经济性和战备完好性,实现以较低的维修保障费用满足部队的使用要求。

21 世纪是以创新为特征的时代,交叉学科、边缘学科、跨学科的科学研究的已经成为世界科学技术取得突破性进展的新增长点。人工智能已成为 21 世纪高科技的引导技术和关键技术,人工智能被广泛地应用于控制、自动化、通信、机器人、计算机等领域,产生了智能控制、智能自动化、智能通信、智能机器人、智能计算机等新学科和新研究方向。人工智能在解决具有难以量化的、不确定性的和不完全性的问题方面具有很大的优势。

进入 21 世纪以后,我国所面临的国际、国内环境也日益严峻,世界并没有

在人们的祝福中变得更加和平,反而更加复杂化。当今的国际社会形势是强权政治更加强权,单边主义更加单边,尤其是美国提出的先发制人作战思想对世界各国的国防战略发展都产生了深刻的影响,同时我国的台海问题也日益严峻。在这种国际、国内环境下,国家开始大力加强对空中平台攻击系统研究的重视程度,基于军用飞机智能综合论证理论和评价方法的研究显得尤为重要。

开展军用飞机智能综合论证和评价方法的理论研究,对于增强我军作战能力有重要的军事应用价值,其研究成果必将在军用飞机研制中发挥重要作用。本书将各种人工智能技术有机地融合起来,引入到飞机型号的发展中,研究军用飞机寿命周期各阶段的设计和管理技术,将系统工程的原理和方法应用到军用飞机设计中,汲取国外先进的管理经验和设计方法,更新飞机设计概念,建立一个综合设计的思想,形成一个最佳的技术方案。

1.2 飞行器总体设计的发展及现状

1903年12月17日,由美国莱特兄弟制造的人类第一架有动力可操控的飞机进行载人飞行并获得成功,这被公认为是现代飞行器的起点。从那时到现在的100多年间,飞行器技术不断进步,飞行器的设计要求也越来越多、越来越高。在飞行器发明的初期,设计要求只是升力等于重力,并且具有一定操纵性。而当今对于各类飞行器的设计要求往往包括飞行性能、结构强度和刚度、可靠性、可制造性、维修性、成本和进度等多种设计要求。这些不同方面的设计要求通常相互影响、相互耦合,使得飞行器设计涉及的学科越来越多,专业分工越来越细,研制过程日趋复杂,设计周期越来越长,开发成本越来越高。为了提高飞行器设计质量,加快设计进度,降低开发成本,人们开始对飞行器的研制过程,特别是飞行器的设计过程加以考查和研究。

1991年,美国航空航天协会(AIAA)出版的白皮书中指出,传统的飞行器设计过程可概括为首先要有先进的概念设计,并确定飞行器的布局;然后进行

初步设计,在飞行器外形冻结后,开始展开全面的细节设计。在概念设计阶段,主要涉及空气动力学和推进系统设计;在初步设计阶段,主要进行各种系统设计和零件设计。在不同的设计阶段,设计人员应用相关的学科知识和经验进行设计和优化,去寻找最优解,如气动性能设计和优化、结构设计和优化等。这种设计模式实质上具有序列性,并没有充分利用各个学科(子系统)之间的相互影响可产生的协同效应,这种对系统进行人为分割的序列设计方法第一个缺点是极有可能失去系统的整体最优解;第二个缺点是设计过程按序列展开,即设计模式属于串行设计模式,设计周期必然加长,开发成本相应增加。

此外,随着飞行器各学科(如气动计算、结构分析)的研究内容不断深入,分析模型的精度越来越高,与之相关的分析工具(如各类计算机程序)更加复杂,功能更加强大。从理论上说,这些精度高的分析模型和功能强大的软件可为设计过程提供更多、更精确的信息,有助于设计人员发现更好的设计方案,从而缩短研制周期和降低研制费用。但在实践中,由于计算和组织的复杂性,这些分析模型和计算机程序往往仅仅作为一种分析工具,在总体设计过程中很难得到充分利用。因此,现有的工程设计方法与各学科所取得的成就是不相称的。

针对传统总体设计方法的缺点,近年来美国等发达国家提出一种新的设计方法:多学科设计优化(Multidisciplinary Design Optimization, MDO)。其主要思想是在复杂系统设计的整个过程中集成各个学科的知识,并充分考虑各门学科的耦合作用,应用有效的设计/优化策略和分布式计算机网络系统,来组织和管理整个系统的设计,通过充分利用各个学科之间的相互作用所产生的协同效应,以获得整体的最优解。

MDO的优点在于通过实现各学科模块化并行设计来缩短设计周期,通过考虑学科之间的相互耦合来挖掘设计潜力,通过系统的综合分析来进行方案的选择和评估,通过系统的高度集成来实现飞行器的自动化设计,通过各学科

的综合考虑来提高可靠性,通过门类齐全的多学科综合设计来降低研制费用。

从对 MDO 的研究看,实现 MDO 设计的关键是模型的参数化、系统模型的分层协调与耦合、优化方法和策略,通过模板实现了模型的参数化,MDO 实现了系统模型的分层协调与耦合,再增加优化系统就可以比较容易地实现飞机多学科优化设计,优化系统一般采用成熟的商业软件。

虽然 MDO 作为一个专门的研究领域不过短短的十余年时间,但已经产生了巨大的经济效益并引起了广泛的重视,单以其在飞行器设计中的应用来看,目前 MDO 的应用对象已经包括高超速飞行器、可重复使用运载器、翼身融合飞行器、支架翼飞机、下一代太空望远镜、X-33,X-43,F/A-18,F-22,GARTEUR 区域运输机,A3××客机等各类飞行器。美国的 MDO 研究领导机构——美国航空航天局兰利研究中心多学科设计优化分部(MDOB),更是宣称将把 MDO 方法应用到未来所有的飞行器总体设计中去。

MDO 在航空航天领域的成功,也引起了其他工程设计领域的重视,以 MDO 的发祥地——美国——为例,目前已成立了 20 多个以 MDO 为主要研究对象的研究中心,“工程系统的多学科设计优化”课程已被列为美国工科研究生的必修课。MDO 的应用范围已经拓展到了武器、汽车、计算机、通信、机械、医疗以及建筑等各个领域,部分基于 MDO 思想的软件已经实现了商业化,如 SIGHT,ModelCenter,AML 等。

在我国,就飞行器设计技术而言,多年以来一直得到普遍使用的仍然是在 20 世纪五六十年代就已得到广泛应用的“参数修正法”等较为传统的方法。近年来,随着优化设计理论不断完善以及计算机技术的发展,在学科内的优化设计方法得到了应用,甚至也出现了一些多学科之间的简单综合研究(如总体/发动机一体化研究、弹道/发动机一体化研究、弹道/气动一体化研究),但这些还不能称得上是真正的 MDO 研究,因为其对于各门学科之间的耦合和协同的研究还远远不够深入,而且覆盖的学科种类还太少。因此,我国的飞行

器总体设计技术有待进一步提高。

1.3 飞机总体设计智能评估论证的发展及现状

飞机总体设计智能评估论证是以实现军队现代飞机发展为目标,以国家军事战略方针为指导,以科学技术和经济发展水平为依据,以飞机及其发展为主要研究对象,以现有飞机的质量、规模为背景,以科学的理论和方法为手段进行的系统分析和设计过程。其在飞机型号发展过程中具有基础和先导地位。新军事革命使战争形态和作战样式发生了深刻的变化,现代飞机加速向高科技、复杂化方向发展,对飞机总体设计提出了更新、更高的要求。寻求科学、适用的论证理论和方法,是飞机总体设计智能评估论证中具有决定性意义的研究工作。

20世纪50年代末至60年代初,国外由于一些大型导弹、通信系统等研制需求,形成了系统工程(SE)方法论,特别是霍尔提出的三维结构矩阵(逻辑维、时间维、知识维)。同一时间,美国的兰德(RAND)公司提出了解决复杂军事规则、计划问题大系统分析(SA)方法论;富雷斯特提出了可进行计算机仿真的系统动力学(SD)。20世纪80年代,英国学者切克兰德提出了“软系统方法论”(SSM)来解决一些“结构不良问题”。20世纪90年代初,西方又提出了关键系统思考(CHS)和整体系统干预法(TSI);日本的榎木义一教授等提出了“既软又硬”的Shinayaka系统方法论;等等。

这一系列论证方法被外国军队广泛应用到武器装备发展论证中,同样,也被外国军队应用到飞机总体设计评估论证的系统分析、费用分析、设计方案优选等许多方面。

我国武器装备论证方法的形成和发展是从20世纪60年代发展导弹和原子弹开始的。当时,我国也应用了类似于阿波罗登月计划的系统工程方法,成立了工程组织管理部门——总体设计部。至20世纪70年代末,由钱学森教

授的倡导,军事系统工程在我国武器装备的研制中得到了广泛应用和发展,当时应用的方法论主要是运筹学、系统分析和作战模拟。20 世纪 80 年代至 90 年代初,随着各军兵种成立了各自的装备论证中心和论证所,负责各军兵种武器装备发展论证研究,武器装备论证方法研究取得了一系列的成果。发展了包括比较-分类法、仿真模拟法、系统可靠性分析法、灰色关联度分析法、德尔菲法(Delphi)、回归分析法、线性规划、寿命周期费用评估法、决策树法、层次分析法(AHP)、多准则方案排序法等一系列方法,这些方法同样被引入飞机总体设计论证中,提高了飞机总体设计评估论证的水平、质量和效率。

从 20 世纪 90 年代到 21 世纪初,世界新技术革命的浪潮在军事领域引起了一场以信息技术为核心的新军事革命,它推动着军事科技向多学科、边缘性、尖端性方向发展,推动着武器装备向高科技、多样化、复杂化方向发展。随着以激光技术、微电子技术、信息技术、计算机技术及新工艺、新能源、新材料技术等为代表的高新技术不断应用于军事领域,战争形态和作战方式发生了深刻的变化,高科技装备在军事斗争和军队建设中的作用日益突出。“战争和战场趋于陆、海、空、天一体化,军事航空领域成为高技术兵器的‘集合点’,空军成为现在局部战争的主力。”为了满足现代空军作战任务的需要,现代军用飞机技术性能的要求日益提高,结构日益复杂。同时,大量先进的航空电子设备和火控系统的参与,以及大量分系统和设备在功能上互相综合,使得飞机的研制、采购和维修费用日益提高。根据资料统计,一架战略轰炸机的采购费已经由 20 世纪 50 年代的 20.8 万美元上升到 80 年代的 1 亿美元以上,美国空军发展的第四代战斗机 F-22,单机价格高达 1.24 亿美元。

由此可见,现代军用飞机的发展耗资巨大,而且,一个新型号飞机的研制周期可能长达十几年,甚至几十年。如果没有严密而系统的科学论证,就可能决策失误,造成人力、物力上的极大浪费,并且可能会影响我军整个武器现代化发展的战略、规划和进程。而且,由于飞机总体设计论证的内容非常广泛,

涵盖系统分析、方案优化、综合评价、决策、费用预测、效能评估、仿真论证和战术、技术指标论证等等,传统常规的论证理论和方法已经不能完全满足飞机总体设计论证工作的强烈需求。因此,进一步研究飞机总体设计论证理论和方法,适应新军事战略方针要求,适应不断发展的新形势和新技术要求,已成为先进飞机发展的必然使命。

随着航空技术和相关技术的快速发展,空中力量在现代战争中的作用和地位日趋重要。与此同时,现代作战飞机研制投入的人力、物力和财力都急剧增长,研制风险也随之加大。因此,在作战飞机研制总体方案评审中,必须根据作战需求,制订方案评审方法和标准,综合考虑多种因素并进行系统分析和综合权衡,作为方案决策的主要依据,以便从各备选方案中选取科学、合理的研制方案。

作为作战飞机研制过程的关键环节,总体方案的评审一直受到广泛重视。飞机设计可分为三个主要阶段:方案设计、初步设计和详细设计。根据我国的实践,总体设计一般是指前两个阶段。作战飞机总体设计是飞机发展过程的关键环节,它的主要目标是把飞机机体、动力装置、飞行控制系统、液压系统、电源系统、生命保障系统、燃油系统、航空电子系统和武器火控系统等不同专业技术和系统创造性地综合到一起,使飞机整体性能优化,达到规定的战术、技术要求。而作战飞机总体设计评估是飞机型号发展论证阶段的主要工作之一。

1.4 军用飞机作战效能理论的发展及现状

纵观人类战争的发展,世界军事理论发生了重大的变化。军用飞机由最初单纯的单线“侦察飞行机器”演变为种类繁多的军用飞机系列:歼击机、攻击机、轰炸机、教练机、预警机、运输机、空中加油机、反潜机、侦察机、无人机、电子战飞机、直升机等。军用飞机对战争胜负的影响从次要的因素逐渐变成

关键因素。特别是战斗机(歼击机和攻击机统称为战斗机)在战争中扮演的角色已经从“配角”逐渐成为“主角”。在今后相当长一段时间内,世界性的战争不一定爆发,但是由于经济、宗教等冲突引起的局部战争随时都有可能发生,在局部战争中,战斗机是最合适、最有力的武器。

随着我国国产“歼十”战斗机装备空军航空兵部队,先进军机在国际上又掀起了一股热潮,再加之近几年发生的科索沃战争、伊拉克战争等局部战争,可以清楚地看到:在未来高技术战争中,空军的地位和作用越来越重要,类似于远程空袭、防区外攻击、超视距空战以及非接触作战等概念和战术已经形成并在实战中经受了检验。正因为如此,提高空军的作战能力已成为世界上许多军事强国追求的共同目标。要有效提高空军的作战能力,就必须从军机的研制和作战运用两方面入手,而无论是对于研制还是对于作战运用,军机的作战效能评估都是一项重要的基础性工作。开展军机作战效能的研究不仅能够促进先进高性能武器系统的发展,还可以促进战术、技术水平的进步,同时也是一种多快好省的国防建设的有效方案。

军机的作战效能评估是一门很复杂的学科,在军机总体方案评估、作战行动效能评估、机载设备方案评估以及军机外形设计等方面发挥着重要作用,因而一直受到航空发达国家的高度重视。

美国、俄罗斯等国均设有专门机构来研究军用飞机作战效能(例如俄罗斯的航空系统研究院等)。国外(主要指美国和俄罗斯)作战效能分析的理论研究基本上可归纳为两大类:第一类是半经验理论,例如性能对比法、经验公式法、专家评估法;第二类是严格理论,主要采用数学和计算机模拟的方法。目前,国内外的发展趋势都是将科学理论、经验和判断有机结合,应用模糊数学、专家系统、系统工程和系统仿真的方法,探索研究大系统动态仿真综合作战效能分析方法。俄罗斯则更加重视飞机整体系统的综合作战效能和系统总体性能,虽然对于各个子系统来说,其性能不一定是最好的,但其整个系统的性能